

Ticari Gemilerden Kaynaklanan Karbon Emisyonları Üzerine Bir Araştırma¹

Yeşim MİLLET

Yüksek Lisans Öğrencisi, İstanbul Ticaret Üniv., Sosyal Bilimler Ens.
Master Student, İstanbul Commerce University, Inst. Of. Social Sci.
yesimttoros@gmail.com

Yahya FİDAN

orcid.org/0000-0002-5012-3629
Prof. Dr., İstanbul Ticaret Üniversitesi, İşletme Fakültesi
Prof. Dr., İstanbul Commerce University, Business Faculty
yfidan@ticaret.edu.tr

Nagehan AKOĞLU

orcid.org/0000-0001-7438-8640
Dr., İstanbul Ticaret Üniversitesi, İşletme Fakültesi
Asst. Prof. Dr., İstanbul Commerce University, Business Faculty
candannagehan@gmail.com

Öz

İnsanlık tarihinin başlangıcından itibaren taşıma ve yer değiştirme gerek sosyal gerekse iktisadi anlamda insanların temel ihtiyaçları arasında yerini almıştır. Buluşların ve teknolojinin önlenemez gelişimi insanoğlunun hayat çehresini değiştirdiği gibi doğaya da olumsuz etkiler bırakmaktadır. Endüstri devriminden sonra ülkelerin ve kıtaların kendi aralarında yapmış olduğu taşımacılık faaliyetleri daha da artmıştır. Günümüzde ise lojistik;

¹ Bu çalışma Yeşim Millet'in İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Lojistik Yönetimi programındaki lisansüstü (YL) tezinden üretilmiştir.

gelişen, değişen ve küreselleşen dünyada artık taşımacılık faaliyetlerinin çok ötesinde birçok faaliyeti bünyesinde barından, önemi giderek artan bir sektör haline gelmiştir. Son yıllarda teknolojinin ve yeni sistemlerin gelişimi ile bazı farkındalıklar ortaya çıkmıştır. Yeraltı kaynaklarının azalması, iklim değişiklikleri, demografik yapılarıdaki bozukluklar ve rekabet ortamı çevreye olan duyarlılığımızı artırmamızı zorunlu kılmıştır. Çevreye verilen zararın yıkıcı etkilerini nasıl düzeltebileceği ya da asgari düzeye nasıl indirilebileceği hususunda yeni teknik ve teknoloji kullanımının yollarını aramıştır. Bu araştırmada ticari gemilerden kaynaklanan CO2 emisyonları incelenmektedir. Gemilerden kaynaklanan emisyonların düşürülmesi için Enerji Verimliliği Operasyon Endeksi (EEOI) yöntemi kullanılarak çözüm önerisi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Lojistik, Sürdürülebilirlik, Deniz Taşımacılığı, Yeşil Lojistik, EEOI

A Study on Carbon Emissions from Merchant Ships

Abstract

Since the beginning of human history, transportation and relocation have been among the basic needs of people, both socially and economically. The irrepressible development of inventions and technology not only changes the face of human life, but also leaves irreversible effects on nature. After the industrial revolution, the transportation activities between countries and continents gained even more speed. In recent years, some awareness has emerged with the

development of technology and new systems. Decrease in underground resources, climate changes and deterioration in demographic structures have made it necessary for us to increase our sensitivity to the environment, and we have sought ways to use new techniques and technologies on how to correct or minimize the destructive effects of damage to the environment. In this research, CO2 emissions from commercial ships are examined. A solution proposal was created using the EEOI method to reduce emissions from ships.

Keywords: Logistics, Sustainability, Maritime Logistics, Green Logistics, EEOI

Giriş

Sürdürülebilirlik kavramı yüzyıllardır kullanılan bir kavramdır. Sosyal, ekonomik ve çevresel alanlar gibi birçok alanda kullanıldığı bilinmektedir. Birçok alanda kullanılan bir tanım olmasından kaynaklı olarak kesin bir tanımı bulunmamaktadır. Çoğunluğun kabul ederek kullandığı tanımı World Commission on Environment and Development (WCED), (1987) tarafından yayınlanan “Ortak Geleceğimiz” isimli kitapta bulunan “gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneklerini tehlikeye atmadan, günümüz ihtiyaçlarının karşılanması” tanımıdır. Günümüzde sıklıkla çeşitli alanlarda kullanılan sürdürülebilirlik kavramının anlam ve kelime olarak çeşitli tarihsel gelişimlere ve ülkelerin çeşitli çalışmalarına dâhil olduğu görülmektedir.

1960’lı yılların başında Rachel Carson tarafından yazılmış Sessiz Bahar isimli kitap sürdürülebilirlik konularının önemsinmesinde büyük rol oynamaktadır. Yayınlandığı 30 Haziran

tarihinden itibaren bir kesimden büyük tepki toplamış olmasına rağmen çevre konusunda farkındalık kazanılmasında önemli yere sahiptir. Rachel Carson Sessiz Bahar isimli kitabını yayınlamadan önce yine farklı kitap denemeleriyle çevresel konulara dikkat çekmeye çalışmıştır. Sessiz Bahar kitabıyla dünyada ses getirmeyi başarmıştır. Biyolojik çeşitliliğin yok edilmesi, her türlü çevresel kirlilik gibi birçok günümüz konularına ilk defa bu kitap ile dikkat çekilmektedir (Özdağ, 2011). Sürdürülebilirlik konusuna dikkat çekildikten sonraki dönemlerde çevreye verilen zararların geri dönülemez boyutlara ulaştığı görülmüştür ve dünyada bazı önlemler alınması adına adımlar atılmıştır. Bozdoğan, (2005) 1972 yılında Stockholm Konferansı, 1987 yılında Ortak Geleceğimiz Raporu, 1992 yılında Rio Zirvesi, 1996 yılında Habitat 2 Zirvesi, 1997 yılında Rio + 5 Zirvesi, 2002 yılında Johannesburg Zirvesi yapılarak; çevresel konularda önlemler alınabilmesi için uluslararası çalışmalar yapılmıştır.

Denizyolu taşımacılığı, tek seferde taşınabilen malzemenin boyutu, diğer taşımacılık türlerine göre daha uygun maliyetlerle taşınabilmesi gibi pek çok sebeple günümüzde dünyada en çok tercih edilen taşımacılık türü haline gelmektedir. Dünya genelindeki ticari faaliyetlerin taşımacılığının %90'ı denizyolu taşımacılığıyla yapılmaktadır. Denizyolu taşımacılığı; karayolu ve havayolu taşımacılık modlarına karşın daha çevreci olarak bilirse dahi, taşımacılık sıklığı da göz önünde bulundurularak çevresel olarak oldukça olumsuz etki oluşturabilmektedir. Hava kirliliği, su kirliliği ve denizlerdeki gemi yoğunluğu gibi çevresel olumsuz etkiler açığa çıkmaktadır. Denizlerde, okyanuslarda veya iç su yollarında açığa çıkan olumsuz etkiler sadece o bölgeleri değil aynı zamanda karasal

bölgeleri de açığa çıkan hava kirliliğiyle etkilemektedir (Mitraa, Choudhury, Sengupta ve Agrawal, 2019). Avrupa Birliği gemilerin çevreye vermekte olduğu zararları incelemekte ve eğer önlemler arttırılmazsa 2050 yılına kadar emisyon oranlarının %50 ile %250 oranında artacağını öngörmektedir. Düşük emisyon oranlarının sağlanabilmesi için ise denizcilik sektöründe ayak izi oluşturmayan yeni teknolojilerin kısa süre içerisinde kullanılmasının gerekliliği belirtilmektedir (Eurostat Statics Explained, 2020). Dünya ticaretinde önemli bir yere sahip olan denizyolu taşımacılığının birim taşıma başına düşen emisyon oranı düşük olsa dahi çevreye ciddi boyutlarda zarar vermektedir.

Zararlı gazların açığa çıkması sera etkisi ve küresel ısınma gibi çevresel etkilere sebep olmaktadır. Sera etkisi; zararlı gazların atmosferde yansıyan güneş ışınlarını tutması sebebiyle dünyanın olması gerekenden daha fazla ısınması anlamına gelmektedir. Dünyanın atmosferden gelen ışıklardan daha çok yansıyan ışıklardan ısındığı bilinmektedir. Sera etkisinin bir sonucu ise küresel ısınmadır. Küresel ısınma bir diğer adıyla iklim değişikliği olarak da bilinmektedir. İklim değişikliği; karbondioksit gibi zararlı gazların atmosferde tutunması sebebiyle ışıkların atmosfer dışına aktarılamaması sebebiyle oluşmaktadır (Aksay, Ketenoğlu ve Kurt, 2005). Uluslararası Denizcilik Kurumu (International Maritime Organization, (IMO), çevreye verilen zararların en aza indirgenebilmesi için Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi stratejilerini desteklemekte ve bu doğrultuda uluslararası denizcilikte çevreye verilen zararların azaltılabilmesi için ortak stratejik amaca hizmet ettiğini açıklamaktadır. IMO, çevrecilik

hedeflerinde Paris Anlaşması hedeflerini de dikkate alarak, 2008 yılından 2030 yılına kadar emisyonlarda minimum düzeyde %40 azalma, bu hedeften 20 yıl sonra da yine minimum düzeyde %70 oranında azalma hedeflemektedir. Bu hedefin gerçekleştirilebilmesi için belirledikleri strateji ise; devletlere, işletmelere çevre, yeni teknolojiler, düşük emisyon gibi konularla ilgili eğitim verilmesi ve bilinç oluşmasının sağlanabilmesidir.

Gemilerin ortalama 30 yıl, bakım, yenileme ve tamir yapılarak ise en fazla 50 sene ömrü olduğu bilinmektedir. Eski gemilerde kullanılan teknolojinin geri kalmış olması, enerji verimliliğinin yeterince sağlanamaması ve kullanılan yakıt türünün çevreye zararlı olması sebebiyle daha fazla CO₂ emisyonuna sebep olmaktadır (European Commission, 2020). Gemilerde kullanılan yakıtlar zararlı gazların açığa çıkmasına neden olmaktadır. Bu yakıtlar geminin seyri ve gemideki ısınma, elektrik ihtiyacı, gemi için makinelerin çalıştırılabilmesi gibi durumlarda kullanılmaktadır. Gemilerde sıvı yakıt, katı yakıt ve gaz yakıt kullanılabilir. Geminin büyüklüğü, yük ve yolcu taşıma kapasitesi, seyir hızı gibi birçok etken gemide kullanılacak yakıt türüne karar vermede etkindir. Büyük hacimli gemiler küçük hacimli gemilere nazaran daha fazla enerji tüketimine ihtiyaç duyduğu için kullanılan yakıt türü küçük hacimli gemilere göre daha ağırdır (Durmaz, 2015). Denizyolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonlar ise; karbondioksit (CO₂), azot oksitler (NO_x), Sülfür oksitler (SO_x), Partikül madde (PM), hidrokarbon (HC), Karbon monoksit (CO) olarak sıralanabilmektedir (Şenol, 2020). 2020 yılında yayınlanan European Commission, (2020) raporuna göre; denizyolu taşımacılığında 40 milyon tondan daha fazla

yakıt tüketilmiştir. Bu yakıtların yarısından fazlası ağır kirletici yakıtlardan oluşmaktadır. Konteyner gemileri toplam CO2 salınımının %30'unu oluşturmaktadır. Rapor oluşturulurken dünya filosundan izleme gemileri seçilmekte ve konteyner gemileri bu gemiler arasında izlenen taşıma kapasitesinin %20'lik diliminden daha az bir dilimi temsil etmektedir. İzlenen konteyner gemileri toplamda 70.000 milyon tondan daha fazla ölü ağırlığı (DTW) bulunmaktadır. Ortalama hızları 14 deniz mili (knot) olarak bilinmektedir. CO2 salınımının %13'ünü ise dökme yük gemileri oluşturmaktadır. Bu gemiler izlenen taşıma kapasitesinin neredeyse %40'ını oluşturmaktadır. Ortalama hızları ise konteyner gemilerinden daha düşüktür. 10.5 knot ortalama hızları bulunmaktadır.

1. Literatür Taraması

Denizyolu taşımacılığında gemiler, limanlar ve liman içi kullanılan araçlar; deniz, hava ve çevresel kirliliğe neden olabilmektedir. Denizlerin kirletilmesi konusunda Özdemir (2012) makalesinde; deniz kirliliğini iki ana başlık altında incelemektedir. Denizlerin gemiler tarafından kirletilmesinin yanı sıra karasal etkenler daha büyük oranda zarar vermektedir. Gemiler sebebiyle oluşan kirlilikler incelendiğinde ise; gemilerin faaliyetlerine devam ederken verdiği zararın yanı sıra oluşan gemi kazaları da denizlerin kirletilmesine sebebiyet vermektedir. Gemilerin faaliyetleri sırasında çeşitli atıkların denizlere atılması, gemilerin sebep olduğu deniz kirliliğinin başlıca nedeni arasında yer almaktadır. Denizyolu taşımacılığı sebebiyle oluşan hava kirliliği konusunda Aygül ve Baştuğ (2020) yaptıkları araştırmalarında özellikle gemilerde kullanılan

makinenin çalıştırılabilmesi için kullanılan fosil yakıtların açığa çıkarttığı emisyonlara değinmektedirler. NO₂, CO₂, CO gibi salınımlara sebep olarak çevreye, doğaya, insan yaşamına doğrudan zarar veren fosil yakıtların kullanım sıklığı oldukça fazladır. Bu kullanım sıklığı, küresel ısınmaya, ozon tabakasının delinmesine, kanser gibi birçok hastalığa sebep olmaktadır. Emisyonların azaltılması hayati derecede önem taşımaktadır. Azaltılabilmesi için; uluslararası çerçevede kuralların belirlenip takip ve kontrol edilmesi gerektiğine dikkat çekmektedir. Denizlerin gemiler sebebiyle kirletilmesinin diğer nedenleri incelendiğinde ise Küçük ve Topçu (2012) yapmış oldukları araştırmalarında özellikle tehlikeli madde taşımacılığında genellikle insandan kaynaklanan hatalar sebebiyle etiketlenmenin yanlış yapılması, tehlikeli maddenin yönetmelik dışında yanlış bir şekilde yüklemesinin gerçekleştirilmesi gibi durumların da kirliliğe yol açtığına değinmektedir.

Denizyolu taşımacılığı dünya ticaretinin en çok yapıldığı taşımacılık türüdür. Lister (2014) araştırmasında bu denli tercih edilen ve ekonomik fayda sağlayan taşımacılık türünün çevreye verdiği zararın azaltılabilmesi için kamu ve özel sektörün birlikte hareket etmesinin gerekliliğine değinmektedir. İşletmelerin yaptıkları çalışmaların ötesinde uluslararası örgütlerin çalışmalarını genişleterek tek düze bir sistem geliştirmelerinin gerekliliğine değinmektedir.

Mitraa, Choudhury, Sengupta ve Agrawal (2019) çalışmalarında denizyolu taşımacılığının potansiyeli ve gelişimiyle ilgili yapmış oldukları çalışmalarında gemilerden kaynaklanan emisyonları inceleyerek çözüm önerilerini değerlendirmektedirler. Denizcilik faaliyetleri devam ederken enerji sürdürülebilirliği

konusunda değerlendirmeler yapılan araştırmada; Hindistan’da denizcilik sektöründe büyüme görülebilmesi için yeşil çözümlerin de kullanılmasının gerekliliğine değinmektedir.

Psaraftis (2016) denizyolu taşımacılığında yeşil çözümler geliştirilirken ekonomik kriterlerin geri plana atılmaması gerekliliğine dikkat çekmektedir. Yapılan çalışmada “kazan-kazan” yöntemi tartışılmakta ve bu yöntem doğrultusunda çevresel faktörlere hız düşürme gibi çözüm yöntemleri geliştirilirken ekonomik faktörlerin dikkate alınmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu doğrultuda işletmeler ekonomik faktörleri tercih edeceğinden çevresel çözümlere yeterince önem verilmeyecektir. Kazan- kazan yönteminde ise çevresel fayda sağlanırken aynı doğrultuda ekonomik faydanın da sağlanmasının gerektiği tartışılmaktadır.

2. Araştırmanın Yöntemi

Araştırmada kullanılan EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) yöntemi IMO’nun uluslararası olarak yayınladığı, hala çalışmaya devam eden gemilerin enerji verimliliğinin matematiksel olarak hesaplanmasına yardımcı olan bir yöntemdir. EEOI gönüllü olarak kullanılan bir yöntemdir. Gönüllü olarak kullanılabilmesi için formülü MEPC.1/Circ.684 ile Ağustos 2009’da kullanıma açılmıştır. Temel amaç; gemilerdeki enerji verimliliğinin artırılması için matematiksel verilere dayanan hesaplamaların yapılmasına kılavuz görevi görmesidir ve taşıma sırasında yayılan CO2 miktarının çeşitli yöntemlerle düşürülmesini sağlamaktır. Kullanılan yöntem taşıma işi yapan bütün gemiler için kullanılabilir (International Maritime Organization, 2009).

$$EEOI = \frac{\text{Gerçekleşen CO}_2 \text{ Emisyonu}}{\text{Gerçekleşen taşıma işi}}$$

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{\text{Carbon}}}{\sum_j m_{\text{Cargo}_j} \times D_j}$$

FC_j ; Sefer sırasında kullanılan yakıt tüketim miktarı

C_{Carbon} ; Yakıt cinsine ait dönüşüm faktörü

m_{Cargo_j} ; Taşınan yükün kütlesi (ton, yolcu veya TEU)

D_j ; Sefer mesafesi (mil cinsinden)

FC_j Değerinin hesaplanabilmesi için yakıt tüketiminin bilinmesi gerekmektedir. $FC_j = Kw * SFC$ (Specific Fuel Consumption) formülü kullanılarak hesaplanmaktadır.

C_{Carbon} Hesaplanmalarında (International Maritime Organization, 2009) yayınlanan Tablo 1'de bulunan verilerden yararlanılmaktadır.

Tablo 1. Yakıt Cinsine Ait Dönüşüm Faktörleri

Yakıt Cinsi	Referans	Karbon Niceliği	C _F (t-CO ₂ /t-Fuel)
Diesel/Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMC	0.875	3.206000
Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	0.86	3.151040
Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	0.85	3.114400
Liquified Petroleum Gas (LPG)	Propane	0.819	3.000000
	Butane	0.827	3.030000
Liquified Natural Gas (LNG)		0.75	2.750000

Kaynak. (International Maritime Organization, 2009).

Araştırmanın evreni 01.09.2021 ve 30.09.2021 tarihleri arasında Atlas Okyanusunda, Hint Okyanusunda ve Büyük Okyanusta seferde olan, Heavy Fuel Oil (HFO) yakıt kullanan Ro-Ro, dökme yük ve kargo gemileridir. Bu kapsamda örneklem oluşturmak için rassal olarak 30 adet gemi seçilmiş ve çalışma onlar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu gemilerden 20'si Atlas Okyanusunda, 3'ü Hint Okyanusunda, 7'si Büyük Okyanusta seferde olan gemilerdir. Bu 30 geminin sadece bir seferi seçilerek CO₂ salınımı hesaplanmıştır. Seçilen gemiler yük taşımacılığı yapan ticari gemilerdir, diğer gemiler araştırmanın kapsamına alınmamıştır. Gemilerin yakıt türlerinden HFO değerlendirmeye alınmıştır, Tablo 1'de bulunan diğer gemi yakıtları hesaplanmamıştır. Gemiler stabilize için tam motor kapasitesi kullanımı tercih edebilmektedir. Hesaplamalarda gemilerin maksimum kapasite ile çalıştığı varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu çalışmada gemilerin motor kapasitelerinin düşük güçte çalıştırıldığı durum hesaplanarak stabilize hesaplamasına katılmamıştır.

3. Bulgular

Gemilerin tam kapasiteyle çalışmaları durumunda CO2 salınımları Tablo 2’de incelenmektedir.

Tablo 2. Kapasitenin %100 Olması Durumunda

GEMİ	FCJ	CCARBON	MCARGO	DJ	GCO2/T.MİLES
GEMİ 1	4327182	3,1144	25661,25	1750	0,225073806
GEMİ 2	2131292	3,1144	25470	751	0,260261399
GEMİ 3	1409403	3,1144	24984,75	3712	0,035496688
GEMİ 4	3894765	3,1144	25362	694	0,516861154
GEMİ 5	2035327	3,1144	25239	980	0,192208048
GEMİ 6	3841482	3,1144	25362	1173	0,301615026
GEMİ 7	3908372	3,1144	24630,75	247	1,500572253
GEMİ 8	2259771	3,1144	25267,5	751	0,27816208
GEMİ 9	3805245	3,1144	18750	583	0,813108309
GEMİ 10	3908372	3,1144	24632,25	369	1,004386927
GEMİ 11	3307227	3,1144	153010,5	10236	0,004932285
GEMİ 12	5729280	3,1144	151038	9377	0,009448994
GEMİ 13	2291712	3,1144	146399,3	1639	0,022308886
GEMİ 14	10384320	3,1144	114456	12728	0,016650029
GEMİ 15	4573111	3,1144	113293,5	12760	0,007389104
GEMİ 16	2277389	3,1144	99402,75	4012	0,0133387
GEMİ 17	3384572	3,1144	87297	4012	0,022572475
GEMİ 18	2320358	3,1144	82368	208	0,31635075
GEMİ 19	1862016	3,1144	9801,75	999	0,444170747
GEMİ 20	2234419	3,1144	15750	4580	0,072352622
GEMİ 21	2315489	3,1144	33990	396	0,401820356
GEMİ 22	4654181	3,1144	33990	4673	0,068443458
GEMİ 23	5269649	3,1144	36000	946	0,361429557
GEMİ 24	5199608	3,1144	36720	2521	0,131199066
GEMİ 25	8192870	3,1144	35535	1605	0,335536973
GEMİ 26	5024722	3,1144	36000	1462	0,222996374
GEMİ 27	3164568	3,1144	15975	547	0,845905535
GEMİ 28	3219855	3,1144	15975	1476	0,318966294
GEMİ 29	2177126	3,1144	15337,5	55	6,028399609
GEMİ 30	2463590	3,1144	13530	1426	0,298254383

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturulmuştur.

Gemi 1'den başlayarak bütün gemilerin EEOI hesaplamaları yapılmıştır. Araştırmada kullanılan gemilerden Ro-Ro kargo gemilerinin toplamda 5,127746 (g CO₂/t.miles) 34%, dökme yük gemilerinin 0,929515 (g CO₂/t.miles) 6% ve kargo gemilerinin 9,012952 (g CO₂/t.miles) 60% oranında salınım yaptıkları görülmektedir. Gemilerin tam kapasiteyle çalışmaları durumunda hesaplamalar yapılmıştır. Gemilerin kapasite kullanım oranlarına göre çalışma durumları perspektifinde emisyon oranlarına ilişkin elde edilen bulgular Tablo3, 4 ve 5'te verilmiştir.

Tablo 3. Kapasitenin %75 Olması Durumunda

GEMİ	FCJ	CCARBON	MCARGO	DJ	GCO ₂ /T.MİLES
GEMİ 1	3256655,167	3,1144	25661,25	1750	0,225855312
GEMİ 2	1604019,36	3,1144	25470	751	0,261165084
GEMİ 3	1060722,48	3,1144	24984,75	3712	0,03561994
GEMİ 4	2931216,024	3,1144	25362	694	0,518655811
GEMİ 5	1531795,37	3,1144	25239	980	0,192875437
GEMİ 6	2891115,54	3,1144	25362	1173	0,3026623
GEMİ 7	2941456,739	3,1144	24630,75	247	1,505782573
GEMİ 8	1700713,269	3,1144	25267,5	751	0,27912792
GEMİ 9	2863842,899	3,1144	18750	583	0,815931602
GEMİ 10	2941456,739	3,1144	24632,25	369	1,007874382
GEMİ 11	2489032,73	3,1144	153010,5	10236	0,004949411
GEMİ 12	4311880	3,1144	151038	9377	0,009481803
GEMİ 13	1724752	3,1144	146399,25	1639	0,022386348
GEMİ 14	7815282,5	3,1144	114456	12728	0,016707841
GEMİ 15	3441742,616	3,1144	113293,5	12760	0,00741476
GEMİ 16	1713972,3	3,1144	99402,75	4012	0,013385015
GEMİ 17	2547243,11	3,1144	87297	4012	0,022650852
GEMİ 18	1746311,4	3,1144	82368	208	0,317449191
GEMİ 19	1401361	3,1144	9801,75	999	0,445713007
GEMİ 20	1681633,2	3,1144	15750	4580	0,072603846
GEMİ 21	1742646,302	3,1144	33990	396	0,403215566
GEMİ 22	3502755,718	3,1144	33990	4673	0,068681108
GEMİ 23	3965959,427	3,1144	36000	946	0,362684521

GEMİ 24	3913246,694	3,1144	36720	2521	0,131654619
GEMİ 25	6165988,4	3,1144	35535	1605	0,336702032
GEMİ 26	3781626,557	3,1144	36000	1462	0,223770667
GEMİ 27	2381666,918	3,1144	15975	547	0,848842707
GEMİ 28	2423276,56	3,1144	15975	1476	0,320073816
GEMİ 29	1638514,4	3,1144	15337,5	55	6,049331552
GEMİ 30	1854108,4	3,1144	13530	1426	0,299289989

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturulmuştur.

Tablo 3'te kapasitenin 75% olması durumunda salgılanan CO2 miktarı görülmektedir. Hesaplamalar kapasitenin tamamen dolu olduğu durumdaki yöntem ile yapılmıştır. Kapasitenin tamamen dolu olduğu durumda 30 geminin toplam 15,07021189 gCO2/t.miles karbon salınımı hesaplanmıştır. Gemi 75% kapasite ile aynı seferi yaptığında ise 15,12253901 gCO2/t.miles karbon salınımı hesaplanmıştır.

Tablo 4. Kapasitenin %50 Olması Durumunda

GEMİ	FCJ	CCARBON	MCARGO	DJ	GCO2/T.MİLES
GEMİ 1	2704489	3,1144	17107,5	1750	0,281342257
GEMİ 2	1332058	3,1144	16980	751	0,325326748
GEMİ 3	880876,8	3,1144	16656,5	3712	0,04437086
GEMİ 4	2434228	3,1144	16908	694	0,646076443
GEMİ 5	1272079	3,1144	16826	980	0,24026006
GEMİ 6	2400926	3,1144	16908	1173	0,377018782
GEMİ 7	2442732	3,1144	16420,5	247	1,875715316
GEMİ 8	1412357	3,1144	16845	751	0,347702599
GEMİ 9	2378278	3,1144	12500	583	1,016385387
GEMİ 10	2442732	3,1144	16421,5	369	1,255483659
GEMİ 11	2067017	3,1144	102007	10236	0,006165356
GEMİ 12	3580800	3,1144	100692	9377	0,011811242
GEMİ 13	1432320	3,1144	97599,5	1639	0,027886108
GEMİ 14	6490200	3,1144	76304	12728	0,020812536
GEMİ 15	2858195	3,1144	75529	12760	0,00923638
GEMİ 16	1423368	3,1144	66268,5	4012	0,016673375
GEMİ 17	2115358	3,1144	58198	4012	0,028215594
GEMİ 18	1450224	3,1144	54912	208	0,395438438

GEMİ 19	1163760	3,1144	6534,5	999	0,555213434
GEMİ 20	1396512	3,1144	10500	4580	0,090440777
GEMİ 21	1447180	3,1144	22660	396	0,502275445
GEMİ 22	2908863	3,1144	22660	4673	0,085554322
GEMİ 23	3293530	3,1144	24000	946	0,451786946
GEMİ 24	3249755	3,1144	24480	2521	0,163998833
GEMİ 25	5120544	3,1144	23690	1605	0,419421217
GEMİ 26	3140451	3,1144	24000	1462	0,278745468
GEMİ 27	1977855	3,1144	10650	547	1,057381919
GEMİ 28	2012410	3,1144	10650	1476	0,398707868
GEMİ 29	1360704	3,1144	10225	55	7,535499511
GEMİ 30	1539744	3,1144	9020	1426	0,372817979

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturulmuştur.

Tablo 4'te geminin 50% doluluk oranına sahip olduğu haliyle hesaplama yapılmıştır. 50% kapasiteyle 18,83776486 gCO₂/t.miles CO₂ salınımı görülmektedir.

Tablo 5. Kapasitenin %50'nin Altında Olması Durumunda

GEMİ	FCJ	CCARBON	MCARGO	DJ	GCO ₂ /T.MİLES
GEMİ 1	2197397	3,1144	11975,25	1750	0,326557977
GEMİ 2	1082297	3,1144	11886	751	0,377611404
GEMİ 3	715712,4	3,1144	11659,55	3712	0,051501891
GEMİ 4	1977810	3,1144	11835,6	694	0,749910157
GEMİ 5	1033564	3,1144	11778,2	980	0,278873284
GEMİ 6	1950753	3,1144	11835,6	1173	0,437611087
GEMİ 7	1984720	3,1144	11494,35	247	2,177169564
GEMİ 8	1147540	3,1144	11791,5	751	0,403583374
GEMİ 9	1932351	3,1144	8750	583	1,179733038
GEMİ 10	1984720	3,1144	11495,05	369	1,457257818
GEMİ 11	1679451	3,1144	71404,9	10236	0,007156217
GEMİ 12	2909400	3,1144	70484,4	9377	0,013709477
GEMİ 13	1163760	3,1144	68319,65	1639	0,032367804
GEMİ 14	5273288	3,1144	53412,8	12728	0,024157408
GEMİ 15	2322283	3,1144	52870,3	12760	0,010720798
GEMİ 16	1156487	3,1144	46387,95	4012	0,019353025
GEMİ 17	1718728	3,1144	40738,6	4012	0,032750243
GEMİ 18	1178307	3,1144	38438,4	208	0,458991044
GEMİ 19	945555	3,1144	4574,15	999	0,644444165
GEMİ 20	1134666	3,1144	7350	4580	0,104975902

GEMİ 21	1175834	3,1144	15862	396	0,582998285
GEMİ 22	2363451	3,1144	15862	4673	0,099304124
GEMİ 23	2675993	3,1144	16800	946	0,524395563
GEMİ 24	2640426	3,1144	17136	2521	0,190355788
GEMİ 25	4160442	3,1144	16583	1605	0,486828198
GEMİ 26	2551617	3,1144	16800	1462	0,323543846
GEMİ 27	1607007	3,1144	7455	547	1,227318299
GEMİ 28	1635083	3,1144	7455	1476	0,462785918
GEMİ 29	1105572	3,1144	7157,5	55	8,746561933
GEMİ 30	1251042	3,1144	6314	1426	0,432735154

Kaynak: Yazar Tarafından Oluşturulmuştur.

Tablo 5. 50%'nin altında olması durumunda salınan CO2 emisyonu hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda toplam 21,86526278 gCO2/t.miles salınım gerçekleştiği görülmektedir.

4. Tartışma ve Değerlendirme

Gemilerin doluluk oranlarına göre CO2 salınımları hesaplanmıştır. Gemilerin tam kapasiteyle çalıştıkları durumda 15,07021189 gCO2/t.miles salınım hesaplanırken 75% kapasite ile 0,052327125 gCO2/t.miles, 50% kapasite ile 3,767552972 gCO2/t.miles, 50%'nin altındaki kapasite ile ise 6,795050896 gCO2/t.miles daha fazla salınım görülmektedir. Gemilerin kapasitelerinin altında yük taşıdığı durumlar hesaplanırken gemilerin FCi değerleri de düşürülmüştür. Geminin yük kapasitesinin düşürülmesi geminin daha az enerjiyle aynı rotada ve aynı yakıt türünü kullanarak seferini tamamladığı durum hesaplanmıştır. Araştırmanın kısıtlarından biri rassal olarak seçilen 30 gemi üzerinden yapılmasıdır. Bu 30 geminin sadece bir seferi seçilerek CO2 salınımı hesaplanmıştır. Seçilen gemiler ticari gemilerdir, diğer gemiler araştırmanın kapsamına alınmamıştır. Gemilerin yakıt türlerinden HFO değerlendirmeye alınmıştır, diğer

gemi yakıtları hesaplanmamıştır. Gemiler stabilize için tam motor kapasitesi kullanımı tercih edebilmektedir. Bu araştırmada gemilerin motor kapasitelerinin düşük güçte çalıştırıldığı durum hesaplanarak stabilizeleri hesaba katılmamıştır.

Sonuç

Denizyolu taşımacılığı diğer taşımacılık yöntemlerinin yanında taşımacılık başına çevreye daha az oranla zarar veriyor olsa dahi özellikle kullanım sıklığından dolayı bu oranlar geri dönülemez boyutlara ulaşmaktadır. Denizyolu taşımacılığı, iç su yolu taşımacılığı da ele alındığında su, hava ve limanlardan dolayı karayı da tehdit altına almaktadır. Biyolojik çeşitliliğin bozulması, su kirliliği, hava kirliliği, insan sağlığının bozulması, küresel ısınma, sera etkisi gibi birçok çevresel etkiye neden olmaktadır. Bu etkilerin temel kaynağı ucuz ve ulaşılabilir olması sebebiyle fosil yakıtların tercih edilmesidir.

Denizyolu taşımacılığında emisyonların düşürülmesi, kirliliğin azaltılması için IMO'nun çeşitli denizyolu taşımacılığı yeşil çözümleri bulunmaktadır. Yeşil çözümler, geminin seyir hızının düşürülmesi, fosil yakıtların kullanımının azaltılması, daha temiz içerikli yeni nesil yakıt türlerinin tercih edilmesi, enerji verimliliğinin artması, hava durumuna bağlı seyir planının yapılması gibi çözümler öne sürmektedir. Çözümlerin matematiksel yöntemlerle uygulanabilirliğinin ve kontrolünün sağlanabilmesi için çeşitli hesaplama yöntemleri yayınlanmıştır. Bu yöntemler SEEMP, EEDI, EEXI, EEOI ve benzeri olarak sıralanabilmektedir. Araştırmalarda genellikle tercih edilen EEDI yönteminin temel amacı yeni gemiler üzerinde enerji verimliliği tasarım indeksi oluşturmaktır. EEOI

yöntemi ise hali hazırda faaliyetlerine devam edilen gemilerin verimliliğini ölçmede kullanılmaktadır. Temel olarak aynı hesaplama olsa dahi EEDI ve EEOI arasındaki en büyük farklılık EEDI yönteminin yeni gemiler için kullanırken EEOI yönteminin faaliyetlerine devam eden gemiler için kullanılıyor olmasından kaynaklanmaktadır. Araştırmada 30 farklı geminin yapmış oldukları tek seferleri ele alınarak EEOI yöntemiyle hesaplamalar yapılmıştır. Gemilerin özelliklerinin birbirlerine yakın fakat temel olarak farklı olarak seçilmesine önem verilmiştir. Farklı olmasında temel amaç EEOI yönteminin uygulanabilirliğinin bütün gemiler üzerinde denenmesini sağlamaktır. EEOI yöntemi işletmelerde raporlama yöntemiyle kullanılarak 1 yıllık hedeflerin uygulanabilirliğinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Bu araştırmada gemilerin tek bir seferi seçilmiştir ve geminin EEOI değeri elde edilmiştir. Elde edilen değer düşürülmesi için denizyolu taşımacılığında yeşil yöntemlerden yararlanılmıştır.

Gemilerin CO₂ salınımlarının hesaplanmasında kullanılan EEOI yöntemi aracılığıyla gemi kapasitelerinin doluluk oranlarına göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu doğrultuda yapılan hesaplamalar sonucunda gemilerde planlama süreçlerinin CO₂ salınımı açısından önemi görülmüştür. Gemilerin stabilizesi düşünülmeden gemi motor kapasitelerinin de düşürüldüğü durumlarda dahi gemilerin aynı yakıt türü ve aynı rotada yaptıkları seferlerde daha fazla CO₂ salınımı gerçekleştirdikleri görülmektedir. İşletmelerin maliyet açısından en yüksek faydayı sağlarken çevresel olarak en düşük zararın verilmesi için gemi yükleme planlamasının doğru şekilde yapılmasının önemi görülmüştür. Gemi stabilizesi hesaplamalara eklendiği durumda geminin tam motor kapasitesinin tercihi söz konusu olabilmektedir.

Geminin motor kapasitesinin tam olarak kullanılması ve yük kapasitesinin tam olarak kullanılmaması durumunda CO2 salınımı daha çok artmaktadır. Gemilerin CO2 salınımını düşürebilmesi ve işletmelerin maksimum verimle süreçlerine devam edebilmesi için planlama süreçlerinde iyileştirmelerin yapılmasının gerekliliği görülmüştür.

Kaynakça

Aksay, C. S., Ketenoğlu, O., & Kurt, L. (2005). Küresel ısınma ve iklim değişikliği. *S Ü Fen Ed Fak Fen Dergisi*(25), 29-41.

Aygül, Ö., & Baştuğ, S. (2020). Deniz taşımacılığı kaynaklı hava kirliliği ve insan sağlığına etkisi. *Journal of Maritime Transport and Logistics*, 1(1), 26-40.

Bozdoğan, R. (2005). Sürdürülebilir gelişme düşüncesinin tarihsel arka planı. *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi*(50), 1011-1028.

Durmaz, M. (2015). *Bir feribottan yayılan egzoz emisyonlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

European Commission. (2020). *2019 annual report on co2 emissions from maritime transport*. Brussels: European Commission.

Eurostat Statics Explained. (2020, Ağustos). *EuroStat*. Eurostat Statics Explained: <https://ec.europa.eu/> adresinden alındı

International Maritime Organization. (2009). *Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency operational indicator (EEOI)* . London: IMO.

Küçük, Y. K., & Topçu, A. (2012). Deniz taşımacılığında kaynaklanan kirlilik. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 75-79.

Lister, J. (2014). Green shipping: governing sustainable maritime transport. *Global Policy*, 1-12.

Mitraa, S., Choudhury, B. K., Sengupta, P., & Agrawal, K. M. (2019). Assessment of environmental sustainability of maritime sector. *TERI Information Digest on Energy and Environment*, 18(4), 397-414.

Özdağ, U. (2011). Sessiz Bahar'dan sonra ses getiren elli yıl: kadın, çevre, sağlık. *Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 28(2), 179-199.

Özdemir, Ü. (2012). Türkiye'de gemilerden kaynaklı deniz kirliliğinin incelenmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2), 378-384.

Psaraftis, H. N. (2016). Green maritime logistics: the quest for win-win solutions. *Transport Research Arena Conference* (s. 133-142). Warsaw: Elsevier.

Şenol, S. (2020). Gemi kökenli emisyonlara dayalı alternatif sevk sistemleri. *GiDB Dergi*(18), 31-56.

World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Ortak geleceğimiz (our common future)*. İngiltere: Oxford University Press.