

Volume: 5, Issue: 1, June 2024

<https://dergipark.org.tr/en/pub/ijaa/issue/85589>



IJAA

**INTERNATIONAL JOURNAL OF
AERONAUTICS AND
ASTRONAUTICS**

E-ISSN : 2757-6574 ijaa@selcuk.edu.tr



**SELÇUK
UNIVERSITY
PRESS**

hosted by

**Turkish
JournalPark
ACADEMIC**



by Selçuk University, School of Civil Aviation

Volume 5 **Cilt 5**

Issue 1 **Sayı 1**

June 2024 Haziran 2024

Publisher **Yayıncı**

Selçuk University Press
<https://yayinevi.selcuk.edu.tr>

Selçuk Üniversitesi Yayınları

<https://yayinevi.selcuk.edu.tr>

Broadcast Country

Türkiye

Yayımlandığı Ülke

Türkiye

Release Model

Open Access

Yayın Modeli

Açık Erişim

Target Audience

The articles in the journal are aimed at researchers, practitioners and undergraduate/graduate students who are interested in all the main elements of the aviation industry (airlines, airports, air traffic management, aircraft engineering, mechanical engineering, avionics eng., etc.).

Hedef Kitlesi

Dergide yer alan makaleler, havacılık sektörünün tüm ana unsurlarını (havayolları, havaalanları, hava trafik yönetimi, uçak mühendisliği, makine mühendisliği, aviyonik mühendisliği vb.) ile ilgilenen araştırmacıları, uygulayıcıları ve lisans/lisansüstü öğrenimi gören öğrencileri hedeflemektedir.

Publication Language

English / Turkish

Yayın Dili

İngilizce / Türkçe

Price Policy

No fee is charged from the author or institution under any name.

Ücret Politikası

Hiçbir ad altında yazar veya kurumundan ücret alınmaz.

Type of Arbitration

Manuscripts are meticulously reviewed by at least two referees on a double-blind basis..

Hakemlik Türü

Makaleler çift-kör esasına göre en az iki hakem tarafından titizlikle incelenir.

Copyright

The copyrights of the published articles belong to the authors. The authors' work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). The CC BY-NC 4.0 license permits the work to be shared, copied, reproduced in any size and format other than for commercial use, and adapted, including re-editing, transforming, and building upon the original work, provided that appropriate reference is made to the original work.

Telif Hakkı

Yayımlanan makalelerin telif hakları yazarlara aittir. Yazarların çalışmaları Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) olarak lisanslıdır. CC BY-NC 4.0 lisansı, eserin ticari kullanım dışında her boyut ve formatta paylaşılmasına, kopyalanmasına, çoğaltılmasına ve orijinal esere uygun şekilde atıfta bulunmak kaydıyla yeniden düzenleme, dönüştürme ve eserin üzerine inşa etme dâhil adapte edilmesine izin verir.

Plagiarism Check

All manuscript submitted for publication are reviewed by the "iThenticate" plagiarism program. As a result of the examination, the plagiarism/similarity rate can be up to 25%.

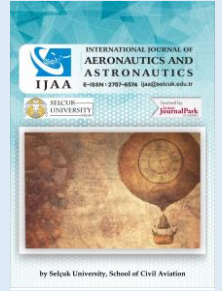
İntihal Kontrolü

Yayınlanmak üzere gönderilen tüm makaleler, "iThenticate" intihal programı ile incelenir. İnceleme sonucunda intihal/benzerlik oranı en fazla %25 olabilir.



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

EDITORIAL BOARD | YAYIN KURULU

Prof. Dr. Antonio RODRIGUES

Orcid: 0000-0001-5550-5581

antonio.rodrigues@iseclisboa.pt

ISG - Business & Economics School
Financial Management

Prof. Dr. Rui QUADROS

Orcid: 0000-0003-0685-259X

ru.quadros@iseclisboa.pt

Instituto Superior De Educaao E Ciencias
Aeronautical Management

Prof. Dr. Murat MAYDA

Orcid: 0000-0002-6100-4289

mmayda@kmu.edu.tr

Karamanođlu Mehmetbey University
Mechanical Engineering

Assoc. Prof. Dr. Aziz Hakan ALTUN

Orcid: 0000-0002-1546-1104

ahaltun@selcuk.edu.tr

Selçuk University
Airframe and Powerplant Maintenance

Dr. Muhammad JAWAD

Orcid: 0000-0003-3663-2256

muhammad_jawad85@yahoo.com

Fatima Jinnah Women University
Department of Commerce

Dr. Sevim ZTİMURLENK

Orcid: 0000-0002-8945-5989

sevim.oztimurlenk@my.liu.edu

SUNY College at Old Westbury
Marketing, Management & Finance

Dr. Veli BAKIRCIOđLU

Orcid: 0000-0002-1170-5327

vbakircioglu@hotmail.com

Aksaray Üniversitesi
Mechanical Engineering

Prof. Dr. Hikmat Hamid ASADOV

Orcid: 0000-0003-1180-1535

asadzade@rambler.ru

Azerbaijan National Aerospace Agency
Atmospheric measurements

Prof. Dr. Rüstü GÜNTÜRKÜN

Orcid: 0000-0002-6755-7941

rustu.gunturkun@selcuk.edu.tr

Selçuk University
Avionic

Assoc. Prof. Dr. Selçuk SARIKO

Orcid: 0000-0003-1190-5238

sarikocselcuk@amasya.edu.tr

Amasya University
Mechanical Engineering

Assoc. Prof. Dr. Soner ŞEN

Orcid: 0000-0003-3385-5577

sensoner@selcuk.edu.tr

Selçuk University
Airframe and Powerplant Maintenance

Dr. Shazia HASSAN

Orcid: 0000-0001-5728-7020

shaziahassan786@hotmail.com

National Defence University
Leadership & Management Studies

Asst. Prof. Dr. Ahmet ATEŞ

Orcid: 0000-0002-4026-7522

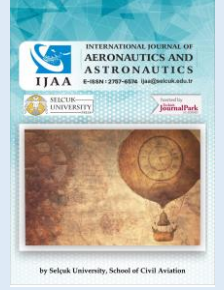
ahmet.ates@selcuk.edu.tr

Selçuk University
Aviation Management



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

ADVISORY BOARD | DANIŞMA KURULU

Prof. Dr. Oleksandr ZAPOROZHETS

Orcid: 0000-0002-7580-0921

zap@nau.edu.ua

National Aviation University
Environmental Safety

Prof. Dr. Umut DURAK

Orcid: 0000-0002-2928-1710

Umut.Durak@dlr.de

German Aerospace Center (DLR)
Flight Systems, Flight Dynamics and
Simulation

Owner | İmtiyaz Sahibi

Selçuk University Rector | Selçuk Üniversitesi Rektörü

Prof. Dr. Metin AKSOY

Orcid: 0000-0003-4910-0494

metin.aksoy@selcuk.edu.tr

EDITORS | EDİTÖRLER

Editor in Chief | Baş Editör

Prof. Dr. Nilüfer CANÖZ

Orcid: 0000-0003-3424-3919

ncanoz@selcuk.edu.tr

Selçuk University
Aviation Management

Associate Editor | Yardımcı Editör

Assoc. Prof. Dr. İlker ÖRS

Orcid: 0000-0001-8385-9846

ilker.ors@selcuk.edu.tr

Selçuk University
Airframe and Powerplant Maintenance

Section Editor | Alan Editörü

Assoc. Prof. Dr. Mustafa TAŞYÜREK

Orcid: 0000-0001-9016-8584

mtasyurek@selcuk.edu.tr

Selçuk University
Airframe and Powerplant Maintenance

Section Editor | Alan Editörü

Assoc. Prof. Dr. Harun KARAKAVUZ

Orcid: 0000-0002-3989-5249

harun.karakavuz@selcuk.edu.tr

Selçuk University
Aviation Management

Section Editor | Alan Editörü

Assist. Prof. Dr. Fatih Alpaslan KAZAN

Orcid: 0000-0002-5461-0117

akazan@selcuk.edu.tr

Selçuk University
Avionic

Statistics Editor | İstatistik Editörü

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Akif ÇİİNİ

Orcid: 0000-0001-7619-978X

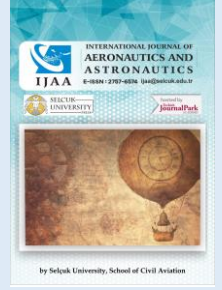
mehmetakifcini@selcuk.edu.tr

Selçuk University
Accounting and Tax Practices



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

Language Editor | Dil Editörü

Prof. Dr. Elif EREN GÜLTEKİN

Orcid: 0000-0002-7822-4392

egultekin@selcuk.edu.tr

Selçuk University

Airframe and Powerplant Maintenance

Layout Editor | Mizanpaj Editörü

Research Assist. Türker Burak GÜVEN

Orcid: 0000-0003-0131-5621

tburak.guven@selcuk.edu.tr

Selçuk University

Airframe and Powerplant Maintenance

Language Editor | Dil Editörü

Dr. Tuğba DAMGACI

Orcid: 0000-0002-7379-242X

tugba.damgaci@selcuk.edu.tr

Selçuk University

Aviation Management

Social Media Editor | Sosyal Medya Editörü

Dr. Tuğba DAMGACI

Orcid: 0000-0002-7379-242X

tugba.damgaci@selcuk.edu.tr

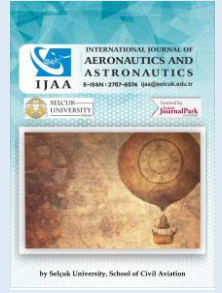
Selçuk University

Aviation Management



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

JOURNAL INFORMATION

About

International Journal of Aeronautics and Astronautics (IJAA) is refereed and interdisciplinary journal focused on publication of the original article, essay / review and scientific the translation aimed at contributing to the field of aviation management and technology in Turkey and the world. Our journal aims to contribute to science by taking place in national and international indexes. Journal publication languages are English and Turkish (only for Social Sciences). Our journal, which adopts an open access policy, can be accessed free of charge.

International Journal of Aeronautics and Astronautics is a refereed academic journal published two times a year in June and December months in order to increase the quality of the articles published in the journal, to organize the publication and review process according to the expectations of the reviewers and authors, and to manage the processes with the right publication policy, the journal publication period has been arranged as 2 times a year as of 2023.

Aim and Scope

The International Journal of Aeronautics and Astronautics is a double-blind peer-reviewed (reviewed by at least two reviewer), open access and online journal, covering all areas of aviation management and technology. It is an interdisciplinary journal focused on original articles, essays/reviews, letters to the editor, case reports, book reviews and scientific translations, aiming to contribute to the field of aviation management and technology in Türkiye and in the world. Journal publication languages are English and Turkish (only for Social Sciences). The journal accepts manuscript in every publication period.

The articles in the journal are aimed at researchers, practitioners and undergraduate/graduate students who are interested in all the main elements of the aviation industry (airlines, airports, air traffic management, aircraft engineering, mechanical engineering, avionics engineering, etc.).

Subject Category

The journal presents studies on the following topics under the main areas of social and technology:

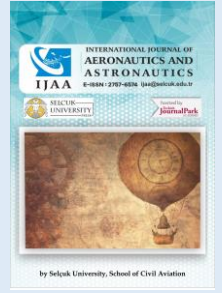
Social Sciences

Safety Management Systems, Air Traffic Management, Air Transportation Management, Airport Planning and Management, Aviation Management, Aviation Physiology, Aviation Security, Aviation Law, Aviation Meteorology, Aviation Psychology, Aviation Sector Studies, Aviation History, Aviation Safety and Security Management, Financial Management in Aviation, Human Resources Management in Aviation, Aviation Logistics Management, Organizational Behavior in Aviation, Aviation Marketing Management, Risk Management in



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

Aviation, Ground and Cabin Services in Aviation, Airport Design, Airline Industry/Commercial Aviation, Airline Management, Flight Operations Management.

Technology

Aerodynamics, Aeroelastic Analysis and Design, Fluid Mechanics, Avionic Systems, Multidisciplinary Design Optimization, Aircraft Maintenance and Repair, Aircraft Propulsion Systems, Aviation Rules, Aviation Materials, Aviation Training, Aviation and Artificial Intelligence, Aviation Structures, Human Factors in Aviation, Helicopter Design, Computational/Experimental Fluid Dynamics/Mechanics, Heat Transfer and Combustion, Unmanned Aerial Vehicles, Navigation Systems, Measurement and Modeling, Aircraft Airframe Engine and Maintenance, Aircraft Performance, Aircraft Design, Flight Mechanics, Flight Dynamics and Control, Satellite Technologies, Gas Turbine Engine, Aviation Oils and Fuels, Aircraft Engine, Other Aircraft and Technologies.

Publication Language

Full Text Publication Language: Primary Language: English; Secondary Language: Turkish

Manuscripts Submissions

The corresponding author sends his manuscript to the journal via the Turkish DergiPark System. The submitted manuscript must not have been previously published or under evaluation. The copyright form and ethics committee permission document should also be sent with the submitted manuscript.

Article Processing Charge

All charges of the Journal of Aeronautics and Astronautics are covered by Selcuk University. The publication of articles and the execution of article processes in the journal are free of charge. No processing fee or submission fee is charged under any other names. As part of its publication policies, Journal of Aeronautics and Astronautics does not accept sponsorship or advertisements.

Peer review

The all submitted manuscripts are subject to a peer review process in order to Editorial Board in making editorial decisions. Thus, the author may improve and increase quality of paper. Also, it assist the author in improving the paper.

Reviews are double-blind procedure. The least two positive comments should be obtained for acceptance of the paper. Reviewers may suggest also minor or major revision. If major revision is decided by reviewers, the revised paper can be sent again to the reviewers for their final decisions. There are no fees for reviewers.

Reviewers are determined by editor. Editor can also prefer the reviewer's choice from suggests of authors. Reviewers must be experts in the subject of paper. There should be no conflict of interest between the authors and the referees. The authors will definitely not know the name of reviewers. The editorial board will provide it. Besides, the reviewers also will not know

each other's identity. The reviewers will evaluate independently of each other. In case the reviewers make different decisions (accept/decline), the Editor may submit the article to another reviewer for evaluation.

The Publishing Ethics

The International Journal of Aeronautics and Astronautics adopts the following national and international standards for research and publication ethics:

1. Turkish Press Law,
2. Law on Intellectual and Artistic Works of Turkish,
3. Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive of Turkish,
4. Committee on Publication Ethics (COPE),
5. Council of Science Editors (CSE),
6. World Association of Medical Editors (WAME),
7. International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE)
8. Directory of Open Access Journals (DOAJ)
9. Open Access Scholarly Publishers Association (OASPA)

Plagiarism Prevention Control

All manuscript submitted for publication are reviewed by the "iThenticate" plagiarism program. As a result of the examination, the plagiarism/similarity rate can be up to 25%. Manuscript with a plagiarism/similarity rate above 25% are directly rejected by the editorial board.

Withdraw, Retraction and Publication Malpractice Policy

Before or during the evaluation of the article; The article should be withdrawn by the author because of the important changeable errors detected by the authors, the editorial board or the reviewers. For example; double posting of the article by mistake, typographical errors, incomplete data entry and etc.

The following reasons are the reasons why the article is retracted even if the article is ready for publication.

- Multiple submissions
- Bogus claims of authorship
- Plagiarism
- Fraudulent use of data etc.

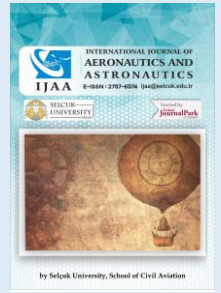
If the article has been published, the reader will see the retraction note of the article electronically via a link before reaching the original article. He then reaches the original article with a watermark that says "RETRACTED" on each page.

After the article is published, it may be necessary to change the article for reasons other than those that require the article to be retracted. In this case, the new version of the article is published in the last issue of the journal. Necessary explanations for the change are specified in this new version and a link is made to the previous version.



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

Archiving and Data Distribution Policy

The editor ensures that published material is securely archived. The Journal of Aeronautics and Astronautics sends all published articles it publishes on an open-access basis, without further intervention from the author(s), to archives, where they are made fully available. The Author or its funding body may deposit a copy of the Author's Accepted Manuscript in archiving sites. The Journal of Aeronautics and Astronautics author license allows reuse with attribution of the origin of the article (a full citation) for non-commercial use only. For commercial use, permission from the authors is required.

The Journal of Aeronautics and Astronautics is committed to keeping research articles open access, with reuse via CC-BY-NC Creative Commons licenses, and to depositing the full-text content in the archive platforms as well as full open access on <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijaa>

Archiving Policy: LOCKSS

Repository Policy: Publisher's Own Site

Articles published in Journal of Aeronautics and Astronautics are archived digitally in LOCKSS. In addition, published articles can be accessed by the author in the institutional archive of the university (DSpace, AVESIS, etc.), subject archives, or other archives without the embargo period. So, anyone can access this publication for free.

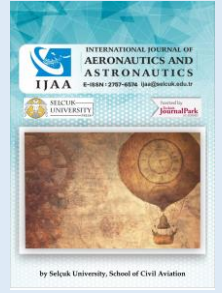
Journal of Aeronautics and Astronautics (e-ISSN: 2757-6574), is pleased to announce its archive policy in line with its policy of supporting the dissemination of research results:

- Journal of Aeronautics and Astronautics allows authors to use the final published version of an article (publisher pdf) for self-archiving (author's personal website) and/or archiving in an institutional repository after publication.
- Authors may self-archive their articles in public and/or commercial subject-based archives. There is no embargo period, but the published source should be cited, and a link should be set to the journal homepage or DOI of the articles.
- Authors can download the output of the article as a PDF document. Authors can send copies of the article to their colleagues without any embargo.
- Selçuk University Press allows all versions of articles (sent version, accepted version, published version) to be stored in an institutional or other archive preferred by the author without embargo.
- The Journal of Aeronautics and Astronautics uses the LOCKSS system to allow permanent archives to be created. Based on Stanford University Libraries, the LOCKSS Program provides award-winning, low-cost, open-source digital preservation tools to provide libraries and publishers with access to permanent and authoritative digital content. The LOCKSS Program is a library-led digital preservation system built on the principle of "securing large numbers of copies". The LOCKSS Program develops and supports libraries using open-source end-to-end digital preservation software.



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

Published Version

OA Publishing: Open Access

OAI: <https://dergipark.org.tr/api/public/oai/ijaa/>

LOCKSS: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijaa/lockss-manifest>

RSS: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijaa/rss-feeds>

Embargo: No Embargo

Licence: CC BY-NC 4.0

Copyright Owner: Authors (Authors retain copyright, without restrictions)

Location: Institutional Archive, Crossref, Journal Website, Journal Website, Institutional Site, Author's Personal Website, Public and/or Commercial Subject Based Archives.

Policy Conditions: The journal should be cited in accordance with the citation and citation standards. It should be linked to the publisher version with the DOI.

Accepted Version

Embargo: No Embargo

Location: Journal Website, Institutional Site, Author's Personal Website, Public and/or Commercial Subject Based Archives.

Copyright Owner: Authors (Authors retain copyright, without restrictions)

Submitted Version

Embargo: No Embargo

Location: Journal Website, Institutional Site, Author's Personal Website, Public and/or Commercial Subject Based Archives.

Persistent Article Identifier: DOI

The Journal of Aeronautics and Astronautics uses the digital object identifier (DOI).

Authorship and Contributorship

After manuscript is submit to the Journal, the name of any of the authors cannot be deleted from the list of authors without the written consent of all authors, a new name cannot be added as an author, and the order of authors cannot be changed.

Author Contribution Rate Statement

In the manuscript, the contribution rate statement of the researchers, support and acknowledgment statements, if any, and conflict of interest statement should be stated.

ETHICAL PRINCIPLES AND PUBLICATION POLICY

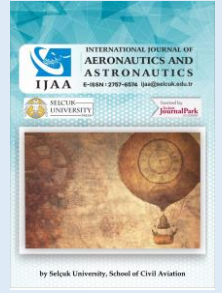
Editorial Responsibilities

The Editor-in-Chief, Managing Editor and International Editorial Board are responsible for deciding which articles submitted to International Journal of Aeronautics and Astronautics will be published.



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

The Editor-in-Chief reserves the right to decide not to publish papers that the journal deems insufficient in terms of content and quality.

The all editorial team of journal must hold no conflict of interest with regard to the articles they consider for publication.

The Editor-in-Chief and other editorial members shall evaluate manuscripts for their intellectual content free from any racial, gender, sexual, religious, ethnic, or political bias. Editors treat all submitted manuscripts as confidential documents; this means that they will not disclose information about an article to anyone without the permission of the authors. During the article review process, the following people can access the articles: Editors, Reviewers, Editorial Board Members. The only situation in which details about a manuscript may be passed on to a third party without the consent of the authors is if the editor suspects serious research misconduct. If the editor suspects an ethical violation or if there is an alleged violation, they are obliged to take action. This task covers both published and unpublished articles.

Author's Responsibilities

The authors ensure that the paper is the original study and that it has not been published in another journal and that the same paper has not been sent to another journal in parallel.

The Authors also warrant that the manuscript is not and will not be published elsewhere (after the publication in International Journal of Aeronautics and Astronautics) in any language without the consent of the Editorial Board.

If the submitted paper is the result of a research project, or if it has been presented at a conference before, or if there is any institution or organization that supports the paper, the authors must present this information in the Acknowledgments section.

It is the authors' responsibility to ensure that the submitted paper conforms to ethical standards. Confirming that the information in the manuscript is not unfounded or unlawful and does not violate the rights of third parties, it meets any claims compensation from this situation and the publisher cannot be held legally responsible.

Protection of Participants' Personal Data

International Journal of Aeronautics and Astronautics accepts and applies the Personal Data Protection Principles accepted by Turkish Dergipark.

Plagiarism

Presenting another person's ideas, words, sentences or creative expressions as his own is a clear plagiarism in terms of scientific ethics.

It is considered plagiarism to use a specific statement from another author's study in one's own study without clearly citing the source, not citing the source correctly, or using the source without permission. The article of the author determined to be plagiarized will be rejected directly.

Twin Publishing

Twin publishing is the publication of the same article or substantially similar articles in more than one journal. The editor returns this type of article without review. After that, the editor may impose an embargo on the author attempting to twin publishing for a certain period of time, explain this situation to the public in the journal in which the author has previously published (perhaps as a simultaneous announcement with the editor of the journal that published the previous article), or apply all of these measures together.

Simultaneous submission of the same manuscript to more than one journal

Authors cannot submit the same manuscript to more than one journal at the same time. The editor reserves the right to consult the other editor(s) receiving the manuscript if it learns of possible simultaneous submission. In addition, the editor may return the article without review or reject it without considering the reviews, or take this decision by discussing it with the other relevant editor(s) and may decide not to accept manuscript submissions from the authors for a certain period of time. It can also write to the authors' employers or implement all of these measures together.

Ethical Violation Notices

When readers notice a major error or inaccuracy in an article published in the International Journal of Aeronautics and Astronautics, or have any complaints about editorial content (plagiarism, duplicate articles, etc.), they can send an e-mail to ijaa@selcuk.edu.tr. can make a notification.

Conflict of interest

Authors must explain the people, institutions and organizations that may have conflict of interest.

Reviewers responsibilities

The Reviewers should submit their unbiased opinions in writing on the scientific value and originality of the paper in a timely manner.

The reviewers evaluate the submitted article according to the scope of the journal, the originality of the subject, the presentation of the article, scientific quality and characteristic.

The reviewers should warn the editor when they detect an ethical violation, significant similarity with a manuscript published elsewhere, and such situations.

The Reviewers should not have a conflict of interest with the authors or the institutions or organizations that support the paper. Such a situation should be reported to the editor.

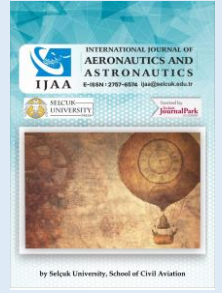
Reviewers must be impartial when evaluating the paper. It should clearly express its opinions, thoughts and criticisms with supporting arguments.

All documents sent to the reviewers for review should be considered confidential. Subject and materials specified in the papers cannot be used without the permission of the authors. If this information is used for personal gain, all responsibility belongs to the user.



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

Disclaimer

The views in published works are belongs to authors. The Editors and Editorial Board cannot be held responsible. The authors take legal and moral responsibility for the ideas expressed in the articles. The authors will be held legally responsible should there be any claims for compensation. There is no liability of Publisher.

Ethics Committee Permission

The following should be observed under the code of ethics.

An ethics committee approval must be obtained for research conducted in all disciplines including social sciences and for clinical and experimental studies on humans and animals, requiring ethical committee decision, and this approval should be stated and documented in the article.

It should be indicated in the journal and/or web page under a separate heading referring to national and international standards.

Information on the ethical rules under separate headings should be provided under this heading, for the peer-reviewers, authors and editors.

It should be stated that the articles comply with Research and Publication Ethics.

Reference to international standards and institutions should be made. For example, scientific articles sent to journals should take into account the recommendations of the International Journal of Aeronautics and Astronautics Editors (IJAAE) and the International Standards for Editors and Authors of COPE (Committee on Publication Ethics).

In studies requiring ethical committee permission, information about the permission (board name, date and issue number) should be included in the method section and on the first/last page of the article.

For the scales used in data collection, the permission of the scale owner should be obtained and declared in the article.

Copyright regulations must be observed for the ideas and works of art used.

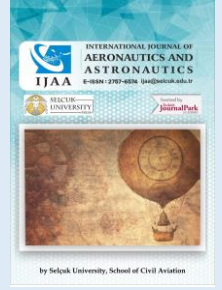
Studies Requiring Ethics Committee Permission

- 1) All kinds of research conducted with qualitative or quantitative approaches that require data collection from participants using questionnaires, interviews, focus group work, observation, experimentation, interview techniques,
- 2) Using human and animals (material / including data) experimental or other scientific purposes,
- 3) Clinical studies on humans,
- 4) Clinical studies on animals,
- 5) Retrospective studies in accordance with the law on protection of personal data.



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

CONTACT

Contact us

You can contact us via e-mail. You can also find the individual contact information of the journal officials in the Editorial Staff.

Journal Contact Information

Selçuk University, Academy of Civil Aviation

ijaa@selcuk.edu.tr

Akademi Mah. Yeni İstanbul Cad. No: 347. Alaeddin Keykubat Kampüsü - Sivil Havacılık
Yüksekokulu. Selçuklu / Konya / Türkiye

Web: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijaa>

The Main Publishing Contact

Name Surname: Prof. Dr. Nilüfer CANÖZ

ORCID: 0000-0003-3424-3919

e-mail: ncanoz@selcuk.edu.tr

Phone Number: +90 332 223 10 57

Technical Officer

Name Surname: Assoc. Prof. Dr. İlker ÖRS

ORCID: 0000-0001-8385-9846

e-mail: ilker.ors@selcuk.edu.tr

Phone Number: +90 505 528 01 30

Publisher

Selçuk University Press

<https://yayinevi.selcuk.edu.tr>

ROR ID: <https://ror.org/045hgzm75>

ISNI: 0000 0001 2308 7215

Crossref: <https://crossref.org/members/prep/39200>

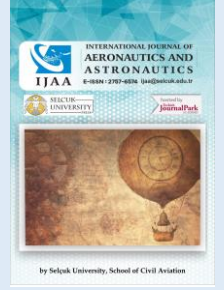
e-posta: ijaa@selcuk.edu.tr ; sivilhavacilik@selcuk.edu.tr ; press@selcuk.edu.tr

web: https://www.selcuk.edu.tr/Birim/yuksekokullar/sivil_havacilik_yo/1847



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

DERGİ BİLGİLERİ

Hakkında

International Journal of Aeronautics and Astronautics (IJAA), Türkiye'de ve dünyada havacılık yönetimi ve teknolojisi alanına katkı sağlamayı amaçlayan, özgün makale, deneme/derleme ve bilimsel çeviri yayın odaklı, hakemli ve disiplinler arası bir dergidir. Dergimiz ulusal ve uluslararası indekslerde yer alarak bilime katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Dergi yayın dilleri İngilizce ve Türkçe'dir (yalnızca Sosyal Bilimler için). Açık erişim politikasını benimseyen dergimize ücretsiz erişim sağlanmaktadır.

International Journal of Aeronautics and Astronautics, Haziran ve Aralık aylarında olmak üzere yılda iki kez yayınlanan hakemli akademik bir dergidir. Dergide yayınlanan makalelerin kalitesini artırmak, yayın ve inceleme sürecini hakem ve yazarların beklentilerine göre düzenlemek ve doğru yayın politikası ile süreçleri yönetebilmek için dergi yayın periyodu 2023 yılı itibari ile yılda 2 olarak düzenlenmiştir.

Amaç ve Kapsam

International Journal of Aeronautics and Astronautics, havacılık yönetimi ve teknolojisinin tüm alanlarını kapsayan, çift kör hakemli (en az iki hakem tarafından değerlendirilen), açık erişimli ve çevrim içi yayın yapan uluslararası bir dergidir. Türkiye'de ve dünyada havacılık yönetimi ve teknolojisi alanına katkı sağlamayı amaçlayan, özgün makale, deneme/derleme, editöre mektup, olgu sunumu, kitap kritiği ve bilimsel çeviri yayın odaklı disiplinler arası bir dergidir. Dergi yayın dili İngilizce ve Türkçe (sadece Sosyal Bilimler için)'dir. Dergi her yayın döneminde makale kabulü yapmaktadır.

Dergide yer alan makaleler, havacılık sektörünün tüm ana unsurlarını (havayolları, havaalanları, hava trafik yönetimi, uçak mühendisliği, makine mühendisliği, aviyonik mühendisliği vb.) ile ilgilenen araştırmacıları, uygulayıcıları ve lisans/lisansüstü öğrencilerini hedeflemektedir.

Konu Kategorisi

Dergi, sosyal ve teknoloji ana alanları altında aşağıdaki konular ile ilgili çalışmalarını sunar:

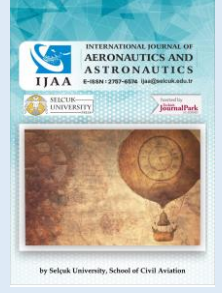
Sosyal Bilimler

Emniyet Yönetim Sistemleri, Hava Trafik Yönetimi, Hava Ulaştırma İşletmeciliği, Havaalanı Planlama ve Yönetimi, Havacılık Yönetimi, Havacılık Fizyolojisi, Havacılık Güvenliği, Havacılık Hukuku, Havacılık Meteorolojisi, Havacılık Psikolojisi, Havacılık Sektör Çalışmaları, Havacılık Tarihi, Havacılık Emniyet ve Güvenlik Yönetimi, Havacılıkta Finansal Yönetim, Havacılıkta İnsan Kaynakları Yönetimi, Havacılıkta Lojistik Yönetimi, Havacılıkta Örgütsel Davranış, Havacılıkta Pazarlama Yönetimi, Havacılıkta Risk Yönetimi, Havacılıkta Yer ve Kabin Hizmetleri, Havaalanı Tasarımı, Havayolu Endüstrisi/Ticari Havacılık, Havayolu Yönetimi, Uçuş İşlemleri Yönetimi.



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

Teknoloji

Aerodinamik, Aeroelastik Analiz ve Tasarım, Akışkanlar Mekaniği, Aviyonik Sistemler, Multidisipliner Tasarım Optimizasyonu, Uçak Bakım ve Onarımı, Uçak Tahrik Sistemleri, Havacılık Kuralları, Havacılık Malzemeleri, Havacılık Eğitimi, Havacılık ve Yapay Zeka, Havacılık Yapıları, Havacılıkta İnsan Faktörleri, Helikopter Tasarımı, Hesaplamalı/Deneysel Akışkanlar Dinamiği/Mekaniği, Isı Transferi ve Yanma, İnsansız Hava Araçları, Navigasyon Sistemleri, Ölçme ve Modelleme, Uçak Gövde Motoru ve Bakımı, Uçak Performansı, Uçak Tasarımı, Uçuş Mekaniği, Uçuş Dinamiği ve Kontrolü, Uydu Teknolojileri, Gaz Türbini Motorlar, Havacılık Yağları ve Yakıtları, Uçak Motorları, Diğer Hava Araçları ve Teknolojileri.

Yayın Dili

Tam Metin Yayın Dili: Birincil Dil: İngilizce; İkincil Dil: Türkçe

Makale Başvuruları

Sorumlu yazar, makalesini Türk DergiPark Sistemi üzerinden dergiye gönderir. Gönderilen makale, daha önce hiçbir yerde yayımlanmamış veya değerlendirme aşamasında olmamalıdır. Gönderilen eser ile birlikte, telif hakkı formu ve etik kurul izin belgesi de gönderilmelidir.

Ücret Politikası

Journal of Aeronautics and Astronautics dergisinin tüm giderleri Selçuk Üniversitesi tarafından karşılanmaktadır. Dergide makale yayını ve makale süreçlerinin yürütülmesi ücrete tabi değildir. Dergiye gönderilen ya da yayın için kabul edilen makaleler için hiçbir ad altında işleme ücreti ya da gönderim ücreti alınmaz. Journal of Aeronautics and Astronautics yayın politikaları gereği sponsorluk ve reklam da kabul etmemektedir.

Akran değerlendirmesi

Gönderilen tüm yazılar, Yayın Kurulu'nun yayın kararlarını vermesi için hakem değerlendirme sürecine tabi tutulur. Böylece yazar, makale kalitesini geliştirebilir ve artırabilir. Ayrıca, yazarın makaleyi geliştirmesine yardımcı olur.

İncelemeler çift kör prosedürdür. Makalenin kabulü için en az iki olumlu yorum alınmalıdır. Gözden geçirenler ayrıca küçük veya büyük revizyon önerebilir. Hakemler tarafından büyük revizyona karar verilirse, revize edilen makale nihai kararları için hakemlere tekrar gönderilebilir. İnceleyenler için herhangi bir ücret yoktur.

Hakemler editör tarafından belirlenir. Editör ayrıca hakemin yazar önerileri arasından tercihini de yapabilir. Hakemler makale konusunda uzman olmalıdır. Yazarlar ve hakemler arasında herhangi bir çıkar çatışması olmamalıdır. Yazarlar kesinlikle hakemlerin adını bilmeyeceklerdir. Yayın kurulu bunu sağlayacaktır. Ayrıca hakemler birbirlerinin kimliklerini de bilmeyeceklerdir. Hakemler birbirlerinden bağımsız olarak değerlendireceklerdir. Hakemlerin farklı kararlar alması (kabul/reddetme) durumunda, Editör makaleyi değerlendirilmek üzere başka bir hakeme gönderebilir.

Yayın Etiği

International Journal of Aeronautics and Astronautics, araştırma ve yayın etiği konusunda aşağıdaki ulusal ve uluslararası standartları benimsemektedir:

1. Basın Kanunu,
2. Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu,
3. Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi,
4. Committee on Publication Ethics (COPE),
5. Council of Science Editors (CSE),
6. World Association of Medical Editors (WAME),
7. International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE)
8. Directory of Open Access Journals (DOAJ)
9. Open Access Scholarly Publishers Association (OASPA)

İntihali Önleme Kontrolü

Yayınlanmak üzere gönderilen tüm makaleler, "iThenticate" intihal programı ile incelenir. İnceleme sonucunda intihal/benzerlik oranı en fazla %25 olabilir. İntihal/benzerlik oranı %25'in üzerinde olan makaleler, editör kurulu tarafından direkt olarak reddedilir.

Geri Çekme, Retraksiyon ve Yayın Kötüye Kullanım Politikası

Makalenin değerlendirilmesi öncesinde veya sırasında; Yazarlar, yayın kurulu veya hakemler tarafından tespit edilen önemli değiştirilebilir hatalar nedeniyle makale yazar tarafından geri çekilmelidir. Örneğin; makalenin yanlışlıkla iki kez yayınlanması, yazım hataları, eksik veri girişi vb.

Aşağıdaki sebepler, makale yayına hazır olsa bile makalenin retraksiyon sebepleridir.

- Çoklu gönderimler
- Sahte yazarlık iddiaları
- İntihal
- Verilerin hileli kullanımı vb.

Makale yayınlanmışsa, okuyucu orijinal makaleye ulaşmadan önce makalenin retraksiyon notunu bir bağlantı aracılığıyla elektronik olarak görecektir. Ardından, her sayfada "RETRAKSİYON" yazan bir filigranla orijinal makaleye ulaşır.

Makale yayımlandıktan sonra, makalenin retraksiyonunu gerektiren sebepler dışındaki nedenlerle makalenin değiştirilmesi gerekebilir. Bu durumda makalenin yeni hali derginin son sayısında yayımlanır. Değişiklik için gerekli açıklamalar bu yeni sürümde belirtilmiş ve önceki sürüme bağlantı yapılmıştır.

Arşivleme ve Veri Dağıtım Politikası

Editör, yayınlanan materyalin güvenli bir şekilde arşivlenmesini sağlar. International Journal of Aeronautics and Astronautics yayınladığı makaleleri açık erişim esasına göre yazar(lar)ın herhangi bir işlem yapmasına gerek olmaksızın elektronik arşivlere gönderir ve tam erişime açık hale getirir. Yazar veya fon sağlayan kuruluş, yazarın kabul edilen makalesinin bir kopyasını arşiv sitelerine yükleyebilir. International Journal of Aeronautics and Astronautics

yazar lisansı, yalnızca ticari olmayan kullanım için makalenin kaynağına atıfta bulunarak (tam bir alıntıyla) yeniden kullanıma izin verir. Ticari kullanım için yazarlardan izin alınması gerekmektedir. International Journal of Aeronautics and Astronautics, tüm makalelerini CC-BY-NC Creative Commons lisansı kapsamında açık erişimli tutmayı ve tam metin içeriğini arşiv platformlarında ve <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijaa> web sitesinde depolamayı taahhüt eder.

Arşiv Politikası: LOCKSS

Depo Politikası: Yayıncının Kendi Sitesi

Journal of Aeronautics and Astronautics dergisinde yayınlanan makaleler LOCKSS' da dijital olarak arşivlenir. Ayrıca yayımlanan makaleler, yazarı tarafından çalıştığı üniversitenin kurumsal arşivinde (DSpace, AVESİS vb.), konulu arşivlerde veya diğer her türlü arşivde ambargo süresi olmaksızın erişime açılabilir. Böylece bu yayına herkes ücretsiz olarak hemen ulaşabilir.

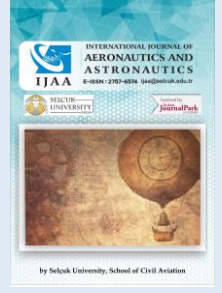
Journal of Aeronautics and Astronautics (e-ISSN: 2757-6574) dergisinin yayıncısı, araştırma sonuçlarının yayılmasını destekleme politikasına uygun olarak arşiv politikasını duyurmaktan memnuniyet duyar:

- Journal of Aeronautics and Astronautics yazarlara, bir makalenin kendi kendine arşivleme (yazarın kişisel web sitesi) ve/veya yayımlandıktan sonra kurumsal bir havuzda arşivleme için bir makalenin (yayıncı pdf) nihai yayınlanmış sürümünün kullanılmasına izin verir.
- Yazarlar, makalelerini halka açık ve/veya ticari konu tabanlı arşivlerde kendi kendilerine arşivleyebilirler. Ambargo süresi yoktur ancak yayınlanan kaynak belirtilmeli ve dergi ana sayfasına veya makalelerin DOI'sine bir bağlantı ayarlanmalıdır.
- Yazarlar makalenin çıktısını PDF belgesi olarak indirebilirler. Yazarlar makalenin kopyalarını meslektaşlarına herhangi bir ambargo olmaksızın gönderebilir.
- Selçuk Üniversitesi Yayınları, makalelerin tüm sürümlerine izin verir (Gönderilen sürüm, kabul edilmiş versiyon, yayınlanmış versiyon) ambargo olmaksızın yazarın tercih ettiği bir kurumsal veya başka bir arşivde saklanacaktır.
- Journal of Aeronautics and Astronautics, kalıcı arşivler oluşturulmasına izin vermek için LOCKSS sistemi kullanmaktadır. Stanford Üniversite Kütüphanelerine dayanan LOCKSS Programı, kütüphanelere ve yayıncılara kalıcı ve yetkili sayısal içeriğe erişimi sağlamak için ödüllü, düşük maliyetli, açık kaynak dijital koruma araçları sunar. LOCKSS Programı, "çok sayıda kopyanın güvenliğini sağlama" ilkesi üzerine kurulmuş, kütüphanenin liderliğindeki bir dijital koruma sistemidir. LOCKSS Programı, açık kaynaklı uç uca dijital koruma yazılımı kullanarak kütüphaneleri geliştirir ve destekler.



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

Dergide Yayımlanan Versiyon

Yayım Türü: Açık Erişim

OAI: <https://dergipark.org.tr/api/public/oai/ijaa/>

LOCKSS: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijaa/lockss-manifest>

RSS: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijaa/rss-feeds>

Ambargo Süresi: Ambargo süresi yoktur.

Açık Erişim Lisansı: CC BY-NC 4.0

Telif Hakkı Sahibi: Yazar(lar) telif hakkını korur.

Arşiv Yeri: Kurumsal Arşiv, Crossref, Dergi Web Sitesi, Kurumsal Site, Yazarın Kişisel Web Sitesi, Halka Açık ve/veya Ticari Konu Tabanlı Arşivler.

Politika Koşulları: Atıf ve alıntı standartlarına uyularak dergiye atıf yapılmalıdır. DOI ile yayıncı sürümüne bağlanmalıdır.

Hakem Süreci Sonunda Kabul Edilen Versiyon

Ambargo Süresi: Yok

Arşiv Yeri: Dergi Web Sitesi, Kurumsal Site, Yazarın Kişisel Web Sitesi, Halka Açık ve/veya Ticari Konu Tabanlı Arşivler.

Telif Hakkı Sahibi: Yazar(lar) telif hakkını korur.

Dergiye Gönderilen İlk Metin

Ambargo Süresi: Yok

Arşiv Yeri: Dergi Web Sitesi, Kurumsal Site, Yazarın Kişisel Web Sitesi, Halka Açık ve/veya Ticari Konu Tabanlı Arşivler.

Kalıcı Makale Tanımlayıcı: DOI

Journal of Aeronautics and Astronautics dergisi her makalesine doi atamaktadır

Yazar Katkı Oranı Beyanı

Makalede, araştırmacıların katkı oranı beyanı, varsa destek ve teşekkür beyanı, çıkar çatışması beyanı belirtilmelidir.

ETİK İLKELER VE YAYIN POLİTİKASI

Editorial Sorumluluklar

International Journal of Aeronautics and Astronautics'e gönderilen makalelerin hangilerinin yayımlanacağına karar vermekten Genel Yayın Yönetmeni, Sorumlu Editör ve Uluslararası Yayın Kurulu sorumludur.

Baş Editör, derginin içerik ve kalite açısından yetersiz gördüğü yazıları yayımlamamaya karar verme hakkını saklı tutar.

Derginin tüm editör ekibi, yayınlanmasını düşündüğü makalelerle ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması içinde olmamalıdır.

Baş Editör ve diğer editorial üyeler, makaleleri herhangi bir ırk, cinsiyet, cinsellik, din, etnik veya politik önyargı içermeyen entelektüel içerik açısından değerlendirecektir. Editörler, gönderilen tüm yazıları gizli belgeler olarak ele alır; bu, yazarların izni olmadan bir yazı

hakkındaki bilgileri kimseye ifşa etmeyecekleri anlamına gelir. Makale inceleme sürecinde şu kişiler makalelere erişebilir: Editörler, Hakemler, Yayın Kurulu Üyeleri. Bir yazıyla ilgili ayrıntıların yazarların izni olmadan üçüncü bir şahsa iletilebileceği tek durum, editörün ciddi araştırma suistimalinden şüphelenmesidir. Editör, etik ihlalden şüphelenirse veya bir ihlal iddiası olursa harekete geçmekle yükümlüdürler. Bu görev hem yayınlanmış hem de yayınlanmamış makaleleri kapsar.

Yazarın Sorumlulukları

Yazarlar, makalenin orijinal çalışma olduğunu ve başka bir dergide yayınlanmadığını ve aynı makalenin başka bir dergiye paralel olarak gönderilmediğini garanti eder.

Yazarlar ayrıca, yazının Yayın Kurulu'nun izni olmadan başka bir yerde (International Journal of Aeronautics and Astronautics'te yayımlandıktan sonra) hiçbir dilde yayınlanmadığını ve yayınlanmayacağını da taahhüt ederler.

Gönderilen makale bir araştırma projesi sonucuysa veya daha önce bir konferansta sunulmuşsa veya makaleyi destekleyen kurum veya kuruluş varsa, yazarlar bu bilgiyi Teşekkür bölümünde belirtmelidir.

Gönderilen makalenin etik standartlara uygun olmasını sağlamak yazarların sorumluluğundadır. Makalede yer alan bilgilerin asılsız veya hukuka aykırı olmadığını ve üçüncü şahısların haklarını ihlal etmediğini teyit eder, bu durumdan doğan her türlü tazminat talebini karşılar ve yayıncı hukuken sorumlu tutulamaz.

Katılımcıların Kişisel Verilerinin Korunması

International Journal of Aeronautics and Astronautics, Türk Dergipark tarafından kabul edilen Kişisel Verileri Koruma İlkerlerini kabul ederek uygulamaktadır.

İntihal

Bir başkasının fikirlerini, sözlerini, cümlelerini veya yaratıcı ifadelerini kendisininmiş gibi sunmak bilimsel etik açısından açık bir intihaldir.

Başka bir yazarın çalışmasından belirli bir ifadeyi, açıkça kaynak göstermeden, kaynağı doğru göstermeden veya kaynağı izinsiz olarak kendi çalışmasında kullanmak intihal olarak kabul edilir. İntihal olduğu tespit edilen yazarın makalesi doğrudan reddedilecektir.

Tekrar Yayın

Tekrar yayın, aynı makalenin veya büyük ölçüde benzer makalelerin birden fazla dergide yayınlanmasıdır. Editör bu tür makaleyi incelemeyi geri gönderir. Bundan sonra editör, tekrar yayına teşebbüs eden yazara belli bir süre ambargo uygulayabilir, yazarın daha önce yayın yaptığı dergide (belki de önceki makaleyi yayımlayan derginin editörü ile eşzamanlı duyuru olarak) kamuoyuna bu durumu açıklayabilir veya bu tedbirlerin hepsini birlikte uygulayabilir.

Aynı makalenin birden fazla dergiye eşzamanlı olarak gönderilmesi

Yazarlar aynı makaleyi aynı anda birden fazla dergiye gönderemezler. Editör, olası eşzamanlı gönderimi öğrenirse, makaleyi alan diğer editör(ler)e danışma hakkını saklı tutar. Ayrıca editör, makaleyi incelemeyi iade edebilir veya incelemeleri dikkate almadan reddedebilir veya bu kararı ilgili diğer editör(ler)le tartışarak alabilir ve yazarlardan belli bir süre makale başvurusu kabul etmemeye karar verebilir. Ayrıca yazarların işverenlerine yazabilir veya bu tedbirlerin hepsini birlikte hayata geçirebilir.

Etik İhlal Bildirimleri

Okurlar, International Journal of Aeronautics and Astronautics de yayınlanan bir makalede önemli bir hata ya da yanlışlık fark ettiklerinde ya da editöryal içerik ile ilgili (intihal, yinelenen makaleler vb.) herhangi bir şikâyetleri olduğunda ijaa@selcuk.edu.tr adresine e-posta göndererek bildirimde bulunabilir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olabilecek kişi, kurum ve kuruluşları açıklamalıdır.

Hakemlerin sorumlulukları

Hakemler, makalenin bilimsel değeri ve orijinalliği hakkındaki tarafsız görüşlerini zamanında yazılı olarak sunmalıdır.

Hakemler, gönderilen makaleyi derginin kapsamına, konunun özgünlüğüne, makalenin sunumuna, bilimsel nitelik ve özelliğine göre değerlendirir.

Hakemler etik ihlal, başka bir yerde yayınlanmış bir makale ile önemli benzerlik ve benzeri durumlar tespit ettiklerinde editörü uyarmalıdır.

Hakemler, yazarlar veya makaleyi destekleyen kurum veya kuruluşlar ile çıkar çatışması içinde olmamalıdır. Böyle bir durum editöre bildirilmelidir.

Hakemler makaleyi değerlendirirken tarafsız olmalıdır. Görüş, düşünce ve eleştirilerini destekleyici argümanlarla açıkça ifade etmelidir.

İncelenmek üzere gözden geçirenlere gönderilen tüm belgeler gizli olarak değerlendirilmelidir. Makalelerde belirtilen konu ve materyaller yazarların izni olmadan kullanılamaz. Bu bilgilerin kişisel kazanç amacıyla kullanılması durumunda tüm sorumluluk kullanıcıya aittir.

Feragatname

Yayınlanan eserlerdeki görüşler yazarlara aittir. Editörler ve Yayın Kurulu sorumlu tutulamaz. Yazılarda ifade edilen fikirlerin hukuki ve manevi sorumluluğu yazarlara aittir. Herhangi bir tazminat talebi olması durumunda yazarlar yasal olarak sorumlu tutulacaktır. Yayıncının herhangi bir sorumluluğu yoktur.

Etik Kurul İzni

Etik kuralları kapsamında şunlara dikkat edilmelidir.

Sosyal bilimler dahil tüm disiplinlerde yapılan araştırmalar ile insan ve hayvanlar üzerinde etik kurul kararı gerektiren klinik ve deneysel araştırmalar için etik kurul onayı alınmalı ve bu onay makalede belirtilmeli ve belgelenmelidir.

Dergide ve/veya web sayfasında ulusal ve uluslararası standartlara atıfta bulunarak ayrı bir başlık altında belirtilmelidir.

Bu başlık altında hakemler, yazarlar ve editörler için ayrı başlıklar altında etik kurallar hakkında bilgi verilmelidir.

Makalelerin Araştırma ve Yayın Etiğine uygun olduğu belirtilmelidir.

Uluslararası standartlara ve kurumlara atıfta bulunulmalıdır. Örneğin, dergilere gönderilen bilimsel makaleler, International Journal of Aeronautics and Astronautics Editors (IJAAE) ve International Standards for Editors and Authors of COPE'nin (Committee on Publication Ethics) tavsiyelerini dikkate almalıdır.

Etik kurul izni gerektiren çalışmalarda, izne ilişkin bilgi (kurul adı, tarih ve sayı numarası) yöntem bölümünde ve makalenin ilk/son sayfasında yer almalıdır.

Veri toplamada kullanılan ölçekler için ölçek sahibinden izin alınmalı ve makalede belirtilmelidir.

Kullanılan fikir ve sanat eserleri için telif hakları düzenlemelerine uyulmalıdır.

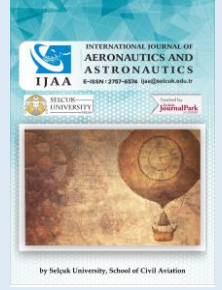
Etik Kurul İzni Gerektiren Çalışmalar

- 1) Anket, görüşme, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel veya nicel yaklaşımlarla yürütölen her türlü araştırma,
- 2) İnsan ve hayvanları (maddi/veri dahil) deneysel veya diğer bilimsel amaçlarla kullanmak,
- 3) İnsanlar üzerinde yapılan klinik araştırmalar,
- 4) Hayvanlar üzerinde yapılan klinik araştırmalar,
- 5) Kişisel verilerin korunması kanunu uyarınca geriye dönük çalışmalarda.



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

İLETİŞİM

Bize Ulaşın

Bizimle e-posta aracılığı ile iletişime geçebilirsiniz. Ayrıca, dergi yetkililerine ait bireysel iletişim bilgilerini de Editör kadrosu içerisinde bulabilirsiniz.

Dergi İletişim Bilgileri

Selçuk Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu

ijaa@selcuk.edu.tr

Akademi Mah. Yeni İstanbul Cad. No: 347. Alaeddin Keykubat Kampüsü - Sivil Havacılık
Yüksekokulu. Selçuklu / Konya / Türkiye

web: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijaa>

Editöryal Yetkili

Ad Soyad: Prof. Dr. Nilüfer CANÖZ

ORCID: 0000-0003-3424-3919

e-posta: ncanoz@selcuk.edu.tr

Telefon: +90 332 223 10 57

Teknik Yetkili

Ad Soyad: Doç. Dr. İlker ÖRS

ORCID: 0000-0001-8385-9846

e-posta: ilker.ors@selcuk.edu.tr

Telefon: +90 505 528 01 30

Yayınevi

Selçuk Üniversitesi

<https://yayinevi.selcuk.edu.tr>

ROR ID: <https://ror.org/045hgzm75>

ISNI: 0000 0001 2308 7215

Crossref: <https://crossref.org/members/prep/39200>

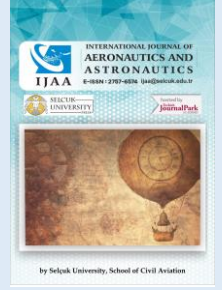
e-posta: ijaa@selcuk.edu.tr ; sivilhavacilik@selcuk.edu.tr ; press@selcuk.edu.tr

web: https://www.selcuk.edu.tr/Birim/yuksekokullar/sivil_havacilik_yo/1847



International Journal of Aeronautics and Astronautics

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



e-ISSN: 2757-6574

Dear readers,

We present the 1st issue of the 5th volume of the International Journal of Aeronautics and Astronautics (IJAA) to your appreciation and evaluation publishing it on time. Besides, as an indicator of the increase in the scientific quality of our journal, our applications for registration in respected academic indexes continue rapidly and we are trying to make up for our deficiencies in this regard with great effort.

In this first issue of 2024, there are 3 important articles that we think you can benefit from. These articles cover social and engineering issues such as the effects of health measures taken at airports during the pandemic, the use of thermoplastic polyurethane composites and non-destructive testing methods in aviation. In the study conducted by Şeyma KAPLAN, Emine Seher YENER, Zeynep YILMAZ and Ozan ÖZTÜRK, passengers' attitudes towards the health measures taken at Dalaman airport during the pandemic were evaluated with digital solutions. Özlem ULUS, Furkan Eren DAVARCI and Elif EREN GÜLTEKİN conducted a comprehensive study on non-destructive testing methods, which have an important place in the maintenance and repair of aircraft. In another study, Ümmühan KAYA and Hülya KAFTELEN ODABAŞI presented a study investigating the use of thermoplastic polyurethane composite materials as electromagnetic interference shielding. We hope that these articles published in our journal will be of interest to you and will guide your studies.

We have published high-quality scientific studies for you in this issue and previous issues. Our biggest goal is to increase our scientific quality in our future issues and to inform our valuable readers about social and technological issues in the field of aviation and space sciences. In order to achieve success in this goal, your contributions, both as writers and as reviewer, are very important to us. I look forward to your valuable stakeholders' contributions to us and our magazine, and on behalf of my entire magazine team, I wish you well and see you in our next issue.

June 30, 2024
Prof. Dr. Nilüfer CANÖZ

Değerli okurlarımız,

International Journal of Aeronautics and Astronautics (IJAA)'nın 5. cildinin 1. sayısını, zamanında yayımlayarak siz değerli okurlarımızın beğenisine ve değerlendirmesine sunuyoruz. Ayrıca, dergimizin bilimsel kalitesinin arttığına göstergesi olarak saygın akademik dizinlere kayıt başvurularımız hızla devam etmekte ve bu konudaki eksiklerimizi büyük bir gayretle giderme çabası içerisindeyiz.

2024 yılına ait bu birinci sayımızda, sizlerin önemli ölçüde faydalanabileceğinizi düşündüğümüz 3 önemli makale yer almaktadır. Bu makaleler, pandemi döneminde havalimanlarında alınan sağlık önlemlerinin etkileri, termoplastik poliüretan kompozitlerin kullanımı ve havacılıkta tahribatsız muayene yöntemleri gibi sosyal ve mühendislik konuları içermektedir. Şeyma KAPLAN, Emine Seher YENER, Zeynep YILMAZ ve Ozan ÖZTÜRK tarafından yürütülen çalışmada, pandemi döneminde Dalaman havalimanında alınan sağlık önlemlerine yolcuların tutumları, dijital çözümlerle değerlendirilmiştir. Özlem ULUS, Furkan Eren DAVARCI ve Elif EREN GÜLTEKİN çalışmalarında, hava araçlarının bakım ve onarımında önemli bir yere sahip olan tahribatsız muayene yöntemleri üzerine kapsamlı bir inceleme gerçekleştirmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise, Ümmühan KAYA ve Hülya KAFTALEN ODABAŞI, termoplastik poliüretan kompozit malzemelerin elektromanyetik girişim koruması olarak kullanımının incelendiği bir çalışma sunmuşlardır. Dergimizde yayınlanan bu makalelerin ilginizi çekeceğini ve sizlerin de çalışmalarınıza yön vereceğini ümit ederiz.

Bu sayımızda ve önceki sayılarımızda sizler için yüksek kaliteli bilimsel çalışmaları yayınladık. Gelecekteki sayılarımızda da bilimsel kalitemizi artırarak siz değerli okurlarımızı, havacılık ve uzay bilimleri alanında sosyal ve teknolojik konular ile bilgilendirmek en büyük hedefimizdir. Bu hedefimizde başarıya ulaşmak için sizlerin de gerek yazar gerekse hakem olarak sağlayacağınız katkılar bizim için çok önemlidir. Siz değerli paydaşlarımızın bizlere ve dergimize yapacağınız bu katkıları bekliyor, tüm dergi ekibim adına sonraki sayımızda görüşmek üzere esenlikler diliyorum.

30 Haziran 2024
Prof. Dr. Nilüfer CANÖZ

CONTENTS | İÇİNDEKİLER

JENERİK GENERIC	I
JOURNAL INFORMATION DERGİ BİLGİLERİ	V XIV
ETHICAL PRINCIPLES AND PUBLICATION POLICY ETİK İLKELER VE YAYIN POLİTİKASI	IX XVIII
FROM THE EDITOR EDITÖRDEN	XXIII XXIV
Research Articles Araştırma Makaleleri	
Şeyma Kaplan, Emine Seher Yener, Zeynep Yılmaz, Ozan Öztürk Evaluation of digital solutions for passenger attitudes towards health measures at Dalaman airport during COVID-19 period / COVID-19 döneminde Dalaman havalimanında sağlık önlemlerine yönelik yolcu tutumları için dijital çözümlerin değerlendirilmesi	1-9
Review Articles İnceleme Makaleleri	
Özlem Ulus, Furkan Eren Davarcı, Elif Eren Gültekin Non-destructive testing methods commonly used in aviation / Havacılıkta yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri	10-22
Ümmühan Kaya, Hülya Kaftelen Odabaşı Elektromanyetik girişim koruması için termoplastik poliüretan kompozitler / Thermoplastic polyurethane composites for electromagnetic interference shielding	23-36

Research Article / Araştırma Makalesi

Evaluation of digital solutions for passenger attitudes towards health measures at Dalaman airport during COVID-19 period / COVID-19 döneminde Dalaman havalimanında sağlık önlemlerine yönelik yolcu tutumları için dijital çözümlerin değerlendirilmesi

Şeyma Kaplan¹, Emine Seher Yener¹, Zeynep Yılmaz¹, Ozan Öztürk^{2*}

¹ Department of Aviation Management, Dalaman Civil Aviation School, Muğla Sıtkı Koçman University, Muğla, Türkiye

² Department of Airframe and Powerplant Maintenance, Dalaman Civil Avi. Sch., Muğla Sıtkı Koçman Uni., Muğla, Türkiye

Received
December 21, 2023

Revised
April 30, 2024

Accepted
May 8, 2024

Keywords

COVID-19 measures
Digital technologies
Ground service interaction
Passenger satisfaction
Self-service technologies

Anahtar Kelimeler

COVID-19 önlemleri
Dijital teknolojiler
Yer hizmeti etkileşimi
Yolcu memnuniyeti
Self-servis teknolojileri

Production and hosting by
[Turkish DergiPark](https://dergipark.org.tr). This is an
open access article under the
CC BY-NC license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



ABSTRACT

During the COVID-19 pandemic, the Ministry of Transport and Infrastructure and airline companies implemented various measures to prevent the spread of the virus and reduce the risk of transmission. Among the various measures implemented, those utilizing digital technologies to minimize contact between passengers at airport terminals and ground services personnel have been particularly noteworthy. Self-service technologies not only enhance time and space efficiency but also minimize interpersonal contact. This research aims to evaluate the positive impact of COVID-19 measures implemented at Dalaman Airport on passenger satisfaction and to examine the role of digital technologies in this effect. To this end, face-to-face surveys were conducted with at least 415 passengers at Dalaman Airport between October and November 2023. The data obtained were analyzed using the SPSS program to determine the effects of COVID-19 measures and digital technologies on passenger satisfaction. The research factor analysis, reliability analysis, correlation, and regression analyses to examine the relationships between satisfaction, digitization, and measures reducing discomfort, revealing significantly positive relationships. As a result, this research recommends airport management to realign technology investments and customer service policies centered on passenger satisfaction. Digitalisation efforts can facilitate passengers to better adapt to new norms and provide a safer and more comfortable travel experience. The research also highlights that future studies with generalized findings across a wider range of airports and passenger demographics will develop a more comprehensive understanding of how digital technologies can be used more effectively in the aviation sector.



ÖZET

COVID-19 salgını sırasında Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı ve havayolu şirketleri virüsün yayılmasını önlemek ve bulaşma riskini azaltmak için çeşitli önlemler aldı. Uygulanan çeşitli önlemler arasında, havalimanı terminallerinde yolcular ve yer hizmetleri personeli arasındaki teması en aza indirmek için dijital teknolojilerden yararlananlar özellikle dikkat çekiciydi. Self-servis teknolojileri sadece zaman ve mekân verimliliğini artırmakla kalmıyor, aynı zamanda kişiler arası teması da en aza indiriyor. Bu araştırma, Dalaman Havalimanı'nda uygulanan COVID-19 tedbirlerinin yolcu memnuniyeti üzerindeki olumlu etkisini değerlendirmeyi ve dijital teknolojilerin bu etkideki rolünü incelemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, Ekim ve Kasım 2023 tarihleri arasında Dalaman Havalimanı'nda en az 415 yolcuyla yüz yüze anketler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, COVID-19 ölçümlerinin ve dijital teknolojilerin yolcu memnuniyeti üzerindeki etkilerini belirlemek için SPSS programı kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırma, memnuniyet, dijitalleşme ve rahatsızlığı azaltan önlemler arasındaki ilişkileri incelemek için faktör analizi, güvenilirlik analizi, korelasyon ve regresyon analizleri, önemli ölçüde pozitif ilişkiler ortaya koymaktadır. Sonuç olarak bu araştırma, havalimanı yönetimine teknoloji yatırımlarını ve müşteri hizmetleri politikalarını yolcu memnuniyetini merkeze alarak yeniden düzenlemesini önermektedir. Dijitalleşme çabaları, yolcuların yeni normlara daha iyi uyum sağlamasını kolaylaştırabilir ve daha güvenli ve konforlu bir seyahat deneyimi sağlayabilir. Araştırma ayrıca, daha geniş bir havalimanı ve yolcu demografisi yelpazesinde genelleştirilmiş bulgulara sahip gelecekteki çalışmaların, dijital teknolojilerin havacılık sektöründe nasıl daha etkili bir şekilde kullanılabileceğine dair daha kapsamlı bir anlayış geliştireceğini vurgulamaktadır.

* Corresponding author, e-mail: ozturkozan@mu.edu.tr

1. Introduction

COVID-19 has significantly impacted the aviation and tourism sectors on a global scale. As of April 2020, the International Air Transport Association (IATA) reported an 80% decrease in air traffic compared to the previous year [1]. This decline was further exacerbated by global quarantine measures, drastically reducing the demand for air travel [2]. By March 2020, the effects were felt globally, with passenger revenues exceeding the expected loss of \$252 billion [3]. Global passenger traffic decreased by 52.9%, and available seat kilometers dropped by 36.2% [4]. Additionally, demand in international and domestic markets fell by 55.8% and 47.8%, respectively [5].

Major players like the European Air Transport Network were forced to undergo structural changes [6]. Airports, while responding with government support and technological innovations, transformed airport experiences through contactless procedures and increased hygiene measures [7]. Measures taken to control the spread of COVID-19 included airport closures, restrictions on essential flight operations, ventilation control, and enhanced hygiene [8]. Facing decreased revenues and operational changes, the aviation sector emphasized safety management systems and risk reduction strategies to ensure flight safety [9].

The pandemic has left profound and diverse effects on the aviation sector. Academic studies have extensively examined the impacts of the pandemic on aviation and the measures taken. The study by Ceyhan Günay and Maral [10] analyzed the marketing strategies of Turkish aviation companies before and during the pandemic using a



semi-structured qualitative research technique, proposing adaptations and strategic changes. Şen and Bütün [11] systematically examined for the first time the potential of the gig economy as a solution in the aviation sector post-COVID-19. Annaç Göv and Erbay [12] highlighted potential pandemic effects such as profit loss, reduction in employee numbers, and economic stagnation, emphasizing the importance of innovative fleet planning and the prioritization of cargo transportation. Genç and Işıktaş [13] assessed the effects of the pandemic from employee and customer perspectives using SWOT analysis, identifying challenges such as mask usage and communication issues. Aydın [14] quantitatively assessed the impacts on passenger and cargo transportation using the ARIMA model, showing that passenger transport was significantly more affected than cargo transport. Akkanat [15] analyzed the impacts of the pandemic on Turkish airports using flight statistics and examined whether the impacts varied according to the type of airport ownership. Kurt [16] studied the measures taken in air transportation and the effects of health measures on passengers and staff. Finally, Pehlivanoglu and others [17] analyzed the impact of the pandemic on international air transport and the tourism sectors using data from 38 countries with the Threshold Autoregressive (TAR) model, identifying changes in flights based on case and death counts. These studies comprehensively address the challenges, measures, and exit strategies of the aviation sector during the pandemic, shedding light on the sector's transformation and potential future steps.

This study aims to examine the effects of COVID-19 measures on passengers and the role of digitalisation in passenger satisfaction. It specifically addresses the health and safety measures implemented at Dalaman Airport and passenger responses. The focus of the research is to thoroughly investigate the impact of digital transformation and health safety practices at the airport on passenger experience and attitudes towards the pandemic. The study aims to document how these innovative digital solutions have altered passenger experiences and the positive changes in attitudes towards health measures. Additionally, it intends for the findings to guide airport managers, policymakers, and the aviation industry. In this way, it aims to contribute to defining practical steps to improve passenger experience during global health crises.

2. Digitalisation in the Aviation Sector

The COVID-19 pandemic has accelerated the digital transformation within the aviation industry, compelling airlines to embrace technology to meet increasing consumer demands and ensure passenger safety [18]. During this period, airlines adopted strategic measures including technological innovations, government support, and passenger cooperation. The pandemic-induced operational downturns at airports necessitated a review of operational processes and resilience strategies [19]. Furthermore, there was a need to enhance security measures, offer contactless experiences, and improve service quality during the pandemic [20].

Digitalisation efforts in the airline industry include various strategies aimed at enhancing efficiency, cost-effectiveness, flexibility, and security performance [21]. IATA introduced the concept of "Digital Airline" for 2025, incorporating digital applications such as mobile applications, online services, loyalty programs, and big data technologies [22]. As seen in the case of Istanbul Airport, there has been an emphasis on promoting digital transformation in airport operations and the development of "smart airports" [23]. The COVID-19 outbreak has particularly accelerated digitalisation in pre-flight and in-flight services, especially in airline catering [24]. Although the sector is still in the early stages of digital readiness, it has begun digitalizing aircraft maintenance processes to improve safety, quality, and cost efficiency [25].

Self-service technologies in the aviation sector are continually evolving to enhance flight safety, efficiency, and service quality. These technologies have become an integral part of the aviation industry and are expected to play an increasingly important role in the future. Particularly, kiosk devices at airports represent widespread tools for service automation. These devices enable passengers to independently perform various services such as online check-in, ticket sales, ticket printing, baggage drop-off, and hotel and car rentals, thereby reducing long queues



and expediting processes to make travel experiences more accessible and efficient. These technologies also allow airlines to reduce operating costs and enhance service quality [26-31].

Passenger service technology platforms are divided into three main sections: access, service, and presentation. These platforms focus on five main service channels: web, mobile, self-service (kiosk), SMS/MMS, and IVR (Interactive Voice Response). Self-service technologies offer significant advantages in aviation, including reducing labor costs, saving time, and preventing ticket counter queues. These applications cover services such as check-in, baggage drop-off, rebooking, contactless boarding, and reporting baggage losses [32-34].

In the aviation sector, kiosks have created significant impacts on digitalisation, efficiency, security, and sustainability. Automation of business processes and data analytics enhances efficiency, while predictive aircraft maintenance systems increase flight safety and reduce costs. Technologies such as augmented and virtual reality provide accuracy and efficiency in aircraft maintenance. Digitalisation also supports advancements in the industry from pilot training to passenger experience, contributing to a more sustainable future by reducing environmental impacts [22].

3. Method

Research model has been developed to address the negative impact of long waiting times at the airport on passenger satisfaction levels, as presented in Figure 1. Quantitative data collection methods were used in the research, with both face-to-face and online survey techniques planned to be employed. The survey was developed considering the measures implemented at Dalaman Airport. Scale expressions were derived by reviewing consumer satisfaction studies in the literature, examining measures taken by airlines, and investigating airlines' digitalisation efforts during the pandemic period. Basic information about the data collection tools was developed by the research academic advisor. A total of 415 passengers who used Dalaman Airport at least once participated in the survey.

The survey used in the research consists of two sections. The first section consists of questions aimed at determining the participants' demographic characteristics (The same sentences have been repeated above) and includes three questions. The second section consists of statements measuring the variables constituting the research model. It comprises a total of 13 questions: 4 questions aimed at measuring discomfort arising from measures, 4 questions aimed at measuring digitalisation, and 5 questions aimed at measuring passenger satisfaction. The survey includes response options in a five-point Likert scale format: '1=Strongly Disagree', '2=Disagree', '3=Undecided', '4=Agree', and '5=Strongly Agree'.

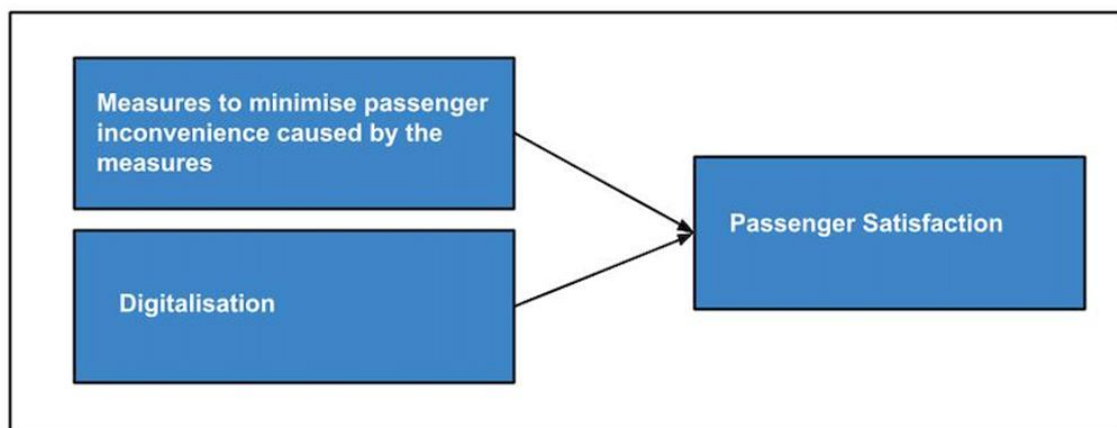


Fig. 1. Research model



Hypotheses formulated in line with the research model are as follows:

H1: Reducing dissatisfaction among passengers within the terminal building positively changes passenger attitudes.

H2: Digitalisation positively influences passenger attitudes.

4. Results and Discussion

4.1. Factor and reliability analyses

Before conducting factor analysis, the adequacy of the sample size and the suitability of variables belonging to the model were examined using Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) and Bartlett's Test of Sphericity. A KMO value above 0.6 is required for factor analysis [35]. The KMO test indicated that the variables were suitable for factor analysis (0.806). Bartlett's test in the study calculated $p < 0.001$ and indicated the presence of a relationship among the variables to be analyzed (Table 1).

Table 1. KMO Test and Bartlett's Test of Sphericity results

KMO Test	0.806	
Bartlett's Test of Sphericity	Chi-Square Value	3023.631
	Degrees of Freedom	78
	Significance Level	0.00

After it was understood that the variables were suitable for factor analysis, factor analysis was performed, and the findings are presented in Table 2.

Table 2. Explanatory factor analysis results

	1	2	3
Satisfaction			
M1	0.851		
M2	0.841		
M3	0.829		
M4	0.787		
M5	0.758		
Digitalisation			
D1		0.872	
D2		0.825	
D3		0.806	
D4		0.695	
Measures to Reduce Discomfort			
R1			0.851
R2			0.828
R3			0.791
R4			0.752
Core Value	26.882	21.635	20.959
Explained Variance (%)	4.066	3.198	3.222
Total Explained Variance (%)		69.476	

When examining the findings of the factor analysis, it is observed that the variables of satisfaction, digitalisation, and measures to reduce discomfort are appropriately separated and the statements are grouped under the relevant factors as desired. Moreover, the factor loadings of the statements and the explained variance value (69.476%) have been calculated above the critical threshold considered in the literature, which is 0.60 [36].



Following the factor analysis, Cronbach's Alpha analysis was conducted to determine the reliability of the statements related to the variables constituting the model. The findings of the analysis are provided in Table 3. The Cronbach's Alpha analysis values of the statements have been calculated above the critical threshold (0.70). Furthermore, when all statements were analyzed together, the Cronbach's Alpha coefficient was calculated as 0.833 [37].

Table 3. Reliability analysis findings and correlation analysis results

Dimensions		Number of Statements	Cronbach's Alpha Coefficient	1	2
Satisfaction	r	5	0.892		
Digitalisation	r	4	0.827	0.279**	
Discomfort Reducing Measures	r	4	0.840	0.359**	0.215**

*Correlation is significant at 0.05 level
**Correlation is significant at 0.01 level

Correlation analyses were performed for the variables of the study and the findings are presented in Table 3. In the correlation analysis where the strength and direction of the relationship between the variables are examined, a value between -1 and +1 emerges. While this value expresses the strength of the relationship, the positive or negative value indicates the direction of the relationship. When the findings of the analysis are analysed, it is understood that there is a positive and significant relationship between the variables [38].

4.2. Testing hypotheses

The research model was tested with the help of SPSS 22.0 package programme.

Table 4. The effect of mitigation measures on satisfaction

Dependent Variable	Independent Variable	Beta	t	P
Satisfaction	Reducing Measures	0.247	5.643	0.001

$R^2=0.129$ $F=63.058$ $p=0.001$

According to the results of the regression analysis, $R^2=0.129$ (Table 4). Accordingly, it is understood that measures to minimize discomfort have a positive and statistically significant effect on satisfaction ($p<0.001$). According to these findings, hypothesis H1 is supported.

Dependent Variable	Independent Variable	Beta	t	P
Satisfaction	Digitalisation	0.279	6.004	0.001

$R^2=0.078$ $F=36.044$ $p=0.001$

When analyzing the findings in Table 5, $R^2=0.078$ was calculated. This result indicates that digitalisation has a positive and statistically significant effect on satisfaction ($p<0.001$). Therefore, Hypothesis 2 is supported.

5. Conclusion

This study thoroughly examines the effects of digitalisation and discomfort reduction measures on passenger satisfaction at airports. The data obtained indicate that these two factors positively influence passenger satisfaction and that these effects are statistically significant. The limited work in the literature on digitalisation and customer satisfaction at airports highlights the originality of this research. Previous studies have indicated that digitalisation



holds the potential to enhance passenger satisfaction as well as operational efficiency and security standards at airports [39]. The research findings suggest that airport managements need to reconfigure their technology investments and customer service policies to center around passenger satisfaction. This recommendation has been articulated in similar studies conducted in various sectors [6]. Post-pandemic, the efforts of airports towards digitalisation have enabled passengers and airlines to adapt to the new normal, indicating that investments in smart solutions provide contactless and seamless experiences, thereby ensuring safety and comfort for passengers [40, 41].

This study provides strategic guidance that not only enhances passenger satisfaction but also improves operational efficiency and security standards at airports. It calls for airport managements to reshape their technology investments and customer service policies with a focus on passenger satisfaction. Particularly in the post-pandemic period, airports can facilitate passengers' adaptation to new normal and offer a safer, more comfortable travel experience through such digitalisation efforts. This research serves as a valuable reference point for airport managements and contributes significantly to the development of future strategies. Future research could generalize these findings by examining a wider range of airports and passenger demographics, thereby advancing the understanding of digital adoption in aviation. This expanded perspective could develop a more comprehensive understanding of how digital technologies can be more effectively utilized in the aviation sector.

Authorship contribution statement for Contributor Roles Taxonomy

Seyma Kaplan, Inspection, Research, Investigation and Editing, Formal Analysis. **Emine Seher Yener**, Investigation, Visualization, Inspection. **Zeynep Yilmaz**, Visualization and Formal Analysis. **Ozan Öztürk**, Writing, Research, Auditing, Conceptualization, Methodology.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- [1] IATA. IATA / UPU Warn of Air Capacity Shortage. <https://www.iata.org/en/pressroom> (4 May 2024)
- [2] Heiets, I. and Xie, Y. 2021. The impact of the COVID-19 pandemic on the aviation industry. *Journal of Aviation*, 5(2), 111-126.
- [3] IATA. Air Passenger Market Analysis. (n.d.). <https://www.iata.org/en/publications/economics/> (4 May 2024)
- [4] Sun, X., Zheng, C., Wandelt, S. and Zhang, A. 2023. Air transportation and COVID-19: A tale with three episodes. *Transport Economics and Management*, 1, 13-21.
- [5] Filipiak, D., Matyjaskiewicz, M. A., Zalewski, P. and Postek, J. 2023. Impact of the COVID-19 pandemic on air transport. *Defence Sciences Review*, 16, 1-15.
- [6] Kováčiková, K., Sedláčková, A. N., Novák, A. and Remencová, T. 2023. The quality of airport services in the wake of the COVID-19 pandemic. 2023 Smart City Symposium Prague (SCSP), 25-26 May, Prague, Czech Republic, 1-6.
- [7] Mendonça de Moraes, C. The impact of the pandemic effect on the aviation in the environmental quality of the air transport and travelers, in: Ali, Z. A., Cvetković, D., *Aeronautics - New Advances*, IntechOpen, 2022.
- [8] Kaya, M. and Ateş, S. S. Human resources in aviation in the COVID-19 era, in: Kurnaz, S., Rodrigues, A. A. B., Bowyer, M. D., *Challenges and Opportunities for Aviation Stakeholders in a Post-Pandemic World*, IGI Global, 2023, 64-83.



- [9] Blišťanová, M., Tirpáková, M. and Brůnová, L. 2021. Overview of safety measures at selected airports during the COVID-19 pandemic. *Sustainability*, 13(15), 8499.
- [10] Ceyhan Günay, A. and Maral, B. 2023. The impact of COVID-19 pandemic on the marketing strategies of Turkish airline companies. *Niřantařa Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), 158-173.
- [11] şen, G. and Bütün, E. 2021. The impact of COVID-19 outbreak on the aviation sector: The alternative of the gig economy. *Journal of Aviation Research*, 3(1), 106-127.
- [12] Annaç Göv, S. and Erbay, N. 2021. The effects of the COVID-19 pandemic on the aviation industry and strategies: Opinions of Turkish aviation academics. *European Journal of Managerial Research (EUJMR)*, 5(9), 326-341.
- [13] Genc, M. and Işıktaş, S. 2022. The effect of COVID-19 pandemic to workers and customers of Turkish aviation sector: Swot analysis. *International Journal of Arts and Social Studies*, 5(8), 44-65.
- [14] Aydın, A. 2021. ARIMA modeli ile COVID-19 salgınının Türkiye hava taşımacılığı sektörü üzerindeki etkilerinin analizi. *Ardahan Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(2), 118-127.
- [15] Akkanat, F. 2021. 2020 yılında COVID-19'un Türkiye'deki havalimanları uçuş istatistiklerine etkisi ve bu etkinin havalimanı sahiplik durumuyla ilişkisi. *Balıkesir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 129-143.
- [16] Kurt, Y. 2020. COVID-19 crisis in air transportation: Passengers and human resources protection measures. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 19(COVID-19 Special Issue), 191-211.
- [17] Pehlivanoglu, F., Emikönel, M. and İnce, M. R. 2023. First period effect of COVID-19 on international aviation tourism. *Karamanoglu Mehmetbey University Journal of Social and Economic Research*, 25(45), 808-825.
- [18] Chutipongdech, T., Apiluckserbsakul, N., Choktanasukarn, K. and Phengkona, J. 2023. Strategic responses for the airline business during the COVID-19 pandemic: A review of past crises. *ABAC Journal*, 43(3).
- [19] Alsalous, O. and Hotle, S. 2023. Airport scheduling and operational performance: A clustering analysis of airport response to COVID-19. *AIAA Aviation 2023 Forum*, 12-16 June, San Diego, CA, USA.
- [20] Wu, X., Fu, X., Lei, Z. and Wang, K. 2023. Impact of the COVID-19 pandemic on multi-airport systems worldwide. *Journal of the Air Transport Research Society*, 1(1), 117-135.
- [21] Annaç Göv, S. Air transportation management and the effects of digital transformation strategies, in: Akkaya, B., Tabak, A., *Two Faces of Digital Transformation*, Emerald Publishing Limited, Leeds, 2023, 141-155.
- [22] Mızrak, F. and Akkartal, G. R. Strategic management of digital transformation processes in the aviation industry: Case of Istanbul Airport, in: Russ, M., *Cases on Enhancing Business Sustainability Through Knowledge Management Systems*, IGA Global, Hershey, PA, USA, 2023, 154-177.
- [23] Yusriza, F. A. Digital advancements in airline catering sector, in: Hassan, A., Rahman, N.A.A., *Technology Application in Aviation, Tourism and Hospitality*, Springer, Singapore, 2023, 89-100.
- [24] Alomar, I. and Yatskiv (Jackiva), I. 2023. Digitalization in aircraft maintenance processes. *Aviation*, 27(2), 86-94.
- [25] Okuneye, B. A. and Ogunyomi-Oluyomi, O. O. 2022. The role of digitalization in the airline industry performance amid COVID-19: Evidence from Emirate Airline balanced scorecard performance. *Izvestiya Journal of Varna University of Economics*, 66 (1-2), 5-21.
- [26] Brida, J. G., Moreno-Izquierdo, L. and Zapata-Aguirre, S. 2016. Customer perception of service quality: The role of Information and Communication Technologies (ICTs) at airport functional areas. *Tourism Management Perspectives*, 20, 209-216.
- [27] *Airport digital transformation handbook*, Second edition, ACI, 2021.



- [28] Ku, E. C. S. and Chen, C-D. 2013. Fitting facilities to self-service technology usage: Evidence from kiosks in Taiwan Airport. *Journal of Air Transport Management*, 32, 87-94.
- [29] Chang, H-L. and Yang, C-H. 2008. Do airline self-service check-in kiosks meet the needs of passengers? *Tourism Management*, 29(5), 980-993.
- [30] Curran, J. M. and Meuter, M. L. 2005. Self-service technology adoption: Comparing three technologies. *The Journal of Services Marketing*, 19(2), 103-113.
- [31] Jarrell, J. 2007. Self-service kiosks: Museum pieces or here to stay? *Journal of Airport Management*, 2(1), 23-29.
- [32] Zhibing, X. and Xinming, W. 2012. The research of China's civil aviation passenger multi-channel service technology platform. *Physics Procedia*, 33, 417423.
- [33] Lee, W., Castellanos, C. and Choi, H. S. C. 2012. The effect of technology readiness on customers' attitudes toward self-service technology and its adoption: The empirical study of U.S. airline self-service check-in kiosks. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 29(8), 731-743.
- [34] Moon, H. G., Lho, H. L. and Han, H. 2021. Self-check-in kiosk quality and airline non-contact service maximization: How to win air traveler satisfaction and loyalty in the post-pandemic world? *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 38(4), 383-398.
- [35] Abay, Ş. and Akkılıç, M. E. 2020. The effect of perceived value on brand loyalty in online clothing shopping: A study. *TUJOM*, 5(2), 141-157.
- [36] Nakip, M. *Marketing Research Techniques and SPSS Supported Applications*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2006.
- [37] İslamoğlu, A. H., and Alnıaçık, Ü. *Research Methods in Social Sciences (SPSS Applied)*, Fifth edition, Beta Publications, Istanbul, 2016.
- [38] İslamoğlu, A. H. *Research Methods in Social Sciences*, Beta Publications, Istanbul, 2009.
- [39] Yıldırım, G. 2023. "The effect of the digitalization process in the banking sector on customer experience and service quality". Master thesis, Marmara University, Institute of Social Sciences, Istanbul, Turkey.
- [40] Ramli, S., Wan Abdul Hamid, W. N. N. and Mohd Tan, A. 2023. Knowledge sharing behaviour is critical for business continuity in a pandemic. *International Journal of Advanced Research in Economics and Finance*, 5(2), 75-90.
- [41] Muthahharah, T., Widiawati, W. and Baitillah, N. 2023. The post pandemic education: A blended learning approach for teaching and learning in higher education in new normal era. *International Journal of Ethno-sciences and Education Research*, 3(2), 99-108.

Review Article / İnceleme Makalesi

Non-destructive testing methods commonly used in aviation / Havacılıkta yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri

 Özlem Ulus^{1*},  Furkan Eren Davarcı²,  Elif Eren Gültekin²

¹ Aviation Technologies, Institute of Graduate Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye

² Airframe and Powerplant Maintenance, School of Civil Aviation, Selçuk University, Konya, Türkiye

Received
February 26, 2024

Revised
May 10, 2024

Accepted
May 21, 2024

Keywords

Aircraft components
Aviation
Non-destructive testing (NDT)
Reliability
Structural integrity

Anahtar Kelimeler

Uçak bileşenleri
Havacılık
Tahribatsız muayene (NDT)
Güvenilirlik
Yapısal bütünlük

Production and hosting by
[Turkish DergiPark](https://dergipark.org.tr). This is an
open access article under the
CC BY-NC license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



ABSTRACT

Non-Destructive Testing (NDT) methods play a pivotal role in ensuring the safety and reliability of aircraft in the aviation industry. This article provides a comprehensive overview of the NDT techniques commonly employed in aviation to assess the structural integrity and performance of aircraft components and materials without causing any damage. The article discusses the significance of NDT in aviation, highlighting the importance of early defect detection, maintenance cost reduction, and enhanced operational safety. It delves into various NDT methods, such as ultrasonic testing, eddy current testing, radiographic inspection, magnetic particle testing, and dye penetrant testing, explaining their principles and applications. In addition, in this article, the advantages and disadvantages of NDT methods and which methods are used in which part of the aircraft are mentioned. Understanding these NDT methods is crucial for aviation professionals, as they contribute to the continued airworthiness of aircraft, ensuring that passengers and crew can travel safely and confidently.

ÖZET

Tahribatsız Muayene (NDT) yöntemleri, havacılık endüstrisinde hava taşıtlarının emniyet ve güvenilirliğinin sağlanmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu makale, uçak bileşenlerinin ve malzemelerinin yapısal bütünlüğünü ve performansını herhangi bir hasara yol açmadan değerlendirmek için havacılıkta yaygın olarak kullanılan NDT tekniklerine kapsamlı bir genel bakış sunmaktadır. Makale, erken kusur tespiti, bakım maliyetlerinin azaltılması ve gelişmiş operasyonel güvenliğin önemini vurgulayarak NDT'nin havacılıktaki önemini tartışmaktadır. Ultrasonik test, girdap akımı testi, radyografik muayene, manyetik parçacık testi ve boya penetrant testi gibi çeşitli NDT yöntemlerini inceleyerek bunların ilkelerini ve uygulamalarını açıklamaktadır. Ayrıca bu makalede, NDT yöntemlerinin avantaj ve dezavantajlarından ve hangi yöntemlerin uçağın hangi bölümünde kullanıldığından bahsedilmektedir. Bu NDT yöntemlerini anlamak havacılık profesyonelleri için çok önemlidir, çünkü uçakların uçuşa elverişliliğinin devam etmesine katkıda bulunarak yolcuların ve mürettebatın güvenli ve emin bir şekilde seyahat edebilmelerini sağlarlar.

* Corresponding author, e-mail: ozlemguvendi@gmail.com



1. Introduction

The aviation industry stands as a paragon of precision engineering and safety standards. Aircraft, whether for commercial, military, or private use, are complex machines built to exacting specifications. Ensuring their structural integrity, reliability, and safety is of paramount importance. Non-Destructive Testing (NDT) methods are indispensable tools in achieving these goals. NDT methods are the unsung heroes of aviation maintenance and inspection. Unlike traditional destructive testing methods that involve damaging the material or component being examined, NDT techniques enable the evaluation of structural and material integrity without causing harm. These methods are not only integral to the aviation sector but are also applied in various industries, from construction to manufacturing, where safety and quality assurance are paramount. In this article, the aviation-related NDT world will be examined. The importance of NDT in the industry will be explored, highlighting its important role in defect detection, cost reduction and increasing operational safety. Additionally, NDT methods commonly used in aviation will be examined in depth, including dye penetrant testing, magnetic particle testing, eddy current testing, ultrasonic testing, and radiographic inspection. By understanding the principles and applications of these techniques, aviation professionals can make informed decisions, ensuring the airworthiness of aircraft and the safety of passengers and crew [1-3].

2. Common NDT Methods in Aviation

2.1. Dye penetrant testing

Dye Penetrant Testing (DPT), also known as Liquid Penetrant Testing (LPT) or simply Penetrant Testing, is a widely used Non-Destructive Testing (NDT) method in aviation and various other industries. This technique is employed to detect surface-gap defects or discontinuities in aircraft components and materials without causing any damage to them (Fig. 1). The primary purpose of dye penetrant testing in aviation is to ensure the structural integrity, safety, and airworthiness of critical aircraft parts [4].

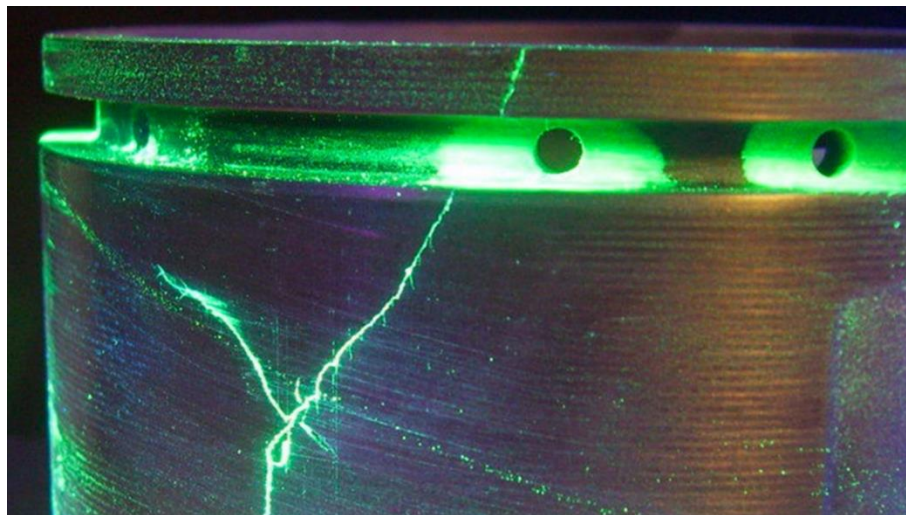


Fig. 1. Fluorescence penetrant testing [5]

Here's how the process typically works (Fig. 2): **Surface Preparation:** Before the testing begins, the surface of the aircraft component under examination is cleaned to remove any contaminants, such as dirt, oil, or corrosion. This step is crucial to ensure the accuracy of the test.

Application of Penetrant: A brightly colored, highly visible liquid penetrant is applied to the surface of the component. This penetrant is chosen based on the specific requirements of the test.



Dwell Time: The penetrant is left on the surface for a specified period, allowing it to seep into any surface-breaking defects, cracks, or discontinuities.

Excess Penetrant Removal: After the dwell time, any excess penetrant is carefully removed from the surface. This is typically done by wiping or rinsing.

Application of Developer: A white, powdery developer is applied to the surface. The developer draws the penetrant out of any defects, making them visible.

Visual Inspection: The inspector then examines the surface for any indications or indications - these are the visible signs of defects, revealed by the penetrant's presence. These indications can be cracks, porosity, or other surface irregularities.

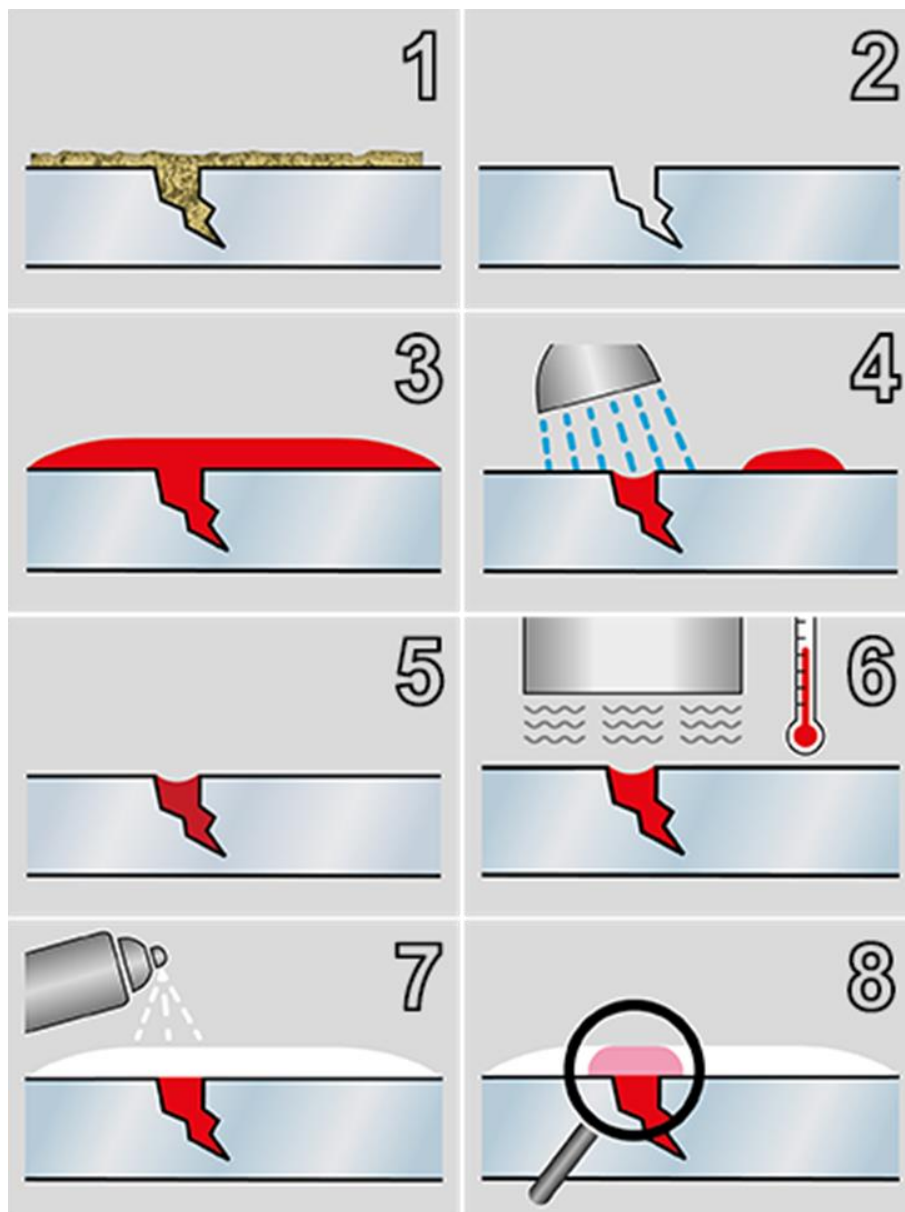


Fig. 2. Principles of dye penetrant testing [6]



Interpretation and Evaluation: The inspector interprets the indications based on their size, shape, and location to determine the nature and significance of the defects. This evaluation is crucial in determining whether the component is suitable for continued use or requires repair or replacement.

Dye penetrant testing is especially valuable for detecting defects in materials that are not easily visible to the naked eye. It is a highly sensitive and cost-effective method for ensuring the safety and airworthiness of aircraft components. Regular inspections using this technique help maintain the structural integrity of aircraft and contribute to the overall safety of aviation operations [7, 8].

2.1.1. Advantages of dye penetrant testing

Sensitivity: DPT is highly sensitive and capable of detecting very small surface-breaking defects, including cracks, pores, and other discontinuities that may not be visible to the naked eye. This makes it an effective method for identifying hidden flaws in aircraft components.

Versatility: DPT can be used on a wide range of materials, including metals, plastics, ceramics, and composites, making it a versatile choice for the aviation industry, where various materials are used in aircraft construction.

Cost-Effective: DPT is relatively cost-effective compared to other NDT methods, making it an attractive option for routine inspections and maintenance. It doesn't require complex or expensive equipment.

Ease of Application: The method is straightforward and can be applied with minimal training. Technicians can quickly learn how to perform DPT effectively.

No Damage to the Component: As a non-destructive testing method, DPT does not damage the tested components, allowing them to remain in service if they pass inspection [9].

2.1.2. Disadvantages of dye penetrant testing

Surface Dependency: DPT is limited to detecting surface-breaking defects. It cannot identify subsurface or internal flaws in materials. If a defect is located beneath the surface, DPT will not detect it.

Time-Consuming: Dye penetrant testing is a time-consuming process, typically involving several steps (application, dwell time, removal, and developer application) and often requiring multiple applications for thorough inspection.

Environmental Concerns: The process involves the use of chemicals, which can raise environmental and health concerns if not handled and disposed of properly. Some of the chemicals used in DPT may be hazardous.

Operator Skill: While it is relatively easy to learn, the effectiveness of DPT depends on the skill and experience of the technician performing the test. Inexperienced or poorly trained technicians may miss defects or misinterpret results.

Limited to Surface Inspection: DPT is limited to surface inspection, and it may not provide a comprehensive assessment of the overall condition of a component. Other NDT methods, such as radiographic or ultrasonic testing, may be necessary to complement DPT for a more thorough evaluation.

In conclusion, dye penetrant testing is a valuable tool for detecting surface defects in aviation components, but it has limitations, and its effectiveness depends on various factors. In practice, it is often used in combination with other NDT methods to ensure a comprehensive evaluation of aircraft components [10].

2.1.3. Common applications of DPT in aviation

DPT is used to inspect the surfaces of various structural components of an aircraft, such as the fuselage, wings, tail, and landing gear. It helps identify surface cracks, defects, and imperfections that may compromise the structural integrity of these components [11].



2.2. Magnetic testing

Magnetic particle testing (MPT), also known as magnetic testing or magnetic particle inspection (MPI), is a non-destructive testing (NDT) method commonly used in aviation and other industries to identify surface and near-surface defects in ferromagnetic materials (Fig. 3).



Fig. 3. Magnetic testing [12]

Ferromagnetic materials are those that can be magnetized, such as iron and steel. Magnetic testing relies on the principle that when a magnetic field is applied to a ferromagnetic material, it will exhibit unique magnetic properties when defects are present.

The process of Magnetic Particle Testing in Aviation:

Preparation: The first step involves the careful cleaning and preparation of the component or material to be inspected.

Magnetization: The component is magnetized by applying a magnetic field. This can be done using a yoke (a handheld magnetizing device) or by passing an electric current through the material.

Application of Magnetic Particles: After magnetization, finely divided magnetic particles (often iron or iron oxide) are applied to the surface of the component. These particles are typically in the form of a dry powder or a wet suspension, which is sprayed or brushed onto the surface.

Inspection: As the magnetic particles are applied to the surface, they will be attracted to and accumulate at areas where there are magnetic field disturbances, such as those caused by surface cracks, weld defects, or other discontinuities. These areas will appear as a distinct pattern of accumulations on the surface, indicating the presence of defects.

Interpretation: A trained inspector examines the accumulated magnetic particles to identify the location, size, and shape of any defects. The pattern of magnetic particle accumulations provides visual evidence of the defects [13,14].

2.2.1. Advantages of magnetic testing

Effective for detecting surface and near-surface defects. Quick and relatively simple process. Can be used on a wide range of ferromagnetic materials. Immediate visual results. Non-destructive, meaning it doesn't harm the tested components [15].



2.2.2. Disadvantages of magnetic testing

Limited to ferromagnetic materials (not applicable to non-magnetic materials). Limited to surface and near-surface defects. Requires proper surface preparation for accurate results. The process may be limited in inspecting complex geometries or areas with restricted access [16].

2.2.3. Common applications of magnetic testing in aviation

Aircraft Engine Components: MPT is widely used to inspect critical engine components, such as turbine blades, compressor disks, and engine casings (Fig. 4).

Landing Gear Components: Landing gear components, including landing gear struts, axles, and associated parts, are subject to significant stress during takeoffs and landings (Fig. 5).



Fig. 4. Magnetic testing of engine components [17]



Fig. 5. Magnetic testing of landing gear components [18]

Structural Components: MPT is applied to various structural components of the aircraft, including the fuselage, wings, and tail sections and bolts, fasteners, and rivets: Aircraft rely on numerous bolts, fasteners, and rivets to hold components together [19].

2.3. Eddy current testing

Eddy current testing (ECT) is a non-destructive testing (NDT) method used in aviation to evaluate the structural integrity and detect surface defects in aircraft components, particularly those made from conductive materials like aluminum and some types of alloys (Fig. 6).



Fig. 6. Eddy current testing of landing gear [20]

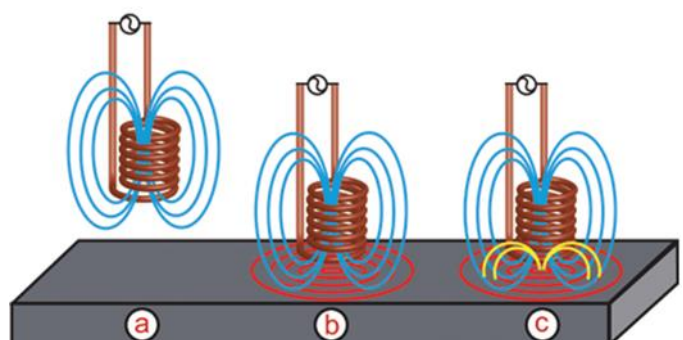


Fig. 7. Basic principles of ECT [22]



Eddy current testing is based on the principle of electromagnetic induction. When an alternating current is passed through a coil or probe, it generates a fluctuating magnetic field. When this coil or probe is placed near a conductive material, the changing magnetic field induces eddy currents—circular electrical currents—within the material. The interaction between these eddy currents and the material's conductivity creates a secondary magnetic field. When the material has defects, such as cracks, voids, or corrosion, the eddy currents are disrupted, resulting in changes in the secondary magnetic field.

The process of eddy current testing in aviation (Fig. 7):

Probe or coil setup: A coil or probe is placed in close proximity to the surface of the material to be inspected. The coil or probe is connected to an eddy current testing instrument.

Excitation: An alternating current is passed through the coil or probe, generating a fluctuating magnetic field.

Eddy current generation: Eddy currents are induced in the conductive material being tested due to the changing magnetic field [19,21].

Detection and analysis: As the eddy currents interact with the material's properties, changes in the secondary magnetic field occur. The instrument detects these changes, and the data is displayed for analysis [23].

2.3.1. Advantages of eddy current testing

Eddy current testing is a relatively quick inspection method. Unlike some other NDT methods, ECT does not typically require extensive surface preparation. This can save time and resources, particularly when inspecting large aircraft structures. ECT is a non-destructive testing method, meaning it does not harm the material being inspected. This is crucial in aviation, where the integrity of components must be maintained. ECT is versatile and can be used on a variety of conductive materials, including aluminum, steel, titanium, and certain alloys, making it suitable for different aircraft components. ECT can be performed on irregularly shaped or difficult-to-reach areas, making it suitable for inspecting complex aerospace components. ECT is well-suited for high-volume manufacturing processes, ensuring the quality and safety of aircraft components [24].

2.3.2. Disadvantages of eddy current testing

ECT is primarily effective on conductive materials, such as metals. It is not suitable for inspecting non-conductive materials like plastics or composites. ECT is generally limited to detecting defects close to the surface. It may not effectively identify defects located deep within thick materials. External electromagnetic interference or variations in material properties can affect the accuracy of ECT results. It is essential to control external factors to obtain reliable results. ECT equipment can be relatively expensive to purchase, maintain, and calibrate. This can be a barrier to some smaller aviation maintenance facilities [25].

2.3.3. Common applications of eddy current testing in aviation

ECT is used to inspect the skin of aircraft, including the fuselage and wings, for surface cracks, corrosion, and other defects. ECT is employed to inspect fasteners like bolts, rivets, and screws for cracks, corrosion, and material degradation. Aircraft engines are subject to high stress and temperature conditions. ECT is used to examine engine components, such as turbine blades, for defects that may affect engine performance and safety. ECT helps evaluate the landing gear components, such as landing gear struts, axles, and connecting parts, for defects that could lead to landing gear failure during takeoffs and landings. In modern aviation, composite materials are used extensively. ECT is applied to detect hidden flaws, delamination, or voids within composite materials to ensure their structural integrity [26].

2.4. Ultrasonic testing

Ultrasonic testing relies on the principle of sending high-frequency sound waves (ultrasound) into a material and measuring the time it takes for the sound waves to reflect back. The system uses a transducer that emits ultrasound



waves and receives the returning signals (Fig. 8). These sound waves propagate through the material, and when they encounter a change in material properties, such as a void, crack, or other discontinuity, some of the waves are reflected back to the transducer. The reflected waves are analyzed to determine the size, location, and nature of any defects.



Fig. 8. Ultrasonic testing system

Here's how the process typically works:

Preparation: The first step is to prepare the surface of the material or component to be inspected. This usually involves cleaning the surface to remove any contaminants, such as grease, oil, dirt, or corrosion. Proper surface preparation is essential to ensure accurate results.

Transducer Setup: A transducer is a key component of the UT equipment. The transducer is a handheld device that generates and receives ultrasonic waves. A couplant, typically a gel or a special coupling fluid, is applied to the surface of the material to help transmit the ultrasonic waves.

Generation of Ultrasonic Waves: The transducer is placed on the surface of the material, and it generates high-frequency sound waves, typically in the range of 0.5 to 25 megahertz (MHz). These sound waves are introduced into the material and travel through it.

Propagation of Sound Waves: The ultrasonic waves propagate through the material. As they travel through the material, they encounter boundaries, interfaces, and any internal defects or anomalies within the material.

Reflection of Sound Waves: When the ultrasonic waves encounter a change in the material, such as the back surface, an internal defect, or a void, a portion of the waves is reflected back towards the transducer. The time it takes for the reflected waves to return is recorded and used to determine the distance to the reflecting interface.

Display and Analysis: The data collected from the ultrasonic waves is displayed on a screen or monitor. A skilled technician or inspector can interpret the results by analyzing the ultrasonic waveform and the time it takes for the waves to travel. The presence and characteristics of any defects, such as cracks or voids, can be identified [28, 29].

2.4.1. Advantages of ultrasonic testing

High sensitivity to both surface and subsurface defects.

Versatility in inspecting a wide range of materials, including metals, composites, and plastics. The ability to provide quantitative data about defect size and depth. Real-time inspection, allowing for immediate assessment of component integrity. Non-destructive nature, which means it does not harm the tested components.



2.4.2. Disadvantages of ultrasonic testing

Requires well-trained and certified technicians for accurate results. In some cases, it may be necessary to access both sides of the material being tested, which can be challenging in some aircraft components. Surface finish and complex geometry can affect the accuracy of the inspection [30].

2.4.3. Common applications of ultrasonic testing in aviation

Ultrasonic testing is used to inspect the integrity of critical structural components, such as the aircraft's fuselage, wings, tail, and landing gear [30].

2.5. Radiographic inspection

Radiographic inspection testing relies on the principle that X-rays or gamma rays can penetrate through materials to varying degrees, depending on the material's thickness, density, and composition (Fig. 9). When these rays pass through the material, they are absorbed or scattered by the internal structure of the material, creating a shadow image on a radiographic film or digital detector. Areas with different densities, such as defects or anomalies, appear as variations in the shadow image.

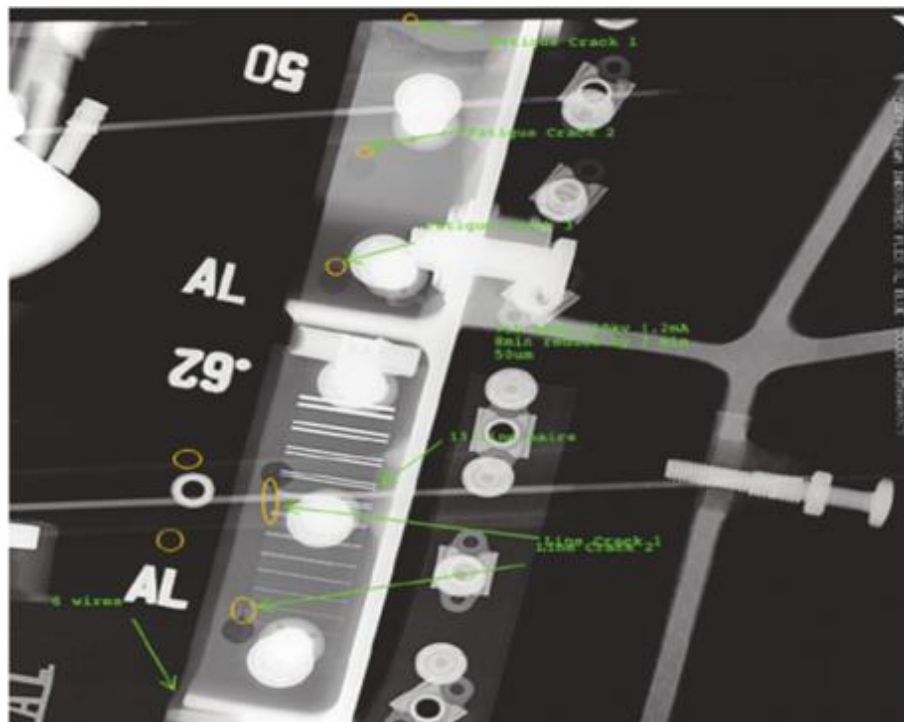


Fig. 9. Radiograph of typical aircraft wing spar [31]

The process of radiographic inspection testing in aviation:

A radiation source is used to produce X-rays or gamma rays. X-ray machines generate X-rays through the interaction of high-energy electrons with a metal target, while gamma-ray sources emit gamma rays from radioactive isotopes like iridium-192 or cobalt-60. The radiation source is directed at the material or component being inspected (Fig. 10). The X-rays or gamma rays penetrate the material and create a latent image on a radiographic film or digital detector. The exposed radiographic film or digital detector records the radiation that passes through the material. The film may need to be developed, while digital detectors provide immediate results. A trained radiographic technician or inspector examines the radiographic image to identify the location, size, and characteristics of any defects, such as cracks, voids, or inclusions [32].

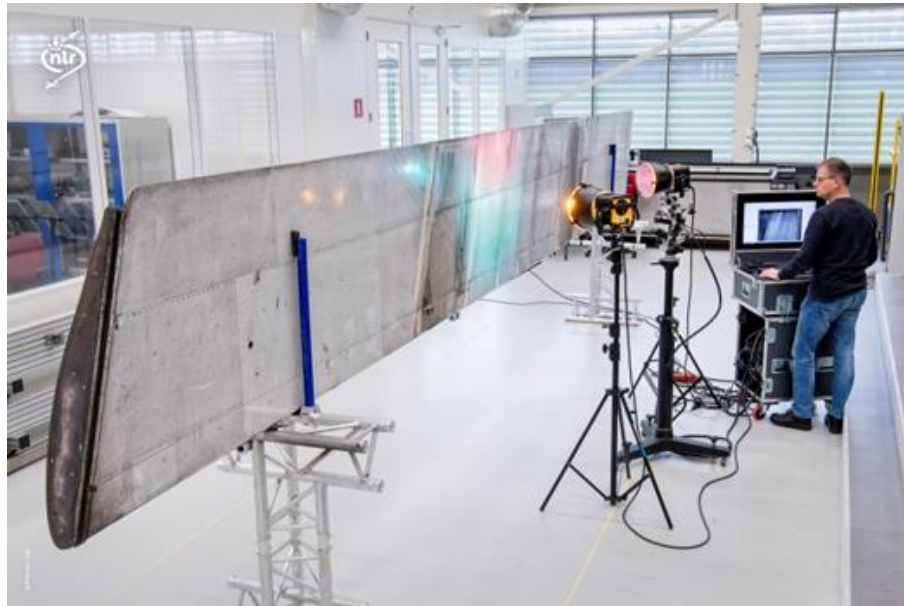


Fig. 10. Radiation source for radiographic testing [33]

2.5.1. Advantages of radiographic inspection

Radiographic testing is suitable for a wide range of materials, including metals, composites, and some non-metallic materials. This versatility allows it to be used on various aircraft components. Radiography can provide a full internal view of the test material, offering comprehensive coverage. Radiographic testing is highly sensitive to a wide range of defects, making it an effective method for detecting small or subtle irregularities within the material. Digital radiography systems offer real-time imaging, allowing for immediate examination of the results. This can expedite the inspection process and decision-making. Radiographic images provide quantitative data that can be used to measure the size and depth of defects, aiding in defect characterization and evaluation. Radiography is particularly effective for identifying defects hidden within the material, which might otherwise remain unnoticed and lead to catastrophic failures [34].

2.5.2. Disadvantages of radiographic inspection

Radiographic inspection, despite its many advantages, also has several disadvantages and limitations when used in aviation for non-destructive testing (NDT). These disadvantages should be taken into consideration. One of the most significant drawbacks of radiographic inspection is the exposure to ionizing radiation. This poses health and safety risks to personnel who operate the equipment. The use of ionizing radiation sources in aviation necessitates strict compliance with regulatory requirements. This includes proper certification, licensing, and adherence to radiation safety guidelines, which can be time-consuming and costly. Radiographic inspection equipment, especially high-quality and portable systems, can be expensive to acquire and maintain. This can be a barrier to smaller aviation maintenance facilities. The disposal of radioactive materials or radioactive waste generated during radiographic inspections must be managed carefully to minimize environmental impact. The quality of radiographic images can be influenced by factors such as radiation source, geometry, and material density. Factors like scattered radiation can reduce image quality and make interpretation challenging. Radiography may be sensitive to variations in temperature and humidity, which can affect the quality of the radiographic image.

While radiographic inspection is a valuable NDT method for aviation, these disadvantages underscore the need for careful planning, proper training, strict adherence to safety protocols, and the consideration of alternative NDT methods in situations where radiography may not be practical or safe [35].



3. Conclusion

In conclusion, non-destructive testing (NDT) methods are indispensable tools in the aviation industry, serving as the backbone of safety, reliability, and airworthiness. Throughout this article, we have explored several NDT methods commonly used in aviation, each offering its unique set of advantages and limitations. The advantages of these NDT methods include their non-destructive nature, high sensitivity, and the ability to detect defects at various depths, making them vital in ensuring the structural integrity of aircraft components. In the aviation industry, where safety is paramount, a combination of these NDT methods is often used in tandem to ensure the reliability and airworthiness of aircraft. This multi-pronged approach allows for thorough inspections, early defect detection, and informed decision-making during maintenance and repairs.

Authorship contribution statement for Contributor Roles Taxonomy

Özlem Ulus, *Writing - original draft, Investigation, Visualization*. **Furkan Eren Davarci**, *Investigation, Writing*. **Elif Eren Gültekin**, *Visualization and Formal Analysis*.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- [1] Çınar, Z.M., Nuhu, A.A., Zeeshan, Q., Korhan, O., Asmael, M. and Safaei, B. 2020. Machine learning in predictive maintenance towards sustainable smart manufacturing in industry 4.0. *Sustainability*, 12(19), 8211.
- [2] Dinis, D. and Barbosa-Póvoa, A.P. On the optimization of aircraft maintenance management, in: Póvoa, A., de Miranda, J., *Operations Research and Big Data*, 15, Springer International Publishing, Switzerland, 2015, 49-57.
- [3] Regattieri, A., Gamberi, M., Gamberini, R. and Manzini, R. 2005. Managing lumpy demand for aircraft spare parts. *Journal of Air Transport Management*, 11(6), 426-431.
- [4] Kryukov, I.I., Leont'ev, S.A., Platonov, V.S. and Rybnikov, A.I. 2008. Testing of discs of turbine rotors of gas compressors with the dye penetrant nondestructive testing technique. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 44(8), 542-547.
- [5] Florescent penetrant inspection (FPI). <https://www.norwoodmedical.com/capabilities/florescent-penetrant-inspection-fpi> (June 25, 2024).
- [6] Basic knowledge about dye penetrant testing. <https://www.karldeutsch.de/ndt-knowledge/basic-knowledge/basic-knowledge-about-penetration-or-dye-penetrant-testing/?lang=en> (June 15, 2024).
- [7] Adair, T.L. and Kindrew, M.G. 2000. Automated fluorescent penetrant inspection (FPI) system is triple A. 15th World Conference on Nondestructive Testing, 15-21 October, Rome, Italy.
- [8] Schmidt, R.A., Fracture-toughness testing of limestone: K_{Ic} of indiana limestone was measured using three-point-bend specimens, and toughness is seen to increase with crack length much like many aluminum alloys. *Experimental mechanics*, 1976. 16(5): p. 161-167.
- [9] Kryukov, I.I., Leont'ev, S.A., Platonov, V.S. and Rybnikov, A.I. 2006. The experience of application of dye penetrant nondestructive testing in diagnostics of gas turbines. *Gas Turbine Technologies*, 7, 10-12.
- [10] Swartz, S.E., Hu, K.K. and Jones, G.L. 1982. Techniques to monitor crack growth in plain concrete beams. *Experimental Techniques*, 6(6), 2-4.



- [11] Swartz, S.E. 1982. Stress-intensity factor for plain concrete in bending—Prenotched versus precracked beams. *Experimental Mechanics*, 22(11), 412-417.
- [12] QUALITEST: Quality testing & inspection services ltd. <https://qualitytestingtt.com/> (25.06.2024).
- [13] Velazco, G., Visalvanich, K. and Shah, S.P. 1980. Fracture behavior and analysis of fiber reinforced concrete beams. *Cement and Concrete Research*, 10(1), 41-51.
- [14] Wecharatana, M. and Shah, S.P. 1982. Slow crack growth in cement composites. *Journal of the Structural Division*, 108(6), 1400-1413.
- [15] Qiu, Z., Zhang, W., Yu, X., Guo, Y. and Jin, J. 2015. Monitoring yield failure of ferromagnetic materials with spontaneous abnormal magnetic signals. *Tehnički vjesnik*, 22(4), 953-958.
- [16] Zhong, L., Li, L. and Chen, X. 2012. Simulation of magnetic field abnormalities caused by stress concentrations. *IEEE Transactions on Magnetics*, 49(3), 1128-1134.
- [17] Li, Z., Dixon, S., Cawley, P., Jarvis, R. and Nagy, P.B. 2017. Study of metal magnetic memory (MMM) technique using permanently installed magnetic sensor arrays. *43rd Annual Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, 36, 110011-1–110011-8.
- [18] Aviation NDT inspections. <https://atslab.com/nondestructive-testing/aviation-ndt-inspections/> (October 11, 2020).
- [19] Guo, P.J., Chen, X.D., Guan, W.H. and Zhao, H.J. 2015. Correlation between magnetic memory signals and mechanical properties of 35CrMo tempered and quenched steel. *Applied Mechanics and Materials*, 750, 186-191.
- [20] Eddy current testing of aircraft. <https://www.ndt.com.ua/en/applications/aircraft-testing/eddy-current-testing-of-aircraft> (May 14, 2023).
- [21] Noorian, F. and Sadr, A. 2010. Computation of transient eddy currents in EMATs using discrete Picard Method. 18th Iranian Conference on Electrical Engineering, 11-13 May, Isfahan, Iran.
- [22] Overview of eddy current testing (ECT). <https://inspectioneering.com/tag/eddy+current> (May 14, 2023).
- [23] Staszewski, W.J. Structural health monitoring using guided ultrasonic waves, in: Holnicki-Szulc, J., Soares, C.M., *Advances in Smart Technologies in Structural Engineering*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2004, 117-162.
- [24] Janousek, L., Capova, K., Yusa, N. and Miya, K. 2008. Multiprobe inspection for enhancing sizing ability in eddy current nondestructive testing. *IEEE Transactions on Magnetics*, 44(6), 1618-1621.
- [25] Metcalfe, G. 1990. The use of electrical conductivity measurements in detecting heat and fire damage in aircraft structure. *IEE Colloquium on NDT Technology in Aerospace*, 15 January, London, UK, 2/1-2/4.
- [26] Rojek, M., Stabik, J. and Wróbel, G. 2005. Ultrasonic methods in diagnostics of epoxy–glass composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163, 121-126.
- [27] What are Advantages and Limitations of Ultrasonic Testing?
<https://www.europeanbusinessreview.com/what-are-advantages-and-limitations-of-ultrasonic-testing/> (May 14, 2023).
- [28] Martínez-Soto, F., Ávila, F., Puertas, E. and Gallego R. 2023. FFRC and SASW nondestructive evaluation of concrete strength from early ages. *Journal of Building Engineering*, 76, 107093.
- [29] Abbass, W. Aslam, F., Ahmed, M., Ahmed, A., Alyousef, R. and Mohamed, A. 2023. Predicting the performance of existing pre-cast concrete pipes using destructive and non-destructive testing techniques. *Heliyon*, 9(5), e15471.
- [30] Sari, M., Yilmaz, E., Kasap, T. and Karacasu, S. 2023. Exploring the link between ultrasonic and strength behavior of cementitious mine backfill by considering pore structure. *Construction and Building Materials*, 370, 130588.



-
- [31] Wong, B.S., Wang, X., Koh, C.M., Tui, C.G., Tan, C.S. and Xu, J. 2011. Crack detection using image processing techniques for radiographic inspection of aircraft wing spar. *Insight: Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 53(10), 552-556.
- [32] Allen, J.C.P. and Ng, C.T. 2023. Damage detection in composite laminates using nonlinear guided wave mixing. *Composite Structures*, 311, 116805.
- [33] Composite testing. <https://jaxalabs.com/composite-testing/> (26.06.2024).
- [34] Shelkovenko, T., Sinars, D.B., Pikuz, S.A., Chandler, K.M. and Hammer, D.A. 2001. Point-projection x-ray radiography using an X pinch as the radiation source. *Review of Scientific Instruments*, 72(1), 667-670.
- [35] Dey, A.K., Radiographic testing: Principles, procedures, standards, and advantages and disadvantages. <https://whatispiping.com/radiographic-testing/> (25.06.2024).

İnceleme Makalesi / Review Article

Elektromanyetik girişim koruması için termoplastik poliüretan kompozitler / Thermoplastic polyurethane composites for electromagnetic interference shielding

Ümmühan Kaya¹, Hülya Kaftelen Odabaşı^{2*}

¹ Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilim ve Teknolojileri, Elazığ, Türkiye

² Fırat Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Bakım Onarım Bölümü, Elazığ, Türkiye

Received
May 7, 2024

Revised
June 3, 2024

Accepted
June 11, 2024

ÖZET

Gelişen teknoloji ile birlikte elektronik cihazlara olan ilginin olumsuz bir etkisi elektromanyetik kirlilik olmuştur. Bu yüzden elektromanyetik girişim (EMI) kalkanlama malzemeleri önemli hale gelmiştir. Yüksek yoğunluklu ve düşük korozyon direncine sahip metaller çoğunlukla iletkenlik özellikleri nedeni ile tercih edilse de bu dezavantajlarından dolayı, hafif, yüksek mukavemet ve yüksek korozyon direncine sahip polimerler kompozitlere ilgi artmıştır. Termoplastik kompozitler hafif, kolay işlenebilir ve geri dönüştürülebilir olmaları nedeni ile geniş bir uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Elektromanyetik girişim kalkanlama prensibine dayalı olarak, birçok karmaşık faktör, iletken polimer kompozitler için istenen kalkanlama verimini elde etmede etkili bir role sahip olduğu görülmüştür. Bunlar, iletken polimer kompozitlerin iletkenlik özelliklerini büyük ölçüde etkileyen nanopartiküllerin türü, morfolojisi, miktarı ve dağılımını içerir. Yüzey iletken tabakası veya yüksek içerikli metal dolgulu ürünler, esas olarak yansıma yoluyla iyi elektromanyetik girişim koruması sağlar, ancak genellikle yüksek yansımaya yol açarak güçlü ikincil elektromanyetik radyasyona neden olabilirler. Dolayısı ile yansıma tabanlı EMI koruma, yalnızca kalkanlama malzemesiyle girişimi önleyebilir, ancak kayıp elektromanyetik dalgaları etkili bir şekilde kontrol edemez ve ortadan kaldıramaz. Bu nedenle, ikincil elektromanyetik dalga kirliliğini ortadan kaldırmak manyetik nanopartiküller ile karbon esaslı (karbon fiber gibi) hibrit malzemelerinin iletken polimer kompozitlerin absorpsiyon özelliğini desteklemek için ilave edilmesi ile sağlanabilir. Burada, manyetik nanoparçacıklar manyetik kayıp sağlarken karbon nano dolgu maddeleri, soğurma yoluyla elektromanyetik dalgaları daha etkili bir şekilde dağıtabilen dielektrik kaybına katkıda bulunur. Kalkanlama verimini etkileyen bir diğer önemli faktör ise, polimer kompozitlerin yapısal özelliklerinin (yığın veya 3 boyutlu gözenekli yapıya sahip olması) etkisidir.

Poliüretan termoplastikler, esnek, hafif, ekonomik olmaları ve üç boyutta gözenek yapılı şekilde üretilibilmeleri nedeniyle EMI koruması açısından önemlidir. Grafen, karbon siyahı, karbon fiber gibi karbon esaslı malzemelerin polimer matrisine ilave edilmesi ile mekanik, elektriksel iletkenlik ve termal özelliklerinde iyileşme sağlanır. Bu nedenle, karbon esaslı malzemeler, elektronik cihazlarda elektromanyetik girişimi engellemek için potansiyel olarak etkili bir seçenek olarak kabul edilebilir.

ABSTRACT

Electromagnetic pollution has been a negative effect of the interest in electronic devices with advancing technology. Therefore, electromagnetic interference (EMI) shielding materials have become important. Although metals are mostly preferred due to their conductive properties, due

Anahtar Kelimeler

Elektromanyetik girişim kalkanlama

Karbon esaslı dolgu malzemeleri

Termoplastik poliüretan kompozitler

Keywords

Carbon based filler materials

Electromagnetic interference shielding

Thermoplastic polyurethane

Production and hosting by [Turkish DergiPark](https://dergipark.org.tr/en/pub/ijaa). This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).





to their disadvantages such as high density and low corrosion resistance, interest in lightweight, high strength and high corrosion resistance polymers composites has increased. Thermoplastic composites are used in a wide range of applications due to their light weight, easy processing and recyclability.

Based on the principle of electromagnetic interference shielding, many complex factors have been found to have an influential role in achieving the desired shielding efficiency for conductive polymer composites. These include the type, morphology, amount and dispersion of nanoparticles, which greatly affect the conductive properties of conductive polymer composites. Surface conductive layer or high-content metal-filled products provide good electromagnetic interference shielding, mainly through reflection, but they can often lead to high reflection, resulting in strong secondary electromagnetic radiation. Thus, reflection-based EMI shielding can only prevent interference by shielding material, but cannot effectively control and eliminate lost electromagnetic waves. Therefore, eliminating secondary electromagnetic wave pollution can be achieved by adding magnetic nanoparticles and carbon-based (such as carbon fiber) hybrid materials to support the absorption property of conductive polymer composites. Here, magnetic nanoparticles provide magnetic loss while carbon nanofillers contribute to dielectric loss, which can more effectively dissipate electromagnetic waves through absorption. Another important factor affecting the shielding efficiency is the influence of the structural properties of the polymer composites (bulk or 3D porous structure).

Polyurethane thermoplastics are important in terms of EMI shielding because they are flexible, lightweight, economical and can be produced with pore structures in three dimensions. By adding carbon-based materials such as graphene, carbon black, carbon fibre to the polymer matrix, mechanical, electrical conductivity, and thermal properties are improved. Therefore, carbon-based materials can be considered as a potentially effective option for blocking electromagnetic interference in electronic devices.

* Corresponding author, e-mail: hkodabasi@firat.edu.tr

1. Giriş

Radyo, televizyon, telefon, Wi-Fi ağı, baz istasyonları, uydu iletişimi, radar sistemi vb. doğal ve yapay kaynaklardan kaynaklanan elektromanyetik dalgalar [1] elektrik-elektronik cihazların yanı sıra insan sağlığını da olumsuz etkilemektedir. Havacılık sektöründe kullanılan kritik öneme sahip aviyonik sistemler elektromanyetik alanlardan etkilenebilir ve bunun sonucunda performanslarında azalma ve/veya bozulma görülebilir [2, 3]. Elektronik cihazları etkileyen bu bozulmaya Elektromanyetik Girişim (EMI) adı verilir [4].

Elektronik cihaz kullanımının kontrol edilemeyen artışının sistemleri etkilemesi nedeniyle EMI'nin azaltılması veya engellenmesi için kalkanlama malzemesine olan ihtiyacı beraberinde getirmiştir. Bu nedenle, istenmeyen emisyonları engelleyen ve bileşeni başıboş sinyallerden koruyan elektromanyetik girişim (EMI) koruyucu malzemeler üretmek için büyük çabalar [5-8] sarf edilmiştir. Metal esaslı malzemeler, yüksek iletkenlik özellikleri nedeni ile EMI kalkanlama malzemesi olarak tercih edilmektedir. Ancak korozyona oldukça eğilimli olmaları, yoğunluklarının fazla olması ve kullanım maliyetinin yüksek olması, iletken ve hafif malzeme olan polimerlere ilgiyi arttırmıştır [2, 9]. Hafif olan polimerlere iletken özellik kazandırarak EMI kalkanlama malzemesi olarak kullanımı sağlanmıştır [9].

Termoplastik kompozitler hafif, kolay işlenebilir ve geri dönüştürülebilir olmaları nedeni ile geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Karbon fiber, karbon siyahı, karbon nanotüp, grafen gibi karbon esaslı malzemeler termoplastik kompozitler için iletken dolgu malzemeleri olarak tercih edilmektedirler [8, 10]. EMI kalkanlama malzemesi için, iletken olmaları, yüksek mukavemet ve korozyon dayanımlarının iyi olması gibi özelliklerinden dolayı karbon esaslı polimer kompozitlerin tercih edilmesinin başlıca sebepleridir. Ayrıca yüksek en boy oranı ve hafiflik özellikleri metal dolgu malzemelerine göre başlıca avantajlarındandır. Çok katmanlı, ayrıştırılmış ve köpük (3D) yapılar gibi elektromanyetik koruyucu malzemelerin tasarımı da EMI koruma performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir [11]. İletken dolgu maddelerinin dağılımının kontrol edebilmesi ve iletken yol oluşumu için çoklu arayüzlere sahip polimer kompozitler düşük miktarda dolgu maddesi ile yüksek elektrik iletkenlik elde

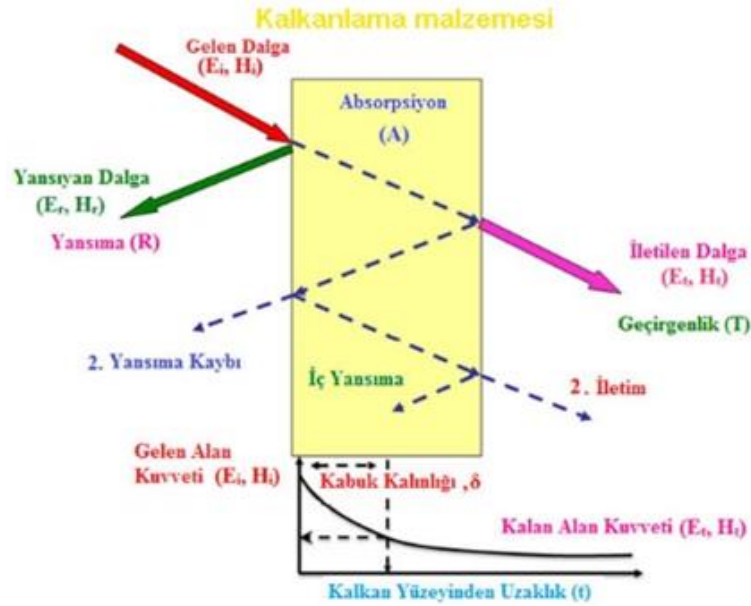


edilmesine olanak sağlarlar [5, 12]. Ayrıca, çoklu yansıma arayüzleri elektromanyetik dalgalar için polarizasyon kaybına ve soğurma kaybına neden olur. Örneğin, çok katmanlı ve birbirine bağlı üç boyutlu bir grafen-karbon nanotüp-demir oksit 3D heteroyapısı, 130 dB'nin üzerinde geniş bant yüksek performanslı EMI SE'ye katkıda bulunmuştur [13].

Günümüzde polimer kompozitlerin kalkanlama özelliklerini tasarım ve kalınlık özelliklerini dikkate alarak artırmaya çalışan Alpine Advanced Materials (Texas, ABD), Tri-Mack Plastics Manufacturing Corp. (Bristol) gibi birçok araştırma grubu ve firma özellikle termoplastik esaslı malzemeler üzerinde çalışmaktadır. Bu nedenle medikal, askeri ve havacılık gibi kritik alanlarda kullanım için endüstriyel potansiyele sahip olan termoplastik esaslı elektromanyetik kalkanlama alanında yapılacak bilimsel ve teknolojik araştırmalar önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, EMI mekanizması ile birlikte EMI kalkanlama malzemeleri olarak karbon esaslı dolgu malzemeleri içeren termoplastik poliüretan matrisli polimer kompozitlerin tasarım ilkeleri, üretim yöntemleri ve önemi araştırılmıştır. Ayrıca EMI kalkanlama malzemeleri için önemli parametreler, avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır.

2. EMI Kalkanlama Mekanizması

EMI ve elektromanyetik kirlilik sorunu için radyasyondan koruma amaçlı uygun malzeme ve mekanizmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Radyasyonu iletken veya manyetik kaplamalar veya ilavelerle engellenerek elektromanyetik girişimi kontrol etmeye EMI kalkanlama (Şekil 1) adı verilir [14]. EMI kalkanlama kısaca, radyasyonun kalkan içine geçmesine karşı koruma görevi gören bir malzeme ile elektromanyetik radyasyonun emilmesi ve yansıtılması olarak tanımlanabilir [15, 16].



E: Elektrik alan yoğunluğu H: Manyetik alan yoğunluğu

Şekil 1. Elektromanyetik dalgaların yayılımı ve kalkanlama mekanizması [14]

Kalkanlama etkisi ile manyetik veya elektrik alan şiddetindeki azalma ölçülerek tespit edilebilir. Bu azalma EMI kalkanlama verimliliği (SE) olarak tanımlanır ve birimi desibel (dB)'dir. Şekil 1' de gösterildiği gibi Schelkunoff teorisine göre elektromanyetik girişim koruması toplam verimi (EMI SE_T), elektromanyetik dalgaların koruyucu malzemeler tarafından zayıflatılması için yansıma (SE_R), soğurma (SE_A) ve çoklu yansımalar (SE_M) dahil olmak üzere üç koruma mekanizmasının toplamı olarak tanımlanmaktadır ve aşağıdaki formüller ile ifade edilmektedir [2,14].



$$SE_T = SE_R + SE_A + SE_M \quad (1)$$

$$SE_R = 168,2 + 10 \log \frac{\sigma_r}{f \mu_r} \quad (2)$$

$$SE_A = 131,43t\sqrt{f}\sigma_r\mu_r \quad (3)$$

$$SE_M = 10 \log[1 - 2x10^{-0,1SE_A} \cos(0,23SE_A) + 10^{-0,2SE_A}] \quad (4)$$

Burada f , elektromanyetik dalganın frekansdır, t , koruyucu malzemenin kalınlığı, σ_r ve μ_r sırasıyla koruyucu malzemenin bakıra göre iletkenliği ve bağıl geçirgenliğidir. Kalkanlama yüzeyi ile dalga yayılımı arasındaki empedans uyumsuzluğu yansıma kaybı (SE_R) olarak adlandırılır [17]. Yaklaşık olarak 1 ohm/cm hacim öz direnci yansıma için gereklidir. En etkili EM yansıtan malzemeler serbest elektronlara sahip metallerdir. Yansıma SE_R kaybı denklem 2 ile ifade edilebilir [18]. Eşitlik 2'ye bakıldığında yansıma kaybının frekans, μ_r ve σ_r oranına bağlı olduğu anlaşılmaktadır. μ_r ve σ_r sabit iken frekans arttırıldığında SE_R 'nin azaldığı sonucuna varılabilir [19]. Yüksek iletkenlik özelliği gösterdikleri için bakır, altın ve alüminyum gibi metaller yansıma için etkili malzemelerdir [20]. Absorpsiyon kaybı SE_A , yüksek empedans uyumuna ve nispeten daha büyük yüzey derinliğine sahip malzemelerde meydana gelir. Gelen EM dalgaları kalkanlama malzemesine nüfuz eder [18]. SE_A Eşitlik 3' deki gibi ifade edilebilir ve Eşitlik 3'e bakıldığında, frekans arttıkça absorpsiyon kaybı artmaktadır. Eşitlik 2 ve 3'den SE_R ve SE_A 'nın iletkenlik ve geçirgenliğe bağımlılığı, daha yüksek iletkenliğe ve manyetik geçirgenliğe sahip malzemenin daha iyi soğurma özellikleri elde edebileceğini ortaya koymaktadır. Ancak, yüksek iletkenlik ekranlama için tek kriter değildir. Daha ziyade, kompozit malzemelerde iyi bir iletken bağlantıya sahip olmak daha önemlidir. Kompozit malzemelerde iletim yolu veya perkolasyon (süzülme) oluşması (örneğin karbon nanotüplerin mikroyapıda birbirleri ile ya da karbon nanotüpleri karbon fiber gibi başka bir iletken malzeme ile bağlantılı olması) iyi iletkenlik için önemlidir. Şekil 1' de gösterildiği gibi, eğer kalkanlama malzemesi ince ise ikinci sınırdan gelen yansıyan dalga birinci sınırdan tekrar yansır. Dalga tekrar tekrar yansıtılarak ikinci sınıra döner ve buna çoklu yansıma denir [17]. Diğer bir deyişle kalkanlama malzemesi içindeki arayüzler arasındaki EM dalgalarının yansımaları olarak meydana gelen çoklu yansımalar. Yüksek yüzey alanı ve arayüzler sebebiyle köpükler, aerojeller ve dolgulu kompozitler SE_M gösteren malzemelere örnek verilebilirler. Eğer malzemede çoklu yansımalar meydana gelir ise dalgaların yoğunluğunda azalma meydana gelir. SE_M eşitlik 4 ile ifade edilebilir [8, 18]. SE_M , kalkanlama malzeme kalınlığının penetrasyon derinliğine oranının sonucudur. Arayüzler arasındaki mesafe penetrasyon derinliğine göre büyük ise SE_M ihmal edilebilir. Yüksek absorpsiyon kaybı sebebiyle kalın bir malzemenin SE_M 'i ihmal edilebilirken ince bir malzemenin SE_M 'i ihmal edilemez. $SE_A \geq 10$ dB ise SE_M düşüktür ve ihmal edilebilir [18]

3. EMI Kalkanlaması İçin Kullanılan Polimer Malzemeler

Polimer kompozit malzemeler hafif olmaları, yüksek mukavemet ve dayanıklılık, kolay işlenebilirlik gibi özelliklerinden dolayı ulaşım, havacılık, otomotiv ve savunma gibi birçok alanda yer edinmişlerdir [21]. İletken dolgu maddesi içeren polimer matrisli kompozitler (PMC) kolay işlenebilir olmaları nedeni ile EMI kalkanlama mekanizması için oldukça uygundur. PMC'ler düşük yoğunlukları sayesinde kalkanlama malzemesi olarak kullanılması için oldukça umut vericidirler. İşlenebilirliklerinin kolay olmasına rağmen seçilen polimer matris tipi bu özelliği yüksek oranda etkiler. Çeşitli metaller veya metal esaslı dolgu maddeleri eklenerek polivinil alkol (PVA), poliviniliden florür (PVDF), polilaktik asit (PLA), poliüretan (PU), polietilen (PE), polikarbonat (PC), poliamid (PA) vb. gibi iletken olmayan polimerler, iletken hale getirilebilir [22].

EMI kalkanlama malzemesi olarak kauçuk, elastomer, köpük, aerjel, termoset ve termoplastik polimer kompozitler çeşitli uygulamalar için geliştirilmiştir [23, 24]. Termoplastik kompozitler, hafif, üretim kolaylığı, mükemmel esneklik, termal kararlılık ve geri dönüştürülebilir özelliğe sahip olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Ayrıca Ni, Cu, Fe gibi metal fiberlerden karbon fiber (CF), karbon siyahı (CB), karbon nanotüp



(CNT), grafen karbon esaslı iletken dolgu malzemelerine kadar geniş bir dolgu malzemesi skalasına sahiptir [7, 8, 18 25]. Metal dolgu maddelerinin, yüksek EMI SE' ye sahip olmalarına rağmen oksidasyon sorunu ticari kullanımlarını etkileyip sınırlayan en büyük dezavantajdır. Karbon esaslı malzemeler, hafiflik, dielektrik, yüksek en-boy oranı, korozyona direnç gibi EMI kalkanlama malzemesi için aranan ideal özellikleri taşımaktadır [26].

4. Termoplastik Poliüretan Esaslı EMI Kalkanlama Kompozitleri

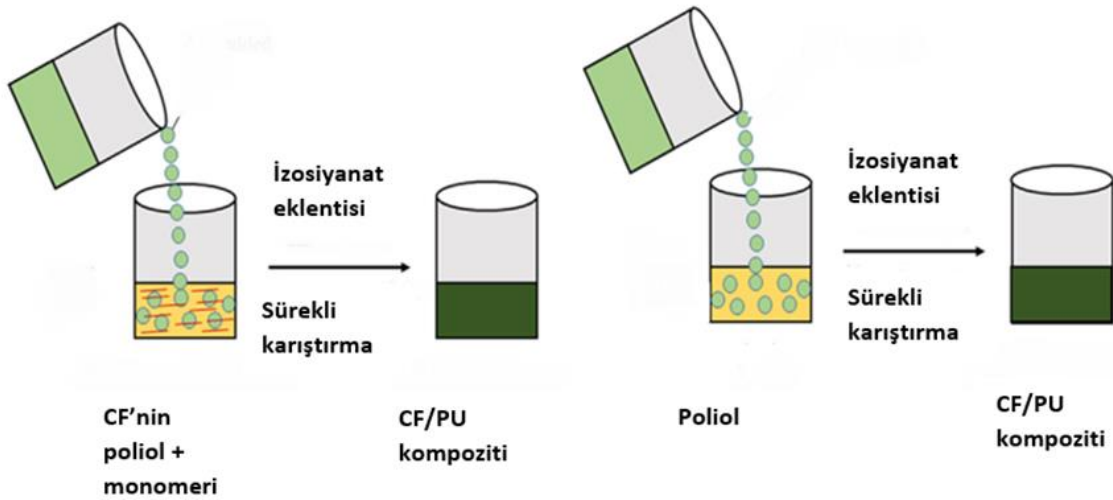
Termoplastik poliüretan esaslı kompozitlerin sentezi ve karbon esaslı (grafen, karbon fiber, karbon nanotüp, karbon siyahı vb.) dolgu malzemeleri ile güçlendirilmiş kompozitlerin EMI kalkanlama özelliklerine etkileri aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

4.1 TPU esaslı kompozitlerin üretim teknikleri

TPU/karbon esaslı kompozitler, uygulama alanları açısından büyük ilgi görmektedir. Bu kompozitlerin hazırlanması için en yaygın kullanılan sentez yöntemleri arasında yerinde polimerizasyon, katı hal sentezi, çözelti harmanlama, eriyik harmanlama ve sol-jel polimerizasyon yöntemi bulunmaktadır [27].

4.1.1 Yerinde (In-Situ) polimerizasyon yöntemi

Yerinde polimerizasyonun yöntemi (Şekil 2) [28], iletken dolgu maddesi ve monomerlerin karışımları yerinde olarak polimerizasyon gerçekleşmesi esasına dayanır. İlk olarak dolgu maddesi monomer çözeltisi içerisine karıştırılır ve ardından başlatıcı eklenerek polimerizasyon başlar. Bu yöntem ile dolgu maddesinin polimer matrisin içerisinde homojen dağılımı sağlanabilir [29]. Bu yöntem, karbon bazlı dolgular için polimer matrisli kompozitler verimli bir teknik olarak bilinmektedir [30].



Şekil 2. Yerinde polimerizasyonun yönteminin şematik gösterimi [28]

4.1.2 Katı hal sentez yöntemi

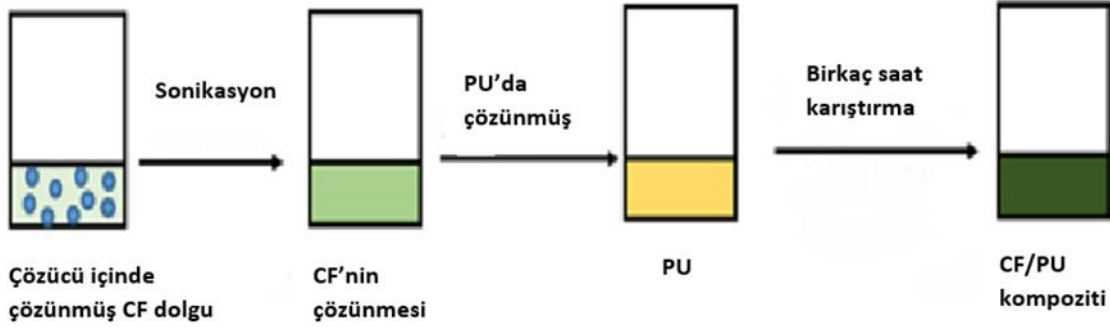
Katı hal sentez yönteminde bilyeli öğütme işlemi ile birlikte çelik V- tip bir karıştırıcı(twin shell mixer) kullanılarak polimer kompozitler üretilebilir [31]. Yöntemde polimerler ve dolgu malzemeleri, ağırlık ve hacim oranlarına göre eklenir ve polimer kompozitler üretilir. Katı hal sentez yöntemi kompozitlerin yönlendirilebilir ağırlık ve dağılımına sahip kompozit malzemeler üretmek için etkili bir yöntemdir [32].

4.1.3 Çözelti harmanlama yöntemi

Çözeltide harmanlama yöntemi (Şekil 3), iletken dolgu maddesinin ultrasonikasyon işlemi ile uygun çözücünde düzgün dağılması ile gerçekleşir [33]. İlk olarak polimer DMF, THF, aseton gibi uygun bir çözücü de çözülür.



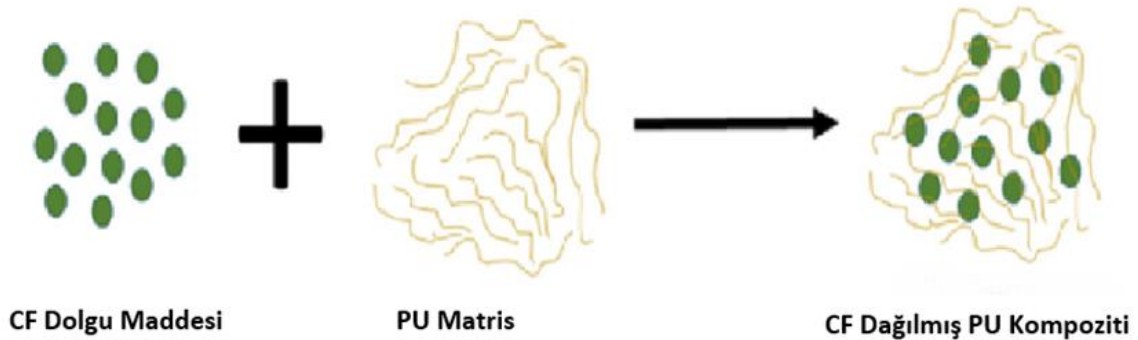
Daha sonra partikül dolgu malzemesi polimer çözeltisine eklenerek karıştırılır. En son çözücü çökeltme veya damıtma yoluyla ayrıştırılıp ürün elde edilir. Bu yöntemin amacı, partiküllerin çözücü ile etkileşiminin sonucu partiküller arasındaki Van der Waals kuvvetlerini zayıflatarak polimer zincirlerinin partiküller arasındaki difüzyonunu kolaylaştırmaktır. Bu yöntemin avantajı, düşük viskoziteli, homojen dağılmış vb. ürünler elde etmektir. Dezavantajı ise ticari olarak tercih edilmemesinin başlıca sebebi olan, çok fazla çözücü miktarına ihtiyaç duyulması ve dolayısıyla maliyetlerin artışıdır [34]. Partikül dağılımını ve özelliklerini etkileyen parametreler, karıştırma koşulları, çözelti viskozitesi, polimer-çözücü-partikül etkileşimidir [35].



Şekil 3. Çözelti harmanlama yönteminin şematik gösterimi [28]

4.1.4 Eriyik harmanlama yöntemi

Eriyik harmanlama, yerinde (in-situ) ve çözeltide harmanlama yöntemlerine göre basit ve seri üretime olanak sağlayan, maliyet olarak düşük olan bir yöntemdir. Şekil 4'de gösterilen yöntem, kesme kuvveti kullanarak viskoz sıvı elde etmek için polimerlerin ergitilmesi ve daha sonra dolgu maddelerinin içine eklenmesi ile gerçekleşir. Bu yüzden herhangi bir çözücüye ihtiyaç duyulmaz ve çevre dostu bir yöntemdir. Yöntemin kolaylığı ve çok yönlülüğü ticari olarak polimerlerin işlenmesinde ön plandadır. Ana dezavantajı, grafenin düşük dağılıma yeteneğinden dolayı grafen esaslı polimer kompozit üretimde çok tercih edilmeyen bir yöntem haline getirmektedir [29].



Şekil 4. Eriyik harmanlama yöntemiyle CF/PU kompozitinin üretimi [28]

4.1.5 Sol-Jel polimerizasyon yöntemi

Hammaddelerden katı kompozit malzemeler üretmek için sol-jel polimerizasyon yöntemi kullanılır. Bu teknikte hammadde hidroliz yöntemi ile birlikte uygun bir çözücü içerisinde çözündürülür. Polimer başlangıçta oligomerler olarak ve daha sonrada polimerleşerek agregatlara dönüşerek çözünürler. Uygun bir sıvı içerisinde çözünerek sol oluşturulmuştur. Bu yöntemde, agregatlar ve monomerler, polimer çözeltisi değişkenliğini kaybettiğinde sürekli bir ağ oluşturur ve bu durum jeli oluşturur. Polimerizasyon süreci, sol içinde jel geçişi ile birlikte oluşturulur. Daha sonra da polimer moleküllerini oluşturur [31,35].



5. Karbon Türevleri İçeren TPU Kompozitler

Epoksi, poliakrilat, alkid, poliüretan (TPU) vb. farklı yalıtkan polimer matrisler arasında, TPU yüksek uzama, darbe dayanımı, iyi aşınma direnci, hava koşullarına dayanıklılık, yüksek korozyon direnci ve iyi elastisite modülü özellikleri nedeniyle son yıllarda EMI kalkanlama uygulamaları için önemli bir araştırma ilgisi kazanmıştır [36, 37]. Karbon siyahı, grafit, indirgenmiş grafit oksit gibi karbon dolgu malzemeleri, polimer kompozitlerde EMI koruması için Ni, Cu, paslanmaz çelik gibi metalik liflere alternatif malzemelerdir. Karbon fiberler CF'ler, yüksek özgül gerilme mukavemeti, modül ve aşınma direnci gibi özelliklerinden dolayı polimer kompozit malzemelerinin özelliklerini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, karbon fiber (CF) dolgu maddesi ile TPU'lar arasındaki işlenebilirlik, çözünübilirlik, stabilite, termal, mekanik ve elektriksel özelliklerinin iyileştirildiği gözlemlenmiştir [38]. Metalik dolgular ile karşılaştırıldığında, polimer içinde dağılmış CF'ler mekanik ve elektriksel özellik olarak iyi bir denge sağlar [39]. Li ve ark. [40] tarafından yapılan bir çalışmada, bu tür kompozitlerin paslanmaz çelik fiberlere kıyasla CF'lerin daha iyi mukavemet ve sertlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Düşük yansımaya ve yüksek kalkanlama verimliliği, CF'lerin polimer matris içerisinde yönelim [41] ve fiberlerin EM dalgası ile aynı yönde yönelmelerine bağlıdır. Duan ve ark. [42] karbon fiber kumaşların oryantasyonları, tabakaların sayısı ve kalınlık etkisinin TPU/CF kompozitlerin elektromanyetik kalkanlama performansına etkilerini incelediği çalışmada, 3 katman karbon fiber ve 45° CF oryantasyonuna sahip kompozitlerin X-band aralığında 73 dB ile maksimum değere ulaştığını rapor etmişlerdir. Elektromanyetik girişim korumasındaki diğer bir faktör, iletken dolgu malzemelerinin yalıtkan bir matris ile iyi arayüzey oluşturarak homojen dağılımının dolayısıyla kompozitteki elektriksel iletimin sürekliliğinin sağlanmasıdır. Yi ve ark. [43] polieter-pirinin ile yüzey aktive edilmiş kırılmış karbon fiber içeren TPU esaslı kompozitlerin, π - π etkileşimlerinden dolayı TPU matris içerisinde daha iyi dağılım gösterdiklerini dolayısıyla yüzey aktive edilmemiş CF içeren kompozitlere göre %22 daha iyi elektriksel iletkenlik değeri elde edilmiştir. Ayrıca polieter-pirinin ile yüzey aktive edilmiş CF içeren kompozitlerin daha iyi EMI performansına (maksimum ~ 30 dB- ağırlıkça %20 CF içeren kompozitlerde) sahip olduklarını da rapor etmişlerdir.

CNT'ler yeni polimer nanokompozitler oluşturmak için ideal nano dolgu maddelerinden biri olarak kabul edilebilir çünkü CNT'lerin uzunluğu, yüksek en-boy oranları (300-1000), yüksek iletkenlik ve mekanik özellik, düşük yoğunluk ve kolay işlenebilirlik nedenleri ile EMI kalkanlama mekanizması için ideal malzemelerdir [44, 45]. Shin ve ark. [46] CNT bazlı termoplastik poliüretan (TPU) kompozitler, çözücü kaynaklı olmayan faz ayrımı (NIPS) stratejisi ile kolay bir çözelti karıştırma yoluyla farklı uzunluktaki (10–20 μ m ve 200 μ m) farklı uzunluklara sahip CNT'lerin TPU nanokompozitlerin EMI kalkanı, elektrik ve termal iletkenlik performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. CNT'lerin dahil edilmesi ile TPU matrisi içinde kompozitlerin içindeki elektron veya yük aktarılabilirliğini daha fazla artıran, mekanik özelliklerde, EMI korumasında ve elektriksel özelliklerde iyileşme sağlayan benzersiz birbirine bağlı iletken ağların oluşturulmuştur. Ağırlıkça %10 CNT (200 μ m) içeren kompozit 42.5 dB'lik dikkate değer bir EMI kalkanlama verimliliği ve 1.9×10^{-3} S/cm'lik elektrik iletkenliği gösterirken ağırlıkça %10, 10–20 μ m boyutunda CNT içeren TPU kompozitler ise 17.5 dB kalkanlama verimliliği (SE) elde edilmiştir. Sobha ve ark.[47] yerinde polimerizasyon yöntemi ile anilin ile fonksiyonelleştirilmiş ağırlıkça farklı oranlarda (% 0.25-8) MWCNT/TPU kompozitlerde %8 MWCNT ağırlık konsantrasyonu için 19.65 dB değerine ulaştığını rapor etmişlerdir. Aynı kompozitlere PANI iletken polimer ilavesi ile çok bileşenli PANI/FMWCNT/TPU kompozitlerinde ise %8 MWCNT ağırlık konsantrasyonu için EMI kalkanlama değeri yaklaşık 31 dB değerine ulaşmıştır. PANI ilavesi aynı zamanda düşük perkolasyon (ağırlıkça %0.58) eşiği ile yüksek iletkenlik eldesi sağlamıştır.

Çok katmanlı, ayrıştırılmış (segrege) ve köpük (3D) yapılar gibi elektromanyetik koruyucu malzemelerin tasarımı da EMI koruma performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Araştırmacılar [48-50] dolgu maddesi dağılımını makul bir şekilde düzenlemek, dolgu maddeleri arasındaki etkili iletken yolu sağlanmak ve dolgu oranını ayarlayabilmek için polimer kompozitlerin tasarımında, ayrık (segrege) yapı, gözenekli yapı ve katmanlı (sandviç)



yapı gibi farklı yapısal tasarım stratejilerine odaklanmıştır. Dolgu maddelerinin serbestçe üst üste gelmesi ile iletken ağın oluşumu gerçekleşir. Bu sebeple yalıtkan malzemenin iletken hale dönüşmesi için yüksek dolgu içeriğine sahip olması gerekmektedir. Ancak bu da homojen malzemelerin perkolasyon değerinin yüksek olmasına neden olur. Ayrık (segrege) yapılar polimer kompozitlerde perkolasyon değerinin azaltılmasına yardımcı olur [51, 52]. İletken dolgu maddeleri ile kaplanan polimer partiküller ayrık bir yapı oluşturmak için bir araya getirilir. Bu yapılar, iletken dolgu maddeleri difüzyonunu geciktirerek matris arayüzleri arasında seçimli olarak dağıtılabilir. Böylelikle iletken ağın oluşumunun verimi daha fazla artırılabilir [53, 54].

Wang ve ark.[48] aynı dolgu içeriğine sahip homojen yapısal TPU/MWCNT kompozit köpüklerden daha yüksek EMI koruma performansı elde etmek için dolgu maddesinin seçici dağılımı ile birlikte her katmanın TPU matriste bulunan yumuşak alan sert alan bileşen oranını ayarlayarak çok katmanlı gradyan yapısına sahip EMI koruyucu TPU/MWCNTs kompozit köpükler tasarlamışlardır. Bu çalışma hem segrege hem de 3-boyutlu polimer kompozitlerin EMI özelliklerinin araştırılmasına iyi bir örnektir. Çok katmanlı gradyan yapısına sahip TPU/MWCNTs kompozitlerinin ortalama EMI SE'si, homojen kompozitlere kıyasla %20 artarak 45.5 dB'ye kadar çıkmıştır ve köpük işleminden sonra gradyan yapıya sahip köpüklerin ortalama EMI SE'si homojen köpüklerinkinden daha yüksek bir değer olan maksimum ortalama EMI SE 35.4 dB olarak bulunmuştur.

Polimer 3-boyutlu termoplastik köpüklerin üretiminde genellikle yığın köpükleme (batch foaming), köpük ekstrüzyon, köpük enjeksiyon kalıplama ve süperkritik karbondioksit (ScCO₂) teknikleri gibi bazı farklı gözenek oluşturma teknikleri ile uygulanan hücre yapısının, EMI kalkanlamayı iyileştirme yollarından biri olduğu düşünülmektedir [55-57]. Gözenekli polimer kompozitler düşük yoğunluk ve yüksek EMI absorpsiyon özelliklerine sahiptirler [58, 59]. Polimer kompozitlerin mikrohüresel yapısı nedeni ile EM dalgaların çoklu yansımaları ve saçılımı artabilir. Bu da EM dalgaların olduğundan daha fazla yayılmasına neden olur [60]. Bu sebeple gözenekli polimer kompozitlerin içyapısı ile EMI özellikleri arasındaki ilişki, yüksek verimli EMI kalkanlama malzemelerin üretimi için önemlidir. Araştırmacılar, farklı dolgu içeriğine sahip köpüklerin, köpüklenme derecesi arttıkça EMI SE ve elektrik iletkenliğinin farklı sonuçlar gösterdiğini bulmuşlardır [61]. Köpüklü kompozitler için, gözenekli yapının porozite, gözenek çapı, kalınlık ve gözenek dağılımı başlıca parametreleri arasında yer alır [61].

CNT, karbon fiber ve karbon siyahı gibi diğer karbon türevi dolgu malzemeleri ile karşılaştırıldığında olağanüstü özelliklere sahip çok yönlü bir 2D karbon nanomalzemesi olan grafen, TPU bazlı polimer çok yüzeyli kompozitlerin etkili bir dolgu bileşeni olarak çok sayıda çalışmada kullanılmıştır [62-65]. Fu ve ark. [66] yapmış olduğu çalışmada, 3-boyutlu gözenekli yapıya sahip TPU/grafen nanotabakalar melamin köpük kompozitleri, 45.2 S/m'lik yüksek bir elektrik iletkenliği ve X-bandında 35,6 dB'lik etkili EMI SE sergilemektedir. Jiang ve ark. [65] 3-boyutlu ağa sahip TPU/grafen aerjel kompozitleri öncelikle vakum emprenye yoluyla şablon kullanarak elde ettikten sonra kritik karbondioksit kullanarak hüresel yapıda elde etmişlerdir. TPU/grafen aerjel kompozit köpüklerde birbirine bağlı grafen ağları kompozitlerin elektriksel iletkenliğini ağırlıkça %2 grafen aerjel içeriğinde 50 S/m'ye ve EMI kalkanlama değeri 34,3 dB değerine ulaşmasını sağlamıştır. Bansala ve ark. [67] solvent döküm yöntemi kullanarak kimyasal indirgenme ve termal indirgenme ile hazırlanmış iki farklı grafen ilaveli TPU kompozitleri hazırlamışlardır. Termal indirgenmiş grafen (TRG) bazlı TPU nanokompozitlerin ağırlıkça %10 grafen yüklemesi kompozitlerin elektrik iletkenliğini önemli ölçüde artırmış ve sonuç olarak 12-18 GHz frekans aralığında ağırlıkça %10 grafen yüklemesiyle 29.8 dB EMI SE elde etmişlerdir. TRG katkılı TPU nanokompozitlerin kimyasal indirgenmiş grafen (CRG) katkılı nanokompozitlerden daha iyi EMI SE gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Etkili bir EMI koruyucu malzeme TPU/TRG ve TPU/CRG nanokompozitleri için sırasıyla ağırlıkça %10 ve %20 grafen ilavesi ile elde edilmiştir. CRG katkılı kompozitlerde EMI performansının düşmesinin nedeni homojen olmayan dağılım ve TPU nanokompozitlerinde daha yüksek yüklemelerde CRG tabakalarının yeniden istiflenmesinden kaynaklandığı rapor edilmiştir.

Polimer kompozitlerin çok katmanlı/sandviç yapıları ile iletken dolgu maddelerinin dağılımını kontrol



edebilir. Bu yapılarıdaki arayüzler, çoklu yansımaya neden olan polarizasyon kaybı ve absorpsiyon kaybına olanak tanıyan çoklu arayüzlere ve ayrıca EM dalgaları için iletken yol oluşturmaya yardımcı olurlar [68, 69]. Böylelikle düşük perkolasyonda bile olsa yığın yapıdaki polimer kompozitlere göre yüksek EMI kalkanlama performansına sahip olabilirler. Song ve ark. [70] yüzey katmanlarında seçici olarak dağıtılan iletken dolgu maddesi olarak nanotüp (MWCNT) ara katmanda ise kritik karbondioksit yöntemi ile hazırlanan TPU köpük içeren sandviç TPU/MWCNT kompozitlerin EMI koruma performansını çalışmışlardır. Elektromanyetik ekranlama performansının, numune kalınlığı düzenlemesi veya yüzey katmanlarındaki dolgu içeriği ile ayarlanabilir olduğunu göstermişlerdir. MWCNT içeriği ağırlıkça %5 olduğunda, TPU kompozitlerde maksimum SE ve absorpsiyon değerleri sırasıyla 53.3 dB ve 0.66'ya ulaşmıştır. Tablo 1'de ayırık, 3-boyutlu ve yığın yapıda TPU esaslı farklı karbon dolgu malzemeleri içeren polimer kompozitlerin EMI SE değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 1. Ayırılmış ve yığın yapıda TPU esaslı farklı karbon dolgu malzemeleri içeren polimer kompozitlerin dolgu miktarları, dağılımı, polimerin kalınlık değerleri ve EMI verimliliklerinin karşılaştırılması

Malzeme	Yapısal form	Dolgu İçeriği (ağ.%)	EMI SE (dB)	Kalınlık (mm)	Frekans (GHz)	Ref.
TPU/CNT	Yığın yapı	10	42.5	1.2	2-18	71
TPU /MWCNT	Yığın yapı	22	20	0.1	8-12	72
TPU/CNT	Ayrılmış Yapı	7	41.2	2.0	8.2-12.4	54
TPU/CNT	Rastgele Dağılım	20	17	2.0	8.2-12.4	73
TPU/CNT	Ayrılmış Yapı	10	41.6	2.5	8.2-12.4	74
TPU/TRGO**	Yığın yapı	5 (hac.)	15	1	8.2-12.4	64
TPU/GA*	Köpük	2	34.3	-	8.2-12.4	65

*GA: grafen aerojel **TRGO: termal indirgenmiş grafen

6. Sonuçlar

Karbon fiber, karbon nanotüp (CNT), grafen gibi karbon türevi çeşitli iletken dolgu maddeleri içeren iletken polimer kompozitler (CPC'ler) tasarımda esneklik, düşük maliyet, ayarlanabilir iletkenlik ve korozyon direnci gibi muazzam avantajları nedeniyle metal esaslı koruyucu malzemelerin yerine kullanılacak umut verici alternatif EMI koruyucu malzemeler olduğu görülmektedir. Kompozit malzemenin elektriksel iletkenliği, manyetik geçirgenliği, malzemenin kalınlığı, dolgu malzemelerinin en-boy oranı, matris içinde dağılımı, miktarı, üretim yöntemleri ve zayıf arayüz adezyonu termoplastik poliüretan kompozitlerde EMI SE performansını etkileyen en önemli parametrelerdir. Mevcut CPC'lerin ekranlama performanslarının geleneksel metalik EMI kalkanlama verimliliklerine ulaşabilmesi için CPC'lerin üretiminde homojen yapılar, ayırık yapı, gözenekli yapı ve katmanlı yapı gibi farklı yapısal tasarım stratejileri geliştirilmiştir. Son zamanlardaki gelişmeler ile birlikte karbon esaslı termoplastik kompozitlerin havacılık, askeri gibi birçok sektörler için potansiyel EMI kalkanlama malzemesi olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Yazar Katkısı

Ümmühan Kaya, Orijinal taslak yazımı, Araştırma, Görselleştirme, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım, Biçimsel analiz. **Hülya Kaftelen Odabaşı**, Araştırma, Danışmanlık, Yazım, İnceleme & Düzeltme.

Çıkar Çatışması: Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Teşekkür ve Bilgilendirme

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Havacılık Bilim ve Teknolojileri yüksek lisans öğrencisi Ümmühan KAYA'nın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.



Kaynakça

- [1] Viskadourakis, Z., Vasilopoulos, K., Economou, E., Soukoulis, C.M. and Kenanakis, G. 2017. Electromagnetic Shielding Effectiveness of 3D Printed Polymer Composites, *Applied Physics A*, 123, 1-7.
- [2] Geetha, S., Satheesh Kumar, K., Rao, C.R., Vijayan, M. and Trivedi D. 2009. Emi Shielding: Methods And Materials-A Review. *Journal of Applied Polymer Science*, 112(4), 2073-2086.
- [3] Rea, W.J., Pan, Y., Fenyves, E.J., Sujisawa, I., Suyama, H. And Samadi, N. 1991. Electromagnetic Field Sensitivity. *Journal of Bioelectricity*, 10(1-2), 241-256.
- [4] Kılıç B. 2010. Elektromanyetik Test Altyapıları Ve Montaj Yöntemleri, *UEKAE Dergisi* 2(3), 50-59.
- [5] Wang, H., Liu, M., Li, S., Zheng, X. and Zhou, X. 2022. A Self-Healing and Flexible Ag@Carbon Fiber/Polyurethane Composite Based on Disulfide Bonds and Application in Electromagnetic Interference Shielding. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 646, 128956.
- [6] Kumar, K. S., Rengaraj, R., Venkatakrishnan, G. R. and Chandramohan, A. 2021, Polymeric materials for electromagnetic shielding-A review. *Materials Today: Proceedings*, 47, 4925-4928.
- [7] Bhattacharjee, Y., Biswas, S. and Bose, S. 2020, Thermoplastic Polymer Composites For EMI Shielding Applications. *Processing, Properties and Current Trends*, 73-99.
- [8] Gogoi, J.P. and Borah, M. 2016, Biopolymer Composites For Electromagnetic Interference Shielding. *Biopolymer Composites In Electronics*, 255-275.
- [9] Chung, D.D. 2001, Electromagnetic interference Shielding Effectiveness of Carbon Materials. *Carbon*, 39(2), 279-285.
- [10] Kumar, R., Sahoo, S., Joanni, E., Singh, R.K., Tan, W.K., Kar, K.K. and Matsuda, A. 2021, Recent Progress on Carbon-Based Composite Materials for Microwave Electromagnetic Interference Shielding. *Carbon*, 177, 304-331.
- [11] Singh, A.K., Shishkin, A., Koppel, T. and Gupta, N. A. 2018, Review of Porous Lightweight Composite Materials For Electromagnetic Interference Shielding. *Composites Part B*, 149, 188-197.
- [12] Wildgoose, G.G., Banks, C.E. and Compton, R.G. 2006, Metal Nanoparticles and Related Materials Supported on Carbon Nanotubes: Methods and Applications, *Small*, 2(2) 182-193.
- [13] Lee, S. H., Kang, D., and Oh, I. K. 2017, Multilayered graphene-carbon nanotube-iron oxide three-dimensional heterostructure for flexible electromagnetic interference shielding film. *Carbon*, 111, 248-257.
- [14] Saini, P. and Aror, M. 2012, Microwave Absorption and EMI Shielding Behavior of Nanocomposites Based on Intrinsically Conducting Polymers, Graphene and Carbon Nanotubes. *New Polymers for Special Applications*, 3, 73-112.
- [15] Celozzi, S., Araneo, R., Burghignoli, P. and Lovat, G., *Electromagnetic shielding: theory and applications*. 2023, John Wiley & Sons.
- [16] Chung D.D., 2000, Materials for Electromagnetic Interference Shielding. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 9(3), 350-354.
- [17] Abbasi, H., Antunes, M. and Velasco, J. I. 2019, Recent advances in carbon-based polymer nanocomposites for electromagnetic interference shielding. *Progress in Materials Science*, 103, 319-373.
- [18] Sezer Hicyilmaz, A. and Celik Bedeloglu, A. 2022, Electromagnetic interference shielding thermoplastic composites reinforced with carbon based hybrid materials: a review. *Composite Interfaces*, 29(13), 1413-1470.
- [19] Wu, J., Chung, D. 2002, Increasing The Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Fiber Polymer-Matrix Composite by Using Activated Carbon Fibers. *Carbon*, 40(3), 445-447.



- [20] Jagatheesan, K., Ramasamy, A., Das, A. and Basu, A. 2012, Electromagnetic shielding behaviour of conductive filler composites and conductive fabrics–A review. *Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR)*, 39(3), 329-342.
- [21] Munalli, D., Dimitrakis, G., Chronopoulos, D., Greedy, S. and Long, A. 2019, Electromagnetic shielding effectiveness of carbon fibre reinforced composites. *Composites Part B: Engineering*, 173, 106906.
- [22] Jin, F.L., Lee, S.Y. and Park, S.J. 2013, Polymer Matrices For Carbon Fiber-Reinforced Polymer Composites, *Carbon Letters*, 14 (2), 76–88.
- [23] Zhao, Y.H., Zhang, Y.F., Bai S.L. and Yuan X.W. 2016, Carbon Fibre/Graphene Foam/Polymer Composites With Enhanced Mechanical And Thermal Properties, *Compos Part B*, 94, 102–8.
- [24] Zhang, L., Bi. S., Liu, M. 2018, Lightweight Electromagnetic Interference Shielding Materials and Their Mechanisms. *Electromagnetic Materials and Devices: Intechopen*, 10, 1–20.
- [25] Wanasinghe, D., Aslani F., Ma, G. and Habibi, D. 2020, Review of Polymer Composites with Diverse Nanofillers for Electromagnetic Interference Shielding. *Nanomaterials*, 10(3), 541.
- [26] Wang, Z., Sun, K., Jiang, Q., Yin, K., Xie, L., Cao, S. and Fan, R. 2020, Weakly negative permittivity with frequency-independent behavior in flexible thermoplastic polyurethanes/multi-walled carbon nanotubes metacomposites, *Materials Today Communications*, 24, 101230.
- [27] Maruthi, N., Faisal, M. and Raghavendra N. 2021, Conducting Polymer Based Composites as Efficient EMI shielding Materials: A Comprehensive Review and Future Prospects. *Synthetic Metals* 272, 116664.
- [28] Khatoun, H. and Ahmad, S. 2017, A review on conducting polymer reinforced polyurethane composites. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 53, 1-22.
- [29] Joshi A, Datar S. 2015, Carbon Nanostructure Composite for Electromagnetic Interference Shielding. *Pramana*, 84(6), 1099–116.
- [30] Yamauchi, Y., Doi, N., Kondo, S. I., Sasai, Y., and Kuzuya, M. 2020, Characterization of a novel polymeric prodrug of an antibacterial agent synthesized by mechanochemical solid-state polymerization. *Drug Development Research*, 81(7), 867-874.
- [31] Song, C., Meng, X., Chen, H., Liu, Z., Zhan, Q., Sun, Y. and Dai, Y. 2021, Flexible, graphene-based films with three-dimensional conductive network via simple drop-casting toward electromagnetic interference shielding. *Composites Communications*, 24, 100632.
- [32] Weir, C. L. 1975, *Introduction to injection molding*. Society of Plastics Engineers.
- [33] Hsu, S. H., Chou, C. W. and Tseng, S. M. 2004, Enhanced thermal and mechanical properties in polyurethane/Au nanocomposites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 289(12), 1096-1101.
- [34] Yao, Y., Jin, S., Zou, H., Li, L., Ma, X., Lv, G. and Shu, Q. 2021, Polymer-based lightweight materials for electromagnetic interference shielding: A review. *Journal of Materials Science*, 56(11), 6549-6580.
- [35] Lu, X., Hasegawa, G., Kanamori, K. and Nakanishi, K. 2020, Hierarchically Porous Monoliths Prepared Via Sol–Gel Process Accompanied by Spinodal Decomposition. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 95, 530–550.
- [36] Lee, B.S, Chun, B.C, Chung, Y.C, Sul, K. I. and Cho J.W. 2001, Structure and Thermomechanical Properties of Polyurethane Block Copolymers with Shape Memory Effect. *Macromolecules* 34(18), 6431-6437.
- [37] Yang, X.F, Li, J, Croll, S.G., Tallman, D.E. and Bierwagen G.P. 2003, Degradation of Low Gloss Polyurethane Aircraft Coating Under UV and Prohesion Alternating Exposures. *Polymer Degradation and Stability*, 80(1), 51-58.
- [38] Kaşgöz, A. 2017, Elektromanyetik Dalga Kalkanlama Özelliğine Sahip Polimer Kompozitlerin Geliştirilmesi ve Yapı-Performans İlişkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Turkey.



- [39] Mikinka, E. and Siwak, M. 2021, Recent Advances in Electromagnetic Interference Shielding Properties of Carbon-Fibre-Reinforced Polymer Composites-A Topical Review. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(20), 24585-24643.
- [40] Li, L., Chung, D. 1994, Electrical and Mechanical Properties of Electrically Conductive Polyethersulfone Composites. *Composites*, 25(3), 215-24.
- [41] Chen, X., Gu, Y., Liang, J., Bai, M., Wang, S and Li, M. and Zhang, Z. 2020, Enhanced Microwave Shielding Effectiveness and Suppressed Reflection of Chopped Carbon Fiber Felt by Electrostatic Flocking of Carbon Fiber. *Composites Part A*, 139, 106099.
- [42] Duan, N., Shi, Z., Wang, J., Wang, G. and Zhang, X. 2020, Strong and flexible carbon fiber fabric reinforced thermoplastic polyurethane composites for high-performance EMI shielding applications, *Macromolecular Materials and Engineering*, 305(6), 1900829.
- [43] Yi, D., Jeong, G., Park, S. D., Yoo, M. J., and Yang, H. Surface-modified carbon fiber for enhanced electromagnetic interference shielding performance in thermoplastic polyurethane composites, *Functional Composites and Structures*, 2022, 4(4), 045008.
- [44] Hou, C., Li, T., Zhao, T., Zhang, W. and Cheng, Y. 2012, Electromagnetic Wave Absorbing Properties of Carbon Nanotubes Doped Rare Metal/Pure Carbon Nanotubes Double-Layer Polymer Composites, *Materials and Design*, 33, 413-418.
- [45] Mo, Z., Yang, R., Lu, D., Yang, L., Hu, Q., Li, H., Zhu, H., Tang Z. and Gui X. 2019, Lightweight, Three-Dimensional Carbon Nanotube@TiO₂ Sponge with Enhanced Microwave Absorption Performance, *Carbon*, 144, 433-439.
- [46] Shin, B., Mondal, S., Lee, M., Kim, S., Huh, Y. I., and Nah, C. 2021, Flexible thermoplastic polyurethane-carbon nanotube composites for electromagnetic interference shielding and thermal management, *Chemical Engineering Journal*, 418, 129282.
- [47] Sobha, A. P., Sreekala, P. S., and Narayanankutty, S. K., 2017, Electrical, thermal, mechanical and electromagnetic interference shielding properties of PANI/FMWCNT/TPU composites. *Progress in Organic Coatings*, 113, 168-174.
- [48] Wang, X., Zou, F., Zhao, Y., Li, G., and Liao, X., 2024, Electromagnetic interference shielding composites and the foams with gradient structure obtained by selective distribution of MWCNTs into hard domains of thermoplastic polyurethane. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 176, 107861.
- [49] Song, P., Liao, X., Zou, F., Wang, X., Liu, F., Liu, S. and Li, G., 2022, Frequency-adjustable electromagnetic interference shielding performance of sandwich-structured conductive polymer composites by selective foaming and tunable filler dispersion, *Composites Communications*, 34, 101264.
- [50] Fu, B., Ren, P., Guo, Z., Du, Y., Jin, Y., Sun, Z. and Ren, F., 2021, Construction of three-dimensional interconnected graphene nanosheet network in thermoplastic polyurethane with highly efficient electromagnetic interference shielding. *Composites Part B: Engineering*, 215, 108813.
- [51] Dai, K., Zhao, S.G., Zhai, W., Zheng, G.Q., Liu, C.T., Chen, J. and Shen C., 2013, Tuning of Liquid Sensing Performance of Conductive Carbon Black (CB)/Polypropylene (PP) Composite Utilizing A Segregated Structure, *Composites Part A*, 55, 11-18.
- [52] Cui C.H., Yan D.X., Pang H., Jia L.C., Bao Y., Jiang X. and Li Z.M., 2016, Towards Efficient Electromagnetic Interference Shielding Performance for Polyethylene Composites by Structuring Segregated Carbon Black/Graphite Networks, *Chinese Journal of Polymer Science*, 34(12), 1490-1499.
- [53] Ren, F., Li, Z., Xu, L., Sun, Z., Ren, P., Yan, D. and Li Z., 2018, Large-Scale Preparation of Segregated PLA/Carbon Nanotube Composite with High Efficient Electromagnetic Interference Shielding and Favourable Mechanical Properties, *Composites Part B*, 155, 405-413.



- [54] Wang, T., Yu, W.C., Sun, W.J., Jia, L.C., Gao, J.F., Tang, J.H., Su, H.J., Yan, D.X. and Li, Z.M. 2020, Healable Polyurethane/Carbon Nanotube Composite with Segregated Structure for Efficient Electromagnetic Interference Shielding, *Composites Science and Technology*, 200, 108446.
- [55] Ge, C., Wang, G., Li, X., Chai, J., Li, B., Wan, G., Zhao, G. and Wang G. 2020, Large Cyclic Deformability of Microcellular TPU/MWCNT Composite Film with Conductive Stability, and Electromagnetic Interference Shielding and Self-Sleaning Performance. *Composites Science and Technology*, 197, 108247.
- [56] Zeng, Z.H., Jin, H., Chen, M.J., Li, W.W., Zhou, L.C., and Zhang Z. 2016, Lightweight and Anisotropic Porous MWCNT/WPU Composites for Ultrahigh Performance Electromagnetic interference Shielding. *Advanced Functional Materials*, 26, 303-310.
- [57] Zhang, K., Wang, H., Liu, T., Wang, Z., Wang, L., Fan, P., Chen, F., Zhong, M., Wu, B., Liu, S. and Yang J. 2024, EMI Performance Within the Conductive Composites Foams Engineered with Bimodal and Uniform Cell Structures, *The Journal of Supercritical Fluids*, 204, 106093.
- [58] Wang, M., Tang, X., Cai, J., Wu, H., Shen, J. and Guo S, 2021, Construction, Mechanism and Prospective of Conductive Polymer Composites with Multiple Interfaces for Electromagnetic Interference Shielding: A Review. *Carbon*, 177, 377–402.
- [59] Ganguly, S., Bhawal, P., Ravindren R. and Das, N.C. 2018, Polymer Nanocomposites for Electromagnetic Interference Shielding: A Review, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 18(11), 7641–7669.
- [60] Zhao, B., Wang, R., Li, Y., Ren, Y., Li, X., Guo, X., Zhang, R. and Park, C.B. 2020, Dependence of Electromagnetic Interference Shielding Ability of Conductive Polymer Composite Foams with Hydrophobic Properties on Cellular Structure. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(22), 7401-7410.
- [61] Fan X., Zhang, G.C., Li, J.T., Shang, Z.Y., Zhang, H.M., Gao, Q., Qin, J. and Shi, X. 2019, Study on Foamability and Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Supercritical CO₂ Foaming Epoxy/Rubber/MWCNTs Composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 121, 64-73.
- [62] Kuang, T., Chang, L., Chen, F., Sheng, Y., Fu, D. and Peng X. 2016, Facile Preparation of Lightweight High-Strength Biodegradable Polymer/Multi-Walled Carbon Nanotubes Nanocomposite Foams for Electromagnetic Interference Shielding. *Carbon*, 105, 305-313.
- [63] Compton, O. C., Jain, B., Dikin, D. A., Abouimrane, A., Amine, K. and Nguyen, S. T. 2011, Chemically active reduced graphene oxide with tunable C/O ratios. *ACS nano*, 5(6), 4380-4391.
- [64] Esfahani, A. N., Katbab, A., Taeb, A., Simon, L. and Pope, M. A. 2017, Correlation between mechanical dissipation and improved X-band electromagnetic shielding capabilities of amine functionalized graphene/thermoplastic polyurethane composites. *European Polymer Journal*, 95, 520-538.
- [65] Jiang, Q., Liao, X., Yang, J., Wang, G., Chen, J., Tian, C., and Li, G. 2020, A two-step process for the preparation of thermoplastic polyurethane/graphene aerogel composite foams with multi-stage networks for electromagnetic shielding. *Composites Communications*, 21,100416.
- [66] Fu, B., Ren, P., Guo, Z., Du, Y., Jin, Y., Sun, Z. and Ren, F. 2021, Construction of three-dimensional interconnected graphene nanosheet network in thermoplastic polyurethane with highly efficient electromagnetic interference shielding. *Composites Part B: Engineering*, 215, 108813.
- [67] Bansala, T., Joshi, M., and Mukhopadhyay, S. 2019, Electromagnetic interference shielding behavior of chemically and thermally reduced graphene based multifunctional polyurethane nanocomposites: A comparative study. *Journal of Applied Polymer Science*, 136 (25), 47666.
- [68] Wang, Y.N., Cheng, X.D., Song, W.L., Ma, C.J., Bian, X.M. and Chen M.J. 2018, Hydrosensitive Sandwich Structures for Self-Tunable Smart Electromagnetic Shielding. *Chemical Engineering Journal*, 344, 342-352.
- [69] He L, Shi Y.D, Wang Q.W, Chen D.Y, Shen J.B, Guo S.Y. 2020, Strategy for Constructing Electromagnetic Interference Shielding and Flame Retarding Synergistic Network In Poly (Butylene Succinate) and Thermoplastic Polyurethane Multilayered Composites. *Composites Science and Technology*, 199: 108324.



- [70] Song, P., Liao, X., Zou, F., Wang, X., Liu, F., Liu, S., and Li, G. 2022, Frequency-adjustable electromagnetic interference shielding performance of sandwich-structured conductive polymer composites by selective foaming and tunable filler dispersion. *Composites Communications*, 34, 101264.
- [71] Shin, B., Mondal, S., Lee, M., Kim, S., Huh, Y. I., and Nah, C. 2021, Flexible thermoplastic polyurethane-carbon nanotube composites for electromagnetic interference shielding and thermal management. *Chemical Engineering Journal*, 418, 129282.
- [72] Hoang, A.S. 2011, Electrical Conductivity and Electromagnetic Interference Shielding Characteristics of Multiwalled Carbon Nanotube Filled Polyurethane Composite Films. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 2(2), 025007.
- [73] Liu, Z.F, Bai, G., Huang, Y., Ma Y.F., Du, F., Li, F., Guo, T. and Chen Y. 2007, Reflection and Absorption Contributions to The Electromagnetic Interference Shielding of Single-Walled Carbon Nanotube/Polyurethane Composites. *Carbon*, 45, 821-827.
- [74] Gupta, T.K., Singh, B.P., Teotia, S., Katyal, V., Dhakate, S.R. and Mathur, R.B. 2013, Designing of Multiwalled Carbon Nanotubes Reinforced Polyurethane Composites as Electromagnetic Interference Shielding Materials. *Journal of Polymer Research*, 20, 1-7.