



ORDU
UNIVERSITY

Volume: 10 Issue: 3 SEPTEMBER 2024 TURKISH JOURNAL OF MARITIME AND MARINE SCIENCES



<https://dergipark.org.tr/tr/pub/trimms>



ORDU
UNIVERSITY

Volume: 10 Issue: 3 SEPTEMBER 2024



TURKISH
JOURNAL OF
MARITIME AND
MARINE
SCIENCES

e-ISSN: 2564-7016

TURKISH JOURNAL OF MARITIME AND MARINE SCIENCES

The Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences is published by Ordu University
On Behalf of Fatsa Faculty of Marine Sciences

Correspondence Address: Ordu University, Fatsa Faculty of Marine Sciences 52400
Fatsa / Ordu, TURKEY

Web site: <http://dergipark.gov.tr/trjmms>

Tel: +90 (452) 423 50 53

Fax: +90 (452) 423 99 53

E-mail: trjmms@odu.edu.tr

Sort of Publication: Quarterly

Publication Date and Place: 01/09/2024, ORDU, TURKEY

Publishing Kind: Online

OWNER

Ordu University
On Behalf of Fatsa Faculty of Marine Sciences

Prof. Dr. Özkan UĞURLU
(Dean)

EDITOR-IN-CHIEF

Prof. Dr. Mehmet AYDIN

ASSOCIATED EDITOR

Assist. Prof. Dr. Enes Fatih PEHLİVAN

LAYOUT EDITORS

Assoc. Prof. Dr. Seda KONTAŞ YALÇINKAYA
Assist. Prof. Dr. Arda TOYGAR
Assist. Prof. Dr. Bilge BİLGİN FIÇICILAR
Assist. Prof. Dr. Caner ŞİRİN
Assist. Prof. Dr. Cemile SOLAK FIŞKIN
Assist. Prof. Dr. Çağatay KANDEMİR
Assist. Prof. Dr. Hasan UĞURLU
Assist. Prof. Dr. Murat ÖZAYDINLI
Research Assistant Dr. Ali Yasin KAYA
Research Assistant Dr. Pınar AKDOĞAN ŞİRİN
Research Assistant Fatih TONOĞLU
Research Assistant Fırat SİVRİ

FOREIGN LANGUAGE EDITORS

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Remzi GÜL
Assist. Prof. Dr. Bilge BİLGİN FIÇICILAR
Assist. Prof. Dr. Hasan UĞURLU
Assist. Prof. Dr. Mehmet CİHAN
Assist. Prof. Dr. Refik ÖZYURT

MARINE SCIENCES SECTION EDITORS

Prof. Dr. Coşkun ERÜZ	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Ertuğ DÜZGÜNEŞ	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Sevim KÖSE	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Zafer TOSUNOĞLU	Ege University
Prof. Dr. Firdes Saadet KARAKULAK	İstanbul University
Prof. Dr. Hakkı DERELİ	İzmir Katip Çelebi University
Prof. Dr. Hüseyin ÖZBİLGİN	Mersin University
Prof. Dr. Hüseyin SEVGİLİ	Isparta University of Applied Sciences
Prof. Dr. Nüket SİVRİ	İstanbul (Cerrahpaşa) University
Prof. Dr. Cemalettin ŞAHİN	Recep Tayyip Erdoğan University
Prof. Dr. Bülent VEREP	Recep Tayyip Erdoğan University
Prof. Dr. Evren TUNCA	Ordu University
Prof. Dr. Ali Muzaffer FEYZİOĞLU	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Önder YILDIRIM	Muğla Sıtkı Koçman University
Prof. Dr. İlhan ALTINOK	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Semih ENGİN	İzmir Katip Çelebi University
Prof. Dr. Hacer SAĞLAM	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Cengiz MUTLU	Giresun University
Prof. Dr. Ahmet Mutlu GÖZLER	Recep Tayyip Erdoğan University
Prof. Dr. Deniz ERGÜDEN	İskenderun Technical University
Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR	Sinop University
Prof. Dr. Yılmaz ÇİFTÇİ	Ordu University
Assoc. Prof. Dr. Rahşan MAZLUM	Recep Tayyip Erdoğan University
Assoc. Prof. Dr. Ali MİROĞLU	Ordu University
Assoc. Prof. Dr. Sibel ALAGÖZ ERGÜDEN	Çukurova University
Assoc. Prof. Dr. Serpil SERDAR	Ege University
Assoc. Prof. Dr. Mustafa DURMUŞ	Çukurova University
Assoc. Prof. Dr. Demet BİLTEKİN	İstanbul Technical University
Assoc. Prof. Dr. Serap SAMSUN	Ordu University
Assoc. Prof. Dr. Uğur KARADURMUŞ	Bandırma On Yedi Eylül University
Assoc. Prof. Dr. Zekiye BİRİNCİ ÖZDEMİR	Sinop University
Assoc. Prof. Dr. Koray KORKMAZ	Ordu University
Dr. Adil SÖZER	Ordu University
Dr. Ebru YILMAZ	Ordu University

MARITIME TRANSPORTATION SECTION EDITORS

Prof. Dr. Ersan BAŞAR	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Özkan UĞURLU	Ordu University
Prof. Dr. Sercan EROL	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Serdar KUM	İstanbul Technical University
Assoc. Prof. Dr. Ünal ÖZDEMİR	Mersin University
Assoc. Prof. Dr. Remzi FIŞKIN	Ordu University
Assoc. Prof. Dr. Umut YILDIRIM	Karadeniz Technical University
Dr. Ercan YÜKSEKYILDIZ	Samsun University

MARITIME BUSINESS ADMINISTRATION SECTION EDITORS

Prof. Dr. İsmet BALIK	Akdeniz University
Assoc. Prof. Dr. Ali TEHCİ	Ordu University
Assoc. Prof. Dr. Nihan ŞENBURSA	Ordu University
Dr. Cemile SOLAK FIŞKIN	Ordu University

NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERING SECTION EDITORS

Prof. Dr. Ercan KÖSE	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Murat ÖZKÖK	Karadeniz Technical University
Assoc. Prof. Dr. Ali Ekber ÖZDEMİR	Ordu University
Assoc. Prof. Dr. İsmail ALTIN	Karadeniz Technical University
Dr. Samet GÜRGEN	İskenderun Technical University
Dr. Murat ÖZDEMİR	Lloyd's Register
Dr. Çağatay KANDEMİR	Ordu University

EDITORIAL BOARD (MARINE SCIENCES)

Prof. Dr. Ahmet Mutlu GÖZLER	Recep Tayyip Erdoğan University
Prof. Dr. Alexander BOLTACHEV	NAS of Ukraine
Prof. Dr. Ali Muzaffer FEYZİOĞLU	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Athanasios EXADACTYLOS	University of Thessaly
Prof. Dr. Bülent CİHANGİR	Dokuz Eylül University
Prof. Dr. Bülent VEREP	Recep Tayyip Erdoğan University
Prof. Dr. Cemal TURAN	Mustafa Kemal University
Prof. Dr. Cemalettin ŞAHİN	Recep Tayyip Erdoğan University
Prof. Dr. Cengiz MUTLU	Giresun University
Prof. Dr. Coşkun ERÜZ	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Davut TURAN	Recep Tayyip Erdoğan University
Prof. Dr. Deniz ERGÜDEN	İskenderun Technical University
Prof. Dr. Ertuğ DÜZGÜNEŞ	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Evgeniya KARPOVA	NAS of Ukraine
Prof. Dr. Evren TUNCA	Ordu University
Prof. Dr. Firdes Saadet KARAKULAK	İstanbul University
Prof. Dr. Gülsün ÖZYURT	Çukurova University
Prof. Dr. Hacer SAĞLAM	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Hakkı DERELİ	İzmir Katip Çelebi University
Prof. Dr. Hüseyin SEVGİLİ	Isparta University of Applied Sciences
Prof. Dr. Hüseyin ÖZBİLGİN	Mersin University
Prof. Dr. İlhan ALTINOK	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Levent BAT	Sinop University
Prof. Dr. Mehmet Cengiz DEVAL	Akdeniz University
Prof. Dr. Nüket SİVRİ	İstanbul (Cerrahpaşa) University
Prof. Dr. Okan AKYOL	Ege University
Prof. Dr. Önder YILDIRIM	Muğla Sıtkı Kocman University
Prof. Dr. Sedat YERLİ	Hacettepe University
Prof. Dr. Semih ENGİN	İzmir Katip Çelebi University
Prof. Dr. Sevim KÖSE	Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Şükran ÇAKLI	Ege University
Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR	Sinop University
Prof. Dr. Tacnur BAYGAR	Muğla Sıtkı Kocman University
Prof. Dr. Yılmaz ÇİFTÇİ	Ordu University
Prof. Dr. Zafer TOSUNOĞLU	Ege University
Assoc. Prof. Dr. Ali MİROĞLU	Ordu University
Assoc. Prof. Dr. Demet BİLTEKİN	İstanbul Technical University
Assoc. Prof. Dr. Mustafa DURMUŞ	Çukurova University
Assoc. Prof. Dr. Raşan MAZLUM	Recep Tayyip Erdoğan University
Assoc. Prof. Dr. Serap SAMSUN	Ordu University
Assoc. Prof. Dr. Sibel ALAGÖZ ERGÜDEN	Çukurova University
Assoc. Prof. Dr. Uğur KARADURMUŞ	Bandırma On Yedi Eylül University
Assoc. Prof. Dr. Zekiye BİRİNCİ ÖZDEMİR	Sinop University
Dr. Adil SÖZER	Ordu University
Dr. Ebru YILMAZ	Ordu University
Dr. Francoise CAVADA	Zoological Society of London
Dr. Hüseyin KÜÇÜKTAŞ	Auburn University
Dr. Mehmet Arif ZORAL	Michigan State University
Dr. Mercedes GONZALEZ-WANGÜEMERT	CCMAR
Dr. Sergey BOGORODSKY	Station of Naturalists

EDITORIAL BOARD (MARITIME AND MARINE TECHNOLOGY)

Emeritus Prof. Dr. Ayşe Güldem CERİT
Emeritus Prof. Dr. Tetsuya YAO
Prof. Dr. Abdul KAKHIDZE
Prof. Dr. Ahmet ERGİN
Prof. Dr. Ahmet TAŞDEMİR
Prof. Dr. Ayşen ERGİN
Prof. Dr. Bahri ŞAHİN
Prof. Dr. Cengiz DENİZ
Prof. Dr. Durmuş Ali DEVECİ
Prof. Dr. Ender ASYALI
Prof. Dr. Ercan KÖSE
Prof. Dr. Ersan BAŞAR
Prof. Dr. Irakli SHARABİDZE
Prof. Dr. Jerolim ANDRIC
Prof. Dr. Kadir SEYHAN
Prof. Dr. Muhammet DUMAN
Prof. Dr. Oğuzhan ÖZÇELEBİ
Prof. Dr. Okan TUNA
Prof. Dr. Özcan ARSLAN
Prof. Dr. Özkan UĞURLU
Prof. Dr. Selçuk NAS
Prof. Dr. Sercan EROL
Prof. Dr. Serdar KUM
Prof. Dr. Sezer ILGIN
Prof. Dr. Şakir BAL
Assoc. Prof. Dr. Ali Ekber ÖZDEMİR
Assoc. Prof. Dr. Barış KULEYİN
Assoc. Prof. Dr. Gamze ARABELEN
Assoc. Prof. Dr. İsmail ALTIN
Assoc. Prof. Dr. Ünal ÖZDEMİR
Assoc. Prof. Dr. Oğuz ATİK
Assoc. Prof. Dr. Remzi FIŞKIN
Assoc. Prof. Dr. Umut YILDIRIM
Assoc. Prof. Dr. Nihan ŞENBURSA
Dr. Apostolos GRAMMATIKOPOULOS
Dr. Birsen KOLDEMİR
Dr. Cemile SOLAK FIŞKIN
Dr. Gilang Muhammad GEMILANG
Dr. Inga BARTUSEVIČIENĖ
Dr. Mehmet Ali AKKAYA
Dr. Murat ÖZDEMİR
Dr. Serim PAKER

Dokuz Eylül University
Osaka University
Batumi State Maritime Academy
İstanbul Technical University
Piri Reis University
Middle East Technical University
Yıldız Technical University
İstanbul Technical University
Dokuz Eylül University
Maine Maritime Academy
Karadeniz Technical University
Karadeniz Technical University
Batumi State Maritime Academy
University of Zagreb
Karadeniz Technical University
Dokuz Eylül University
İstanbul University
Dokuz Eylül University
İstanbul Technical University
Ordu University
Dokuz Eylül University
Karadeniz Technical University
İstanbul Technical University
Piri Reis University
İstanbul Technical University
Ordu University
Dokuz Eylül University
Dokuz Eylül University
Karadeniz Technical University
Mersin University
Dokuz Eylül University
Ordu University
Karadeniz Technical University
Ordu University
University of Southampton
İstanbul University
Ordu University
University of Pertamina
World Maritime University
Muğla Sıtkı Koçman University
Lloyd's Register
Dokuz Eylül University

TRJMMS ARTICLE SUBMISSION POLICY

1. Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences publication language is either Turkish or English, however publications submitted in Turkish should have an English abstract. This Journal is published twice a year.
2. Submitted work shouldn't have been published before (except as oral and poster presentation), the copyright of the work shouldn't have been transferred to anywhere and the work shouldn't be under review in another journal for publication.
3. The type of the submitted work (original research, brief report, technical notes and review) must be indicated.
4. It will not be published elsewhere in English, in Turkish or in any other language, without the written consent of the copyright-holder.
5. It is important for the submission file to be saved in the valid format of the template of word processor used.
6. References of information must be indicated.
7. To avoid unnecessary errors, you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.
8. Author(s) is/are fully responsible for his/her/their works published in the Journal.
9. A work submitted to the Journal is forwarded to the publishing committee by the editor and evaluated by two or more referees selected by this committee. A work must be approved by the publishing committee and the referees in terms of both scientific content and writing format in order to be accepted for publication. A work rejected for publication is returned to the author(s). A work for which the referee or the editors requested any revisions is sent back to the author(s) for correction according to the given comments and suggestions. Author(s) has/have to convince the publishing committee and the referee(s) about the comments and the suggestions he/she/they disagree(s) with while giving the necessary explanations. Depending on the revision by the author(s) and/or the referee reports for publication, publishing committee decides whether the work is accepted or rejected.
10. A work accepted for publication is sent to the author(s) for the final control before publishing in order to rewrite it according to writing style and format of the Journal. Finally, author(s) approved version of the work is queued for publishing.
11. A person may have two works, as a first author, at most in the same issue.
12. Articles submitted for a possible publication in the journal have been checked with *iThenticate* program to compose similarity report. This report is sent to the editorial board to be checked. If the program detects more than 25 percentage similarity except that the references, the editorial board requests the revisions from the authors. If the necessary changes does not make in 30 days, the article is declined. If the similarity rate is very high, the article is declined, too.
13. Authors are obliged to comply with the TRJMMS Submission Policy.
14. TRJMMS does not charge any article submission or processing charges.

TRJMMS ETHICAL PRINCIPALS AND PUBLICATION POLICIES

- Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) is an international, refereed, multidisciplinary scientific and technology journal that has been published at least 2 times a year since 2015. Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) it is committed to provide a platform where highest standards of publication ethics are the key aspect of the editorial and peer-review processes.
- The editorial process for a manuscript to the Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) consists of a double-blind review, which means that both the reviewer and author identities are concealed from the reviewers, and vice versa, throughout the review process.
- If the manuscript is accepted in the review stage of the Editorial Process then, the submission goes through the editing stage, which consists of the processes of copyediting, language control, reference control, layout and proofreading. Reviewed articles are treated confidentially in Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS).
- **Papers submitted to Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) are screened for plagiarism with the iThenticate plagiarism detection tool. In case that the editors become aware of alleged or proven scientific misconduct, they can take the necessary steps. The editors have the right to retract an article whether submitted to Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) or published in Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS).**
- **Following the completion of the editing stage, the manuscript is then scheduled for publication in an issue of the Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS). The articles which are submitted to Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) to be published are free of article submission, processing and publication charges. The accepted articles are published free-of-charge as online from the journal website. The articles that are accepted to appear in the journal are made freely available to the public via the journal's website.**
- Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) has chief editor, section editors and an editorial board. Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) has an open access policy which means that all contents are freely available without charge to the user or his/her institution. Users are allowed to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of the articles, or use them for any other lawful research purposes.
- **Publication ethics of the Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) are mainly based on the guidelines and recommendations which are published by the Committee on Publication Ethics (COPE), Council of Science Editors (CSE) and Elsevier's Publishing Ethics for Editors statements. It must be obeyed research and publication ethics in the article submitted by authors.**

The duties and responsibilities of all parties in the publishing process including editors, authors and others are defined below.

The Responsibilities of the Authors

1. Authors are responsible for the scientific, contextual, and linguistic aspects of the articles which are published in the journal. The views expressed or implied in this publication, unless otherwise noted, should not be interpreted as official positions of the Institution.
2. Authors should follow the “Author Guidelines” in Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS)’s web page on DergiPark.
3. Authors should conduct their researches in an ethical and responsible manner and follow all relevant legislation.
4. Authors should take collective responsibility for their work and for the content of their publications.
5. Authors should check their publications carefully at all stages to ensure that methods and findings are reported accurately.
6. Authors must represent the work of others accurately in citations, quotations and references.
7. Authors should carefully check calculations, data presentations, typescripts/submissions and proofs.
8. Authors should present their conclusions and results honestly and without fabrication, falsification or inappropriate data manipulation. Research images should not be modified in a misleading way.
9. Authors should describe their methods to present their findings clearly and unambiguously.
10. Authors accept that the publisher of Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) holds and retains the copyright of the published articles.
11. Authors are responsible to obtain permission to include images, figures, etc. to appear in the article.
12. In multi-authored publications - unless otherwise stated - author rankings are made according to their contributions.
13. Authors should alert the editor promptly if they discover an error in any submitted.
14. Authors should follow the TRJMMS Article Submission Policy regarding that the submitted work is original and has not been published elsewhere in any language.
15. Authors should work with the editor or publisher to correct their work promptly if errors are discovered after publication.
16. If the work involves chemicals, procedures or equipment that have any unusual hazards inherent in their use, the authors must clearly identify these in the manuscript.
17. If the work involves the use of animals or human participants, the authors should ensure that all procedures were performed in compliance with relevant laws and institutional guidelines and that the appropriate institutional committee(s) has approved them; the manuscript should contain a statement to this effect.
18. Authors should also include a statement in the manuscript that informed consent was obtained for experimentation with human participants. Because the privacy rights of human participants must always be preserved. It is important that authors have an explicit statement explaining that informed consent has been obtained from human participants and the participants’ rights have been observed.
19. Authors have the responsibility of responding to the reviewers’ comments promptly and cooperatively, in a point-by-point manner.

The Responsibilities of the Reviewers

1. Peer review process has two fundamental purposes as follow: The first purpose is to decide whether the relevant article can be published in Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) or not and the second purpose is to contribute to the improvement of the weaknesses of the related article before the publication.
2. The peer review process for an article to the Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) consists of a double-blind review, which means that both the reviewer and author identities are concealed from the reviewers, and vice versa, throughout the review process. Reviewed articles are treated confidentially in Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS).
3. Reviewers must respect the confidentiality of peer review process.
4. Reviewers must refrain from using the knowledge that they have obtained during the peer review process for their own or others' interests.
5. Reviewers should definitely be in contact with the Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) if they suspect about the identity of the author(s) during the review process and if they think that this knowledge may raise potential competition or conflict of interest.
6. Reviewers should notify the Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) in case of any suspicion regarding the potential competition or conflict of interest during the review process.
7. Reviewers should accept to review the studies in which they have the required expertise to conduct an appropriate appraisal, they can comply with the confidentiality of the double-blind review system and that they can keep the details about the peer review process in confidential.
8. Reviewers should be in contact with the Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) in order to demand some missing documents, following the examination of the article, supplementary files and ancillary materials.
9. Reviewers should act with the awareness that they are the most basic determinants of the academic quality of the articles to be published in the journal and they should review the article with the responsibility to increase academic quality.
10. Reviewers should be in contact with the Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) editors if they detect any irregularities with respect to the Publication Ethics and Responsibilities.
11. Reviewers should review the articles within the time that has been allowed. If they can not review the article within a reasonable time-frame, then they should notify the journal as soon as possible.
12. Reviewers should report their opinions and suggestions in terms of acceptance / revision / rejection for the manuscript in the peer review process through the Referee Review Form which is provided by DergiPark.
13. In case of rejection, reviewers should demonstrate the deficient and defective issues about the manuscript in a clear and concrete manner in the provided Referee Review Form.
14. Review reports should be prepared and submitted in accordance with the format and content of the Referee Review Form which is provided by Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS).
15. Review reports should be fair, objective, original and prudent manner.
16. Review reports should contain constructive criticism and suggestions about the relevant article.

The Responsibilities of the Editors

1. Editors are responsible of enhancing the quality of the journal and supporting the authors in their effort to produce high quality research. Under no conditions do they allow plagiarism or scientific misconduct.
2. Editors ensure that all submissions go through a double-blind review and other editorial procedures. All submissions are subject to a double-blind peer-review process and an editorial decision based on objective judgment.
3. Each submission is assessed by the editor for suitability in the Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences (TRJMMS) and then, sent to the at least two expert reviewers.
4. Editors are responsible for seeking reviewers who do not have conflict of interest with the authors. A double-blind review assists the editor in making editorial decisions.
5. Editors ensure that all the submitted studies have passed initial screening, plagiarism check, review and editing. In case the editors become aware of alleged or proven scientific misconduct, they can take the necessary steps. The editors have the right to retract an article. The editors are willing to publish errata, retractions or apologies when needed.

TRJMMS OPEN ACCESS POLICY

TRJMMS is an open access journal. The term open access gives the right of readers to read, download, distribute, copy, print, search, or link to the full texts of the articles free of charge. This is in accordance with the BOAI definition of open access. According to BOAI (Budapest Open Access Initiative); By “open access” to peer-reviewed research literature, its free availability on the public internet, permitting any users to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of these articles, crawl them for indexing, pass them as data to software, or use them for any other lawful purpose, without financial, legal, or technical barriers other than those inseparable from gaining access to the internet itself. The author(s) and copyright holder(s) grant(s) to all users a free access to articles.

TRJMMS PLAGIARISM POLICY

Plagiarism can take place in two forms:

1. Author(s) deliberately copy someone else’s work and claim it as own work.
2. Author(s) copy their own previously published material either in full or in part without providing appropriate references called as “self-plagiarism” or “duplicate publication”

Every manuscript submitted for publication to TRJMMS is checked for plagiarism after submission and before being sent to reviewer for evaluation. “intihal.net” and “iThenticate” are used to detect instances of overlapping and similar text in submitted manuscript. Depending on this report, the articles can be declined or can be submitted to the editor to be evaluated.

TRJMMS ADVERTISEMENT POLICY

1. All advertisements depend on approval of the Publisher or Editor.
2. Scientific content and decisions made by editorial board have not been affected by advertising.
3. Advertisements are separate from the scientific content.
4. Sales and marketing of the products within the accepted advertising are unfeasible.
5. Editor or publisher of the journal is not responsible for advertisement and its content. This responsibility entirely belongs to owner of advertising.
6. Accepted advertisement can be placed on any page approved by the editor or publisher.
7. Advertising is done according to the contract between advertising company and journal management.
8. Advertising content has not included any distinction of language, religion, race, gender, age, disability and etc.
9. Advertising that contrary to society and publication ethics must not be published.
10. Advertising that produced according to national rules and fulfilling their obligations such as license are accepted for publishing.
11. Advertisements must be prepared in accordance with competition laws and other relevant regulations.
12. Journal management shall not be liable for pecuniary loss due to errors of the advertising content.

CONTENT


Review Article		
Author	Article Title	Page
Gülşah ÇELİK GÜL Metin GÜL	Chemical Approach to Offshore Wind Turbines: Coating Systems, Environmental Impacts, And Sustainable Development	131-144
Research Articles		
Author	Article Title	Page
Volkan EFECAN	A novel quantitative approach to the choice of transshipment container port in the Eastern Mediterranean basin	145-158
Kerim ZIYLAN Selçuk NAS	The Effect of a New Mooring Point Location Selection on the Mooring Plan Load Distribution	159-172
Servet Ahmet DOĞDU Cemal TURAN Funda TURAN Ayşegül ERGENLER	Food composition of diamondback puffer <i>Lagocephalus guentheri</i> Miranda Ribeiro, 1915 from the northeastern Mediterranean Sea	173-179
Aytekin DURANAY	Water Pump Harnessed by Vortex-Induced Vibrations: Potential and Performance Evaluation in Turkish Rivers	180-193

Chemical Approach to Offshore Wind Turbines: Coating Systems, Environmental Impacts, And Sustainable Development

Açık Deniz Rüzgar Tirbünlerine Kimyasal Bakış: Kaplama Sistemleri, Çevresel Etkiler Ve Sürdürülebilir Kalkınma

Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi

Cilt: 10 Sayı: 3 (2024) 131-144

Gülşah ÇELİK GÜL^{1,*} , Metin GÜL² 

¹ Balıkesir University, Chemistry Department, Çağış Yerleşkesi, 10145 Altıeylül/Balıkesir, Türkiye

² Balıkesir University, Sci&Art Institute, Mech. Eng. Department, Çağış Yerleşkesi, 10145 Altıeylül/Balıkesir, Türkiye

ABSTRACT

The deployment of offshore wind turbines (WTs) is gaining momentum worldwide, offering significant potential for clean energy generation. However, the maintenance and longevity of offshore WT structures present complex challenges, particularly concerning corrosion protection coatings and their environmental impacts. This paper discusses the key design criteria, protective mechanisms, and application methods of coating systems for offshore WTs, emphasizing the need for durable solutions to withstand harsh marine conditions. Additionally, the study examines the chemical emissions originating from offshore wind farms, including corrosion products and plastics, and their potential ecological impacts. While there is a lack of comprehensive scientific studies on the environmental effects of deepwater, floating offshore wind farms, this paper aims to shed light on these issues and their implications for marine ecosystems and human health. By synthesizing existing literature on analogous situations, the discussion provides insights into the environmental footprints of offshore wind power and underscores the importance of prudent decision-making in advancing future offshore wind projects.

Keywords: Offshore wind turbines, Chemical pollutants, Chemical emissions.

Article Info

Received: 22 January 2024

Revised: 01 March 2024

Accepted: 16 March 2024

*
(corresponding author)
E-mail: gulsahcelik@balikesir.edu.tr

To cite this article: Çelik Gül, G., Gül, M. (2024). Chemical Approach to Offshore Wind Turbines: Coating Systems, Environmental Impacts, and Sustainable Development. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 10(3): 131-144. doi: 10.52998/trjmms.1415808.

ÖZET

Açık deniz rüzgar türbinlerinin (RT'ler) konuşlandırılması dünya çapında ivme kazanırken, temiz enerji üretimi için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bununla birlikte, açık denizdeki rüzgar türbini yapılarının bakımı ve uzun ömürlülüğü, özellikle korozyona karşı koruma kaplamaları ve bunların çevresel etkileriyle ilgili olarak karmaşık zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışma, zorlu deniz koşullarına dayanacak dayanıklı çözümlere olan ihtiyacı vurgulayarak, açık deniz RT'leri için kaplama sistemlerinin temel tasarım kriterlerini, koruyucu mekanizmalarını ve uygulama yöntemlerini hakkında gerçekleştirilen bir derlemedir. Ayrıca çalışma, açık deniz rüzgar santrallerinden kaynaklanan, korozyon ürünleri ve plastikler de dahil olmak üzere kimyasal emisyonları ve bunların potansiyel ekolojik etkilerini incelemektedir. Derin sularda yüzen açık deniz rüzgar santrallerinin çevresel etkilerine ilişkin kapsamlı bilimsel çalışmalar bulunmamakla birlikte, bu makale bu konulara ve bunların deniz ekosistemleri ve insan sağlığına olan etkilerine ışık tutmayı amaçlamaktadır. Çalışma, benzer durumlara ilişkin mevcut literatürü sentezleyerek, açık deniz rüzgar enerjisinin çevresel ayak izleri hakkında fikir oluşturarak ve gelecekteki açık deniz rüzgar projelerini ilerletmede yerinde ve doğru karar vermenin öneminin altını çizmektedir.

Anahtar sözcükler: Açık deniz rüzgar türbinleri, Kimyasal kirleticiler, Kimyasal emisyonlar.

1. OFFSHORE WIND FARMS

1.1. Offshore wind energy turbines and Türkiye's policy

The main offshore wind energy facilities are a significant component of the renewable energy sector on a broad scale. Renewable energy is defined as the energy derived from the ongoing natural processes, and it is sourced from existing

energy flows. While currently, 80% of global energy is generated from fossil fuels (IEA, 2023), in December 2022, this ratio decreased to 54% in Türkiye (Fig.1). Renewable energy sources play a crucial role in reducing dependence on fossil fuels such as coal, oil, and natural gas (Zou *et al.*, 2016). Solar, wind, biomass, geothermal, hydro, hydrogen, and ocean energy (wave and tidal) are considered within the scope of renewable energy (TEİAŞ, 2022).

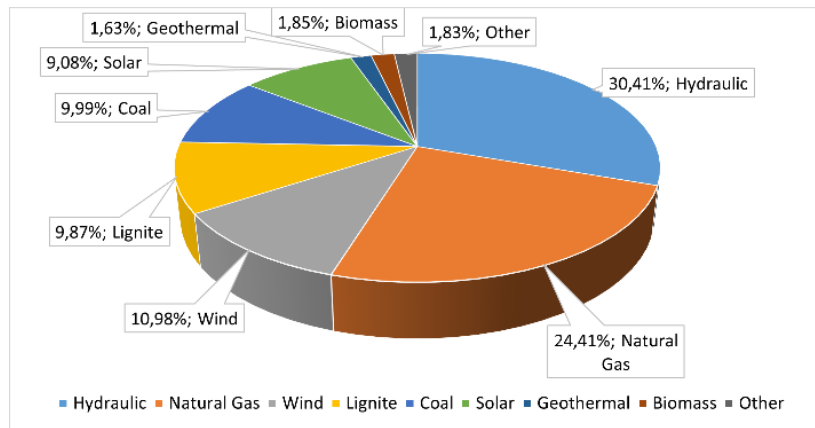


Figure 1. Installed electricity capacity in Türkiye for the year 2022 (TEİAŞ, 2022)

The characteristics of wind vary temporally and spatially due to local geographical differences and the non-uniform heating of the Earth's surface. Wind is expressed through two parameters: speed and direction. Wind speed increases with height, and its theoretical power

changes proportionally to the cube of its speed. Despite the initial high investment costs, low-capacity factors, and disadvantages such as variable energy production associated with wind energy-based electricity generation applications, the advantages can generally be listed as follows:

- It is a renewable and clean energy source, environmentally friendly.
- There is no risk of depletion and increasing prices over time.
- Its cost has become competitive with contemporary power plants.
- Maintenance and operating costs are low.
- The technology for installation and operation is relatively simple.
- Commissioning can be achieved in a short period of time.

Wind turbines, the main structural elements of wind energy plants, are machines that primarily convert the kinetic energy of moving air into mechanical energy and subsequently into electrical energy. According to the December

2022 report data from the Turkish Electricity Transmission Corporation (TEİAŞ), wind turbines constitute approximately 11% of the installed capacity in Türkiye (Fig.2). Considering these data, it can be stated that wind energy is a significant resource for Türkiye (Fig.3) (GMKA report, 2023).

According to World Bank data, Türkiye's technical potential for offshore wind turbines (WTs) is identified as 75 GW (World Bank, 2019). Within this capacity, 12 GW is expected to come from fixed-base WTs, and 63 GW is projected to be provided by floating WTs. It is noted that within this capacity, 50-55 GW can be defined as technically feasible and more efficiently reachable capacity (Leybourne, 2022).

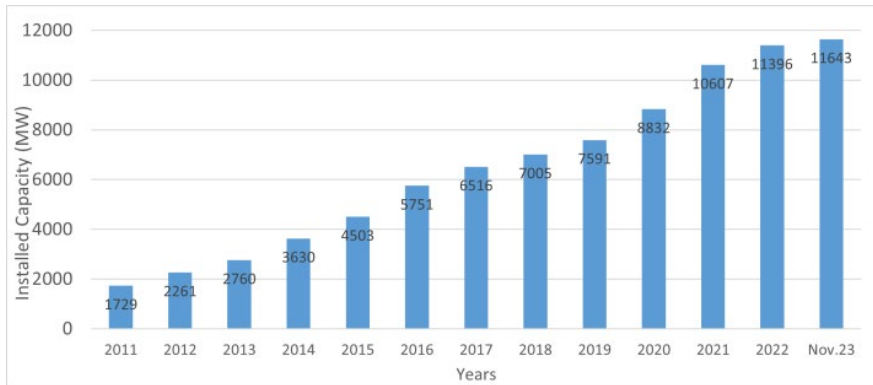


Figure 2. Wind energy installed capacity development in Türkiye

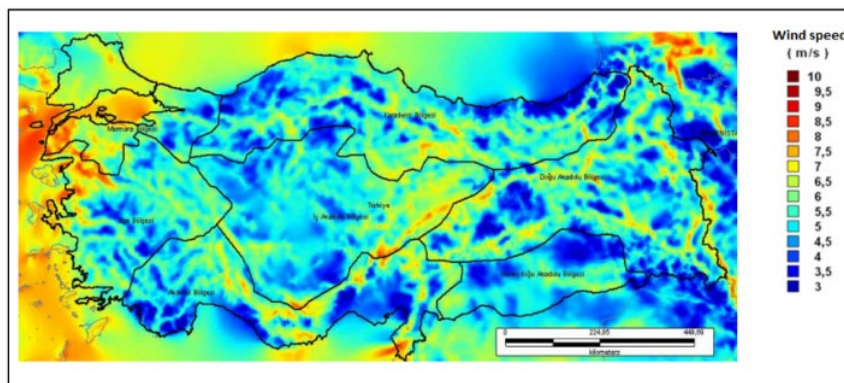


Figure 3. Wind map of Türkiye

1.2. Global perspectives on offshore wind farms

Growing demand for electrical energy and concerns about the consequences of climate change have led governments worldwide to

establish ambitious targets for reducing greenhouse gas emissions and increasing the share of renewable energy sources, such as solar and wind, in their energy portfolios (Graabak *et al.*, 2016).

The wind industry is an emerging sector that experienced significant growth, boasting 1.1 million jobs globally in 2016 (Irena, 2016). Notably, China, Germany, and the USA stand out as the primary employers in this field (Irena, 2016). While onshore WT's constitute a significant portion of the installed capacity, it is observed that the share of offshore WT's in installed capacity has been steadily increasing since 2009 (Leybourne, 2022). In the first quarter of the 2000s, the offshore wind energy industry has evolved from turbines on foundations in shallow waters to floating turbines in deeper waters, and there are even considerations for floating turbines in very deep waters (BOEM wind energy Call Areas and the Castle Winds proposal in California, USA; BOEM, 2018, Trident Winds, 2016) (BOEM, 2021). As an example, China, hold first place, reached 2.8 GW of offshore wind energy capacity in 2017 and aims to reach 30 GW by 2020 (GWEC, 2018). If we delve into the details of these advancements; the most substantial capacity increase in offshore WT's occurred in 2020, reaching 21 GW (Leybourne, 2022). According to the "2021 Global Wind Energy Report" prepared by the Global Wind Energy Council (GWEC), the installed wind power capacity worldwide has reached approximately 837 GW levels. As of the year 2021, 780 GW of the installed capacity comes from onshore wind energy plants, while the remaining 57 GW is from offshore WT's. Since 2001, onshore WT's

has shown significant development in terms of installed capacity, while this progress has been slower in offshore WT's. However, in recent years, significant strides have been made in offshore WT's due to advancements in technology (GWR, 2021). At this point, it can be stated that offshore plants have gained global significance. As of 2021, offshore WT's represents 6.8% of the total installed capacity worldwide, while onshore WT's constitutes 93.2% (Leybourne, 2022).

In the last two decades, there has been a significant increase in new investments in offshore wind energy, particularly in Europe (Fig.4). The total installed capacity in European waters was less than 50 MW in the year 2000, but by the end of 2008, it had risen to approximately 1500 MW (EWEA, 2019). As a result of these investments, there is an annual average growth rate of around 50%. Although most operational offshore systems are concentrated in a limited number of Northern European countries, global interest in offshore wind farms is on the rise (EWEA, 2019). Both onshore and offshore wind turbines share similar components, such as the tower, nacelle, rotor assembly, and rotor blades. However, distinctions emerge concerning factors like costs, size, transportation of components, working environment, novelty, wind conditions, and more (EU-OSHA; 2013). Therefore, the current share of offshore wind farms remains lower compared to onshore activities (EWEA, 2019).

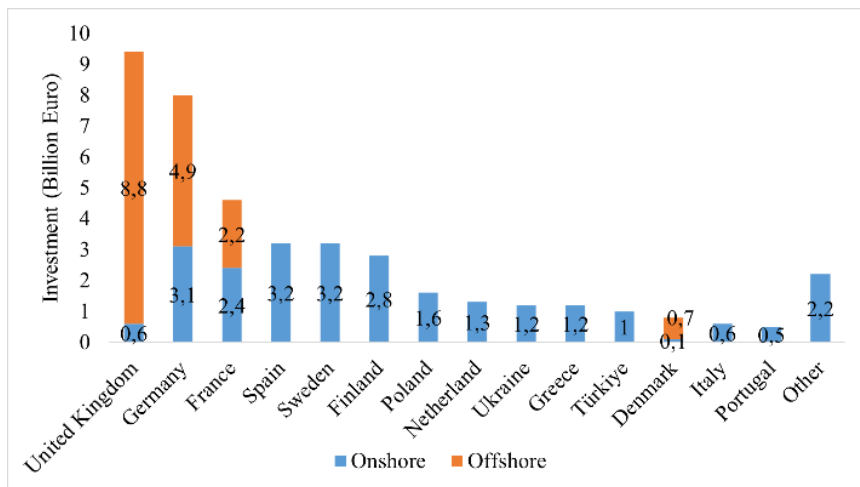


Figure 4. 2021 European wind energy investments

As seen in the Table 1, as of 2021, the global installed capacity of offshore WTs has reached 57,176 MW. Approximately half of this capacity was added in the year 2022 (GWEC, 2022).

Table 1. The installed capacity of offshore WTs and capacity increases worldwide as of 2022.

Country	Installed capacity (MW) 2022	Total capacity (MW) 2022
World	8941	63200
Asia	4678	32496
China	4070	30460
Chinese Taipei	508	745
Japan	0	61
Korea Rep	0	136
Vietnam	100	1094
Europe	4264	30663
Belgium	0	2262
Denmark	0	2306
Finland	0	73
France	480	482
Germany	342	8129
Ireland	0	25
Italy	30	30
Netherlands	760	3220
Norway	60	66
Portugal	0	25
Spain	0	5
Sweden	0	193
UK	2592	13848
European Union	1612	16749
N America	0	41
USA	0	41

1.3. Types of offshore wind turbines

A general categorization for wind turbines installed offshore into the sea beyond the coast is commonly referred to as offshore wind turbines. Installations comprising multiple turbines arranged in groups or arrays are also recognized as offshore wind farms. The primary reasons for preferring installations at sea over onshore wind turbines include their minimal impact on residential areas and the ability to harness higher average wind speeds with less disruption from turbulence, as the wind flows unimpeded. However, offshore wind farms, compared to their

onshore counterparts, are notably disadvantaged in terms of cost. Therefore, when deciding on the installation of any offshore wind farm, profitability calculations must consider installation, maintenance, and operation costs as crucial factors.

Furthermore, various aspects such as the region's wind climate, habitats of marine and airborne species, maritime routes, and other relevant considerations must be thoroughly assessed. Depending on the depth of installation, offshore wind turbines are broadly classified into two main types (Fig.4): those fixed to the seabed and those designed to float (Çokyaşar *et al.*, 2019).

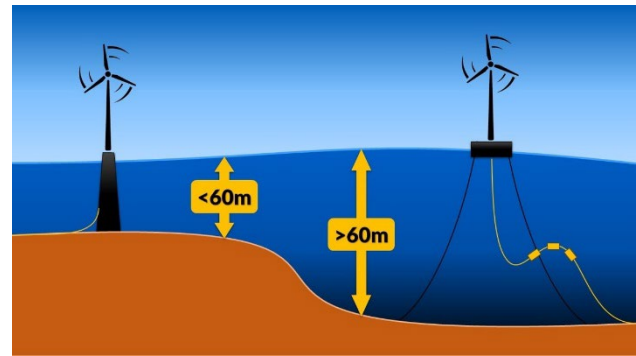


Figure 4. Fixed and floated offshore turbines (TEKMAR, 2023).

2. CHEMICAL EMISSIONS OF OFFSHORE WIND FARMS

2.1. Corrosive products

The generation of electric power through offshore WTs is gaining prominence globally. The offshore WTs can be broadly categorized into tower constructions and transmission platforms, both of which involve intricate engineering steel structures. The costs associated with repairing protective coating systems for offshore WTs are estimated to be approximately 50 times higher than the costs incurred for the initial application of corrosion protection systems during the tower manufacturing process. Consequently, protection systems for offshore WTs need to be designed with high reliability, and their expected durability can exceed 25 years (Momber *et al.*, 2018).

Key design criteria for coating systems on steel encompass binder type, dry film thickness, and

layer system (ISO 12944-5, 2007; NACE SP0108-2008). Due to the absence of specific offshore WT standards, the industry often relies on existing offshore coating standards, despite differing stress conditions between offshore WTs and oil and gas platforms (Norsok M-501, 2012; ISO 20340, 2009). For instance, offshore WT support structures face high dynamic stresses from wind, waves, and operation, requiring resilience to an exceptionally high number of stress cycles throughout their design life (Anderson *et al.*, 2011). These unmanned structures lack systematic inspection and maintenance capabilities (Schaumann *et al.*, 2011). Additionally, internal areas such as monopiles and transition pieces within foundations have been identified as susceptible to corrosion (Hilbert *et al.*, 2011).

A coating system comprises multiple layers, each serving distinct purposes (Soerensen *et al.*, 2009). In the context of corrosion protection, a coating system generally includes the following layers:

Priming coat: the initial coat in the system.

Intermediate coat: any coat positioned between the priming and topcoat.

Topcoat: the final coat in the coating system.

Corrosion protection coatings (Fig.5) (Boga *et al.*, 2021) operate through different protective mechanisms, which can be categorized as follows:

Barrier effect: Priming and intermediate coats with inert pigmentation like titanium oxide, micaceous iron oxide, or glass flakes.

Inhibitive effect: Priming coats commonly use inhibitive pigments, relying on substrate passivation and protective layer buildup, often involving inorganic salts.

Galvanic effect: Achieved with sacrificial coatings, protecting the substrate through galvanic corrosion principles. Common protective metals include zinc and aluminium or their alloys, with zinc-rich organic coats being widely used (Soerensen *et al.*, 2009; Boga *et al.*, 2021).

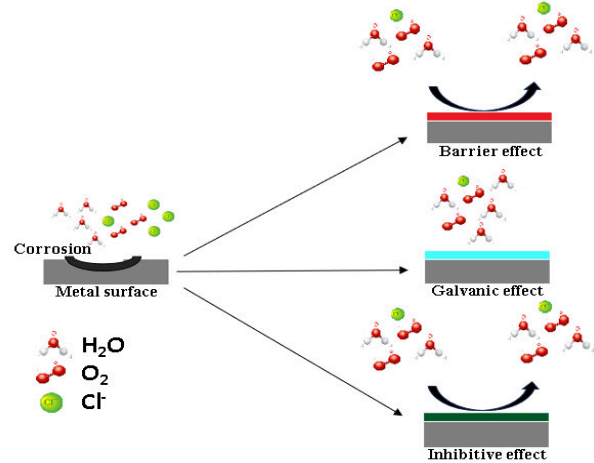


Figure 5. Schematic illustration of barrier; galvanic; and inhibitive effects

Most coatings for offshore WTs are chemically curing systems with two packs: a base component (binder/resin) and a curing agent component (hardener). Common binder types include alkyd, chlorinated rubber, acrylic, polyvinylchloride, epoxy, ethyl silicate, and polyurethane. Common hardeners include polyamines, polyamides, and polyisocyanates, with polyamines being more suitable for priming coats (ISO 12944-5, 2007).

Coating systems, comprising both organic and metallic coatings, can be applied either in a factory setting or on-site. Factory application of coatings provides numerous benefits, including precise control over application conditions to ensure optimal performance, ease of damage repair, and effective waste and pollution management. However, drawbacks should be taken into account, such as limitations on component size and the potential for damage during handling, transportation, and installation. Maintenance activities are typically conducted on-site. The most prevalent methods for applying coatings to structural steelwork in construction involve organic coatings, primarily through manual application or spraying. Additionally, metallic coatings are applied using techniques such as hot-dipping, electroplating, thermal spraying, and diffusion. Both types of coatings contain hazardous components, including poly(vinylchloride) copolymer, chlorinated rubber, zinc silicate, alkyd, epoxy, polyurethane, zinc-iron alloys, silicon, and phosphorous (Price *et al.*, 2017).

In offshore environments, structures are subjected to prolonged exposure to high humidity, elevated salinity levels, intense UV radiation, wave action, and bird droppings. Research indicates that bird droppings can degrade coating systems through chemical processes (Rafiei *et al.*, 2016; Ramezanzadeh *et al.*, 2011; Ramezanzadeh *et al.*, 2009). Ramezanza-deh *et al.* (2009) found that biological materials, such as bird droppings, can chemically impact coating performance through hydrolytic reactions catalyzed by enzymatic structures (Ramezanzadeh *et al.*, 2009). The corrosion rate of steel towers on wind platforms varies depending on factors such as oxygen and humidity levels, water depth around the structure, salt concentration, mechanical stresses (e.g., ice drifts or floating debris), current velocities, biological factors, temperature fluctuations, irregular inspection schedules, maintenance and repair expenses, and the intended design lifespan. All these factors should be considered when selecting a corrosion protection system (Price *et al.*, 2017).

Recent developments include high-solid coats, with a solids volume ranging from 70% to 100%, providing an alternative for offshore WTs applications (Momber *et al.*, 2018).

The exposure to the rigorous marine environment poses a significant challenge for the construction and longevity of offshore structures, predominantly composed of steel. Offshore WTs, offshore substation platforms, and converter platforms are engineered with a minimum operational lifespan of 25 years. The chemical characteristics of the immersion medium, be it seawater or brackish water, exert a pronounced influence on the corrosion mechanisms of metals. Seawater, with its heightened salinity, is notably corrosive in comparison to freshwater. Corrosion rates escalate with the increasing salinity of seawater, while additional factors such as oxygen concentration, pH levels (seawater typically ranging from 7.8 to 8.3), and temperature also contribute to the modulation of corrosion processes (Adedipe *et al.*, 2016; Sato, 2011).

In contrast to the previous studies and reviews addressing various ecological aspects and pressures on the marine environment, there exists

limited knowledge concerning the chemical emissions originating from Offshore Wind Farms throughout their construction, operation, and decommissioning phases, along with their potential impacts on the environmental status of the sea and seafood quality. Potential chemical emissions from the offshore wind industry may arise from various sources, including increased maritime traffic and associated risks of accidental spills, the disturbance of seabed sediment due to subsea cable and foundation construction, discharges from wastewater treatment plants and cooling water from platforms, use of artificial scour protection materials, atmospheric emissions from diesel generators, and direct chemical releases and spills during accidents (e.g., platform fires and the use of firefighting foams, or unintentional spills of oil, lubricants, or coolants). Nevertheless, the risk of emissions or accidental release of these chemicals can be significantly mitigated through the implementation of constructive preventive measures, such as backup systems, secondary containment, closed-loop systems, and recovery tanks (Kirchgeorg *et al.*, 2018).

Due to the emissions generated, it is essential to handle paints and coatings with care. Adhering to all health and safety guidelines provided by the manufacturer during work procedures is crucial to mitigate potential health hazards. Prolonged contact with epoxies may lead to dermatitis, while hardeners found in polyurethane (PU) coatings can impact the respiratory system. Furthermore, many solvents are flammable and pose risks to human skin. When mixing paints and coatings, protective measures should be taken to minimize the inhalation of paint particles and solvents (Price *et al.*, 2017). The painting and coating processes, commonly conducted to mitigate corrosion, particularly on steel components, including composite or ceramic parts within the turbine structure, encompass a range of substances such as chlorinated rubber, acrylic, polyvinyl chloride, epoxy, ethyl silicate, polyurethane, polyamines, polyamides, polyisocyanates, zinc silicate, alkyd, zinc-iron alloys, silicon, and phosphorous. Following degradation under offshore turbine conditions (pH, temperature, salinity, etc.) and exposure to

UV radiation, the emissions resulting from these components will initially integrate into the marine ecosystem and eventually permeate throughout the entire ecosystem over the medium to long term.

2.2. Plastics and derivatives

Across the globe, people extensively utilize plastics, which are organic synthetic polymers, due to their distinctive characteristics such as a high strength-to-weight ratio, bio-inertia, and affordability. The global production of plastic is reported to exceed 300 million tons annually (Plastics Europe), with an estimated 10% of this amount entering the ocean (Thompson, 2007). Studies suggest that 4.8–12.7 million tons of plastic debris find their way into the marine environment each year, and this figure is projected to increase significantly by 2025 (Jambeck *et al.*, 2015). Plastic, known for its persistent nature lasting hundreds to thousands of years (Collignon *et al.*, 2012), poses a potential threat to marine environments and ecosystems. Environmental debris of this nature can be categorized by size into macroplastics, mega plastics, and microplastics (Barnes *et al.*, 2009). Microplastics typically refer to plastic fragments smaller than 5 mm, including those at millimeter and micron levels.

Microplastic sources can be categorized into primary and secondary types. Primary microplastics directly enter the oceans in micro-sized forms, encompassing synthetic fibers, cosmetics, medicine, and raw materials used in plastic production (Ashton *et al.*, 2010; Browne *et al.*, 2011; Fendall *et al.*, 2009; Lechner *et al.*, 2015). Secondary microplastics primarily result from the degradation of larger plastic items through mechanical action, biodegradation, photodegradation, photooxidative degradation, and other processes (Rochman *et al.*, 2013; Zbyszewski *et al.*, 2014).

A standard wind turbine consists of a concrete foundation, a tower constructed from steel and/or concrete, a nacelle comprising steel and copper components, and typically three blades (Vestas 2006; Tremeac *et al.*, 2009; Guezuraga *et al.*, 2012). Wind turbine blades typically consist of either carbon fiber or glass fiber composite material, leveraging the combined properties of

these materials to create lighter, longer blades with optimized aerodynamic shapes, thus enhancing blade performance while maintaining a lightweight profile (Lijin *et al.*, 2018). The majority of blades are composed of a combination of fibers and polymers, constituting 60–70 wt% reinforcing fibers and 30–40 wt% polymer matrix (Liu *et al.*, 2017; Albers 2009; Stewart 2012). For instance, one study estimates that in 2008, 260,000 tonnes of material were used for wind turbine blade production, increasing to 1.18 million tonnes by 2017 (Red 2006). and 43.4 million tonnes by 2050 (Liu *et al.*, 2017). As of now, much of the waste generated from wind turbine blades, predominantly composed of carbon fiber and glass fiber materials, ends up in landfills due to the complexities associated with their recycling (Peter *et al.*, 2022). Both the currently actively used wind turbine blades and the obsolete ones stored in landfills are directly involved in the life cycle by mixing with groundwater through primary or secondary pathways, depending on their size.

Due to their small size, microplastics can be ingested and transferred into the intestinal system, stomach, hepatopancreas, and other tissues of marine biota (Browne *et al.*, 2010; Moos *et al.*, 2012). Microplastic particles also absorb various persistent organic pollutants (POPs) and heavy metals (Bejgarn *et al.*, 2015; Goldstein *et al.*, 2012; Kaposi *et al.*, 2016). These microplastics, along with their associated pollutants, pose toxicity to certain marine life, impacting growth, feeding, spawning, and other physiological activities of organisms (Bejgarn *et al.*, 2015; Goldstein *et al.*, 2012; Kaposi *et al.*, 2016). Moreover, the potential hazards of microplastics extend to humans through the consumption of marine and terrestrial food products, as well as drinking water (Brennecke *et al.*, 2015; Vethaak *et al.*, 2016). Therefore, the investigation of microplastic pollution in the environment is a pressing concern.

Microplastics find their way into the marine environment through various pathways, including sewage river flow, discharge, currents, and wind (Auta *et al.*, 2017; Ryan *et al.*, 2009). They have been discovered in marine surface waters and sediments globally, especially in

coastal and estuarine regions associated with human activities (Cole *et al.*, 2013; Fossi *et al.*, 2012; Lusher *et al.*, 2013; Moos *et al.*, 2012). Coastal areas face an elevated risk of microplastic contamination due to their proximity to microplastic sources, and the abundance of microplastics in coastal sediments surpasses that in the deep sea (Imhof *et al.*, 2013). Additionally, coastal zones are rich in biological resources and serve as crucial ecosystems. The rise in human activities has heightened the threat of microplastic pollution in these coastal zones (Mathalon *et al.*, 2014).

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The development of deepwater, floating offshore WTs offers advantages such as reduced impacts on human activities and marine ecosystems, leveraging existing infrastructure from the offshore oil and gas industry, and accessing larger and more consistent offshore wind speeds (Musial *et al.*, 2010; James *et al.*, 2015; Wang *et al.* 2019a, 2019b). However, the technology supporting deepwater, floating offshore WTs is still in its early stages, with few prototype turbines and mooring systems currently deployed. As a result, the potential environmental effects of these technologies remain speculative.

To date, there is no comprehensive scientific study on the potential environmental impacts of deepwater, floating offshore WTs.

This study aims to focus on examining the chemical emissions, such as corrosion products and types of plastics originating from offshore wind farms, for the first time in the literature. The objective is to investigate their impacts on the marine ecosystem and, consequently, on humans and the environment from a chemical perspective. This information can be valuable for evaluating and permitting processes for deepwater, floating offshore WT development sites and guiding coating products for operational facilities. While a comprehensive applicable study and testing of these effects are currently challenging due to the limited number of deepwater, floating offshore WTs in operation, plausible effects and their potential magnitudes can be estimated and reviewed by combining the

scientific literature on analogous situations.

Boehlert and Gill (2010) conducted a synthesis focusing on the environmental and ecological impacts of ocean renewable energy development, identifying six key stressors: energy removal effects, electromagnetic field (EMF) effects, physical presence of devices, dynamic effects of devices, acoustic effects, and chemical effects. On the other hand, in a comprehensive report on the environmental effects of Marine Renewable Energy (MRE), Copping *et al.* (2016) delved into these stressors, examining associated risks and impacts. These included alterations in physical systems due to energy removal and changes in flow, EMF effects on marine animals stemming from cables, modifications in benthic habitat and reef fish communities due to energy devices, risks to animals from underwater sound, and the collision risk around turbines. In these two studies, by categorizing the direct or indirect impacts of chemical emissions on the marine ecosystem, we have transparently presented the facts and shed light on our compilation of such a review.

Offshore wind farms, harnessing clean technologies, hold the potential to enhance the supply of green energy. However, persistent challenges exist. Some research suggests potential risks to marine fisheries (Deveci *et al.*, 2020), while others emphasize navigation hazards and possible drawbacks to tourism and marine ecology (Kulkarni *et al.*, 2022). With the industry's expansion driven by its extensive supply chain, the environmental and economic impacts of offshore wind farms could escalate.

The intricate interplay between Offshore Wind Power (OWP), the marine economy, and the marine environment is crucial for the prudent advancement of future OWP projects, especially given the industry's rapid growth trajectory. A significant portion of existing literature revolves around OWP's environmental footprints, particularly its interactions with fisheries (Kulkarni *et al.*, 2022). While economic analyses, though limited (Glasson *et al.*, 2022), often concentrate on individual cases, emphasizing direct economic benefits. Notably, empirical studies evaluating OWP's influence on marine sectors like mining, salt production, and chemical production are conspicuously absent.

4. CONCLUSIONS

In conclusion, the development of offshore WTs represents a significant advancement in renewable energy production, offering numerous benefits such as reduced impacts on human activities and marine ecosystems, utilization of existing offshore infrastructure, and access to consistent offshore wind speeds. However, the technology supporting deepwater, floating offshore WT is still in its early stages, with limited deployment of prototype turbines and mooring systems. Consequently, the potential environmental impacts of these technologies remain speculative.

Despite the lack of comprehensive scientific studies on the environmental impacts of deepwater, floating offshore WTs, our study sheds light on the examination of chemical emissions, including corrosion products and types of plastics originating from offshore wind farms. Understanding these emissions' impacts on the marine ecosystem and human health is crucial for evaluating and permitting deepwater, floating offshore WT development sites and guiding coating product selection for operational facilities.

While challenges persist, such as potential risks to marine fisheries, navigation hazards, and impacts on tourism and marine ecology, the expansion of the offshore wind industry presents opportunities for enhancing green energy supply and reducing carbon emissions. However, a thorough understanding of the intricate interplay between offshore wind power, the marine economy, and the marine environment is essential for the prudent advancement of future offshore WT projects. Future research should aim to address gaps in knowledge regarding the environmental and economic impacts of offshore WTs on various marine sectors, facilitating informed decision-making and sustainable offshore wind energy development.

In summary, while offshore wind farms hold the potential to enhance the supply of green energy, the environmental and economic impacts must be carefully considered, especially in the context of the chemical effects on the marine ecosystem. As the industry expands, a holistic understanding of these factors will be essential for sustainable and

responsible offshore wind power development.

ACKNOWLEDGEMENTS

We want to thank to Prof. Dr. Dilek TÜRKER for encouraging us and laid the first stone in writing this review.

AUTHORSHIP STATEMENT

CONTRIBUTION

Gülşah Çelik GÜL: Conceptualization, Methodology, Validation, Formal Analysis, Resources, Writing - Original Draft, Writing-Review and Editing, Funding acquisition.

Metin GÜL: Resources, Writing - Original Draft, Writing-Review and Editing, Data Curation, Software, Visualization, Supervision, Project administration.

CONFLICT OF INTERESTS

The author(s) declare that for this article they have no actual, potential or perceived conflict of interests.

ETHICS COMMITTEE PERMISSION

No ethics committee permissions is required for this study.

FUNDING

No funding was received from institutions or agencies for the execution of this research.

ORCID IDs

Gülşah Çelik GÜL

 <https://orcid.org/0000-0001-7213-1657>

Metin GÜL

 <https://orcid.org/0000-0001-6168-1768>

5. REFERENCES

- Adedipe, O., Brennan, F., Kolios, A. (2016).** Review of corrosion fatigue in offshore structures: present status and challenges in the offshore wind sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6: 141–154. doi: 10.1016/j.rser.2016.02.017.
- Albers, H. (2009).** Recycling of wind turbine rotor blades - fact or fiction? *DEWI Magazine*, 34: 32–41.

- Anderson, T.L., Frigaard, P., Rasmussen, M.R., Martinelli, L. (2011). Loads on Wind Turbine Access Platforms with Gratings, In: Smith, JM, Lynett, P (eds.) Proc. 32nd International Conference on Coastal Engineering. Coastal Engineering Research Council.
- Ashton, K., Holmes, L., Turner, A. (2010). Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 60 (11): 2050–2055. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.07.014.
- Auta, H.S., Emenike, C.U., Fauziah, S.H. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102: 165-176. doi: 10.1016/j.envint.2017.02.013.
- Barnes, D.K., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364 (1526): 1985. doi: 10.1098/rstb.2008.0205.
- Bejgarn, S., Macleod, M., Bogdal, C., Breitholtz, M. (2015). Toxicity of leachate from weathering plastics: an exploratory screening study with *Nitocra Spinipes*. *Chemosphere*, 132: 114–119. doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.03.010.
- Boehlert, G.W., Gill, A.B. (2015). Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development: a current synthesis. *Oceanography*, 23 (2): 68–81. doi: 10.5670/oceanog.2010.46.
- Brennecke, D., Ferreira, E.C., Costa, T.M.M., Appel, D., Gama, B.A.P.D., Lenz, M. (2015). Ingested microplastics (> 100 µm) are translocated to organs of the tropical fiddler crab *Uca rapax*. *Marine Pollution Bulletin*, 96(1–2): 491–495. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.05.001.
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science and Technology*, 45(21): 9175–9179. doi: 10.1021/es201811s.
- Browne, M.A., Galloway, T.S., Thompson, R.C. (2010). Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science and Technology*, 44(9): 3404–3409. doi: 10.1021/es903784e.
- Bureau of Ocean Energy Management (BOEM), Central California Call Area (2021). Accessed Date: 12.11.2023, <https://124.im/aHI> is retrieved.
- Çokyaşar, E., Beji S. (2013). Açık Deniz Rüzgâr Çiftliklerinin Malî Açından İncelenmesi, *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, 216: 1300-1973.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., Galloway, T.S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science Technology*, 47(12): 6646. doi: 10.1021/es400663f.
- Collignon, A., Hecq, J.H., Glagani, F., Voisin, P., Collard, F., Goffart, A. (2012). Neustonic microplastic and zooplankton in the north western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin* 64 (4): 861. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.01.011.
- Copping, A., Sather, N., Hanna, L., Whiting, J., Zydlewski, G., Staines, G., Gill, A., Hutchison, I., O’Hagan, A.M., Simas, T., Bald, J., Sparling, C., Wood, J., Masden, E. (2016). *Annex IV 2016 state of the science report: environmental effects of marine renewable energy development around the world*. OES-Environmental 1–224.
- Deveci, M., Ozcan, E., John, R., Covrig, C.F., Pamucar, D. (2020). A study on offshore wind farm siting criteria using a novel interval-valued fuzzy-rough based Delphi method. *Journal of Environmental Management* 270: 110916. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110916.
- European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), Occupational safety and health in the wind sector (2013). Accessed Date: 10.11.2023, <https://124.im/Eac> is retrieved.
- Fendall, L.S., Sewell, M.A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin* 58(8): 1225–1228. doi: 10.1016/j.marpolbul.2009.04.025.
- Fossi, M.C., Panti, C., Guerranti, C., Coppola, D., Giannetti, M., Marsili, L., Minutoli, R. (2012). Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera Physalus*). *Marine Pollution Bulletin* 64(11): 2374–2379. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.08.013.
- Global Offshore Wind Report (GWR), (2021). Accessed Date: 11.11.2023, <https://124.im/mlHgQ> is retrieved.
- Global Wind Energy Council (GWEC), Global Wind Report 2022 (2022). Accessed Date: 12.10.2023, <https://gwec.net/global-wind-report-2022/> is retrieved.
- Global Wind Energy Council (GWEC), Global Wind Statistics 2017 (2018). Accessed Date: 18.11.2023, <https://124.im/kI9c1du> is retrieved.
- GMKA, TR22 Bölgesi Deniz Üstü Rüzgar Santrali ve Limanı Ön Fizibilite Raporu (2023). Accessed Date: 11.12.2023. <https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/TR22-Bolgesi-Deniz-Ustu-Ruzgar-Santrali-Limani-On-Fizibilite-Raporu.pdf> is retrieved.

- Goldstein, M.C., Rosenberg, M., Cheng, L. (2012).** Increased Oceanic Microplastic Debris Enhances Oviposition in an Endemic Pelagic Insect. *Biological Letters*, 8(5): 817–820. doi: 10.1098/rsbl.2012.0298.
- Guezuraga B., Zauner, R., Pol, W. (2012).** Life cycle assessment of two different 2 MW class wind turbines. *Renewable Energy*, 37(1): 37–44. doi: 10.1016/j.renene.2011.05.008.
- Graabak, I., Korpås, M. (2016).** Variability characteristics of European wind and solar power resources—a review. *Energies*, 9 (6): 449. doi: 10.3390/en9060449.
- Hilbert, L.R., Black, A.R., Andersen, F., Mathiesen, T. (2011).** Inspection and Monitoring of Corrosion Inside Monopile Foundations for Offshore Wind Turbines, Eurocorr 2011: European Corrosion Congress, Paper No. 4730, Stockholm, Sweden, pp. 4–8.
- IEA, World Energy Outlook 2023 (2023).** Accessed Date: 16.12.2023, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A) is retrieved.
- Imhof, H.K., Ivleva, N.P., Schmid, J., Niessner, R., Laforsch, Christian, L. (2013).** Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. *Current Biology*, 23(19): R867-R868. doi: 10.1016/j.cub.2013.09.001.
- International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable energy and jobs—Annual Review 2016 (2016).** Accessed Date: 11.11.2023, <https://124.im/D1n1> is retrieved.
- ISO 12944-5-(2007).** Paints and Varnishes—Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems—Part 5: Protective Paint Systems. *International Standard Organization*.
- ISO 20340-(2009).** Paints and Varnishes—Performance Requirements for Protective Paint Systems for Offshore and Related Structures. *International Standard Organization*.
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L. (2015).** Marine pollution. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223): 768. doi: 10.1126/science.126035.
- James, R., Costa Ros, M. (2015).** Floating Offshore Wind: Market and Technology Review. *The Carbon Trust, United Kingdom* 168.
- Kaposi, K.L., Mos, B., Kelaher, B.P., Dworjanyn, S.A. (2016).** Ingestion of microplastic has limited impact on a marine larva. *Environmental Science Technology*, 48(3): 1638–1645. doi: 10.1021/es404295e.
- Karteek B., Ramykrishna P., Ravi A., Rajender B., Sashivinay K.G. (2021).** The role of anticorrosive polymer coatings for the protection of metallic surface. *Corrosion Reviews*, 39 (6).
- Kirchgeorg, T., Weinberg, I., Hörnig, M., Baier, R., Schmid, M.J., Brockmeyer, B. (2018).** Emissions from corrosion protection systems of offshore wind farms: Evaluation of the potential impact on the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 136: 257–268. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.08.058.
- Kulkarni, S.S., Edwards, D.J. (2022).** A bibliometric review on the implications of renewable offshore marine energy development on marine species. *Aquaculture Fisheries*, 7: 211–222. doi: 10.1016/j.aaf.2021.10.005.
- Lechner, A., Ramler, D. (2015).** The discharge of certain amounts of industrial microplastic from a production plant into the river Danube is permitted by the Austrian legislation. *Environmental Pollution*, 200: 159–160. doi: 10.1016/j.envpol.2015.02.019.
- Leybourne, M. (2022).** Offshore Wind Technical Assistance for Türkiye. *Marentech Expo*, İzmir.
- Life Vestas (2006).** Cycle assessment of offshore and on shore sited wind power plants based on vestas V90-3.0 MW turbines. Accessed Date: 10.12.2023, https://www.vestas.com/~media/vestas/about/sustainability/pdfs/lca_v90_june_2006.ashx is retrieved.
- Lijin, T., Ramachandra, M. (2018).** Advanced materials for wind turbine blade—A Review. *Materials Today Proceedings*, 5: 2635–2640. doi: 10.1016/j.matpr.2018.01.043.
- Liu, P., Barlow, C.Y. (2017).** Wind turbine blade waste in 2050. *Waste Management*, 62: 229–40.
- Lusher, A.L., Mchugh, M., Thompson, R.C. (2013).** Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*, 67(1–2): 94–99. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.11.028.
- Majewski, P., Florin, N., Jit, J., Stewart, R.A. (2022).** End-of-life policy considerations for wind turbine blades. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 164: 112538. doi: 10.1016/j.rser.2022.112538.
- Mathalon, A., Hill, P. (2014).** Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1): 69–79. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.02.018.
- Momber, A.W., Marquardt, T. (2018).** Protective coatings for offshore wind energy devices (OWEAs): a review. *Journal of Coatings Technology and Research*, 15 (1) 13–40. doi 10.1007/s11998-017-9979-5.

- Moos, N.V., Burkhardttholm, P., Köhler, A. (2012).** Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus Edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental Science Technology* 46(20): 11327–11335. doi: 10.1021/es302332w.
- Musial, W., Ram, B. (2010).** Large-Scale Offshore Wind Power in the United: Assessment of Opportunities and Barriers. *NREL TP-500-40745*. doi: 10.2172/990101.
- NACE SP0108-(2008).** Corrosion Control of Offshore Structures by Protective Coatings. Standard Practice SP0108-2008, *NACE*, Houston, TX.
- Norsok M-501-(2012).** Surface Preparation and Protective Coating. Norsok Standard M-501, Rev. 6, *Standards Norway*, Lysaker, Norway.
- Price, S.J., Figueira, R.B. (2017).** Corrosion Protection Systems and Fatigue Corrosion in Offshore Wind Structures: Current Status and Future Perspectives. *Coatings*, 7(2): 25.
- Rafiei, R., Mohseni, M., Yari, H., Mahdavi, M. (2016).** Evaluation of degradability of two polyurethane refinish coatings against biological materials: A case study. *Progress in Organic Coatings*, 93: 1–10.
- Ramezanzadeh, B., Mohseni, M., Yari, H. (2011).** On the electrochemical and structural behaviour of biologically degraded automotive coatings; Part 1: Effect of natural and simulated bird droppings. *Progress in Organic Coatings*, 71: 19–31. doi: 10.1016/j.porgcoat.2010.12.003.
- Ramezanzadeh, B., Mohseni, M., Yari, H., Sabbaghian, S. (2009).** An evaluation of an automotive clear coat performance exposed to bird droppings under different testing approaches. *Progress in Organic Coatings*, 66: 149–160. doi: 10.1016/j.porgcoat.2009.06.010.
- Red, C., Wind turbine blades: big and getting bigger. Composite Technology, (2006).** Accessed Date: 17.12.2023, <http://www.compositesworld.com/articles/wind-turbine-blades-big-and-getting-bigger> is retrieved.
- Rochman, C.M., Browne, M.A., Halpern, B.S., Hentschel, B.T., Hoh, E., Karapanagioti, H.K., Rios-Mendoza, L.M., Takada, H., Teh, S., Thompson, R.C. (2013).** Policy: classify plastic waste as hazardous. *Nature*, 494 (7436): 169–171. doi: 10.1038/494169a.
- Ryan, P.G., Moore, C.J., Franeker, J.A.V., Moloney, C.L. (2009).** Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364(1526): 1999–2012. doi: 10.1098/rstb.2008.0207.
- Sato, N. (2011).** Basics of corrosion chemistry. In: *Green Corrosion Chemistry and Engineering*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany 1–32. <https://doi.org/10.1002/9783527641789.ch1>.
- Schaumann, P., Lochte-Holtgreven, S., Stepler, S. (2011).** Special Fatigue Aspects in Support Structures of Offshore Wind Turbines. *Materwiss. Werkstofftechn.*, 42: 1075–1081. doi: 10.1002/mawe.201100913.
- Soerensen, P.A., Kiil, S., Dam-Johansen, K., Weinell, C.E. (2009).** Anticorrosive Coatings: A Review. *Journal of Coatings Technology and Research*, 6(2): 135–176. doi: 10.1007/s11998-008-9144-2.
- Stewart, R. (2012).** Wind turbine blade production - new products keep pace as scale increases. *Reinforce Plastics*, 56(1): 18–25. doi: 10.1016/S0034-3617(12)70033-4.
- TEİAŞ, Kurulu Güç Raporları (2022).** Accessed Date: 17.12.2023, <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari> is retrieved.
- TEKMAR (2023).** Accessed Date: 14.12.2023, <https://deepwaterbuoyancy.com/comparing-fixed-and-floating-offshore-wind-turbines/> is retrieved.
- The European Wind Energy Association (EWEA) (2019).** Accessed Date: 10.11.2023, <https://124.im/iouvr> is retrieved.
- Thompson, R.C. (2007).** Plastic debris in the marine environment: consequences and solutions. In: *Marine Nature Conservation in Europe*.
- Tremeac, B., Meunier, F. (2009).** Life cycle analysis of 4.5 MW and 250 W wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8): 2104–2110.
- Vethaak, A.D., Leslie, H.A. (2016).** Plastic debris is a human health issue. *Environmental Science Technology*, 50(13): 6825–6826. doi: 10.1021/acs.est.6b02569.
- Wang, Y., Walter, R.K., White, C., Farr, H.K., Ruttenberg, B.I. (2019a).** Assessment of surface wind datasets for estimating offshore wind energy along the Central California Coast. *Renewable Energy*, 133: 343–353. doi: 10.1016/j.renene.2018.10.008.
- Wang, Y.H., Walter, R.K., White, C., Kehrli, M.D., Hamilton, S.F., Soper, P.H., Ruttenberg, B.I. (2019b).** Spatial and temporal variation of offshore wind power and its value along the Central California Coast. *Environmental Research Communications*, 1: 121001. doi: 10.1088/2515-7620/ab4ee1.

Zbyszewski, M., Corcoran, P.L., Hockin, A. (2014). Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America. *Journal of Great Lakes Research*, 40(2): 288–299. doi: 10.1016/j.jglr.2014.02.012.

Zou, C., Zhao, Q., Zhang, G., Xiong, B. (2016). Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. *Natural Gas Industry B.*, 3(1): 1-11. doi: 10.1016/j.ngib.2016.02.001.

A novel quantitative approach to the choice of transshipment container port in the Eastern Mediterranean basin

Doğu Akdeniz havzasında aktarma konteyner limanı seçimine yeni bir niceliksel yaklaşım

Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi

Cilt: 10 Sayı: 3 (2024) 145-158

Volkan EFECAN^{1,*} 

¹Mersin University, Vocational School of Maritime, Department of Transportation Services, Mersin, Türkiye

ABSTRACT

In container transportation by sea, it is crucial to define the transshipment design. Liner operators aim not only to reduce operational costs but also to maximize customer satisfaction. Therefore, selecting a transshipment hub port becomes paramount for achieving efficient transshipment capabilities. The study aims to propose an alternative approach to determine the best transshipment hub port for a northbound container ship entering the Eastern Mediterranean basin through the Suez Channel. The proposed model evaluates the container ports with a novel quantitative method. The choice criteria were weighted with the AHP (Analytic Hierarchy Process) method and numerical data acquired with various scientific methods regarding each criterion was used to rank the alternatives based on TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions). Additionally, to generate data and utilize it as a criterion a cross-sectional efficiency snapshot regarding the evaluated container ports was also taken using the bootstrap DEA (Data Envelopment Analysis). Thus, as a decision-maker, the line operator can determine the transshipment port quickly using an easily applicable method upon determining the port calls and the schedules. The findings imply that connectivity is the most important criterion for transshipment hub port choice for containerized goods. The location was also considered important for this choice, but to improve transshipment function, the proper way may be to draw beneficial strategies on maritime connectivity. Conversely, capital investments such as superstructure improvement were found to be less critical for an attractive transshipment hub.

Keywords: Transportation, Port, Container, Transshipment, AHP, TOPSIS.

Article Info

Received: 09 December 2023

Revised: 21 March 2024

Accepted: 27 March 2024

* (corresponding author)

E-mail: volkanefecan@mersin.edu.tr

To cite this article: Efecan, V. (2024). An application of integrated AHP and TOPSIS methodology on the choice of transshipment container port in the Eastern Mediterranean basin. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 10(3): 145-158. doi: 10.52998/trjmms.1402544.

ÖZET

Deniz yoluyla konteyner taşımacılığında aktarma tasarımının tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Düzenli hat operatörleri sadece operasyonel maliyetleri azaltmak değil, aynı zamanda müşteri memnuniyetini de en üst düzeye çıkarmak istemektedir. Bu nedenle, verimli aktarma yeteneğinin kazanılmasında aktarma merkezi limanı seçimi problemi ön plana çıkmaktadır. Bu çalışma, Süveyş Kanalı üzerinden Doğu Akdeniz havzasına giren kuzey yönlü bir konteyner gemisi için en iyi aktarma merkezi limanını belirlemek amacıyla alternatif bir yaklaşım uygulamayı amaçlamaktadır. Önerilen model, konteyner limanlarını yeni bir niceliksel yöntemle değerlendirmektedir. Seçim kriterleri AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve her bir kritere ilişkin çeşitli bilimsel yöntemlerle elde edilen sayısal veriler kullanılarak alternatiflerin TOPSIS'e (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Yöntemi) göre sıralanması sağlanmıştır. Veri oluşturmak ve bunu bir kriter olarak kullanmak için, önyüklemeli DEA (Veri Zarflama Analizi) kullanılarak değerlendirilen konteyner limanlarına ilişkin bir kesitsel verimlilik anlık görüntüsü de alınmıştır. Böylece karar verici olarak hat operatörü, liman uğraklarını ve tarifelerini belirleyerek, kolay uygulanabilir bir yöntem kullanarak aktarma limanını hızlı bir şekilde belirleyebilir. Bulgular, konteynerle taşınan mallar için aktarma merkezi limanı seçiminde bağlantının en önemli kriter olduğunu göstermektedir. Bu seçim için konumun da önemli olduğu değerlendirildi, ancak aktarma işlevini geliştirmek için doğru yol, deniz bağlantısı konusunda faydalı stratejiler belirlemek olabilir. Öte yandan üstyapının iyileştirilmesi gibi sermaye yatırımlarının cazip bir aktarma merkezi için daha az önemli olduğu görüldü.

Anahtar sözcükler: Ulaşım, Liman, Konteyner, Aktarma, AHP, TOPSIS.

1. INTRODUCTION

The rapid growth of international trade imposes maritime transportation as a crucial subject. Affecting by this growth, the regular liner shipping industry has become more complex to adapt to strategic alliances and the larger ships and fleet sizes associated with the alliances (Kavirathna, 2018). With the end of the critical supply chain disruptions in the last few years, the relative decline in international sea freight rates for container cargo in the second half of 2022 is notable (UNCTAD, 2023). However, high transportation costs remain a key concern. As a result, the line operators are in a more competitive environment for their cost and pricing strategies. A container line operator manages a fleet of ships deployed on shipping lines consisting of a series of ports to carry containers between ports at a regular service interval. Due to the increasing demand for container shipping, they are deploying large oceangoing ships carrying between hub ports to benefit from economies of scale (Meng and Wang, 2011). Thus, a new route pendulum is defined from transshipment ports to the final

destination. In this regard, transit port selection becomes crucial for a container line operator. Since container ports are critical nodes for the supply chain, deciding the most suitable transshipment port can help increase efficiency and reduce costs for the line operators. Container ports in the East Mediterranean are playing a significant role between Europe, Asia and North Africa. These container ports link these continents, acting as strategic nodes facilitating intercontinental cargo carriage (Moschovou and Kapetanakis, 2023). Container handling in this region has dramatically increased in recent years (Notteboom *et al.*, 2023). To access the Mediterranean via the Asian route, there are several alternatives other than Port Said port at the northern exit of the Suez Canal to unload the transit cargo on a mother ship using the Suez route. However, each of these alternatives has its own set of advantages. Therefore, making the right decision can be considered a multi-criteria decision problem. No scientific study has been found that examines the preferability of container ports in the Eastern Mediterranean in terms of transit cargo handling demand using multi-criteria decision-making

techniques based on quantitative methods. Therefore, it is thought that there is a gap in the literature. Hence, this study aims to address the selection of suitable ports for unloading transit cargo in the Eastern Mediterranean using multi-criteria decision-making techniques. Criterion weights were obtained using AHP (Analytic Hierarchy Process) with expert opinion, and the ranking of the alternative container ports was made using TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) with quantitative data.

In the second section of the study, the literature was reviewed. In the third section, the approaches used were summarized. While the fourth section includes the findings and discussion, the last section contains the results and limitations of the research.

2. LITERATURE REVIEW

Goal, motivation and strategy lead the practitioner to various kinds of examining the port selection criteria. In this context, there have been three main perspectives to be considered in the maritime supply chain. First is the freight forwarder, second are the shippers and the third is the line operators (Georgoulas *et al.*, 2023). Line operators are generally affected by distinctive port features such as the port's throughput, infrastructure, and connectivity, even if on a different level (Mulder and Dekker 2017). Therefore, a visionary container port may need to assess the potential and actual demand for transit cargo based on many features. Recent literature on these features regarding the choice of transshipment container port varies partially. Because the choice of transshipment port is quite complex and requires extra effort to be figured out considering relevant rational issues. In this context, Brian (1985) argues that the line operators are influenced by cost more than infrastructure and other relevant features of the ports. In contrast, the geographical or the infrastructural features may play a crucial role in the selection process. For instance, Sternberg (2000) states that the Gioia Tauro port in the mid-Mediterranean region is a significant container transshipment port. This distinctive transshipment port had converted substantially in

terms of its function from an iron ore port to a container port by 1998 thanks to its superior geographical location, connectivity, operational efficiency and continuous investment in infrastructure and facilities. While Ernst (2001) argues that the increase in transit freight potential is due to an increase in service frequency, transportation and the establishment of intermodal alliances. According to Mary (2000), in addition to distance or operational efficiency, transit time, service frequency, and equipment necessity also affect the choice. The literature reveals that various criteria have been addressed in previous studies. It is thought that diversity may arise from the perspective that evaluates the criteria. Nevertheless, it can be said that in most studies, criteria such as cost, connectivity and location come to the fore.

On the other side, there are also methodological advancements in port selection in the literature. Georgoulas *et al.* (2023) proposed an AHP-based decision support system that enables practitioners' decision-making based on their subjective experience and within realistic time constraints. Chou (2007) ranked the three Taiwanese container ports in terms of their futures related to the transshipment function using a novel canonical representation of multiplication operation on three fuzzy numbers to define the importance of criteria. For a higher transshipment demand, the volume and the cost of handled containers are followed by efficiency, infrastructure and location. Baştuğ *et al.* (2022) examine whether the choice criteria prioritized by line operators align with what the ports themselves consider as crucial for their regional competitiveness. This topic is quite interesting especially for Mediterranean basin. Because the liner operators are working in a dynamic environment that may affect their port selection choices substantially and the port costs may be a secondary consideration. The findings are interesting because they imply that the point of view of port operators does not coincide with the point of view of line operators and that line operators may prioritize different criteria in port selection. According to the findings, the most important criteria of competitiveness for port operators are the location of the port, service level, pricing and superstructure, whereas the

most important criterion for carriers is operational efficiency. In line with Baştuğ *et al.* (2022), Cruz *et al.* (2013) applied the Analytical Hierarchy Process (AHP) in their study, and they observed that the main factors of port competitiveness from the perspective of port customers are quite different from the service provider. They found that according to ocean freight carriers, the main factor that stands out in competitiveness is vessel turnaround time, followed by intermodality, equipment and infrastructure, distance to the hinterland and depth. Even not in port selection, some studies integrating AHP and TOPSIS methods to assess selection problems in other fields (Xiangda *et al.*, 2023; Haktanır and Kahraman, 2024).

3. METHODOLOGY

3.1.AHP

This study adopts the AHP developed by Saaty (1980) to determine criteria priorities for the defined problem. AHP consists of both subjective interpretations and objective evaluations of the decision-makers. In this sense, it allows the decision-makers to model the goal, alternatives, criteria, and their inter-relationships in a hierarchical structure. It can be expressed

that the crucial advantage of this method is to allow the preferences, and intuition, in a logical and structured way. Since the mid-1980s, this method has become more popular due to the development of group decision support systems. On the other hand, the hierarchical structure of AHP may not be suitable to model the complexities of certain scenarios, especially in contexts that are broader or different in terms of industry and culture, due to the lack of flexibility in the structure to consider specific characteristics of actual scenarios (Munier & Hontoria, 2021). Even though there are some discussions about the AHP methodology and its application in the relevant literature, its intuitive nature and mathematical rigor have made it one of the most widely used decision-making techniques worldwide (Mu and Pereira-Rojas, 2018).

Expert opinions were used to define the priorities of the transshipment port alternatives according to a set of criteria, 10 experts on port management and maritime transportation filled out a questionnaire regarding possible criteria weights. While determining the experts, their in-depth knowledge of the port's infrastructure and superstructure and the factors affecting customer preferences were taken into account. The profiles of the experts are summarized in Table 1.

Table 1. The profile of experts

Interviewee	Job	Rank	Expertise
Expert 1	Academician	Professor	Port management
Expert 2	Academician	Assistant Professor	Maritime Transportation
Expert 3	Academician	Associate Professor	Port management
Expert 4	Academician	Associate Professor	Port management
Expert 5	Academician	Lecturer, PhD	Port management
Expert 6	Academician	Lecturer, PhD	Maritime Transportation
Expert 7	Academician	Lecturer, MD	Maritime Transportation
Expert 8	Academician	Research Assistant, PhD	Port management
Expert 9	Freight Forwarder	Sales Manager	Maritime Transportation
Expert 10	Logistician	Managing Director	Maritime Transportation

The implementation of the proposed AHP on transshipment port selection problem is summarized as follows.

Defining the goal: AHP is applied to solve a problem or achieve a defined purpose in a situation or case. In the application, the goal needs to be defined clearly and can be understood

by all participants.

Constructing pair wise comparison matrices:

With AHP, one can determine the priorities of each factor by pair wise comparison between the main and sub-factors (if any) to measure the marginal relationship of the criteria with the goal. Due to such complexity, Saaty (2008) suggests

identifying all criteria affecting the decision and grouping those with common characteristics among the factors in question. After all the factors affecting the decision are brought into a hierarchical structure, the participants' priorities regarding the factors and alternatives are determined by pair wise comparison. Pairwise comparisons consist of matrices in which alternatives are compared, initially considering the main factors, then the sub-factors in each main factor, and finally all factors.

Expert opinion is used to determine the importance levels of factors and alternatives. For this, the score scale between "1" and "9"

suggested by Saaty (1990), is used. If the decision-maker thinks that either factors or alternatives have equal importance, the decision-maker marks as "1" among the relevant factors and alternatives. If the decision-maker argues that one of the two alternatives is more important or preferable than the other, he assigns a score of 9 to that factor or alternative. On a 1–9-point scale, each rating implies the degree of importance or favorability. In this way, factor sets are standardized. Importance scale proposed by Saaty (1990) is given in Table 2.

Table 2. Saaty’s scale of relative importance (Saaty, 1990)

Intensity of importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Equal contribution to the goal
3	Weak importance of one over another	Experience and judgment slightly favor one activity over another
5	Essential or strong importance	Experience and judgment strongly favor one activity over another
7	Demonstrated importance	An activity is strongly favored and its dominance demonstrated in practice
9	Absolute importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
2, 4, 6, 8	Intermediate values between two adjacent judgments	Intermediate values

The given points by each expert to each comparison are placed in matrices. To represent all participants through an average value, the geometric mean of each value group is taken. The geometric mean is consistent with the meaning of both judgments and priorities in AHP. In the matrix created for each level in the hierarchy, the priority value for pair wise comparison is written as it is, while the diagonal value is written inverted (1/value).

Calculation of priorities of factors for each level: After the comparison matrices are constructed, row averages are obtained by normalization. Thus, the row average for each factor indicates the priority of decision-makers regarding each factor. This process continues by making a pair wise comparison of factors, making a pair wise comparison of sub-factors, and comparing alternatives for each factor. Normalization and the definition of normality vector used are given in Equation (1) and Equation (2), respectively.

Normalization:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \tag{1}$$

Definition of Normality Vector:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}}{n} \tag{2}$$

Checking consistency:

The criterion weights obtained for the factors and alternatives should be consistent. The AHP method can determine whether experts give consistent answers to the questionnaire. Saaty (1990) suggested calculating the consistency ratio index (CI) with the values in the comparison matrices. If the obtained consistency ratio (CR) is less than 0.1, it can be said that the scores assigned are internally consistent. Otherwise, the

responses provided should be reassessed. The equations (3) and (4) are as follows, regarding the calculation of consistency ratio.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{(n-1)} \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

λ_{max} is the largest eigenvalue of each matrix. CI is the deviation of λ_{max} from n . RI (Randomness Index) is the randomly calculated correction rate for matrices of various sizes.

3.2. TOPSIS

To compare the alternatives according to the weighted criteria, TOPSIS method were used. One valid reason to prefer this MCDM technique is to pave the way for the actual quantitative data directly to be utilized. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to An Ideal Solution) is one of the well-known Multi Criteria Decision Making (MCDM) methods developed by Hwang and Yoon (1981). In this approach, while maximizing the benefit, the solution is expected to be closest to the positive ideal solution and furthest from the negative ideal solution. When making decisions among alternatives, the closest alternative to the positive ideal solution and the furthest alternative from the negative ideal solution is chosen as the best one.

The TOPSIS approach is performed in seven steps. In step 1, the decision matrix consists of

$$A^+ = \{(maxV_{ij}|j \in J), (minV_{ij}|j \in J^c)\} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (5)$$

$$A^- = \{(minV_{ij}|j \in J), (maxV_{ij}|j \in J^c)\} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (6)$$

In step 5, the separation measures are calculated. The deviation of the alternatives from the positive and negative ideal solutions is calculated with the Euclidian distance function. Positive ideal separation (S_i^*) and negative ideal separation (S_i^-) are calculated as shown in Equation (7) and Equation (8), respectively. In this case, J represents the benefit, J^* represents the cost criterion. Obtained pairs of S_i^* and S_i^- values should be equal to the number of alternatives.

the n criteria and m alternatives. The decision matrix is also called the initial matrix, as shown in Table 3.

Table 3. Initial matrix

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

In step 2, the decision matrix is normalized. Data obtained using different scales are made comparable using normalization process. In this step, each element in the matrix is normalized by dividing by its column total. Each column of the normalized matrix sums to 1. In step 3, The sum of each row of the normalized matrix is averaged by dividing by the size of the matrix. These values are the importance weights calculated for each criterion. These weights form the priority vector. The weighted criteria values (w_{ij}) are multiplied by each normalized matrix element (r_{ij}). In step 4, the positive and negative ideal solution values are calculated. For the ideal solution, the highest and lowest values in each column are selected among the values obtained in the previous step. For the beneficial criteria, the highest value is prioritized and for the cost criterion the lowest value is prioritized. In following Equation (5) and Equation (6), A^+ represents the best alternative, A^- is the worst one.

$$(S_i^*) = \sqrt{\sum (v_{ij} - v_{j^*})^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (7)$$

$$(S_i^-) = \sqrt{\sum (v_{ij} - v_{j^-})^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (8)$$

In step 6, the relative priority is calculated according to the ideal solution. The proximity of the alternatives to the ideal solution C_i^* is determined by using ideal and negative ideal separation measures as shown in Equation (9).

The value used for this is the share of the negative discrimination measure in the total separation measure. Proximity to the ideal solution;

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}; \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad (9)$$

In the final step, alternatives are ranked according to the relative proximity values. Thus, by sorting the C_i^* values from large to small, the

closest one to the ideal solution is determined as the best alternative.

Hierarchical model for best transshipment port selection:

This study examines the transit port selection criteria and the best choice of container ports for Far East-Europe line operators in the Eastern Mediterranean after the Suez Canal passage. For this purpose, a four-level AHP model consisting of goal, criteria, sub-criteria and alternatives was created based on expert opinions because of the current literature as summarized in Table 4.

Table 4. Current literature which benefited for criteria selection

Study	Criteria	Study	Criteria
Georgoulas <i>et al.</i> , 2023	Seaport facilities and equipment	Chou, 2007	Port location
	Depth		Hinterland economy
	Connectivity		Port physical
	Vessel time at port		Port efficiency
	Proximity to import/export area		Cost

Based on the existing literature, the criteria identified by brainstorming were scored by experts in the field with a questionnaire compatible with the AHP methodology. Pairwise comparison values obtained with Super Decisions 3.2 computer software were analyzed, and the priority values and order of main and sub-criteria affecting the line operators' transit container port selections were determined. Constructing a hierarchical structure is routine for AHP to deal with a complex problem or achieve a goal. In a hierarchical structure, the goal, criteria, and alternatives are organized from

top to bottom. This hierarchical structure allows the multidimensional decision-making process to be systematically reduced. Thus, decision-makers benefit from the inter-relationships of the components between hierarchical tiers to facilitate the comparison to be performed in the next stage. In this step, the criteria are compared among themselves. Defining the hierarchical structure paves the way for the second step to determine the criteria importance with a pairwise comparison. Proposed hierarchical structure for the port choice for container transshipment problem is illustrated in Figure 1.

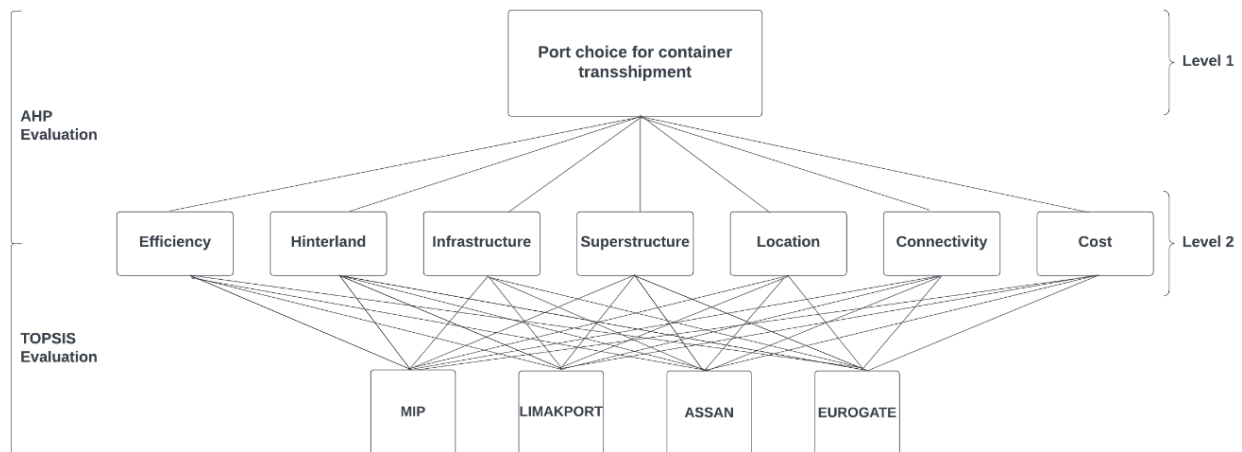


Figure 1. Hierarchical model of port choice for container transshipment

The final decision is reached by determining the relative importance of the alternatives. For this purpose, priority values for the alternatives are obtained by multiplying the priority values of the alternatives for the main factors with the priority values for the main factors. The alternative with the highest priority value is considered the most preferable or most important alternative. The binary comparisons between alternatives are performed with quantitative data.

The alternatives:

MIP (Mersin International Port) is connected by rail and land transportation to Turkey's industrialized cities and neighboring countries. It is one of the crucial container ports in the Mediterranean, with its transit and hinterland connections with the Middle East and the Black Sea. MIP is Turkey's largest port in terms of annual output and its existing backyard (MIP, 2023). This multi-purpose port draws attention to its efficient output levels as highlighted in relevant research (Ateş, 2010; Ateş and Esmer, 2011; Merk and Bagis, 2013; Akyar and Çetin, 2019).

Following substantial investments as part of the privatization process, starting from January 2012, pier structures, storage areas, traffic lanes, port inward and outward passage lines were overhauled, warehouses and all buildings that have completed their economic life were demolished and rebuilt, and new shore and yard cranes were supplied for port operations. In addition, dredging was carried out in the port, allowing ships with a draft of up to 14.50 - 15.00 meters to berth. As a result of the investments, Iskenderun port has become a modern and developed port. The port carries out its services as Limak Iskenderun International Port Management Inc (LIMAK PORT, 2023).

ASSAN PORT was put into service at the end of 2010. Assan Port is the first container terminal serving modern container ships in the Gulf of Iskenderun, as of its opening date, has become a crucial alternative for the subject hinterland. It has an annual capacity of 250,000 TEU and aims to reach a capacity of 400,000 TEU with new investments. In addition to providing an advantage for companies in the Eastern Mediterranean, Southeastern Anatolia and the south of Central Anatolia in terms of its

geographical location, it is a close alternative container terminal opening to the west for Northern Iraq (ASSAN PORT, 2023).

The Port of Limassol is the main port on the Island of Cyprus. EUROGATE took over operations of the container port in January 2017 (EUROGATE, 2023). This port draws attention with its distinctive geographic location and successful managerial strategies.

The criteria:

The literature review and expert opinion were utilized to select criteria —and determine the importance levels using the AHP approach. As a result, the main criteria affecting line operators' transit cargo port selection are efficiency, hinterland, infrastructure, superstructure, location, connectivity and cost with a two-level AHP model of 10 experts. Pairwise comparisons of the criteria were performed with TOPSIS based on quantitative data as summarized in Table 1 and 4.

Maritime connectivity:

Globalized production, trade, communication and finance depend on connectivity which refers to the opportunities for individuals, businesses, and nations to establish connections. Improved liner shipping connectivity can help reduce trade costs and has a direct, positive bearing on trade volumes (UNCTAD, 2017). Therefore, this critical feature of a container port is included to the model as a main criterion. By the end of 2022, Port liner connectivity index (PLCI) calculated by UNCTAD (2023) are as shown in Table 5.

Table 5. Port liner connectivity scores (UNCTAD, 2023)

Terminal	PLCI
MIP	41.59
LIMAK	28.54
ASSAN	28.54
EUROGATE	10.96

Efficiency:

For a container port, efficiency can be defined as the ratio of the inputs required to carry out handling and related activities to the handling and linked services achieved (Farrell, 1958; Charnes *et al.*, 1978). It is considered that the ratio of physical equipment and infrastructure inputs used for handling the output is technical

efficiency and bootstrap efficiency scores are estimated using the procedure of Simar and Wilson (1998) to prevent bias due to the small sample size ($n = 16, replication = 200$). To measure the technical efficiency of the examined terminals, the data gathered for the years between

2019 and 2022 from TURKLIM (2020, 2021, 2022, 2023) and official websites of the terminals. The descriptive statistics of the variables used in the frontier-based bootstrap DEA efficiency model are summarized in Table 6.

Table 6. Descriptive statistics of the input/output variables

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
<i>Output</i>					
Throughput (TEU)	6	771,692.813	748,837.002	177,661.000	2,097,349.000
<i>Inputs</i>					
Terminal area (Ha)	6	217.063	350.783	22.500	920.000
Berth length (m)	6	1,625.500	1,109.883	680.000	3,370.000
Channel / Berth depth (m)	6	16.650	1.404	15.800	19.000
Handling equipment (pcs)	6	8.188	5.753	4.000	18.000

The efficiency analysis was performed with R “Benchmarking” community contributed package. The estimated efficiency levels are shown in Table 7. According to the results, while MIP is the relatively the most efficient terminal, ASSAN is the least in East Mediterranean basin. The relative efficiency levels of LIMAK and EUROGATE were estimated as 0.87 and 0.75.

Table 7. Bootstrapped efficiency scores

Variable	Mean	Std. Dev.	Min	Max
MIP	0.889	0.017	0.867	0.904
LIMAK	0.870	0.092	0.734	0.939
ASSAN	0.499	0.074	0.400	0.560
EUROGATE	0.749	0.026	0.716	0.778
Average	0.752	0.170	0.400	0.939

Hinterland:

Seaports serve the hinterland with rail and land transportation. In this sense, for a container port, the hinterland can be defined as the related economic area (Atak and Esmer, 2021). Bucak and Esmer (2019) emphasized that accessibility to the hinterlands should be optimized. They stated that there are many studies on this subject in the literature. Therefore, it is considered that

hinterland accessibility, economic level and size can affect customer preferences, as they are the factors that relate to the service network and size of the port. GDP (Gross Domestic Product) per capita in US dollars was used as a proxy of the hinterland size. GDP per capita as of the end of 2022 of Mersin, Hatay and Limassol are 8278 \$, 6785 \$ and 32093 \$, respectively.

Infrastructure:

The approach channel, breakwater and port entrance, seabed and docks of a container port are considered the infrastructure of that port. Maneuvering restrictions, improper quay shape, and insufficient berth length regarding the time and difficulty of berthing and unberthing operations may affect the choice of container line operators. Deeper terminals, longer berth spaces and large turning circles are considered critical elements of a transshipment terminal. Principal component analysis was performed to calculate a component that presents a proxy of the total infrastructural ability of the container ports based on different scale features. Table 8 summarizes the infrastructural features of the alternative terminals and the normalized infrastructure score as of the end of 2022.

Table 8. Infrastructural features of the terminals

Terminal	Terminal area (Ha)	Total berth length (m)	Maximum berth depth (m)	Normalized PCA score
MIP	124	3,370	15.8	3.62
LIMAK	27	1,652	15.8	1.52
ASSAN	22.5	680	19	0
EUROGATE	34	800	16	1.11

Superstructure:

The number of the equipment that performs the handling mechanically can also be a factor that will affect customer choice. The quantity of the shore crane that performs the handling work may cause interruption in operation process. Therefore, it is considered as an influential factor in the customer's choice of products. Table 9 summarizes the infrastructural features of the alternative terminals as of the end of 2022.

Table 9. Superstructure of the terminals

Terminal	Handling equipment (pcs)
MIP	18
LIMAK	6
ASSAN	4
EUROGATE	5

Location:

It is thought that the location of the container port can be crucial in a line operator's choice. As the liner services are organized according to a prefixed schedule, optimized vessel speed and possible port congestions are undesirable situations, and distance and number of calls are complex issues that vary with the port location. Therefore, the location of a container port is considered as main and sub-criteria in the model. Distance to main trade routes, geographic location and the status for a regional competitive environment may be crucial in terms of being a distinctive transshipment container port. The

shortest distances to the Asia-Europe main route are given in Table 10. Accordingly, Limassol EUROGATE terminal is the most advantageous terminal in terms of the distance to the main route.

Table 10. Distance to the main route (Port Said)

Alternative	Distance (km)	Distance (nautical miles)
MIP	659.03	355.79
LIMAK	696.26	375.89
ASSAN	703.52	379.81
LIMASSOL	380.80	205.58

Cost:

Like every commercial enterprise operated for profit, liner operators operate ships to make a profit. Therefore, it is thought that port fees and handling tariffs may also be effective in the selection criteria of line operators. The transshipment costs gathered from official websites of the alternatives based on the beginning of 2023 prices are given in Table 11. The average price for each terminal is calculated using the following Equation (5).

$$AverageTransCost_{DMU_i} = AritmeticMean(Price_{TEU,FULL}; Price_{TEU,EMPTY}) + AritmeticMean(Price_{FEU,FULL}; Price_{FEU,EMPTY}) \quad (5)$$

Table 11. Transshipment costs¹ based on 2023 prices.

Terminal	Condition	TEU (\$)	FEU (\$)	Average Cost (\$)
MIP	Full	115	115	97.500
	Empty	80	80	
LIMAK	Full	110	110	90.000
	Empty	70	70	
ASSAN	Full	110	160	117.500
	Empty	100	100	
LIMASSOL	Full	164.77	164.77	123.605
	Empty	82.44	82.44	

4. FINDINGS AND DISCUSSIONS

Criterion weights were determined based on questionnaires filled out by ten expert

academicians in the field. To determine the criteria priorities, questionnaires were utilized on a scale of 1-9 grade, as suggested by Saaty, to use in pairwise comparisons of criteria (Saaty, 2003).

¹ The transshipment of the container using the storage yard.

SuperDecisions 3.2 computer software was used to calculate AHP formulations based on pairwise comparisons. The geometric means of the criteria

weights obtained from the AHP approach are shown in Table 12.

Table 12. AHP pairwise comparison matrix for the criteria priorities

Criteria	Efficiency	Hinterland	Infrastructure	Superstructure	Location	Connectivity	Cost
Efficiency	1	4.75	0.45	2.73	0.59	0.59	0.97
Hinterland	0.21	1	0.48	0.56	0.303	0.20	0.51
Infrastructure	2.24	2.07	1	2.18	0.29	0.48	0.99
Superstructure	0.37	1.77	0.46	1	0.26	0.29	0.35
Location	1.71	3.30	3.48	3.86	1	1.17	2.22
Connectivity	3.30	5.02	2.07	3.46	0.85	1	1.98
Cost	3.48	1.97	1.00	2.86	0.45	0.50	1

The importance levels acting as the weights for the pairwise comparisons to be made are given in Table 13. In addition, as shown in Table 11, consistency ratio (CR) is calculated as 6% (0.06220) This value is smaller than 0.1. Therefore, in this case, it can be said that a consistent criteria evaluation was carried out by the experts. From the perspectives of the experts, the findings state that connectivity (PLCI) is the most important criterion for the choice of the transshipment port. Location, cost and efficiency follow the connectivity in terms of importance, respectively. Location can be a crucial feature for a hub port. But in this context, it is necessary to examine why connectivity is slightly more important than location. Regardless of the location, limited maritime customer diversity may limit the demand for transit cargo handling. The least important criterion is defined as superstructure. It can be considered as reasonable. Recently, the most common marketing tactic has arisen as the gigantism of the terminal superstructure in social media and brochures. The port managers can feel safe while expressing themselves in this way. However, it seems a worse strategy to attract customers according to these findings. In alignment with Chou (2007) who stated that, for a higher transshipment demand, the volume and the cost of handled containers are followed by efficiency, infrastructure and location. To aim to be a competitive hub port, East Mediterranean container ports need to be more connected with their neighbors and customers as well as considering their location. In this sense, a better

consequence of the higher connectivity could be triggered by a closer location to the main routes. Determining the distance to positive and negative ideal solution, ranking of the alternatives and determined via TOPSIS method and given in Table 14. The calculation steps are omitted, but tabulated in Appendices section (Appendix II, III, IV, V).

Table 13. Weights of the criteria and consistency level

Criteria	Weight (%)
Efficiency	13.430
Hinterland	4.845
Infrastructure	9.891
Superstructure	5.755
Location	23.680
Connectivity	26.038
Cost	16.361
CI/RI	0.062

The results based on actual quantitative data are shown in Table 14. The results suggest that the most preferable transshipment hub alternative is MIP located in Mersin. This finding is consistent with real-life observations. Because MIP is Turkey's largest port in terms of annual output and its existing backyard (MIP, 2023).

Table 14. Rank of alternatives

Alternative	$S_i +$	$S_i -$	Score	Rank
MIP	0.05307	0.176131	0.76845	1
LIMAKPORT	0.10814	0.096070	0.47044	2
ASSANPORT	0.13782	0.078453	0.36274	3
EUROGATE	0.16116	0.070403	0.30403	4

In East Mediterranean, the handling outputs are beneficial to evaluate the consistency of the results. According to TURKLIM (Port Operators Association of Turkey) sector report (2023), highest amounts of transit cargo have been recorded in MIP by the years of 2019-2022 as shown in Table 15.

Table 15. Transit cargo handling amount of the Turkish competitors (TURKLIM, 2023)

Alternative	2019	2020	2021	2022
MIP	480.977	429.070	456.225	437.064
LIMAKPORT	15.252	21.195	24.698	30.359
ASSANPORT	9.854	5.789	8.622	10.711

5. CONCLUSION

In this study, Transshipment port selection problem of a container line operator was evaluated. The criteria were assessed by experts and the alternatives were ranked according to quantitative methods by using the actual numeric data. It is found that this hybrid method can be utilized by the line operators to decide the best transshipment port thanks to the method's easy applicability and consistency.

According to the findings, the most important criterion for the most preferable transshipment hub port is connectivity. Therefore, the Eastern Mediterranean container ports should evaluate connectivity-based strategies to achieve better transshipment levels besides export and import handling activities.

In this context, utilizing digital technologies in ports can change the customers' perspective on the port. Because digital technologies result in an altered perspective of seaport service quality. Since seaport service quality is not prescribed and strictly defined, the importance of digitalization should be considered, which includes redefining the seaport service quality factors. The development of the port's customer profile may also bring about a gradual increase in maritime connectivity. In addition, bilateral agreements with carriers and line operators can play a critical role in the newly established regular lines to provide bilateral connectivity between ports. Finally, since the location should not be ignored in transit port selection if a port

can not constitute an alternative to competitive rivals with its locational features, the managers should review their infrastructure and equipment investment strategies in this context.

In future studies, it will be beneficial to consider more criteria to make a better pairwise comparison. Thus, it would be useful for the container line operators to evaluate in a more complex environment. Moreover, the criteria can be decomposed to the sub-criteria and use alternative MCDM methods for the evaluation of the alternatives.

AUTHORSHIP STATEMENT

CONTRIBUTION

Volkan EFECAN: Conceptualization, Methodology, Validation, Formal Analysis, Resources, Writing- Original Draft, Writing- Review and Editing, Data Curation, Software, Visualization, Supervision.

CONFLICT OF INTERESTS

The author declares that for this article there is no actual, potential or perceived conflict of interests.

ETHICS COMMITTEE PERMISSION

No ethics committee permissions are required for this study.

FUNDING

No funding was received from institutions or agencies for the execution of this research.

ORCID IDs

Volkan EFECAN:

 <https://orcid.org/0000-0002-8450-0445>

6. REFERENCES

ASSAN PORT, (2023). Accessed Date: 26 November 2023, <https://www.assanport.com.tr/tr-tr/kurumsal/hakimizda> is retrieved.

Ateş, A. (2010). Efficiency Analysis of Container Terminals at Turkey. Ph.D. Thesis. Atatürk University, Erzurum, Turkey.

- Atak, E.C., Esmer, S. (2021).** Ulaştırımda Altyapı Yatırımlarının Liman Hinterlandına Etkileri. *Journal of Maritime Transport and Logistics*, 2(2): 72-81.
- Ateş, A., Esmer, S. (2011).** DEA with Efficiency Analysis of Turkey Container Terminals, 12th International Symposium on Econometrics Statistics and Operations Research, Denizli.
- Aykar, D.A., Çetin, İ.B. (2019).** Relative Efficiency Analysis of Container Terminals in Turkey, Fifth International Mediterranean Social Sciences Congress, Podgorica, Montenegro.
- Baştuğ, S., Haralambides, H., Esmer, S., Eminoğlu, E. (2021).** Port competitiveness: Do container terminal operators and liner shipping companies see eye to eye? *Marine Policy*, 135: 104866. doi: 10.1016/j.marpol.2021.104866.
- Bogetoft, P., Otto, L. (2022).** Benchmarking with DEA and SFA, R package version 0.31.
- Brian, S. (1985).** Containerization: inter-port competition and port selection, *Maritime Policy and Management*, 12(4): 293–303.
- Bucak, U., Esmer, S. (2019).** The Components of the Port Hinterland Performance: A Literature Review Study, III. Global Conference on Innovation in Marine Technology and the Future of Maritime Transportation.
- Chou, C.C. (2007).** A Fuzzy MCDM Method for Solving Marine Transshipment Container Port Selection Problems. *Applied Mathematics and Computation*, 186 (1): 435-444. doi: 10.1016/j.amc.2006.07.125.
- Ernst, G.F. (2001).** Economics of transportation in container shipping logistics, in: Inaugural International Conference on Port and Maritime R&D and Technology, Singapore.
- EUROGATE, EUROGATE Limassol Container Terminal, (2023).** Accessed Date: 26 November 2023, <https://www1.eurogate.de/en/Terminals/Limassol> is retrieved.
- Georgoulas, D., Koliouisis, I., Papadimitriou, S. (2023).** An AHP enabled port selection multi-source decision support system and validation: Insights from the ENIRISST project. *Journal of Shipping and Trade*, 8(1): 1-11. doi: 10.1186/s41072-023-00144-x.
- Haktanır, E., Kahraman, C. (2024).** Integrated AHP & TOPSIS Methodology Using Intuitionistic Z-Numbers: An Application on Hydrogen Storage Technology Selection. *Expert Systems with Applications*, 239(2): 122382. doi: 10.1016/j.eswa.2023.122382.
- Kavirathna, C., Kawasaki, T., Hanaoka, S., Matsuda, T. (2018).** Transshipment hub port selection criteria by shipping lines: The case of hub ports around the Bay of Bengal. *Journal of Shipping and Trade*, 3(1): 4. doi: 10.1186/s41072-018-0030-5.
- LIMAK PORT, LIMAK ISKENDERUN Container Port, (2023).** Accessed Date: 26 November 2023, <https://www.limakports.com.tr/tr/limakports/tarihce> is retrieved.
- Mary, B. (2000).** *Sea Change in Liner Shipping-Regulation and Management Decision-making in a Global Industry*, Elsevier Science Ltd., Oxford, UK.
- Meng, Q., Wang, S. (2011).** Liner shipping service network design with empty container repositioning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(5): 695-708. doi: 10.1016/j.tre.2011.02.004.
- Merk, O. Bagis, O. (2013).** The Competitiveness of Global Port-Cities: the Case of Mersin - Turkey, OECD Regional Development Working Papers, 2013/01, OECD Publishing, doi: 10.1787/5k4c43014plt-en.
- MIP, Mersin International Port, (2023).** Accessed Date: 26 November 2023, <https://www.mersinport.com.tr/tr/hakkimizda/detay/hakkimizda/13/1/0> is retrieved.
- Moschovou, T.P., Kapetanakis, D. (2023).** A Study of the Efficiency of Mediterranean Container Ports: A Data Envelopment Analysis Approach. *Civil Engineering*, 4(3): 726–739. doi: 10.3390/civileng4030041.
- Mu, E., Pereyra-Rojas, M. (2018).** The Need for Another Decision-Making Methodology. In: Practical Decision Making using Super Decisions v3. SpringerBriefs in Operations Research. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-68369-0_1.
- Munier, N., Hontoria, E. (2021).** *The hierarchical structure" in Uses and Limitations of the AHP Method: A Non-Mathematical and Rational Analysis*. Springer International Publishing, 5-13.
- Mulder, J., Dekker, R. (2017).** Optimisation in container liner shipping. In: Geerlings H, Kuipers B, Zuidwijk R (eds) Ports and networks. Strategies, operations, and perspectives. Routledge, London, 181–203.
- Notteboom, T., Satta, G., Persico, L., Vottero, B., Rossi, A. (2023).** Operational productivity and financial performance of pure transshipment hubs versus gateway terminals: An empirical investigation on Italian container ports. *Research in Transportation Business & Management*, 47: 100967. doi: 10.1016/j.rtbm.2023.100967.



- Rosa Pires da Cruz, M., Ferreira, J., Garrido Azevedo, S. (2013).** Key factors of seaport competitiveness based on the stakeholder perspective: An Analytic Hierarchy Process (AHP) model. *Maritime Economics and Logistics*, 15: 416–443. doi: 10.1057/mel.2013.14.
- Saaty, T.L. (2008).** *Decision Making with the Analytic Hierarchy Process*. International Journal of Services Sciences, 1, 83. doi: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.
- Saaty, T.L. (1980).** *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L. (1990).** How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48: 9-26. doi: 10.1016/0377-2217(90)90057-I.
- Sternberg, R.W. (2000).** The successful factors of an ocean transshipment center, the case study of one Italian port. *The Journal of Chinese Ports*, 29 (2): 13–18.
- UNCTAD, United Nations Conference on Trade and Development, Port Liner Connectivity Index, (2023).**
https://unctadstat.unctad.org/datacentre/dataviewer/US_PLSCI is retrieved.
- UNCTAD, Review of Maritime Transport, Maritime Transport Connectivity, (2017).**
https://unctad.org/system/files/official-document/rmt_2017ch6_en.pdf is retrieved.
- Xiangda, L., Peng, Y., Guo, Y., Wang, W., Song, X. (2023).** An Integrated Simulation and AHP-Entropy-Based NR-TOPSIS Method for Automated Container Terminal Layout Planning. *Expert Systems with Applications*, 225(3): 120197. doi: 10.1016/j.eswa.2023.120197.

The Effect of a New Mooring Point Location Selection on the Mooring Plan Load Distribution

Yeni Bir Bağlama Noktası Yerleşiminin Bağlama Planı Yük Dağılımına Etkisi

Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi

Cilt: 10 Sayı: 3 (2024) 159-172

Kerim ZİYLAN^{1,2*} , **Selçuk NAS**³ 

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye

²Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Zonguldak, Türkiye

³Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, İzmir, Türkiye

ÖZET

Limanlarda bağlı gemiler operasyonları süresince sabit tutulmaya çalışılmaktadır. Çevresel ve operasyonel yükler sebebiyle gemi üzerinde oluşan kuvvet ve momentler bağlama halatları ve usturmaçalarla sönmölenmeye çalışılmaktadır. Bu süreçte en aktif görev alan ekipmanların başında ise bağlama halatları gelmektedir. Bağlı gemileri limandan uzaklaştıracak yöndeki kuvvet ve momentler usturmaçaları geçersiz kılarak bu sönmöleme işini bağlama halatlarına yıkmaktadır. Bu durumda halatlar üzerinde oluşacak yükün ve bu yükün dağılımının tespiti, halatların yük taşıma sınırları sebebiyle büyük bir önem kazanmaktadır. Çalışmamızda, denizcilik ekosisteminde yaygınlaşan daha büyük gemiler sebebiyle, bir bağlama limanına eklenecek yeni bir bağlama noktasının konum seçimi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Seçilen VLCC sınıfı çok büyük ham petrol gemisinin kış halatı bağlama noktası koordinatları değiştirilerek bağlama halatları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda mevcut bağlama planında çalışma kapasitesine %83.3 oranında ulaşmış kritik bir halat yükünün, aynı çevre koşullarında %73.3 seviyesine düşebileceği veya %94.0 seviyesine çıkabileceği keşfedilmiştir. Bu çıktı yeni bir bağlama noktası yerleşiminin, bağlama planı yük dağılımında önemli bir yeri olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar sözcükler: Gemi bağlama analizi, Liman bağlama operasyonları, Gemi bağlama yükleri dağılımı, Optimoor.

Article Info

Received: 28 November 2023

Revised: 30 January 2024

Accepted: 2 April 2024

* (corresponding author)

E-mail: ziylankerim@gmail.com

To cite this article: Ziylan, K., Nas, S. (2024). The Effect of a New Mooring Point Location Selection on the Mooring Plan Load Distribution. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 10(3): 159-172. doi: 10.52998/trjmms.1396984.

ABSTRACT

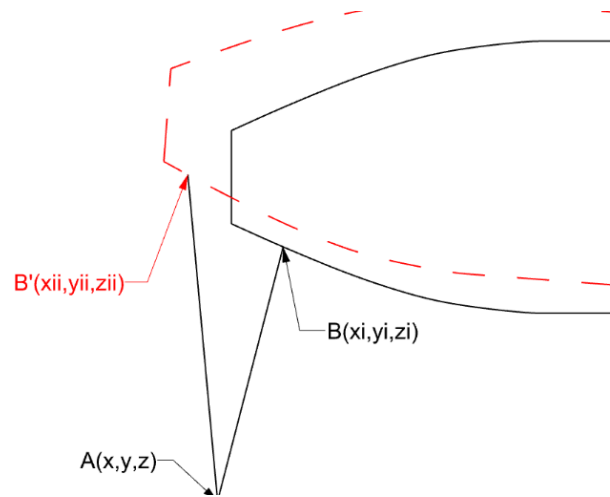
Ships moored in ports are tried to be kept stable throughout their operations. Forces and moments occurring on the ship due to environmental and operational loads are tried to be damped with mooring ropes and fenders. Mooring ropes are among the most active equipment in this process. The forces and moments that will move the moored ships away from the port render the fenders invalid and leave this damping job to the mooring ropes. In this case, determining the load that will occur on the ropes and the distribution of this load becomes of great importance due to the load carrying limits of the ropes. In this study, the research was conducted on the location selection of a new mooring point to be added to a mooring port, due to larger ships becoming more common in the maritime ecosystem. The effect on the mooring ropes of the selected VLCC class very large crude oil ship was examined by changing the stern rope mooring point coordinates. The results of the study demonstrated that a critical rope load, which reached 83.3% of its working capacity in the current mooring plan, could decrease to 73.3% or increase to 94.0% under the same environmental conditions. The output reveals that a new mooring point placement has an important position in the mooring plan load distribution.

Keywords: Ship mooring analysis, Port mooring operations, Ship mooring load distribution, Optimoor.

1. GİRİŞ

IMO (2023a) bağlama ekipmanının yeterliliğinin gemi sahibi ve tasarımcısına ait olduğunu açıkça belirtmektedir. Limanlar ise bağlama işleminin diğer ucundaki sorumlulardır. Bu sorumlulukların kontrolü için gemi bağlama analizleri yapılmakta ve halatların üzerine düşen yüklerin tespiti yapılmaya çalışılmaktadır. Gemilerin bağlamasında da kullanılan halatlar, matematik olarak tek yönlü çalışan yaylar gibi modellenenmektedir. Çekme kuvvetine reaksiyon gösterip, basma kuvvetine boşa düşükleri için tek yönlü çalışmaktadırlar. Ayrıca boyuna rijitlikleri (sertlikleri) çok az olduğu için moment de taşımamaktadırlar. Uygulanan kuvvet karşısında gösterdikleri uzama verisi bilinen halatlar nonlineer olarak değerlendirilir. Bu bilgi genelde fabrika testleri ile ürün kataloğuna işlenmektedir. Bilinmeyen halatlara Hooke's Law gereğince basit lineer yay yaklaşımı yapılabilir. İskele ($\bar{I}xyz$) ve gemi ($\bar{G}xyz$) arasında bağlı bir halatın başlangıç durumundaki koordinatları iskelede $A(x,y,z)$ ve gemi üzerinde $B(x_0,y_0,z_0)$ şeklinde olsun (Şekil 1). Bu durumdaki halatın matematiksel olarak anlamlı başlıca özellikleri Young Modülü (E), halat kesit alanı (A) ve halat boyudur (L_0). Bir F kuvveti neticesinde geminin dönme ve/veya öteleme ile mevcut pozisyonu değişecektir. Böylece halatın gemi üzerinde bağlı olduğu $B(x_i,$

$y_i, z_i)$ noktası u_{xyz} kadar yer değiştirip $B'(x_{ii}, y_{ii}, z_{ii})$ noktasına taşınır. L_0 halat uzunluğu ise L formuna ulaşacaktır. Lineer olarak basitleştirilmiş bir yaklaşımda kuvvet altında uzayan bir halatın, kesit alanı (A) ve Young Modülünün (E) sabit kaldığı kabul edilir.



Şekil 1. Gemi-İskele arası bağlı halat temsili

Bu durumda halatın sahip olduğu büyüklüklerin değişip değişmediği kontrol edilmelidir. Bu süreci Hooke yasasına göre lineer bir yay gibi modellersek,

$$-\bar{F} = (E \times A) / L * \Delta \bar{u} \quad (1)$$

denkliği elde edilir. Bu denklikte $(E.A)/L$ olarak

geçen kısım “k” olarak yazılır ve herhangi bir ekipmanın yay sabiti olarak anılır. Δu ise x, y, z eksenlerindeki uzamadır. Böylece gemiye bağlı tüm ekipmanın karakteristikleri birlikte değerlendirilerek, gemiye/limana özel bağlama sistemi planları ve analizleri yapılmaktadır. DDS 582-1 kodlu Amerikan Donanması’na ait 1987 tarihli çalışma, bağlama sistemlerine dair hesaplamalar konusunda genel yaklaşıma dair derli bir tablo sunmaktadır.

Natarajan ve Ganapathy (1995) limana bağlı gemilerin bağlama analizleri üzerine yaptıkları çalışma ile “Ship Moor” isimli bir analiz programı geliştirmişlerdir. Çalışmanın detayları bağlama analizi konusunda DDS582-1 (1987) ile sunulan yöntemin detaylandırmak için kullanılabilir.

Lee vd., (2021) dünya çapında bağlama operasyonlarının güvenle yürütülebilmesi için bağlama problemlerinin çözülmesi gerektiğini aktarmaktadırlar. Bağlama halatlarının gerilme, sürtünme, burkulma yorgunluğu ve sıcaklık etkisiyle deforme oluşuna dair simülasyonlar ile incelemelerde bulunmuşlardır. Çalışma sonucunda daha etkin bağlama yöntemleri tavsiyeleri geliştirmiş, limanların hem verimliliğine hem de güvenliğine pozitif katkıda bulunmuşlardır.

Valet vd., (2013) İsviçre’de bir halat kopma kazası sonucunda bir çocuğun başından yaralanması şeklinde gerçekleşen kazayı incelemişlerdir. Rüzgar hızında gerçekleşen kısa süreli hız artışı (wind gust) sebebiyle gerçekleşen kazada, kopan halatın daha önceden deformasyonu olup olmadığı, bir ihmal durumu olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda yeni koşuldaki bir halatın kopabileceği, hatta daha kalın bir halat kullanılsa bile daha fazla gerilip kopacağı için daha büyük sorunlar oluşturabileceği bulunmuştur.

Lee vd., (2015) donanma gemilerinin okyanus dalgaları altındaki halat yüklerini düşürmek üzere öneriler geliştirmiş ve hata analizi gerçekleştirmişlerdir. Dalga etkilerini de dahil ederek gemi hareketlerini incelemiş ve özellikle dalga kaynaklı sürüklenme kuvvetinin bağlama sisteminin başarısızlığındaki başlıca sebebi olduğunu aktarmışlardır. Çalışmalarında inceledikleri örnek durumlar neticesinde bazen bağlama sisteminin yetersiz olduğunu, bazen de

çevresel koşulların tasarlanan çevre koşulu sınırlarını aştığını tespit etmişlerdir.

Dalga gibi çevre koşullarının bağlama sistemine etkisi incelenirken hava koşullarının dikkate alınması faydalı olacaktır. Turna vd., (2022) buz tutan deniz suyunun gemi gövdesi üzerinde oluşturduğu direnç artışını ve kar sebebiyle gemi güvertesinde oluşan yüklerle ilgili yaptıkları çalışmada önemli tespitlerde bulunmuşlardır. Özellikle deniz üzerinde oluşan buz kalınlığının geminin draftını doğrudan etkilemesi, bağlama sistemlerinin doğası gereği önemlidir.

Abdelwahab vd., (2024) bir limanda gerçekleştirilen mendirek genişletme ve rıhtımda gerçekleştirilen değişiklikleri incelemişlerdir. Çalışmada dalga şiddeti ve bağlama sistemi öngerilme kuvvetlerini değerlendirmek için fiziksel bir model geliştirerek araştırmalar yapılmıştır. Limanın yeni durumuna dair elde edilen veriler, limana özel güvenlik tedbirleri için kullanılmak üzere sunulmuştur.

Saad vd., (2021) bağlama halatlarında gerçekleşen kopmaları, makine öğrenme ve yapay sinir ağları yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Makine öğrenme yöntemi olarak Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron – MLP) ve Uzun Kısa-Süreli Bellek (Long Short-Term Memory) kullanmış ve iki yöntemi karşılaştırmışlardır. İki yönteminde halat kopmalarının tahmin etmede başarılı olmasına karşın, LSTM daha başarılı bulunmuştur.

Hassani vd., (2018) pozisyon bağlama (position mooring-PM) yönteminde halat sensörlerinde ölçüm olmadığı durumlar için halat kopmalarını tespit edebilmek adına Dinamik Hipotez Testi (Dynamic Hypothesis Testing) yöntemini kullanmışlardır. Bir halattaki kopma diğer halatlar üzerinde ekstra yük oluşturacağına değinerek, kopmaların hızlı tespitinin öneminden bahsetmişlerdir. Böylece iticilerin gerekli tedbiri alabilmesine vurgu yapılmıştır. Geliştirdikleri hipotez; önce tüm halatların sağlam olduğu, sonra farklı halatların kopuk olduğu senaryolar dinamik olarak pozisyon bağlama sisteminin hesaplamasına dahil edilmesi şeklindedir.

Jaiswal ve Ruskin (2019) klasik halat kopma tespit sistemlerinin yetersizliklerinden bahsederek geliştirdikleri derin makine öğrenme yöntemi ile halatların neredeyse gerçek zamanlı kopmasını %99 tutarlılıkla tespit edebildiklerini

aktarmışlardır.

Bağlama halatlarının kopması ve kazalara yol açması, sadece gemi-liman ilişkisi içerisinde değil denizciliğin birçok alanında üzerinde çalışılan bir konu haline gelmiştir.

Chung *vd.*, (2020) derin sinir ağları (DNN) yöntemi ile TLP (tension leg platform) tipi bir platform üzerinde hasar görmüş bağlama halatlarının tespiti üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucu yöntemin başarılı olduğunu ve olası kaza/hasar senaryolarının erken tespiti için kullanılabilir durumda olduğunu belirtmişlerdir. Zhang *vd.*, (2024) yüzer rüzgar türbinlerinin su altı bağlama halatlarının büyük fırtına halindeki kopma analizini yapısal olarak değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda seçilen türbin modelinin bağlama sisteminin, fırtınada oluşan yüksek dalgalara ve yüksek hızlı rüzgarlara rağmen dayanımını koruyabileceğini bulmuşlardır.

Huang ve Pan (2010) bir tek noktalı bağlama halatının (SPM) uzun dönemde yorulma karakteristiklerini incelediği çalışmalarında 38mm çapındaki bir polyster bağlama halatı için değişim periyodunu 6.55 yıl olarak bulmuşlardır. Aynı koşullarda halatın çapının 50mm olması durumunda kullanım ömrünün 23.81 yıla uzayacağını ve servis ömürleri süresince yorulmaya bağlı kopma ihtimalinin ise sırasıyla 0.49 ve 0.29 olduğunu tespit etmişlerdir.

Bağlama halatlarındaki kopmalar gemilerde olduğu kadar kafesli balık yetiştiriciliği gibi bağlama halatlarının kullanıldığı farklı konularda da ortaya çıkmaktadır (Cheng *vd.*, 2021).

Veloso-Gomes *vd.*, (2005) Portekiz'deki Leixões limanında bulunan üç adet bağlama rıhtımlarını incelemiş ve A kodlu rıhtımın özellikle kış ve sonbahar aylarında hava koşulları nedeniyle 35-118 gün arası çalışmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca çalışmada A kodlu rıhtıma bağlanmış bir VLCC (very large crude carrier) tipi geminin bağlama çalışması detaylı olarak işlenmiştir.

Barros ve Mazzilli (2018) limana bağlı bir gemi için simetrik bir bağlama analizi çalışması yapmışlardır. Farklı yaklaşımlardaki statik ve dinamik analizleri inceleyerek karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda rıhtıma özel olmayan bazı çözümler geliştirmişlerdir.

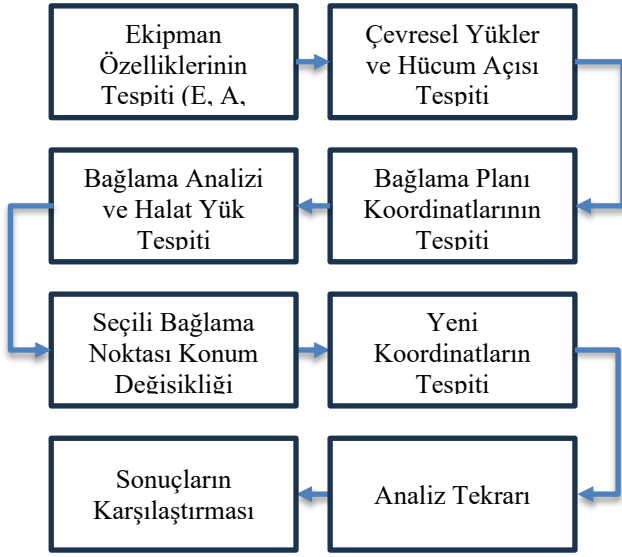
Bu çalışma ile gemi bağlama noktası yer seçiminin, bağlama sistemi yük dağılımına etkisi

ortaya çıkarılmış olacaktır. Literatürde kullanılan simetrik bağlama planının ve simetrik olmayan bağlama planı yerleşimlerinin halat yükleri üzerindeki etkisi araştırılacaktır. Bunun için mevcut simetrik bir bağlama planı oluşturulmuş ve bir nokta üzerinde araştırmalar yapılarak asimetrik yerleşiminin etkileri hesaplanmış ve çalışmada sunulmuştur. Senaryoya özel farklı yerleşimlerin araştırılması sonucunda çalışma kapasitesine %83.3 oranında ulaşılmış kritik bir halat yükünün, aynı çevre koşullarında %73.3 yük seviyesine düşebileceği veya %94.0 seviyesine çıkabileceği keşfedilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Son yıllarda, üretilen yeni ve daha büyük gemilerin kullanımının artması ile limanların bağlama şemalarında da buna uygun değişikliklere gidildiği izlenmektedir. Özellikle EEE sınıfı konteyner gemileri (ULCV-Ultra Large Container Vessel) ve VLCC (Very Large Crude Carrier) sınıfı tanker gemileri, fiziki ölçekte daha geniş bağlama sistemi alanlarına ihtiyaç duymaktadır. Sektördeki bazı mevcut limanların da bu ihtiyacı mevcut bağlama rıhtımlarına yeni bağlama noktaları (yüzer veya sabit iskele babaları) ekleyerek aşmaya çalıştığı gözlenmiştir. Çalışma bu motivasyonla, mevcut bir bağlama sisteminde sadece gemi kığına en uzak (kıç halatının bağlandığı) kıyı bağlama noktasının konumunun önemini araştırmayı amaç edinmiştir. Mevcut bir limana yaşanan büyük bir gemi senaryosunda, yeni eklenecek bağlantı noktasının gemi baş ya da kıç uçlarından biri tarafında olması gerekecektir. Çalışmada örnek geminin baştan yanaştığı kabulü ile kıç halatı (F babası) üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Çalışmanın iş akış şeması Şekil 2 ile temsil edilmiştir.

Gemilerin bağlanması için kullanılan bağlama halatlarının üzerine düşen yüke dayanamayıp kopması da sektörde zaman zaman karşılaşılan kazalardandır. Yapılan bir araştırmada, her 100 tanker terminali bağlama operasyonunda yaklaşık 5 halat kopması yaralanması tehlikesinin olduğu tespit edilmiştir (Kuzu *vd.*, 2018). Bu sebeple halatlara düşen yükün detaylı olarak tespiti de önem kazanmaktadır.



Şekil 2. Çalışma hesapları iş akış şeması

Çevre koşulları, bağlama sistemleri üzerinde 1970lerden bugüne aktif olarak çalışma yapıp tavsiye ve sınırlandırıcı kaynaklar üreten The Oil Companies International Marine Forum (OCIMF, 2023) yayını Mooring Equipment Guidelines IV (OCIMF, 2018) uyarınca belirlenmiştir. Akıntı hızı gemi baş/kıç yönündeki analizler için 3knot, başa/kıça 10° açı için 2 knot, gemi bordosu dikine yönlü (90°) analizler için 0.75knot olarak önerilmiştir. Akıntı ve rüzgâr hücum açısı 30° olarak hakim rüzgâr yönü şeklinde kabul edilmiştir. Bu yüzden akıntı hızının 1knot olarak seçilmesi uygun bulunmuştur. Tüm bu yönlerde 60knot rüzgâr hızı tavsiye edilmiştir.

Bu çalışmada, Optimoor gemi bağlama analiz programı kullanılarak, bir limana eklenmesi planlanan yeni bir bağlama noktasının yer seçimi ve bağlama sistemine etkilerinin analizi yapılmaya çalışılmıştır.

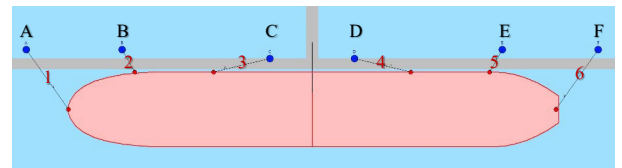
Program geçerliliğini, özellikle tanker sınıfı gemilerin emniyetli bağlanması için uzun yıllardır çalışmalar yapan OCIMF (2018) örnek vakalarıyla kanıtlamış (Flory ve Ractliffe, 1994; Flory vd., 1998, Wang ve Noh, 2022) ve literatürde bağlama analizinde kullanılan bir yazılımdır. Matakis (2010), Optimoor'da kullanılmak üzere donanma bağlama tasarım kılavuzlarını uyarladığı bir çalışma yapmıştır. Li vd., (2013), Optimoor yardımıyla kendi güç kaynağı bulunmayan gemilerin güvenli bir şekilde bağlanması için tayfun önleme bağlama

sistemini araştırmışlardır. Kudela vd., (2016), 300.000 dwt'lik bir petrol tankerinin demirleme hareketlerini analiz etmiş ve Optimoor'un sağladığı verilerle bir deniz petrol terminali bağlama sistemi tasarlamışlardır. Lee vd., (2019), yazılım yardımıyla gemiden gemiye bağlama simülasyonunu analiz etmiştir. Sreedevi ve Nallayarasu (2023), bağlı gemilerde, etraftan geçen gemi etkilerini araştırmak için Optimoor'u kullandığı görülmüştür.

Tablo 1. Model Gemi Başlıca Özellikleri

Özellikler	Birim	Büyükük
Gemi Tipi	-	VLCC
Gemi Boyu	m	330
Gemi Eni	m	50
Gemi Draftı	m	16
Gemi Derinliği	m	24
Rüzgar Hızı	knot	60
Akıntı Hızı	knot	1
Rüzgar ve Akıntı Yönü (Rıhtım Ekseni)	°	30
Deplasman	t	184800
Gemi Boyuna Rüzgar Alanı (A _L)	m ²	3799
Gemi Enine Rüzgar Alanı (A _T)	m ²	1150
Hesaplanan EN (Equipment Number) (IMO, 2023a)	-	5924.3

Yarı-statik ve dinamik bağlama analizi yöntemleri için modülleri ayrı modülleri bulunmaktadır. Yarı-statik yaklaşım rüzgâr ve akıntı değişkenlerini, dinamik yaklaşım ise literatürdeki farklı dalga teorilerine dayanmaktadır. Çevresel yüklerin hesabı yapıldıktan sonra ise gemi üzerindeki halatların yük dağılımı programın kendi geliştirdiği yöntem ile hesaplanmaktadır. Çalışma için program bünyesindeki gemi çeşitleri içerisinde bir VLCC modeli seçilmiş ve başlıca özellikleri Tablo 1 ile verilmiştir.



Şekil 3. Model Gemi Bağlama Planı – Optimoor

Belirtilen akıntı ve rüzgar hızı gibi bağlama sistemi analizinde kullanılan çevresel etkenler OCIMF (2018) tarafından belirlenmektedir. Bu koşullar geminin herhangi bir yönünden gelen 60knot hızındaki rüzgara eşlik eden, baş-kıç ekseninde 3knot diğer yönlerde azalan bir akıntı hızı şeklinde belirlenmiştir. Çalışma da akıntı hızı değeri düşürülmemiş 3knot olarak ele alınmıştır. Gemiye etkiyen çevresel yüklerin hesabı konusunda literatürde model deneyleri ile elde edilen veri setlerinin kullanılması yaygındır (Aage, 1971; Blendermann, 1994; Isherwood, 1972; OCIMF, 2018)

Gemi bağlama sistemi, liman yapısındaki iskele babaları ve gemi üzerindeki karşılıkları olan loçalar olarak tasarlanmıştır (Şekil 3) Bağlantı noktaları simetrik olarak yerleştirilmiş (OCIMF, 2018) ve bir baş halatı (A-1), bir baş açmaz halatı (B-2), bir baş spring (C-3), bir kıç spring (D-4), bir kıç açmaz halatı (E-5), bir kıç halatı (F-6) ile gemiye bağlanmıştır.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO, 2023b) açmaz halatını (breast line) gemi bordasının dikine bağlanarak, geminin limandan uzaklaşmasını engellemeye çalışan halat olarak tanımlamaktadır. Spring halatı ise, neredeyse gemiye paralel olarak bağlanan ve geminin baş kıç yönündeki hareketini kısıtlamaya çalışan halat olarak, baş kıç halatı ise boyuna ve enine eksenin arasında yer alarak her iki yöndeki hareketi bağlı bulunduğu açı doğrultusunda engellemeye çalışan halat olarak tanımlanmaktadır.

ASCE (2014) bağlama analizlerinde başlangıç aşamasında sistemi basite indirgemek amacıyla açmaz ve baş kıç halatlarının açılarını gemiye dik

kabul ederek gemi enine yöndeki kuvvetleri ve etkilerini dengeleyen bir yaklaşımda bulunmaktadır. Spring halatları ise gemi boyuna uzanan ekseninde kabul ederek basit bir sistem modelleyerek denge durumunu şu şekilde özetlemektedir:

$$\sum F_X = F_X - T_X = 0 \quad (2)$$

$$\sum F_Y = F_Y - T_{YF} - T_{YA} = 0 \quad (3)$$

$$\sum M_{XY} = M_{XY} - T_{YF} \times L_F - T_{YA} \times L_A = 0 \quad (4)$$

F_X : Mastoride oluşan, gemi boyuna eksenindeki kuvvet,

T_X : Spring halatlarının reaksiyon kuvveti,

F_Y : Mastoride oluşan, borda dikine ekseninde oluşan kuvvet,

T_{YF} : Baş açmaz halatının reaksiyon kuvveti,

T_{YA} : Kıç açmaz halatının reaksiyon kuvveti,

M_{XY} : Mastoride oluşan moment,

L_F : Baş açmaz halatının mastoriden uzaklığı,

L_A : Kıç açmaz halatının mastoriden uzaklığı.

Burada F_X , F_Y ve M_{XY} değişkenleri, rüzgar, akıntı gibi çevresel koşulların gemi üzerinde oluşturduğu yüklerdir. T_i ise halatlarda oluşması beklenen gerilmelerdir. ASCE (2014) bu basitleştirmede çevresel yüklerin bilinen, halat gerilmelerinin ise bilinmeyen olduğunu ve üç bilinen, üç bilinmeyen olduğu için bu denklem sisteminin (1-2-3) çözülebilecek bir durumda olduğunu belirtmiştir. Halatların daha gerçekçi bir şekilde temsil edildiği ve açılma değerleri dikkate alındığı bir denklem kümesi yazılmaya çalışıldığında ise Denklem 5-6-7 oluşacaktır.

$$\sum F_X = F_X + \sum_1^m k_m (Y + L_m \sin \theta_m) \cos \alpha_n + \sum_1^q (k_q X - P_q) \sin \alpha_q = 0 \quad (5)$$

$$\sum F_Y = F_Y + \sum_1^m k_m (Y + L_m \sin \theta_m) \sin \alpha_m + \sum_1^q k_q X \cos \alpha_q - \sum_1^n k_n (Y + L_n \sin \theta) = 0 \quad (6)$$

$$\sum M = M_{XY} + \sum_1^m k_m (Y + L_m \sin \theta_m) L_m \sin \alpha + \sum_1^q k_q L_q \cos \theta_q \cos \alpha - \sum_1^n R_n (Y + L_n \sin \theta) L_n = 0 \quad (7)$$

m : Açmaz halatlarının sayısı,

n : Usturmaça sayısı,

q : Spring halatları sayısı,

T_m : m açmaz halatının reaksiyon kuvveti,

L_m : m açmazının enine merkezden uzaklığı,

R_n : n usturmaçasının reaksiyon kuvveti,

L_n : n usturmaçasının enine merkezden uzaklığı,

k_m : m açmaz, baş/kıç halatının yay sabiti,

k_n : n usturmaçasının yay sabiti,

k_q : q spring halatının yay sabiti,

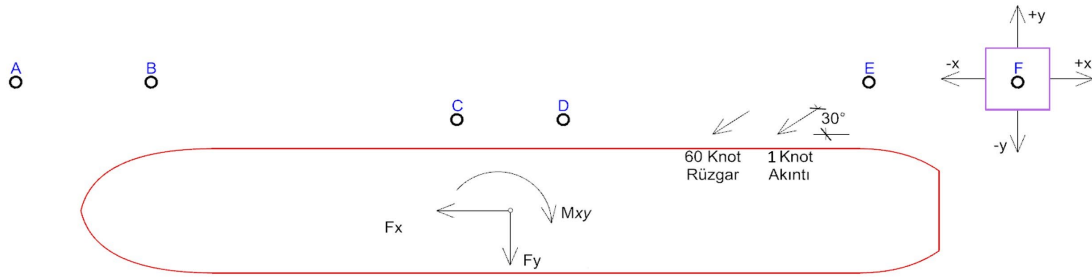
α_m : m açmazının boyuna merkez ile yaptığı enine açığı,
 α_n : q spring halatının boyuna merkez ile yaptığı enine açığı,
 X : Yan öteleme (surge)
 Y : İleri-geri öteleme (sway)
 θ : Savrulma (yaw) açısı.

Mevcut denklem sistemi statik olarak belirsiz bir durumdadır ve bu kez üç tane denklem olmasına rağmen “m+n+q” adet bilinmeyen vardır (ASCE, 2014). Bu denklem sisteminin çözümü ise elle mümkün olmayıp, özel olarak geliştirilen yazılımlar veya bazı Excel dokümanları ile çözüm aranabilmektedir. Burada gemiye bağlanması planlanan halat sayısının tespiti ise ayrı bir problem doğurmaktadır. Çalışma konusu da olan tankerler için, gemiye bağlanması ön

görülen toplam açmaz ve baş/kıç halatları sayısı “n”, Denklem 8 (IMO, 2023b) ile verilmiştir. Buna ek olarak EN > 5000 için dört adet spring eklenmesi tavsiye edilmiştir.

$$n = 8.3 * 10^{-4} * A_L + 4 \quad (8)$$

Denklem 8 sonucunda, seçilen gemi modeli için her babaya iki tane olmak üzere on iki adet halat bağlanmasının daha uygun olacağı öngörülmesine rağmen, daha rahat inceleme yapılabilmesi adına halat sayısı altı adet olarak tutulmuştur. Değerlerin gerçekliğini yitirmemesi adına halatların minimum kırılma yükünü (Minimum Breaking Load – MBL) iki katına çıkartılacak şekilde müdahale edilmiştir



Şekil 4. Gemiye Uygulanan Kuvvetler, eksenler ve Liman Bağlantı Noktaları

IMO (2023b) tarafından MBL hesabı Denklem 9 ile verilmiştir.

$$MBL = 0.1 * A_L + 350 \quad (9)$$

Gemiye ait değerler yerine konulduğunda sonucun 730 kN (74.5 t) olarak çıktığı görülmektedir. Optimoor programı üzerinde çeşitli halat tipleri ve çapları için seçim yapılabilmektedir. Gemi için hesaplanan MBL değerine uygun 77 tondur MBL değerini veren ise 33mm çapındaki çelik halattır. OCIMF (2018) uyarınca “halat tasarım kopma yükü” (LDBF- Line Design Breaking Force) %100-105 MBL şeklinde olmalıdır. Bu sebeple 82t LDBF değerine sahip 34mm çapında çelik halat seçilmiş, daha sonra altı halat ile aynı kabiliyette yükün taşınabilmesi için 50mm çapında, LDBF 168t olan çelik halatın kullanımı analizinin amacı doğrultusunda uygun bulunmuştur.

Bu çalışmada, gemi kıç halatının bağlı olduğu “F” bağlantı noktasının yatay eksenlerdeki dört yönde ve bu yönlerin diyagonallerinde hareket ettirilmesiyle (Şekil 4), limanlarda bağlama noktası konum seçimi ve bağlama halatları üzerindeki etkileri incelenmektedir. Gemi boyuna/enine ekseninde negatif ve pozitif yönlerde ikişer metrelik adımlarla yer değişimleri yapılmıştır. Böylece “F” bağlantı noktası boyuna ve enine ekseninde -10m ile +10m arasında yirmi adet noktada ve diyagonallerindeki yirmi noktada yeniden konumlandırılarak toplam kırk noktada bağlama analizi yapılmış ve her seferinde sistem üzerindeki yükler değerlendirmeye alınmıştır. Rüzgâr ve akıntı yönü tüm analizlerde sabit tutulmuş ve Şekil 4 içinde gösterilmiştir. Bağlama şeması kurulurken OCIMF (2018) sınırlandırmalarına uyulmuş ve halat uzunluklarına dikkat edilmiştir.

3. BULGULAR

Belirlenen çevre koşulları ve simetrik bağlama şeması altında referans değerlerin oluşturulduğu bağlama analizi verileri ve sonuçları Tablo 2 ile verilmiştir. Babaların orijin noktasına mesafelerinin verildiği ikinci satır verileri,

bağlama noktalarının birbirine olan mesafelerinin hesabında kullanıldığında spring halatlarının arası 60m, açmazlar ile baş ve kış halatları arası 68er metre olarak karşımıza çıkmaktadır. F bağlantı noktasının farklı yönlerdeki ± 10 metrelik hareketi sonucu E noktasıyla arasında yeterli mesafe kalmaktadır.

Tablo 2. Bağlama Sistemi Özellikleri

Özellik	Bağlama Halatları					
	1	2	3	4	5	6
Bağlama Halatı No.	1	2	3	4	5	6
Bağlı Olduğu İskele Babası	A	B	C	D	E	F
Baba-Orijin Mesafe (x-ekseni) (m)	-203	-135	-30	30	135	203
Baba-Orijin Mesafe (y-ekseni) (m)	15	15	9	9	15	15
Toplam Halat Uzunluğu (m)	50	17.6	41	41	17.6	50
Halat Çapı (mm) (Steel Wire)	50	50	50	50	50	50
Gerilim (t)	13.7	58.2	13.4	7.3	128.7	58.3
Halatın Dayanımı (%)	%7.4	%35.1	%4.9	%8.3	83.3%	%31.6

Tablo 2 incelendiğinde halatların ayrı ayrı güvenli yük dayanımları yüzdesel olarak görülebilmektedir. Özellikle E babasına bağlı 5 numaralı halatın % 83.3 oranındaki yük değeri ile güvenli çalışma sınırına çok yakın olduğu gözlenmektedir. Tablo 2 verileri referans değerler olarak kabul edilerek X, Y ve diyagonal

eksenindeki yer değişimlerine ait bağlama analizi sonuçları ve oluşan yük farkları (t) ilerleyen sayfalardaki tablolarda ve şekillerde gösterilmiştir. Tablo satır başlarında halatlar için kullanılan renkler, şekillerdeki renklendirmelerle aynı tutulmuştur.

Tablo 3. Gemi Boyuna Ekseninde (ΔX) Yer Değişiklikleri ve Bağlama Analizi

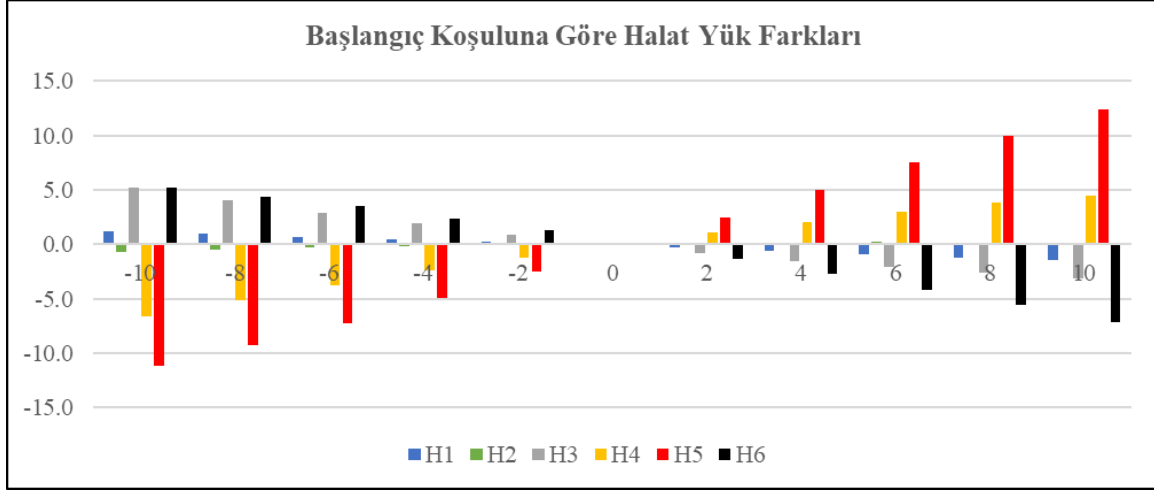
X eksenli yer değişikliği (ΔX) (m)	H1	H2	H3	H4	H5	H6
	Halatların Yükleri (Yüzde LDBF)					
-10	8.2	34.6	8.0	4.3	76.6	34.7
-8	8.0	34.8	7.3	5.2	77.7	34.2
-6	7.9	34.9	6.6	6.0	79.0	33.7
-4	7.7	34.9	6.0	6.8	80.4	33.0
-2	7.6	35.1	5.4	7.6	81.8	32.4
0	7.4	35.1	4.9	8.3	83.3	31.6
2	7.3	35.1	4.4	8.9	84.8	30.8
4	7.1	35.1	4.0	9.5	86.3	30.0
6	6.9	35.2	3.6	10.1	87.7	29.1
8	6.7	35.1	3.3	10.5	89.2	28.3
10	6.6	35.1	3.0	11.0	90.7	27.4

F bağlama noktasının gemi boyuna eksenindeki ($\pm X$ yönündeki) hareketi ve bağlama analizi sonucu, halatların çalışma sınırına (168t) oranlanarak yüzdesel olarak Tablo 3 ile verilmiştir. Halatlarda meydana gelen yük

değişimleri ton biriminde Şekil 5 ile ayrı olarak verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde 5 numaralı halata binen yükün 10t arttığı görülebilmektedir. Bu artış halat yükünün %83.3 değerinden %90.7 çalışma sınırı değerine çıktığını göstermektedir.

Negatif yönlü hareket incelendiğinde ise 5 numaralı halatın yük durumunun %76.6 oranında daha bir güvenli çalışma bölgesine indiği görülebilmektedir. Diğer halatlarda kritik bir durum gözlenmemiş olup her bir halattaki toplam yük değişimleri şu şekildedir;

1 numaralı halat: 2.6t
 2 numaralı halat: 0.8t
 3 numaralı halat: 8.3t
 4 numaralı halat: 11.1t
 5 numaralı halat: 23.6t
 6 numaralı halat: 12.3t



Şekil 5. “F” Noktasının gemi boyuna eksenindeki yer değişikliği ($\Delta X = \pm 10m$) ve halatlarda oluşan yük farkları(t)

F bağlama noktasının gemi enine eksenindeki ($\pm Y$ yönündeki) hareketi ve bağlama analizi sonucu, halatların çalışma sınırına oranlanarak yüzdesel olarak Tablo 4 ile verilmiştir. X

eksenindeki harekete kıyasla Y eksenindeki hareketlerin etkisinin daha az olduğu tespit edilmiştir.

1

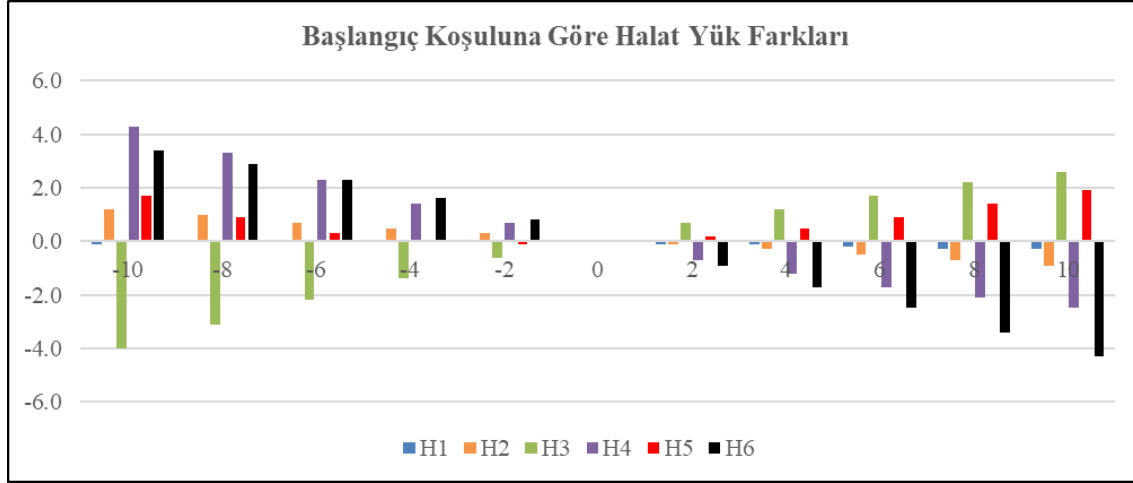
Tablo 4. Gemi Enine Ekseninde (ΔY) Yer Değişiklikleri ve Bağlama Analizi

Y eksenini yer değişikliği (ΔY) (m)	H1	H2	H3	H4	H5	H6
	Halatların Yükleri (Yüzde LDBF)					
-10	7.4	35.8	2.5	10.8	84.3	33.6
-8	7.4	35.7	3.0	10.2	83.8	33.3
-6	7.4	35.5	3.6	9.6	83.5	33.0
-4	7.4	35.4	4.0	9.1	83.3	32.6
-2	7.4	35.2	4.5	8.7	83.2	32.1
0	7.4	35.1	4.9	8.3	83.3	31.6
2	7.4	35.0	5.3	7.9	83.4	31.1
4	7.4	34.9	5.6	7.6	83.6	30.6
6	7.3	34.8	5.9	7.3	83.8	30.1
8	7.3	34.6	6.2	7.0	84.1	29.6
10	7.3	34.5	6.4	6.8	84.4	29.0

F bağlama noktasının gemi boyuna eksenindeki ($\pm Y$ yönündeki) hareketi ve bağlama analizi sonucu, Tablo 4 ile verilmiştir. Halatlarda

meydana gelen yük değişimleri ton biriminde Şekil 6 ile ayrı olarak verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde en büyük değişikliğin 3, 4 ve 6

numaralı halatlarda gerçekleştiği 2 numaralı halat: 2.1t
 görülebilmektedir. Halatlarda kritik bir durum 3 numaralı halat: 6.6t
 gözlenmemiş olup her bir halattaki toplam yük 4 numaralı halat: 6.9t
 değişimleri şu şekildedir; 5 numaralı halat: 3.6t
 1 numaralı halat: 0.4t 6 numaralı halat: 7.7t



Şekil 6. “F” Noktasının gemi enine eksenindeki yer değişikliği ($\Delta Y = \pm 10m$) ve halatlarda oluşan yük farkları(t)

F bağlama noktasının baş iskele – kıç sancak yönündeki ($225^\circ - 45^\circ$ diyagonal) hareketi ve bağlama analizi sonucu Tablo 5 ile verilmiştir. Bu hareket trigonometrik üçüncü bölgeden

birinci bölgeye doğrudur. Yani hareket esnasında hem X hem Y eksenindeki hareket $-10m$ ile başlayıp $+10m$ yönünde olduğu için Şekil 7 de eksen isimleri önceki şekillerle aynı tutulmuştur.

Tablo 5. Baş İskele – Kıç Sancak Yönü ($225^\circ - 45^\circ$ diyagonal) Yer Değişiklikleri ve Bağlama Analizi

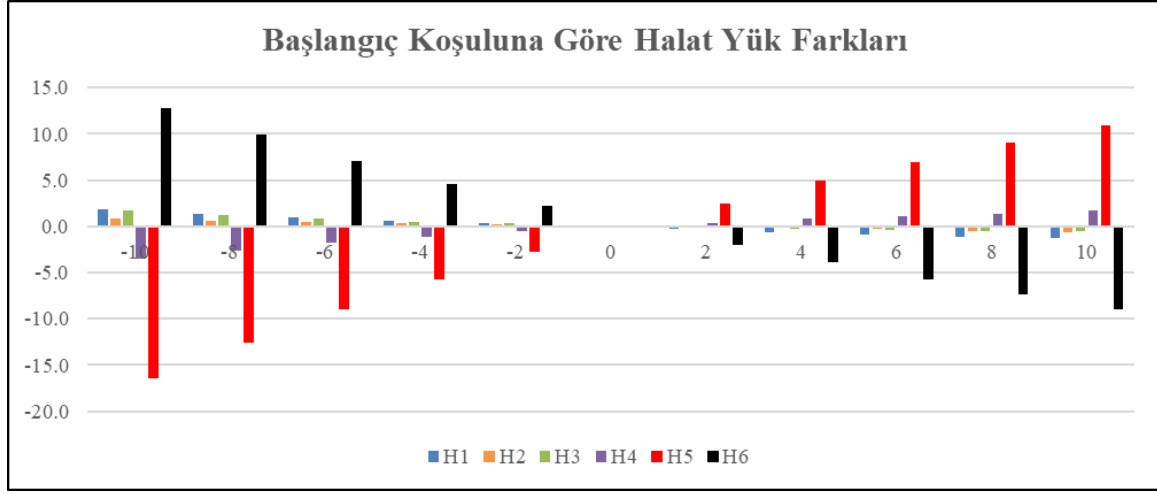
Baş İskele – Kıç Sancak Yönü	H1	H2	H3	H4	H5	H6	
ΔX	ΔY	Halatların Yükleri (Yüzde LDBF)					
-10	-10	8.6	35.5	5.9	6.2	73.5	39.2
-8	-8	8.3	35.4	5.6	6.7	75.8	37.5
-6	-6	8.0	35.4	5.4	7.2	77.9	35.8
-4	-4	7.8	35.3	5.2	7.6	79.8	34.3
-2	-2	7.6	35.2	5.1	8.0	81.6	32.9
0	0	7.4	35.1	4.9	8.3	83.3	31.6
2	2	7.3	35.0	4.8	8.5	84.8	30.4
4	4	7.1	34.9	4.7	8.8	86.2	29.3
6	6	6.9	34.9	4.6	8.9	87.4	28.2
8	8	6.8	34.8	4.6	9.1	88.7	27.2
10	10	6.7	34.7	4.6	9.3	89.8	26.3

Bu hareket esnasında en büyük yük değişikliği beşinci ve altıncı halatta gözlenmiştir. Beşinci halatın kritik durumu yeniden değerlendirildiğinde, negatif yönlü hareket, halatın çalışma yükünü %73.5 seviyesine

düşürmüş, pozitif yönlü diyagonal hareket ise %89.8 değerine ulaşmasına sebep olmuştur. En büyük yük değişimleri 5 ve 6 numaralı halatlarda olup, halatlardaki toplam yük değişimleri ise şu şekildedir;

1 numaralı halat: 3.2t
2 numaralı halat: 1.4t
3 numaralı halat: 2.2t

4 numaralı halat: 5.2t
5 numaralı halat: 27.4t
6 numaralı halat: 21.8t



Şekil 7. “F” Noktasının Baş İskele – Kıç Sancak diyagonalindeki hareketi ve halatlarda oluşan yük farkları(t)

Diğer bir diyagonal ise geminin kıç iskele - baş sancak (315° - 135°) yönünde uzanmaktadır. F babasının bu diyagonal üzerindeki yine ikişer metrelik adımlarla yaptığı hareket Tablo 6 üzerinde verilmiştir. Bu hareket ise trigonometrik dördüncü bölgeden ikinci bölgeye

doğrudur. Yani X eksenini pozitif, Y eksenini negatif değer almaktadır. Bu sebeple Şekil 8 için yatay eksen ismi değiştirilmiş ve Tablo 6’ya Şekil 8’de kullanılmak üzere “Eksen İsmi” sütunu eklenmiştir.

1

Tablo 6. Kıç İskele – Baş Sancak Yönü (315°- 135° diyagonalı) Yer Değişiklikleri ve Bağlama Analizi

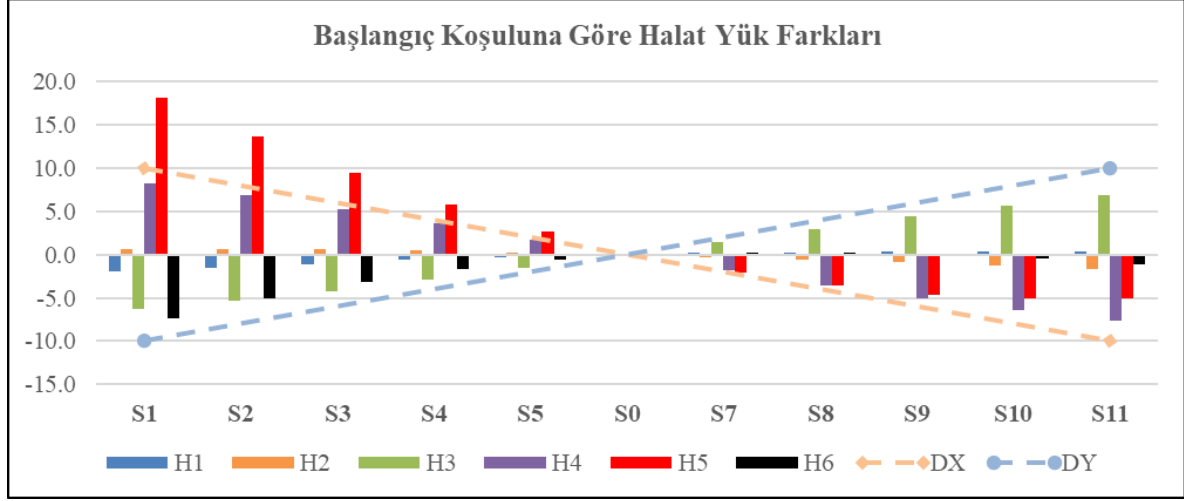
Kıç İskele – Baş Sancak Yönü			H1	H2	H3	H4	H5	H6
ΔX	ΔY	Eksen İsmi	Halatların Yükleri (Yüzde LDBF)					
10	-10	S1	6.3	35.4	1.1	13.2	94.0	27.2
8	-8	S2	6.5	35.5	1.7	12.4	91.4	28.6
6	-6	S3	6.8	35.4	2.4	11.4	88.9	29.7
4	-4	S4	7.1	35.4	3.2	10.4	86.7	30.6
2	-2	S5	7.3	35.2	4.0	9.3	84.9	31.3
0	0	S0	7.4	35.1	4.9	8.3	83.3	31.6
-2	2	S6	7.6	34.9	5.8	7.2	82.0	31.8
-4	4	S7	7.6	34.7	6.7	6.2	81.1	31.8
-6	6	S8	7.7	34.5	7.5	5.3	80.5	31.6
-8	8	S9	7.7	34.3	8.3	4.5	80.3	31.3
-10	10	S10	7.7	34.0	9.0	3.8	80.2	31.0

Şekil 8 üzerinde kesikli yeşil çizgi ile hareketin X eksenindeki büyüklüğü ve mavi kesikli çizgi ile Y eksenindeki büyüklüğü takip edilebilmektedir. Bu diyagonalde en büyük

değişim 4 ve 5 numaralı halatlarda gerçekleşmiştir. Tablo 6 üzerinde, 5 numaralı halat detaylı incelenirse, çalışma sınırının %94.0 değerine ulaşıldığı görülebilmektedir. İncelenen

durumlar içerisinde en yüksek çalışma sınırı bu diyagonal üzerinde tespit edilmiştir. Tüm halatlarda gerçekleşen yük değişimi ise şu şekildedir;
1 numaralı halat: 2.4t

2 numaralı halat: 2.3t
3 numaralı halat: 13.2t
4 numaralı halat: 15.9t
5 numaralı halat: 23.2t
6 numaralı halat: 8.5t



Şekil 8. “F” Noktasının Kıç İskele – Baş Sancak diyagonalindeki hareketi ve halatlarda oluşan yük farkları (t)

4. SONUÇ

Gemilerde bağlama sistemleri ve yeni bir bağlama noktasının konum tespiti için bağlama analizlerini içeren çalışmamızda örnek bir VLCC tipi gemi modeli üzerine çalışılmıştır. Çalışma sonucunda mevcut bağlama planında %83.3 oranında yük kapasitesine ulaşmış bir halatın, %94.0 oranına ulaşabildiği görülmüştür. Bağlama noktası konumunun diğer eksenlerde hareket ettirilerek bu değer %73.5 oranına düşürülebildiği gözlenmiştir. Ayrıca en kritik yük durumunu gemi kıçından uzak lakin gemi bordasına yakın olan diyagonal noktasında gerçekleşmesi ve bu noktanın ne en uzak ne en yakın nokta olması bağlama analizinin önemini bir kere daha kanıtlar niteliktedir.

330m tam boya sahip bir gemi için ± 10 metrelik mesafeler içerisinde yapılan analizin ışığında yeni bir bağlantı noktasının konumunun önemi ortaya çıkmaktadır. Burada küçük yer değişikliklerinin, bu kadar büyük bir gemide bile önemli değişikliklere yol açabileceği görülmüştür.

Özellikle son yıllarda daha büyük gemilerin mevcut limanlarla çalışma ihtiyacı, limanları yeni bağlama noktaları inşa etmeye

zorlamaktadır. Doğru bağlama noktası konumu seçiminin halatların yük dağılımına etkisi konusunda çalışma sonuçlarının yüksek önem arz ettiği düşünülmektedir. Halatlar üzerindeki yükün kontrollü bir şekilde dağıtımına yönelik bu tarz çalışmalar ise sürecin bir çıktısı olarak gemi bağlama operasyonlarına bağlı iş kazalarını da azaltacaktır.

5. TARTIŞMA

Literatür verileri incelendiğinde, bağlama planı olarak simetrik ve aynı eksenle yerleştirilen bağlama noktaları kullanımının yaygınlığı görülmektedir. Bu durum her koşula uygun bir bağlama planı kurulabilmesini kolaylaştırmaktadır. Oysa çalışma sonuçları incelendiğinde bağlama noktasının simetrik ya da aksel olarak takip edilmeyen bir noktada yer aldığı konumda en düşük kritik halat yükünün tespit edildiği fark edilmektedir. Bu çıktı ve çalışmanın tüm çıktıları mevcut bağlama planı ve kurulu çevresel yükler altında gerçekleşmiştir. Her duruma özel benzer analizler ve çözümler üretmek güç olacaktır. Lakin limanlar gibi coğrafi olarak sabit tesislerde hakim rüzgar ve akıntılar yıl boyunca daha az değişkenlik

göstermektedir. Özellikle bu koşullar için duruma özel bağlama planlarının ve bağlama ekipmanı yerleşiminin yapılması olası kazaları önleme konusunda faydalı olacaktır. Tesisler için erken tespit sistemlerine yapılacak yatırımlar ile ani değişimler tespit edilebilecektir. Ayrıca bağlama halatlarındaki yükün sürekli takibi ile kritik durumlar oluşmadan önce tespit edilebilecektir. Böylece bağlama sistemlerinde tespit edilen zorlanmaların bağlama noktaları değiştirilerek giderilebileceği, geleneksel ve sabit bağlama sistemleri yerine dinamik bağlama sistemleri üzerinde araştırmalar yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

ESER SAHİPLİĞİ KATKI BEYANI

Kerim ZIYLAN: Kavramsallaştırma, Yöntem Bilimi, Kaynaklar, Yazım- Orijinal Taslak, Yazım-Gözden Geçirme ve düzenleme, Veri iyileştirme, Görselleştirme.

Selçuk NAS: Doğrulama, Şekilsel analiz, Kaynaklar, Yazım-Gözden Geçirme ve düzenleme, Veri iyileştirme, Görselleştirme, Denetleme.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar(lar) bu makalenin gerçek, olası veya algılanan çıkar çatışmasına sahip olmadığını beyan etmektedirler.

ETİK KURUL İZİNİ

Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

FONLAMA DESTEĞİ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde enstitülerden veya kurumlardan finansal destek alınmamıştır.

ORCID Numaraları

Kerim ZIYLAN

 <https://orcid.org/0000-0002-9768-6891>

Selçuk NAS

 <https://orcid.org/0000-0001-5053-4594>

6. KAYNAKLAR

- Aage C. (1971).** Wind Coefficients for Nine Ship Models. *Danish Technical Press*, 1-14.
- Abdelwahab, H.S., Pinheiro, L., Santos, J.A., Fortes, C.J.E.M., Guedes Soares, C. (2024).** Experimental investigation of wave severity and mooring pretension on the operability of a moored tanker in a port terminal. *Ocean Engineering*, 291: 116243. doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.116243.
- ASCE, (2014).** Mooring of Ships to Piers and Wharves (J. W. Gaythwaite (ed.)). American Society of Civil Engineers. doi: 10.1061/9780784413555.
- Barros, P.W.F., Mazzilli, C.E.N. (2018).** The nonlinear dynamic behaviour in an alongside berth mooring arrangement. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(7). doi: 10.1007/s40430-018-1274-6.
- Blendermann, W. (1994).** Parameter identification of wind loads on ships. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 51(3): 339-351. doi: 10.1016/0167-6105(94)90067-1.
- Cheng, H., Lin, L., Ong, M.C., Aarsæther, K.G., Sim, J. (2021).** Effects of mooring line breakage on dynamic responses of grid moored fish farms under pure current conditions. *Ocean Engineering*, 237: 109638. doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109638.
- Chung, M., Kim, S., Lee, K., Shin, D.H. (2020).** Detection of damaged mooring line based on deep neural networks. *Ocean Engineering*, 209: 107522. doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107522.
- DDS 582-1 (1987).** Calculations for Mooring Systems. Department of the Navy Naval Sea Systems Command Washington, DC. 20362-5101.
- Flory J.F., Ractliffe A.T. (1994).** Mooring Arrangement Management by Computer. Paper No.4, Symposium on Ship Operations, *Management & Economics*, SNAME.
- Flory J.F., Banfield S. P., Ractliffe A.T. (1998).** Computer Mooring Load Analysis to Improve Port Operations and Safety, *American Society of Civil Engineers*.
- Hassani, V., Pascoal, A.M., Sørensen, A.J. (2018).** Detection of mooring line failures using Dynamic Hypothesis Testing. *Ocean Engineering*, 159: 496-503. doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.01.021.
- Huang, C., Pan, J. (2010).** Mooring line fatigue: A risk analysis for an SPM cage system. *Aquacultural Engineering* 42(1): 8-16. doi: 10.1016/j.aquaeng.2009.09.002.

- International Maritime Organization (IMO), Clasifications Register Rules and Regulations-Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2022-Part 3 Ship Structures (General)-Chapter 1 General-Section 7 Equipment Number, (2023a).** Erişim Tarihi: 08.10.2023, https://www.imorules.com/LRSHIP_PT3_CH1_7.htm/#GUID-AB0D9F23-7DD0-4ED6-9A35-AF866AD3EA4D_LRSHIP_PT3_CH1_7.1.1 adresinden alınmıştır.
- International Maritime Organization (IMO), Clasifications Register Rules and Regulations-Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2022-Part 3 Ship Structures (General)-Chapter 1 General-Section 7 Equipment, (2023b).** Erişim Tarihi: 08.10.2023, https://www.imorules.com/LRSHIP_PT3_CH13_7.html/#LRSHIP_PT3_CH13_7 adresinden alınmıştır.
- Isherwood, R.M. (1972).** Wind Resistance of Merchant Ships, *The Royal Institution of Naval Architects*, 115: 327-338.
- Jaiswal, V., Ruskin, A. (2019).** Mooring Line Failure Detection Using Machine Learning. In Day 1 Mon, May 06, 2019. Offshore Technology Conference. OTC. doi: 10.4043/29511-ms.
- Kudale, A., Sohoni V., Kulkarni S. (2016).** Mooring System for Very Large Ships at Berth, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 6(4): 1363-1371.
- Kuzu, A., Şenol, Y., Arslan, Ö. (2018).** Bağlama Operasyonları Esnasında Kopan Halat Yaralanmalarının Bulanık Hata Ağacı Yöntemi ile Analizi. *Journal of Eta Maritime Science*, 6(3): 215-227. doi: 10.5505/jems.2018.58661.
- Lee, K.H., Han, H.S., Park, S. (2015).** Failure analysis of naval vessel's mooring system and suggestion of reducing mooring line tension under ocean wave excitation. *Engineering Failure Analysis*, 57: 296-309. doi: 10.1016/j.engfailanal.2015.08.005.
- Lee, S.W., Lee, H.T., Kim, D.G., Cho, I.S. (2019).** Identification of Impact Factors in Ship-to-Ship Mooring Through Sensitivity Analysis. *Journal of Navigation and Port Research*, 43(5): 310-319. doi: 10.5394/KINPR.2019.43.5.310.
- Lee, S.W., Sasa, K., Aoki, S., Yamamoto, K., Chen, C. (2021).** New evaluation of ship mooring with friction effects on mooring rope and cost-benefit estimation to improve port safety. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 13: 306-320. doi: 10.1016/j.ijnaoe.2021.04.002.
- Li, Q., Dai, R., Chen, C. (2015).** Anti-typhoon Mooring System for Non-powered Vessels Based on Optimoor Software, Ninth International Conference on Frontier of Computer Science and Technology, Dalian, China, pp. 200-202, doi: 10.1109/FCST.2015.38.
- Matakis, K.E. (2010).** Development of Wind and Current Coefficients for Multiple U.S. Navy Vessel Analysis Using OPTIMOOR. *Ports 2010: Building on the Past, Respecting the Future*, 406-413. doi: 10.1061/41098(368)42.
- Natarajan, R., Ganapathy, C. (1995).** Analysis of moorings of a berthed ship. *Marine Structures*, 8(5): 481-499. doi: 10.1016/0951-8339(95)97305-r.
- OCIMF, 2018.** Mooring Equipment Guidelines 4th Ed. Oil Companies International Forum. Witherby Seamanship International Ltd., Bermuda.
- OCIMF, 2023.** Erişim Tarihi: 14.08.2023, <https://www.ocimf.org/> adresinden alınmıştır.
- Saad, A.M., Schopp, F., Barreira, R.A., Santos, I.H.F., Tannuri, E.A., Gomi, E.S., Costa, A.H.R. (2021).** Using Neural Network Approaches to Detect Mooring Line Failure. *IEEE Access*, 9: 27678-27695. doi: 10.1109/access.2021.3058592.
- Sreedevi R., Nallayarasu S. (2023).** Investigation on ship mooring forces including passing ship effects validated by experiments. *Ocean Engineering*, 283: 115004. doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.115004.
- Valet, S., Piskoty, G., Michel, S., Affolter, Ch., Beer, M. (2013).** Accident caused by dynamic overloading of a ship mooring rope. *Engineering Failure Analysis*, 35: 439-453. doi: 10.1016/j.engfailanal.2013.03.027.
- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Santos, P., Dias, E. Lopes, H. (2005).** Berthing Characteristics and the Behaviour of the Oil Terminal of Leixões Harbour, Portugal. *Maritime Heritage and Modern Ports*. 79: 481-492. doi: 10.2495/MH050451.
- Wang, J., Noh, J. (2022).** Calculating the Mooring Force of a Large LNG Ship based on OCIMF Mooring Equipment Guidelines. *Haeyang Hwan'gyeong Anjeon Haghoeji*, 28(4): 594-600. doi: 10.7837/kosomes.2022.28.4.594.
- Zhang, Z., Wang, X., Zhang, X., Zhou, C., Wang, X. (2024).** Dynamic responses and mooring line failure analysis of the fully submersible platform for floating wind turbine under typhoon. *Engineering Structures*, 301: 117334. doi: 10.1016/j.engstruct.2023.117334.
- Turna, İ., Kara, G., Danışman, D.B., (2022).** An Empirical Study on the Effects of Sea Ice on Ship Tonnage per Centimeter and Cargo Operations. *The Marine Technology Society Journal*, 56(4): 128-139.

Food composition of diamondback puffer *Lagocephalus guentheri* Miranda Ribeiro, 1915 from the northeastern Mediterranean Sea

Kuzeydoğu Akdeniz'den elmas sırtlı balon balığı *Lagocephalus guentheri* Miranda Ribeiro, 1915'in besin kompozisyonu

Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi

Cilt: 10 Sayı: 3 (2024) 173-179

Servet Ahmet DOĞDU^{1,2,*} , Cemal TURAN² , Funda TURAN³ , Ayşegül ERGENLER³ 

¹ *Iskenderun Technical University, Maritime Technologies School of Higher Education, Underwater Technologies, Iskenderun, Hatay, Türkiye*

² *Iskenderun Technical University, Marine Sciences and Technology Faculty Marine Science Department, Molecular Ecology and Fisheries Laboratory 31200 Iskenderun, Hatay, Türkiye*

³ *Iskenderun Technical University, Faculty of Marine Science and Technology, Department of Aquaculture, Türkiye*

ABSTRACT

Stomach content analysis of fish not only helps document their food spectrum but also provides an overview of the food network they are involved in. In this study, we aimed to investigate the food composition of *L. guentheri* from the Iskenderun Bay, northeastern Mediterranean Sea. Specimens were collected between January 2022 and August 2022. A total of 215 *L. guentheri* specimens stomachs were examined during the study for stomach content analysis. All stomachs were analyzed, 60 (27.9%) were empty and 155 (72.1%) contained food items. Analysis of diet composition showed that the species is carnivorous and prey on teleosts, crustaceans, bivalves and cephalopods. When the food composition of the samples is analyzed numerically, teleost was the most important prey (68%), followed by crustaceans (14%), bivalves (5%), cephalopods (0.5%) and unidentifiable materials (12.5%). Bony fish species such as *Plotosus lineatus*, *Parupeneus forsskali*, *Saurida lessepsianus*, *Scorpaena sp.* and *Siganus sp.* were identified in the food composition. Therefore, it is thought that this species has a high feeding tendency towards bony fish species. This study increases the knowledge about the food composition of *L. guentheri* on the Mediterranean coast of Türkiye.

Keywords: Pufferfish, Food composition, Stomach content, Alien species

Article Info

Received: 28 February 2024

Revised: 23 April 2024

Accepted: 5 May 2024

* (corresponding author)

E-mail: servetdogdu@yandex.com

To cite this article: Doğdu, S.A., Turan, C., Turan, F., Ergenler, A. (2024). Food composition of diamondback puffer *Lagocephalus guentheri* Miranda Ribeiro, 1915 from the northeastern Mediterranean Sea. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 10(3): 173-179. doi: 10.52998/trjmms.1443856.

ÖZET

Balıklarda mide içeriği analizi çalışmaları türün besin yelpazelerini belgelemeye yardımcı olur ve aynı zamanda dahil oldukları besin ağı ile ilgili genel bilgi sağlar. Bu çalışmada, kuzeydoğu Akdeniz'de İskenderun Körfezi'nde yakalanan *L. guentheri*'nin beslenme ekolojisi araştırılmıştır. Türe ait bireyler Ocak 2022 ile Ağustos 2022 tarihleri arasında yakalanmış ve çalışmada mide içeriği analizi için toplam 215 *L. guentheri* örneğinin midesi incelenmiştir. Analiz edilen tüm midelerin 60'ı (% 27.9) boş, 155'i (% 72.1) ise besin grubu içermektedir. Besin kompozisyonunun analizi sonuçları, türün etçil olduğunu ve kemikli balıklar, kabuklular, çift kabuklular ve kafadanbacaklıları avlağını göstermektedir. Örneklerinin besin kompozisyonu sayısal olarak incelendiğinde, kemikli balıkların en önemli av olduğu (% 68), bunu kabukluların (% 14), çift kabukluların (%5), kafadanbacaklıların (% 0.5) ve tanımlanamayan materyallerin (% 12,5) izlediği tespit edilmiştir. Besin kompozisyonunda *Plotosus lineatus*, *Parupeneus forsskali*, *Saurida lessepsianus*, *Scorpaena sp.* ve *Siganus sp.* kemikli balık türleri tanımlanmıştır. Bu nedenle bu türün kemikli balık türlerine karşı yüksek bir beslenme eğilimine sahip olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışma Türkiye'nin Akdeniz kıyılarındaki *L. guentheri*'nin besin kompozisyonu hakkındaki bilgileri arttırmaktadır.

Anahtar sözcükler: Balon balığı, Beslenme kompozisyonu, Mide içeriği, Yabancı türler

1. INTRODUCTION

Alien species have a negative impact on the Mediterranean Sea (Langeneck *et al.*, 2023). Biodiversity in the Mediterranean Sea has changed significantly since the opening of the Suez Canal in 1869 and the warming of the waters due to climate change (Turan *et al.*, 2016; Fitori *et al.*, 2021; Turan and Doğdu, 2022). Over 700 species of fish live in the Mediterranean Sea. These include at least 80 non-native migrants from the Red Sea and Indo-Pacific (Gurlek *et al.*, 2016; Turan *et al.*, 2022; Mutlu *et al.*, 2023). The eastern Mediterranean coast of Türkiye is one of the most important stopping points for alien fish species entering the Mediterranean Sea. To date, almost 100 alien fish species have been reported from the coast of Türkiye (Turan *et al.*, 2018; Karataş *et al.*, 2021).

Pufferfish is present in Turkish marine waters and is composed of seven species across four genera, namely *Lagocephalus lagocephalus*, *L. guentheri*, *L. sceleratus*, *L. suezensis*, *Sphoeroides pachygaster*, *Torquigener hypselogeneion*, and *Tylerius spinosissimus* (Ergüden *et al.*, 2017; Doğdu *et al.*, 2021a; Doğdu and Turan, 2021; Bilecenoğlu and Yokeş, 2022). The diamondback puffer, *L. guentheri* Miranda Ribeiro, 1915 is found from the Indo-Pacific to the Red Sea and Southwest Atlantic. This species usually occurs in shallow waters

(Froese and Pauly, 2023). In 2015, the first report of *L. guentheri* from the Mediterranean Sea was reported from Egyptian waters (Farrag *et al.*, 2016) and then the presence of the species in Türkiye was confirmed with a single record from Çandarlı Bay, Izmir in the northern Aegean Sea (Akyol and Aydın, 2016). After that, *L. guentheri* was recorded a second time in Türkiye from Iskenderun Bay (Ergüden *et al.*, 2017).

Pufferfish species have been declared an invasive alien species by the European Alien Species Information Network due to their damage to fisheries and also, they are non-commercial species (Doğdu *et al.*, 2021a). With its strong jaw structure and teeth, it causes great economic damage to small-scale fishermen and is targeted by fishermen. In addition, since it feeds on species of economic importance, it causes serious damage to the stock of native species (Yalnız *et al.*, 2017; Doğdu *et al.*, 2021b). Tetrodotoxin (TTX), a potent neurotoxin, is known to be extensively present in the body of the pufferfish species (Kosker *et al.*, 2019).

Knowledge of the food composition of species provides important information about the ecosystem and the relationships between species (Sivadas and Bhaskaran, 2009; Huang and Shao, 2022). This information can be used in the conservation of ecosystems and also it can be a key factor in the understanding of the interaction between species (Begum *et al.*, 2008; Braga *et*

al., 2012; Tonella et al., 2018; Renjithkumar et al., 2020). Food composition analysis of fish not only helps document their food composition but also provides an overview of the food network they are involved in. *L. guentheri* has no economic value, it is caught as by-catch and therefore there is no fishing pressure on it. To date, only one study on stomach content analysis of this species has been conducted in the Mediterranean (Gabel et al., 2022).

In this study, we investigate the stomach content of *L. guentheri* from the Iskenderun Bay, northeastern Mediterranean Sea. The present paper is information on the diamondback puffer *L. guentheri* food composition on Mediterranean coast of Türkiye.

2. MATERIALS AND METHODS

Specimens were caught in Iskenderun Bay, between January 2022 and August 2022. All specimens were caught as bycatch by local trawlers. All specimens were individually placed in plastic bags and transported to the Molecular Ecology and Fisheries Laboratory in Iskenderun Technical University (Figure 1). A total of 215 specimens stomachs were examined.



Figure 1. *Lagocephalus guentheri* specimens caught from Iskenderun Bay.

Body and stomach weights were measured with an accuracy of ± 0.1 g. The abdomens of the specimens, whose total length and body weights measured respectively, were carefully cut with scissors starting from the anus to the larynx without damaging the internal organs. Stomachs were removed from abdominal sectioning in the laboratory, weighed full and empty, and the food

items in each stomach were identified to the lowest possible taxon using stereoscopy and light microscopy. Where identification is not possible due to further digestion, prey items were categorized as "unidentifiable". The number of empty stomachs was recorded. Food composition was grouped into major taxon categories; Decapoda, Mollusca, Cephalopoda and Teleost to facilitate dietary comparisons and eliminate biases associated with comparisons based on variable levels of identification (Cortes, 1997). Hyslop, (1980) and Kelleher et al., (2000) were used to analyses the data obtained from stomach content analysis. These indices are;
Frequency of occurrence (IFO)

$$I_{FO} = \frac{n}{N_s} \times 100 \quad (1)$$

Catch percentage (I_p)

$$I_p = \frac{n'}{N_p} \times 100 \quad (2)$$

n is the number of stomachs containing a particular prey, N_s is the total number of stomachs analyzed, n' is the total number of individuals of a particular prey and N_p is the total number of prey individuals. According to I_p values, prey categories were divided into preferential ($I_p > 50\%$) and secondary ($10\% < I_p < 50\%$) (Savva et al., 2020; Tanrıverdi et al., 2022).

Feeding activity was assessed using the void index (I_v), which means the percentage of empty stomachs according to the following equation (Hureau, 1970):

$$I_v = \frac{E}{T} \times 10 \quad (3)$$

E is the number of empty stomachs and T is the number of stomachs examined (Hureau, 1970). The index of stomach fullness (I_{SF}) was calculated as an average of weights (g) of all prey items in the stomach divided by the average of the fish's total length (TL_{ort})

3. RESULTS

A total of 215 stomachs were examined during the study for food composition analysis. The analyzed index results are given in Table 1.

Table 1. Indexes obtained as a result of stomach content analysis of *L. guentheri*.

Index	%
Frequency of occurrence (I _{FO})	72.1
Void Index (I _V)	27.9
Catch Percentage of Fish (I _P)	68.0
Stomach Fullness Index (I _{SF})	0.40

As a result of stomach content analysis, frequency of occurrence index was 72.1%, catch percentage of fish 68%, void index 27.9% and stomach fullness index 0.40%. Analysis of the diet composition showed that the species are carnivorous and prey on teleost, cephalopods, crustaceans and bivalves. Teleost were identified as the most important prey (68%), followed by crustaceans (14%), bivalves (5%), cephalopoda (0.5%) and digested materials (12.5%) (Table 2). *Plotosus lineatus*, *Parupeneus forsskali*, *Saurida lessepsianus*, *Scorpaena* sp. And *Siganus* sp. Species were identified teleost species (Table 2, Figure 2).



Figure 2. *Plotosus lineatus* species detected in *Lagocephalus guentheri* stomach.

Table 2. General diet composition of *Lagocephalus guentheri* (%F= Frequency of occurrence, %N= Numerical presence; n: Number of stomachs).

Species	F%	N%	n
Decapoda			
Digested shrimps	7.74	7.50	12
Digested crab	9.68	6.50	15
Mollusca			
Bivalvia	5.16	5.00	8
Cephalopoda			
<i>Sepia</i> spp.	0.65	0.50	1
TELEOST			
<i>Scorpaena</i> spp.	5.16	12.50	8
<i>Saurida lessepsianus</i>	10.97	15.00	17
<i>Parupeneus forsskali</i>	14.19	13.50	22
<i>Siganus</i> spp.	5.16	4.00	8
<i>Plotosus lineatus</i>	23.87	17.00	37
Digested fish	5.16	6.00	8
Unidentifiable materials			
	12.26	12.50	19
Total	100	100	155

4. DISCUSSIONS

Pufferfish species have significant negative impacts on human health, biodiversity and fisheries (Ulman et al., 2021). It is of great importance to reveal the diet composition of invasive species such as pufferfish (Aydın, 2011). The present paper provides information on the diamondback puffer *Lagocephalus guentheri* food composition in the Mediterranean Sea.

The vast majority of these fish that compose the diet composition are alien species. Interestingly, finding invasive venomous lessepsian species (*Plotosus lineatus*, *Siganus* sp. and *Scorpaena* sp.) among stomach content, shows the ability of *L. guentheri* to resist venom.

The contribution of other invertebrate groups to the species diet was comparatively low. Gabel et al. (2022) found similar results with our study in the analysis of the nutrient composition of *L. guentheri* in their study on the Mediterranean coast of Israel. When we look at the studies on other pufferfish; Sabrah et al., (2006) reported for *L. sceleratus* diet composition as 70% cephalopods (squids and cuttlefishes), 25%

crustaceans (particularly crabs) and 5% fishes from the Gulf of Suez Egypt. Aydın (2011) analyzed diet composition of the *L. sceleratus* from the Antalya Bay. According to the results of the study *L. sceleratus* species is carnivorous and the diet composes of 54% shrimps (Penaeidae), 17% crabs (Portunidae), 14% fishes 4% squids and cuttlefish (Cephalopods) and 11% others. Denadai et al., (2012) examined the diet composition of *L. laevigatus* from Brazil. According to the study *L. laevigatus* diet was composed of 60.49% Cnidaria, 20.24% fishes, 10.42% Amphipodaa and 8.73% crustacea. Mohamad and Isa, (2013) analysed the diet composition of the *L. lunaris* from the two sampling sites from Malaysia. According to the result of the study, *L. lunaris* diet was composed of prawns (36.3, 38.2%), fish (5.6, 11.2%), squids (0.7, 2.9%) and bivalves (0.1, 1.7%). Kumar et al., (2013) analyzed the food items of the pufferfish species from the south Andaman Sea. According to the result of the study, *L. guetheri* species food items were determined as 41.81% Rock oyster, %21.81 Polychaetes, %16.36 micro alg, 12.72% Zooplankton, 7.27% seaweed pieces. Hussain et al., (2020) reported the feeding habits of *L. sceleratus* in the Ain El-Ghazala lagoon and Derna Coast from the eastern coast of Libya. In their study, they found that the main diet was composed of molluscs (72.5%) supplemented by crustaceans (17.4%) and fishes (10.2%). In Derna Coast samples the main diet was fish (100%). Ulman et al., (2021) reported the diet composition of *L. sceleratus* as 26% crustaceans, 24% fish and 11% cephalopods. Our results and other studies showed that the pufferfish is mainly carnivorous feeding on fish, crustaceans and cephalopods. Also, cannibalism has been reported in some species such of *L. sceleratus* (Ulman et al., 2021).

5. CONCLUSIONS

In conclusion, the results show that pufferfish have a diversified diet that allows them to easily adapt to their new environment. This plays an important role in the inability to prevent the spread of the species. Our study is expected to make a great contribution to future research on this species and similar species. It is thought that

it will be a source of important information about the food composition of the pufferfish species invading the Mediterranean Sea and will provide important data on the control and management of pufferfish.

AUTHORSHIP STATEMENT

CONTRIBUTION

Servet Ahmet DOĞDU: Conceptualization, Methodology, Validation, Analysis, Resources, Writing - Original Draft, Writing-Review and Editing. **Cemal TURAN:** Methodology, Validation, Analysis, Resources, Writing - Original Draft, Writing-Review and Editing. **Funda TURAN:** Validation, Analysis, Resources, Writing - Original Draft, Writing-Review and Editing. **Ayşegül ERGENLER:** Analysis, Resources, Writing - Original Draft, Writing-Review and Editing.

CONFLICT OF INTERESTS

The author(s) declare that for this article they have no actual, potential or perceived conflict of interests.

ETHICS COMMITTEE PERMISSION


No ethics committee permissions is required for this study.

FUNDING

No funding was received from institutions or agencies for the execution of this research.

ORCID IDs

Servet Ahmet DOĞDU:

 <https://orcid.org/0000-0003-2939-5838>

Cemal TURAN:

 <https://orcid.org/0000-0001-9584-0261>

Funda TURAN:

 <https://orcid.org/0000-0002-0257-6009>

Ayşegül ERGENLER:

 <https://orcid.org/0000-0001-9186-3909>

6. REFERENCES

- Akyol, O., Aydın, İ. (2016). A new record of *Lagocephalus guentheri* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) from the north-eastern Aegean Sea. *Zoology in the Middle East*, 62(3): 271-273. doi: 10.1080/09397140.2016.1226244.
- Aydın, M. (2011). Growth, reproduction and diet of pufferfish (*Lagocephalus sceleratus* Gmelin, 1789) from Turkey's Mediterranean Sea coast. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11(4): 569-576. doi: 10.4194/1303-2712-v11_4_10.
- Begum, M., Alam, M.J., Islam, M.A., Pal, H.K. (2008). On the food and feeding habit of an estuarine catfish (*Mystus gulio* Hamilton) in the south-west coast of Bangladesh. *University Journal of Zoology Rajshahi University*, 27: 91-94.
- Bilecenoğlu, M., Yokeş, M.B. (2022). *Torquigener flavimaculosus* Hardy & Randall, 1983 (Actinopteri: Tetraodontidae), a junior synonym of *Torquigener hypselogeneion* (Bleeker, 1852) based on molecular and morphological data. *Zoology in the Middle East*, 68(4): 309-319. doi: 10.1080/09397140.2022.2121082.
- Braga, R.R., Bornatowski, H., Vitule, J.R.S. (2012). Erratum to: Feeding ecology of fishes: an overview of worldwide publications. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 22(4): 915-931. doi: 10.1007/s11160-012-9273-7.
- Cortés, E. (1997). A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(3): 726-738. doi: 10.1139/f96-316.
- Denadai, M.R., Santos, F.B., Bessa, E., Bernardes, L.P., Turra, A. (2012). Population biology and diet of the puffer fish *Lagocephalus laevis* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) in Caraguatatuba Bay, south-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(2): 407-412. doi: 10.1017/S0025315411001299.
- Doğdu, S.A., Turan, C. (2021). Authentication and Traceability of Pufferfish Species Using DNA Sequencing. *Pakistan Journal of Marine Sciences*, 30(1): 1-11.
- Doğdu, S.A., Çiftçi, N., Ayas, D., Turan, C. (2021a). Potential Usage of Pufferfish Dentin as a Metal Accumulation Indicator. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 43: 269-275. doi: 10.3103/S1063455X21030061.
- Doğdu, S.A., Turan, C., Depci, T., Ayas, D. (2021b). Natural hydroxyapatite obtained from pufferfish teeth for potential dental application. *Journal of Ceramic Processing Research*, 22(3): 356-361. doi: 10.36410/jcpr.2021.22.3.356
- Erguden, D., Kabakh, F., Uyan, A., Doğdu, S.A., Karan, S., Gurlek, M., Turan, C. (2017). New record of diamondback puffer *Lagocephalus guentheri* Miranda Ribeiro, 1915 from the North-eastern Mediterranean, Turkey. *Natural and Engineering Sciences*, 2(3): 67-73. doi: 10.28978/nesciences.369554.
- Farrag, M., El-Haweet, A.A., Moustafa, M.A. (2016). Occurrence of puffer fishes (Tetraodontidae) in the eastern Mediterranean, Egyptian coast-filling in the gap. *BioInvasions Record*, 5(1): 47-54. doi: 10.3391/bir.2016.5.1.09.
- Fitori, A., Mahdy, A., Said, R.E., Al-Faturi, A. (2021). The first record of the lessepsian migrant *Pteragogus trispilus* Randall 2013 (Osteichthyes: Labridae) off the Libyan coast, east Mediterranean Sea. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 47(4): 381-385. doi: 10.1016/j.ejar.2021.09.009.
- Froese, R., Pauly, D. (2023). Accessed Date: 10.10.2023. www.fishbase.se is retrieved.
- Gabel, M., Unger, P., Theisen, S., Palm, H.W., Rothman, S.B.S., Yitzhak, N., Stern, N. (2022). Parasites of pufferfish, *Lagocephalus* spp. and *Torquigener flavimaculosus* of the Israeli Mediterranean: A new case of Lessepsian endoparasites. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 19: 211-221. doi: 10.1016/j.ijppaw.2022.09.003.
- Gurlek, M., Erguden, D., Doğdu, S.A., Turan, C. (2016). First record of greenback horse mackerel, *Trachurus declivis* (Jenyns, 1841) in the Mediterranean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 32(5): 976-977. doi: 10.1111/jai.13159.
- Hureau, J. C. (1970). *Biologie comparée de quelques poissons antarctiques (Nototheniidae)* Vol. 68. Musée Océanographique.
- Hussain, N.S., El-maremie, H.A., Ali, R.A., Ali, S.M., El-Mor, M.E. (2020). Food and feeding habits of *Lagocephalus sceleratus* (Gmelin, 1789) in some areas of the eastern coast of Libya. *International Journal of Fisheries and Aquaculture Research*, 6(2): 22-28.
- Huang, S.P., Shao, K.T. (2022). Stomach content analysis of young Russell's oarfish (*Regalecus russelii*) from Taiwan, and a report on an unusual case of predation. *Zootaxa*, 5189(1): 275-282. doi: 10.11646/zootaxa.5189.1.25.

- Hyslop, E.J. (1980).** Stomach contents analysis a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology*, 17(4): 411-429. doi: 10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x.
- Karataş, A., Filiz, H., Erciyas-Yavuz, K., Özeren, S.C., Tok, C.V. (2021).** The vertebrate biodiversity of Turkey. In: *Biodiversity, Conservation and Sustainability in Asia: Volume 1: Prospects and Challenges in West Asia and Caucasus* (M. Öztürk, V. Altay, R. Efe eds), p. 175-274. Cham: Springer International Publishing.
- Kelleher, B., Van der Velde, G., Giller, P.S., de Vaate, A.B. (2000).** Dominant role of exotic invertebrates, mainly Crustacea, in diets of fish in the lower Rhine River, The Netherlands. *Crustacean issues*, 12: 35-46.
- Kosker, A.R., Özogul, F., Ayas, D., Durmus, M., Ucar, Y., Regenstein, J.M., Özogul, Y. (2019).** Tetrodotoxin levels of three pufferfish species (*Lagocephalus sp.*) caught in the North-Eastern Mediterranean Sea. *Chemosphere*, 219: 95-99. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.12.010.
- Kumar, P., Mishra, J., Samin, Y., Santosh Kumar, C. (2013).** Studies on biology and feeding habit of puffer fish species from South Andaman Sea. *Journal of Coastal Environment*, 4: 73-81.
- Langeneck, J., Bakiu, R., Chalari, N., Chatzigeorgiou, G., Crocetta, F., Doğdu, S.A., Zenetos, A. (2023).** New records of introduced species in the Mediterranean Sea. *Mediterranean Marine Science*, 24(3): 610-632. doi: 10.12681/mms.35840.
- Mohamad, S., Isa, F.I. (2013).** Morphology and Stomach Content Analysis of Green Rough-backed Puffer Fish, *Lagocephalus lunaris* from Kuching, Sarawak. *Borneo Journal of Resource Science and Technology*, 2(2): 67-70. doi: 10.33736/bjrst.280.2013.
- Mutlu, E., Meo, I.D., Miglietta, C., Deval, M.C. (2023).** Ecological Indicative Stressors of Native vs. Non-Native Fish in an Ultra-Oligotrophic Region of the Mediterranean Sea. *Sustainability*, 15(3): 1-26. doi: 10.3390/su15032726.
- Renjithkumar, C.R., Roshni, K., Ranjeet, K. (2020).** Feeding ecology of the endemic freshwater puffer fish *Carinotetradon travancoricus* (Hora and Nair, 1941) in Western Ghats hotspot, India. *International Journal of Aquatic Biology*, 8(5): 300-310. doi: 10.22034/ijab.v8i5.922.
- Sabrah, M.M., El-Ganaimy, A.A., Zaky, M.A. (2006).** Biology and Toxicity of the Pufferfish *Lagocephalus sceleratus* (Gmelin, 1789) from the Gulf of Suez. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 32(1): 283-297.
- Savva, I., Chartosia, N., Antoniou, C., Kleitou, P., Georgiou, A., Stern, N., Kletou, D. (2020).** They are here to stay: the biology and ecology of lionfish (*Pterois miles*) in the Mediterranean Sea. *Journal of Fish Biology*, 97(1): 148-162. doi: 10.1111/jfb.14340.
- Sivadas, M. Bhaskaran M. (2009).** Stomach content analysis of the Indian mackerel *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier) from Calicut, Kerala. *Indian Journal of Fisheries*, 56(2): 143-146.
- Tanriverdi, R., Gökoğlu, M., Korun, J. (2022).** First Observations on the Stomach Contents of Devil Firefish, *Pterois miles* (Bennett, 1828) in the Gulf of Antalya, Turkey. *Acta Natura and Scientia*, 3(1): 24-31. doi: 10.29329/actanatsci.2022.351.03.
- Tonella, L. H., Fugì, R., Vitorino, O.B., Suzuki, H.I., Gomes, L.C., Agostinho, A.A. (2018).** Importance of feeding strategies on the long-term success of fish invasions. *Hydrobiologia*, 817: 239-252. doi: 10.1007/s10750-017-3404-z.
- Turan, C., Doğdu, S.A. (2022).** Preliminary Assessment of Invasive Lionfish *Pterois miles* Using Underwater Visual Census Method in the Northeastern Mediterranean. *Croatian Journal of Fisheries: Ribarstvo*, 80(1): 38-46. doi: 10.2478/cjf-2022-0005.
- Turan, C., Ayas, D., Doğdu, S.A., Ergenler, A. (2022).** Extension of the striped eel catfish *Plotosus lineatus* (Thunberg, 1787) from the eastern Mediterranean coast to the Mersin Bay on the western Mediterranean coast of Turkey. *Natural and Engineering Sciences*, 7(3): 240-247. doi: 10.28978/nesciences.1183740.
- Turan, C., Ergüden, D., Gürlek, M. (2016).** Climate change and biodiversity effects in Turkish Seas. *Natural and Engineering Sciences*, 1(2): 15-24. doi: 10.28978/nesciences.286240.
- Turan, C., Gürlek, M., Başusta, N., Uyan, A., Doğdu, S.A., Karan, S. (2018).** A checklist of the non-indigenous fishes in Turkish marine waters. *Natural and Engineering Sciences*, 3(3): 333-358. doi: 10.28978/nesciences.468995.
- Ulman, A., Yildiz, T., Demirel, N., Canak, O., Yemişken, E., Pauly, D. (2021).** The biology and ecology of the invasive silver-cheeked toadfish (*Lagocephalus sceleratus*), with emphasis on the Eastern Mediterranean. *NeoBiota*, 68: 145-175. doi: 10.3897/neobiota.68.71767.
- Yalınz, Ş.Ç., Turan, F., Doğdu, S.A. (2017).** Maturation and gonad development of yellowspotted puffer *Torquigener flavimaculosus* (Osteichthyes: Tetraodontidae) from Iskenderun Bay, North-eastern Mediterranean. *Natural and Engineering Sciences*, 2(3): 1-11. doi: 10.28978/nesciences.368991.

Water Pump Harnessed by Vortex-Induced Vibrations: Potential and Performance Evaluation in Turkish Rivers

Girdap Kaynaklı Titreşimlerle Tahrik Olan Su Pompası: Türkiye Akarsularında Potansiyel ve Performans Değerlendirmesi

Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi

Cilt: 10 Sayı: 3 (2024) 180-193

Aytekin DURANAY^{1,*} 

¹ İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, İzmir

ABSTRACT

In addition to scientific papers discussing the known destructive characteristics of Vortex-Induced Vibrations (VIV), the number of studies demonstrating different ways to harness the phenomenon has increased in recent years. Various research endeavors leveraging the physics of VIV, such as electricity generation, mechanical energy production, and the development of residential water meters, highlight the significance of this subject. In alignment with these studies, this paper first provides a physical explanation of VIV on circular cylinders. Subsequently, it discusses a recently patented device designed to harness VIV for water pumping, along with presenting a mathematical model applicable to its calculations. Furthermore, the characteristics of three different rivers from different geographical regions of Turkey - Kızılırmak, Büyük Menderes, and Meriç Rivers - are analyzed at specific coordinates. Preliminary calculations are conducted for three distinct setups of VIV-driven water pumps tailored for each of these rivers, evaluating their pumping capacity, maximum pumping heights, and corresponding flow rates. Thus, unveiling the potential contribution to agricultural irrigation and afforestation efforts.

Keywords: Vortex-Induced Vibrations, water pump, agricultural irrigation, afforestation.

Article Info

Received: 25 April 2024

Revised: 07 June 2024

Accepted: 10 June 2024

* (corresponding author)

E-mail: aytekin.duranay@ikcu.edu.tr

To cite this article: Duranay, A. (2024). Water Pump Harnessed by Vortex-Induced Vibrations: Potential and Performance Evaluation in Turkish Rivers. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 10(3): 180-193. doi: 10.52998/trjmms.1473474.

ÖZET

Girdap Kaynaklı Titreşimler (GKT) konusunun bilinen yıkıcı – tahrip edici özelliklerinin tartışıldığı bilimsel yayınlara ek olarak, son yıllarda ortaya konan ve fenomenen farklı şekillerde yararlanılabildiğini gösteren çalışmaların sayısı artmaktadır. Olayın fiziğinden yararlanarak elektrik üretimi, mekanik enerji üretimi ve mesken tipi su sayacı geliştirilmesi gibi farklı çalışmalar konunun önemini artırmaktadır. Çalışmada öncelikle dairesel silindirler etrafında meydana gelen GKT olayının fiziksel izahatı yapılmıştır. Daha sonra GKT ile tahrik edilerek kendi kendine su pompalaması planlanan ve son yıllarda patentlenmiş bir düzenek fikri tartışılmıştır. Bu su pompasının hesaplamalarında kullanılabilecek matematiksel bir model sunulmuştur. Ardından Türkiye'nin üç farklı coğrafi bölgesinde yer alan Kızılırmak, Büyük Menderes ve Meriç Nehirleri için belirli koordinatlardaki akarsu karakteristikleri çıkarılmıştır. Özellikleri belirlenen akarsuların her birinde kullanılması planlanan GKT tahrikli su pompaları için üç farklı düzeneğin ön hesabı yapılmıştır. Ön hesaplamalar ile temel özellikleri belirlenen düzeneklerin bu üç akarsuda pompalayabileceği su miktarı depolanacak yükseklikler ve karşılık gelen debiler cinsinden ortaya konmuştur. Böylece tarımsal sulama ve ormanlaştırma çalışmalarına ne kadar katkı sağlayacağına dair potansiyel ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar sözcükler: Girdap kaynaklı titreşimler, su pompası, tarımsal sulama, ormanlaştırma.

1. GİRİŞ

Antik Yunanlılardan beri kullanılagelen Aeolian Arpı, insanlığın Girdap Kaynaklı Titreşimler (GKT) olayından yararlanmayı başladığı ilk icattı. Rüzgâr akışı ile farklı tonlarda müzik üretmesi için pratikte binlerce yıl kullanılmasına rağmen, fiziksel izahatını ancak 16. yüzyılda Leonardo da Vinci irdelemiştir. Rüzgâr alan sahil bölgelerine yerleştirilen ve bu rüzgâr akışının, akışa dik yönde ürettiği girdapların kopması ile tellerinin doğal frekanslarında titreşmesi, enstrümanın farklı notalarda ses çıkarmasına neden olmaktadır. GKT'nin faydalanılabilir bir fenomen olarak karşımıza tekrar çıkması, çok uzun bir aradan sonra, ancak 2005 yılında geliştirilen VIVACE (Vortex Induced Vibration for Aquatic Clean Energy) adlı bir icat sayesinde olmuştur (Bernitsas *vd.*, 2006).

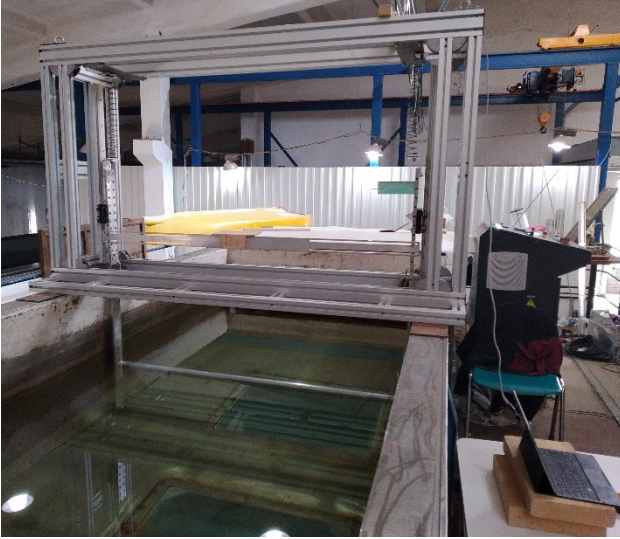
GKT olayı geçtiğimiz yüzyılda, 8 Kasım 1940 tarihinde ABD'nin Washington eyaletindeki Tacoma Narrows Bridge isimli asma köprüünün yapımından kısa bir süre sonra rüzgâr etkisiyle katastrofik biçimde yıkılması ile gündeme gelmiştir. Theodore von Kármán'ın akışa maruz kalan küt cisimler üzerinde Reynolds sayılarına bağlı oluşan sınır tabakalara izahat getirmesi (Dryden *vd.*, 1958), Feng (1968)'in rüzgâr akışına dik yöndeki dairesel silindir testleri sonrası bu köprü yıkımının GKT kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Tacoma Narrows Bridge felaketi ve devamındaki araştırmalar sonucunda GKT olayı yıkıcı – tahrip edici özellikleri ile anılmaya başlanmıştır. Günümüzde, fenomenin bastırılması ya da tamamen engellenmesini hedefleyen birçok çalışma halen yayınlanmaktadır (Williamson ve Govardhan, 2004; Bearman, 2009; Du ve Sun, 2015; Bukka *vd.*, 2020; Lou *vd.*, 2020; Yexuan *vd.*, 2022; Wang *vd.*, 2022; Luo *vd.*, 2022).

Michigan Üniversitesi'nde geliştirilerek Bernitsas ve Raghavan (2005) tarafından patentlenen ve yavaş akışlarda dahi olaydan yararlanarak efektif biçimde elektrik üretimi gerçekleştirebilen VIVACE'nin (UM News Service, 2008) tanıtımının ardından (Bernitsas *vd.*, 2008) fenomene olan bakış açısı büyük oranda değişmiş; GKT üzerine son yıllarda yapılan yayınların dikkate değer bir oranı, yerini olayın fiziğinden farklı yollarla yararlanmayı öneren çalışmalara bırakmıştır (Lee ve Bernitsas, 2011; Lakka, 2013; Baredar ve Yadav, 2019; Kınacı ve Gökçe 2020; Hamdan *vd.*, 2021; Duranay *vd.*, 2022).

2010 yılında VIVACE'nin geleneksel dairesel silindir – yay – kol düzeneğinden farklı olarak Akaydın *vd.* (2010) tarafından tasarlanarak (elastik yaylar yerine) akışa paralel yerleştirilen ve içinde piezoelektrik malzeme bulunduran bir elastik levha ile sabitlenen dairesel silindirin GKT'sinden elektrik üretilmiştir. Bir diğer

GKT'den elektrik enerjisi üreten çalışmada Dai vd. (2016), dört farklı GKT düzeneğinde Akaydın vd. (2010)'a benzer biçimde piezoelektrik malzeme kullanmıştır. GKT'den elektrik üreten çalışmalar dışında, olayın fiziğini kullanarak mesken tipi su kullanım debisini daha efektif biçimde hesaplamaya yarayan bir su sayacı, 2013 yılında Sami Lakka tarafından icat edilmiştir (Lakka, 2013). 2020 yılında ise GKT sayesinde akıştan elde edilen enerjiyi üreteçler ile elektrik enerjisine çevirmek yerine doğrudan su pompalamak için kullanma fikri Kınacı ve Gökçe (2020) tarafından patentlenmiştir. Patentlenen bu icadın prototip çalışmaları İTÜ Akışkan Kaynaklı Hareketler Laboratuvarı (ITU FIMLab) sirkülasyon kanalında yer alan ve 2022 yılında yenilenen GKT düzeneği kullanılarak tarafımızca yürütülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. İTÜ Akışkan Kaynaklı Hareketler Laboratuvarı (ITU FIMLab) sirkülasyon kanalında yer alan sakin su içindeki dairesel silindiri ile GKT düzeneği

Çalışmalarda, sirkülasyon kanalının test kesiti ve akış özelliklerine bağlı olarak ana boyutları belirlenen dairesel silindirlere kullanılmaktadır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanarak geliştirdiğimiz simülasyonların da katkısı ile ülkemiz akarsularının karakteristikleri üzerinden yapılacak bir ön çalışma, ileride kurulması planlanan dairesel silindirlerin GKT performansı ve pompalayacağı su miktarı potansiyeli araştırmaları, kurmayı planladığımız GKT su pompalarının önemini ve gerekliliğini

ortaya çıkaracaktır. Bu amaçla hazırlanan makalemizde:

- Girdap kaynaklı titreşimler konusunda Türkçe kaynak sayısının oldukça sınırlı olması ve artırılması gerekliliği,
- Son yıllarda gerek fenomenin mühendislik yapıları üzerindeki yıkıcı etkilerini azaltmaya yönelik gerekse olayın fiziğinden faydalanmayı amaçlayan GKT çalışmalarının ülkemizde yeterince bilinmemesi,
- GKT'den enerji üretiminin Türkiye akarsu ve nehirleri için mümkün olup olmadığının daha önce tartışılmamış olması,
- Tarımsal sulama ve ormanlaştırma projelerine farklı bir perspektif kazandırma,
- Farklı disiplinlerden paydaşların dikkatini bu konuya çekme ve de potansiyel projelerimize katkı sağlamaya teşvik etme gibi hususlar motivasyonumuz olmuştur.

Takip eden alt başlıklarda sırasıyla GKT olayının fiziksel ve matematiksel izahatı yapılmış, Türkiye akarsu ve nehirlerinden rastgele farklı coğrafi bölgelerden seçilen örneklerin karakteristikleri irdelenmiş, bu akarsu ve nehirlerde GKT'den yararlanarak pompalanacak suyun ön hesaplamaları sunulmuştur. Son kısımda ise sonuçlar tartışılmış ve çalışmanın çıkarımlarına yer verilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. GKT'nin Fiziksel İzahatı

Akışa maruz kalan küt gövdeli cisimler etrafında belirli Reynolds sayıları (Re) ve üzerinde girdaplar kopmaya başlar. Cisim, akışa dik doğrultuda simetrik olması durumunda stagnasyon noktasından ikiye ayrılan benzeş sınır tabakalardaki akış hızı, basınç gradyanı, türbülanslılık gibi akış karakteristikleri de (genellikle) simetriktir. Bu durumda (yer çekimi doğrultusunda) cismin altında ve üstünde oluşan girdaplar birbirini takip ederek periyodik şekilde kopar ve cismin üzerinde harmonik kuvvetler oluşturur. Zdravkovich (2003) ve Sümer ve Fredsøe (2006), akış içindeki hareketsiz dairesel bir silindirin Reynolds sayılarına bağlı olarak

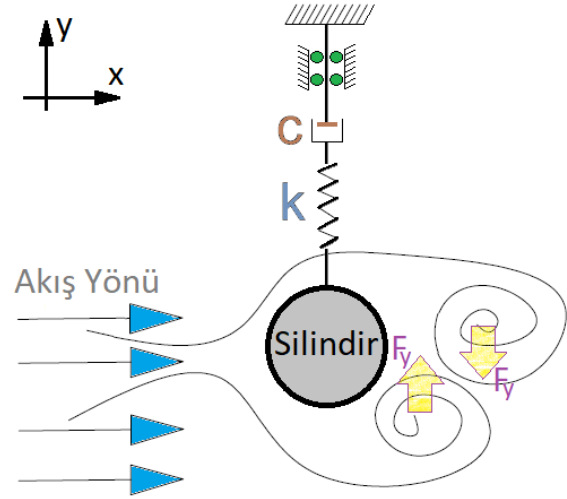
değişen sınır tabakaları ve iz bölgesindeki girdap yapıları arasındaki ilişkiyi ayrıntılı olarak açıklamışlardır.

Tablo 1. Sabit dairesel silindir etrafında Reynolds sayısına bağlı değişen akış özellikleri (Sümer ve Fredsøe, 2006)

Reynolds Sayısı	Özelliği
Laminer Bölge	
$Re < 5$	Ayrışma olmayan akış
$5 < Re < 40$	Sabit simetrik girdaplar
$40 < Re < 200$	Laminer girdap yolu
Kritik-altı Bölge	
$200 < Re < 300$	İz bölgesinde türbülansa geçiş
$300 < Re < 3 \times 10^5$	Laminer sınır tabaka
	Türbülanslı iz bölgesi
Kritik Bölge	
$3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^5$	Laminer sınır tabakaları, kısmen türbülanslı sınır tabaka ayrışması
Kritik-üstü Bölge	
$3.5 \times 10^5 < Re < 1.5 \times 10^6$	Kısmen türbülanslı sınır tabaka, tamamen türbülanslı sınır tabaka ayrışması
Üst Geçiş Bölgesi	
$1.5 \times 10^6 < Re < 4 \times 10^6$	Sınır tabaka tek tarafta tamamen türbülanslı
Trans-kritik Bölge	
$Re > 4 \times 10^6$	Sınır tabaka her iki tarafta da tamamen türbülanslı

Akışla kendi kendini tahrik eden su pompası, VIVACE gibi GKT'den yararlanmak istenen çalışmalarda, akışkandan cisme daha fazla enerji transferi için girdap kopmalarının sürekli tekrarlayan (repetitive) ve güçlü olmaları istenir. Bu amaçla, kritik altı bölgede yer alan TrSL2 ve TrSL3 (Transition Shear Layer: Geçiş Kayma Tabakası 2 ve 3) akış rejimlerindeki Reynolds aralığı oldukça elverişlidir (Govardhan ve Williamson, 2000; Ji vd., 2018; Duranay, 2024). Bu akış rejimleri, ayrıca, birçok açık deniz yapıları ve ekipmanının doğal olarak maruz kaldığı Reynolds sayılarını da içinde barındırmaktadır (Rahman, 2015).

Şekil 2'de birbirini tekrar eden girdap kopmaları için yeterli seviyedeki Reynolds sayılarındaki akışa maruz kalmış dairesel bir silindirin, akışa dik yönde tek serbestlik dereceli titreşim hareketine izin verildiğindeki hareket bileşenleri verilmiştir.



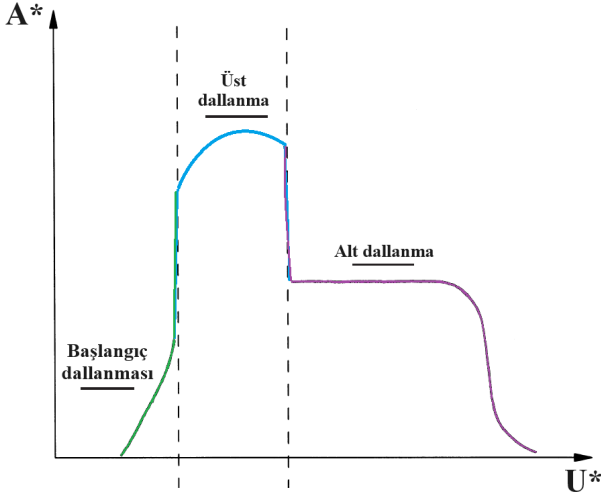
Şekil 2. x^+ yönünde akışa maruz kalan, y ekseninde hareketine elastik yay ile izin verilen dairesel silindir üzerinde kopan girdaplar sonucunda oluşan F_y kuvvetleri ve doğrultusu

Şekil 2'de verilen dairesel silindirin GKT hareketi, zorlanmış titreşim hareket denklemi ile temsil edilebilmektedir:

$$m_{osc}\ddot{y} + c_{tot}\dot{y} + ky = F_y(t) \quad (1)$$

Burada m_{osc} , hareket eden bütün parçaların (daire silindir ve bağlantı kolları) ve elastik yayların 1/3 oranındaki ağırlığın toplamıdır. Sistemin toplam sönüm katsayısı c_{tot} , yayların toplam sabiti k ve y ekseninde etkiyen zamana bağlı hidrodinamik kuvvetlerin toplamı $F_y(t)$ ile gösterilmiştir. Girdapların cisim üzerinden koparken oluşturduğu harmonik kuvvetlerin frekansı, girdap kopma frekansı ile aynı olduğu kabul edilmiştir. Bu frekans, silindir sisteminin doğal frekansına eşit ya da yakın değerlerde olduğunda titreşim genlikleri muazzam şekilde artarak genellikle gözle görünür hâle gelmektedir. Bu durumda *senkronizasyon bölgesi* ve *kenetlenme (lock-in)* gibi GKT'ye özgü terimlerden bahsetmek gereklidir. Senkronizasyon bölgesi, adından da anlaşılacağı üzere, girdapların ve cisim hareketinin senkronize biçimde oluşması, diğer bir deyişle girdap kopması ile silindir titreşim hareketi arasındaki faz farkının (Φ) minimum olduğu bölgedir. Burada üç farklı dallanmadan söz

edilebilir: başlangıç dallanması, üst dallanma ve alt dallanma (Şekil 3). Üst dallanma içinde yer alan kenetlenme olayı ise silindir sisteminin doğal frekansı ile girdap kaynaklı açığa çıkan kuvvetlerin oluşum frekansının çakışması durumudur. Kenetlenme olayı literatürde genellikle senkronizasyon bölgesi ile ya da üst dallanma aralığı terimleri karıştırılır.



Şekil 3. Su içindeki dairesel silindirin GKT hareketinin boyutsuz hıza (U^*) göre değişimi

Akışkanın silindir ile ilişki içinde olduğu projeksiyon alanından (Silindir Çapı (D) \times Silindir Boyu (L)) hareketli silindire transfer olacak enerjinin büyüklüğünün, salınım genliği ve frekansı ile doğru orantılı olacağını tahmin etmek zor değildir. Bu durumda GKT olayının yıkıcı etkilerini azaltmak ya da tamamen ortadan kaldırmak istenen çalışmalarda, inşası yapılacak mühendislik yapısının dizaynında, kenetlenme frekansından ve hatta mümkünse senkronizasyon aralığına denk gelecek koşullardan olabildiğince uzak durmak gerekmektedir. Öte yandan, GKT olayından yararlanmak isteyen araştırmalarda senkronizasyon bölgesi içindeki kenetlenme koşulunu yakalamak hedeflenmelidir. Buna ek olarak Modir ve Goudarzi (2019) örneğinde olduğu gibi senkronizasyon bölgesini genişletmek, fenomenden daha farklı akış koşullarında da faydalanmayı mümkün hale getirmektedir.

Hareketin senkronizasyon aralığı GKT'nin boyutlu ve boyutsuz parametrelerine bağlıdır. Bunlardan ilki ve en önemlisi hiç şüphesiz

Reynolds sayısıdır (Re). Çalışmanın sonraki kısımlarında fenomenin ve su pompasının matematiksel olarak izahatı birlikte yapılacak ve bu parametrelerin Türkiye akarsu ve nehirlerinde GKT potansiyeli açısından değerlendirmesi bu parametrelere bağlı olarak çıkarılacaktır. Silindir sisteminin su içindeki doğal frekansı ($f_{n,w}$), boyutlu ve boyutsuz (indirgenmiş) akış hızları (sırasıyla U ve U^*), boyutlu ve boyutsuz (indirgenmiş) titreşim frekansı (sırasıyla $f_{silindir}$ ve f^*), su içindeki sönüm katsayısı ($\zeta_{n,w}$), hareketli parçaların toplam ağırlığı (m_{osc}), silindirin bağlı olduğu yayların toplam sabiti (rijitlik katsayısı) (k), ek su kütlesi (m_a), yatay (genişlik) ve dikey (derinlik) blokaj oranları (BO) ve serbest su yüzeyinden uzaklığın silindir çapına oranı ($h^* = h/D$) gibi parametreler, dairesel bir silindirin genel GKT performansında ve hareketin, senkronizasyon bölgesinin neresinde oluşacağını belirlemede oldukça önemli yer tutar.

2.2 GKT ve Su Pompasının Matematiksel İzahatı

Tek serbestlik dereceli hareketine y ekseninde izin verilen, aynı ekseninde girdap kaynaklı ve zamana bağlı yön değiştirerek etkiyen $F_y(t)$ kuvvetinin etkisinde, hareketli parçaların toplam ağırlığı m_{osc} , toplam sönüm katsayısı c_{tot} ve bağlı olduğu elastik yayların rijitlik katsayısı k olan dairesel bir silindire ait hareket, Denklem 1 ile önceki kısımda verilmiştir.

Girdap kaynaklı titreşimler üzerine geliştirilen matematik modellerinde, viskoz olmayan kuvvetlerin hareket denkleminin sol tarafında ek su kütlesi (m_a) olarak yer alıp almaması gerektiği hala tartışma konusudur. Bu çalışma kapsamında sürdürülen tartışmalara müdahil olunmamıştır. Onun yerine, dairesel silindirlerin GKT hareketine izahat için geliştirdikleri matematiksel yöntemdeki verim ve güç oranı gibi değerleri deneysel olarak da (belli ampirik formüllerle düzeltilerek) ortaya koyan MRELab (The Marine Renewable Energy Laboratory, Michigan Üniversitesi) ekibinin geçmiş çalışmalarından yararlanılmıştır. Çalışmada, benzer bir matematiksel yöntem GKT su

pompasına uyarlanarak sonuca gidilmiştir. Böylece HAD ve deneysel çalışmaların test ve hesaplama maliyetlerine girmeden (sadece bazı katsayıların elde edilmesi için bu yöntemler kullanılması gerekmiştir), Türkiye akarsularının Devlet Su İşleri (DSİ) verilerine göre yıllık akış rejimleri üzerinden enerji üretimi ve su pompalama potansiyeli değerlendirilebilecektir. GKT fenomeninden yararlanarak elektrik enerjisi üreten öncü çalışmalardan VIVACE isimli dönüştürücünün hareket denkleminde Bernitsas vd. (2008) ek su kütlelerini “cismin hızındaki bir artış sırasında akışkana verilen tepkiyi, o artış hızına bölen bir kavram” olarak açıklar ve denkleminde tıpkı potansiyel teoride olduğu gibi tanımlar. Böylece Denklem 2 elde edilmiş olur:

$$m_{osc}\ddot{y} + c_{tot}\dot{y} + ky = F_{y,vor} + F_{y,pot} \quad (2)$$

Dairesel silindir tarafından taşırılan suyun kütlesi m_d , ek su kütlesi m_a ve sakin sudaki ek su kütlesi katsayısı c_a olmak üzere, $m_a = c_a m_d$ ve potansiyel kuvvet ifadesi daha açık olarak $F_{y,pot} = -c_a m_d \ddot{y} = m_a \ddot{y}$ şeklinde gösterilerek Denklem 3’e ulaşılmış olacaktır:

$$(m_{osc} + m_a)\ddot{y} + c_{tot}\dot{y} + ky = F_{y,vor} \quad (3)$$

Denklemin sağ tarafındaki girdap kopmaları kaynaklı kuvvetin ifadesi Denklem 4’te verilmiştir:

$$F_{y,vor} = \frac{1}{2} c_y(t) \rho D U^2 L \quad (4)$$

Burada dairesel silindir tarafından taşırılan suyun ağırlığı $m_d = (\pi/4) \rho D^2 L$ alınarak denklemin sağ tarafında ifade edilirse hareket denkleminin Denklem 5 hâlini alacaktır:

$$(m_{osc} + m_a)\ddot{y} + c_{tot}\dot{y} + ky = \frac{2}{\pi D} c_y(t) m_d U^2 \quad (5)$$

Salınım hareketinin sinüzoidal olduğu düşünülürse:

$$y = y_{max} \sin(2\pi f_{girdap} t) \quad (6)$$

Yer değiştiriminin (y) silindir çapına (D) bölünerek boyutsuzlaştırılması durumunda:

$$\frac{y}{D} = y^* = y_{max}^* \sin(2\pi f_{girdap} t) \quad (7)$$

Burada f_{girdap} girdap kopma frekansıdır. Yer değiştiriminin zamana göre türevi ise Denklem 8’de gösterildiği gibi hızı verecektir:

$$\dot{y} = y_{max} 2\pi f_{girdap} \cos(2\pi f_{girdap} t) \quad (8)$$

Silindire etkiyen kaldırma kuvvet katsayısı C_y olmak üzere ve silindirin salınım hareketi ile girdap kopmaları arasındaki faz farkı Φ ile gösterildiğinde zamana bağlı kaldırma kuvveti katsayısı Denklem 9 ile ifade edilir:

$$c_y(t) = C_y \sin(2\pi f_{girdap} t + \Phi) \quad (9)$$

Dairesel silindire akışa dik doğrultudaki hız kazandıran viskoz kuvvetlerin her bir çevrim süresince ($T_{silindir}$) yaptırdığı işi (W) Denklem 10 ile ifade edebiliriz:

$$W_{pompa} = \int_0^{T_{silindir}} F_{y,vor} \dot{y} dt \quad (10)$$

Böylece bir çevrimde ortaya çıkan güç de aşağıdaki gibi ifade edilmiş olur:

$$P_{pompa} = \frac{W_{pompa}}{T_{silindir}} \quad (11)$$

Yukarıdaki ifadelerde yer alan yer değiştirme (y) (Denklem 6) ve su pompasının dairesel silindirini tahrik eden kuvvetlerin ($F_{y,vor}$) (Denklem 4) salınım hareketi sırasında değişkenlik gösteren anlık hızlar ile $T_{silindir}$ boyunca hesaplanarak ortalamalarının alınması su pompasının gücünü verecektir:

$$P_{pompa} = \frac{1}{T_{silindir}} \int_0^{T_{silindir}} \frac{2}{\pi D} c_y(t) m_d U^2 2\pi y_{max} f_{girdap} \cos(2\pi f_{girdap} t) dt \quad (12)$$

Senkronizasyon bölgesinde $f_{girdap} = f_{silindir} = 1/T_{silindir}$ olduğu bilgisine ilaveten Denklem 8, Denklem 9 ve Denklem 12'nin uyarlanması ile Denklem 13 elde edilmektedir:

$$P_{pompa} = f_{silindir} \int_0^{1/f_{silindir}} \frac{2}{\pi D} C_y \sin(2\pi f_{silindir} t + \Phi) m_d U^2 2\pi y_{max} f_{silindir} \cos(2\pi f_{silindir} t) dt \quad (13)$$

İntegral işlemi belirlenen aralıkta hesaplandığı ve $m_d = (\pi/4)\rho D^2 L$ alındığı zaman GKT ile tahrik edilen su pompasının girdap kaynaklı kuvvetler neticesinde ulaşacağı güç elektrik üretiminde kullanılan VIVACE'ninkine (Bernitsas vd., 2008) benzer olarak Denklem 14 ile ifade edilebilecektir:

$$P_{pompa} = \frac{1}{2} \pi C_y y_{max} f_{silindir} \rho D U^2 L \sin(\Phi) \quad (14)$$

Suyun akış yönünde silindirin çapı ve boyunun çarpımı ile elde edilen projeksiyon alanına ($A_{projeksiyon} = DL$) etkiyen aynı yöndeki kuvvetlerin Bernoulli'ye göre oluşturacağı kinetik basınçtan çıkarılacak güç ifadesi Denklem 15'da sunulmuştur:

$$P_{akışın oluşturduğu güç} = \frac{1}{2} \rho D U^3 L \quad (15)$$

Böylece GKT ile tahrik edilecek su pompasının teorik olarak ulaşabileceği en yüksek verim Denklem 16 ile ifade edilebilir:

$$\mu_{max} = \frac{P_{pompa}}{P_{akışın oluşturduğu güç}} = \frac{\frac{1}{2} \pi C_y y_{max} f_{silindir} \rho D U^2 L \sin(\Phi)}{\frac{1}{2} \rho D U^3 L} \quad (16)$$

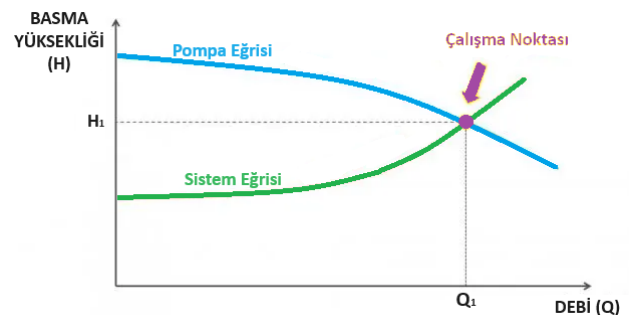
Bu oran, üst dallanma bölgesinde ve TrSL3 akış rejiminde serbest çalışan bir GKT düzeneği üzerinde yapılan deneysel hesaplamalarda VIVACE için $\mu_{max} = 0.37$ olarak bulunmuştur. Bernitsas vd. (2008)'in çalışmasında elektrik üretimi için GKT sistemlerinde yer alan ve GKT düzeneğinin kendi mekanik sönümünden ($\zeta_{mekanik}$) hariç, üreteç ($\zeta_{üreteç}$) ve dönüştürücülerden ($\zeta_{dönüştürücüler}$) kaynaklanan

sönüm katsayıları, hareket denkleminin sol tarafında yer alan c_{tot} ifadesindeki yerini almıştır ($\zeta_{toplam} = \zeta_{mekanik} + \zeta_{dönüştürücüler} + \zeta_{üreteç}$). Bir başka deyişle, elektrik üretilirken elde edilen deneysel verilerde aynı akış koşullarındaki verim $\mu_{VIVACE} = 0.22$ olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada ise VIVACE'den farklı olarak, elektrik üretimi yerine GKT ile kendi kendini tahrik eden bir su pompasına ait ön hesaplamalar yapılacaktır. Sönüm etkisi oluşturacak bileşenler aynı matematiksel model ile tanımlanabilse dahi su pompasının ve elektrik üreticinin aynı verimde çalışması elbette beklenemez. Ancak aynı matematiksel model üzerinden hesaplanan teorik ve de deneysel sonuçlarda ortaya çıkan verim oranları kullanılarak su pompasının ne kadar su pompalayacağı hakkında öngörü sahibi olabiliriz. Kısaca, sonraki bölümlerde DSİ verilerine göre karakteristik özelliği incelenen akarsu ve nehirlerimizdeki GKT tahrikli su pompalama verimi $\mu_{pompa} = 0.22$ olarak alınmıştır.

Aşağıda bir su pompasının gücü (P_{pompa}), debi (Q), basma yüksekliği (H), pompalanan akışkanın yoğunluğu (ρ) ve yer çekimi (g) cinsinden ifade edilmiştir. Hesaplamalarda, GKT düzeneğinin içinde bulunduğu akışkan ile pompalanan akışkanın aynı olduğu ve dolayısı ile ρ değerlerinin değişmediği unutulmamalıdır.

$$P_{pompa} = \frac{Q \times H \times \rho \times g}{\mu} \text{ (Watt)} \quad (17)$$



Şekil 4. Debi ve basma yüksekliğine göre genel performansı değişen bir pompanın çalışma noktası

Çalışmada GKT pompasının genel performansı bulunacak olup basma yüksekliği H (m) ve debi değerleri Q (m^3/s) çarpımı şeklinde $Q \times H$ (m^4/s) olarak ifade edilecektir. Basma yüksekliğinden kaynaklanacak sürtünme kayıpları (kayıplar verimin içinde kabul edilerek) ve optimum çalışma noktası tespiti sonraki çalışmaların konusu olacaktır.

3. BULGULAR

3.1 Türkiye Akarsularından Örnekler

Çalışmada Türkiye'nin üç farklı coğrafi bölgesinden rastgele seçilen akarsuların karakteristikleri DSİ'nin 2014-2015 yıllarına ait akım gözlem yıllığındaki verilerinden alınmıştır (DSİ, 2018). Burada amaçlanan, farklı debilerde ve karakteristiklerdeki akarsu ve nehirlerde GKT kullanılarak su pompalayan bir düzeneğin kurulması halinde bölgesel tarım ya da ormanlaştırmaya ne kadar katkı sağlanacağını araştırılmasıdır. İlk olarak içinde Kızılırmak gibi yüksek debili nehirleri barındırmasına rağmen genel olarak bozkır bitki örtüsüne sahip İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Kayseri'nin Kocasinan İlçesi, Yamula bölgesi irdelenmiştir. Ardından tarımda önemli yer tutan Ege Bölgesi'nin Aydın ilinde yer alan Büyük Menderes Havzası'nda DSİ tarafından ölçüm değerleri paylaşılan bir noktada ve son olarak Trakya Bölgesi'nde Meriç-Ergene Havzası için hesaplamalar yapılmıştır.

Her bir akarsu örneğinde kullanılmak üzere üç farklı GKT silindir geometrisi ve düzenek özellikleri paylaşılmıştır. Böylece mevsimsel

şartlara göre değişen debilerde GKT düzeneğinin efektif biçimde su pompalamaya devam etmesi öngörülmektedir.

Seçilen akarsuların, 2014 Ekim ayından 2015 Eylül ayına kadar olan debileri m^3/s cinsinden Tablo 3'te verilmiştir. GKT tahrikli su pompası potansiyeli hesaplamalarında 12 aylık ortalama debi değerleri alınacaktır. Bu debilerde istenen akış hızlarına göre GKT silindiri özellikleri ve akarsu en kesit alanları belirlenecektir. Bu sayede bir kesitte kaç adet GKT düzeneğinin aynı anda çalışarak su pompalayabileceği hesap edilecektir.

Tablo 2. Seçilen akarsular ve hesaplama konumları

Akarsu	Tam adı	Konumu
	Kızılırmak Havzası E15A001	38°53'25.0"K
Kızılırmak	Kızılırmak (Yamula, Kocasinan)	35°15'31.0"D
Büyük Menderes	Büyük Menderes Havzası E07A006 Büyük Menderes (Aydın Köprüsü)	37°47'00.0"K 27°50'25.0"D
Meriç	Meriç-Ergene Havzası D01A003 Meriç (Kirişhane)	41°38'50"K 26°34'20"D

Tablo 3'te görüldüğü üzere bahar aylarında yağışlarla birlikte ortalama debilerin artması beklenen bir sonuçtur. Bu sonuç, yıllık ortalama debiyi de artırmaktadır. Tarımda sulama ve ormanlaştırma gibi çevre mühendisliğini ilgilendiren konularının incelenmesi ve belki de her bir yeni koşula uygun olarak GKT su pompası düzeneğinin adaptasyonunun sağlanması gerektiği unutulmamalıdır.

Tablo 3. Seçilen akarsuların aylık ortalama debileri (Q)

Akarsu	Debi Q (m^3/s) – 01 Ekim 2014 'den 30 Eylül 2015' a kadar aylık ortalama											
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Tem	Ağu	Eylül
Kızılırmak	37.2	34.4	32.0	39.4	33.2	32.1	32.9	37.5	39.1	40.6	46.5	43.2
B.Menderes	18.1	23.4	35.4	114.0	143.0	126.0	131.0	42.7	40.3	23.1	37.6	42.3
Meriç	425.0	568.0	1015.0	497.0	900.0	1081.0	734.0	290.0	207.0	192.0	146.0	172.0

Tablo 4. 12 aylık ortalama debi (Q), kesit alanı (A) ve hızlar (U)

Akarsu	12 Aylık Ortalama Debi (Q) (m ³ /s)	Hızlara Karşılık Gelen Kesit Alanı (A) (m ²)		
Hızlar U (m/s)		0.70	0.83	0.91
Kızılırmak	37.34	53.35	44.88	41.03
B.Menderes	64.74	92.49	77.81	71.14
Meriç	518.92	741.31	623.70	570.24

3.2 Akarsuların GKT tahrikli Su Pompası Potansiyelinin Hesaplanması

Bu bölümde, önceki kısımlarda fiziksel ve matematiksel izahatı yapılan ve GKT ile tahrik olan söz konusu su pompasının, bir önceki alt başlıkta verilen Türkiye akarsuları örnekleri üzerinden verilen yıllık akış debilerine göre performansı irdelenecektir.

Hesaplamalarda DSİ'nin akım gözlem yıllığı (DSİ, 2018)'den yararlanılmış olup ilgili koordinatlarda akarsu genişliği, derinliği, anlık ve ortalama akış hızları verilerine ulaşılamamıştır. Bu nedenle öncelikle GKT özellikleri önceki çalışmalarımızda sunulan (Duranay ve Kınacı, 2020; Duranay vd., 2021; Duranay vd., 2022) dairesel silindirlerin indirgenmiş hızları $U^*=6$ olduğu ve şiddetli girdaplar eşliğinde senkronize GKT hareketinin gözlemlendiği koşullara karşılık gelen boyutlu akış hızları (U) bulunmuştur. Bu akış hızları üzerinden kesit alanları elde edilmiş ve bu kesit alanlarına yerleştirilebilecek dairesel silindir adetleri hesaplanmıştır. Dairesel silindirlerin konumlandırıldığı derinliğin $h=7D$ olması durumunda (silindirin altından ve üstünden $3D$ kadar boşluk bırakılması amacıyla) bir başka silindirin GKT hareketinden, serbest su yüzeyi etkisinden ve akarsu yatağından etkilenmediği, daha önceki çalışmalarımızda (Kınacı vd., 2022; Duranay vd., 2023) konu edilmiştir. Bu çalışmalara sadık kalarak, akarsuyun geçtiği kesit alanı (A), dairesel silindirlerin serbest su yüzeyinden, tabandan ve bir diğer silindirden (şayet birden fazla sıra varsa) yeterince uzakta ($3D$) kalacak şekilde hesaplanmıştır.

VIVACE örneğinde, kullanılan silindirlere ait çaplar büyüdükçe kritik ve kritik üstü

rejimlerdeki (sırasıyla $Re \geq 3 \times 10^5$ ve $Re \geq 3.5 \times 10^5$) hesaplamalar deneysel olarak yürütülmüştür. İTÜ Akışkan Kaynaklı Hareketler Laboratuvarı (ITU FIMLab) sirkülasyon kanalının test kesiti ($0.64m \times 1.5m$) ve ulaştığı hızlar ($2m/s$) göz önüne alındığında (Duranay, 2024) bu rejimlerde prototip denemesinin zorlukları karşımıza çıkacağından, çalışmadaki Reynolds sayılarının kritik altı rejimi aşmaması sağlanarak silindir çapı değerleri belirli seviyenin altında bırakılmıştır. Başka bir deyişle, halihazırdaki matematiksel izahatında dahi birçok doğrusal olmayan terimler barındıran dairesel silindirlerin GKT olayının, daha kaotik ortamlarda, yani kritik ve kritik üstü rejimlerde sergileyeceği davranışların getireceği hesaplama külfeti bu çalışmanın konusu dışında bırakılmıştır. Bu durum, yüksek debili Meriç Nehri (ve kısmen Büyük Menderes Nehri) koşulunda elde edilecek potansiyel hesabının aslında daha da artırılabilmesi anlamına gelmektedir. Unutulmamalıdır ki GKT'den enerji elde edilmesi, ölçeklenebilir bir fenomendir ve çok daha büyük ölçekli dairesel silindirler kullanılarak da enerji elde edilebilmektedir (Bernitsas vd., 2008). Örneğin, İstanbul Boğazı gibi olağan akışın $2m/s$ ($3-4knot$) hızlarda olduğu yüksek debili kanallarda GKT kullanılarak efektif olarak elektrik üretimi mümkündür. Bu konuda VIVACE'nin fikir sahibi M.M. Bernitsas "1 knotun yarısı kadar hızlarda Detroit nehrinden elektrik enerjisi üretebilmekteyiz" demektedir (UM News Service, 2008).

Tablo 5'te üç farklı silindir için $U^*=6$ civarına denk gelen üst dallanma bölgesindeki farklı akış hızlarında ve ön hesaplamalarda kenetlenme noktasına yakın olarak ayarlanan silindir koşulları için çeşitli teknik özellikler paylaşılmıştır. Paylaşılan bu teknik özelliklere karşılık gelen bazı katsayı ve değerler deneysel ve sayısal yöntemler kullanılarak bulunmuştur. Kullanılan deneysel düzeneğin ve HAD destekli simülasyonların içeriği bu çalışmanın içine dahil edilemeyecek kadar uzun olduğu için burada paylaşılmamıştır. Benzer dairesel silindirlerin aynı akış rejimi içindeki GKT performanslarını deneysel ve sayısal olarak incelediğimiz bulgulara sırasıyla Duranay vd. (2022) ve Duranay (2024)'den erişilebilir.

Tablo 5. Üç farklı GKT su pompası düzeneği için teknik özellikler verilmiştir.

	Birim	Silindir 1	Silindir 2	Silindir 3
L	m	1	4	10
D	m	0.12	0.20	0.30
m_{osc}	kg	16.80	305.00	2250.00
m^*	-	1.49	2.43	3.19
κ	N/m	1036	8000	30000
$f_{n,w}$	1/s	0.967	0.686	0.507
U^*	-	6	6.06	5.98
U	m/s	0.7	0.83	0.91
C_y	-	2.13	1.98	1.91
y_{max}	m	1.14	1.17	1.16
$\sin(\Phi)$	-	0.1131	0.1131	0.1131
$f_{silindir}$	1/s	1.13	0.78	0.56
μ_{pompa}	-	0.22	0.22	0.22

Tablo 5'te yer alan GKT tahrikli su pompasının teknik özelliklerinde yer alan koşullara karşılık gelen sonuçlar Denklem 14'te yerine konarak pompanın hidrolik gücü elde edilmiştir. Elde edilen pompa gücü Denklem 17'de yerine konarak ise basma yüksekliği (H) x debi (Q) değerleri elde edilmiş ve üç farklı silindirin su pompalama potansiyeli farklı basma yüksekliklerine göre Tablo 6'da topluca verilmiştir.

Tablo 6'da Türkiye akarsularının debileri ve bu debilere karşılık gelen kesit alanı ve hızlar üzerinden GKT'ye bağlı su pompalama performansları her koşulda tek bir silindir için hesaplanmıştır. Oysa verilen hızlara denk gelen kesit alanlarına sığdırılabilecek silindir sayısı (her bir silindirin çalışma kesiti en az $7D \times L$ olmak üzere) çok daha fazladır. İstenen akarsu hızları için her bir akarsu debisine karşılık gelen kesit alanları Tablo 4'te, teknik özellikleri Tablo 5'te verilen dairesel silindirlerin test kesitine yerleştirilebilecek adetleri Tablo 7'te topluca

Tablo 6. GKT tahrikli su pompasının basma yüksekliğine (H) göre değişen debisi (Q)

Silindir Numarası	Basma Yüksekliği (H) (m)	Debi (Q) (lt/s)	Debi (Q) (lt/saat)
1		0.643	2313.140
2	1	3.966	14277.542
3		12.276	44192.140
1	10	0.064	231.314
2		0.397	1427.754
3		1.228	4419.214
1	50	0.013	46.263
2		0.079	285.551
3		0.246	883.843
1	100	0.006	23.131
2		0.040	142.775
3		0.123	441.921

Tablo 7. Akarsuların seçili koordinatlarında GKT pompası kurulum kapasitesi (adedi)

Akarsu	Silindir Numarası	Hız (U) (m/s)	Kesit Alanı (m^2)	Silindir (Adet)
Kızılırmak	1	0.700	53.35	32
	2	0.832	44.88	8
	3	0.910	41.03	2
B.Menderes	1	0.700	92.49	55
	2	0.832	77.81	14
	3	0.910	71.14	3
Meriç	1	0.700	741.31	440
	2	0.832	623.70	111
	3	0.910	570.24	27

Tablo 7'deki akarsular için verilen akış hızları ve kesit alanlarına göre değişen kullanılabilecek dairesel silindir adedi ile Tablo 6'daki su pompalama performans değerleri çarpılırsa çalışmada hedeflenen nihai sonuçlar (her bir akarsu koordinatındaki GKT tahrikli su pompalama potansiyelleri) elde edilmiş olur (Tablo 8).

Tablo 8. Akarsuların belirlenen koordinatlarındaki GKT tahrikli toplam su pompalama debisi (Q)

Silindir Numarası	Akarsu	$H = 1\text{m}$ için Q (m ³ /saat)	$H = 10\text{m}$ için Q (m ³ /saat)	$H = 50\text{m}$ için Q (m ³ /saat)	$H = 100\text{m}$ için Q (m ³ /saat)
1	Kızılırmak	74.02	7.40	1.48	0.74
	B.Menderes	127.22	12.72	2.54	1.27
	Meriç	1017.78	101.78	20.36	10.18
2	Kızılırmak	114.22	11.42	2.28	1.14
	B.Menderes	199.89	19.99	4.00	2.00
	Meriç	1584.81	158.48	31.70	15.85
3	Kızılırmak	88.38	8.84	1.77	0.88
	B.Menderes	132.58	13.26	2.65	1.33
	Meriç	1193.19	119.32	23.86	11.93

4. TARTIŞMA

Bölüm 3'te verilen hesaplamalarda üç farklı coğrafi bölgemizde yer alan akarsuların belirli koordinatlarındaki yıllık ortalama debi değerleri DSİ'den alınmıştır. Üç farklı GKT düzeneğinin senkronizasyon bölgesinde kenetlenme koşullarına yakın çalışabilmesi için indirgenmiş akış hızları $U^* = 6$ olacak şekilde ayarlanmıştır. Her bir akarsuyun, bu akış hızlarına denk gelecek şekilde en kesit alanları belirlenmiştir. Bu koşullarda önce üç farklı GKT düzeneğinin yalnız başına performansı hesaplanmış ve ardından en kesit alanına yerleştirilebilecek silindir adedi ile çarpılarak toplam potansiyeli elde edilmiştir.

Bu hesaplamalara göre 1 numaralı en küçük GKT silindirinin tahrik ettiği su pompası tek başına kullanıldığında 100 metre yukarıda konumlandırılan bir depoya saatte 23 litre su pompalayabilmektedir. Akarsu akış hızının 0.7m/s olarak alındığı bu hesaplamaya göre aynı kesitte en az debili akarsu örneğimiz Kızılırmak için 32 adet GKT silindiri kullanılabilirliği göz önüne alınacak olursa bu değer saatte 740lt'ye kadar çıkmaktadır. Farklı debilere göre test kesitinin uyarlanması ile elde edilecek 0.832m/s ve 0.91m/s akış hızlarında, 2 ve 3 numaralı silindirlerden birer adet kullanıldığında Kızılırmak örneği için 100m basma yüksekliğinde sırasıyla saatte 143lt ve 442lt su pompalanması mümkündür. Akarsu kesitine sığdırılabilecek silindir sayıları hesaba katıldığında 2 ve 3 numaralı GKT düzeneklerinde aynı basma yüksekliği için saatte 1144lt ve 884lt debi ile su pompalanabilecektir. Giriş bölümünde belirtildiği üzere, GKT tahrikli

su pompasının bu denli yavaş akışlarda dahi belirtilen yüksekliklerde depolamayı başardığı su miktarının ziraat, orman ve çevre mühendisleri, biyologlar ve bitki bilimcileri açısından ele alındığı zaman önemi daha iyi anlaşılacaktır. Makalede yalnızca Türkiye akarsularının GKT tahrikli su pompalama potansiyeli irdelenmiştir. Çalışmanın bir amacı da potansiyel dış paydaşlarımızın ilgisini bu konuya çekebilmezdür.

Makalede optimizasyon aralıkları gözetilmemiş, TrSL3 akış rejimi içindeki Reynolds aralığında seçilebilecek en yüksek silindir çapları kullanılmıştır. 2 numaralı silindir çapı 3 numaralı silindir çapından küçük olmasına rağmen daha efektif biçimde su pompalıyor olması (kullanılabilir silindir adedinin daha fazla olmasından ötürü) dikkate değer bir sonuçtur.

Büyük Menderes Havzası'nda üç farklı silindir ile yapılan hesaplamalarda 1, 2 ve 3 numaralı GKT düzenekleri için 100 m yükseklikteki bir depoya saatte sırasıyla 1270lt, 2000lt ve 1333lt su pompalanabilmektedir.

Aynı GKT düzenekleri test kesitine yerleştirilebilecek adetler ile hesaplandığında Meriç Nehri konumu için 100m yüksekliğe sırasıyla 10,180lt, 15,850lt ve 11,930lt su pompalayabilmektedir.

Basma yüksekliklerinin 1m, 10m, 50m ve 100m olması durumunda pompalanabilecek su debileri de topluca Tablo 8'de paylaşılmıştır. 1m/s akış hızının neredeyse yarısı hızlarda yalnız başına kullanılan basit bir dairesel silindir – yay – pompa düzeneğinin GKT fiziğini kullanarak 10m yukarıda konumlandırılan 2 tonluk bir su deposunu doldurabiliyor olması araştırmanın belki de en önemli bulgusudur.

5. SONUÇLAR

Çölleşme ve iklim krizi ile mücadelenin oldukça önemli araştırma konularından biri olduğu günümüz dünyasında, akarsularından yeterince yararlanamayan ülkemizde, yavaş akış hızlarında tarımsal sulama ve ormanlaştırma çalışmalarına önemli katkı sağlayacağını düşündüğümüz bu araştırma makalesinde GKT tahrikli su pompasının potansiyeli tartışılmıştır.

Literatürde henüz yer almayan bu icadın tanıtımı ilk kez kaleme alınırken Türkçe tercih edilmiştir. Bu vesile ile Türkiye akarsu ve nehirlerinin açık kaynaklardan elde edilen karakteristikleri üzerine ön hesaplamalar yapılmıştır. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü gibi kurumlarımızın tarafımız ile gerekli bilgileri paylaşması durumunda farklı havzalarda çeşitli mevsimsel ve çevresel şartlarda optimum düzeyde çalışacak GKT tahrikli su pompası üretilmesi mümkün hale gelebilecektir.

Hesaplamalarda, GKT fiziğinden yararlanarak elektrik üreten ve deneysel verileri literatür ile daha önce paylaşılan VIVACE isimli bir düzeneğin matematik modelinden yararlanılmıştır. Çalışmada, zeminden yeterince yukarıda kurulacak bir su deposunda biriktirilerek potansiyel kazandırılan suyun, sonraki aşamada tarımsal sulama ve ormanlaştırma maksadıyla enerji harcamadan kolaylıkla kullanılabilir hale getirilmesinden bahsedilmiştir. Depolanacak suyun farklı debilerde GKT düzeneğinin performansına olan etkileri irdelenmiş ve nihayetinde daha yüksek debili akarsuların bu sistemi kullandığında tarıma daha elverişli olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan sadece 0.7m/s akış hızında, 1m kadar ufak ve taşınabilir bir dairesel silindirin tek başına kullanılarak dahi 10m yüksekteki bir depoya saatte 231lt su pompalayabiliyor olması, GKT tahrikli su pompasının ziraat, orman, iklim ve çevre mühendislerinin takdirini kazanacağı kuvvetle tahmin edilmektedir.

Tam olarak bu kısımda araştırmanın ziraat ve çevre mühendisliği konularındaki eksiklikleri göze çarpmaktadır. Zira elde edilen değerlerin ekonomik, sosyal ve çevresel katkılarının tartışıldığı ayrı bir çalışma ile GKT tahrikli su pompasının önemi daha belirgin şekilde

açıklanacaktır. Sonraki çalışmalarımızda bu konunun üzerinde durularak potansiyel paydaşlarımız ile üretilecek projelerimiz ile ülke tarımına ve ormanlaştırılması hususlarına katkı sağlamayı planlamaktayız.

TEŞEKKÜR BÖLÜMÜ

İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi yönetimine ve İTÜ FIMLab çalışanlarına verdikleri destekten ötürü teşekkür ederim.

ESER SAHİPLİĞİ KATKI BEYANI

Aytekin DURANAY: Kavramsallaştırma, Yöntem Bilimi, Doğrulama, Şekilsel analiz, Kaynaklar, Yazım- Orijinal Taslak, Yazım- Gözden Geçirme ve düzenleme, Veri iyileştirme, Yazılım, Görselleştirme.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar bu makalenin gerçek, olası veya algılanan çıkar çatışmasına sahip olmadığını beyan etmektedirler.

ETİK KURUL İZİNİ

Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

FONLAMA DESTEĞİ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde enstitülerden veya kurumlardan finansal destek alınmamıştır.

ORCID Numarası

Aytekin DURANAY

 <https://orcid.org/0000-0002-9551-3508>

6. KAYNAKLAR

Akaydin, H.D., Elvin, N., Andreopoulos, Y. (2010). Energy harvesting from highly unsteady fluid flows using piezoelectric materials. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 21(13): 1263–1278. doi: 10.1177/1045389X10366317.

- Baredar, P., Yadav, N. (2019).** Performance Analysis of Vortex Induced Vibration Based Wind Energy Harvesting System. *Advances in Power Generation from Renewable Energy Sources (APGRES)*.
- Bearman, P.W. (2009).** Understanding and predicting vortex-induced vibrations. *Journal of Fluid Mechanics*, 634: 1-4.
- Bernitsas, M.M., Raghavan, K. (2005).** "Fluid motion energy converter". International. Provisional Patent Application, USA Patent and Trademark Office: 504.
- Bernitsas, M.M., Ben-Simon, Y., Raghavan, K., Garcia, E.M.H. (2006).** The VIVACE converter: model tests at high damping and Reynolds number around 10^5 . International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 47470, s. 639-653.
- Bernitsas, M.M., Raghavan, K., Ben-Simon, Y., Garcia, E.M.H. (2008).** VIVACE (Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy): A New Concept in Generation of Clean and Renewable Energy from Fluid Flow. ASME. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 130(4): 041101.
- Bukka, S.R., Magee, A.R., Jaiman, R.K. (2020).** Stability analysis of passive suppression for vortex-induced vibration. *Journal of Fluid Mechanics*, 886: A12. doi: 10.1017/jfm.2019.1026.
- Dai, H.L., Abdelkefi, A., Yang, Y., Wang, L. (2016).** Orientation of bluff body for designing efficient energy harvesters from vortex-induced vibrations. *Applied Physics Letters*, 108(5): 053902. doi: 10.1063/1.4941546.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (2018).** 2015 Akım Gözlem Yıllığı Cilt-1, Ankara.
- Dryden, H.L., Von Kármán, T., Kuerti, G., Van Den Dungen, F.H., Howarth, L., Peres, J. (1958).** *Advances in applied mechanics (Vol. 5)*, Academic Press.
- Du, L., Sun, X. (2015).** Suppression of vortex-induced vibration using the rotary oscillation of a cylinder. *Physics of Fluids*, 27(2). doi: 10.1063/1.4913353.
- Duranay, A., Kınacı, Ö.K. (2020).** Enhancing two-dimensional computational approach for vortex-induced vibrations by scaling lift force. *Ocean Engineering*, 217: 107620. doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107620.
- Duranay, A., Usta, O., Kınacı, Ö.K. (2021).** Systematic investigation of the tip effects on vortex-induced vibrations for circular cylinders. *Ocean Engineering*, 239: 109829. doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109829.
- Duranay, A., Kınacı, Ö.K., Bernitsas, M.M. (2022).** Effect of aspect ratio on hydrokinetic energy harnessing using cylinders in VIV. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 8(2): 217-232.
- Duranay, A., Demirhan, A.E., Dobrucalı, E., Kınacı, Ö.K. (2023).** A review on vortex-induced vibrations in confined flows. *Ocean Engineering*, 285: 115309. doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.115309.
- Govardhan, R., Williamson, C. (2000).** Modes of vortex formation and frequency response of a freely vibrating cylinder. *Journal of Fluid Mechanics*, 420: 85-130.
- Hamdan, C., Allport, J., Sajedin, A. (2021).** Piezoelectric power generation from the vortex-induced vibrations of a semi-cylinder exposed to water flow. *Energies*, 14(21): 6964. doi: 10.3390/en14216964.
- Ji, C., Xu, W., Sun, H., Wang, R., Ma, C., Bernitsas, M.M. (2018).** Interactive flow-induced vibrations of two staggered, low mass-ratio cylinders in the TrSL3 Flow Regime ($2.5 \times 10^4 < Re < 1.2 \times 10^5$): Smooth Cylinders. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 140(4): 041801.
- Kınacı, Ö.K., Gökçe, M.K. (2020).** Akımla kendi kendini tahrik eden pompa (TPE 2015 17104).
- Kınacı, Ö.K., Demirhan, A.E., Duranay, A. (2022).** Vortex-induced vibrations of a single-degree-of-freedom circular cylinder in the vicinity of the free surface. *Applied Ocean Research*, 124: 103202.
- Lakka, S. (2013).** Flowmeter based on vibration induced by vortices, Doktora Tezi, Lempäälä, Finlandiya.
- Lee, J.H., Bernitsas, M.M. (2011).** High-damping, high-Reynolds VIV tests for energy harnessing using the VIVACE converter. *Ocean Engineering*, 38: 1697-1712.
- Lou, M., Qian, G., Li, R. (2020).** Experimental investigation of the suppression of vortex-induced vibration in four cylinders arranged in a square under different spacing ratios. *Journal of Marine Science and Technology*, 25(2): 467-481.
- Luo, F., Gao, C., Zhang, W. (2022).** The key to suppress vortex-induced vibration: Stability of the structural mode. *Journal of Fluids and Structures*, 113: 103692. doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2022.103692.
- Modir, A., Goudarzi, N. (2019).** Experimental investigation of Reynolds number and spring stiffness effects on vortex induced vibrations of a rigid circular cylinder. *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 74: 34-40. doi: 10.1016/j.euromechflu.2018.10.016.

- Rahman, M.A.A. (2015).** Vortex-induced Vibration of Circular Cylindrical Structure with Different Aspect Ratios, Doktora Tezi.
- Sumer, B.M., Fredsøe, J. (2006).** *Advanced Series on Ocean Engineering, Volume 26: Hydrodynamics around Cylindrical Structures (Revised Edition)*. In World Scientific, 33 (1).
- UM News Service, University of Michigan-A new renewable energy concept (2008).** Erişim tarihi: 05.04.2024,
<https://www.youtube.com/watch?v=jcyM3c5yISU>
adresinden alınmıştır.
- Wang, C., Huang, Z., Hua, X., He, X., Zhou, S., Chen, Z. (2022).** Aerodynamic mechanism of triggering and suppression of vortex-induced vibrations for a triple-box girder. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 227: 105051.
- Williamson, C.H., Govardhan, R. (2004).** Vortex-induced vibrations. *Annual Reviews Fluid Mechanics*, 36: 413-455. doi: 10.1146/annurev.fluid.36.050802.122128.
- Yexuan, M., Zhiyou, S., Wanhai, X. (2022).** Study on vortex-induced vibration suppression of marine riser based on energy transfer. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 54(4): 901-911.
- Zdravkovich, M.M. (1997).** *Flow around circular cylinders: Volume 2: Applications (Vol. 2)*, Oxford university press.

Reviewer List of Volume 10 Issue 3 (2024)

Akile Neşe HALİLBEŞE	Ordu University	Turkey
Ali Umut ÜNAL	Kocaeli University	Turkey
Devran YAZIR	Karadeniz Technical University	Turkey
Elizabeth Grace Tunka BENGİL	Girne American University	North Cyprus
Erkan ÇAKIR	Recep Tayyip Erdoğan University	Turkey
Fatma TELLİ KARAKOÇ	Karadeniz Technical University	Turkey
İdris TURNA	Recep Tayyip Erdoğan University	Turkey
Mehmet Sadık AKÇA	İstanbul Technical University	Turkey
Muhammet BORAN	Karadeniz Technical University	Turkey
Onur USTA	National Defense University	Turkey
Ozan Hikmet ARICAN	Kocaeli University	Turkey
Rahşan MAZLUM	Recep Tayyip Erdoğan University	Turkey
Remzi FIŞKIN	Ordu University	Turkey
Samet GÜRGEN	İskenderun Technical University	Turkey
Süleyman KÖSE	Karadeniz Technical University	Turkey

Volume: 10 Issue: 3 is indexed by



Scilit



JIFACTOR

