

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalında
Ali KANGAL Tarafından Hazırlanan**

**DENİZ TİCARET ROTASI OLARAK KUZEY BUZ DENİZİ'NİN GEMİ EMİSYON
DEĞERLERİNE ETKİSİ**

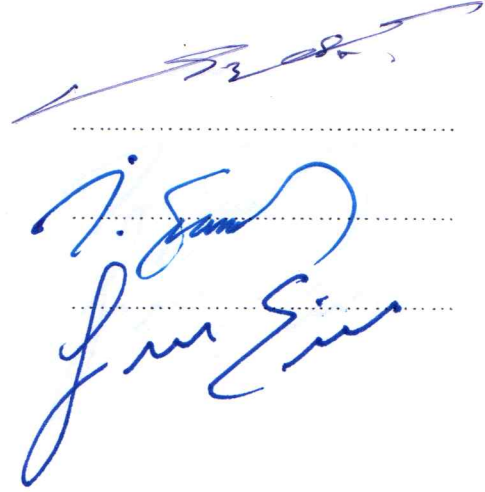
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ersan BAŞAR

Üye : Prof. Dr. İsmet SEZER

Üye : Doç. Dr. Sercan EROL



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Deniz ticaretinin artmasıyla, diğer taşıma şekillerine göre en yeşil, en çevre dostu taşımacılık şekli olan deniz taşımacılığı, azot oksitler, kükürt oksitler, karbondioksit, partikül maddeler gibi gemi kaynaklı emisyonların hava kalitesini bozması, asit yağmurları ve iklim değişikliğine sebep olması dolayısıyla, insan sağlığı ve insanlığın devamını tehdit eden bir etken haline gelmiştir.

Ortaya çıkan bu tehlikeleri bertaraf etmek için bu çalışmada, yeşil gemi kavramı çerçevesinde, deniz taşımacılığında kullanılan yakıtlar ve emisyonlar, çeşitli kurumlara önerilen, denenilen, kullanılan ve gemilerde uygulanabilecek teknik, operasyonel, alternatif enerji yöntemleri araştırılmıştır. Bu yöntemler ışığında gelecekte tamamen açılacağı düşünülen Kuzey Buz Denizi rotasını kullanmanın emisyonlara etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Tez çalışmam sırasında değerli bilgi, birikim ve tecrübelerinden yararlandığım başta sayın hocam Doç. Dr. Sercan EROL'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Ayrıca bugünlere gelmemde büyük emekleri olan anne ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Ali KANGAL
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Deniz Ticaret Rotası Olarak Kuzey Buz Denizi’nin Gemi Emisyon Değerlerine Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Sercan EROL’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
20/06/2019

Ali KANGAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Yeşil Kavramı.....	2
1.3. Yeşil Gemi Yönetimi.....	5
1.4. Gemi Yakıt Türleri, Emisyonları Ve Etkileri	7
1.4.1. Gemi Yakıt Türleri	7
1.4.2. Gemi Emisyonları ve Etkileri	11
1.4.3. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)	18
1.4.4. IMO ve Sürdürülebilir Denizcilik.....	18
1.4.5. Deniz Kirliliğini Önlemeye İlişkin Uluslararası Denizcilik Sözleşmesi.....	19
1.4.6. Emisyon Kontrol Alanları (ECA).....	20
1.5. Gemi Emisyon Hedefleri ve Verimlilik Göstergeleri.....	21
1.5.1. Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (EEDI).....	23
1.5.2. Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP).....	24
1.5.3. Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi (EEOI).....	25
1.6. Emisyon Azaltma Yöntemleri	25

1.6.1. Rota Seçimi ve Küresel Denizcilik Rotaları.....	27
1.6.2. Kuzey Buz Denizi Rotaları.....	29
1.7. Literatür Taraması	31
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	34
2.1. Çalışmanın Amacı	34
2.2. Problemin Tanımlanması.....	34
2.3. Çalışmanın Metodolojisi	34
2.4. Araştırmanın Sınırları	39
3. BULGULAR	41
3.1. Kuzeydoğu (KD) Rotası Kullanılarak Yapılan Örnek Emisyon Hesabı	41
3.2. Kuzeybatı (KB) Rotası Kullanılarak Yapılan Örnek Emisyon Hesabı.....	49
3.3. Süveyş Kanalı Rotası Kullanılarak Yapılan Örnek Emisyon Hesabı	53
3.4. Panama Kanalı Rotası Kullanılarak Yapılan Örnek Emisyon Hesabı.....	56
3.5. Ümit Burnu Rotası Kullanılarak Yapılan Örnek Emisyon Hesabı	59
4. İRDELEMELER	62
5. SONUÇLAR.....	70
6. ÖNERİLER	72
7. KAYNAKLAR.....	74
8. EKLER	79

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DENİZ TİCARET ROTASI OLARAK KUZEY BUZ DENİZİ’NİN GEMİ
EMİSYON DEĞERLERİNE ETKİSİ

Ali KANGAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sercan EROL

2019, 78 Sayfa, 3 Sayfa Ek

Bu çalışmada “Yeşil Gemi” gereklilikleri özellikle gemilerin kullandığı yakıt sebebiyle oluşan emisyonlar açısından incelenmiş, bu emisyonları önlemek için yöntemler araştırılmıştır. İlk bölümde yeşil kavramı tanımlanmıştır. Bu tanımlamaya göre yeşil olma için gerekli bilgiler verilmiştir. Yeşil kavramıyla ilintili olan sürdürülebilirliğin çevresel boyutundan yeşil gemi yönetimine geçilmiştir. Yeşil gemi yönetiminde yapılabilecekler genel olarak ifade edilmiş, buradan yeşil gemi olmanın emisyon boyutuna yakıtlar açısından değinilmiştir. En çok kullanılan gemi yakıt türleri, yakıt standartları ve bu yakıtların sebep olduğu emisyonlar ve zararları irdelenmiştir. Gemilerin dünya emisyonlarındaki payları, gemi emisyonlarını düşürmek için IMO’nun verimlilik göstergeleri, teknik, operasyonel ve alternatif enerji kullanarak emisyon azaltma yöntemlerine değinilerek bu yöntemlerden “Rota Seçimi” yöntemi açıklanmıştır. İkinci bölümde ise şu an gündemde olan Kuzey Buz Denizi rotasının açılması durumu irdelenerek, şimdiki mevcut rotalardan olan Süveyş, Panama kanalları, Ümit Burnu rotalarıyla karşılaştırma yapılmıştır. Son bölümde ise Kuzey Buz Denizi rotalarının emisyon açısından avantajlarına, dezavantajlarına, güvenlik ve olası çevresel etkilerine değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil gemi, Emisyonlar, Emisyon Azaltma Yöntemleri, Deniz Ticaret Rotaları, Kuzey Buz Denizi

Master Thesis

SUMMARY

THE EFFECT OF NORTHERN ICE SEA TO SHIP EMISSION VALUES AS
MARINE TRADE ROUTE

Ali KANGAL

Karadeniz Technical University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Marine

Department of Maritime Transportation and Management Engineering

Supervisor: Assoc. Dr. Sercan EROL

2019, 78 Pages, 3 Pages Appendix

In this study, “Green Ship” requirements were examined especially for the emissions caused by the fuel used by the vessels and the methods were investigated to prevent these emissions. In the first section, the concept of green was defined. According to this definition, the information required for becoming green was given. From the environmental dimension of sustainability, which is associated with the concept of green, green ship management has added. What can be done in green ship management was expressed in general, and the emission dimension of being a green ship was mentioned in terms of fuels. The most commonly used types of ship fuels, fuel standards and emissions and damages caused by these fuels have been examined. IMO's efficiency indicators for reducing emissions of ships, ship emissions in the world emission portion were explained and methods of emission reduction using technical, operational and alternative energy were mentioned and “Route Selection” method was explained. In the second section, the Arctic Sea route was examined and the current routes; Suez, Panama Canal and Cape of Good Hope were compared with Arctic Sea routes. In the last section, the advantages, disadvantages, security and possible environmental impacts of the Arctic Sea routes in terms of emissions were discussed.

Keywords: Green Ship, Emissions, Emission Reduction Methods, Maritime Trade Routes Arctic Ocean

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Sürdürülebilirliğin üç boyutu	4
Şekil 2. Singapur limanı 2018 yılı yakıt satışları.....	8
Şekil 3. Singapur limanı 2019 yılı ilk 4 ay yakıt satışları.....	8
Şekil 4. Konteyner gemisi, dizel yakıtlı araba kükürt emisyonu karşılaştırması	12
Şekil 5. Sera etkisi oluşumu	13
Şekil 6. Gemi cinslerine göre 2012 yılındaki karbondioksit miktarları	15
Şekil 7. 2013'te gemi cinslerine göre karbondioksit oranları.....	15
Şekil 8. Yakıtların verdiği enerjiye göre emisyon karşılaştırması.....	16
Şekil 9. Gemilerin dünya emisyonlarındaki payı	17
Şekil 10. Makine devrine göre MARPOL Ek VI NO _x emisyon sınırları.....	22
Şekil 11. Yıllara göre MARPOL Ek VI SO _x emisyon oranları	23
Şekil 12. SEEMP uygulama adımları	24
Şekil 13. Enerji verimliliğini etkileyen değişkenler	26
Şekil 14. Emisyon azaltma yöntemleri.....	27
Şekil 15. Ana ve ikincil denizcilik rotaları	28
Şekil 16. Kuzey Buz Denizi rotaları.....	29
Şekil 17. Ana makinenin güç-hız grafiği.....	36
Şekil 18. Hamburg'dan-Yokohama'ya Kuzey Doğu (KD) rotası	41
Şekil 19. Gemi hız-güç grafiği	47
Şekil 20. Hamburg'dan-Yokohama'ya Kuzeybatı (KB) rotası	50
Şekil 21. Hamburg'dan-Yokohama'ya Süveyş Kanalı rotası.....	54
Şekil 22. Hamburg'dan-Yokohama'ya Panama Kanalı rotası.....	57
Şekil 23. Hamburg'dan-Yokohama'ya Ümit Burnu rotası.....	59
Şekil 24. Karbondioksit emisyonu karşılaştırması	63
Şekil 25. Kükürt emisyonu karşılaştırması.....	64
Şekil 26. NO _x emisyonu karşılaştırması	65
Şekil 27. PM emisyonu karşılaştırması	66

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Yakıt standart kuruluşları	9
Tablo 2. ISO 8217 / 2017'ye göre damıtılmamış yakıtlar ve özellikleri	9
Tablo 3. ISO 8217 / 2017'ye göre damıtılmış yakıtlar ve özellikleri	10
Tablo 4. Farklı yakıt tiplerine göre CO ₂ emisyon değerleri	14
Tablo 5. Türüne ve boyutuna göre dünya filosu gemi sayıları.....	14
Tablo 6. Emisyon Kontrol Alanları	21
Tablo 7. Makine devrine göre (n) MARPOL Ek VI NO _x emisyon sınırları.....	21
Tablo 8. Hamburg-Yokohama limanları arası mesafe karşılaştırması	35
Tablo 9. Farklı buz sınıfı gemiler için fj düzeltme faktörü değerleri	37
Tablo 10. Farklı buz sınıfı gemiler için fi düzeltme faktörü değerleri	38
Tablo 11. Örnek EEDI hesabı için MV A. gemisinin genel bilgileri	39
Tablo 12. EEDI hesabında kullanılan veriler	42
Tablo 13. KD Rotası kullanılarak yapılan örnek sefer hesabı.....	42
Tablo 14. KD rotası kullanılarak yapılan örnek emisyon hesabı	43
Tablo 15. KD Rotası ECA olursa örnek sefer hesabı	45
Tablo 16. KD Rotası ECA olursa örnek emisyon hesabı	45
Tablo 17. KD rotasında hız 11 Knot'a düşürülürse örnek sefer hesabı.....	47
Tablo 18. KD Rotasında hız 11 Knot'a düşürülürse örnek emisyon hesabı.....	48
Tablo 19. KB rotası kullanılarak yapılan örnek sefer hesabı	50
Tablo 20. KB rotası kullanılarak yapılan örnek emisyon hesabı.....	51
Tablo 21. KB rotası ECA'ya dâhil olursa	52
Tablo 22. KB rotası ECA'ya dâhil olursa emisyon hesabı	53
Tablo 23. Süveyş Kanalı rotası kullanılarak yapılan örnek sefer hesabı.....	54
Tablo 24. Süveyş Kanalı rotası kullanılarak yapılan örnek emisyon hesabı.....	55
Tablo 25. Panama Kanalı rotası kullanılarak yapılan örnek sefer hesabı.....	57
Tablo 26. Panama Kanalı rotası kullanılarak yapılan örnek emisyon hesabı.....	58
Tablo 27. Ümit Burnu rotası kullanılarak yapılan örnek sefer hesabı.....	60
Tablo 28. Ümit Burnu rotası kullanılarak yapılan örnek emisyon hesabı.....	60
Tablo 29. Değişik rota senaryolarıyla emisyonların ve maliyetin değişimi.....	62

Tablo 30. Süveyş ve Panama kanallarından geçen gemilerin KD ile emisyon karşılaştırması.....	67
Tablo 31. Süveyş ve Panama kanallarından geçen gemilerin KD'nin ECA'ya dâhil olmasıyla emisyon karşılaştırması.....	68



SEMBOLLER DİZİNİ

KB	Kuzeybatı (NW)
KBD	Kuzey Buz Denizi (Arctic Ocean)
KD	Kuzeydoğu (NSR, NE)
DTO	Deniz Ticaret Odası
DWT	Dead weight ton
HFO	Heavy Fuel Oil
IFO	Intermediate Fuel Oil
IMO	International Maritime Organization (Uluslararası Denizcilik Örgütü)
ISO	International Organization for Standardization
km	Kilometre
LNG	Liquefied Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz)
LOA	Length over all (Tam Boy)
LPG	Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
M/V	Motor Vessel
MDO	Marine Diesel Oil
MFO	Marine Fuel Oil
MGO	Marine Gas Oil
mt	Metrik Ton
USD	Amerikan doları
vb.	Ve benzeri

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

En eski uluslararası endüstri olan ve uluslararası ticaretin can damarlarından biri olan deniz taşımacılığı, en ekonomik taşıma olması dolayısıyla dünya ticaretinde önemli bir rol oynamaktadır. Ticari malların %80'den fazlası denizden taşınmaktadır (Chryssakis, 2014). Büyük hızla büyüyen bu endüstri, sebep olduğu çevre kirliliği handikabıyla da karşı karşıya kalmakta ve yaptığı kirlilik de günden güne artmaktadır. Daha sürdürülebilir bir dünya ve taşımacılık için artan müşteri bilinçliliği ve çevresel kurallar dolayısıyla "Yeşil Gemi" daha popüler hale gelmektedir (Cheng vd., 2013).

Dünya sıcaklığı sanayi devri öncesi seviyenin 6°C üstüne çıktığında yeryüzünde yaşamın sonlanmasına sebep olacaktır. Bu problemle başa çıkmanın tek yolu emisyonları azaltmaktır (Sherbaz ve Duan, 2012). IPCC'ye göre 2050'de emisyon oranları şimdiki seviyesinin %50 ile %85'i arasında olmalıdır. Deniz taşımacılığı dünyadaki CO₂ emisyon oranının %2-3'ünden (Parry vd., 2007), ayrıca %5-7 SO₂ emisyonundan, %11-13 NO_x emisyonundan sorumludur (Dadd, 2012). Uluslararası çalışan gemiler 2014 yılında 626,1 milyon ton CO₂ ürettiği tahmin edilmektedir (Park ve Lee, 2018).

Diğer taraftan dünya petrol fiyatları da hızla artmaktadır. Bu da gemi sahiplerini taşımacılıkta daha ekonomik enerji yollarını araştırmaya sevk etmektedir. Dünyadaki çeşitli savaşların tehdit ettiği petrol fiyatlarına hızla alternatif çözümler bulunması gerekmektedir (Parry vd., 2007).

Bu çalışmada insanlığın geleceği için büyük bir tehlike arz eden gemi kaynaklı emisyonların azaltma yöntemlerini tespit etme ve kazançlarını analiz etmek amacıyla ilk önce "Yeşil Kavramı" , literatürdeki yeri, gemi taşımacılığındaki konumu incelenmiş, sürdürülebilir gemi taşımacılığının birçok boyutuna değinilmiştir. Sonrasında ise gemilerin kullandığı yakıtlar ve özellikleri anlatılarak bu yakıtların yaydığı emisyonlardan önemli görülenlerin özellikleri ve zararları verilmiştir. Gemi emisyon azaltılması için çaba gösteren Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)'nun ortaya koymuş olduğu emisyon hedefleri ve verimlilik göstergeleri ifade edildikten sonra IMO'nun da tavsiye ettiği ve literatürde daha fazlası bulunan emisyon azaltma yöntemlerine değinilmiştir. Emisyon

azaltmak için yöntemler üç ana başlık altında verilmiş olup bunlar; teknik yöntemler, operasyonel yöntemler, alternatif enerji kullanma yöntemleridir.

Yapılan literatür taraması neticesinde, emisyon azaltma yöntemlerinden seçilen rota seçimi yöntemi için şu an gündemde olan Kuzey Buz Denizi rotaları tanıtılarak, bu rotalarla hali hazırda kullanılan Süveyş Kanalı, Panama Kanalı, Ümit Burnu rotası emisyonlar açısından karşılaştırılmıştır. Piyasada çalışan örnek bir kargo gemisinden alınan veriler, literatürden bulunan örnek yakıt, emisyon verileri, IMO verileri hesaplamada referans alınmıştır. İlk önce CO₂ emisyonu için MV A. gemisinin Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (EEDI) değeri hesaplanmıştır. Bu değerle bir geminin saatlik CO₂ salınımı hesaplandıktan sonra, yıllık ve sonrasında tüm gemilerin, tüm yükü taşımak için üreteceği CO₂ emisyonu hesaplanmıştır. Ayrıca yakıtların CO₂ emisyon oranlarına göre de yükün taşınması esnasındaki CO₂ emisyonu hesabı yapılmıştır. Gemi yakıtı kükürt oranından, tüm gemilerin kükürt emisyonu miktarları belirlenmiştir. Makine gücüne göre üretilen NO_x miktarı ve PM miktarları şekliinden makinenin saatte üreteceği NO_x ve PM miktarları belirlenip, tüm yükü taşımak için tüm gemilerin üreteceği NO_x ve PM miktarı hesaplanmıştır. Tüm bu hesaplar sonucunda, Kuzey Buz Denizi rotalarıyla mevcut rotaların emisyon karşılaştırılması yapılmıştır.

Çıkan sonuçlar ve literatürden elde edilen veriler ışığında ise Kuzey Buz Denizi rotalarının avantajları, dezavantajları, belirsizlikleri, gelecekte yapılabilecekler ve yapılması gerekenler değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Gemilerin çevreyi kirletmesine çözüm kapsamında çevreci bir anlayış olan yeşil kavramı ve gemi taşımacılığındaki yeri hakkında bir sonraki kısımda detaylı bilgiler verilecektir.

1.2. Yeşil Kavramı

Yeşil kavramı; bir ürünün üretim, pazarlama, tüketim, geri dönüşüm veya bir hizmetin pazarlama, sunum ve kullanım süreçlerinde çevreye olan zararlarını en aza indirecek şekilde tasarlanması; kullanılan teknolojilerin, firma politika ve üretim süreçlerinin iyileştirilip, geliştirilmesidir (Ayaz, 2016). Yeşil kavramıyla, maliyetlerin, israfın ve çevresel etkilerin azaltılması amaçlanır, sürdürülebilir bir üretim veya hizmet sunumu hedeflenir, öyle ki firmalara çevreci tarafından daha çok ekonomik tarafları çekici gelir ve onları yeşil olmaya teşvik eder (Seroka-Stolka, 2014)

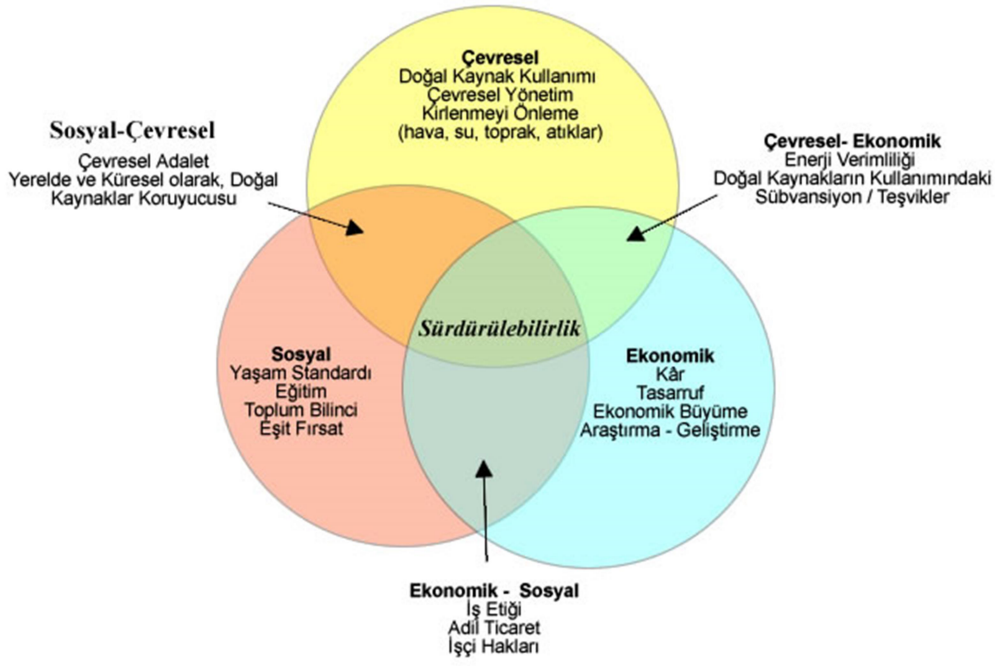
Bu kapsamda yeşil kavramı;

- Şirketlerin ürettikleri ürünlerin / hizmetlerin çevre dostu olmasında,
 - Üretim sürecinde kaynakta kirlenmenin önlenmesinde,
 - Daha temiz üretim için çevre dostu teknolojinin kullanılmasında,
 - Malzemelerin tekrar kullanılması ve geri dönüşümü sağlanmasında,
 - Malzeme kullanımını azaltılmasında,
 - Üründe geri dönüştürülebilen içeriklerin artırılmasında,
 - Tehlikeli ve diğer atıkların minimize edilmesi için süreçlerin optimize edilmesinde,
 - Ürünlerin çevreye olumsuz etkilerini azaltmak için yeniden tasarlanmasında
- önemli katkı sunmaktadır (Hosseini, 2007).

Öte yandan yeşil firma olmak önemli bir husus haline gelmiştir, çünkü çevreye olumsuz etkileri dolayısıyla iş dünyasına baskılar giderek artmaktadır. Ayrıca yeşil kavramlarına olan ilgi akademisyenler arasında da büyümekte ve bu onları araştırma yapmaya sevk etmektedir (Seroka-Stolka, 2014; Shu vd., 2016).

Yeşil kavramı ayrıca sürdürülebilirliği de hedeflemektedir. Bu kapsamda sürdürülebilirlik, ekonomi, toplum ve çevre arasındaki bağlantıları anlayıp, kaynakların ve fırsatların eşit dağılımını sağlayıp, belli sınırlar içinde yaşamak olarak tanımlanır (Hickson, 2014). Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987'de yayımladığı "Ortak Geleceğimiz" isimli raporda ise sürdürülebilirliğin tanımı şu şekilde yapılmıştır; "Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını ellerinden almadan; şimdiki neslin ihtiyaçlarının karşılanabildiği gelişme sürecidir (WCED, 1987)."

Yukarıda yapılan tanımlamalardan hareketle sürdürülebilirlik kavramının, çevresel, ekonomik ve sosyal olmak üzere üç boyuttan oluştuğu ifade edilebilir. Bu kapsamda aşağıda Şekil 1'de sürdürülebilirliğin üç boyutu görülmektedir.



Şekil 1. Sürdürülebilirliğin üç boyutu (Aksel, 2019)

Sürdürülebilirliğin üç boyutundan biri olan ekonomik sürdürülebilirlik; araştırma-geliştirmeyi temel alan ekonomiyle büyürken, bunu tasarruflarla destekleyen ve kârın tek elde toplanmayıp adil bir şekilde dağılması, toplumda refahın devamlılığının sağlanması ile ilgili kavramdır (Mofidi Chelan vd., 2018).

Sosyal olarak sürdürülebilir düzende ise bireyler, devletin sağladığı imkânlardan (sağlık, eğitim, ekonomik vb.) hakkaniyet ölçüsüyle yararlanabilir, bireylere sosyal hizmetler yeterli düzeyde ulaşır, yaşam standardı tüm toplumda yükselir, toplum bilinçlenir ve kendi kendini denetler (Popovic vd., 2013).

Bowersox vd.(2013), sürdürülebilirliğin üç boyutundan biri olan çevresel sürdürülebilirlik için de; “Kaynak temelini sabit tutmalı, yenilenebilir kaynak sistemlerinin ya da çevresel yatırım fonksiyonlarının istismarından kaçınılmalı ve fosil kaynaklardan yalnızca yatırımlarla yerine yeterince konulmuş olanlar tüketilmelidir.” ifadelerini kullanmışlardır. Dahası “Bu süreç, ekonomik kaynak olarak sınıflandırılmayan, biyolojik çeşitlilik, atmosferik denge ve diğer ekosistem işlevlerinin korunmasını da içermelidir” şeklinde belirtmişlerdir (Ayaz, 2016). Bunun yanında sürdürülebilirliğin çevresel boyutu ile ilgili son dönemde, basında, devlet ve hükümet gündemlerinde, akademik literatürde ve kamuoyunda insan faaliyetlerinin çevresel etkileri konusunda artan bir endişe ve farkındalık oluşmuştur (Lai vd., 2011).

Sürdürülebilirliğin üç boyutunun birbirleriyle de ilişkileri mevcuttur. Şekil 1’de görüldüğü üzere ekonomik-sosyal sürdürülebilirlik kesişimi; iş etiğinin benimsenmesi, ticarete hak yenilmemesi ve işçi haklarının verilmesi gerekliliğini anlatır.

Öte yandan Şekil 1’de verilen sosyal-çevresel sürdürülebilirlik kesişimi; yerelde ve küresel olarak çevresel adaleti, doğal kaynakların korunmasını gerektirir.

Son olarak Şekil 1’de geçen çevresel-ekonomik sürdürülebilirlik ise; enerjinin verimli kullanılmasının yanı sıra yenilenebilir doğal kaynakların teşvik edilmesini, fosil kaynakların verimli kullanılması için teşvik ve sübvansiyon verilmesini ifade eder.

Ayrıca firmaların yeşil kavramını benimsemesinin en önemli nedenlerinden biri, kavramın çevresel boyutunun yanında ekonomik boyutunun da olmasıdır. Firmalar atık arıtmasıyla ya da daha az enerji tüketmesiyle hem yeşil kavramına uygun davranmış olacak hem de ekonomik olarak kâra geçecektir. Dolayısıyla firmaları müşteriler, daha çevreci olmaya zorlayabileceği gibi, kendileri de çevresel sürdürülebilirliği benimseyebilirler (Venus Lun vd., 2015).

Öte yandan, yeşil kavramı literatürde, “yeşil yönetim, yeşil tedarik zinciri yönetimi, yeşil lojistik, yeşil liman, yeşil ekonomi, yeşil iş, yeşil gemi ve yönetimi ” gibi alt başlıklarla incelenmektedir (Ayaz, 2016). Bu tez çalışmasında ise yeşil kavramı, yeşil gemi yönetimi kapsamında ele alınacak olup bir sonraki kısımda yeşil gemi yönetimi hakkında detaylı bilgiler verilecektir.

1.3. Yeşil Gemi Yönetimi

Denizcilik endüstrisinde yeşil kavramı, denizcilik faaliyetlerini gerçekleştirmek için çevresel olarak sürdürülebilir bir yönetim anlayışına sahip olmak olarak ifade edilmektedir (Venus Lun vd., 2015). Yeşil gemi yönetimi ise, yük ve yolcu taşımacılığında, gemiler tarafından üretilen emisyonlar ve kirleticilerden dünyayı korumak için kaynakların ve enerjinin daha verimli kullanılmasını ifade eder (Lee ve Nam, 2017). Diğer bir ifade ile yeşil gemi, enerji verimliliğinin artırılması ve gemi işletme maliyetlerinin düşürülmesi amacı ile iklimsel ve çevresel duyarlı teknolojilerin devreye girmesi sonucu ortaya çıkan bir kavramdır (Ayaz, 2016). Bu kapsamda Lai vd.,(2013) yeşil gemi uygulamalarını altı başlıkta incelemiştir (Lai vd., 2013). Söz konusu başlıklar aşağıda kısaca açıklanmıştır:

1. Şirket politikası ve süreçleri: Şirket, politika ve uygulamalarında çevresel sürdürülebilirliği benimsemelidir. Şirket üst düzey personelleri bu politikaları

benimsediği gibi alt düzey personellere de bu süreçleri benimsetip uygulatmalıdır.

2. Taşımacılık belgeleri: Taşımacılık belgelerinde kullanılan kâğıtları azaltmak, elektronik uygulamalara geçmek ve süreçleri basitleştirmek gerekir.
3. Taşımacılık ekipmanları: Taşımacılıkta kullanılan karton, palet, konteyner, kasa gibi ekipmanlar ekonomik tasarımlı ve çevreci olması gerekir, tedarikçilerle işbirliği içinde olunmalıdır. Örneğin konteynerlerde çevreye zararlı soğutucular kullanılmamalıdır.
4. Gönderici işbirliği: Kargo operasyonları göndericilerle işbirliği içinde ekonomik ve çevreci olarak tasarlanmalıdır, örneğin kargo elleçlemede ve taşınmasında müşteri ile işbirliği içinde, çevreci yöntemler ve malzemeler seçilmelidir.
5. Taşımacılık malzemeleri: Taşımacılık malzemeleri azaltılmalı, geri dönüştürülmeli veya yeniden kullanılmalıdır. Yağ, karton gibi malzemeler biriktirilmemeli, çöpe atılmamalı, operasyon maliyetlerini düşürmek için satılmalı ve geri dönüştürülmelidir.
6. Taşımacılık tasarımı ve uyumluluğu: Yasal gerekliliklere uygun olarak, taşımacılık faaliyetleri yaşam döngüsünde çevresel zararları en aza indirecek önlemler alınmalıdır. Örneğin ekipmanların tasarımları güncellenmeli, malzemeler yeniden kullanılacak şekilde tasarlanmalı veya geri dönüştürülmeli, kirlenici enerji kullanımı önlenmeli veya azaltılmalı, optimize edilmiş sefer planlanmalı.

Yeşil gemi uygulamalarına ilişkin yukarıda yapılan açıklamalar, gemilerin işletilmesinden kaynaklı birtakım çevresel sorunların ortaya çıktığını da göstermektedir. Söz konusu bu çevresel sorunlar, gemi emisyonları, atık yağ, petrol sızıntıları, gemilerden kaynaklanan katı ve sıvı atıklar, gürültü kirliliği, balastların yol açtığı kirlilik, pis su, lağım suyu kirliliği ve uluslararası ticarete denizcilik faaliyetlerinden kaynaklanan denizdeki biyoçeşitliliğin azalması örnek olarak gösterilebilir (Ayaz, 2016).

Dünya deniz ticaret filosu yılda ortalama 330 milyon ton yakıt tüketmekte olup, tüketilen bu yakıtın % 80-85'i yüksek kükürt içeriğine sahip kirlenici yakıt olan Heavy Fuel Oil (HFO)'dir (Chryssakis, 2014). Dolayısıyla gemilerde bu düzeyde kirlenici özelliğe sahip enerjinin kullanılması kuşkusuz dikkate değer miktarda hava kirlenici emisyonların

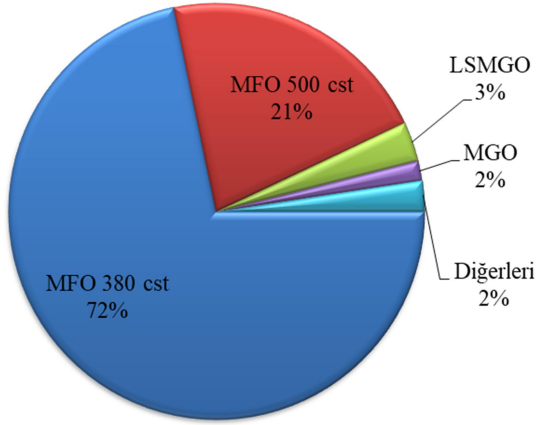
ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu kapsamda yeşil gemi ve yönetimi açısından gemi yakıt türlerine ve bunların emisyon değerlerine odaklanmak uygun bir yaklaşımdır.

1.4. Gemi Yakıt Türleri, Emisyonları Ve Etkileri

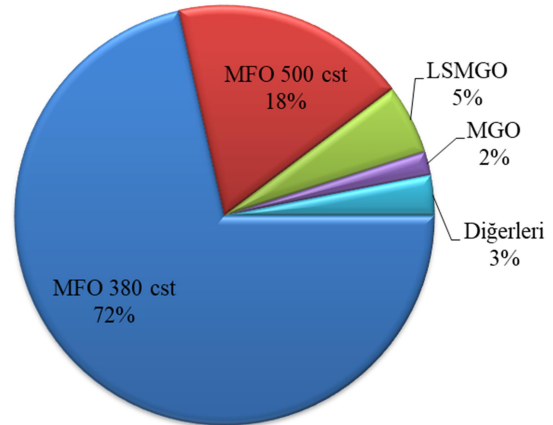
1.4.1. Gemi Yakıt Türleri

Deniz yolu taşımacılığında günümüzde çeşitli türlerde yakıtlar bulunmaktadır. Yelkenli gemiler nispeten kullanılmakta ama kömürlü gemilerin tarihte kaldığı, bunların yerine dizel, benzin, fuel oil, sıvılaştırılmış doğal gaz (Liquefied Natural Gas-LNG) gibi petrol türevleri, bitkisel veya hayvansal biyo-yakıt türleri, etan, metanol veya hidrojenli, nükleer çalışan gemiler kullanılmaktadır (Parker, 2013).

Genelde petrol yakıtları viskozitelerine (akmazlık) göre sınıflandırılır. Viskozite bir akışkanın, akmaya karşı gösterdiği iç direncin veya yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür (URL12, 2019). Viskozite sıcaklığa göre değişir. Daha düşük viskozite değeri daha ince yakıt demektir ve daha ince yakıt daha değerlidir. Viskozite damıtılmış yakıtlarda 40°C’de, damıtılmamış yakıtlarda ise 50°C’de ölçülür. Birim olarak, denizcilikte santistok (cSt) kullanılmaktadır (Uhler vd., 2016; URL2, 2019). Viskozite arttıkça yakıt fiyatı da düşer. Fiyatları nispeten düşük olan Marine Fuel Oil (MFO / HFO) denizcilikte en çok tercih edilen yakıt türüdür (Notteboom ve Vernimmen, 2009; URL1, 2019). MFO türü yakıtlar damıtılmamış olduğundan sadece büyük boyutlu gemilerde ısıtılarak kullanılmaktadır. Ayrıca içinde çeşitli kirleticiler de mevcuttur. Ama damıtılmış ürünler ısıtılmaz (Giannakouros, 2012). Şekil 2 ve Şekil 3’te Singapur limanında 2018 ve 2019 yıllarında satılan yakıt miktarları görülmektedir.



Şekil 2. Singapur limanı 2018 yılı yakıt satışları (URL1, 2019)



Şekil 3. Singapur limanı 2019 yılı ilk 4 ay yakıt satışları (URL1, 2019)

Şekil 2 ve Şekil 3'te görüldüğü üzere viskozitesi 380 cSt olan yakıt toplam satılan yakıt içerisindeki payı %72'dir. MFO 380 cSt'yi sırasıyla %21-18 ile MFO 500 cSt, %3-5 ile LSMGO ve %2'yle MGO takip etmektedir.

Marine Fuel Oil (MFO-HFO-RO-Heavy Fuel Oil) saf petrolden oluşur, 50°C'de 50'yle 810 cSt arasında viskoziteye sahiptir. Damıtılmamış yakıt olan MFO'nun %1 kükürlü Low Sulfur Fuel Oil (LSFO), %0,1 kükürlü Ultra Low Sulfur Fuel Oil (ULSFO) ve %3,5 kükürlü High Sulfur Fuel Oil (HSFO) türevleri de mevcuttur. Damıtılmış yakıt, Marine Gas Oil (MGO) ve az miktarda MFO karışımından oluşan Marine Diesel Oil (MDO-Marine Distillate Oil), ISO 8217'de DMB'ye karşılık gelir. Diğer yandan Intermediate Fuel Oil (IFO) çoğunluğu MFO olmak üzere MFO ve dizel yakıt karışımıdır. Denizcilik piyasasında sıklıkla kullanılan IFO yakıtlar viskozitelerine göre IFO 180, IFO 380 vb. isimlerle anılırlar. Son olarak MFO ile karışmayan Marine Gas Oil (MGO) ISO 8217'de DMA ve DMZ'ye karşılık gelir (Uhler vd., 2016; URL2, 2019).

Öte yandan denizcilikte kullanılan yakıtlar viskozitesinin yanında çeşitli standartlara göre de sınıflandırılmaktadır. Amerikan Gemicilik Bürosuna (ABS) göre, bu standartlardan International Standard for Organisation (ISO) 8217 standardı, denizcilikte sıklıkla kullanılmaktadır. Diğer yakıt standart kuruluşları ise British Standart (BS) BSMA 100 ve International Council on Combustion Engines (CIMAC)'dır. IMO gerekliliklerine göre standartlar güncellenmektedir, Tablo 1'de ISO 8217/1996'nın yakıt standardı isim karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 1. Yakıt standart kuruluşları (URL3, 2019)

Standart Kuruluşları	Yakıt Standart Karşılaştırması							
	IFO 180cSt		IFO 380 cSt		MDO		MGO	
BSMA 100(1989)/ISO 8217(1996)	RME25	RMF25	RMG35	RMH35	DMC	DMB	DMA	DMX
CIMAC(1990)	E25	F25	G35	H35	DC	DB	DA	DX
BSMA100(1982)	-	M6	-	M7	M3	M2	-	M1

Tablo 1'e göre IFO 180 cSt'ye karşılık BSMA100 standardında ve ISO 8217/1996 standardında RME25 ve RMF25 kullanılmakta, CIMAC standardında ise E25 ve F25 kullanılmaktadır. Bu isimdeki yakıtların viskoziteleri aynıdır. IFO 380 cSt'ye karşılık ise RMG35 ve RMH35 kullanılmakta, CIMAC standardında ise G35 ve H35 isimleri kullanılmaktadır.

Yakıtların ISO 8217/1996'ya göre sınıflandırılma isimlerini yukarıda verdikten sonra ISO 8217'nin 2017'de çıkan son versiyonuna göre damıtılmış ve damıtılmamış yakıtların yeni sınıflandırılması ve bazı özellikleri Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. ISO 8217 / 2017'ye göre damıtılmamış yakıtlar ve özellikleri (ISO-8217)

Özellik	Birim	Sınır	RMA	RMB	RMD	RME	RMG				RMK		
			10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700
Viskozite 50 °C'de	cSt	Maks.	10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700
Yoğunluk 15 °C'de	kg/m ³	Maks.	920	960	975	991	991				1010		
Kükürt	ağırlık %	Maks.	Yasal Gereksinim										

ISO 8217/2017'den alınan Tablo 2'de damıtılmamış yakıtların sınıflandırılmasına göre 50 °C'deki maksimum viskoziteleri ve 15 °C'deki maksimum yoğunlukları verilmiştir, kükürt oranları ise bu standartta yasal gereksinime bağlanmıştır. Buna göre RMA 10 sınıfı damıtılmamış yakıtın maksimum viskozitesi 10 cSt iken yoğunluğu maksimum 920 kg/m³'tür. RMB 30 sınıfı damıtılmamış yakıtın ise maksimum viskozitesi 30 cSt ve

yoğunluğu 960 kg/m^3 'tür. RMG sınıfı yakıt ise 180, 380, 500, 700 cSt maksimum viskozitelerine göre dört sınıfa ayrılmış ve bu viskozitelerdeki yakıtların maksimum yoğunluğunun 991 kg/m^3 olması kararlaştırılmıştır.

Tablo 3. ISO 8217 / 2017'ye göre damıtılmış yakıtlar ve özellikleri (ISO-8217)

Özellik	Birim	Sınır	Sınıf						
			DMX	DMA	DFA	DMZ	DFZ	DMB	DFB
Kinematik Viskozite 40 °C'de	cSt	maks.	5,5	6,0	6,0	6,0	6,0	11,0	11,0
		min.	1,4	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0
Yoğunluk 15 °C'de	kg/m ³	maks.	-	890,0	890,0	890,0	890,0	900,0	900,0
Kükürt	% (m/m)	maks.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5

Ayrıca Tablo 3'te görüldüğü üzere ISO 8217 / 2017'de damıtılmış yakıtların sınıflandırılmasına göre 40 °C'deki maksimum viskoziteleri ve 15 °C'deki maksimum yoğunlukları verilmiştir, kükürt oranları ise ağırlığının yüzdesi olarak verilmiştir. Damıtılmış yakıtlarda yapılan güncellemeyle yakıt standartlarındaki kükürt oranları düşürülmüştür, fakat damıtılmamış yakıtlar için hazırlanan standart IMO kükürt gerekliliklerini sağlamamaktadır (ABS, 2018b). Tablo 3'te görülen DMX sınıfı damıtılmış yakıtın maksimum viskozitesi 5,5 cSt iken, minimum viskozitesi 1,4 cSt yoğunluğu ise verilmemiştir. DMA sınıfı damıtılmış yakıtın maksimum viskozitesi 6,0 cSt iken, minimum viskozitesi 2,0 cSt yoğunluğu ise 960 kg/m^3 'tür.

Üretim özelliklerine göre sınıflara ayrılan ve bazı özellikleri sınıfına göre sınırlandırılan yakıtların içlerinde bulunan bazı maddeler emisyonlar açısından tehlike arz etmektedir. Bu maddelere gemi emisyonları ve etkileri bölümünde değinilecektir.

1.4.2. Gemi Emisyonları ve Etkileri

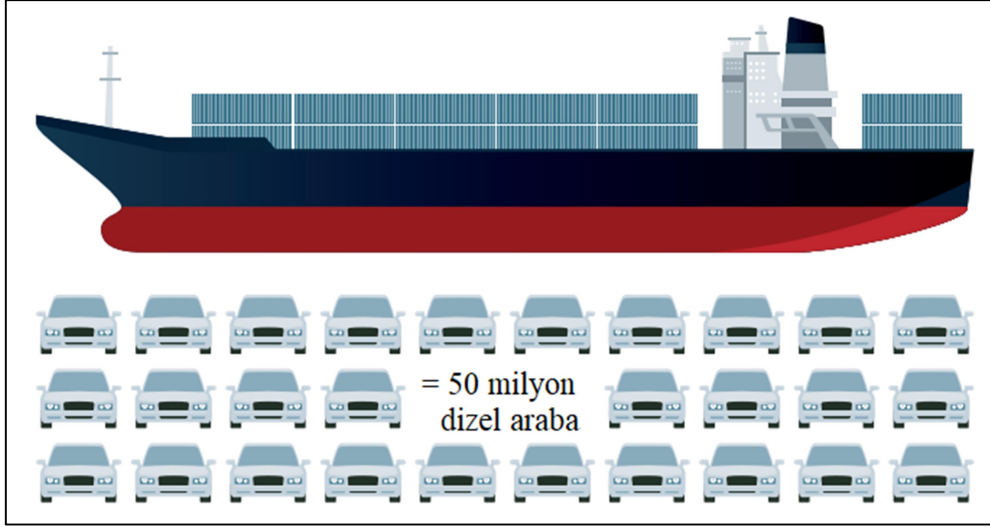
Yukarıda ifade edilen gemi yakıt türlerinin kullanılması neticesinde belli başlı emisyonlar oluşmaktadır. Bu emisyonlar azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x), karbon monoksitler (CO), karbondioksitler (CO₂), diazotmonoksitler (N₂O), metan (CH₄) ve partikül maddelerdir (PM) (Smith vd., 2014). Üzerinde durulması gereken en önemli emisyonlar; NO_x, SO_x, CO₂ ve PM'dir. Aşağıda sırasıyla bu emisyonlara ve etkilerine değinilmiştir.

Azot oksitler (NO_x) asit yağmurlarına neden olur, bu yağmurlar ise yeryüzünün yapısını fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak değiştirir. Sulak alanların asitlenmesini artırır, pH değerini düşürür ve ağır metallerin besin zincirinde çözünmesine neden olur (Yapıcı, 2016). Bu ise canlıların sinir sistemini etkiler, gözlerini ve kulaklarını bozar, onları zehirler (Ünlügençoğlu, 2018).

Diğer kirleticilerden kükürt oksitler (SO_x) de asit yağmurlarına sebep olmakta, mermer, demir, çelik gibi malzemeleri aşındırmakta, bitkileri sarartmaktadır. Kükürt ve partikül maddeler insanların akciğerlerini tahrip etmekte, öksürük, astım, bronşit, kanser gibi hastalıklara ve erken doğum ölümlerine neden olmaktadır (Parry vd., 2007; Yapıcı, 2016).

Çeşitli firmalar düşük kükürt konusunda çalışmaktadır. Örneğin Shell, 50 °C'deki viskozitesinin 10-60 cSt olduğunu belirttiği ULSFO adında yakıt üretmiş ve bu yakıtın % 0,1'den daha az kükürt oranına sahip olduğunu iddia etmektedir (Shell, 2019).

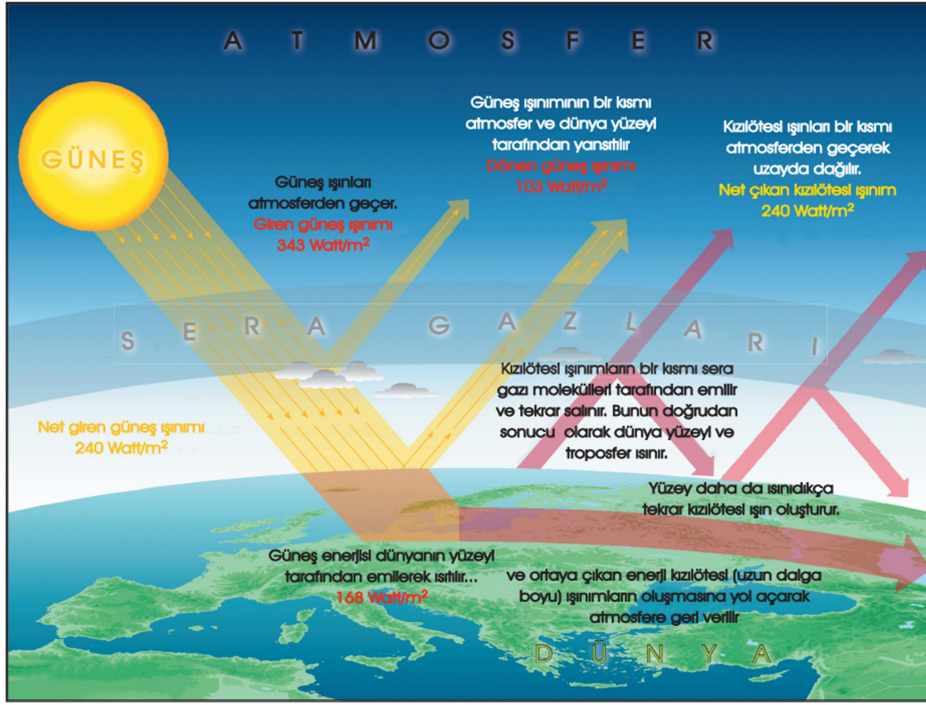
Gemilerden salınan kükürt miktarının büyüklüğünü göstermek açısından arabalarla gemilerin kükürt emisyonu karşılaştırılması Şekil 4'teki gibidir.



Şekil 4. Konteyner gemisi, dizel yakıtlı araba kükürt emisyonu karşılaştırması (P. Liu ve Wang, 2016).

Şekil 4'te kükürt oranı düşük dizel yakıt kullanan arabalarla, %3 gibi yüksek değerde kükürtlü yakıt kullanan büyük boy bir konteyner gemisi karşılaştırıldığında, bir gemiden ortaya çıkan kükürt miktarının 50 milyon dizel araçla eşit seviyede olduğu görülmektedir.

Diğer bir emisyon türü olan CO₂ hava kirliliğine, çevreye, küresel ısınmaya etkileri vardır. CO₂, küresel ısınmaya sebep olması dolayısıyla, tüm dünyayı iklim değişikliğine sürükleyen sera gazlarının en önemlilerindendir. Şekil 5'te CO₂'nin ve diğer sera gazlarının etkileri verilmiştir.



Şekil 5. Sera etkisi oluşumu (Arıkan Y., 2008)

Şekil 5'te belirtildiği üzere, atmosferden geçen güneş ışınları öncelikle dünya yüzeyini ısıtır, bir kısmı ise dünya yüzeyi ve atmosfer tarafından yansıtılır. Kızılötesi ışınlar dünya yüzeyinden yansır ve sera gazları tarafından emilir, dolayısıyla dünya yüzeyi ve troposfer ısınır. Yüze ısındıkça daha fazla kızılötesi ışın ortaya çıkar. Bir kısım kızılötesi ışın atmosferden çıkarak uzaya yayılır. Normalde böyle çalışan sistem, dünyamızın soğuk sıcak dengesini, sera gazları ile sağlar, dünyayı buzul ve çöl olmaktan korur. Fakat son dönemde insanlığın yaptıklarıyla, sera gazları aşırı derecede artmıştır. Bunun sonucu olarak dünyanın ısınmasına ve bu ısıyı dışarı atamamasına sebep olmaya başlamıştır (Arıkan Y., 2008). Özellikle karbondioksit, dünya üzerine gelen ışınları emmekte ve dünyanın daha fazla ısınmasına neden olmaktadır (Parry vd., 2007). Böylece artan sera gazları insanlığın felaketi olacak iklim değişikliğini tetiklemektedir (Arıkan Y., 2008).

Gemiler, sera gazlarından biri olan karbondioksiti, gemi makinelerinde yakıtların yanması sonucu önemli miktarda üretmektedir, gemilerde kullanılan yakıt türlerine göre karbondioksit içerikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Farklı Yakıt Tiplerine Göre CO₂ Emisyon Değerleri (Bai ve Jin, 2016)

Yakıt Türü	Referans	Karbon İçeriği	C _F (t- CO ₂ / t- Fuel)
1. Dizel	ISO 8217 Grades DMX	0,875	3,206
2. Hafif Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMD	0,860	3,151
3. Ağır Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME	0,850	3,114
4. Likit Petrol Gaz (LPG)	Propan, Bütan	0,819 0,827	3,000 3,030
5. Likit Doğal Gaz (LNG)		0,750	2,750

Tablo 4’te görüldüğü üzere; petrol türevi dizel, HFO, LFO yakıtlarının yanmasından ton başına üç ton üzeri karbondioksit ortaya çıkarken, LNG’den nispeten daha az karbondioksit üretilmektedir. Bu tablodan ve Şekil 8’deki grafikten LNG’nin tüm emisyon türlerinde çevreci bir yakıt olduğu anlaşılmaktadır.

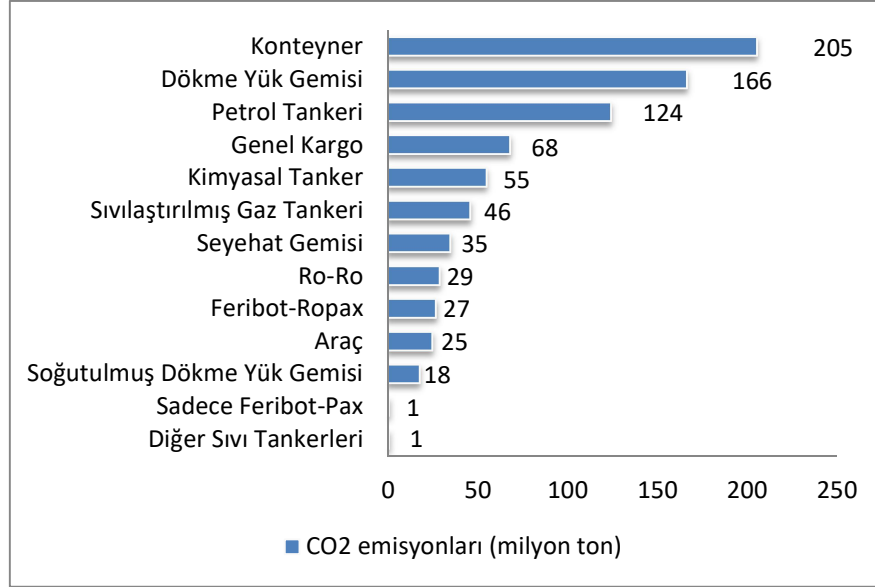
Ayrıca karbondioksit emisyon miktarı gemi sayısı, gemi büyüklüğü, hızı, çalışma yoğunluğu ile de doğrudan ilişkilidir. Tablo 5’te gemi türlerine ve büyüklüklerine göre dünya filosundaki gemi sayıları ve yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 5. Türüne ve boyutuna göre dünya filosu gemi sayıları (Equasis, 2015)

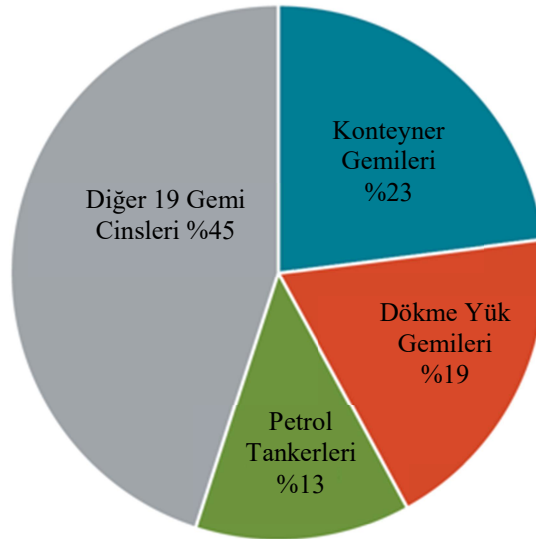
Gemi türü	Küçük ⁽¹⁾		Orta ⁽²⁾		Büyük ⁽³⁾		Çok Büyük ⁽⁴⁾		Genel Toplam	
Genel Kargo Gemileri	4.367	13,6%	11.729	30,6%	222	2,0%			16.318	18,7%
Özel Kargo Gemileri	8	0,0%	211	0,6%	65	0,6%	3	0,1%	287	0,3%
Konteynır gemileri	16	0,0%	2.269	5,9%	1.605	14,2%	1.284	23,6%	5.174	5,9%
Ro-Ro Kargo Gemileri	30	0,1%	645	1,7%	613	5,4%	201	3,7%	1.489	1,7%
Dökme Yük Gemileri	310	1,0%	3.770	9,8%	5.596	49,5%	1.613	29,7%	11.289	12,9%
Petrol ve Kimyasal Tanker	1.854	5,8%	6.749	17,6%	2.517	22,3%	1.601	29,4%	12.721	14,6%
Gaz Tankerleri	39	0,1%	1.096	2,9%	275	2,4%	397	7,3%	1.807	2,1%
Diğer Tankerler	318	1,0%	538	1,4%	7	0,1%			863	1,0%
Yolcu Gemileri	3.729	11,6%	2.577	6,7%	272	2,4%	163	3,0%	6.741	7,7%
Açık Deniz Gemileri	2.612	8,1%	5.339	13,9%	112	1,0%	169	3,1%	8.232	9,4%
Servis Gemileri	2.466	7,7%	2.441	6,4%	25	0,2%	6	0,1%	4.938	5,7%
Römorkörler	16.387	51,0%	987	2,6%					17.374	19,9%
Genel Toplam	32.136	100%	38.351	100%	11.309	100%	5.437	100%	87.233	100%

(1)GT<500 - 121 500<GT<25.000 - (3)25.000<GT<60.000 - (4)GT>60.000

Bunun yanında gemilerin cinslerine göre toplam karbondioksit emisyonları Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 6. Gemi cinslerine göre 2012 yılındaki karbondioksit miktarları (Smith vd., 2014)



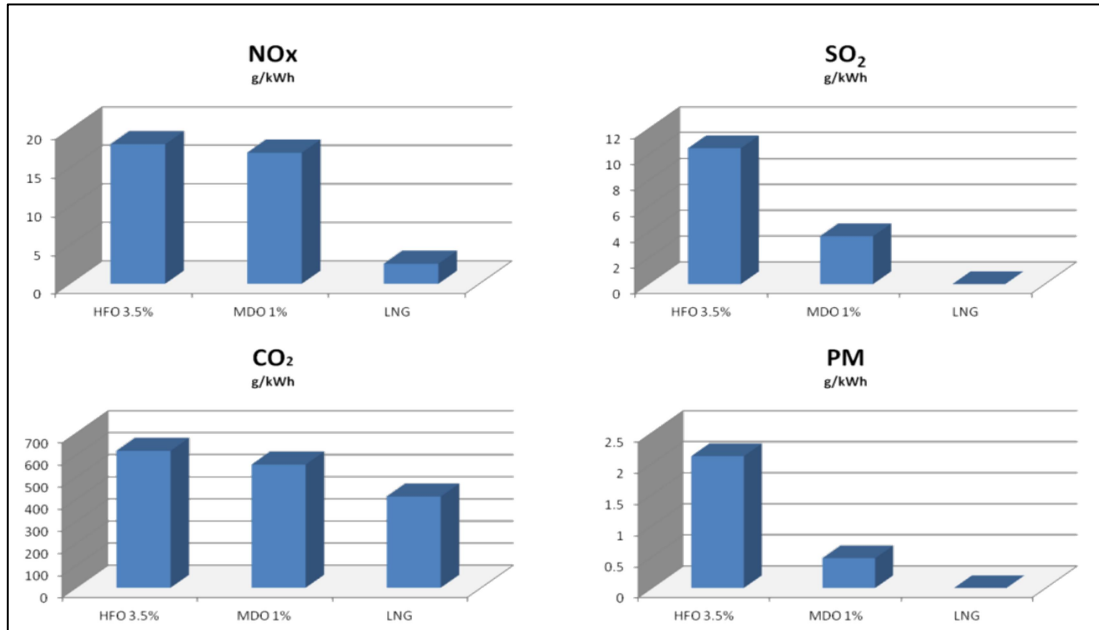
Şekil 7. 2013'te gemi cinslerine göre karbondioksit oranları (URL4, 2017)

Şekil 6'da konteyner gemilerinin 2012 yılında toplamda 205 milyon ton CO₂ emisyonu ürettiği, Şekil 7'de ise bu miktarın toplam CO₂ emisyonu içinde % 23'e denk geldiği verilmiştir. Toplam gemi sayısındaki konteyner gemisi oranı Tablo 5'te % 5,9 verilmiştir. Bu oran CO₂ emisyonu miktarını açıklamamakla beraber, konteyner gemilerinin çok büyük gemiler içindeki oranı %23,6 olması bu emisyon miktarını biraz

açıklamaktadır. Diğer etkenler ise yukarıda verildiği gibi hız ve çalışma yoğunluğu olabilir. Çok büyük gemiler arasında %29, toplam gemi oranında %12,9 orana sahip olan dökme yük gemileri, 166 milyon ton karbondioksitle, toplam gemi emisyonunun %19'undan, ayrıca toplam gemi oranında %14,6 orana sahip petrol gemileri ise 124 milyon ton karbondioksitle %13 karbondioksit emisyonuna sebep oldukları şekillerde gözükmektedir. Bu tablo ve şekillerden gemi karbondioksit emisyonunun gemi sayısı ve gemi büyüklüğü ile ilgili olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca sayısı dökme yük gemilerine oranla daha az olan konteyner gemilerinin servis hızları daha yüksek olduğu için dökme yük gemilerinden daha fazla karbondioksit üretmektedirler (Bai ve Jin, 2016).

Emisyon türlerinden partikül maddeler (PM), geminin egzozundan çıkan duman ya da kurum olup solunum yolu rahatsızlığı veya kalp hastalıklarına ve erken ölüm oranının artmasına neden olabilecek serbest radikalleri içerir. PM, sağlık tehlikesine yol açmasının yanı sıra, metalleri aşındıran inatçı yağlı asit oluşumuna neden olur, rüzgârın etkisiyle uzak mesafelere taşınabilir, buzullar ve buz tabakaları üzerinde biriktiklerinde, buzulların hızlıca erimesine neden olur (Ashworth 2012).

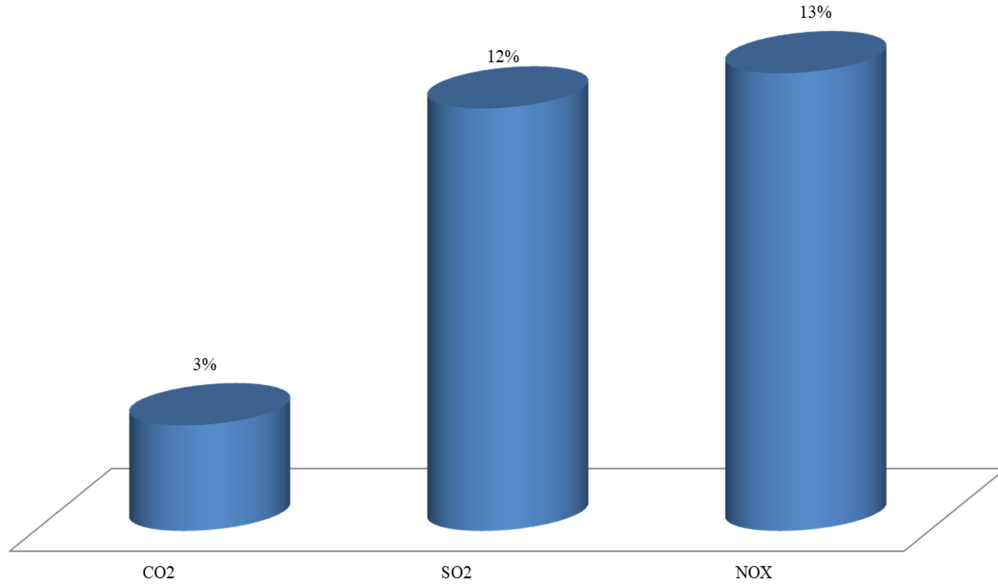
Gemilerde kullanılan yakıtlar dolayısıyla meydana çıkan emisyonları ayrı ayrı incelendi, Şekil 8'de ise gemilerde kullanılan yakıtların verdiği enerji miktarına göre ortaya çıkan emisyonlar verilmiştir.



Şekil 8. Yakıtların verdiği enerjiye göre emisyon karşılaştırması (Ashworth 2012)

Şekil 8'e göre LNG tüm emisyon türlerinde daha az emisyonla sebep olmaktadır. Ayrıca ucuz olduğu için gemi piyasasında en çok kullanılan HFO'nun, tüm emisyon türlerinde en kirletici yakıt olduğu, MDO'nun ise HFO'ya yakın NO_x ve CO₂ emisyonuna sebep olduğu, bunun yanında MDO'nun, SO₂ ve PM açısından ise HFO'dan görece daha temiz bir yakıt olduğu Şekil 8'de görülmektedir.

Şekil 9'da ise gemilerin dünya CO₂, SO₂ ve NO_x emisyonlarındaki toplam payı verilmiştir.



Şekil 9. Gemilerin dünya emisyonlarındaki payı (Smith vd., 2014)

Şekil 9'da görüldüğü üzere, gemiler, dünya üzerindeki tehlikeli emisyon ürünlerinden kükürt oksit ve azot oksit emisyonunda %12 ve %13 gibi önemli bir paya sahipken, karbondioksit emisyonunda ise %3 gibi hatırı sayılır bir etkiye sahiptir.

Yapılan açıklamalar göstermiştir ki gemi kaynaklı emisyonların, çevreye dolayısıyla da ekonomiye, insan sağlığına olumsuz etkileri vardır. Bu sebeple denizcilikle ilgili uluslararası örgütler gemilerden kaynaklı bu emisyonları azaltmak için emisyon hedefleri belirlemişler ve bu hedeflere ulaşmak için de bir yol haritası çizmişlerdir. Sonraki bölümlerde bu örgütlerden biri olan Uluslararası Denizcilik Örgütü'ne değinilecektir.

1.4.3. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)

Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün temeli, 1948 yılında Cenevre'de toplanan Birleşmiş Milletler Denizcilik Konferansı'nda kabul edilen sözleşmeyle atılmış ve 21. üye Japonya'nın sözleşmeyi 1958 yılında kabul etmesiyle IMO kurulmuş ve çalışmalarına başlamıştır. IMO, uluslararası deniz taşımacılığının güvenliği, emniyeti ve basitleştirilmesi ve gemi kaynaklı kirlenmenin önlenmesi için küresel standartlar belirlemekten sorumlu bir kuruluştur. IMO şu anda, diğer uluslararası kuruluşlarla, IMO'nun sanayi ortaklarıyla ve diğer sivil toplum kuruluşlarıyla istişare içinde mevcut yönetmeliklerde yeni düzenlemeler veya değişiklikler geliştirmek ve kabul etmek üzere temsilcileri yıl boyunca düzenli olarak toplanan üçü kısmi olmak üzere, 173 üye devlete sahiptir. IMO, uluslararası taşımacılığın tüm teknik yönlerini düzenler ve ticari gemilerin yapımından sökümüne kadar tüm ömrünü kapsayan, yüzlerce kural ve rehberle desteklenen 53 adet antlaşma aracı sunar. IMO yönetmelikleri, gemilerin tasarımı, inşaatı, işletilmesi, gemilerin yönetimi ve geri dönüşümü, denizcilerin eğitimi ve ayrıca kaza ve olayların ardından sorumlulukları ve tazminatları kapsar. Deniz taşımacılığı, ulusal kurallardan daha çok, IMO tarafından çıkarılan kurallarla yönetilir.

Ayrıca, hükümetler arasında işbirliğini teşvik etmek için ilgili yasal ve idari mekanizmaları ve dünya ticaretinde taşımacılık hizmetlerinin ayrımcı olmayan bir temelde sunulmasını da kapsar. IMO sözleşmeleri yürürlüğe girdiğinde, bayrağına bakılmaksızın tüm gemileri kapsar. Üye olmayan devletlerin gemileri, üye devletlerin sularına girdiklerinde, üye devletlerin kurallarına tabi olurlar (IMO, 2019).

Konumuz kapsamında IMO, emisyonların azaltılması kapsamında sürdürülebilir denizcilik üzerine çalışmaktadır. Sonraki bölümde IMO'nun sürdürülebilir denizcilik kapsamındaki çalışmalarına yer verilecektir.

1.4.4. IMO ve Sürdürülebilir Denizcilik

IMO'nun görevlerinin geniş kapsamı, deniz taşımacılığı sisteminin uyumluluğunu, iyi işleyişini desteklemek ve dünyanın sürdürülebilir kalkınmasına katkıda bulunmak için iyi bir şekilde geliştirildiğini göstermektedir. IMO, uluslararası taşımacılıkta güvenliği, çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için küresel boyutta standartlar belirlemektedir. Deniz

ticareti sürdürülebilir ekonomik büyümenin, refahın tüm dünyaya yayılmasının dolayısıyla sosyal sürdürülebilirliğin ana omurgasıdır.

Sürdürülebilir dünya ekonomisinde deniz taşımacılığı vazgeçilmez öneme sahiptir ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da en çevreci ve büyük miktarda yüklerin taşınabildiği en verimli taşımacılık türüdür. Deniz taşımacılığının çevresel, sosyal ve ekonomik boyutları eşit derecede önemlidir, bu boyutlar her strateji ve politikada göz önünde bulundurulmalıdır. Deniz taşımacılığı daha sürdürülebilir bir dünyaya ulaşmada temel bir unsurdur. Güvenli, emniyetli, çevreci ve verimli bir deniz taşımacılığı için küresel standartlar belirlemekten sorumlu BM uzman kuruluşu olan IMO, sürdürülebilir denizciliğin gelişimi ve dünya çapında koordine edilmiş denizcilik politikalarına ihtiyaç duyma bilincini artırmaya katkıda bulunabilir. Sorunsuz ve güvenilir bir hizmeti en verimli şekilde sunmak için, deniz taşımacılık sistemi dünya genelinde tehlikesiz, emniyetli, verimli ve güvenilir bir şekilde taşıma hizmeti sunarken, kirliliği en aza indirip, enerji verimliliğini en üst düzeye çıkarmalı ve kaynakların korunmasını sağlamalıdır. Bunu başarmak için, deniz ulaştırma sistemindeki aktörler arasındaki ilişkinin karmaşıklığı, belirli eylemleri ele alırken tanınmalı ve dikkate alınmalıdır. Sürdürülebilir deniz taşımacılığı sistemiyle taşımacılığın gerekli yüksek verimlilikte olması için, navigasyon için yardım sağlayıcılar, oşinografik, hidrografik ve meteorolojik hizmetler, arama kurtarma hizmetleri, kaza ve acil durum müdahalesi yapanlar, liman tesisleri, ticareti kolaylaştırma önlemleri, kargo elleçleme ve lojistik sistemleri gibi deniz taşımacılığına özgü varlıkların birbiriyle uyumlu şekilde çalışmalarını gerektirir.

Sürdürülebilir kalkınma için IMO 17 hedef belirlemiştir. Bu hedeflerden 3.sünde IMO, emisyonların azaltılmasını kurallarla ve yaptığı çalışmalarla sağlamaya çalışmaktadır, bununla sağlıklı yaşamı hedeflemektedir. Hedeflerden 13.sünde ise iklim değişikliğini önlemeye çalışan ilk kuruluşlardan birisi olarak yine emisyonları önlemeye çalışan kurallar koymakta ve önlemler almaktadır (IMO, 2019).

Sürdürülebilir denizciliğin çevresel boyutu için IMO “Deniz Kirliliğini Önlemeye İlişkin Uluslararası Denizcilik Sözleşmesi”ni yürürlüğe koymuştur.

1.4.5. Deniz Kirliliğini Önlemeye İlişkin Uluslararası Denizcilik Sözleşmesi

Sürdürülebilir denizcilik kapsamında gemilerin işletiminden ya da kaza ile meydana gelebilecek denizlerde kirlenmeyi önlemek için “Deniz Kirliliğini Önlemeye İlişkin

Uluslararası Denizcilik Sözleşmesi” veya İngilizce kısaltmasıyla MARPOL 73/78, IMO taraf devletleri tarafından 1973 yılında imzalanmış ve 1978 yılında yeniden düzenlenerek 1983 yılında yürürlüğe girmiştir. Sözleşme 6 ekten oluşmakta ve sözleşmenin I. ve II. ekine katılım zorunlu, III., IV., V. ekine katılım isteğe bağlıdır. “Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesi Kuralları” adındaki Ek VI ise 1997’de kabul edilmiş ve 2005’de yürürlüğe girmiştir. MARPOL Ek VI ile gemi emisyonlarının sınırlandırılması, önlenmesi için çeşitli yöntem ve kurallar belirlenmiştir. Ek VI’da 400 Grt ve daha büyük tonajda uluslararası sefer yapan tüm gemiler için gemi yakıtının kükürt ve azot oranı sınırlandırılmış, gemi bacalarının SO_x ve NO_x emisyonunu azaltmayı sağlayan sistemler ile donatılması zorunlu hâle getirilmiştir (IMO, 2019).

1.4.6. Emisyon Kontrol Alanları (ECA)

Emisyon Kontrol Alanları (ECA), MARPOL Ek VI’da gemi kaynaklı emisyonları minimize etmek için tanımlanan, daha sıkı kontrollerin olduğu özel öneme sahip deniz alanlarıdır. Düzenlemeler yerel ve küresel hava kirliliği ve çevre sorunlarıyla ilgili artan endişeler üzerine yapılmıştır. Her geçen gün hava kirliliğini önlemek için başka bölgeler veya başka kirletici emisyonlar düzenlemeye eklenmekte veya eklenmesi planlanmaktadır. Şu an itibariyle Tablo 6’da görülen dört alan ECA bölgesi olarak korumaya alınmış ve bu bölgelerde SO_x, NO_x, PM emisyonları sınırlandırılmıştır. 1 Ocak 2015’ten itibaren ECA’ya giren gemiler, eğer egzoz dumanlarındaki sülfürü azaltmak için kükürt yıkayıcı gibi ekipmanlar yoksa veya LNG gibi alternatif yakıt kullanmıyorlarsa, %0,1’den daha az kükürtlü yakıt kullanmak zorundadırlar (URL14, 2019).

Bunlara ek olarak çeşitli devletler de emisyonların aşırı olduğu bölgelerini emisyon kontrol alanı olarak ilan edebilmektedir (ABS, 2018).

Tablo 6’da Emisyon Kontrol Alanları, bu alanlarda kısıtlanan emisyon türleri, emisyon kısıtlamasının kabul edildiği, yürürlüğe girdiği ve kontrolün başlayacağı tarihler verilmiştir.

Tablo 6. Emisyon Kontrol Alanları (ECA) (URL14, 2019)

Özel Alanlar	Emisyon Türü	Kabul Tarihi	Yürürlük Tarihi	Başlangıç Tarihi
Baltık Denizi	SO _x	26.09.1997	19.05.2005	19.05.2006
	NO _x	7.07.2017	1.01.2019	1.1.2021 ¹
Kuzey Denizi	SO _x	22.07.2005	22.11.2006	22.11.2007
	NO _x	7.07.2017	1.01.2019	1.01.2021 ¹
Kuzey Amerika ECA	SO _x ve PM	26.03.2010	1.08.2011	1.08.2012
	NO _x			1.01.2016 ²
Amerika Karayip Denizi ECA	SO _x ve PM	26.07.2011	1.01.2013	1.01.2014
	NO _x			1.01.2016 ²

1.5. Gemi Emisyon Hedefleri ve Verimlilik Göstergeleri

Çalışmanın bu kısmında öncelikle IMO tarafından ortaya konulan emisyon azaltma hedefleri ve gemi verimlilik göstergeleri hakkında bilgi verilecektir. Sonrasında ise ifade edilen hedeflere ulaşılabilmesi için emisyon azaltma yöntemleri açıklanacaktır.

IMO, ECA'da ve ECA olmayan bölgelerde NO_x emisyon hedeflerini Tablo 7'de gösterildiği gibi düzenlemiştir.

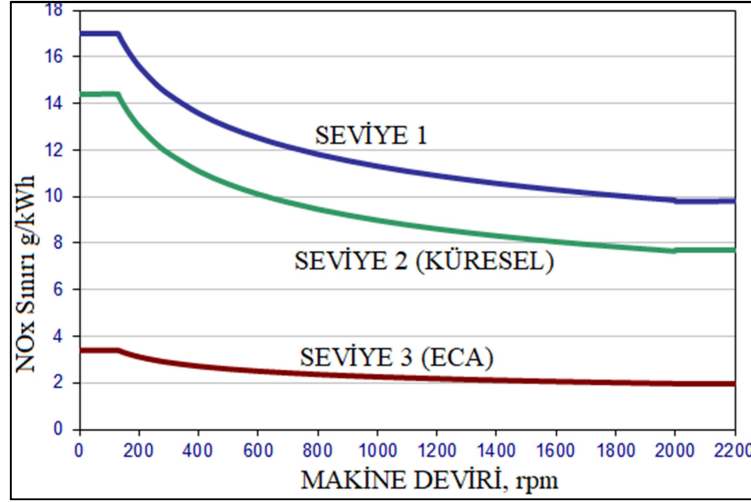
Tablo 7. Makine devrine göre (n) MARPOL Ek VI NO_x emisyon sınırları (Ashworth 2012)

Seviye	Tarih	NO _x Sınırı, g/kWh		
		n < 130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Seviye I	2000	17	45 · n ^{-0.2}	9,8
Seviye II	2011	14,4	44 · n ^{-0.23}	7,7
Seviye III	2016*	3,4	9 · n ^{-0.2}	1,96

*NO_x Emisyon Kontrol Alanlarında (Seviye II standartları ECA'lar dışında geçerlidir)

¹ 1 Ocak 2021 tarihinde veya sonrasında inşa edilen ve bu emisyon kontrol alanlarında faaliyet gösteren bir gemi, MARPOL Ek VI'nın 13.5 sayılı yönetmeliğinde belirtilen NO_x Seviye III standartlarına uygun olacaktır.

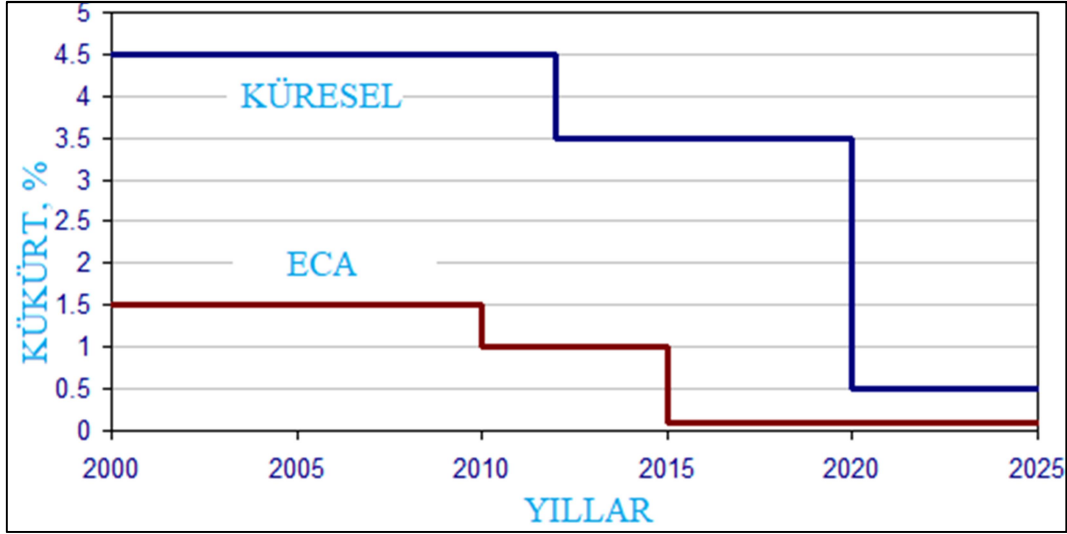
² 1 Ocak 2016 tarihinde veya sonrasında inşa edilen ve bu emisyon kontrol alanlarında faaliyet gösteren bir gemi, MARPOL Ek VI'nın 13.5 sayılı yönetmeliğinde belirtilen NO_x Seviye III standartlarına uygun olacaktır.



Şekil 10. Makine devrine göre MARPOL Ek VI NOx emisyon sınırları (Ashworth 2012)

Tablo 7’de 3 seviye halinde uygulanacak ve makine devrine göre hesaplanan NOx hedefleri gösterilmiştir. Seviye 1 ve seviye 2 sınırları ECA olmayan tüm dünyada geçerliken seviye 3 sınırı sadece ECA’da geçerlidir. Seviye 1’in geçerliliği 2016 yılında sona ermiş ve seviye 2’ye geçilmiştir. NOx sınırı 130 devir altındaki makinelerde seviye 2 için 14,4 gr/kwsaat iken seviye 3 için 3,4 gr/kwsaat’tir. Bu sayı makine gücü ile çarpılarak izin verilen NOx sınırı bulunur. Seviye 2 için 130 ile 2000 devir arasındaki makinelerde, makine devrinin -0,23. kuvvetinin 44 ve makine gücüyle çarpılmasıyla saatte salınabilecek NOx sınırı bulunmaktadır. 2000 devir ve üzeri makinelerde ise saatteki NOx sınırı makine gücünün 7,7 ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Şekil 10 ise, Tablo 7’de gösterilen hesabın grafikleştirilmiş halidir. Makine devrine, seviye numarasına göre bu şekilde NOx sınırı kolayca belirlenebilir.

IMO, MARPOL Ek VI’da, ECA ve ECA olmayan bölgelerdeki kükürt emisyonunu azaltmak için, Şekil 11’de görülen düzenlemeyi yapmıştır.



Şekil 11. Yıllara göre MARPOL Ek VI SOx emisyon oranları (Ashworth 2012)

Şekil 11'e göre yakıttaki kükürt miktarı emisyon kontrol alanlarında (ECA) peyderpey %1,5'tan %0,1'e, diğer bölgelerde ise %4,5'tan %0,5'e düşürülmesi hedeflenmektedir.

Ayrıca, IMO, 2009 yılında Deniz Çevre Koruma Komitesinin 59. Genel Kurulu (MEPC) ve Temmuz 2012'deki MEPC'nin 62. Genel Kurul'unda 2030'a kadar gemilerden kaynaklanan karbondioksit (CO₂) emisyonlarını azaltmak amacıyla MARPOL Ek VI'yı revize etmiştir (Lee ve Nam, 2017). MARPOL Ek VI Bölüm 4'te, çeşitli tonajlara göre gemiler, CO₂ emisyonlarında öncelikle % 10, 2020'de % 20 ve 2025'te % 30'luk bir düşüşle inşa edileceklerdir (Borusevich vd., 2017).

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), yukarıda belirtilen emisyon hedeflerini yakalamak için bazı yöntem ve formüller belirlemiştir. Bu yöntemlere aşağıda değinilmiştir.

1.5.1. Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (EEDI)

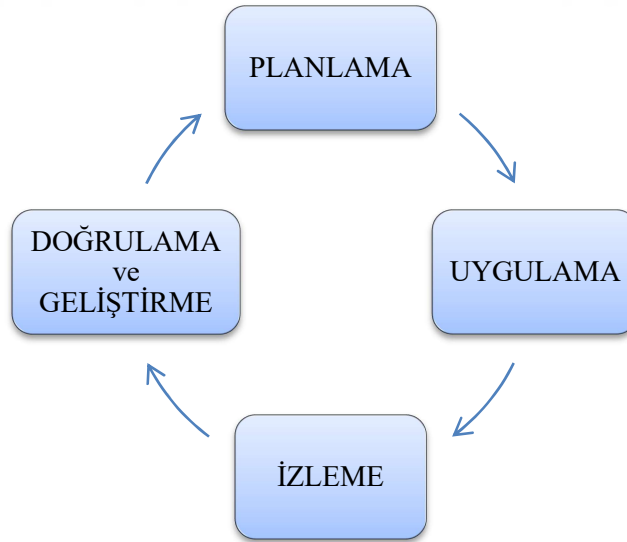
Enerjiyi daha verimli kullanan, düşük emisyonlu gemiler üretmek ve bu yöndeki yenilikçi teknolojileri teşvik etmek için IMO Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi'ni oluşturmuş ve bunu 2013'te yürürlüğe sokmuştur. Denklem 1'de hesaplama yöntemi verilen EEDI, farklı cinsten ve tonajda gemilerin bir ton yükü bir km mesafe taşımak için yaptığı karbondioksit emisyonudur. Birimi ise gram/ton.km'dir. Öyleyse gemi boyutları büyüdükçe ve hızı da azaldıkça gemi EEDI değeri düşecektir. EEDI değeri düşükçe

geminin enerji verimliliği artmaktadır. IMO, EEDI hesabını dünyada en çok yakıt harcayan tankerler, konteynerler, dökme yük, genel kargo ve kombine taşımacılık gemileri, soğutuculu gemiler ve gaz tankerleri için formüleştirmiştir. Diğer gemi türleri için hesap yöntemleri mevcut değildir (Smith vd., 2014). EEDI formülü hesap yöntemi “Çalışmanın Metodolojisi” bölümünde verilecektir.

1.5.2. Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP)

IMO, Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı ile gemi sahiplerinin, gemilerindeki yakıt kullanımını azaltmak için prosedürler belirlemesini ve bunları uygulamasını hedeflemektedir. Gemi emisyonlarını hedeflenen emisyon değerlerine düşürmek için gemi sahipleri gemilerinde çeşitli teknik ve operasyonel değişiklikler planlamakta sonra bu planları uygulamakta, sonra yaptıkları uygulamanın avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmekte sonrasında ise bu planda iyileştirmeye gitmektedirler (Topaloğlu, 2013).

Şekil 13’te SEEMP’nin uygulama adımları gösterilmiştir.



Şekil 12. SEEMP uygulama adımları

1.5.3. Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi (EEOI)

IMO, Operasyonel aşamada Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) ile ele alınan iyileştirme faktörlerini, Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi (EEOI) ile değerlendirmeye alınmasını hedeflemektedir. Gerçekleşen karbondioksit değerinin, taşınan yüke oranıyla EEOI denklem 5'teki gibi hesaplanır ve bu değer düşükçe gemi daha çevreci, daha verimli olur. Yapılan sefere bağlı olarak değişiklik gösterebildiği için EEOI her seferde ayrı ayrı ölçülür ve kayıt altına alınır, bu noktada EEDI'dan farklılık arz eder (Ayaz, 2016; Topaloğlu, 2013).

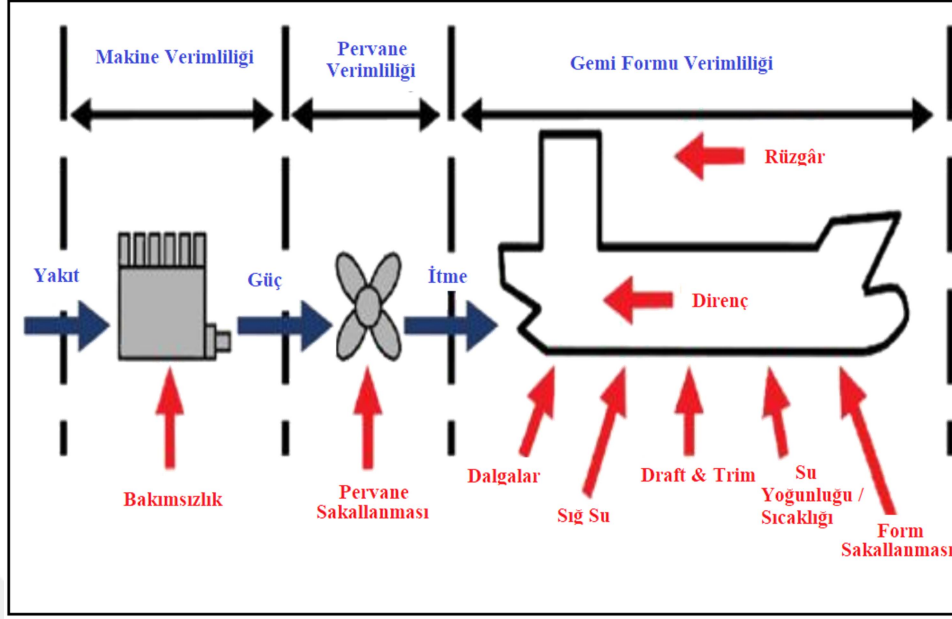
$$EEOI = \frac{\text{Gerçekleşen Karbondioksit Emisyonu}}{\text{Taşınan Yük}} \quad (1)$$

IMO tarafından ve literatürde birçok emisyon azaltma yöntemlerine değinilmiştir. Bu yöntemlere bir sonraki bölümde değinilmiştir.

1.6. Emisyon Azaltma Yöntemleri

Gemilerde emisyon azaltma yöntemlerini seçerken yöntemin ekonomikliği ile emisyon azaltma miktarı arasında optimizasyon yapılmalıdır. Aksi takdirde emisyon azaltma amaçlanmışken, hesaba katılmayan faktörler nedeniyle emisyon artabilir veya ekonomik zarara uğranılabilir (Eide ve Endresen, 2010).

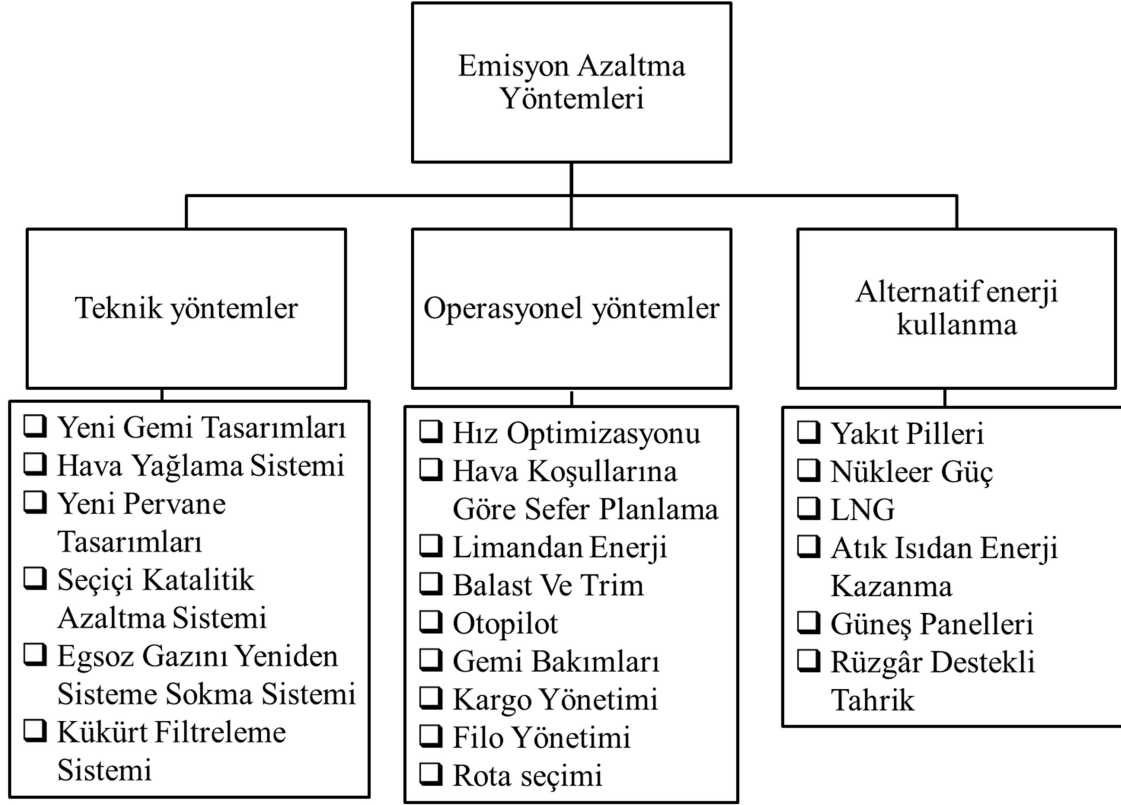
Yakıt fiyatlarının sürekli artması, gemilerin çevreye verdiği zararlar, önlem alınmazsa 2050 yılında taşımacılık emisyonlarının iki katına çıkacağı görüşü, gemi sahiplerinin artan duyarlılığı ve yapılan düzenlemeler sebebiyle emisyonlara karşı çareler bulmayı zorunlu kılmıştır (Sherbaz ve Duan, 2012). Gemilerde yakıt verimliliğini etkileyen birçok faktör olması yanında tüm gemilerde yakıt tasarrufu sağlanabilir. Buna göre gemilerde yapılabilecek olası iyileştirmeler Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 13. Enerji verimliliğini etkileyen değişkenler (Rajasekhar vd., 2016)

Geminin verimliliği, Şekil 14’te görüldüğü üzere; gövde verimliliği, güç-tahrik sistemi verimliliği olarak ikiye ayrılabilir. Gemi seferdeyken, gövde verimliliğini rüzgâr, direnc, dalgalar, draft, trim, su durumları (suyun sıcaklığı, derinliği vb.), gemi karına yüzeyinin sakallanması etkiler. Pervane yüzeyinin sakallanması, gemi makinesinin bakımı, güç ve tahrik sistemlerinin performansını etkileyebilecek diğer unsurlardır. Gemilerde emisyonları düşürmek, dolayısıyla yakıt tüketimini azaltmak için yıllar içinde araştırılan ve uygulanan birçok yöntem olmuştur ve yeni yöntemler araştırılmaya devam etmektedir (Rajasekhar vd., 2016).

Emisyon azaltma yöntemlerinde düşük kükürtlü yakıtlar seçilebilir ya da egzoz gazı yıkama sistemleriyle ucuz yakıt olan HFO kullanılabilir. Öte yandan alternatif yakıt olarak LNG, LPG, CNG yakıt emisyon değerleri düşük olduğu için tercih edilebilir. Bunların yanında metanol, bütanol, biyo-yakıt gibi başka tür yakıtlar da araştırılmaktadır. Emisyon azaltmanın diğer yolları ise gemide teknik yöntemlerle gemi verimini artırma, operasyonel yöntemlerle sefer verimini artırmaktır (Chryssakis, 2014). IMO’nun önerdiği emisyon azaltma yöntemlerine ilaveten literatürde geçen emisyon azaltma yöntemleri Şekil 15’te teknik yöntemler, operasyonel yöntemler, alternatif enerji kullanma yöntemleri başlıkları altında gösterilmiştir.



Şekil 14. Emisyon azaltma yöntemleri

Bu çalışmada emisyon azaltma yöntemlerinden rota seçimi yöntemi, emisyon etkileri kapsamında ele alınacak olup bir sonraki kısımda rota seçimi ve küresel denizcilik rotaları hakkında detaylı bilgiler verilecektir.

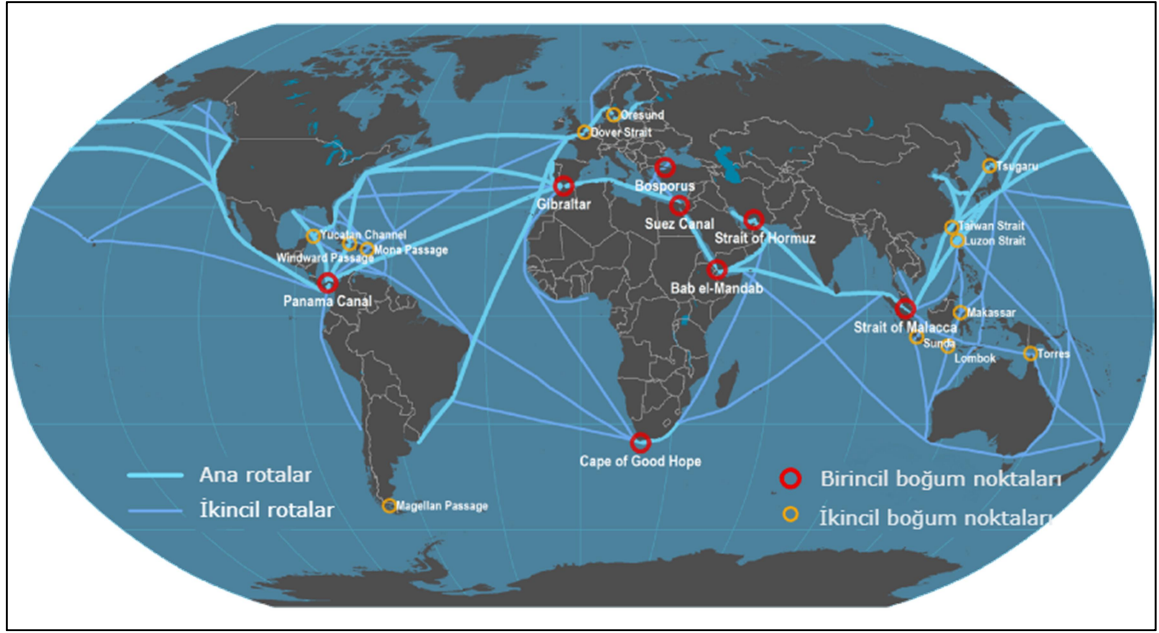
1.6.1. Rota Seçimi ve Küresel Denizcilik Rotaları

Potansiyel olarak ticari dolaşım için kullanılabilir sonsuz sayıda deniz taşımacılığı yolu vardır, ancak küresel sistemin konfigürasyonu nispeten basittir. Ana eksen, Kuzey Amerika, Avrupa ve Pasifik Asya'yı Süveyş Kanalı, Malakka Boğazı ve Panama kanalı aracılığıyla birbirine bağlayan Ekvator çevresindeki koridordur.

Fiziksel kısıtlamalar (kıyılar, rüzgârlar, deniz akıntıları, derinlik, resifler, buz) ve siyasi sınırlar da deniz yollarının şekillendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ana rotalar, büyük pazarlar arası taşımacılığın yapıldığı en önemli ticari taşımacılık yollarıdır. İkincil rotalar ise çoğunlukla daha küçük pazarlar arasındaki yollardır.

Kısmen coğrafya, jeopolitik ve ticaret akışları nedeniyle belirli yerler küresel denizcilik ağında stratejik öneme sahiptir. Bunlar boğum noktası olarak isimlendirilir ve iki ana kategoriye ayrılabilir:

Şekil 15'te görülen birincil boğum noktaları yokluğunda küresel ticaretin ekonomikliğini ciddi şekilde bozacak en önemli deniz taşımacılığı alternatifleridir. Bunlar arasında mal ve malların küresel ticaretinde yerleri önemli olan Panama Kanalı, Süveyş Kanalı, Hürmüz Boğazı ve Malakka Boğazı bulunmaktadır.



Şekil 15. Ana ve ikincil denizcilik rotaları

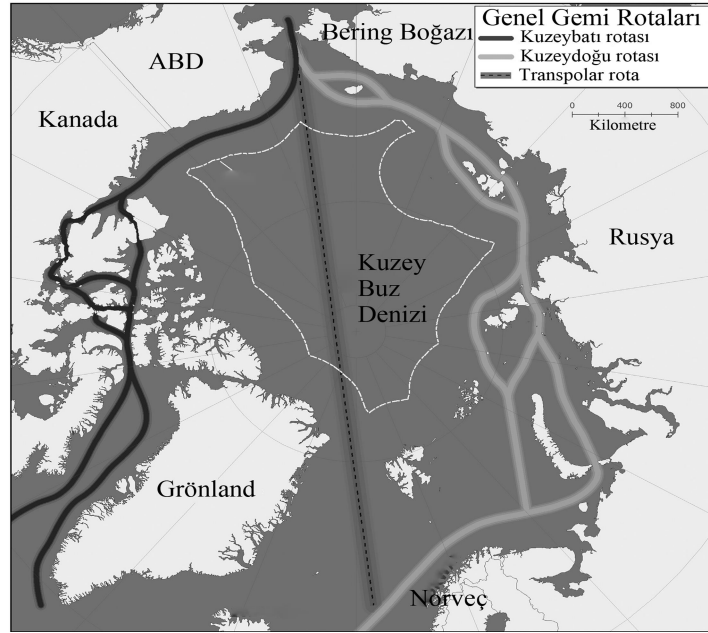
Şekil 15'te görülen ikincil boğum noktaları ise alternatifleri olan ve deniz taşımacılığını dolambaçlı hale getiren rotalardır. Bunlar Macellan Geçidi, Dover Boğazı, Sunda Boğazı ve Tayvan Boğazı'dır (Rodrigue, 2017).

Gemiler rota seçimi yaparken, seyir esnasındaki tehlikeleri önlemek, güvenliği sağlamak, verimliliği artırmak için önceden belirlenmiş ve tecrübelerle emniyetli, verimli olduğu ispatlanmış uluslararası rotaları takip etmeleri zorunlu ve gereklidir. Seyir esnasındaki tehlikeler, yüksek taşıma kapasitesindeki gemilerin sığ sularda karaya oturma, çatışma, ekolojiye zarar verme riskleri ve benzerlerini içerebilir. Bunun yanında ekonomik olarak avantajlı rotalar da tespit edilmeye çalışılır.

Kuzey Buz Denizi rotaları da ekonomik olmasının yanında ekolojik riskler, emisyonların azaltılmasında avantajlar da barındırmaktadır, bir sonraki bölümde Kuzey Buz Denizi rotaları irdelenecektir.

1.6.2. Kuzey Buz Denizi Rotaları

Kuzey Kutbu'nda altı ay gece olup kış yaşanırken, altı ay gündüz olup yaz yaşanmaktadır. Kuzey Buz Denizi'nde (KBD, Arctic Ocean) yazları buzlar bir miktar erimekte, kışları ise tekrar donmaktadır. Fakat iklim değişikliğinin sonucu, son yıllarda yazları eriyen buz miktarı artmakta ve kışları ise aynı miktar su donmamaktadır (Krieger, 2015). Bunun sonucunda Şekil 16'da görülen Kuzeydoğu (KD) ve Kuzeybatı (KB) gibi yeni seyir rotalarının oluşacağı öngörülmektedir. 2030 yılından sonra KD rotasının tamamen açılacağı ve buz kırıcı olmadan KBD'de sefer düzenlenebileceği öngörülmektedir (Bekkers vd., 2015; URL10, 2015). Fakat buzların tamamen eriyeceği senaryosu hâkim olsa da gemilerin bu rotalarda sefer yapabilmesi için buzların tamamen erimesine gerek olmayıp, buzların % 15'lik bir bölgesinin açılması deniz seferleri için yeterli olacaktır (Ridout, 2008).



Şekil 16. Kuzey Buz Denizi rotaları (Stevenson vd., 2019)

Zorlu gemi operasyonunun ve yüksek risk faktörlerine sahip olmasının yanında ekonomik getirileri KBD rotalarını teşvik edecektir (URL10, 2015). Böylece deniz ticareti kuralları tamamen değişecektir (Bekkers vd., 2015; URL10, 2015). KBD rotalarında gemiler, Panama Kanalı'nda olduğu gibi derinlik kısıtlamasına takılmayacak olduğundan istenilen draftla, istenilen miktarda yükü KBD rotalarında ilerleyebilecektir (URL10, 2015).

Gelecekteki öngörülerin aksine KBD rotalarındaki mevcut durumda, taşımacılık için olan her şey, örneğin mürettebat, gemi bakımı, sigorta, sermaye maliyetleri ve hatta yakıt Süveyş ve Panama rotalarından daha pahalıdır (Lasserre, 2014). Petrol fiyatlarında 2015'deki gibi aşırı düşüşler, gemi sahiplerini KBD rotalarının zorlu şartları veya Süveyş ve Panama Kanalları'nın pahalı geçiş ücretleri yerine Ümit Burnunu kullanmaya teşvik etmektedir (Baraniuk, 2016). Bunun yanında KBD rotalarında kullanılan gemilerin bakım süreleri de uzun olabilmektedir. Şu anda rotadan ücret alınmadığı, alınmayacağı anlamına gelmemektedir. Gemilere destek ve kurtarma operasyonlarında kullanılacak buz kırıcı gemilerin tarifeleri yüksek olabilir. Sis, buz dağları, hareketli buzullar KB rotasında, KD rotasından daha yaygın olduğu için KB rotasında hız düşürmek gerekebilir (Lasserre, 2014). Bu denizlerde gidebilmek için şu anlık buz sınıfı veya açık deniz gemileri kullanmak gerekmekte ve bu gemiler daha fazla yakıt harcayabilmekte ve ilk satın alma maliyeti de daha fazladır (Ersan, 2016).

KBD'de çalışmak üzere inşa edilen gemiler belirli bir buz sınıfında inşa edilmektedirler. Bu gemilerde güçlendirilmiş bir gövde, dümen ve tahrik sistemleri bulunmaktadır. Buz kırıcı gemiler daha da geliştirilmiştir ve temel amaçları buz kırmaktır. Kuzey Kutbu koduna göre buz sınıfları PC1'den PC7'ye kadar 7 sınıfta sınıflandırılmış ve en donanımlı buz gemisi PC7 iken en az özellikli olan ise PC1 sınıfı buz gemisidir (Melia, 2016).

KD rotasını 2018 yılında 27 gemi kullanmış ve bunların 8'i Çin bayraklı gemi, 7'si Rusya bayraklı gemidir. Ek Tablo 3'te bu gemilerin 20 tanesinin özellikleri, kat ettikleri mesafe, kalkış-varış limanları, KBD'de geçirdikleri süre ve ortalama hızları vb. bilgiler verilmiştir. Bu gemilerin 11 adedi genel kargo gemisi diğerleri ise tanker, kuru yük gemisi, balıkçı gemisi vb.dir. Gemiler Temmuz'la Aralık arasında bu rotayı kullanmışlardır. Gemilerin KBD'yi geçiş süreleri ortalama 10 gün olmuştur. Ortalama hızları KBD'de ve diğer bölgelerde 11 knot olmuştur. KD'de ortalama hız en düşük 7 knot, en yüksek ise 16 knot olmuştur.

2017 yılında ise bu rotayı çoğunluğu genel kargo gemisi olan 27 gemi kullanmıştır. Bu gemilerden olan Çin bayraklı 190 m boyundaki ağır yük gemisi (normal gemiler tarafından taşınamayan, çok geniş boyutta yükleri taşıyan gemiler) KBD'yi Eylül ayında 6,6 günde geçmiştir. Boyu 140 m olan bir Rus tankeri ise Ekim'de 11,8 günde, Aralık'ta ise 36,6 günde bu denizi geçmiştir. 2016 yılında ise bu rotayı çoğunluğu yine genel kargo gemisi olan 19 gemi kullanmıştır (URL5, 2018).

KD rotasını bir buz kırıcı gemiyle takip eden iki Alman gemisi 2009'da Japonya'ya kargo götürerek 4000 km'den fazla mesafeden kâr ettiklerini belirtmişlerdir (Ersan, 2016).

1.7. Literatür Taraması

Son dönemlerde Kuzey Buz Denizi ve Kuzey Buz Denizi rotaları hakkında birçok çalışma yapılmış ve çevresel duyarlılık dolayısıyla daha fazla sayıda ve türde araştırmalar yapılmaya devam edilmektedir. Yapılan bu çalışmalarda Kuzey Buz Denizi'nin çevresel sürdürülebilirlik açısından ve gemilerin seyir süresini azaltan rota olması açısından ele alınmıştır. Kuzey Buz Denizi çevresel sürdürülebilirlik açısından deniz kirlenmesi, gemi çatışması, hava kirliliği, emisyonlar vb. konuları incelenmiş, rota olarak kullanıldığında ise ekonomik avantajları öngörülme çalışılmıştır. Geleceğe projeksiyon tutularak eğer Kuzey Buz Denizi'nin tamamen veya kısmen erimesi sonucunda neler olabileceği, nelerin kaybedileceği ya da kazanılabileceği tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ise Kuzey Buz Denizi rotalarının açılmasının emisyonlara etkisi araştırılacağı için ilk önce emisyon hesabı literatürde nasıl yapılmış, buna bakmak gereklidir.

Kuzey Buz Denizi rotalarıyla yapılan taşımacılıkta oluşan emisyonları tahmin etmek için literatürde iki şekilde emisyon tahmini yapıldığı belirlenmiştir. Birinci yöntem geminin çalışma durumuna ve süresine bağlı olarak makine gücüne dayanıyor, ikinci yöntem yapılan yakıt tüketimine dayanıyor.

Literatürde makine gücüne dayanan yöntemde Dragović vd. (2018), g/kWh cinsinden ifade edilen gemi emisyon faktörleriyle makine gücünün çarpılmasından oluşan bir formülle Kotor ve Dubrovnik limanlarında açığa çıkan NO_x, SO₂ ve PM emisyonlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Toplam emisyonu hesaplamak için ayrı ayrı tüm gemi makinelerinin gücü, çalışma saatleri ve makine yükleme faktörüyle çarpımı yapılmıştır. Gemi manevra durumunda, NO_x için 12,8 g/kWh, SO₂ için 6,18 g/kWh, PM için 0,67 g/kWh faktörleri kullanılmıştır. (Dragović vd., 2018).

Öte yandan Nunes vd. (2017), Portekiz'in dört limanında yaptığı çalışmada, limanlardan alınan gerekli verilerle Dragović vd. (2018)'nin kullandığı gibi makine gücüyle emisyon faktörlerini çarparak, emisyonları hesaplamışlardır (Nunes vd., 2017).

Trozzi (2010) ise Dragović vd. (2018) ve Nunes vd. (2017)'den farklı olarak yaptığı çalışmada, yapılan yakıt harcamasına göre emisyon tahmini yöntemini kullanmıştır. Buna göre harcanan yakıt biliniyorsa yakıt tüketimiyle, yakıt tüketimine bağlı emisyon faktörlerinin çarpılmasıyla emisyon miktarının hesaplandığını belirtmiştir. Ayrıca emisyon faktörlerinin, makinenin türüne, kullandığı yakıtın türüne, yapılan seferin türüne göre değiştiğini ifade etmiştir (Trozzi, 2010).

Hesaplama yöntemiyle ilgili literatür derlendikten sonra Kuzey Buz Denizi'nin literatürdeki yerine değinmekte fayda vardır. Emisyon avantajını hesaplamak için seçilen Kuzey Buz Denizi rotaları akademik çalışmalarda, çeşitli cinsteki gemilerin, Süveyş ve Panama kanalları rotalarını tercih etmesi yerine Kuzey Buz Denizi rotalarını tercih etmesiyle ekonomik olarak sağlayacağı avantaj, bu rotaların hayata geçmesinin çevresel etkileri, Kuzey Buz Denizi rotalarının geleceği çalışılmıştır. Sıklıkla Hamburg-Yokohama limanları arasında 6 aylık ve 12 aylık sefer senaryoları üretilmiştir. Yazları Kuzey Buz Denizi rotalarındaki buzların eriyerek sefer güzergâhlarının açılacağı düşüncesiyle 6 aylık, ileride buzların tamamen eriyeceği düşüncesiyle de 12 aylık sefer senaryoları seçilmiştir.

Schøyen ve Bråthen (2011) yaptıkları çalışmada Kuzey Doğu rotasını, Süveyş Kanalı ve Ümit Burnu rotasıyla ekonomik açıdan ve CO₂ emisyonu açısından incelemişler ve Kuzey Doğu rotasını her iki açıdan da daha avantajlı bulmuşlardır (Schøyen ve Bråthen, 2011).

Corbett vd. (2010) ise Kuzey Buz Denizi ile ilgili yaptıkları çalışmada gelecekte Kuzey Buz Denizi'nde birikecek emisyonların gelecekte ne kadar olacağını öngörmeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda gemi makineleri teknolojileri, yakıt kalitesi, makine gücü çeşitliliği dolayısıyla belirsizliklerin olduğunu tespit etmişlerdir, gemilerin sabit olmaması dolayısıyla emisyonların da hareketliliğine değinmişlerdir. (Corbett vd., 2010).

Schröder vd. (2017), Kuzey Buz Denizi ile ilgili yaptıkları çalışmada, çeşitli cinsteki ve buz sınıfındaki gemilerle, çeşitli zamanlarda ve Kuzey Doğu rotasını farklı yollardan takip ederek emisyon karşılaştırması yapmışlar ve Kuzey Doğu rotasının emisyonlar açısından avantajlı olduğu kararına varmışlardır. Buzların erime zamanlarında yakıtın arttığına ve buzların erime zamanının belirsizliğine değinmişlerdir (Schröder vd., 2017).

Yumashev vd. (2017), Kuzey Buz Denizi'nde oluşacak CO₂ emisyonların ekonomik etkilerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Yaptıkları analize göre 2030'lara doğru Kuzey Doğu rotasının kullanımının düzenli olarak artacağını ve tam kapasite bu rotanın kullanımının başlamasının bir asrı bulacağını, iklim değişimine bu rotanın 2100 tarihinde %0,05 katkıda bulunacağını, bu katkının ekonomik maliyeti ise buzların erime miktarına göre artıp çoğaldığını tespit etmişlerdir (Yumashev vd., 2017).

Lasserre (2014), Rotterdam'dan Asya'ya Kuzey Doğu ve Kuzey Batı rotalarını kullanarak oluşturduğu senaryolarda, gemi olarak konteyner gemisi seçmiş, Süveyş Kanalı rotasına göre kârlılığı irdelemiş, yüksek buz kırma gemisi maliyetleri ve sigorta maliyetleri hesaba katarak az bir farkla Kuzey Doğu rotasını kârlı hesaplamıştır (Lasserre, 2014).

M. Liu ve Kronbak (2010), Kuzey Buz Denizi ile ilgili yaptıkları çalışmada, yine konteyner gemisiyle yaptıkları hesaplamada, geminin kârlılığını etkileyecek 3 tür senaryo çalışmışlar, bunlar rotanın yıl içinde kullanılabilirlik sürelerinin senaryoları, Rusya'nın rota için isteyebileceği ücret senaryoları, yakıt fiyatı senaryoları. Bu senaryolar birleştirilerek, Kuzey Doğu rotasının hangi aşamaya kadar Süveyş Kanalı rotasından ekonomik olarak avantajlı olabileceğini tespit etmeye çalışmışlardır (M. Liu ve Kronbak, 2010).

Stevenson vd. (2019), Kuzey Buz Denizi rotalarının kullanımının artmasıyla oluşabilecek hava kirliliği, petrol sızıntısı, gürültü kirliliği vb. çevresel tehlikelerin önlenmesi için, bölge tam anlamıyla kullanıma açılmadan önce yapılabilecekler hakkında bölgenin güvenlik açıklarının değerlendirmesini yapmışlardır (Stevenson vd., 2019).

Öte yandan Kuzey Buz Denizi'ne neden ilgi duyulduğuna dair anket çalışmaları da yapılmıştır. Beveridge vd. (2016), Kuzey Buz Denizi'nin ticari potansiyeli ve firmaların bu rotalara bakışını sorguladıkları çalışmada, firmaların bu rotalar hakkında aceleci olmadıklarını, tedbirli olarak gelişmeleri takip ettiklerini tespit etmişlerdir (Beveridge vd., 2016).

Literatürde Kuzey Buz Denizi rotaları çoğunlukla gelecekteki, geçmişteki ve günümüzdeki durumlarıyla, ekonomik açıdan, çevresel sürdürülebilirlik açısından ve bu bölgelerde oluşacak emisyon açısından değerlendirilmiş, ancak bir yükün Avrupa'dan Asya'ya taşınması esnasında gemi makinesinin oluşturduğu emisyonlar açısından değerlendirilmediği tespit edilmiştir. Bu çalışmanın literatüre katkısı, Kuzey Buz Denizi rotalarının, deniz ticareti sırasında gemi makinelerinin yakıtlarından oluşan emisyonlara etkisinin tespit edilmesidir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışmanın Amacı

İnsanlığın geleceği için büyük bir tehlike haline gelen gemi kaynaklı emisyonların “Yeşil Kavramı” üzerinden irdelenmesi, gemi emisyon türlerinin, azaltma yöntemlerinin incelenmesi, Kuzey Buz Denizi rotalarının gemilerin emisyonlarının azaltılması açısından analiz edilmesi, rotaların avantajları ve dezavantajları hakkında fikir sunulmasıdır.

2.2. Problemin Tanımlanması

Problem, yapılan literatür taraması neticesinde “Sürdürülebilir taşımacılığın gereği ve gemi kaynaklı emisyonların çevreye verdiği zararlar dolayısıyla çok fazla artan emisyon miktarının azaltılmasının gerektiği” olarak tanımlanmıştır.

Artan yakıt maliyetleri ile birlikte artan gemicilik operasyonel giderlerinin düşürülmesi yönünde yapılacak tasarruflar ile gemi operasyonel maliyeti de azalacak, bunun yanında gemi kaynaklı azot oksit, kükürt oksit, karbon monoksit, karbondioksit, diazotmonoksit, metan ve partikül madde emisyonları da azalacaktır. Üzerinde durulması gereken en önemli emisyonlar, azot oksit, kükürt oksit, karbondioksit ve partikül maddelerdir.

2.3. Çalışmanın Metodolojisi

Çalışma yapılırken şu yöntemler izlenmiştir, konuyla ilgili ulusal ve uluslararası alanda yapılmış çalışmalar incelendi, Tablo 8’de verilen 5 değişik rotayla Almanya’nın Hamburg limanı ile Japonya’nın Yokohama limanı arasında 4 milyon ton yükün bir yıl içinde taşınması esnasındaki toplam CO₂, SO_x, NO_x, PM hesaplanmasına karar verildi.

Tablo 8. Hamburg-Yokohama limanları arası mesafe karşılaştırması
(URL9, 2019)

Kalkış Limanı	Variş Limanı	KD	KB	Süveyş Kanalı	Panama Kanalı	Ümit Burnu
Almanya Hamburg	Japonya Yokohama	6887	7621	11433	12780	14748

İlk önce CO₂ emisyonu için MV A. gemisinin HFO ve dizel yakıt için Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (EEDI) değeri hesaplanacaktır.

EEDI formülü IMO MEPC.1/Circ.681’de aşağıdaki gibi verilmiştir. (IMO, 2009)

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} + \left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)}{f_i \cdot Capacity_{ref} \cdot f_w} \quad (2)$$

TAŞIMA İŞİ

Formülde geçen sembollerin tanımları ise şöyledir;

C_F: Gram cinsinden ölçülen CO₂ ile gram cinsinden tüketilen yakıt arasındaki boyutsuz dönüşüm faktörüdür. ME(i) ve AE(i) sırasıyla ana ve yardımcı makineleri ifade eder. Farklı yakıt türlerinin CO₂ emisyon değerlerine göre C_F dönüşüm faktörü Tablo 4’te sunulmuştur.

V_{ref}: Rüzgârsız havada, maksimum yüklü draftla, sakin, dalgasız, derin suda yüzen geminin knot cinsinden hızı

SFC: Makinelerin g/kWh cinsinden belirlenmiş yakıt tüketim katsayısıdır. Tüm gemilerde referans hesaplamalarda, SFC (Specific Fuel Consumption) ana makineler için sabit olarak SFC_{ME} = 190 g/kWh olarak, yardımcı makineler içinse SFC_{AE} = 215 g/kWh olarak kullanılır.

Kapasite: Kuru yük gemileri, tankerler, gaz tankerleri, konteynerler, RoRo ve genel kargo gemileri için dedveyt, yolcu da taşıyan RoRo gemileri ve yolcu gemileri için Gross Tonaj kapasite olarak kullanılır.

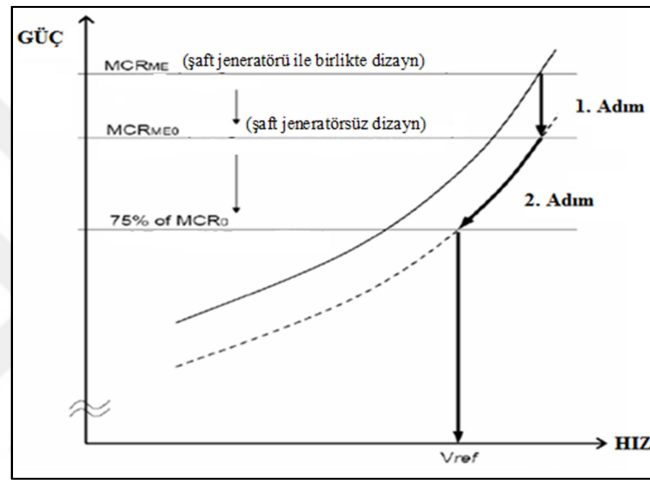
Dedveyt (DWT): Ticari yükün, yakıtın, kumyanın, suyun, yolcu ve gemi adamlarını ve eşyalarını içeren, geminin taşıyabileceği en büyük ağırlık miktarıdır. Diğer

bir ifadeyle boş gemi deplasman hacmi ile dolu gemi deplasman hacmi arasındaki farkın su yoğunluğu ile çarpılmasından çıkan sonuçtur.

P: Ana makinenin ve yardımcı makinenin kW cinsinden gücüdür. Her makinenin ayrı ayrı hesabı için (i) kullanılır.

$$P_{ME(i)} = 0.75 \times (MCR_{MEi} - P_{PTOi}) \text{ olarak formülize edilir.} \quad (3)$$

$P_{ME(i)}$ 'nin hesaplanmasında Şekil 17'de verilen güç-hız grafiğinden yararlanılabilir:



Şekil 17. Ana makinenin güç-hız grafiği (IMO, 2009)

10.000 kW ve daha yüksek değerlerde ana makinesi olan kargo gemilerinde P_{AE} denklem 3'teki gibi hesaplanır; (IMO, 2009).

$$P_{AE(MCR_{ME} > 10000KW)} = \left(0.025 \times \sum_{i=1}^{n_{ME}} MCR_{MEi} \right) + 250 \quad (4)$$

10.000 kW'tan daha düşük değerlerde ana makinesi olan kargo gemilerinde P_{AE} denklem (5)'teki gibi hesaplanır (IMO, 2009).

$$P_{AE(MCRME < 10000KW)} = 0.05 \times \sum_{i=1}^{nME} MCR_M \quad (5)$$

$P_{PTO(i)}$: Monte edilen her bir shaft jeneratörünün kW cinsinden gücünün % 75'i

$P_{PTI(i)}$: Her bir shaft motorunun kW cinsinden nominal güç tüketiminin % 75'i

$P_{eff(i)}$: Yenilikçi mekanik enerji verimli teknolojiyle, ana makine gücü azalmasının kW cinsinden %75'idir.

$P_{AEeff(i)}$: $P_{ME(i)}$ 'de ölçülen, yenilikçi elektrik enerjisi verimliliği teknolojilerine bağlı yardımcı güç azaltımıdır.

f_j : Gemiye özel tasarım unsurlarını dikkate alan, boyutsuz düzeltme faktörü. Buz sınıfı gemiler için Tablo 9'deki değerlere göre hesaplanır.

Tablo 9. Farklı buz sınıfı gemiler için f_j düzeltme faktörü değerleri

Gemi Tipi	f_j	Buz Sınıf (Ice Class) Gemiler için Limit Değerleri			
		IC	IB	IA	IA Super
Tanker	$\frac{0.516L_{PP}^{1.87}}{\sum_{i=1}^{nME} P_{\Delta ME}}$	$\begin{cases} \max 1.0 \\ \min 0.72L_{PP}^{0.06} \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1.0 \\ \min 0.61L_{PP}^{0.08} \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1.0 \\ \min 0.50L_{PP}^{0.10} \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1.0 \\ \min 0.40L_{PP}^{0.12} \end{cases}$
Kuru Yük Gemisi	$\frac{2.150L_{PP}^{1.58}}{\sum_{i=1}^{nME} P_{\Delta ME}}$	$\begin{cases} \max 1.0 \\ \min 0.89L_{PP}^{0.02} \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1.0 \\ \min 0.78L_{PP}^{0.04} \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1.0 \\ \min 0.68L_{PP}^{0.06} \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1.0 \\ \min 0.58L_{PP}^{0.08} \end{cases}$
Genel Kargo Gemisi	$\frac{0.0450 \cdot L_{PP}^{2.37}}{\sum_{i=1}^{nME} P_{\Delta ME}}$	$\begin{cases} \max 1.0 \\ \min 0.85L_{PP}^{0.03} \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1.0 \\ \min 0.70L_{PP}^{0.06} \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1.0 \\ \min 0.54L_{PP}^{0.10} \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1.0 \\ \min 0.39L_{PP}^{0.15} \end{cases}$

Diğer gemi tipleri için; f_j değeri 1.0 alınmalıdır

f_w = Deniz koşullarındaki dalga yüksekliği, dalga frekansları, rüzgâr hızları gibi faktörlerle gemi hız azalmasını gösteren boyutsuz katsayı.

$f_{eff(i)}$ = Her yenilikçi enerji verimliliği teknolojilerinin kullanılabilirlik faktörü.

f_i = Kapasitedeki herhangi bir teknik veya düzenleyici kısıtlama için kapasite faktörüdür ve kapasitede herhangi bir değişiklik yok ise bir (1.0) olarak alınabilir. Buz sınıfı gemiler için f_i faktörü Tablo 10'daki değerlere göre belirlenir.

Tablo 10. Farklı buz sınıfı gemiler için fi düzeltme faktörü değerleri

Gemi Tipi	f_i	Buz Sınıf (Ice Class) Gemiler için Limit Değerleri			
		IC	IB	IA	IA Super
Tanker	$\frac{0,00115L_{PP}^{3,36}}{\text{kapasite}}$	$\begin{cases} \max 1,31L_{PP}^{-0,05} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,54L_{PP}^{-0,07} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,80L_{PP}^{-0,09} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 2,10L_{PP}^{-0,11} \\ \min 1,0 \end{cases}$
Kuru Yük Gemisi	$\frac{0,000665 \cdot L_{PP}^{3,44}}{\text{kapasite}}$	$\begin{cases} \max 1,31L_{PP}^{-0,05} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,54L_{PP}^{-0,07} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,80L_{PP}^{-0,09} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 2,10L_{PP}^{-0,11} \\ \min 1,0 \end{cases}$
Genel Kargo Gemisi	$\frac{0,000676 \cdot L_{PP}^{3,44}}{\text{kapasite}}$	1.0	$\begin{cases} \max 1,08 \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,12 \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,25 \\ \min 1,0 \end{cases}$
Konteyner	$\frac{0,1749 \cdot L_{PP}^{2,29}}{\text{kapasite}}$	1.0	$\begin{cases} \max 1,25L_{PP}^{-0,04} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,60L_{PP}^{-0,08} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 2,10L_{PP}^{-0,12} \\ \min 1,0 \end{cases}$
Gaz Tankeri	$\frac{0,1749 \cdot L_{PP}^{2,33}}{\text{kapasite}}$	$\begin{cases} \max 1,25L_{PP}^{-0,04} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,60L_{PP}^{-0,08} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 2,10L_{PP}^{-0,12} \\ \min 1,0 \end{cases}$	1.0

Diğer gemiler için f_i değeri 1.0 alınmalıdır

Bu değerle denklem 6'daki formüle göre bir geminin saatlik CO₂ salınımı hesaplandıktan sonra, yıllık ve sonrasında tüm gemilerin, tüm yükü taşımak için üreteceği CO₂ emisyonu hesaplanacaktır. ECA bölgesinde dizel için hesaplanan EEDI değeri, diğer bölgelerde ise HFO için hesaplanan EEDI değeri kullanılacaktır.

Gemiden salınan CO₂ miktarı =

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyon İndeksi} \times \text{Taşınan Kapasite} \times \text{Gemi hızı} \quad (6)$$

Ayrıca Tablo 4'te verilen, yanan yakıtın CO₂ emisyon oranlarına göre de yükün taşınması esnasındaki CO₂ emisyonu hesabı yapılacaktır. Gemi Ek Tablo 1'e göre %3,3 kükürtlü yakıt kullanmaktadır. Öte yandan ECA bölgelerinde %0,1 kükürtlü yakıt kullanmak zorundadır. Buna göre tüm gemilerin harcadığı yakıt üzerinden kükürt miktarları belirlenecektir. Şekil 8'de makine gücüne göre üretilen NOx miktarı ve PM miktarları verilmiştir. Literatürde Trozzi (2010)'nin de kullandığı yöntemle, Şekil 8'e göre makine gücü ile şekilden elde edilen veri çarpılarak makinenin saatte üreteceği NOx ve PM miktarları belirlenip, tüm yükü taşımak için tüm gemilerin üreteceği NOx ve PM miktarı hesaplanacaktır (Trozzi, 2010). Tüm bu hesaplar 5 değişik rotada tekrar edilip, Kuzey Buz Denizi rotalarıyla mevcut rotaların karşılaştırılması yapılacaktır.

2.4. Araştırmanın Sınırları

Bu bölümde Almanya'nın Hamburg limanından Japonya'nın Yokohama limanına bir yıl içinde 2 milyon ton maden cevheri taşınacak, dönüşte ise yine 2 milyon ton başka bir maden cevherini alarak Hamburg limanına geri döneceği, örnek senaryolar çalışılacaktır. Senaryolar yıllık bazda hesaplanmış olup, şu kabuller yapılmıştır;

- KBD rotaları tamamen sefere açılacak,
- Buzlar, hava ve deniz durumu dolayısıyla sefer yavaşlamayacak,
- Denizde geminin seferini engelleyecek hiçbir risk oluşmayacak,
- Gemiler tam yüklü olarak hareket edecek,
- Gemi sabit 13,8 knot hızla gidecek, eğer ki KBD rotalarında hız düşürme olsa, bu toplam emisyon miktarını düşürecek, dolayısıyla en kötü senaryo gerçekleşmemiş olacaktır,
- Limanda yükleme süresi 2 gün boşaltma süresi 2 gün olarak eklenecek,
- Panama kanalında geçirilen süre 5 gün olarak, Süveyş kanalında geçirilen süre 2 gün olarak hesaplara eklenecek,
- Gemide bir ana makine mevcut olup,
- Yardımcı makine ve jeneratörler hesaba katılmayacak,
- Küsuratlı gemi sayısı ve sefer sayısı hesaplarda kullanılacaktır.

Yükü bir yılda taşıyabilmek için gemi filosu oluşturulacak ve tüm gemi filosu Tablo 11'de genel bilgileri verilen gemiyle aynı özellikte olacaktır.

Tablo 11. Örnek EEDI hesabı için MV A. gemisinin genel bilgileri

Gemi Adı	MV A.
Gemi Tipi	Dökme Yük Gemisi
Tam Boy	190 m
Kalıp Boyu	185 m
Kalıp Genişliği	32,3 m
Draft Yaz	12,7
Deplasman	67980 ton
Dedveyt	46297 ton
Ana Makine	
Üreticisi	Wärtsilä
Tipi	6RT-flex 50

Tablo 11'in devamı

MCR (Maximum Continuous Rating)	8890 kW x 116 rpm
SFC (50% MCR deki)	168.0 g/kWh
Yakıt Türü	IFO 380 cSt
Yakıt Yoğunluğu	0,9876 kg/m ³ 15°C'de
Yakıt Sülfür Oranı	%3,3
Hız yaz yüklü draftta %75 MCR'de	13,8 knot
Pervane Tipi	Sabit piçli pervane
Pervane Çapı	5,75 m
Pervane Kanat Sayısı	5
Pervane Adedi	1
Ana Jeneratör	
Üreticisi	Japan Electric
Gücü	660 kW (825 kVA) x 850 rpm
Voltajı	AC 450 V
Adedi	2

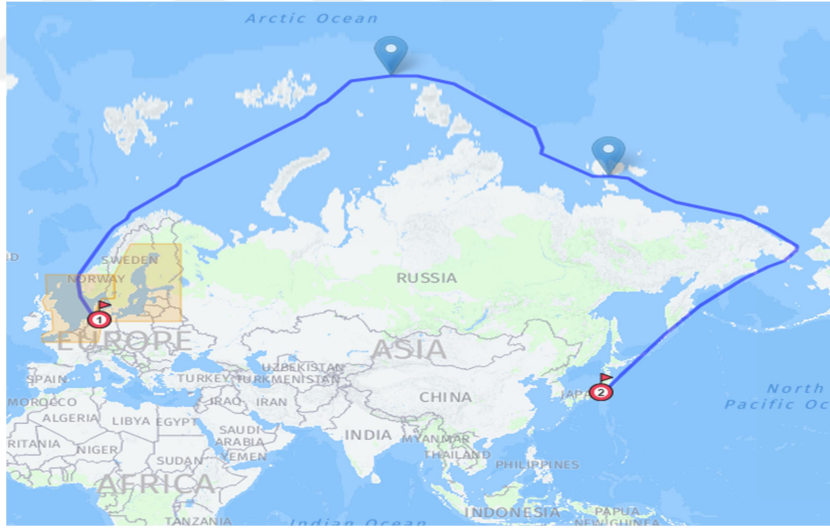
Tam boyu 190 m olan, 46297 ton ticari yük taşıyabilen MV A. gemisi bir adet 8890 kW güce sahip ana makinesi mevcut olup, yardımcı makinesi yoktur, jeneratör ise yakıt harcama verisi olmadığı için hesaplarda yok sayılacaktır.

3. BULGULAR

Bu bölümde çeşitli rotalara, sınırlılıklara bağlı olarak farklı senaryo başlıkları altında çeşitli bulgular elde edilmiştir.

3.1. Kuzeydoğu (KD) Rotası Kullanılarak Yapılan Örnek Emisyon Hesabı

Şekil 18’de KD rotası görülmektedir. Almanya’nın Hamburg limanından, Japonya’nın Yokohama limanına gitmek isteyen gemi, gideceği 6887 deniz mili mesafenin % 8’i olan 575 milini ECA üzerinde geçirecektir. Hamburg’dan çıkan gemi Danimarka’nın ve Norveç’in batısı, Rusya’nın kuzeyi, Bering Boğazı ve Rusya’nın doğusunu takip ederek Yokohama’ya ulaşacaktır. Haritada Süveyş Kanalı rotasından uzun görünen rota gerçekte en kısa rotadır.



Şekil 18. Hamburg’dan-Yokohama’ya Kuzey Doğu (KD) rotası (URL9, 2019)

Tek makineyle çalışan ve 46297 ton ticari yük taşıyabilen MV A. gemisinin EEDI hesabını yapmak için gerekli olan veriler Tablo 12’de verilmiştir ve denklem 1 kullanılarak EEDI değeri hesaplanmıştır.

Tablo 12. EEDI hesabında kullanılan veriler

Gemi Tipi:	Dökme Yük	SFC _{ME} : (HFO)	168 g/kWh
Kapasite:	67980 ton	SFC _{ME} : (Dizel)	163 g/kWh
Hız V _{ref} :	13,8 knot	Yakıt:(Diğer bölge)	IFO 380
MCR _{ME} :	8890 kW	Yakıt:(ECA)	Dizel
Buz sınıfı:	Yok	CF _{ME} : (HFO)	3,114
P _{ME} :	6667 kW	CF _{ME} : (Dizel)	3,206
fi:	Yok		
İleri Elektrik Enerji Verimliliği Teknoloji: Yok			
İleri Mekanik Enerji Verimliliği Teknoloji: Yok			

$$EEDI_{HFO} = \frac{1 \times (6667 \times 3.114 \times 168) + 0}{1 \times 1 \times 67980 \times 1 \times 13,8} + 0 - 0 = 3,7 \text{ gr CO}_2 / \text{ton. mil}$$

$$EEDI_{Dizel} = \frac{1 \times (6667 \times 3.206 \times 163) + 0}{1 \times 1 \times 67980 \times 1 \times 13,8} + 0 - 0 = 3,7 \text{ gr CO}_2 / \text{ton. mil}$$

KD rotası kullanılarak yapılacak sefer hesabı Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. KD Rotası kullanılarak yapılan örnek sefer hesabı

Taşınacak Mal:	Maden cevheri
Yükleme Limanı:	Hamburg, Almanya
Boşaltma Limanı:	Yokohama, Japonya
Yokohama'ya Taşınacak Yük:	2000000 ton
Hamburg'a Taşınacak Yük:	2000000 ton
Kargo Taşıma Kapasitesi (Yakıt, personel, yolcu, kumanya vb. hariç) :	46297 ton
Yıllık bakım süresi:	5 gün
Gemi hızı:	13,8 knot
KD diğer bölgeler rota mesafesi:	6312 deniz mili
KD ECA rota mesafesi:	575 deniz mili

Tablo 13'ün devamı

Diğer Bölgelerdeki Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 6312 deniz mili / 13,8 knot / 24 saat=	19,1 gün
ECA'da Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 575 deniz mili / 6312 deniz mili / 24 saat=	1,7 gün
Limanda bekleme süresi=	4 gün
Toplam sefer süresi=	24,8 gün
Sefer yapılacak gün sayısı=	360 gün
Bir geminin yıllık sefer sayısı: 360 gün / 24,8 gün =	14,5 sefer
Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi: 14,5 sefer x 46297 ton=	672214 ton / yıl
Gerekli olan gemi sayısı 4 milyon / 672214=	6 adet gemi

Tablo 13'te yapılan hesaplamayla bir gemi KD rotasıyla Hamburg-Yokohama arasında 13,8 knot hızla 24,8 günde kat edebilmekte ve karşılıklı yıllık 15,8 sefer düzenleyebilmektedir. Bir yılda 4 milyon ton maden cevherini karşılıklı taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı 6,0 adet olarak bulunmuştur.

Tablo 14'te KD rotası kullanılarak yapılan emisyon miktarlarının hesabı verilmiştir.

Tablo 14. KD rotası kullanılarak yapılan örnek emisyon hesabı

EEDI (HFO / Dizel) =	3,7 gr CO ₂ / ton.mil
Bir geminin saatlik CO ₂ salınımı=	2363925 gr CO ₂ /saat
Bir geminin yıllık CO ₂ salınımı=	17088 ton CO ₂ /yıl
KD rotası ile yükün taşınması dolayısıyla oluşan toplam yıllık CO ₂ salınımı=	101684 ton CO ₂
Bir geminin günlük harcadığı ortalama yakıt miktarı =	24 ton
Taşıma için toplam harcanan HFO miktarı =	39518 ton
Taşıma için toplam harcanan Dizel miktarı =	3497 ton
Tablo 4'e göre toplam CO ₂ emisyonu hesaplanırsa=	134271 ton CO ₂
Toplam SO _x salınımı=	1308 ton SO _x
Şekil 8'e göre NO _x salınımı hesaplanırsa=	5150 ton NO _x
Şekil 8'e göre PM salınımı hesaplanırsa=	510 ton PM

Tablo 14'te görüldüğü üzere denklem 6'yla yapılan hesapta bir geminin saatlik karbondioksit emisyonu 2.363.925 gr CO₂ / saat, yıllık emisyonu 17.088 ton CO₂ / yıl

olarak bulunmuştur. Toplam 6,0 geminin yapacağı yıllık karbondioksit emisyonu ise 101.684 ton CO₂ olarak bulunmuştur.

Ayrıca gerçek hava ve deniz koşullarında gemi kayıt defterine yazılan yakıt değerlerinden, geminin ortalama günde 24 ton yakıt yaktığı tespit edilmiştir. Yıllık 6 geminin harcayacağı HFO yakıt miktarı 39.518 ton, ECA bölgelerinde kullanılan dizel miktarı ise 3497 ton olarak bulunur. Bu taşıma işi için toplam yakıt maliyeti 39.518 ton HFO x 478 USD +3497 ton dizel x 700 USD =21,3 milyon USD (Bunker-Index, 17.05.2019)³ tutmaktadır.

Tablo 4'e göre harcanan yakıttan CO₂ emisyonu hesaplandığında 134.271 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkar.

Gemi makinesi performans testinde geminin %3,3 kükürt oranına sahip yakıt kullandığı Ek Tablo 1'de verilmiştir. ECA bölgelerinde ise %0,1 kükürtlü yakıt kullanması gerektiğinden, gemilerden seferlerde toplamda 1308 ton kükürt ortaya çıkar.

Öte yandan fikir vermesi açısından Şekil 8'e göre NO_x ve PM emisyonu hesaplanmıştır. HFO için NO_x emisyonu Şekil 8'de yaklaşık 18 gr/kwsaat, dizel için 17 gr/kwsaat olarak verilmiş, bu sayılar makine gücü ile çarpılarak saatte ortaya çıkan NO_x miktarı hesaplanmıştır. Toplam NO_x emisyonu için ise 15,8 sefer, 19,1 gün, 5,5 gemi sayıları çarpılarak HFO NO_x emisyonu ve 15,8 sefer, 1,7 gün, 5,5 gemi sayıları çarpılarak dizel NO_x emisyonu hesaplanmış, toplamda Tablo 14'te NO_x emisyonu 5150 ton olarak bulunmuştur. HFO için PM emisyonu Şekil 8'de yaklaşık 1,9 gr/kwsaat, dizel için 0,4 gr/kwsaat olarak verilmiş, bu sayılar makine gücü ile çarpılarak saatte ortaya çıkan PM miktarı hesaplanmıştır. Toplam PM emisyonu için ise 15,8 sefer, 19,1 gün, 5,5 gemi ve 1,9 gr/kwsaat sayıları çarpılarak HFO PM emisyonu ve yine aynı sayılar 0,4 gr/kwsaat ile çarpılarak dizel PM emisyonu hesaplanmış, toplamda Tablo 14'te PM emisyonu 510 ton olarak bulunmuştur.

Kuzeydoğu rotası eğer ECA bölgesine dâhil edilirse hesaplar Tablo 15'teki gibi değişecektir;

³ Bunker index, tek tek tüm liman fiyatlarını içeren küresel ortalama yakıt fiyatını göstermektedir. Ortalama yakıt fiyatının hesaplanmasında dünya genelindeki önemli tüm limanlardaki deniz yakıt fiyatları kullanılmaktadır.

Tablo 15. KD Rotası ECA olursa örnek sefer hesabı

Taşınacak Mal:	Maden cevheri
Yükleme Limanı:	Hamburg, Almanya
Boşaltma Limanı:	Yokohama, Japonya
Yokohama'ya Taşınacak Yük:	2000000 ton
Hamburg'a Taşınacak Yük:	2000000 ton
Kargo Taşıma Kapasitesi (Yakıt, personel, yolcu, kumanya vb. hariç) :	46297 ton
Yıllık bakım süresi:	5 gün
Gemi hızı:	13,8 knot
KD diğer bölgeler rota mesafesi:	3962 deniz mili
KD ECA rota mesafesi:	2925 deniz mili
Diğer Bölgelerdeki Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 3962 deniz mili / 13,8 knot / 24 saat=	12 gün
ECA'da Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 2925 deniz mili / 3962 deniz mili / 24 saat=	8,8 gün
Limanda bekleme süresi=	4 gün
Toplam sefer süresi=	24,8 gün
Sefer yapılacak gün sayısı=	360 gün
Bir geminin yıllık sefer sayısı: 360 gün / 24,8 gün =	14,5 sefer
Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi: 14,5 sefer x 46297 ton=	672214 ton / yıl
Gerekli olan gemi sayısı 4 milyon / 672214=	6 adet gemi

Tablo 15'te yapılan hesaplamayla bir gemi KD rotasının ECA'ya dâhil edilmesi halinde, Hamburg-Yokohama arasını 13,8 knot hızla 24,8 günde kat edebilmekte ve karşılıklı yıllık 14,5 sefer düzenleyebilmektedir. Bir yılda 4 milyon ton maden cevherini karşılıklı taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı 6 adet olarak bulunmuştur.

Tablo 16'da KD rotası ECA'ya dâhil edilmesi halinde, yapılacak emisyon miktarlarının hesabı verilmiştir.

Tablo 16. KD Rotası ECA olursa örnek emisyon hesabı

EEDI (HFO / Dizel) =	3,7 gr CO ₂ / ton.mil
Bir geminin saatlik CO ₂ salınımı=	2363925 gr CO ₂ /saat
Bir geminin yıllık CO ₂ salınımı=	16921 ton CO ₂ /yıl

Tablo 16'nın devamı

KD rotası ile yükün taşınması dolayısıyla oluşan toplam yıllık CO2 salınımı=	100691 ton CO2
Bir geminin günlük harcadığı ortalama yakıt miktarı =	24 ton
Taşıma için toplam harcanan HFO miktarı =	24805 ton
Taşıma için toplam harcanan Dizel miktarı =	17790 ton
Tablo 4'e göre toplam CO2 emisyonu hesaplanırsa=	134277 ton CO2
Toplam SOx salınımı=	836 ton SOx
Şekil 8'e göre NOx salınımı hesaplanırsa=	5052 ton NOx
Şekil 8'e göre PM salınımı hesaplanırsa=	363 ton PM

Tablo 16'da görüldüğü üzere denklem 6'ya göre yapılan hesapta bir geminin saatlik ve yıllık karbondioksit emisyonları sırasıyla 2.363.925 gr CO₂ / saat ve 16.921 ton CO₂ / yıl olarak bulunmuştur. Toplam 6 geminin yapacağı yıllık karbondioksit emisyonu ise 100.691 ton CO2 olarak bulunmuştur.

Yıllık 6 geminin harcayacağı yakıt miktarı, KD rotasında ise 24.805 ton HFO ve 17.790 ton dizel olarak bulunmuştur. Bu taşıma işi için toplam yakıt maliyeti 24.805 ton HFO x 478 USD +17.790 ton dizel x 700 USD =24,3 milyon USD (Bunker-Index, 17.05.2019) tutmaktadır.

Tablo 4'e göre toplam CO₂ emisyonu hesaplandığında 134.277 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkar.

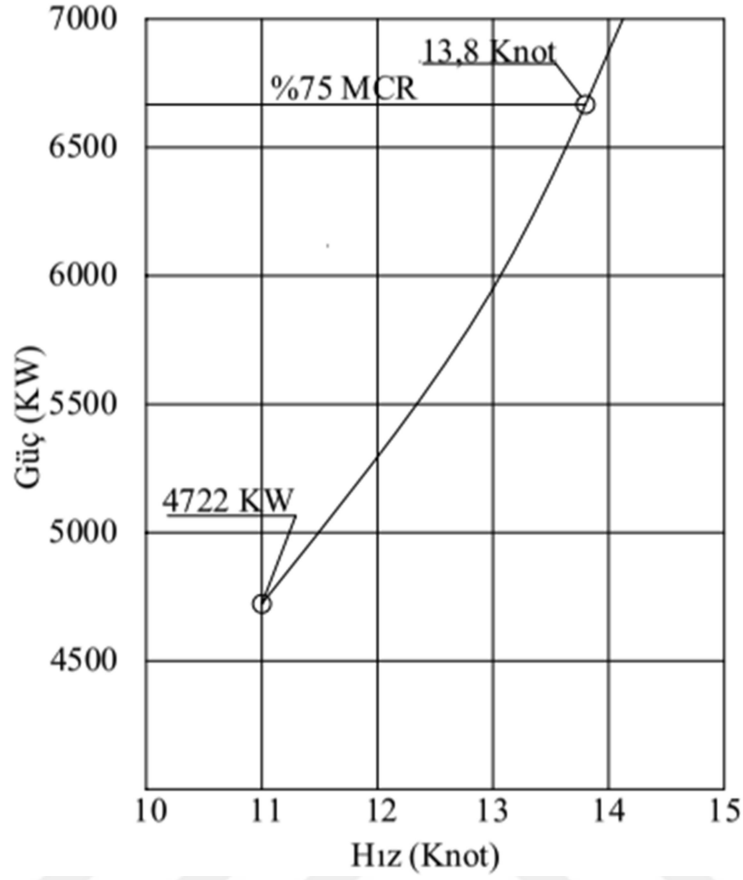
Gemi ECA bölgelerinden %0,1 kükürlü dizel yakıt kullanarak geçtiği hesaba katılarak toplam kükürt emisyonu Tablo 16'da 859 ton SOx olarak bulunmuştur.

Öte yandan Şekil 8'e göre NOx ve PM emisyonu Tablo 16'da sırasıyla 5.052 ton NOx ve 363 ton PM olarak bulunmuştur.

Eğer gemide hız 11 Knot'a düşürülürse, gerekli güç Şekil 19'da görülen ve gemiden alınan hız güç grafiğinden 4722 KW olarak bulunur. EEDI yeni hıza göre hesaplandığında aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

$$EEDI_{HFO} = \frac{1 \times (4722 \times 3.114 \times 168) + 0}{1 \times 1 \times 67980 \times 1 \times 11} + 0 - 0 = 3,3 \text{ gr CO}_2 / \text{ton. mil}$$

$$EEDI_{Dizel} = \frac{1 \times (4722 \times 3.206 \times 163) + 0}{1 \times 1 \times 67980 \times 1 \times 11} + 0 - 0 = 3,3 \text{ gr CO}_2 / \text{ton. mil}$$



Şekil 19. Gemi hız-güç grafiği

Tablo 17. KD rotasında hız 11 Knot'a düşürülürse örnek sefer hesabı

Taşınacak Mal:	Maden cevheri
Yükleme Limanı:	Hamburg, Almanya
Boşaltma Limanı:	Yokohama, Japonya
Yokohama'ya Taşınacak Yük:	2000000 ton
Hamburg'a Taşınacak Yük:	2000000 ton
Kargo Taşıma Kapasitesi (Yakıt, personel, yolcu, kumanya vb. hariç) :	46297 ton
Yıllık bakım süresi:	5 gün
Gemi hızı:	11 knot
KD diğer bölgeler rota mesafesi:	6312 deniz mili
KD ECA rota mesafesi:	575 deniz mili
Diğer Bölgelerdeki Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 6312 deniz mili / 11 knot / 24 saat=	23,9 gün
ECA'da Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 575 deniz mili / 6312 deniz mili / 24 saat=	2,2 gün

Tablo 17'nin devamı

Limanda bekleme süresi=	4 gün
Toplam sefer süresi=	30,1 gün
Sefer yapılacak gün sayısı=	360 gün
Bir geminin yıllık sefer sayısı: 360 gün / 30,1 gün =	12 sefer
Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi: 12 sefer x 46297 ton=	553955 ton / yıl
Gerekli olan gemi sayısı 4 milyon / 553955=	7,2 adet gemi

Tablo 17'de yapılan hesaplamayla bir gemi KD rotasıyla Hamburg-Yokohama arasını 11 knot hızla 30,1 günde kat edebilmekte ve karşılıklı yıllık 12 sefer düzenleyebilmektedir. Bir yılda 4 milyon ton maden cevherini karşılıklı taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı 7,2 adet olarak bulunmuştur.

Tablo 18'de KB rotası kullanılarak yapılan emisyon miktarlarının hesabı verilmiştir.

Tablo 18. KD Rotasında hız 11 Knot'a düşürülürse örnek emisyon hesabı

EEDI (HFO / Dizel) =	3,3 gr CO ₂ / ton.mil
Bir geminin saatlik CO ₂ salınımı=	1680581 gr CO ₂ /saat
Bir geminin yıllık CO ₂ salınımı=	9943 ton CO ₂ /yıl
KD rotası ile yükün taşınması dolayısıyla oluşan toplam yıllık CO ₂ salınımı=	71797 ton CO ₂
Bir geminin günlük harcadığı ortalama yakıt miktarı =	19 ton
Taşıma için toplam harcanan HFO miktarı =	39249 ton
Taşıma için toplam harcanan Dizel miktarı =	3473 ton
Tablo 4'e göre toplam CO ₂ emisyonu hesaplanırsa=	133355 ton CO ₂
Toplam SO _x salınımı=	1299 ton SO _x
Şekil 8'e göre NO _x salınımı hesaplanırsa=	4576 ton NO _x
Şekil 8'e göre PM salınımı hesaplanırsa=	453 ton PM

Tablo 18'de görüldüğü üzere denklem 6'ya göre yapılan hesapta bir geminin saatlik ve yıllık karbondioksit emisyonları sırasıyla 1680581 gr CO₂ / saat ve 9943 ton CO₂ / yıl olarak bulunmuştur. Toplam 7,2 geminin yapacağı yıllık karbondioksit emisyonu ise 71.797 ton CO₂ olarak bulunmuştur.

Yıllık 7,2 geminin harcayacağı yakıt miktarı, KD rotasında ise 39.249 ton HFO ve 3473 ton dizel olarak bulunmuştur. Bu taşıma işi için toplam yakıt maliyeti 39.249 ton

HFO x 478 USD +3473 ton dizel x 700 USD =21,2 milyon USD (Bunker Index, 17.05.2019) tutmaktadır.

Tablo 4'e göre toplam CO₂ emisyonu hesaplandığında 133.355 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkar.

Gemi sefer sürelerinin çok az miktarını ECA bölgelerinde geçirecektir, bu yüzden buralardan %0,1 kükürlü dizel yakıt kullanarak geçtiği hesaba katılarak toplam kükürt emisyonu Tablo 18'de 1.299 ton SO_x olarak bulunmuştur.

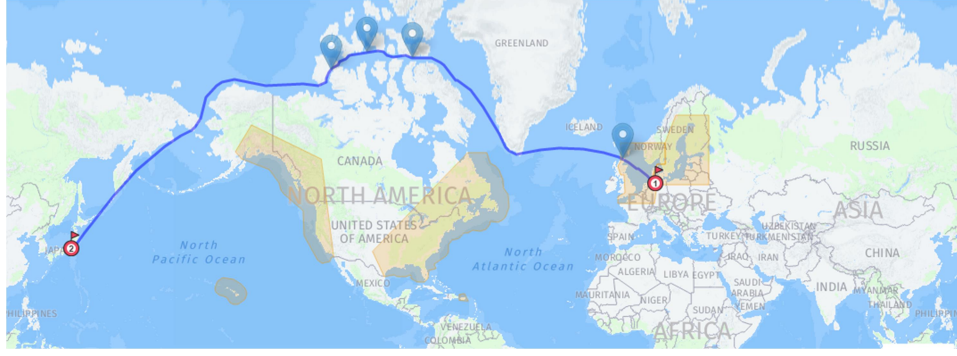
Öte yandan Şekil 8'e göre NO_x ve PM emisyonu Tablo 18'de sırasıyla 4.576 ton NO_x ve 453 ton PM olarak bulunmuştur.

3.2. Kuzeybatı (KB) Rotası Kullanılarak Yapılan Örnek Emisyon Hesabı

Şimdiki senaryoda, Şekil 33'te harita üzerinde gösterilen KB rotasını takip ederek Hamburg'dan İskoçya'ya oradan Kanada'nın üst tarafında bulunan adalardan geçerek Bering boğazına varacak, oradan da Rusya'nın doğu kıyılarından geçerek Yokohama'daki boşaltma limanında sefer güvenle tamamlanacaktır. Bu rotada toplam 7621 mil yolun 575 mili ECA bölgesinde gerçekleşecektir.

KB rotası, KD rotasından daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Şekil 20'de görüldüğü üzere, Kanada'nın üst yakasından geçerken, birçok kara adası bu rota üzerinde bulunmaktadır. Dolayısıyla adaların arasından geçerken çeşitli rota seçenekleri mevcuttur. Adalar, büyük buz kütlelerinin yıl içindeki hareketliliği ve değişkenliği gemi seferi için rota belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Gelecek için öngörüler ise KD rotasındaki gibi açık değil belirsizdir (Melia, 2016).

Hamburg-Yokohama arası seferlerini 13,8 knot hızla yapan gemilerin oluşturacağı CO₂, SO_x, NO_x ve PM emisyonları hesaplanacaktır.



Şekil 20. Hamburg'dan-Yokohama'ya Kuzeybatı (KB) rotası (URL9, 2019)

KB rotası kullanılarak yapılacak sefer bilgileri Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. KB rotası kullanılarak yapılan örnek sefer hesabı

Taşınacak Mal:	Maden cevheri
Yükleme Limanı:	Hamburg, Almanya
Boşaltma Limanı:	Yokohama, Japonya
Yokohama'ya Taşınacak Yük:	2000000 ton
Hamburg'a Taşınacak Yük:	2000000 ton
Kargo Taşıma Kapasitesi (Yakıt, personel, yolcu, kumanya vb. hariç) :	46297 ton
Yıllık bakım süresi	5 gün
Gemi hızı	13,8 knot
KD diğer bölgeler rota mesafesi:	7046 deniz mili
KD ECA rota mesafesi:	575 deniz mili
Diğer Bölgelerdeki Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 7046 deniz mili / 13,8 knot / 24 saat=	21,3 gün
ECA'da Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 575 deniz mili / 7046 deniz mili / 24 saat=	1,7 gün
Limanda bekleme süresi=	4 gün
Toplam sefer süresi=	27 gün
Sefer yapılacak gün sayısı=	360 gün
Bir geminin yıllık sefer sayısı: 360 gün / 27 gün =	13,3 sefer
Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi: 13,3 sefer x 46297 ton=	617059 ton / yıl
Gerekli olan gemi sayısı 4 milyon / 617059=	6,5 adet gemi

Tablo 19’da yapılan hesaplamayla bir gemi KB rotasıyla Hamburg-Yokohama arasını 13,8 knot hızla 27 günde kat edebilmekte ve karşılıklı yıllık 13,3 sefer düzenleyebilmektedir. Bir yılda 4 milyon ton maden cevherini karşılıklı taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı 6,5 adet olarak bulunmuştur.

Tablo 20’de KB rotası kullanılarak yapılan emisyon miktarlarının hesabı verilmiştir.

Tablo 20. KB rotası kullanılarak yapılan örnek emisyon hesabı

EEDI (HFO / Dizel) =	3,7 gr CO ₂ / ton.mil
Bir geminin saatlik CO ₂ salınımı=	2363925 gr CO ₂ /saat
Bir geminin yıllık CO ₂ salınımı=	17362 ton CO ₂ /yıl
KD rotası ile yükün taşınması dolayısıyla oluşan toplam yıllık CO ₂ salınımı=	112548 ton CO ₂
Bir geminin günlük harcadığı ortalama yakıt miktarı =	24 ton
Taşıma için toplam harcanan HFO miktarı =	44113 ton
Taşıma için toplam harcanan Dizel miktarı =	3497 ton
Tablo 4’e göre toplam CO ₂ emisyonu hesaplanırsa=	148581 ton CO ₂
Toplam SO _x salınımı=	1459 ton SO _x
Şekil 8’e göre NO _x salınımı hesaplanırsa=	5702 ton NO _x
Şekil 8’e göre PM salınımı hesaplanırsa=	568 ton PM

Tablo 20’de görüldüğü üzere denklem 6’ya göre yapılan hesapta bir geminin saatlik ve yıllık karbondioksit emisyonları sırasıyla 2.363.925 gr CO₂ / saat ve 17.362 ton CO₂ / yıl olarak bulunmuştur. Toplam 6,5 geminin yapacağı yıllık karbondioksit emisyonu ise 112.548 ton CO₂ olarak bulunmuştur.

Yıllık 6,5 geminin harcayacağı yakıt miktarı, KB rotasında ise 44.113 ton HFO ve 3497 ton dizel olarak bulunmuştur. Bu taşıma işi için toplam yakıt maliyeti 44.113 ton HFO x 478 USD +3497 ton dizel x 700 USD =23,5 milyon USD (Bunker-Index, 17.05.2019) tutmaktadır.

Tablo 4’e göre toplam CO₂ emisyonu hesaplandığında 148.581 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkar.

Gemi sefer sürelerinin çok az miktarını ECA bölgelerinde geçirecektir, bu yüzden buralardan %0,1 kükürlü dizel yakıt kullanarak geçtiği hesaba katılarak toplam kükürt emisyonu Tablo 20’de 1.459 ton SO_x olarak bulunmuştur.

Öte yandan Şekil 8'e göre NOx ve PM emisyonu Tablo 20'de sırasıyla 5.702 ton NOx ve 568 ton PM olarak bulunmuştur.

Kuzeybatı rotası eğer ECA bölgesi olursa sonuçlar şu şekilde olacaktır,

Tablo 21. KB rotası ECA'ya dâhil olursa

Taşınacak Mal:	Maden cevheri
Yükleme Limanı:	Hamburg, Almanya
Boşaltma Limanı:	Yokohama, Japonya
Yokohama'ya Taşınacak Yük:	2000000 ton
Hamburg'a Taşınacak Yük:	2000000 ton
Kargo Taşıma Kapasitesi (Yakıt, personel, yolcu, kumanya vb. hariç) :	46297 ton
Yıllık bakım süresi	5 gün
Gemi hızı	13,8 knot
KD diğer bölgeler rota mesafesi:	3996 deniz mili
KD ECA rota mesafesi:	3625 deniz mili
Diğer Bölgelerdeki Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 3996 deniz mili / 13,8 knot / 24 saat=	12,1 gün
ECA'da Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 3625 deniz mili / 3996 deniz mili / 24 saat=	10,9 gün
Limanda bekleme süresi=	4 gün
Toplam sefer süresi=	27 gün
Sefer yapılacak gün sayısı=	360 gün
Bir geminin yıllık sefer sayısı: 360 gün / 27 gün =	13,3 sefer
Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi: 13,3 sefer x 46297 ton=	617059 ton / yıl
Gerekli olan gemi sayısı 4 milyon / 617059=	6,5 adet gemi

Tablo 21'de yapılan hesaplamayla bir gemi KB rotasının ECA'ya dâhil edilmesi halinde, Hamburg-Yokohama arasını 13,8 knot hızla 27 günde kat edebilmekte ve karşılıklı yıllık 13,3 sefer düzenleyebilmektedir. Bir yılda 4 milyon ton maden cevherini karşılıklı taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı 6,5 adet olarak bulunmuştur.

Tablo 22'de KB rotası ECA'ya dâhil edilmesi halinde, yapılacak emisyon miktarlarının hesabı verilmiştir.

Tablo 22. KB rotası ECA'ya dâhil olursa emisyon hesabı

EEDI (HFO / Dizel) =	3,7 gr CO ₂ / ton.mil
Bir geminin saatlik CO ₂ salınımı=	2363925 gr CO ₂ /saat
Bir geminin yıllık CO ₂ salınımı=	17163 ton CO ₂ /yıl
KD rotası ile yükün taşınması dolayısıyla oluşan toplam yıllık CO ₂ salınımı=	111258 ton CO ₂
Bir geminin günlük harcadığı ortalama yakıt miktarı =	24 ton
Taşıma için toplam harcanan HFO miktarı =	25018 ton
Taşıma için toplam harcanan Dizel miktarı =	22047 ton
Tablo 4'e göre toplam CO ₂ emisyonu hesaplanırsa=	148588 ton CO ₂
Toplam SO _x salınımı=	848 ton SO _x
Şekil 8'e göre NO _x salınımı hesaplanırsa=	5575 ton NO _x
Şekil 8'e göre PM salınımı hesaplanırsa=	377 ton PM

Tablo 22'de görüldüğü üzere denklem 6'ya göre yapılan hesapta bir geminin saatlik ve yıllık karbondioksit emisyonları sırasıyla 2.363.925 gr CO₂ / saat ve 17.163 ton CO₂ / yıl olarak bulunmuştur. Toplam 6,5 geminin yapacağı yıllık karbondioksit emisyonu ise 111.258 ton CO₂ olarak bulunmuştur.

Yıllık 6,5 geminin harcayacağı yakıt miktarı, KB rotasında ise 25.018 ton HFO ve 22.047 ton dizel olarak bulunmuştur. Bu taşıma işi için toplam yakıt maliyeti 25.018 ton HFO x 478 USD +22047 ton dizel x 700 USD =27,4 milyon USD (Bunker-Index, 17.05.2019) tutmaktadır.

Tablo 4'e göre toplam CO₂ emisyonu hesaplandığında 148.588 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkar.

Gemi ECA bölgelerinden %0,1 kükürlü dizel yakıt kullanarak geçtiği hesaba katılarak toplam kükürt emisyonu Tablo 22'de 848 ton SO_x olarak bulunmuştur.

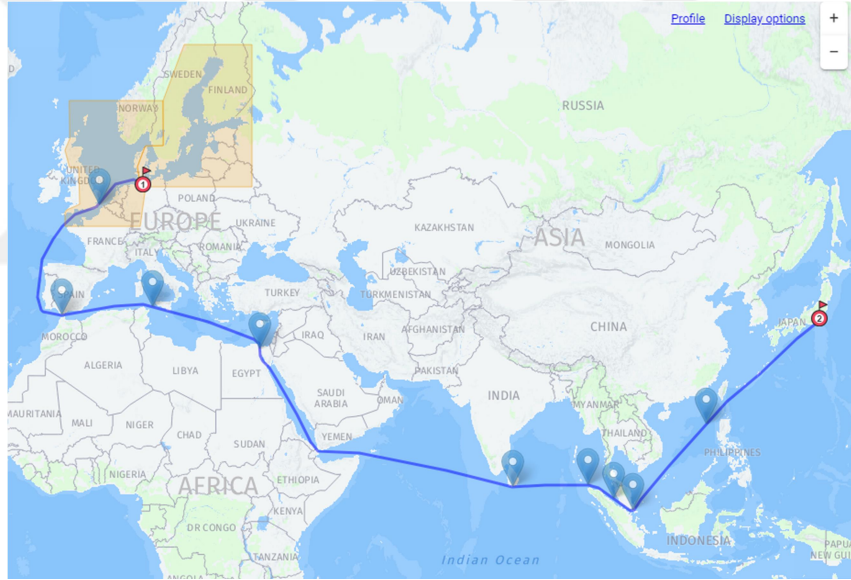
Öte yandan Şekil 8'e göre NO_x ve PM emisyonu Tablo 22'de sırasıyla 5.575 ton NO_x ve 377 ton PM olarak bulunmuştur.

3.3. Süveyş Kanalı Rotası Kullanılarak Yapılan Örnek Emisyon Hesabı

Mısır'da bulunan Süveyş Kanalı 1869 yılında açılmıştır. Avrupa'yla Asya'yı bağlayan şu anlık en kısa rotadır. Dünyadaki en uzun kanaldır, kaza oranı hemen hemen sıfırdır. Gece ve gündüz kanaldan geçilebilmektedir. Kanal boyu 2010 yılında 193,3

km'ye, kanal derinliği 24 m'ye, kanalın yüzeydeki genişliği 313 m'ye, 11 m derinlikteki genişliği ise 205/225 m'ye çıkarılmıştır. Bu son geliştirme ile kanalda izin verilen gemi ölçüleri en fazla 20 m draft, 50 m genişlik ve 240.000 dwt yük ağırlığıdır. Süveyş Kanalı'ndan geçebilecek gemiler için suezmax tanımı üretilmiştir. Süveyş Kanalı'ndan 2018 yılında 18.174 adet gemi geçmiş ve 1,14 milyar ton yük taşınmıştır (URL6, 2018).

Şekil 21'de harita üzerinde gösterilen Süveyş Kanalı rotasını takip eden gemi Hamburg'dan 11433 millik rotanın, 686 milini ECA bölgesinde seyir yapacak ve Belçika, İngiltere, Portekiz, İspanya, Cebelitarık, Akdeniz, İtalya ve Tunus'u geçerek Süveyş Kanalı'na gelen gemi beklemeden seferine devam edecek olup, Yemen, Sri Lanka, Endonezya, Tayvan yoluyla Yokohama'ya varacaktır. Seferlerini 13,8 knot hızla yapacak gemilerin oluşturacağı CO₂, SO_x ve NO_x, PM emisyonları hesaplanacaktır.



Şekil 21. Hamburg'dan-Yokohama'ya Süveyş Kanalı rotası (URL9, 2019)

Süveyş Kanalı rotası kullanılarak yapılacak sefer bilgileri Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 23. Süveyş Kanalı rotası kullanılarak yapılan örnek sefer hesabı

Taşınacak Mal :	Maden cevheri
Yükleme Limanı :	Hamburg, Almanya
Boşaltma Limanı :	Yokohama, Japonya
Yokohama'ya Taşınacak Yük :	2000000 ton
Hamburg'a Taşınacak Yük :	2000000 ton

Tablo 23'ün devamı

Kargo Taşıma Kapasitesi (Yakıt, personel, yolcu, kumanya vb. hariç) :	46297 ton
Yıllık bakım süresi:	5 gün
Gemi hızı:	13,8 knot
KD diğer bölgeler rota mesafesi :	10747 deniz mili
KD ECA rota mesafesi :	686 deniz mili
Diğer Bölgelerdeki Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 10747 deniz mili / 13,8 knot / 24 saat=	32,4 gün
ECA'da Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 686 deniz mili / 10747 deniz mili / 24 saat=	2,1 gün
Limanda ve kanalda bekleme süresi=	6 gün
Toplam sefer süresi=	40,5 gün
Sefer yapılacak gün sayısı=	360 gün
Bir geminin yıllık sefer sayısı : 360 gün / 40,5 gün =	8,9 sefer
Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi :8,9 sefer x 46297 ton=	411327 ton / yıl
Gerekli olan gemi sayısı 4 milyon / 411327=	9,7 adet gemi

Tablo 23'te yapılan hesaplamayla bir gemi Süveyş Kanalı rotasıyla Hamburg-Yokohama arasını 13,8 knot hızla 40,5 günde kat edebilmekte ve karşılıklı yıllık 8,9 sefer düzenleyebilmektedir. Bir yılda 4 milyon ton maden cevherini karşılıklı taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı 9,7 adet olarak bulunmuştur.

Tablo 23'te Süveyş Kanalı rotası kullanılarak yapılan emisyon miktarlarının hesabı verilmiştir.

Tablo 24. Süveyş Kanalı rotası kullanılarak yapılan örnek emisyon hesabı

EEDI (HFO / Dizel) =	3,7 gr CO ₂ / ton.mil
Bir geminin saatlik CO ₂ salınımı=	2363925 gr CO ₂ /saat
Bir geminin yıllık CO ₂ salınımı=	17370 ton CO ₂ /yıl
KD rotası ile yükün taşınması dolayısıyla oluşan toplam yıllık CO ₂ salınımı=	168918 ton CO ₂
Bir geminin günlük harcadığı ortalama yakıt miktarı =	24 ton
Taşıma için toplam harcanan HFO miktarı =	67285 ton
Taşıma için toplam harcanan Dizel miktarı =	4172 ton
Tablo 4'e göre toplam CO ₂ emisyonu hesaplanırsa=	222900 ton CO ₂
Toplam SO _x salınımı=	2225 ton SO _x
Şekil 8'e göre NO _x salınımı hesaplanırsa=	8561 ton NO _x
Şekil 8'e göre PM salınımı hesaplanırsa=	864 ton PM

Tablo 24'te görüldüğü üzere denklem 6'ya göre yapılan hesapta bir geminin saatlik ve yıllık karbondioksit emisyonları sırasıyla 2.363.925 gr CO₂ / saat ve 17.370 ton CO₂ / yıl olarak bulunmuştur. Toplam 9,7 geminin yapacağı yıllık karbondioksit emisyonu ise 168.918 ton CO₂ olarak bulunmuştur.

Yıllık 9,7 geminin harcayacağı yakıt miktarı, Süveyş Kanalı rotasında ise 67.285 ton HFO ve 4172 ton dizel olarak bulunmuştur. Bu taşıma işi için toplam yakıt maliyeti 67.285 ton HFO x 478 USD +4172 ton dizel x 700 USD =35,1 milyon USD (Bunker-Index, 17.05.2019) tutmaktadır.

Tablo 4'e göre toplam CO₂ emisyonu hesaplandığında 222.900 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkar.

Gemi sefer sürelerinin çok az miktarını ECA bölgelerinde geçirecektir, bu yüzden buralardan %0,1 kükürtlü dizel yakıt kullanarak geçtiği varsayılarak toplam kükürt emisyonu Tablo 24'te 2.225 ton SO_x olarak bulunmuştur.

Öte yandan Şekil 8'e göre NO_x ve PM emisyonu sırasıyla Tablo 24'te 8.561 ton NO_x ve 864 ton PM olarak bulunmuştur.

3.4. Panama Kanalı Rotası Kullanılarak Yapılan Örnek Emisyon Hesabı

Panama Kanalı, 1914 yılında hizmete açılan Atlas Okyanusu ile Pasifik okyanusu birbirine bağlayan 82 km uzunluğunda, deniz seviyesinden 26 m yükseklikte bir kanaldır. Buradan geçebilecek ölçüde gemiler panamax ismiyle anılırlar. Kanalda 15 m draft, 366 m boy, 49 m genişlik, 60-100 bin dwt yük sınırı mevcuttur. Gemiler sınırların dengesi kanunundan yararlanılarak yavaş yavaş yükseltilir ve diğer tarafa geçince de yavaş yavaş indirilir (URL8, 2018). Panama Kanalı'ndan ise 2018 yılında 13795 adet gemi geçmiş ve 255 milyon ton yük taşınmıştır, gemi başı ortalama 200 bin USD ödenmiştir (URL7, 2018). Dünyanın en pahalı kanalıdır (URL8, 2018).

Şekil 22'de harita üzerinde gösterilen Panama Kanalı rotasını takip eden gemi Hamburg'dan sonra 873 mil ECA bölgesinde seyir yapacak ve İngiltere'nin kuzeyinden geçerek, Kuzey Amerika'nın güneyinde kalan Panama Kanalı'ndan geçecektir. Kuzey Pasifik Okyanusu'nu aştıktan sonra Yokohama ya varacaktır. Seferlerini 13,8 knot hızla yapan gemilerin oluşturacağı CO₂, SO_x, NO_x ve PM emisyonları hesaplanacaktır.



Şekil 22. Hamburg'dan-Yokohama'ya Panama Kanalı rotası (URL9, 2019)

Panama Kanalı rotası kullanılarak yapılacak sefer bilgileri Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25. Panama Kanalı rotası kullanılarak yapılan örnek sefer hesabı

Taşınacak Mal :	Maden cevheri
Yükleme Limanı :	Hamburg, Almanya
Boşaltma Limanı :	Yokohama, Japonya
Yokohama'ya Taşınacak Yük :	2000000 ton
Hamburg'a Taşınacak Yük :	2000000 ton
Kargo Taşıma Kapasitesi (Yakıt, personel, yolcu, kumanya vb. hariç) :	46297 ton
Yıllık bakım süresi:	5 gün
Gemi hızı:	13,8 knot
KD diğer bölgeler rota mesafesi :	11907 deniz mili
KD ECA rota mesafesi :	873 deniz mili
Diğer Bölgelerdeki Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 11907 deniz mili / 13,8 knot / 24 saat=	36 gün
ECA'da Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 873 deniz mili / 13,8 knot / 24 saat=	2,6 gün
Limanda ve kanalda bekleme süresi=	9 gün
Toplam sefer süresi=	47,6 gün
Sefer yapılacak gün sayısı=	360 gün
Bir geminin yıllık sefer sayısı : 360 gün / 47,6 gün =	7,6 sefer
Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi : 7,6 sefer x 46297 ton=	350241 ton / yıl
Gerekli olan gemi sayısı 4 milyon / 350241=	11,4 adet gemi

Tablo 25'te yapılan hesaplamayla bir gemi Panama Kanalı rotasıyla Hamburg-Yokohama arasını 13,8 knot hızla 47,6 günde kat edebilmekte ve karşılıklı yıllık 7,6 sefer düzenleyebilmektedir. Bir yılda 4 milyon ton maden cevherini karşılıklı taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı 11,4 adet olarak bulunmuştur.

Tablo 26'da Panama Kanalı rotası kullanılarak yapılan emisyon miktarlarının hesabı verilmiştir.

Tablo 26. Panama Kanalı rotası kullanılarak yapılan örnek emisyon hesabı

EEDI (HFO / Dizel) =	3,7 gr CO ₂ / ton.mil
Bir geminin saatlik CO ₂ salınımı=	2363925 gr CO ₂ /saat
Bir geminin yıllık CO ₂ salınımı=	16529 ton CO ₂ /yıl
KD rotası ile yükün taşınması dolayısıyla oluşan toplam yıllık CO ₂ salınımı=	188775 ton CO ₂
Bir geminin günlük harcadığı ortalama yakıt miktarı =	24 ton
Taşıma için toplam harcanan HFO miktarı =	74547 ton
Taşıma için toplam harcanan Dizel miktarı =	5309 ton
Tablo 4'e göre toplam CO ₂ emisyonu hesaplanırsa=	249162 ton CO ₂
Toplam SO _x salınımı=	2465 ton SO _x
Şekil 8'e göre NO _x salınımı hesaplanırsa=	9566 ton NO _x
Şekil 8'e göre PM salınımı hesaplanırsa=	959 ton PM

Tablo 26'da görüldüğü üzere denklem 6'ya göre yapılan hesapta bir geminin saatlik ve yıllık karbondioksit emisyonları sırasıyla 2.363.925 gr CO₂ / saat ve 16.529 ton CO₂ / yıl olarak bulunmuştur. Toplam 11,4 geminin yapacağı yıllık karbondioksit emisyonu ise 188.775 ton CO₂ olarak bulunmuştur.

Yıllık 11,4 geminin harcayacağı yakıt miktarı, Panama Kanalı rotasında ise 74.547 ton HFO ve 5.309 ton dizel olarak bulunmuştur. Bu taşıma işi için toplam yakıt maliyeti 74.547 ton HFO x 478 USD +5309 ton dizel x 700 USD =39,3 milyon USD (Bunker-Index, 17.05.2019) tutmaktadır.

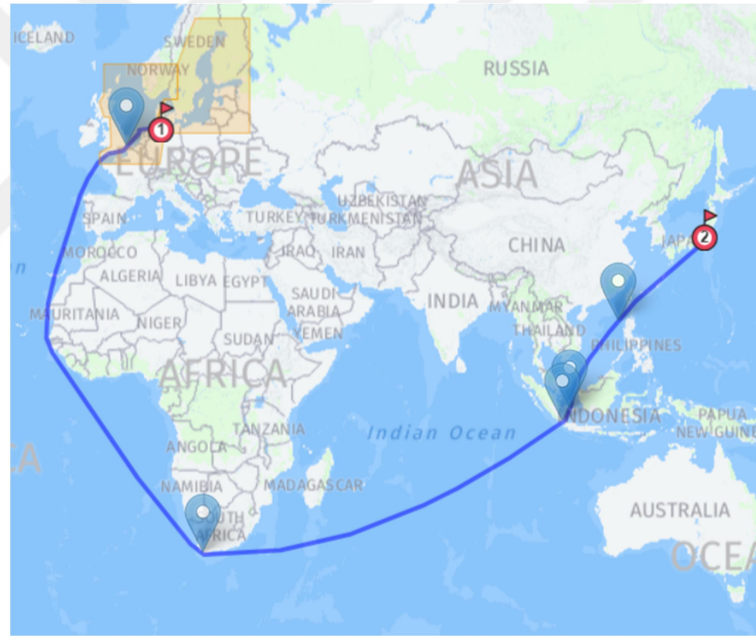
Tablo 4'e göre toplam CO₂ emisyonu hesaplandığında 249.162 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkar.

Gemi sefer sürelerinin çok az miktarını ECA bölgelerinde geçirecektir, bu yüzden buralardan %0,1 kükürtlü dizel yakıt kullanarak geçtiği varsayılarak toplam kükürt emisyonu Tablo 26'da 2.465 ton SO_x olarak bulunmuştur.

Öte yandan Şekil 8'e göre NOx ve PM emisyonu sırasıyla Tablo 26'da 9.566 ton NOx ve 959 ton PM olarak bulunmuştur.

3.5. Ümit Burnu Rotası Kullanılarak Yapılan Örnek Emisyon Hesabı

Şimdiki senaryoda, gemiler Şekil 23'te harita üzerinde gösterilen, Afrika'nın en güneyinde bulunan uç noktasındaki Ümit Burnu rotasını takip edeceklerdir. Hamburg limanından çıkan gemi Hollanda'nın batısından geçerek Portekiz'e, oradan Senegal'e, oradan Ümit Burnuna, buradan ise Endonezya, Manila, Tayvan yoluyla Yokohama'ya ulaşacaktır. Bu rotanın 686 millik kısmı ECA bölgesinde olmakla beraber, 13,8 knot hızla yapan gemilerin oluşturacağı CO₂, SO_x, NO_x ve PM emisyonları hesaplanacaktır.



Şekil 23. Hamburg'dan-Yokohama'ya Ümit Burnu rotası (URL9, 2019)

Ümit Burnu rotası kullanılarak yapılacak sefer bilgileri Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27. Ümit Burnu rotası kullanılarak yapılan örnek sefer hesabı

Taşınacak Mal :	Maden cevheri
Yükleme Limanı :	Hamburg, Almanya
Boşaltma Limanı :	Yokohama, Japonya
Yokohama'ya Taşınacak Yük :	2000000 ton
Hamburg'a Taşınacak Yük :	2000000 ton
Kargo Taşıma Kapasitesi (Yakıt, personel, yolcu, kumanya vb. hariç) :	46297 ton
Yıllık bakım süresi:	5 gün
Gemi hızı:	13,8 knot
KD diğer bölgeler rota mesafesi :	14705 deniz mili
KD ECA rota mesafesi :	686 deniz mili
Diğer Bölgelerdeki Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 14705 deniz mili / 13,8 knot / 24 saat=	44,4 gün
ECA'da Sefer Süresi (Hamburg – Yokohama / Yokohama-Hamburg) = 686 deniz mili / 14705 deniz mili / 24 saat=	2,1 gün
Limanda bekleme süresi=	4 gün
Toplam sefer süresi=	50,5 gün
Sefer yapılacak gün sayısı=	360 gün
Bir geminin yıllık sefer sayısı : 360 gün / 50,5 gün =	7,1 sefer
Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi :7,1 sefer x 46297 ton=	330232 ton / yıl
Gerekli olan gemi sayısı 4 milyon / 330232=	12,1 adet gemi

Tablo 27'de yapılan hesaplamayla bir gemi Ümit Burnu rotasıyla Hamburg-Yokohama arasını 13,8 knot hızla 50,5 günde kat edebilmekte ve karşılıklı yıllık 7,1 sefer düzenleyebilmektedir. Bir yılda 4 milyon ton maden cevherini karşılıklı taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı 12,1 adet olarak bulunmuştur.

Tablo 28'de Ümit Burnu rotası kullanılarak yapılan emisyon miktarlarının hesabı verilmiştir.

Tablo 28. Ümit Burnu rotası kullanılarak yapılan örnek emisyon hesabı

EEDI (HFO / Dizel) =	3,7 gr CO ₂ / ton.mil
Bir geminin saatlik CO ₂ salınımı=	2363925 gr CO ₂ /saat
Bir geminin yıllık CO ₂ salınımı=	18782 ton CO ₂ /yıl
KD rotası ile yükün taşınması dolayısıyla oluşan toplam yıllık CO ₂ salınımı=	227497 ton CO ₂
Bir geminin günlük harcadığı ortalama yakıt miktarı =	24 ton

Tablo 28'in devamı

Taşıma için toplam harcanan HFO miktarı =	92065 ton
Taşıma için toplam harcanan Dizel miktarı =	4172 ton
Tablo 4'e göre toplam CO2 emisyonu hesaplanırsa=	300065 ton CO2
Toplam SOx salınımı=	3042 ton SOx
Şekil 8'e göre NOx salınımı hesaplanırsa=	11535 ton NOx
Şekil 8'e göre PM salınımı hesaplanırsa=	1178 ton PM

Tablo 28'de görüldüğü üzere denklem 6'ya göre yapılan hesapta bir geminin saatlik ve yıllık karbondioksit emisyonları sırasıyla 2.363.925 gr CO₂ / saat ve 18.782 ton CO₂ / yıl olarak bulunmuştur. Toplam 12,1 geminin yapacağı yıllık karbondioksit emisyonu ise 227497 ton CO₂ olarak bulunmuştur.

Yıllık 12,1 geminin harcayacağı yakıt miktarı, Ümit Burnu rotasında ise 92065 ton HFO ve 4172 ton dizel olarak bulunmuştur. Bu taşıma işi için toplam yakıt maliyeti 92.065 ton HFO x 478 USD +4172 ton dizel x 700 USD = 46,9 milyon USD (Bunker-Index, 17.05.2019) tutmaktadır.

Tablo 4'e göre toplam CO₂ emisyonu hesaplandığında 300.065 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkar.

Gemi sefer sürelerinin çok az miktarını ECA bölgelerinde geçirecektir, bu yüzden buralardan %0,1 kükürtlü dizel yakıt kullanarak geçtiği varsayılarak toplam kükürt emisyonu Tablo 28'de 3.042 ton SOx olarak bulunmuştur.

Öte yandan Şekil 8'e göre NOx ve PM emisyonu sırasıyla Tablo 28'de 11.535 ton NOx ve 1.178 ton PM olarak bulunmuştur.

4. İRDELEMELER

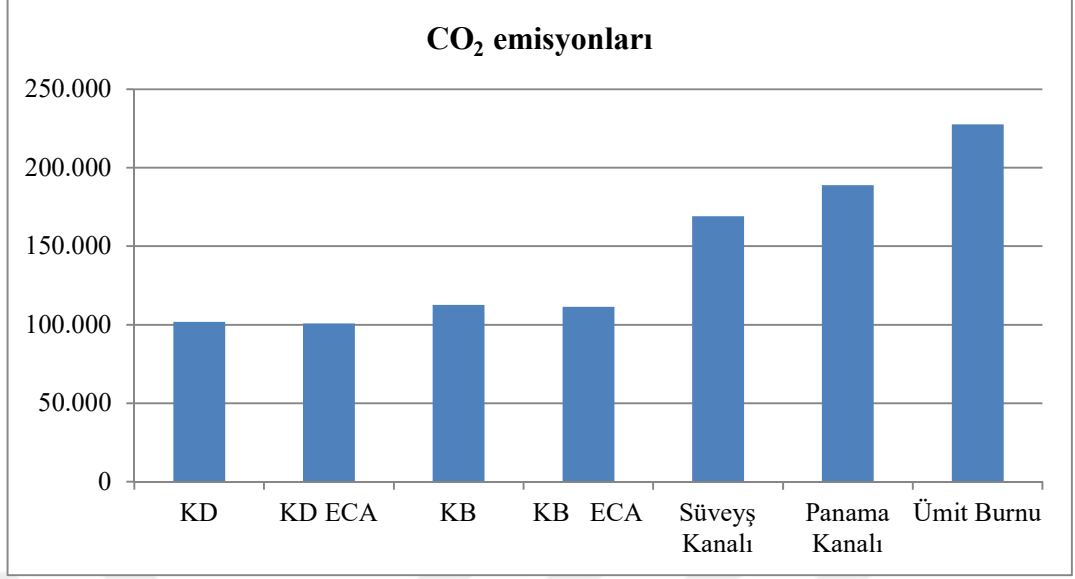
Yukarıda hesapları yapılan Kuzey Buz Denizi rotaları ve Süveyş, Panama Kanalları, Ümit Burnu rotalarının sefer bilgileri ve emisyonlarının karşılaştırılması Tablo 29'da verilmiştir.

Tablo 29. Değişik rota senaryolarıyla emisyonların ve maliyetin değişimi

Rotalar	KD	KD ECA	KB	KB ECA	Süveyş Kanalı	Panama Kanalı	Ümit Burnu
Diğer bölgelerde mesafe (mil)	6.312	3.962	7.046	3.996	10.747	11.907	14.705
ECA'da mesafe (mil)	575	2.925	575	3.625	686	873	686
Diğer bölgelerde sefer süresi (gün)	19	12	21	12	32	36	44
ECA'da sefer süresi (gün)	2	9	2	11	2	3	2
Limanda veya kanal da bekleme süresi (gün)	4	4	4	4	6	9	4
Kullanılacak gemi sayısı	6,0	6,0	6,5	6,5	9,7	11,4	12,1
EEDI hesabıyla bulunan toplam yıllık CO ₂ emisyonu (ton)	101.684	100.691	112.548	111.258	168.918	188.775	227.497
Toplam harcanan HFO (ton)	39.518	24.805	44.113	25.018	67.285	74.547	92.065
Toplam harcanan dizel (ton)	3.497	17.790	3.497	22.047	4.172	5.309	4.172
Tablo 4'e göre toplam CO ₂ emisyonu hesaplanırsa (ton)	134.271	134.277	148.581	148.588	222.900	249.162	300.065
Toplam kükürt emisyonu (ton)	1.308	836	1.459	848	2.225	2.465	3.042
Şekil 8'e göre NO _x emisyonu hesaplanırsa (ton)	5.150	5.052	5.702	5.575	8.561	9.566	11.535
Şekil 8'e göre PM salınımı hesaplanırsa (ton)	510	363	568	377	864	959	1.178
Yakıt hesabı (milyon dolar)	21,3	24,3	23,5	27,4	35,1	39,4	46,9

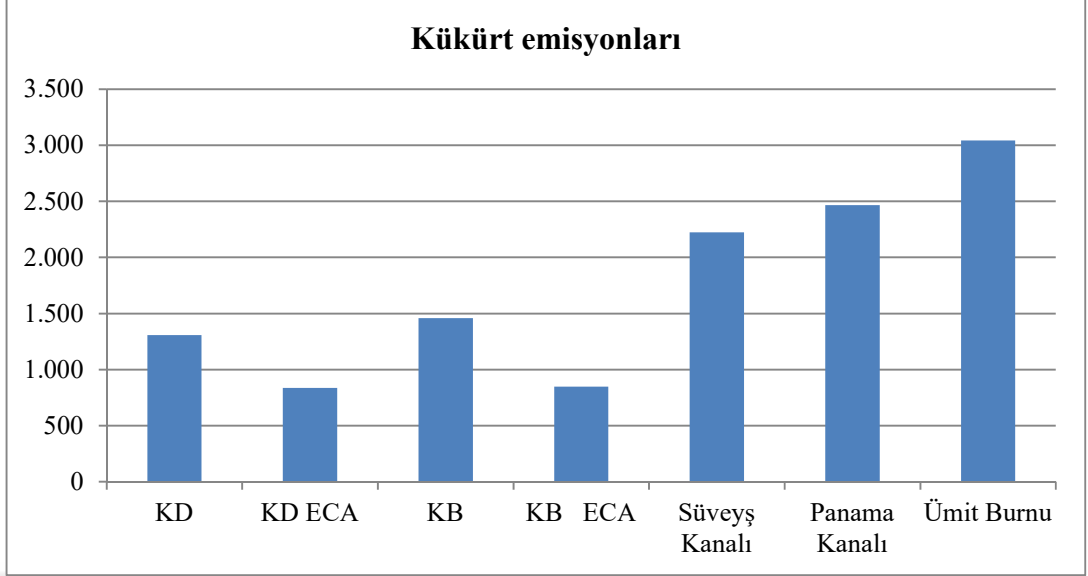
Tablo 29'da sefer süreleri verilen rotalardan KD rotası, Süveyş Kanalı rotasına göre %34 daha avantajlı çıkarken, Ümit Burnu rotasına göre %50 avantajlı çıkmıştır. Aynı yükü KD rotasından taşımak için gereken gemi sayısı Ümit Burnu rotası için gereken gemi sayısının yarısı çıkmıştır.

Rotaları kullanan gemilerden kaynaklanan emisyonlar, Tablo 29'a göre oluşturulan grafiklerle aşağıda karşılaştırılmıştır.



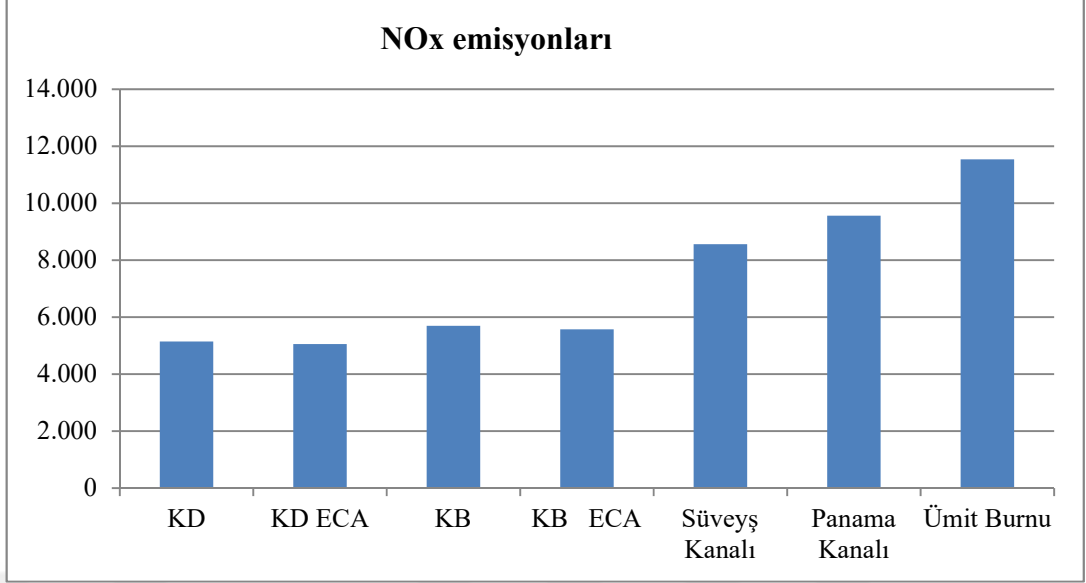
Şekil 24. Karbondioksit emisyonu karşılaştırması

Şekil 24'teki grafiğe bakıldığında KD rotasının en az karbondioksit emisyonuna sahip olduğu belirgin bir şekilde görülmektedir, Schøyen ve Bråthen (2011) yaptıkları karşılaştırmada başka tür rota, gemi ve yükle yakın sonuca ulaşmışlardır (Schøyen ve Bråthen, 2011). KD rotası ECA'ya dâhil olması varsayımı ile yapılan hesapta ise KD rotası karbondioksit oranında pek fark çıkmamaktadır. Toplam taşınacak yükü Süveyş Kanalı rotasını kullanmak yerine KD rotasını kullanarak taşıyan gemilerin yıllık karbondioksit emisyonu 168.918 tondan 101.684 tona düşecektir. Bu düşüş karbondioksit emisyonunda %40 azalmaya tekabül etmektedir. Ümit burnundaki düşüş ise %55 azalmaya tekabül etmektedir.



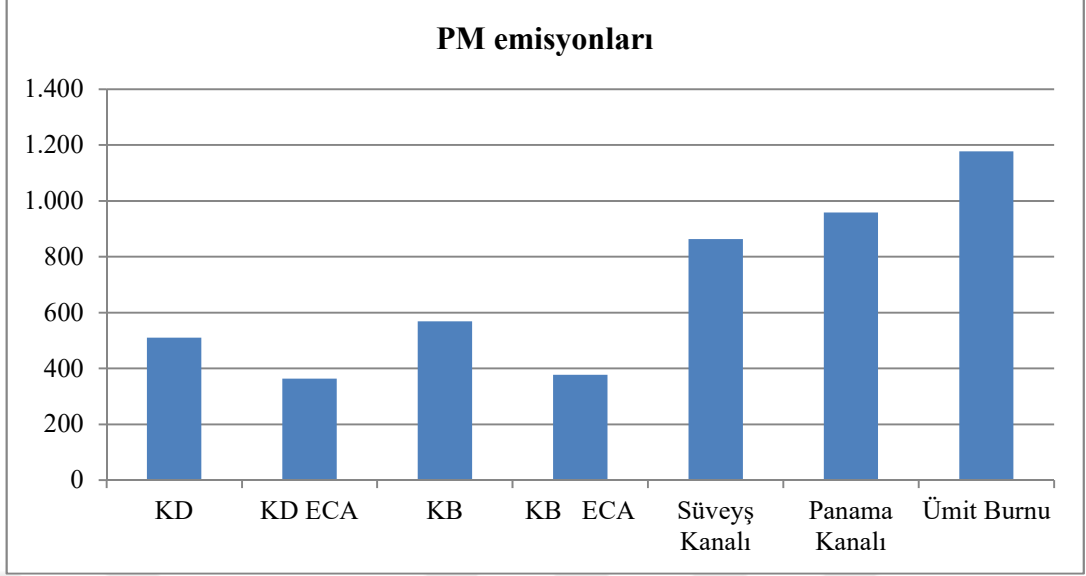
Şekil 25. Kükürt emisyonu karşılaştırması

Tablo 29'a göre oluşturulan Şekil 25'teki grafiğe bakıldığında ise KD rotasının veya KB rotasının ECA'ya dâhil olmasıyla en az kükürt emisyonuna sahip olacağı görülmektedir. Toplam taşınacak yükü Süveyş Kanalı rotasını kullanmak yerine KD rotasını kullanarak taşıyan gemilerin yıllık kükürt emisyonu 2225 tondan 1308 tona düşecektir. Bu düşüş kükürt emisyonunda %41 azalmaya tekabül etmektedir. Ümit burnundaki düşüş ise %57 azalmaya tekabül etmektedir.



Şekil 26. NOx emisyonu karşılaştırması

Tablo 29'a göre oluşturulan Şekil 26'daki grafiğe bakıldığında ise KD rotasının veya KB rotasının ECA'ya dâhil olamamasıyla NOx emisyonlarında pek bir değişiklik olmayacağı gözlenmektedir. Toplam taşınacak yükü Süveyş Kanalı rotasını kullanmak yerine KD rotasını kullanarak taşıyan gemilerin yıllık NOx emisyonu 8561 tondan 5150 tona düşecektir. Bu düşüş NOx emisyonunda %40 azalmaya tekabül etmektedir. Ümit burnundaki düşüş ise %55 azalmaya tekabül etmektedir.



Şekil 27. PM emisyonu karşılaştırması

Tablo 29'a göre oluşturulan Şekil 27'deki grafiğe bakıldığında ise KD rotasının veya KB rotasının ECA'ya dâhil olmasıyla PM emisyonlarında belirgin bir düşüş olduğu gözlenmektedir. Toplam taşınacak yükü Süveyş Kanalı rotasını kullanmak yerine KD rotasını kullanarak taşıyan gemilerin yıllık PM emisyonu 864 tondan 510 tona düşecektir. Bu düşüş PM emisyonunda %41 azalmaya tekabül etmektedir. Ümit burnundaki düşüş ise %57 azalmaya tekabül etmektedir.

KD rotası Ümit Burnu'na göre 25 gün, Panama Kanalı'na göre 18 gün, Süveyş Kanalı'na göre 13 gün kazandırmaktadır. Şu anda Süveyş Kanalı üzerinden 9,7, Panama Kanalı üzerinden 11,4 gemiyle yapılan iş, KD rotası üzerinden 6 gemiyle yapılabilir.

Rota mesafeleri düştükçe aynı miktar yükü taşımak için daha az gemi gerekecek, dolayısıyla bu sonuç piyasaya yeni gemi girmesini ve mevcut gemi sayısını düşürecek böylece emisyon değerleri düşecek, gemilerin sebep olabileceği diğer çevresel sorunlarda da düşüş gözlenebilecektir. Rota mesafelerinin artması müşterilerin ürünlerine daha geç ulaşması demek olduğundan, acelesi olan müşteriler emisyon miktarı daha fazla olan kara ve havayolu taşımacılığını tercih edecekler, dolayısıyla emisyonlar artacaktır. Fakat kısa mesafeden ürüne hızlı ve ucuz yolla ulaşan müşteriler ise daha pahalı yollar olan havayolu ve karayolu tercihlerini denizyolundan yana kullanabilecekler dolayısıyla rotanın kısalması emisyonların düşmesinde ikinci bir etki daha yapmış olacaktır.

KD, KB, Ümit Burnu rotaları kanal ücreti içermediği için ekonomik olarak avantajlıyken, Ümit Burnu rotası KD rotasından %113,5 daha uzun olduğu için bu avantajı kaybolmaktadır. Ayrıca daha kısa rota kullanılarak gemi sayısı azaldığı için, fazla geminin sebep olduğu yakıt maliyeti, yönetsel genel giderler, erzak, kumanya ve motor yağlama yağları giderleri, tamirat ve bakım giderleri, gemi personeli giderleri, sigorta ve amortisman giderleri de azalacak. Örneğin, Panama Kanalı kullanmak yerine KD rotasını kullanmak taşıma işini alan armatöre 35029 ton IFO 180 x 478 USD+1812ton dizel x 700 USD (Bunker-Index, 17.05.2019) = 18,0 milyon USD yıllık yakıttan tasarruf ettirecektir. Kanal ücretinden ise 11,4 sefer x 7,6 gemi x 200 bin USD (yaklaşık kanal geçiş ücreti (URL7, 2018))=17,3 milyon USD kâr edecektir. Toplamda ise 35,3 milyon USD kâr sağlayacaktır. Derinlik kısıtlaması olmadığından, daha büyük gemilerle daha fazla yük taşındığında emisyonlar bu yönde de düşecektir.

2018 yılında Süveyş kanalından 18174 adet, Panama kanalından ise 13795 adet geçen geminin emisyon üretiminin yaklaşık olarak MV A. gemisine yakın olduğu kabul edilirse, emisyon miktarları Tablo 30'daki gibi hesaplanır;

Tablo 30. Süveyş ve Panama kanallarından geçen gemilerin KD ile emisyon karşılaştırması (milyon ton)

milyon ton	Süveyş Kanalı	Panama Kanalı	Toplam	Toplam x %10	KD Toplam x %10	Emisyon Azalması
EEDI hesabıyla bulunan toplam yıllık CO ₂ emisyonu	3.070	2.604	5.674	567	325	242
Toplam harcanan HFO	1.223	1.028	2.251	225	126	99
Toplam harcanan dizel	76	73	149	15	11	4
Tablo 4'e göre toplam CO ₂ emisyonu hesaplanırsa	4.051	3.437	7.488	749	429	320
Toplam kükürt emisyonu	40	34	74	7	4	3
Şekil 8'e göre NOx emisyonu hesaplanırsa	156	132	288	29	16	12
Şekil 8'e göre PM emisyonu hesaplanırsa	16	13	29	3	2	1

Tablo 30'un hesaplamasında düşünülen varsayıma göre Süveyş Kanalı'ndan geçen gemiler 1,2 milyar ton HFO ve 76 milyon ton dizel tüketmiş ve bunun sonucunda EEDI hesabına göre 3 milyar ton, Tablo 4'e göre 4 milyar ton CO₂ üretmiş, 40 milyon ton kükürt

emisyonu yapmış, 156 milyon ton ise NOx, 16 milyon ton PM emisyonu yapmıştır. İki kanaldan geçen gemiler ise toplamda 2,3 milyar ton HFO, 149 milyon ton dizel yakarak yaklaşık 5,7 milyar ton CO₂ üretmiş bunun yanında 74 milyon ton kükürt, 288 milyon ton NOx, 29 milyon ton PM üretmiştir. Fakat bu kanallardan geçen gemilerin %10'u KD rotasını tercih etselerdi 99 milyon ton HFO, 4 milyon ton dizel daha az yanacaktı, dolayısıyla 242 milyon ton CO₂, 3 milyon ton kükürt ile 12 milyon ton NOx, 1 milyon ton PM daha az salınacaktı. Bu değerlere bakıldığında KD rotasının dolayısıyla taşıma mesafelerinin azaltılmasının çevrenin daha az kirlenmesi için önemi daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.

Tablo 31. Süveyş ve Panama kanallarından geçen gemilerin KD'nin ECA'ya dâhil olmasıyla emisyon karşılaştırması (milyon ton)

milyon ton	Süveyş Kanalı	Panama Kanalı	Toplam	Toplam x %10	KD ECA Toplam x %10	Emisyon Azalma
EEDI hesabıyla bulunan toplam yıllık CO ₂ emisyonu	3.070	2.604	5.674	567	322	246
Toplam harcanan HFO	1.223	1.028	2.251	225	79	146
Toplam harcanan dizel	76	73	149	15	57	-42
Tablo 4'e göre toplam CO ₂ emisyonu hesaplanırsa	4.051	3.437	7.488	749	429	320
Toplam kükürt emisyonu	40	34	74	7	3	5
Şekil 8'e göre NOx emisyonu hesaplanırsa	156	132	288	29	16	13
Şekil 8'e göre PM emisyonu hesaplanırsa	16	13	29	3	1	2

Süveyş ve Panama kanallarından geçen gemilerin %10'u KBD ECA bölgelerine dâhil olduğu durumda KD rotasını tercih etselerdi, 146 milyon ton HFO daha az harcanacaktı ama 42 milyon ton dizel daha çok yanacaktı, karbondioksit emisyonu 246 milyon ton, kükürt emisyonu 5 milyon ton, NOx emisyonu 13 milyon ton, PM emisyonu 2 milyon ton azalacaktı. Bu değerlere bakıldığında KD rotasının ECA bölgelerine dâhil olmasıyla KD rotasında daha fazla dizel yanacak, karbondioksit emisyonu 4 milyon ton artacak, kükürt emisyonu 2 milyon ton, NOx emisyonu 1 milyon ton, PM emisyonu 1 milyon ton daha fazla düşecektir.

KD rotasının ECA'ya dâhil olmasıyla bu hesap için yakıt maliyeti ise 146 milyon ton HFO x 478 USD - 42 milyon ton dizel x700 USD= 40 milyar USD (Bunker-Index, 17.05.2019) gemilerin tasarrufu olacaktır.



5. SONUÇLAR

Bu çalışmada insanlığın geleceği için büyük bir tehlike arz eden gemi kaynaklı emisyonların azaltma yöntemlerini tespit etme ve kazançlarını analiz etmek amacıyla ilk önce “Yeşil Kavramı”, gemi taşımacılığındaki konumu incelenmiş, sürdürülebilir gemi taşımacılığına değinilmiştir. Sonrasında ise gemilerin kullandığı yakıtlar anlatılarak bu yakıtların yaydığı emisyonlar ve zararları verilmiştir. Gemi emisyon azaltılması için emisyon azaltma yöntemlerine değinilmiştir. Ardından emisyon azaltma yöntemlerinden seçilen rota seçimi yöntemi için şu an gündemde olan Kuzey Buz Denizi rotaları tanıtılarak, bu rotalarla hali hazırda kullanılan Süveyş Kanalı, Panama Kanalı, Ümit Burnu rotası emisyonların azaltılması açısından karşılaştırılmıştır.

Dünya ticaretinde önemli bir yere sahip olan gemiler için rota mesafesi önemlidir. İklim değişikliği sebebiyle açılmakta olan KBD rotaları ekonomik ve çevresel olarak büyük bir avantajı barındırdığı görülmüştür. Bu çalışmayla Süveyş ve Panama kanalı gibi çok kullanılan rotalara nazaran KBD rotaları kullanılarak gemi emisyonlarında önemli düşüşler sağlanabileceği ortaya konulmuştur. Ayrıca çok büyük ekonomik kazanımların da gerçekleşeceği hesaplanmıştır.

Kısa rota mesafelerini takip eden gemiler, hız düşürme uygulamasını da yapabilirler, hem zamanından önce kargolarını teslim edebilirler hem de yakıttan, zamandan tasarruf ederler, emisyonlar da böylece düşmüş olur.

Bu çalışmada buzulların erimesiyle oluşacak olan KD ve KB rotaları ile kullanılmakta olan Süveyş Kanalı, Panama Kanalı ve Ümit Burnu rotaları emisyon değerleri açısından karşılaştırılmış ve şu sonuçlara ulaşılmıştır.

- Sefer süreleri Süveyş Kanalı, Panama Kanalı ve Ümit Burnu rotalarında sırasıyla 34, 39, 46 gün iken KD ve KB rotalarında sırasıyla 21, 23 gün olarak gerçekleşmiştir.
- KD ve KB rotalarında 4 milyon ton yükü bir yılda taşımak için gerekli gemi sayısı 6 ve 6,5 iken; Süveyş Kanalı, Panama Kanalı ve Ümit Burnu rotalarında sırasıyla 10, 11,4 ve 12 gemi olmuştur.
- IMO EEDI yöntemine göre oluşan karbondioksit emisyon miktarları Ümit burnu rotasında en yüksek çıkmış, KD rotasında en düşük çıkmıştır.

- Toplam kükürt emisyonu, karbondioksit emisyonundan çok düşük çıkmakla beraber NOx emisyonunun ise üçte bir oranında bulunmuştur.
- KD rotasının ECA'ya dâhil olmasıyla, olmaması karşılaştırıldığında PM emisyonu yaklaşık yarıya düşmekte, kükürt emisyonu ise %40 düşmektedir, CO₂ ve NOx emisyonu pek değişmemektedir. Yakıt maliyeti ise yaklaşık % 15 artmaktadır. Diğer rotalara yakıt maliyeti karşılaştırıldığında kârdan zarar edilmektedir.
- Hız 11 Knot'a düşürüldüğünde KD rotasında sefer süresi 21 günden 26 güne, gerekli olan gemi sayısı 6 âdetten 7 âdete çıkmakta ama CO₂ emisyonu %30 düşerek 71.797 tona, kükürt emisyonu %1 düşerek 1299 tona, NOx emisyonu %11 düşerek 4.576 tona, PM emisyonu %11 düşerek 453 tona, gereken HFO %1 düşerek 39.249 tona, dizel %1 düşerek 3.473 tona düşmektedir. Hızın %15 azaltılmasıyla emisyon %30 oranda azalmıştır.
- Ekonomik olarak KD rotası, Panama Kanalı'ndan yaklaşık 30 bin ton yakıt daha az harcattığı ve kanal ücreti ödenmediği için, bu rotayı kullanan gemiler büyük kazançlar elde edecektir.
- Panama ve Süveyş kanalları yerine % 10 oranda KD rotasını gemiler tercih ettiğinde yılda 242 milyon ton CO₂ emisyonu azalırken, kükürt emisyonu 3 milyon ton, NOx emisyonu ise 12 milyon ton, PM emisyonu 1 milyon ton azalacaktır.
- Panama ve Süveyş kanalları yerine % 10 oranda KD rotasını seçmenin ekonomik avantajı ise 103 milyon ton daha az yakıt yakmak demektir.

6. ÖNERİLER

KBD ulaşımına açılmadan önce, bu rotanın getirileri ve götürüleri iyi araştırılmalıdır. Burada yapılacaklar, çok büyük avantajların yanında sosyal, ekonomik, çevresel sürdürülebilirlik açısından çok büyük riskler taşımaktadır, şöyle ki buradan yapılacak seferlerle artacak çevresel tehlikeler, buradaki doğal hayata zarar verme, biyolojik canlıların istilası, hava kirliliği, tehlikeli yük veya petrol sızıntısı durumlarının sonuçlarının ne olacağı belirsizdir. Pekâlâ, tehlikeli hava koşullarında karaya oturma, yangın, çatışma gibi deniz kazaları dolayısıyla petrol sızıntısı olabilir. Burada oluşabilecek petrol sızıntısı yıllarca yok olmayacak ve buzullar dolayısıyla temizlenemeyecek, canlıların ve çevrenin felaketine yol açacak sonuçlarla insanlığı karşı karşıya bırakabilir. Ayrıca KBD rotalarının açılmasıyla, yeterli altyapı çalışması yapılmadan buraların el değmemiş doğal yapısına, balık avlama, maden bulma, petrol arama vs. sebeplerle insanlar akın edecektir, bu akının sonucunda çevrenin ne ölçüde zarar göreceği de belirsizdir. Sonuçları belirsiz olan böyle felaketleri önlemek için diğer denizlerde meydana gelen birçok kaza buranın koşullarında olduğunda neler yaşanabileceği ve nasıl çözüme ulaşılabileceği senaryoları üretilmeli ve iyi araştırılması gerekir. Gelecek yüzyıl açılması beklenen KBD rotaları için önümüzdeki yıllar kritik öneme sahiptir.

Bu çalışma aşağıdaki hususlar dikkate alınarak farklı çalışmalar yapılabilir;

- Diğer emisyon türleri de hesaba katılarak hesaplar tekrarlanması toptan bir emisyon değerlendirmesi için yararlı olabilir.
- Farklı cinslerde, farklı hız skalasında ve daha fazla gemi sayısı ile hesaplar tekrarlanarak daha doğru sonuçlar elde edilebilir.
- Buzların tamamen erimemesi durumunda örneğin geminin yavaşlaması gerektiğinde, durması gerektiğinde, rotasını bir miktar uzatması gerektiğinde bu rotanın hangi noktalara kadar avantajlı olmaya devam edeceği incelenebilir.
- CO₂, SO_x, NO_x, PM hesabında başka gemilerden alınan verilere göre hesaplar tekrarlanıp, sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Gerçek sefer verileriyle sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Gemilerin doluluk oranlarının değiştirilmesinin sonuçlara etkisi araştırılabilir.

- Gemi bakım sürelerinin artırılıp, performans değişimlerinin etkisi eklenerek emisyon değişimi irdelenebilir.
- Hangi rota ve yük tercihlerinde KD rotasının daha avantajlı olduğu incelenebilir.
- Gemideki makine sayısının artmasının ve jeneratörün emisyonlara katkısı hesaplanabilir.
- Gemi yakıt giderlerinin yanında personel, işletme, bakım giderleri de hesaplara ilave edilebilir.
- Suezmax veya panamax büyüklüğünde geminin bu işi yapmak için oluşturduğu emisyonu ne kadar küçük boyutta bir gemi bu işi yaparken üretebileceği araştırılabilir.
- Bu rotaların ticarete açılmasının gemi sayısının artmasını, dolayısıyla emisyonların artmasını ne kadar süre durdurabileceği irdelenebilir.

7. KAYNAKLAR

ABS, 2018. Marine Fuel Oil Advisory 2018.

Aksel, T., Sürdürülebilirlik Nedir?. <http://benkoltd.com/Suyapo/Surdurulebilir/Surdurulebilirlik.Asp>, 20 Nisan 2019

Arıkan Y., Ö. G. 2008. A'dan Z'ye İklim Değişikliği Başucu Rehberi.

Ashworth , J., 2012. The Genesis Of Lng Bunkers, LNG Markets Perspective.

Ayaz, İ. S., 2016. The Attitudes Of Managers In Turkish Shipowning Companies Towards Green Shipping Applications, Doktora Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Bai, Y. ve Jin, W.-L., 2016. Marine Structural Design, Chapter 3 - Green Ship Concepts, Y. Bai ve W.-L. Jin editors, Butterworth-Heinemann, 39-47, Oxford.

Baraniuk, C., Cheap oil is taking shipping back to the 1800s. <http://www.bbc.com/future/story/20160303-cheap-oil-is-taking-shipping-routes-back-to-the-1800s> 21 Nisan 2019

Bekkers, E., François, J. F. ve Rojas-Romagosa, H., 2015. Melting Ice Caps and the Economic Impact of Opening, CPB Discussion Paper, 307, 28-29.

Beveridge, L., Fournier, M., Lasserre, F., Huang, L. ve Têtu, P.-L., 2016. Interest of Asian Shipping Companies in Navigating the Arctic, Polar Science, 10,3, 404-414.

Borusevich, V., Poustoshny, A., Sverchkov, A. ve Trincas, G., 2017. Future Outlook of Artificial Cavity Application for Reducing Hydrodynamic Resistance of Containerships, 11.

Bunker-Index, BIX World Indices. <https://www.bunkerindex.com> 17 Mayıs 2019

Cheng, T. C. E., Lai, K. H., Lun, Y. H. V. ve Wong, C. W. Y., 2013. Green shipping management, Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review, 55, 1-2.

Chryssakis, C., Balland, O., Anton Tvette, H. and Brandsæter, A. 2014. Alternative Fuels For Shipping.

Corbett, J., Lack, D., Winebrake, J., S, H., A. Silberman, J. ve M, G., 2010. Arctic Shipping Emissions Inventories and Future Scenarios, 10.

Dadd, G. M., 2012. Kite Dynamics for Ship Propulsion, Doktora Tezi, Southampton Üniversitesi, A.B.D.

- Dragović, B., Tzannatos, E., Tselentis, V., Meštrović, R. ve Škurić, M., 2018. Ship Emissions and Their Externalities in Cruise Ports, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 61, 289-300.
- Eide, M. S. ve Endresen, Ø., 2010. Assessment of Measures to Reduce Future CO2 Emissions from Shipping. Research and Innovation, Position Paper 05.
- Equasis. 2015. The World Merchant Fleet in 2015, Statistics from Equasis.
- Ersan, M., 2016. Future Of Arctic Maritime Activities In The Light Of Climate Change, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Giannakouros, D. V. 2012. Technical Aspects of Identifying and Managing Bunker Problems, İngiltere.
- Hickson, K., 2014. Race for Sustainability : Energy, Economy, Environment and Ethics.
- Hosseini, A., 2007. Identification of Green Management System's Factors: A Conceptualized Model, International Journal of Management Science and Engineering Management, 2,3, 221-228.
- IMO, 2009, Interim Guidelines on The Method of Calculation of The Energy Efficiency Design Index for New Ships, 1-8.
- IMO, Introduction to IMO. <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx> 27 Mayıs 2019.
- I.S.O., 2017. Petroleum Products — Fuels (class F) — Specifications of Marine Fuels, ISO 8217, İsviçre.
- Krieger, K., 2015. Sailing the Mid-Century Arctic, Uconn Today.
- Lai, K. H., Lun, Y. H. V., Wong, C. W. Y. ve Cheng, T. C. E., 2011. Green Shipping Practices in the Shipping Industry: Conceptualization, Adoption, and Implications, Resources Conservation and Recycling, 55,6, 631-638.
- Lai, K. H., Lun, Y. H. V., Wong, C. W. Y. ve Cheng, T. C. E., 2013. Measures for Evaluating Green Shipping Practices Implementation, Int. J. Shipping and Transport Logistics, 5,2, 217-235.
- Lasserre, F., 2014. Case Studies of Shipping Along Arctic Routes. Analysis and Profitability Perspectives for the Container Sector, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 66, 144-161.
- Lee, T. ve Nam, H., 2017. A Study on Green Shipping in Major Countries: In the View of Shipyards, Shipping Companies, Ports, and Policies, The Asian Journal of Shipping and Logistics, 33,4, 253-262.

- Liu, M. ve Kronbak, J., 2010. The Potential Economic Viability of Using the Northern Sea Route (NSR) as an Alternative Route Between Asia and Europe, Journal of Transport Geography, 18,3, 434-444.
- Liu, P. ve Wang, B., Ship Emissions Choking the Region.
https://www.chinadailyasia.com/asiaweekly/2016-05/20/content_15436449.html
2 Mayıs 2019
- Melia, N., 2016. On Predicting the Opening of Arctic Sea Routes, Doktora Tezi, University of Reading, Meteoroloji, İngiltere.
- Mofidi Chelan, M., Alijanpour, A., Barani, H., Motamedi, J., Azadi, H. ve Van Passel, S., 2018. Economic Sustainability Assessment in Semi-steppe Rangelands, Science of The Total Environment, 637-638, 112-119.
- Notteboom, T. E. ve Vernimmen, B., 2009. The Effect of High Fuel Costs on Liner Service Configuration in Container Shipping, Journal of Transport Geography, 17,5, 325-337.
- Nunes, R. A. O., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G. ve Sousa, S. I. V., 2017. Assessment of Shipping Emissions on Four Ports of Portugal, Environmental Pollution, 231, 1370-1379.
- Park, S. H. ve Lee, I., 2018. Optimization of Drag Reduction Effect of Air Lubrication for a Tanker Model, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 10,4, 427-438.
- Parker, J. 2013. Future Ship Powering Options, Royal Acedemy of Engineering.
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J., Linden, P. ve Hanson, C. 2007. Climate Change 2007:Impacts, Adaptation and Vulnerability, The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Popovic, T., Kraslawski, A. ve Avramenko, Y., 2013. Computer Aided Chemical Engineering, Applicability of Sustainability Indicators to Wastewater Treatment Processes, Elsevier, 32, 931-936.
- Rajasekhar, D., Manoharan, D. N. ve Poongavanam, D. S., 2016. Green Ship Management: Competence of Research Ships, International Journal of Innovative Research in Engineering & Management, 3,4.
- Ridout, J., 2008. Chain Reaction: The Indirect Effects Of Climate Change On Maritime Activity, Yüksek Lisans Tezi, Clemson University, City and Regional Planning.
- Rodrigue, J. P., Main Maritime Shipping Routes.
https://transportgeography.org/?page_id=2067 28 Mayıs 2019

- Schøyen, H. ve Bråthen, S., 2011. The Northern Sea Route versus the Suez Canal: cases from bulk shipping, Journal of Transport Geography, 19,4, 977-983.
- Schröder, C., Reimer, N. ve Jochmann, P., 2017. Environmental impact of exhaust emissions by Arctic shipping, 46.
- Seroka-Stolka, O., 2014. The Development of Green Logistics for Implementation Sustainable Development Strategy in Companies, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 151, 302-309.
- Shell, Ultra-Low Sulphur Fuel Oil. <https://www.shell.com/business-customers/marine/fuel/ulsfo.html> 22 Nisan 2019.
- Sherbaz, S. ve Duan, W., 2012. Operational options for green ships, Journal of Marine Science and Application, 11,3, 335-340.
- Shu, C., Zhou, K. Z., Xiao, Y. ve Gao, S., 2016. How Green Management Influences Product Innovation in China: The Role of Institutional Benefits, Journal of Business Ethics, 133,3, 471-485.
- Smith, T. W. P., Jalkanen, J. P., Anderson, B. A., Corbett, J. J. ve Faber, J. 2014. Third IMO Greenhouse Gas Study 2014.
- Stevenson, T. C., Davies, J., Huntington, H. P. ve Sheard, W., 2019. An Examination of Trans-Arctic Vessel Routing in the Central Arctic Ocean, Marine Policy, 100, 83-89.
- Topaloğlu, H., 2013. Ticari Gemilerin Karbondioksit Emisyon Etkilerininin Değerlendirilmesi ve Analizi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri Ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.
- Trozzi, C., 2010. Emission Estimate Methodology for Maritime Navigation.
- Uhler, A. D., Stout, S. A., Douglas, G. S., Healey, E. M. ve Emsbo-Mattingly, S. D., 2016. 13 - Chemical Character of Marine Heavy Fuel Oils and Lubricants, Standard Handbook Oil Spill Environmental Forensics, Academic Press, Boston, 641-683.
- URL1, <https://www.mpa.gov.sg/web/portal/home/port-of-singapore/services/bunkering/bunkering-statistics> Singapur Bunker Sales. 21 Nisan 2019.
- URL2, <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/marine-fuels.html> Marine Fuels (Bunker Fuels). 07 Mayıs 2019.
- URL3, http://www.bunkering.co.kr/bunker_spec/ifo_spec_1.htm International Fuel Oil Standards. 27 Nisan 2019.

URL4, <https://www.theicct.org/news/study-global-shipping-emissions-rise> Study: Global Shipping Emissions Rise as IMO Meets to Discuss Climate Action. 14 Mayıs 2019.

URL5, <http://arctic-lia.com> Transit Statistics. 21 Nisan 2019.

URL6,

<https://www.suezcanal.gov.eg/English/Navigation/Pages/NavigationStatistics.aspx> Suez Canal Navigation Statistics. 17 Nisan 2019.

URL7, <https://www.pancanal.com/eng/op/transit-stats/2018/Table-01.pdf> Panama Canal Traffic Fiscal Years 2016 Trough 2018. 17 Nisan 2019.

URL8, https://tr.wikipedia.org/wiki/Panama_Kanalı Panama Kanalı. 17 Nisan 2019.

URL9, <https://www.searoutes.com/routing/4294967298/4294968133?speed=13&river=block&roads=block&panama=true> Hamburg-Yokohama limanları arası mesafe. 17 Nisan 2019.

URL10, <http://globe-net.com/the-true-north-strong-and-ice-free-a-globe-net-special-report/> The True North, Strong and Ice-Free – A Globe-Net Special Report. 18 Nisan 2019.

URL12, <https://glnryrdmc.wordpress.com/2011/04/29/viskozite-akıcılık/> Viskozite (Akıcılık). 23 Nisan 2019.

URL14, <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/SpecialAreasUnderMARPOL/Pages/Default.aspx> Special Areas under MARPOL. 22 Nisan 2019.

Ünlügençoğlu, K., 2018. Gemi Kaynaklı Emisyonların Farklı Yöntemlerle İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı Ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Venus Lun, Y. H., Lai, K.-h., Wong, C. W. Y. ve Cheng, T. C. E., 2015. Environmental governance mechanisms in shipping firms and their environmental performance, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 78, 82-92.



WCED, 1987. World Commission on Environment Development, Our Common Future, Oxford University Press, Oxford.

Yapıcı, M., 2016. Performance and Emissions Analysis of Marine Diesel Engines During Ship Maneuvering, Doktora Tezi, Piri Reis Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yumashev, D., van Hussen, K., Gille, J. ve Whiteman, G., 2017. Towards a Balanced View of Arctic Shipping: Estimating Economic Impacts of Emissions from Increased Traffic on the Northern Sea Route, 143.

8. EKLER

Ek Tablo 1

		Performance data sheet					
Installation: MV OCEAN FUTURE		Engine type: 6RT-flex 50		Eng. no.:	Hull no.:	Sheet 1	
Engine builder:		Shipyard:		Nom. Power at: 8890 kW	Nom revolution: 116 rpm	Classification: BV	
In service since: 34524		Fuel properties		Bunkered at: SINGAPORE 30.Oct.18			
Running hours: 35993		Spec.grav.: 0,9876 kg/m ³ at: 15 °C		Sulphur content: 3,3 %			
Piston overhaul interval (Run. hrs.): 18000-20000		Viscosity: 390,0 cSt at: 50 °C		Water content: 0,2 %			
Fuel nozzles exchange interval (Run. hrs.): 3000		LCV: 40,09 MJ / kg		Ash content: 0,05 %			
General Data	Date / Time	dd.mm.yy	27.01.2019	0900 HRS	Date of last Dry Docking		
	Engine speed measured / Indication in /V	rpm	109,0	109,0	06.11.2016- Vessel Delivery		
	Engine power measured / Est. Power from flexView	kW / %		77	Last Dry dock: 17-Oct-2018		
	Shaft motor/gener. installed / Shaft motor/gener. Power	m/g /kW			Turbocharger		
	Fuel command used for injection	WECS *	%	52,1		Type:	
	Draught fore / after	m		12,50	12,60	TP77-B11	
	VIT / VIT + FQS	WECS *	°	< -2,2	< -2,2	Spec.:	
	Inj begin deadtime / Injection time (average)	WECS	ms	9,5	22,3	HT508396	
	Injection begin	WECS	°	< -1,5		Running Hrs last overhaul: 1469HRS	
	Fuel rail pressure setpoint / mean value	WECS *	bar	744,0	741,0	Inspection: 1469 HRS	
Actuator output	WECS *	%	58,0		Frequency of washing		
Servo oil rail pressure setpoint / mean value	WECS	bar	152,0	152,0	Blower:		
Number of nozzles in operation	WECS	#	2,0		daily		
Scavenge air	Aux. blower	on / off	OFF		Turbine:		
	Barometric pressure / Ambient temperature	bar / °C		34,0	daily		
	Pressure drop across air cooler	1 / 2 / 3 / 4	mbar	110,0		Ship	
	Blower suction	1 / 2 / 3 / 4	mmWG			Type:	
	Scavenge air press. (control room / flexView)	bar / bar		1,75	1,72	Bulk Carrier	
Exhaust gas	Scavenge air pressure (local Manometer)	bar	1,75		Length oa (m):		
	Temperature before blower	1 / 2 / 3 / 4 *	°C			190	
	Temperature after blower	1 / 2 / 3 / 4 *	°C			Length bp. (m):	
	Scavenge air temperature after air cooler	1 / 2 / 3 / 4 *	°C	44,3		185	
	Exhaust gas pressure after turbine	bar				Breadth moulded (m):	
	Temperature before turbine	1 / 2 / 3 / 4 *	°C	429		32,3	
	Temperature after turbine	1 / 2 / 3 / 4 *	°C	305		Max. draught (m):	
	Temperature after cylinder	Mean	°C	379		12,7	
		1 / 2 / 3 / 4	°C	370	382	374	383
		5 / 6 / 7 / 8	°C	383	380		Corresponding displacement (Dwt):
	9 / 10 / 11 / 12	°C				67980,0	
	13 / 14	°C				Corresponding deadweight (t):	
		°C				46297	
Turbocharger speed	1 / 2 / 3 / 4 *	rpm	13400		Act. Shipspeed / Water under keel / Slip		
Cylinder pressures	Compression - / Combustion pressure	Mean *	bar	99,2	131,8	11%	
		1	bar	99,0	132,0	Propeller:	
		2	bar	99,0	131,0	fixed / CPP:	
		3	bar	100,0	134,0	Fixed	
		4	bar	99,0	132,0	Diameter (m):	
		5	bar	98,0	130,0	5,75	
		6	bar	100,0	132,0	Pitch (m):	
		7	bar			4,309(As per Cert.)	
		8	bar			No. of blades:	
		9	bar			5	
		10	bar			Type:	
		11	bar				
		12	bar			System oil type:	
		13	bar			MOBILGARD 300	
	14	bar			Consumption per 24 hrs. (l):		
	Ignition ratio			0,75	20		
Systems	Air press.: Valve air spring / Control air	bar	6,50	6,50	Cylinder lubrication oil type:		
	Lub. oil press: Bearing / Crosshead	bar	4,33	4,33	MOBILGARD 570		
	Boll & Kirch filter flushing interval	#	2 hours		Additional items to attach:		
	Dynex inlet	bar			Performance trend from flexView-		
	Axial detuner driving end / free end	bar			ICU curves-		
	Water press.: Cylinder / Piston	bar	3,18		Exhaust valve curves (open/close)-		
	Air cooler stage I	1 / 2 / 3 / 4	bar	2,55		print screens of:	
	Lub. oil temp.: Engine inlet / Thrust bearing	°C	44,6	48,7	> INIDC page		
	T/C lub oil outlet	1 / 2 / 3 / 4	°C	71,4		> INJECT page	
	T/C lub oil inlet	1 / 2 / 3 / 4	°C	44,6		> EXHV page	
	Piston inl. / outl. Mean	°C	45,0	59,6	> LUB page (if PLS is applied)		
	Water temp: Cyl. inlet	°C	72,0				
	Cyl. outlet mean value	°C	84,5				
	Seawater temperature	°C	20,0				
	Air cooler inlet	1 / 2 / 3 / 4	°C	33,0			
	Air cooler outlet	1 / 2 / 3 / 4	°C	40,0			
	Fuel: Press. before / after engine	bar	7,90				
	Consumption absol.	kg/h		1250,0			
Viscosity - / temperature before engine	cSt / °C	13,50	132,0				
Cyl. lub. oil: Feed rate setting / effective	g/kWh	1,10					
or number of pulses/time (PLS only)	#/10min						
or measuring tank / flow meter (PLS only)	l/h						
Taken at Full Loaded Condition. Log Speed - 13.8 knots, Ground sped - 12.7 knots.						WECS = can be read out from flexView * = should at least be filled out	

ÖZGEÇMİŞ

Ali Kangal, 11.05.1982 tarihinde Samsun'un Bafra ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Samsun'da tamamladı. 2002–2007 yılları arasında, İstanbul Teknik Üniversitesi – Gemi İnşaat ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini yaptı. 2008–2009 'da Mavi Ege Mühendislik Ltd. Şti.'de, 2009-2011'de Öz-Ge Gemi Mühendislik'te, 2011-2014'te Ak Gemi Tasarım'da gemi tasarım, proje, stabilite hesapları, fribord hesapları, gemi sac kalınlık ölçümü alanlarında hizmet vermiştir. 2014 yılında KTÜ Abdullah Kanca Meslek Yüksekokulu'na atanarak Stabilite, Bilgisayar Destekli Çizim, Gemi Meslek Resmi, Proje, Yat Tasarımı dersleri vermeye başlamıştır. 2015-2016 Eğitim –Öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimine başladı.