



JASS

Journal of Aviation and Space Studies
Havacılık ve Uzay Çalışmaları Dergisi

An Academic Journal (Akademik Dergi)

**Journal
of
Aviation and Space Studies
(J. Aviat. Space Stud.)
JASS**

(Havacılık ve Uzay Çalışmaları Dergisi)

E-ISSN: 2757-7317

<https://dergipark.org.tr/en/pub/jass>

Year/Yıl: 2025, Volume/Cilt: 5, Issue/Sayı: 2

August (Ağustos) 2025



Journal of Aviation and Space Studies

(Havacılık ve Uzay Çalışmaları Dergisi)

Publisher (Yayımcı)	University of Turkish Aeronautical Association (Türk Hava Kurumu Üniversitesi)
Owner on behalf of the University (Üniversite adına İmtiyaz Sahibi)	Prof. Dr. Rahmi Er
Editor-in-Chief (Başeditör)	Assist. Prof. Dr. (Dr. Öğr. Üyesi) Ali Uğur Sazaklıoğlu
General information (Genel bilgiler)	International, interdisciplinary, open access, electronical, peer-reviewed, periodical, biannually (Uluslararası, disiplinlerarası, açık erişimli, elektronik, hakemli, periyodik, yılda iki sayı)
E-ISSN	2757-7317
Journal abbreviation (Dergi adı kısaltması)	J. Aviat. Space Stud.
Web address (İnternet adresi)	https://dergipark.org.tr/en/pub/jass
E-mail address (E-posta adresi)	jass@thk.edu.tr
Correspondence address (İletişim adresi)	Türk Hava Kurumu Üniversitesi Rektörlüğü, Bahçekapı Mahallesi, Okul Sokak, No: 11, 06790, Etimesgut, Ankara, Türkiye

Journal of Aviation and Space Studies (Havacılık ve Uzay Çalışmaları Dergisi)

EDITORIAL BOARD (EDİTÖR KURULU)

Editor-in-Chief (Başeditör)

Assist. Prof. Dr. (Dr. Öğr. Üyesi) Ali Uğur Sazaklıoğlu – UTAA (THKÜ), Türkiye

Editorial Advisory Board (Yayın Kurulu)

Prof. Dr. Çetin Şentürk – UTAA (THKÜ), Türkiye

Prof. Dr. Mehmet Halûk Aksel – UTAA (THKÜ), Türkiye

Prof. Dr. Uğur Murat Leloğlu – UTAA (THKÜ), Türkiye

Prof. Dr. Yaşar Köse – UTAA (THKÜ), Türkiye

Assoc. Prof. Dr. (Doç. Dr.) Aliye Atay – UTAA (THKÜ), Türkiye

Assoc. Prof. Dr. (Doç. Dr.) Hicran Kasa – UTAA (THKÜ), Türkiye

Assist. Prof. Dr. (Dr. Öğr. Üyesi) Ali Uğur Sazaklıoğlu – UTAA (THKÜ), Türkiye

Section Editors (Alan Editörleri)

Prof. Dr. Çetin Şentürk – UTAA (THKÜ), Türkiye

Prof. Dr. İsmail Gültepe – Ontario Technical University (Ontario Teknik Üniversitesi), Kanada

Prof. Dr. Kürşad Melih Güleren – Eskisehir Osmangazi University (EOGÜ), Türkiye

Prof. Dr. Mehmet Halûk Aksel – UTAA (THKÜ), Türkiye

Prof. Dr. Melahat Bilge Demirköz – Middle East Technical University (ODTÜ), Türkiye

Prof. Dr. Melih Kuşhan – Eskisehir Osmangazi University (EOGÜ), Türkiye

Prof. Dr. Tahsin Çağrı Şişman – UTAA (THKÜ), Türkiye

Prof. Dr. Tuğrul Oktay – Erciyes University (ERÜ), Türkiye

Prof. Dr. Uğur Murat Leloğlu – UTAA (THKÜ), Türkiye

Prof. Dr. Volkan Bakış – Akdeniz University (Akdeniz Üniversitesi), Türkiye

Assoc. Prof. Dr. (Doç. Dr.) Bahar Aşçı – UTAA (THKÜ), Türkiye

Assoc. Prof. Dr. (Doç. Dr.) Kasım Kiracı – İskenderun Technical University (İSTE), Türkiye

Assoc. Prof. Dr. (Doç. Dr.) Reza Aghazadeh – UTAA (THKÜ), Türkiye

Assist. Prof. Dr. (Dr. Öğr. Üyesi) Banu Sarıbay – UTAA (THKÜ), Türkiye

Assist. Prof. Dr. (Dr. Öğr. Üyesi) Didem Göçmen – UTAA (THKÜ), Türkiye

LAYOUT EDITORS (REDAKTÖR VE MİZANPAJ EDİTÖRLERİ)

Assist. Prof. Dr. (Dr. Öğr. Üyesi) Mert Akın – UTAA (THKÜ), Türkiye

Lect. (Öğr. Gör.) Dr. Çağrı Kaygısız – UTAA (THKÜ), Türkiye

Lect. (Öğr. Gör.) Suna Karakaş Şakar – UTAA (THKÜ), Türkiye

Rsc. Assist. (Arş. Gör.) Hikmet Kübra Bayram – UTAA (THKÜ), Türkiye

ISSUE EDITORS (SAYI EDİTÖRLERİ)

Prof. Dr. Mehmet Halûk Aksel – UTAA (THKÜ), Türkiye

Assist. Prof. Dr. (Dr. Öğr. Üyesi) Ali Uğur Sazaklıoğlu – UTAA (THKÜ), Türkiye

Assist. Prof. Dr. (Dr. Öğr. Üyesi) Didem Göçmen – UTAA (THKÜ), Türkiye

ISSUE REVIEWERS (SAYI HAKEMLERİ)

Prof. Dr. Sinan Eyi – METU (ODTÜ), Türkiye

Assoc. Prof. Dr. (Doç. Dr.) Canan Yıldırım – Karabük University (Karabük Üniversitesi), Türkiye

Assoc. Prof. Dr. (Doç. Dr.) Gülbeniz Akduman – Fatih Sultan Mehmet Vakıf University (FSMVÜ), Türkiye

Assoc. Prof. Dr. (Doç. Dr.) Mehmet Erkan Kılıçoğlu – Çanakkale Onsekiz Mart University (ÇOMÜ), Türkiye

Assist. Prof. Dr. (Dr. Öğr. Üyesi) Birsen Açıkkel – Eskişehir Technical University (ESTÜ), Türkiye

Assist. Prof. Dr. (Dr. Öğr. Üyesi) Harun Yılmaz – İskenderun Technical University (İSTE), Türkiye

Assist. Prof. Dr. (Dr. Öğr. Üyesi) Mehmet Ali Ak – UTAA (THKÜ), Türkiye

Assist. Prof. Dr. (Dr. Öğr. Üyesi) Meriç Gökdalay – UTAA (THKÜ), Türkiye

Rsc. Assist. Dr. (Arş. Gör. Dr.) Nebile Pelin Mantı – İstanbul University (İstanbul Üniversitesi), Türkiye

(# of Reviewers from other Institutions)/(Total # of Reviewers)=7/9≈78%

(Diğer Kurumlardan olan Hakemlerin Sayısı)/(Toplam Hakem Sayısı)=7/9≈%78

Journal of Aviation and Space Studies (Havacılık ve Uzay Çalışmaları Dergisi)

AIMS & SCOPE

Journal of Aviation and Space Studies is an international, open access, electronic, peer-reviewed, nonprofit, interdisciplinary journal that embraces the highest standards in terms of publication ethics, published by [University of Turkish Aeronautical Association](#), the university of Turkish Aeronautical Association that has an important role and activity in the national and international platforms about Aviation. The main aim of the journal is to increase the exchange of knowledge and to have a contribution in the development of the scientific background in the field of aviation and aerospace by publishing the studies in the regarding interdisciplinary research fields.

In this manner, the aviation and/or aerospace oriented studies in engineering sciences, natural sciences and social sciences are in the scope of the journal. The research areas in the scope of the journal are including but not limited to:

- Aviation and Space History
- Aviation and Space Economics
- Aviation and Space Management
- International Relations in Aviation and Space
- Security Studies in Aviation and Space
- Law in Aviation and Space
- Space Policy
- Software Engineering in Aviation and Space
- Orbital Mechanics and Space Environment
- Attitude Determination and Control
- Spacecrafts and Payloads
- Propulsion Systems and Plasma
- Aviation and Space Engineering (General)

The journal accepts the original research articles and review articles written in Turkish or English.

AMAÇ & KAPSAM

Havacılık ve Uzay Çalışmaları Dergisi ulusal ve uluslararası platformlarda Havacılık için önemli bir rolü ve etkinliği bulunan Türk Hava Kurumu'nun üniversitesi olan [Türk Hava Kurumu Üniversitesi](#)'nin yayımcısı olduğu uluslararası, açık erişimli, elektronik, hakemli, yayın etiği için en yüksek standartları benimseyen ve kâr amacı olmayan disiplinlerarası bir dergidir. Derginin temel amacı, havacılık ve uzay bilimleri ile ilgili disiplinlerarası çalışmaları konunun ilgililerine ulaştırarak bu alanlardaki bilgi paylaşımını artırmak ve bilimsel altyapının gelişmesine katkıda bulunmaktır.

Bu bağlamda; mühendislik bilimlerinin, temel bilimlerin ve sosyal bilimlerin havacılık ve uzay bilimleri odaklı çalışmaları derginin kapsamında yer almaktadır. Derginin kapsamına giren araştırma alanları, aşağıdakilerle sınırlı olmaksızın, şunlardır:

- Havacılık ve Uzay Tarihi
- Havacılık ve Uzay Ekonomisi
- Havacılık ve Uzay İşletmeciliği
- Havacılık ve Uzay Çalışmalarında Uluslararası İlişkiler
- Havacılık ve Uzay Alanındaki Güvenlik Çalışmaları
- Havacılık ve Uzay Hukuku
- Uzay Politikası
- Havacılık ve Uzay Alanında Yazılım
- Yörünge Mekaniği ve Uzay Ortamı
- Yönelim Belirleme ve Kontrol
- Uzay Araçları ve Görev Yükleri
- İtki Sistemleri ve Plazma
- Havacılık ve Uzay Mühendisliği (Genel)

Dergiye Türkçe ya da İngilizce yazılmış özgün araştırma makaleleri ve derleme makaleler kabul edilmektedir.

ABSTRACTING & INDEXING (TARANMA & DİZİNLER)

The papers published in JASS are included in the following databases/resources (Dergide yayımlanan makaleler aşağıda verilen dizinlerde/kaynaklarda yer almaktadır):

- Google Scholar
- Asos Index
- Crossref
- ROAD
- Journal Factor
- CiteFactor
- Academic Resource Index
- Index Copernicus International (ICI World of Journals)

MANUSCRIPT EVALUATION PROCESS

Manuscripts found suitable for the Journal are sent to Section Editors by the Editor-in-Chief to appoint the reviewers. The manuscripts undergo peer review process by two reviewers, however if it is necessary, a third reviewer may be included into the process. The peer review is handled as double-blind and whole process is established online through DergiPark. During the initial check, the manuscripts are inspected by the iThenticate software for plagiarism prevention.

MAKALE DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Dergiye uygun bulunan makaleler hakem görevlendirilmesi için Başeditör tarafından Alan Editörlerine gönderilir. Makaleler iki hakemin yer aldığı değerlendirme sürecinden geçer, fakat gerekli olması durumunda üçüncü bir hakem sürece dahil edilebilir. Hakem süreci çift-kör olarak gerçekleştirilir ve tüm değerlendirme süreci DergiPark üzerinden çevrimiçi olarak yürütülür. İlk kontrol esnasında, makaleler intihal engellenmesi açısından iThenticate yazılımı vasıtasıyla incelenir.

PERMISSIONS

The papers published in the journal are licensed under [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#). According to the regarding license, the materials of the papers may directly be used by the third parties in noncommercial purposes by giving appropriate credit, under the restriction that they distribute their contributions under the same license.

İZİNLER

Bu dergide yayımlanan makaleler [Creative Commons Atıf-GayriTicari-AynıLisanslaPaylaş 4.0 Uluslararası Lisansı](#) ile lisanslanmıştır. Söz konusu lisans kapsamında makalelerin içerikleri üçüncü partiler tarafından gayri ticari amaçlarla, katkılarını aynı lisans kapsamında dağıtmak şartıyla uygun bir şekilde referans vererek doğrudan kullanılabilir.

NOTICE

No responsibility is assumed by the Journal/Publisher from any use of any methods, instructions or ideas contained in the materials herein. Authors are responsible for the opinions stated in the papers in the Journal. The papers published in the Journal meet the research and publication ethics standards.

UYARI

Dergi/Yayıncı, Dergideki materyallerde yer alan herhangi bir yöntem, talimat veya fikrin kullanımından dolayı hiçbir sorumluluk kabul etmemektedir. Dergideki makalelerde belirtilen görüşlerden ilgili yazarlar sorumludur. Dergide yayımlanan makaleler araştırma ve yayın etiği standartlarını karşılamaktadır.

CONTENTS (İÇİNDEKİLER)

Review Paper (Derleme Makalesi)

Havacılık sektörünün TR33 bölgesinde sürdürülebilir kalkınmaya etkisi:

Bölgedeki havalimanlarının değerlendirilmesi.....86

Gülaçtı Şen

Research Paper (Araştırma Makalesi)

Women in aircraft maintenance: A gender analysis in aircraft maintenance training.....101

Sıla Kale, Tarık Güneş, Birsen Açık

Research Paper (Araştırma Makalesi)

Toward an equitable governance of space resources: A policy-oriented framework for sustainability and resilience.....111

Gülin Dede

Research Paper (Araştırma Makalesi)

Roketlerde kanat geometrisinin statik stabiliteye etkilerinin sayısal olarak incelenmesi.....123

Polat Çelik, Mehmet Sabancı, Hasan Sarpkaya, Sezer Çoban



Derleme Makalesi

Havacılık sektörünün TR33 bölgesinde sürdürülebilir kalkınmaya etkisi: Bölgedeki havalimanlarının değerlendirilmesi

Gülaçtı Şen¹

Öz. Türkiye’de havacılık sektörünün gelişimi 2010’lu yıllardan sonra hızlı bir ivme kazanmış ve ülkenin sürdürülebilir kalkınmasında etkili olmuştur. Özellikle bölgelerin sürdürülebilir kalkınmasında, gelişen havacılığın bir sonucu olarak ülkenin kuzeyinden güneyine, batısından doğusuna farklı şehirlerde açılan havalimanları etkili olmuştur. Bu havalimanlarının ülkeye, bölgelere ve şehirlere olan ekonomik, politik, çevresel, kültürel ve sosyal katkıları artış göstermiştir. Ancak TR33 bölgesinde yer alan havalimanlarının sürdürülebilir kalkınmaya etkilerinin ne şekilde olduğu/olabildiği/olabileceği durumu daha önce araştırılmamıştır. Bu çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden keşifsel durum çalışması yapılarak, havacılık sektörünün bölgedeki sürdürülebilir kalkınmaya etkisi araştırılmaktadır. Özellikle bölgede havacılık faaliyetleri kapsamında açılan havalimanları ve bu havalimanlarına yapılan uçuşlar incelenmektedir. Bölgede yer alan havalimanlarının durumu belirli dönemlerde ciddi belirsizliklerle karşılaşmış; belirli dönemlerde kapatılmış ve tekrar açılmıştır. Bu durumun, bölgenin sürdürülebilir kalkınmasında nasıl bir etki yaptığı bilinmemektedir. Buradan hareketle araştırmada, amaçlı örneklem modeli kullanılarak bölgede bulunan havalimanlarının son beş yıllık faaliyetleri durum analizine tabi tutulmuştur. Bölgede yer alan ve araştırmada analize tabi tutulan havalimanları sivil uçuşların gerçekleştirildiği Uşak Havalimanı ve Kütahya Zafer Uluslararası Havalimanı’dır. Bu araştırmada, havalimanlarının sürdürülebilir kalkınmaya olan etkileri araştırılmakta ve bu kalkınmanın artırılması için öneriler aktarılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir kalkınma, bölgesel kalkınma, havacılık sektörü, TR33 bölgesi havalimanları.

Review Paper

Impact of aviation sector on sustainable development in TR33 region: Evaluation of airports in the region

Abstract. The development of the aviation sector in Türkiye has gained rapid momentum after the 2010s and has been effective in the sustainable development of the country. In particular, the airports opened in different cities from the north to the south and from the west to the east of the country as a result of developing aviation have been effective in the sustainable development of the regions. The economic, political, environmental, cultural and social contributions of these airports to the country, regions and cities have increased. However, the impact of the airports in the TR33 region on sustainable development has not been investigated before. In this study, the impact of the aviation sector on sustainable development in the region is investigated by conducting an exploratory case study from qualitative research methods. In particular, the airports opened within the scope of aviation activities in the region and the flights to these airports are examined. The status of the airports in the region has faced serious uncertainties in certain periods; they have been closed and reopened in certain periods. It is not known how this situation has affected the sustainable development of the region. Based on this, the activities of the airports in the region in the last five years were subjected to a situation analysis using a purposeful sampling model in the research. The airports in the region that are analyzed in the research are Uşak Airport and Kütahya Zafer International Airport, where civil flights are carried out. In this research, the effects of airports on sustainable development are investigated and suggestions are given to increase this development.

Keywords: Sustainable development, regional development, aviation sector, TR33 region airports.

¹ Havacılık Yönetimi Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, 10390, Balıkesir, Türkiye; gulacti.sen@balikesir.edu.tr (Sorumlu Yazar)

<https://doi.org/10.52995/jass.1624058>

Geliş Tarihi: 21 Ocak 2025; Kabul Tarihi: 16 Temmuz 2025; Yayınlanma Tarihi: 31 Ağustos 2025

© 2025 Türk Hava Kurumu Üniversitesi. Tüm hakları saklıdır.

Bu makale Creative Commons Atıf-GayriTicari-AynıLisanslaPaylaş 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.



1. GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınma, dünyanın sosyal ve ekonomik dönüşümüne rehberlik eden temel strateji haline gelmektedir (Shi vd., 2019, s. 7157). Geçmişten günümüze üretim ve ekonomik etkinliğe odaklı yürütülen kalkınma çabaları, gelir dağılımı ve yoksunluğun ortadan kaldırılması gibi sosyal açıdan ele alınan stratejik model olarak ön plana çıktığı ifade edilebilir (Gürlük, 2010, s. 86). Sürdürülebilir kalkınmanın bir model olarak ülkelerin kalkınmasında etkili olabileceği uluslararası sürdürülebilirlik toplantılarında ele alınırken, bölgelerin kalkınma çalışmalarında kullanılması oldukça yenidir. Bölgesel kalkınma, zaten günümüz bağlamında kritik bir durumdur; çok sayıda kriz (finansal, gıda ve enerji) zamanın ekonomik paradigmasını yeniden değerlendirmeye ve istihdam, toplumsal ilerleme, yaşam kalitesi ve doğaya saygı alanlarında gelecek nesillere bırakılan yerine getirilmemiş vaatleri nasıl daha iyi ele alınacağını değerlendirmeye zorlamaktadır (Jovovic, 2017, s. 257). Dolayısıyla bölgesel kalkınmanın sürdürülebilirlik ile ele alınması, zorlukların üstesinden gelinmesi açısından önemli olabilir.

Bölgesel sürdürülebilir kalkınmanın değerlendirilmesi karmaşık ve çok yönlü bir konudur. Bunun sebebi birçok bireysel çevresel, sosyal ve ekonomik faaliyet ve bilgi ögesinin ve bu bireysel ögeler arasındaki sayısız etkileşimin anlaşılmasını gerektirmesidir (Roberts, 2006, s. 515). Bölgesel sürdürülebilirlik, firma veya kuruluş düzeyindeki geleneksel daha küçük ölçekli sürdürülebilirlik programlarının bölgesel bir odağa doğru ölçeklendirildiği bir çerçeve sağlamaktadır. Bu durum bölgedeki işletmeleri, üniversiteleri, belediye otoritelerini ve vatandaş gruplarını bölgesel odaklı bir çaba içinde bir araya getirmeye zorlamaktadır (Potts, 2010, s. 714). İfade edilen gruplar arasında havacılık sektörünün birincil aktörleri olarak ele alınan havayolu şirketleri ve havalimanı işletmeleri de sayılabilir. Bölgenin sürdürülebilir kalkınmasında havacılık sektörünün faaliyetleri ciddi anlamda etkili olabilmektedir. Havacılık sektörü bölgedeki istihdamı desteklediği gibi, bölgeye ziyarete gelen insan hareketliliğinin sağlamanın önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışmada ele alınan bölge, Türkiye'nin İBBS'de (İstatistiki Bölge Birimi Sınıflandırması) düzey 2 bölgesinde yer alan TR33 bölgesidir. Bölgede, Afyonkarahisar, Kütahya, Manisa ve Uşak illeri yer almaktadır. Bölgede havacılık faaliyetleri kapsamında havalimanları bulunmaktadır. Bölgede üç askeri ve iki sivil olmak üzere toplam beş adet hava alanı bulunmaktadır. Afyonkarahisar, Akhisar ve Kütahya'da havaalanları, sivil havaalanları ise Altıntaş (Afyonkarahisar-Kütahya-Uşak illerinin ortak kullanımına yönelik Zafer Bölgesel Havalimanı) ve Uşak'ta yer almaktadır (Zafer Kalkınma Ajansı, 2016, s. 91). TR33 Bölgesi'nin farklı sosyo-ekonomik ve coğrafi özellikler gösteren illerden oluşması, bölgeyi sürdürülebilir şehirleşme politikalarının değerlendirilmesi açısından önemli bir örneklem alanı haline getirmektedir (Meydan, 2025, s. 229). Bu şehirleşmede, bölgede bulunan havalimanlarının katkısı etkili olabilir. Ancak havalimanlarının kurulduğu yıllardan itibaren sektöre ve ülke ekonomisine katkılarının ekonomik ve politik açıdan tartışılmasına sebep olması dikkat çekmektedir. (İhlas Haber Ajansı, 2024), (Araslı, 2025). Dolayısıyla bu çalışmada TR33 bölgesindeki havalimanlarının sürdürülebilir kalkınmaya etkileri araştırılmaya çalışılmaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma, insan refahını ilerletmeye yönelik bağlılığı temsil etmektedir (Moran vd., 2008, s. 470). Havacılık sektörünün TR33 bölgesindeki sürdürülebilir kalkınmaya etkilerinin incelendiği bu çalışmada, bölgedeki havalimanları ele alınmaktadır. Havalimanlarının bölgenin sürdürülebilirliği yönelik etkileri çeşitli olabilmektedir. Havalimanı etki analizi çerçevesi genellikle dört ana etki türünü içermektedir. Bunlar; (1) havaalanının işletimiyle ilgili doğrudan etkiler; (2) bölgedeki tedarikçilerin operasyonlarıyla ilgili dolaylı etkiler; (3) doğrudan ve dolaylı operasyonlar tarafından oluşturulan faaliyetle ilgili tetiklenen etkiler; (4) havaalanının bölgesel kalkınma üzerindeki daha geniş rolüyle ilgili katalizör etkiler sıralanabilir (Halpern & Bräthen, 2011, s. 1145). Bir bölgede havalimanlarının işletilmesi, havalimanında çalışacak kişiler dolayında doğrudan bölgenin istihdamına etki ederken, bölgedeki mevcut tedarikçileri (havalimanı alt yapısı, elektrik, su temini vb.) dolaylı olarak etkilemektedir.

Havalimanlarının stratejik olarak belirli bölgelere yapılması, hava taşımacılığı faaliyetlerinin ölçeğini, o bölgedeki yolcu sayısı ve uçak trafiği üzerinden doğrudan ilişkilendirilerek sürdürülebilir kalkınma ilkelerinin etkin bir şekilde uygulanıp uygulanmadığının değerlendirilmesini sağlamaktadır (Szaruga & Zalog, 2022, s. 932). Hava taşımacılığının hareketliliği bulunduğu bölge ekonomisine, kültürüne, sosyal faaliyetlerine katkı sağlamaktadır. Bu hareketliliğin TR33 bölgesinin sürdürülebilir kalkınmasına etkisinin nasıl olduğuna yönelik bir çalışma literatürde mevcut değildir. Dolayısıyla bu çalışmada amaç, havacılık sektörünün TR33 bölgesindeki sürdürülebilir kalkınmaya etkisi üzerinden bölgede bulunan havalimanlarının değerlendirilmesidir. Amaçlı örneklem modeli ile derinlemesine incelemede bulunan bu araştırmanın ilk bölümünde havacılık sektörünün sürdürülebilir kalkınmaya etkisi TR33 bölgesi açısından

ele alınmaktadır. İkinci bölümde ise araştırılan bölgede faaliyetlerine bakılmaksızın bölgede bulunan Zafer Havalimanı ve Uşak Havalimanı olan sivil havalimanlarıdır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Sürdürülebilirlik terimi aslen ekoloji alanına aittir ve bir ekosistemin neredeyse hiç değişmeden zaman içinde varlığını sürdürme potansiyelini ifade etmektedir. Kalkınma fikri eklendiğinde, kavram artık çevre açısından değil, toplum ve sermaye ekonomisi açısından da ele alınmaktadır (Jabareen, 2008, s. 181). Sürdürülebilir kalkınmanın savunucuları neyin sürdürüleceği, neyin geliştirileceği, çevre ve kalkınmanın nasıl ilişkilendirileceği ve ne kadar süreyle ilişkilendirileceği konusundaki vurgularında farklılık göstermektedir (Parris & Kates, 2003, s. 559). (Munasinghe, 2009) ortaya koyduğu sürdürülebilir kalkınma üçgeni çalışmasında, sürdürülebilirliğin üç alanda iktisadi, sosyal ve çevresel olarak ele alınmaktadır. İktisadi alanda büyüme, etkinlik, istikrar; sosyal alanda güçlendirme, katılım ve danışma, kurumlar ve yönetim; esneklik/biyoçeşitlilik, doğal kaynaklar, kirlilik konuları üçgenin köşelerini oluştururken, yoksulluk, eşitlik, sürdürülebilirlik ve iklim değişimi üçgenin merkezinde yer almaktadır. Çünkü sürdürülebilir kalkınmanın, özellikle merkezde yer alan sorunların, ortaya konulan üç boyutta ele alınması gerektiğidir (Munasinghe, 2009, s. 34-35), (Yeni, 2014, s. 186). Sürdürülebilir kalkınmanın sosyal, çevresel ve ekonomik temellerinin sıkı bir şekilde birbirine bağlı olduğu ve bu sistemler arasında sembolik bir ilişki kurmayı amaçlayan daha kapsayıcı bir modele doğru kalkınmayı yeniden yönlendirmek için potansiyel bir yol olarak kabul edilmektedir (Dhahri & Omri, 2018, s. 65).

Çevresel, teknolojik ve sosyal gelişmeler, gelecekteki sürdürülebilirliğe ulaşmak için önemlidir. Havacılık endüstrisi gürültüye, kirliliğe ve karbon emisyonlarına neden olmakta ve bu durum havacılık endüstrisinin sürdürülebilirliğini engellemektedir. Ancak sürdürülebilirlik yalnızca çevresel sorunlarla değil, aynı zamanda kirlilik ve iklim değişikliğinin sağlık, refah, kültür ve geçim kaynaklarını önemli ölçüde etkilemesi nedeniyle sosyal ve ekonomik kalkınmayla da ilgilidir (Qiu vd., 2021, s. 2448). Dolayısıyla havacılık endüstrisinin sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkisi, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlardan ele alınarak açıklanabilir. Bu bağlamda havacılığın sektörel ve bölgesel kalkınmaya katkıları, aynı zamanda çevreye olan etkileri ve toplumların genel refahına olan katkıları, literatürle desteklenen analizler ve akademik çalışmalar ışığında daha derinlemesine incelenebilir.

2.1. Havacılık Sektörü ve Sürdürülebilir Kalkınma

Havacılık sektörü, dünya çapında turizm ve kargo talebindeki büyümeye bağlı olarak son birkaç yıldır istikrarlı şekilde büyümeye devam etmektedir. Dolayısıyla birçok bölgede sosyal kalkınmaya ve ekonomik büyümeye katkıda bulunan önemli bir kalkınma sektörü olarak kabul edilmektedir. Havacılık sektörü, sektörün değer zinciri boyunca doğrudan ve dolaylı olarak milyonlarca kalifiye ve yarı kalifiye kişiyi istihdam etmektedir (Dube, Nhamo & Chikodzi, 2021, s. 92). Sektörün, ülkelerin ve bölgelerin sürdürülebilir kalkınmasında etkili olduğu; ancak bu doğrultuda alan yazında çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Özellikle sektörün sürdürülebilir kalkınma anlamında ekonomik faydaların sürekli vurgulandığı; sosyal açıdan faydalarının ele alınmadığı; çevresel anlamda ise olumsuzluklarının ön planda olduğu ve teknolojik ilerlemelerine vurgu yapılmadığı düşünülmektedir (Walker & Cook, 2009, s. 378).

Sürdürülebilir kalkınmayı, havacılık endüstrisi açısından tanımlamak gerekmektedir. Hava taşımacılığı sisteminde sürdürülebilir kalkınma, doğrudan istihdam, artan bağlantı, ticaret ve turizmden ekonomik faydalar elde ederken, sosyal gelişmeler yaratmak ve çevresel maliyetleri en aza indirmek anlamına gelmektedir (Wang & Song, 2020, s. 3). Havacılık sektörü, ticaret, turizm, lojistik ve sanayi gibi birçok sektörü etkilemekte, ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bir diğer ifadeyle hava taşımacılığı, ulaşım altyapısının önemli bir parçası olarak kabul edilmektedir ve uzun vadeli ekonomik büyüme üzerinde de büyük bir etkiye sahip olmaktadır. Havaalanları yerel ekonomiye önemli ölçüde katkıda bulunmakta ve bir ülkenin küresel ekonomiye entegrasyonunu kolaylaştırmakta ve ayrıca topluma sosyal faydalar sağlamaktadır (Chourasia, Jha & Dalei, 2021, s. 5).

Havacılık sektörünün sürdürülebilir kalkınmaya etkisinde, bölgesel kalkınma söz konusunu olduğunda çoğunlukla ekonomik açıdan ele alınmaktadır. Bölgesel ekonomik kalkınma açısından, özellikle havaalanlarının önemli kalkınma aracı olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca, bölgesel büyüklük, işsizlik, endüstriyel ve eğitim yapıları ile iklimi kontrol ettikten sonra, havalimanı etkisi güçlü ve önemli olmaya devam etmektedir. Yapılan araştırmalarda, havaalanlarının hem insanları hem de malları taşıyarak bölgesel kalkınmaya katkıda bulunduğunu ortaya konulmaktadır (Florida, Mellander & Holgersson, 2015, s. 209). İşsizliğin azaltılması, eğitim yapılarında değişim, iklim kontrolünün sürekliliği, insan ve mal hareketliliği göz önünde bulundurulduğu, sektörün bölgesel kalkınmaya etkileri

sadece ekonomik açıdan değil, sosyal ve çevresel açıdan ele alınması, derinlemesine incelenmesi gereken bir konu olmaktadır. Bu doğrultuda havalimanlarında sürdürülebilir kalkınma uygulamalarının ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan ele alınması gerektiği ifade edilebilir. Buna ilaveten bu uygulamaların benimsenmesi, havalimanının finansal ve operasyonel faydalarını iyileştirmektedir (Chourasia, Jha & Dalei, 2021, s. 5). Böylece havalimanlarının sürekliliğinin sağlanması ve faaliyetlerini artırması da mümkün olabilmektedir.

Havacılık sektörü, özellikle bölgesel ve küresel ekonomik büyüme ile doğrudan ilişkilidir ve küresel ticaretin gelişmesine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Ancak sürdürülebilir kalkınmaya etkisinde sosyal ve çevresel etkiler de ortaya konulmalıdır. Bu doğrultuda havacılık sektörünün bir bölgenin sürdürülebilir kalkınmaya etkisi şu şekilde sıralanabilir;

- Havacılığın gelişimi, özellikle bölgeler arası ve uluslararası hava yolu bağlantıları ile turizmin gelişmesini destekler ve bu durum, ekonomik kalkınmaya destek sağlar.
- Bir bölgedeki sürdürülebilir kalkınmanın önemli ölçütlerinden biri çevresel sürdürülebilirliktir ve havacılık sektörü, çevresel etkiler bakımından önemli bir sektördür.
- Havacılık sektörü, bir bölgenin toplumsal refah ve eşitlikçi gelişme hedeflerine ulaşılmasında kritik bir rol oynayabilir.

Havacılık sektörü, ülkelerin sürdürülebilir kalkınmasında kritik rol oynamaktadır. Havacılığın gelişimi ile bölgesel kalkınma için önemli fırsatların artacağı görülmektedir. Bu doğrultuda, sektörde sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, çevresel ve sosyal etkiler dikkate alınarak sürdürülebilirlik açısından daha dengeli bir yaklaşım benimsenmesi gerektiği ifade edilebilir.

2.2. TR33 Bölgesinde Havacılık Faaliyetlerinin Önemi

TR33 Bölgesi, Türkiye'nin Kuzey Ege kesiminde ve İstatistiki Bölge Birimi Sınıflandırması (İBBS), Düzey 2 sınıflandırmasında yer alan; Uşak, Manisa, Kütahya ve Afyonkarahisar olmak üzere dört ilden oluşan bölgesidir (Türker, 2024). Bölge, özellikle tarım, sanayi ve lojistik açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bölge illeri, büyük metropoller, ticaret merkezleri ve limanlar arasında doğal bir bağlantı oluşturmaktadır. Türkiye'nin en büyük şehirleri olan Antalya, İstanbul, Ankara ve İzmir arasında yer almaktadır (Köker, Korucu & Sulukan, 2018). Uşak, Kütahya ve Afyonkarahisar illerinde ise havalimanı bulunmaktadır. Bölgenin denizyolu bağlantısı ise genellikle İzmir limanı üzerinden yapılmaktadır. Ayrıca Manisa'da bir lojistik merkezi bulunmaktadır (Zafer Kalkınma Ajansı, 2013).

Ulaştırma altyapısının sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkisi büyüktür (Wang vd., 2018, s. 1172). Uygun şekilde geliştirilmiş bir ulaşım altyapısı, belirli bir alan üzerinde uyarıcı bir etkiye sahip olabilir, ekonomik faaliyette ve çevre ile ilgili rekabette artışa yol açabilir. Özellikle bölgesel ölçekte, yol altyapısının durumu ve ana iletişim arterleriyle uyumluluğu, birçok yazara göre bölgenin potansiyel yatırımcılar ve işletme sahipleri için çekici olması için gerekli bir koşuldur; ancak bu durum, diğer bölgelerin bölgeye girişine veya kalifiye işgücünün dışarı çıkışına da katkıda bulunabilir (Prus & Sikora, 2021, s. 279). TR33 bölgesinde açılan ve faaliyet gösteren havalimanları, ulaşırma altyapısını desteklerken, bölgedeki diğer altyapı projelerinin gelişmesine zemin hazırlayabilir. Örneğin, havalimanlarının kara yolu ve demir yolu ağları ile entegrasyonu, bölgenin lojistik kapasitesini artırabilir.

Küresel havacılık, sürdürülebilir kalkınmanın katalizörüdür ve turizmle birlikte insan kaynaklarını, işletmeleri, toplulukları ve yardımcı ticaretleri bir araya getirmektedir (Prasad, 2019, s. 1). Bölgesel Kalkınma Ulusal Stratejisi (BGUS) Madde 578'de turizmdeki eksikliklerin giderilmesi için; havacılık sektörünün turizm sektörüyle uyum içinde çalışması, belediye hizmetlerinde asgari standartların korunması (kanalizasyon, ulaşım, arıtma vb.) ve turizm sektöründe hizmet verecek insan kaynağının kapasitesinin belirlenmesi ifade edilmektedir (Zafer Kalkınma Ajansı, 2016).

Ulaşım altyapısı, bir bölgeye olan iç göçün çekici faktörlerinden biri olarak da ele alınmaktadır (Dayar & Sandalcı, 2016, s. 2056). Buna ilaveten kırsal ve kent arasındaki ulaşım olanaklarındaki gelişmeler iletimci etmenler olarak da adlandırılmaktadır (Yılmaz, Göktürk & Kök, 2017, s. 325). 2024 yılında TÜİK tarafından yayımlanan Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (2023) sonuçlarına göre TR33 Bölgesi'nin nüfusu 3.179.735'e ulaşmıştır.

Tablo 1. TR33 Bölgesi 2022-2023 Nüfus Bilgileri (Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2025)

İl / Bölge / Ülke	2022 Yılı Nüfusu	2023 Yılı Nüfusu	Yıllık Değişim (Binde)
Afyonkarahisar	747.555	751.344	5,1
Kütahya	580.701	575.674	-8,7
Manisa	1.468.279	1.475.716	5,1
Uşak	375.454	377.001	4,1
TR33 Bölgesi	3.171.989	3.179.735	2,4
Türkiye	85.279.553	85.372.377	1,1

Bir bölgenin sürdürülebilir kalkınma göstergelerinde nüfus oranı önemlidir. Çünkü bölgesel kalkınmanın hükümetin, ama her şeyden önce her bölgenin kendine özgü özelliklerini ve sorunlarını daha iyi bilen o bölgenin halkının sorumluluğunda olması gerektiği ileri sürülmektedir (Rezende & Sinay, 2016, s. 400). TR33 bölgesinin nüfus oranı incelendiğinde, bölgenin sürdürülebilir kalkınması açısından kayda değer bir değişim görülmemektedir. TR33 bölgesinin diğer sürdürülebilir kalkınma göstergeleri incelendiğinde, tarım (Yıldırım & Karaaslan, 2015), turizm (Öztürk, 2024), maden (Dayar & Sandalcı, 2016), enerji (Oduncu, 2025), ulaşım (Taşkın, Şaylan & Azimov, 2021) konularında ele alınabileceği görülmektedir. Kalkınma sürecinde ülkelerin tüm bölgeleri aynı düzeyde gelişmemektedir. Bazı bölgeler diğer bölgelere göre üretim, yatırım, gelir ve gelir dağılımı, eğitim, sağlık, kentleşme, nüfusun dağılımı gibi çok sayıda kalkınma göstergesi açısından nispi olarak dezavantajlı durumda kalabilmektedir (Keskin, 2023, s. 3). TR33 bölgesi sürdürülebilir kalkınma açısından etkili olabileceği düşünülen ve turizm başta olmak üzere nüfus hareketliliğini artırmak amacıyla havalimanları kurulmuştur. Bu çalışmada literatürde daha önce ele alınmamış olan bölgedeki havalimanları incelenmektedir.

TR33 bölgesindeki havacılık faaliyetlerinin, bölgedeki sanayi, ticaret ve turizm sektörlerinde hareketlilik başlattığı, bu sebeple bölgeye iç göçün artabileceği ifade edilebilir. Buna ilaveten yerli ve yabancı yatırımcıların bölgeye ilgisi de artabilir. Özellikle sanayi ve lojistik sektöründeki işletmeler, havaalanlarının sağladığı kolay ulaşım sayesinde daha büyük pazarlara açılabilir. Türkiye geneli bölgelerin Gayri Safi Katma Değer katkı sıralaması göz önünde bulundurulduğunda, TR33 Bölgesi 9. Sırada yer alarak gayri safi katma değere katkısı %3,6'dır. Bu oran, bölgenin büyüme oranı gösterdiğini ortaya koymaktadır (Yıldırım & Karaaslan, 2015, s. 43). Ancak bu büyüme oranında, havacılık faaliyetlerinin ne kadar etkili olduğu bilinmemektedir. Bir diğer ifadeyle bölgenin büyüme oranında havacılık sektörünün etkisinin büyük olduğunu gösteren çalışmalar bulunmamaktadır.

Havacılık sektörü, taşımacılığın en kolay alternatifi olarak ülkeler arası taşımacılıkta öncü olmuştur. Küresel olarak 1980'li yıllardan sonra serbestleşme hareketlerinin artması ve 2003 yılında Türkiye'de serbestleşmenin artmasıyla bölgesel havacılık politikaları önem kazanmıştır. Bu tarihten sonra havayolu taşımacılığında kayda değer bir büyüme başlamıştır (Yılmaz, 2020, s. 118). Türkiye'de 2003 yılındaki ticari serbestleşme, Türk Sivil Havacılık Sanayii'nin (TSAİ) gelişim sürecinde bir dönüm noktası olmuştur. 2002 yılına kadar sadece Türk Hava Yolları iki merkezden yirmi beş noktaya iç hat uçuşları düzenlenmekteydi. Havacılıkta serbestleşme adımlarıyla birlikte özel şirketler de tarifeli iç ve dış hat uçuşları işletmeye başlamıştır (Deveci vd., 2022, s. 94).

Havalimanları hava taşımacılığının en önemli altyapısı olup ulaşım ağları içinde en önemli düğüm noktalarından birisidir (Gökdalay & Köse, 2021, s. 2249). Türkiye'de havacılık faaliyetlerinin hızlı gelişimiyle, bölgesel havacılık politikaları yürütülmeye başlanmıştır. Bu doğrultuda 2012 yılında Türkiye'nin ilk bölgesel havalimanı olan Zafer Havalimanı açılmıştır (Utıkad, 2012). 2024 yılı itibarıyla Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, Havaalanları Daire Başkanlığı'nın yayınladığı rapora göre Türkiye'de sivil hava trafiğine açık 58 havaalanı bulunmaktadır (SHGM, 2024). Genellikle 'bölgesel' havalimanları olarak adlandırılan bu havalimanları, uluslararası bağlantıyı ve dolayısıyla ekonomik büyümeyi artırmaya çalışan yerel hükümetler tarafından sahiplenilmekte veya desteklenmektedir (Pot & Koster, 2022,

s. 2). Bu çalışmada ele alınan TR33 bölgesinde havalimanlarının yapım aşamasından faaliyetlerine geçiş sürecine kadar, bölgesel kalkınmaya destek amacıyla yapıldığı belirtilmiştir. Ancak, bölgesel kalkınma için önemli olan sadece bir havalimanına sahip olmak değil, havalimanı faaliyetlerinin büyüklüğü ve ölçeğidir. Bu doğrultuda, nüfus büyüklüğü, endüstri yapıları, insan sermayesi ve ileri teknoloji gibi diğer faktörler kontrol edildiğinde, havalimanlarının etkisinin bölgesel kalkınmada olumlu ve önemli olmaya devam ettiğini görülmektedir (Florida, Mellander & Holgersson, 2015, s. 197).

Bölgesel havayolu projesi ile hem sektörün büyümesine hem de ilave istihdam ve vergi artışıyla ülkenin sosyal ve ekonomik gelişimine katkı sağlanmıştır (Battal, Yılmaz & Ateş, 2006, s. 3). Hava taşımacılığı, ulaşım sisteminde önemli bir faktördür. Uzun mesafelerde hızlı seyahatleri mümkün kılmak yanı sıra, hava taşımacılığı ağındaki iyileştirmeler ekonomik büyüme ve yerel ekonomi kalkınma için bir strateji olarak önerilmektedir. Havaalanı ulaşım sistemi de yerel ekonomik kalkınmayı çeşitli mekanizmalar aracılığıyla etkileme potansiyeline sahiptir. Havalimanları, bölgeyi daha çekici hale getirmesi bölgesel bir kolaylık olarak yorumlarsa, bu tür etkiler artan çekicilik nedeniyle nüfus artışına yol açabilmektedir (Tvetter, 2017, s. 63). Bölgedeki nüfus artış faaliyetlerinin, yalnızca bölgesel ekonomik gelişimle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda ulaşım, ticaret, turizm ve sosyal yapı üzerinde de önemli etkiler yaratması mümkündür.

Bölgeler genellikle sınırları içerisinde bir havalimanına sahip olmaktan büyük gurur duyarlar. Politika yapıcılar, bazıları ne kadar küçük olursa olsun, havalimanlarını sürdürmek için büyük çaba harcamaktadırlar (Pot & Koster, 2022, s. 1). Günümüzde birçok hükümet, ülkenin bölgeleri arasındaki bağlantıyı iyileştirmek için kamu alanında hava taşımacılığı politikaları formüle etmektedir. Bunların en önemlileri; (1) ekonomik, üretken kalkınma, istihdam ve zenginlik yaratma vb. gibi argümanlar (2) sosyo-politik, bölgesel entegrasyon ve uyum gibi faktörlerdir (Olariaga, 2021, s. 396). TR33 bölgesinde havacılık faaliyetlerinin geliştirilmesi ve bölgenin sürdürülebilir kalkınmasına katkı sağlamak amacıyla bölgesel kalkınma ajansı örnek verilebilir. Bölgenin sürdürülebilir kalkınması amacıyla 2009 yılında Zafer Kalkınma Ajansı kurulmuş ve 2010 yılında faaliyetlerine başlamıştır (Öztürk, 2024, s. 27).

Zafer Kalkınma Ajansı, bölgenin yaşam kalitesini artırmak ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak amacıyla çalışmalar yürütmektedir. Türkiye genelinde TR33 Düzey 2 bölgesinin, diğer bölgelere oranla sosyo-ekonomik bakımdan daha hızlı bir gelişme kaydettiği ve söz konusu gelişimde Zafer Kalkınma Ajansı'nın özellikle 2010 yılından itibaren bölgenin kalkınmasına katkı ve destek verme çabalarının etkili olduğu ifade edilebilir (Pektaş & Demirkol, 2018, s. 86).

Bölgede Kalkınma Ajansları faaliyet raporları incelendiğinde, bölgede havacılık sektörünün gelişimine yönelik faaliyetler bulunmamaktadır. Hedeflenen çalışmalar TR33 bölgesinin kentsel yaşamın canlandırılmasına yönelik altyapıların güçlendirilmesi, bölgede önemli sektörlerle yönelik faaliyetlerin yürütülmesi, mesleki ve teknik eğitimin güçlendirilmesine yöneliktir (Balcıoğlu, 2020, s. 292). Bu çalışmaların havacılık sektörüne yönelik artırılması ve bölge havalimanlarının gelişimini destekleyerek, sürdürülebilir kalkınmaya bu yönde de katkı sağlanması önemlidir. Havacılık sektörü, doğrudan istihdam yaratma kapasitesine sahip bir sektör olarak yerel iş gücü için de istihdam imkânları sunmaktadır. Böylece yerel ekonomilerdeki işsizlik oranlarını düşürebileceği öngörülmektedir. Havalimanları, ayrıca bölgesel turizm ve lojistik sektörlerini besleyerek, daha fazla istihdam ve ekonomik büyüme yaratabilecek olanaktadır. Zafer Kalkınma Ajansı'nın 2024-2028 Bölgesel Planı'nda yer alan gelir getirici faaliyetlere yönelik hedeflerden biri turizm faaliyetleriyle gelirlerin artırılmasıdır (Zafer Kalkınma Ajansı, 2025, s. 14). Bölgesel havalimanları, turizmin coğrafi yayılımı açısından önemlidir ve TR33 bölgesindeki havalimanlarının, kalkınma ajansının turizm hedefini desteklemesinde rolü vardır.

3. METODOLOJİ

Bu çalışmada nitel araştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Nitel araştırma, olguların ortaya çıktıkları bağlam veya algılanabilecekleri perspektifler açısından olguların doğasının incelenmesi olarak ifade edilmektedir (Busetto, Wick & Gumbinger, 2020, s. 14). Bu yöntem, konuya ilişkin farklı değerlere ve ilgi alanlarına sahip kişilerin göreceli bakış açılarını belirlemek ve analiz etmek için yararlıdır (Voyer vd., 2015). Araştırmada, nasıl ve niçin sorularına odaklanmakta, araştırmacının olaylar üzerinde kontrolünün olamadığı, olayın ya da olgunun kendi doğal yaşam çerçevesinde çalışıldığı bir yöntemdir (Subaşı & Okumuş, 2017, s. 420).

Bu çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması yöntemi ile yayınlanmış birincil araştırmalardan bilgi toplayarak, daha önce hiç ele alınmamış havacılık sektörünün TR33 bölgesinde sürdürülebilir kalkınmaya etkilerinin araştırılması hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşabilmek için bu bölgelerde bulunan havalimanları, amaçlı

örneklem modeli ile incelenmektedir. Amaçlı örneklem modeli, hedeflenen araştırmanın konusunu oluşturan durum hakkında derinlemesine bilgi toplamaktır. Amaçlı örneklemede örnekleme birimlerinin seçimi öznel; çünkü araştırmacı kendi deneyimine ve yargısına güvenmektedir (Guarte & Barrios, 2016, s. 277). Araştırmada, Türkiye'nin ulusal havacılık otoritesi Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün (SHGM) arşivlerinden ve Devlet Hava Meydanları (DHMİ) raporlarından veri kullanılmaktadır. SHGM, Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'na bağlı olarak sivil havacılık alanında düzenleyici ve denetleyici otoritedir. Türkiye'deki hava taşımacılığı faaliyetlerinin güvenli, düzenli ve uluslararası standartlara uygun şekilde yürütülmesini sağlamakla görevlidir. DHMİ, Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'na bağlı olarak Türkiye'de havalimanlarının işletilmesinden ve hava trafiğinin yönetilmesinden sorumlu devlet kurumudur. Buradan hareketle, bu çalışmanın ilk aşamasında, havacılık sektöründe sürdürülebilir kalkınma etkileri TR33 bölgesi açısından ele alınarak aktarılmakta ve sonrasında bölgede bulunan, sivil uçuş faaliyetlerini sürdüren Kütahya Zafer Uluslararası Havalimanı ve Uşak Havalimanı derinlemesine araştırılarak, havalimanlarının sürdürülebilir kalkınmaya etkileri tartışılmaktadır.

4. TR33 BÖLGESİNDE BULUNAN HAVALİMANLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

TR33 Bölgesi'nde Uşak Havalimanı ve Zafer Havalimanı olmak üzere iki adet havalimanı bulunmaktadır. Bu havaalanları dışında bölgeye yakın illerde de havalimanları bulunmaktadır. Örneğin Denizli Çardak Havalimanı ve İzmir Adnan Menderes Havalimanı, TR33 Bölgesi'ne de hizmet vermektedir (Zafer Kalkınma Ajansı, 2016). Bir dönem sivil hava taşımacılığı yapan Afyon Havalimanı ise günümüzde sadece askeri havalimanı olarak hizmet vermeye devam etmektedir. 2019 yerel seçimlerinde bu havalimanının sivil uçuşlara açılması gündeme gelmiştir. Nitekim tüm dünyayı etkisi altına alan ve havacılık sektörüne etkisi büyük olan Covid-19 salgını ile havalimanlarının durumu belirsizliklerle karşı karşıya kalmıştır. Ancak o tarihten bu yana, bölgede yer alan havalimanlarının canlandırılması konusunda ciddi sıkıntılar olduğu gözlemlenmiştir. Bu konuda özellikle Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nin yayınladığı faaliyet raporları incelenmiştir. Yayımlanan rapordan elde edilen verilerin sonuçlarının değerlendirilmesi için bölgedeki havalimanlarına yönelik çalışmalar ve sürdürülebilir kalkınma faaliyetleri incelenmiştir. Kütahya Zafer Uluslararası Havalimanı için Zafer Kalkınma Ajansı'nın çalışmaları, Uşak Havalimanı için Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde ifade edilen çalışmalar ele alınmıştır. Bölgedeki havalimanlarının, bölgenin sürdürülebilir kalkınmasına etkilerinin ortaya konulması ve gelecek senaryolarının ortaya konulabilmesi amacıyla, havalimanları değerlendirilmiştir.

4.1. Kütahya Zafer Uluslararası Havalimanı

Türkiye'nin ilk bölgesel havalimanı olan Kütahya Zafer Uluslararası Havalimanı, Kütahya ilinin Altıntaş ilçesinde 2012 yılında hizmete açılan ve açıldığı tarih itibarıyla Türkiye'nin dördüncü büyük havalimanıdır. Sivil havalimanı statüsünde olan Zafer Havalimanı'nın ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu) kodu LTBZ, IATA (Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği) kodu KZR ve en yakın merkeze uzaklığı 40 km ile Kütahya'dır. Zafer Havalimanı'nın teknik bilgileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Zafer Havalimanı Teknik Bilgileri

İşletici	Yap-İşlet-Devret
Pist Sayısı	1
Pist Uzunluğu	3.000 m X 45m
Apron Kapasite	3 Uçak Park Alanı
Toplam Kapalı Alan	27.726 m ²
Toplam Terminal Alanı	17.620 m ²
Toplam Faaliyet Alanı	3.248.890 m ²

Kütahya-Afyonkarahisar-Uşak illerine hizmet vermesi sebebiyle bölgesel havalimanı olan Zafer Havalimanı'nın açılmasının amaçlarından biri, bölgenin sürdürülebilir kalkınmasını desteklemektir. Kütahya ve Afyonkarahisar illeri, termal tesisleri ile ön plana çıkan ve yerel turizme katkı sağlayan şehirlerdir. Afyonkarahisar ili, termal-kaplıca turizmi ile termal turizmin başkenti olarak ele alınmakta (Çetin, 2010, s. 156), kara ve demiryolu ulaşım ağlarının oldukça elverişli olması sebebiyle yerel düzeyde hizmet vermektedir (Taş, 2012, s. 140). Kütahya, jeotermal kaynakları açısından Türkiye'nin en zengin illerinden olmakla birlikte yeterli turizm ivmesi sağlayamamış (Önder, Özçelik & Odabaşı, 2010, s. 49), bölgede açılan Zafer Havalimanı ile turizm potansiyelini artırabilme gücü olan şehirlerden biridir.

(Şapıcılar & İlyasov, 2021, s. 39). Yerel turizm açısından desteklenen bu şehirlere, Zafer Havalimanı yabancı turist çekmek ve bölge ekonomisine katkıda bulunmak hedeflenmiştir.

Türkiye’de havalimanlarında havacılık faaliyetlerine yönelik araştırmalar her yıl Devlet Havalimanları Faaliyet Raporlarında yayınlanmaktadır. 2023 yılı faaliyet raporunda Türkiye’de sivil uçak trafiğine açık 58 havalimanı değerlendirmeye alınmıştır. Buna göre 58 havalimanına iniş-kalkış yapan uçak sayısı; iç hatlarda 869.404, dış hatlarda ise 816.473 olmak üzere toplam 1.685.877 olmuştur. Uçak şemasında bir önceki yıla göre %13,3 oranında bir artış gözlemlenmiştir. 2023 yılında iç hat %10,6, dış hat ise %16,2 oranındadır. 2023 yılında toplam uçak sayısı içindeki iç hat uçak sayısının payı %52’dir. Zafer Havalimanı uçak trafiğinin 2019-2023 yılları arasında iç hat ve dış hat uçak trafiği Tablo 3’te gösterilmektedir (DHMİ, 2024).

Tablo 3. Zafer Havalimanı 2019-2023 Uçak Trafiği

Yıl	İç Hat	Dış Hat	Toplam	Değişim (Yüzde)
2019	664	229	893	-
2020	362	74	436	51,17
2021	639	48	687	57,56
2022	1.204	269	1.473	114,41
2023	5.144	438	5.582	278,95

2019 yılının son çeyreğinde ortaya çıkan ve kısa sürede tüm dünyayı etkileyen Covid-19 pandemisi, seyahat pazarı için arz ve talep zincirindeki kesintiler nedeniyle dünya çapında bir ekonomik düşüş dalgası başlatmıştır. Bu düşüşün büyük havalimanlarına göre bölge havalimanlarını daha çok etkilediği bilinmektedir. Salgın sebebiyle, havacılık endüstrisinde tüm faaliyet alanlarında ve endüstri ile ilişkili nerdeyse tüm sektörlerde iş kayıpları olmuş; sonucunda bu durumun sektöre yansması yolcu ve kargo gelirleri başta olmak üzere, yolcu biletlerinin iadesi, artan sabit maliyetler ve yerde duran uçakların park ücretlerindeki gider artışları vb. olmuştur (Nhamo vd., 2020, s. 89). Salgının Zafer Havalimanı’nda görülen etkileriyle Tablo 3’te görüldüğü gibi 2020 yılında uçak trafiği bir önceki yıla göre nerdeyse yarı yarıya düşüş yaşanmıştır ve %51,17 azalış görülmektedir. Salgın sonrası normalleşme süreçlerinin küresel anlamda yavaş ilerlemesinden dolayı, 2021 yılında iç hat uçak trafiği artış görülmesine rağmen, dış hat uçuşlarında düşüş görülmektedir. Bir önceki yıla göre toplamda %57,56 artış gözlemlenmektedir. 2022 yılı itibariyle uçak trafiğinde ciddi bir artış görülmektedir. Bir önceki yıla göre toplam uçuş sayısında %114,41 artış görülmektedir. Bu oran 2023 yılında daha da artarak %278,95 olarak tespit edilmiştir.

DHMİ 2023 Faaliyet Raporu’na göre 2023 yılında “iç hat yük (kargo+posta+bagaj) trafiği %7; dış hat yük (kargo+posta+bagaj) trafiği ise %6,8 oranında artmıştır”. Rapora göre Zafer Havalimanı yolcu trafiği Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Zafer Havalimanı 2019-2023 Yolcu Trafiği

Yıl	İç Hat	Dış Hat	Toplam	Değişim (Yüzde)
2019	57.741	24.285	82.026	-
2020	9.605	7.040	16.645	79,7
2021	18.615	4.314	22.929	37,75
2022	28.723	28.374	57.097	149,01
2023	36.986	48.776	85.762	50,20

Covid-19 pandemisi sebebiyle 2020 yılında yolcu trafiğinde %79,7 düşüş yaşanmıştır. 2021 yılı itibariyle ise bir önceki yıla göre yolcu trafiğinde artış başlamış, 2022 yılında %149,01 artış görülürken, 2023 yılında bir önceki yıla göre %50,20 artış görülmektedir.

2023 yılında Türkiye geneli “57 havalimanının, 838.757 tonu iç hat ve 3.609.108 tonu dış hat olmak üzere, toplam 4.447.865 ton yük (kargo+posta+bagaj) trafiği gerçekleşmiş olup, önceki yıla göre %6,8’lik bir artış gerçekleşmiştir”. Zafer Havalimanı’na ait yük trafiği ise Tablo 5’te gösterilmektedir.

Tablo 5. Zafer Havalimanı 2019-2023 Yük Trafığı – Ton (Kargo+Posta+Bagaj)

Yıl	İç Hat	Dış Hat	Toplam	Değişim (Yüzde)
2019	486	534	1.020	-
2020	81	157	238	76,66
2021	182	85	267	12,18
2022	266	517	782	192,88
2023	335	983	1.318	68,54

2019 yılında 1.020 ton olan toplam yük trafiğinin, 2020 yılında tüm dünyayı etkisi altına alan salgın sebebiyle 238 ton olduğu görülmektedir. Bir diğer ifadeyle %76,66 oranında bir düşüş görülmektedir. 2021’de başlayan normalleşme sürecinde, bir önceki yıla ciddi bir artış görülmemektedir. 2022 yılında ise bir önceki yıla göre %192,88 artış görülmektedir. 2023 yılında yük trafiği, bir önceki yıla göre artmaya devam etmiştir.

4.1.1. Kütahya Zafer Uluslararası Havalimanı’nın sürdürülebilir kalkınmaya muhtemel etkileri

Havalimanlarının bölgeye olan katkıları açısından Kütahya Zafer Uluslararası Havalimanı’nın ticari yatırımlarda artış, bölge ekonomisine katkısı, lojistik altyapının gelişimi, turizm faaliyetlerinde artış ve istihdama katkısı açısından TR33 bölgesinde sürdürülebilir kalkınmaya etkileri olmuştur. Zafer Havalimanı inşaatı başladığı günden itibaren bölgeye istihdam sağlamaya başlamıştır. Havaalanı inşaatı ve işletmesi, inşaat işçiliğinden hizmet sektörüne kadar geniş bir iş gücü talebine yol açmıştır. İnşaatın başladığı günden itibaren bölgeye yapılan yatırımların, özellikle de termal tesislerin sayısında artış olmuştur. Havalimanında görevlendirilen personel ve yeni açılan termal tesislerdeki personeller bölge halkının kalkınmasına dolayısıyla bölgenin kalkınmasına yardımcı olmuştur (Uçar & Akman, 2019). Zafer Havalimanının geleceğine yönelik toplantıların yapılması, ekonomik gelişme adına önemli bir adım olarak ifade edilirken, havalimanı bağlantı yollarının genişletilerek kaliteli bir kara ulaşımına sahip olunması da bölgenin gelişmesinde ve refah seviyesinin yükselmesinde etkili olmuştur (Zafer Kalkınma Ajansı, 2016, s. 90).

Zafer Bölgesel Havalimanı’nın kullanımı açıldığı yıldan itibaren hızla artmaktadır. Tüm dünyada sektörü aynı anda olumsuz etkileyen Covid-19 pandemisine rağmen, iç hat ve dış hat yolcu ve yük taşımacılığında artış devam etmiştir. Bölgeyi temsil eden ulusal süreçler ve hızlı tren projeleri, yeni karayolu yapım çalışmaları ve önerilen programlar gibi farklı yatırımlar göz önünde bulundurulabildiği, Zafer Havalimanı’ndaki kullanımın artırılacağı belirtilir. Havalimanı’nın hızlı tren-otayol ve konvansiyonel demiryolu entegrasyonlarının sağlanması ile bölgenin sürdürülebilir kalkınmasında oldukça önemli adımların atılabileceği öne sürülebilir (Zafer Kalkınma Ajansı, 2016, s. 91).

4.2. Uşak Havalimanı

1998 yılında hizmete açılan Uşak Havalimanı, geçmişten günümüze belirli dönemlerde uçuşlara kapatılmış ve belirli dönemlerde tekrar açılmıştır. Açıldığı yıldan itibaren 2001 yılına kadar hizmet veren ve Bakanlar Kurulu’nun 16.10.2001 tarihli “Kuruluşlarca 2002 yılında alınacak ilave tasarruf tedbirleri” konulu talimatları doğrultusunda zarar ettiği gerekçesiyle 31.01.2002 tarihi itibarıyla kapatılan Uşak havalimanı (Karaca, 2015, s. 27), 2006 yılında tekrar açılmış ve uçuşlara başlanmıştır. Yolcu azlığı nedeniyle 2006 yılından 2011 yılına kadar tekrar kapatılan havalimanı, 2014 yılına kadar tarifeli uçuşlara kapatılmıştır (Doğanay & Deniz, 2014, s. 15). 2012 yılında Zafer Havalimanı’nın hizmete açılması nedeniyle uçuşları durdurulan, 2012 ve 2013 yıllarında hizmet dışında bırakılan havalimanı, yerel halkın baskısı sebebiyle 2014 yılından itibaren tekrar uçuşlara açılmıştır (Karaca, 2015, s. 45). ICAO kodu LTQB, IATA kodu USQ ve şehir merkezine uzaklığı 7 kilometredir. Havalimanı’nın teknik bilgileri Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. Uşak Havalimanı Teknik Bilgileri

İşletici	Devlet Hava Meydanları İşletmesi
Pist Sayısı	1
Pist Uzunluğu	2.560 m X 45m
Apron Kapasite	1 Uçak/saat
Toplam Terminal Alanı	1.460 m ²

2014 yılı öncesinde tarifersiz uçuşların yapıldığı Uşak havalimanının yurtdışı uçuşlarda pek kullanılmadığı; 2007–2012 yılları arasını içeren dönemde dış hatlara sadece 28 uçuş yapıldığı görülmektedir. Bu uçuşların da “charter flight”

olarak adlandırılan tarifesiz uçuşlar şeklinde olduğu, çoğunlukla Uşak iline özel amaçlı ya da sağlık amaçlı seyahatler ile organize sanayi bölgelerinde faaliyet gösteren firmalar ile ticaret amacıyla yapıldığı ifade edilmektedir (Doğanay & Deniz, 2014, s. 17). 2014 yılından itibaren Uşak Havalimanı ve İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı arasında karşılıklı seferler düzenlenmeye başlanmıştır. 2014 ve 2015 yıllarında havalimanına yapılan uçuşlar incelendiğinde, havalimanının kapasitesini yeterli kullanmadığı görülmektedir (Yalçın, 2018, s. 100).

Devlet Havalimanları 2023 Faaliyet Raporu verilerine göre, Türkiye genelinde sivil ticari uçak trafiğine açık 57 havalimanına inen-kalkan uçak trafiği bulunmaktadır ve bu havalimanları arasında Uşak Havalimanı 2023 yılında toplam trafiği 5.771'dir. Uşak Havalimanı uçak trafiğinin 2019-2023 yılları arasında iç hat ve dış hat uçak trafiği Tablo 7'de gösterilmektedir (DHMİ, 2024).

Tablo 7. Uşak Havalimanı 2019-2023 Uçak Trafiği

Yıl	İç Hat	Dış Hat	Toplam	Değişim (Yüzde)
2019	6.704	9	6.713	-
2020	6.861	11	6.872	2,36
2021	5.400	11	5.411	21,26
2022	6.016	20	6.036	11,55
2023	5.768	3	5.771	4,39

Covid-19 pandemisi 2019 yılının son çeyreğinde ortaya çıkması, 2020 yılında havacılık endüstrisinde dünyada ilk kez görülmemiş küresel bir etki yaratmıştır. Salgın, dünya çapında seyahat ve turizm endüstrisi üzerinde yıkıcı bir etkiye sebep olmuştur (Dube, 2022, s. 1). Bu etki, Uşak Havalimanı'nda 2020 yılı yolcu trafiğinde görülmektedir. Tablo 8'de görüldüğü gibi 2020 yılında yolcu trafiğinde bir önceki yıla göre azalma görülmektedir. 2020 yılı sonrasında uçuşlarda ciddi azalma görülürken (%99,30 düşüş), 2022 yılında yolcu trafiği tamamen durmuştur. Salgın sonrasında sektörün toparlanmasında tüm havacılık işletmeleri farklı stratejik kararlar vermiştir ve bunlardan biri de yolcu sayısı yüksek olmayan bölgelere uçuşların yapılmamasıdır. Buradan hareketle, Uşak Havalimanı'nda yolcu sayısı azlığından dolayı havayolu şirketlerinin bölgeye uçuş yapmadığını ifade etmek mümkündür. 2023 yılında ise havalimanının toplam 56 yolcu kullanmıştır.

Tablo 8. Uşak Havalimanı 2019-2023 Yılı Yolcu Trafiği

Yıl	İç Hat	Dış Hat	Toplam	Değişim (Yüzde)
2019	27.475	508	27.983	-
2020	6.792	708	7.500	73,19
2021	52	-	52	99,30
2022	-	-	-	-
2023	30	26	56	-

2023 yılında Türkiye genelinde "57 havalimanında toplam 4.447.865 ton yük (kargo+posta+bagaj) trafiği gerçekleşmiştir". Uşak Havalimanı'na ait yük trafiği ise Tablo 9'da gösterilmektedir. Uşak Havalimanı yük trafiği Covid-19 pandemisi sonrasında düşüş ile karşılaşmış (%99,84 düşüş) ve 2022 yılında uçuşların durdurulmasıyla yük trafiği de durmuştur.

Tablo 9. Uşak Havalimanı 2019-2022 Yük Trafiği – Ton (Kargo+Posta+Bagaj)

Yıl	İç Hat	Dış Hat	Toplam	Değişim (Yüzde)
2019	197	12	209	-
2020	51	13	64	69,37
2021	0,1	-	0,1	99,84
2022	-	-	-	-
2023	0,5	0,2	1	-

4.2.1. Uşak Havalimanı'nın sürdürülebilir kalkınmaya muhtemel etkileri

TR33 Bölgesinde yer alan Uşak ili 1966 yılında Ankara ve İzmir şehirleri arasında devlet karayolu tamamlanması ile kentsel gelişme görünür bir şekilde başlamış ve bu gelişme 1980 yılında hızlı bir ivme kazanmıştır (Adıgüzel & Balta, 2021, s. 20). Gelişen ve büyüyen bir il olarak aldığı göçler, öğrenci sayısındaki artış ilin nüfusunu artırmıştır.

Uşak'ta ulaşım sorunlarının çözümü için günümüz şartlarında raylı sistem uygulamaları kullanılmaktadır (Kara, 2019, s. 59). Bir diğer ulaşım modu hava yolu taşımacılığıdır. Yolcu taleplerinin göre değişkenlik gösterdiği ifade edilerek, kurulduğu yıldan bu yana bir açılan bir kapatılan Uşak Havalimanı, 2014 yılında tarifeli seferlerin başlamasıyla bölgeye katkı sağlanacağı düşünülmüştür. Ancak 2019 yılında görülen Covid-19 pandemisi ile uçuşların tekrar durdurulduğu havalimanı, bölgenin sürdürülebilir kalkınmasına yönelik tartışmalara yol açmıştır.

Açıldığı yıldan itibaren çok kez uçuşları durdurulan Uşak Havalimanı, ciddi bir problem olarak Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde soru önergesi olarak verilmiştir (Araslı, 2023). Zafer Havalimanı açıldığı için kapatıldığı ifade edilen Uşak Havalimanı'nın yolcu uçuşlarına açılması kent için ciddi bir prestijdir. Ancak havalimanının uçuşlara açılması ve tekrar kapanması sorunu sürekli yaşanmaya devam etmektedir. Problemlerin çözümünde havalimanı için önerilen stratejilerden biri 'stokaj havalimanı projesinin' uygulanması konusudur. Stokaj havalimanı projesi, uzun süre havalimanında kalan uçakların durumuyla ilgilenmek anlamına gelmektedir. Bir diğer ifadeyle, bir haftadan daha uzun bir süre meydana kalacak uçakların bakım, onarım işlemlerini yapmak ve olası el konulmuş bir uçak olması durumunda da uçağın hukuki ve mali işlemleri ile ilgilenmektir (Airport, 2023). Stokaj işlemi Covid-19 pandemi döneminde operasyondan çekilmek zorunda kalınan Türk Hava Yolları Anonim Ortaklığı (THY A.O.) uçaklarında uygulanmıştır. Havalimanında bekleyen uçaklara stokaj alma işlemleri yapılmıştır. Stokaj esnasında periyodik kontrol bakım kartları yayınlanmış, kartların uygulanması esnasında bakım birimlerinin karşılaştıkları zorluklar için uçak ve motor imalatçıları ile koordineli olarak çözümler geliştirilmiştir. Uçakların sefere verilebilmesi için stokajdan çıkarma kartları yayınlanmıştır. Süreç boyunca uçak imalatçıların, havacılık otoritelerin ve diğer havacılık üst kuruluşlarının tavsiyeleri yakından takip edilerek gerekli tedbirler alınmıştır. Sefere verilen uçakların planlı bakım işlemlerinin ötelenebilmesi konusunda imalatçı yayınları ve Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü genelgelerine uygun şekilde mühendislik ve planlama çalışmaları yapılmıştır (Turkish Technic, 2021, s. 42). Uşak Havalimanı için stokaj projesi, bölgedeki yerel yönetimler ve halk tarafından istenmemektedir (Uşakolay, 2023).

Uşak Havalimanı'na yönelik havacılık faaliyetlerinin artırılması, bölgeye yapılacak yatırımlarda ve bölgenin sürdürülebilir kalkınmasında etkisi olacağı düşünülmektedir. Ancak bu durumun sürdürülebilirliğinin sağlanacağını garantileyen herhangi bir çalışma görülmemektedir. Bu doğrultuda başta Uşak Havalimanı işletmecisi olmak üzere, havacılık paydaşları ve ilgili kalkınma ajansları ile çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir. Tüm bu sonuçlardan hareketle, Uşak Havalimanı'nda istikrarlı uçuşlar sağlanması ve havalimanının diğer tüm sektörleri destekleyeceği ve böylece TR33 bölgesinin sürdürülebilir kalkınmasında önemli rol oynayacağı değerlendirilmektedir.

5. SONUÇ

Sürdürülebilir kalkınma gelecekteki ekonomik, sosyal, kültürel, çevresel, teknolojik kalkınma için temel bir ihtiyaçtır ve günümüzde havacılık endüstrisinin temel konusu olarak ele alınmaktadır. Hava taşımacılığı, malların hızlı ve güvenli taşınması, uluslararası ticaretin artması için önemli bir altyapıdır ve bölge taşımacılığının geliştirilmesi, bölgeye olan nüfus hareketliliğinin artması, ticaretin canlanması ve sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlaması açısından etkilidir. Bu doğrultuda Türkiye'de TR33 bölgesinde havacılık faaliyetleri, bölgede sivil uçuşların başlatılabilmesi için açılan havalimanları ile başlamıştır. Ancak açıldıkları tarihlerden beri havalimanlarının yolcu talepleri öne sürülerek tam faaliyete geçememesi, üstüne 2019 yılında sektörü durma noktasına getiren Covid-19 pandemisi ile geleceğe dönük belirsizliklerin artması ve günümüzde bu havalimanlarına yönelik ciddi stratejik planların uygulanamaması, bölgenin sürdürülebilir kalkınmasında beklenen etkiyi göstermediğini ortaya koymaktadır.

TR33 bölgesinde, sivil hava taşımacılığı yaparken uçuşları durdurulan ve askeri havalimanı olan Afyon Havalimanı, ticari uçuşlara bir açılıp bir kapatılan Uşak Havalimanı ve Türkiye'nin ilk bölgesel havalimanı olarak beklenen ivmeyi kazanamayan Zafer Havalimanı bulunmaktadır. Bölgenin ulaşım altyapısının güçlü olması, diğer bölgelerle bağlantısında önemli ticaret noktası olması, turizm açısından potansiyelinin bulunması ve gün geçtikçe göç alan bir bölge olması sebebiyle, bölgedeki havalimanlarında uçuşların sürekliliğinin sağlanması ve uçuş sayılarının artırılması, bölgenin cazibesini artırabileceği ve sürdürülebilir kalkınmada önemli bir rol oynayabileceği ifade edilebilir.

TR33 bölgesinde havacılık faaliyetlerinin artırılmasına yönelik yapılacak faaliyetlerde talep yetersizliğini ortadan kaldırabilmek adına, yerel yönetimlerin bölgede stratejik sürdürülebilir kalkınma planları doğrultusunda havacılık işletmeleri ile birlikte kararlar almaları gerekmektedir. Örnek olarak yerel yönetimlerin bölgedeki ticaret ve turizm faaliyetlerinin canlandırılması adına çalışmalarını sürdürürken, havacılık işletmelerinin bölgeye gerçekleştirilecek uçuşlarda istikrarlı olmaları sağlanmalıdır.

TR33 bölgesinde yer alan havalimanlarının bölgeye katkılarını artırabilmek için altyapı yatırımları yeterlidir; ancak stratejik planların yapılması ve uygulanması büyük bir zorunluluk olarak görülmektedir. Bu doğrultuda hedef odaklı uçuş planlamalarının yapılması, bir diğer ifadeyle sezona yönelik uçuşlar planlanabilir. Özellikle sezonun yoğun olduğu dönemlerde havayolu şirketlerine iniş-kalkış, yer hizmetleri, yakıt gibi alanlarda indirim veya teşvik sağlanması mümkündür. Bölgede uçuş okulu, bakım-onarım merkezi (MRO), hava ambulans hizmeti gibi alternatif kullanım olanaklarının geliştirilmesi, havalimanlarının kullanılması açısından etkili olabileceği düşünülmektedir.

Bölgede yer alan iki sivil havalimanının faaliyetlerinin artırılması, yurt dışı ve metropol bağlantılarının geliştirilmesi açısından önemlidir. Bu bağlantıların geliştirilmesi, bölgenin sürdürülebilir kalkınmasına doğrudan katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Uşak Havalimanı'nın yıl boyunca faaliyette olması, Zafer Havalimanı'nda ise uçuş yapılan nokta sayısının artırılması ile yeni firmaların ve hizmetlerin bölgeye çekilebilir. Bu doğrultuda, TR33 bölgesinde gerçekleştirilen havacılık faaliyetlerinin, bir diğer ifadeyle havacılık sektörünün, bölgenin sürdürülebilir kalkınmasında etkili olabileceği beklenebilir.

ETİK BEYAN & GENEL AÇIKLAMALAR

Bu makale araştırma ve yayın etiği standartlarını karşılamaktadır.

YAZARLARIN KATKILARI

Tüm yazarlar makalenin son halini okumuştur ve onaylamıştır.

FON

Söz konusu değildir.

VERİ VE MALZEME MÜSAİTLİĞİ

Söz konusu değildir.

ÇIKAR ÇATIŞMALARI

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmalarının bulunmadığını belirtmektedir.

KAYNAKÇA

- Adıgüzel, F., & Balta, M. Ö. (2021). Covid-19 sürecinde kentsel açık ve yeşil alan erişilebilirliği: Uşak kenti örneği. *Türk Coğrafya Dergisi*, (79), s. 17-24. doi:10.17211/tcd.993130
- Airport Haber (2023). Uşak Havalimanı stokaj havalimanı mı oluyor?. 23.10.2024 tarihinde <https://www.airporthaber2.com/havacilik-haberleri/usak-havalimani-stokaj-havalimani-mi-oluyor.html> adresinden edinilmiştir.
- Araslı, A. (2023). Stokaj havalimanı, Uşak'a ne gibi bir yarar sağlar? 2 Kasım 2024 tarihinde <https://www.usakport.com/stokaj-havalimani-usaka-ne-gibi-bir-yarar-saglar> adresinden edinilmiştir.
- Araslı, A. (2025). Uşak Havalimanı, bilet almayan kurumlar yüzünden kapalı. <https://www.usakport.com.tr/usak-havalimani-bilet-almayan-kurumlar-yuzunden-kapali>.
- Battal, Ü., Yılmaz, H., & Ateş, S. S. (2006). Türkiye'de iç hatlarda serbestleşme ve geleceği. In *Conference Paper Presented on Kayseri VI. Havacılık Sempozyumu*.
- Busetto, L., Wick, W., & Gumbinger, C. (2020). How to use and assess qualitative research methods. *Neurological Research and practice*, 2(1), s. 14. doi:10.1186/s42466-020-00059-z
- Chourasia, A. S., Jha, K., & Dalei, N. N. (2021). Development and planning of sustainable airports. *Journal of Public Affairs*, 21(1), e2145. doi:10.1002/pa.2145
- Çetin, T. (2010). Termal Turizmin Başkenti Afyonkarahisar, Beyazkalem Yayıncılık, Ankara.
- Dayar, H., & Sandalcı, U. (2016). Yatırım teşviklerinin göçler üzerindeki etkisi: TR33 bölgesi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 5(7), s. 2041-2064.

- Deveci, M., Çiftçi, M. E., Akyurt, İ. Z., & Gonzalez, E. D. S. (2022). Impact of Covid-19 pandemic on the Turkish civil aviation industry. *Sustainable Operations and Computers*, 3, s. 93-102. doi:10.1016/j.susoc.2021.11.002
- Dhahri, S., & Omri, A. (2018). Entrepreneurship contribution to the three pillars of sustainable development: What does the evidence really say?. *World Development*, 106, s. 64-77. doi:10.1016/j.worlddev.2018.01.008
- DHİMİ-Devlet Hava Meydanları İşletmesi (2024). Faaliyet Raporu 2023. <https://www.dhmi.gov.tr/Lists/FaaliyetRaporlari/Attachments/24/Faaliyet-Raporu-2023.pdf>.
- Doğanay, H., & Deniz, M. (2014). Ulaşım sistemleri ve Uşak. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 19(32), s. 1-26. doi:10.17295/dcd.71556
- Dube, K. (2023). Emerging from the Covid-19 pandemic: aviation recovery, challenges and opportunities. *Aerospace*, 10(1), s. 19. doi:10.3390/aerospace10010019
- Dube, K., Nhamo, G., & Chikodzi, D. (2021). Covid-19 pandemic and prospects for recovery of the global aviation industry. *Journal of Air Transport Management*, 92, 102022. doi:10.1016/j.jairtraman.2021.102022
- Gökdalay, M. H., & Köse, Y. (2021). Havalimanı özelleştirmesi ve değerlemesi: Türkiye'de bulunan çeşitli sivil havalimanları üzerinde ampirik bir inceleme. *Third Sector Social Economic Review*, 56(4), s. 2246-2259. doi:10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.21.10.1664
- Guarte, J. M., & Barrios, E. B. (2006). Estimation under purposive sampling. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 35(2), s. 277-284. doi:10.1080/03610910600591610
- Gürlük, S. (2010). Sürdürülebilir kalkınma gelişmekte olan ülkelerde uygulanabilir mi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 5(2), s. 85-99.
- Halpern, N., & Bräthen, S. (2011). Impact of airports on regional accessibility and social development. *Journal of Transport Geography*, 19(6), s. 1145-1154. doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.11.006
- İhlas Haber Ajansı (2024). Kütahya'lı iş adamları Zafer Havalimanı'nın siyasete alet edilmemesini istiyor. <https://www.ihb.com.tr/kutahya-haberleri/kutahyali-is-adamlari-zafer-havalimaninin-siyasete-alet-edilmemesini-istiyor-165953331>
- Jabareen, Y. (2008). A new conceptual framework for sustainable development. *Environment, Development and Sustainability*, 10, s. 179-192. doi:10.1007/s10668-006-9058-z
- Jovovic, R., Draskovic, M., Delibasic, M., & Jovovic, M. (2017). The concept of sustainable regional development—institutional aspects, policies and prospects. *Journal of International Studies*, 10(1). doi:10.14254/2071-8330.2017/10- 1/18
- Kara, İ. (2019). Uşak Tramvay Projesi Batı Hattının (Üniversite-Dört Yol) İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Uşak, Türkiye.
- Karaca, A. D. (2015). Türkiye'de Hava yolu Ulaşımında Havaalanlarının Yeri ve Çevresel Etkileri: Sabiha Gökçen Havalimanı Örneği. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı. İstanbul, Türkiye.
- Keskin, M. (2023). Türkiye'deki kalkınma planlarının bölgesel kalkınma perspektifinden değerlendirilmesi. *Ekonomi İşletme ve Maliye Araştırmaları Dergisi*, 5(1), s. 1-24.
- Köker, U., Kuruca, H. İ., & Sulukan, E. (2018). Developing the business as usual scenario for TR-33 region with energyPLAN. *8.Uluslararası 100 Yenilenebilir Enerji Konferansı (IRENEC 2018)*, s. 56-62.
- Meydan, B. (2025). Sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında TR33 bölgesi illerinin performanslarının TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27(Özel Sayı), s. 227-249.
- Moran, D. D., Wackernagel, M., Kitzes, J. A., Goldfinger, S. H., & Boutaud, A. (2008). Measuring sustainable development—Nation by nation. *Ecological Economics*, 64(3), s. 470-474. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.08.017>
- Munasinghe, M. (2009). Sustainable development in practice. New York: Cambridge.
- Nhamo, G., Dube, K., Chikodzi, D., Nhamo, G., Dube, K., & Chikodzi, D. (2020). Covid-19 and implications for the aviation sector: A global perspective. *Counting the cost of Covid-19 on the global tourism industry*, s. 89-107.
- Oduncu, B. T. (2025). Sürdürülebilir enerji politikaları: Küresel hedeflerden yerel uygulamalara TR33 bölgesi üzerine bir analiz. *Uluslararası Sosyal Siyasal ve Mali Araştırmalar Dergisi*, 5(1), s. 94-117.
- Olariaga, O. D. (2021). The role of regional airports in connectivity and regional development. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 49(4), s. 394-406. <https://doi.org/10.3311/PPTr.16557>

- Uçar, T., & Akman, Ç. (2019). Türkiye’de havayolu ulaşım sektöründe kamu özel ortaklığı: Özel ve kamu işletmesindeki iki havalimanı karşılaştırması. *Ekev Akademi Dergisi*, (78), s. 523-552.
- Uşakolay (2023). Uşak Belediye Başkanı Yalım: Stokaj Havalimanı’na Karşıyız. 12 Kasım 2024 tarihinde <https://www.usakolay.com/usak-belediye-baskani-yalim-stokaj-havalimanina-karsiyiz> adresinden edinilmiştir.
- Utikad (2012). İlk bölgesel havalimanı açıldı. 30 Ekim 2024 tarihinde <https://www.utikad.org.tr/Detay/Sektor-Haberleri/10460/ilk-bolgesel-havalimani-acildi> adresinden edinilmiştir.
- Voyer, M., Gollan, N., Barclay, K., & Gladstone, W. (2015). ‘It’s part of me’; understanding the values, images and principles of coastal users and their influence on the social acceptability of MPAs. *Marine Policy*, 52, s. 93-102.
- Walker, S., & Cook, M. (2009). The contested concept of sustainable aviation. *Sustainable Development*, 17(6), s. 378-390. <https://doi.org/10.1002/sd.400>
- Wang, L., Xue, X., Zhao, Z., & Wang, Z. (2018). The impacts of transportation infrastructure on sustainable development: Emerging trends and challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6), s. 1172. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061172>
- Wang, Z., & Song, W. K. (2020). Sustainable airport development with performance evaluation forecasts: A case study of 12 Asian airports. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101925. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101925>
- Yalçın, E. (2018). Stokastik sınır analizi ile havalimanlarının etkinliklerinin ölçülmesi: Türkiye örneği. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 15(42), s. 82-105.
- Yeni, O. (2014). Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınma: Bir yazın taraması. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(3), s. 181-208.
- Yıldırım, T., & Karaaslan, A. (2015). Türkiye’de refah devleti uygulamalarının TR33 Bölgesi özelinde değerlendirilmesi. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2), s. 39-56.
- Yılmaz, F. (2020). Türkiye’de sivil havacılık sektörünün tarihsel gelişimi ve 2003-2018 yılları arasında sektörün değerlendirilmesi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(1), s. 113-129.
- Yılmaz, M., Göktürk İ., & Kök, D. (2007). Kahramanmaraş’ta 1980 sonrası tarım ve sanayi politikalarının içgöç ve kentsel işgücü piyasası üzerine etkileri. *Selçuk Üniversitesi Karaman İ.İ.B.F. Dergisi*, (12).
- Zafer Kalkınma Ajansı (2013). TR33 Bölgesi’nin Üretim Yapısının ve Düzeyinin Tespiti ve Analizi.
- Zafer Kalkınma Ajansı (2016). TR33 Bölgesi 2014-2023 Bölge Planı. 978-605-66225-1-91. Basım, Ankara.
- Zafer Kalkınma Ajansı (2016). TR33 Bölgesi Mevcut Durum Analizi. 978-605-66225-0-2, Basım, Ankara.
- Zafer Kalkınma Ajansı (2025). TR33 Düzey 2 Bölgesi Bölge Planı 2024-2028. <https://dokuman.zafer.gov.tr/uiassets/filemanagement/FAAL%C4%B0YETLER/Planlama/TR33%20B%C3%B6lgesi%20B%C3%B6lge%20Plan%C4%B1/TR33BolgePlani2024-2028.pdf>.



Research Paper

Women in aircraft maintenance: A gender analysis in aircraft maintenance training

Sıla Kale¹, Tanık Güneş² and Birsen Açikel³

Abstract. An aircraft maintenance training is provided through vocational courses and higher education institutions in Türkiye, as it is worldwide. In Türkiye, various institutions, including the Faculty of Aviation and Astronautics, Aviation Vocational High Schools, Civil Aviation Colleges, and university-affiliated Vocational Schools, provide aircraft maintenance training. Technicians in mechanical and avionics fields are trained through these programs. University-level departments such as Airframe and Engine Maintenance, Aircraft Maintenance and Repair, Aviation Electrics and Electronics, and Aircraft Technology provide curricula aligned with industry requirements and international standards. One of the challenges faced in the aviation industry is the recruitment and participation of women in technical roles. Statistical data clearly reveals a significant gender imbalance in the aviation workforce, with women representation markedly lower than that of males. The gender imbalance is even more pronounced in the aircraft maintenance industry, where women remain significantly underrepresented in technical positions. This underrepresentation also extends to other areas of the aviation industry, including roles such as pilots, flight attendants, and air traffic controllers. This study aims to examine the enrollment trends of women students in aircraft maintenance departments at universities in Türkiye. Therefore, the study employs quantitative and descriptive research design. Enrollment data from aircraft maintenance departments at universities in Türkiye was collected between 2020 and 2024 and analyzed using frequency and percentage distributions to examine gender-based trends. The findings indicate that women enroll in these departments at significantly lower rates than their male counterparts, and that there is a persistent gender gap in technical aviation education.

Keywords: Aircraft maintenance, maintenance technician, maintenance education, women in aviation.

Araştırma Makalesi

Hava aracı bakımında kadınlar: Hava aracı bakım eğitiminde cinsiyet analizi

Öz. Uçak bakım eğitimi, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de mesleki kurslar ve yükseköğretim kurumları aracılığıyla verilmektedir. Türkiye’de Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakülteleri, Havacılık Meslek Liseleri, Sivil Havacılık Yüksekokulları ve üniversitelere bağlı Meslek Yüksekokulları gibi çeşitli kurumlar uçak bakım eğitimi sunmaktadır. Bu programlar aracılığıyla mekanik ve aviyonik alanlarda teknisyenler yetiştirilmektedir. Gövde-Motor Bakım, Uçak Bakım ve Onarımı, Havacılık Elektrik ve Elektronik ile Uçak Teknolojisi gibi üniversite düzeyindeki bölümler, sektör ihtiyaçları ve uluslararası standartlarla uyumlu müfredatlar sunmaktadır. Havacılık sektörünün karşılaştığı önemli zorluklardan biri, teknik alanlarda kadınların istihdamı ve bu alanlara katılımının artırılmasıdır. İstatistikî veriler, havacılık iş gücünde ciddi bir cinsiyet dengesizliği olduğunu açıkça ortaya koymaktadır; kadınların temsil oranı, erkeklere kıyasla belirgin şekilde düşüktür. Bu durum, pilot, kabin memuru ve hava trafik kontrolörü gibi alanlarda dahi gözlemlenirken, özellikle uçak bakım sektöründe kadınların temsili çok daha sınırlıdır. Bu çalışma, Türkiye’deki üniversitelerin uçak bakım bölümlerine kadın öğrencilerin kayıt eğilimlerini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda çalışma, nicel ve betimsel bir araştırma deseni benimsemektedir. Türkiye’deki üniversitelerin uçak bakım bölümlerinden 2020-2024 yılları arasındaki kayıt verileri toplanmış ve cinsiyete dayalı eğilimleri analiz etmek amacıyla frekans ve yüzde dağılımları kullanılmıştır. Bulgular, bu bölümlere kadın öğrencilerin erkek öğrencilere kıyasla belirgin biçimde daha düşük oranlarda kayıt yaptırıldığını ve teknik havacılık eğitiminde kalıcı bir cinsiyet farkının varlığını sürdürdüğünü ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Uçak bakımı, bakım teknisyeni, bakım eğitimi, havacılıkta kadın.

¹ Aviation Electric and Electronics Department, İstanbul Nişantaşı University, 34000, İstanbul, Türkiye; sila.kale@nisantasi.edu.tr (Corresponding Author)

² İskenderun Technical University, 31200, Hatay, Türkiye; tarikgunesand@gmail.com

³ Electronics and Automation Department, Eskişehir Technical University, 02640, Eskişehir, Türkiye; birsena@eskisehir.edu.tr

<https://doi.org/10.52995/jass.1721912>

Received: June 18, 2025; Accepted: August 5, 2025; Published: August 31, 2025

© 2025 University of Turkish Aeronautical Association. All rights reserved.

This paper is licensed under [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



1. INTRODUCTION

Aircraft maintenance operations are carried out to ensure that aircraft completes their flights safely and effectively. It must be lowered to prevent problems or malfunctions that may occur before, during, or after the flight. Carrying out aircraft maintenance operations in accordance with the specified rules and order is of great importance for the aircraft to complete the flight safely (Gunes, Turhan, & Yörük Açikel, 2022). An efficient maintenance system is an important factor in achieving the airline's cost objectives. Minimal flight cancellations, delays and air returns to be obtained by the efficient implementation of necessary maintenance will benefit organizations in this way (Van den Bergh, De Bruecker, Beliën, & Peeters, 2013). Maintenance operations are carried out by maintenance technicians in hangars and aprons with expertise and necessary competencies. Some of the competencies that maintenance technicians should have, technical competencies, safety culture, human factors, and English language proficiency.

An examination of job advertisements for maintenance technicians, along with relevant studies, reveals that the number of women employed in the aircraft maintenance industry remains considerably lower than that of men. This is observed despite the understanding that gender should not be regarded as a determinant in recruitment preferences. Increasing the women's workforce in every industry for the welfare of society will positively affect women's employment. The fact that the gender balance in business life is not fully achieved causes women to be weak in terms of workforce in most professions. According to the research, it is seen that the women workforce is insufficient in the aviation industry. When the data is examined, it is seen that the women workforce rate among maintenance technicians and airline managers is less than 5%. This percentage indicates high levels of gender imbalance in the maintenance technician and airline management professions. Among the pilots, the women workforce is between 5% and 10%. The reason for this may be due to the excess of gender imbalance because of seeing maintenance technician and pilot as a masculine job (Lutte, 2019).

Aviation has historically been a male-dominated field. However, it was their sister, Katherine Wright, who encouraged the Wright brothers, who built bicycles and are considered as the beginnings of aviation, to pursue their dream of flying. Although he was the first man to take to the air, it was only five years later that a woman flew the plane. Even though women have been in the aviation industry almost as long as men, it is still a very male-dominated field (Wilson, 2004). Studies have explored factors influencing this gender disparity, revealing that women's perceptions of physical limitations, career appropriateness, work environment safety, social acceptance, and advancement opportunities are interconnected. Men's perspectives on these issues differ significantly from women's, particularly regarding work environment safety and social acceptance (Clark, Newcomer, & Jones, 2018). Interestingly, research shows no statistically significant difference between men and women in most factors influencing the selection of aviation maintenance programs, with both genders citing passion, interest, and aptitude as primary motivators (Habig & Marete, 2023). To address this gender imbalance, exploring effective strategies employed in other STEM fields to attract women may provide valuable insights for enhancing women participation in the aviation maintenance industry (Rouscher, 2021). Ferla and Graham investigated why women are underrepresented in the commercial aviation sector. Interviews and reviews of agency reports revealed that women face various barriers to entry, career advancement, and the workplace. The study highlights the aviation sector's inadequate recruitment and retention of women, which could negatively impact sector growth. It also recommends inclusive policies and supportive practices to increase female employment (Ferla & Graham, 2019). The study "Reshaping Gender in Airline Employment" indicates that gender equality policies in the airline industry are largely limited to the pilot profession, hindering their inclusion in other professional groups. The study's analysis, conducted with a feminist poststructuralist approach, argues that traditional gender roles are strongly present in airline discourse and that more holistic policies encompassing all professions are necessary for organizational transformation (Smith, Cohen, Kimbu, & de Jong, 2021). Newcomer et al. (2018) examined men's perceptions of women's suitability for this field, career advancement opportunities, workplace safety, and social acceptance in aircraft maintenance engineering, one of the professions with the largest employment imbalance among women. Responses from 587 men were analyzed, and significant differences were found between men's and women's perceptions of job security and social acceptance (Newcomer, Clark, Button, & Weiland, 2018). Eitelberg examined the rise of women and minority groups in the military aviation maintenance field. The study addresses the growing role of these groups in military maintenance technicians and evaluates the potential impacts and challenges of this approach (Eitelberg, 1990). According to Boeing data, 649000 pilots, 690000 maintenance technicians and 938000 cabin crew will be needed until 2042. Considering these numbers and the competency expectations of the aviation industry, it is inevitable to develop

women's employment in the aviation industry (Boeing, 2023). Fewer than 20% of aviation employees are women. Occupations with the most significant gender gap in aviation; pilot, maintenance technician and senior management positions. The occupations with the highest gender gap are airline pilots (5%), maintenance technicians (2.6%) and aviation managers (3%). While women constitute 47% of the total workforce in the USA, they constitute 31.4% of the total number of employees in Türkiye (Lutte, 2021), (TSI, 2023). In Turkish civil aviation organizations, the rate of women employees by occupation is 65% in cabin services, 30% in engineers, 3.5% in pilots and 1.7% in maintenance technicians (Directorate of General Civil Aviation, 2018). One of the main concerns regarding the issue is that the proportion of women working in aviation has not changed significantly over time. Although it is pleasing that the total number of women employees holders has increased in the last 60 years, there has been a very small change in the ratio of women to total employees. Over a 60-year period, the percentage of women commercial pilots has changed by about 1% per decade and increased by about 0.5% in maintenance technicians (Lutte, 2021).

According to Federal Aviation Administration (FAA) data, the rate of women employees in 2020 is 79.2% in cabin crew, 19.7% in dispatchers, 16.8% in air traffic controllers, 11.6% in engineers, 5.6% in pilots and flight engineers and it is 2.6% in maintenance technicians (Lutte, 2021). As the results show, the ratio of women employees is the least in maintenance technicians. The five biggest barriers to women working in aviation are; negative culture, cost of entry, family/life/work balance, training-related issues and lack of support (Lutte & Morrison, 2022). In addition, implicit prejudice, discrimination, lack of women in leadership positions, and the need to provide more support to young people are also barriers for women to work in aviation (Lutte, 2021).

According to International Civil Aviation Organization (ICAO) data, as of 2021, only approximately 3% of aircraft maintenance technicians worldwide are women. FAA data shows that the proportion of women in maintenance technicians has reached only 2.6% over the last 60 years, and the increase is very slow (FAA, 2022). It is emphasized that women still face a significant underrepresentation in technical fields other than piloting, with rates remaining around 3% in senior positions (Yanikoğlu, Kılıç, & Küçükönel, 2020). In Türkiye, 32% of technician candidates taking the SHY-66 module exams are in the avionics category, while 68% are in the mechanical category. The overall distribution of licensed technicians is approximately 70% in the A category, 25% in the B1/B2 category, and 3% in the C category. While the study does not specifically focus on gender ratios, it does imply that the proportion of women remains low within candidate profiles (Ateş, Kafalı, & Lik, 2018).

In a study conducted by Neşet Vefa Erden in SHY-145 licensed maintenance organizations in Türkiye, 362 employees were surveyed, examining the effects of manager support on creativity and finding no differences in demographic characteristics, including gender. The study did not examine participation trends by gender (Erden, 2025). Reports from international organizations such as ICAO and EASA address the structure of maintenance technician licensing systems and gender-based participation/data issues (Tyagi, Tripathi, & Bouarfa, 2023). There is no numerical or time-series quantitative analysis based on the proportion of women students in aircraft maintenance training in Türkiye. Studies have addressed topics such as SHY-66 exams and management support, technical competence, or student/exam perception (Ateş, Kafalı, & Lik, 2018), (Erden, 2025).

As can be seen from the results of the research, the rate of women employees working as maintenance technicians is quite low compared to other departments. In order to increase the number of women working as maintenance technicians, it will be necessary to increase the interest of women students in training institutions serving in this field and to make improvements in this sense. In this study, the number of women students studying in aircraft maintenance training departments of higher education institutions serving in Türkiye was analyzed, the analyses were interpreted, and solution suggestions were presented.

2. MATERIALS AND METHODS

Aircraft maintenance technicians are categorized as mechanical maintenance technicians and avionics maintenance technicians. Technicians trained in these relevant categories may be licensed and authorized based on their education and qualifications. Aircraft maintenance training in Türkiye, as in the rest of the world, is provided by university faculties, vocational schools, and vocational schools of higher education. In addition to these, industry-supported vocational courses also provide training for maintenance technicians. The creation and implementation of licensing processes for aircraft maintenance technicians are the responsibility of each member state under the Chicago Convention. In European Union countries, the licensing of maintenance technicians is conducted under the European Union Aviation Safety Agency (EASA) Part 66 regulations. According to EASA Part 66, maintenance

technician licenses are classified into three categories: A, B, and C. These categories are further divided into subcategories according to mechanical, avionics, and aircraft/engine types.

- The Category A license authorizes the technician to perform scheduled line maintenance and simple defect rectification and to issue a maintenance release certificate.
- The Category B1.1 license permits maintenance on aircraft structures, power units, and mechanical systems, and the issuance of a maintenance release certificate.
- The Category B2 license allows maintenance on avionics and electrical systems and the issuance of a maintenance release certificate.
- The Category C license authorizes the issuance of a maintenance release certificate following base maintenance operations (EASA, 2021).

This study focuses on gender-based enrollment trends in university-level aircraft maintenance programs in Türkiye. The analysis covers departments such as Aircraft Maintenance and Repair, Airframe and Engine Maintenance, Avionics, Aviation Electrical and Electronics, and Aircraft Technology. These programs prepare students for licensing and employment in various aircraft maintenance categories defined by EASA.

The data used in this study was obtained from the Council of Higher Education (CoHE), which oversees higher education institutions in Türkiye. The study used a quantitative and descriptive research design.

Frequencies and percentages were used to assess the number of male and female students enrolled in each department and to identify gender disparities in enrollment. Student data were collected based on enrollment numbers during the academic years of 2020–2021, 2021–2022, 2022–2023, 2023–2024, and 2024–2025. Data from all 29 universities in Türkiye that provide aircraft maintenance education were individually gathered.

The analysis method included:

- Calculating the gender distribution (men/women) for each university and department individually,
- Consolidating the data to determine the overall gender distribution,
- Expressing the distributions as percentages (%) to enable a comparative evaluation of men and women students.

Gender classification was applied according to the official categorization in CoHE data system as “men” and “women”. Since the data used in this study were anonymized and published collectively by CoHE, ethical approval was not required. The scope of the study was limited to universities and did not include industry-supported vocational courses or other training institutions.

The findings highlight the underrepresentation of women in technical aviation training programs and contribute to a broader discourse on gender equality in aviation education. In this study, data publicly available on the official website of the Turkish Council of Higher Education (CoHE) were used and analyzed.

3. FINDINGS

3.1. Aircraft Technology Departments

Aircraft Technology departments are one of the programs that train aircraft maintenance technicians. The education period of this program, which is available in 23 universities in Türkiye, lasts two years. In these departments, which aim to train A-category maintenance technicians, students receive theoretical and practical training. The number of women students who preferred these departments in 2020 is 111 (8.75%), 162 (11.05%) in 2021, 176 (10.76%) in 2022, 251 (16%) in 2023, 270 (15.79%) in 2024 and the total number is 970 (12.65%). These values are given in Figure 1.

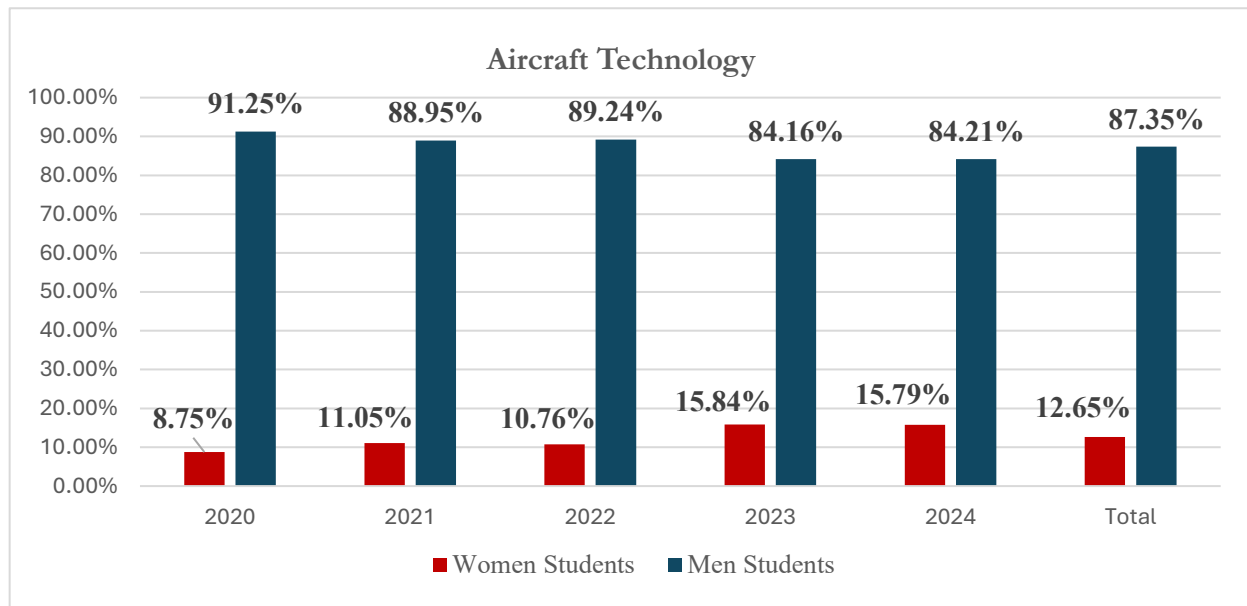


Figure 1. Gender Distribution among Students in the Aircraft Technology Departments

When the data are examined, the number of women students who prefer the department tends to increase, albeit at low rates, with fluctuations over the years.

3.2. Aircraft Maintenance and Repair/Airframe and Powerplant Maintenance Departments

In Türkiye, bachelor programs that provide education for mechanical maintenance technicians are academically referred to as Aircraft Maintenance and Repair or Airframe and Powerplant Maintenance departments. There are 12 universities in Türkiye that train in the Aircraft Maintenance and Repair/Airframe and Powerplant Maintenance departments. Students in these departments are mainly trained in aircraft fuselage structures and power systems. Graduates of this department work with the title of aircraft mechanic technician. In these departments, which aim to train B1.1 category maintenance technicians, students receive theoretical and practical training. The number of women students who preferred these departments in 2020 is 44 (9.38%), in 2021 31 (7.64%), in 2022 54 (9.78%) in 2023 60 (12%), in 2024 90 (14.13%) and the total number is 279 (10.86%). These values are given in Figure 2.

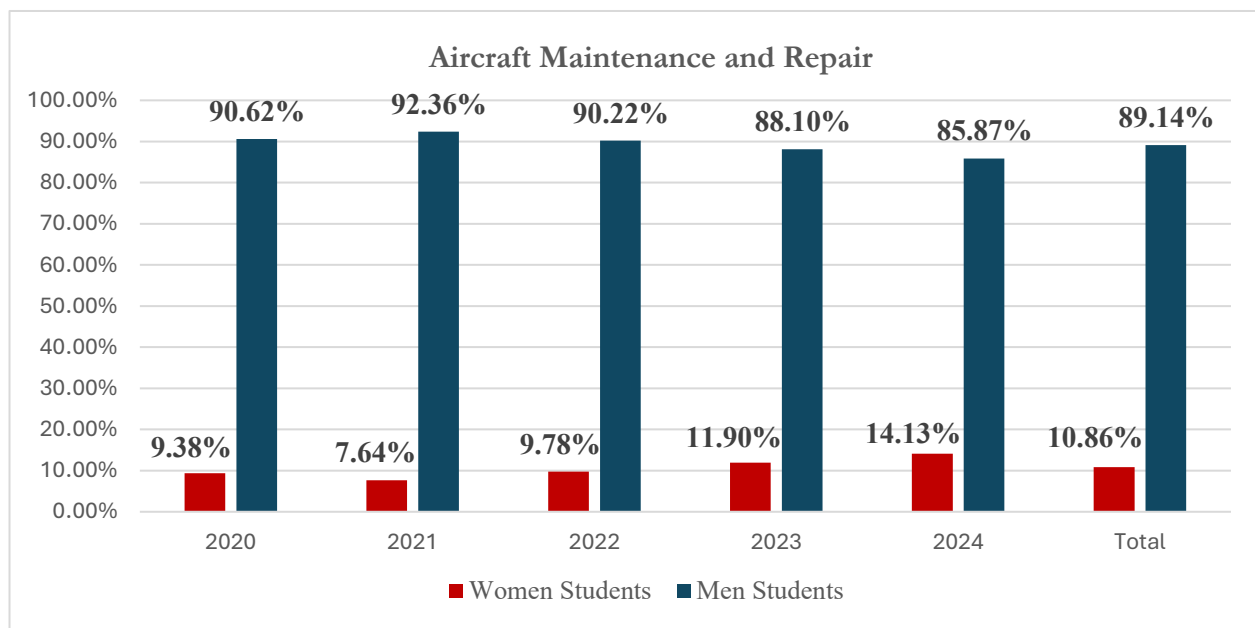


Figure 2. Gender Distribution among Students in the Aircraft Maintenance and Repair Departments

When the data is examined, it is seen that the number of women students studying in these departments is lower than in other departments providing aircraft maintenance training. Although the rate of students preferring departments has not changed dramatically over the years, the rate of women students has never reached 15% in any year.

3.3. Aviation Electric and Electronics/Avionics Departments

Due to the rapid development in electronic and computer technology, the performance of the aircraft designed today is increasing day by day. An aircraft's electrical and electronic systems and components are vital to flight safety and efficiency. For this reason, maintenance personnel who will work in Aviation Electrical and Electronics/Aircraft Electrical and Electronics should have received sufficient training and have the necessary competencies. In Türkiye, bachelor programs that provide training for avionics maintenance technicians are academically designated as Aviation Electric and Electronics or Avionics departments. Students who graduate from these departments are entitled to receive the title of aircraft avionics technician. An aircraft avionics technician is a maintenance technician who performs the necessary tests on aircraft structures and components, troubleshooting, assembling electronic components, and adjusting fuses and electrical control surfaces (Gunes, Turhan, & Acikel, 2020).

There are 10 universities in Türkiye that provide training in Aviation Electric and Electronics/Avionics departments. Students in these departments study both theoretical and practical subjects, primarily concentrating on aircraft electrical and electronic systems and components. In these departments, which aim to train B2 category maintenance technicians, students receive theoretical and practical training. The number of women students who preferred these departments in 2020 is 70 (18.57%), in 2021 70 (20.41%), in 2022 91 (20.27%), in 2023 100 (24.54%), in 2024 132 (24.54%) and the total number is 463 (21.75%). These values are given in Figure 3.

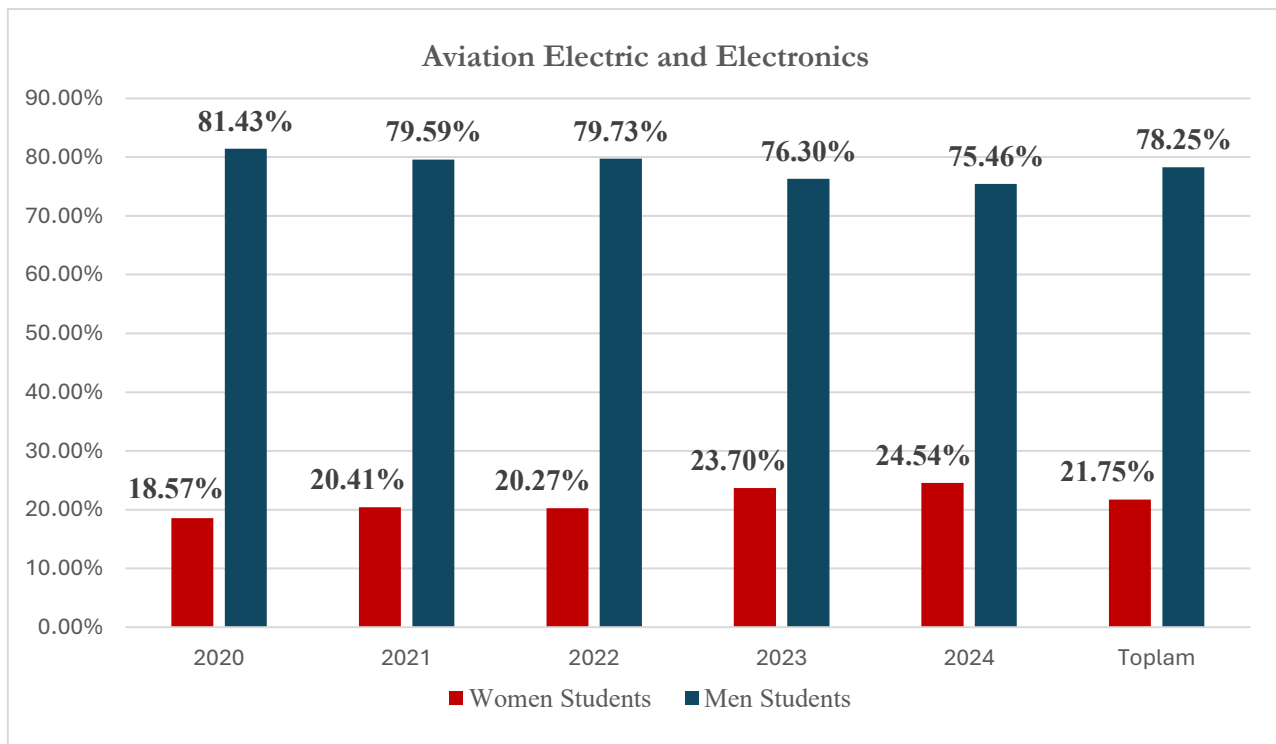


Figure 3. Gender Distribution among Students in the Electric and Electronics/Avionics Departments

It is observed that the number of women students training in these departments is higher than the other departments that provide aircraft maintenance training. Although the rate of students who prefer departments has not changed dramatically over the years, the average rate of women students is around 21%.

3.4. All Aircraft Maintenance Departments

There are 45 universities in Türkiye that provide aircraft maintenance training. In these universities, aircraft maintenance training is given to cover categories A, B1.1 and B2. When the student numbers of the relevant departments are examined for the years 2020, 2021, 2022, 2023 and 2024 the rate of women students is 8.75%,

11.05%, 10.76%, 16%, 15.79% in Aircraft Technology departments, 9.38%, 7.64%, 9.78%, 12% and 14.13% in Aircraft Maintenance and Repair/Airframe and Powerplant Maintenance departments, 18.57%, 20.41%, 20.27%, 24% and 24.54% in Aviation Electric and Electronics/Avionics divisions. When we look at the general total, the rate of women studying in 45 universities is 10.61%, 11.87%, 12.18%, 10.75% and 17.05% according to the years. These values are given in Figure 4.

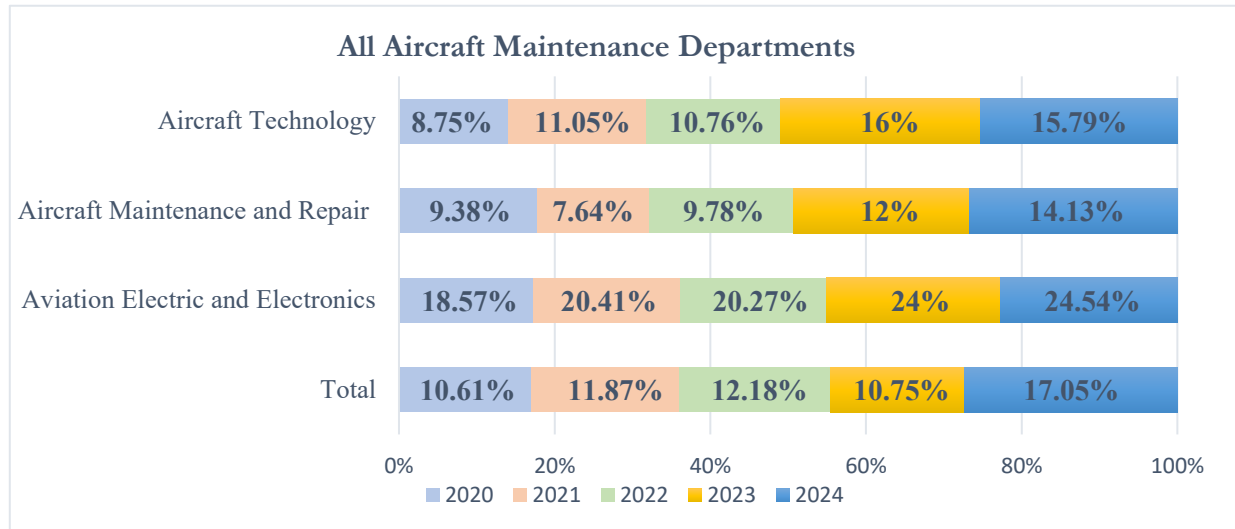


Figure 4. Gender Distribution among Students in All the Aircraft Maintenance Departments

According to the data, although the number of women students in universities providing aircraft maintenance training shows an increasing trend over the years, the departments with the highest women-student ratio are Aviation Electric and Electronics/Avionics departments. Similarly, although it shows an increasing trend over the years, the departments with the lowest women-student ratio are Aircraft Maintenance and Repair/Airframe and Powerplant Maintenance departments.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Aircraft maintenance training is carried out in universities, vocational courses and training programs of airline companies in Türkiye. In parallel with the development of the aviation industry, the need for well-trained aircraft maintenance technicians with professional competencies will increase in the coming years. According to Boeing data, 690000 maintenance technicians will be needed by 2042 (Boeing, 2023). In an industry where the need is so high, the training and employment of women technicians is of great importance for the future of world aviation. Unfortunately, when the current practices are examined, the number of women employees working in the aviation industry is quite low, but this number is even lower among maintenance technicians. Although the rate of women maintenance technicians is below 5% worldwide, the rate of women technicians is 2.6% according to the FAA data, and 1.7% according to the data of the Directorate of General Civil Aviation Türkiye (Lutte, 2019; Lutte, 2021; Directorate of General Civil Aviation, 2018). There are professional and cultural reasons behind this inadequacy. The ratio of women employees is at least in maintenance technicians. The five biggest barriers to women working in aviation are; negative culture, cost of entry, family/life/work balance, training-related issues and lack of support (Lutte & Morrison, 2022). Apart from these, prejudice, discrimination in the workplace, low employment of women in leadership positions, and insufficient support for young people are also barriers for women to work in aviation (Lutte, Women in Aviation: A Workforce Report 2021 Edition., 2021). Furthermore, the data indicates that women in the industry are significantly more likely to have both a lower guaranteed income and a lower gross monthly income than men, which further contributes to gender disparities in employment and retention (Harvey, Finniear, & Greedharry, 2019). Some of the barriers affecting women students' participation in vocational education and training were social-cultural factors, lack of role models and poverty (Andiema & Manasi, 2021). Apart from these reasons, the perception of maintenance technician as a job that requires intense physical strength, inadequacies in employment policies, and incomplete or inadequate promotions about the profession can be listed.

In order to increase the number of women maintenance technicians, it will be necessary to increase the number of women students in universities and training programs providing training in this field. Furthermore, international regulatory bodies also emphasize inclusive training and licensing standards. As stated in the ICAO Assembly Resolutions in Force (2016), ICAO's policies on personnel licensing and training provide a foundational framework for inclusive approaches that can facilitate women's entry into aviation professions. Equal opportunities in education should be integrated into ICAO's international standards (ICAO, 2016). In this way, the employment of women technicians will be increased and at the same time, women technicians will be provided to work more competently. As the results of the study show, the average rate of women students studying in departments providing aircraft maintenance training in Türkiye is 12.65% in Aircraft Technology departments, 10.86% in Aircraft Maintenance and Repair/Airframe and Powerplant Maintenance departments, and 21.75% in Aviation Electric and Electronics/Avionics departments. Although the number of women students has increased over the years, it is still very insufficient in training programs. The insufficient number of women students means that the number of women employees will be insufficient in the coming years. Considering the increasing number of flights, the number of aircraft and the number of airports, this situation will create a big problem for the future of aviation in terms of the number of employees and their competencies in the short and long term. In order to eliminate the problems related to the subject and to increase the interest and participation of women students in the universities and training programs that provide aircraft maintenance training, solution suggestions are listed as follows.

- To increase interest in aircraft maintenance departments, promotions are made by more effective and appropriate persons/units,
- Developing industry-supported collaborations and incentive programs,
- Extending career days in pre-university education institutions,
- Establishing an effective alumni/student interaction network,
- Encouraging employment programs for women employees,
- Increasing the number of women trainers in aviation maintenance training,
- Developing incentive programs such as scholarships and educational aid for women students,
- Developing aircraft maintenance areas to be more open to students within safety and security standards.

To promote gender diversity in aircraft maintenance, upcoming research should adopt a comprehensive strategy that includes cross-cultural analyses to identify globally best practices, as well as longitudinal studies of educational programs to assess the retention and career advancement of women students. Research should assess the impact of women role models, mentoring programs, and employer policies (such as flexible working options and anti-discrimination strategies) on recruitment and retention, while also examining societal perceptions and misconceptions that deter women from pursuing careers in this industry. Additionally, research could examine the effectiveness of financial incentives (such as scholarships and job guarantees) and technological innovations (such as automation and ergonomic equipment) in mitigating perceived barriers. Further research on the implementation of ICAO's inclusive education standards and early STEM education initiatives is necessary to challenge stereotypes and foster sustained interest. Finally, policy evaluations should investigate how regulatory frameworks (including gender quotas and diversity programs) affect workforce representation. Future studies emphasizing actionable outcomes such as data-driven hiring methods, industry collaborations, and advocacy for systemic reform can contribute to the closing of the gender gap and provide a sustainable and inclusive future for the aviation maintenance field.

ETHICAL STATEMENT & GENERAL STATEMENTS

This paper meets the standards of research and publication ethics.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Idea/Concept: T. Güneş, S. Kale and B. Açikel; Design: S. Kale and T. Güneş; Data Collection/Processing: S. Kale and B. Açikel; Analysis/Interpretation: S. Kale, T. Güneş and B. Açikel. All authors have read and approved the final manuscript.

FUNDING

Not applicable.

AVAILABILITY OF DATA AND MATERIALS

Not applicable.

COMPETING INTERESTS

The authors declare that they have no competing interests.

REFERENCES

- Andiema, N., & Manasi, E. (2021). Female students participation in technical vocational education and training in west Pokot County. *East African Journal of Education Studies*, 3(1), 61-69. doi:10.37284/eajes.3.1.314
- Ateş, S. S., Kafalı, H., & Lik, H. (2018). Aircraft maintenance technical education: A research on professional exams. *Celal Bayar University Journal of Science*, 14(4), 471-477. doi:10.18466/cbayarfb.461965
- Boeing. (2023). *Pilot and Technician Outlook 2023-2042*, Boeing, Boeing.
- Clark, P. J., Newcomer, J. M., & Jones, A. M. (2018). Overcoming gender barriers in aircraft maintenance: Women's perceptions in the United States. *Journal of Aviation/ Aerospace Education & Research*, 66-84.
- CoHE. (2025). *Turkish Council of Higher Education*. Retrieved May 22, 2025, from <https://yokatlas.yok.gov.tr/>
- Directorate of General Civil Aviation. (2018). *Symposium on the Development of Gender Balance in Aviation*. Ankara: Turkish Directorate of General Civil Aviation.
- EASA. (2021). *Part-66: Get a Part-66 license*, EASA. European Aviation Safety Agency.
- Education, T. C. (2023). *Yükseköğretim Kurumu*.
- Eitelberg, M. J. (1990). *Increased use of women and minorities in military aviation maintenance*. Retrieved from https://www.atsb.gov.au/sites/default/files/media/760980/human_factors_in_aircraft_maintenance.pdf
- Erden, N. V. (2025). The effect of managerial support on employee creativity: A study on aircraft maintenance personnel. *Journal of Science, Technology and Engineering Research*, 6(1), 1-10. doi:10.53525/jster.1620551
- FAA. (2022). *Breaking Barriers for Women in Aviation*. Acesso em 25 de 07 de 2025, disponível em <https://www.faa.gov/about/plansreports/congress/breaking-barriers-women-aviation-women-aviation-advisory-board>
- Ferla, M., & Graham, A. (2019). Women slowly taking off: An investigation into female underrepresentation in commercial aviation. *Research in Transportation Business & Management*, 31. doi:10.1016/j.rtbm.2019.100378
- Gunes, T., Turhan, U., & Acikel, B. (2020). An assessment of aircraft maintenance technician competency. *International Journal of Aviation Science and Technology*, 1(1), pp. 22-29. doi:10.23890/ijast.vm01is01.0104
- Gunes, T., Turhan, U., & Yörük Açıkkel, B. (2022). Improvement of aircraft maintenance manual (AMM) for Cessna 172. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 94(7), 1078-1086. doi:10.1108/AEAT-10-2021-0321
- Habig, A., & Marete, C. (2023). Factors that influence the pursuit of collegiate aviation maintenance degree programs: The differences between women and men students. *2023 ASEE Illinois-Indiana Section Conference Proceedings*. American Society for Engineering Education.
- Harvey, G., Finnicar, J., & Greedharry, M. (2019). Women in aviation: A study of insecurity. *Research in Transportation Business & Management*, 31. doi:10.1016/j.rtbm.2019.05.001
- ICAO. (2016). *Assembly Resolutions in Force (Doc 10075)*. Montreal, Canada: International Civil Aviation Organization.
- Lutte. (2019). *Women in Aviation: A Workforce Report*. University of Nebraska at Omaha Aviation Institute.
- Lutte. (2021). *Women in Aviation: A Workforce Report 2021 Edition*. University of Nebraska at Omaha Aviation Institute.
- Lutte, R., & Morrison, S. M. (2022). You'll never really be one of us: Women's underrepresentation in the aviation workforce. *Journal of Aviation/ Aerospace Education & Research*, 31(2). doi:10.15394/jaer.2022.1929
- Newcomer, J. M., Clark, P. J., Button, D. K., & Weiland, L. V. (2018). Gender diversity in aircraft maintenance: a cross-sectional triangulation of male perspectives. *Journal of Gender Studies*, 509-521. doi:10.1080/09589236.2016.1243046

- Rouscher, G. Y. (2021). Certificated AMTs: What will encourage more women to become aviation maintenance technicians? *Collegiate Aviation Review International*, 298-306. doi:10.22488/okstate.22.100248
- Smith, W. E., Cohen, S., Kimbu, A. N., & de Jong, A. (2021). Reshaping gender in airline employment. *Annals of Tourism Research*, 81. doi:10.1016/j.annals.2021.103221
- TSI. (2023). *Labour Force Statistics*. Ankara, Turkey: Turkish Statistical Institute.
- Tyagi, A., Tripathi, R., & Bouarfa, S. (2023). Learning from past in the aircraft maintenance industry: An empirical evaluation in the safety management framework. *Helijon*, 9(11). doi:10.1016/j.helijon.2023.e21620
- Van den Bergh, P., De Bruecker, P., Beliën, J., & Peeters, J. (2013). Aircraft maintenance operations: State of art. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Aircraft-maintenance-operations%3A-state-of-the-art-Bergh-Bruecker/2f5f96109170db532ba89b420a7e3f25cbc4b931>
- Wilson, J. (2004). Gender-based issues in aviation, attitudes towards female pilots: A cross-cultural analysis. *Doctoral dissertation, University of Pretoria*.
- Yanıkoglu, Ö., Kılıç, S., & Küçükönel, H. (2020). Gender in the cockpit: Challenges faced by female airline pilots. *Journal of Air Transport Management*, 86. doi:10.1016/j.jairtraman.2020.101823



Research Paper

**Toward an equitable governance of space resources: A policy-oriented framework
for sustainability and resilience**

Gülin Dede¹

Abstract. As human activities expand across Earth orbit, the Moon, and other celestial bodies, the governance of critical space resources has become a pressing issue, exposing persistent gaps in current international regulatory mechanisms. This paper advances a policy-oriented vision for equitable and resilient space governance, grounded in sustainability principles and ethical imperatives. Through the lens of key domains—ranging from spectrum allocation and orbital debris mitigation to planetary surface rights and data governance—it explores how the discourse on space resources reveals deeper challenges for multilateral coordination, institutional leadership and strategic foresight in a multipolar world. The study underscores the need for adaptive international frameworks that align with both technological advancements and shifting geopolitical conditions. It outlines a set of core principles for inclusive governance and advocates for strategic leadership and global partnerships to operationalize this vision. Drawing on the policy outlooks of key global and regional actors—including the European Union, the United Nations system, and leading space policy institutes—it calls for a globally engaged, integrative and forward-looking governance vision for outer space.

Keywords: Space governance, sustainability and resilience, planetary stewardship, space resource regulation, international space policy.

Araştırma Makalesi

**Uzay kaynaklarının adil yönetişimine doğru: Sürdürülebilirlik ve dirençlilik odaklı
bir politika çerçevesi**

Öz. Dünya yörüngesi, Ay ve diğer gök cisimlerinde insan faaliyetlerinin artmasıyla birlikte, kritik uzay kaynaklarının yönetişimi acil bir mesele haline gelmiş; mevcut uluslararası düzenleyici mekanizmalardaki kalıcı boşlukları gözler önüne sermiştir. Bu makale, sürdürülebilirlik ilkeleri ve etik zorunluluklar temelinde şekillenen, adil ve dirençli bir uzay yönetişimi için politika odaklı bir vizyon sunmaktadır. Spektrum tahsisi ve yörünge enkazının azaltılmasından gezegen yüzey haklarına ve veri yönetişimine kadar uzanan temel alanlar çerçevesinde, uzay kaynakları etrafındaki söylemin çok kutuplu bir dünyada çok taraflı koordinasyon, kurumsal liderlik ve stratejik öngörüye dair daha derin zorlukları nasıl ortaya koyduğunu incelemektedir. Çalışma, hem teknolojik ilerlemelerle hem de değişen jeopolitik koşullarla uyumlu, uyarlanabilir uluslararası çerçevelerin gerekliliğini vurgulamaktadır. Kapsayıcı yönetim için temel ilkeleri ortaya koymakta ve bu vizyonun hayata geçirilmesi adına stratejik liderlik ile küresel ortaklıkları savunmaktadır. Avrupa Birliği, Birleşmiş Milletler sistemi ve önde gelen uzay politika enstitüleri gibi küresel ve bölgesel aktörlerin politika yaklaşımlarından yararlanarak, dış uzay için küresel ölçekte etkin, bütüncül ve geleceğe dönük bir yönetim vizyonu çağrısında bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Uzay yönetişimi, sürdürülebilirlik ve dirençlilik, gezegensel sorumluluk, uzay kaynaklarının düzenlenmesi, uluslararası uzay politikası.

¹ European Space Research and Technology Centre (ESTEC), European Space Agency (ESA), Keplerlaan 1, Noordwijk, 2201 AZ, Netherlands;

gulin.dede@esa.int (Corresponding Author)

<https://doi.org/10.52995/jass.1736362>

Received: July 7, 2025; Accepted: August 8, 2025; Published: August 31, 2025

© 2025 University of Turkish Aeronautical Association. All rights reserved.

This paper is licensed under [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



1. INTRODUCTION

The rapid expansion of space activities, driven by both governmental and commercial initiatives, has heightened the urgency of regulating access to and the use of space resources. From spectrum management to planetary surface rights, the legal and policy frameworks surrounding these resources remain fragmented. With the increasing intensity of activity in Low Earth Orbit (LEO), the launch of lunar exploration programs, and the emergence of In-Situ Resource Utilization (ISRU) ventures, a robust and cooperative regulatory architecture is essential to prevent conflict, ensure safety, and promote sustainability.

Simultaneously, as states become more reliant on space-based infrastructure for communication, navigation, environmental monitoring, and crisis response, resilience emerges as a necessary complement to sustainability. Space systems must not only endure but also adapt, recover, and continue operating under stress or disruption (Jakhu et al., 2017), (Tronchetti, 2015).

International efforts led by actors such as the United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA), the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), and the Hague International Space Resources Governance Working Group demonstrate the global policy interest in shaping the future governance of space resources. However, diverging national practices—particularly the emergence of national space resource legislation—and contrasting normative visions among stakeholders complicate consensus-building. These tensions underscore the need for a cooperative, yet adaptive, governance model that acknowledges both legal pluralism and geopolitical realities (United Nations Office for Outer Space Affairs, n.d.), (OECD, 2019), (OECD, 2020), (The Hague WG, 2020).

Given the increasingly pluralistic legal environment, the emergence of a single, universally binding regime appears unlikely in the near term. Instead, governance norms are being formed incrementally through a patchwork of national initiatives, multilateral dialogues, and non-binding instruments. Each trajectory favors particular actors and value systems, influencing outcomes for governments, private sector players, and multilateral institutions alike. This evolving governance landscape reinforces the importance of shared principles—such as equity, sustainability, and resilience—as stabilizing anchors amid competing interests and asymmetries.

The 2023 UNOOSA report on space resource activities highlights the persistent divergence in national interpretations and legal positions among Member States, particularly concerning the relationship between Article II of the Outer Space Treaty and the permissibility of resource extraction (United Nations Office for Outer Space Affairs, 2023). While consensus exists around the principle of non-appropriation of celestial bodies, divergent approaches to licensing, registration, and benefit-sharing expose a legal grey zone within the evolving space economy.

Importantly, the report cautions that existing international treaties do not explicitly regulate the extraction and utilization of space resources, leaving significant gaps in enforcement, liability, and equitable access. It further notes that Member States have not reached agreement on whether additional legally binding instruments are required, or if soft-law approaches suffice for the time being. In response to these regulatory gaps and uncertainties, a proposal for an 18th Sustainable Development Goal (SDG) explicitly targeting outer space has been advanced. Although not yet adopted, this proposal signifies the increasing recognition of outer space as a vital domain requiring effective regulation for sustainable development (Losch et al., 2024).

Global space governance must evolve to reflect the growing importance of space as a strategic enabler of societal resilience, economic transformation, and planetary stewardship. While several regional and thematic frameworks have begun to acknowledge these imperatives, many fall short of delivering globally actionable mechanisms. Nonetheless, they offer valuable reference points by embedding responsible principles and cooperative norms.

For instance, the European Union's Space Strategy for Europe and the proposed EU Space Act call for a unified legal approach that enhances safety, resilience, and sustainability (European Commission, 2025), (European Commission & High Representative of the Union for Foreign Affairs and Security Policy, 2023). These initiatives aim to harmonize regulatory practices across Member States by promoting a single market for space activities, enabling commercial actors to operate across borders within a consistent, transparent, and secure legal environment. They also introduce mandatory licensing, debris mitigation standards, and resilience safeguards for critical space services—elements that could serve as foundational components of broader international governance models.

The ESPI2040 report (European Space Policy Institute, 2022), a regionally influential and forward-looking strategic framework, recognizes space not merely as an economic sector, but as a foundation for integrated progress across climate, defense, energy, digital infrastructure, and beyond. Expanding upon such initiatives, an inclusive global governance framework should strike a careful balance between innovation and responsibility, grounded in the principles of equity, transparency, and adaptability. This approach can leverage European policy thought leadership as a reference point, while advancing cooperative governance models aligned with the realities of a multipolar world—where diverse state and non-state actors share responsibility for sustaining space as a global commons.

This perspective also aligns with key multilateral instruments such as the Outer Space Treaty (United Nations, 1967), the Long-Term Sustainability Guidelines (United Nations Office for Outer Space Affairs, 2019), and even underutilized frameworks like the Moon Agreement (United Nations, 1979)—each contributing to a foundation for building international consensus. High-level political dialogues, including the G20 Space Economy Leaders Meetings, further reflect a growing global appetite for cooperative regulation. By integrating these efforts into a forward-looking global framework, space governance can transition from aspirational declarations to operational mechanisms.

This paper draws on a qualitative review of treaties, policy instruments, and expert literature. It proceeds as follows: Section 2 discusses sustainability frameworks for space resource utilization; Section 3 addresses resilience in governance frameworks; Section 4 outlines key regulatory challenges; Section 5 explores enabling and disruptive technologies; Section 6 proposes core principles; Section 7 presents strategic governance pillars; Section 8 discusses leadership and global partnerships; and Section 9 concludes with space policy recommendations.

2. SUSTAINABILITY IN SPACE RESOURCE UTILIZATION

Sustainability, in the context of space resources, refers to the responsible and long-term use of outer space assets, ensuring that today's activities do not compromise the ability of future generations to access and benefit from these resources. This encompasses the sustainable extraction and utilization of space-based materials, the active mitigation of orbital congestion, and the protection of celestial environments from irreversible harm. Achieving sustainability requires binding multilateral agreements, robust compliance mechanisms, and shared technological standards that emphasize preservation and stewardship over short-term commercial gains.

Global discussions on sustainability increasingly focus on critical issues such as orbital debris mitigation, the protection of scientific heritage sites (e.g., the Apollo landing zones), and equitable access to and benefits from space-derived data. The United Nations' Long-Term Sustainability Guidelines (LTSGs), endorsed by the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS), provide a widely recognized—though non-binding—baseline for advancing sustainable space practices at the international level (United Nations Office for Outer Space Affairs, 2019), (Aliberti et al., 2023).

In a broader context, the ESPI vision stands out as it advances a more expansive understanding of sustainability by linking space governance to planetary objectives, including the European Green Deal, Net-Zero targets, and the UN Sustainable Development Goals (SDGs). It highlights the transformative role of space-based capabilities—particularly Earth Observation, Positioning, Navigation and Timing (PNT), and SATCOM—in supporting sustainable agriculture, mobility, energy systems, and climate-resilient cities. Sustainability must also guide the design of next-generation space infrastructure, including low-impact satellites and space-based solar power systems, aligning technological progress with ecological and ethical standards.

Ensuring sustainability in the evolving NewSpace ecosystem necessitates the extension of international norms and standards to include non-traditional actors. Mechanisms such as public-private collaboration, voluntary codes of conduct (Chrysaki, 2020), extended licensing protocols (Reif, 2002), and shared stewardship agreements are essential to prevent commercial momentum from outpacing collective stewardship and global governance capacity.

While sustainability safeguards the long-term viability of space activities, resilience ensures their functionality amid disruption. Together, they form the dual pillars of a responsible, future-proof space governance paradigm. Emerging technologies—discussed in Section 5—such as AI-enabled debris mitigation and blockchain-based registries, offer practical tools to help operationalize sustainability measures.

3. INTEGRATING RESILIENCE INTO SPACE GOVERNANCE

Resilience complements sustainability by focusing on the ability of space systems, policies, and infrastructures to withstand and recover from disruptions—whether due to natural phenomena, operational accidents, or geopolitical

tensions. As space becomes an essential domain for communications, navigation, and security, ensuring resilience requires the strategic planning of redundancies, the cultivation of international collaboration, and the development of response strategies for systemic shocks.

A global vision for space governance must emphasize resilience not only in infrastructure but also in policy and strategic decision-making. It entails strengthening institutional capacity, diversifying and federating industrial supply chains, and building robust education and talent pipelines. A resilient space ecosystem must be capable of withstanding economic and political volatility, fostering innovation under uncertainty, and securing independent access to critical technologies.

This includes resilience in:

- Infrastructure: Redundant satellite constellations and modular space stations;
- Governance: Institutions capable of adapting to emerging threats or technological shifts;
- Legal frameworks: Norms and agreements that remain robust as commercial and geopolitical conditions evolve.

Embedding resilience into regulatory discourse ensures that space activities are not only sustainable in principle but also viable in practice when confronted with unforeseen challenges. This contributes directly to the long-term stability of the space environment. The protection of critical infrastructure—such as navigation satellites, communication relays, and climate-monitoring platforms—is vital to both national security and global welfare. Establishing multilateral early warning systems for potential cyberattacks, collisions, or hostile interference would enhance collective resilience. Such systems must be framed not only as technical safeguards, but also as instruments of space diplomacy—upholding human rights and ensuring equitable global access to essential services for all.

A practical example of resilience-oriented governance is the European Space Agency's Space Safety Programme (European Space Agency, 2023), which addresses hazards ranging from space weather and near-Earth objects (NEOs) to orbital debris and re-entry risks. The programme embodies a proactive, systems-level approach to risk mitigation through international data sharing, multi-domain monitoring, and autonomous decision-support mechanisms. Such initiatives provide operational blueprints for mainstreaming resilience into space governance frameworks.

Complementing this operational approach is the normative vision advanced by the Space Renaissance Initiative (SRI), which promotes a humanist ethos for space development—emphasizing equity, sustainability, and the long-term expansion of human civilization beyond Earth not only as a scientific or economic imperative, but as a moral one (Space Renaissance Initiative, 2016). Echoing Enlightenment ideals and the concept of an 'Open World,' the SRI advocates for a cultural and philosophical renaissance that frames outer space as the next frontier for realizing humanity's ethical expansion and planetary resilience. From this standpoint, outer space is not merely a realm of extraction or competition, but one of shared human responsibility—where resilience is most effectively amplified through practical commitments such as interoperable infrastructure, transparent data systems, and collective preparedness platforms made accessible to all through multilateral cooperation.

4. REGULATORY CHALLENGES IN CRITICAL RESOURCE DOMAINS

As space activities expand across orbital, cislunar, and planetary environments, regulatory frameworks are under mounting pressure to adapt. The proliferation of NewSpace actors, the diversification of mission profiles, and the emergence of contested operational domains demand proactive legal and governance responses. This section outlines key regulatory challenges in managing critical space resources—including electromagnetic spectrum coordination, orbital traffic control, planetary protection, surface rights, and data governance. Addressing these challenges is essential to ensure coherent and enforceable legal frameworks in an increasingly complex space ecosystem.

4.1. Spectrum Allocation and Coordination

The electromagnetic spectrum is a finite and increasingly congested resource that is essential for satellite communications. The International Telecommunication Union (ITU) allocates global radio frequencies and satellite orbits through coordination among Member States to prevent harmful interference (International Telecommunication Union, 2020). However, the surge in NewSpace actors and the deployment of mega-constellations have significantly intensified spectrum competition. This trend raises critical concerns regarding

equitable access, dynamic spectrum sharing protocols, and protection from cross-service interference. Incorporating ITU-R regulations, spectrum priority rights, and the outcomes of World Radiocommunication Conferences (WRC) into broader coordination frameworks is vital. As cislunar and deep space missions continue to expand, forward-looking spectrum governance must prioritize interoperability and open data access across operational domains.

4.2. Orbital Debris and Traffic Management

The increasing risk of collisions in LEO necessitates robust space traffic management (STM) policies, underpinned by comprehensive Space Situational Awareness (SSA) capabilities. The Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, 2021) provides technical guidelines for debris mitigation; however, these remain non-binding. The U.S. Space Policy Directive-3 and European Space Agency (ESA)'s Clean Space initiative represent steps toward operational STM frameworks (White House, 2018), (European Space Agency, 2022), yet they lack international enforceability. Effective STM must include pre-launch registration, conjunction assessment standards, post-mission disposal protocols, and real-time deconfliction procedures. As commercial NewSpace activity accelerates, a globally harmonized STM regime—particularly for shared orbital shells—will be critical to ensuring long-term sustainability.

4.3. Lunar and Planetary Surface Rights

The Outer Space Treaty (1967) prohibits national appropriation of celestial bodies (United Nations, 1967), yet it remains silent on the extraction of space resources. The Artemis Accords (NASA, 2020) support the utilization of resources such as lunar water ice and asteroidal minerals under the framework of international law, but they have not achieved universal acceptance. This legal gap creates uncertainty for both public and private actors planning in-situ resource utilization (ISRU) missions. Key regulatory concerns—also raised by the Moon Village Association (MVA) and other stakeholders—include legal certainty, resource claim notification procedures, and the protection of heritage sites such as the Apollo landing zones (Moon Village Association, 2020). With rising interest in cislunar infrastructure, coordinated multilateral frameworks will be essential to prevent territorial disputes and safeguard non-discriminatory access.

4.4. Access to Lagrange Points

Lagrange points such as Earth–Moon L1 and L2 are strategic quasi-stable zones valuable for scientific observatories, refueling depots, and deep space relay stations. Although no formal regime currently governs their use, proposals have been made to treat them as limited commons requiring cooperative management (Boley & Byers, 2021). As lunar orbital and transfer infrastructure expands, regulatory issues such as station-keeping rights, shared access protocols, and mission interference thresholds will require international attention. Anticipatory regulation will be essential to prevent monopolization or congestion of these high-value gravitational zones.

4.5. Environmental Protection of Celestial Bodies

The COSPAR planetary protection guidelines aim to prevent biological contamination of celestial bodies (COSPAR, 2021). However, these standards were designed primarily for scientific missions and may fall short in effectively regulating commercial-scale space activities. A multilateral preservation regime should address both forward and backward contamination, incorporate planetary protection Category IV classifications, and support astroecological assessments. Balancing scientific access, environmental stewardship, and the rights of NewSpace actors will be essential to uphold the intrinsic value and biological integrity of extraterrestrial environments.

4.6. Human Safety in Lunar and Orbital Habitats

With human outposts becoming viable in orbital, lunar, and deep space environments, globally harmonized standards for life support, crew safety, and emergency response will become essential. NASA's Human Exploration and Operations Mission Directorate and ESA's Space Safety Programme represent initial steps toward the development of coordinated human safety frameworks for space infrastructure (NASA, 2021), (European Space Agency, 2024). Future regulatory efforts should address radiation dose limits; habitat protocols across in-space, lunar, and LEO environments (ISLEO); crew conduct codes; and dual-use emergency response procedures. The growing convergence of commercial, governmental, and international actors underscores the need for a shared human safety baseline.

4.7. Intellectual Property and Data Rights

As NewSpace actors increasingly contribute to space exploration and data generation, issues surrounding Intellectual Property Rights (IPR) and data sovereignty raise complex jurisdictional challenges. The Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights (TRIPS) provides a global framework for IP protection, but its applicability to outer space remains unsettled (von der Dunk, 2019). Policymakers must balance incentives for innovation with obligations to open science and the stewardship of space as a global commons. Key considerations include the extraterritoriality of IPR, dual-use data governance, and the preservation of space-derived knowledge as a shared public good.

Clear and cooperative governance mechanisms are needed to support the sustainability of these intangible space resources in response to growing commercial and scientific activity. As rapid technological progress continues to outpace the evolution of international norms and institutions, proactive and inclusive policymaking will be essential to reconcile national interests with collective responsibilities in the space domain. Balancing rapid technological progress with the slower evolution of international norms and institutions remains a key challenge; proactive and inclusive policymaking will be essential to align national interests with collective responsibilities in the space domain.

5. EMERGING ENABLERS AND DISRUPTIVE TECHNOLOGIES

The convergence of digital, biological, and physical technologies is reshaping how space resources are accessed, governed, and utilized. As Artificial Intelligence (AI), High-Performance Computing (HPC), blockchain, quantum communication, and digital twins advance across the space sector, their implications for sustainability, resilience, and equity are profound. These technologies offer significant promise—enabling autonomy, operational efficiency, and mission safety—but they also introduce complex legal, ethical, and strategic challenges that existing regulatory frameworks are ill-equipped to handle.

AI and HPC facilitate onboard autonomy, predictive analytics, and the real-time processing of massive datasets, transforming space traffic coordination, anomaly detection, and mission planning. In combination with edge computing architectures, these tools are essential for autonomous surface operations on the Moon or Mars, while also enhancing their operational capacity on Earth through advanced remote sensing and Earth observation applications. To effectively manage these advanced capabilities, regulatory frameworks must clearly define liability and accountability rules for AI-driven decisions, particularly those affecting collision avoidance, orbital management, and overall system resilience.

Blockchain technologies present new opportunities for transparent registries, supply chain verification, and secure data provenance—particularly relevant in distributed and multi-stakeholder mission contexts. To fully realize these benefits, blockchain governance will require new international agreements that standardize the cross-border recognition of distributed registries and clearly define their legal validity.

Quantum communication, another emerging enabler, introduces ultra-secure links for critical navigation, reconnaissance, and command-control systems. However, its integration into space systems also presents novel geopolitical challenges related to technological disparities and verification protocols. Therefore, international agreements must proactively establish clear standards for quantum encryption to mitigate potential geopolitical tensions stemming from asymmetric secure communication capabilities.

Digital twins and bio-regenerative systems enhance risk mitigation and long-duration habitability by providing immersive simulation environments for operational rehearsals and closed-loop life-support management. These advanced tools are instrumental for building resilient cislunar infrastructure and future deep-space outposts, significantly strengthening mission safety, sustainability, and operational efficiency.

However, governance mechanisms must anticipate and embed principles of accountability, safety, and equity. Issues such as explainability in AI, liability in autonomous systems, and equitable access to enabling digital infrastructure demand urgent multilateral attention. A global, anticipatory governance approach is essential to ensure that emerging technologies reinforce shared norms rather than entrench asymmetric access or control over space-derived value.

A particularly salient dimension concerns AI-generated knowledge (European Parliament and Council, 2024). HPC and machine learning models increasingly derive insights from raw telemetry and sensor data, raising unresolved questions of intellectual property, jurisdiction, and attribution. As this fast-paced digital transformation unfolds,

regulators must address the ownership of AI-derived outputs, accountability in automated decision-making, and the cross-border enforceability of space data rights.

In summary, emerging enablers necessitate policymakers to move beyond reactive rulemaking toward foresight-based governance. This includes engaging expert communities, developing testbeds, and codifying interoperability standards. These technologies must be incorporated into governance frameworks from the outset—not retrofitted after deployment. Expanding on initiatives like the EuroMoonMars field campaigns (Foing et al., 2022) can inform these discussions by offering simulated environments to test emerging technologies and foster innovation in the space sector—generating insights directly applicable to anticipatory policy development. By embedding technological enablers within a shared vision for responsible innovation, the global space community can ensure that disruption leads to collective benefit rather than systemic fragmentation.

6. PRINCIPLES FOR EQUITABLE AND INCLUSIVE SPACE GOVERNANCE

In parallel with foundational instruments such as the Outer Space Treaty (1967) and the Moon Agreement (1979), a new wave of national legislation—such as the U.S. Commercial Space Launch Competitiveness Act (2015) (United States Congress, 2015), Luxembourg’s Space Resources Law (2017) (Government of Luxembourg, 2017), and the United Arab Emirates’ Federal Law No. 12 (2019) (United Arab Emirates, 2019)—demonstrates a deliberate move by individual states to establish domestic legal clarity regarding space resource utilization. While generally consistent with the Outer Space Treaty’s permissive framework, these unilateral initiatives signal the emergence of a fragmented legal landscape.

Several international efforts have sought to bridge this emerging normative divide. Notably, The Hague International Space Resources Governance Working Group (2015–2020) proposed a set of Building Blocks intended to promote shared principles without imposing binding obligations. Similarly, UNOOSA’s Legal Subcommittee has facilitated ongoing discussions, acknowledging both the potential and legal complexity of off-Earth resource extraction (United Nations Office for Outer Space Affairs, n.d.). The OECD Space Forum has likewise examined the economic and policy dimensions of resource activities beyond Earth (OECD, 2019).

These multilateral initiatives highlight the difficulty of reconciling commercial imperatives with collective governance. The diversity of stakeholders involved—ranging from national governments and private industry to civil society—further complicates the path toward a single, unified global regime. Instead, these developments point to the need for a pluralistic yet principled approach: one that acknowledges legal diversity while advancing equitable access, transparency, and accountability at international level.

A credible and effective regulatory vision must be anchored in universally shared principles: inclusivity, transparency, interoperability, accountability, and stewardship. As governance mechanisms evolve, they must support equitable access for emerging space nations and private actors alike. International frameworks should avoid both legal ambiguity and regulatory capture, while providing clarity, predictability, and stability to all stakeholders.

Equity demands more than mere access alone; it entails inclusive representation in agenda-setting, norm development, and benefit-sharing. Global leadership should advance capacity-building initiatives, open standards, and shared research and development/innovation (R&D/I) platforms. The principle of stewardship must guide resource utilization, ensuring that today’s exploitation does not foreclose opportunities for future generations.

Inclusivity must also confront structural disparities across gender, generation, geography, and socio-economic status. Transparency fosters institutional trust, while interoperability enables seamless cross-border technical collaboration. Legal and institutional accountability reinforces these principles by ensuring that all actors are held responsible for their actions.

6.1. Core Principles of Equity

- **Intergenerational Justice:** Space activities must consider the long-term sustainability of the orbital environment and celestial bodies, ensuring that opportunities remain available for future generations.
- **Proportionality and Capacity:** Rules and responsibilities must reflect the differing capabilities of spacefaring and non-spacefaring nations, without excusing inaction or diminishing shared responsibilities.
- **Common Benefit Doctrine:** Building upon Article I of the OST, the use of outer space must serve the interests of all humankind, supported by mechanisms that enable equitable access to data, resources, and economic returns.

6.2. Mechanisms to Enable Fair Participation

- **Open Access Registries:** Establish transparent and internationally accessible registries for resource claims, orbital slot allocations, and lunar surface activities to promote accountability and mitigate geopolitical tensions.
- **Benefit-Sharing Models:** Formulate international agreements that mandate a portion of the economic returns from space resources be allocated toward global development goals or shared technology programmes.
- **Global Commons Framework:** Designate certain domains, such as Lagrange points, polar lunar regions, or high-value orbits, as common heritage areas with specific protections and cooperative usage regimes.

6.3. Governance Integration

- Ensure that space governance is integrated into broader discussions on sustainability, resilience, and socio-economic justice. This includes aligning policies across interrelated domains such as climate change adaptation, disaster risk management, digital infrastructure, and energy transitions.
- Promote joint initiatives between space and non-space sectors to ensure that regulatory evolution reflects real-world interdependencies, such as satellite-enabled smart agriculture, resilient supply chains, and secure digital connectivity.

6.4. Multilateralism and Institutional Anchoring

- Strengthen the role of international bodies such as the UN Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS), ITU, and UNOOSA in setting norms, facilitating dispute resolution, and fostering inclusive multilateral dialogue.
- Establish pathways for greater involvement of non-traditional actors (e.g., Global South, indigenous communities, private sector) in the shaping of international space law and governance.

These principles provide the ethical and operational foundation upon which a globally legitimate and forward-looking governance framework can be built. Collectively, they form the normative guidance and ethical compass for the strategic governance pathways explored in the following section.

7. A GLOBAL GOVERNANCE PROPOSAL FOR SPACE RESOURCES

As space becomes a critical domain underpinning economic development, environmental monitoring, scientific advancement, and global security, the imperative for a unified, anticipatory, and adaptive global governance model grows stronger. The current landscape—characterized by fragmented regulatory regimes and asymmetrical capabilities—risks exacerbating global inequalities and compromising the long-term sustainability of outer space.

This paper advances a governance vision centered on four strategic pillars:

- **Equity and Inclusiveness:** Ensure that both spacefaring and non-spacefaring nations have a meaningful voice in rule-making processes and equitable access to the benefits derived from space resources.
- **Resilience and Adaptability:** Promote legal and institutional frameworks capable of evolving alongside rapid technological and geopolitical changes, including the rise of new actors and new domains (e.g., in-orbit servicing, lunar ISRU).
- **Integrated Multilateralism:** Advocate for governance mechanisms that are embedded across policy sectors—linking space with climate, energy, health, mobility, and security—and anchored in transparent and inclusive multilateral institutions.
- **Responsible Leadership and Capacity Building:** Call upon leading space actors to assume stewardship roles in facilitating technology transfer, developing global public goods, and supporting emerging space nations through open standards and cooperative missions.

Such leadership must also extend to the development of shared security protocols and early-warning systems. These measures are essential to protect critical space infrastructure—such as navigation, communications, and Earth observation assets that underpin essential services and global stability. Framing these efforts as part of a global commons protection agenda reinforces the responsibility of space actors to uphold human rights and ensure the uninterrupted provision of public goods worldwide.

This governance vision is not yet realized. The present study aims to initiate this global dialogue, advocating for coordinated leadership, partnership-based diplomacy, and a renewed mandate for international institutions such as COPUOS, ITU, and UNOOSA to serve as central platforms for implementing shared space governance goals.

8. RESPONSIBLE LEADERSHIP AND GLOBAL PARTNERSHIPS

Beyond norms and protocols, the space domain urgently needs visionary leadership. States and international bodies must spearhead a new governance paradigm that is anticipatory, cooperative, and anchored in shared global values. This includes the development of shared security protocols and early-warning systems to safeguard critical infrastructure as global commons, thereby reinforcing the space sector's vital role in protecting human rights and ensuring the continuity of essential public services worldwide.

In shaping this vision, European policy thought leadership offers valuable normative and institutional precedents. Although tailored to its regional context, the European approach rooted in precautionary environmental principles, multistakeholder governance models, and an emphasis on peaceful cooperation can serve as a strong reference point for building globally inclusive governance frameworks that balance innovation, responsibility, and equity.

Achieving equity in space governance requires a careful balancing of national interests, commercial freedoms, and collective planetary stewardship. Establishing global partnerships and exercising responsible space leadership must go hand in hand with the co-creation of soft law instruments, the strengthening of verification and enforcement mechanisms, and the strategic use of multilateral forums to bridge geopolitical divides. The establishment of open registries, community-led oversight bodies, and public interest safeguards can reinforce legitimacy and accountability. These partnerships must not only formulate policy but also deliver impact through interoperable standards, shared monitoring mechanisms, and equitable access to strategic infrastructure.

Building on these collective efforts, a future-proof model of space governance can emerge—capable of shaping responsible global norms through inclusive practices and shared principles, even in the absence of universal jurisdiction.

9. CONCLUSION

This paper advocates for a bold global vision: a space governance architecture that is cooperative, adaptive, and inclusive—anchored in human rights, scientific responsibility, and long-term planetary stewardship. Achieving this vision requires prioritizing global partnerships that effectively integrate governmental leadership, commercial innovation, civil society oversight, and academic expertise in a coordinated and strategic manner.

Space domain expertise must serve as the foundation of policymaking and be integrated in both transdisciplinary and interdisciplinary ways to avoid superficial or siloed approaches driven by actors lacking technical understanding. Instead, co-created, overarching governance models are needed—ones that reflect the diverse and inclusive narratives of a broad range of stakeholders and promote systemic connectivity across sectors and disciplines. Such an approach must also evolve in tandem with the new wave of technological convergence reshaping the space domain—from artificial intelligence and quantum technologies to biotechnology and digital infrastructure—which is redefining how space resources are accessed, governed, and utilized.

While regional frameworks remain limited in scope, they can serve as testbeds for governance innovation. In this context, European policy models grounded in multilateralism, safety-first principles, and regulatory coherence offer valuable precedents that can inform global frameworks. Although tailored to their specific local contexts, such initiatives highlight the potential of regionally tested, globally relevant standards to serve as stepping stones toward a more inclusive and enforceable international governance architecture.

This vision calls upon leading space nations, institutions, and commercial actors to assume proactive stewardship roles in shaping a globally inclusive, sustainable and resilient future. It involves co-creating frameworks for technology transfer, shared infrastructure, and open access to space-derived public goods, particularly in support of emerging space nations. Central to this vision is the establishment of shared security protocols and multilateral early-warning systems that protect critical infrastructure as global commons, upholding not only the stability of the space environment but also the continuity of public services and human rights worldwide.

By embedding equity and solidarity into cooperative missions, open standards, and multilateral engagements, global stakeholders can co-create a future-proof space governance model—one that fosters an inclusive ecosystem

where the benefits of space are equitably accessible and resilient across regions, generations, and geopolitical boundaries.

Scope and Limitations:

This paper does not seek to provide a definitive legal regime or comprehensive institutional architecture. Rather, it offers a structured policy vision rooted in equity, ethical governance, and anticipatory resilience. Legal and institutional references are included to contextualise—not resolve—the current regulatory dynamics, and are by no means exhaustive.

Instead, it adopts a novel integrative framing that treats sustainability and resilience as mutually reinforcing grounding principles—positioned not merely as thematic goals, but as actionable pathways for aligning diverse stakeholders across sectors and jurisdictions. By coupling long-term planetary stewardship with adaptive governance capacities, this dual lens facilitates the emergence of inclusive and future-proof regulatory approaches.

Importantly, this contribution also serves as a precursor study to gauge interest and identify potential collaborators for further elaborating the proposed vision. It aims to inform and inspire policy dialogue toward identifying strategic pathways and co-creating practical governance models and regulatory frameworks, whilst supporting the long-term evolution of cooperative, inclusive, and future-ready space governance.

ETHICAL STATEMENT & GENERAL STATEMENTS

This paper meets the standards of research and publication ethics.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

All authors have read and approved the final manuscript.

FUNDING

Not applicable.

AVAILABILITY OF DATA AND MATERIALS

Not applicable.

COMPETING INTERESTS

The authors declare that they have no competing interests.

REFERENCES

- Aliberti, M., Capelli, O., & Praino, R. (2023). Power, state and space: Conceptualizing, Measuring and Comparing Space Actors. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-32871-8>
- Boley, A. C., & Byers, M. (2021). Satellite mega-constellations create risks in low Earth orbit, the atmosphere and on Earth. *Scientific Reports*, 11, 10642. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89909-7>
- Chrysaki, M. (2020). The sustainable commercialisation of space: The case for a voluntary code of conduct for the space industry. *Space Policy*, 52, 101375. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2020.101375>
- COSPAR (2021). COSPAR planetary protection policy. Committee on Space Research. https://cosparhq.cnes.fr/assets/uploads/2021/07/PPPolicy_2021_3-June.pdf
- European Commission (2025). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the safety, resilience and sustainability of space activities in the Union (COM(2025) 335 final). https://commission.europa.eu/document/e6cd4328-673c-4e7a-8683-f63ffb2cf648_en
- European Commission & High Representative of the Union for Foreign Affairs and Security Policy (2023). Joint communication to the European Parliament and the Council: European Union Space Strategy for Security and Defence (JOIN(2023) 9 final). <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7371-2022-INIT/en/pdf>

- European Parliament and Council of the European Union (2024). Regulation (EU) 2024/1689 on harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). *Official Journal of the European Union*, L 1689, 12–70. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32024R1689>
- European Space Agency (2022). Clean Space initiative. https://www.esa.int/Space_Safety/Clean_Space/Clean_Space2
- European Space Agency (2023). Space Safety Programme. https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Safety_at_ESA
- European Space Agency (2024). Space Safety Programme at ESA. https://www.esa.int/Space_Safety/
- European Space Policy Institute (2022). ESPI2040: Space for prosperity, peace and future generations. https://www.espi.or.at/wp-content/uploads/2024/02/ESPI2040_03JAN_FINAL.pdf
- Foing, B. H., Tavernier, A., Crotti, S., Pascual, J., Bustamante, I., Kolodziejczyk, A., ... & EuroMoonMars Campaigns Teams (2022). EuroMoonMars Earth Space Innovation Highlights. In: 53rd Lunar and Planetary Science Conference. LPI Contribution No. 2678, 2042. <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2022/pdf/2042.pdf>
- Government of Luxembourg (2017). Law of 20 July 2017 on the exploration and use of space resources. *Journal officiel du Grand-Duché de Luxembourg*, A No. 674. <https://legilux.public.lu/eli/etat/leg/loi/2017/07/20/a674/jo>
- Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (2021). IADC space debris mitigation guidelines. <https://www.iadc-home.org>
- International Telecommunication Union (2020). ITU Radiocommunication regulations (ITU-R). <https://www.itu.int/en/ITU-R>
- Jakhu, R., Pelton, J. N., & Sgobba, T. (2017). Space safety and human performance. Springer.
- Losch, A., Galli, A., & Schildknecht, T. (2024). History, concepts and challenges of proposing an 18th UN Sustainable Development Goal related to space. *Space Policy*, 68, 101631. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2024.101631>
- Moon Village Association (2020). Moon Village Principles – Implementation Guidelines. Retrieved from <https://moonvillageassociation.org>
- NASA (2020). The Artemis Accords: Principles for a safe, peaceful, and prosperous future in space. <https://www.nasa.gov/artemis-accords/>
- NASA (2021). Human Exploration and Operations Mission Directorate. <https://www.nasa.gov/oiiir-human-exploration-and-operations-division-head/>
- OECD (2019). The Space Economy in Figures: How Space Contributes to the Global Economy, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/c5996201-en>
- OECD (2020). Space Sustainability: The Economics of Space Debris in Perspective. *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, 87. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2020/04/space-sustainability_a2d8e17f/a339de43-en.pdf
- Reif, S. U. (2002). Shaping a legal framework for the commercial use of outer space: Recommendations and conclusions from Project 2001. *Space Policy*, 18(2), 157–162. [https://doi.org/10.1016/S0265-9646\(02\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0265-9646(02)00007-3)
- Space Renaissance Initiative (2016). The Space Renaissance Manifesto (Rel. 1.2). <https://spacerenaissance.space/sri/manifesto/>
- The Hague International Space Resources Governance Working Group (2020). Building Blocks for the Development of an International Framework on Space Resource Activities. <https://www.universiteitleiden.nl/en/law/institute-of-public-law/institute-of-air-space-law/the-hague-space-resources-governance-working-group>
- Tronchetti, F. (2015). The exploitation of natural resources of the Moon and other celestial bodies: A proposal for a legal regime. Brill.

- United Arab Emirates (2019). Federal Law No. 12 of 2019 on the Regulation of the Space Sector. Official Gazette of the United Arab Emirates. Retrieved from <https://www.moj.gov.ae/assets/2020/Federal%20Law%20No%2012%20of%2019%20on%20THE%20REGULATION%20OF%20THE%20SPACE%20SECTOR.pdf.aspx>
- United Nations (1967). Treaty on principles governing the activities of states in the exploration and use of outer space, including the Moon and other celestial bodies (Outer Space Treaty). <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/introouterspacetreaty.html>
- United Nations (1979). Agreement governing the activities of states on the Moon and other celestial bodies (Moon Agreement). United Nations Treaty Series, 1363, 3. <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/moon-agreement.html>
- United Nations Office for Outer Space Affairs (2019). Guidelines for the long-term sustainability of outer space activities (LTS Guidelines). <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/topics/long-term-sustainability-of-outer-space-activities.html>
- United Nations Office for Outer Space Affairs (2023). The legal framework for space resource activities. Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, Legal Subcommittee. A/AC.105/C.139/2023/CRP.24. https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2023/aac_105c_2crp/aac_105c_2crp_24_0_html/AC105_C2_CRP24E.pdf
- United Nations Office for Outer Space Affairs (n.d.). Working Group on Legal Aspects of Space Resource Activities. <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/lsc/space-resources/index.html>
- United States Congress (2015). U.S. Commercial Space Launch Competitiveness Act, *Public Law* No: 114-90, 129 Stat. 704. <https://www.congress.gov/114/plaws/publ90/PLAW-114publ90.pdf>
- von der Dunk, F. G. (2019). Intellectual property and space activities. In S. Hobe, B. Schmidt-Tedd, & K.-U. Schrogl (Eds.), *Cologne commentary on space law* (Vol. 3). Nomos.
- White House (2018). Space Policy Directive-3: National space traffic management policy.



Araştırma Makalesi

Roketlerde kanat geometrisinin statik stabiliteye etkilerinin sayısal olarak incelenmesi

Polat Çelik¹, Mehmet Sabancı², Hasan Sarpkaya³ ve Sezer Çoban⁴

Öz. Bu çalışmada, roket sistemlerinde kullanılan farklı kanatçık geometrilerinin statik kararlılık üzerindeki etkisi sayısal analiz yoluyla araştırılmıştır. Roket sistemlerinde aerodinamik kararlılığın sağlanması, özellikle yüksek hızlı uçuş sırasında sapma ve kararsızlığın önlenmesi için büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, ileri süpürülmüş delta, ileri süpürülmüş delta, eliptik ve trapez olmak üzere dört farklı kanatçık geometrisi hem OpenRocket simülasyonları hem de ANSYS Fluent tabanlı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. OpenRocket, roketin basınç merkezini (CP) ve kütle merkezini (CG) belirlemiş ve statik marjları hesaplamıştır. Her kanatçık tipi için kaldırma kuvveti, sürüklenme kuvveti ve moment değerleri HAD analizi yoluyla elde edilmiştir. Ayrıca, elde edilen veriler MATLAB'da oluşturulan bir uçuş dinamiği modeline beslenerek zamanla değişen yönelimleri analiz edilmiştir. Sonuçlar, eliptik kanatçıkların minimum sürüklenme katsayılarıyla en verimli çözümü sunduğunu, ileri süpürülmüş delta kanatların ise irtifa ve kaldırma performansı açısından üstün olduğunu göstermiştir. Çalışmanın sonuçları, roket tasarım sürecinde stabilizatörlerin optimum seçimi için mühendislik tabanlı öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Roket aerodinamiği, kanat geometrisi, statik marj, HAD, OpenRocket.

Research Paper

Numerical investigation of the effects of wing geometry on static stability in rockets

Abstract. In this study, the effects of different fin geometries used in rocket systems on static stability were investigated through numerical analysis. Ensuring aerodynamic stability in rocket systems is crucial for preventing yaw and instability, especially during high-speed flight. In this context, four different fin geometries—forward-swept delta, forward-swept delta, elliptical, and trapezoidal—were evaluated using both OpenRocket simulations and ANSYS Fluent-based Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis. OpenRocket determined the rocket's Center of Pressure (CP) and center of mass (CG) and calculated the static margins. Lift, drag, and moment values for each fin type were obtained through CFD analysis. Furthermore, the obtained data were fed into a flight dynamics model created in MATLAB to analyze their time-varying orientations. The results showed that elliptical fins offer the most efficient solution with minimum drag coefficients, while forward-swept delta wings are superior in terms of altitude and lift performance. The results of the study provide engineering-based recommendations for the optimum selection of stabilizers in the rocket design process.

Keywords: Rocket aerodynamics, wing geometry, static margin, CFD, OpenRocket.

1 Uçak Bakım Onarım Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, 31000, Hatay, Türkiye; polatcelik121@gmail.com (Sorumlu Yazar)

2 Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İskenderun Teknik Üniversitesi, 31000, Hatay, Türkiye; msabanci.lee23@iste.edu.tr

3 Matematik Bölümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, 7900, Kilis, Türkiye; kayasarp321@gmail.com

4 Uçak Bakım Onarım Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, 31000, Hatay, Türkiye; sezer.coban@iste.edu.tr
<https://doi.org/10.52995/jass.1744172>

Geliş Tarihi: 16 Temmuz 2025; Kabul Tarihi: 26 Ağustos 2025; Yayımlanma Tarihi: 31 Ağustos 2025

© 2025 Türk Hava Kurumu Üniversitesi. Tüm hakları saklıdır.

Bu makale Creative Commons Atıf-GayriTicari-AynıLisanslaPaylaş 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.



1. GİRİŞ

Roket teknolojisi, havacılık ve uzay endüstrisindeki en önemli mühendislik disiplinlerinden biridir ve insanlığın uzay uçuşu hayalini gerçekleştirmesini sağlar (Huang & Huzel, 1992), (Fortescue, Swinerd, & Stark, 2011), (Sutton & Biblarz, 2016). Hem askeri hem de sivil amaçlarla kullanılan roket sistemleri yapısal bütünlük, itme gücü üretimi, yön kontrolü ve aerodinamik kararlılık gibi çeşitli teknik unsurların koordinasyonu sayesinde etkin bir şekilde çalışır (Anderson, 2010), (Sadraey, 2012). Özellikle uçuş kararlılığı hem güvenlik hem de uçuş hassasiyeti açısından bu sistemler için önemli bir performans göstergesidir (Abzug & Larrabee, 2002), (Barokah v.d., 2024), (Barnard & Philpott, 2010).

Füzelere uçuş sırasında etki eden aerodinamik kuvvetler ile tasarım ve güdüm parametreleri tasarımlarda belirleyici bir rol oynar. Kararlılık, özellikle transsonik ve süpersonik hızlarda sistemin sapmalardan kurtulma yeteneğine doğrudan bağlıdır (Ruffles & Dakka, 2016), (Wibowo, Sutrisno, & Rohmat, 2018). Bu bağlamda, kuyruk sistemleri tasarımda kilit bir rol oynar ve roketin hem aerodinamik kararlılığını hem de yön kontrolünü sağlar (Sutton & Biblarz, 2016), (Abzug ve Larrabee, 2002).

Roket kararlılığını belirleyen temel parametrelerden biri basınç merkezi (CP) ile ağırlık merkezi (CG) arasındaki mesafedir. CP etkili aerodinamik kuvvetlerin uygulama noktasını temsil ederken, CG roketin kütle merkezinin konumunu temsil eder (Anderson, 2010). CP'nin CG'nin arkasındaki konumu, sistemin pozitif bir statik marja sahip olduğunu, yani roket eksen etrafında oluşabilecek sapmalardan kurtulma eğiliminde olduğunu gösterir (Barokah v.d., 2024), (Bordachev, 2023). Ancak bu denge yalnızca kütle dağılımına değil aynı zamanda kanatların geometrik yapısına da bağlıdır (Boumrrar & Djebali, 2019).

Bu bağlamda, literatürde roket kararlılığı üzerine çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma yürütülmüştür. Smith ve Johnson farklı kanat tiplerinin yüksek hızlarda CP (konum düzlemi) konumu üzerindeki etkisini rüzgâr tüneli testleri ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri kullanarak araştırmış ve delta kanatların süpersonik uçuş için daha uygun olduğunu göstermiştir (Ruffles & Dakka, 2016). Barokah v.d. eliptik, trapezoid ve delta kanatların kaldırma kapasitelerini karşılaştırarak, trapezoid kanatların küçük roketler için kararlılık ve performans sağladığını göstermiştir (Barokah v.d., 2024). Boumrrar ve Djebali, CP konumunun değişkenliğini analiz etmiş ve HAD verilerini kullanarak kanat tasarımının kararlılık üzerindeki etkisini doğrulamıştır (Boumrrar & Djebali, 2019).

(Wibowo, Sutrisno, & Rohmat, 2018) çalışması delta kanat kontrolünün yüksek irtifa uçuş koşullarında türbülanslı akışlar üzerindeki etkisini deneysel olarak doğrulamıştır. Cesnik v.d. kompozit kanat malzemelerinin elastikiyetinin dinamik stabilite üzerindeki etkisini araştırmış ve dinamik davranışa odaklanan ileri süpürme kanatlarının aeroelastik etkilerini analiz ederek bu kanatların özellikle küçük sapmalarda daha düşük sönümleme sağladıklarını göstermiştir (Cesnik, Hodges, & Patil, 1996).

Sayısal modelleme açısından bakıldığında, HAD roket aerodinamiğinde en yaygın kullanılan analitik araçlardan biri haline gelmiştir (ANSYS, , 2020), (Sutton & Biblarz, 2016). ANSYS Fluent gibi karşılaştırma araçları aerodinamik kuvvet dağılımlarını, basınç farklarını, sınır tabakası oluşumunu ve kaldırma/sürüklenme kuvvetlerini hesaplamada yüksek doğruluk sunar (Cesnik, Hodges, & Patil, 1996), (Bordachev, 2023). Ancak, HAD analizinin güvenilirliği, ağ kalitesi, uygun sınır koşulları ve türbülans modeli seçimi gibi faktörlere bağlıdır (Anderson, 2010), (Boumrrar & Djebali, 2019). Bu nedenle, farklı kanat geometrilerinin bir HAD ortamında karşılaştırmalı analizi hem sayısal doğruluk hem de mühendislik karar desteği açısından önemlidir.

Ayrıca, OpenRocket gibi açık kaynaklı simülasyon araçları ön tasarım ve ilk kararlılık analizi için pratik çözümler sunar (OpenRocket, 2023). CP ve CG hesaplamalarının kolay yapılabilmesi, bu yazılımın mühendislik eğitiminde ve tasarım meraklıları arasında yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Ancak, OpenRocket hızlı ve karmaşık türbülanslı akış koşullarında sınırlı doğruluk sağladığından sonuçların HAD kullanılarak doğrulanması gerekmektedir (Barokah v.d., 2024), (Boumrrar & Djebali, 2019).

Bu çalışmada, OpenRocket yazılımı kullanılarak yapılan ön analizler ve ANSYS Fluent tabanlı HAD simülasyonları aracılığıyla dört farklı kanat geometrisinin (trapezoid, eliptik, geriye doğru taranmış delta ve ileriye doğru taranmış delta) roketin statik kararlılığı üzerindeki etkisi kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Kaldırma kuvveti, sürüklenme, CP-CG konumu ve statik marj tüm analizlerde karşılaştırılmıştır.

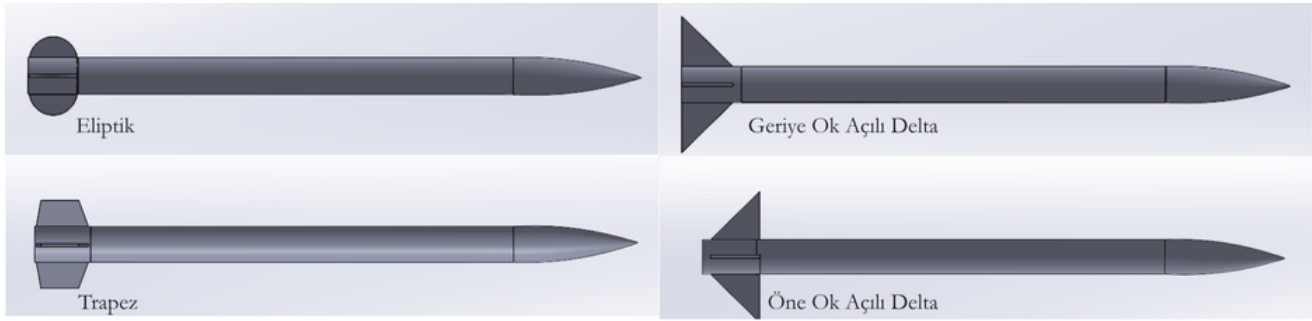
2. YÖNTEMLER

Bu çalışmada, dört farklı kuyruk (kanat) geometrisine sahip bir roket modelinin kapsamlı bir analizi simülasyon yöntemleri OpenRocket ve HAD kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen aerodinamik kuvvet değerleri MATLAB'da oluşturulan bir uçuş dinamiği modeli kullanılarak zamanla değişen kararlılık açısından da değerlendirilmiştir.

2.1. Geometrik Modelleme

Roket gövdesi ve kanatları SolidWorks yazılımı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Roket gövdesi konik ön kısma sahip silindirik bir yapıya sahiptir. Roket gövdesinin uzunluğu, çapı ve kütlesi tüm varyantlarda sabit tutulmuş, yalnızca kanat geometrisi değiştirilmiştir. Bu bağlamda dört kanat tipi test edilmiştir (Rahman v.d., 2013), (Roberts, 2006):

- Eliptik Kanat (Şekil 1),
- Trapez Kanat (Şekil 1),
- Geriye Ok açılı Delta Kanat (Şekil 1),
- Öne Ok Açılı Delta Kanat (Şekil 1).

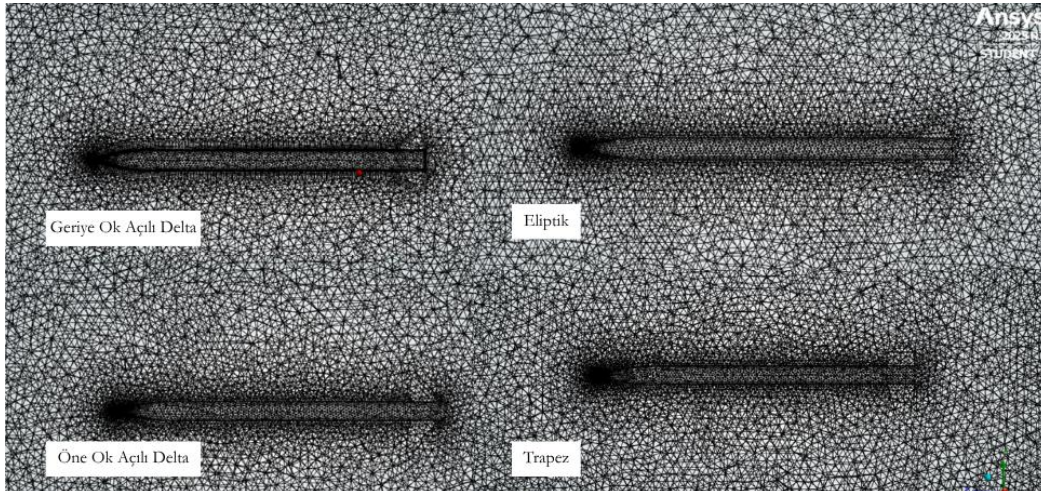


Şekil 1. Kanat Geometrilerinin ve Roket Tasarımının 3B Çizimi

Her kanat, simetri sağlamak için gövdeye 90° açıyla yerleştirilmiştir. Tüm kanatlar aynı alana (yaklaşık $0,006 \text{ m}^2$) sahip olacak şekilde değiştirilmiştir. Bu durum geometrik parametrelerin aerodinamik performans üzerindeki etkisinin ayrı ayrı değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

2.2. Ağ Yapısı ve HAD Modellemesi

Geometrik modeller ANSYS Meshing ile altı yüzlü hücreler kullanılarak yapılandırılmıştır. Sınır tabakasının etkisini özellikle kanat-gövde arayüzünde daha doğru bir şekilde temsil etmek için şişirilmiş katmanlar kullanılmıştır. Ağ kalitesi ortalama hücre boyutu 10 mm, toplam hücre sayısı yaklaşık 1,25 milyon, asimetri (sapma) $0,25^\circ$ 'ten küçük, ortogonal kalite $0,85$ 'ten büyük olacak şekilde yapılmıştır (Faery, Strozier, & Ham, 1981), (Mahmood & Das, 2019). Şekil 2'de mesh yapıları gösterilmiştir.



Şekil 2. ANSYS Programında Mekanik R1 Aracılığı ile Mesh Yapısı Oluşturulan Farklı Kanat Tiplerine Sahip Roketlerin Mesh Görüntüleri

Ağ bağımsızlığı analizi çözünürlük sapmasının %0,1'den az olduğunu ve son analizde üçüncü ağ konfigürasyonunun tercih edildiğini göstermiştir.

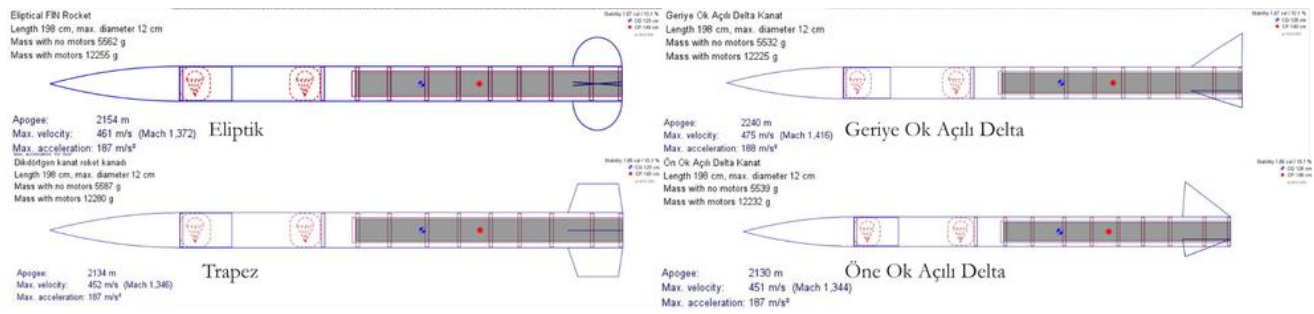
Çözüm Kurulumunda kullanılan modeller ve ayarlamalar şunlardır:

- Türbülans Modeli: k- ω SST,
- Akış Türü: Kararlı, Sıkıştırılmaz, Newtoncu,
- Sınır Koşulları:
- Giriş: Sabit hız (343 m/s – Mach 1, deniz seviyesi koşulları),
- Çıkış: Sabit çıkış basıncı,
- Duvarlar: Kaymayan koşullar.

k- ω SST türbülans modeli sınır tabakasındaki yüksek doğruluğu ve ana akışta kararlı çözümler üretebilme yeteneği nedeniyle özellikle kanat analizi için tercih edilen bir yöntemdir.

2.3. OpenRocket ile Statik Kararlılık Analizi

OpenRocket açık kaynaklı bir roket simülasyon yazılımı ve kanat tasarımının etkilerini değerlendirmek için pratik bir araçtır. Statik sınır değerleri CP (basınç merkezi) ve CG (kütle merkezi) konumlarına göre otomatik olarak hesaplanabilir (OpenRocket, 2023). Bu çalışmada, dört farklı kanat tipi için aşağıdaki parametreler elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır: Kütle merkezi (CG), basınç merkezi (CP), statik marj (boyut olarak), maksimum kalkış yüksekliği (Apogee, m), maksimum hız (m/s) karşılaştırılan verilerdir (NASA Glenn Research Center, t.y.-a), (NASA Glenn Research Center, t.y.-b). İlgili detaylar Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. OpenRocket ile Oluşturulmuş Farklı Kanat Tiplerindeki Roketlerin Kütle Merkezi (CG), Basınç Merkezi (CP), Statik Marj (Boyut Olarak), Maksimum Kalkış Yüksekliği (Apogee, m), Maksimum Hız (m/s) Verileri

Tüm varyantlar için motor karakteristikleri yalnızca aerodinamik farklılıklar dikkate alınarak sabit tutulmuştur. Elde edilen veriler HAD hesaplamalarının sonuçlarıyla birlikte analiz edilmiştir.

2.4. MATLAB'da Zamansal Kararlılık Analizi

Bu çalışmada, ANSYS Fluent yazılımında gerçekleştirilen HAD analizlerinden elde edilen aerodinamik türevler ve kuvvet/moment verileri, MATLAB ortamında geliştirilen üç serbestlik dereceli (3-DOF) bir roket uçuş modeli içine entegre edilmiştir. Bu model, Newton-Euler hareket denklemleri temel alınarak oluşturulmuş ve sistemin zamana bağlı yönelimsel kararlılığı analiz edilmiştir.

Modelde kullanılan temel parametreler şu şekildedir: Uçuş hızı $u_0=450$ m, kütle $m=12,2$ kg, boylamsal atalet momenti $I_y=3,98$ kg, hava yoğunluğu $\rho=1,225$ kg/m³, referans yüzey alanı $S=0,7666$ m² ve ortalama aerodinamik kord uzunluğu $c=0,132$ m olarak tanımlanmıştır. Aerodinamik türevler HAD çıktıları doğrultusunda; kaldırma eğimi katsayısı $CL_\alpha=4,81$, eğim momenti katsayısı $CM_\alpha=-0,81$ ve yalpa momenti türevi $CM_q=-450$ olarak belirlenmiştir.

Bu verilere dayanarak oluşturulan A durumu matrisi, aşağıda verilen biçimde sistem haline getirilmiştir:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{0.5\rho u_0 S C_{L_\alpha}}{m u_0} & 1 & 0 \\ \frac{0.5\rho u_0 S c C_{M_\alpha}}{I_{yy}} & \frac{0.5\rho u_0 S c^2 C_{M_q}}{2 I_{yy} u_0} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Model, MATLAB ortamında durum uzayı (state-space) modeli olarak çözümlenmiş; başlangıç hücum açısı $\alpha=5^\circ$ olan bir durum için sistemin zamana bağlı davranışı analiz edilmiştir. Elde edilen grafiklerde;

- Hücum açısının (α) zamanla azalarak sönümlendiği,
- Yalpa hızının (q) pozitif bir tepe değere ulaşp kısa sürede sıfıra yaklaştığı,
- Pitch açısının (θ) ise zamana bağlı olarak dengeli bir artış gösterdiği

gözlemlenmiştir. Ek olarak, sistemin A matrisine ait özdeğerler hesaplanmış ve tüm özdeğerlerin reel kısmının negatif çıkması sistemin boylamsal eksen etrafında asal kararlı olduğunu doğrulamıştır. Bu durum hem eliptik hem de ileri ok açılı delta kanatlı konfigürasyonlar için özellikle belirgindir.

2.5. Karşılaştırmalı Değerlendirme Yöntemi

Her kanat tipi için aşağıdaki parametreler karşılaştırmalı tablolar ve grafikler kullanılarak değerlendirilmiştir:

- Statik marj (boyut olarak),
- Maksimum kalkış yüksekliği (Apogee, m),
- Kaldırma katsayısı (CL),
- Uçak sürüklenme katsayısı (CD),
- CP ve CG arasındaki mesafe,
- HAD kullanılarak elde edilen basınç dağılımı.

Veriler OpenRocket ve ANSYS Fluent sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve literatürle tutarlılık sağlamak için sayısal doğrulukları doğrulanmıştır (Barokah v.d., 2024).

3. SONUÇLAR

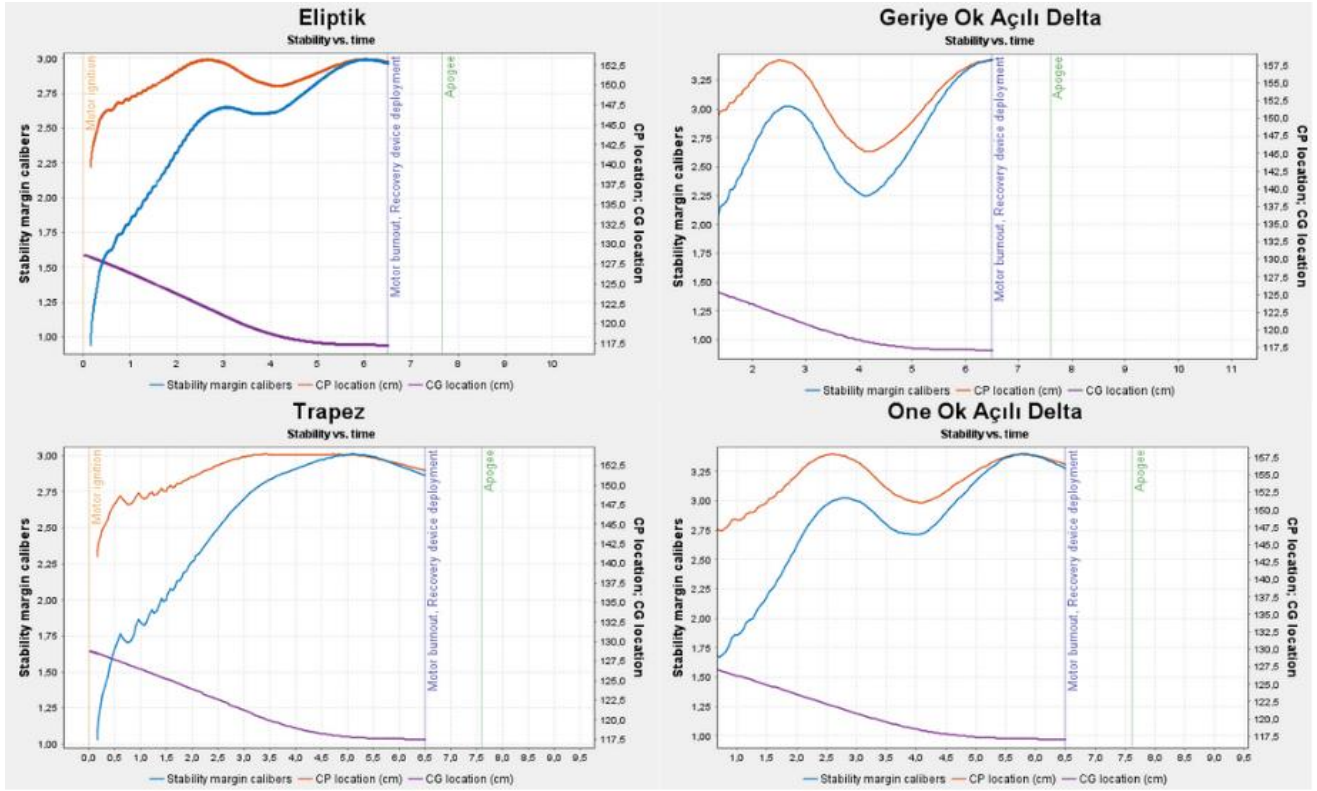
Bu bölümde, dört farklı kanat tipinin (eliptik, trapez, ileri ok açılı delta ve geri ok açılı delta) bir roketin aerodinamik ve dinamik kararlılığı üzerindeki etkileri çeşitli analiz yöntemleriyle elde edilen veriler kullanılarak değerlendirilmiştir. OpenRocket simülasyonlarından elde edilen statik marjlar ANSYS Fluent ile gerçekleştirilen HAD analizlerinden elde edilen basınç ve akış dağılımları ve MATLAB'da modellenen uçuş dinamikleri grafiksel olarak sunulmuş ve karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.

3.1. OpenRocket Sonuçları

OpenRocket simülasyonları roketin ağırlık merkezi (CG) ve basınç merkezi (CP) noktalarından türetilen her kanat tipi için statik marj değerlerini ve bu değerler arasındaki farkları sağlamıştır. Statik marj sistemin ilk sapmaya karşı kararlılığının önemli bir göstergesidir. Bununla ilgili ana sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Eliptik kanat konfigürasyonu en yüksek statik marjı sunarak onu en kararlı konfigürasyonlardan biri haline getirmiştir.
- Öne doğru eğimli delta kanatlar yüksek irtifadaki en boy oranlarıyla dikkat çekmelerine rağmen sınıra yakın bir statik marj sağlamıştır.
- Geriye doğru eğimli delta kanatlar ve trapez kanatlar benzer marj değerleriyle orta düzeyde stabilite sağlamıştır.
- Tüm konfigürasyonlar genellikle 1,66 ile 1,67 arasında pozitif statik marjlar sağlayarak uçuş stabilitesi için temel koşulları sağlamıştır.

Şekil 4'teki grafikler, dört farklı konfigürasyon için statik marjların karşılaştırmalarını göstermektedir.



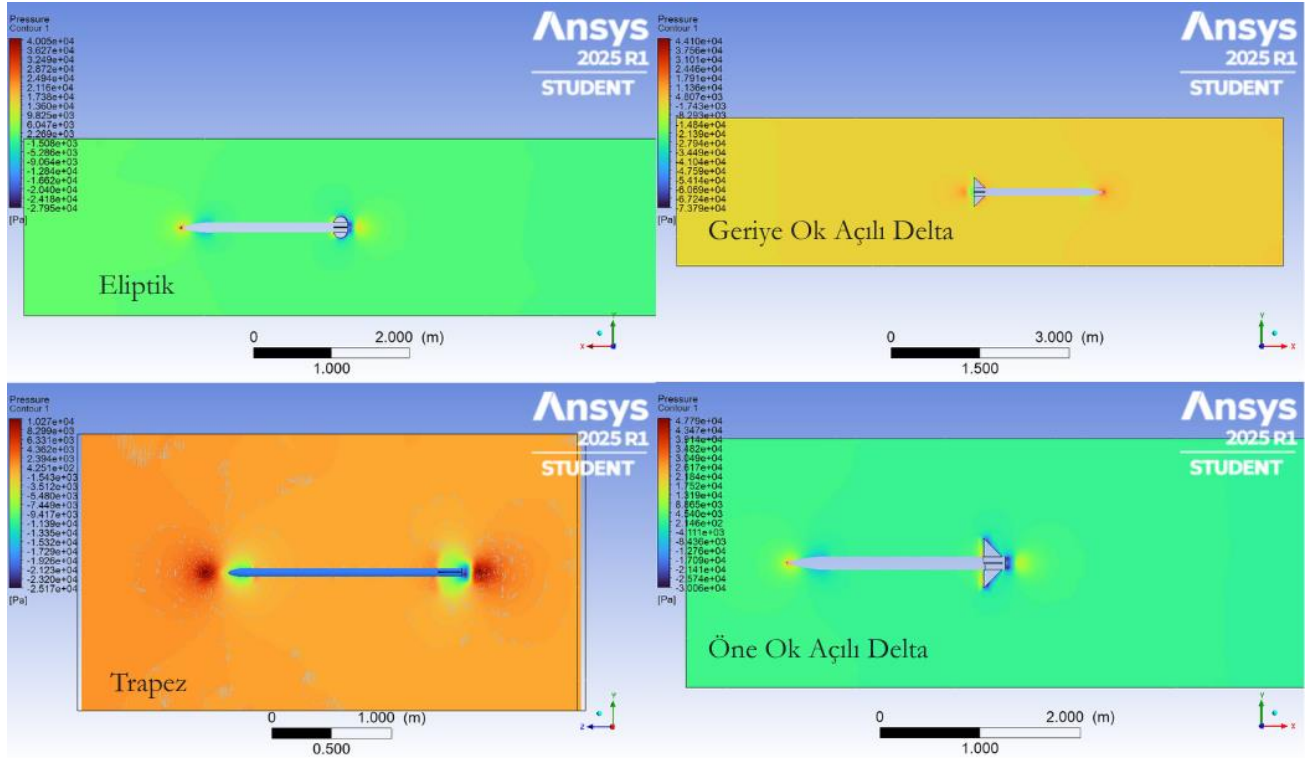
Şekil 4. Statik Marj Karşılaştırmasının Bir Grafiği

3.2. HAD Sonuçları

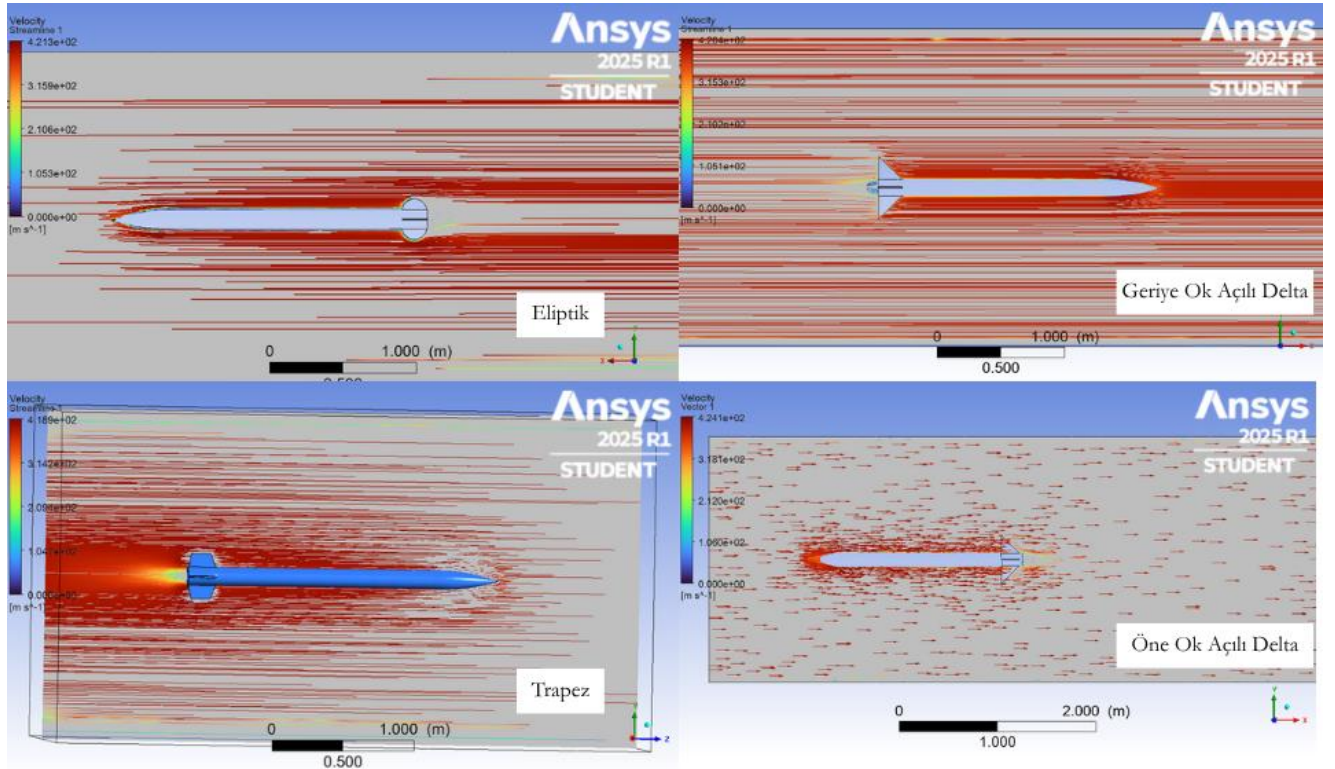
ANSYS Fluent ile gerçekleştirilen HAD analizleri her bir kanat geometrisinin aerodinamik performansını açıklamıştır. Kanat profillerinden ve basınç dağılım eğrilerinden elde edilen görselleştirmeler akış ayrımı, kaldırma kuvveti üretimi ve sürüklenme alanlarının incelenmesine olanak sağlamıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Eliptik kanat en düşük toplam sürüklenme katsayısını (yaklaşık 10^9) sergilemiş ve yüksek aerodinamik verimlilik göstermiştir.
- İleriye doğru eğimli delta kanat çok yüksek kaldırma ve tepe noktası değerleriyle yüksek performanslı bir yapı sergilemiştir.
- Geriye doğru eğimli delta kanat yüzeyde daha kararlı bir basınç dağılımı sağlayan geriye doğru akış ayrımı sergilemiştir.
- Trapezoid kanat dengeli kaldırma ve sürüklenme değerleriyle kararlı ancak orta düzeyde verimli bir yapı sergilemiştir.

Şekil 5 ve Şekil 6'daki grafikler sırasıyla, dört farklı kanat profiline göre basınç eğrilerinin ve hız vektör eğrilerinin karşılaştırmalarını göstermektedir.



Şekil 5. Kanat Profillerinin ve Basınç Eğrilerinin Görüntüleri



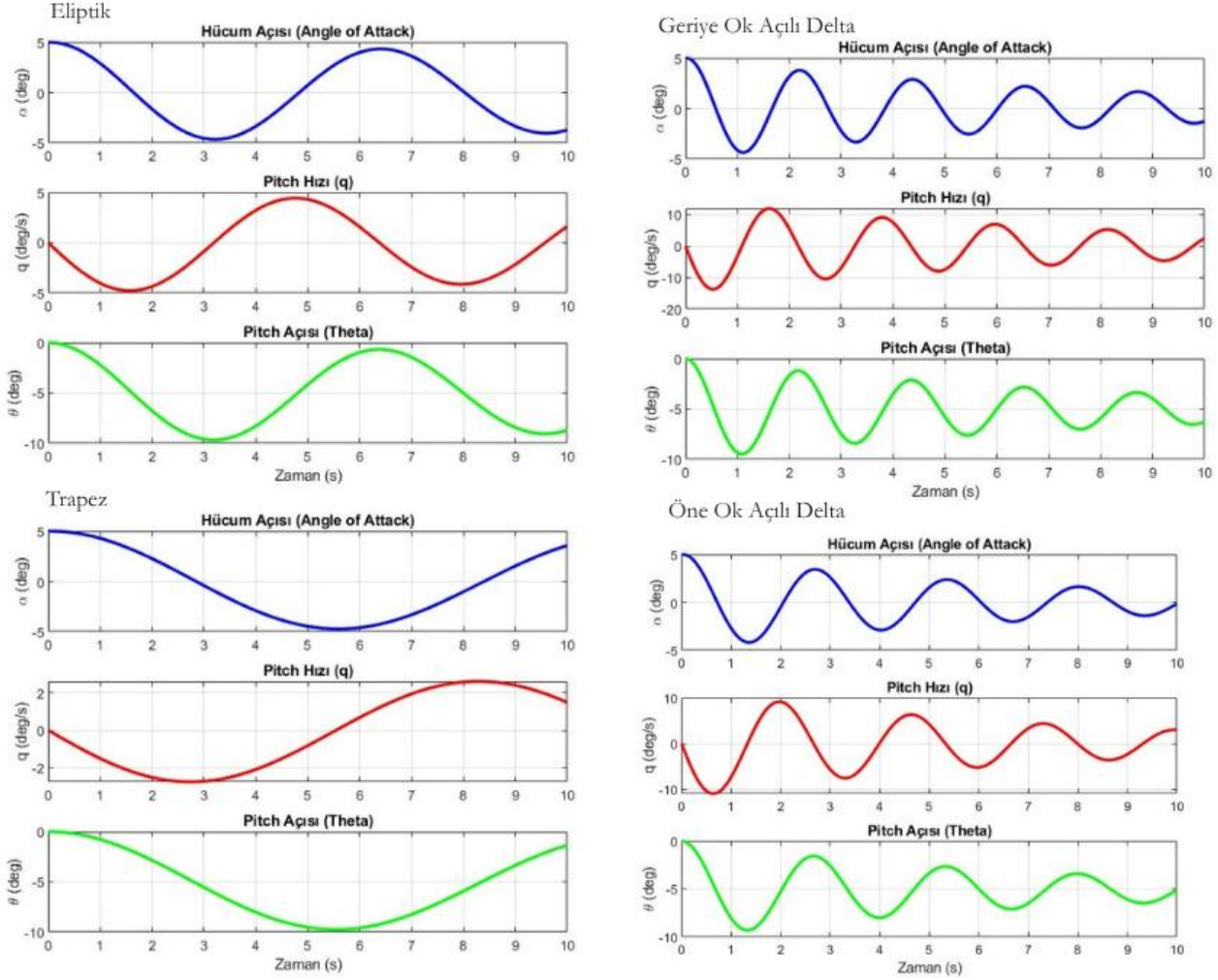
Şekil 6. Kanat Profillerinin ve Hız Vektör Eğrilerinin Görüntüleri

3.3. MATLAB Dinamik Stabilité Sonuçları

OpenRocket ve HAD ile elde edilen aerodinamik parametreler MATLAB ortamında geliştirilen bir uçuş dinamiği modeline entegre edilmiştir. Sistemin hücum açısı (α), eğim hızı (q) ve eğim açısı (θ) zaman içinde analiz edilmiştir. Grafikler (Şekil 7) bu parametrelerin on saniyelik bir uçuş senaryosundaki zamansal evrimini göstermektedir. Bu kısımda elde edilen veriler aşağıdaki sonuçları ortaya koymaktadır:

- Tüm konfigürasyonlar zamanla şu formülle verilen ilk saptmadan kurtulabilen kararlı bir yapı sergilemektedir: $\alpha=5^\circ$.

- İleri hareket eden delta konfigürasyonu daha büyük bir genliğe ancak daha hızlı bir sönümlenme salınımlarına sahiptir.
- Eliptik ve trapez kanatlar düşük genliğe ve yavaş bir sönümlenme tepkisine sahip daha yumuşak bir geçiş profili sergilemektedir.
- Sistemin özdeğerleri tüm konfigürasyonlar için negatif bir reel kısım sergileyerek kararlı bir davranışı doğrulamaktadır.



Şekil 7. Hücüm Açısı, Eğim Hızı ve Eğim Açısının Zaman Serisi Diyagramları

3.4. Genel Değerlendirme

Bu çalışmada, akış tabanlı HAD ve MATLAB kullanılarak farklı kanat geometrilerine sahip roketlerin kararlılığı, aerodinamik verimliliği ve dinamik davranışı incelenmiştir. Sonuçların karşılaştırmalı değerlendirilmesi aşağıda sunulmuştur:

3.4.1. Verimlilik

HAD analizinden elde edilen veriler eliptik kanatların en düşük aerodinamik direnç katsayılarını (CD) sağladığını göstermiştir. Akış dağılımı analizi sınır tabakası ayrışmasının önlemlendiğini ve eliptik kanatlar üzerinde basınç dağılımının daha homojen olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, eliptik kanatlar düşük aerodinamik direncin önemli olduğu uzun mesafeli uçuşlar için uygun bir seçimdir.

Öte yandan, delta kanatlar yüksek hızlarda akışı ve düşük dalga direncini kontrol etme kabiliyetleriyle öne çıkar. Mach 0,3'teki simülasyonlar geriye ok açılı delta kanada sahip roketin maksimum 5 m/s hıza ulaştığını göstermiştir. Bu bulgu literatürde yüksek hızlı uçuş için delta kanatlara yönelik tercihin doğruluğunu teyit etmektedir (Anderson, 2010).

3.4.2. İrtifa ve kaldırma kuvveti

OpenRocket simülasyon sonuçları geriye ok açılı delta kanatlı roketin 2.240 m maksimum irtifaya ulaştığını göstermiştir. Bu sonuç delta kanat geometrisinin yüksek kaldırma kuvveti (CL) üretme kabiliyetinden kaynaklanmaktadır. Eliptik kanatlar 2.154 m, trapez kanatlar 2.154 m ve öne ok açılı delta kanatlar 2.133 m irtifaya ulaşmıştır; ki bu etkileyici bir sonuçtur. Bu sonuçla tutarlı olarak, geriye ok açılı delta kanat tasarımı zorlu yüksek irtifa görevleri için en iyi çözümü sunmaktadır.

3.4.3. Statik kararlılık

Statik marj değerlerinin analizi tüm konfigürasyonların 1,6-1,7 kalibre aralığında güvenli bir kararlılık marjı sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, trapez kanatlar daha tutarlı bir CG-CP pozisyonunu koruyarak hız aralığında daha az değişken bir kararlılık sergilemiştir. Geriye ok açılı delta kanatlar da yüksek hızlarda önemli bir statik kararlılık göstermiş ve bu statik kararlılık özellikle belirgin olmuştur. Bu durum delta geometrisinin süpersonik hızlara geçişte de bir avantaj sağlayabileceğini düşündürmektedir (Barokah v.d., 2024).

3.4.4. Dinamik olarak kararlılık

MATLAB'da gerçekleştirilen üç serbestlik dereceli durum uzayı analizi kanat tipine bağlı olarak dinamik uçuş tepkilerini ortaya koymuştur. Eliptik ve trapez kanatlar hücum açısındaki küçük değişikliklere daha yumuşak ve daha sönümlü tepkiler göstermiştir. Bu konfigürasyonlar öncelikle düşük frekanslı salınımların hızlı bir şekilde sönümlenmesi yoluyla uzun vadeli uçuş kararlılığı sağlar. Öte yandan, geriye ok açılı delta kanatlar agresif ancak hızlı bir tepki sergilemiştir. Bu durum, yüksek manevra kabiliyeti gerektiren görevlerde avantaj sağlarken, aynı zamanda hassas kontrol algoritmalarına olan ihtiyacı da göstermektedir. Bununla birlikte, geriye ok açılı delta kanatlar kontrol edilebilirlik için yeterli stabilite sağlamış, ancak düşük hızlarda akış ayrılmasına daha yatkın olmuştur.

3.4.5. Genel sonuçlar

Yapılan tüm değerlendirme analiz ve değerlendirmeler ışığında aşağıdaki genel sonuçlar ortaya konmuştur:

- Yüksek irtifa ve yüksek hızın öncelikli olduğu görevler için geriye ok açılı delta kanatlar tercih edilmelidir.
- Düşük aerodinamik sürüklenme ve verimliliğin son derece önemli olduğu görevler için eliptik kanatlar en uygun seçimdir.
- Stabilitenin kritik olduğu durumlarda trapez kanatlar güvenilir bir çözüm sunar.
- Çeviklik ve tepki hızı gerektiren görevler için özellikle geriye ok açılı sahip delta kanatlar tercih edilir.

Özetle, çalışmada kullanılan OpenRocket, HAD ve MATLAB yöntemleri kanat geometrisinin bir uçağın uçuş özelliklerini belirlemede önemli bir parametre olduğunu gösteren daha fazla bulgu sağlamıştır. Çalışma, farklı kanat tiplerinin avantaj ve sınırlamalarını karşılaştırmak için tasarım sürecinde kullanılabilecek önemli mühendislik verileri sunmaktadır.

ETİK BEYAN & GENEL AÇIKLAMALAR

Bu araştırma, İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yürütülen bir yüksek lisans tezinin sonuçlarına dayanmaktadır. Bu makale araştırma ve yayın etiği standartlarını karşılamaktadır.

YAZARLARIN KATKILARI

Fikir/Kavram: P. Çelik, M. Sabancı, H. Sarpkaya ve S. Çoban; Tasarım: P. Çelik; Veri Toplama/İşleme: P. Çelik, M. Sabancı ve H. Sarpkaya; Analiz/Yorum: P. Çelik. Tüm yazarlar makalenin son halini okumuştur ve onaylamıştır.

FON

Söz konusu değildir.

VERİ VE MALZEME MÜSAİTLİĞİ

Bu çalışmada analiz edilen roket geometrileri SolidWorks ortamında modellenmiş ve ardından 3B yazıcı kullanılarak PLA malzeme ile fiziksel olarak üretilmiştir. Üretilen modeller HAD ve OpenRocket analizlerine paralel olarak doğrulama amaçlı kullanılmıştır. Talep edilmesi halinde 3B model dosyaları (STL formatında) ve simülasyon girdileri araştırmacılara sağlanabilir.

ÇIKAR ÇATIŞMALARI

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmalarının bulunmadığını belirtmektedir.

KAYNAKÇA

- Abzug, M. J., & Larrabee, E. E. (2002). *Airplane Stability and Control: A History of the Technologies That Made Aviation Possible*. Cambridge University Press.
- Anderson, J. D. (2010). *Fundamentals of Aerodynamics* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- ANSYS, Inc. (2020). *ANSYS Fluent Theory Guide*. ANSYS, Inc., Canonsburg.
- Barnard, R. H., & Philpott, D. R. (2010). *Aircraft Flight: A Description of the Physical Principles of Aircraft Flight*. Pearson Education.
- Barokah, A. D. N., ... & Hoa, N. L. (2024). A comparative analysis of the aerodynamic performance: Straight fin and curved fin rockets using Computational Fluid Dynamics (CFD). *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 115(1), 1-18. <https://doi.org/10.37934/arfmts.115.1.118>
- Bordachev, V. A. (2023). Static stability study of a model rocket. *Siberian Aerospace Journal*, 24(1), 64-75. doi: 10.31772/10.31772/2712-8970-2023-24-1-64-75
- Boumrar, I., & Djebali, R. (2019). Experimental validation of pressure distribution prediction under delta wing apex vortex at high Reynolds numbers. *CFD Letters*, 11(3), 92-102. <https://akademiarbaru.com/submit/index.php/cfdl/article/view/3146/2180>
- Cesnik, C. E. S., Hodges, D. H., & Patil, M. J. (1996). Aeroelastic analysis of composite wings. *AIAA Meeting Papers on Disc*, 1996, 1113-1123. <https://doi.org/10.2514/6.1996-1444>
- Faery, H. F. Jr., Strozier, J. K., & Ham, J. A. (1981). Experimental and theoretical study of three interacting, closely-spaced, sharp-edged 60 deg delta wings at low speeds. NASA Contractor Report 3460. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19810024617/downloads/19810024617.pdf>
- Fortescue, P., Swinerd, G., & Stark, J. (2011). *Spacecraft Systems Engineering*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119971009>
- Huang, D. H., & Huzel, D. K. (1992). *Modern Engineering for Design of Liquid-Propellant Rocket Engines*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. <https://doi.org/10.2514/4.866197>
- Mahmood, C. A., & Das, R. K. (2019). Performance comparison of different winglets by CFD. *AIP Conference Proceedings*, 2121, 060006. <https://doi.org/10.1063/1.5115907>
- NASA Glenn Research Center (t.y.-a). Rocket Center of Pressure. <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/rocket-center-of-pressure/> sayfasından alınmıştır.
- NASA Glenn Research Center (t.y.-b). Rocket Stability. <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/rocket-stability/> sayfasından alınmıştır.
- OpenRocket (2023). [Computer software]. <http://openrocket.info/>
- Rahman, H., Khushnood, S., Raza, A., & Ahmad, K. (2013). Experimental and computational investigation of delta wing aerodynamics. In: *Proceedings of 2013 10th International Bhurban Conference on Applied Sciences & Technology (IBCAST)*, Islamabad, Pakistan, 2013, 203-208. doi:10.1109/IBCAST.2013.6512155
- Roberts, D. W. (2006). *The Aerodynamic Analysis and Aeroelastic Tailoring of a Forward-Swept Wing*. North Carolina State University. <https://repository.lib.ncsu.edu/server/api/core/bitstreams/813d5ee5-3211-4485-b2da-503a7ff54fc2/content>
- Ruffles, W., & Dakka, S. M. (2016). Aerodynamic flow characteristics of utilizing delta wing configurations in supersonic and subsonic flight regimes. *Journal of Communication and Computer*, 13, 299-318. doi:10.17265/1548-7709/2016.06.004
- Sadraey, M. H. (2012). *Aircraft Design: A Systems Engineering Approach*. John Wiley & Sons. doi:10.1002/9781118352700
- Sutton, G. P., & Biblarz, O. (2016). *Rocket Propulsion Elements*. Wiley.
- Wibowo, S. B., Sutrisno, S., & Rohmat, T. A. (2018). An evaluation of turbulence model for vortexbreakdown detection over delta wing. *Archive of Mechanical Engineering*, 65(3), 399 – 415. <https://doi.org/10.24425/124489>