



VIII. Ulaştırma ve Lojistik Ulusal Kongresi

13-14 Aralık 2024 | Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

<https://www.ulk.ist/>



Denizcilik Endüstrisinin Sürdürülebilirlik ve Yeşil Dönüşüm Potansiyeli

Özet

Ural Berk Taşdelen

Yüksek Lisans Öğrencisi,

İstanbul Teknik Üniversitesi

tasdelen22@itu.edu.tr

Zuhal Er

Prof. Dr.,

İstanbul Teknik Üniversitesi

erzuh@itu.edu.tr

Bu çalışma, elektrikli deniz araçlarının gelecekteki potansiyelini incelemekte ve bu teknolojinin benimsenmesindeki anahtar faktörleri ele almaktadır. Elektrikli gemi (EG) veya elektrikli deniz aracı (EDA) teknolojisinin çevresel avantajlarını vurgulayan çalışma, bu teknolojinin yaygın kullanımında düzenleyici çerçevenin, standartların, teşviklerin ve küresel iş birliğinin rolünü ve karşılaşılan zorlukları, ankete dayalı veriler ve algısal değerlendirmeler için oldukça etkili bir araç olan SPSS ile analiz etmektedir. Ayrıca, EG yatırımlarının teşvik edilmesi, ekonomik avantajlar ve gelecekteki potansiyel tartışılmakta olup, denizcilik endüstrisinin sürdürülebilir ve yeşil bir dönüşüme nasıl öncülük edebileceği üzerinde durulmaktadır. Bu bildiri, literatür taraması ve sektör raporlarının analizi temelinde oluşturulmuştur. EG teknolojisinin mevcut durumu, dünya genelindeki düzenleyici standartlar, yatırımları teşvik eden politikalar ve küresel iş birliği üzerine birçok kaynak incelenmiştir. Ek olarak, sektör uzmanlarıyla yapılan görüşmeler ve teknolojinin mevcut durumuna ilişkin istatistiksel veriler ve denizcilik sektöründe çalışan profesyonellere (örneğin, deniz mühendisi, stratejik satınalma yöneticisi, çevre mühendisi vb.) Likert ölçeğine dayalı anket uygulanmıştır. Sorular, her faktör için 1'den (Hiç Katılmıyorum) 5'e (Tamamen Katılıyorum) kadar bir ölçek üzerinden yanıtlanmıştır. Tüm bu yöntemler metodolojinin bir parçasını oluşturmuştur. Elektrikli deniz araçlarının güvenlik, maliyet, bakım tutum ve operasyonel kısıtlamaları gibi yönleri de ele alınarak bir tabloda sergilenmiştir. Çalışmanın bulguları göstermiştir ki, katılımcıların büyük çoğunluğu (ortalama = 4.3, sd = 0.7) EG teknolojisinin çevresel faydalarını güçlü bir şekilde desteklemektedir. EG teknolojisinin yaygınlaşabilmesi için düzenleyici çerçevelerin güçlendirilmesi, standartların oluşturulması ve dünya genelinde iş birliğinin artırılması gerekmektedir. Hükümet teşvikleri, vergi avantajları ve finansal destek mekanizmaları gibi teşviklerin, sektör oyuncularını



elektrikli gemi teknolojilerine yönlendirme üzerinde belirgin bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir ($\beta = 0.45$). Ayrıca, enerji depolama sistemlerindeki ilerlemeler, elektrikli gemi altyapısının genişletilmesi ve düzenleyici çerçevenin güçlendirilmesi gibi faktörler, elektrikli gemi endüstrisinin geleceğini şekillendirecektir. Katılımcıların 'i, EG teknolojisinin yaygınlaşması için küresel iş birliğinin kritik olduğunu belirtmiştir. Bu bulgular, denizcilik endüstrisinin çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için EG teknolojilerinin benimsenmesi sürecinde alınacak önlemler ve stratejiler için bir temel oluşturabilir. Anahtar Kelimeler: Elektrikli Deniz Aracı, Elektrikli Gemi, Elektrik itki, Elektrik tahrikli sevk, Deniz Mühendisliği, Gemi İnşa Regülasyonları, Sürdürülebilirlik, Yeşil Taşıma, Yeşil Ulaşım, Bataryalı platformlar, Elektrikli Deniz Aracı Regülasyonları

Anahtar Kelimeler:

Elektrikli Deniz Aracı, Elektrikli Gemi, Elektrik itki, Elektrik tahrikli sevk, Deniz Mühendisliği, Gemi İnşa Regülasyonları, Sürdürülebilirlik, Yeşil Taşıma, Yeşil Ulaşım, Bataryalı platformlar, Elektrikli Deniz Aracı Regülasyonları

Potential for Sustainability and Green Transformation in the Maritime Industry

Abstract

This study examines the future potential of electric maritime vehicles and addresses key factors in the adoption of this technology. Emphasizing the environmental advantages of electric ship (ES) or electric maritime vehicle (EMV) technologies, the study analyzes the role of regulatory frameworks, standards, incentives, and global collaboration in promoting widespread adoption, using SPSS as a highly effective tool for survey-based data and perceptual evaluations. Additionally, the study discusses the economic benefits, potential future impact, and how the maritime industry might lead a sustainable and green transformation by encouraging ES investments. This paper is based on a literature review and an analysis of sectoral reports. Numerous sources were examined regarding the current state of ES technology, regulatory standards worldwide, policies promoting investment, and global collaboration. Furthermore, interviews with industry experts and statistical data on the technology's current state were gathered, alongside a Likert scale-based survey administered to professionals in the maritime sector (e.g., marine engineers, strategic procurement managers, environmental engineers). The survey responses were measured on a scale of 1 (Strongly Disagree) to 5 (Strongly Agree) for each



factor. All these methods comprised the study's methodology. Various aspects of electric maritime vehicles, such as safety, costs, maintenance, and operational constraints, were presented in a tabulated format. The study's findings revealed that a large majority of participants (mean = 4.3, sd = 0.7) strongly support the environmental benefits of ES technology. The findings indicate the necessity of strengthening regulatory frameworks, establishing standards, and enhancing global collaboration to enable the widespread adoption of ES technology. It was observed that incentives, such as government subsidies, tax advantages, and financial support mechanisms, have a significant impact on guiding sector players toward electric ship technologies ($\beta = 0.45$). Moreover, advancements in energy storage systems, expansion of electric ship infrastructure, and reinforcement of the regulatory framework will shape the future of the electric ship industry. A total of 78% of participants emphasized the critical importance of global collaboration for the widespread adoption of ES technology. These findings could serve as a foundation for measures and strategies in the process of adopting ES technologies, aiding the maritime industry in achieving environmental sustainability goals.

Keywords:

Electric Vessel, Electric Propulsion, Marine Engineering, Shipbuilding Regulations, Sustainability, Greenshipping, Battery powered vessel, EV Regulations

1. Giriş

Denizcilik endüstrisi, insan medeniyetinde hayati bir rol oynamaktadır. Tarih boyunca, ticaret, ulaşım, kıyı devletlerinin güvenlik anlayışları, lojistik ve balıkçılık, medeniyetler için ya başarının ya da gerilemenin bir unsuru olmuştur. Teknolojik ilerlemeler, endüstriyi daha iyi bir sorun çözücü olmaya zorlamıştır; ancak görüldüğü üzere, bir denklemin her iki tarafının da dengelenmesi gerekmektedir. Bu teori ışığında, istenmeyen iklim değişiklikleri gözlemlenmekte, tabiat ve canlılar yapıları itibarıyla bu duruma uyum sağlamaya çalışmaktadır. Küresel ısınma her geçen gün daha önemli bir sorun haline gelirken, buna sebep olan nedenler çevreye duyarlı kuruluşlar tarafından vurgulanmaktadır. Hükümetler ve Birleşmiş Milletler organları önleyici tedbirler almak için görüşmeler yapmaktadırlar. Endüstri kolları, küresel ısınmanın etkilerini en aza indirmek için çevresel açıdan daha sorumlu olma adımları atarken uluslararası ve ulusal düzenlemeleri uygulamaya odaklanmaktadır. Temel olarak, sera gazı (GHG) emisyonları, ısıyı hapsederek ve atmosferin kendine özgü yapısına zarar vererek, daha sıcak bir atmosferin başlıca nedenlerinden biridir. Alternatif yakıtlar ve gelişmiş verimlilik yöntemleri, sürdürülebilir ve yeşil bir dönüşüm için ana enstrümanlardır.

2015 yılında gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamındaki 21. Taraflar Konferansı'nda (COP21), gelişmekte olan ülkeler de dahil olmak üzere 196 taraf devletten temsilciler, küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 2°C altında tutma ve artışı 1,5°C ile sınırlama hedefi konusunda fikir birliğine varmıştır. Paris Anlaşması olarak adlandırılan bu mutabakat, 2020'de sona ermesi planlanan Kyoto Protokolü'nün yerini alması amacıyla tasarlanmıştır. Anlaşma, ülkeleri gönüllü sera gazı (GHG) azaltım hedefleri sunmaya davet etmekte ve İklim Değişikliği Sözleşmesi'nin resmi çerçevesinin ötesindeki çabaları teşvik etmektedir. Ayrıca, Uluslararası Denizcilik Örgütü'nden (IMO) deniz taşımacılığı endüstrisi için uluslararası standartlar geliştirmesi talep edilmiştir [1].

Yeşil dönüşüm süreci, verimli yakıt geliştirilmesini de gerektirmektedir. Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesine İlişkin Uluslararası Sözleşme'nin Ek VI'sı, aynı zamanda Deniz Kirliliği Sözleşmesi (MARPOL) olarak tanımlanmıştır ve



gemi emisyonlarının hava kalitesi üzerindeki zararlı etkilerini hafifletmek amacıyla 1973 Konvansiyonu ile kabul edilmiş ve 1978 Protokolü ile değiştirilmiştir [2]. 19 Mayıs 2005'te yürürlüğe giren bazı düzenlemeler, deniz motorlarından yayılan azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x) ve partikül madde (PM) emisyonlarını azaltmayı hedeflemektedir.

Kükürt Emisyon Kontrol Alanları (Sulphur Emission Control Areas - SECA), MARPOL Ek VI'nın 14. Maddesi'nde belirtilen hükümler doğrultusunda oluşturulmuştur. Belirlenen SECA'lar arasında Baltık Denizi bölgesi, Kuzey Denizi bölgesi, Kuzey Amerika bölgesi (Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'nın kıyı kesimlerini kapsayan), Amerika Birleşik Devletleri Karayip Denizi bölgeleri (Porto Riko ve Amerika Birleşik Devletleri Virgin Adaları dahil) yer almaktadır. Bu düzenlemeler, SECA'larda 2015 yılı itibarıyla deniz yakıtlarındaki kükürt içeriğinin kütlece %0,1 ile sınırlandırılmasını ve 2020 itibarıyla küresel olarak %0,5'e düşürülmesini zorunlu kılmaktadır [3].

Kükürt oksitler (SO_x) ve partikül madde (PM) emisyonlarını azaltmak için, deniz yakıtlarında kükürt içeriğinin düşürülmesi hayati öneme sahiptir, çünkü yüksek kükürt seviyeleri bu emisyonları önemli ölçüde artırmaktadır. İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan SO_x emisyonları, partikül maddenin ana bileşeni olan sülfat aerosollerinin veya kükürt içeren partiküllerin oluşumuna katkıda bulunur. Ayrıca, SO_x emisyonları, daha büyük partiküllere yapışabilecek küçük partiküllerin nükleasyon modunda yoğunlaşmasına neden olarak bileşik partiküllerin oluşumuna yol açabilir. Bu ikincil sülfat partikülleri, kara bazlı hava kirliliğini önemli ölçüde artırır ve aynı zamanda deniz aerosollerinin bütçesinde de önemli bir role sahiptir. Bu bağlamda, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), doğrudan PM emisyonlarını sınırlamak yerine yakıtlardaki kükürt içeriğini düzenlemeye odaklanmaktadır, bu da PM oluşumunun kükürtle ilgili kısmını kontrol etmektedir. Düşük kükürtlü fuel oil kullanımına alternatif olarak, ıslak ve kuru SO_x yıkayıcıları gibi onaylı emisyon azaltma teknolojilerinin daha yaygın hale gelmesi beklenmektedir. Ancak, yıkayıcı sistemlerin SO_x emisyonlarını azaltmada etkili olmasına rağmen, kullanımları karbondioksit (CO₂) emisyonlarının artmasına yol açabileceğine ilişkin bulgular mevcuttur [4].

Avrupa Direktifi 2005/33/EC, Avrupa limanlarında demirleyen veya demir atan tüm gemilerin kütlece %0,1'den az kükürt içeren fuel oil kullanmasını zorunlu kılmaktadır [5]. Kaliforniya Eyaleti, kıyı bölgelerinde faaliyet gösteren okyanus aşan gemiler için daha temiz deniz yakıtlarının kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Özellikle, "Kaliforniya Suları İçinde ve Kaliforniya Ana Hattından 24 Deniz Mili İçinde Okyanus Aşan Gemiler İçin Yakıt Kükürt ve Diğer Operasyonel Gereklilikler" başlıklı düzenleme, 24 Temmuz 2008'de kabul edilmiş ve Temmuz 2009'dan itibaren uygulanmaya başlanmıştır [6]. Bu yerel ve büyük ölçekli önlemler, kamu sağlığını korumayı da amaçlamaktadır. Örneğin, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), 2012 yılında dizel motor egzoz emisyonlarını asbestle aynı kategoride yer alan kanserojen bir madde olarak sınıflandırmıştır. İnce partikül madde emisyonları ile kardiyovasküler ve solunum sorunlarına bağlı ölüm oranlarının artışı arasında bir bağlantı olduğu anlaşılmaktadır [7]. Düşük kükürtlü deniz yakıtları yaklaşık 250.000 ölüm vakasına ve 6,4 milyon çocuk astım vakasına neden olacak şekilde ölümlere ilişkin olumsuz katkıda bulunmaktadır [8].

Alternatif yakıtlar ve enerji seçenekleri, emisyonlar açısından daha sağlıklı çözümler sunmaktadır. Biyodesülfürizasyon, dibenzotiyofenleri tüketen bakterileri kullanarak biyoyakıt üretmenin bir yöntemidir [9]. Ayrıca, lastik yağı, bu hassas emisyon sorununa alışılmadık bir çözüm olarak sunulmaktadır. Lastik yağı, ömrünü tamamlamış lastiklerden üretilmekte olup, farklı oranlarda dizel yakıt ile karıştırılabilmektedir. Lastik yağı karışımları, PM ve SO_x oranlarını azaltmış, ancak CO emisyonlarında hafif bir artış gözlemlenmiştir [10].

Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG), denizcilikte alanının geleceğinde yüksek potansiyele sahip bir yakıt olarak öne çıkmakla birlikte, doğası gereği sıvı petrol bazlı yakıtlara kıyasla yakıt ikmali sorunları yaratmaktadır. LNG depolama tanklarının, gazın -163°C'de sıvı formunu koruması gerektiğinden dikkatle izlenmesi ve muamele edilmesi gerekmektedir. LNG tankerleri, dökme yük gemileri ve konteyner gemilerinden farklı olarak, LNG yakıtını kullanma konusunda daha iyi bir fırsata sahiptir. Kaynama gazı (BOG) nedeniyle, bazı LNG tankerleri ana tanktan gaz salarak ısıyı azaltmakta ve azalan miktarı itici yakıt olarak kullanmaktadır. LNG ve diğer yakıtların (MDO, MFO) karma kullanımı, emisyonların azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Alternatif yakıtlar, küresel CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Umut vadeden seçeneklerden biri hidrojenidir; ancak yüksek maliyeti ve sıkıştırma ile sıvılaştırma için gereken enerji ihtiyaçları nedeniyle hidrojenin ulaşım sektöründe birincil enerji taşıyıcısı olup olmayacağı belirsizliğini korumaktadır [11].

Amonyak, karbon içermeyen kimyasal yapısıyla gelecek için potansiyel bir yakıt adayıdır. Öte yandan, toksik yapısı, yaygın



kullanımına ilişkin soru işaretleri yaratmaktadır. Amonyak, LNG ile aynı grupta sınıflandırılmıştır, ancak ek yan etkileri de bulunmaktadır [11,12].

Tablo 1’de dört yakıt kaynağı kıyaslanmıştır. Görüldüğü gibi her yakıtın kendi avantajları ve dezavantajları vardır; bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları ve bunların denizcilik endüstrisinin yeşil dönüşümü için tahrik gücü kaynağı olarak kullanımı tartışılmalıdır.

Tablo 1. Temel çevresel kriterlere dayalı olarak fosil yakıtlar sonrası yakıtların ve fosil HFO'nun karşılaştırılması [13]

Kriter	Amonyum	Hidrojen	Metanol	HFO
Sera gazı düşürme potansiyeli	4*	5	5**	1
Hava Kirliliği	3	5	4	1
Su Kirliliği	2	5	5	1
İnsan sağlığına tesir	2	5	3	3
Yanıcılık	2	1	2	5
Patlama Riski	4	2	5	5

Not: Derece: 1= yüksek risk/ düşük performans, 5=düşük risk/ yüksek performans, *uncertainty about N₂O emisyonlarında belirsizlik **well-to-wake(üretimden son kullanıcıya kadar olan süreç)

Batarya teknolojisi son yıllarda önemli ilerlemeler kaydetmiş olup enerji depolama kapasitesinde büyük artışlar gerçekleşmiştir. Günümüzde lityum-iyon piller en yaygın kullanılan batarya türüdür. 2023 yılı itibarıyla, dünya çapında lityum-iyon pil üretim kapasitesi yaklaşık 600 gigawatt-saat (GWh) seviyesine ulaşarak 2010 yılına kıyasla %1000’den fazla bir artışı temsil etmektedir.

Lityum-iyon pillerin enerji yoğunluğu son on yılda iki katına çıkarak kilogram başına 250 watt-saat (Wh/kg) seviyesine ulaşmıştır. Bu gelişme, elektrikli araçların menzilinı artırmak ve enerji depolama çözümlerinin verimliliğini yükseltmek açısından büyük önem taşımaktadır. Örneğin, 2010 yılında tipik bir elektrikli aracın menzili yaklaşık 150 kilometre iken, 2023 yılı itibarıyla bu menzil 500 kilometreye ulaşmıştır.

Batarya teknolojisindeki ilerlemeler sadece enerji yoğunluğu ile sınırlı kalmamış, aynı zamanda şarj döngü sayısında da önemli iyileşmeler sağlanmıştır. Ortalama bir lityum-iyon pilin ömrü, 1000 şarj döngüsünden 3000 şarj döngüsüne yükselmiştir. Bu da bataryaların ömrünü uzatarak tüketici maliyetlerini düşürmekte ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır.

Mali boyutta ise lityum-iyon piller son otuz yılda önemli gelişmeler göstermiştir. 1990’ların başında bir evi bir gün boyunca enerjiyle beslemek için gereken depolama kapasitesi yaklaşık 75.000 dolara mal olmaktadır. Pillerin kendisi 110-120 kilogram ağırlığında ve bir varilin yarısı kadar hacim işgal etmekteydi. Bugün, aynı miktarda enerji 40 kilogram ağırlığında ve iki ayakkabı kutusu büyüklüğünde bir paketle 2000 dolardan daha düşük bir maliyetle sağlanabilmektedir. Bu teknolojik ilerleme, denizcilik endüstrisinin karbon emisyonlarını azaltması açısından kritik öneme sahiptir. Lityum-iyon pillerin üretim maliyetlerinde de büyük bir ilerleme kaydedilmiştir. 1 kilowatt enerjiyi depolamak için gereken pil paketi maliyeti 2023 yılında 130-140 dolarken, bu maliyet otuz yıl önce 790 dolara denk gelmektedir. Ayrıca, yukarıda bahsedildiği gibi enerji yoğunluğunun ve şarj döngüsünün iyileştirilmesi, bakım maliyetlerini de etkilemektedir. Birçok liman, elektrikli ekipman kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla enerji verimliliğini artırmaktadır. Rotterdam Limanı, 2023 yılı itibarıyla enerji ihtiyacının %20’sini yenilenebilir kaynaklardan karşılamıştır.

Yeni nesil piller üzerine yapılan araştırmalar umut verici sonuçlar vermektedir. Katı pillerin enerji yoğunluğunu 500 Wh/kg’a çıkarma potansiyeli bulunmaktadır ve 2030 yılına kadar ticari olarak yaygın hale gelmesi beklenmektedir. Bu tür piller, yangın riskini ve çevresel etkileri en aza indirerek güvenlik ve sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Sonuç olarak, batarya teknolojisi alanındaki istatistiksel gelişmeler, enerji depolama kapasitesini ve güvenliği artırırken maliyetleri düşürmekte ve elektrikli araçlar ile yenilenebilir enerji sistemleri gibi alanlarda daha geniş bir uygulama alanı sağlamaktadır.



2. Literatür Taraması

Wu, F. ve diğerlerinin çalışması, teknolojik inovasyonun yeşil kalkınma ve deniz ekonomisini nasıl iyileştirdiğine odaklanmaktadır [14]. Bu çalışma, deniz bilimi ve teknolojik yeniliklerin deniz ekonomisini nasıl etkilediğini ampirik olarak araştırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada, dışa açılma, devlet yatırımı, finansal gelişme, insan kaynakları ve teknoloji yatırımı olmak üzere beş faktörün etkisini hesaplamak için bir eşik panel modeli kullanılmaktadır. Dışa açılma (OPEN), belirli bölgelerin ithalat ve ihracat hacimlerinin Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) içindeki toplam oranı ile ölçülerek bölgesel dışa açılmayı değerlendiren bir kontrol değişkeni olarak tanımlanırken diğer faktörler farklı şekilde hesaplanmaktadır. Model aracılığıyla farklı bölgeler incelenmiş ve sonunda ana faktörler sentezlenmiştir. Çin'in on bir kıyı bölgesi 2008'den 2017'ye kadar ampirik olarak test edilmiştir. Yeşil deniz ekonomisi modelini teşvik eden en önemli faktörler olarak devlet yatırımı ile deniz bilimsel ve teknolojik yenilikler ölçülmüştür. Buna karşılık, insan kaynakları en zayıf faktör olarak bulunmuştur [14]. Bu, Çin ekonomisinin denizcilik alanında bilim ve teknolojiye bağlı olduğunu ve bu faktörlerin geleneksel işgücünü yeniden yapılandırıldığını göstermektedir.

Melin H. ve diğerlerinin çalışması, AB'de kabul edilen yeni düzenlemeler üzerine odaklanarak, ana batarya üreticilerinin piyasa konumlarını artı ve eksileriyle analiz etmeyi amaçlamaktadır. Batarya yaşam döngüsü, üretim, işletme ve kullanım sonrası dönemleri nedeniyle hassas ve kritik bir konudur. Batarya yaşam döngüsünün sonu için çevresel ve ekonomik alt başlıklar dikkate alınmalıdır. Avrupa Birliği, daha sürdürülebilir bir batarya yaşam döngüsü sağlamak amacıyla yeni bir düzenleme taslağı hazırlamıştır. 28 Temmuz 2023'te AB komisyonu tarafından yayımlanan yeni AB Batarya Yönetmeliği (2023/1542), 17 Ağustos 2023'te yürürlüğe girmiş ve 2006'dan beri yürürlükte olan eski versiyonun (2006/66/EC) yerini almıştır. Küresel ölçekte, lityum iyon bataryaların (LIB) piyasaya sürülmesi 2011-2021 arasında on kat artmıştır [15].

Yeni AB batarya yönetmeliği, batarya yaşam döngüsü boyunca şeffaflığı ve izlenebilirliği artırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, batarya sistemi 2 kWh kapasiteden fazla ise üçüncü taraf katılımı gerekmektedir. Düzenlemedeki yeni bir madde, bataryaların çevresel etkisini azaltmak için karbon ayak izi beyanı zorunluluğudur. LIB üretim süreci, lityum, kobalt, manganez, nikel ve grafit gibi kritik malzemeler talep etmektedir ve bu kilit malzemelerin döngüsellığı hem ekonomik hem de sürdürülebilir ölçekte önemli bir rol oynamaktadır.

Dünyanın başlıca büyük ölçekli batarya üreticisi aktörleri Çin, AB ve ABD olarak tanımlanabilir. LIB pazarı büyük ölçüde Çinli şirketler tarafından kontrol edilmektedir ve bu şirketler tedarik zincirinin üçte ikisinden fazlasını elinde tutmaktadır. Sektörün hakimiyeti Çin'e aittir, ancak Avrupa Birliği konumunu koruma ve artırma amacındadır. Çin ve AB politikaları, uyum sağlayan şirketlere önemli rekabet avantajları sağlayan önlemleri içermektedir ve geri dönüşümcüler için zorunlu geri kazanım oranları bunun dikkat çeken bir örneğidir. AB'ye kıyasla, Çin daha doğrudan bir etki uygulamakta ve bu, malzeme arıtımı, batarya malzemeleri ve hücre üretimi konusundaki hakimiyetinin yanı sıra daha olgun bir geri dönüşüm altyapısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Politika alanında, ABD hem AB'ye hem de Çin'e göre daha geride kalmakta, üretici sorumluluğunu genişletmeyi veya döngüsel ekonomi ilkelerini teşvik etmeyi hedefleyen kapsamlı düzenlemeleri hayata geçirememiştir. ABD'nin çabaları büyük ölçüde bataryaların tehlikeli atık olarak sınıflandırılmasını ve bunların çöplüklere ya da yakma tesislerine gitmesini önlemekle sınırlı kalmıştır.

Yeni düzenleme, Avrupa elektrikli araç (EV) üreticilerinin ABD'deki meslektaşlarına göre ve büyük oranda düzenlenmekte olan Çin pazarındaki oyunculara kıyasla batarya tedarikinde daha büyük kısıtlamalarla karşılaşacaklarını göstermektedir. Çin'deki LIB pazar payı çok daha büyüktür ve oyuncuları daha geliştirmiştir [15].

Sonuç olarak, Çin batarya endüstrisinin, önceden var olan düzenlemeler, sağlam altyapı ve sektör hakimiyeti gibi önemli avantajları olduğu tespit edilmektedir. AB, EV pazarındaki hızla ve yaşam döngüsü operasyonlarıyla başa çıkmak için önleyici ve ilerici adımlar atmaktadır. ABD'nin ciddi bir EV pazarı olduğu ve Tesla gibi sektör lideri şirketlere sahip olduğu düşünülse de, bu alanda önemli adımlar atması gerekmektedir.

Bir aracın batarya elektrikli ya da bazı durumlarda elektrikli olarak adlandırılması yaygın bir hale gelmiştir. Batarya elektrikli gemi, araç, otobüs, bisiklet karşılaşılan bazı tanımlamalardır ve insanlar hangi tür aracın konuşulduğunu duymaya ve bilmeye alışkın hale gelmiştir. Li, W. ve diğerleri, pratik bir batarya değiştirme modeli çalışması ile planlanan batarya elektrikli otobüs (battery electric bus) üzerine bir toplu taşıma modeli incelemiştir. Bu çalışmayla petrol bağımlılığı ve sera gazı emisyonlarının azaltılması beklenmektedir. Bir araba sahibi bir şarj istasyonunda durup aracını şarj edebilirken, bir otobüs şoförünün bataryalarını tamamen tesiste değiştirmek (swapping) için sınırlı zamanı vardır.



Metodoloji tercihi olarak, Çin'deki altı otobüs hattı için sayısal simülasyon modellemesi kullanılmıştır. Verimliliği artırmak için otobüs bataryalarının sınırlı bir zaman diliminde değiştirileceği bir batarya değiştirme istasyonu (BSS) tasarlanmıştır. Batarya değiştirme istasyonu öncelikle batarya şarj sistemi, batarya değiştirme sistemi ve izleme sisteminden oluşmaktadır. Değiştirilen her batarya şarj yuvasına yerleştirilerek şarj edilir ve boşalmış bir bataryanın yerine geçer. Modelin tasarlanması için belirli kurallar belirlenmiştir; örneğin, bataryanın çalışabilir olup olmadığını belirlemek için şarj durumu (SOC) oranı kararları, terminal istasyonu ile BSS arasındaki mesafe, gereksiz seyahat süresini azaltmak için dikkate alınmıştır. Ayrıca, görev sonrası park etmek üzere tüm otobüs filosu için temel BSS tasarım parametreleri hesaplanmıştır. Batarya elektrikli otobüsün batarya kapasitesi 300 ila 500 Ah değerine sahip olduğunda tasarım ölçeği önemli ölçüde azalır. Eğer batarya kapasitesi 500 Ah değerinin üzerine çıkarsa, tasarlanan model gün boyunca bir değiştirme istasyonuna ihtiyaç duymayacak, yavaş şarj istasyonu iş günü sonunda otobüsleri şarj etmek için yeterli olacaktır [16].

Barrera-Cardenas, R. ve diğerlerinin çalışması, hibrit deniz gemilerinde Batarya Enerji Depolama Sistemleri'nin (Battery Energy Storage System-BESS) analitik bir tasarım metodolojisini incelemektedir. BESS performansını değerlendirmek için bir batarya dizisi, AC/DC güç dönüştürücüsü ve bir transformatör içeren hibrit bir deniz güç sistemi bağlamında yakıt tasarrufu potansiyeli, öngörülen ömür ve maliyet-fayda analizi gibi ölçütler kullanılmaktadır [17].

Giderek sıkılaştıran deniz araçları düzenlemeleri, yeni gemiler için Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi'nin uygulanması gibi, denizcilik endüstrisini emisyonları azaltmak amacıyla yeni çözümler benimsemeye zorlamaktadır. Hibrit Deniz Güç Sistemleri (Hybrid Marine Power Systems-HMPS) içinde Enerji Depolama Sistemleri (ESS) uygulamalarından biri, yedek güç sağlamak olduğundan, yüksek enerji yoğunluğu ve deşarj oranına sahip ESS teknolojisini gerektirmektedir.

Karayolu taşımacılığındaki gelişmeler, enerji depolama sistemlerini özellikle enerji yoğunluğu, batarya ömrü ve güvenlik açısından önemli ölçüde iyileştirmiştir. Ayrıca, bataryaların seri üretimi, maliyetlerin önemli ölçüde azalmasına yol açmıştır. Sonuç olarak, batarya enerji depolama sistemleri, hibrit deniz güç sistemleri için uygulanabilir bir alternatif sunmaktadır.

Hibrit Deniz Güç Sistemlerinde, Batarya Enerji Depolama Sistemlerinin (BESS) optimal boyutlandırılması için bir tasarım metodolojisi oluşturulmuştur. Bu metodoloji, farklı performans göstergeleri arasındaki dengeyi parametre taraması yoluyla incelemektedir. Özellikle, kıydan şarj yetenekleri olmayan, yerleşik dizel jeneratörlere ve BESS'e sahip bir hibrit deniz güç sistemi üzerinde uygulanmaktadır. Önerilen metodolojiyi görselleştirmek amacıyla iki senaryo ele alınmaktadır: Stratejik Yükleme (SL) ve Dönüşüm Yedeği (SR).

BESS topolojisi, bir batarya dizisi, bir AC/DC iki yönlü güç dönüştürücüsü ve bir hat trafosundan oluşmaktadır. Sistem, iki AC güç dağıtım barı, bir BESS ve dört aynı tipte dizel jeneratör içermektedir. Çoklu hedefli bir tasarım yaklaşımı benimsenerek, HMPS'nin performans göstergeleri, BESS içermeyen benzer bir deniz güç sistemi ile karşılaştırılmaktadır. Bu durum mevcut gemilere BESS entegrasyonunun potansiyel yararlarının analizine olanak tanımaktadır.

İki genel yük profili dikkate alınmıştır ve her biri farklı operasyonel yönleri ele almaktadır: Stratejik Yükleme (Strategic Loading-SL) ve Dönme Yedeği (Spinning Reserve-SR). SL senaryosundaki Enerji Yönetim Sistemi (Energy Management System-EMS), dizel jeneratörlerin operasyonel noktada optimize ederek yakıt tüketimini minimize etmek amacıyla BESS'i kullanmaktadır. Buna karşılık, SR senaryosu, acil durumlar sırasında BESS'i yedek güç kaynağı olarak kullanarak HMPS'nin optimum sayıda dizel jeneratör ile çalışmasına ve yedeklilik gereksinimlerini karşılamasına olanak tanımaktadır. SL ve SR modlarının birbirini dışladığı varsayılmaktadır.

En iyi durum senaryosunda, sistem yıllık 162 ton motorin (MDO) tasarrufu sağlamaktadır. Ancak, ksl değeri arttıkça, yakıt tasarrufu yıllık 130 tona düşmektedir. BESS'in nominal enerjisi 2 MWh ve nominal gücü 3 MW olarak boyutlandırılması durumunda, yıllık toplam yakıt tasarrufu 160 ton olarak elde edilebilmektedir; bu da tasarımın ötesinde yakıt tasarrufunda minimal ek faydalar olduğunu göstermektedir. Çalışma ayrıca, toplam yakıt tasarrufunun enerji kapasitesine (EBN) kıyasla güç derecelendirmesi (power rating- P_N) tarafından güçlü bir şekilde sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Optimal çözümler, BESS'in döngüye girmediği ve yalnızca takvimsel bozulmanın dikkate alındığı SR operasyonundaki önemli yakıt tasarrufları nedeniyle, bataryanın mevcut güç sınırına yakın bir konumda bulunmaktadır [17].

Allan, B.B. ve diğerleri, yeşil sanayi politikasını farklı perspektiflerden incelemiştir. İlk varsayım, bir amaç ve rekabet duygusunun oluşturulmasıdır; bu durum, küresel çevre politikalarına entegre edilmiştir. Birleşik Krallık, 2020 yılı itibarıyla yeşil dönüşüm için 12 milyar sterlin ayırmıştır. 2010-2020 yılları arasında Birleşik Krallık, karbon yoğunluğunu azaltmış ve



emisyonları kesme konusunda en üst sırada yer almıştır. Bu unvanın kazanılmasında açık deniz rüzgarı sanayisinin kritik bir rolü olmuştur. Yazar ayrıca, yeşil dönüşümün muhafazakâr bakanlar tarafından büyük ölçüde desteklendiğini vurgulamıştır. Amerika Birleşik Devletleri ve Çin de yeşil sanayi politikaları üzerinde önemli etkilere sahiptir. Çin, Birleşik Krallık'tan neredeyse yirmi yıl önce geçişine başlamış ve bu süreç, hükümet tarafından desteklenmiştir. Güney Kore, "yeşil yeni anlaşma" politikası başlatmış ve projeyi, iç hidrojen piyasasını da kapsayacak şekilde 60 milyar ABD doları ile desteklemiştir. Ayrıca, Avustralya, Endüstri Bakanlığı yol haritası aracılığıyla düşük emisyon teknolojisinin küresel lideri olarak kendine bir görev tanımlamıştır. Bu faaliyetler, karbon emisyonlarını azaltmayı ve devletlerin yerel yararları aracılığıyla tedarik zincirini yönlendirmeyi hedeflemektedir [18].

Bazı hükümetler, ekonomik eşitsizliği azaltmak ve küresel pazardaki paylarını artırmak, yerel halk için iyi iş fırsatları yaratmak ve iş gücü ile küresel sermaye arasındaki etkiyi dengelemek amacıyla yeşil dönüşümü teşvik etmektedir.

Ekonomik tartışmalarda, yeşil sanayi politikası, bir dizi piyasa başarısızlığına ve fırsatlara stratejik bir yanıt olarak çerçevelenmektedir. Bu politikanın merkezinde, yenilikten elde edilen getirilerin dağılık olması, oysa başarısızlık risklerinin önemli ölçüde devam etmesi sorunu bulunmaktadır.

Yeşil sanayi politikasının özünü anlamak için, bu politikanın yalnızca piyasa başarısızlıklarına reaktif bir önlem olarak değil, daha çok karmaşık bir küresel bağlama yerleştirilmiş stratejik bir yanıt olarak değerlendirilmesi gerekir. Bu çerçevede, devletler stratejik bağlamları içinde karşılaştıkları zorluklara yenilikçi bir şekilde yanıt vermeye çalışmaktadır. Yeşil sanayi politikaları, ulusal hedefler ve amaçlarla uyumlu, devlet destekli ekonomik müdahaleleri temsil etmektedir. Belirli araçların, emisyon azaltımı veya kirletici kontrolüne yönelik daha geniş çabalara kıyasla yeşil sanayi politikasıyla daha yaygın olarak ilişkilendirildiği gözlemlenmektedir. İklim politikası araçları, 1999'dan sonra önemli ölçüde artmıştır. Bu durum, yeni binyılın daha yeşil bir geçişin kapılarını açtığını göstermektedir.

Çin'in yeşil sanayi politikası, temiz enerji teknolojilerinin üretimi ve araştırma-geliştirme faaliyetlerinin genişlemesine olanak sağlamış, maliyetlerin düşmesine ve temiz enerji teknolojilerinin daha fazla kullanılmasının önünü açmıştır.

Çin'in yeşil sanayi politikası, küresel ölçekte önemli bir etki yaratmıştır. Diğer ülkelerin karbonsuzlaştırma süreçlerini daha ekonomik ve hızlı bir şekilde gerçekleştirmelerine olanak tanıyan maliyet düşüşleri açısından faydalar sağlamıştır. Temiz enerji yeniliklerinin politik ekonomisi, kazananlar ve kaybedenleri belirleme üzerine kuruludur ve geniş jeopolitik sonuçlar doğurmaktadır. Literatürdeki önemli bir gözlem, yeşil sanayi politikalarının yerel ve küresel faydalar arasında karmaşık etkileşimler yaratmasıdır.

SAMY, P. ve diğerleri, müşterilerin çevresel olarak duyarlı taşımacılığı tercih etme eğilimlerini öngörerek yeşil dönüşümün teşvik edilmesine yönelik bir cevap aramışlardır. 2018'de dünya çapındaki CO₂ emisyonları 37.1 milyar tona ulaşmış ve taşımacılık bu konuda önemli bir rol oynamıştır. Daha dar bir kapsamda incelendiğinde, Malezya'nın toplam CO₂ emisyonlarının %17'si kamu ve özel taşımacılıktan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, Malezya'da daha sürdürülebilir ulaşım davranışları ile yeşil tüketimin artırılması hedeflenmektedir. Katılımcıların yaklaşımı, kesişim anket yöntemiyle analiz edilmiştir. Tutum, bir tüketicinin yeşil toplu taşımayı benimseme niyetini etkileyen ana belirleyicidir ve öznel norm, başkalarının görüşlerinin etkisini yansıtmaktadır. Daha yüksek fiyatlar, tüketicilerin yeşil toplu taşımayı kullanma istekliliğini olumsuz yönde etkilemiştir. Optimum örneklem büyüklüğünü belirlemek için G*Power yazılımı kullanılmış ve araştırma modelini değerlendirmek amacıyla SmartPLS 3.2.8 yazılımı ile analiz yapılmıştır. Tutum ile yeşil toplu taşımayı kullanma niyeti arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Sonuç olarak, yolcular çevreye karşı kötümser bir bakış açısına sahip olabilir ve eylemlerinin çevre korumasına katkı sağlayacağına şüpheyle yaklaşabilir. Ayrıca, öznel normlar ile yeşil taşımacılığı benimseme niyeti arasında güçlü bir korelasyon olduğu bulunmuştur. Çalışmanın bulgularından biri, genç nesillerin giderek daha fazla sosyal medya gibi çevrimiçi platformlara güvenerek, hizmetler hakkında ek bilgi ve geri bildirim toplaması ve bu durumun tutumlarını, tercihlerini ve davranışlarını etkilemesidir. Fiyatların, tüketicilerin yeşil ürün veya hizmetleri kullanma niyetleriyle olumsuz bir ilişkiye sahip olduğu ve fiyatın, yolcuların değerlendirme süreçlerini ve nihai kararlarını önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Bu nedenle, yeşil taşımacılığın içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha rekabetçi ücretlerle hizmet vermesi gerekmektedir. Batarya üretim maliyetleri her yıl azalmaktadır ve bu durum, toplu yeşil taşımacılığı daha cazip hale getirecektir [19].

Palconit ve diğerleri, elektrikli feribot operasyonları için alternatif sahalar üzerinde kapsamlı bir çalışma yürütmüşlerdir. Filipinler hükümeti, 2015 Paris İklim Konferansı'nda 2030 yılına kadar karbon emisyonlarını %70 oranında azaltmayı taahhüt



etmiştir. Bu bağlamda, potansiyel elektrikli feribot operasyonları ve bunların karbon emisyonlarını azaltmadaki potansiyel etkileri incelenmiştir. 9,201 feribotun elektrikli sisteme dönüştürülmesiyle, 8 yıl içinde 5.18 milyon ton CO₂ emisyonunun azaltılabileceği öngörülmüştür [20].

Tek bir feribotun dönüştürülmesi 19,582.03 dolara mal olmuş ve sekiz yıl içinde 547.9 ton CO₂ emisyonu azaltılmıştır. Filipinler'deki dönüştürülebilir 9,201 feribotun tamamının dönüştürülmesi, aynı dönemde 5.18424 milyon ton karbon emisyonunun azaltılmasına neden olacaktır. 3 ila 10 gros ton arasındaki bir tekne, günde asgari sürat ile 2.13 saat yolculuk yaparken 16 litre fosil yakıt tüketmekte; dönüştürülmesi yıllık 15.65 ton CO₂ emisyonunun azaltılmasını sağlamaktadır. 9,201 geminin tamamında yeşil enerji kaynaklarının uygulanması, ulaşım sektöründeki CO₂ emisyonlarını %22.09 oranında azaltacak ve aynı zamanda okyanusun asitliğini de azaltacaktır [20].

Balakrishnan, A ve diğerleri tarafından kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, doğal gaz ile karşılaştırıldığında, şebeke ölçekli batarya depolamasının çevresel etkilerini değerlendirmek için bir yaşam döngüsü değerlendirmesi yapmak ve Kaliforniya'nın elektrik talebini karşılamak amacıyla batarya depolama kullanmanın kümülatif etkilerini 14 yıllık bir süre içinde anlamaktır. Çalışma, altı çevresel etki kategorisinden dördünde batarya enerji depolama sistemlerinin doğal gazdan daha düşük bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Gelecek 14 yıl boyunca geniş ölçekli batarya depolama uygulaması, Kaliforniya'nın enerji sektörünün iklim değişikliği üzerindeki etkisini %8 oranında azaltabilir. Metodoloji olarak, Kaliforniya'nın elektrik talebini karşılamak amacıyla şebekeye 1 MWh elektrik sağlamak için bir şebeke ölçekli batarya enerji depolama sistemi ve bir doğal gaz santrali kullanmanın çevresel etkilerini ölçmek için bir yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmıştır. Çevresel etkiler, iklim değişikliği, karasal asitlenme, fotokimyasal ozon oluşumu, partikül madde oluşumu, insan toksisitesi ve tatlı su ötrofikasyonu olmak üzere altı gösterge üzerinden değerlendirilmiştir. 2016 yılında başlayan 14 yıllık bir süre boyunca iki senaryo incelenmiştir: Mevcut Durum Senaryosu (business as usual-BAU) ve Batarya Depolama Senaryosu. İkinci senaryoda, gündüz aşırı güneş enerjisi BESS'te depolanır ve talebi karşılamak için enerji tüketiminin en çok olduğu periyotta şebekeye aktarılır. Sonuç olarak, BESS yalnızca enerji tüketiminin zirve yaptığı zaman diliminde doğal gaz enerjisinin yerini almak için kullanılmıştır ve diğer enerji üretim yöntemleri aynı kalmıştır. Bu çalışma planında, tüm enerji şebekesi %8 enerji verimliliği ile çalışmıştır. Ayrıca, çevresel etki ölçüm kriterleri genel olarak olumlu yönde etkilenmiş ancak iki olumsuz durum ortaya çıkmıştır. Yaşam döngüsünün sonunda (2030), tüm BESS sisteminin yer altına gömüleceği varsayılmıştır. Geri dönüşüm dikkate alınmadığı için insan toksisitesi, kanserojen etkiler ve özellikle tatlı su ötrofikasyonu oranı önemli ölçüde artmıştır. Sonuç olarak, yenilenebilir kaynaklar ve BESS içeren bir şebeke sistemi, emisyonları azaltmak ve fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak için umut verici sonuçlar vermektedir [21].

3. Metodoloji

3.1. Veri stratejisi

Bu çalışma, İTÜ Denizcilik Fakültesi'nde batarya potansiyeli ve yeşil denizcilik düzenlemeleri alanındaki ilk yüksek lisans tezi çalışmasıdır ve Türkiye'deki diğer denizcilik fakültelerinde bu konuda herhangi bir yüksek lisans tezi bulunmadığından, çok yönlü bir yaklaşım uygulanmıştır.

(i) İlgili mevzuat ve düzenlemeler ile denizcilik ve operasyonel güvenlik alanındaki uzmanlarla yapılan görüşmeler dikkate alınarak üstten aşağıya bir yaklaşım,

(ii) Gemi operasyonları ve çevre ile ilgili farklı göstergelerin derinlemesine analizlerini içeren ve risk araştırma vakalarının genişletilmiş analizlerini kapsayan alttan yukarıya bir yaklaşım.

Literatür taraması, bu çalışma için mevcut araştırma boşluğunu belirlemiş ve gelecekteki düzenlemelerin denizcilik güvenliği üzerindeki etkisi bağlamında ilgili düzenlemeler ve riskleri tespit etmeyi amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda araştırma tasarımı şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

Güçlü ve güvenilir sonuçlar elde etmek için dikkatlice planlanması gerektiğini bildiğimiz araştırmanın tasarımında, araştırmanın amacı ve temel araştırma soruları açıkça tanımlanmıştır. Nitel araştırma yöntemleri bağlamında, makalede sunulan (birincil) orijinal, somut ve ölçülebilir ampirik (gözlemsel) kanıtları toplamak ve analiz etmek amacıyla yapılandırılmamış veya yarı yapılandırılmış veri toplama yöntemlerini içeren bir araştırma yolu izlenmiştir. Bu yöntemler, gözlem ve rapor-belge analizi gibi teknikleri içermektedir.



Çok yöntemli yaklaşım, uzman görüşmeleri ve risk-tehlike üzerine yapılan çoklu vaka çalışmaları ile elde edilen kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ana araştırma yöntemleri belge analizi şeklinde uygulanmıştır.

3.2 Anketler

Denizcilik alanındaki uzmanlarla (gemi inşaatı mühendisi, denizcilik odaklı satın alma uzmanı, mühendis, denizcilikte insan kaynakları (İK) uzmanı, tersaneden iş sağlığı hekimi, donanma subayı, uzaktan kumandalı araç (ROV) operatörü) yapılan görüşmeler, denizcilik çalışanlarının çalışma ortamı ve kuralları hakkında bilgi sağlamıştır. Bu görüşmeler, denizcilik güvenliği ve emniyeti hakkında ayrıntılı bilgi edinilmesine, potansiyel risk faktörlerinin ve bunların yönetim yollarının belirlenmesine, olası ve mevcut sorunlara dair veri toplanmasına ve denizcilik alanında aşamalı iyileştirme adımlarının belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Ana sorular aşağıdaki tabloda sergilenmiştir.

Tablo Anket sorularının özeti

EG teknolojisinin çevresel avantajları, denizcilik sektörünün sürdürülebilirliği için önemlidir.
Düzenleyici çerçeve, EG teknolojisinin yaygınlaşması için güçlendirilmelidir.
EG teknolojisi için hükümet teşvikleri (vergi indirimi, hibeler vb.) artırılmalıdır.
Küresel iş birliği, EG teknolojisinin standardizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır.

Analizlerde kullanılan SPSS'e her bir soru için 1-5 aralığında Likert ölçeğinde cevaplar girilmiştir. Katılımcıların sektör pozisyonları ve yıllık deneyim verileri gibi demografik bilgiler de eklenmiştir. Her bir soruya verilen yanıtların ortalamaları ve standart sapmaları incelenmiştir. Çevresel avantajların ortalama yanıtı, teşviklerin ortalama yanıtından daha yüksek çıkmıştır.

Buna bir örnek olarak, Ek A'da sunulan denizcilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği üzerine yapılan uzman görüşmelerinin özetini içeren bölüm gösterilebilir. Bu tür görüşmeler, sektördeki potansiyel risk faktörlerinin belirlenmesi ve yönetilmesi açısından önemli bilgiler sunmaktadır.

3.3 Olası Denizcilik Projeleri

Batarya enerji depolama sistemleri, üretim maliyetlerindeki düşüşün devam etmesi ve batarya ömründeki iyileşmeler sonucunda giderek daha popüler ve faydalı hale gelmektedir. Bununla birlikte, gemi sahiplerinin kurulum maliyeti, yakıt ikmali ve seyir menzili konusunda endişeli olmaları da anlaşılabilir bir durumdur. Uygulanabilir projeler, batarya sistemlerinin güvenli şekilde işletilmesi için gerekli bilgi birikimi ve deneyimi sağlamaktadır. Genellikle küçük ölçekli gemilerin inşa edilmesi veya dönüştürülmesi tercih edilmekle beraber sektörde başka açıklar da bulunmaktadır. Örneğin, güneş enerjisi, deniz feneri ya da kıyı bölgelerinde yer alan herhangi bir uyarı ışığını çalıştırmak için kullanılabilir. Depolanan enerji, daha sonra çalıştırılmak üzere bir grid sisteminde saklanabilir ya da küçük deniz araçları için şarj istasyonu olarak daha verimli bir şekilde kullanılabilir. Buna ek olarak, bu platformlar bir şebekeye bağlanarak marinalar, limanlar, deniz araçları, denizcilik tesisleri ve açık deniz platformlarına enerji sağlayarak emisyonların azaltılmasında yardımcı olabilir.

4. Bulgular ve İrdelemeler

Denizcilik sektörünün yeşil dönüşüm kaçınılmaz bir süreçtir ve bu nedenle tüm paydaşlar, IMO ve ulusal otoriteler tarafından rekabetçi kalabilmek için belirlenen zaman çizelgesine uyum sağlamalıdır. Denizcilik profesyonellerinin iyi niyetli yaklaşımları, daha yenilikçi ve sürdürülebilir bir geleceğe öncülük edecektir. Uyguruluklar, güçlü denizcilik güçleri sayesinde varlıklarını sürdürürler. Piyasalar, genişlemek ve kârlı olmak adına uygulanabilir ve etkili çözümler talep etmektedir. Gemi sahiplerinin tereddütleri, teknolojik zorluklar, operasyonların sürekliliğini sağlamak için gereken dönüşüm süresi ve düzenlemeler, üstesinden gelinmesi gereken bazı engellerdir; bu nedenle karar alıcılar uluslararası ya da ulusal teşviklerle desteklenmelidir.

Tablo 2, gemi geri dönüşüm süreci yaşayacak raporlanan gemi tonajını göstermektedir ve makul bir varsayım olarak, hafif tonajlı gemilerin batarya gücüyle inşa edilme potansiyeli daha yüksektir, çünkü bu gemiler genellikle kıyı amaçlı kullanılır ve menzil açığı bir dezavantaj olarak görülmez. Geri dönüşüm potansiyelinin yaklaşık %20'si, batarya gücüyle çalışan gemi teknolojisi ile değiştirilebilir veya yeniden tasarlanabilir. Bu veriler, günümüzdeki küresel gemi inşa trendiyle birleştirilebilir.

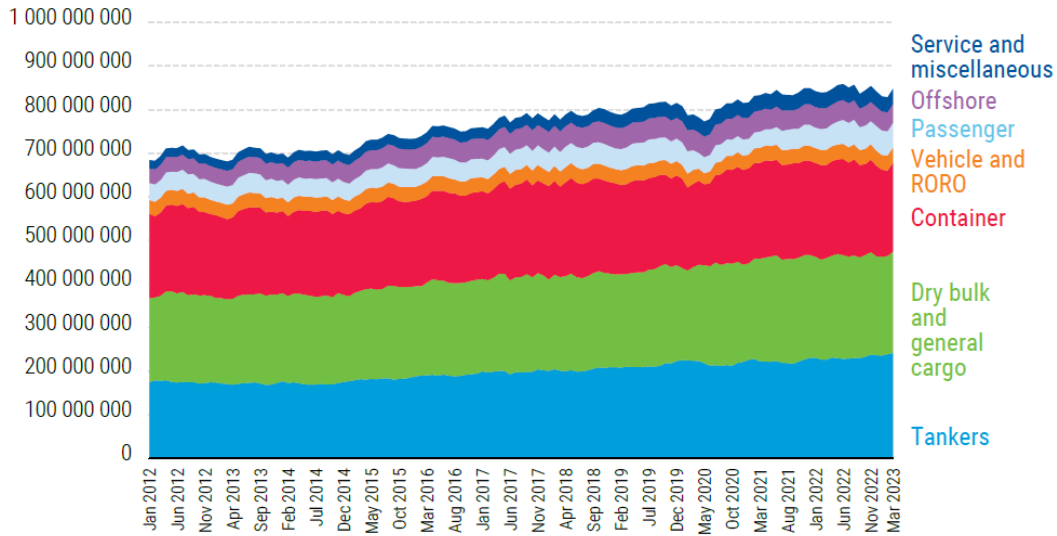


Bu bulgular, yolcu gemileri, tedarik gemileri, kılavuz botları, kıyı balıkçılık gemileri, kıyı römorkörleri ve benzeri amaçlarla kullanılacak gemiler gibi kıyı vasıtalarına yönelik olarak anlamlıdır. Gemi geri dönüşümü için satılan 1580 araç bulunmaktadır ve bu, toplamın beşte biri oranındadır. Bu geri dönüştürülen gemilerin yerine sıfır emisyonlu gemilerin inşa edilmesi, yeşil ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır.

Tablo 2. Gemi geri dönüşüm süreci yaşayacak raporlanan gemi tonajı, 2022[23]

Gemi Tipi	Bangladeş	Pakistan	Hindistan	Türkiye	Çin	Diğer	Dünya Geneli Toplam	Yüzde
Akaryakıt Tankerleri	1411	649	533	57	28	37	2715	36.1
Dökme Yük Gemileri	1148	513	578	-	131	0	2369	31.5
Genel Yük Gemileri	32	12	33	20	-	141	237	3.1
Konteyner Gemileri	15	0	156	-	7	0	178	2.4
LNG/LPG Gemileri	13	0	104	2	-	20	138	1.8
Kimyasal Tankerler	53	34	204	3	13	5	313	4.2
Açık deniz destek gemileri	22	45	568	43	-	128	806	10.7
Feribot ve yolcu gemileri	55	15	239	335	-	31	676	9.0
Diğer	52	0	18	16	0	12	98	1.3
Toplam Gross Ton	2801	1270	2432	477	179	374	7531	100.0
Oran	37.2	16.9	32.3	6.3	2.4	5.0	100	

Buna ek olarak, 2023 UNCTAD verileri, benzer oranlarla CO₂ emisyonları açısından bu rakamları desteklemektedir. Hizmet veya pilotaj botları, açık deniz destek gemileri ve yolcu gemileri, kuru yük, genel kargo, tankerler ve konteyner gemilerine kıyasla CO₂ salınımı açısından daha az önemli bir konumdadır.

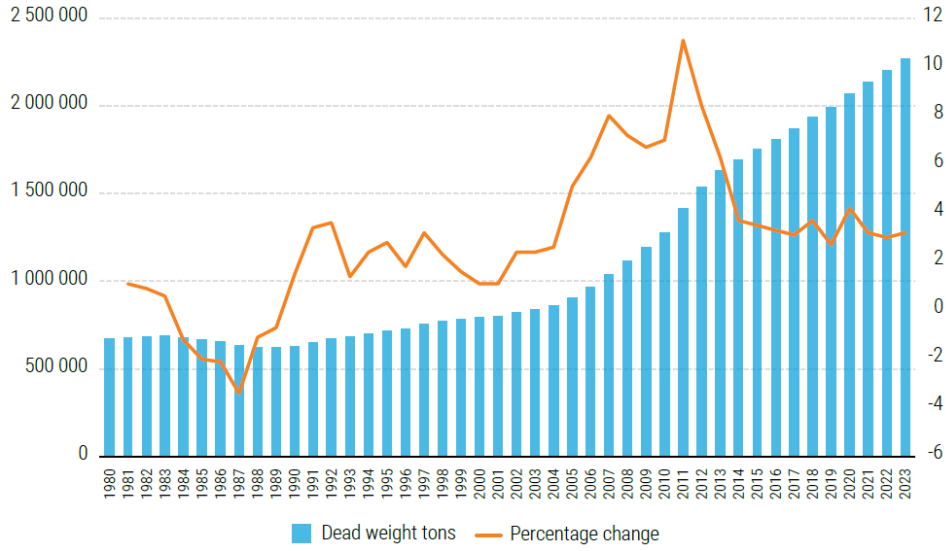


Source: UNCTAD, based on data provided by Marine Benchmark, July 2023.

Çizelge 1. Gemi tiplerine göre CO₂ emisyonları Ocak 2012-Mart 2023[23]

Yeşil dönüşümle ilgili diğer önemli bir veri ise filo yaşıdır. Bir deniz aracının yaşı ile denize çıkma süresi arasında bir korelasyon bulunmaktadır (DNV 2001). 15 yılın ardından kaza ve olayların zirveye ulaştığı vurgulanmaktadır [22]. 2023'ün başında ticaret filosunun ortalama yaşı 22.2 yıl olarak kaydedilmiş, bu oran bir önceki yıla göre artış göstermiştir. 2023'te küresel filo, on yıl öncesine kıyasla ortalama iki yıl daha yaşlanmış olup filonun yarısından fazlası 15 yıldan daha eski gemilerden oluşmaktadır. Bu bulgular önemli bir sonucu işaret etmektedir: Ticaret Donanması, modernizasyon çağına girmektedir. Eski gemiler yenileriyle değiştirilecek ve yeni düzenlemeler, daha çevre dostu gemiler gerektirmektedir.

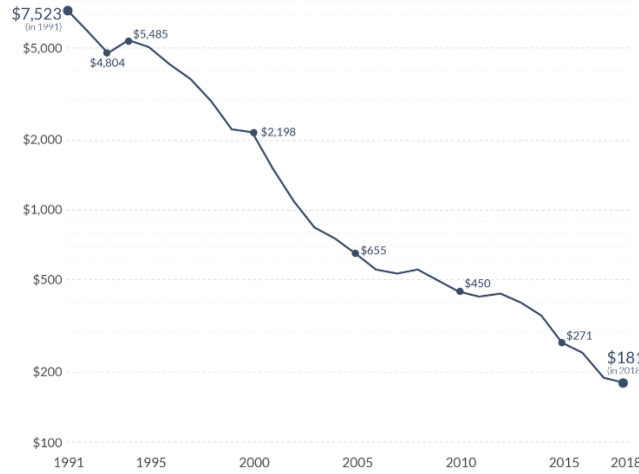




Source: UNCTAD calculations, based on data from Clarksons Research, 2023.

Çizelge 2. Dünya ticaret filosunun ton ve yüzde olarak değişimleri 1980-2023 [23]

Piller son otuz yılda önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Daha özel olarak, lityum-iyon pil maliyetleri otuz yıl içinde %97 oranında azalmış ve deniz sistemlerine pil montajı giderek daha uygun maliyetli hale gelmiştir. Bu teknolojik ilerleme, denizcilik sektörünün karbonsuzlaştırılması için fevkalade bir öneme sahiptir. Norveç'te kullanılan bataryalı feribotlar sayesinde yılda yaklaşık 10.000 ton CO₂ tasarrufu sağlanmıştır. Dünyanın ilk tamamen elektrikli feribotu olan "Ampere", Norveç'te hizmet vermekte olup yıllık 2 milyon litre fuel oil tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca, Gisaş Tersanesi tarafından inşa edilen ve Norveç limanlarında faaliyet gösteren, dünyadaki ilk %100 elektrikli römorkör olan Türk römorkörü ZEETUG da büyük miktarda emisyon azaltımı sağlayarak sektöre katkıda bulunmaktadır.



Prices are adjusted for inflation and given in 2018 US-\$ per kilowatt-hour (kWh).
Source: Micah Ziegler and Jessica Trancik (2021). Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline.
OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.

Çizelge 3. Li-on batery üretim 1991-2018 [24-25]

EG'lerin sektöre ve pay sahiplerine yükleyeceği olumlu ve olumsuz getirilerde ekonomik, sürdürülebilirlik, güvenlik ve operasyonel açılardan değerlendirilerek aşağıdaki tabloda sunulmuştur.



Tablo 3. Elektrikli deniz araçlarının geleneksel deniz araçlarına göre kıyaslanması.

Kriter	Alt Kriter	Açıklama
Ekonomik Sürdürülebilirlik	Yatırım Maliyeti	Batarya, elektrikli itki sistemleri ve altyapı maliyetleri, geleneksel gemilere göre daha yüksektir.
	İşletme Maliyeti	Fosil yakıtların kullanılmaması ve daha düşük bakım ihtiyacı sayesinde işletme maliyetleri düşebilir.
	Geri Dönüş Süresi	Yüksek ilk yatırım maliyetine karşın, uzun vadeli yakıt tasarrufları geri dönüşü hızlandırabilir.
	Teşvikler ve Vergi Avantajları	Hükümetlerin teşvik politikaları ve vergi avantajları EG projelerini ekonomik olarak desteklemektedir.
	Enerji Verimliliği	Batarya ve elektrikli itki sistemlerinin enerji verimliliği sayesinde işletme masrafları azalabilir.
Güvenlik Önlemleri	Batarya Yangın Riski	Li-ion bataryaların termal kaçak riskine karşı yangın önleme sistemlerinin kurulumu gerekmektedir.
	Güvenlik İzleme Sistemleri	Batarya, enerji yönetimi ve yangın önleme sistemlerinin anlık izlenmesi için gelişmiş güvenlik sistemleri.
	Yedekleme ve Acil Durum Sistemleri	Acil durumlarda enerjiyi güvenli bir şekilde kesmek için yedek batarya ve enerji kesici sistemler gereklidir.
	Eğitim ve Güvenlik Protokolleri	Mürettebatın batarya sistemleri, acil durum tahliyesi ve yangın müdahale konusunda eğitilmiş olması gerekir.
	Standart ve Sertifikasyon Gereksinimleri	Uluslararası sertifikasyonlar (ör. SOLAS) ve standartlara uygunluk zorunludur.
Operasyonel Gereksinimler	Batarya Yönetim Sistemi (BMS)	Bataryanın sağlıklı ve verimli kullanılabilmesi için gelişmiş bir batarya yönetim sistemine ihtiyaç vardır.
	Şarj Altyapısı	Limanlarda hızlı ve güvenli şarj için uygun altyapının geliştirilmesi gerekmektedir.
	Operasyonel Esneklik	Şarj süresi ve menzil sınırlamaları nedeniyle EG'lerin operasyonel planlaması dikkatle yapılmalıdır.
	Bakım ve Teknik Destek	Elektrikli itki ve batarya sistemlerinin özel bakım ve teknik destek gereksinimleri bulunmaktadır.
	Çevresel İzleme Sistemleri	Deniz yaşamına ve çevreye zarar vermemek için egzoz emisyonları yerine batarya yönetimi izlenmelidir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) emisyon düzenlemeleri, çeşitli hükümetlerin teşvik politikaları ve sektörün elektrikli deniz araçlarına geçiş sürecinde karşılaştığı düzenleyici engeller aşağıdaki tabloda kısaca tanımlanmıştır.

Tablo 4. Elektrikli deniz araçlarına geçişte karşılaşılan sorun alanları.

Emisyon Azaltma Hedefleri:	IMO'nun küresel sera gazı emisyonlarını azaltma hedeflerinin, denizcilik sektöründe düşük veya sıfır emisyonlu çözümler arayışını hızlandırdığına değinilmektedir.
Teşvikler ve Yatırım Destekleri:	Hükümetler tarafından sağlanan finansal teşviklerin EG teknolojilerine olan ilgiyi arttırdığı ve özel şirketlerin yatırımlarını bu yönde artırdığını ortaya koymaktadır
Düzenleyici Belirsizlikler:	EG'ler için küresel düzenleyici standartların eksikliği, sektör paydaşlarının teknolojiye geçiş süreçlerini yavaşlatan önemli bir unsur olarak gösterilmektedir. Örneğin, batarya güvenliği, yangın önleme ve şarj altyapısı gibi konularda uluslararası uyumun henüz sağlanamamış olması, güvenlik risklerini ve operasyonel kısıtlamaları artırmaktadır.
Çevresel Avantajlar ve Kamu Politikaları:	Çalışma, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen kamu politikalarının EG teknolojisine geçiş sürecinde belirleyici bir rol oynadığını, bu politikalara dair net bir çerçevenin hem sektörel büyümeyi hızlandıracağını hem de çevresel etkileri azaltacağını savunmaktadır.

Elektrikli gemi (EG) teknolojisinin tercih edilir olması finansal sürdürülebilirlik ile de odaklı olacaktır. Gemiye işleten şahıs ya da kurum sadece daha sürdürülebilir veya çevreye duyarlı olduğu için halihazırda işleyen ve güvenilirliği ispat edilmiş bir sistemi daha yüksek bir bedelle daha az sınılanmış ve soru işaretleri bulunan bir sistem ile değiştirmek istemeyecektir. Geminin işletme ömrünü tamamlayana kadar sahibine ne gibi finansal ve teknik avantajlar sağlayacağı karar aşamasını



etkileyen önemli etmenlerdir. Aşağıda batarya sisteminin tercih edilebilir olmasını mümkün kılacak konu başlıklarına yer verilmiştir.

İşletme Maliyetlerinin Azaltılması: Açık kaynaklardan elde edilen VLSFO(çok düşük sülfür içeren fuel oil) fiyatlarına bakıldığında mayıs - haziran 2024 fiyatları İstanbul bölgesinde 600-680 ABD doları civarındadır. 1 m³ vlsfo yakıtın enerji yoğunluğu 11,8 MWh olarak kabul edilebilir. İçten yanmalı makinaların verimi ise %40-45'i bulabilmektedir. Bu durumda 5,31 MWh içten yanmalı makineden sağlanan enerji olur. Türkiye'de temmuz 2024 ayı sanayi tipi elektrik aboneliğinin bedeli 4,3726 TL/kWh ve bu durumda 5,31 MWh enerji 23.218,5 TL (33TL=1ABD Doları alınmıştır) 703,59 dolara tekabül etmektedir. IE4 standartlarında elektrik motoru verimliliği %95 i bulmakta ve bu hesaplamalarda kayıp olmadığı varsayılmıştır. Bu durumda dikkat edilmesi gereken husus yakıtın denizcilik için vergi teşviki bulunurken elektrik ücretlerinde sadece sanayi fiyatlarının kullanılmış olmasıdır. Konvansiyonel içten yanmalı motorlu araçların (benzinli, dizel ve doğal gaz) Well to Wheel (WTW) verimliliği ile elektrikli araçların WTW verimliliğinin karşılaştırıldığı bir çalışmada karşılaşılan sonuçlar aslında elektriğin sadece doğal kaynaklarca sağlanmadıkça verimli olmadığını göstermiştir. Sonuçlar, elektrik santrali verimliliğinin WTW verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Doğal gaz santrali tarafından beslenen elektrikli araç, %13 ile %31 arasında değişen en yüksek WTW verimliliğini göstermektedir. Kömürle çalışan ve dizel santrallerle beslenen elektrikli araçlar ise sırasıyla %13 ile %27 ve %12 ile %25 arasında benzer bir WTW verimliliğine sahiptir. Benzinli içten yanmalı motorlu araçların toplam WTW verimliliği %11 ile %27 arasında değişmiş, dizel içten yanmalı motorlu araçların WTW verimliliği %25 ile %37 arasında değişiklik göstermiştir. Elektrikli araçların WTW verimliliğinde ise, güneş veya rüzgar sistemleri tarafından üretilen elektrik kullanıldığında önemli bir iyileşme sağlanmaktadır. Güneş enerjisi veya rüzgar santrallerinden şarj edilen elektrikli araçların genel verimliliği %39 ile %67 arasında değişirken, çatı üzeri güneş enerjisi sistemi kullanımı, düşük iletim kayıpları nedeniyle toplam verimliliği artırarak elektrikli araçların çatı üstü PV ile şarj edilmesi durumunda %42 ile %72 arasında bir WTW verimliliğine ulaşılmasını sağlamaktadır[26].

Genel olarak, dizel araçlar, fosil yakıtlarla çalışan elektrikli araçlardan daha verimlidir; ancak her iki sistemin de ham maddeden nihai ürüne kadar olan yaşam döngüsü emisyonlarını incelemek farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. Son olarak, elektrikli araçların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslenmesi, genel sistem verimliliğini önemli ölçüde artıracaktır. Ayrıca, hibrit elektrikli araçlar ve araçların üretim, geri dönüşüm ve bertaraf süreçlerini içeren yaşam döngülerini analiz etmek için daha fazla araştırma gerekmektedir [26]. Bu alanda yapılacak çalışmalar ile hibrit sistemlerin hem daha ekonomik hem daha çevreci çözümler ortaya koyabileceği yukarıdaki verimlilik oranlarından da anlaşılmaktadır.

Bakım Maliyetlerinin Düşmesi: Elektrikli motorların daha az mekanik parçaya sahip olması nedeniyle bakım maliyetlerinin düşük olması, toplam sahip olma maliyetini azaltır ve uzun vadeli sürdürülebilirliği destekler. Bataryaların ömrü bu noktada kritiktir, ömrü dolan bataryanın geri dönüşüm oranı arttıkça ham madde fiyatlarına pozitif etkisi olacak, bu da batarya üretim maliyetlerine ve çevresel etkilerine olumlu katkıda bulunacaktır.

Teşvik ve Desteklerin Rolü: İletme maliyetlerinin azaltılması incelenirken hesaplanan değerler için elektriğin gemilerde ana tahrik sisteminin şarj edilmesi maksadıyla kullanımına %30 teşvik sağlandığını öngören bir senaryoda kullanım 492 ABD dolarına maliyetlenebilecektir. Bu da dönüşüm için yeterli bir oran olabilir. EG yatırımlarının çevresel hedeflerle uyumu nedeniyle çeşitli hükümet teşvikleri, sübvansiyonlar veya vergi avantajlarının mevcut olduğu ülkeler dönüşüme liderlik edecek bu sayede dönüşüm sürecindeki projelerden daha fazla faydalanacaktır. Bu varsayım dönüşüme ve ar-ge ye yapılan harcamaların sermayeye dönüşünü de hızlandıracaktır.

Başlangıç Maliyeti ve Amortisman: Elektrikli gemilere yapılan başlangıç yatırımlarının yüksek olduğu bilinsede, bataryaların ve elektrikli sistemlerin amortisman süresini değerlendirerek yatırımın geri dönüş süresi hakkında tahminler yapılabilir. Batarya kapasitesi arttıkça geminin seyir menzili artacak, daha az batarya şarjına ihtiyaç duyacaktır. Ayrıca BMS ve TMS gibi ilk kurulumda ortaya çıkan maliyetler batarya odasının toplam kapasitesinden bağımsız olduğu için EG'ler için maksimum emniyetli batarya kapasitesi işletme giderlerini azaltacak, uzun vadede sermaye geri dönüşü sağlayacaktır.

Gelecekteki Enerji Maliyetleri ve Çevresel Yatırımların Değeri: Elektriğin fosil kaynaklar yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarından temin oranı arttıkça, kW/h fiyatlarının da düşeceği anlaşılmaktadır. Bu noktada uzun ömürlü şekilde inşa edilen yenilenebilir enerji üretim istasyonları zaman geçtikçe mantıksal olarak daha ucuza elektrik sağlar pozisyonda olacaktır. Bu hususta devlet ve şirket politikalarında değişik yaklaşımlar yaşanmadıkça enerjinin faturalandırılmasında düşüş olması beklenir. Yukarıda bahsedilen bir yenilenebilir enerji üretim dönüşümü küresel yaptırım ve beklentilerle de örtüşecektir.

Fayda-Maliyet Oranı ve Sürdürülebilirlik: Çalışmanın bulgularına dayanarak, EG teknolojisinin, başlangıçtaki yüksek maliyetine rağmen orta ve uzun vadede sürdürülebilir bir yatırım olduğu sonucuna varılabilir.



5. Sonuçlar, Tartışmalar ve Öneriler

Bu alışma sonuçları, EG teknolojisinin yaygınlaşması için hükümet desteği, düzenleyici standartların oluşturulması ve uluslararası iş birliğinin gerekliliğini göstermektedir. Çevresel Avantajlar ve Teşvikler Arasındaki Korelasyon irdelemeleri neticesinde bu çalışma ile, çevresel avantajların teşviklerin artırılmasına yönelik algı ile pozitif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Bu, evresel faydaların, EG teknolojilerine yönelik teşvik algısını artırdığını göstermektedir. Korelasyon katsayısı, 0.65 gibi orta-st düzeyde pozitif çıkmıştır. ANOVA testi ile deniz mühendisi, satın alma yöneticisi gibi grupların düzenleyici erve ve teşvikler konusundaki algıları karşılaştırılmıştır. ıkan sonuçlara göre, evre mühendisleri, deniz mühendislerine kıyasla teşviklerin artırılması gerektiğine daha fazla katılmaktadır. Bu farklılık anlamlı bulunmaktadır ($p < 0.05$). Regresyon sonuçları, teşviklerin ($\beta = 0.45$) ve düzenleyici ervenin ($\beta = 0.35$) EG teknolojisinin benimsenmesi üzerinde pozitif etkisi olduğunu göstermiştir. Tüm sorular faktör analizine tabi tutularak, ortak faktörler belirlenmiştir. Analiz sonucu “evresel ve Düzenleyici Faktörler” ve “Ekonomik Teşvikler” adıyla iki faktör kümesi elde edilmiştir.

Sonuç olarak, denizcilik sektörü sera gazı emisyonlarını ve çevresel etkilerini en aza indirmek amacıyla yeni teknolojileri uygulama eğilimindedir. Bununla birlikte, gemi sahiplerinin, özellikle batarya enerji depolama sistemlerinin montaj maliyetlerinin düşürülmesi konusunda desteklenmesi gerekmektedir. Düşük batarya maliyetleri, daha iyi batarya ömrü ve düşük bakım gereksinimi, BESS’in tercih edilmesini sağlamak için arzu edilen unsurlardır. Geri dönüşüm, maliyetleri azaltmak ve daha da önemlisi, ömrü tükenmiş bataryaların çevresel etkisini en aza indirmek için kilit bir unsurdur.

Dünya genelinde büyük batarya üreticilerinin kabul gördüğü ve Çin, Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri’nin batarya endüstrisinin kural koyucuları olduğu anlaşılmaktadır. Farklı rakipler arasındaki rekabet devam ederken batarya teknolojisinin gelişimi için zmler aranmakta, maliyetlerin düşmesi için ar-ge yapılmaktadır. Ayrıca tekelleşmenin önüne geçmek sürecin devamlılığı için önemlidir. Yetkililer, batarya rtimi için kritik hammaddelerin kaybedilmesini istemeyebilir; bu nedenle, üretim, işletme ve geri dönüşüm ile ilgili düzenlemeler büyük bir rol oynamaktadır.

RO-RO gemilerinde elektrikli kara araçlarından kaynaklanan yangınlar meydana gelmiş olmasına rağmen, ana tahrik sistemi olarak kullanılan BESS ile ilgili herhangi bir olay bildirilmemiştir. Ulusal gemi inşa yönetmelikleri, rneğin DNV gibi kuruluşlar, doğrudan düzenleyici kurallar veya risk değerlendirmeleri yoluyla sektöre öncülük etmektedir. Sonuç olarak, BESS ve bu sistemlerin deniz araçlarına uygulanması, hem güvenlik hem de fizibilite açısından farklı perspektiflerden incelenmesi gereken bir ihtiyaçtır. Bu uygulama alışmaları, IMO’nun emisyon hedeflerine olumlu bir katkı sağlayacaktır.

Günümüzde elektrikli kara ve deniz araçlarının ilk kurulum maliyetleri içten yanmalı olanlara kıyasla yüksektir. Ancak enerji maliyetlerinin yenilenebilir kaynaklardan temin oranı arttıca elektrikli araçların ekonomik olarak daha faydalı olacağı anlaşılmaktadır. Bu kapsamda yenilenebilir enerji üretim santrallerine vergi teşviki, uzun dönem arazi kiralama için teşvik veya nakit hibeler gibi paketler tekelleşme oluşturmadan rekabetçi bir ortam yaratarak artırılmalı ve sürecin emisyonlar ile araçların enerji tüketimi davranışları ve maliyetleri üzerindeki davranışları incelenerek proaktif bir yaklaşımda güncellenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda tespit önerilerimiz şöyledir: Gemi sahiplerinin elektrikli gemi inşa sürecini finanse edebilmek adına, Uygun kredi koşulları, yeşil dönüşüm başlığı altında sağlanması; Yerli batarya üretim tesislerine yapılabilecek 10 yıllık vergi muafiyeti veya uzun süreli yüzdesel vergi muafiyeti uygulanabilmesi; Tam elektrikli deniz araçları üreten tersanelere yerli batarya rtimi istenen seviyelere ulaşıncaya kadar ithalat kolaylığı sağlanabilmesi; Elektrikli deniz araçları rtimi kadrosunda çalışan iş gücü yetiştirilmesi hususlarının uzun vadede işletme maliyetlerini azaltacağı bu çalışma ile önerilmektedir. Ayrıca kalifiye personel arttıca proje teslim süresi kısalabilir veya onarım süreçleri için tercih edilebilirlik artacağı ve de tersaneler EG rtimi yapmaları halinde çalışanlarının maaşlarına uygulanan vergilendirmede indirim yapılması küresel olarak rekabetçiliği artıracaağı kanaatindeyiz. Öte yandan, tersanelere kendi mikrogridlerini sağlamaları için krediler yaratılması, projelendirme kolaylıkları, tesislerin içerisindeki alanın efektif kullanımı açısından imkan yaratılması da diğer öneriler olarak dşnlmştir. Elektrik motorlarındaki standartların yakından takip edilmesi ve IE3 dneminin sonlandırılıp IE4 elektrik motoru standartlarının benimsenmesinin verimliliği artıracak neri olarak sunulmaktadır.



6. Referanslar

- [1] Joung, T. H., Kang, S. G., Lee, J. K., & Ahn, J. (2020). The IMO initial strategy for reducing Greenhouse Gas(GHG) emissions, and its follow-up actions towards 2050. In *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping* (Vol. 4, Issue 1, pp. 1–7). Informa UK Ltd. <https://doi.org/10.1080/25725084.2019.1707938>
- [2] IMO, 1997. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships MARPOL 73/78: the Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships (Annex VI). IMO, London.
- [3] IMO, 2016a. Marine Environment Protection Committee (MEPC), 70th Session, 24-28 October 2016. IMO, London.
- [4] Chu Van, T., Ramirez, J., Rainey, T., Ristovski, Z., & Brown, R. J. (2019). Global impacts of recent IMO regulations on marine fuel oil refining processes and ship emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 70, 123–134. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.04.001>
- [5] European Parliament, 2005. Directive 2005/33/EC of the European Parliament and of the Council of 6 July 2005 amending Directive 1999/32/EC European Commission.
- [6] California Air Resources Board, 2008. Fuel Sulfur and Other Operational Requirements for Ocean-going Vessels within California Waters and 24 Nautical Miles of the California Baseline.
- [7] Abramesko, V., Tartakovsky, L., 2017. Ultrafine particle air pollution inside diesel-propelled passenger trains. *Environ. Pollut.* 226, 288–296.
- [8] Sofiev, M., Winebrake, J.J., Johansson, L., Carr, E.W., Prank, M., Soares, J., Vira, J., Kouznetsov, R., Jalkanen, J.-P., Corbett, J.J., 2018. Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs. *Nat. Commun.* 9 (1), 406.
- [9] Chen, S., Zhao, C., Liu, Q., Zang, M., Liu, C., Zhang, Y., 2018. Thermophilic biodesulfurization and its application in oil desulfurization. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 102 (21), 9089–9103
- [10] Hossain, F., Rainey, T., Bodisco, T., Bayley, T., Randall, D., Ristovski, Z., Brown, R., 2018a. Investigation of diesel engine performance and exhaust emissions using tyre oil (in preparation). *Fuel*.
- [11] Machaj, K., Kupecki, J., Malecha, Z., Morawski, A. W., Skrzypkiewicz, M., Stanclik, M., & Chorowski, M. (2022). Ammonia as a potential marine fuel: A review. In *Energy Strategy Reviews* (Vol. 44). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100926>
- [12] National Oceanic and Atmospheric Administration; Environmental Protection Agency. Database of Hazardous Materials, n.d, <https://cameochemicals.noaa.gov/>. (Accessed 7 November 2021).
- [13] Camess M., Wissner N. & Sutter J. (June 2021 Berlin) Ammonia as a Marine Fuel, Institut für Angewandte Ökologie-Institute for Applied Ecology Report
- [14] Wu, F., Cui, F., & Liu, T. (2023). Empirical study on green development of marine economy driven by marine scientific and technological innovation and its influencing factors. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1092712>
- [15] Melin, H., Rajaeifar, M., Ku, A., Kendall, A., Harper, G., & Heidrich, O. (2021). global implications of the eu battery regulation. *Science*, 373(6553), 384-387. <https://doi.org/10.1126/science.abh1416>
- [16] Li, W., Li, Y., Deng, H., & Bao, L. (2018). Planning of electric public transport system under battery swap mode. *Sustainability*, 10(7), 2528. <https://doi.org/10.3390/su10072528>
- [17] Barrera-Cardenas, R., Mo, O., & Guidi, G. (2019). Optimal sizing of battery energy storage systems for hybrid marine power systems.. <https://doi.org/10.1109/ests.2019.8847932>
- [18] Allan, B. B., Lewis, J. I., & Oatley, T. (2021). Green industrial policy and the global transformation of climate politics. *Global Environmental Politics*, 21(4), 1-19. https://doi.org/10.1162/glep_a_00640
- [19] SAMY, P., Ismail, S., & Ramayah, T. (2021). Promoting green environment by predicting green public transportation usage. *Journal of Sustainability Science and Management*, 16(4), 174-189. <https://doi.org/10.46754/jssm.2021.06.015>
- [20] Palconit, E. and Abundo, M. (2019). Transitioning to green maritime transportation in philippines. *Engineering Technology & Applied Science Research*, 9(1), 3770-3773. <https://doi.org/10.48084/etasr.2457>



- [21] Balakrishnan, A., Brutsch, E., Jamis, A., Reyes, W., Strutner, M., Geyer, R., & School, B. (2018). *The Environmental Impacts of Utility-Scale Battery Storage in California*.
- [22] Anatolyevitch, A. (2016). *Theoretical Analysis of the Relationship between Accident Rate of a Fleet of Vessels and Age Distribution of the Fleet*. 3–4. www.jmr.unican.es
- [23] UN Review of Maritime Transport 2023 – Towards green and just transition(2023)
- [24] Ziegler, M. S., & Trancik, J. E. (2021). Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline. *Energy and Environmental Science*, 14(4), 1635–1651. <https://doi.org/10.1039/d0ee02681f>
- [25] Hannah Ritchie (2021) - “The price of batteries has declined by 97% in the last three decades” Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/battery-price-decline' [Online Resource]
- [26] Albatayneh, A., Assaf, M. N., Alterman, D., & Jaradat, M. (2020). Comparison of the Overall Energy Efficiency for Internal Combustion Engine Vehicles and Electric Vehicles. *Environmental and Climate Technologies*, 24(1), 669–680. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0041>

