



SAKARYA UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES

# JOIN MET

## JOURNAL OF MARINE AND ENGINEERING TECHNOLOGY

Volume: 3 | Issue: 02 | Year: 2023 | e-ISSN: 2791-7134



# Journal of Marine and Engineering Technology

December 2023

Volume : 3 | Issue : 02

e-ISSN: 2791-7134

**Yayın Kurulu Başkanı / Chairman of The Editorial Board**  
Mehmet Sarıbyık

**Dil / Language**  
Türkçe – İngilizce / Turkish – English

**Editör – Editor in Chief**  
Nuri Akkaş

**Yayın Periyodu / Publication Period**  
Yılda iki kere yayınlanır / Haziran – Aralık  
Published twice a year / June – December

## Bölüm Editörleri – Section Editors

Ali AVCI, Hakkari University  
Burak Yunus CETİN, Stanford University  
Bülent GÜZEL, Gelişim University  
Fatih ÇALIŞKAN, Sakarya University of Applied Sciences  
Görkem KÖKKÜLÜNK, Yıldız Technical University  
Hüseyin AGGÜMÜŞ, Sırnak University  
Hüseyin ELÇİÇEK, Yıldız Technical University  
Kadir ÇİÇEK, Istanbul Technical University  
Kenan YİĞİT, Yıldız Technical University  
Korhan KOR, Turkish Petroleum Offshore Technology Center  
Mehmet ÖNAL, Izmir Katip Celebi University  
Muhammed Ramazan ODUNCU, Intel Corporation  
S. M. Esad DEMİRCİ, Sakarya University of Applied Sciences  
Sinan Serdar ÖZKAN, Sakarya University of Applied Sciences

## Dil Editörü / Language Editor

Orhan ATAMAN, Sakarya University of Applied Sciences

## Teknik Editörler / Technical Editors

Bilimsel Yayınlar Koordinatörlüğü, Sakarya University of Applied Sciences  
Hüseyin Elçiçek, Yıldız Technical University  
S. M. Esad Demirci, Sakarya University of Applied Sciences

## İletişim Contact

SUBU Denizcilik MYO, Alandere Mahallesi Karadeniz Sahil Yolu Caddesi No:213/1, Sakarya, Türkiye

Tel: +90 264 616 17 02

Web: [dergipark.org.tr/tr/pub/joinmet](http://dergipark.org.tr/tr/pub/joinmet)

E-mail: [joinmet@subu.edu.tr](mailto:joinmet@subu.edu.tr)

## Editorial Board

### İmtiyaz Sahibi / Owner

*Prof. Dr. Mehmet SARIBIYIK, Sakarya University of Applied Sciences*

### Baş Editör / Editor-in-Chief

*Assoc. Prof. Dr. Nuri AKKAŞ, Sakarya University of Applied Sciences*

### Editörler - Editors

*Asst. Prof. Dr. Hüseyin Elçiçek, Yıldız Technical University  
S. M. Esad DEMİRCİ, Sakarya University of Applied Sciences*

### Bölüm Editörleri / Section Editors

*Ali AVCI, Hakkari University  
Burak Yunus CETİN, Stanford University  
Bülent GÜZEL, Gelişim University  
Fatih ÇALIŞKAN, Sakarya University of Applied Sciences  
Görkem KÖKKÜLÜNK, Yıldız Technical University  
Hüseyin AGGÜMÜŞ, Sırnak University  
Hüseyin ELÇİÇEK, Yıldız Technical University  
Kadir ÇİÇEK, Istanbul Technical University  
Kenan YİĞİT, Yıldız Technical University  
Korhan KOR, Turkish Petroleum Offshore Technology Center  
Mehmet ÖNAL, Izmir Katip Celebi University  
Muhammed Ramazan ODUNCU, Intel Corporation  
S. M. Esad DEMİRCİ, Sakarya University of Applied Sciences  
Sinan Serdar ÖZKAN, Sakarya University of Applied Sciences*

### Dil Editörü / Language Editor

*Orhan ATAMAN, Sakarya University of Applied Sciences*

### Teknik Editörler / Technical Editors

*Bilimsel Yayınlar Koordinatörlüğü, Sakarya University of Applied Sciences  
Hüseyin ELÇİÇEK, Yıldız Technical University  
S. M. Esad DEMİRCİ, Sakarya University of Applied Sciences*

## İçerik / Content

Sayfa / Page

01	Biyonik Türbin Kanadı Tasarımında Aerodinamik Form Optimizasyonu <i>Aerodynamic Form Optimization in Bionic Turbine Blade Design</i> Research Article / Araştırma Makalesi Gülsüm KILIÇ, Asım Sinan KARAKURT	45 - 56
02	Kam Profillerinin Değme Analizi ve Elastohidrodinamik Yağ Filmi Kalınlığı <i>Contact Analysis of Cam Profiles and Elastohydrodynamic Oil Film Thickness</i> Research Article / Araştırma Makalesi İlknur KESKİN ÖNER, Ömer SAVAŞ	57- 66
03	Bibliometric and Qualitative Analysis of Workload Studies in the Maritime Sector <i>Denizcilik Sektöründeki İş Yükü Çalışmalarının Bibliyometrik ve Nitel Analizi</i> Research Article / Araştırma Makalesi Elif ARSLAN, Serim PAKER	67-89
04	Ayarlı kütle sönümleyicilerinde yerleşim ve parametre değişiminin yapısal sistem performansına etkisi <i>The effect of location and parameter exchange of tuned mass damper on the structural system performance</i> Research Article / Araştırma Makalesi Hüseyin AGGÜMÜŞ	90-98
05	From Ports to Prosperity: Leveraging Maritime Sector for Poverty Reduction <i>Limarlardan Refaha: Yoksulluğun Azaltılması İçin Denizcilik Sektöründen Yararlanmak</i> Research Article / Araştırma Makalesi Emine Elif AYHAN	99-109



## Research Article

Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET) 3(2), 45-56, 2023

Received: 20-Jun-2023 Accepted: 24-Oct-2023



homepage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/joinmet>

<https://doi.org/10.58771/joinmet.1317372>



SAKARYA UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES

# Biyonik Türbin Kanadı Tasarımında Aerodinamik Form Optimizasyonu

Gülsüm KILIÇ<sup>1</sup> , Asım Sinan KARAKURT<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, [gulsum.kilic@yildiz.edu.tr](mailto:gulsum.kilic@yildiz.edu.tr)

<sup>2</sup>Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, [asinan@yildiz.edu.tr](mailto:asinan@yildiz.edu.tr)

## ÖZ

Rüzgâr enerjisi teknolojisi, rüzgârın türbin kanatlarını döndürmesi sonucu mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesi esasına dayanır. Rüzgâr türbininin kurulacağı yerin rüzgâr potansiyeli, verimli bir elektrik üretimi için oldukça önemlidir. Türbinlerde kullanılan jeneratör tipi, kanat aerodinamiği ve kanat sayısı verimi etkileyen faktörlerdendir. Kanat profili, kanat yapısı ve sürüklenme katsayısının kaldırma katsayısına oranı da ( $C_L/C_D$ ) verimlilik bakımından türbin performansını etkileyen önemli parametrelerdir. Farklı kanat profillerinde aynı hücum açısında ( $C_L/C_D$ ) oranı farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışmada biyomimikri yöntemi ile baykuş kanadı formundan ilham alınarak NACA-4412 profili üzerinde kanal açılmıştır. Kanallar, kanal genişliği 12 mm ve kanal derinliği kanat profilinin yüzeyinin %10 oranında küçültülmesiyle tüm yüzeyde 40 mm mesafe ile 5 tane olacak şekilde oluşturulmuştur. Analizler Reynolds sayılarının  $2,5 \times 10^4$ ,  $5 \times 10^4$ ,  $7,5 \times 10^4$  ve hücum açılarının  $8^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $20^\circ$  olması durumlarında gerçekleştirilmiştir. Kanallı model için sürüklenme katsayısı ( $C_D$ ) ve kaldırma katsayısı ( $C_L$ ) değerleri elde edilmiştir. Kanallı ve kanalsız model için analizlerin gerçekleştirildiği hücum açıları ve Reynolds sayılarında kaldırma katsayısı/sürüklenme katsayısı ( $C_L/C_D$ ) oranları kıyaslanmıştır. Reynolds sayısının  $2,5 \times 10^4$  değerinde hücum açısının  $8^\circ$  ve  $12^\circ$ 'lerinde kanallı modelde  $C_L/C_D$  oranında yaklaşık olarak 4 ve 8 katı artış olduğu görülmüştür.  $20^\circ$  de ise referans modelde stall durumu söz konusuken kanal açılmış model daha kararlı bir yapıda olup çözüm gerçekleştirilebilmiştir. Reynolds sayısının  $5 \times 10^4$  değerinde hücum açısının  $8^\circ$  ve  $12^\circ$ 'lerinde kanallı modelde  $C_L/C_D$  oranında yaklaşık olarak 4 ve 7 katı artış olduğu görülmüştür. Reynolds sayısının  $7,5 \times 10^4$  değerinde hücum açısının  $8^\circ$  ve  $12^\circ$ 'lerinde kanallı modelde  $C_L/C_D$  oranında yaklaşık olarak 5 ve 8 katı artış olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Aerodinamik optimizasyon, Biomimikri, Kanat verimi, Rüzgâr türbini

# Aerodynamic Form Optimization in Bionic Turbine Blade Design

## ABSTRACT

Wind energy technology is based on the conversion of mechanical energy into electrical energy as a result of the wind turning the turbine blades. The wind potential of the place where the wind turbine will be installed is very important for an efficient electricity production. Airfoil, wing structure and the ratio of drag coefficient to lift coefficient ( $C_L/C_D$ ) are also important parameters that affect turbine performance in terms of efficiency. In different wing profiles, the ratio of the same angle of attack may differ. In this study, a channel was opened on the NACA-4412 profile, inspired by the owl wing form with the biomimicry method. The channels are formed in such a way that the channel width is 12 mm and the channel depth is 5 pieces with a distance of 40 mm on the

entire surface by reducing the surface of the airfoil by 10%. Analyzes were performed when Reynolds numbers were  $2.5 \times 10^4$ ,  $5 \times 10^4$ ,  $7.5 \times 10^4$  and angles of attack were  $8^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $20^\circ$ . The drag coefficient and lift coefficient values were obtained for the ducted model. It was observed that the  $C_L/C_D$  ratio increased approximately 4 and 8 times in the channel model at  $8^\circ$  and  $12^\circ$  of the angle of attack at a value of  $2.5 \times 10^4$  Reynolds number. At  $20^\circ$ , when the reference model is stalled, the channel opened model is more stable and the solution can be realized. It was observed that the  $C_L/C_D$  ratio increased approximately 4 and 7 times in the channel model at  $8^\circ$  and  $12^\circ$  of the angle of attack at a Reynolds number of  $5 \times 10^4$ . At  $7.5 \times 10^4$  Reynolds number, at  $8^\circ$  and  $12^\circ$  of the angle of attack, there was an increase of approximately 5 and 8 times in the  $C_L/C_D$  ratio in the channel model.

**Keywords:** Aerodynamic optimization, Biomimicry, Blade efficiency, Wind turbine

## 1 Giriş

Enerjiye olan ihtiyaç, nüfusun artışı, sanayileşme, teknolojinin gelişmesi ve tüketimin artmasına bağlı olarak gün geçtikçe artmaktadır. Dünya üzerinde fosil yakıt kaynaklarının giderek tükenmesi üreticileri yeni enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. İklim değişiklikleri, hava kirliliği, sera gazı etkisi gibi olaylar enerji üretimi sırasında ortaya çıkan yan etkilerdir. Bu etkiler ülkeleri enerji üretiminde daha dikkatli olmaya zorlamaktadır. Rüzgâr, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak çevresel problemlere daha az sebep olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr, hızlı devreye alınabilmesi sebebi ile kullanım oranı giderek artmaktadır. Son yıllarda kompozit malzemelerdeki gelişmeler, türbin teknolojisindeki aerodinamik ve mekanik özelliklerin gelişmesini olumlu yönde etkilemiştir. Rüzgar enerjisinin kullanımı ile gürültü ve manyetik kirlilikler diğer enerji kaynaklarının kullanımı ile kıyaslandığında en aza indirilmiştir (Çolak & Demirtaş, 2010). Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çeviren rüzgar türbinleri, dönme eksenlerine, devirlerine, güçlerine, kanat sayılarına, rüzgar etkisine, dişli özelliklerine ve kurulum konumlarına göre sınıflandırılır (Elibüyük & Üçgül, 2014). İlk yatırım maliyetleri yüksek olan rüzgâr türbinlerinin tercih edilme sebeplerinin başında işletme maliyetlerinin oldukça düşük olması gelmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi maliyeti giderek düşmektedir. Bir rüzgâr enerjisi santralının toplam maliyetinin büyük bir kısmını rüzgâr türbinleri ve türbin bileşenleri olan kanatlar, kuleler vb. oluşturmaktadır (Elia vd., 2020).

Rüzgar hızı, akış hızlandırıcı geometriler, kule boyu, jeneratör tipi, dişli sayısı, kanat boyutları, kanat sayısı ve kanat profili gibi pek çok parametre türbin performansını önemli ölçüde etkilemektedir (Bashir, 2022). Sürüklenme katsayısının kaldırma katsayısına oranı ( $C_L/C_D$ ) ve kanat yapısı da kanat performansını etkileyen diğer önemli parametrelerdir. Farklı kanat profillerinde aynı hücum açılarında  $C_L/C_D$  oranı farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle kanat geometrisinde modifikasyonlar yapılarak performansa etkileri araştırılmaktadır (Sule vd., 2022). Rüzgâr enerji santrallerinin büyük parçalardan oluşmasından ve yapılan yerleşimin türbinlerdeki akımı etkilememesi gerektiğinden dolayı çok daha geniş bir alanda kurulur bu sebeple diğer enerji santralleriyle kıyaslandığında daha fazla yer kaplamaktadır. Rüzgâr enerji santralleri, gelişen teknoloji ile giderek etkileri azalsa da, önemli ölçüde gürültü kirliliğine sebep olduğundan dolayı ya yerleşimin olmadığı ya da gürültünün çok az hissedileceği ve bunun yanında özellikle kuşların göç rotaları üzerinde olmayan yerlere kurulmaktadır (Seyed Alavi vd., 2022). Son yıllarda hem rüzgar enerji santralleri güç kapasitelerinde hem de dünya rüzgâr enerjisi kurulu gücünde, bölgesel ve küresel çapta verilen teşviklerin etkisi ile, %10'un üzerinde bir artış vardır ki bu oranlar ile en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynağı olmuştur (DOE, 2022).

Biyomimikri, canlı sistemlerin çalışma ve tasarım prensiplerini gözlemlemeye, anlamaya ve taklit etmeye dayanan bir yaklaşımdır. Temelinde ise doğanın karşılaştığı sorunların birçoğunu zaten çözmüş

olduğu fikri yatmaktadır ve günümüzde tıptan mimariye, mühendislikten spora kadar birçok farklı alanda biyomimikriden faydalanılmaktadır (Benyus, 2002). Yüksek hızlı trenlerin tünel girişlerinde karşılaştığı gürültü ve ses patlamaları gibi olumsuzluklar, balıkçıl kuşlarının gaga formunun trenlere uyarlanması ile çözülmüştür (Krylov & Bedder, 2015). Kambur balina yüzgeçlerinde bulunan ve yüzme esnasında türbülans üreten tümsekler balinalara enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu tümsekler rüzgar türbini kanatlarına da uygulanmış ve bu kanadın daha verimli olduğu görülmüştür (Başak & Demirhan, 2017). Baykuş tüm kuşlar içerisinde en sessiz uçuşu gerçekleştiren kuştur. Bunu sağlayan şey kanatlarının yapısıdır. Baykuş kanadının ön kısmındaki tüyler tıpkı bir tarağın dişleri gibi düzgün bir şekilde dizilmiş tırtıklı yapıya sahiptir. Kanadın arka kısmındaki tüyler ise esnek yumuşak ve aralıklıdır. Ayrıca kanatların büyük ve geniş olması kanatlara binen yük miktarını azaltmakta ve düşük hızda bile daha az kanat çırparak uçmalarına imkân sağlamaktadır (Rao vd., 2017).

Rao ve diğerleri (Rao vd., 2017) baykuş kanatlarının sessiz uçuşlarından etkilenip kanat formunun tırtıklı yapısının kanat modeline uygulandığı biyomimetik bir tasarım yapmışlardır. Kuvvet üretimi ile ses bastırma arasında ilişki olduğunu bulmuşlar, tırtıklı kenarların düz kenarlara kıyasla  $15^\circ$ 'den küçük hücum açılarında aerodinamik performansın azaldığını göstermişler.  $15^\circ$ 'den büyük hücum açılarında hem gürültü azaltma hem de yüksek aerodinamik performans elde edildiğini gösteren çalışma yapmışlardır. Srivastav ve Ponnani (Srivastav & Ponnani, 2011) yüzey modifikasyonu olan ve olmayan bir uçak kanadı modelinin aerodinamik özelliklerinin karşılaştırmasını içeren bir çalışma yapmışlardır. Ele alınan yüzey modeli dışa ve içe dönük çukurluklardır. Farklı hücum açılarında modifiye edilmiş kanat modellerinin kaldırma ve sürüklenmesindeki varyansları gösteren hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) sonuçlarına çalışmalarında yer vermişlerdir. Bu çalışma bir golf topunun sürüklenmesini azaltan çukurların bir uçağın kritik stall açısını da artırıp artırmayacağını araştırılması üzerine yapılmıştır. Çalışmada kullanılan kanat profili, kanat profilinin uzunluğu boyunca tek tip enine kesite sahip NACA-0018'dir. Dışa doğru çukur içeren NACA-0018 kanat profilinin akış yapısının yönünün değişiminde etkili olduğu görülmüştür. Dışa doğru olan çukurlar, iz boyunun en aza indirilmesine ve dolayısıyla basınç direncinin azalmasına neden olmuştur. Yuvarlak şekilli çukur yapılar kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçlarında ise yüzeylerde daha çok türbülans oluşturup sınır tabakası ayrılmasını geciktirdiği ve girdap oluşumunu azalttığı tespit edilmiştir. Kevadiya ve Vaidya (Kevadiya & Vaidya, 2013) NACA-4412 profilini kullanarak türbin kanadının aerodinamik verimliliği üzerinde farklı hücum açılarında çalışmalar yapmışlardır. Kanat profilinin iki boyutlu geometrisi oluşturulduktan sonra  $1 \times 10^5$  Reynolds sayısı için  $0^\circ$  den  $12^\circ$  ye kadar hücum açılarında kaldırma ve sürüklenme katsayısı değerleri incelenmiştir. Analiz sonuçlarında  $C_L/C_D$  oranı katsayısı  $8^\circ$  ye kadar hücum açısındaki artışla artış yaptığı,  $8^\circ$  den sonraki hücum açılarında artış oldukça  $C_L/C_D$  oranının azaldığı görülmüştür.

Tian ve diğerleri (Tian vd., 2017) uzun kulaklı baykuş kanatlarından ilham alarak rüzgâr türbini kanadı tasarlamak için biyonik bir yöntem geliştirmişlerdir. Tipik rüzgâr hızları ve doğal koşullar altında rüzgâr türbini verimlilik deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kanat profillerinin yanı sıra kanatların aerodinamik özelliklerini incelemek için sayısal analiz yöntemi kullanmışlardır. Biyonik kanat profilinin üstün bir kaldırma katsayısına ve durma performansına yol açtığını bu nedenle de rüzgâr türbini kanadının performansını iyileştirmede faydalı olacağını göstermişlerdir. Zhang ve diğerleri (Ge vd., 2013) baykuş kanadı temelli bir slat (uçak kanadının hücum kenarındaki kumanda yüzeyi) tasarımı yapmışlar. Açık ve kapalı slata sahip üç boyutlu modeller düşük türbülanslı rüzgâr türbininde kaldırma etkisini gözlemlemek için test edilmiştir. Açık slatın düşük hücum açılarında bir rüzgarlık gibi çalışırken yüksek hücum açılarında geleneksel bir slat gibi çalıştığı görülmüştür. Ayrıca açık haldeki slatın durma açısını ve maksimum kaldırma katsayısını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Uzun, ve diğerleri (Uzun vd., 2022) rüzgâr türbini kanat performansını iyileştirmek için kanat profilinin ucuna kanatçık ve sonsuz kanat

eklenerek sayısal ve deneysel analizler yapmışlardır. Kanat ucuna eklenen sonsuz kanat yapısının boyutuna bağlı olarak üretilen gerilim üzerinde değişimler olduğunu gözlemlemişlerdir. Baykuş kuşunun kanat yapısındaki kıvrımlardan esinlenerek kavisli kanat yapısı oluşturmuşlar ve sabit kanatla kıyaslandığında kavisli kanat yapısının türbin verimliliğinde faydalı olduğunu görmüşlerdir. Kanat yapısının arka kısmına da doğadaki canlılardan esinlenerek farklı boyut ve mesafelerde çentikler oluşturmuşlar ve performanstaki değişimini araştırmışlardır. Çentikli kenar sayısının artmasıyla üretilen enerji değerinin azaldığı görülmüştür.

Song ve diğerleri (Song vd., 2021) martı kanadı formunda rüzgâr enerjisi dönüştürme cihazının tasarımı ve optimizasyonu çalışmasını yapmışlardır. Bu çalışma rüzgâr enerjisinin kullanımını artırmak ve aerodinamik performansı iyileştirmek için yapılmıştır. Martı kanat profilinin bükülme şeklini rüzgâr tüneli deneyi ve sayısal simülasyona dayalı olarak optimize etmişlerdir. Optimizasyon çalışmaları sonucunda kanat profilinin merkezi olarak bükülmesine karar vermişler ve merkezi bükümlü kanat profilinin diğer kanat profillerine kıyasla optimum aerodinamik performansı sergilediğini göstermişlerdir. Khan ve Padhy (Khan, 2021) yusufluk kuşunun kanat formundaki kıvrımlardan ilham alarak V biçimli yivlerin bulunduğu biyonik bir kanat tasarımı yapmışlar ve bu tasarımı NACA0015 profili ile aerodinamik özellikler bakımından kıyaslamışlardır. Yusufçuk kanadı formulu tasarımın kıvrımlı yapısının düşük Reynolds sayılarında daha iyi aerodinamik performans sergilediğini göstermişlerdir. Rosa ve diğerleri (Rosa vd., 2022) yatay eksenli rüzgâr türbini için muz yaprağı morfolojine dayalı yeni bir kanat profili tasarımı yapmışlar ve süzülme oranı değerini incelemişlerdir. Muz yaprağı kanat profilinin yüksek süzülme oranı ürettiğini ve düşük Reynolds sayılarında kullanıma uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu kanat profilinin rüzgâr hızının düşük olduğu yerlerde yatay eksenli rüzgâr türbini üzerinde çalışabileceğini göstermişlerdir.

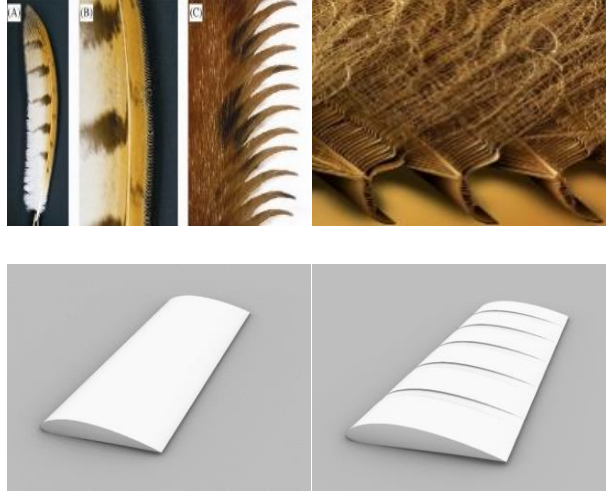
Baykuş kanat yapısı sebebi ile sessiz bir uçuş gerçekleştirirken daha az kanat çırparak düşük hızlarda da uçabilmektedir. Yapılmış çalışmalar incelendiğinde kanat formunun uç kısımlarında, akışın kanat formundan ayrıldığı bölümlerde biyonik tasarımlar gerçekleştirildiği görülmüştür. Kanat formunun üst yüzeyinde, akışın yüzeye temas ettiği bölümde bir çalışma gerçekleştirilmediği görülmüştür. Bu çalışmada baykuş kanatlarının düzenli ve tırtıklı olan tüy yapılarından ilham alınmış ve türbin kanatlarına uygulanmıştır. Biyonik ve biyonik olmayan türbin kanadının kaldırma ve sürüklenme katsayısı oranları ( $C_L/C_D$ ) incelenmiştir.

## 2 Modelleme

NACA kanat profilleri ya da aerofoiller dümen, kanat, yelken, pervane kanadı, rotor veya türbin gibi bir akışkan içerisinde hareket ettiğinde kaldırma kuvveti oluşturan nesnelere kesiti şeklinde tanımlanmaktadır. Bu çalışmada türbinlerde kullanılan kanat profilinden biri olan NACA-4412 kullanılmıştır. Profile ait koordinatlar bulunmuş ve daha önce yapılmış bir çalışmadan yardım alınarak kanal açılmadan önceki model için yapılan analizlerin doğruluğunu kontrol edebilmek amacıyla yapılan çalışmadaki değerler kullanılmıştır. Bu çalışma yardımı ile en/boy oranı 3 olarak belirlenmiş buradan yola çıkarak kord uzunluğu yani hücum kenarı (akışın yüzeye ile karşılaştığı yer) ve firar kenarı (akışın yüzeyden ayrıldığı yer) arasındaki mesafe 0,1 m, kanat boyu ise 0,3 m olarak belirlenip ardından üç boyutlu modellemesi yapılmıştır (Karasu vd., 2018).

Biyonik model ise baykuş kanadı formundan esinlenilerek, üç boyutlu modellemesi yapılmış olan kanat profiline belirli mesafe ve kalınlıkta kanallar açılmıştır. Kanal genişlikleri 12 mm ve kanal derinlikleri kanat profilinin yüzeyinin %10 oranında küçültülmesiyle tüm yüzeyde 5 tane olacak şekilde 40 mm mesafe ile yeni model oluşturulmuştur.





Şekil 1: Kanat modelleri perspektif görünüşler

Analizler hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı aracılığıyla yapılmış ve her iki modelde de  $k-\omega$  türbülans modeli kullanılmıştır. Akışkan tipi hava olarak belirlenmiştir. Çözüm alanı, akışın girdiği bölümün genişliği 30 kord boyuna eşit, yüksekliği 20 kord boyuna eşit akışın kanat boyunca devam ettiği uzunluğun ise kanat boyundan 20 kord boyu kadar fazla olacak şekilde belirlenmiştir. Kanalsız modelin akış alanı belirlenirken akış simetrik olduğundan yarı gövde kullanılarak akış alanı oluşturulmuştur ve çözümler de zamandan bağımsız yapılmıştır.

Hesaplamaların yapılmasında esasında program tarafından arka planda yönetici denklemler olarak Reynolds sayısını, kaldırma katsayısını, sürüklenme katsayısını, süreklilik denklemini veren eşitlikler ile Navier-Stokes denklemleri, Denklem (1-5), kullanılmaktadır.

$$Re = \frac{\rho * V * L}{\mu} = \frac{V * L}{\nu} \quad (1)$$

Reynolds denkleminde, Denklem 1, yer alan  $\rho$   $kg/m^3$  cinsinden akışkanın yoğunluğunu,  $V$  m/s olarak akışkanın hızını,  $L$  m olarak akışın gerçekleştiği yüzey uzunluğunu,  $\mu$  akışkanın dinamik viskozitesini (Pa.s) ve  $\nu$  ise  $m^2/s$  cinsinden dinamik viskozitesini belirtmektedir.

Kaldırma katsayısı ve sürüklenme katsayısı değerleri Denklem 2-3'e göre program tarafından hesaplanmaktadır.

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} * \rho * V^2 * S} \quad (2)$$

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} * \rho * V^2 * S} \quad (3)$$

$F_L$  kaldırma kuvveti,  $F_D$  sürüklenme kuvvetini,  $S$  kanat yüzey alanını,  $\rho$   $kg/m^3$  cinsinden akışkanın yoğunluğunu,  $V$  m/s olarak akışkanın hızını göstermektedir.

Denklem 4'te yer alan süreklilik denkleminde  $\frac{\partial \rho}{\partial t}$  yoğunluğun zamana bağlı değişimini,  $\rho u$  sınır koşullarında net kütle taşınımını ifade etmektedir.

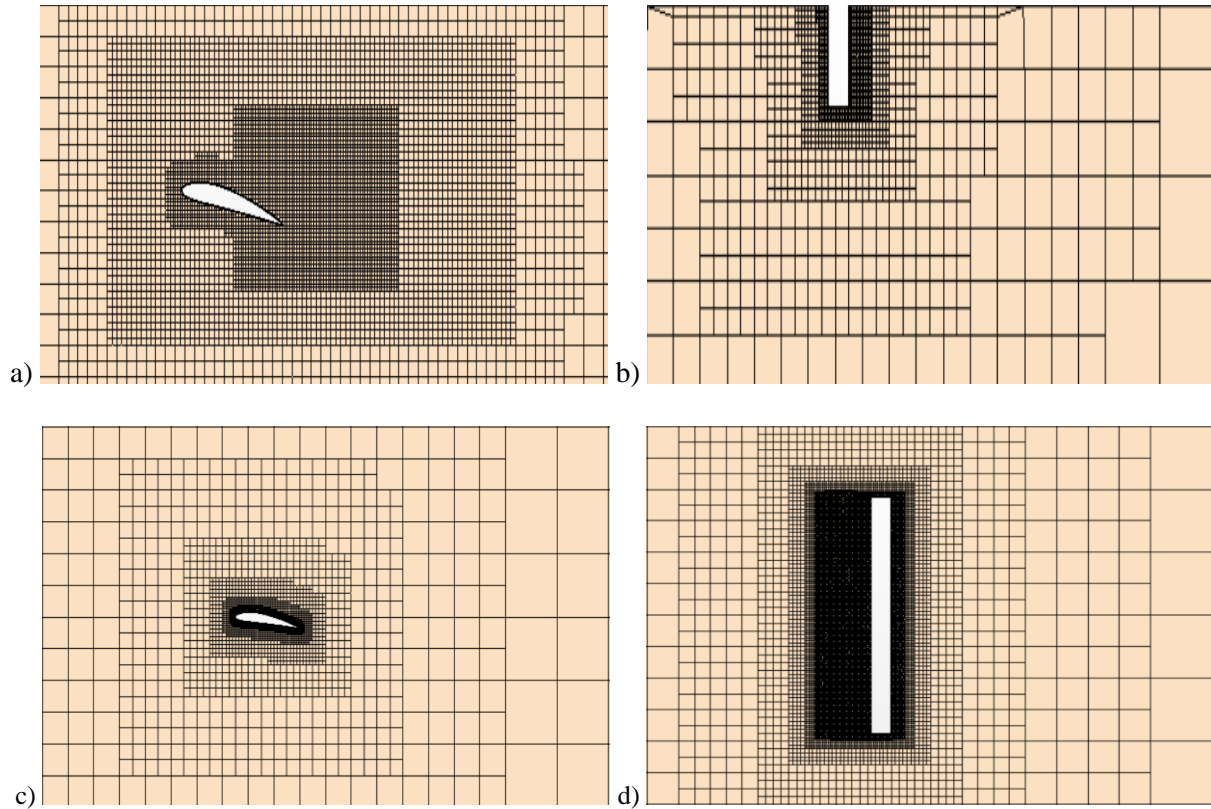
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho u) \quad (4)$$

Denklem 5'teki Navier-Stokes denkleminde  $\vec{\nabla}P$  iç basınç büyüklüğünü,  $\vec{g}$  m/s<sup>2</sup> cinsinden yer çekimi ivmesini,  $\mu$  akışkanın dinamik viskozitesini (Pa.s) göstermektedir. Denklem sağ tarafında bulunan  $\rho * \vec{g}$  dış kuvvetleri,  $\mu * \vec{\nabla}^2 * \vec{V}$  iç gerilim kuvvetlerini ifade etmektedir. Denklem sol tarafında bulunan  $(\vec{V} * \vec{\nabla})\vec{V}$  ifadesi akışkanın hareketini ve yönünü ifade etmektedir.

$$\rho \left[ \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} * \vec{\nabla})\vec{V} \right] = -\vec{\nabla}P + \rho * \vec{g} + \mu * \vec{\nabla}^2 * \vec{V} \quad (5)$$

Örnek makalede NACA-4412 modeli kullanılarak üç boyutlu akış analizi, farklı Reynolds sayıları için iki farklı türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş, farklı hücum açıları için sonuçlar elde edilmiş ve bu değerler deneyler sonucunda elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Kullanılan Reynolds sayıları  $2,5 \times 10^4$ ,  $5 \times 10^4$  ve  $7,5 \times 10^4$  şeklindedir (Karasu vd., 2018).

Yapılan analizlerde ise k- $\omega$  türbülans modeli değerleri kullanılmıştır. Her iki model içinde dört yüzlü ağ yapısına sahip olan hacimsel ağ modeli kullanılmıştır, Şekil 2. Referans modelde yaklaşık 840000 ağ mevcuttur. Kanal açılmış kanat modelinde ise 704800 ağ bulunmaktadır. Tüm analizlerde  $y^+$  değeri 1'den küçüktür.



Şekil 2: Referans model ağ görüntüsü a) profil b) üst ve Kanallı model ağ görüntüsü c) profil d) üst

### 3 Analizler ve Değerlendirme

Doğrulama değerleri daha önce yapılmış bir makaleden alınarak referans modelin sonuçları Tablo 1 de verilmiştir. Kanat profilinin yaklaşık olarak 15° de maksimum kaldırma katsayısına ulaştığı yapılan analizler sonucunda bulunmuştur. Kanadın 20°'lik açıda net sonuçlar vermediği görülmüştür ve bu derece kanadın stall yaptığı açı olarak belirlenmiştir ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi referans model ve incelenen makalenin kaldırma katsayısı ve sürüklenme katsayıları birbirlerine

yakın çıktığından referans model için bulunan sonuçlar doğru kabul edilip kanallı model için analizler tekrarlanmıştır. Analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Kanallı modelde Reynolds sayısının  $2,5 \times 10^4$  olduğu durumda kaldırma katsayısı ve sürüklenme katsayısı değerinde düşüş olduğu görülmektedir.  $20^\circ$ ’de ise kanadın stall’a girmediği görülmektedir. Kanallı modelde Reynolds sayısının  $5 \times 10^4$  ve  $7,5 \times 10^4$  olduğu durumlarda sürüklenme katsayısındaki düşüş çok değişmemesine rağmen kaldırma katsayısında artış olduğu grlmştir.

**Tablo 1: Analiz sonuçları**

Re Sayısı	Hücum Açısı	Doğrulama Değerleri		Referans Model		Kanallı Model	
		$C_L$	$C_D$	$C_L$	$C_D$	$C_L$	$C_D$
$2,5 \times 10^4$	8	0,615	0,096	0,639	0,083	0,579	0,017
	12	0,884	0,126	0,631	0,124	0,653	0,016
	20	Stall	Stall	Stall	Stall	0,621	0,012
$5 \times 10^4$	8	0,615	0,096	0,695	0,081	0,618	0,017
	12	0,884	0,126	0,871	0,122	0,825	0,016
	20	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall
$7,5 \times 10^4$	8	0,615	0,096	0,708	0,081	0,643	0,016
	12	0,884	0,126	0,887	0,122	0,856	0,015
	20	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall

**Tablo 2: Kaldırma ve sürüklenme katsayısı oranları**

$C_L/C_D$ Oranları			
Reynolds Sayısı	Hücum Açısı	Referans Model	Kanallı Model
$2,5 \times 10^4$	8	7,69	34,05
	12	5,08	40,81
	20	Stall	51,75
$5 \times 10^4$	8	8,58	36,35
	12	7,14	51,56
	20	Stall	Stall
$7,5 \times 10^4$	8	8,74	40,19
	12	7,27	57,06
	20	Stall	Stall

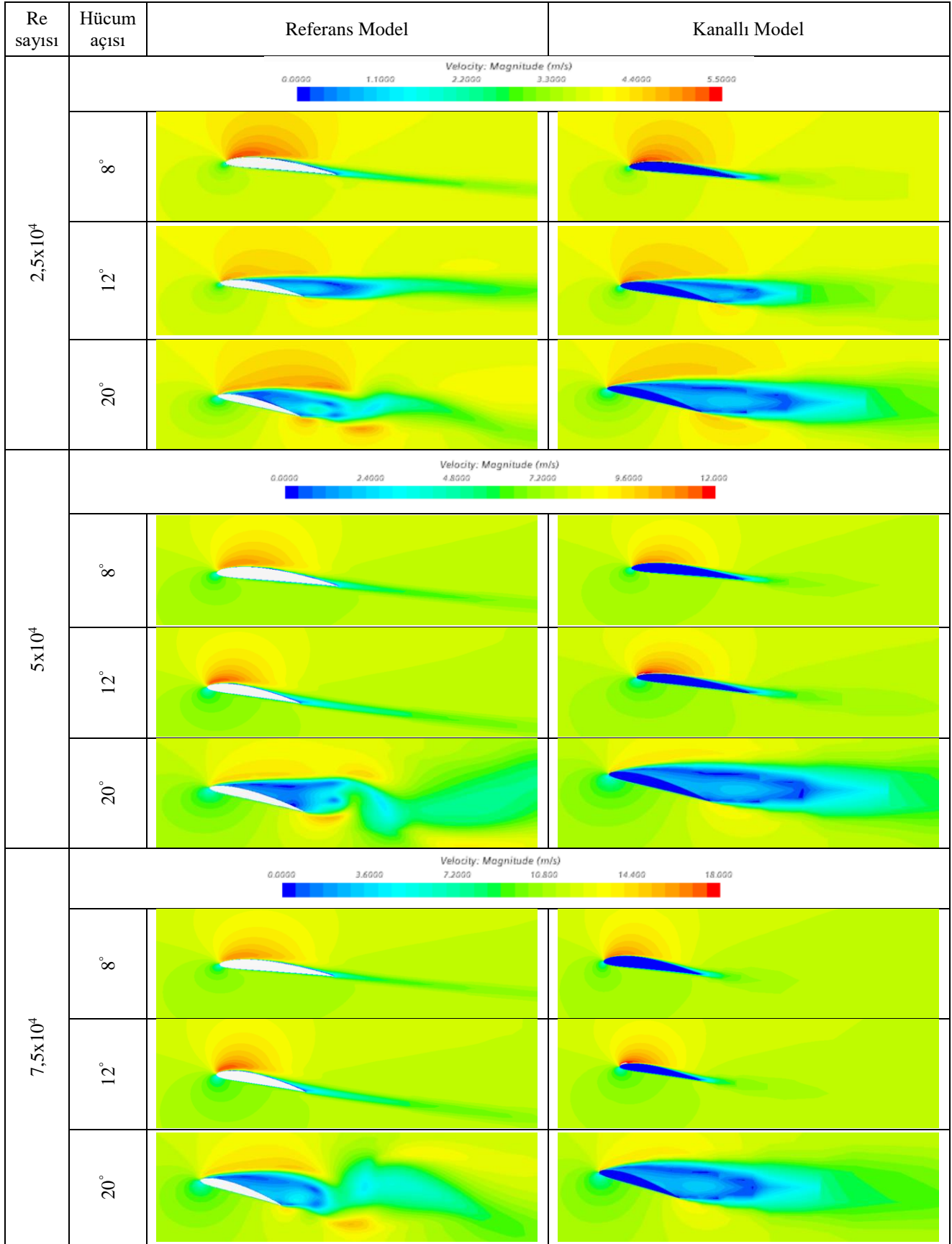
Tablo 2’de referans model ve kanal açılmış modeller kıyaslanmıştır. Kanal açılmış modelin analiz yapılan tüm Reynolds sayılarında kaldırma katsayısı/sürüklenme katsayısı oranı daha yüksek çıkmıştır. Referans modelde stall açısı  $20^\circ$  olarak belirlenmiştir. Kanal açılmış model için Reynolds sayısının  $2,5 \times 10^4$  olması durumunda stall açısının  $20^\circ$ ’nin üzerinde olduğu grlmştir.

Tablo 3’te Reynolds sayısının  $2,5 \times 10^4$ ,  $5 \times 10^4$  ve  $7,5 \times 10^4$  olduğu durumlarda 8, 12 ve 20 derece hücum açılarında referans modele ve kanallı modele ait kanat modellerinin nden görünüşlerine ait hız leği

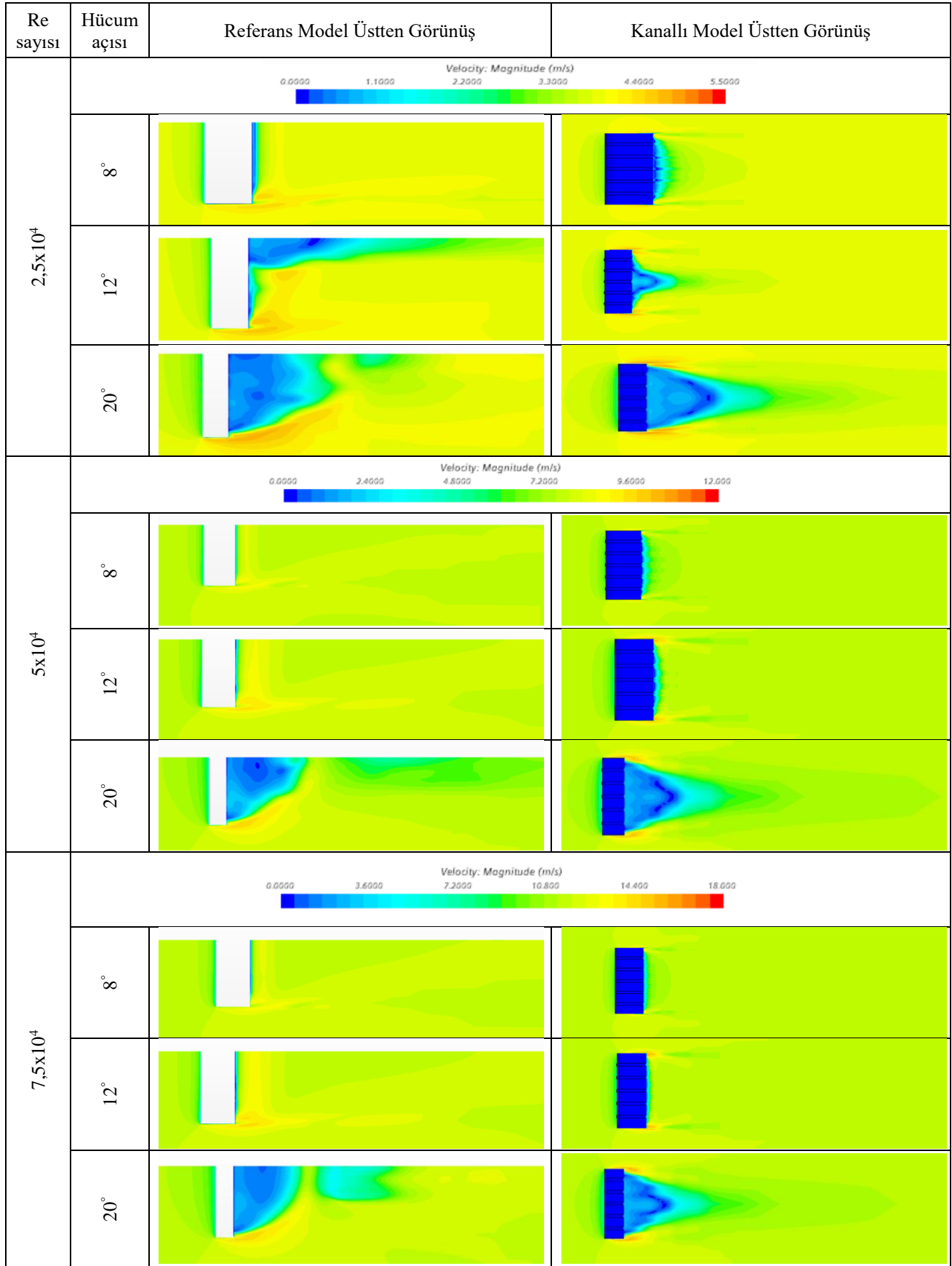
ve hız alanları dağılımları verilmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının  $2,5 \times 10^4$  ve hücum açısının  $8^\circ$  olduğu görseller incelendiğinde her iki model içinde akış hızının hücum ve firar kenarında en düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Kanadın üst yüzeyinde kırmızı renkle gösterilen bölümde hızın en yüksek olduğu bölümler gösterilmiştir. Bu bölgelerde akış hızının serbest akım hızından daha yüksek olduğu görülmektedir. Kanallı modelin ön tarafındaki yukarı akım bölgesinde akış hızının daha yüksek seviyelere ulaştığı görülmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının  $2,5 \times 10^4$  ve hücum açısının  $12^\circ$  olduğu görsellerde kanallı modelin hücum kenarı üstünde bulunan renk konturları akış hızının referans modele göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının  $2,5 \times 10^4$  ve hücum açısının  $20^\circ$  olduğu görsellerde referans modelde türbülans oluştuğu görülürken kanallı modelde türbülans oluşumu görülmemektedir.

Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının  $5 \times 10^4$  ve hücum açısının  $8^\circ$  olduğu görseller incelendiğinde kanallı modelin hücum kenarı üst bölümünün daha yüksek hızlara ulaştığı görülmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının  $5 \times 10^4$  ve hücum açısının  $12^\circ$  olduğu görseller incelendiğinde kanallı modelin hücum kenarı üst bölümünde akış hızının serbest akım hızından daha yüksek olduğu görülmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının  $5 \times 10^4$  ve hücum açısının  $20^\circ$  olduğu görseller incelendiğinde her iki modelde türbülans oluşumu görülmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının  $7,5 \times 10^4$  ve hücum açısının  $8^\circ$  olduğu görseller incelendiğinde hücum ve firar kenarlarında akış hızının en düşük değerlerde, kanallı modelin hücum kenarı üstünde referans modele göre daha yüksek akış hızları olduğu görülmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının  $7,5 \times 10^4$  ve hücum açısının  $12^\circ$  olduğu görseller incelendiğinde kanallı modelin üst yüzeyinde daha yüksek akış hızına ulaşıldığı görülmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının  $7,5 \times 10^4$  ve hücum açısının  $20^\circ$  olduğu görseller incelendiğinde her iki modelde türbülans oluşumu görülmektedir. Kanallı modelin hücum kenarı üst yüzeyinde akış hızının referans modele göre daha fazla olduğu görülmektedir.

**Tablo 3:** Farklı Re sayıları ve hücum açılarında referans ve kanallı modeller için hız alanı dağılımları



**Tablo 4:** Farklı Re sayıları ve hücum açılarında referans ve kanallı modeller için hız alanı dağılımlarının üstten görünüşleri



## 4 Sonuçlar

Reynolds sayısının  $2,5 \times 10^4$  değerinde hücum açısının  $8^\circ$  olduğu durumda  $C_L/C_D$  oranının kanal açılan modelde 4,42 katı arttığı ve  $12^\circ$ 'de kanallı modelde  $C_L/C_D$  oranının 8,03 kat arttığı görülmüştür.  $20^\circ$  de ise referans modelde stall durumu söz konusuken kanal açılmış model daha kararlı bir yapıda olup çözüm gerçekleştirilebilmiştir.  $C_L/C_D$  oranı 51,75 olarak hesaplanmıştır. Reynolds sayısının  $5 \times 10^4$  değerinde hücum açısının  $8^\circ$  olduğu durumda  $C_L/C_D$  oranının kanal açılan modelde 4,23 katı arttığı ve  $12^\circ$ 'de kanallı modelde  $C_L/C_D$  oranının 7,22 kat arttığı görülmüştür. Her iki modelde  $20^\circ$  hücum açısında stalla girip çözüm gerçekleştirilememiştir. Reynolds sayısının  $7,5 \times 10^4$  değerinde hücum açısının  $8^\circ$  olduğu durumda  $C_L/C_D$  oranının kanal açılan modelde 4,6 katı arttığı ve  $12^\circ$ 'de kanallı modelde  $C_L/C_D$  oranının 7,84 kat arttığı görülmüştür. Her iki modelde  $20^\circ$  hücum açısında stalla girip çözüm gerçekleştirilememiştir.

Bu sonuçlardan düşük Reynolds sayısında kanat profilinin kanal açılmış hali ile daha büyük hücum açılarında daha kararlı bir yapıya sahip olabildiği görülmüştür. Sonlu hacimler yöntemi kullanılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı aracılığıyla çözümleri gerçekleştirilen modellerden kanal açılmış olanının daha büyük Reynolds sayılarında daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar yapılan çalışmalarda belirtilen hücum açıları ve Reynolds sayıları içindir. Bu durumun genellenebilmesi için daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır.

## 5 Beyanname

### 5.1 Teşekkür

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü müfredatında yer alan GIM4000 Bitirme Tezi dersi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

### 5.2 Rakip Çıkarlar

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

### 5.3 Yazarların Katkıları

**Asım Sinan KARAKURT:** Fikir, danışmanlık, literatür, tasarım ve yorumlama kısımlarında katkı sağlamıştır.

**Gülsüm KILIÇ:** Literatür, tasarım, analiz ve yorumlama kısımlarında katkı sağlamıştır.

## Kaynakça

- Bashir, M. B. A. (2022). Principle Parameters and Environmental Impacts that Affect the Performance of Wind Turbine: An Overview. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(7), 7891-7909. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-06357-1>
- Başak, H., & Demirhan, H. (2017). Kambur Balina'nın Yüzgeçlerinden Esinlenerek Oluşturulan Kanat Profil Veriminin CFD Analizi ile İncelemesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2), Article 2.
- Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Harper Perennial.
- Çolak, İ., & Demirtaş, M. (2010). Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretiminin Türkiye'deki Gelişimi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 1(2), Article 2.
- DOE. (2022). *Land-Based Wind Market Report*. U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov/eere/wind/articles/land-based-wind-market-report-2022-edition>

- Elia, A., Taylor, M., Ó Gallachóir, B., & Rogan, F. (2020). Wind turbine cost reduction: A detailed bottom-up analysis of innovation drivers. *Energy Policy*, 147, 111912. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111912>
- Elibüyük, U., & Üçgül, İ. (2014). Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri. *Yekarum*, 2(3), Article 3.
- Ge, C., Ren, L., Liang, P., Zhang, C., & Zhang, Z. (2013). High-Lift Effect of Bionic Slat Based on Owl Wing. *Journal of Bionic Engineering*, 10(4), 456-463. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(13\)60243-7](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(13)60243-7)
- Karasu, İ., Özden, M., & Genç, M. S. (2018). Performance Assessment of Transition Models for Three-Dimensional Flow Over NACA4412 Wings at Low Reynolds Numbers. *Journal of Fluids Engineering*, 140(12), 121102. <https://doi.org/10.1115/1.4040228>
- Kevadiya, M., & Vaidya, H. (2013). 2D Analysis of NACA 4412 Airfoil. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 02, 1686-1691.
- Khan, M. A. (2021). Aerodynamic characterization of bio-mimicked pleated dragonfly aerofoil. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*. <https://doi.org/10.15394/ijaaa.2021.1562>
- Krylov, V., & Bedder, W. (2015, Haziran 1). Calculations of sound radiation associated with “tunnel boom” from high-speed trains.
- Rao, C., Ikeda, T., Nakata, T., & Liu, H. (2017). Owl-inspired leading-edge serrations play a crucial role in aerodynamic force production and sound suppression. *Bioinspiration & Biomimetics*, 12(4), 046008. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/aa7013>
- Rosa, F., Soetikno, P., Suweca, I. W., & Moelyadi, M. A. (2022). A new airfoil based on banana leaf midrib morphology for horizontal axis wind turbine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1108(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1108/1/012001>
- Seyed Alavi, S. M., Maleki, A., & Khaleghi, A. (2022). Optimal site selection for wind power plant using multi-criteria decision-making methods: A case study in eastern Iran. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 17, 1319-1337. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctac009>
- Song, L., Tian, K., Jiao, X., Feng, R., Wang, L., & Tian, R. (2021). Design and optimization of seagull airfoil wind energy conversion device. *International Journal of Green Energy*. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15435075.2021.1890087>
- Srivastav, D., & Ponnani, K. N. (2011). Surface Modifications for Improved Maneuverability and Performance of an Aircraft. Volume 1: *Advances in Aerospace Technology; Energy Water Nexus; Globalization of Engineering; Posters*, 121-127. <https://doi.org/10.1115/IMECE2011-63381>
- Sule, M., Coskun, C., & Oktay, Z. (2022). Rüzgâr Türbinlerinde Verim Arttırmaya Yönelik Çalışmalar. *İçinde Mühendislik Bilimleri Alanında Yeni Trendler (1. bs)*. Duvar Yayınları.
- Tian, W., Yang, Z., Zhang, Q., Wang, J., Li, M., Ma, Y., & Cong, Q. (2017). Bionic Design of Wind Turbine Blade Based on Long-Eared Owl's Airfoil. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2017, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2017/8504638>
- Uzun, M., Özdemir, M., Yildirim, Ç. V., & Çoban, S. (2022). A Novel Biomimetic Wing Design and Optimizing Aerodynamic Performance. *Journal of Aviation*, 6(1), 12-25. <https://doi.org/10.30518/jav.1031989>



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).





## Research Article

Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET) 3(2), 57-66, 2023

Received: 11-Dec-2023 Accepted: 18-Dec-2023



homepage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/joinmet>

<https://doi.org/10.58771/joinmet.1403132>



SAKARYA UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES

# Kam Profillerinin Değme Analizi ve Elastohidrodinamik Yağ Filmi Kalınlığı

İlknur KESKİN ÖNER<sup>1\*</sup> , Ömer SAVAŞ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye. [keskin@yildiz.edu.tr](mailto:keskin@yildiz.edu.tr)

<sup>2</sup> Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye. [osavas@yildiz.edu.tr](mailto:osavas@yildiz.edu.tr)

## ÖZ

Kamlar, dönme hareketini, izleyici vasıtasıyla öteleme ya da salınım hareketine dönüştürmek amacıyla özel olarak imal edilen elemanlardır. Bu dönme hareketinin izleyici vasıtasıyla mekanik bileşenlere aktardığı hareket kusursuz bir zamanlama gerektirmektedir. Bu nedenle kam yüzeylerinde oluşabilecek aşınma, bu kusursuz zamanlamayı bozacaktır. Kam ve izleyici yüzeylerinin teması, yağ filmi ile engellenmelidir. Temas yüzeylerinin uyumsuz olması nedeniyle burada hidrodinamik yağlamanın özel bir formu olan elastohidrodinamik yağlama durumu ortaya çıkmaktadır. Elastohidrodinamik yağlama (EHL) koşullarında (ağır yük altında, uyumsuz yüzeyler arasındaki değme) yağ filmi oluşumu, elastik deformasyonlar ve viskozitenin artan basınçla büyümesi sayesinde mümkün olabilmektedir. Böyle iki yüzey arasındaki yağ filmi kalınlığını hesaplamak için çeşitli nümerik analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin teorik temeli Reynolds diferansiyel denklemi, viskozite-basınç denklemi ve elastik deformasyon denklemlerinin müşterek çözümüne dayanmaktadır. Bu çalışmada kam ve izleyici yüzeyi arasında oluşan elastohidrodinamik yağ filmi kalınlığı, Hamrock-Dowson yaklaşımı yardımıyla hesaplanmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kam, elastohidrodinamik yağlama, film kalınlığı.

## Contact Analysis of Cam Profiles and Elastohydrodynamic Oil Film Thickness

### ABSTRACT

Cams are specially designed elements to convert rotational motion into translational or oscillatory motion through the follower. The movement that this rotational movement transfers to the mechanical components via the follower requires perfect timing. For this reason, wear that may occur on the cam surfaces will disrupt this perfect timing. The contact of the cam and follower surfaces should be prevented with an oil film. Since the contact surfaces are incompatible, elastohydrodynamic lubrication, a special form of hydrodynamic lubrication, occurs here. Under

<sup>1\*</sup> [keskin@yildiz.edu.tr](mailto:keskin@yildiz.edu.tr)

elastohydrodynamic lubrication (EHL) conditions (under heavy load, contact between incompatible surfaces), oil film formation is possible due to elastic deformations and the growth of viscosity with increasing pressure. Various numerical analysis methods have been developed to calculate the oil film thickness between two such surfaces. The theoretical basis of these methods is based on the joint solution of the Reynolds differential equation, viscosity-pressure equation and elastic deformation equations. In this study, the elastohydrodynamic oil film thickness formed between the cam and the follower surface was tried to be calculated with the help of the Hamrock-Dowson approach.

**Keywords:** Cam, elastohydrodynamic lubrication, film thickness.

## 1 Giriş

Elastohidrokinamik yağlama (EHL), daha çok sırt sırta vermiş (uyumsuz) eğrisel yüzeyler arasında söz konusu olan ve değme alanında oluşan elastik deformasyonlarla birlikte viskozitenin basınçla değişimini de göz önüne alan bir hidrodinamik yağlama türüdür (Hamrock vd.,2006). Bilindiği gibi artan basınçla birlikte yağın viskozitesi hızla büyümektedir. Hem büyüyen viskozite hem de taşınan ağır yükün böyle küçük değme alanlarında sebep olduğu yerel deformasyonlar yağ filmi oluşumunu, beklenen aksine, kolaylaştırmaktadır. Ancak bu yağ filmi çok ince olup merteye olarak ortalama  $10^{-4}$  mm dolayındadır. Ayrıca deforme olmuş eş yüzeylerin nihai şekli yağ filmi de biçimlendirmektedir. Yük altındaki kuru (yağsız) iki eğrisel yüzey arasında karşılıklı deformasyonlardan sonra ortaya çıkan yeni ortak yüzey çoğunlukla düzlemsel değildir. Düzlemsel bir değme alanı ancak bütün mekanik ve geometrik özellikleri aynı olan (eşdeğer) iki küre veya iki silindir arasında olabilir. Eğer elastisite katsayısı  $E \rightarrow \infty$  olursa veya yük sıfırda iki küre arasında bir nokta ve iki silindir arasında bir çizgi değmesinden söz edilebilir. Ancak gerçekte, deformasyonlardan ötürü noktasal değme bir daire alanına, çizgisel değmede bir dikdörtgen alanına dönüşür. En büyük elastik (ağır yüklerde plastik) çökme ortada olacağından değme basıncı da ortada en büyük olacaktır. Elastik sınırlar içinde bu tür değmelere Hertzien değmeler denmektedir. Değme alanının boyutları, değme alanı içindeki gerilmeler ve basınç dağılımı Hertz bağıntılarıyla elde edilebilmektedir. Fries ve Rogers (1988) kam ve izleyici değmeleri için basit aşınma simülasyonları oluşturmuşlardır. İzleyici devrini dikkate almamışlar ve izleyici üzerinde bir noktanın kamın bir turu boyunca karşı yüzey boyunca kaydığı mesafenin hertzien değme genişliği ile orantılı olduğunu göstermişlerdir. Hertzian teorisine benzer bir yaklaşımla basıncı hesaplamışlardır. Bell vd. (1988), kinematik bir analizle, elastohidrokinamik ve sınır yağlama geçişini ifade ederek izleyici tarafındaki aşınmayı hesaplamışlardır. İlk olarak H.M.Martin 1916'da düzlem-silindir geometrisini analiz etmiştir. Martin, yüksek gerilim altındaki elastohidrokinamik değmelerde oluşan, hidrodinamik yağ filminin mevcudiyetiyle ilgili çalışmalarında elde ettiği sonuçların deneysel sonuçlardan farklı olduğunu gözlemlemiştir. Bu eksik tanımlamalardan ötürü yaklaşık yirmi yıl boyunca yağlanmış uyumlu yüzeyler üzerindeki teorik çalışmalardan olumlu sonuçlar elde edilememiştir. Bunun nedeni Martin'in, sabit yağlayıcı viskozitesi ve katı sınırlı yüzeyler kabulleri ile analizini sınırlandırmış olmasıdır. Daha sonra yapılan çalışmalarda elastik deformasyonların fark edilmesi ve akışkan viskozitesinin basınçla değiştiğinin gözlenmesi günümüzde kullandığımız nümerik elastohidrokinamik bağıntılarına ulaşmamızı sağlamıştır. 1949 yılında ise A.N.Grubin film kalınlığı hesabına hem elastik deformasyonun hem de basınca bağlı viskozitenin etkisini dahil ederek, elastohidrokinamik yağlamanın ilk adımını atmıştır.

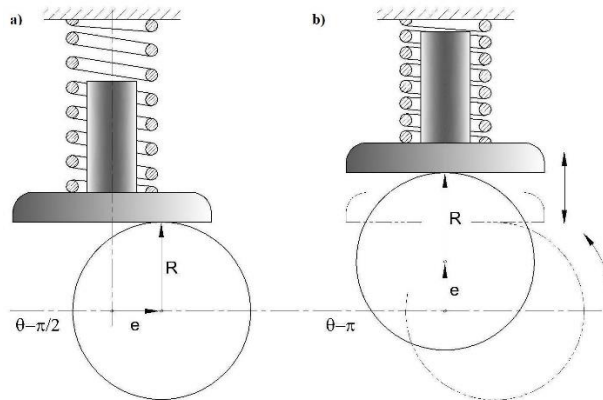
Grubin de, kam ve dişliler gibi uyumsuz yüzeyler üzerindeki yağ kalınlığı hesabına yağın viskozite-basınç değişimini ve yüzeylerde meydana gelen elastik deformasyonun etkisini dahil etmiştir. Yalnız elastik deformasyonun yağlamasız, kuru yüzeylerdeki deformasyon ile aynı kabul edildiği varsayımını yapmıştır. Bunun sonucunda ortaya çıkan film kalınlığının, hidrodinamik teoride ortaya çıkan film kalınlığına göre bir iki basamak daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca Grubin, basıncın Hertzien

zonunun çıkış bölgesinin yakınında dikkate değer ikinci bir maksimum çıkış yaptığını göstermiştir. EHL değmenin bu karakteristikleri hirodinamik ve elastik denklemlerin de çözüme dahil edilmesiyle Lacobson (1991) tarafından da teyit edilmiştir (Lacobson, 1991). O zamandan beri elastohidrokinamik değme konusunda çok sayıda analitik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Houpert ve Hamrock elastohidrokinamik çizgi değme için büyük basınç değişimleri altında nümerik analizin geliştirilebileceğini ve elastik deformasyonun doğru olarak saptanabileceğini göstermiştir.

Elastohidrokinamik yağlamada, yağlayıcı içinde meydana gelen basınç 0,5 Gpa ve 4,0 Gpa ve minimum film kalınlığı  $10^{-7}$  m mertebesindedir. Yüksek basınçtan ötürü yağlayıcı piezoviskoz özellikler sergiler. Çoğu yağlayıcılarda viskozite artan basınçla beraber hızlı bir şekilde artar. Bununla birlikte yüksek basınçlara sebep olan büyük yüklerin uygulanması, değme yüzeylerinde önemli bölgesel deformasyonlara sebep olur. Deformasyonun etkisi yağ filminin biçimini değiştirir (Cameron, 1966). Soejima, vd. (1997) kam ve izleyicinin yağlanması konusunda deneysel çalışmalar yapmışlar ve sonuçları malzeme kombinasyonu, yağlayıcı katkıları ve yağ deliğinin konumu açısından değerlendirmişlerdir. Soejima, vd. (1994) sürtünme ve aşınma karakteristiklerine değme yükünün, yüreğin dönme hızının, malzeme ve yağlayıcı özelliklerinin etkisini araştırmışlardır. Shigley ve Uicker (1995) çoğu basit mekanizmalar için yerdeğştirmeyi, kayma hızlarını ve değme yüklerini tahmin edebilmek için kapalı form çözümler geliştirdiler. Glovna ve Spikes (2001) kam ve izleyici hareketinin elastohidrokinamik film kalınlığı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Cheng (1982) yürek ve izleyici aşınmasını yük, hız ve malzeme özellikleri itibariyle ele aldığı çalışmasında tüm bu kompleks faktörlerin neticesi olarak ortaya çıkan yüzey yorulmasını yürek ve izleyici sisteminin arızalarında en baskın neden olarak ortaya koymuştur.

## 2 Metodoloji

Bu çalışmada kamın izleyici vasıtasıyla aktardığı iki tanımlı hareket (basit harmonik hareket ve sikloidal hareket) ve kamın üç farklı devir sayısı için Hamrock-Dowson yaklaşımının çizgi değme durumundaki nümerik çalışmalarla ortaya koyduğu film kalınlığı denklemi yardımıyla, kam ve izleyici arasındaki film kalınlığı hesaplanmıştır (Hamrock, 1994). Kam malzemesi için pirinç alaşımı, izleyici malzemesi olarak da çelik seçilmiştir. Kam ve izleyici temasında çizgisel değme söz konusudur. Şekil 1. de bir kam ve izleyici temasının, kamın  $90^\circ$  ve  $180^\circ$  dönüşü sonundaki konumları gösterilmiştir. Çizgi değme durumu için Hamrock-Dowson yaklaşımına göre boyutsuz film kalınlığı denklem 1 ile verilmiştir.



Şekil 1. Kamın  $90^\circ$  ve  $180^\circ$  dönüşü neticesindeki izleyici hareketi (Keskin, 2012)

$$H_{min} = \frac{gH_{min}}{W} \cdot U \quad (1)$$

Boyutlu film kalınlığı ise denklem 2 ile ifade edilmiştir.  $g_{H_{min}}$  boyutsuz film kalınlığı parametresi olup, piezoviskoz elastik rejim için denklem 3 ile hesaplanır.

$$h_{min} = H_{min} \cdot R \quad (2)$$

$$g_{H_{min}} = 2,65 \cdot g_v^{0,54} \cdot g_E^{0,06} \quad (3)$$

$g_v$  boyutsuz viskozite parametresidir ve denklem 4 ile hesaplanır.

$$g_v = \frac{G \cdot W^{3/2}}{U^{1/2}} \quad (4)$$

$g_E$  boyutsuz elastisite parametresidir ve denklem 5 ile hesaplanır.

$$g_E = \frac{W}{U^{1/2}} \quad (5)$$

Bu denklemlerdeki  $h_{min}$  ( $\mu\text{m}$ ) minimum film kalınlığı,  $R$  eşdeğer yarıçap,  $E'$  efektif elastisite modülü,  $E_k$  kam malzemesinin elastisite modülü,  $E_i$  izleyici malzemesinin elastisite modülü,  $U = \eta_0 \cdot u_r / E' \cdot R$  boyutsuz hız parametresi,  $u_r$  yuvarlanma hızı (m/sn),  $\eta_0$  (Pa.s),  $p=0$  ve sabit sıcaklıktaki mutlak viskozite,  $G = \alpha \cdot E'$  boyutsuz malzeme parametresi,  $\alpha$  ( $\text{Pa}^{-1}$ ) basınç-viskozite katsayısı,  $W = \frac{F}{E \cdot R \cdot L}$  boyutsuz yük parametresidir. Elastohidrokinamik yağ filmi hesabında farklı yaklaşımlar mevcuttur. Bu çalışmada Hamrock-Dowson yaklaşımı ile film kalınlığı hesaplanmaya çalışılmıştır. Kam ve izleyici temasında çizgi değme söz konusudur. Eşdeğer yarıçap, izleyici düz yüzeyli olduğundan kam yarıçapı olan 40 mm alınacaktır. Kayma yolu genişliği(L), kamın kalınlığı olan 10 mm'dir. Elastisite modülü Denklem 6'da ve kam, izleyici ve yağlayıcıya ait sayısal değerler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1:** Çalışmada Kullanılan Kam, İzleyici ve Yağlayıcı parametreleri

	Kam	İzleyici	Yağlayıcı
Malzeme	Pirinç	HSS	
Elastisite modülü (Gpa)	106	208	
Poisson oranı $\nu$	0,3	0,324	
Yarıçap (mm)	40	0	
Viskozite basınç katsayısı ( $\alpha$ ) ( $\text{Pa}^{-1}$ )			$2,1 \cdot 10^{-8}$
Mutlak viskozite $\eta_0$ (Pa.s)			0,04

Efektif elastiklik modülü

$$\frac{1}{E'} = \frac{1}{2} \left[ \frac{1-\nu_1^2}{E_i} + \frac{1-\nu_2^2}{E_k} \right] \quad (6)$$

$$\frac{1}{E'} = \frac{1}{2} \left[ \frac{1-0,324^2}{208} + \frac{1-0,3^2}{106} \right], \quad E' = 156 \text{ GPa}$$

**Tablo 2:** Farklı devir sayıları için yuvarlanma hızları ve boyutsuz hızlar

R=40 mm $E' = 156 \text{ GPa}$	n=350 d/dak için	n=610 d/dak.	n=1000 d/dak.
Yuvarlanma hızı ( $U_r$ )(m/sn) $u_r = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot n}{60}$	1,466	2,555	4,188
Boyutsuz hız $U = \eta_0 \cdot u_r / E' \cdot R$	$9,397 \cdot 10^{-12}$	$1,637 \cdot 10^{-11}$	$2,685 \cdot 10^{-11}$

Boyutsuz malzeme parametresi

$$G = \alpha \cdot E' = 2,1 \cdot 10^8 \cdot 156 \cdot 10^9 = 3276$$

Boyutsuz yük

$$W = F / E' \cdot R \cdot L = \frac{F}{156 \cdot 10^9 \cdot 0,04 \cdot 0,01} = 1,6 \cdot 10^{-8} \cdot F$$

## 2.1 Kamın Dakikada 350 Tur Yapması Durumundaki, Yüke Bağlı Film Kalınlığı Denklemi

Denklem 4 ve 5'de sırasıyla boyutsuz viskozite ve elastisite parametreleri malzeme, yük ve hız parametrelerine bağımlı olarak, kuvvet çarpanı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

Boyutsuz viskozite parametresi

$$g_v = \frac{G \cdot W^{3/2}}{U^{1/2}} = \frac{3276 \cdot (1,6 \cdot 10^{-8} F)^{3/2}}{(9,397 \cdot 10^{-12})^{1/2}} = 2,164 \cdot 10^{-3} \cdot F^{3/2}$$

Boyutsuz elastisite parametresi

$$g_E = \frac{W}{U^{1/2}} = \frac{1,6 \cdot 10^{-8} \cdot F}{(9,397 \cdot 10^{-12})^{1/2}} = 5,219 \cdot 10^{-3} \cdot F$$

Piezoviskoz elastik rejim için boyutsuz film kalınlığı

$$g_{Hmin} = 2,65 \cdot g_v^{0,54} \cdot g_E^{0,06} = 7,036 \cdot 10^{-2} (F^{0,81} + F^{0,06})$$

Minimum film kalınlığı

$$H_{min} = \frac{g_{Hmin}}{W} \cdot U = 4,132 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{F^{0,81} + F^{0,06}}{F}$$

Boyutlu film kalınlığı

$$h_{min} = H_{min} \cdot R = 1,652 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{F^{0,81} + F^{0,06}}{F} \text{ m}$$

## 2.2 Kamın Dakikada 610 Tur Yapması Durumundaki, Yüke Bağlı Film Kalınlığı Denklemi

Boyutsuz viskozite parametresi

$$g_V = \frac{G \cdot W^{3/2}}{U^{1/2}} = \frac{3276 \cdot (1,6 \cdot 10^{-8} F)^{3/2}}{(1,637 \cdot 10^{-11})^{1/2}} = 1,638 \cdot 10^{-3} \cdot F^{3/2}$$

Boyutsuz elastisite parametresi

$$g_E = \frac{W}{U^{1/2}} = \frac{1,6 \cdot 10^{-8} \cdot F}{(1,637 \cdot 10^{-11})^{1/2}} = 3,954 \cdot 10^{-3} \cdot F$$

Piezoviskoz elastik rejim için boyutsuz film kalınlığı

$$g_{Hmin} = 2,65 \cdot g_V^{0,54} \cdot g_E^{0,06} = 5,94 \cdot 10^{-2} (F^{0,81} + F^{0,06})$$

Minumum film kalınlığı

$$H_{min} = \frac{g_{Hmin}}{W} \cdot U = 6,085 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{F^{0,81} + F^{0,06}}{F}$$

Boyutlu film kalınlığı

$$h_{min} = H_{min} \cdot R = 2,434 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{F^{0,81} + F^{0,06}}{F} \text{ m}$$

### 2.3 Kamın Dakikada 1000 Tur Yapması Durumundaki, Yüke Bağlı Film Kalınlığı Denklemi

Boyutsuz viskozite parametresi

$$g_V = \frac{G \cdot W^{3/2}}{U^{1/2}} = \frac{3276 \cdot (1,6 \cdot 10^{-8} F)^{3/2}}{(2,685 \cdot 10^{-11})^{1/2}} = 1,282 \cdot 10^{-3} \cdot F^{3/2}$$

Boyutsuz elastisite parametresi

$$g_E = \frac{W}{U^{1/2}} = \frac{1,6 \cdot 10^{-8} \cdot F}{(2,685 \cdot 10^{-11})^{1/2}} = 3,088 \cdot 10^{-3} \cdot F$$

Piezoviskoz elastik rejim için boyutsuz film kalınlığı

$$g_{Hmin} = 2,65 \cdot g_V^{0,54} \cdot g_E^{0,06} = 51,39 \cdot 10^{-3} (F^{0,81} + F^{0,06})$$

Minumum film kalınlığı

$$H_{min} = \frac{g_{Hmin}}{W} \cdot U = 8,624 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{F^{0,81} + F^{0,06}}{F}$$

Boyutlu film kalınlığı

$$h_{min} = H_{min} \cdot R = 3,45 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{F^{0,81} + F^{0,06}}{F} \text{ m}$$

## 2.4 Film Kalınlığının Farklı Devir sayıları için Kuvvete Göre Değişimi

350 d/dak, 610 d/dak ve 1000 d/dak için film kalınlıklarını hesaplayabileceğimiz denklemler, kuvvete bağlı olarak yukarıda ifade edildi. Kamın izleyiciye yaptırdığı tanımlı hareketler olan basit harmonik ve sikloidal hareket için ilgili kinematik ilişkilerden faydalanarak mekanizma üzerindeki kuvvet ilişkisini yazabiliriz (Waldron vd., 2004), (Dyson, 1980), (Purmer 1985). İtıcinin arkasına yerleştirilen bir bası yayı yardımıyla başlangıçta 30 N luk bir ön yüklemeye maruz kaldığını varsayıp, etkili olan normal kuvveti, ön yüklemeye kuvveti, yay kuvveti ve atalet kuvvetlerinin toplamı olarak denklem 7’de verildiği üzere hesaplanabilir (Dickrell, 2003), (Gecim, 1988), (Rothbart, 2003).

$$F_n = F_0 + k \cdot s + m \cdot a \quad (7)$$

İfade basit harmonik hareket eğrisine sahip yürek profili için konum (s) ve ivme (a) parametreleri için denklem 7’de yerine yazılacak olursa denklem 8 elde edilir. Denklem 8’deki e, dairesel kamın geometri merkezinin, dönme merkezine uzaklığı olan kaçıklık olup 6 mm olarak kabul edilmiştir.

Burada k, iticinin arkasına yerleştirilen bası yayının yay katılığı olup, 20N/mm olarak kabul edilip, k.d ifadesi ön yüklemeye tanımlamakta ve 30 N olarak belirlenmiştir. Açısal hız ise  $\omega=2\pi n/60$  denklemi ile rad/sn olarak hesaplanır. Kamın dönme açısı ise derece cinsinden  $\theta$  açısıdır.

$$F_N = k \cdot d + k \cdot e \cdot (1 - \cos\theta) + m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \cos\theta \quad (8)$$

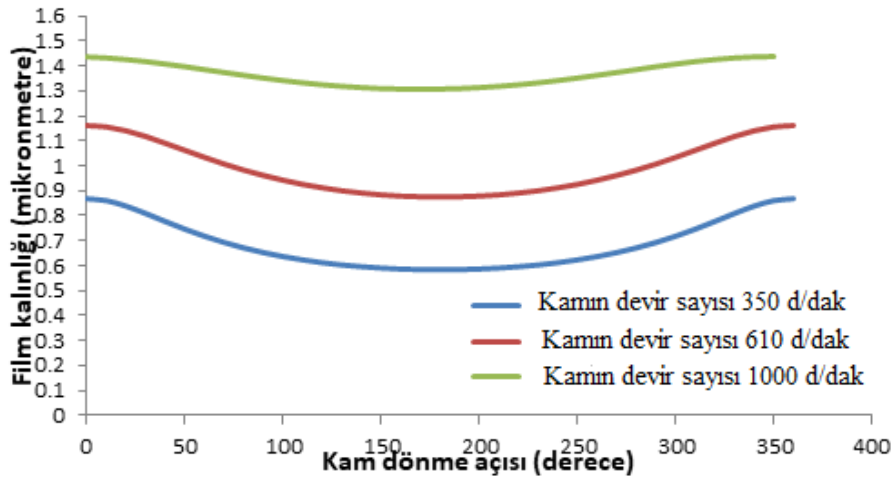
Daha sonra kamın izleyiciye yaptırdığı hareketin sikloidal hareket olması durumu için denklem 7’de konum (s) ve ivme (a) parametreleri yerine yazılırsa denklem 9 elde edilir.

$$F_N = k \cdot d + k \cdot H \cdot \left( \frac{\theta}{180} - \frac{1}{2\pi} \cdot \sin 2\theta \right) + m \cdot \omega^2 \cdot \left( \sin 2\theta \cdot \frac{2}{\pi} \right) \cdot H \quad (9)$$

Denklem 9’daki H ifadesi kamın izleyiciye yaptırdığı harekete ait stroktur.

## 3 Bulgular ve Tartışma

Kam üzerinde 30° lik açılarla bölünmüş noktadaki kuvvet büyüklüklerini basit harmonik hareket için denklem 8 ifadesinde, sikloidal hareket için denklem 9 ifadesinde, 3 farklı devir sayısı için hesaplanmış değerleri tablo 3’de verilmiştir. Öncelikle basit harmonik harekete sahip kam ile izleyici arasında, 1 tam tur hareketi boyunca oluşacak film kalınlığı değerleri farklı devir sayıları için Şekil 2’de verilmiştir.

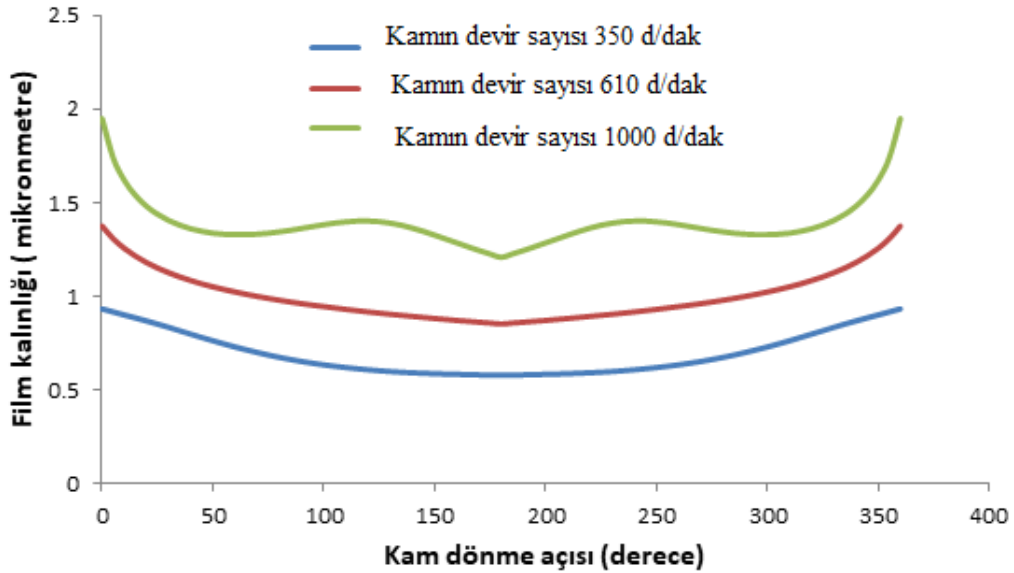


Şekil 2: Basit harmonik profilli kamın (yüreğin) farklı devir sayılarında oluşan film kalınlıkları

**Tablo 3:** Kamın her 30°lik dönüşünde etkili olan toplam kuvvetler

Açı (°)	Basit harmonik hareket için toplam kuvvet $F_n$ (N)			Sikloidal hareket için toplam kuvvet $F_n$ (N)		
	n=350 d/dak	n=610 d/dak	n=1000 d/dak	n=350 d/dak	n=610 d/dak	n=1000 d/dak
0	40,269	61,19	113,83	30	30	30
30	54,97	73,09	118,67	48,24	71,31	129,35
60	95,134	105,60	131,91	88,24	111,31	169,35
90	150	150	150	150	150	150
120	204,866	194,40	168,09	211,76	188,69	130,65
150	245,03	226,91	181,33	251,76	228,69	170,65
180	259,731	238,81	186,17	270	270	270
210	245,03	226,91	181,33	251,76	228,69	170,65
240	204,866	194,4	168,09	211,76	188,69	130,65
270	150	150	150	150	150	150
300	95,134	105,6	131,91	88,24	111,31	169,35
330	54,97	73,09	118,67	48,24	71,31	129,35
360	40,269	61,19	113,83	30	30	30

Sikloidal harekete sahip kam ile izleyici arasında, 1 tam tur hareketi boyunca oluşacak film kalınlığı değerleri farklı devir sayıları için Şekil 3. de verilmiştir.



**Şekil 3:** Sikloidal profilli kamın (yüreğin) farklı devir sayılarında oluşan film kalınlıkları

Şekil 2 ve Şekil 3'deki sonuçları incelediğimizde öne çıkan ilk veri kamın harekete başladıktan 180° sonraki konumunda ortaya çıkan yük miktarı maksimum değerine ulaşmakta iken film kalınlığı değeri 350 d/dak için, basit harmonik hareketi veren kam profilinde %32,81, sikloidal hareketi veren profile ise % 37,98 azalmakta, 610 d/dak için basit harmonik hareketi veren kam profilinde % 32,76, sikloidal hareketi veren profile ise % 37,98 azalmakta, 1000 d/dak için de basit harmonik hareketi veren kam profilinde % 8,97, sikloidal hareketi veren profile ise % 37,97 azalmaktadır. Burada ilk önemli bulgu,



film kalınlığı denkleminde baktığımız da yük ile ilişkisi de bunu göstermektedir ki yük miktarı arttıkça, film kalınlığı düşmektedir. Kamın devir sayısı 350 den 1000 d/dak ya yükselirken, atalet kuvveti her ne kadar büyüklük olarak artmakta iken işaret olarak  $90^\circ$  ve  $270^\circ$  aralığında toplam yüke negatif olarak etkilediğinden dolayı toplam normal kuvvet büyüklüğü azalmakta, dolayısıyla film kalınlığı artmaktadır. Ancak devir sayılarındaki bu artışa oranla, basit harmonik hareketi veren kam profili için yükün maksimum olduğu ( $180^\circ$ ) ve minimum olduğu ( $0^\circ$ ) noktaları arasındaki film kalınlığı farkı 350 d/dak için %37,98, 610 d/dak için %32,76 ve 1000 d/dak için de %8,97 olarak belirgin bir şekilde düşerken, aynı şartlardaki sikloidal hareketi veren kam profili için bu oranın neredeyse sabit kalıp değişmediği gözlenmiştir.

## 4 Sonuçlar

Bu çalışmada pirinç alaşımından yapılmış ve izleyiciye aktardağı tanımlı hareketin, basit harmonik ve sikloidal hareket olmak üzere ilgili geometriğe sahip 2 farklı kam profilinin 350 d/dak, 610 d/dak ve 1000d/dak daki üç farklı devri sonucunda, kam ve izleyici arasında oluşan film kalınlığı hesaplanmaya çalışıldı. Boyutlu film kalınlığı denklemlerinde gördüğümüz üzere film kalınlığı yüke ve devir sayısına bağlı olarak değişmektedir. Basit harmonik hareketi ve sikloidal hareketi veren kam profilleri üzerinde oluşan maksimum toplam yük, kamın harekete başlama noktasından  $180^\circ$  sonraki konumunda oluşmaktadır ve film kalınlığı denkleminde göre de yorumlayabileceğimiz gibi ilgili devir sayısı için artan yüke bağlı olarak, film kalınlığı en düşük değerini vermektedir. Ancak tablo 3 de, ilgili tanımlı hareketlerin 350 d/dak, 610 d/dak ve 1000 d/dak devirleri boyunca oluşan kuvvet toplamalarını incelediğimizde, kamın  $0^\circ$ - $90^\circ$  ve  $270^\circ$ - $360^\circ$  arasında toplam kuvvet değişimi devir sayısı arttıkça doğru orantılı olarak artmakta, kuvvet artmakta iken film kalınlığının düşmesi beklenirken aksine film kalınlığı da artmaktadır. Film kalınlığı denkleminde incelendiğinde ise, bu denklemin sadece yüke değil aynı zamanda hıza da bağımlı olduğu ve artan devir sayısı ile birlikte hız katsayısının da büyümekte olduğudur. Bu durumda film kalınlığı denkleminde tek bağımlı değişkenin yük olmadığı hız artışının da film kalınlığını artıran yönde etkisi olduğunu Şekil 1 üzerinde de açıklayabiliriz. Yine Tablo 3'deki toplam normal kuvvet sonuçlarını incelediğimizde kamın hareketinin  $90^\circ$ - $270^\circ$  arasındaki konumunda ise toplam kuvvet, artan hıza göre düşmektedir. Şekil 1 üzerinde gözlemlediğimiz sonuç ise beklenildiği gibi azalan yüke bağlı olarak film kalınlığının artması şeklindedir. Burada ilginç bir diğer husus ise  $90^\circ$  ve  $270^\circ$  aralığındaki yük değerleri  $0^\circ$ - $90^\circ$  ve  $270^\circ$ - $360^\circ$  aralığındaki yük değerlerine oranla daha fazladır ve beklenildiği gibi büyük yük değerlerinde film kalınlığının azalması gerektiği savını desteklemektedir. Tüm bu veriler birlikte değerlendirilecek olursak, film kalınlığı hesabında, yükün yanında hızın da katkısı olduğudur. Hızın denklem içindeki etkisi ise kuvvetin belli bir büyüklüğün altında kalması durumunda ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, mekanizmanın tanımlı olması şartıyla, kuvvet parametresinin farklı konumlar için de hesaplanabildiği durumlarda, yağ filminin hesaplanabileceği görülmüştür. Kam profili üzerinde, değişen yük ve hız bileşenlerine göre film kalınlığının kritik değerlerinin altına indiği noktaları tayin ederek bu yüzeylerin aşınma riski ile yüz yüze geleceği tahmin edilip, gerekli iyileştirmelerin yapılabilmesine imkan sağlanmış olacaktır.

## 5 Beyanname

### 5.1 Rakip Çıkarlar

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

### 5.2 Yazarların Katkıları

**Sorumlu Yazar İlknur KESKİN ÖNER:** Makale için fikir geliştirilmesi, literatür araştırması, makalenin yazılması

**2. Yazar Ömer SAVAŞ:** Literatür araştırması, makalenin sonuçlarının yorumlanması, gözden geçirilmesi

### Kaynakça

- Bell vd., (1985). "Prediction of Automotive Valve Train Wear Patterns with Simple Mathematical Models", Proceedings of the 12 th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, Lyon, France.
- Cameron, A., (1966), The Principles of Lubrication, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Chen , F.Y., (1982). A text Book on Mechanics and Design of Cam Mechanisms, Pergamon Press.
- Dyson, A., (1980). "Kinematics and Wear Patterns of Cam and Finger Follower Valve Gear, Tribol. Int., 121-131.
- Dickrell III vd.,(2003). "The Evolution of Geometry for a Wearing Circular cam:Analytical and Computer Simulation With Comparison to Experiment", Journal of Tribology, 125:187-192
- Fries, R.H. ve Rogers, C.A., (1988). "Predictions of Cam Wear Profiles", Proceedings of the 15 th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, 6-9 September 1988, Leeds
- Gecim, B.A., "Lubrication and Fatigue Analysis of a Cam and Roller Follower", Proceedings of the 15 th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, 6-9 September 1988, Leeds:91-100
- Glovnea, R.P. ve Spikes, H.A., (2001). "The Influence of Cam Follower Motion on Elastohydrodynamic Film Thickness, in: Tribology Research:From Model Experiment to Industrial Problem"Elsevier, 485-493.
- Hamrock, B.J. ; Schmid, S.R. ; Jacobson, B.O. (2006) Fundamentals of Machine Elements, McGraw-Hill, International Edition, Singapore.
- Hamrock, B.J. (1994) Fundamentals of Fluid Film Lubrication, McGraw-Hill, New York.
- Keskin, İ. (2012). Yürek Mekanizmalarında Aşınma ve Elastohidrokinamik Yağlama. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lacobson, B. O.,(1991). Rheology and Elastohydrodynamic Lubrication, Tribology Series, 19, Elsevier Science Publishing Company, U.S.A.
- Purmer, P.D., ve Berg, W., (1985), "Measurement of Camshaft Wear-Wear and Kinematics of Overhead Camshafts, SAE, 850442:232-241.
- Rothbart, H.R., (2003). Cam Design Handbook, McGraw-Hill, New York.
- Shigley, J.E. ve Uicker, J.J.,(1995),. "Theory of Machines and mechanisms", McGraw-Hill
- Soejima,M., vd., (1994)."Experimental Studies on Friction and Wear of Cam and Tappet",JSAE Review,23:140-146.
- Soejima, M., Wakuri, Y. Ve Ejima, Y., (1997). "Experimental Studies on Improvement of Lubrication for Cam and Follower", JSAE Review, 18:301-305.
- Waldron, K.J. ve Kinzel, G.L., (2004). Kinematics, Dynamics and Design of Machinery, John Wiley & Sons, New York.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## Research Article

Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET) 3(2), 67-89, 2023

Received: 05-Dec-2023 Accepted: 22-Dec-2023

homepage: <https://dergipark.org.tr/pub/joinmet>

<https://doi.org/10.58771/joinmet.1400314>



SAKARYA UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES

# Bibliometric and Qualitative Analysis of Workload Studies in the Maritime Sector

Elif ARSLAN<sup>1\*</sup> , Serim PAKER<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Department of Marine Transportation Engineering, Maritime Faculty, Dokuz Eylül University, [elif.arslan@deu.edu.tr](mailto:elif.arslan@deu.edu.tr)

<sup>2</sup> Department of Maritime Business Administration, Maritime Faculty, Dokuz Eylül University, [serim.paker@deu.edu.tr](mailto:serim.paker@deu.edu.tr)

## ABSTRACT

Maritime traffic is a socio-technical system that requires the collaboration of many elements such as stakeholders, equipment, environment, and technology. The workload for stakeholders in marine traffic has increased due to the growing number of monitored ships in coastal areas, as well as the variety and amount of operations. This study aims to conduct a comprehensive analysis of workload studies conducted in the maritime domain, encompassing all stakeholders. In doing so, the goal is to reveal changes over the years, identify collaborative areas, and enhance the understanding of the concept. The Scopus and Web of Science (WoS) databases were used as the data collection tool. A search was conducted with keywords associated with the concept of 'workload in maritime,' leading to the analysis of 372 relevant documents. VOSviewer Bibliometric Data Analysis Tool and MAXQDA Analytics Pro 22 Software were employed in the analyses. After the data from the two databases were combined, it was found that the authors with the most publications (P) and citations (C) in this field are Murai K. (P-41; C-200), Hayashi Y. (P-30; C-196), and Okazaki T. (P-15; C-82). With 56 publications, Japan is in first place, followed by the US (39), China (35), and the UK (27). Additionally, Japan and the US are two countries in collaboration. Among the commonly used terms in this research are mental workload, vessel, safety, performance, human factors, tiredness, simulator, and physiological measuring techniques including heart rate, nasal temperature, Electroencephalography (EEG), and salivary amylase. In workload studies, psychosocial variables were most prominently expressed in 2021. While the analysis of workload studies indicates a focus on "mental workload" studies involving Vessel Traffic Services Operators (VTSOs), research related to seafarers, cadets, marine pilots, and ship masters is seen to dominate this field which is "bridge team".

**Keywords:** Maritime, workload, bibliometric analysis, VOSviewer, MAXQDA

<sup>1\*</sup> Corresponding Author's email: [elif.arslan@deu.edu.tr](mailto:elif.arslan@deu.edu.tr)

# Denizcilik Sektöründeki İş Yükü Çalışmalarının Bibliyometrik ve Nitel Analizi

## ÖZ

Deniz trafiği, paydaşlar, ekipman, çevre ve teknoloji gibi birçok unsurların birlikte çalışmasını gerektiren sosyo-teknik bir sistemdir. Kıyı bölgelerinde izlenen gemi sayısının artması, operasyonların çeşitliliği ve miktarı nedeniyle deniz trafiğindeki paydaşların iş yükü de artmıştır. Bu çalışma, denizcilik alanında yürütülen iş yükü çalışmalarının tüm paydaşları kapsayacak şekilde kapsamlı bir analizini yapmayı amaçlamaktadır. Veri toplama aracı olarak Scopus ve Web of Science (WoS) veri tabanları kullanılmıştır. 'Denizcilikte iş yükü' kavramıyla ilişkilendirilmiş anahtar kelimelerle yapılan arama sonucunda 372 akademik yayın elde edilmiştir. Analizlerde VOSviewer Bibliyometrik Veri Analizi Aracı ve MAXQDA Analytics Pro 22 Yazılımı kullanılarak bibliyometrik ve nitel veri analizi yapılmıştır. Buna göre, belirtilen alanda en çok yayın (Y) yapan ve atıf (A) alan yazarların Murai K. (Y-41; A-200), Hayashi Y. (Y-30; A-196) ve Okazaki T. (Y-15; A-82) olduğu görülmüştür. 56 yayımla Japonya birinci sırada, onu sırasıyla ABD (39), Çin (35) ve İngiltere (27) izlemektedir. Ayrıca, Japonya ve ABD bu araştırma alanında iş birliği yapan iki ülkedir. Yaygın olarak kullanılan terimler arasında mental iş yükü, gemi, emniyet, performans, insan faktörü, yorgunluk, simülasyon ve kalp hızı, nazal sıcaklık, elektroensefalografi (EEG) ve tükürük amilazı gibi fizyolojik ölçüm teknikleri bulunmaktadır. Psikososyal değişkenlerin en fazla 2021 yılında çalışıldığı görülmektedir. İş yükü çalışmalarında, deniz trafik operatörlerinin "zihinsel iş yükü" çalışmaları olsa da bu alanda gemi insanları, stajyerler, kılavuz kaptanlar ve gemi kaptanları gibi "köprüüstü ekibi" ile ilgili araştırmaların baskın olduğunu görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Denizcilik, iş yükü, bibliyometrik analiz, VOSviewer, MAXQDA

## 1 Introduction

Workload is generally defined as the ratio of task load and demands in the workplace to the available resources (Altay, 2018). It can be a combination of physical, mental, environmental, positional, and administrative factors. Transportation, distance, etc. constitute the elements of physical workload; calculations, decision-making, communication, memory, and research are the mental factors; temperature, lighting, noise, and vibration are environmental factors; the posture of the back, arms, legs, and head represents positional factors, while organizational factors form administrative workload (Dağdeviren et al., 2005; Özçelik, 2011). However, it can have different classifications based on the specific areas of work. For example, for a teacher, insufficient preparation time, administrative paperwork, school meetings, and lesson plans can contribute to workload factors (Sugen, 2010). On the other hand, for academics, workload components may include time pressure, demands for academic performance, and family factors (Öztürk, 2019).

Workload studies are carried out across various sectors involving human presence, including engineering (Ildız, 2019; Özçelik, 2011; Dağdeviren et al., 2005), education (Sugden, 2010; Öztürk, 2019; Houston, 2006), logistics (Brüggen, 2015), tourism (Atik, 2015), health (Carayon, 2005; Young, 2008), and transportation domains such as air, railway, and maritime (Murai, 2004; Fan and Smith, 2017; Edwards et al., 2017). Numerous variables, including situational awareness (Edwards et al., 2017), job satisfaction (Houston, 2006), performance and well-being (Sugden, 2010; Brüggen, 2015; Bowling et al., 2015; Fan and Smith, 2017), and turnover intention (Araşlar, 2021), have all been linked to workload. The data indicates that workload has a negative impact on both physical and psychological well-being (Bowling et al., 2015) and is a strong predictor of occupational stress (MacDonald, 2003).

Furthermore, the literature acknowledges that stress and workload are contributing factors to human errors (human performance) (Lee, 2010; Brookhuis et al., 2010; Fan and Smith, 2017; Tao 2019).

In the maritime industry, it has been found that the human factor accounts for 89.5% of accidents (EMSA, 2022). Therefore, it is true that addressing the human factor is essential to maintaining maritime and navigational safety (IMO, 2023). In the context of maritime studies, it is evident that workload is linked to variables such as stress (Kari et al., 2022), excessive fatigue (Andrei et al., 2020; Remmen et al., 2017; Bal et al., 2015), burnout (Wan et al., 2023), time pressure (Cui et al., 2021), situational awareness (Okazaki et al., 2016), and performance (Barsan et al., 2007; Schuffel et al., 1989; Bal et al., 2015). Similar to various other disciplines such as psychology, business and management, environmental science, medicine, etc. bibliometric studies are undertaken in maritime studies to understand research trends, identification of impactful publications and authors, and analysis of relationships within the field (Başhan, 2022; Podsakoff et al., 2008; Başhan and Çetinkaya, 2022; Tran et al., 2019). For instance, bibliometric studies in the field of maritime research have explored topics such as maritime accidents (Gil et al., 2020; Demirci and Elçiçek, 2023; Cao et al., 2023), autonomous ships (Chaal et al., 2023; Li et al., 2023), seafarer's health and stress (Sharma, 2021; Jiang et al., 2023), port and maritime transport (Chen et al., 2018; Munim and Saeed, 2019) and maritime cybersecurity (Bolbot et al., 2022; Yu et al., 2023). However, there appears to be a lack of bibliometric studies specifically focusing on the concept of workload in the maritime domain.

This study aims to look into how the idea of workload on humans is discussed in the literature in the marine industry, where the human factor holds a significant role. To gain a broader perspective on the studies in this field, bibliometric relationships were analyzed using the VOSviewer program, and textual relationships were conducted using the MAXQDA program. With this study, the goal is to fill the void in the literature by conducting a comprehensive examination of the concept of workload in the maritime sector, encompassing all its stakeholders.

## 2 Research Methodology

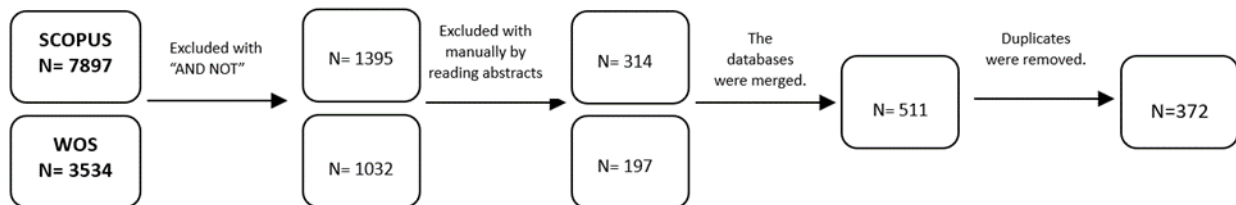
In this study, the Scopus and Web of Science (WoS) databases were used as data collection tools. Searches were conducted using the following keywords to obtain workload studies on all maritime stakeholders:

*TITLE-ABS-KEY (workload AND (seafarer OR master OR captain OR maritime OR vessel OR ship OR marine\* OR bridge OR "vessel traffic" OR VTS OR pilotage OR pilot OR "tug boat" OR "tugboat" OR "helmsman" OR "fisherm\*" OR fishery OR fisheries OR "ferry captain"))*

It was noticed that the keywords were leading us away from the concept of workload in maritime. This is because the words 'master' and 'pilot' evoke expressions related to both education and aviation industries. Additionally, the word 'vessel' and "port" frequently appears in nursing and computer studies respectively. Therefore, the keywords were finalized by adding some new terms using the AND NOT command, as shown below.

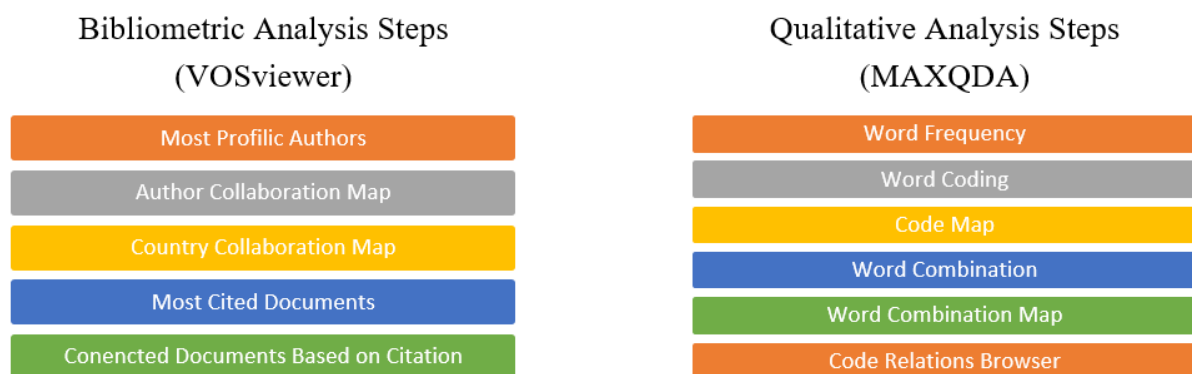
*TITLE-ABS-KEY (workload AND (seafarer OR master OR captain OR maritime OR vessel OR ship OR marine\* OR bridge OR "vessel traffic" OR VTS OR pilotage OR pilot OR "tug boat" OR "tugboat" OR "helmsman" OR "fisherm\*" OR fishery OR fisheries OR "ferry captain")) AND NOT (aviation OR air\* OR aerial OR comput\* OR flight OR "pilot stud\*" OR "pilot test\*" OR nurs\* OR education OR "master's degree" OR slave OR "pilot trial" OR "blood vessel" OR patient OR hospital OR "master surgery" OR "pilot project"))*

Additionally, due to the presence of still unrelated publications, irrelevant papers were manually excluded by reading their abstracts from the sample of the study. The study includes all articles, conference papers, reviews, and other publications having English abstracts. As a result, Figure 1 shows data acquisition, the initial stage of the investigation for the search results carried out on 22 April 2023 for Scopus and 25 April 2023 for WoS.



**Figure 1:** Data Acquisition Steps

After providing descriptive statistics for the merged dataset, it was transferred to VOSviewer for bibliometric analysis and to MAXQDA Qualitative Data Analysis programs for word frequency and relational analysis. VOSviewer is a program designed to facilitate the visualization and analysis of bibliometric maps. It can be utilized to create maps of authors, journals, keywords, and citation networks (van Eck and Waltman, 2010). MAXQDA as the software for both qualitative and quantitative methods allows lots of analysis options such as frequency tables, word coding, crosstables, word combinations, and mapping (MAXQDA, 2023). The analyses conducted with these programs are illustrated as shown in Figure 2.



**Figure 2:** Analysis Steps of the Study

### 3 Results and Discussion

The first study was carried out in 1973, according to the pattern of investigations by year shown in Figure 3. In the last ten years, over half of the studies conducted during the previous fifty years have been completed. Six workload studies in the maritime industry have been carried out as of the first quarter of 2023.

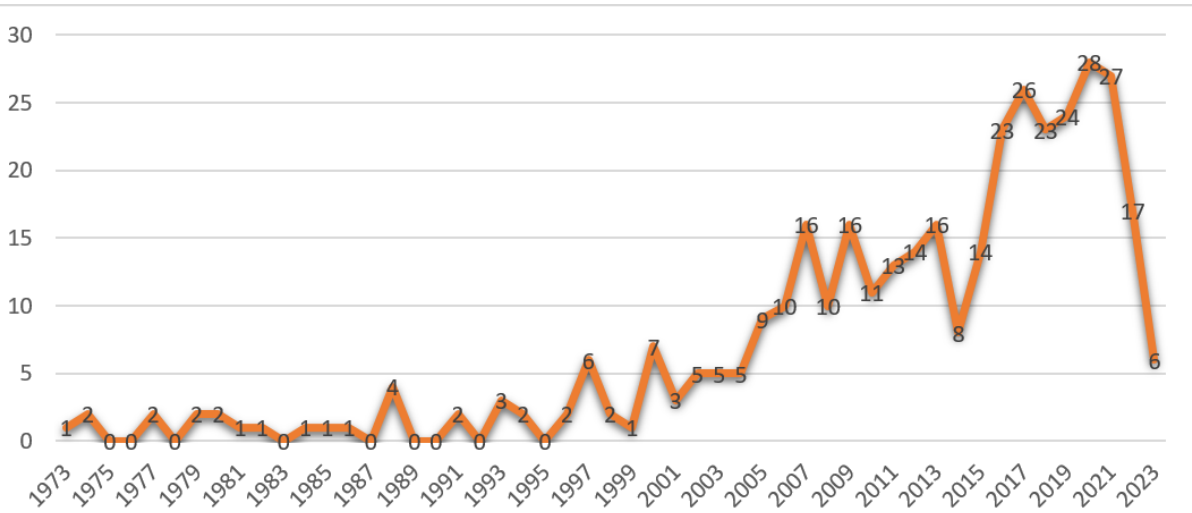


Figure 3: Number of Documents per Year

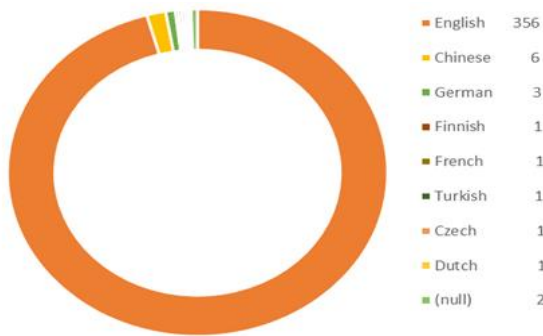


Figure 4: Language of Documents



Figure 5: Type of Documents

When Figures 4 and 5 are analyzed, it is observed that out of the publications obtained, 356 of them are in English, while 6 are in Chinese and 3 are in German. Furthermore, among the documents, 198 are articles, while 155 are conference papers.

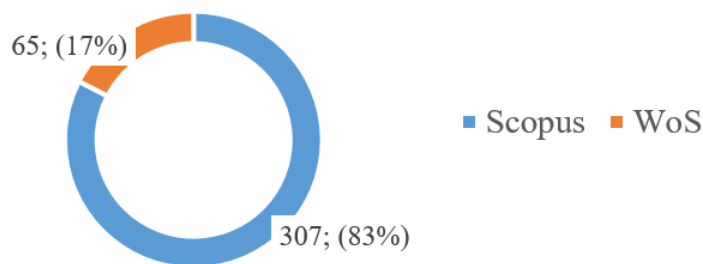


Figure 6: Type of Sources

### 3.1 VOSviewer Analysis

The VOSviewer tool was used to analyze the data set in the second step of the study for bibliometric analysis. This leads to the observation that 861 distinct authors are included in the studies. With 41 articles, Murai K. is the most prolific author in this discipline, as seen in Figure 7. Hayashi Y. (30), Okazaki T. (15), Kitamura K. (14), Mitomo N. (11), Hikida K. (10), Wakida S. (10), Fuhushi K. (9), Yoshimura K. (9), Miyado T. (7), Stone L. C. (6), Liu Y. (6), and Wang J. (5) are the players who come

behind him. Figure 7 also displays the years during which authors conducted their research. Accordingly, it is evident that Murai K. and Okazaki T. have a predominant concentration of work in the early 2010s, contributing to their highest number of publications.

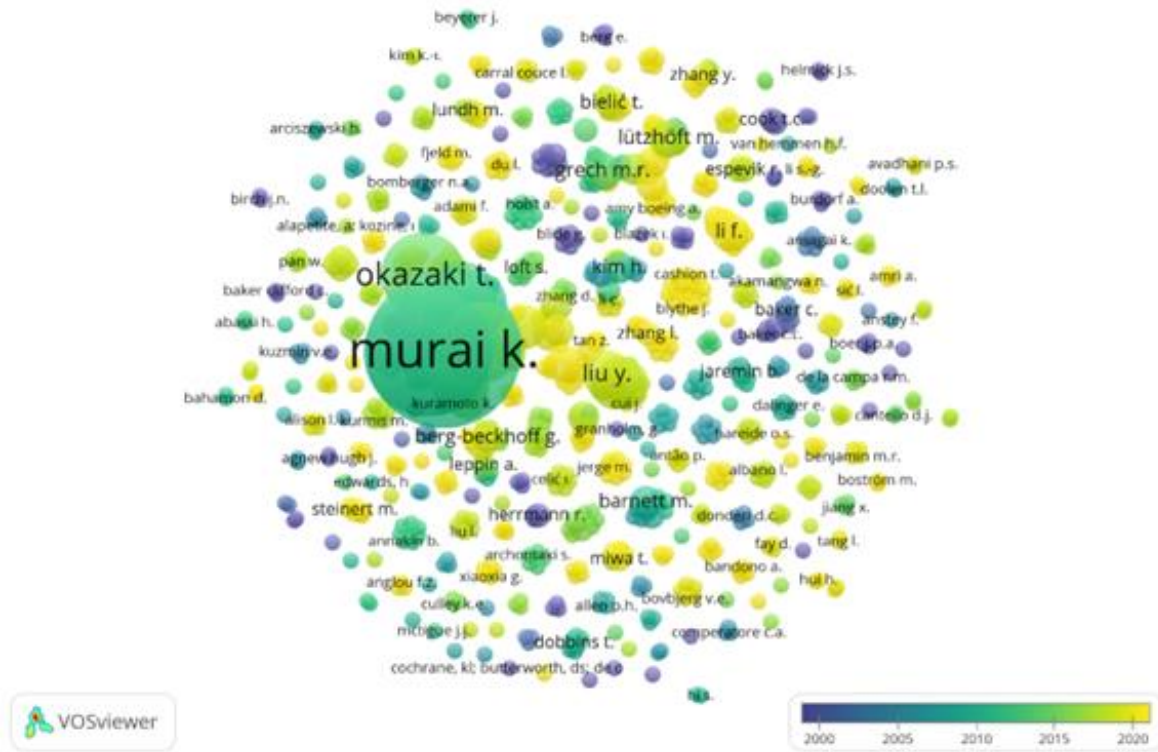


Figure 7: Authors of Documents by Years

Collaborative author groups with at least five publications are shown in Figure 8(a) and Figure 8(b). It is evident that authors who publish frequently also establish cooperative author organizations. We may infer from Figure 8(b) that authors Wang and Nishizaki had more publications after 2018, but authors Hayashi, Murai, and Okazaki had more publications between 2010 and 2016.

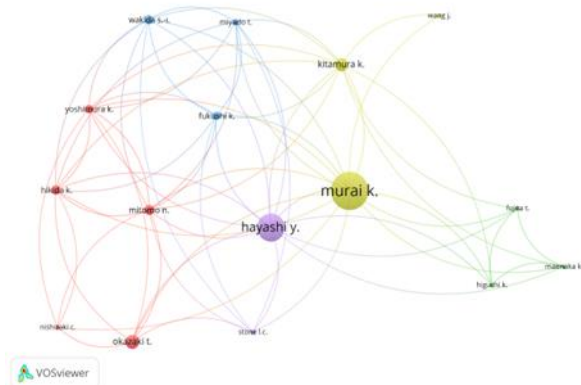


Figure 8(a): Author Collaboration Map

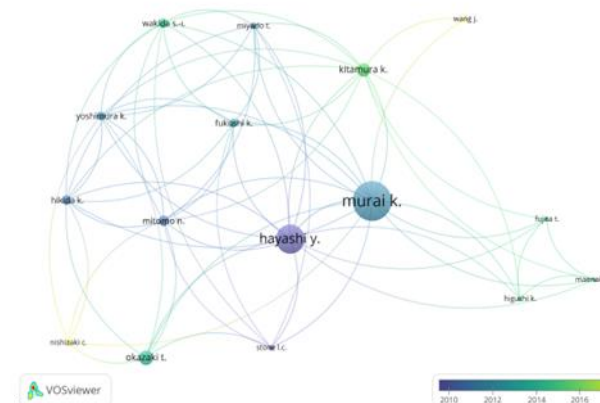


Figure 8(b): Author Collaboration Map by Years



Looking at the affiliations of the authors, Japan comes in first place with 56 publications, followed by the US (39), China (35), UK (27), Norway (20), Australia (16), Sweden (13), the Netherlands (11), Germany (11), Singapore (11), Canada (10), Denmark (10), and Croatia (10). Moreover, Figure 9(a) clearly shows that authors from "Japan and the US", "the UK, South Korea, Turkey", "Australia, Canada, and Singapore," and "China, Denmark, Croatia, Spain, and Finland" have collaborations. As for Figure 9(b), we can state that collaborations, particularly from 2018 onwards, are more prominently led by China, Singapore, and Turkey.

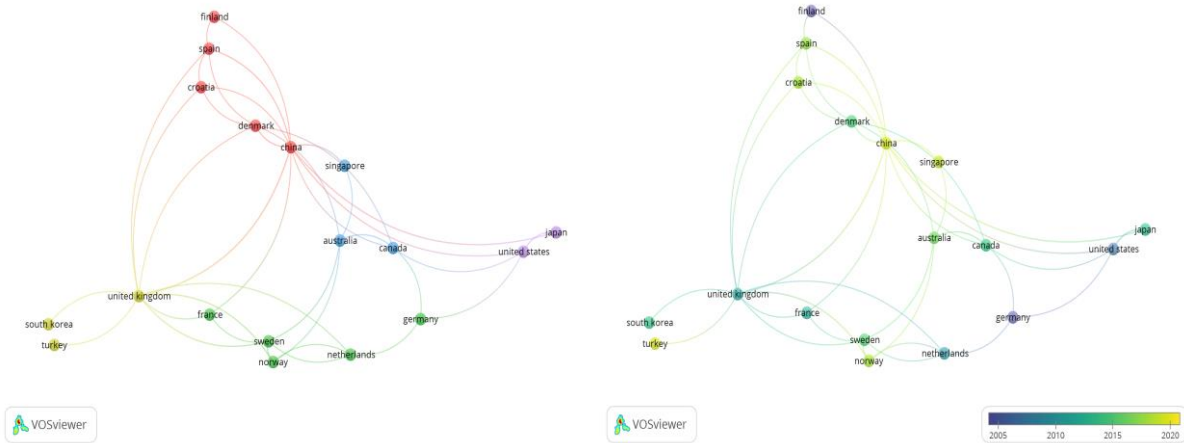


Figure 9(a): Country Collaboration Map

Figure 9(b): Country Collaboration Map by Years

We acquired 170 papers, shown in Figure 10, by identifying publications that received at least 5 citations in order to understand the distribution of citations. Out of all of these, the study on fishing activities by Gislason H. (2000) has garnered the most citations, with 176 references. However, it is clear that Wadsworth's (2008) study, which looks at the health and fatigue status of seafarers, has gotten the most citations when viewing the studies within the context of 372 publications in relation to their citations, as shown in Figure 11. When the titles of other studies in the link are examined (studies by Oldenburg, Akamangwa, Baumler, Andrei, Pauksztat, etc.), it is evident that the research area referenced in the 372 studies revolves around the health, welfare, fatigue, sleep conditions, rest hours, working environment, and their effects on seafarer.

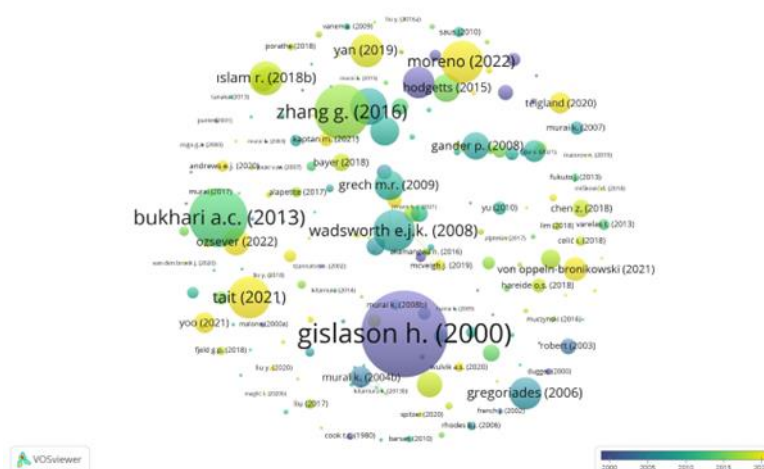


Figure 10: Most Cited Documents

Murai K. is the author with the most citations (C), totaling 200, when the analysis is viewed from the perspective of the authors. Within the context of the 372 documents, the citation count for authors which represents the strength (S) of the author is reaches 115. Following him are Hayashi Y. (C-196, S-105), Okazi T. (C-82, S-6), Kitamura K. (C-38, S-47), and Mitomo N (C-50, S-13).

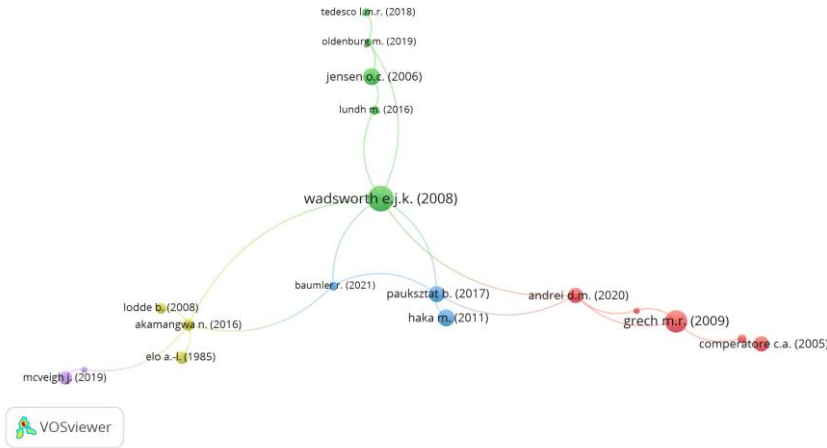


Figure 11: Connected Documents Based on Citation

### 3.2 MAXQDA Analysis

In the third step of the study, the analysis was conducted using the MAXQDA Qualitative Data Analysis software along with summaries of 372 articles. The abstracts, along with the merged Excel file, were transferred to the MAXQDA, as illustrated in Figure 12. The analyses conducted through this program are explained below under separate headings.

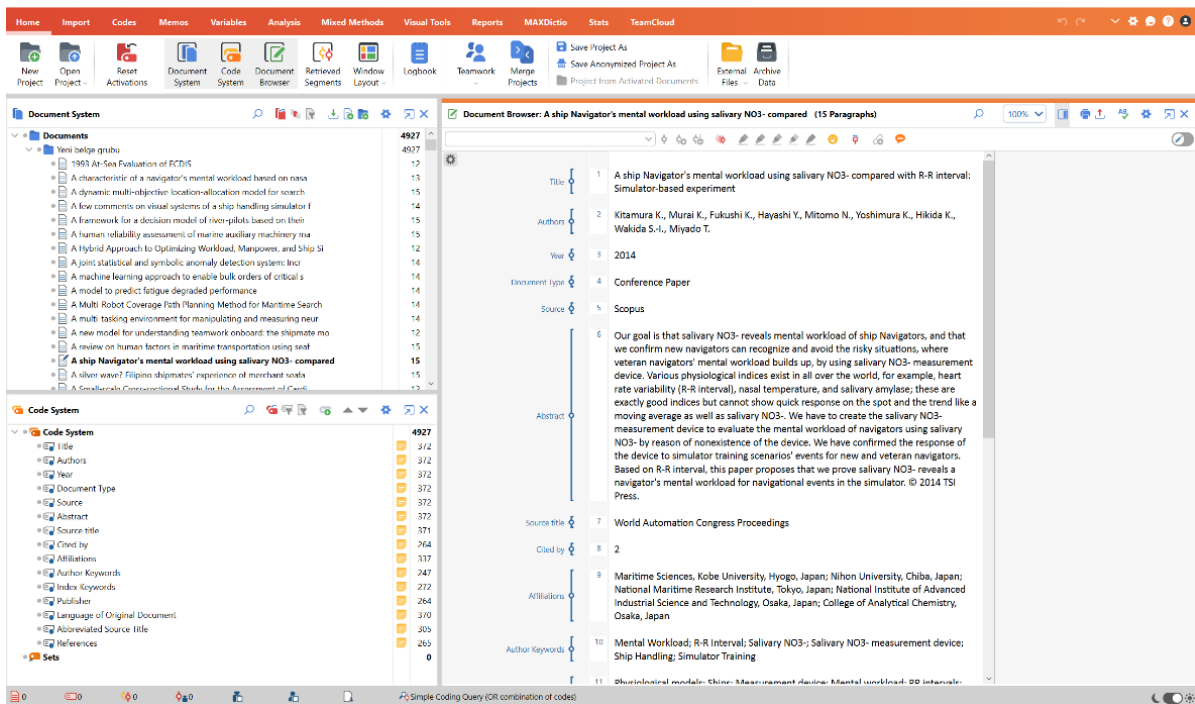


Figure 12: MAXQDA Interface

### 3.2.1 Word Frequency

At this stage of the study, word frequency analysis has been conducted to identify the most frequently recurring words. Using a stop list, 832 terms that don't have any real substance were eliminated, including "and, or, other, I'm, have, here vs." Afterwards, a separate list was produced using terms from the 37,968 words that appeared at least ten times. The initial 37 words prior to editing are seen in Figure 13.

Word	Length	Frequency	%	Rank	Documents	Documents %	1993 At-Sea	A characteris...	A dynamic mult...	A few comment...	A framework fo...	A human reliab...	A Hybrid Aggro...	A joint statisti...	A machine lear...
workload	8	682	1.80	1	319	85.75	2	4	1	2	3	1	1	1	2
ship	4	505	1.33	2	174	46.77	1	0	0	8	0	2	1	0	0
mental	6	323	0.85	3	104	27.96	0	4	0	2	8	0	0	0	0
maritime	8	291	0.77	4	139	37.37	1	0	1	0	0	0	0	2	0
human	5	270	0.71	5	101	27.15	0	2	0	0	0	8	1	1	0
performance	11	252	0.66	6	127	34.14	4	2	3	0	0	0	0	2	1
work	4	229	0.60	7	109	29.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
factors	7	218	0.57	8	99	26.61	1	0	0	0	0	0	0	0	0
fatigue	7	215	0.57	9	48	12.90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
safety	6	206	0.54	10	103	27.69	1	0	0	0	0	0	0	0	0
seafarers	9	194	0.51	11	55	14.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0
data	4	193	0.51	12	105	28.23	0	0	0	0	0	0	0	1	1
based	5	184	0.48	13	121	32.53	0	2	0	1	1	0	0	0	2
systems	7	179	0.47	14	85	22.85	0	0	0	1	2	1	1	0	0
vessel	6	168	0.44	15	71	19.09	0	0	1	0	0	1	0	0	0
navigation	10	161	0.42	16	81	21.77	5	0	0	0	0	0	0	0	0
ships	5	156	0.41	17	90	24.19	0	0	0	0	0	2	1	0	0
simulator	9	153	0.40	18	69	18.55	0	0	0	2	0	0	0	0	0
bridge	6	146	0.38	19	66	17.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0
stress	6	138	0.36	20	59	15.86	0	0	0	0	0	0	0	0	0
information	11	133	0.35	21	87	23.30	2	0	0	0	2	0	0	1	0
crew	4	126	0.33	22	70	18.82	0	0	0	0	0	0	0	2	0
sea	3	125	0.33	23	65	17.47	0	0	1	3	0	0	0	0	0
working	7	122	0.32	24	59	15.86	0	0	0	0	0	0	0	0	0
training	8	121	0.32	25	74	19.89	0	0	0	5	0	0	0	0	0
control	7	119	0.31	26	52	13.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rate	4	119	0.31	26	71	19.09	0	1	0	1	0	0	0	0	0
time	4	119	0.31	26	82	22.04	1	0	1	0	0	0	0	0	0
marine	6	114	0.30	29	57	15.32	0	0	0	0	0	1	0	0	0
risk	4	111	0.29	30	50	13.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
management	10	110	0.29	31	62	16.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0
model	5	109	0.29	32	51	13.71	0	0	4	0	9	0	0	0	0
task	4	108	0.28	33	56	15.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
traffic	7	107	0.28	34	39	10.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
navigator	9	105	0.28	35	40	10.75	0	4	0	0	0	0	0	0	0
vessels	7	105	0.28	35	66	17.74	0	0	2	0	0	0	1	0	2
sleep	5	101	0.27	37	25	6.72	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 13: Word Frequency – Before Editing

At this point, terms that were believed to communicate the same idea were combined with plural-singular expressions and words that came from the same root (automated, automated, automatically, automation, etc.). A selection of the combined words is shown in Table 1.

Table 1: Merged Words in the Word Frequency

Original Words	Merged Words
Officer	OOW
Worker	Personnel, Employees
Port	Harbor
Cadet	Trainee
Nasal	Noise
Naval	Navie, Military
Seafarer	Seamen, Crew, Mariner, Rating
Workforce	Manpower
Questionnaire	Survey
Wellbeing	Welfare

As a result, Figure 14's first 50 words were obtained. Workload, ship, seafarer, maritime, and vessel are the most often used terms when searching in the Scopus and WoS databases, leading the way.

Nevertheless, terms that are not among our keywords - such as mental, human, safety, performance, fatigue, operation, simulator, and stress - give some indication as to the focus of research in these areas.

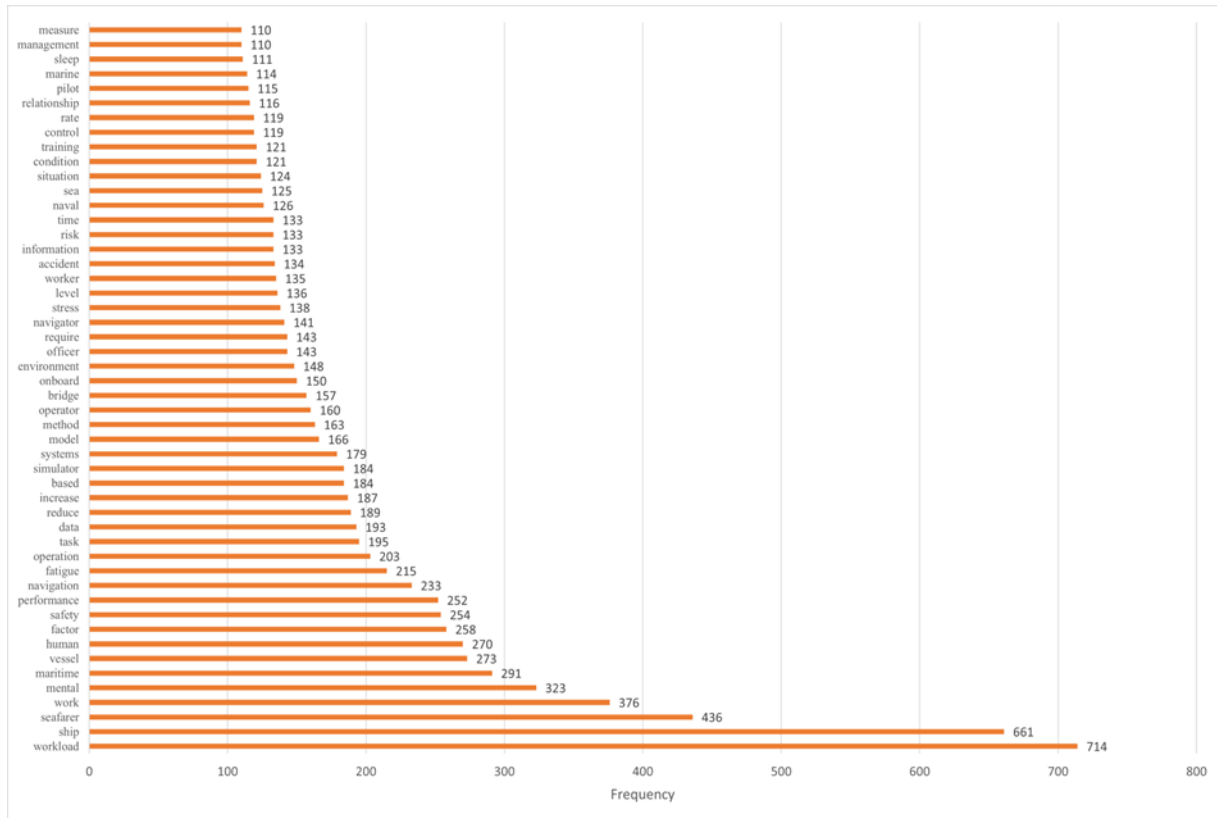


Figure 14: The Top 50 Frequently Words

### 3.2.2 Word Coding

For relational analyses, the top 200 words from the word frequency analysis have been coded. A core code structure of 160 words has been formed throughout this coding process; it is shown in Figure 15. Terms that do not have substantive significance, such as presented, subject, applied, result, confirm, increase, capable, useful, critical, and reduce, have been left out.

According to this, some important words in the code structure are as follows: workload (437), ship (379), work (218), seafarer (204), maritime (186), performance (170), factor (165), safety (153), mental (144), operation (139), vessel (138), human (136), navigation (130), data (127), method (118), task (117), simulator (114), systems (111), environment (106), time (103), onboard (101), information (98), bridge (96), officer (94), relationship (94), operator (91), ..., wellbeing (25), interface (25), ergonomic (23), social (23), device (23), track (22), algorithm (21), radar (18), score (17), shift (20), phase (19), NO<sub>3</sub> (16), Electronic Chart Display and Information System - ECDIS (13).





The term "bridge simulator" is frequently mentioned in these studies, often incorporating physiological measurement techniques like heart rate, eye tracking, body temperature measurements, and salivary analyses. Notably, the term "environment" is found to relate to the "work environment", while "port" specifically refers to the port coordinator". Additionally, studies delve into areas that may not prominently emerge in word analyses, such as "retirement pension", "social support", "food hygiene", and "noise exposure" suggesting research into factors impacting the well-being of maritime workers.



Figure17: Word Combination Cloud

### 3.2.5 Word Combination Map

After encoding the locations where the most frequently repeated word combinations are found in the text, a relationship map of these word combinations has been created. Figure 18 presents the word combinations whose locations on the map are based on similarity ratios. It is evident from the green cluster that research linking human error, human performance, and human factors to marine accidents is prioritized. When looking at the light blue cluster, it is evident that studies mostly involve the concurrent use of high workload, job demands, mental health, working conditions, seafarer well-being, work environment, and physical workload. Furthermore, within the same cluster, we also notice the inclusion of studies related to maritime traffic, vessel traffic services, operators' workload, decision support tools, user interface, conflict avoidance, navigation safety, and situational awareness. The yellow cluster encompasses studies involving physiological measurements conducted in simulators focused on ship navigator, duty officer, and bridge teammate. The appearance of mental workload as a separate cluster in this visual does not indicate its lack of connection with other studies. On the contrary,

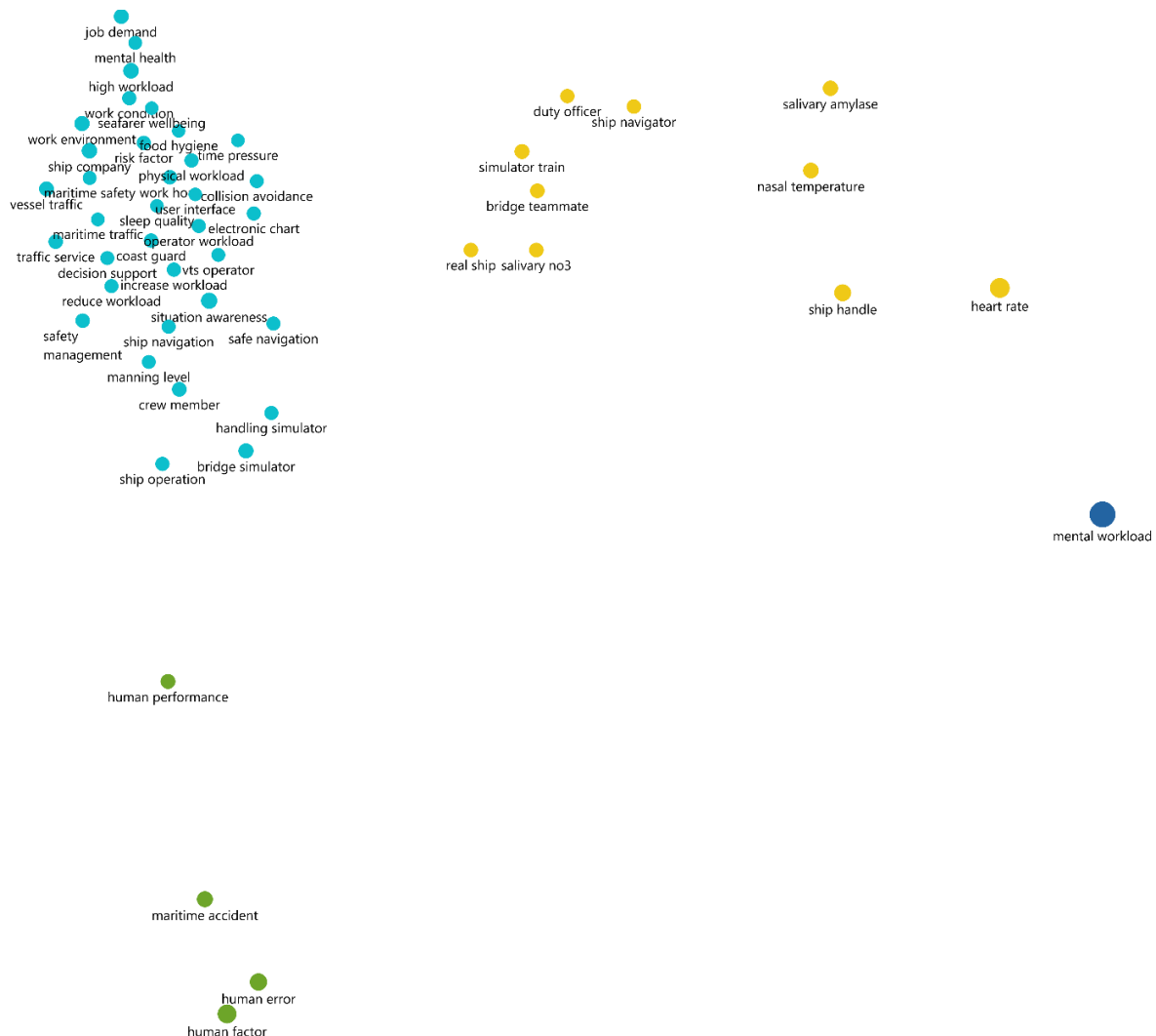
according to the connectivity map provided in Appendix 1, the intense relationships of mental workload with all clusters may be a reason for its exclusion from any specific cluster.

### 3.2.6 Code Relations Browser

This tool provides a matrix table that shows which codes are frequently used together in a text, making the relationships between codes easily visible. In this section of the study, a relational analysis of the coded areas has been conducted over the years. The coded areas have been examined in four separate tables, categorized as follows:

- maritime stakeholders,
- analysis technique,
- psychosocial variables such as stress and fatigue, and
- maritime domains such as port, VTS, fishery.

In order to prevent any misleading impression due to the repeated occurrence of the same code within a document, counts have been taken by considering each code only once per document.



**Figure 18:** Word Combination Map



### 3.2.6.1 Maritime Stakeholders by Years

It is noted that the phrases "officer" and "navigator" have been less common in recent years when looking at the maritime stakeholders in past research. "Vessel traffic service operator" is the term that is often understood when we use the term "operator," and since 2017, study on this term has received increased attention. Remarkably, comparatively speaking, there doesn't seem to be as much attention focused on examining the workload of cadets, captains, and fisherman. In Figure 19, it is observed that the maritime stakeholders provided are coded a total of 643 times within the relevant 372 documents. As mentioned at the beginning of the section, these codings have been counted once per document. For example, the code 'seafarer' appears in 139 documents, while 'fisherman' and 'cadet' each appear in 20 documents.

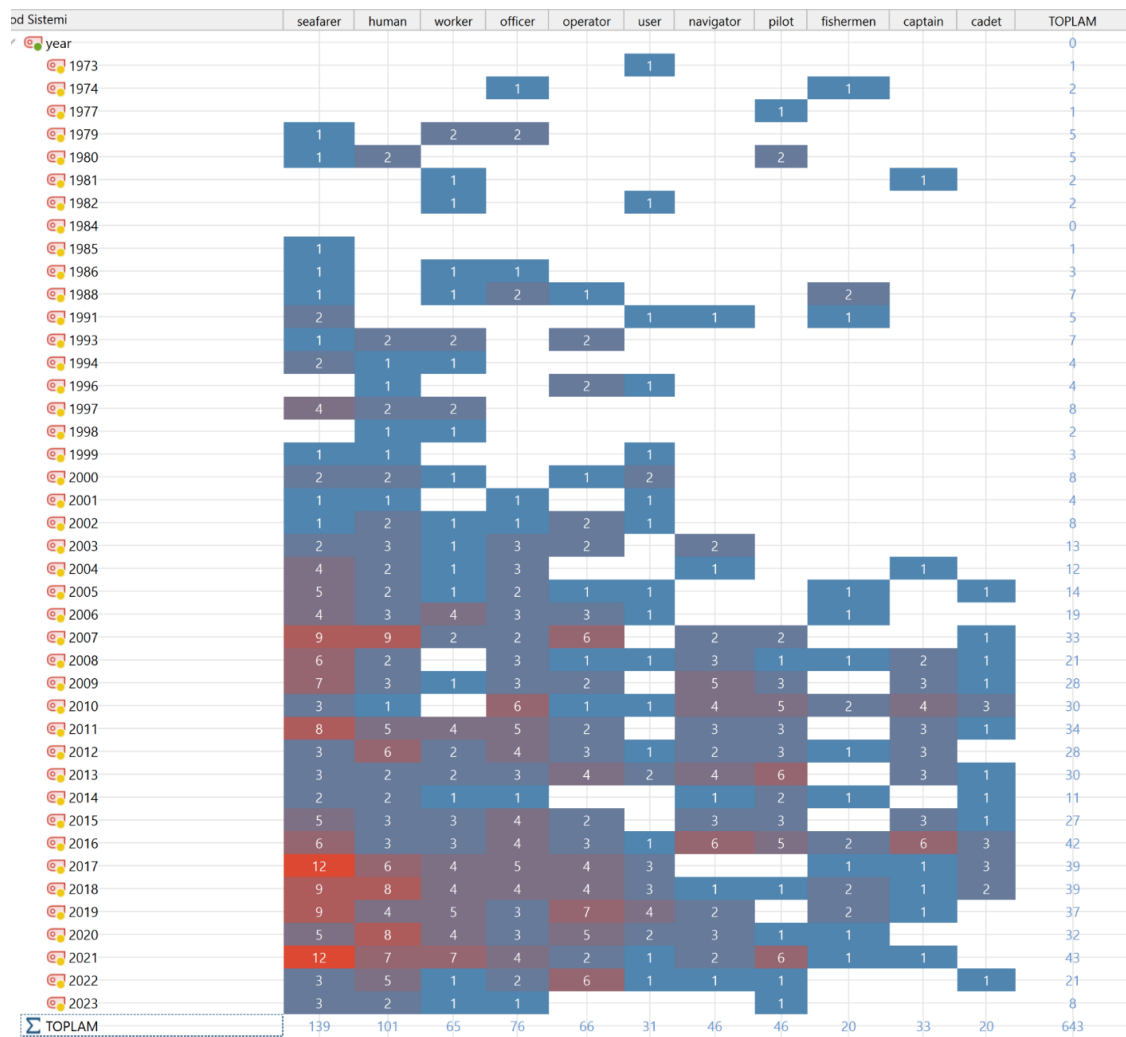


Figure 19: Code Relations Matrix - Maritime Stakeholders by Years

### 3.2.6.2 Analysis Techniques by Years

When examining the techniques shown in Figure 20, it is evident that the utilization of techniques like salivary measures, body temperature, and heart rate has decreased since 2014, although scenario-based simulator studies have increased.

The provided methods have been coded a total of 620 times across the 372 documents. Among these, 'simulator' is the most frequent, occurring 79 times, followed by 'experiment' with 71 occurrences. The NO<sub>3</sub> measurements, which we started to observe from the year 2012, have the least repetition with 10 occurrences. Following this, EEG measurements, which started to be underutilized in studies from 2016, follow with 15 occurrences. It should be mentioned that starting in 2020, there appears to be less of a tendency to adopt questionnaire approaches.

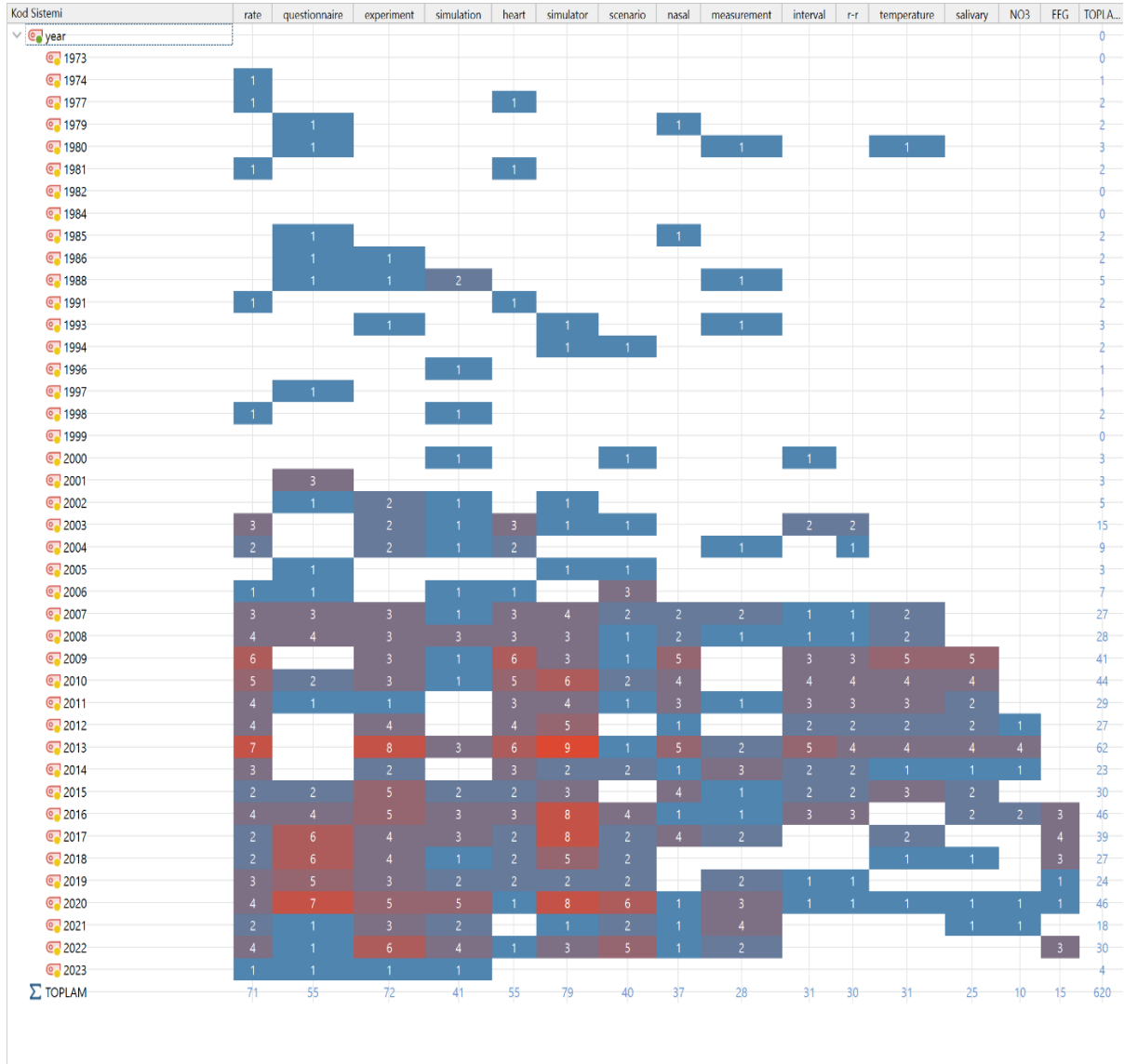


Figure 20: Code Relations Matrix - Analysis Techniques by Years

### 3.2.6.3 Psychosocial Variables by Years

Regarding emotional experiences centered on workload-related studies in the marine sector, as shown in Figure 21, a total of 287 section codes have been awarded. Only 21 codes were found in investigations done prior to 2000; however, in the recent ten years, there appears to have been a greater concentration in this area. Studies on psychosocial emotions such as "stress," "fatigue," and "well-being" have increased, despite a decline in codes pertaining to human physiological aspects since 2017. In comparison to previous years, there are more studies conducted in this field, particularly in 2021. The psychosocial difficulties encountered during the pandemic period may be the cause of this. Furthermore, a noteworthy result is the lack of significant research conducted on the specified topics in the 1990s.

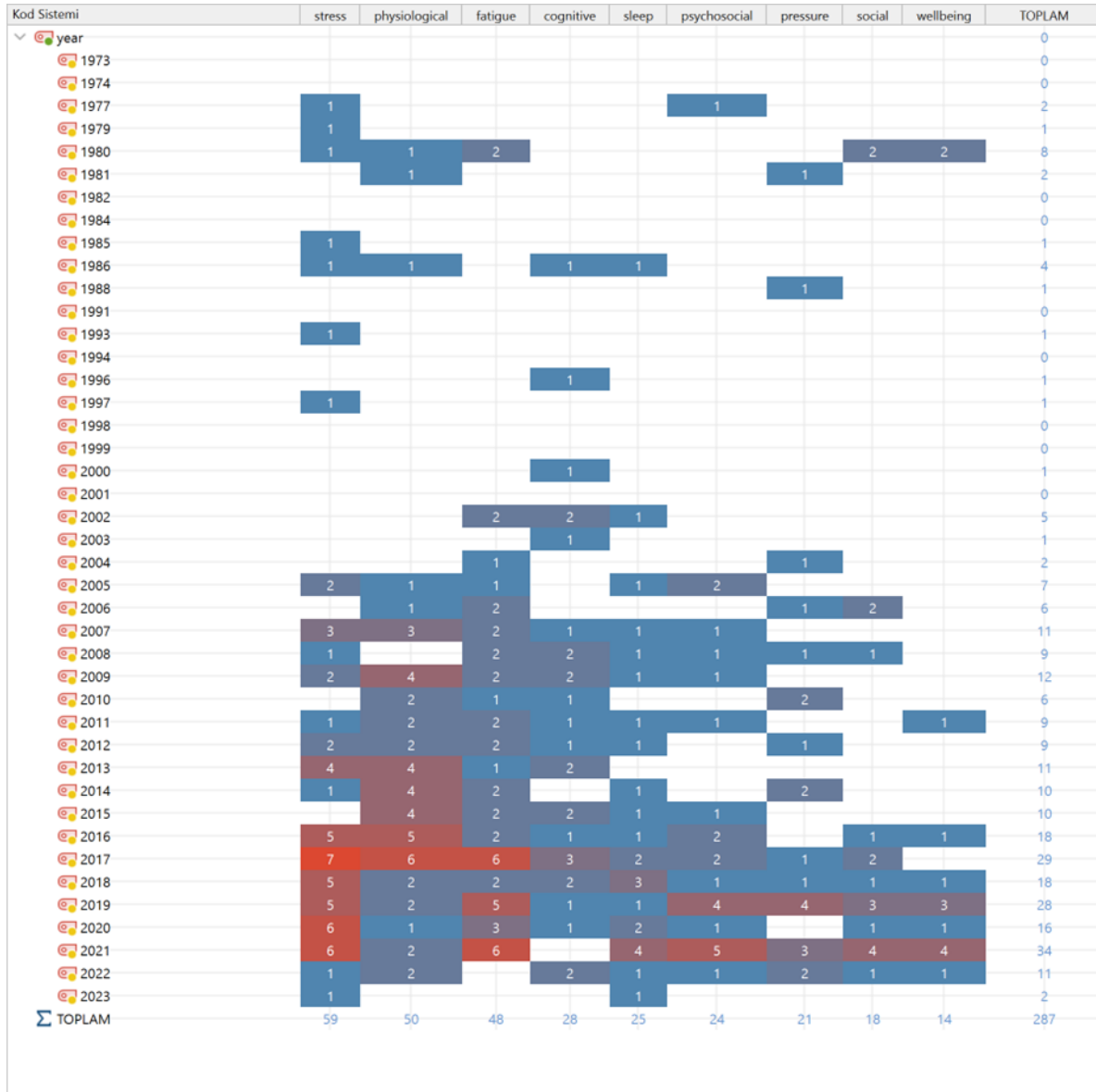


Figure 21: Code Relations Matrix - Psychosocial Variables by Years

### 3.2.6.4 Maritime Domains by Years

Figure 22 indicates that while there have been few research on Vessel Traffic Service, there has been a more steady trend since 2019. It was noted that from 1996 to 2011, there were more research studies on "manning." In total, the relevant codes have occurred in 831 instances, with VTS and ergonomic keywords being the least frequently encountered research areas, each with 17 repetitions. The years with the highest number of occurrences for the relevant codes are respectively 2019 (63), 2020 (62), 2021 (61), and 2018 (60). The increase in studies related to fishermen from 2016 onwards might be due to the evaluation of the connection with VTS in the studies. The most frequently mentioned codes at that part are "maritime", "vessel," "onboard," and "bridge." This suggests that most research on workload in the maritime industry focuses on ship crew members.

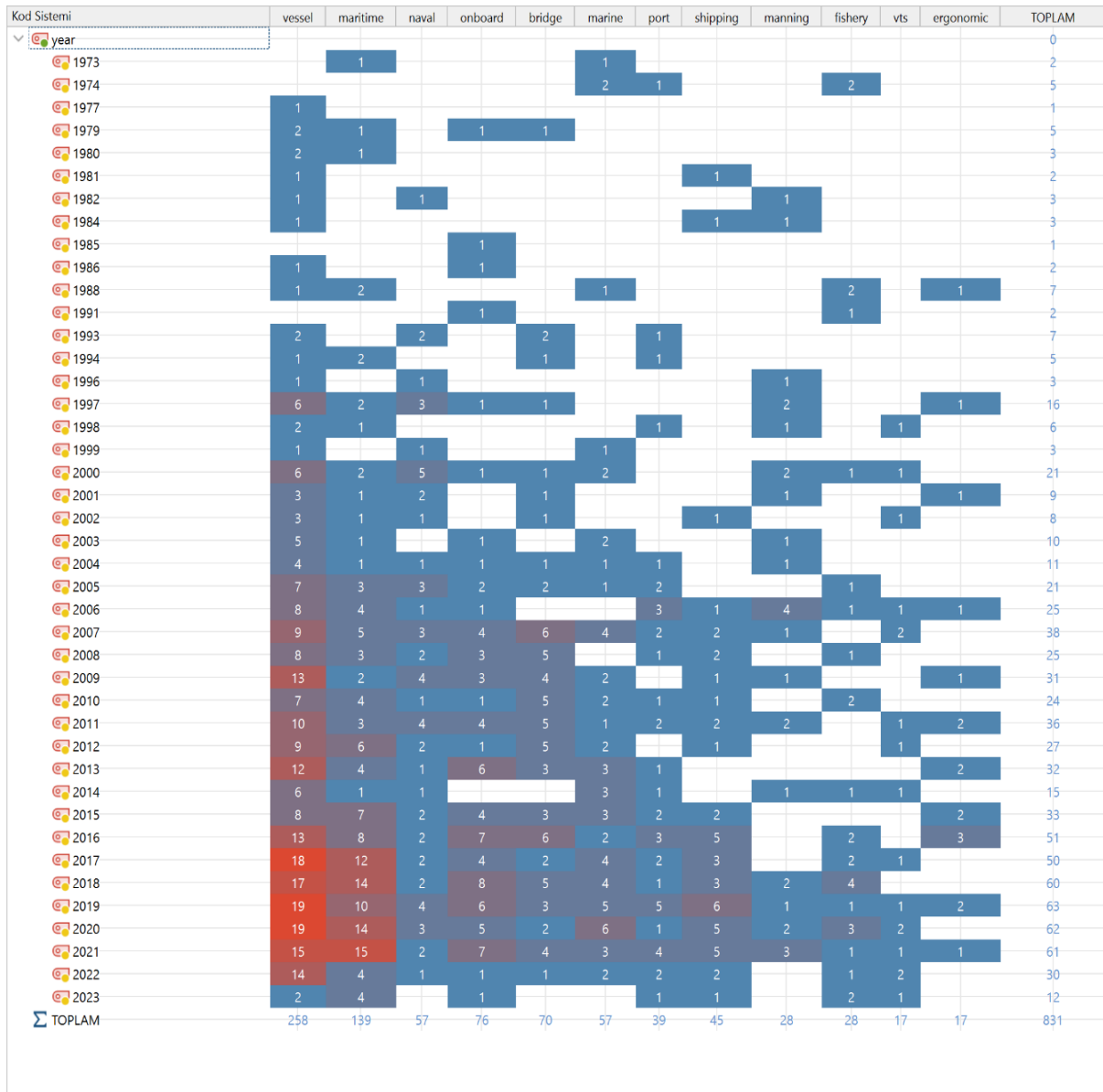


Figure 22: Code Relations Matrix – Maritime Domain by Years

#### 4 Conclusions

In the discipline of marine studies, maritime accidents and their causes have long been a popular and extensively explored subject. The likelihood that these incidents may cause large financial and environmental damages is the main factor contributing to their prominence. Studies on the causes of accidents conducted in the past few years have often brought attention to the human factor. The literature frequently addresses topics like seafarer burnout, fatigue, and well-being. The idea of workload has also received more attention in the marine literature. This research aims to investigate the way in which the concept of workload is seen in the marine industry.

It is seen that the field of workload studies in maritime has a history spanning 50 years. Out of the examined 372 academic studies, 41 belong to Murai K., and 30 to Hayashi Y. In terms of international collaborations, European countries such as Finland, Spain, Croatia, Denmark, along with China, are observed to collaborate, while Japan collaborates with the United States, and Turkey collaborates with the United Kingdom and South Korea. Wadsworth's (2008) study, which examines the health and fatigue

condition of seafarers, is the most cited among other works, indicating a focus on seafarers in the field. The other highly cited studies also revolve around seafarers' welfare, sleep status, rest hours, and working environment. In the section of word analyses, another significant finding of the study emerges. It is evident that workload studies in the maritime domain are more focused on 'mental workload'. Human factor, safety, performance, fatigue, simulator, and physiological measuring methods including salivary amylase, nasal temperature, EEG, and heart rate are the expressions most commonly linked with it.

About 80% of incidents between 2014 and 2021 happened in internal, territorial, and inland waters, according to accident statistics (EMSA, 2022). This understanding leads to the belief that workload analyses for vessel traffic services, which include informational services for ships, assistance with navigation, control maritime traffic, and coordination of services such as search and rescue and piloting in coastal areas, may be helpful in maintaining maritime safety. Research pertaining to cadets, marine pilots, and ship masters is perceived to dominate this subject, even if bibliometric analysis of workload studies reveals a focus on mental workload studies using VTSOs.

Remote control represents a transitional stage as ships approach becoming autonomous. Therefore, investigating the factors influencing the workload of VTSOs providing remote assistance to vessels and understanding how these factors may evolve in the future will enhance our comprehension and preparedness for upcoming operational processes to ensure maritime safety.

## 5 Limitations

Publications not indexed in Scopus and Web of Science were excluded from the scope of this research. Although a comprehensive keyword analysis has been conducted to include studies related to all stakeholders in maritime traffic, it is possible that some workload-related studies were still omitted. In bibliometric analyses, collaborative and interdisciplinary research may complicate authorship patterns. So, changes in authorship trends over time can affect bibliometric analyses.

## 6 Declarations

### 6.1 Funding source

There is no funding source in this study.

### 6.2 Competing Interests

There is no conflict of interest in this study.

### 6.3 Authors' Contributions

**Elif ARSLAN:** Conceptualization, organizing and reporting the data, taking responsibility for the explanation and presentation of the results, and writing.

**Serim PAKER:** Conceptualization, supervision, and editing.

### 6.4 Acknowledgements

The article is produced from the proceeding entitled "*Workload Analysis in Maritime Domain: A Bibliometric Study*" is presented at *International Maritime and Logistics Congress* in 2023.

## References

- Altay, M. (2018). Çalışma yaşam kalitesinin iş tatmini, örgütsel bağlılık ve işten ayrılma niyeti ile ilişkisinde iş yükü ve lider-üye etkileşiminin rolü. Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Isparta.
- Araslar, A. (2021). İş Yükü İle İş-yaşam Dengesinin İşten Ayrılma Niyeti Üzerine Etkisi [Master's, Bursa Uludağ University (Turkey)]. İçinde PQDT - Global (2598054467). ProQuest Dissertations & Theses Global. <https://www.proquest.com/dissertations-theses/iş-yükü-ile-iş-yaşam-dengesinin-işten-ayrılma/docview/2598054467/se-2?accountid=10527>
- Atik, E. (2015). Otel İşletmelerinde İş Yükü Algısı ve İş Yükünün İnsan Kaynakları Yönetiminde Kullanımı [Master's, Anadolu University (Turkey)]. İçinde PQDT - Global (2604438726). ProQuest Dissertations & Theses Global. <https://www.proquest.com/dissertations-theses/otel-işletmelerinde-iş-yükü-algısı-ve-yükünün/docview/2604438726/se-2?accountid=10527>
- Bal, E., Arslan, O., & Tavacioglu, L. (2015). Prioritization of the causal factors of fatigue in seafarers and measurement of fatigue with the application of the Lactate Test. *Safety Science*, 72, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.003>
- Barsan, E., Arsenie, P., Pana, I., & Hanzu-Pazara, R. (2007). Analysis of workload and attention factors on human performances of the bridge team. *Pomorstvo*, 21(1), 57–67.
- Başhan, D. N. (2022). A bibliometric and altmetric analysis and visualization of obsessive compulsive disorder: the top 100 most cited influential studies. *AYNA Klinik Psikoloji Dergisi*, 9(1), 1-30.
- Başhan, V., & Çetinkaya, A. Y. (2022). Influential Publications and Bibliometric Approach to Heavy Metal Removals for Water. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(7), 265.
- Bolbot, V., Kulkarni, K., Brunou, P., Banda, O. V., & Musharraf, M. (2022). Developments and research directions in maritime cybersecurity: A systematic literature review and bibliometric analysis. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 100571. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2022.100571>
- Bowling, N. A., Alarcon, G. M., Bragg, C. B., & Hartman, M. J. (2015). A meta-analytic examination of the potential correlates and consequences of workload. *Work & stress*, 29(2), 95-113. <https://doi.org/10.1080/02678373.2015.1033037>
- Brookhuis, K. A., & De Waard, D. (2010). Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 898-903.
- Bruggen, A. (2015). An empirical investigation of the relationship between workload and performance. *Management Decision*, 53(10), 2377-2389.
- Cao, Y., Wang, X., Yang, Z., Wang, J., Wang, H., & Liu, Z. (2023). Research in marine accidents: A bibliometric analysis, systematic review and future directions. *Ocean Engineering*, 284, 115048. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115048>
- Carayon, P., & Gürses, A. P. (2005). A human factors engineering conceptual framework of nursing workload and patient safety in intensive care units. *Intensive and Critical Care Nursing*, 21(5), 284-301.
- Chaal, M., Ren, X., BahooToroody, A., Basnet, S., Bolbot, V., Banda, O. A. V., & Van Gelder, P. (2023). Research on risk, safety, and reliability of autonomous ships: A bibliometric review. *Safety science*, 167, 106256. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106256>
- Chen, L., Xu, X., Zhang, P., & Zhang, X. (2018). Analysis on port and maritime transport system researches. *Journal of Advanced Transportation*, 2018, 1-20. <https://doi.org/10.1155/2018/6471625>
- Cui, X., Zhang, Y., Zhou, Y., Huang, T., & Li, Z. (2021). Measurements of team workload: A time pressure and scenario complexity study for maritime operation tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2021.103110>
- Dağdeviren, M., Eraslan, E., & Mustafa, K. U. R. T. (2005). çalışanların toplam iş yükü seviyelerinin belirlenmesine yönelik bir model ve uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4).
- Demirci, S. E., & Elçiçek, H. (2023). Scientific awareness of marine accidents in Europe: A bibliometric and correspondence analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 190, 107166. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107166>
- Edwards, T., Homola, J., Mercer, J., & Claudatos, L. (2017). Multifactor interactions and the air traffic controller: the interaction of situation awareness and workload in association with automation. *Cognition, Technology & Work*, 19, 687-698.

- EMSA (2022) European Maritime Safety Agency Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2022 <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/item/4867-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2021.html>
- Fan, J., & Smith, A. P. (2017). The impact of workload and fatigue on performance. In *Human Mental Workload: Models and Applications: First International Symposium, H-WORKLOAD 2017*, Dublin, Ireland, June 28-30, 2017, Revised Selected Papers 1 (pp. 90-105). Springer International Publishing.
- Gil, M., Wróbel, K., Montewka, J., & Goerlandt, F. (2020). A bibliometric analysis and systematic review of shipboard Decision Support Systems for accident prevention. *Safety science*, 128, 104717. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104717>
- Houston, D., Meyer, L. H., & Paewai, S. (2006). Academic staff workloads and job satisfaction: Expectations and values in academe. *Journal of higher education policy and management*, 28(1), 17-30.
- Ildız, G. Ö. (2009). Proje yönetimi: İnşaat firmalarında proje müdürlerinin iş yükü, iş stresi, iş tatmini ve motivasyon ilişkisi (Doctoral dissertation, İstanbul Kültür Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı).
- IMO (2023) International Maritime Organization Human Element Retrieved June, 2023, from <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/Default.aspx>
- Jiang, Y., Wan, Z., Chen, J., & Wang, Z. (2023). Knowledge mapping of seafarers' health research: A bibliometric analysis. *Maritime Policy & Management*, 50(5), 692-705. <https://doi.org/10.1080/03088839.2021.2017039>
- Kari, R., Gausdal, A. H., & Steinert, M. (2022). EEG Based Workload and Stress Assessment During Remote Ship Operations. *TransNav*, 16(2), 295–305. <https://doi.org/10.12716/1001.16.02.13>
- Lee, K. (2010). Effects of flight factors on pilot performance, workload, and stress at final approach to landing phase of flight.
- Li, Z., Zhang, D., Han, B., & Wan, C. (2023). Risk and reliability analysis for maritime autonomous surface ship: A bibliometric review of literature from 2015 to 2022. *Accident Analysis & Prevention*, 187, 107090. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107090>
- MacDonald W. (2003) The impact of job demands and workload on stress and fatigue, *Australian Psychologist*, 38:2, 102-117. <https://doi.org/10.1080/00050060310001707107>
- MAXQDA (2022) Online Manual - Maxqda 2022, <https://www.maxqda.com/help-mx22/welcome>
- MAXQDA (2023) Mixed Methods Research, <https://www.maxqda.com/mixed-methods> (assessed date: 19/12/2023)
- Munim, Z. H., & Saeed, N. (2019). Seaport competitiveness research: the past, present and future. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 11(6), 533-557. <https://doi.org/10.1504/IJSTL.2019.103877>
- Murai, K., Hayashi, Y., Nagata, N., & Inokuchi, S. (2004). The mental workload of a ship's navigator using heart rate variability. *Interactive Technology and Smart Education*, 1(2), 127-133. <https://doi.org/10.1108/17415650480000018>
- Okazaki, T., Nishizaki, C., & Murai, K. (2016). Situation awareness and mental workload of navigator in ship maneuvering simulator. *World Automation Congress Proceedings, 2016-October*. <https://doi.org/10.1109/WAC.2016.7582956>
- Özçelik, E. (2011). Toplam iş yükünü etkileyen faktörlerin analizi için yapısal eşitlik modelleme ve analitik ağ süreci ile bütünlük bir model önerisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi, Ankara.
- Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Podsakoff, N. P., & Bachrach, D. G. (2008). Scholarly influence in the field of management: A bibliometric analysis of the determinants of university and author impact in the management literature in the past quarter century. *Journal of Management*, 34(4), 641-720. <https://doi.org/10.1177/0149206308319533>
- Remmen, L. N., Herttua, K., Riss-Jepsen, J., & Berg-Beckhoff, G. (2017). Fatigue and workload among Danish fishermen. *International Maritime Health*, 68(4), 252–259. <https://doi.org/10.5603/IMH.2017.0044>
- Schuffel, H., Boer, J. P. A., & Van Breda, L. (1989). The Ship's Wheelhouse of the Nineties the Navigation Performance and Mental Workload of the Officer of the Watch. *Journal of Navigation*, 42(1), 60–72. <https://doi.org/10.1017/S0373463300015095>
- Sharma, M. (2021). Visualisation and bibliometric analysis of worldwide research trend of stress among seafarer: an extensive publication analysis. *International Maritime Health*, 72(1), 64-75. <https://doi.org/10.5603/IMH.2021.0009>
- Sugden, N. A. (2010). Relationships among teacher workload, performance, and well-being [Ed.D., Walden University]. İçinde ProQuest Dissertations and Theses (839139385). ProQuest Dissertations & Theses Global. <https://www.proquest.com/dissertations-theses/relationships-among-teacher-workload-performance/docview/839139385/se-2?accountid=10527>

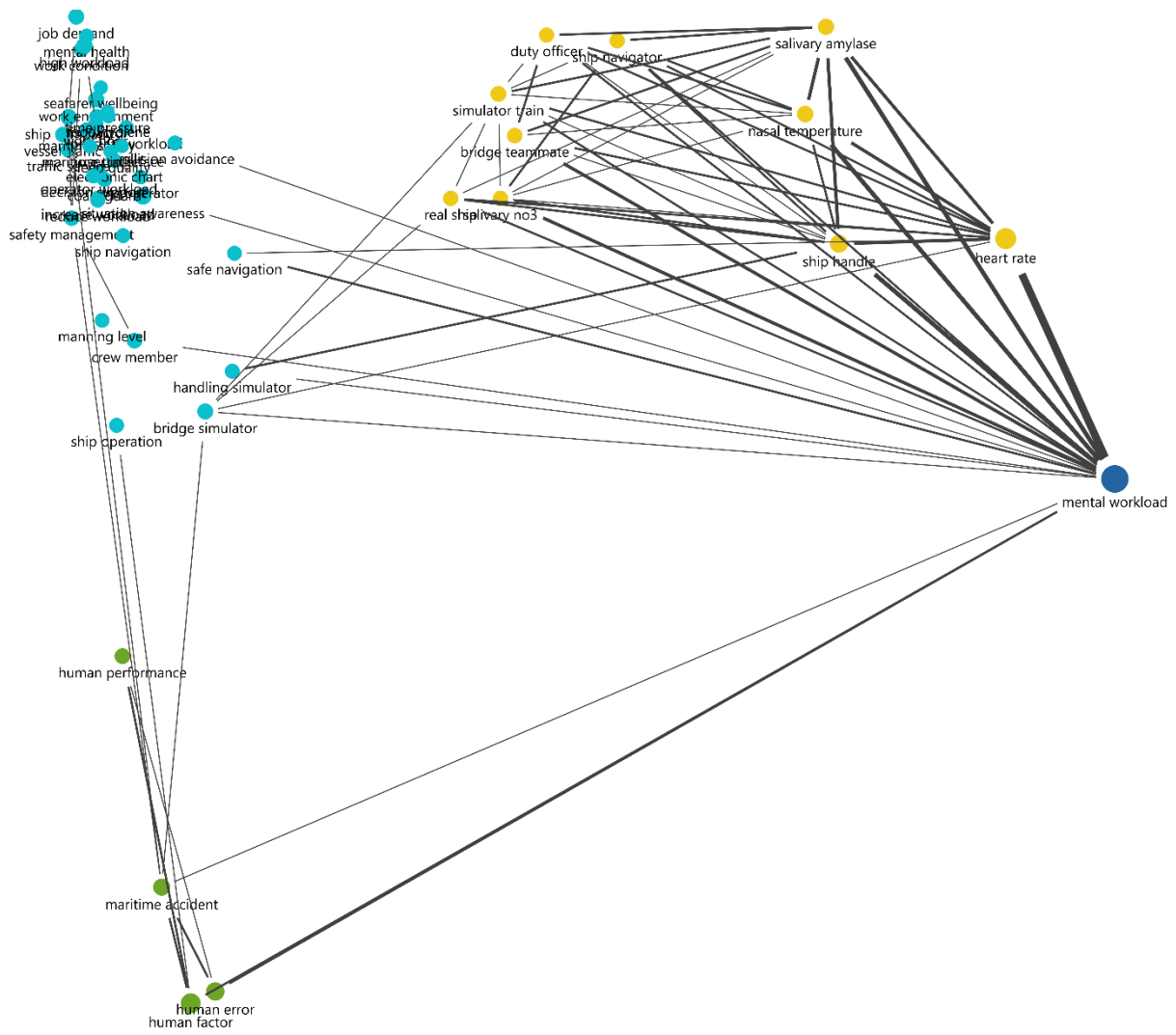
- Tao, D., Tan, H., Wang, H., Zhang, X., Qu, X., & Zhang, T. (2019). A systematic review of physiological measures of mental workload. *International journal of environmental research and public health*, 16(15), 2716. <https://doi.org/10.3390/ijerph16152716>
- Tran, B. X., Vu, G. T., Ha, G. H., Vuong, Q. H., Ho, M. T., Vuong, T. T., ... & Ho, R. C. (2019). Global evolution of research in artificial intelligence in health and medicine: a bibliometric study. *Journal of clinical medicine*, 8(3), 360. <https://doi.org/10.3390/jcm8030360>
- Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Wan, Z., Liu, Y., Jiang, Y., Chen, J., & Wang, Z. (2023). Burnout and work ability: A study on mental health of Chinese seafarers from the job demand resource model perspective. *Ocean & Coastal Management*, 237, 106517.
- Young, G., Zavelina, L., & Hooper, V. (2008). Assessment of workload using NASA Task Load Index in perianesthesia nursing. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, 23(2), 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2008.01.008>
- Yu, H., Meng, Q., Fang, Z., & Liu, J. (2023). Literature review on maritime cybersecurity: state-of-the-art. *The Journal of Navigation*, 1-14. <https://doi.org/10.1017/S0373463323000164>



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



### Appendix I – Word Combination Connectivity Map





## Research Article

Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET) 3(2), 90-98, 2023

Received: 08-Dec-2023 Accepted: 24-Dec-2023

homepage: <https://dergipark.org.tr/pub/joinmet>

<https://doi.org/10.58771/joinmet.1402079>



SAKARYA UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES

# Ayarlı kütle sönümleyicilerinde yerleşim ve parametre değişiminin yapısal sistem performansına etkisi

Hüseyin AGGÜMÜŞ 

Şırnak Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Şırnak Üniversitesi,  
haggumus@sirnak.edu.tr

## ÖZ

Bu çalışmada Ayarlı Kütle Sönümleyicilerinin (AKS) yapısal sistem üzerinde etkileri, parametre değişimi ve yerleşimleri dikkate alınarak incelenmiştir. Çok serbestlik dereceli çelik konstrüksiyon bir bina modeli için tasarlanan AKS, bu bina modelinin her bir katına ayrı ayrı eklenerek sistem cevapları incelenmiştir. Her bir kat için ayrı bir simülasyon yapılmıştır. Ayrıca, kat yerleşimlerinin yanında parametre değişiminin etkilerini incelemek amacıyla, AKS'nin farklı kütle, rijitlik ve sönüm parametreleri kullanılmıştır. AKS parametrelerinin belirlenmesinde farklı yaklaşımlardan faydalanılmıştır. Sistem cevapları farklı depremler etkisinde analiz edilmiştir. Sonuçlar, AKS'nin yerleşimi ile parametre değişimlerinin sistem performansını etkilediği, ve üst katlara doğru AKS yerleşimi ile yüksek kütle oranındaki artışın, sistem cevaplarını daha etkili bir şekilde bastırıldığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapısal titreşimler, Pasif kontrol, AKS yerleşimleri, AKS parametreleri,

## The effect of location and parameter exchange of tuned mass damper on the structural system performance

### ABSTRACT

This study investigates the effects of Tuned Mass Dampers (TMDs) on the structural system by considering parameter variation and placement. A multi-degree-of-freedom steel construction building model is designed by considering the parameters of the building model, and the system responses are investigated by adding the TMD to each floor of this building model separately. A separate simulation was performed for each floor. In addition, different values of the TMD's mass, stiffness, and damping parameters were used to investigate the effects of different parameters besides the story placements. Different approaches were utilized to determine the TMD parameters. System responses were analyzed under the influence of different earthquakes. The results show that the parameter variations with the placement of the TMD affect the system performance. The parameters obtained at higher mass ratios in the parameter ranges determined by the placement of the TMD towards the upper floors suppress the system responses more effectively.

**Keywords:** Structural vibration, passive control, TMD parameters, TMD locations, earthquake effects.

## 1 Giriş

Depremler gibi doğal afetler nedeniyle yapılarda meydana gelen titreşimleri önlemek veya azaltmak, gerek yapı içerisinde yaşayanların, gerekse yapının güvenliği için önemli bir konudur. Yapısal sistem titreşimlerini bastırmak için bir çok kontrol uygulaması vardır (Aggumus & Cetin, 2018; Aggumus & Guclu, 2020; Cetin et al., 2011; Guclu & Yazici, 2007; Leung & Zhang, 2009; Warburton, 1982). Bu kontrol uygulamaları arasında kullanılan Ayarlı Kütle Sönümleyicileri (AKS), sisteme kolayca entegre edilebilen, basit, düşük maliyetli ve güvenilir kontrol cihazlarıdır. Yapının kritik frekansına yakın parametrelerle seçilen AKS'ler, kütle, yay ve sönüm elemanlarından oluşan pasif kontrol cihazlarıdır (Bekdaş & Nigdeli, 2011; Leung & Zhang, 2009; Mashaly et al., 2005; Warburton, 1982). AKS'ler yapıya etki eden bir tahrik esnasında, hareket ederek yapıyı titreşimlerden korur. AKS'lerin yapısal sistemlerin cevaplarını bastırmada etkili olabilmesi için parametrelerinin, yerleşim yerlerinin, sayılarının belirlenmesi gereklidir.

AKS performansında önemli bir faktör parametrelerin belirlenmesidir. Bunun için optimizasyon metotları ve geleneksel formüller kullanılmaktadır. Optimizasyon metotlarında parametreler isabetli bir şekilde belirlenebilir (Bekdaş & Nigdeli, 2011; Leung & Zhang, 2009; Li et al., 2010; Miguel et al., 2015). Fakat farklı kütle, sönüm ve rijitlik değerlerini belirlemek için bu algoritmaların yeniden kullanılması gerekir ve bu zorlu bir süreçtir. Geleneksel parametre belirleme metotlarında ise formül kullanıldığı için bu parametreleri belirlemek daha kolaydır. Bu kolaylık, farklı AKS kütlelerinin değerlendirilmesine de daha basit bir şekilde olanak sağlar. Literatürde birçok parametre belirleme metodu vardır (Den Hartog & Ormondroyd, 1928; Leung & Zhang, 2009; Mashaly et al., 2005; Warburton, 1982). Bu metotlarla AKS parametreleri isabetli bir şekilde belirlenebilir ve kütle oranı değiştirilerek elde edilen farklı parametrelerin etkileri kolaylıkla test edilebilir. AKS'nin performansını etkileyen bir diğer faktör ise AKS'nin yapıya yerleştirildiği yerdir. AKS'ler yapının katlarına farklı şekillerde yerleştirilebilir (Wang, Jer-Fu & Lin, Chi-Chang, 2015). Birinci kattan son kata kadar yerleştirilmesi, uygulanabilirlik ve performans gibi nedenlerde bağlıdır. Çoklu AKS'lerin kullanılması da yapılan çalışmalarda performans artışına etki etmesi bakımında tercih edilmektedir (Fadel Miguel et al., 2016).

Bu çalışmada, AKS'lerin bir binanın katlarına göre nasıl performans gösterdiği ve parametre değişiminin bu performansa etkileri araştırılmıştır. Sayısal simülasyon modeli olarak 6 katlı çelik konstrüksiyon bir bina kullanılmıştır. AKS'in her bir kata ayrı ayrı yerleştirilmesiyle simülasyonlar oluşturulmuştur. Sistem cevapları deprem tahrikleri etkisinde incelenmiştir.

## 2 Materyal ve Metot

### Bina Modeli ve AKS Yerleşimleri için Hareket Denklemleri

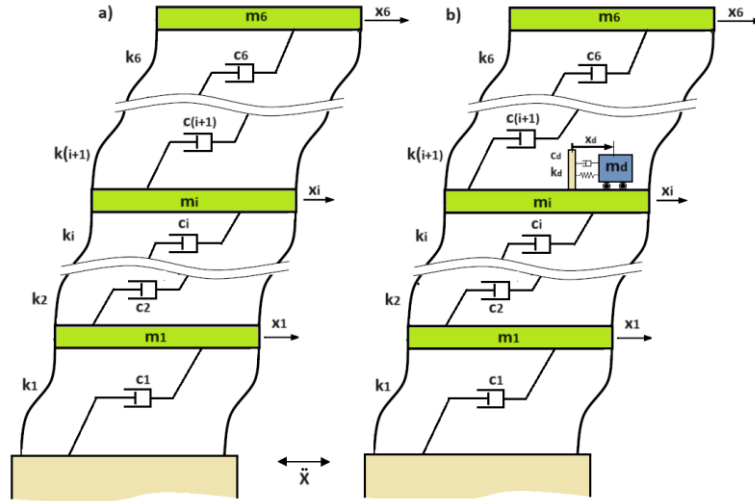
Bu çalışmada incelenen alt katlı bina modeli Şekil 1a'da ve bu binaya ait AKS yerleşimleri Şekil 1b'deki gibidir. Tüm durumlar için yapının sadece yanal titreşimleri değerlendirilmiştir. Şekil 1'deki modellere ait en genel haldeki hareket denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$M_s \ddot{x}(t) + C_s \dot{x}(t) + K_s x(t) = -M_s L \ddot{x}_g \quad (1)$$

Yer değiştirme vektörü  $x$  Eşitlik 1'de, sismik giriş vektörü  $L$  ise Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$x = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4 \quad x_5 \quad x_6 \quad x_d]^T \quad (2)$$

$$L = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1] \quad (3)$$



Şekil 1: a) AKS'nin olmadığı durum, b) AKS'li durum

Eşitlik 1'de ifade edilen  $M_s$ ,  $C_s$  ve  $K_s$  ile ifade edilen bir matrisler aşağıdaki gibidir (Wang, Jer-Fu & Lin, Chi-Chang, 2015).

$$M_s = \text{diag}[m_1 \dots m_i \dots m_6 \ m_d] \quad (4)$$

$$C_s = \begin{bmatrix} c_1+c_2 & c_2 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 & 0 & \dots & \dots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & 0 & -c_i & -c_i + c_{i+1} + c_d & -c_{i+1} & 0 & -c_d \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 & -c_6 & c_6 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & -c_d & \dots & 0 & c_d \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$K_s = \begin{bmatrix} k_1+k_2 & k_2 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 & \dots & \dots & \vdots \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & 0 & -k_i & -k_i + k_{i+1} + k_d & -k_{i+1} & 0 & -k_d \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 & -k_6 & k_6 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & -k_d & \dots & 0 & k_d \end{bmatrix} \quad (6)$$

Parametreler,  $m_{1..5} = 862.85 \text{ kg}$ ,  $m_6 = 803.98 \text{ kg}$ ,  $k_1 = 1.26 \times 10^6 \text{ N/m}$ ,  $k_{2..6} = 1.23 \times 10^6 \text{ N/m}$ ,  $c_{1..6} = 36.7052 \times 10^6 \text{ N/m}$ .  $k_d = 7.8618 \times 10^5$  (Loh et al., 2008). Bina modelinde gerçekleştirilen simülasyonlarda incelenen kontrol durumları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: AKS yerleşimleri

AKS'nin yerleştiği katlar	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat	6. kat
Kısaltmalar	AKS <sub>1</sub>	AKS <sub>2</sub>	AKS <sub>3</sub>	AKS <sub>4</sub>	AKS <sub>5</sub>	AKS <sub>6</sub>

AKS parametreleri Eşitlik 7,8 ve 9'daki gibi bulunur.

$$m_d = \mu M_{\text{top}} \quad (7)$$

$$k_d = m_d (f_{\text{opt}} W_n)^2 \quad (8)$$

$$c_d = 2 \xi_{\text{opt}} (f_{\text{opt}} W_n) m_d \quad (9)$$

Burada  $\mu$ , AKS'nin kütesinin yapının toplam kütesine oranı olan kütle oranını,  $M_{\text{top}}$  yapının toplam kütesini,  $\omega_n$ ,  $m_d$ ,  $k_d$  ve  $c_d$  sırasıyla AKS'nin doğal frekans, kütle, rijitlik ve sönüm değerlerini göstermektedir.  $f_{\text{opt}}$  ve  $\xi_{\text{opt}}$  ise sırasıyla frekans oranı ve sönüm oranını ifade eder ve Tablo 2'deki

parametre belirleme yöntemleriyle bulunur (Connor, 2003; Den Hartog, 1947; Leung & Zhang, 2009; Sadek et al., 1997; Warburton, 1982). Tablodaki  $\mu_c$  yapının 1. modunun kütlesi ile toplam kütlesi oranını ifade eder.

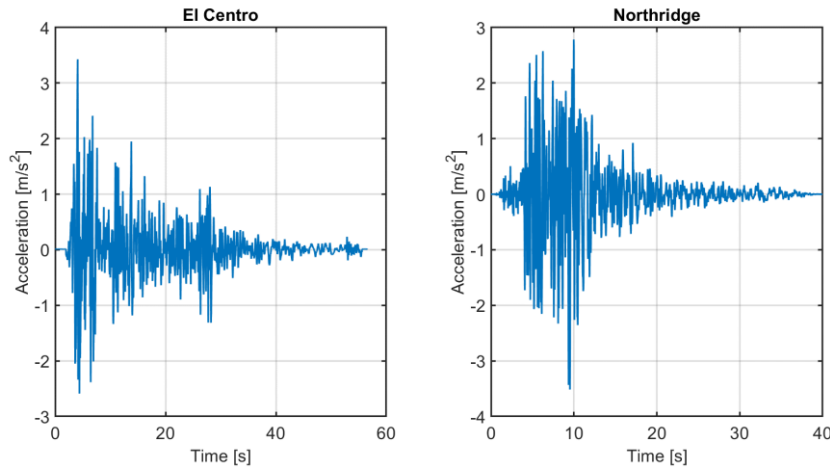
**Tablo 2:** AKS parametre belirleme metotları

Yöntem	Frekans oranı ( $f_{opt}$ )	Sönüm oranı ( $\xi_{opt}$ )
1. Yöntem (Connor, 2003)	$\frac{\sqrt{1-0.5\mu_c}}{(1+\mu_c)}$	$\sqrt{\frac{\mu_c(3-\sqrt{0.5\mu_c})}{8(1+\mu_c)(1-0.5\mu_c)}}$
2. Yöntem (Den Hartog, 1947)	$1/(1+\mu)$	$\sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu)}}$
3. Yöntem (Warburton, 1982)	$\frac{\sqrt{1-\mu/2}}{(1+\mu)}$	$\sqrt{\frac{\mu(1-\mu/4)}{4(1+\mu)(1-\mu/2)}}$
4. Yöntem (Sadek et al., 1997)	$\frac{1}{1+\mu} \left[ 1 - \xi \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}} \right]$	$\frac{\xi}{1+\mu} + \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}}$
5. Yöntem (Leung & Zhang, 2009)	$\frac{\sqrt{1-(\mu/2)}}{1+\mu} + (-4.9453 + 20.2319\sqrt{\mu} - 37.9419\mu)\sqrt{\mu}\xi + (-4.8287 + 25.0000\sqrt{\mu})\sqrt{\mu}\xi^2$	$\sqrt{\frac{\mu(1-\mu/4)}{4(1+\mu)(1-\mu/2)}} - 5.3024\xi^2\mu$

Mevcut sistem için en iyi parametre belirleme metodunun belirlenmesinde yer değiştirme ile ilgili yapısal sistem performans ölçütü aşağıdaki gibi uygulanır (Aggümüş, 2022; Aggumus & Cetin, 2018; Ohtori et al., 2004).

$$J_1 = \max \left\{ \frac{\max_{t,i} \left\{ \frac{|d_i(t)|}{h_i} \right\}}{\delta^{max}} \right\} \quad (10)$$

Sisteme etki eden tahrik olarak Şekil 2’de görülen El Centro ve Northridge depremleri uygulanmıştır.



**Şekil 2:** El Centro ve Northridge depremleri ivme zaman eğrileri

### 3 Araştırma ve Bulgular

Bu çalışmada AKS’nin farklı parametreleriyle birlikte yapı üzerindeki yerleşimlerinin bir bina modeli üzerindeki etkisi incelenmiştir. 6 katlı çelik konstrüksiyon bina modeli üzerinde yapılan simülasyonlarda AKS, 1. kattan başlayarak 6. kata kadar tek tek yerleştirilerek simülasyonlar

gerçekleştirilmiştir. AKS için uygun parametrelerin hesaplanması için Tablo 2'deki yöntemler uygulanmıştır. Eşitlik 10'daki performans ölçütü dikkate alınarak Tablo 3 ve Tablo 4 oluşturulmuş ve en uygun parametre belirleme metodu seçilmiştir. El Centro ve Northridge depremleri etkisindeki sistemin performans değerlendirmelerinde yer değiştirme performans indeksi incelenmiştir. Burada en düşük değer aranmıştır. Bu değer AKS<sub>6</sub> yerleşimi ve yöntem 4 ile elde edilmiştir.

**Tablo 3:** El Centro depremi etkisindeki sistemin performans indeksi

Yerleşimler	Yöntemler				
	1	2	3	4	5
AKS <sub>1</sub>	0.6259	0.5754	0.5377	0.6561	0.5405
AKS <sub>2</sub>	0.3652	0.3323	0.3263	0.3996	0.3271
AKS <sub>3</sub>	0.3028	0.2907	0.2886	0.2962	0.2887
AKS <sub>4</sub>	0.2747	0.2697	0.2667	0.2788	0.2669
AKS <sub>5</sub>	0.2596	0.2540	0.2550	0.2641	0.2550
AKS <sub>6</sub>	0.2540	0.2528	0.2541	0.2555	0.2541

**Tablo 4:** Northridge depremi etkisindeki sistemin performans indeksi

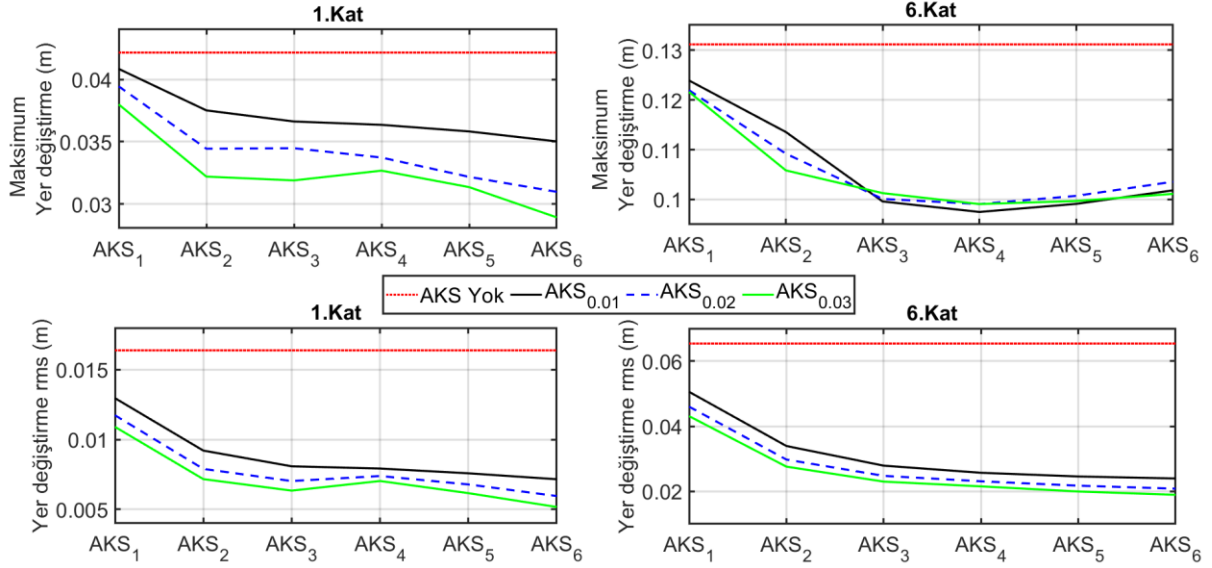
Yerleşimler	Yöntemler				
	1	2	3	4	5
AKS <sub>1</sub>	0.9087	0.9107	0.9158	0.9013	0.9154
AKS <sub>2</sub>	0.7894	0.8204	0.8412	0.7637	0.8398
AKS <sub>3</sub>	0.7599	0.7742	0.7740	0.7565	0.7728
AKS <sub>4</sub>	0.7743	0.7974	0.7975	0.7751	0.7972
AKS <sub>5</sub>	0.7450	0.7684	0.7715	0.7437	0.7711
AKS <sub>6</sub>	0.6961	0.7240	0.7351	0.6860	0.7343

AKS parametreleri için 4. yöntem kullanılmıştır (Sadek et al., 1997). Kütle oranı 0.01, 0.02 ve 0.03 için elde edilen parametreler Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5:** AKS parametreleri

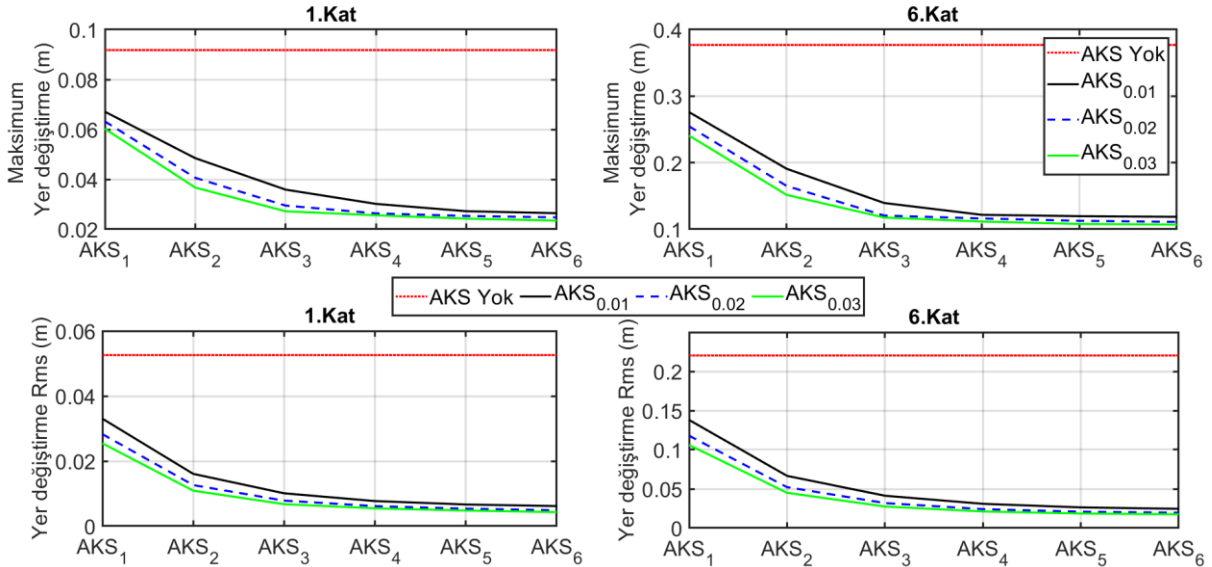
Kütle oranı ( $\mu$ )	Kütle ( $m_d$ ) kg	Rijitlik ( $k_d$ ) N/m	Sönüm ( $c_d$ ) Ns/m
0.01	51.1823	4275.1867	93.2175
0.02	102.3646	8383.4479	259.6849
0.03	153.5469	12332.0757	470.0546

Şekil 3 ve Şekil 4'te maksimum yer değiştirme ve yer değiştirme rms (kök ortalama kare) cevapları, Şekil 5 ve Şekil 6'da maksimum ivme ve ivme rms cevapları görülmektedir.



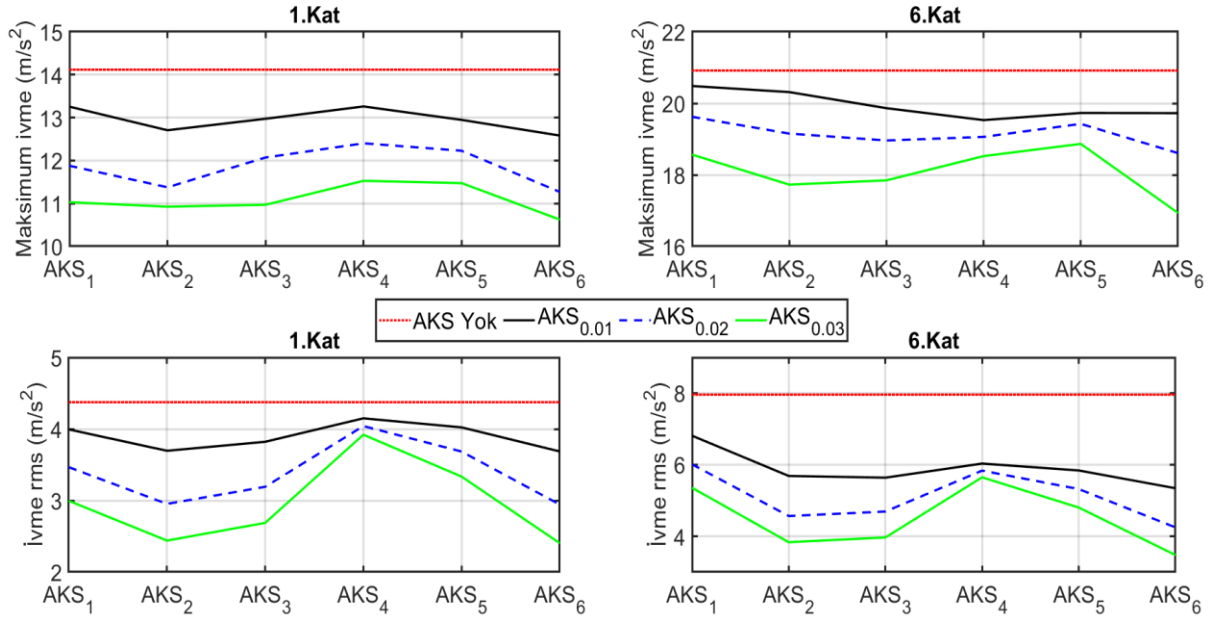
Şekil 3: Northridge depremi etkisindeki sistemin yer değiştirme ve yer değiştirme rms cevapları

Northridge ve El Centro depremleri etkisindeki sistemin 1. kat ve 6. katının maksimum yer değiştirme ve yer değiştirme rms değerlerine ait eğriler Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir. 0.1, 0.2 ve 0.3 kütle oranlarında (AKS<sub>0.01</sub>, AKS<sub>0.02</sub> ve AKS<sub>0.03</sub>) bütün yer değiştirme cevaplarında en iyi performans 0.3 kütle oranında elde edilmiştir. AKS genel olarak yerleşimlerinde ise üst katlara doğru performansın arttığı görülmektedir. Bu durum rms değerlerinde daha net görülmektedir.



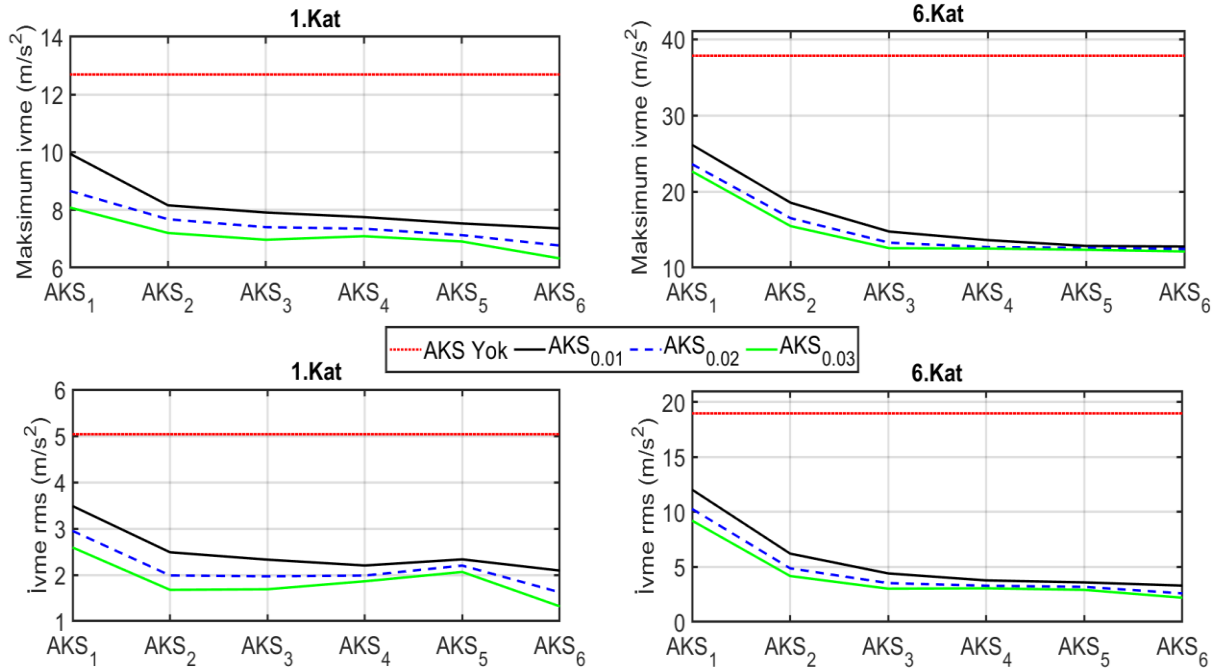
Şekil 4. El Centro depremi etkisindeki sistemin maksimum yer değiştirme ve yer değiştirme rms cevapları

El Centro depremi etkisinde sistem cevaplarının yer değiştirmelerinde kütle oranı etkisi üst katlara çıkıldıkça Northridge depreminden daha az olduğu görülmüştür. Fakat kütle oranları arasındaki performans farklılıkları daha fazladır.



Şekil 5. Northridge depremi etkisindeki sistemin maksimum ivme ve ivme rms cevapları

Sistemin 1. kat ve 6. katının maksimum ivme ve ivme rms değerlerine ait eğriler Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Bütün kütle oranlarındaki ivme cevaplarında en iyi performans yer değiştirme cevaplarında olduğu gibi 0.3 kütle oranında elde edilmiştir. Genel olarak AKS yerleşimlerinde ise ivme cevaplarında, yer değiştirme cevaplarından farklılıklar olduğu görülmektedir. El Centro depreminde ivme ve yer değiştirme eğrileri benzer davranış göstermesine karşın, Northridge depreminde bu durum farklıdır. Yer değiştirme cevaplarında iyileştirmeler dikkate alındığında bu kabul edilebilir bir durumdur.



Şekil 6. El Centro depremi etkisindeki sistemin maksimum ivme ve ivme rms cevapları



## 4 Sonuçlar

Bu çalışmada AKS'nin bir bina modeli üzerinde yerleşimlerinin ve parametre değişiminin etkileri incelenmiştir. AKS'ler bütün katlara ayrı ayrı yerleştirilerek simülasyonlar oluşturulmuştur. Her bir AKS yerleşimi için 0.1, 0.2 ve 0.3 kütle oranlarına bağlı olarak parametre değişimi etkisinin sistem performansına katkısı incelenmiştir. Sistem cevapları AKS'nin olmadığı durum ile farklı parametrelerdeki bütün AKS yerleşimleri karşılaştırılarak elde edilmiştir. Tahrik olarak El Centro ve Northridge depremleri sisteme etki ettirilmiştir. Sonuçlar AKS'nin yerleşimlerinde üst katlara doğru performansın arttığını göstermiştir. Fakat üst katlara doğru artış miktarı azalarak devam etmiştir. Farklı kütle oranlarında parametre değişimlerine bağlı olarak, kütle oranı arttıkça AKS'nin performansı artmıştır. Uygulanan deprem tahrikleri etkisinde AKS'nin sistem üzerindeki titreşim bastırma yeteneklerinin değiştiği görülmektedir. Bunun nedeni, sistemin kritik frekansına göre tasarlanan AKS, değişken frekanslı tahriklerde performansının düşmesidir. Bu problem aktif ve yarı aktif kontrol uygulamaları ile aşılabilir.

## 5 Beyanname

### 5.1 Rakip Çıkarlar

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

### 5.2 Yazarların Katkıları

Çalışmanın tamamı Sorumlu Yazar Hüseyin AGGÜMÜŞ tarafından gerçekleştirilmiştir.

## Kaynaklar

- Aggümüş, H. (2022). Binalarda Kullanılan MR Damperli Yarı Aktif Kütle Sönümleyicisinin Performans Analizi. *Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET)*, 2(1), 50-57.
- Aggumus, H., & Cetin, S. (2018). Experimental investigation of semiactive robust control for structures with magnetorheological dampers. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 37(2), 216–234. <https://doi.org/10.1177/0263092317711985>
- Aggumus, H., & Guclu, R. (2020). Robust  $H_\infty$  Control of STMDs Used in Structural Systems by Hardware in the Loop Simulation Method. *Actuators*, 9(3), 55. <https://doi.org/10.3390/act9030055>
- Bekdaş, G., & Nigdeli, S. M. (2011). Estimating optimum parameters of tuned mass dampers using harmony search. *Engineering Structures*, 33(9), 2716–2723. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.05.024>
- Cetin, H., Aydin, E., & Ozturk, B. (2013). Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin Üç Katlı Yapi Modelinin Sismik ve Harmonik Davranışına Etkileri.
- Cetin, S., Zergeroglu, E., Sivrioglu, S., & Yuksek, I. (2011). A new semiactive nonlinear adaptive controller for structures using MR damper: Design and experimental validation. *Nonlinear Dynamics*, 66(4), 731–743.
- Connor, J. J. (2003). *Structural Motion Control*. Pearson Education, Inc.
- Den Hartog, J. P. (1947). *Mechanical vibrations* (3rd ed). New York, N.Y.: McGraw-Hill. <https://trove.nla.gov.au/version/21341052>
- Den Hartog, J. P., & Ormondroyd, J. (1928). Theory of the dynamic vibration absorber. *ASME J. Appl. Mech*, 50(7), 11–22.

- Fadel Miguel, L. F., Lopez, R. H., Miguel, L. F. F., & Torii, A. J. (2016). A novel approach to the optimum design of MTMDs under seismic excitations: A Novel Approach to the Optimum Design of MTMDs Under Seismic Excitations. *Structural Control and Health Monitoring*, 23(11), 1290–1313. <https://doi.org/10.1002/stc.1845>
- Guclu, R., & Yazici, H. (2007). Fuzzy Logic Control of a Non-linear Structural System against Earthquake Induced Vibration. *Journal of Vibration and Control*, 13(11), 1535–1551. <https://doi.org/10.1177/1077546307077663>
- Leung, A. Y. T., & Zhang, H. (2009). Particle swarm optimization of tuned mass dampers. *Engineering Structures*, 31(3), 715–728. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.11.017>
- Li, L., Song, G., & Ou, J. (2010). A Genetic Algorithm-based Two-phase Design for Optimal Placement of Semi-active Dampers for Nonlinear Benchmark Structure. *Journal of Vibration and Control*, 16(9), 1379–1392. <https://doi.org/10.1177/1077546309103277>
- Loh, C.-H., Agrawal, A. K., Lynch, J. P., & Yang, J. N. (2008). Development of experimental benchmark problems for international collaboration in structural response control. *Saf Manag Heal Monit Inf, Bridg Maint*, 3298–3305.
- Mashaly, E. A., El-katt, M. H., AL-Janabi, A. I. M., & Abubakar, I. M. (2005). A Generalized Translational-Rotational Tuned Mass Damper (T-R TMD) system for passive control of vibrations in structures. *WIT Transactions on The Built Environment*, 81.
- Miguel, L. F. F., Fadel Miguel, L. F., & Lopez, R. H. (2015). A firefly algorithm for the design of force and placement of friction dampers for control of man-induced vibrations in footbridges. *Optimization and Engineering*, 16(3), 633–661. <https://doi.org/10.1007/s11081-014-9269-3>
- Ohtori, Y., Christenson, R. E., Spencer, B. F., & Dyke, S. J. (2004). Benchmark Control Problems for Seismically Excited Nonlinear Buildings. *Journal of Engineering Mechanics*, 130(4), 366–385. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2004\)130:4\(366\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2004)130:4(366))
- Sadek, F., Mohraz, B., Taylor, A. W., & Chung, R. M. (1997). A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 26(6), 617–635.
- Wang, Jer-Fu, & Lin, Chi-Chang. (2015). Extracting parameters of TMD and primary structure from the combined system responses. *Smart Structures and Systems*, 16(5), 937–960. <https://doi.org/10.12989/SSS.2015.16.5.937>
- Warburton, G. B. (1982). Optimum absorber parameters for various combinations of response and excitation parameters. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 10(3), 381–401.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## Research Article

Journal of Marine and Engineering Technology (JOINMET) 3(2), 99-109, 2023

Received: 09-Dec-2023 Accepted: 25-Dec-2023

homepage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/joinmet>

<https://doi.org/10.58771/joinmet.1402658>



SAKARYA UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES

# From Ports to Prosperity: Leveraging Maritime Sector for Poverty Reduction

Emine Elif AYHAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Yalova University, Yalova, Turkey, elifayhan93@gmail.com

## ABSTRACT

The maritime sector has the potential to boost economic growth, environmental conservation, and social inclusion, contributing not only to a country's economic development but also to maintaining social and economic balance. Ports play a significant role in increasing the welfare of communities and providing job opportunities. This article highlights the pivotal role of the maritime sector in reducing poverty by generating employment and creating economic value. The employment opportunities and economic value provided by ports play a crucial role in poverty reduction. Using a literature review, the economic significance of ports in Singapore, Panama, Bangladesh, Indonesia, and Nigeria is examined, emphasizing the strength and impact of the maritime sector. These success stories, including Singapore's global trade role, Panama Canal's global impact, Bangladesh's economic development through ports, Indonesia's potential for maritime sector development for growth, and Nigeria's poverty alleviation efforts through ports, are just a few examples. Successful instances underscore the potential of the maritime sector in reducing poverty. By combining economic growth, environmental sustainability, and social inclusivity, this sector can serve as a significant tool in combating poverty.

**Keywords:** Maritime sector, blue economy, poverty reduction, prosperity

## Limanlardan Refaha: Yoksulluğun Azaltılması İçin Denizcilik Sektöründen Yararlanmak

### ÖZ

Denizcilik sektörü, ekonomik gelişimi, çevresel korumayı ve sosyal katılımı iyileştirme potansiyeline sahiptir ve ülkelerin ekonomik büyümesine katkı sağlamanın yanı sıra sosyal ve ekonomik dengenin sağlanmasında önemli bir unsurdur. Limanlar, toplulukların refahını artırma ve iş imkanları sunma konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu makale, denizcilik sektörünün, iş yaratma ve ekonomik değer üretme yeteneğiyle yoksulluğu azaltmada kilit bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Limanların sağladığı iş olanakları ve ekonomik değer, yoksulluğun azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Makalede literatür taraması yöntemi kullanılarak; Singapur, Panama, Bangladeş, Endonezya ve Nijerya'daki limanların ekonomik önemi incelenmekte ve denizcilik sektörünün gücü ve etkisi vurgulanmaktadır. Singapur'un küresel ticaretteki rolü, Panama Kanalı'nın küresel etkisi, Bangladeş'in limanlardaki ekonomik gelişimi, Endonezya'nın kalkınma

<sup>1\*</sup> Corresponding Author's email: elifayhan93@gmail.com

için denizcilik sektöründeki potansiyeli ve Nijerya'nın limanlar aracılığıyla yoksullukla mücadele çabaları bu başarı öykülerinden sadece birkaçıdır. Başarılı örnekler, denizcilik sektörünün yoksulluğun azaltılmasındaki potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu sektör, ekonomik büyümeyi, çevresel sürdürülebilirliği ve sosyal kapsayıcılığı bir araya getirerek yoksullukla mücadelede önemli bir araç olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Denizcilik sektörü, mavi ekonomi, yoksulluğun azaltılması, refah

## 1 Introduction

The maritime sector stands as a formidable force driving global connectivity, economic prosperity, and the alleviation of poverty on a scale that extends far beyond the boundaries of nations. Encompassing a diverse array of industries such as shipping, shipbuilding, ports, fishing, offshore energy production, and marine tourism, this multifaceted sector serves as the linchpin connecting nations, facilitating the seamless movement of goods, commodities, and people across the world.

The concept of poverty encompasses a multidimensional framework that extends beyond mere economic insufficiency. At its core lies income and material deprivation, wherein individuals lack access to fundamental necessities like food, shelter, and healthcare. However, poverty transcends financial constraints, as per the capability approach, acknowledging the limitations individuals face in exercising choices and opportunities essential for a fulfilling life. Social exclusion and marginalization intersect with poverty, highlighting how certain groups face disproportionate challenges due to systemic inequalities and limited access to education, healthcare, and employment. Inadequate infrastructure further perpetuates poverty by hindering access to vital services. Moreover, poverty is marked by vulnerability to shocks and the absence of resilience to recover from crises. Psychological and emotional aspects, including diminished well-being and mental health challenges, also characterize poverty. This multi-dimensional view underscores the necessity for holistic strategies addressing income disparities, structural inequalities, social inclusion, and empowerment to effectively combat poverty and its far-reaching implications. Understanding poverty within this broader context is vital in assessing the impact of port-related activities on poverty alleviation and socio-economic development within communities.

In today's interconnected global economy, the maritime industry plays a pivotal role, underpinning the foundation of international trade and serving as a catalyst for economic growth and development. Its significance extends beyond the mere movement of goods; it symbolizes opportunity and progress for communities worldwide. This article explores the profound economic power wielded by the maritime sector and its indispensable role in tackling one of the most pressing challenges of our time: poverty. By delving into case studies from diverse nations—ranging from Singapore's status as a global maritime leader to Panama's important role in global trade and connectivity, Bangladesh's emphasis on empowering fishing communities, Indonesia's strategic use of maritime resources, and Nigeria's success in uplifting coastal regions—the profound impact of the maritime sector in alleviating poverty becomes evident.

Through these case studies, this article sheds light on the transformative potential of the maritime sector. It showcases how strategic leveraging of maritime resources, coupled with sustainable practices, not only generates economic growth but also fosters social inclusion, enhances livelihoods, and contributes to environmental conservation—serving as a blueprint for addressing poverty on both local and global scales. The examination of success stories within the maritime sector illuminates a path forward, demonstrating how investments in infrastructure, skill development, and sustainable practices can unlock opportunities, create jobs, and uplift communities. This article seeks to highlight the pivotal role

of the maritime sector in navigating pathways out of poverty and lays the groundwork for understanding its transformative potential in fostering lasting socio-economic progress.

## **2 The Maritime Sector's Economic Power and Its Role in Alleviating Poverty**

The maritime sector holds significant economic power with far-reaching implications for poverty alleviation. Encompassing shipping, shipbuilding, ports, fishing, offshore energy production, and marine tourism, this multifaceted industry plays a crucial role in connecting nations and facilitating the movement of goods and people worldwide. Through the creation of employment opportunities, skill development, and income generation, the maritime sector becomes a powerful driver for poverty reduction. Nations strategically leveraging their maritime resources witness not only economic growth but also improvements in the livelihoods of coastal communities. The sector's contribution to global trade establishes it as a linchpin of the world economy, while its intricate connections to various industries underscore its potential to uplift societies, foster sustainability, and create lasting positive impacts on poverty-stricken regions. As a nexus of economic development and social progress, the maritime sector emerges as a pivotal force in navigating pathways out of poverty on both a local and global scale.

### **2.1 Economic Significance of the Maritime Sector**

The economic significance of the maritime sector is profound and multifaceted. It encompasses a wide range of activities related to the sea, including shipping, shipbuilding, ports, fishing, offshore energy production, and marine tourism. This sector plays a crucial role in global trade, connecting nations and facilitating the movement of goods, commodities, and people across the world.

The maritime sector acts as the backbone of globalization by enabling the efficient movement of goods across borders. Shipping accounts for the vast majority of international trade, carrying everything from raw materials to finished products. Ports serve as critical nodes in this network, where goods are loaded, unloaded, and distributed to their final destinations. Without the maritime sector, the interconnected global economy as we know it today would not be possible. The maritime sector is the backbone of international trade. Over 80% of the volume of international trade in goods is carried by sea, and the percentage is even higher for most developing countries (UNCTAD, 2021). This includes commodities like oil, natural gas, raw materials, manufactured goods, and more. Additionally, the maritime sector provides a level of economic stability and resilience by diversifying transportation options. In times of geopolitical tensions, natural disasters, or other disruptions, maritime routes can often provide alternative pathways for trade. This redundancy helps cushion the impacts of regional or global economic shocks (UNCTAD, 2018, s. 23).

The maritime sector provides employment opportunities to millions of people worldwide. This includes seafarers, dockworkers, shipbuilders, engineers, and various other professionals associated with maritime activities. The maritime sector significantly contributes to the GDP of many countries, particularly those with extensive coastlines or strategic ports. Revenue generated from activities such as port operations, shipping, and offshore exploration forms a substantial part of national income (International Trade Administration, 2022).

Ports, harbors, and related infrastructure are critical components of the maritime sector. They serve as vital nodes in the global supply chain and facilitate the movement of goods between land and sea transportation. The maritime sector has been a driving force behind technological innovations. This includes advancements in ship design, navigation systems, safety measures, and environmental

sustainability practices. The maritime industry is a driving force for technological innovation. From the development of more fuel-efficient ships to advancements in navigation and safety systems, the sector continually pushes the boundaries of what is possible. These innovations not only benefit the maritime industry itself but also have broader applications in areas like transportation, energy, and environmental sustainability (Munim & Schramm, 2018).

The maritime sector is instrumental in the exploration and extraction of offshore energy resources, including oil, natural gas, and renewable energies like wind and tidal power. Nations often rely on maritime activities for economic stability. Fishing, tourism, and marine research are examples of sectors that are closely linked to the maritime industry. Control over strategic maritime routes and access to important ports can have significant geopolitical implications. Naval presence and maritime security are crucial for safeguarding national interests (OECD, 2020).

The economic significance of the maritime sector extends far beyond mere transportation. It is a cornerstone of global trade, a source of livelihood for millions, a driver of technological progress, and a key player in national and international economies. Recognizing and understanding this significance is crucial for policymakers and stakeholders in ensuring the sustainable development and prosperity of maritime-dependent regions and industries. Its impact extends across multiple industries and influences the prosperity and well-being of nations worldwide. As the global economy continues to evolve, the maritime sector will remain a cornerstone, adapting to new challenges and driving innovation in the pursuit of sustainable and efficient maritime activities.

## **2.2 Linking Maritime Sector to Poverty Reduction**

The globe is currently grappling with numerous crises, notably in food, fuel, coal, natural gas, and the economy. The maritime economy stands as a potential solution to mitigate these challenges, offering a unique avenue to bolster any struggling economy. With over 70% of our planet covered by the sea, the maritime sector holds a pivotal position in ensuring global stability. Notably, approximately 90% of the world's import-export trade relies on maritime transportation, emphasizing the crucial role the ocean plays in facilitating global trade and addressing pressing economic and resource-related issues (Askari, Bushra, & Hossain, 2021, s. 112).

The maritime sector has garnered significant interest in emerging economies. It represents an alternative economic approach aimed at combating poverty by fostering international trade and connecting sellers with buyers. This approach not only stimulates economic growth but also emphasizes the imperative of environmental sustainability in coastal regions and marine ecosystems. By promoting social inclusion, the maritime sector contributes to an enhancement of livelihoods, presenting a comprehensive framework that addresses economic, environmental, and social dimensions. This paradigm shift towards a sustainable and inclusive blue economy underscores its potential to serve as a catalyst for positive change and development in these regions (Bari, 2017).

The maritime industry, with its diverse sectors such as shipping, fishing, shipbuilding and repair, offshore energy extraction, strait and canal crossings, maritime research and development, maritime tourism and recreation, marine biotechnology and aquaculture, maritime logistics and supply chain management, maritime education and training, and port operations, has been recognized as a powerful agent in alleviating poverty. This chapter explores the existing literature on how engagement in the maritime industry can contribute to poverty reduction. Key findings highlight the transformative impact of stable employment, skill development, and income generation on individuals and communities. One of the fundamental ways in which the maritime industry contributes to poverty reduction is through the

provision of stable employment opportunities. Research indicates that maritime jobs, whether on ships or in port-related activities, often offer consistent and reliable sources of income. This stability not only ensures financial security for individuals but also has a positive ripple effect on entire communities. Case studies and empirical evidence will be explored to underscore the link between maritime employment and the reduction of poverty rates (UNCTAD, 2022).

The maritime sector provides a unique platform for skill development, offering individuals the opportunity to acquire specialized knowledge and expertise. Training programs, apprenticeships, and on-the-job experiences in fields such as marine engineering, navigation, and fisheries management empower workers with valuable skills. The chapter will delve into how these acquired skills not only enhance employability within the maritime industry but also open doors to broader economic opportunities. Interviews with maritime professionals and insights from training initiatives will illuminate the transformative potential of skill development in poverty alleviation. Beyond stable employment and skill development, maritime activities contribute significantly to income generation (OECD/ILO, 2017).

In conclusion, this chapter synthesizes existing literature to establish a robust connection between maritime employment and poverty reduction. It highlights the transformative role of stable employment, skill development, and income generation in empowering individuals and communities. As the maritime sector continues to evolve, understanding and harnessing its potential to lift people out of poverty becomes increasingly crucial for sustainable economic development.

### **3 Success Stories: How Maritime Employment Transforms Communities and Alleviates Poverty**

Following section explores specific examples from five diverse countries where strategic emphasis on maritime sector employment has been a catalyst for significant poverty reduction, bringing about positive outcomes for communities.

#### *Case Study 1: Singapore - A Beacon of Economic Prosperity*

Singapore, despite its small size, has strategically positioned itself as a global maritime hub. The maritime sector, including shipping and port operations, has played a pivotal role in the country's economic success. Connectivity stands as the hallmark of Singapore's port, solidifying its reputation as a global maritime leader. Since 1986, Singapore has consistently held the title of the world's busiest port in terms of shipping tonnage, boasting an impressive annual average of 140,000 vessel calls. Serving as the nexus for 200 shipping lines connected to over 600 ports globally, Singapore's success as a premier hub for container transshipment is underpinned by its unparalleled global connectivity. In 2022 alone, the port handled a staggering 37.3 million TEUs, a testament to its pivotal role in facilitating international trade. Singapore's port distinguishes itself through comprehensive facilities and services that excel in terms of quality, efficiency, competitiveness, and reliability (MOE Singapore, 2023). With the capability to manage over 2,000 containers per vessel and an impressive turnaround time of less than 12 hours, the port ensures seamless operations on a grand scale. This commitment to excellence has earned Singapore the prestigious title of the "Best Global Seaport" for the second consecutive year and the "Best Seaport in Asia" for the 34th time at the 2022 Asia Freight, Logistics, and Supply Chain Awards (AFLAS). Beyond its dominance in cargo handling, Singapore's maritime infrastructure has positioned it as a flourishing regional cruise center. Annually, the international cruise terminal welcomes around one million visitors, drawing more than 30 international cruise ships, totaling approximately 400 port calls each year (MPA Singapore, 2023). In essence, Singapore's maritime prowess extends beyond

its role as a global trade facilitator, embracing its status as a dynamic and sought-after destination for cruise enthusiasts worldwide. Positive Outcomes (MINDEF Singapore, 2018):

- **High-Income Jobs:** The maritime industry in Singapore provides high-income jobs, contributing to a low national poverty rate.
- **Global Trade Hub:** Singapore's strategic location and efficient ports have made it a key player in global trade, attracting international businesses and creating employment opportunities.
- **Urban Development:** The success of the maritime sector has spurred overall economic growth, leading to urban development and improved living standards.

### *Case Study 2: Panama- Gateway to Commerce*

Panama, known for the Panama Canal, represents a compelling case study for showcasing the transformative impact of the maritime sector on poverty alleviation and socio-economic development. The Panama Canal, a crucial maritime passage connecting the Atlantic and Pacific Oceans, stands as a cornerstone of global trade, facilitating the movement of goods and vessels worldwide. The canal's strategic importance in international shipping not only generates substantial revenue for Panama but also plays a pivotal role in global trade dynamics. Panama's economy heavily relies on the maritime sector, extending beyond the Panama Canal. The country boasts a robust maritime industry involving port operations, shipping services, and maritime-related activities. Ports like Balboa and Cristóbal are essential nodes in global trade networks, contributing significantly to the country's economy and employment (International Monetary Fund. Western Hemisphere Dept., 2023).

The maritime industry in Panama creates jobs in port operations, logistics, ship registration, and related services, offering employment opportunities for local communities. The country's advantageous geographical location has made it a logistics and transportation hub, attracting international businesses and investment, further stimulating economic growth (CEPAL, 2014). Moreover, Panama has been investing in infrastructure development and expansion of its port facilities to accommodate larger vessels, enhancing its competitiveness in the global shipping industry. The country's commitment to modernizing and improving its maritime infrastructure underscores its role in bolstering trade and economic development. Additionally, Panama's efforts in promoting tourism related to its maritime assets, such as its beautiful coastal areas and marine attractions, contribute to local economies and job creation in the tourism sector (UNCTAD, 2023, s. 32-34).

By highlighting Panama's success in leveraging the maritime sector, especially the Panama Canal, for economic growth, employment generation, and infrastructure development, the case can showcase how a nation's strategic focus on maritime activities contributes significantly to poverty alleviation and overall socio-economic progress (Beaton & Hadzi-Vaskov, 2017). Positive outcomes (Sabonge, 2014):

- **Economic Growth and Employment Generation:** Panama's maritime sector, particularly the Panama Canal and its ports, serves as a catalyst for economic growth. The operation of the canal and associated maritime activities contribute substantially to the country's GDP. These activities create employment opportunities in port operations, logistics, shipping services, and tourism, providing livelihoods for local communities and contributing to overall job creation within the sector.
- **Infrastructure Development and Global Connectivity:** Investment in the modernization and expansion of port facilities and maritime infrastructure enhances Panama's competitiveness and connectivity in global trade networks. Upgrades in port facilities like Balboa and Cristóbal allow



Panama to accommodate larger vessels, boosting its efficiency in handling international trade, attracting more shipping traffic, and fostering better connectivity with global markets.

- Revenue Generation and Trade Facilitation: The Panama Canal serves as a critical artery for international trade, facilitating the transit of ships carrying goods between the Atlantic and Pacific Oceans. The revenue generated from canal tolls significantly contributes to the country's income.

### *Case Study 3: Bangladesh - Empowering Fishing Communities*

The maritime sector significantly impacts the international economy and plays a crucial role in poverty reduction within Bangladesh. In the nation's economy and trade landscape, ports wield substantial influence, emerging as key contributors to poverty alleviation. Approximately 30 million Bangladeshis directly rely on the maritime sector, particularly in commercial transportation and related industries, for their livelihoods (Askari, Bushra, & Hossain, 2021, s. 115). The maritime routes serve as vital conduits in the process of globalization, fostering opportunities that contribute to poverty reduction efforts. Particularly for Bangladesh, maritime transport stands as a cornerstone for socio-economic advancement. It offers an effective and efficient means of transport, enabling the movement of various goods in large quantities. Importantly, it presents a cost-effective option, crucial for marginalized communities, allowing for the transportation of goods at lower expenses compared to other available transport alternatives. By providing access to affordable transportation and trade routes, the maritime sector directly impacts poverty reduction, empowering communities by facilitating economic activities and access to markets, thus contributing significantly to uplifting livelihoods and socioeconomic prospects (Shamsuzzaman, Mozumder, Mitu, Ahamad, & Bhyuian, 2020).

Ports serve as fundamental drivers of national economic development, crucial in keeping stride with the demands of a modern, globalized world. Their sustainable development stands as a prerequisite for overall progress. In the context of Bangladesh's heavy reliance on international trade, ports play a pivotal role in its economic landscape. There's a pressing need to concentrate efforts on not only optimizing the current port capacities but also advancing towards the establishment of deep-sea ports equipped with cutting-edge technological facilities and enhanced handling equipment. Notably, significant developmental projects are underway in Sonadia, Matarbari, and Payra, underscoring the nation's commitment to fortify its port infrastructure. Adapting to the demands of modern industries and globalization necessitates a strategic emphasis on port advancements, ensuring Bangladesh remains competitive and responsive to the evolving global trade landscape (Askari, Bushra, & Hossain, 2021, s. 116). Bangladesh's emphasis on the fishing sector within the maritime industry has played a crucial role in poverty reduction, particularly in coastal communities. Positive Outcomes (International Monetary Fund. Asia and Pacific Dept., 2013):

- Livelihood Diversification: Fishing communities have diversified their sources of income, reducing vulnerability to economic shocks.
- Infrastructure Development: Investments in the fishing industry have led to improved infrastructure in coastal areas, benefiting both the industry and local communities.
- Community Empowerment: The empowerment of local fishing communities has translated into better education and healthcare outcomes, breaking the cycle of poverty.

### *Case Study 4: Indonesia - Harnessing Maritime Resources for Development*

Indonesia stands as the world's largest recipient of official development assistance (ODA) for the ocean economy, having received an average of USD 302.5 million annually during the 2013-18 period.

Remarkably, this constitutes 10.7% of the country's total ODA, surpassing the share allocated to other coastal and island nations (1.9%) and regional peers (6.5%). Development partners have been pivotal in supporting Indonesia's shift toward a sustainable ocean economy, focusing notably on specific areas such as curbing ocean pollution originating from land, fostering green shipping and enhancing ports, and promoting ocean conservation initiatives. In the context of poverty reduction in Indonesia, ports emerge as transformative instruments for socioeconomic advancement. The strategic allocation of ODA towards green shipping and port development can significantly impact poverty alleviation. Upgrading ports not only enhances trade opportunities but also creates employment, stimulating economic growth in coastal regions. By focusing on sustainable port development and fostering green shipping practices, Indonesia can empower local communities, providing better access to markets, improving livelihoods, and offering new avenues for economic prosperity, all crucial elements in the fight against poverty (OECD, 2021, s. 11).

Indonesia's vast maritime resources have been a key driver of economic development. The country's focus on sustainable fisheries and marine tourism has yielded positive outcomes. Positive Outcomes (World Bank, 2021):

- **Job Creation:** The maritime sector in Indonesia has created jobs, particularly in fisheries and tourism, contributing to poverty reduction.
- **Tourism Boost:** The development of marine tourism has attracted visitors, generating income for local communities and stimulating economic growth.
- **Environmental Conservation:** The emphasis on sustainable practices ensures the long-term viability of marine resources, benefiting both the environment and the economy.

#### *Case Study 5: Nigeria - Empowering Coastal Communities*

The Port of Lagos, Nigeria's largest port complex, has been a significant contributor to poverty reduction. Through its operations, it has created a multitude of jobs directly and indirectly linked to port activities. The employment opportunities at the Port of Lagos range from dockworkers, cargo handlers, administrative staff, to various skilled labor roles (UNCTAD, 2022).

The port's efficient operations have facilitated trade, contributing to economic growth and providing sustainable livelihoods for local communities. The positive outcomes derived from port employment in Nigeria exemplify how the maritime sector has successfully alleviated poverty by creating jobs, stimulating economic growth, and enhancing community well-being. Nigeria's extensive maritime wealth has served as a cornerstone for the nation's economic growth. With a substantial coastline and abundant marine resources, Nigeria has strategically capitalized on its maritime potential. The country's emphasis on developing sustainable practices within its fisheries and marine tourism sectors has been instrumental. Nigeria's commitment to these sectors has not only fostered economic prosperity but has also contributed positively to environmental conservation. This deliberate focus on harnessing the nation's maritime resources showcases its significant role in Nigeria's economic development and its potential for sustained growth (Onikosi-Alliyu, 2022). Positive Outcomes (Ugochukwu & Chijioke, 2015, s. 17-19):

- **Wealth Distribution:** The employment opportunities created in the maritime sector contribute to wealth distribution within communities. Employees in these sectors often support their families and contribute to local economies, thereby reducing poverty at a grassroots level.

- **Infrastructure Development:** Investments in port infrastructure and related facilities not only improve trade efficiency but also create additional economic opportunities. Upgrades in port infrastructure positively impact logistics, trade relationships, and the overall economy.
- **Skills Enhancement:** The focus on the maritime sector has led to skill development programs and capacity building. Training initiatives empower individuals with specialized skills, enhancing their employability within the sector and beyond.

## 4 Conclusions

In conclusion, the multifaceted maritime sector stands as a beacon of hope and opportunity in the global fight against poverty. Its expansive reach across shipping, shipbuilding, ports, fishing, offshore energy, and marine tourism forms the backbone of international trade, fostering connections between nations and enabling the movement of goods and people worldwide. These success stories from Singapore, Panama, Bangladesh, Indonesia, and Nigeria highlight the diverse ways in which maritime employment has transformed communities and alleviated poverty. These cases serve as valuable examples for other nations seeking to leverage their maritime potential for sustainable economic development and poverty reduction. Throughout the exploration of diverse case studies—from Singapore's strategic positioning as a global maritime hub to Panama's global trade practices, Bangladesh's empowerment of fishing communities, Indonesia's focus on harnessing maritime resources, and Nigeria's success in uplifting coastal communities—the transformative power of the maritime sector in alleviating poverty becomes unequivocally evident.

The success stories showcased a consistent pattern of positive outcomes. High-income jobs, economic diversification, infrastructure development, skill enhancement, and social welfare impacts emerged as common threads in these narratives. The emphasis on sustainable practices not only generated economic growth but also nurtured environmental conservation, contributing to long-term viability. By creating stable employment, fostering skill development, and facilitating income generation, the maritime sector has proven to be a formidable driver of poverty reduction. Furthermore, its role in promoting social inclusion, enhancing livelihoods, and spurring economic development in coastal regions underscores its potential as a catalyst for positive change on both local and global scales. As nations strategically leverage their maritime resources and invest in sustainable practices within this sector, they pave the way for lasting socio-economic advancements. The maritime sector's integration of economic, environmental, and social dimensions presents a comprehensive framework that holds promise for uplifting societies, fostering sustainability, and steering regions towards a prosperous future.

In embracing the transformative potential of the maritime sector, governments, international organizations, and stakeholders must continue to collaborate, innovate, and invest in initiatives that prioritize inclusive growth, environmental stewardship, and socio-economic progress. Through concerted efforts and strategic investments, the maritime sector can continue to chart pathways out of poverty, driving progress and prosperity for generations to come.

## 5 Declarations

### 5.1 Founding Source

There is no founding source in this study.

## 5.2 Competing Interest

There is no conflict of interest in this study.

## References

- Askari, H. R., Bushra, R. T., & Hossain, M. N. (2021). The Maritime Sector in the Economic Development of Bangladesh. *Bangladesh Maritime Journal*, 5(1), 111-126.
- Bari, A. (2017). Our Oceans And The Blue Economy: Opportunities And Challenges. *Procedia Engineering*, 5-11.
- Beaton, K., & Hadzi-Vaskov, M. (2017). Panama's Growth Prospects: Determinants and Sectoral Perspectives. *IMF Working Papers*.
- CEPAL. (2014). *The Panama Canal Turns 100: History and Possible Future Scenarios*. United Nations, ECLAT.
- International Monetary Fund. Asia and Pacific Dept. (2013). *Bangladesh: Poverty Reduction Strategy Paper*. IMF Staff Country Reports.
- International Monetary Fund. Western Hemisphere Dept. (2023). *Panama's Growth Story*. IMF Staff Country Reports.
- International Trade Administration. (2022, September 12). *Norway - Country Commercial Guide*. Retrieved from Norway - Shipping, Maritime Equipment & Services: <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/norway-shipping-maritime-equipment-services>
- MINDEF Singapore. (2018, April 19). *Fact Sheet: Safeguarding Singapore's Maritime Trade and Industry*. Retrieved from [https://www.mindef.gov.sg/web/portal/mindef/news-and-events/latest-releases/article-detail/2018/april/19apr18\\_fs/](https://www.mindef.gov.sg/web/portal/mindef/news-and-events/latest-releases/article-detail/2018/april/19apr18_fs/)
- MOE Singapore. (2023, April 14). *Maritime*. Retrieved from Ministry of Education: <https://www.moe.gov.sg/sgis/sponsoring-organisations/industries/maritime#:~:text=It%20is%20the%20focal%20point,million%20TEU%20handled%20in%202022.>
- MPA Singapore. (2023, November 10). *Global Connectivity*. Retrieved from <https://www.mpa.gov.sg/regulations-advisory/maritime-singapore/what-maritime-singapore-offers/global-hub-port#:~:text=It%20is%20the%20focal%20point,million%20TEU%20handled%20in%202022.>
- Munim, Z., & Schramm, H. J. (2018). The Impacts of Port Infrastructure and Logistics Performance on Economic Growth: The Mediating Role of Seaborne Trade. *Journal of Shipping and Trade* volume, 3(1).
- OECD. (2020). *Environment at a Glance 2020*. Paris: OECD Publishing.
- OECD. (2021). *Sustainable Ocean Economy Country Diagnostics of Indonesia*. DCD(2021)5.
- OECD/ILO. (2017). *Engaging Employers in Apprenticeship Opportunities*. Paris: OECD Publishing.
- Onikosi-Alliyu, S. O. (2022). Impact Of Seaport On Economic Growth In Nigeria. *KASU Journal Of Economics And Department Studies (KJEDS)*, 9(1), 139-156.
- Sabonge, R. (2014). *The Panama Canal Expansion: A Driver of Change for Global Trade Flows*. ECLAC.
- Shamsuzzaman, M., Mozumder, M. M., Mitu, S. J., Ahamad, A. F., & Bhyuian, S. (2020). The Economic Contribution of Fish and Fish Trade in Bangladesh. *Aquaculture and Fisheries*, 5(4), 174-181.
- Ugochukwu, O. A., & Chijioke, J. E. (2015). *Binding Constraints to Inclusive and Job-Rich Growth In Nigeria: A Review of Macro and Sector Policies and Strategies*. International Labour Organization.
- UNCTAD. (2018). *Review Of Maritime Transport*. New York and Geneva: United Nations .
- UNCTAD. (2021). *Review of Maritime Transport 2021*. New York and Geneva: United Nations.
- UNCTAD. (2022). *PART III - Case Studies, Good Practices and Lessons Learned - Case Study 13: Port of Lagos, Nigeria. In Building Capacity to Manage Risks and Enhance Resilience*. Geneva: United Nations Conference on Trade and Development.
- UNCTAD. (2022). *Review of Maritime Transport 2022: Navigating Stormy Waters*. Geneva: United Nations.
- UNCTAD. (2023). *Review of Maritime Transport 2023: Towards a Green and Just Transition*. Geneva: United Nations.
- World Bank. (2021). *Oceans for Prosperity: Reforms for a Blue Economy in Indonesia*. Washington, D.C.: The World Bank.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).