

**T.C.**  
**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**  
**DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ**

**TİCARİ GEMİLERİN KARBONDİOKSİT EMİSYON  
ETKİLERİNİNDEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ**

**M.Sc. Harun TOPALOĞLU**  
**Denizel Çevre Anabilim Dalı**

**Danışman**  
**Prof. Dr. Orhan USLU**

**MAYIS, 2013**

**T.C.**  
**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**  
**DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ**


HARUN TOPALOĞLU tarafından hazırlanmış ve sunulmuş "TİCARİ GEMİLERİN KARBONDİOKSİT EMİSYONUNUN ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ" başlıklı tez DENİZEL ÇEVRE AnaBilim Dalında DOKTORA Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**   
Prof. Dr. Orhan USLU

**Jüri Üyesi**   
Prof. Dr. Cem GAZIOĞLU

**Jüri Üyesi**   
Prof. Dr. Selmin BURAK

**Jüri Üyesi**   
Prof. Dr. Ayşegül TANIK

**Jüri Üyesi**   
Y. Doç. Dr. Tanzer SATIR

**Tez Savunma Tarihi:** 30.05.2013

## ÖNSÖZ

Gelişen dünyamızdaki ekonomik büyüme, sanayileşme, nüfus artışı, artan enerji talebi ve tüketimine bağlı olarak kullanılan fosil yakıtlarından salınan karbondioksit, iklim değişikliği ve küresel ısınmaya yol açan en önemli antropojenik sera gazı olmuştur.

Denizcilik sektörü ve gemi taşımacılığı diğer taşıma modlarına göre en yeşil taşımacılık şekli olmasına ve beher kilometre başına taşınan birim yükte en düşük karbondioksit emisyonunu salmasına rağmen, alternatif yakıtlar, seyir hızının düşürülmesi, toplam filo yönetimi, mevcut teknolojilerin geliştirilmesi, iyileştirilmiş gemi gövde dizaynı, daha verimli motorlar ve tahrik sistemleri, düşük karbon içerikli yakıt türleri ve hatta yenilenen lojistik yöntemleri olan entegre, intermodal ve yeşil lojistik metodları ile daha az karbondioksit emisyonu için ciddi bir potansiyeli barındırmaktadır.

2012 yılı başında dünya filosundaki 300 GT ve üzeri toplam gemi sayısı 48.197 adede ulaşırken, toplam gemi tonajı 1,46 milyar DWT'a ulaşmış ve artan yakıt maliyetleri gemi işletmecilerinin en önemli sorunlarından birisi olmuştur. Gemi operasyonel maliyetini azaltan alternatif modeller beraberinde gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı tedbirleri de içermektedir. Bu bağlamda daha az yakıt sarfiyatına bağlı olarak daha az salınan CO<sub>2</sub> emisyon değerlerine ulaşılabilmesi sorunun çözümünde anahtar rol oynamaktadır.

Deniz taşımacılığına duyulan talep ve bu talebi karşılamak üzere de daha en azından 20 ile 30 yıl daha fosil yakıtlarının birincil enerji kaynağı olarak kullanılacak olan dünyamızda, CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı faaliyetlerden gemi hızının düşürülmesinde hangi boyutta, hangi gemi tipleri için daha duyarlı olduğu çalışmada analiz edilmeye çalışılmıştır. CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltabilecek en önemli faktör yakıt olduğundan ve mevcut gemilerdeki yakıt tasarrufu da kendi içinde bir enerji verimliliği konusu olduğundan diğer pekçok sektörde artan enerji ihtiyacına çözüm için de yol gösterici olabilecektir.

Yeryüzündeki fosil yakıtı kaynaklarının tükeniyor olması ve sürekli artan yakıt fiyatları, gemilerin aşgari ticari karlılık ile seyredebileceği ekolojik hız (optimum kârlılık, minimum CO<sub>2</sub> emisyonu) değerinin gelecekte deniz ticaretine şekil vereceği gerçeğini doğurmaktadır. Aynı taşıma işini üstlenmiş aynı boyuttaki benzer gemilerin farklı enerji

verimliliği değerlerine sahip olması küresel ticarete fark yaratacak ve fırsat oluşturabilecek olgulardan biri olacağını düşündürmeye çalıştığım bu doktora tezimi siz değerli okurlarıma atfediyorum.

Doktora Tezimi hazırladığım süre boyunca bilgileriyle yol gösteren, sonsuz anlayışı ve bilimi sevdiren yanı, alçakgönüllü ve muhteşem karakteriyle doktora tezimi yürüten değerli hocam Prof. Dr. Orhan USLU'ya,

Hiçbir zaman yardımlarını benden esirgemeyen, sabrı ve çalışkanlığı ile yol gösteren, akademik kariyerimde beni esinlendirip ufkumu açan ve destek olan değerli hocam Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU'na,

Daima pozitif kişiliği ve enstitüde bana sağladığı imkanlardan dolayı değerli hocam Dr. Zeki Yaşar YÜCEL'e,

Mesleğimde bana yeni ufuklar açan ve akademik kariyerime olanak sağlayan varlığıyla bana hep destek olan, sevgili patronum ve BATI GROUP şirketleri yönetim kurulu başkanı Kapt. Caner AYDIN'a, eşi Sn. Alev AYDIN'a ve Sn. Cem ERİMEL'e,

Tezimin oluşturma sürecinde bana yaptığı katkılar, verdiği olağanüstü destek ile beni aydınlatan hayat arkadaşım Serda GÖKTAŞ'a ve herkese derin şükranlarımla teşekkür ederim.

En önemlisi beni bugünlere getiren ve her konuda bana maddi manevi desteği sağlayan, hayattaki en kıymetli varlığım olan aileme; anneme, babama ve ağabeyim Şahin TOPALOĞLU'na sonsuz teşekkür ile en derin minnetimi ifade etmek isterim.

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ .....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TABLO LİSTESİ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
KISALTMA LİSTESİ .....	ix
EK LİSTESİ .....	x
I. GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı .....	5
1.2. Problemin Tanımı .....	12
1.3. Problemin Yapılandırılması .....	18
II. BUGÜNE KADAR YAPILAN ÇALIŞMALAR NERLERDİR ? .....	21
2.1. Dünya Deniz Taşımacılığı ve CO <sub>2</sub> Emisyonları .....	21
2.1.1. Dünya Taşımacılığında Ticari Gemilerin Yeri .....	21
2.1.2. Küresel İklim Değişikliği ve Sera Gazları .....	26
2.1.3. Ticari Gemi Kaynaklı Emisyonlar .....	30
2.1.4. Ticari Gemi Kaynaklı CO <sub>2</sub> Emisyonlarının Global Çevreye Etkilerinin Analizi .....	38
2.1.5. IMO'nun Rolü .....	49
2.1.6. MARPOL'ün Rolü .....	52
2.2. Gemi Kaynaklı CO <sub>2</sub> Emisyonlarını Düzenleyen Faktörler .....	54
2.2.1. Emisyon Kontrol Alanları .....	56
2.2.2. Sera Gazı Fonu (GHG Fund) .....	57
2.2.3. Teknik Önlemler .....	58
2.2.3.1. Alternatif Yakıtlar .....	58
2.2.3.2. Rüzgar Destekli Sevk .....	60
2.2.3.3. Yakıt Hücreleri .....	62
2.2.4. Operasyonel Önlemler .....	63
2.2.4.1. Verimliliğin Arttırılması .....	63

2.2.4.2. Düşük Hızda Seyir .....	64
2.2.4.3. Trim ve Dratın Ayarlanması .....	66
2.2.4.4. Hava Koşullarına Göre Rotasyon .....	66
2.3. Gemi Kaynaklı CO <sub>2</sub> Emisyonundaki Mevcut Kurallar .....	67
2.3.1. Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) .....	67
2.3.1.1. Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) Formülü .....	74
2.3.1.2. 150.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisi İçin Örnek EEDI Hesaplaması (İlave Mekanik veya Elektrikli Enerji Verimliliği Teknolojileri Olmadan) .....	82
2.3.1.3. 150.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisi İçin Örnek EEDI Hesaplaması (İlave Mekanik veya Elektrikli Enerji Verimliliği Teknolojileri Kullanıldığında) .....	85
2.3.2. Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi (EEOI) .....	87
2.3.3. Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) .....	88
III. TİCARİ GEMİ KAYNAKLI KARBONDİOKSİT EMİSYONLARININ AZALTILMASINA YÖNELİK ÇÖZÜM METODOLOJİSİ .....	91
3.1. Gemi Seyir Hızının Düşürülmesinin Toplam Oluşan CO <sub>2</sub> Emisyonu Miktarına Etkilerinin Analizi .....	98
3.1.1. 150.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisinin 14,25 Knot Seyir Hızında Oluşturduğu Yıllık Toplam CO <sub>2</sub> Emisyona Miktarı .....	99
3.1.2. 150.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisinin 13,54 Knot Seyir Hızında Oluşturduğu Yıllık Toplam CO <sub>2</sub> Emisyona Miktarı .....	102
3.1.3. 150.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisinin 12,83 Knot Seyir Hızında Oluşturduğu Yıllık Toplam CO <sub>2</sub> Emisyona Miktarı .....	105
3.1.4. 150.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisinin Farklı Seyir Hızlarında Boş Gemi Dizayn İndeksi Değerlerinin "2" Alınacağı Hesapta Oluşan Yıllık Toplam CO <sub>2</sub> Emisyon Miktarları .....	109
3.2. Gemi Seyir Hızının Düşürülmesi ile Toplam Filo Yönetimi Optimizasyonu .....	110
3.2.1. 2.000 DWT'luk Dökme Yük Filosunun Analizi .....	118
3.2.2. Muhtelif Diğer Gemi Filolarında Hız Düşürülme Analizleri .....	122

3.2.3. 50.000 DWT’luk Panamax Konteyner Filosunun Analizi .....	123
3.2.4. Gemi Seyir Hızının Düşürülmesi ile Toplam Filo Yönetimi Optimizasyonu Senaryolarında Asgari Ticari Karlılık ile Ekolojik Servis Hızı Analizi .....	127
3.3. Gemi Yakıt Maliyetinin Toplam Gemi İşletme Maliyetleri İçerisindeki Oranının Değişiminin Karbondioksit Emisyonuna Etkilerinin Analizi .....	134
3.4. Bulguların Tartışılması .....	137
IV. SONUÇLAR .....	143
KAYNAKLAR .....	148
ÖZGEÇMİŞ .....	180

## ÖZET

### TİCARİ GEMİLERİN KARBONDİOKSİT EMİSYON ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ

HARUN TOPALOĞLU

Ticari gemi kaynaklı deniz taşımacılığı, diğer taşıma modlarına göre en yeşil taşımacılık şekli olmasına ve beher mil başına taşınan birim yükte en düşük karbondioksit emisyonunu salmasına rağmen yılda yaklaşık 1 milyar ton CO<sub>2</sub> emisyonu ile toplam küresel karbondioksit emisyonların %2,7'sinden sorumludur. Dünya yüzey sıcaklığını +2°C kritik sıcaklığın altında tutmaya yönelik olarak IMO, gemi tipi ve operasyonuna bağlı verimliliğin artırılıp, beher ton/mil bazında mevcut CO<sub>2</sub> emisyon değerlerini düşürmeye, başta yürürlüğe giren EEDI olmak üzere alternatif yöntemler ile çalışmaktadır.

Dünya üzerindeki toplam ticari gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarını düşürmek üzere, artan deniz ticaret hacmine paralel artan enerji ihtiyacını da karşılayacak daha enerji verimli gemilere ihtiyaç duyulmaktadır. CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı tedbirler, aynı zamanda verimliliği arttıracak ve yakıt tasarrufu sağlayacak tedbirlerdir. Yakıt tasarrufunu en yüksek oranda değiştiren parametre gemi hızıdır. Çalışmada farklı tip ve tonajdaki gemilerin seyir hızlarının kademeli olarak azaltılması durumlarında, asgari ticari karlılık ile servis verilebilecek ekolojik hız sınır değerlerinin belirlenmesinde duyarlılık analizi kullanılmıştır. Daha yavaş seyir süratleri neticesinde, servise giren ilave gemilerin toplam filo yönetiminin optimum düzeye çekilmesi için gemi günlük kira ve operasyonel maliyetler içinde, yakıt bedeli miktarı değişimlerinin de gemi işletmeciliği yönünden analizini ortaya konulmuştur.

Deniz taşımacılığına duyulan talep ve bu talebi karşılamak üzere fosil yakıtlarının gelecekteki yirmi veya otuz yıl daha birincil enerji kaynağı olarak kullanılacak olan dünyamızda, CO<sub>2</sub> emisyon azaltıcı faaliyetlerden gemi hızının düşürülmesinin global çevreye olan etkilerinin, insan düşünce sistematığı içerisinde analizine yönelik bir çözüm metodolojisi sunulmaya çalışılmıştır.



## **ABSTRACT**

### **EVALUTION AND ANALYSIS OF THE EFFECTS OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS SOURCED BY COMMERCIAL MARINE FLEET**

**HARUN TOPALOĞLU**

Commercial marine fleet transportation, which is the greenest form of transport in terms of carried payload per mile for each unit and in spite of the lowest CO<sub>2</sub> emissions, it is still responsible about 1 billion tons of CO<sub>2</sub> emissions per year and the total global carbon dioxide emissions of 2,7%. In order to keep world's surface temperature below the critical +2°C, IMO works with alternative methods especially in the EEDI, to increase the productivity depending on the type and operation of the ship to reduce current CO<sub>2</sub> emissions each ton/mile basis.

More energy-efficient vessels are necessary due to increasing volume of maritime trade in parallel to meet the growing energy demands and reduce total CO<sub>2</sub> emissions. Measures to reduce CO<sub>2</sub> emissions also increase efficiency and fuel-savings. The most significant parameter of fuel economy is the speed of the ship. Sensitivity analysis was used to determine the ecological speed limits of vessels in terms of minimum commercial profitability by gradual reduction in operating speeds. Also, ship management analysis put forward fuel cost changes in ship daily charter rate and operational cost withdrawal of total additional vessels entering the fleet management service because of slow steaming.

The demand for maritime transport and in order to meet this continuous demand of the world, the fossil fuels will be used for next twenty or thirty years as a primary source of energy. Consequently a solution methodology for the effects of slow steaming to the global environment is presented as a CO<sub>2</sub> emission reduction activity under the systematic analysis of human thought.

**TABLO LİSTESİ****Sayfa**

Tablo 1.	2010 Yılı Dünya Deniz Ticaret Filosu, Gemi Tipine Göre Adetler .....	22
Tablo 2.	Dünya İlk 35 Tonaj ve Gemi Adet Sahibi Ülkeler Sıralaması .....	25
Tablo 3.	2009 Yılı İtibariyle Bazı Bölgelerdeki Gemi Baca Gazı Emisyon Miktarları (ton/yıl) .....	32
Tablo 4.	2010 Yılına Ait Farklı Gemi Tiplerine Göre CO <sub>2</sub> Emisyonları .....	36
Tablo 5.	Uluslararası Deniz Taşımacılığı Egzoz Emisyonları (Milyon Ton) .....	45
Tablo 6.	Uluslararası Deniz Taşımacılığı Kaynaklı CO <sub>2</sub> Emisyonları ve Yıllara Göre Ağır Yakıt (HFO) Fiyatları .....	46
Tablo 7.	Uluslararası Deniz Taşımacılığındaki Yıllara Göre Yakıt Tüketimi (milyon ton) 1990 – 2007 .....	48
Tablo 8.	MARPOL 73/78 Ekleri ve Yürürlüğe Giriş Tarihleri .....	53
Tablo 9.	CO <sub>2</sub> Emisyonunu Düşürecek IMO Teknik Önlemlerinin Yürürlük Tavvimi (Marpol Ek 6, Bölüm 4) .....	54
Tablo 10.	MARPOL Ek VI: Gemi Kaynaklı Hava Kirliliği Önlenmesi / Emisyon Kontrolü Alanları .....	57
Tablo 11.	Farklı Yakıt Tiplerinin İçeriğindeki Karbon Miktarları .....	59
Tablo 12.	Yakıtların CO <sub>2</sub> Emisyon Faktörlerinin Karşılaştırılması .....	59
Tablo 13.	Farklı Gemi Tiplerinin EEDI Düşürme Oranları Yüzdesi Tablosu .....	71
Tablo 14.	Mevcut Teknoloji ve Operasyonel Uygulamaların Kullanılması ile CO <sub>2</sub> Emisyonlarının Azaltılabilme Potansiyeli .....	73
Tablo 15.	Avrupa, Çin, Güney Kore ve Japon Gemilerinin Ortalama Değerleri İle Ortalama EEDI Değerleri .....	74
Tablo 16.	C <sub>f</sub> Dönüşüm Faktörünün Farklı Yakıt Tiplerine Göre CO <sub>2</sub> Emisyon Değerleri .....	75
Tablo 17.	f <sub>j</sub> Düzeltme Faktörü Katsayısının Farklı Ice-Class Gemiler İçin Değerleri .....	77
Tablo 18.	f <sub>i</sub> Düzeltme Faktörü Katsayısının Farklı Ice-Class Gemiler İçin Değerleri .....	78

Tablo 19.	150.000 DWT'luk dökme yük gemisi için örnek EEDI hesaplaması (ilave mekanik veya elektrikli enerji verimliliği teknolojileri olmadan) .....	82
Tablo 20.	Örnek Bir SEEMP Formu .....	89
Tablo 21.	SEEMP ve EEDI Azaltıcı Tedbirler Tablosu .....	89
Tablo 22.	SEEMP İle Ölçülen Karbondioksit Azalma Potansiyelleri .....	90
Tablo 23.	Farklı Yakıt Türlerinin Karbon İçerikleri ve $C_F$ Değerleri .....	93
Tablo 24.	Gemi Seyir Hızının %5 Azaltılması ile CO <sub>2</sub> Emisyon Oranlarının Değişimi .....	105
Tablo 25.	Gemi Seyir Hızının %5 ve %10 Azaltılması ile CO <sub>2</sub> Emisyon Oranlarının Değişimi (Boş Gemi Dizayn İndeksi "1,8" iken) .....	109
Tablo 26.	Gemi Seyir Hızının %5 ve %10 Azaltılması ile CO <sub>2</sub> Emisyon Oranlarının Değişimi (Boş Gemi Dizayn İndeksi "2" iken) .....	110
Tablo 27.	$C_f$ Dönüşüm Faktörünün Farklı Yakıt Tiplerine Göre CO <sub>2</sub> Emisyon Değerleri .....	111
Tablo 28.	Dünya Filosundaki Farklı Gemi Kategorilerinin Karbondioksit Emisyon Değerleri .....	112
Tablo 29.	2.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi ...	118
Tablo 30.	2.000 DWT'luk Küçük Dökme Yük Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi .....	119
Tablo 31.	2.000 DWT'luk Küçük Dökme Yük Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi .....	120
Tablo 32.	50.000 DWT'luk Konteyner Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi ....	123
Tablo 33.	50.000 DWT'luk Panamax Konteyner Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi .....	124
Tablo 34.	50.000 DWT'luk Panamax Konteyner Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi .....	125
Tablo 35.	9 Farklı Tip Gemi Filolarının Hız Azaltımlarında Yakıttan Kazanım ile Ek Gemi İşletmesi Arasındaki Fark Sonuçları (USD) .....	130
Tablo 36.	9 Farklı Tip Gemi Filolarının Azami ve Asgari Kârlılık Hızı Değerleri .....	131

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.	Farklı taşımacılık modlarının CO <sub>2</sub> emisyonları – Gram/Ton-Km .....	7
Şekil 2.	2010 Yılı Dünya Deniz Ticaret Filosu, Gemi Tipine Göre Yüzdeleri .....	23
Şekil 3.	2010 Yılı Dünya Deniz Ticaret Filosunun Gemi Tipine Göre Gösterimi .....	23
Şekil 4.	2010 Yılı Dünya Deniz Ticaret Filosu Gros Ton x 1000 Ton .....	24
Şekil 5.	2012 Dünya Deniz Ticaret Filosunun Gemi Tiplerine Göre Dağılımı .....	24
Şekil 6.	Küresel Sıcaklık Değerleri (1860–2000 yılları arası) .....	28
Şekil 7.	Geçmişten Günümüze CO <sub>2</sub> Emisyon Değerleri .....	29
Şekil 8.	2007 Yılı Deniz Taşımacılığı Kaynaklı CO <sub>2</sub> Emisyonların Toplam Küresel Emisyon Değerleri ile Yüzdesele Karşılaştırılması .....	33
Şekil 9.	2007 Yılı Deniz Taşımacılığı Kaynaklı CO <sub>2</sub> Emisyonların Toplam Küresel Emisyon Değerleri ile Karşılaştırılması (Milyon Ton) .....	34
Şekil 10.	Bir Ton Kargonun Bir Kilometre Taşınması İçin Harcanan CO <sub>2</sub> Miktarının Farklı Taşıma Modlarında Karşılaştırılması .....	35
Şekil 11.	Ülkelerin CO <sub>2</sub> Emisyon Sıralaması Arasında Uluslararası Deniz Taşımacılığı Emisyon Karşılaştırması ( Milyar Metrik Ton CO <sub>2</sub> ) .....	37
Şekil 12.	2010 Yılına Ait Farklı Gemi Tiplerine Göre CO <sub>2</sub> Emisyonları .....	37
Şekil 13.	2006 Yılı Dünya Deniz Ticaret Verileri Milyar Ton – Mil .....	47
Şekil 14.	GHG Fonu İle Yıllar Boyunca Gerçekleşecek CO <sub>2</sub> Emisyon Değerleri .....	58
Şekil 15.	Rüzgar Destekli Sevk Fotoğrafları .....	61
Şekil 16.	Yakıt Hücreleri Fotoğrafı .....	63
Şekil 17.	Yüklü Konteyner Gemisinin Trim ve Draft Duruşu Fotoğrafı .....	66
Şekil 18.	CO <sub>2</sub> Emisyonları İçin IMO'nun Teknik Yönetmelik Takvimi .....	69
Şekil 19.	Deniz Ticaret Filosunun Kapasiteye Bağlı EEDI Değerleri .....	72
Şekil 20.	Ana Makinenin Güç-Hız Grafiği .....	76
Şekil 21.	EEDI Formülü .....	78
Şekil 22.	Genel ve Basitleştirilmiş Gemi Enerji Üretim Şeması .....	79
Şekil 23.	150.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisine Ait Güç - Hız Eğrileri .....	83

Şekil 24.	2.000 Dwt'lik Dökme Yük Filosunun Farklı Seyir Hızı Düşüşlerinde 1 Yılda 1 Ton Kargonun Taşınması için Gerekli Yakıt Miktarları .....	121
Şekil 25.	2.000 Dwt'lik Dökme Yük Filosunun Farklı Seyir Hızı Düşüşlerindeki Toplam Harcanan Yakıt ve Salınan CO <sub>2</sub> Miktarları .....	121
Şekil 26.	50.000 Dwt'lik Panamax Konteyner Filosunun Farklı Seyir Hızı Düşüşlerinde 1 Yılda 1 Ton Kargonun Taşınması için Gerekli Yakıt Miktarları .....	126
Şekil 27.	50.000 Dwt'lik Panamax Konteyner Filosunun Farklı Seyir Hızı Düşüşlerindeki Toplam Harcanan Yakıt ve Salınan CO <sub>2</sub> Miktarları .....	126
Şekil 28.	9 Farklı Tip Gemi Filolarının Toplam Saldığı CO <sub>2</sub> Emisyon Miktarının Hız Düşüşü İle Azalma Eğrisi .....	132
Şekil 29.	9 Farklı Tip Gemi Filolarının Hız Azaltımlarında Maksimum ve Minimum Kârlılık İle Ekolojik Hız Eğrileri (USD) .....	133
Şekil 30.	Gemi Yakıt Maliyetinin Gemi İşletme Maliyeti İçerisindeki Değişen Oranlarının (%20, %30, %40, %50, %60, %70, %80) Sebeplere Olacağı Asgari Hız Düşürme Yüzdeleri .....	136

## KISALTMA LİSTESİ

<b>BIMCO</b>	: The Baltic and International Maritime Council
<b>CO</b>	: Karbonmonoksit
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>DTGM</b>	: Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü
<b>DTGMGSİDB</b>	: Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü Gemi Sicil ve İstatistik Dairesi Başkanlığı
<b>DWT</b>	: DeadWeight Ton
<b>EEDI</b>	: Enerji Verimlilik Dizayn Endeksi (Energy Efficiency Design Index)
<b>EEOI</b>	: Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi
<b>GAMS</b>	: General Algebraic Modeling System
<b>GT</b>	: Gros Ton
<b>HC</b>	: Hidrojen Klorür
<b>HFO</b>	: Yüksek Kükürt Oranlı Gemi Dizel Yakıtı (Heavy Fuel Oil)
<b>IMO</b>	: Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization)
<b>IPCC</b>	: İklim Değişikliği Hükümetlerarası Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
<b>km</b>	: Kilometre
<b>LBP</b>	: Geminin Baş ve Kıç Dikmeleri Arasındaki Boyu
<b>LNG</b>	: Likit Doğal Gaz
<b>MARPOL</b>	: Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi, 1973 ve 1978 Protokolü Deniz Kirliliği Konvasyonu (Marine Pollution 73/78)
<b>MEPC</b>	: Denizel Çevre Koruma Komitesi (The Marine Environment Protection Committee)
<b>MSC</b>	: Deniz Güvenliği Komitesi
<b>NO<sub>x</sub></b>	: Azot oksitler
<b>PM</b>	: Partikül Madde veya Toz
<b>P<sub>AE</sub></b>	: Yardımcı Makine Gücü
<b>P<sub>ME</sub></b>	: Ana Makine Gücü
<b>ppm</b>	: Milyonda Bir Parça (parts per million)
<b>SECA</b>	: Sülfüroksit Emisyon Kontrol Alanı
<b>SEEMP</b>	: Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı
<b>SFOC</b>	: Makinenin Yakıt Tüketim Katsayısı (g/kWh)
<b>SI</b>	: Uluslararası Ölçüm Sistemi (Standart International )
<b>SO<sub>x</sub></b>	: Sülfür oksitler
<b>TEU</b>	: 20 Feet Boyundaki Konteyner (Twenty Equivalent Unit)
<b>UNCTAD</b>	: United Nations Conference on Trade and Development
<b>UNFCCC</b>	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (The United Nations Framework Convention on Climate Change)
<b>V</b>	: Gemi Hızı
<b>VOC</b>	: Uçucu Organik Buhar ve Gazlar

## **EK LİSTESİ**

- EK 1.** 150.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisinin 14,25 Knot Seyir Hızında Boş Gemi Dizayn İndeksi Değerlerinin 2 Alınacağı Hesapta Oluşan Yıllık Toplam CO<sub>2</sub> Emisyona Miktarları
- EK 2.** 150.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisinin 13,54 Knot Seyir Hızında Boş Gemi Dizayn İndeksi Değerlerinin 2 Alınacağı Hesapta Oluşan Yıllık Toplam CO<sub>2</sub> Emisyona Miktarları
- EK 3.** 150.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisinin 12,83 Knot Seyir Hızında Boş Gemi Dizayn İndeksi Değerlerinin 2 Alınacağı Hesapta Oluşan Yıllık Toplam CO<sub>2</sub> Emisyona Miktarları
- EK 4.** 15.000 DWT'luk Handysize Dökme Yük Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi
- EK 5.** 15.000 DWT'luk Handysize Dökme Yük Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi
- EK 6.** 15.000 DWT'luk Handysize Dökme Yük Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi
- EK 7.** 70.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi
- EK 8.** 70.000 DWT'luk Panamax Dökme Yük Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi
- EK 9.** 70.000 DWT'luk Panamax Dökme Yük Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi
- EK 10.** 2.050 DWT'luk Küçük Tanker Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi
- EK 11.** 2.050 DWT'luk Küçük Tanker Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi
- EK 12.** 2.050 DWT'luk Küçük Tanker Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi
- EK 13.** 17.000 DWT'luk Tanker Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi

- EK 14.** 17.000 DWT’luk Handysize Tanker Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi
- EK 15.** 17.000 DWT’luk Hanydsize Tanker Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi
- EK 16.** 106.000 DWT’luk Tanker Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi
- EK 17.** 106.000 DWT’luk Aframax Tanker Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi
- EK 18.** 106.000 DWT’luk Aframax Tanker Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi
- EK 19.** 1.961 DWT’luk Konteyner Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi
- EK 20.** 1.961 DWT’luk Feeder Konteyner Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi
- EK 21.** 1.961 DWT’luk Feeder Konteyner Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi
- EK 22.** 20.000 DWT’luk Konteyner Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi
- EK 23.** 20.000 DWT’luk Handysize Konteyner Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi
- EK 24.** 20.000 DWT’luk Handysize Konteyner Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi



## I. GİRİŞ

Dünyanın önde gelen meteorolojik uzmanları tarafından varılan genel mutabakata göre son 100 yılda dünya yüzey sıcaklığı  $0.6^{\circ}\text{C}$  civarında artmıştır (IMO, WMD, 2009). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (UNFCCC) bağlı organların çalışmalarına göre de ortalama dünya yüzey sıcaklığı, 1800'lü yılların sonlarından bu yana  $0.74^{\circ}\text{C}$  artmış ve gerekli önlemler alınmadığı takdirde de 2100 yılında bunun  $1,8^{\circ}\text{C}$  ile  $4^{\circ}\text{C}$  arasında artması tahmin edilmektedir ki tahmin edilen en düşük artış olsa bile, yine de bu son 10.000 yıl içerisindeki herhangi bir 100 yıllık dönemden daha büyük bir artış olacaktır (IPCC, 2007). Petrol ve kömür başta olmak üzere her zamankinden daha fazla miktarda yakılan fosil yakıtlarının sanayi süreçleri, ormanların kesimi ve yaygın tarım yöntemlerinin kullanılması sonucu karbondioksit, metan, sülfür oksitler ve azot oksitlerin atmosferdeki miktarlarının artmasına neden olunmuştur. Doğal olarak meydana gelen bu gazlar güneşten dünyamıza gelen ısıyı uzaya tekrardan geri yansıtmaları ile kritik öneme sahiptirler. Zira bu gazlar olmadan dünya soğuk ve çorak bir yer olurdu. Ancak şuanda atmosferde ölçülen sera gazı değerleri, küresel sıcaklığı arttırmakta ve dünya ekosistemini ve yaşam biçimini değiştirmektedir. Tüm insan kaynaklı sera gazı emisyonları bugün itibariyle sonlandırılrsa dahi, zaten yayılan gazların uzun vadeli etkileri yüzlerce yıl daha sürecek durumdadır. İklim dış değişimlere hemen cevap veremese de, 150 yıllık sanayileşme sonrası, küresel ısınmanın artık yadsınamaz bir ivmesi vardır ve sera gazı emisyonları azaltılmış ve atmosferdeki sera gazı değerleri belli bir seviyede tutulsa dahi yüzlerce yıl daha dünyanın doğal sistemlerinin etkilenmesi öngörülmektedir. Bu bağlamda bir benzetme yapmak gerekir ise iklim değişikliği dev bir petrol tankerine benzetilebilir. Onu durdurmak veya rotasını değiştirmek için sadece büyük bir güç harcamak yetmez aynı zamanda bunun olması için belli bir zamanın da geçmesi gerekir.

Tüm ülkeler, sanayileri ve karbondioksit üreten tüm faaliyetleri ve çevreye olan etkileri ile hiç şüphesiz inceleme altındadırlar. Tüm sektörlerin gündeminde olduğu gibi çevresel kaygılar ve incelemeler nakliye ve deniz taşımacılığında da yüksek önem arz etmektedir. Globalleşen dünya ekonomisinde taşımacılığa olan ihtiyaç sürekli artmakta ve taşımacılığın temel taşı makineler de büyük ölçüde fosil yakıtlarına bağımlı olması sonucunda sera gazı

emisyonlarındaki artışlar da başta küresel ısınma, iklim değişikliği ve okyanus asitlenmesi gibi pek çok çevresel etkiyi beraberinde getirmektedirler. Taşınan birim yükün bir milde beher ton başına meydana getirdiği karbondioksit emisyonu açısından en çevreci taşımacılık şekli denizcilik olarak kabul edilmektedir (IMO, COP18, 2012\*). Ne var ki, dünya ticaretinin hacim olarak %90'lara varan çoğunluğunun denizyolu ile taşınması ve artan global ticaret ihtiyacının da deniz taşımacılığına olan talebinin ileriki yıllarda da arttırması nedeni ile insan kaynaklı sera gazlarından olan karbondioksit emisyonları konusunda deniz taşımacılığında da diğer sektörlerdeki gibi sınırlandırmalar ve yaptırımların uygulanması ile kontrol altına alınması gerekliliği gün yüzüne çıkmıştır.

Denizcilik sektöründe kural koyucu rolde bulunan Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) çoğunlukla yaşanan olaylar ve kazalar neticesinde kurallar koymakta ve denetimlerini yapmaktadır. Sera gazı emisyonlarında da durum her ne kadar gelecekteki bir tehdit olarak karşımıza çıksa da 1997 yılındaki Kyoto Protokol'ü ile başlayan süreç ve sonrasında yapılmış uluslararası çalışmalar ile yayınlanan raporlar konunun günümüzdeki etkilerini de gün ışığına çıkarmış ve yaşadığımız zamandaki olan değişikliklerin bile ne denli ciddi olduğunu göstermeye yetmiştir. Ayrıca önlem alınmadığı takdirde konunun boyutlarının ve geri dönülemez kritik değerlerin neler olduğuna değinen bu çalışmaların akabinde pek çok ülke ve sektör kendi için hedef alınması gerekli uygulamaları ortaya koymuş ve bu yönde modellenmiştir. Deniz taşımacılığına özne ticari gemilerin; sahipleri, inşa edeni, donatanı, kayıtlı sicil ülkesi, çalıştığı denizler ve iç sular gibi pek çok değişken parametre ile farklı uygulamalara tabi olacak karbondioksit emisyon sınırlandırmaları konusunda nasıl ve ne türden bağımlı olacakları pek net değildir. Bu mevzuda netleşen konular ise deniz taşımacılığı kaynaklı sera gazı emisyonlarının etkileri konusunda 2000 yılından bu yana yapılan çalışmaların derlendiği ve IMO'nun yayınladığı komite çalışmalarının öne çıkan çarpıcı sonuçları aşağıdaki gibidir.

- Taşımacılık, 2007 yılı verilerine göre toplam küresel karbondioksit emisyonların %3,3'ünü oluşturmaktadır ve 1046 milyon ton CO<sub>2</sub> yaydığı belirtilmektedir. Sadece deniz taşımacılığı ise 870 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu ile toplam küresel karbondioksit

---

\* İlgili kaynağın 3. ve 5. sayfaları arasından yararlanılmıştır.

emisyonların %2,7'sinden sorumludur (Faber v.d., 2010). Bu %2,7'lik oran 1996 yılında toplam küresel karbondioksit emisyonların %1,8'i idi (Friedrich v.d., 2007).

- Hiçbir önlem alınmaz ise deniz taşımacılığı kaynaklı karbondioksit emisyonunun 2020 yılında 1475 milyon tona artacağı ve toplam küresel karbondioksit emisyonlarının %6'sından sorumlu olacağı tahmin edilmektedir (Faber v.d., 2010).
- Gemi baca gazları, gemilerden kaynaklanan emisyonların birincil kaynağıdır ve karbondioksit gemilerin yaydığı en önemli sera gazıdır. Hem miktar hem de küresel ısınma açısından, gemilerden kaynaklanan diğer sera gazı emisyonları daha az önemlidir (IMO, MEPC 61/5/16, 2010).
- 2050 yılına kadar eğer hiçbir emisyon kontrolü uygulanmaz ve azaltma politikaları oluşturulmaz ise, IMO'nun orta vadeli emisyon senaryolarına göre, 2007 yılındaki emisyon değerlerine göre 2050 yılında ticari gemi kaynaklı emisyonları, dünya ticaretindeki büyümenin bir sonucu olarak yüzde 150'den 250'ye artacağını öngörmektedir (IMO, MEPC 59/4, 2009).
- IPCC'nin gelecek emisyon senaryoları, gemilerden kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının hiçbir önlem alınmazsa 2050 yılında mevcuttakinin iki katı değerinden de yüksek olacağını ortaya koymaktadır (Eide ve Endersen, 2010).
- Deniz taşımacılığı kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması konusunda teknik ve operasyonel önlemlerin uygulanabilmesinde önemli bir potansiyel tespit edilmiştir (IMO, MEPC 61/5/16, 2010).
- Eğer tüm tedbirler birlikte uygulanırsa, gemi tipi ve operasyonuna bağlı olarak verimliliği arttırarak, beher ton / kilometre bazında mevcut emisyon değerlerini %25-75 arasında azaltılmasının muhtemel olduğunu öngörülmektedir (IMO, MEPC 59/4, 2009).
- Dünya ticaretinin %90 oranında deniz taşımacılığı ile gerçekleştirilmesi ve artan taşımacılık kapasitelerine orantılı olarak gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının da artarak, 2020 yılı itibariyle 1.4 milyon ton seviyesini aşarak toplam küresel karbondioksit emisyonunun %6'dan sorumlu olabileceği öngörülmektedir (IMO, MEPC 63/23/10, 2012).

Deniz taşımacılığı kaynaklı karbondioksit emisyonlarının azaltılması konusu global çevreye olan etkilerinden dolayı önemli bir konudur ve deniz taşımacılığı sektörünün düzenleyicisi olarak IMO; gemilerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması ve sınırlandırılması ile ilgili denetimleri konusunda devreye girmiştir. Bunun için IMO uluslararası taşımaları kontrol altına alacak, böylece sera gazı emisyonuna ve iklim değişikliğinin yavaşlamasına katkı sağlayacak sağlam bir rejimin geliştirilmesi ve benimsenmesi yönünde iddialı ama ulaşılabilir bir eylem planı ile çalışmaktadır. Bu önemli konuda IMO'nun çalışmaları üye devletlerin çevre üzerine olan kaygılarından beslenmektedir. Ayrıca, Kyoto Protokolü ve UNFCCC (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi) olası sınırlamaların veya gemilerden kaynaklanan sera gazları emisyonlarının azaltılmasının IMO aracılığıyla takip edilmesinin gerektiğini belirtmiştir. IMO'nun bu planına göre de alınan tedbirler olarak yeni gemiler için bir Enerji Verimliliği Dizayn Endeksi, tüm taşımacılık sektörü için en iyi uygulamalar ile rehberlik eden bir Enerji Operasyonel Verimlilik Göstergesi paketi geliştirilmiştir. Bu tedbir ve paketler IMO'nun 59. Denizel Çevre Koruma Komitesi tarafından 2009 yılı temmuz ayında gelişmiş birer taslak olarak sunulmuştur. 2010 yılında yayınlanan 60. Denizel Çevre Koruma Komitesi (MEPC)'nin raporuna göre de yeni gemiler için oluşturulan Enerji Verimliliği Dizayn Endeksi hesaplama yöntemleri ile bir geminin enerji verimliliğini etkileyen tüm unsurlar, daha geminin tasarım aşamasında teknik açıdan belirlenecektir. Yeni ve mevcut gemilerin yakıt verimli çalışması için en iyi uygulamaları içeren Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planındaki gelişmelere rehberlik etmek üzere yayınlanan 59. ve 60. komitelerin çalışmalarına ilave olarak 61. komite Gemi Enerji Operasyonel Verimlilik Göstergesi ile gerçekte ölçülen değerler üzerinden geminin yakıt verimliliğini ölçmek için kurallar ortaya koyarak operatörlük sağlamıştır (IMO, MEPC 61/5/16, 2010). 11-15 temmuz 2011 tarihinde Londra'da toplanan IMO'nun 62. Denizel Çevre Koruma Komitesi (MEPC) Marpol Ek VI kapsamında uluslararası denizcilik taşımalarından kaynaklı sera gazlarının azaltılması konusunda zorunlu uygulamaların başlatılması yönünde karar vermiştir. Böylelikle uluslararası bir sanayi sektörü için de ilk zorunlu küresel sera gazı azaltma rejimi yürürlüğe girmiştir. Gemilerden kaynaklanan hava kirliliğinin önlenmesi konulu MARPOL Ek VI yönetmeliğine yeni bir 4. bölüm eklenerek, enerji verimliliği düzenlemelerinde yeni gemiler için EEDI, ve tüm gemiler için SEEMP getirilmiştir (<http://www.imo.org/MediaCentre/PressBriefings/>).

Ek VI'daki diğer değişiklikler ile Uluslararası Enerji Verimliliği Belgesi biçimi dahil yeni tanımlar ve araştırma ve sertifikasyon gereklilikliğini eklenmiştir. 1 Ocak 2013 tarihinde yürürlüğe giren bu düzenlemeler 400 gros ton gemi ve üzeri için geçerli olmuştur (IMO, MEPC 62, 2011). EEDI, performansa bağlı bir mekanizmadır ve yapılacak olan gemilerin tasarımında teknolojilerin seçimini ve kullanımını serbest bırakmaktadır. Gerekli enerji verimliliği düzeyine ulaşılması için gemi tasarımcıları ve inşaatçıları için en düşük maliyetli, kendi istedikleri yönetmeliklere ve kurallara uymalarını serbest bırakmaktadır. Diğer bir deyişle pek çok parametreye bağlı olan EEDI faktörünü, formülün içindeki bağımsız değişkenleri istedikleri oranda kullanarak elde edebilmekte özgürdürler (IMO, MEPC 62, 2011). Tüm bu uygulamalar ile deniz taşımacılığı kaynaklı emisyonların çevreye olan etkilerinin azaltılmasına yönelik çalışılmaktadır. Gemi baca gazlarından çıkan fosil yakıtı ürünü karbondioksit emisyonlarının global çevreye olan etkisinin de azaltılması yönünde alınan bu tedbirlerin neler oldukları, ne şekilde uygulandıkları ve uygulanacakları, bunların ne denli yeterli olacağına ve ilave tedbirlerin neden gerekli olduğuna dair yapılan bu çalışmada ortaya konulmuştur.

Eğer deniz taşımacılığı, iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarının düşürülmesi ve kontrol altına alınmasına dair olan uygulamaların dışarısında tutulur ise ve diğer sektörler dünya yüzey sıcaklığının +2°C kritik sıcaklığın altında tutmaya yönelik kendi üzerlerine düşen iyileştirmeleri %50 oranında gerçekleştirirlerse, deniz taşımacılığı 2007 yılı itibariyle %2,7'sinden sorumlu olduğu global karbondioksit emisyonlarının 2050 yılı itibariyle yaklaşık %12-18'den sorumlu olabilecektir (IMO, MEPC 59/4, 2009). Uluslararası taşımacılık kaynaklı sera gazı emisyonlarının 2020 yılına kadar 1990 yılındaki değerinin en az %40 altına düşürmek ve 2050 yılına kadar da 1990 yılındaki değerinin en az %80 altında değerlere düşürmeyi hedef alınmaktadır. Bu tahminlerdeki rakamlar, IMO'nun yayımladığı IPCC 2007 yılı raporuna göre küresel ısınmanın +2°C'nin altında sınırlamak için gerekli gördüğü rakamlardır (IPCC, 2007).

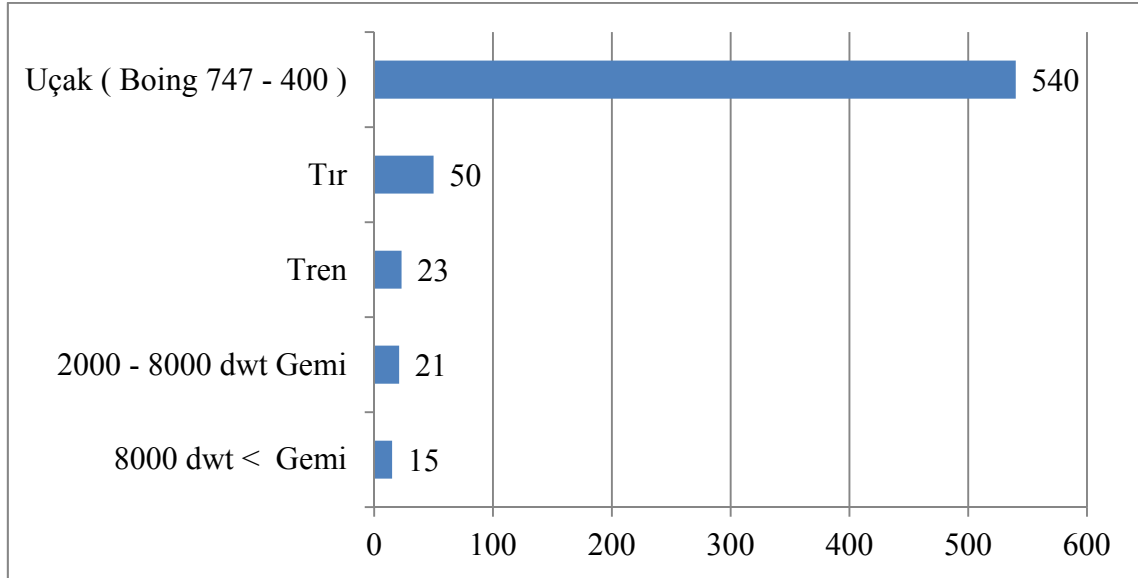
### **1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı**

Çalışmanın gerekçesi; ticari gemilerin sebep olduğu karbondioksit salımı ve bunun yol açtığı çevresel etkilerin analizinin yapılarak, artan deniz ticareti ile birlikte ileriki yıllarda daha büyük boyutlara ulaşacak olan ticari gemi kaynaklı sera gazı emisyon değerlerini düşürmeye

ve kontrol altında tutmaya yönelik tedbirleri araştıran bir yönetim bilimi tezi oluşturmaktadır. Küresel iklim değişikliğinde önemli paya sahip sera gazlarının emisyonlarının azaltılmasına yönelik tedbirlerin belirlenmesi, küresel ısınma ivmesinin azaltılması açısından çok önemlidir. Bu bağlamda gemi makinelerinde de fosil yakıtlarının kullanımlarını azaltmaya yarar tedbirlerin araştırılması hedeflenmiştir. Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi, Enerji Operasyonel Verimliliği Operasyonel Göstergesi ve Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı paketi gibi IMO'nun sektördeki gelişmelerine paralel olarak alternatif bir programlama modeli ile ticari gemi kaynaklı karbondioksit emisyonlarını düşürmeye yönelik farklı bir bakış açısı getirerek hem yeni gemi dizayn ve inşa edecek firmalara, hem de mevcut filo sahiplerine yol gösterecek optimum değerlendirmeler sunmak hedeflenmiştir. Hangi tip yakıt, hangi tip gemi dizaynı, hangi tip pervane ve ilave alternatif enerji kaynaklarının dağılımında ortaya konulacak stratejileri belirlemeye yönelik de bir değerlendirme sunulması hedeflenmiştir. Çalışılan model, ticari gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyon miktarını azaltma sorununa ait başlıca hedefleri ve kısıtları dikkate almaktadır. Modeldeki kriterlerin seçimi literatür taraması neticesinde yapılmış olunup sonrasında, hızın düşürülmesi ve yakıt sarfiyatı ile toplam filo yönetimi konusunda yapılan duyarlılık analizi ile farklı durumlarda sonuçların nasıl değiştiği değerlendirilmiştir. Ayrıca bu model farklı sektörlerdeki diğer araç tipleri için de ilgili dinamiklerin ve kriterlerin seçimi revize edilerek kullanılabileceği düşüncesi ile örnek teşkil etmesi amaçlanmıştır. İlgili modelleme kapsamında, gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonları miktarının azaltılmasına yönelik faaliyetler analiz edilmektedir.

Tezin giriş bölümünde; problemlerin tanımı, hedefin ve amaçların belirlenmesi ile literatür taraması neticesinde belirlenen kriterler doğrultusunda stratejiler ve düşünceler ortaya konulmuştur. Karar modelin nasıl kurulacağı ve yapılacak duyarlılık analizi ile problemin nasıl çözüleceğine değinilmiştir. Deniz taşımacılığının en yeşil taşıma şekli olmasına rağmen neden taşımacılık kaynaklı karbondioksit emisyonları içerisinde tehdit olduğuna ve bunun da yakın çevreye değil de global çevreye olan etkilerinin değerlendirilmesine ve analizine çalışılmıştır. Tezin bu konu üzerine seçilmesindeki gerekçe; diğer taşıma modlarına göre en yeşil taşımacılık şekli olmasına ve beher kilometre başına taşınan birim yükte en düşük karbondioksit emisyonunu salmasına rağmen neden ve ne şekilde tehdit olarak görülmesi gerektiğini, uluslararası kurum ve kuruluşların istatistik veriilerine ve matematiksel emisyon hesaplarına dayandırılarak sorunun kapsamlı bir şekilde irdelenerek ticari gemilerin karbondioksit emisyon

değerlerini azaltıcı önlemlerin ortaya konulmasıdır. Şekil 1’de farklı taşımacılık modlarının meydana getirdiği CO<sub>2</sub> emisyon değerleri belirtilmiştir. Çünkü alınacak önlemler ve arttırılacak verimlilik ile beher ton / kilometre bazında mevcut emisyon değerlerini %25-75 arasında azaltılmasının muhtemel olduğunu öngörülmektedir (IMO, MEPC 59/4, 2009).



Şekil 1. Farklı taşımacılık modlarının CO<sub>2</sub> emisyonları (Gram/Ton-Km), (IMO,MEPC)

Tezin ikinci bölümünde ise problemin içerisinde olduğu çevrenin de bu bağlamda geçmişten günümüze değişimine değinmek suretiyle deniz taşımacılığında ticari gemilerin ve küresel iklim değişikliğinde, karbondioksit emisyonunun yeri incelenmiştir. Bugüne kadar yapılan çalışmaların neler olduğuna, bu konu üzerine önceki insanların neler yaptıkları ile evrensel bilginin nerede olduğuna ışık tutmaya çalışılarak literatür taraması yapılmıştır. Ticari gemilerin karbondioksit emisyon değerlerinin toplam iklim değişikliği içerisindeki payını göstermek maksadı ile sırasıyla; küresel iklim değişikliğinin geçmişten günümüze boyutları ve antropojenik sera gazları ile deniz taşımacılığı kaynaklı emisyon türleri ve değerleri incelenmeye çalışılmıştır. Sonraki aşamada, gemi kaynaklı karbondioksit emisyonlarının iklim değişikliğine etkileri, diğer taşımacılık modlarının meydana getirdikleri emisyonlar ile kıyaslanmış ve uluslararası deniz taşımacılığındaki mevcut kuralları araştırarak gelecekteki emisyon değer senaryolarının ne şekilde olabileceği ve bunların iklim değişikliğine etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Öte taraftan ticari gemi kaynaklı diğer emisyon türleri olan

sülfür oksitler (SO<sub>x</sub>) ve azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ile ilgili uluslararası kuralların mevcudiyetine karşın gemi dizel makinelerinden salınan karbondioksit ile ilgili kuralların IMO, MEPC 62’de belirtilen EEDI ile 01.01.2013 tarihi itibarıyla hayata girmesi ve alınacak yasal önlemlerin neler olduğu ve bu konuda yapılması gerekli eylemlerin neler olduğunu göz önüne serilmiştir (IMO, MEPC 62, 2011).

Başlıca gemi egsoz gazı türleri ve emisyonlarının neler olduğu belirtilerek ticari gemilerin karbondioksit emisyon değerlerinin toplam iklim değişikliği içerisindeki payı ile gelecekteki emisyon değer senaryoları da yine ikinci bölüm içerisinde belirtilmiştir. Ayrıca gemi kaynaklı karbondioksit emisyonlarının iklim değişikliğine etkilerinin yanı sıra diğer taşımacılık modları ile kıyaslanması ve dünyada en fazla sera gazı üreten ülkeler ve deniz ticaret filoları ile uluslararası deniz taşımacılığı toplam karbondioksit emisyon senaryoları açıklanmıştır. Hiç şüphe yoktur ki günümüzde uluslararası deniz taşımacılığı bir ülke olarak kabul edilseydi, dünya sera gazı emisyonları sırasında ilk on ülke arasında yaklaşık altıncı sırada, Japonya ile Almanya arasında bir ülke olacaktı (IPCC, 2007).

IPCC raporları, 2020 yılına kadar her bir ülkenin emisyon değerlerinin düşürülmesi yönünde yapılan çalışmalara paralel olarak ticari gemi kaynaklı karbondioksit emisyonlarının da düşürülmesi gerekliliği ortaya koymaktadır. Bu denli yüksek ve önemli değerlere sahip olan deniz taşımacılığındaki emisyonlar ile ilgili mevcut kurallara bir bakış açısı da yine bu ikinci bölümde getirilmiştir. Marpol Ek VI’daki yaptırımlarının neler olduğu, diğer konvansiyonlar ve üzerinde çalışılan yeni yaptırımların da uygulamada Kyoto Ek I ülkelerine kayıtlı olan Dünya ticari gemi filosunun sadece %35’i kadar büyük olduğunu ve geri kalan filonun bu yaptırımlara uymadan devam etmesinin önünün nasıl kapatılabileceğine değinilmiştir. Tezin çalışma alanı sadece deniz ticaret filosunun karbondioksit emisyonları ile sınırlandırılmış olup, küresel ısınmaya sebep olan gemi kaynaklı diğer sera gazı salımlarını ve bunların yarattığı çevre tahribatlarını içermemektedir. Bu amaçla IMO (International Maritime Organization), IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), MARPOL (Marine Pollution 73/78), UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) gibi uluslararası organizasyonlar ve protokoller de kapsam içerisinde tutulmuştur.

2009 yılında Birleşmiş Milletler Uluslararası Denizcilik Örgütü’ndeki uzmanlar tarafından yapılan çalışma sonucundaki veriler ışığında, 2007 yılında uluslararası deniz taşımacılığının 870 milyon ton karbondioksit değeri ile toplam küresel karbondioksit



emisyonun %2,7'sinden sorumlu olduğu ortaya konulmuştur (IPCC, 2007). Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde de 2000 yılındaki değerin de 800 milyon ton (800 Tg CO<sub>2</sub>) [1 Tg = 10<sup>12</sup> g = 1 milyon metrik ton = 1 Mt] karbondioksit olduğu bilinmektedir (Eyring v.d., 2007\*). 1996 yılında ise deniz taşımacılığı kaynaklı karbondioksit emisyonu, toplam küresel karbondioksit emisyonlarının %1,8'i idi (Friedrich v.d., 2007).

Bunun yanı sıra MARPOL 73/78 Ek VI'da gemi kaynaklı Sülfür oksitlerin (SO<sub>x</sub>) ve azot oksitlerin (NO<sub>x</sub>) emisyonları hakkında yaptırımlar olmasına karşın gemi dizel makinelerinden salınan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonları için yaptırımlar yetersizdir. Ayrıca 2010 yılı itibariyle dünya deniz ticaret filosunun sadece %35'i Kyoto Ek I'i kabul eden ülkelerindedir ki mevcut düzenlemelerin uygulama alanları ile emisyonların düşürülüp tahribatın kontrol altına alınması için alternatif yolların uygulamaya konulmasında bağlayıcılığın tüm deniz ticaret filosu tarafından uygulanması ve uyulması gerekmektedir. 1948 yılında kurulmuş olan merkezi Londra'da bulunan Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) kendisine üye 169 ülke ve 3 ortak üye ülkeler olan Hong Kong, Faroe adaları ve Macao ile hizmet vermektedir. Gemilerden kaynaklanan hava kirliliğinin önlenmesi için IMO tarafından oluşturulan MARPOL Ek VI yönetmeliğine yine 2010 yılı itibariyle 65 üye ülke onaylamıştır. Bu üye ülkeler de dünya deniz ticaret filosunun gros tonaj olarak yaklaşık %89,82'sini oluşturmaktadır (Hughes, 2011). Karıştırılmaması gereken Kyoto Protokolü Ek I'e üye olan ülkelerin bayrak devleti olduğu deniz ticaret filosunun % 35'i olmasına karşın Kyoto Ek I'e üye olmayıp ancak Marpol Ek 6'yı kabul etmiş filo toplam deniz taşımacılığı filosunun %89,82'sidir. Sülfür oksit ve azot oksit emisyonları kontrol altına alınmış olması yanına CO<sub>2</sub> emisyonu ile ilgili uygulamalardan olan Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi 1 Ocak 2013 tarihinde zorunlu uygulama alanı açılmıştır (IMO, MEPC 62, 2011).

Ticari gemiler kaynaklı karbondioksit emisyonlarının çevreye nasıl ve ne şekilde etkisi olduğunu, global çevreye olan tahribat analizine, insan düşünce sistematığı içerisinde sadece rakamlar ile ne kadar emisyon değeri meydana getirdiğine değil, emisyon değerlerinin de nasıl bir çevre kirliliğine ve buna bağlı olarak küresel ısınma başta olmak üzere sebep olduğu etkilerine ışık tutmaya çalışılmıştır. En başta bir yönetim bilimi tezi olarak ele alınan bu konuda; yasal düzenlemeler, teşvik ve cezalar ile teknolojik gelişmeleri sentez tablolar ile fiziki bir

---

\* İlgili kaynağın 86. ve 92. sayfalarından yararlanılmıştır.

altyapı çerçevesinde etkilerin metodolojisi ile azaltıcı önlemler ve alternatif modelleri sunmaya çalışılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde ayrıca gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarını düzenleyen faktörlerden bahsedilmiş, IMO ve MARPOL'un yaptırımlarının neler olduğundan bahsedilmiştir. Emisyon kontrol alanları ve sera gazı fonu yanında teknik ve operasyonel önlemlerin neler oldukları açıklanmaya çalışılmıştır. Alternatif yakıtlar, rüzgar destekli sevk ve yakıt hücreleri gibi başlıca teknik önlemlerin yanında, düşük hızda seyir, geminin trim ve draftının ayarlanması, hava koşullarına göre rotasyon ile verimliliğin artırılması gibi operasyonel önlemlerden bahsedilmiştir. Ayrıca gemilerden salınan karbondioksit emisyonlarının düşürülmesine yönelik yakıt tüketimini optimize etmeye yarar yeni uygulamaların başında gelen ve 17 ağustos 2009 tarihinde IMO tarafından sirküle edilip 1 ocak 2013 itibariyle yeni inşa gemilerde uygulanan Enerji Verimliliği Dizayn İndeksine yer verilmiştir. EEDI'nin ne olduğu, nasıl ve ne şekilde uygulanacağı ile EEDI formülüne bağlı yapılan çalışmalar ile referans olarak 150.000 DWT'luk dökme yük gemisinin ilave mekanik ve elektrikli enerji verimliliği teknolojileri kullanılması ile kullanılmaması senaryoların sonuçlarına yer verilmiştir.

Fosil yakıtlarının da hızla tükenmeye gittiği dünyamızda deniz taşımacılığında birim yük taşımanın çevresel maliyetinin ne olduğunu ve önümüzdeki yıllarda yeni alternatif modeller ile nasıl değiştirilebileceğine dair karbondioksit emisyonları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada ticari gemilerin karbondioksit emisyon değerlerinin çevreye olan etkilerini geniş bir bakış açısı ile irdelenmek üzere enerji verimliliği dizayn indeksi, yakıt ve emisyon hesapları gibi metodolojik adımlar ile datalar araştırılmıştır. Bu araştırmaların sonucunda gelecek yıllardaki karbondioksit emisyon değerlerindeki artışı kontrol altına alabilme imkanları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Gemi yakıtları ve makineleri, yeni gemi dizaynları, limandaki operasyonların iyileştirilmesi ile yeşil gemi dizaynı ve yeşil taşımacılık kavramlarından fayda sağlamaya yönelik çalışmalar ile emisyon kotaları ve bunların takibi üzerine metodlar eşliğinde alternatif modeller üzerine analizler araştırılmıştır.

IMO'nun yürürlüğe koyduğu ve 1 Ocak 2013 sonrasında yeni inşa edilecek gemiler için zorunlu hale gelen uygulaması olan Enerji Verimliliği dizayn İndeksi (EEDI) ile kurulan hedef programlama modelleri olarak iki gerçek senaryo değerlendirilmiştir. 150.000 DWT'luk dökme yük gemisinin EEDI hesaplamasında önce ilave mekanik veya elektrikli enerji

verimliliği teknolojileri olmadan ve ikinci senaryoda da bu ilave teknolojiler yardımı ile daha enerji verimli olarak sonuçlar çıkartılmıştır. Yapılan yaklaşım ile enerji verimliliğinin artırılmasına olanak sağlandıkça karbondioksit emisyonlarının da düşürülmesine örnek modelleme yapılmaya çalışılmıştır. Daha düşük EEDI değerlerinin daha enerji verimli gemiler olarak daha az emisyon meydana getiren gemiler olarak modellenmesi analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında teknik ve operasyonel önlemlerin yanı sıra pazar temelli önlemlere bakış olarak da farklı gemi tiplerinin farklı seyir süratlerinde meydana getirdikleri karbondioksit emisyonları ile toplam gemi taşıma kapasitelerinde ve filo yönetiminde optimizasyon gibi enerji verimliliği ve ekolojik hız konuları içermektedir.

Tezin üçüncü bölümünde; problemin çözümü için iki farklı analiz yapılarak çözüme yol gösterilmeye çalışılmıştır. Farklı tip ve boyutlardaki gemilerin seyir süratleri değişimi analizi ve buna bağlı olarak iki nokta arasındaki taşınacak olan aynı miktar kargonun taşınması için gerekli servise sokulacak ilave gemi veya gemilerin meydana getirdikleri emisyonun analizi ile daha yavaş seyir süratleri neticesinde, servise giren ilave gemiler toplam filo yönetiminin optimum düzeye çekilmesi için gemi günlük kira ve operasyonel maliyetler içinde yakıt bedeli miktarının değişimlerinin gemi işletmeciliği yönünden analizi yapılmıştır. Kurulan modellerde Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) ile ticari gemiler içerisinde en çok karbondioksit emisyonunu meydana getiren 4400 TEU taşıma kapasitesi üzerindeki Post Panamax sınıfı Konteyner gemileri, 3000-4400 TEU taşıma kapasitesi arasındaki Panamax sınıfı konteyner gemileri, 100.000 DWT üzeri Aframax Tanker ve 70.000 DWT'luk Panamax Dökme yük gemileri incelenmiştir. Duyarlılık analizi ile farklı seyir hızlarındaki senaryolar üzerinden toplam salınan CO<sub>2</sub> emisyonu üzerine çalışmalar yapılmış ve hedef değerlerdeki değişikliklerin amaçlara ulaşma düzeyini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Duyarlılık analizi, doğrusal programlamadaki en önemli konulardan bir tanesidir. Pek çok doğrusal programlama modelinde parametreler yani amaç fonksiyonundaki katsayılar, sağ taraf değerleri veya diğer teknik katsayılar belli durumlara göre değişebilmektedir. Duyarlılık analizi ile bu değişiklikler olduğunda modelin sonuçlarında nasıl değişiklikler olduğu, başka bir deyişle en iyi sonucun parametrelerine ne kadar bağımlı olduğu izlenmiştir. Böylece belli parametrelerdeki değişikliklerin orijinal problemin sonuçlarında nasıl bir değişikliğe neden olduğu saptanabilmektedir. Bu kapsamda kurulan modelin belli parametrelerine olan bağımlılığı duyarlılık analizi ile detaylıca incelenmiştir. Duyarlılık analizi sonuçları,

oluşturulan senaryo ve varsayımlara göre değişiklik göstermekte olduğundan kurulan modelleme ile problemin çözümüne uygun yaklaşımları farklı açılardan ortaya koymayı amaçlamıştır. Gemi seyir hızının sırasıyla %5, %10, %15, %20, %25, %30, %40, %45, %50 değiştirilmesi ile toplam yakıt sarfiyatının nasıl değiştiği üç farklı tip ve her bir gemi tipine bağlı üç ayrı tonajdaki gemiler ayrı ayrı modellenmesi yapılarak incelenmiştir. Analiz edilen veriler ile dış ticarete konu olan malların toplam kapasitelerin taşınması için gerekli ilave gemilerin servise sokulması durumunda kurulan modele nasıl cevap vereceği bu defa da bunlara ilave bir duyarlılık analizi ile modellenmeye çalışılmıştır. Gemi işletmecisinin günlük yakıt maliyetleri ile günlük gemi kiralama değerleri arasındaki ilişkiye dayanan ve yakıt fiyatlarının değişikliğini karbondioksit emisyonlarına etkilerinin piyasa temelli incelemesine olanak verecek şekilde yakıt maliyetlerinin toplam günlük gemi işletme maliyetleri içerisinde yüzde değerlerinin değiştirilerek farklı senaryolar altında ne gibi sonuçlar vereceği analizi de araştırılmıştır.

Tezin son bölümünde de sonuçlara ve tartışmalara yer verilmiştir. Ticari gemilerin karbondioksit emisyon değerlerini azaltıcı önlemler olarak; EEDI'nin optimizasyon modellemeleri ile yeni teknolojilerin kullanılmaya başlanıp bunların uluslararası standartlarda doğru parametreler ile ölçülebilir ve uygulanabilir olmasının gerekliliği belirtmeye çalışılmıştır. Hızlı giden gemiler ile yavaş giden gemilerin fizibiliteleri sonucunda karbondioksit salımları, büyük tonajlı gemiler ile küçük tonajlı gemilerin aynı deniz koşullarında ve farklı hızlarda göstermiş olduğu karbondioksit emisyon değerlerinin ne tür sonuçlara yol açtığı ile bunların farklı bir düşünce sistematığı ile yeniden grafikler ve tablolara aktarılması sonucu global çevreye olan etkilerin değerlendirilmesine yer verilmiştir.

## **1.2. Problemin Tanımı**

Globalleşen dünyada, artan sanayileşme ve tüketici talepleri, dış ticaretin sürekli artan bir grafik çizmesine neden olmaktadır. Her gün binlerce gemi, kıtalararası seyahat ederek, limanlar arasında başta hammadde, sanayi ve tarımsal ürünler ile petrol ürünleri olmak üzere aklımıza gelen her türlü malın taşınması ile küresel ticaretin sürekli artmasında kilit rol oynamaktadırlar.

Deniz taşımacılığı özellikle okyanus aşırı taşımacılık yapan gemiler vasıtasıyla küresel ekonominin gelişmesini de mümkün kılmaktadır. Toplam dünya ticaretinin tonaj ve hacim olarak %90'ının taşındığı deniz yolu taşımacılığı bu hali ile en büyük sanayilerin de başında gelmektedir. 2008 yılı dünya deniz ticaret hacmi 8,2 milyar ton olarak gerçekleşmiş, 2009 yılında ise küresel kriz nedeni ile %4.5 bir düşüş ile 7,8 milyar ton mal taşınmıştır (BIMCO, 2009). 2010 yılında ise dünya deniz ticaret filosu 1,23 milyar DWT'a, dünya deniz ticaret hacmi de 8,17 milyar tona ulaşmış olup, dünya deniz ticaretinden de yılda yaklaşık 400 milyar USD gelir elde edildiği tahmin edilmektedir (DTGMGSİDB, 2010). 2012 yılı başında dünya filosundaki 300 GT ve üzeri toplam gemi sayısı 48.197 adede ulaşırken, toplam gemi tonajı 1,46 milyar DWT ve toplam konteyner filo kapasitesi 15,3 milyon TEU'ya ulaşmıştır (DTGM, 2012). 2012 yılı başı itibariyle DWT tonaj bazında toplam dünya deniz ticaret filosunun yaklaşık %70'i 10 ülke tarafından kontrol edilmektedir. Bu kapsamda Yunanistan 217 milyon DWT (%16,4) ile ilk sırada, 210 milyon DWT (%15,8) ile Japonya ikinci ve 125 milyon DWT (9,5) ile Almanya üçüncü sırada yer almaktadır. Ülkemiz 22,5 milyon DWT'luk (1.000 GRT ve üzeri gemilerden oluşan Türk sahipli filo) filo kapasitesi ile dünyada 15. sırada yer almaktadır (DTGM, 2012).

Düşük maliyetli, hızlı ve etkin yöntemleri dünya piyasasına sunan deniz taşımacılığı gerek teknolojik gelişmeler, gerekse uluslararası denizcilik kuralları ile sürekli yenilenmekte ve gelişmektedir. Deniz ticareti ve taşımacılığına olan talep dünya ekonomisine doğrudan bağlıdır. Yaşanan ekonomik krizlere bağlı olarak deniz taşımacılığında da daralmalar söz konusu olsa da dünya ekonomisi büyümeye devam etmektedir ve küresel ticaretin mevcut kalıplarında bu talebe cevap verebilmek adına da gemilere olan ihtiyaç da düzenli olarak artmaktadır.

Uluslararası deniz taşımacılığı, global düzenlemeler ile verimli çalışan bir ekonomi olarak uluslararası kurallar çerçevesinde düzenlenir. Örneğin Avustralya'dan yüklenen bir gemi Amerika'ya varışına kadar olan seyahatinde; inşasından navigasyonuna ve yaktığı fosil yakıtının emisyon değerlerine kadar bir dizi yaptırımlar ile düzenlenmektedir. Son elli yılı aşkın süredir de bu düzenlemeler Birleşmiş Milletler Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından yapılmaktadır. Gemi kaynaklı emisyonlar ülkelerin karasularının bittiği bölgelerde sona ermeyip, geminin rotası boyunca kat ettiği tüm güzergâh boyunca devam etmektedir. Buna geminin inşa edildiği, tamir görebileceği diğer üçüncü ülke alanları da dahil edildiğinde

kolaylıkla görülecektir ki sadece ulusal kararlar ile konunun çözümü mümkün gözükmemektedir. Emisyonlar lokal çevreye etki ettikleri gibi aynı zamanda bölgesel ve global çevreye de etki ederler ve bununla da kalmayıp atmosfer yardımı ile uzak mesafelere örneğin denizlerden karalara veya bir kıtadan diğerine taşınıp etki edebilirler (Deniz v.d., 2008).

Kıyı alanlarına etki eden emisyonlar insan sağlığı üzerine direkt etki ederler ve bu çevre kirliliğinin yerel olarak ölçülmesi de mümkündür. Kanal ve boğaz girişleri, önemli su yolları, deniz kıyısındaki büyük şehirlerin giriş ve çıkışlarında alınan ölçümler ile gemi dizel makinelerden salınan sülfür oksitler (SOx) veya azot oksitler (NOx) gibi insan sağlığına tehlikeli gazların emisyonları kontrol altında tutulmaya ve insan sağlığı ile çevreye olan etkilerinin düzenlenmesi; yürürlükteki kurallar, yaptırımlar ve cezaları ile gerçekleşmektedir. Yapılan araştırmalar ile dünyanın farklı yerlerindeki SOx ve NOx emisyonları ölçülebilmekte ve bu değerlerin yıllar içerisindeki değişimleri de izlenerek gelecekteki değerler ile istenilen değerler arasında operasyonel yaptırımlar ve bunların kontrolü ile sonuç alınmasının muhtemel olduğu ortaya konulmuştur. Ancak uluslararası denizcilik kurallarını koyan ve uygulayan örgüt olan IMO tarafından MARPOL Ek VI'da halen SOx ve NOx emisyonları için olan standartları 2005 yılı itibariyle uygulamaya alınmasına karşın gemi dizel makineleri kaynaklı PM, CO ve VOC emisyonları için standartlar getirilmemiştir. CO<sub>2</sub> ile ilgili standartların ilki de Kyoto Protokülünden bu yana ilk defa global bir sektör olarak deniz taşımacılığında yürürlüğe alınan EEDI, EEOI ve SEEMP'dir denebilir.

Gemilerden kaynaklanan bacagazı emisyonları IMO'nun Deniz Kirliliği Sözleşmesi MARPOL 73/78 EK VI kapsamında uluslararası boyutta düzenlenmektedir. Bu kapsam gemiler için Sülfür oksit Emisyon Kontrol Alanı (SECA) ve azot oksit emisyon standartlarını içermektedir. Gemi dizel makinelerinden salınan CO<sub>2</sub>, VOC, CO, PM'ler de alınması gerekli ilave tedbirlerin başında aslında artan yakıt maliyetleri dolayısıyla daha az enerji harcanması yönünde optimize edilen daha yüksek enerji verimliliğine sahip makinelerin kullanılması gelmektedir. Uluslararası deniz ticaret filosunun yakıt tüketimi ve emisyonları üzerine istatistiki bir yaklaşım kullanılarak yapılan çalışma neticesinde toplam küresel antropojenik emisyonların %2,7'si CO<sub>2</sub>, %11'i NOx ve %2'si SOx olduğu belirtilmiştir (Endresen v.d., 2003).

2007 yılında Fransa'nın başkenti Paris'te yapılan Hükümetlerarası İklim Değişiklikleri Paneli'nde hazırlanan Birleşmiş Milletler raporunda belirtildiği üzere, "BM raporuna göre 2100

yılında dünya daha sıcak bir yer olacak" denilerek, artan sıcaklıklar ve olası etkileri aşağıdaki gibi sıralanmıştır (IPCC, 2007).

- +2.4 derece: Su sıkıntısı başlayıp Kuzey Amerika'da kum fırtınaları tarımcılığı yok edebilecek. Deniz seviyeleri yükselecek ve Peru'da 10 milyon kişi su sıkıntısı çekecek. Mercan kayalıkları yok olacak. Gezegendeki canlı türlerinin yüzde 30'u yok olma tehlikesiyle karşılaşacak.
- +5.4 derece: Denizler 5 m. yükselecek ve deniz seviyesi ortalaması 70 metre olacak. Dünyanın yiyecek stokları tükenecek.
- +6.4 derece: Göçler başlayacak. Yüz milyonlarca insan uygun iklim koşullarında yaşamak umuduyla göç yollarında düşecek (IPCC, 2007).

Küresel ısınmayı azaltmak için ticari gemilerden salınan karbondioksit emisyonları acilen azaltılmalıdır. IMO'nun gemi makinelerinden salınan sülfür oksitler için kuralları net olarak belirlemesine karşın karbondioksit ile ilgili kurallar henüz gelişim aşamasındadır. Buradaki başlıca etken sülfür oksit ve azot oksitler ile ilgili kuralların yakın çevreye yani kıyı bölgelerde yaşayan insanların sağlıkları üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı konulması, ancak karbondioksit gibi global çevreye etkisi olan emisyonları ile ilgili kuralların bu önemle öncelikli olarak konulmamasıdır. Oysa ki sülfür dioksitler atmosferde yaklaşık 10 gün süre ile kaldığı ve küresel iklimin de buna onlarca yılda cevap verip onarmasına karşın karbondioksit yüzlerce yılda kendini onarıp atmosfer eski haline gelmektedir. Atmosferdeki sülfür yüzdesi düşük olduğundan yağmurlardaki su ile birleşen sülfür dioksit, sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) olarak yeryüzüne iner. Ancak atmosferdeki  $CO_2$  oranı sülfüre nazaran çok daha fazla olduğundan atmosferdeki  $CO_2$  miktarını yeryüzüne karbonik asit ( $H_2CO_3$ ) olarak indirmek için çok çok daha fazla yağmura ve kara ihtiyaç vardır ki bu bağlamda atmosferden temizlenmesi zamanı olarak yüzlerce yıl denilmektedir. Aslında karbondioksitin bu şekilde bertarafının olduğu düşünülürse sülfür oksit ve azot oksit ile ilgili konulan kurallardan çok daha önceki yıllarda önlemler alınmalı idi zira atmosferin kendini onarma süresi bakımından karbondioksit çok daha uzun yıllara yayılmaktadır.

Yapılan son araştırmaların ışığında gemilerden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının azaltılmasının gerekliliği başlıca üç temel sorun ile önem arz eder.

- Bir bölgeden geçen geminin bacasından salınan karbondioksitin uzun menzillere yayılması ve diğer bölgelere de bu kirliliğin taşınması
- Karbondioksit emisyonlarının küresel ısınma ve iklim değişikliğine ve bu nedenle de insan sağlığı ve yaşamına olan etkileri
- Karbondioksit emisyonlarını azaltıcı tedbirlerin gemi makinelerindeki verimliliği arttıracak olan tedbirler olması da taşımacılıktaki maliyetleri azaltmaya yönelik yakıt tasarrufu da sağlamaktadır.

Bilinmesi gereken şudur ki gemi makineleri kaynaklı karbondioksit emisyonları yakın çevreye değil, global çevreye etki ederler. Ticari gemilerin geçtiği su yollarında ve bunlara yakın çevrelerinde yaşayan insanlara gözle görülür bir şekilde etki etmeyip, küresel çevre sorunlarına neden olmaktadır.

Küresel ısınma probleminin başlıca nedeni olan antropojenik sera gazı emisyonlarının yüksek değerlerde olması ve bunların başında gelen karbondioksit emisyonlarının da gerek ölçülmesi gerekse yasal mevzuatlarla düzenlenmesi çok önemlidir. Tezin yazılmasına sebep olan altı temel problem özetle şu şekildedir:

- 1) Birleşmiş Milletler Uluslararası Denizcilik Örgütü IMO'nun 2000 yılında yaptığı MEPC 45/8 toplantısında belirtildiği üzere 1996 yılında toplam gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının 420 milyon ton ile toplam dünya CO<sub>2</sub> emisyonlarının %1,8'den sorumlu olduğu raporlanmıştır (IMO, COP15, 2009). 2009 yılında Birleşmiş Milletler Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) bilir kişi raporlarına göre 2007 yılında toplam dünya karbondioksit emisyonlarının %2,7'si diğer bir deyişle 870 milyon ton CO<sub>2</sub> uluslararası denizyolu taşımacılığında kaynaklanmaktadır. Tehdit şudur ki gemi kaynaklı emisyonlar sürekli artmakta ve 2020 yılında, uluslararası denizyolu taşımacılığının artan küresel ticaret ve buna bağlı gemi sayısı ile %6'lık bir filo ve taşınan mal kapasite artışı beklenmesine müteakip salınacak karbondioksit emisyonunun da 1.475 milyon ton CO<sub>2</sub> olması beklenmektedir. Bu da 2020 yılı için toplam dünya karbondioksit emisyonları içerisinde %6'lık bir pay olarak öngörülmektedir (Faber v.d., 2010). Yine başka bir kaynaktan öngörülen rakamlara bakacak olursak uluslararası denizyolu taşımacılığı kaynaklı 2011 yılı toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 1.118 milyon ton CO<sub>2</sub> seviyesine yükselmiştir ve 2015 yılında 1400 milyon



ton 2019 yılında ise hiçbir önlem alınmassa 1565 milyon ton CO<sub>2</sub> seviyesine yükselecektir (Deltamarine, 2011). EEDI göre inşa edilecek gemiler ile bu oranın minimum %10 seviyesinde düşürülebileceği hedeflenmektedir.

- 2) Gerek 1997 Kyoto ve 2007 IPCC gerek ise diğer konvansiyonlar önümüzdeki yıllarda ülkelerin ve buna bağlı sektörlerin oluşturduğu karbondioksit emisyon değerlerinin günümüz değerlerinden daha düşük hatta 1990 yılındaki değerlerin de altına çekilmesini ve küresel ısınmanın bertarafı için bunun gerekliliğine ışık tutmaktadırlar. Uluslararası denizyolu taşımacılığı gerek mevzuat gerek ise doğası gereği pek çok ulusal veya uluslararası protokollere aykırı hareket edebilmektedir. Özellikle diğer sektörlerdeki karbondioksit oranlarının düzenlenmesi ve düşürülmesinin yanında yaptırımların eksik kalacağı ticari gemi kaynaklı karbondioksit emisyonları önümüzdeki yıllarda ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmadan günümüzdeki değerleri ile kontrol altına alınmalıdır.
- 3) Yakın çevreye etki eden gemi kaynaklı SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları için MARPOL Ek IV'da yaptırımlar mevcut ama gemi dizel makinelerinden salınan CO<sub>2</sub> emisyonları için olan yaptırımlar halen düzenlenme aşamasındadır ve ilk uygulama olan EEDI 1 Ocak 2013 tarihi itibarıyla getirilmiştir.
- 4) Uluslararası deniz taşımacılığında CO<sub>2</sub> emisyonlarını düzenlemeye yarayan kuralların konulmasında uluslararası geçerliliği olması ve tüm hükümetler tarafından aynı şekilde uygulamaya alınması gerekçesiyle kural koyucu ve uygulayıcı örgüt olan Birleşmiş Milletler Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından yürürlüğe alınması gereklidir. Kyoto'ya ve MARPOL Ek 6'ya taraf olmayan ülkelerin çoğunluğu ve bu taraf olmayan ülkelerin de çıkar amaçlı kar sağlamak adına yaptırımları uygulamadan ucuz maliyetler ile pazarda taşımaya açık olmaları.
- 5) Denizcilik sektörü ve gemi taşımacılığı mevcutta taşımacılığın en yakıt verimli ve yeşil modu olarak edilmesinin yanında 2009 yılında yapılan İkinci IMO Sera Gazı Çalışması, mevcut teknolojilerin kullanılması, geliştirilmiş gemi gövde dizaynı, daha verimli motorlar ve tahrik sistemleri, farklı içerikli yakıt türleri ve hatta daha büyük gemilerin kullanılması yolu ile daha az karbondioksit emisyonu için ciddi bir potansiyel olduğunu ortaya koymuştur (IMO, MEPC 59, 2009\*). Deniz taşımacılığı kaynaklı karbondioksit emisyonları belli önlem ve tedbirler ile %60 oranında azaltılabilir (Psaraftis ve Kontovas, 2009).

- 6) Artan yakıt maliyetleri ile birlikte artan gemicilik operasyonel giderlerinin düşürülmesi yönünde yapılacak taasaruflar ile gemi operasyonel maliyetini azaltan alternatif modeller beraberinde gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı tedbirleri de içermektedir. Bu bağlamda daha az yakıt sarfiyatına bağlı olarak daha az salınan CO<sub>2</sub> emisyon değerlerine ulaşılabilinmektedir.

Uluslararası deniz taşımacılığı kaynaklı emisyon değerlerinin 2050 yılında, 2007 yılındaki değerinin yaklaşık %50 civarında fazlası olacağı öngörülmektedir (McCollum v.d., 2010\*\*). IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007’de alınan kararlar doğrultusunda tüm sektörler genelinde 2050 yılına kadar global emisyonların %50 ile %80 arasında azaltılarak 1990 yılındaki seviyelere indirilmesi gerekmektedir. (IPCC, 2007). Uluslararası deniz taşımacılığı, toplam sera gazları emisyonlarının %2,7’sinde sorumlu olmasına rağmen hızlı artan sektörlerden biridir. Sera gazlarındaki ve özellikle karbondioksit emisyonlarını azaltılması konusunda mevcut değerlerin de kontrol altına alınması önemlidir.

### **1.3. Problemin Yapılandırılması**

Problemin tanımlanması: Problem, yapılan literatür taraması neticesinde verilen detay süreç kapsamında “Gemi kaynaklı CO<sub>2</sub>’nin emisyonunun yüksek değerlere çıkması ve ticari gemilerde CO<sub>2</sub> emisyon miktarının azaltılması” olarak tanımlanmıştır.

Stratejilerin belirlenmesi: Stratejiler, yapılan literatür taraması neticesinde belirlenmiştir. Çalışma kapsamında denizyolu taşımacılığında kullanılabilecek CO<sub>2</sub> emisyonu azaltıcı tedbirler olan, EEDI (Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi) ile CO<sub>2</sub> emisyonunda en önemli tedbirlerden birisi olan seyir süratının düşürülmesi ve seyir süratının düşürülmesi ile toplam filo yönetimi stratejileri belirlenmiştir. Kurulacak modeller ile de yapılan analizler eşliğinde problemin çözümüne farklı yaklaşım biçimleri ortaya konulmuştur.

Karar modelinin kurulması: Karar model olarak IMO’nun MEPC dahilinde 11-15 Temmuz 2011 tarihinde yürürlüğe aldığı ve 1 Ocak 2013 tarihinde yeni inşa edilecek gemiler için zorunlu hale getirdiği Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi formülü farklı model gemi tipleri üzerinde

---

\* İlgili kaynağın 1. ve 9. sayfaları arasından yararlanılmıştır.

\*\* İlgili kaynağın 1. ve 2. sayfalarından yararlanılmıştır.

kullanılacaktır. Ayrıca gemi seyir süratinin azaltılması ile taşıma yapılacak iki nokta arasında, toplam kapasitenin nakli için servise ne kadar ilave gemi konulması gerektiği ile bunun ne ölçüde gerçekte olası olduğu analiz edilmiştir. Amaç ise Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi formülünü farklı model gemi tipleri üzerinde kullanarak optimum verimli enerji kullanımını sağlayan gemi modellerinin ortaya konulması denizyolu taşımacılığında yenilenebilir yakıtların kullanımı yaygınlaştırmak, fosil yakıtlarının kullanımını azaltmak, gemi seyir süratinin düşürülmesi ile yakıt maliyetini azaltmak ve salınan CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltarak daha çevreci uygulamaların hayata geçirilmesini sağlamaktır. Daha az CO<sub>2</sub> emisyonu için daha düşük EEDI değerlerine ulaşılmasında en etkili parametrenin gemi seyir hızı olması yaklaşımı ile problemin çözümüne de farklı gemilerin farklı hızlarda meydana getirdikleri emisyonların azaltılmasına yönelik karar modeller kurulmuştur.

Duyarlılık analizi yapılması: Duyarlılık analizi ile farklı senaryolar üzerinden çalışmalar yapılmış ve hedef değerlerdeki değişikliklerin amaçlara ulaşma düzeyini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Detaylı sonuçlar ilerleyen bölümlerde verilmektedir. Analiz çalışmasında kurulan modelde üç farklı gemi tipinde seyir süratinin sırasıyla %5, %10, %15, %20, %25, %30, %40, %45, %50 düşürülmesi ile farklı senaryolar değerlendirilmiştir ve seçilen gemi tipleri tanker, dökme yük ve konteyner gemilerinin hız spektrumları ile yıllık toplam taşınan kapasitenin nakli sırasında salınan karbondioksit miktarları ve yakıt maliyetleri ile filo yönetimi üzerine optimizasyon çalışması yapılmıştır.

İlk olarak gemi seyir hızının değiştirilmesi üzerine yapılacak olan analizde geminin yıllık yaptığı seferler toplamında, çalıştığı rotadaki taşınması beklenen toplam ticaret hacmini daha düşük hızlarda seferler düzenlemesinin yaratacağı sonuçlara bakılacaktır. Bu bağlamda 150.000 DWT'luk dökme yük gemisinde seyir süratinin %5 ve %10 düşürülmesi ile toplam yıllık salınan CO<sub>2</sub> miktarının ne ölçüde azaldığının modellenmesi yapılarak, analiz edilen veriler ile belirli zaman aralığında toplam kapasitenin taşınması için gerekli, servise sokulacak ilave gemilerin etkisinin ve doğuracağı sonuçlar da değerlendirilmiştir. Ayrıca farklı gemiler üzerinde analizler yapılmak üzere deniz ticaret filosunun ortalama değerleri kaynak verisi olarak alınıp farklı rotalar üzerinde benzer şekilde gemi hızlarının düşürülmesi neticesinde servise sokulacak olan ilave gemilerin yaratacağı CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin, gemilerin seyir süratinin yavaşlatılmadan ilk seyir hızı hali ile hızlı gitmesi arasındaki değerler karşılaştırılacaktır.

İkinci olarak gemi seyir hızının sırasıyla %5, %10, %15, %20, %25, %30, %40, %45, %50 değiştirilmesi ile toplam yakıt sarfiyatının nasıl değiştiği üç farklı tip (Dökme Yük, Tanker ve Konteyner) ve her bir gemi tipine bağlı üç ayrı tonajdaki gemiler için ayrı ayrı modellenmesi yapılacaktır. İncelenen değerler nazarında yavaş seyir sürati ile düşürülecek karbondioksit emisyon değerlerinin bu defa da gemi işletmecisinin günlük yakıt maliyetleri ile günlük gemi kiralama değerleri arasındaki sonuçları analiz edilecektir.

Son olarak gemi işletmecisi bakış açısı ile; günlük yakıt maliyetlerinin günlük gemi kiralama maliyetleri içerisindeki yüzdesel oranlarını değiştirerek farklı senaryolar altındaki etkilerinin piyasa temelli analizinin modellenmesi yapılacaktır. Günümüzde yakıt fiyatları ile bundan 5 yıl önceki yakıt değerleri farklı olduğu gibi, ileriki yıllarda da yakıt değerlerinin yükselmesi veya düşmesinin karbondioksit emisyonları etkilerinin piyasa temelli incelemesine olanak verecek şekilde yakıt maliyetlerinin toplam günlük gemi işletme maliyetleri içerisinde yüzde değerlerinin değiştirerek farklı senaryolar altında ne gibi sonuçlar vereceği analiz edilecektir.

Sonuçların değerlendirilmesi: Ticari gemi kaynaklı karbondioksit emisyonlarının global çevreye olan etkilerinde gemi seyir hızının değiştirilmesi ile filo yönetimi optimizasyonuna bağlı olarak gemi kaynaklı karbondioksit emisyonlarının düşürülmesi yaklaşımı esas alınmış ve kurulan model metodlar yardımı ile daha yavaş seyreden gemilerin daha az CO<sub>2</sub> emisyon meydana getirmesi sonucu ile probleme çözüm aranmıştır.

## **II. BUGÜNE KADAR YAPILAN ÇALIŞMALAR NELERDİR?**

### **2.1. Dünya Deniz Taşımacılığı ve CO<sub>2</sub> Emisyonları**

#### **2.1.1. Dünya Taşımacılığında Ticari Gemilerin Yeri**

Her gün binlerce gemi, dünya limanları arasında endüstriyel, tarımsal, petrol ve çeşitli hammadde ve tüketim mallarını taşımaktadırlar. Geçtiğimiz son yirmi yılda da dünya deniz ticareti hızlı bir şekilde büyümesine devam ederek bugün global ekonominin başrol oyuncularından birisi durumuna gelmiştir. Taşımacılığın tüm alanlarında artan araç sayısı, hızlı trenler, uçaklar, kamyonlar, raylı sistemler ve gemiler de bu taşımacılığın başrol oyuncularındır. Günümüzde hızla önem kazanan yeni lojistik kavramları ile minimum stok kapasiteleri, tam zamanda teslimat, tedarik zinciri yönetimi ve yeşil lojistik kavramları da literatüre girmiştir. Özellikle artan gemi sayısı ve büyüyen kapasiteler ile deniz taşımacılığının sebep olduğu emisyonlar; yaşanan hava kalitesini ve küresel iklimi değiştirmede etkin duruma geçmiştir. Tablo 1’de belirtilen ve toplam dünya taşımacılığının tonaj ve hacim olarak yaklaşık %90’ını taşıyan deniz ticaret filosu 2010 yılı verilerine göre toplam 77.768 adet gemiden oluşmaktadır (<http://www.equasis.org>). Ticari gemiler yüksek güçlü ana makineleri ve yardımcı makineleri ile dünyadaki en önemli yakıt tüketici gruplardan biridir ve yılda ortalama 350 milyon ton yakıt tüketilmektedir (Deniz, 2013).

Gemi kaynaklı emisyonlar, yakıt türüne, geminin sahip olduğu makine türüne, seyir süresine, seyir hızına, geminin doluluk oranı gibi diğer pek çok faktörlere bağlıdır. Ticari gemiler büyük çoğunlukla düşük sürat ve orta sürat üreten dizel makineler ile az da olsa buhar ve gaz türbinli makinelerle teçhizatlandırılmışlardır. 2000 yılındaki verilere göre dünya deniz ticaret filosunun yaklaşık %66’sı düşük sürat üreten dizel makineler ve %32’si de orta sürat üreten dizel makineler ile ve geriye kalan %2’lik kısmı da farklı tipte makineler ile teçhizatlandırılmış gemilerdir (Deniz ve Durmuşoğlu, 2008).

2012 yılı başında dünya filosundaki 300 GT ve üzeri toplam gemi sayısı 48.197 adede ulaşırken, toplam gemi tonajı 1,46 milyar DWT’a ulaşmıştır (DTGM, 2012). 2012 yılı başı

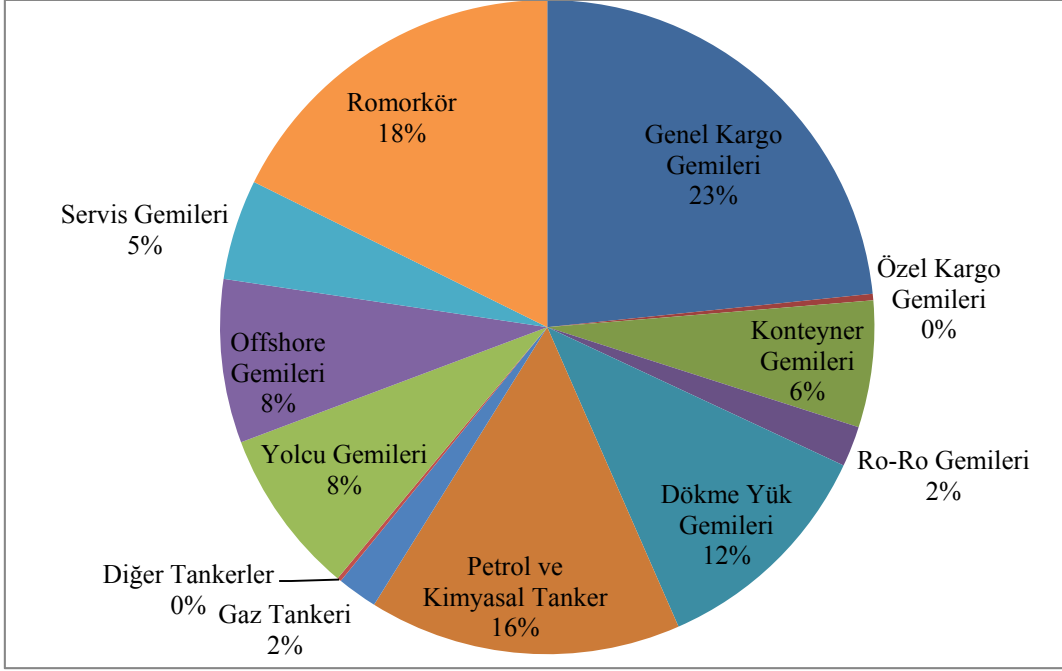
itibariyle DWT tonaj bazında toplam dünya deniz ticaret filosunun yaklaşık %70'i 10 ülke tarafından kontrol edilmektedir. Bu kapsamda Yunanistan 217 milyon DWT (%16,4) ile ilk sırada, 210 milyon DWT (%15,8) ile Japonya ikinci ve 125 milyon DWT (9,5) ile Almanya üçüncü sırada yer almaktadır (DTGM, 2012).

Ülkemiz 22,5 milyon DWT'luk (1.000 GT ve üzeri gemilerden oluşan Türk sahipli filo) filo kapasitesi ile dünyada 15. sırada yer almaktadır (DTGM, 2012). 2012 yılı itibariyle 1,46 milyar DWT kapasiteye sahip dünya deniz ticaret filosunun gemi tiplerine göre dağılımını incelediğimizde dökme yük gemilerinin %41'lik oranla Dünya deniz ticaret filosunun en büyük segmentini oluşturduğu görülmektedir. Dökme yük gemi tonajının yüksek oluşunun nedeni, daha önceden tersanelere sipariş verilen dökme yük gemilerinin 2011 yılında piyasaya girmesinden kaynaklanmaktadır. 2008 yılında %40'lık oranla ilk sırada yer alan tanker filosu 2012 yılında %38'lik oranla ikinci sıraya gerilemiş, konteyner gemileri %13,5'luk oranla da üçüncü sırada yer almıştır (DTGM, 2012).

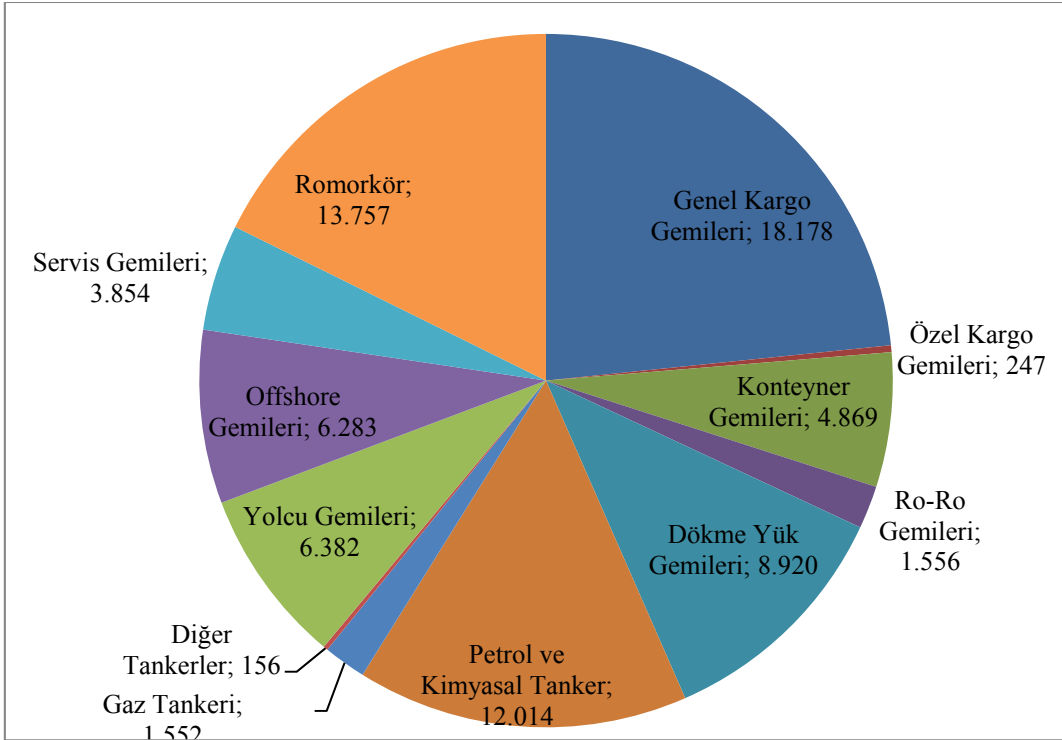
Tablo 1. 2010 Yılı Dünya Deniz Ticaret Filosu, Gemi Tipine Göre Adetler

(<http://www.equasis.org>)

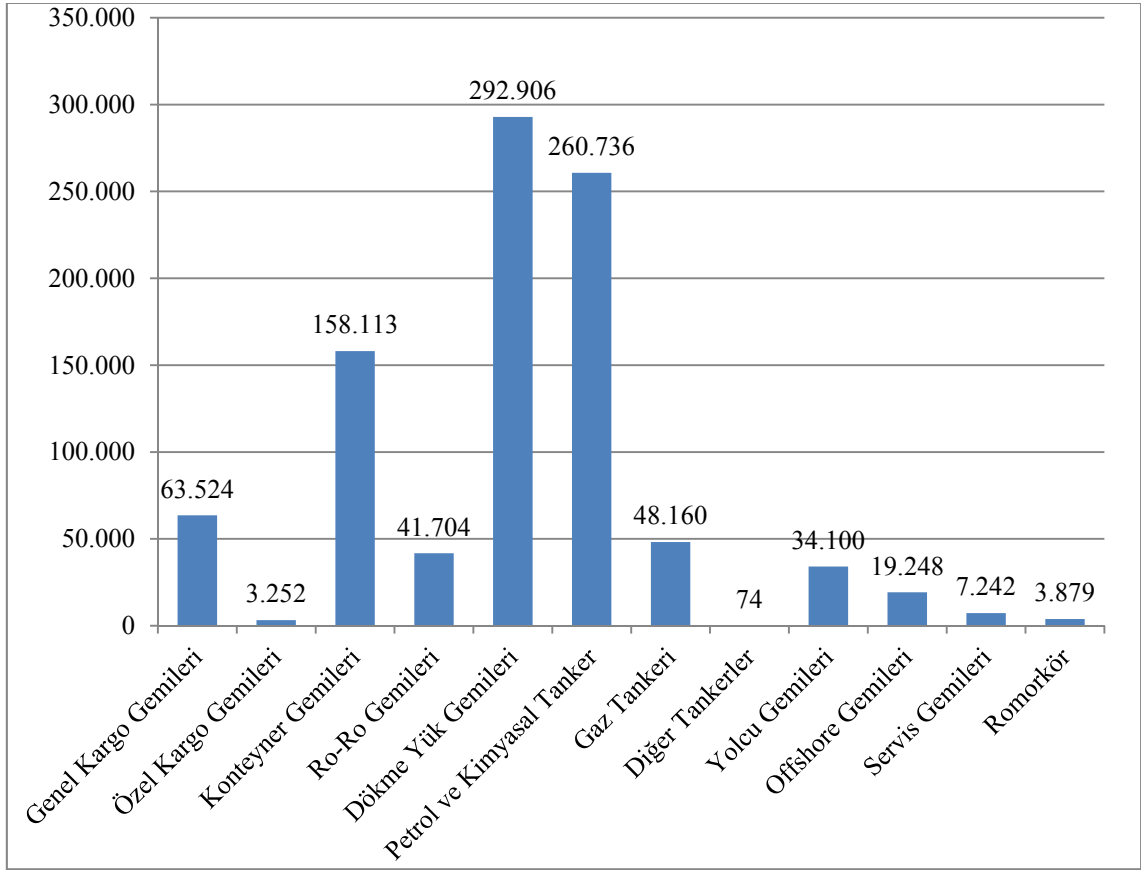
Dünya Ticaret Filosu: Gemi Tiplerine göre 2010 Yılı Gemi Adetleri					
Gemi Tipi	Küçük ( GT < 500 )	Orta ( 500 < GT < 25.000 )	Büyük ( 25.000 < GT < 60.000 )	Çok Büyük ( 60.000 < GT )	Toplam
Genel Kargo Gemileri	4.951	12.999	228	0	18.178
Özel Kargo Gemileri	17	181	48	1	247
Konteyner Gemileri	17	2.417	1.663	772	4.869
Ro-Ro Gemileri	28	843	559	126	1.556
Dökme Yük Gemileri	394	3.650	3.702	1.174	8.920
Petrol ve Kimyasal Tanker	1.976	6.595	2.205	1.238	12.014
Gaz Tankeri	46	995	192	319	1.552
Diğer Tankerler	127	29	0	0	156
Yolcu Gemileri	3.430	2.554	268	130	6.382
Offshore Gemileri	2.129	4.022	50	82	6.283
Servis Gemileri	1.815	2.024	15	0	3.854
Romorkör	12.901	856	0	0	13.757
<b>Toplam</b>	<b>27.831</b>	<b>37.165</b>	<b>8.930</b>	<b>3.842</b>	<b>77.768</b>



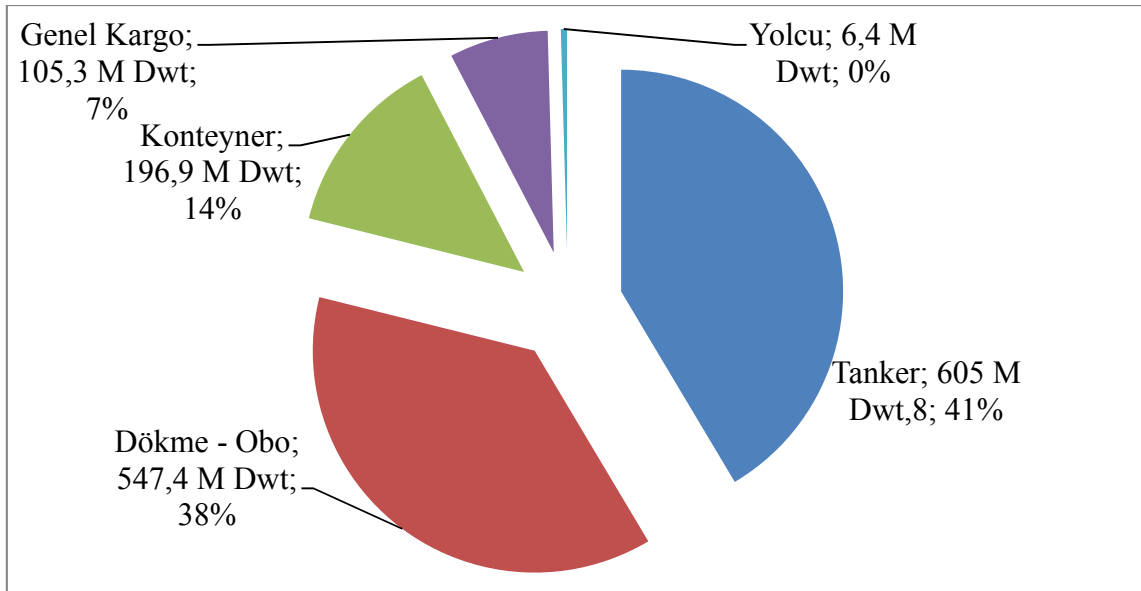
Şekil 2. 2010 Yılı Dünya Deniz Ticaret Filosu, Gemi Tipine Göre Yüzdeleri (<http://www.equasis.org>)



Şekil 3. 2010 Yılı Dünya Deniz Ticaret Filosunun Gemi Tipine Göre Gösterimi (<http://www.equasis.org>)



Şekil 4. 2010 Yılı Dünya Deniz Ticaret Filosu Gros Ton x 1000 Ton (www.equasis.org)



Şekil 5. 2012 Dünya Deniz Ticaret Filosunun Gemi Tiplerine Göre Dağılımı (DTGM)



Tablo 2. Dünya İlk 35 Tonaj ve Gemi Adet Sahibi Ülkeler Sıralaması (UNCTAD, 2011)

No	Ülkeler	Gemi Adedi	Toplam Gemi Adedi içerisindeki yüzdesi	Deadweight tonaj x 1.000 dwt	Toplam Deadweight içerisindeki yüzdesi
1	Panama	7.986	%7,72	306.032	%21,93
2	Liberya	2.726	%2,64	166.246	%11,91
3	Marşal Adaları	1.622	%1,57	98.757	%7,08
4	Hong Kong, Çin	1.736	%1,68	91.733	%6,57
5	Yunanistan	1.433	%1,39	71.420	%5,12
6	Bahamalar	1.384	%1,34	67.465	%4,83
7	Singapur	2.667	%2,58	67.287	%4,82
8	Malta	1.724	%1,67	61.294	%4,39
9	Çin	4.080	%3,95	52.741	%3,78
10	Kıbrıs ( Güney Rum Kesimi )	1.014	%0,98	32.321	%2,32
11	Japonya	6.150	%5,95	22.201	%1,59
12	Güney Kore	2.913	%2,82	20.155	%1,44
13	İtalya	1.649	%1,59	19.440	%1,39
14	Isle of Man	385	%0,37	19.422	%1,39
15	Norveç	521	%0,5	18.065	%1,29
16	Almanya	931	%0,9	17.566	%1,26
17	İngiltere, Birleşik Krallık	1.638	%1,58	16.999	%1,22
18	Hindistan	1.404	%1,36	15.278	%1,09
19	Danimarka	524	%0,51	14.304	%1,02
20	Antigua ve Barbuda	1.293	%1,25	13.892	%1
21	Amerika Birleşik Devletleri	6.371	%6,16	12.662	%0,91
22	İndonezya	5.763	%5,57	12.105	%0,87
23	Bermuda	158	%0,15	10.860	%0,78
24	Malezya	1.391	%1,35	10.725	%0,77
<b>25</b>	<b>Türkiye</b>	<b>1.334</b>	<b>%1,29</b>	<b>8.745</b>	<b>%0,63</b>
26	Fransa	160	%0,15	7.880	%0,56
27	Rusya	3.485	%3,37	7.400	%0,53
28	Hollanda	1.302	%1,26	7.036	%0,5
29	Filipinler	1.946	%1,88	6.946	%0,5
30	Belçika	245	%0,24	6.800	%0,49
31	Saint Vincent ve Grenadine	942	%0,91	6.701	%0,48
32	Viyetnam	1.451	%1,4	5.899	%0,42
33	Tayland	888	%0,86	4.564	%0,33
34	Tayvan	677	%0,65	4.310	%0,31
35	Kayman Adaları	158	%0,15	3.688	%0,26
	<b>Toplam Dünya</b>	<b>103.392</b>	<b>%100</b>	<b>1.395.743</b>	<b>%100</b>

1950 yılında 500 milyon ton olan dünya deniz ticaret hacmi bugün 18 kat artarak 9 milyar tona ulaşmıştır. Hacim olarak dünya ticaretinin %75'i denizyoluyla, %16'sı demiryolu ve karayoluyla, %9'u boru hattı ile ve %0,3'ü havayoluyla gerçekleştirilmektedir (Lawrence v.d., 2012). 2011 yılında toplam deniz ticaret hacmi 8,8 milyar ton olup bunun yaklaşık %35'ini sıvı dökme yükler oluşturmuştur. 2011 yılında toplam dünya deniz ticaretinin %28'ini demir, maden cevheri, kömür ve tahıl ticareti oluşturmuştur. 2011 yılında toplam deniz ticaretinin %17'si konteyner taşımacılığı ile gerçekleşmiştir. 2011 yılı dünya ticaretinin toplam parasal değeri 15 trilyon USD olup, bunun 9 trilyon USD'si denizyoluyla gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, parasal değer bakımından dünya ticaretinin %60'ı denizyolu ile yapılmaktadır (DTGM, 2012).

2010 yılında, küresel denizyolu konteyner ticaretinin parasal değeri 5,6 trilyon USD civarında gerçekleşmiştir. Bu rakam toplam dünya deniz ticaretinin yaklaşık % 60'ına karşılık gelmektedir (Lawrence v.d., 2012). Mevcut durum, yükte hafif pahada ağır yüklerin konteyner taşımacılığına kaymakta olduğunu göstermektedir. Bu yüklerin yüksek olan sigorta bedelleri daha güvenli bir taşıma modu olan konteynerlerin kullanılmasıyla düşürülmektedir. Dünya deniz ticaretinin kalan %40'ına karşılık gelen 3,4 trilyon USD'lik kısmını ise ağırlıklı olarak petrol ve petrol ürünleri, demir cevheri, kömür, hububat ve diğer küçük dökme yüklerin ticareti oluşturmaktadır (DTGM, 2012).

### **2.1.2. Küresel İklim Değişikliği ve Sera Gazları**

Gezegimizin yaklaşık 4,5 milyar yıllık tarihi boyunca, iklim sistemi milyonlarca yıldan on yıllara kadar tüm zaman ölçeklerinde doğal olarak değişme eğilimi göstermiştir. Etkileri jeomorfolojik ve klimatolojik olarak iyi bilinen en son ve en önemli doğal iklim değişiklikleri, 4. zaman'daki buzul ve buzullarası dönemlerde oluşmuştur. Ancak 19. yüzyılın ortalarından beri, doğal değişebilirliğe ek olarak, ilk kez insan etkinliklerinin de iklimi etkilediği yeni bir döneme girilmiştir. Günümüzde iklim değişikliği, sera gazı salımlarını arttıran insan etkinlikleri de dikkate alınarak tanımlanabilmektedir. Birleşmiş Milletler "İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi"nde iklim değişikliğini; "Karşılaştırılabilir bir zaman diliminde gözlenen doğal iklim değişkenlikleri ile doğrudan ya da dolaylı olarak küresel

atmosferin doğal yapısını bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan değişikliklerin bütünü” olarak tanımlanmıştır (IPCC, 2007).

Yeryüzündeki tüm yaşam biçimleri için vazgeçilmez bir ortam olan atmosfer, birçok gazın karışımından oluşmaktadır. Atmosferi oluşturan ana gazlar, azot (%78,08), oksijen (%20,95) ve argondur (0,93). Daha küçük bir tutara sahip olmakla birlikte, dördüncü önemli gaz karbondioksittir (%0,03) (Türkeş v.d., 2000\*). Atmosferdeki birikimleri çok az olan çok sayıdaki öteki gazlar ise, atmosferin kalan bölümünü oluşturur.

Bitki seraları kısa dalgalı güneş ışınımını geçirmekte, buna karşılık uzun dalgalı yer (termik) ışınımının büyük bölümünün kaçmasına engel olmaktadır. Seradan dışarıya çıkamayan uzun dalga boylu ışınlar seranın içinde kalarak ısının artmasına neden olmaktadır. Sera içinde tutulan termik ısınım seranın ısınmasını sağlayarak, hassas ya da ticari değeri bulunan bitkiler için uygun bir yetişme ortamı oluşturmaktadır. Atmosfer de benzer bir davranış sergilemektedir. İklim sistemi için önemli olan doğal etkenlerin başında sera etkisi gelmektedir. Dünya, üzerine düşen güneş ışınlarından çok, dünyadan yansıyan güneş ışınlarıyla ısınır. Bu yansıyan ışınlar başta karbondioksit, metan, diazotmonoksit, kloroflorokarbonlar ve su buharı olmak üzere atmosferde bulunan gazlar tarafından tutulur, böylece dünya ısınır ki buna da sera etkisi adı verilir. Doğal sera gazları olan; su buharı (H<sub>2</sub>O), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), diazot monoksit (N<sub>2</sub>O) ve ozon (O<sub>3</sub>) ile endüstriyel üretim sonucunda ortaya çıkan florlu bileşikler olan; hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs), kükürt heksaflorid (SF<sub>6</sub>), atmosferdeki sera etkisini düzenleyen temel maddelerdir. UNFCCC Sözleşmesi, 1987 tarihli Birleşmiş Milletler Ozon Tabakasının Korunması Sözleşmesi Montreal Protokolü ile kontrol altına alınamayan bütün sera gazlarını içermektedir. Buna karşılık Kyoto Protokolü’nde 6 adet sera gazı kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Bunlar karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O), hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs), kükürtheksaflorid (SF<sub>6</sub>)’dir.

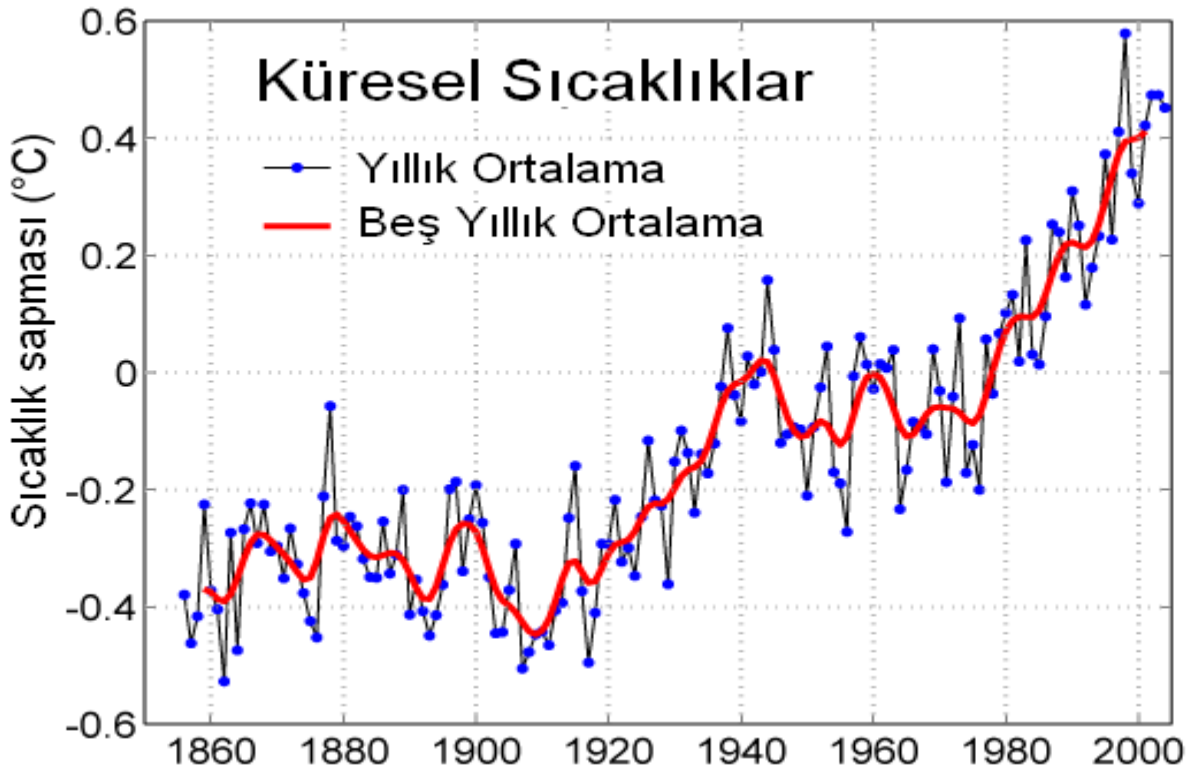
Sera etkisi sadeleştirilerek de açıklanabilir: Bulutsuz ve açık bir havada, kısa dalgalı güneş ışınımının önemli bir bölümü atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşır ve orada emilir. Ancak, yerkürenin sıcak yüzeyinden salınan uzun dalgalı yer ışınımının bir bölümü, uzaya kaçmadan önce atmosferin yukarı seviyelerinde bulunan çok sayıdaki ışınımsal olarak etkin

---

\* İlgili kaynağın 188. ve 189. sayfalarından yararlanılmıştır.

olan gazlar (sera gazları) tarafından emilir ve sonra tekrar aşağı salınır. Küresel ısınma, atmosfere verilen gazların sera etkisi yaratması sonucunda, dünya atmosferi ve okyanuslarının ortalama sıcaklıklarında belirlenen artışına verilen isimdir ve son 50 yıldır saptanabilir duruma gelmiş ve önem kazanmıştır (<http://arsiv.ntvmsnbc.com/news>).

Dünya'nın atmosfere yakın yüzeyinin ortalama sıcaklığı 20. yüzyılda  $0,6 (\pm 0,2)^{\circ}\text{C}$  artmıştır. İklim değişimi üzerindeki yaygın bilimsel görüş, son 50 yılda sıcaklık artışının insan hayatı üzerinde fark edilebilir etkiler oluşturduğu yönündedir ve şekil 6'da belirtilmiştir.



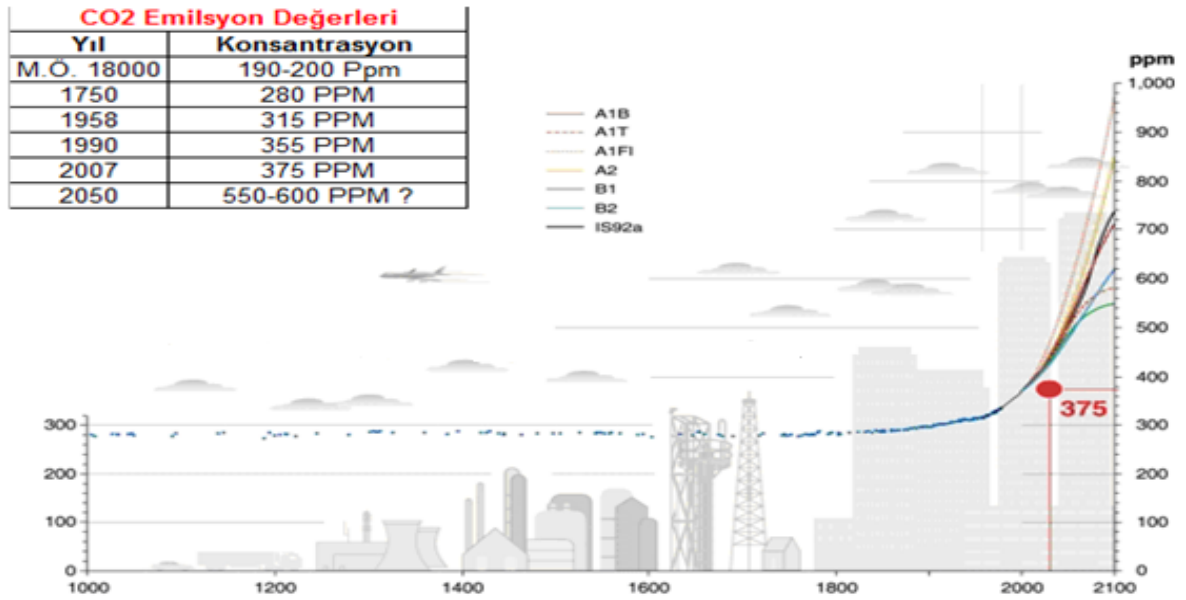
Şekil 6. Küresel Sıcaklık Değerleri (1860–2000 yılları arası) (<http://data.giss.nasa.gov>)

Küresel ısınmaya atmosferde artan sera gazlarının neden olduğu bilinmektedir. Karbondioksit, su buharı, metan gibi bazı gazların, güneşten gelen radyasyonun bir yandan dış uzaya yansımalarını önleyerek ve diğer yandan da bu radyasyondaki ısıyı soğurarak yerkürenin fazlaca ısınmasına yol açtığı da bilinmektedir (<http://arsiv.ntvmsnbc.com/news>). Küresel ısınmada başrol atmosferdeki karbondioksit oranının artmasına bağlanmaktadır. Her ne kadar atmosferdeki karbondioksit; yeşil bitkilerin fotosentez olayında ve karbondioksitin litosfer

yüzeyinde suda çözünmesiyle, atmosferden çekilmekte ise de, bu mekanizmaların kapasitesinin üzerinde karbondioksit emisyonu, gezegen üzerinde sera etkisi yaratmaktadır.

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından ortaklaşa yürütülen Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) İkinci Değerlendirme Raporu'nda iklim sistemine ilişkin yeni bulgulardan yola çıkılarak, “Bulgu dengesinin, küresel iklim üzerinde belirgin bir insan etkisinin bulunduğunu gösterdiği” ve “İklimin geçen yüzyıl boyunca değiştiği” vurgulanmıştır (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>).

Doğal sera gazlarının en önemlileri, başta en büyük katkıyı sağlayan su buharı (H<sub>2</sub>O) olmak üzere, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O) ve troposfer ile stratosferde (troposferin üzerindeki atmosfer bölümü) bulunan ozon (O<sub>3</sub>) gazlarıdır. Ortalama koşullarda, uzaya kaçan uzun dalgalı yer ışınımı gelen güneş ışınımı ile dengede olduğu için, yerküre/atmosfer birleşik sistemi, sera gazlarının bulunduğu bir ortamda olabileceğinden daha sıcak olacaktır. Atmosferdeki gazların gelen güneş ışınımına karşı geçirgen, buna karşılık geri salınan uzun dalgalı yer ışınımına karşı çok daha az geçirgen olması nedeniyle yerkürenin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen bu doğal süreç sera etkisi olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 7. Geçmişten Günümüze CO<sub>2</sub> Emisyon Değerleri (IPCC, 2007)

Atmosferdeki antropojen (insan kaynaklı) sera gazı birikimlerinde sanayi devriminden beri gözlenen artış sürmektedir. Özellikle atmosferdeki birikimi ve kalma süresi dikkate alındığında, bu sera gazları arasında CO<sub>2</sub> öne çıkmaktadır.

Sera etkisine neden olan en önemli gazlardan, karbondioksit en bol ve baskın olanıdır. Atmosferdeki karbondioksit ve diğer sera gazlarının ulaştığı birikim düzeyi, sanayi devriminden bu yana hızla yükselmiştir. Atmosferdeki sera gazı birikimlerinin artmasına en başta fosil yakıt kullanımı, ormansızlaşma ve diğer insan etkinlikleri yol açmış; ekonomik büyüme ile nüfus artışı da bu süreci daha da hızlandırmıştır.

Yukarıda şekil 7’de belirtildiği üzere karbondioksit (CO<sub>2</sub>), değeri yaklaşık 375 ppm (milyonda bir parça) ile son 420.000 yılın en yüksek ve hatta son 20 milyon yılın da en yüksek değerine ulaşmıştır. (IPCC, 2007). CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki insan kaynaklı artışların şimdiki hızıyla sürdürülmesi durumunda, sanayi öncesi dönemde yaklaşık 280 ppm, 1998’de 368 ppm, 2007’de 375 ppm olan CO<sub>2</sub> birikiminin 21. yüzyılın sonuna kadar 500 ppm’ye ulaşacağı öngörülmektedir (IPCC, 2007). Sera gazı birikimlerindeki bu artışlar, yerkürenin uzun dalgalı ışıınım yoluyla soğuma etkinliğini zayıflatarak, yerküreyi daha fazla ısıtma eğilimindeki bir pozitif ışıınımsal zorlamanın oluşmasını sağlamaktadır. Yerküre ve atmosfer sisteminin enerji dengesine yapılan bu pozitif katkı, kuvvetlenen sera etkisi olarak adlandırılır. Bu ise, yerküre atmosferindeki doğal sera gazları (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ve O<sub>3</sub>) yardımıyla yüz milyonlarca yıldan beri çalışmakta olan bir etkinin, bir başka sözle doğal sera etkisinin kuvvetlenmesi anlamını taşımaktadır. Kuvvetlenen sera etkisinden kaynaklanabilecek bir küresel ısınmanın büyüklüğü, her sera gazının birikimindeki artışın boyutuna, bu gazların ışıınımsal özelliklerine, atmosferik yaşam sürelerine ve atmosferdeki varlıkları sürmekte olan öteki sera gazlarının birikimlerine bağlıdır.

### **2.1.3. Ticari Gemi Kaynaklı Emisyonlar**

Deniz taşımacılığındaki gemilerin makinelerinde kullanılan fosil yakıtları önemli emisyon kaynaklarıdır. Bu emisyonlar çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahiptirler. Genel olarak iç su, dar kanallar, körfezler, limanlar, sahiller, denize kıyısı bulunan yerleşim yerleri gibi insanların yakın çevresinde görülen kirlenmeye eğer yakın çevrenin kirliliği olarak adlandıracak olursak, bir de kirlenmenin ilk etkilerini duyularımız ile fark

edemediğimiz ve küresel boyutta yaşadığımız çevreye etkileri olan kirliliğe de global çevre kirlenmesi adı verebiliriz.

Ticari gemilerin meydana getirdiği başlıca emisyon türleri;

- Sülfür oksitler (SO<sub>x</sub>),
- Azot oksitler (NO<sub>x</sub>),
- Karbondioksit (CO<sub>2</sub>),
- Hidrojen Klorür (HC),
- Partikül Madde veya Toz (PM),
- Uçucu Organik Buhar ve Gazların (VOC),
- Karbon monoksit (CO),

Gemiler güç ile sevk sistemlerinde harcadıkları yakıttan ötürü bacalarından salınan sülfür oksitler, azot oksitler, partikül maddeler ve karbondioksit ile emisyon meydana getirirler. Gemi kaynaklı emisyon değerleri gemi trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde yoğun olmakta ve alınan tedbirler ile bunların azaltılması ve kontrol altında tutulması gerçekleştirilmektedir. IMO tarafından gemi baca gazı emisyonları konusunda pekçok önlem MARPOL Ek 6 ile yürürlüğe girmiştir. Azot oksitler (NO<sub>x</sub>), Sülfür oksitler (SO<sub>x</sub>) ve partikül maddeler ile ilgili alınan önlemler ile pekçok standart halen uygulamadadır ve hava kalitesindeki iyileşmeye yardımcı olmaktadır. Azot oksit emisyonunun düşürülmesine yönelik yeni makineler ve sülfür oksitler ile partikül maddelerin emisyon değerlerinin azaltılmasına yönelik de kükürt oranı düşük yeni yakıt tipleri hayata kazandırılmıştır. Karbondioksit emisyonunun düşürülmesine yönelik ise, IMO'nun MEPC tarafından 2009 yılında başlanılan gemi operasyonel ve teknik önlemleri hakkındaki çalışmalar 2011 yılında son halini alarak yeni inşaa gemiler için ilk zorunlu küresel sera gazı rejimini sektöre getirmiştir. MARPOL Ek 6'da yer alan "Gemiler İçin Enerji Verimliliği Düzenlemeler" başlıklı yenilenen 4. bölüm ile 1 Ocak 2013 tarihi itibariyle 400 gros ton üzeri yeni inşaa gemilerinde EEDI (Energy Efficiency Design Index ) ve tüm gemiler için de SEEMP'nin (Ship Energy Efficiency Plan) zorunlu hale getirilmesi kararı alınmıştır ([http://www.imo.org/OurWork/Environment/ PollutionPrevention/AirPollution](http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution)). Ne var ki uluslararası deniz taşımacılığının artışı ve dünya ticaretinin hacim olarak %90'ından fazlasının da deniz taşımacılığı ile yapılmasından ötürü alınan operasyonel ve teknik ölçüm kontrolleri ile karbondioksit emisyonunun istenilen değerlerin altına çekilmesi pek de kolay

gözükmemektedir. Bu bağlamda ilave tedbirler hayata geçirilmeye çalışılmakta, piyasa temelli ve enerji verimliliği ile buna bağlı olarak daha az karbondioksit emisyonu sağlayacak tedbirler sürekli araştırılmaktadır.

Dünya taşımacılık hacminin %90'ından sorumlu olan deniz taşımacılığı, meydana getirdiği emisyonlar ile çevreye etki etmektedir. Deniz ticaret filosunun %55'i limanlarda, %25'i de sahile yakın olmak üzere yaklaşık %80'i her an karaya yakın yerlerde bulunmaktadır (Kılıç, 2009). Yakın çevreye etki eden kirlenmeyi başta sülfür oksitler, azot oksitler, hidrojen klorürler, partikül madde ve tozlar meydana getirmektedirler. Küresel ısınmaya neden olan başlıca sera gazı karbondioksit ise, yakın çevreye değil global çevreye etki etmektedir. Bu gazların çevreye yaptıkları etkinin rakamlar ile gösterilmesine bir örnek olarak 2009 yılında aşağıdaki tabloda belirtilen bölgelerdeki ticaret gemilerinin meydana getirdiği yıllık egzoz emisyon miktarları Marmara Denizi için 605 bin ton NO<sub>x</sub>, 495 bin ton SO<sub>2</sub>, 29,63 milyon ton CO<sub>2</sub>, 25,6 bin ton HC ve 53.3 bin ton PM olarak bulunmuş, gemilerin tükettiği yakıt miktarı da 9,33 milyon ton olarak tablo3'de belirtilmiştir (Kılıç, 2009).

Tablo 3. 2009 Yılı İtibariyle Bazı Bölgelerdeki Gemi Baca Gazı Emisyon Miktarları (ton/yıl) (Kılıç, 2009).

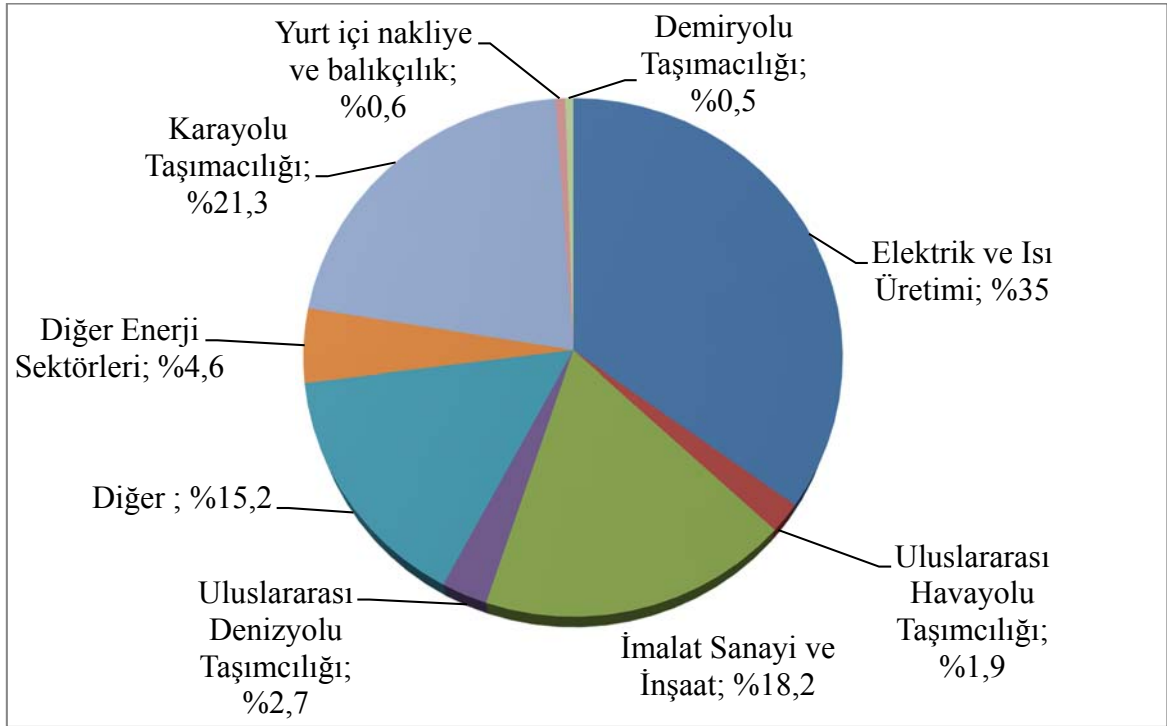
<b>Bölge Adı</b>	<b>NO<sub>x</sub> (ton)</b>	<b>SO<sub>2</sub> (ton)</b>	<b>HC (ton)</b>	<b>PM (ton)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (ton)</b>	<b>Yakıt (ton)</b>
Marmara Denizi	605.000	494.600	25.600	53.290	29.630	9.330.000
İzmit Körfezi	5.300	4.300	232.000	487.000	-	-
Ambarlı Limanı	845.000	242.000	-	36.000	-	-
Çandarlı Körfezi	632.000	574.000	32.000	57.000	-	-
Şangay Limanı	58.000	51.100	4.560	6.960	-	-
Kopenhag Limanı	743.000	162.000	-	13.000	-	-
Aberdin Limanı	376.000	52.000	-	14.000	-	-

Liman bölgelerinde gemilerden kaynaklanan emisyonlar astım, solunum yetmezlikleri, kalp ve damar rahatsızlıkları, akciğer kanseri ve erken doğumlara sebep olurken, gemi egzoz emisyonları denizden karaya, hatta bir kıtadan diğerine taşınabilmektedirler (Kılıç, 2009). Bu nedenle gemi makinelerinde kullanılan fosil yakıtlarının yanması sonucu ortaya çıkan emisyonlar yerel ölçekte çevre kirliliğine yol açtığı gibi özellikle karbondioksit emisyonları da global çevreye etki etmektedir. Bu bağlamda bu emisyonların kontrol altına alınmasındaki ilgili



kurum da uluslararası standartta olmalıdır ve deniz taşımacılığında kural koyucu ve uygulayıcı konumundaki bir Birleşmiş Milletler kurumu olan Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) görev yapmaktadır.

Karbondioksit, atmosferimizde doğal olarak bulunan ve küresel ısınmaya neden olan bir sera gazıdır. Ancak, sanayi devriminden bu yana insanoğlunun yaktığı fosil yakıtları neticesinde doğaya salınan karbondioksit miktarı yüksek oranlarda ve artarak çoğaldığından, bu aşırı kirlilik atmosferdeki sera gazlarının artmasına ve dünya yüzeyinin sıcaklığının artması ile küresel ısınma sorunlarına yol açmaktadır. Ticari gemilerden salınan karbondioksit ayrıca iklim değişikliği ve okyanus asitlenmesine neden olan önemli bir faktördür (<http://www.epa.gov/climatechange>).

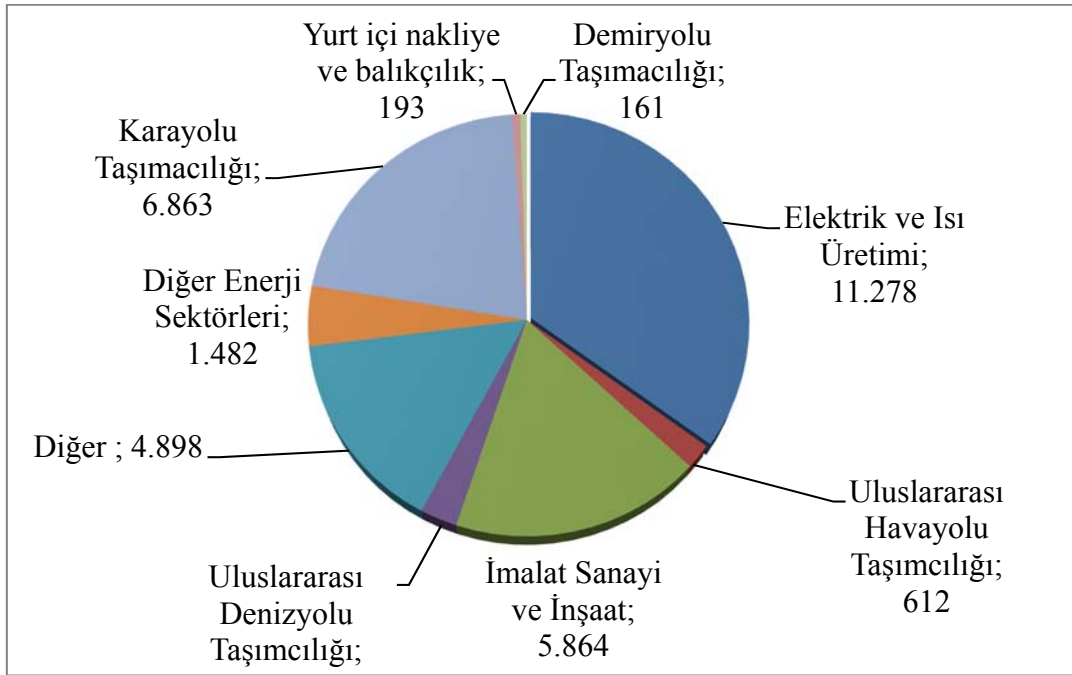


Şekil 8. 2007 Yılı Deniz Taşımacılığı Kaynaklı CO<sub>2</sub> Emisyonlarının Toplam Küresel Emisyon Değerleri ile Yüzdesele Karşılaştırılması (IMO, MEPC 59\*)

İklim değişikliğini değerlendiren dünyanın önde gelen bilimsel kuruluşlarından olan ve dünyaca ünlü binlerce uzmandan oluşan İklim Değişikliği Hükümetlerarası Paneli (IPCC)

\* İlgili kaynağın 1. ve 9. sayfaları arasından yararlanılmıştır.

uluslararası bir organdır. IPCC'nin 2007 raporunda da belirtildiği üzere karbondioksit ve diğer sera gazlarının küresel ısınmaya yol açtığı belirtilerek karbondioksitin en önemli antropojenik sera gazı olduğu açıklanmıştır (IPCC, 2007). Son 650.000 yıl boyunca atmosferdeki karbondioksit seviyeleri genelde 180-300 ppm arasında değişmektedir. Ancak, sanayi devrimi ile birlikte insanlar artık 385 ppm karbondioksit seviyelerini de yılda en fazla 2 ppm bir hızla büyüyen, bu doğal aralığı geride bırakmışlardır. Sadece 2007 yılında, insanoğlu mevcut olana ilave 19 milyar metrik ton karbondioksiti atmosfere salmışlardır (Savitz v.d., 2008\*). Ticari gemiler 2007 yılı IPCC verilerine göre atmosfere saldıkları karbondioksit ile toplam küresel karbondioksit emisyonlarının %2,7'sinden sorumludurlar ki bu da 870 milyon ton karbondioksit olarak raporlanmıştır. Şekil 8 ve 9'da toplam küresel emisyonlar belirtilmiştir. 2007 yılı toplam küresel CO<sub>2</sub> emisyon değeri 32.222 milyon ton CO<sub>2</sub>'dir.

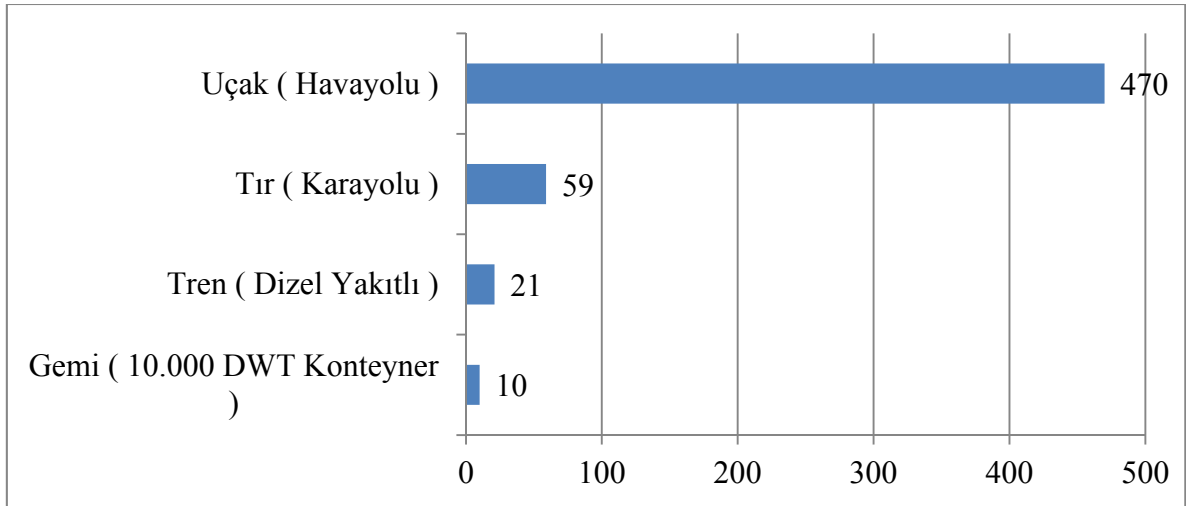


Şekil 9. 2007 Yılı Deniz Taşımacılığı Kaynaklı CO<sub>2</sub> Emisyonlarının Toplam Küresel Emisyon Değerleri ile Karşılaştırılması (Milyon Ton) (IMO,GHG)

Gemiler de tıpkı diğer taşımacılık araçları olan uçak, tır, tren ve arabalar gibi fosil yakıtları yakan makineleri ile sevk gücüne sahiptirler ve makinelerden de karbondioksit salınır.

\* İlgili kaynağın 1. ve 3. sayfaları arasından yararlanılmıştır.

2007 yılı IPCC verilerine göre toplam küresel sera gazlarının %2,7'sinden sorumlu olan uluslararası deniz taşımacılığı; taşıdığı tonlarca malın çok uzun mesafeler boyunca günlerce gemilerde nakledilmesi yerine yerel olarak üretilen malların kısa mesafelerde taşınmasının hangisinin daha fazla CO<sub>2</sub> emisyonu üretmesi hususunda sorulacak olan soruya yanıt her geçen gün daha büyük boyutlarda inşa edilen ve uzun mesafeler taşınan deniz nakliyesi daha az CO<sub>2</sub> ürettiği cevabı ile verilmiştir (World Shipping Council, 2009). Çünkü taşıdığı kargonun ton/km başına oranı havayolu veya karayoluna göre çok daha fazladır ve bu bağlamda bir birim kargonun beher ton/km başına saldıdığı CO<sub>2</sub> miktarı denizyolu taşımacılığında en düşüktür ve şekil 10'da belirtilmiştir. Yapılan literatür taraması sonucunda ortaya çıkan durumu örneklemek gerekirse;



Şekil 10. Bir Ton Kargonun Bir Kilometre Taşınması İçin Harcanan Karbondioksit Miktarının Farklı Taşıma Modlarında Karşılaştırılması (Gram Karbon) (<http://www.worldshipping.org>)

Bir ton kargo'nun Avustralya Melbourne limanından Amerika Kaliforniya'nın Long Beach limanına toplam 12.770 km (7.935 mil) mesafedeki seyri boyunca salınan CO<sub>2</sub> miktarı, yine bir ton kargonun Amerika Dallas'tan Amerika Long Beach limanı arasındaki 2.307 km (1.442 mil) mesafedeki karayolu taşınmasında salınan CO<sub>2</sub> miktarından daha düşüktür. Benzer şekilde Viyetnam'ın Ho Chi Minh limanından Çin'in Tianjin limanına aradaki 3.327 kilometre (2.067 mil) mesafe boyunca taşınan 1 ton kargonun meydana getirdiği CO<sub>2</sub> emisyonu; Çin'in

Wuhan kentinden Tianjin limanına 988 kilometre (614 mil) boyunca taşınmasındaki salınacak CO<sub>2</sub> miktarından daha azdır (World Shipping Council, 2009). Yine şarap endüstrisinin yaptığı bir araştırmaya göre New York'taki bir restoranda satılan bir şişe Fransız şarabının nakli sırasında oluşan CO<sub>2</sub> emisyonu Kaliforniya'dan gelen bir şişe şarabinkinden azdır (Colman ve Paster, 2007).

Dünya Ekonomik Forumu için beyaz kağıt ticaretini konu alan araştırmalar da yine bir konteynerin Çin'den Avrupa'ya denizyolu ile gelmesi sırasında salınan CO<sub>2</sub> miktarının, Avrupa'nın içinde yüklü bir tırın 200 km mesafe katetmesine eşit olduğunu ortaya çıkartmıştır (World Shipping Council, 2009).

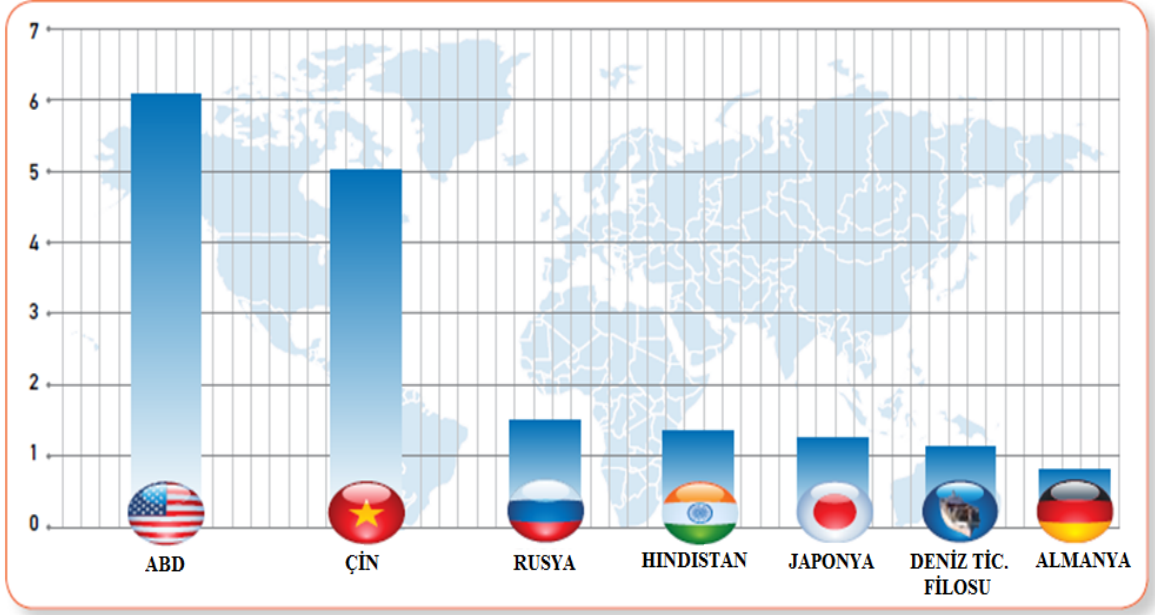
Tablo 4 ve şekil 12'de belirtilen yaklaşık 870 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu değeri farklı gemi tiplerine dağılımının milyon ton CO<sub>2</sub> olarak gösterimini grafik olarak yukarıda belirtilmiştir.

Tablo 4. 2010 Yılına Ait Farklı Gemi Tiplerine Göre CO<sub>2</sub> Emisyonları (Bazari ve Longva, 2011)

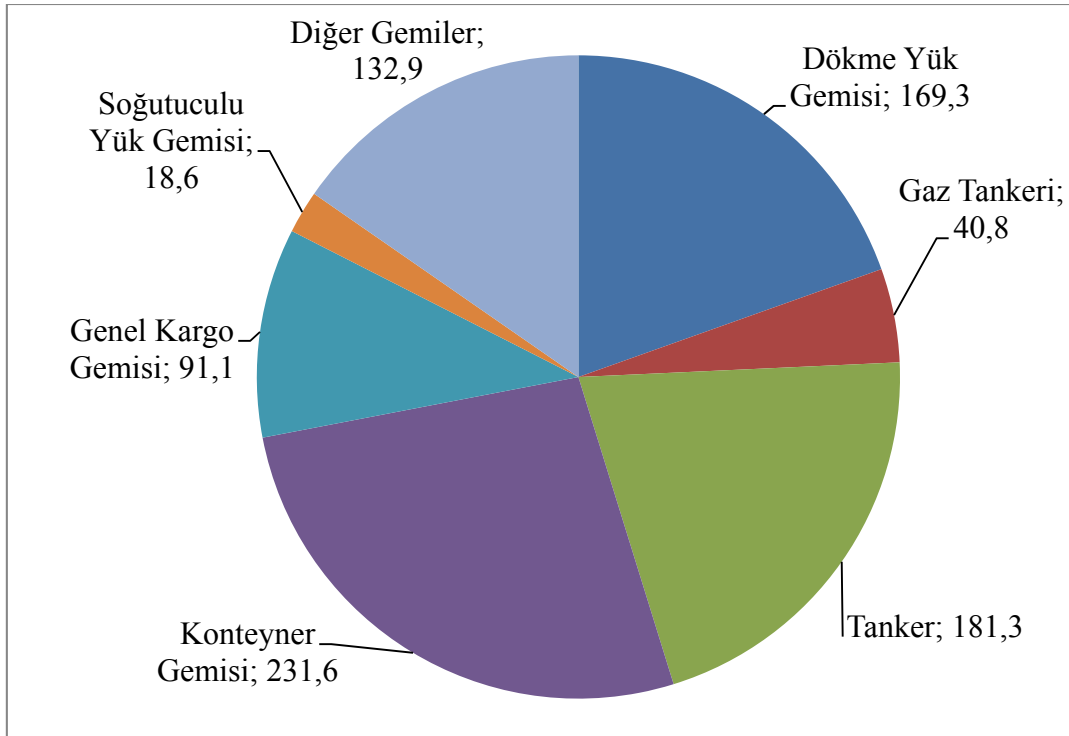
Gemi Tipi	2010 Yılına Ait Karbondioksit Emisyon Değerleri
Dökme Yük Gemisi	169,3 milyon ton CO <sub>2</sub>
Gaz Tankeri	40,8 milyon ton CO <sub>2</sub>
Tanker	181,3 milyon ton CO <sub>2</sub>
Konteyner Gemisi	231,6 milyon ton CO <sub>2</sub>
Genel Kargo Gemisi	91,1 milyon ton CO <sub>2</sub>
Soğutuculu Yük Gemisi	18,6 milyon ton CO <sub>2</sub>
Diğer Gemiler	132,9 milyon ton CO <sub>2</sub>
<b>Toplam</b>	<b>865,6 milyon ton CO<sub>2</sub></b>

Uluslararası Deniz taşımacılığı 2007 yılı IPCC verilerine ise 870 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu ile toplam küresel karbondioksit emisyonların %2,7'sinden sorumludur (IMO, MEPC 59, 2009\*). Bu bağlamda uluslararası deniz taşımacılığı bir ülke olarak kabul edilse idi, dünya sera gazı emisyonları sırasında ilk on ülke arasında yaklaşık altıncı sırada Japonya ile Almanya arasında bir ülke olacaktır (IPCC, 2007). Buna bağlı gösterim şekil 11'dedir.

\* İlgili kaynağın 1. ve 2. sayfalarından yararlanılmıştır.



Şekil 11. Ülkelerin CO<sub>2</sub> Emisyon Sıralaması Arasında Uluslararası Deniz Taşımacılığı Emisyon Karşılaştırması (Milyar Metrik Ton CO<sub>2</sub>) (Savitz v.d., 2008)



Şekil 12. 2010 Yılına Ait Farklı Gemi Tiplerine Göre CO<sub>2</sub> Emisyonları (x Milyon Ton) (Bazari ve Longva, 2011)

#### 2.1.4. Ticari Gemi Kaynaklı CO<sub>2</sub> Emisyonlarının Global Çevreye Etkilerinin Analizi

Birleşmiş Milletler “İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi”nde iklim değişikliğini; “Karşılaştırılabilir bir zaman diliminde gözlenen doğal iklim değişkenlikleri ile doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin doğal yapısını bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan değişikliklerin bütünü” olarak tanımlanmıştır (IPCC, 2007). Küresel iklim değişikliği; fosil yakıtlarının kullanımı, arazi kullanımı değişiklikleri, ormansızlaştırma ve sanayi süreçleri gibi insan etkinlikleriyle atmosfere salınan sera gazı birikimindeki hızlı artışın doğal sera etkisini kuvvetlendirmesi sonucunda, dünyanın ortalama yüzey sıcaklıklarındaki artışı ve iklimde oluşan değişiklikleri ifade etmektedir. İklim değişikliği, 21. yüzyılda insanlığın karşı karşıya kaldığı en büyük sorunların başında gelmektedir. İnsan sağlığı, ekosistemler, hatta insan neslinin sürdürülmesi bakımından tehdit oluşturabilecek olumsuz etkileri nedeniyle çok ciddi sosyo-ekonomik sonuçlara yol açabilecek bir sorun olarak değerlendirilen iklim değişikliği, özellikle son yıllarda uluslararası gündemin üst sıralarında yer almaya başlamıştır (<http://www.eie.gov.tr>). Dünyanın önde gelen meteorolojik uzmanları tarafından varılan genel mutabakata göre son 100 yılda dünya yüzey sıcaklığı 0,6°C civarında artmıştır (IMO, WMD, 2009). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ne (UNFCCC) bağlı organların çalışmalarına göre de ortalama dünya yüzey sıcaklığı 1800’lü yılların sonlarından bu yana 0,74°C artmış ve gerekli önlemler alınmadığı takdirde de 2100 yılında bunun 1,8°C ile 4°C arasında artması tahmin edilmektedir ve tahmin edilen en düşük artış olsa bile, yine de bu son 10.000 yıl içerisindeki herhangi bir 100 yıllık dönemdekinden daha büyük bir artış olacaktır (IPCC, 2007).

İklim değişikliği, 21. yüzyılda insanlığın karşı karşıya kaldığı en büyük sorunların başında gelmektedir. İnsan sağlığı, ekosistemler, hatta insan neslinin sürdürülmesi bakımından tehdit oluşturabilecek olumsuz etkileri nedeniyle çok ciddi sosyo-ekonomik sonuçlara yol açabilecek bir sorun olarak değerlendirilen iklim değişikliği, özellikle son yıllarda uluslararası gündemin üst sıralarında yer almaya başlamıştır (<http://www.eie.gov.tr>).

Küresel ısınmada en büyük payı alanlardan biri sera etkisidir. Güneşten gelen kısa dalgalı radyasyonun bir kısmı doğrudan atmosfer tarafından uzaya verilirken, bir kısmı da yeryüzü tarafından emilir. Isınan yeryüzünden salınan uzun dalgalı radyasyonun önemli bir bölümü tekrar atmosfer tarafından emilir. Atmosferdeki gazların kısa dalgalı güneş ışınlarına

karşı çok geçirgen, yeryüzünden verilen uzun dalgalı radyasyona karşı ise, biriken sera gazları nedeniyle daha az geçirgen olması sonucunda, yere yakın kısımların beklenenden daha fazla ısınması olayına atmosferin sera etkisi denilmektedir.

- Güneşten gelen kısa dalgalı ışınların % 51'i yeryüzü tarafından tutulur (<http://www.eie.gov.tr>). Bu enerji ile yeryüzü ısınır.
- Yeryüzü tarafından emilen bu enerjinin bir kısmı atmosfere geri gönderilir.
- Güneşten gelen enerjinin bir kısmı yeryüzüne ulaşmadan atmosferden uzaya geri döner.
- Isınan yeryüzünden bir kısım enerji uzun dalgalı ışınlar hâlinde atmosfere verilir. Bu enerjinin bir kısmı atmosferdeki sera gazları tarafından tutulur. Bu tutulan enerji atmosferin alt kısımlarını ısıtır. Bu ısınma atmosferin sera etkisidir.
- Sera gazları tarafından tutulan enerjinin bir kısmı yeniden uzaya geri verilir.
- Yeryüzünden uzaya verilen enerjinin bir kısmı doğrudan uzaya gider.

Küresel ısınma üzerinde etkili olan sera gazları arasında CO<sub>2</sub>'in ayrı bir yeri ve ayrı bir önemi vardır. Karbondioksit güneşten doğrudan gelen kısa dalgalı ışınları büyük ölçüde geçirdiğinden, ancak yerden verilen uzun dalgalı ışınları tuttuğundan, atmosferin alt kısımlarının ısınmasında çok önemli rol oynayan bir sera gazıdır. Bilindiği gibi atmosferdeki karbondioksit miktarı, birinci derecede fosil yakıtlarının çeşitli alanlarda kullanımı sonucunda, hızlı bir biçimde artmaktadır. Bununla birlikte ormansızlaşma ve özellikle de tropikal yağmur ormanlarındaki aşırı tahribat, ayrıca dünyanın diğer bölgelerindeki orman örtülerinin yerini alan yeni bitki örtüsünün de bu artışa katkıda bulunmasıdır.

Taşımacılık, 2007 yılı verilerine göre toplam küresel karbondioksit emisyonların %3,3'ünü oluşturmaktadır ve 1.046 milyon ton CO<sub>2</sub> yaydığı belirtilmektedir. Deniz taşımacılığı ise 870 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu ile toplam küresel karbondioksit emisyonların %2,7'sinden sorumludur (Faber v.d., 2010), (IMO, MEPC 59, 2009\*). Gemi baca gazları, gemilerden kaynaklanan emisyonların birincil kaynağıdır ve karbondioksit gemilerin yaydığı en önemli sera gazıdır. Hem miktar hem de potansiyel küresel ısınma açısından, gemilerden kaynaklanan diğer sera gazı emisyonları daha az önemlidir (IMO, MEPC 61/5/16, 2010).

---

\* İlgili kaynağın 1. ve 9. sayfaları arasından yararlanılmıştır.

IPCC'nin gelecek emisyon senaryoları gemilerden kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının hiçbir önlem alınmazsa 2050 yılında mevcuttakinin iki katı değerden de yüksek emisyon değerlerine ulaşacağını ortaya koymaktadır (Eide ve Endersen, 2010\*). Bilinmesi gereken şudur ki gemi makineleri kaynaklı karbondioksit emisyonları yakın çevreye değil, global çevreye etki ederler. Ticari gemilerin geçtiği su yollarında ve bunlara yakın çevrelerinde yaşayan insanlara gözle görülür bir şekilde etki etmeyip, küresel çevre sorunlarına neden olmaktadır. Yapılan son araştırmaların ışığında gemilerden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının azaltılmasının gerekliliği başlıca üç temel sorun ile önem arz eder.

- Bir bölgeden geçen geminin bacasından salınan karbondioksitin uzun menzillere yayılması ve diğer bölgelere de bu kirliliğin taşınması
- Karbondioksit emisyonlarının küresel ısınma ve iklim değişikliğine ve bu nedenle de insan sağlığı ve yaşamına olan etkileri
- Karbondioksit emisyonlarını azaltıcı tedbirlerin gemi makinelerindeki verimliliği arttıracak olan tedbirler olması da taşımacılıktaki maliyetleri azaltmaya yönelik yakıt tasarrufu da sağlamaktadır.

Küresel ısınma probleminin başlıca nedeni olan antropojenik sera gazı emisyonlarının yüksek değerlerde olması ve bunların başında gelen karbondioksit emisyonlarının da gerek ölçülmesi, gerekse yasal mevzuatlarla düzenlenmesi çok önemlidir. Birleşmiş Milletler Uluslararası Denizcilik Örgütü IMO'nun 2000 yılında yaptığı MEPC 45/8 toplantısında belirtildiği üzere 1996 yılında toplam gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının 420 milyon ton ile toplam dünya CO<sub>2</sub> emisyonlarının %1,8'den sorumlu olduğu raporlanmıştır (IMO, COP15, 2009). 2009 yılında Birleşmiş Milletler Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) bilir kişi raporlarına göre 2007 yılında toplam dünya karbondioksit emisyonlarının %2,7'si diğer bir deyişle 870 milyon ton CO<sub>2</sub> uluslararası denizyolu taşımacılığında kaynaklanmaktadır. Tehdit şudur ki gemi kaynaklı emisyonlar sürekli artmakta ve 2020 yılında, uluslararası denizyolu taşımacılığının artan küresel ticaret ve buna bağlı gemi sayısı ile %6'lık bir filo ve taşınan mal kapasite artışı beklenmesine müteakip salınacak karbondioksit emisyonunun da 1.475 milyon ton CO<sub>2</sub> olması beklenmektedir.

---

\* İlgili kaynağın 4. ve 9. sayfaları arasından yararlanılmıştır.



Bu da 2020 yılı için toplam dünya karbondioksit emisyonları içerisinde %6'lık bir pay olarak öngörülmektedir (Faber v.d., 2010).Yine başka bir kaynakta öngörülen rakamlara bakacak olursak uluslararası denizyolu taşımacılığı kaynaklı 2011 yılı toplam CO<sub>2</sub> emisyonu 1.118 milyon ton CO<sub>2</sub> seviyesine yükselmiştir ve 2015 yılında 1400 milyon ton 2019 yılında ise hiçbir önlem alınmıyorsa 1565 milyon ton CO<sub>2</sub> seviyesine yükselecektir (Deltamarine, 2011). EEDI göre inşa edilecek gemiler ile bu oranın minimum %10 seviyesinde düşürülebileceği hedeflenmektedir.

Gemi kaynaklı hava kirliliği konusu diğer denizcilik uygulamalarının yanında yeni sayılabilecek bir tarihe sahiptir. Uluslararası Marpol sözleşmesi Ek VI'da yer alan, Kloroflorokarbonlar (CFC), halojenler, Uçucu Organik Bileşikler (VOC) ile gemi egzoz gazlarından olan azot oksitler ve sülfür oksitlerin (NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub>) emisyonlarını düzenleyen uygulamalar 2005 yılı itibariyle yürürlüğe girmiştir. Uluslararası Denizcilik Örgütü hava kirliliği konusundaki sorunları incelerken hem MARPOL Ek VI'da yer alan, hem de Ek VI'da yer almayan sera gazı emisyonlarına ışık tutmuştur. Dünya ticaret filosunun yakıt tüketimi yılda yaklaşık 250-300 ton arasında büyümesi beklenmektedir ki buna karşılık gelen CO<sub>2</sub> emisyonu da yıllık 800-960 milyon ton civarındadır (Burgel, 2007). Gemilerden kaynaklanan sülfür oksit (SO<sub>x</sub>) emisyonlarını önemli ölçüde azaltmak teknik olarak mümkündür. Bunun bir yolu ağır yakıtların içerisindeki kükürt miktarını azaltmaktır ancak bunun da birçok dezavantajları vardır. Bunlardan ilki, birçok rafineri düşük kükürtlü yakıt üreten donanıma sahip değildir. Belki zamanla bu tesislere bu donanımlar kazandırılabilir. İkincisi ise sülfür giderme işlemleri yüksek enerji harcamasına neden olur ki Batı Avrupa'da rafinerilerin belli bir değerin üzerindeki CO<sub>2</sub> emisyonları için cezalar mevcuttur (Burgel, 2007). Pek çok sektörde alınan ulusal kararlar ile sera gazı emisyonlarını kontrol altında tutmanın mümkün olmasına karşın deniz taşımacılığındaki kuralların ve yaptırımların uluslararası boyutta olması gereklidir. Çünkü gemiler dizaynı, inşası, sahibi, operatörü, mürettebatı, donatı, sigorta şirketi, klas kuruluşu, çalıştığı karasuları ve geçtiği rotalardaki ülkeler, yükleme ve boşaltma limanı ülkeleri, taşıdıkları kargonun ilgilileri ile daha pek çok muhatapın tabii olduğu bir sistem olarak düşünüldüğünde ulusal kuralların yetersizliği aşıkardır. Bunun yanında uluslararası kuralların da, o kurallara taraf olmayan ülkeler nezdinde bir yaptırımı olamadığından deniz taşımacılığı kaynaklı sera gazı emisyonları gibi konuları hakkındaki kontrol tedbirlerinin uygulanması için

teşvik ve cezalara da ihtiyaç duyulmaktadır (IMO, COP15, 2009). Bu sebeptendir ki global olarak kural koyucu olarak Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) çalışmaları ve bu konu üzerine oluşturduğu komiteler ile 2000 yılından bu yana ağırlıklı olarak bu konu üzerine çalışmaktadır. Uluslararası Denizcilik Örgütü IMO'nun öncülüğünde yeni dizayn metotları ve pratikteki doğru uygulamaların yaygınlaşması ile gemi makineleri kaynaklı emisyonlar düşürülmüştür. Belki karbondioksit emisyonlarının yakın çevreye değil de daha çok global çevreye etkilerinin olması diğer gemi kaynaklı atmosferin gazların ise yakın çevreye ve insan sağlığına doğrudan etkisinin bulunması günümüzden on yıllar öncesinde insanlığı bu konular üzerine düşündürmüştür. Neticesinde sülfür oksit, azot oksit ve uçucu organik buhar ve gazların başta olmak üzere gemi makinelerinden salınan gazların düzenlemeleri ile ilgili IMO'nun son yaptırımlarının bulunduğu MARPOL Ek VI düzenlenirken karbondioksit emisyonları hakkında yasal uygulamaların çerçevesi belirlenmemiştir. Günümüzde artık yaygın çevrelerce karbondioksit emisyonları başta olmak üzere sera gazları emisyonlarının küresel ısınma ve iklim değişikliğine negatif etkileri kabul edilmiştir. Gemi kaynaklı emisyonların dünya toplam karbondioksit emisyonları içinde çok küçük bir paya sahip (2007 yılı verilerine göre %2,7) olmasına karşın uygulamalarındaki yaptırımların noksanlığı ve kontrol altına alınabilecek bir takipsizliğin mevcudiyeti bu konunun ciddiyetini göz önüne sermektedir (IMO, WMD, 2007). Yeri gelmişken belirtmek gerekir ki 1996 yılında toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının %1,8'i deniz taşımacılığı kaynaklı iken (Friedrich v.d., 2007), 2007 yılında %2,7'ye yükselmiş ve de eğer hiçbir önlem alınmaz ise de 2020 yılında %6 seviyesine çıkarak 1,4 milyar ton CO<sub>2</sub> emisyon seviyesi ile karşımıza potansiyel bir tehlike olarak çıkmaktadır (IMO, MEPC 63/23/10, 2012). Zaten teze konu olan bu çoğalarak artan gemi kaynaklı emisyonların azaltılmasına yönelik alınabilecek çözüm önerileri metodolojisi sergilenmeye çalışılmıştır.

Gemi kaynaklı karbondioksit emisyonlarının azaltılmasına potansiyel olacak; gemi dizaynında optimizasyon, gövde tasarımı, pervane dizaynında optimizasyon, yakıt seçimi, gemi makine ölçümleri, alternatif rotalar ve seyir süratları, gemi trimi, makine performansı, pervane piç ve dümen açıları gibi konular ile ilgili bilgiler IMO'nun 2000 yılında yayınladığı sera gazları çalışmasında bulunmaktadır (IMO, WMD, 2007). Geçtiğimiz yıllar boyunca da güncellenmiş ve yeni boyutlar kazandırılmış bu konulara ilave olarak uluslararası denizyolu taşımacılığında karbondioksit emisyonlarını yönelik yaptırımlar uygulanmaya başlanmıştır. Denizcilik diğer

ticari taşıma modları arasında en çevre dostu olanıdır. İsveç Taşımacılık Dairesinin verilerine göre 1200 km'lik menzilli bir seferde uçan bir boeing 747-400 uçak 540 gr CO<sub>2</sub>/ton-km meydana getirirken, 8000 Dwt'lük bir gemi 15 gr CO<sub>2</sub> /ton-km karbondioksit oluşturmaktadır (IMO, WMD, 2007). Dünya taşımacılığının %90'ının taşındığı denizyolu taşımacılığının diğer taşımacılık modları üzerine kayması hem ekonomik hem de çevresel olarak pek mümkün değildir ki şuanda da denizciliğe bu bağlamda alternatif farklı bir taşıma şekli de bulunmamaktadır. Öte yandan bu kadar bağımlı olunan deniz taşımacılığı ise deniz biyoçeşitliliği ve ekosistem gibi savunmasız alanlarda negatif faaliyetler göstermektedir. Denizler ve okyanuslar dünyanın en üretken doğal kaynaklarıdır. Bunların korunması ve sürdürülebilir bir şekilde gelecek nesillere aktarılması gerekir. Gemi kaynaklı kirlenmenin azaltılması ve önlenmesine yönelik, daha temiz ve yeşil taşımacılık yapılmasına dair denizcilik uygulamalarını aktif hale getiren IMO tıpkı gemi boyaları, atık yağlar, balast suları konularında olduğu gibi karbondioksit emisyonları konusunda da yasal düzenlemeleri hayata geçirmektedir.

Bu tez deniz taşımacılığı kaynaklı karbondioksit emisyonlarına genel bir bakış sağlayarak bu emisyonları azaltmak için alınması gerekli tedbirleri ortaya koymaya çalışmaktadır. IPCC 2007'de alınan kararlar doğrultusunda tüm sektörler genelinde 2050 yılına kadar global emisyonların %50 ile %80 arasında azaltılarak 1990 yılındaki seviyelere geri indirilmesi gerekmektedir. Uluslararası deniz taşımacılığı toplam sera gazı emisyonlarının %2,7'sinden sorumlu olmasına rağmen en hızlı büyüyen sektörlerden biridir. Sera gazlarındaki ve özellikle karbondioksit emisyonlarının azaltılması konusunda mevcut değerlerin de kontrol altına alınması önemlidir, çünkü uluslararası deniz taşımacılığı kaynaklı emisyon değerlerinin 2050 yılında, 2007 yılındaki değerinin yaklaşık %50 civarında fazlası olacağı öngörülmektedir (McCollum v.d., 2010\*).

Taşımacılıktaki sera gazı emisyonları hususunda pek çok faktör rol oynamaktadır. Belli başlı etkenlerin ışığında aşağıdaki şekilde gösterilebilir (McCollum v.d., 2010\*).

Taşımacılık Sektörü Sera Gazı Emisyonları =  $A \cdot Si \cdot Li \cdot Fi,j$

•  $A$ : taşımacılık sektörü toplam faaliyeti

---

\* İlgili kaynağın 1. ve 2. sayfalarından yararlanılmıştır.

- $S_i$ : toplam faaliyetteki her alt sektörün payı,
  - $I_i$ : Her alt sektörde kullanılan araçların enerji yoğunluğu
  - $F_{i,j}$ : Her alt sektörde kullanılan yakıt türlerinin karbon yoğunluğu
- $i$ : taşımacılık şekli  
 $j$ : yakıt tipi

$A$ ,  $I_i$ ,  $S_i$  ve  $F_{i,j}$ 'daki azalmalar toplam taşımacılık emisyonlarını da azaltacaktır. Alternatif yakıt ve enerji kaynaklarının kullanımı emisyonları azaltıcı faaliyetlerdir. Özellikle deniz taşımacılığında ucuz yakıt kullanımına duyulan talebe karşılık, düşük karbonlu yakıtlar veya sıvılaştırılmış doğal gaz ve dizel yakıtlar gibi konvansiyonel fosil yakıtlar ile güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının da kullanımı emisyonları azaltmaya yarar tedbirlerdendir. Bilindiği gibi deniz taşımacılığı en çevreci ve yeşil taşıma şeklidir. Yüksek emisyon üreten havayolu taşımacılığına alternatif olarak hızlı trenler ile demiryolu taşımacılığı gösterilebilse de deniz taşımacılığına bu bağlamda alternatif olarak yine sadece deniz taşımacılığı gösterilebilir ki en yeşil ve en ucuz taşımacılık şeklidir.

Ne var ki deniz taşımacılığının kapasitesi her geçen yıl artmakta ve toplam sera gazları içerisindeki uluslararası deniz taşımacılığı kaynaklı emisyon değerleri de artmaktadır. 1990 ile 2007 yılları arasındaki gemi egsoz gazlarının değerleri aşağıdaki tablo 5'de belirtilmiştir. Egsoz gazları emisyon değerlerinin düşürülmesi ve artışın önüne geçilmesi için alınacak tedbirlerin de düzenlemeler hayata geçirilmesi tüm çevrelerce ortak görüş olarak benimsenmektedir.

Bazı ülkelerin iç politikalarında ve yasalarında emisyon düzenleyici uygulamalar olsa da pek çok ülke bu düzenlemelerden noksandır. Yeni Zelanda, Avustralya, Avrupa Birliği ve belli ülkeler tarafından bağımsızca uygulanan karbondioksit emisyonlarını azaltmaya yönelik tedbirler, özellikle çok uluslu bir ekonomi olan deniz taşımacılığında kolay değildir çünkü yükleme ve varış yeri arasında ticari gemilerin rotasında pek çok farklı kuralları bulunan uluslar bulunmaktadır.

Tablo 5. Uluslararası Deniz Taşımacılığı Egzoz Emisyonları (Milyon Ton), 1990-2007  
(IMO, MEPC 59, 2009\*)

Yıllar	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM	CO	NMVOC	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
1990	12	6,5	0,8	1,1	0,4	468	0,05	0,01
1991	12	6,8	0,8	1,2	0,4	488	0,05	0,01
1992	12	7	0,9	1,2	0,4	498	0,05	0,01
1993	13	7,3	0,9	1,2	0,4	519	0,05	0,01
1994	13	7,5	0,9	1,3	0,4	535	0,05	0,01
1995	14	7,7	1	1,3	0,4	551	0,05	0,01
1996	14	7,9	1	1,3	0,4	565	0,05	0,01
1997	15	8	1	1,4	0,5	596	0,06	0,02
1998	15	8	1	1,4	0,5	590	0,06	0,02
1999	15	8	1	1,4	0,5	601	0,06	0,02
2000	16	9	1,1	1,5	0,5	647	0,06	0,02
2001	16	9	1,1	1,5	0,5	652	0,06	0,02
2002	16	9	1,1	1,6	0,5	660	0,06	0,02
2003	17	10	1,2	1,7	0,5	706	0,07	0,02
2004	18	11	1,3	1,8	0,6	755	0,07	0,02
2005	19	11	1,4	1,9	0,6	795	0,08	0,02
2006	20	12	1,4	2	0,6	838	0,08	0,02
2007	20	12	1,5	2	0,7	870	0,08	0,02

Diğer sera gazı emisyon kaynaklarından farklı olarak, Kyoto Protokolü İklim Değişikliği Birleşmiş Milletler Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) özellikle gelişmiş ülkelerin deniz taşımacılığındaki ulusal hedeflerindeki emisyon değerlerini saymaz. Bunun yerine, protokol, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) ile birlikte çalışarak emisyon azaltılması koyar. Bu yetki doğrultusunda, her iki kuruluş, kendi aktivite alanlarında emisyonları azaltmayı amaçlayan faaliyetler başlatmışlar EEDI ve SEEMP başta olmak üzere yeni düzenlemeleri hayata sokmuşlardır.

Diğer bölümlere geçilmeden evvel uluslararası deniz taşımacılığı kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonları ve yıllara göre gemilerde kullanılan ağır yakıt fiyatlarına birlikte bakmak faydalı olacağından aşağıdaki tablo 6'da şekilde belirtilmiştir.

\* İlgili kaynağın 1. ve 9. sayfaları arasından yararlanılmıştır.

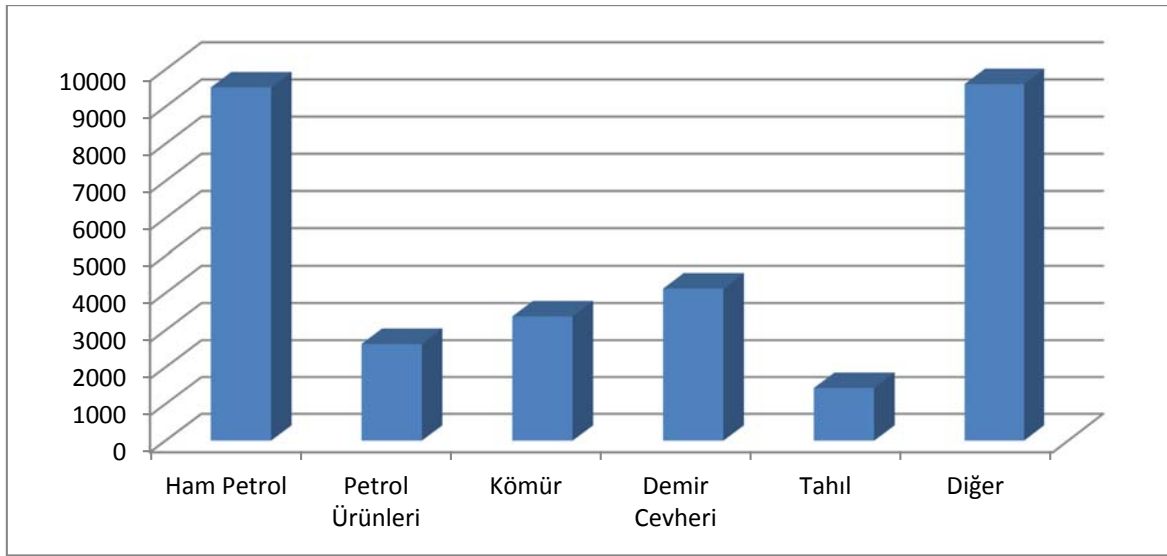
Tablo 6. Uluslararası Deniz Taşımacılığı Kaynaklı CO<sub>2</sub> Emisyonları ve Yıllara Göre Ağır Yakıt (HFO) Fiyatları (IMO, MEPC 59, 2009\*; <http://www.insee.fr>)

Yıl	HFO Fiyatı ( USD / ton) (Ocak Ayı Değerleri)	Toplam Uluslararası Deniz Taşımacılığı Kaynaklı CO <sub>2</sub> Emisyonu Milyon Ton
1990	96.50	468
1991	123.60	488
1992	61.50	498
1993	71.30	519
1994	61.70	535
1995	106.20	551
1996	101.60	565
1997	103.10	596
1998	69.40	590
1999	61.80	601
2000	122.60	647
2001	102.00	652
2002	97.50	660
2003	165.80	706
2004	132.50	755
2005	150.50	795
2006	274.40	838
2007	230.50	870
2008	424.90	-
2009	213.60	-
2010	442.70	-
2011	480.20	-
2012	655.60	-

Uluslararası denizcilik taşıması yapan ticari gemilerin emisyon ölçümleri ve gelecekteki CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması konusunda ülkelerin ulusal emisyonları birlikte hesap edilmemelidir. Gemi bir ülkede kayıtlı iken geminin sahibi farklı ülkeden olabilir. Ticari gemilerin taşıdıkları dış ticaret yükleri de yine kendi bayrak devletlerinden farklı olabilir ve hatta bir diğer ülkenin de menfaatine olabilir.

\* İlgili kaynağın 1. ve 9. sayfaları arasından yararlanılmıştır.

Dünya taşımacılığının %90'ını taşıyan gemiler çoğunlukla sabit güzergâhta rotalar izlemez ve ticari ömürleri boyunca farklı ulusların çok değişken farklı çeşitte mallarını yine farklı ülkelere taşırlar. Dahası, taşınan ithalat veya ihracat kargosu taşımadan taşımaya farklılık göstermekte ve ticari gemilerin de farklılaşmasına sebep olmaktadır (IMO, MEPC/SBSTA, 2010). Farklı malların 2006 yılı itibariyle dünya deniz taşımacılığı verileri şekil 13'de aşağıdaki gibi belirtilmiştir.



Şekil 13. 2006 Yılı Dünya Deniz Ticaret Verileri, Milyar Ton - Mil (Ortalama mesafe ile çarpılarak bulunan sevk edilen yük miktarı ) (UNCTAD, 2011)

Uluslararası deniz taşımacılığı yapan gemilerin gerek kayıtlı oldukları bayrak devletleri gerek ise armatörü ve donatanlarının farklı ülkelerden olmaları ve bu ülkelerin de geminin ömrü boyunca değişeceği, diğer taraftan rotasındaki seyri boyunca da farklı kurallara tabi ülkelerin karasularına ve limanlarına uğraklar ile gerçekleşen bir sektörün belli kurallar çerçevesinde tümü ile kontrol altına alınması ciddi bir konudur. 2010 yılı itibariyle dünya ticaret filosunun sadece yaklaşık % 35'i Kyoto Ek I ülkelerine kayıtlı olduğu belirlenmiştir (IMO, MEPC/SBSTA, 2010). Tüm ülkelerin, IMO tarafından kabul edilmiş ve edilecek olan küresel kurallar çerçevesinde hareket etmeleri gerekmektedir. IMO'dan bağımsız ortaya konulacak uygulamaların, bazı ülkelerin tek taraflı olarak bunlara uymamaları ve kabul etmemeleri ticari gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarını düzenlemek ve kontrol altına almakta ciddi bir sıkıntı yaratabilecektir. Bu olası durum uluslararası denizcilik piyasalar üzerinde CO<sub>2</sub> emisyonlarının

düşürülmesini bozan bir etki yaratacağı gibi global denizcilik sektörü tarafından salınan CO<sub>2</sub> emisyonlarının kontrolünde sağlıklı rakamların ve tespitlerinin yapılamamasına da neden olacaktır. Kyoto Ek I dahil olmayan ülkeler tarafından ortaya çıkacak olan “karbon sızıntısı” Kyoto Protokolünün “Ortak Fakat Farklılaştırılmış Sorumluluk” (CBDR - Common But Differentiated Responsibility) kavramının denizyolu taşımacılığına pratik olarak uygulanmasını tehlikeye sokmaktadır (IMO, MEPC/SBSTA, 2010). Kyoto Ek I’e dahil olmayan ülkelerin uluslararası çerçevede alınacak olan tedbirleri uygulamalarından ötürü dünya ticaretinde olası bazı farklılıklara yol açabilecektir.

Tablo 7. Uluslararası Deniz Taşımacılığındaki Yıllara Göre Yakıt Tüketimi  
(milyon ton) 1990 – 2007 ( IMO, MEPC 59, 2009\*)

<b>Yıllar</b>	<b>Alt Sınır</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Üst Sınır</b>
1990	120	149	185
1991	128	159	193
1992	128	159	197
1993	133	165	205
1994	137	170	212
1995	141	176	218
1996	145	180	223
1997	153	190	236
1998	151	188	233
1999	154	191	238
2000	166	206	256
2001	167	208	258
2002	169	210	261
2003	181	225	279
2004	193	240	298
2005	204	253	314
2006	215	267	331
2007	223	277	344

Gemilerden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması, bayrağına ve Kyoto Ek I’e dahil olup olmamasına bakılmaksızın tüm ülkelere bir bütün olarak dünya filosunun gemilerinde

\* İlgili kaynağın 1. ve 9. sayfaları arasından yararlanılmıştır.



uygulanmalıdır. Aynı yükü taşıyan ve aynı yükleme limanından aynı varış limanına yine aynı hızda taşıma yapan ve biri Kyoto Ek I'e dahil olan bir diğeri de dahil olmayan ülkelerin bayraklarını taşıyan iki gemi her ne kadar aynı miktarda CO<sub>2</sub> emisyonuna neden olsalar dahi eğer Ek I ülkelerine zorunlu yaptırımlar söz konusu olacak ise farklı ödeme ve kazanç değerlerine sahip olacaklardır (IMO News, 2008). Bu nedenle uluslararası denizcilik sektöründe tümüyle, gerek kontrolü gerek ise azaltılması gerçekleştirecek olan CO<sub>2</sub> emisyonlarının uygulanabilmesi için tüm ülkelerin detaylı bir şekilde CO<sub>2</sub> ölçümlerini kabul etmesi gerekmektedir. Bunun yapılabilirliği de IMO tarafından BM İklim Değişikliği Sözleşmesi çerçevesinde düzenlenmelidir.

Taşımacılık şirketlerinin, yakıt tüketimini azaltmak ve böylece CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaya çok güçlü teşvikleri vardır, çünkü fosil yakıtlarının artan maliyetleri ve gelecekte de bunun seyrinin aşağıya doğru olmayacağıdır. Gemi yakıt tüketimlerinin yıllara göre gösterimi yukarıda tablo 7'de belirtilmiştir. Gemi yakıtı maliyetlerinin son 5 yılda yaklaşık % 300 artarak gemi sahiplerinin operasyonel giderlerinin giderek daha önemli bir oranını temsil etmektedir (IMO, MEPC/SBSTA, 2010). Ayrıca, gemi yakıt maliyetlerinin küresel uygulanacak yeni IMO kurallarının 2015 yılına kadar Emisyon Kontrolü Alanlarında uygulanmasını (MARPOL Ek VI) takip edecek (düşük kükürtlü) distile yakıt kullanımının artması sonucunda tekrardan % 50 oranında artması beklenmektedir (IMO, MEPC/SBSTA, 2010).

### **2.1.5. IMO'nun Rolü**

Ticari gemi kaynaklı emisyonların çevreye olan zararlarına değinmeden önce, uluslararası denizcilik faaliyetlerinin nasıl yürütüldüğüne değinmek yerinde olacaktır. Deniz taşımacılığı, diğer taşımacılık sektörlerinin aksine ulusal kural ve düzenlemelerden çok küresel boyuttaki kurallar ile global ticaretin ihtiyaçlarına göre şekillenmektedir. Uluslararası deniz taşımacılığında kuralları koyan ve uygulayan örgüt olan, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) Birleşmiş Milletler tarafından 1948 yılında kabul edilen bir konvansiyon ile temeli atılmış ve 10 yıllık bir süreden sonra da 21. üye olarak Japonya'nın katılımı ile 1958 yılında resmen çalışmalarına başlayan bir Birleşmiş Milletler organıdır.

Bu örgüt 1982 yılına kadar Hükümetlerarası Denizcilik Danışma Örgütü (IMCO) adı ile bilinmekte idi (<http://www.imo.org/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx>). En başta

belirtmek gerekir ki IMO kural koymaz. Kuralları benimser. Bu kuralları koymak ülkelerin ve hükümetlerin sorumluluğundadır. Bir devlet bir IMO konvansiyonunu imzaladığında bu konvansiyonu kendi iç hukuk düzenlemesi olarak tıpkı diğer ülkesel kanunları gibi uygulamayı da kabul etmiş demektir. Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün faaliyet alanlarını da aşağıdaki şekilde belirtebiliriz:

- Kendisine bildirilen sorunları incelemek ve tavsiyelerde bulunmak
- Antlaşma, sözleşme ve diğer uluslararası belgelerin taslaklarını hazırlayıp bunları hükümetlere ve sivil toplum kuruluşlarına tavsiye etmek ve gerektiğinde konferanslar düzenlemek
- Üyeler arasında danışma ve hükümetler arasında bilgi alışverişi için gerekli mekanizmaları kurmak.
- Uluslararası denizlerde seyir güvenliği yönünden gerekli teknik önlemleri almak ve buna ilişkin uluslararası normların düzenlenmesini teşvik etmek.
- Deniz işletmeciliğinin verimli olmasını sağlamak üzere, en etkili kuralların kabulünü teşvik etmek.
- Denizlerin gemiler tarafından kirletilmesinin önlenmesine yönelik olarak, ülkeler arasında işbirliği yapılmasını sağlamak şeklinde özetlenebilir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), genel anlamıyla deniz güvenliği, uluslararası sularda seyir güvenliği, deniz çevresinin korunması ile uluslararası sularda sefer yapan gemilerin inşası-donanımı ile trafiği etkileyen tüm teknik ve hukuki konularla ilgili düzenlemeler ve pratik uygulamalar alanında hükümetler arasında işbirliğini sağlamak ve belirlenen standartların hükümetlerce benimsenmesini teşvik amacıyla faaliyet göstermekte, özellikle uluslararası sözleşmelerin benimsenmesi ve uygulanması çerçevesinde çalışmalarını sürdürmektedir. IMO'nun temel felsefesi "daha emniyetli seyrüsefer ve daha temiz denizler"dir. Bu amaçtan hareketle IMO bünyesini oluşturan temel ve yardımcı organlar marifetiyle kuruluş yılı olan 1958'den beri çeşitli faaliyetlerde bulunmaktadır (<http://www.turkhukuksitesi.com>).

IMO'nun temel organları olan Genel Kurul, Konsey ve Sekreteryanın yanında aşağıda belirtilen beş temel komite ile faaliyetini sürdürmektedir.

- a) Deniz Güvenliği Komitesi (MSC)
- b) Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC)
- c) Hukuk Komitesi (LEG)

d) Teknik İşbirliği Komitesi (TC)

e) Kolaylaştırma Komitesi (FAL)

a) Deniz Güvenliği Komitesi (Maritime Safety Committee-MSC): IMO'nun en önemli komitesi olup, örgütün teknik çalışmalarını yürütmektedir. Çok sayıda alt komiteleri vardır. Bu alt komitelerin isimleri onların ilgilendikleri konulara işaret eder. Seyir Güvenliği, Radyo-Telsiz İletişimi, Can Kurtarma, Arama Kurtarma, Eğitim ve İzleme, Tehlikeli Maddelerin Taşınması, Gemi Dizaynı ve Donanımı, Yangından Korunma, Denge ve Yük Hattı ile Balıkçı Gemilerinin Güvenliği, Tehlikeli Maddeler Katı Kargolar ve Konteynerler, Bayrak Devleti Uygulamaları ve Dökme Kimyasallar.

b) Deniz Çevresini Koruma Komitesi (Marine Environment Protection Committee-MEPC): Genel Kurul tarafından Kasım 1973'de kurulmuştur. Gemilerden kaynaklanan deniz çevresinin kirliliğinin kontrolü ve önlenmesi hakkındaki teşkilat faaliyetlerinin koordinasyonundan sorumludur. Dökme Kimyasallar ve Bayrak Devleti Uygulamaları MEPC'nin alt komitelerindedir.

c) Hukuk Komitesi (Legal Committee-LEG): Esas olarak 1967'de Torrey Canyon kazasından sonra ortaya çıkan yasal problemler ile ilgilenmek üzere kurulmuştur. Ancak, bu komite daha sonra daimi bir komite olmuştur. Organizasyonun görev alanı içerisindeki her türlü yasal (hukuki) meselelerin incelenmesinden sorumludur.

d) Teknik İşbirliği Komitesi (Technical Co-operation Committee-TC): Özellikle gelişmekte olan ülkelere denizcilik alanında teknik yardımların sağlanması konusunda Örgütün koordinasyon çalışmalarından sorumludur. Birleşmiş Milletler Sözleşmesi'nde resmi olarak ilk tanınan Organizasyonun Teknik İşbirliği Komitesi olması IMO çalışmalarında teknik yardımın önemini göstermektedir.

e) Kolaylaştırma Komitesi (Facilitation Committee-FAL): Uluslararası deniz trafiğinin kolaylaştırılması bağlamında IMO faaliyetleri ve fonksiyonundan sorumludur. Bunlar gemilerin limanlara ve diğer terminallere giriş ve çıkışlarında istenilen belgelerin basitleştirilmesi ve formalitelerin azaltılmasıdır. IMO'nun bütün komiteleri eşit olarak, tüm üye hükümetlerin katılımına açıktır.

Gemilerden kaynaklanan toplam sera gazı emisyonlarının düşürülmesinde IMO aşağıdaki konularda düzenleyici çerçeveyi oluşturmaktadır.

- Toplam küresel sera gazı emisyonlarının azaltılmasında

- Kötü amaçlı kullanım ile haksız rekabete yol açmaması ile bağlayıcı ve tüm bayrak devletleri için geçerli olmasında
- Düşük maliyetli sonuç odaklı hedeflerin geliştirilmesinde
- Küresel ticaretin ilerlemesine ve sürdürülebilir çevre kalkınmasının desteklenmesinde
- Enerji verimliliği ve yeni teknolojiler konusunda teşvik edilmesinde

### 2.1.6. MARPOL'ün Rolü

IMO Genel Kurulu 1973 yılında toplanan konferansında, yeni bir sözleşme gündeme getirmiş ve “Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi” (MARPOL 73/78) protokolünü kabul etmiştir. Sözleşmenin iki amacı vardır. Birincisi, denizlerin petrol, zehirli sıvılar, ambalajlı zararlı maddeler, pis sular ve çöpler ile kasıtlı kirlenmesinin önlenmesi, ikincisi ise gemilerin neden olduğu kaza sonucu doğabilecek deniz kirlenmesinin en aza indirilmesidir. Bu iki amaç doğrultusunda, sözleşmeye taraf olan ülkelerin, gemi yapımından sevk ve idaresine kadar her safhada denizlerin, gemilerden kirlenmesinin önlenmesi için her türlü teknik ve işletme önlemlerini almaları, liman ve kıyı tesisleri ile ekiplerini hazırlamaları, uluslararası kabul görececek düzeyde teşkilat ve mevzuat eksikliklerini tamamlamaları gerekmektedir. Sözleşmeye taraf olan ülkeler, sözleşmenin belirlediği gemilere ilişkin tesis, donanım ve cihazların kullanım ve işletimi için yönetmelik, yönerge ve esasları hazırlayıp bu yönde eğitim ve öğretim hizmetlerine ağırlık vereceklerdir.

1976 ve 1977 yıllarında ABD kıyıları açıklarında bir dizi tanker kazaları olmuştur. Bu kazalardan sonra 1978 yılında IMO tanker güvenliği ve kirliliğin önlenmesi amacıyla bir konferans toplamış ve bu konferansta alınacak yeni tedbirler müzakere edilmiştir. Konferansta MARPOL Sözleşmesi'ne bazı teknik zorlukları gidermek amacıyla bir protokol eklenmesi benimsenmiş ve Sözleşme bundan sonra MARPOL 73/78 olarak adlandırılmıştır. MARPOL 73/78 bir sözleşme, protokol ve altı ekten oluşmakta olup, 2 Ekim 1983 tarihinde yürürlüğe girmiştir. MARPOL 73/78 ekleri ve yürürlüğe giriş tarihleri tablo 8'de belirtilmiştir.

Ülkemiz 10 Ekim 1990 tarihinde MARPOL 73/78'e taraf olmuştur. MARPOL 73/78 sırasıyla 1983, 1987, 1988 ve 1992 yıllarında tadil edilmiştir. Deniz taşımacılığında yük olarak taşınan veya gemide üretilen ve denizlerin kirlenmesine neden olan maddeler esas alınarak, MARPOL 73/78'in aşağıda belirtilen altı eki hazırlanmıştır.

Tablo 8. MARPOL 73/78 Ekleri ve Yürürlüğe Giriş Tarihleri

(<http://www.imo.org/about/conventions>)

Marpol Ekleri	Mahiyeti	Yürürlüğe Giriş Tarihi	Deniz Ticaret Filosunun Tonaj Olarak Kabul Eden Payı (2009 Yılı Verisi )
EK I	Petrol ve Türleri	2 Ekim 1983	% 99,14
EK II	Zehirli Sıvı Atıklar	2 Ekim 1983	% 99,14
EK III	Ambalajlı Zehirli Maddeler	1 Temmuz 1992	% 95,76
EK IV	Atık Sular	27 Eylül 2003	% 81,62
EK V	Atılan Çöpler	31 Aralık 1988	% 97,18
EK VI	Hava Kirliliği	19 Mayıs 2005	%46

EK I : Denizlerde petrol ve türevlerinden oluşan kirlenmenin önlenmesi. Petrol, petrol ve yağ atıkları, sintine, pis su, sintine, çamur, yağlı karışımı içeren balast suları.

EK II : Zehirli sıvı atıklardan oluşan kirlenmenin kontrol altına alınması. Tank yıkama ve zararlı sıvı maddeler içeren yük artıkları

EK III : Deniz yolu ile ambalajlı olarak konteyner, portatif veya karayolu ve demiryolu tank vagonları içerisinde taşınan zararlı maddelerle kirlenmenin önlenmesi.

EK IV : Gemilerdeki sintine atıklarından oluşan kirlenmenin önlenmesi

EK V : Gemilerden çöp atıkları ile oluşan kirlenmenin önlenmesi

EK VI : Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesi Protokolü. Atmosfere zarar veren ozon delici egsoz gazları.

Yeri gelmişken belirtmek gerekirse ülkemiz 24.6.1990 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan 3.5.1990 tarih ve 90/442 Sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile MARPOL 73/78'e taraf olmuştur (<http://www.turkhukuksitesi.com>). Herhangi bir ülke MARPOL 73/78'i kabul etmesi durumunda EK I ve EK II'yi de zorunlu olarak kabul etmek durumundadır. Ancak EK III-IV-V-VI gönüllü seçime bağlı ve zorunlu değildir. MARPOL Ek VI içerisinde 1 Ocak 2013 tarihinde yürürlüğe giren gemilerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının miktarını azaltılmasına yönelik zorunlu teknik ve operasyonel enerji verimliliği önlemlerini de IMO 15 Temmuz 2011 tarihinde uygulamaya almıştır. Gelecek yıllar için de Marpol'un gemi kaynaklı karbondioksit emisyonlarını azaltmaya yönelik hedeflediği yol haritası aşağıdaki tablo 9'da belirtilmiştir.

Tablo 9. CO<sub>2</sub> Emisyonunu Düşürecek IMO Teknik Önlemlerinin Yürürlük Takvimi  
(Marpol Ek 6, Bölüm 4), ( <http://www.shippingandco2.org/CO2>)

Yıllar	Hedeflenen Amaç
2013	1) Yeni Uygulamalar ile Dünya Deniz Ticaret Filosunun %90'ına Etki Edilmesi 2) Yeni İnşa Gemiler için EEDI'nin Zorunlu Hale Gelmesi 3) SEEMP Tüm Gemiler için Zorunlu Hale Gelmesi
2015	Yeni inşa gemilerin EEDI uygulamaları ile amaçlanan verimlilik hedeflerine ulaşılması
2020	1) Yeni inşa gemiler ile mevcut verimliliği %10 iyileştirmek 2) Uluslararası Deniz Taşımacılığı kaynaklı karbondioksit emisyonunu ton / km başına %20 iyileştirmek
2025	Yeni inşa gemiler ile mevcut verimliliği %20 iyileştirmek
2030	Yeni inşa gemiler ile mevcut verimliliği %30 iyileştirmek
2050	Uluslararası Deniz Taşımacılığı kaynaklı karbondioksit emisyonunu ton / km başına %50 iyileştirmek

## 2.2. Gemi Kaynaklı CO<sub>2</sub> Emisyonlarını Düzenleyen Faktörler

Deniz ticaret gemilerinin neden olduğu hava kirliliğini kontrol altına almanın ilk adımları; denizciliğin başlangıcından bu yana hüküm süren ve denizlerde tamamıyla özgür olan gemilerin 17. yüzyıl itibariyle ulusal yasalarında ve geçtikleri ülkelerin karasularında birtakım kuralların getirilmesi ile başlar. (Friedrich v.d., 2007).

20. yüzyılın ortalarına doğru ise mevcut uygulamalara ek olarak teknolojik, politik ve çevresel faktörler de göz önünde bulundurularak yeni düzenlemeler ile güncellenmiştir. Deniz taşımacılığı kaynaklı karbondioksit emisyonlarının azaltılması konusu çevreye olan etkilerinden dolayı önemli bir konudur ve deniz taşımacılığı sektörünün düzenleyicisi olarak IMO; gemilerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması ve sınırlandırılması ile denetimleri konusunda devreye girmiştir. Bu önemli konuda IMO'nun çalışmaları üye devletlerin çevre üzerine olan kaygılarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, Kyoto Protokolü, UNFCCC (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi) sınırlama veya gemilerden kaynaklanan sera gazları emisyonlarının azaltılmasının IMO aracılığıyla takip edilmesi

gerekliliğini belirtir (IMO, WMD, 2009). Bunun için IMO, uluslararası taşımacılığı kontrol altına alacak, böylece sera gazı emisyonuna ve iklim değişikliğinin yavaşlamasına katkı sağlayacak sağlam bir rejimin geliştirilmesi ve benimsenmesi yönünde iddialı ama ulaşılabilir bir eylem planı ile çalışmaktadır. Bu plana göre de alınan tedbirler olarak yeni gemiler için bir enerji verimliliği tasarım endeksi (Energy Efficiency Design Index), tüm taşımacılık sektörü için en iyi uygulamalar ile rehberlik eden bir Enerji Operasyonel Verimlilik Göstergesi (Energy Efficiency Operational Indicator) paketleri geliştirmiştir. Bu tedbir ve paketler IMO'nun 59. Denizel Çevre Koruma Komitesi'nde (Marine Environment Protection Committee - MEPC 59) da 2009 yılı Temmuz ayında gelişmiş birer taslak olarak sunulmuştur (IMO, WMD, 2009).

IMO'nun Deniz Çevresi Koruma Komitesi, (MEPC) 62. toplantısı için Londra'daki IMO merkezinde 11-15 Temmuz 2011 tarihlerinde, bir araya gelen komite çalışanlarının aldıkları kararlar doğrultusunda IMO karbondioksit emisyonlarının azaltılması amacıyla yeni gemiler için enerji verimliliği standartları belirlemiştir. IMO tarafından belirlenen standartların uygulanmasında özellikle gelişmekte olan ülkelerde gecikmeler yaşanabileceği belirtilmiş olsa da, belirlenen zorunlu enerji verimliliği tasarım endeksi (Energy efficiency design index - EEDI) 48 ülke tarafından onaylanmıştır. Beş ülke olumsuz oy kullanırken, 12 ülke ise oylamada bulunmamıştır. EEDI kapsamında, yeni gemiler asgari düzeyde enerji verimliliği standardına uymak zorunda olacaklar. 2015-2019 yılları arasında inşaa edilen gemilerin enerji verimliliklerini %10 oranında artırması gerekmektedir. Bu oran 2020-2024 arasında %20'ye; 2024'ten sonra ise %30'a çıkacaktır. Sonuçta küresel ısınma ile mücadelede gelişmekte olan ülkeler ile gelişmiş ülkeler arasında bir uzlaşma sağlanması kolay olmamasına rağmen EEDI gibi enerji verimliliğini arttırıcı her türlü önleme ihtiyaç duyulmaktadır.

Global ekonomi ve buna bağlı sektörleri; birtakım teknolojik ve operasyonel iyileştirici uygulamalar ile IMO'nun Enerji Verimliliği Tasarım Endeksine göre tasarlanmış yeni ve büyük gemilerin sektöre girişi ile ton başına kargonun beher kilometre (ton/km) nakliyesinde ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonunun 2007 ile 2020 yılları arasında %15 ile %20 oranında azalacağına dair ortak görüş birliği içindedirler (IMO, COP18, 2012\*). Denizcilik sektörü zaten enerji tasarruflu olmasına rağmen, gemi makine, sac gövde ve pervane dizaynındaki iyileştirmeler ile yakıt tüketimi daha da düşürülebilir. Ayrıca atık ısıdan da faydalanılmak üzere ilave tasarımlar olasılık dahilindedir.

Gemi işletme maliyetlerinin giderek daha önemli bir bölümünü oluşturan yakıt maliyetleri 2005-2010 yılları arasında yaklaşık %300 artmış ve halihazırda armatör şirketler yakıt tüketimlerini ve buna bağlı CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak için çok güçlü bir eğilim içindedirler. Önümüzdeki yıllarda da yakıt fiyatlarının düşmeyeceğinin beklenmesi hem de IMO'nun yeni uygulamalarından (Marpol Ek VI) olan düşük kükürlü damıtılmış yakıt kullanımının küresel olarak Emisyon Kontrol Alanlarında 2015 yılı itibariyle zorunlu olacağının neticesinde armatör şirketlerin yakıt maliyetlerinin daha da artması kaçınılmazdır ki bu da daha verimli yakıt tüketimine eğilimi hızlandırır yönde olacaktır (IMO, COP16, 2010\*\*).

### **2.2.1. Emisyon Kontrol Alanları**

MARPOL'de gemilerden kaynaklanan deniz ve hava kirliliğinin ortadan kaldırılmasında özel bir öneme sahip olan “Özel Alanlar ve Emisyon Kontrolü Alanları” (Special Areas and Emission Control Areas - SECA) yürürlüğünde kısıtlayıcı önlemler tanımlanmıştır. Burada sadece MARPOL EK VI'nın konusu olan gemilerden kaynaklanan hava kirliliğinin önlenmesi için sülfür emisyonlarının daha sıkı kontrol edilip belirlendiği kükürt oksitlerin (SO<sub>x</sub>) Emisyon Kontrolü Alanları belirtilmiştir. Marpol'deki tüm özel alanların güncel listesi de IMO'nun resmi internet sitesinde bulunabilir. Aşağıdaki tablo 10'dan da görüldüğü üzere CO<sub>2</sub> için mevcutta bir Emisyon Kontrol Alanı uygulanmamıştır. Bunun başlıca nedeni CO<sub>2</sub>'nin yakın çevreye değil de global çevreye etki etmesidir aslında.

---

\* İlgili kaynağın 3. sayfasından yararlanılmıştır.

\*\* İlgili kaynağın 2. ve 3. sayfalarından yararlanılmıştır.



Tablo 10. MARPOL Ek VI: Gemi Kaynaklı Hava Kirliliği Önlenmesi / Emisyon Kontrolü Alanları (<http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/SpecialAreas>)

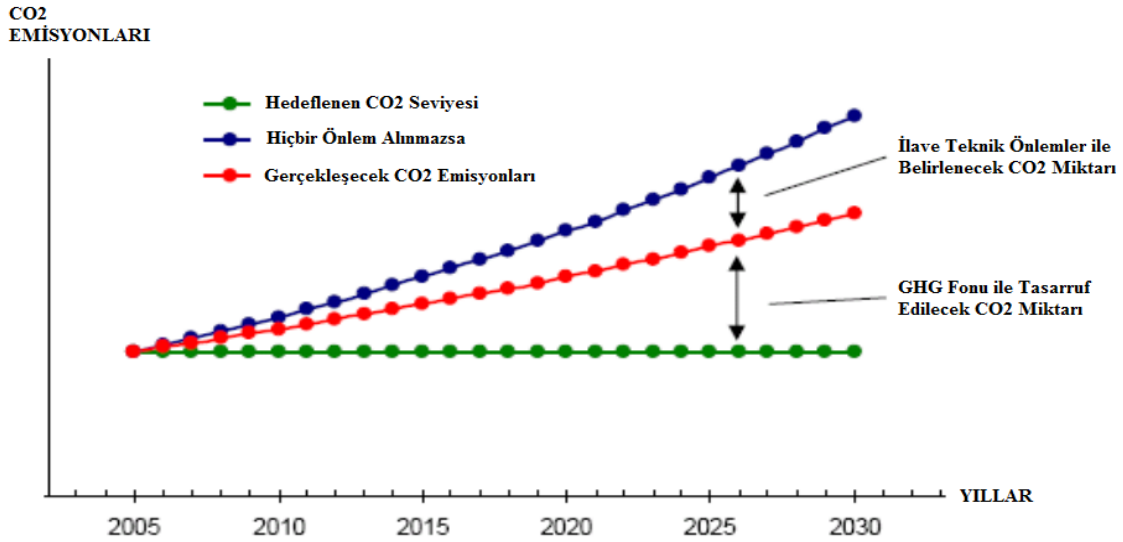
<b>Ek VI: Gemi Kaynaklı Hava Kirliliği Önlenmesi / Emisyon Kontrolü Alanları</b>			
<b>Özel Alanlar</b>	<b>Kabul Tarihi</b>	<b>Yürürlük Tarihi</b>	<b>Başlangıç Tarihi</b>
Baltık Denizi (SO <sub>x</sub> )	26.09.1997	19.05.2005	19.05.2006
Kuzey Denizi (SO <sub>x</sub> )	22.07.2005	22.10.2006	22.10.2007
Kuzey Amerika Denizi (SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , PM)	26.03.2010	01.08.2011	01.05.2012
Karayip Denizi ECA (SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , PM)	26.07.2011	01.01.2013	01.01.2014

### 2.2.2. Sera Gazı Fonu (GHG Fund)

Seragazı Fonu küresel sera gazı emisyonlarında önemli azalmalar sunacak basit bir fondur. Uluslararası ticarete 400 GT üzerindeki tüm gemilerin ikmal ettiği yakıttan ton başına belirli bir ücret karşılığında toplanacak fondur. Bu sera gazı katkı payları ile toplanan gelirler de bu uğurda dağıtılır. Seragazı fonu bu gelirleri toplamaya ve dağıtmaya sorumlu ayrı bir tüzel kişilik olarak kurulacaktır. Fon gelirleri gerek iklim değişikliğini hafifletmeye ve buna adaptasyon için gerek ise Ar-Ge çalışmalarına ayrılması tasarlanmaktadır. Seragazı Fonu karbon marketinden CO<sub>2</sub> satın alıp, satmak maksadı ile armatörler adına küresel bir emisyon ticareti sistemi içinde çalışması planlanmaktadır (<http://www.shippingandco2.org/DSA>) Sera Gazı Tazminat Fonu'nun temel prensibi aşağıdaki şemada özetlenmiştir.

İleriki yıllarda da deniz taşımacılığını gerçekleştiren gemilerin sevk ve idarelerini sağlayan makinelerinde fosil yakıtlarının kullanılması değişmeyeceğinden ve artan ticaret hacimleri ile birlikte karbondioksit emisyonunun da artacağı aşikardır. Buna bağlı olarak GHG fonları sektörün kendi kendine bir çözüm getirmesinin ve çözüme ulaşmak için kendi finansman kaynaklarını yine kendisinin yaratması temeline dayanmaktadır. Kyoto Protokolü sonrasında Birleşmiş Milletlerin UNFCCC konferanslarında alınan karar ve hedefler paralelinde bu fonda biriktirilen gelirlerin kullanılması ile gelecekteki karbondioksit emisyon değerlerinin düşürülüp küresel ısınmayı azaltmak hedeflenmektedir.

2005 yılından itibaren 2030 yılına kadar sabit bir hedef hattı ile belirtilen şekil 14'teki senaryodan anlatılmak istenilen alınacak teknik ve operasyonel iyileştirmeler ile gemi kaynaklı karbondioksit emisyonlarını azaltılmasının yeterli olmayacağı GHG Fonu ile de bunun desteklenip asıl hedeflenen karbondioksit emisyon seviyelerine inilebilmesidir.



Şekil 14. GHG Fonu İle Yıllar Boyunca Gerçekleşecek CO<sub>2</sub> Emisyon Değerleri  
(<http://www.shippingandco2.org/DSA>)

### 2.2.3. Teknik Önlemler

Teknik önlemler büyük yatırım maliyetleri gerektirse de CO<sub>2</sub> emisyonları konusunda ciddi azalmaları beraberinde getirmektedir. Bu bölümde teknik önlemler olarak yakıt türleri, yenilenebilir enerji ve rüzgar destekli sevk sistemleri ile gemi yakıt hücrelerine değinilecektir.

#### 2.2.3.1. Alternatif yakıtlar

Gemilerde kullanılan yakıtlar, maliyet nedenleri ile çoğunlukla düşük kaliteli HFO olanlardır ki bu ağır yakıtların 140°C'ye ısıtılması ile kullanılması ve motora konulamayan yakıtın tortu şeklinde kalan bölümünün de bertarafı gerekmektedir (Buhaug v.d., 2009\*).

\* İlgili kaynağın 129. ve 130. sayfaları arasından yararlanılmıştır.

Bu yakıtlardaki kükürt oranı ortalama %2,5 oranındadır. Buna karşılık %0,5 oranında sülfür içeren marin dizel yakıt veya %0,1 oranında sülfür içeren marin gaz yakıtlar daha temiz yakıtlardır. Daha düşük sülfür oranına sahip yakıtlara geçilmesi daha düşük karbondioksit emisyonunu da beraberinde getirmektedir.

IMO'nun bu konudaki çalışmaları da ağır yakıtlardan marin dizel veya gaz yakıtlara geçilmesi ile ton başı yakılan yakıtta %4-5 oranında karbondioksit emisyonu düşürdüğünü ortaya koymuştur (IMO, MEPC 61/5/16, 2010). Düşük karbon içeriği nedeniyle, sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) alternatif temiz yakıt olarak kullanılabilir. Doğada bolca bulunan doğal gazın başlıca bileşeni metan (CH<sub>4</sub>)'dır ve yakıt olarak kullanılması durumunda, petrol türevi dizel yakıtlara göre birim karbon başına daha yüksek enerji ortaya çıkartır. Diğer yandan doğal gaz, SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını da ciddi oranda azaltacak bir yakıt türüdür. Sülfür içermediği gibi, azotoksit emisyonlarında %90 oranında daha azdır ve partikül madde emisyonları neredeyse yoktur (IMO, WMD, 2009). Yakıt tiplerine ait karbon miktarı ve emisyon karşılaştırmaları tablo 11 ve 12'de belirtilmiştir.

Tablo 11. Farklı Yakıt Tiplerinin İçeriğindeki Karbon Miktarları (IMO, MEPC.1/Circ.681)

Yakıt Türü	Referans	Karbon İçeriği
1. Dizel	ISO 8217 Grades DMX	0,875
2. Hafif Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMD	0,860
3. Ağır Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME	0,850
4. Likit Petrol Gaz (LPG)	Propan Bütan	0,819 0,827
5. Likit Doğal Gaz ( LNG )		0,750

Tablo 12. Yakıtların CO<sub>2</sub> Emisyon Faktörlerinin Karşılaştırılması (kg.CO<sub>2</sub>/kg.Fuel) (Psaraftis v.d., 2009).

Yakıt Türü	GHG-WG 1/3/1	IPCC 2006 Rehberi			Yenilenmiş 1996 Rehberi
		Normal	Düşük	Yüksek	
Marin Dizel ve Marin Gaz Oil ( MDO/MGO )	3,082	3,19	3,01	3,24	3,21
Düşük Kükürtlü Yakıt ( LSFO )	3,075	3,13	3,00	3,29	
Yüksek Kükürtlü Yakıt ( HSFO )	3,021				

Ne var ki doğal gazın sıvılaştırılmış formunun gemilerde gerek depolanması gerek ise ana makinenin dizel yerine, LNG yakıt türü ile sevk sistemine göre düzenlenmesi maliyeti arttırmaktadır. Zira depolanması konusunda yalıtılmış silindirik tanklarda depolanıp taşınması demek gemide buna özel yer demektir. Sıvı yakıtlardan üç kat daha fazla alanda depolanabileceğinden teknik ve güvenlik standartları gereği kullanımı pek yaygın gözükmemektedir ve ancak yeni inşaa gemilerde kullanılabilir. Potansiyel LNG kullanımının CO<sub>2</sub> emisyonunu %25 civarında düşüreceği belirtilmiştir (IMO, WMD, 2009).

Nükleer sevk sistemleri teknik olarak mümkün olsa da, ticari gemilerdeki maliyeti açısından uygun bulunmamaktadır.

Biyoyakıtların içerisindeki karbon, bitkilerin havadaki karbondioksiti parçalaması sonucu elde edildiğinden, biyoyakıtların yakılması, dünya atmosferinde net karbondioksit artışına neden olmadığından, atmosferdeki karbondioksit miktarının artışına engel olabilmek için, fosil yakıtlar yerine biyoyakıtların kullanılması tercih edilebilir. Yüksek miktarlarda üretilmesi ve tüm sektöre yeterli olabilmesi konusundaki yetersizliklerden ötürü ticari gemilerde kullanılması pek ekonomik gözükmemektedir zira insanoğlunun beslenme gereksinimleri için de kullanılmaktadır. Ayrıca gemilerdeki depolanmasındaki teknik altyapı henüz ilk kuşak biyoyakıtlarda pek hazır gözükmemektedir (IMO, WMD, 2009).

### **2.2.3.2 Rüzgar destekli sevk**

Rüzgar destekli sevk sistemlerine sahip gemilerde kullanılan yelkenler ve uçurtmalar en çok kullanılan sistemlerdir. Yakıt fiyatlarının arttığı sektörde, yakıt maliyetlerini azaltma yönünde rüzgar enerjisinden destek alınması konusu aynı zamanda çevreci tedbir olarak gündeme gelmektedir. Gemilerdeki dizayn değişikliği, uçurtma ve yelken direklerinin kullandığı alan ile ekipmanın verimliliği gibi konular tartışmalıdır (Eide ve Endersen, 2010\*). Kargodan kaybedilecek alan, limanlara giriş ve çıkışlarda olası ekipmanın yeniden kapatılması ve kurulması gibi konular ile doğru ekipman seçimi armatörleri rüzgar destekli sevk sistemlerine karşı çekincelere sokmaktadır. Ayrıca gemi üzerindeki vinç ve kreynleri hareket sahalarının daraltılması yönünde olan dizaynların da farklılaştırılması gerekmektedir.

---

\* İlgili kaynağın 4. ve 9. sayfalarından yararlanılmıştır.

Yenilebilir enerji kaynakları olan güneş enerjisi ve rüzgar, gemilerdeki aydınlatma ve benzeri konularda yardımcı olabilir ancak ana itici sevk sistemi için yeterli tahriki sağlamayacaktır (IMO, WMD, 2009). Rüzgar destekli sevki sağlayan 600 m<sup>2</sup>'lik bir uçurtma beaufort skalasına göre 3 ile 8 aralığında (8-46 mph) şiddetindeki havada uygulanarak 25 knot'lık rüzgar hızında, yaklaşık 8 tonluk itici güç sağlamaktadır.



Şekil 15. Rüzgar Destekli Sevk Fotoğrafları

Bu da 600-1000 kW'lık dizel makine gücüne karşılık gelmektedir (<http://evworld.com/index.cfm>). Rüzgar destekli sevk görselleri şekil 15'de sunulmuştur. Rüzgar destekli sevk için kullanılan uçurtmaların kullanımı 100 ile 300 metre yükseklikte olduğundan, bu irtifadaki rüzgar şiddeti deniz seviyesinden çok daha fazladır. Örnek olarak 150 metre yükseklikteki rüzgar hızı deniz seviyesinden 10 metre yüksekliktekinden yaklaşık %25 daha fazladır. Ayrıca irtifa yükseldikçe o yükseklikteki rüzgar şiddeti de lineer olmayıp logaritmik olarak arttığı ve buna bağlı olarak daha yüksek irtifalara salınan uçurtmanın daha yüksek güçlerde çekme sağlayacağı belirtilmektedir.

Ayrıca uçurtma rüzgar üzerine doğru maksimum 50 dereceye kadar kullanılabilen bu da mevcut seyir rotasında 310 derecelik pusula kullanımını mümkün kılmaktadır. Bir geminin ortalama olarak yılda 200 gün seyirde olduğu düşünülürse açık denizde seyir zamanı boyunca %30-50 oranında kullanılabilen öngürülebilir. Gemi zabiti tarafından köprü üzerindeki kontrol paneli yardımı ile kullanılır ve rüzgar destekli uçurtma günümüzde kargo taşımacılığı yapan Wessels Reederei GmbH, BBC Chartering & Logistic GmbH, Anbros Maritime S.A. armatörler tarafından kullanılmaya başlanmıştır (<http://www.skysails.info>).

### **2.2.3.3. Yakıt hücreleri**

Yakıt hücreleri kullanılan yakıtın kimyasal enerjisini, elektrokimyasal reaksiyonlar ile elektrik enerjisine çevirme prensibine sahiptir. Prosesin başlaması için ihtiyaç duyulan yakıt LNG veya gelecekteki biyoyakıtlar, hidrojen veya bir başka yakıt da olabilir. Yakıt hücrelerinden salınan CO<sub>2</sub> emisyonu dizel makinelerle göre çok düşüktür ve bileşeninde sülfür ve azot barındırmayan yakıtların tepkimesi ile de SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonu çok az olmaktadır.

Ancak ticari gemilere adapte edilecek olan yakıt hücrelerinin kurulması yüksek maliyetlere dayanmaktadır. Yakıt hücrelerinin kurulması ve donanımın bakımı için gerekli teknik personelin kolay karşılanamaz oluşu da dezavantajlarıdır. Bu bağlamda standart bir dizel makineden 2-3 kat fazla maliyetli olmaktadır (Eide ve Endersen, 2010\*). Yakıt hücreleri daha çok yardımcı makinelerde tercih edilmektedir. Gelecekte yakıt hücrelerinin hibrid gemilerde kullanım yeri bulması daha muhtemeldir.

---

\* İlgili kaynağın 4. ve 9. sayfalarından yararlanılmıştır.

Yakıt hücrelerinin gemi güvertesinde kapladıkları alanı belirtmek üzere şekil 16'daki görsel verilmiştir.



Şekil 16. Yakıt Hücreleri Fotoğrafi

## 2.2.4. Operasyonel Önlemler

### 2.2.4.1. Verimliliğin arttırılması

Enerji tasarrufu konusunda çalışanların bildiği en temel olgu harcanan enerjiden yapılacak olunan tasarrufun, aslında diğer alternatif enerji kaynaklarına yönelmek kadar ciddi öneme sahip olduğudur. Bu bağlamda artan teknolojik gelişmelerin de ışığında kullanılan enerjiyi daha verimli hale getirmek ile istenilen malların taşınmasına bir kısıtlama getirmeden çevreye daha az CO<sub>2</sub> salarak taşınması de buna en güzel örneklerdendir. Bundan elli yıl önce yapılan gemilerdeki sevk sistemi, gemi dizaynı ve ana makineleri ile günümüzde yapılan gemiler arasında enerji verimliliği konusunda çok ciddi olumlu yönde gelişmeler katedilmiştir.

1976 senesinde inşa edilmiş 1500 TEU kapasiteli konteyner gemisi 25 knot süratte seyrederken 96 gr/TEU/km (178 gr/TEU/mil) oranında yakıt tüketirken, 2007 model 12.000 TEU kapasiteli bir konteyner gemisinin yine 25 knot süratte seyretmesini sağlayan yakıt miktarı TEU/km başına 24 gramdır (44 gr/TEU/mil) (World Shipping Council, 2009). Bu örnekten de görüleceği üzere geçtiğimiz otuz yılda deniz taşımacılığında ve gemilerde yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak karbon verimliliğinde %75 oranında ilerleme sağlanmıştır. Gemi sanayi, yeni teknolojilerin ve ilerleyen mühendislik kabiliyetleri ile enerji ve yakılan yakıtın son ürünü olarak ortaya çıkan karbondioksit emisyonu konularında sürekli yol almaktadır. Daha iyi gemi dizaynı, güç ve sevk sistemleri, yeni tür pervane dizaynı, atık ısının geri kazanılması, enerji kullanımını düşürmek gibi pekçok alanda sektör çalışmaktadır. Ayrıca, LNG ve biyoyakıtlar gibi düşük karbonlu enerji kaynaklarına geçmek için de araştırmalar yapılmaktadır. Operasyonel verimliliğin yanında yeni rotalar ve seyir hızının minimize edilmesi de yine bu çalışmalardandır. Her ne kadar bunu daha ucuz yakıt ve nakliye maliyetleri konusunda yapmaya ihtiyaç duyuyorlarsa da, daha az enerji ve daha az yakıt demek daha az CO<sub>2</sub> emisyonu demektir. Uluslararası karbon yönetim politikası ayarlama süreci, bilimsel, teknik, ekonomik ve operasyonel bilgi ile yönlendirilmelidir. Ortaya çıkan çözümler çevreye duyarlı, gerçekçi ve sürdürülebilir olmalıdır. Verimliliğin artırılması ile ortaya çıkan yeni karbon rejimi, küresel ölçekte bağlayıcı ve bütün gemiler için de geçerli olmalıdır ki çıkar amaçlı tarafları olmasın.

#### **2.2.4.2. Düşük hızda seyir**

Seyir süratının düşürülmesi son yıllarda gemilerde sıklıkla başvurulan bir uygulama olarak denizcilik sektöründe özellikle de konteyner gemilerde kullanılmaktadır. Ana prensip olarak bir geminin sürati arttığında bunun birlikte, gövdenin karşılaştığı su direnci değeri de yükselir ve bunun tam tersi durumlarda yani düşük hızlarda su direnci değeri de düşer ve belli oranlarda yapılacak küçük miktarlardaki sürat azaltmalarının bile operasyonel olarak yakıt tasarrufu ve enerji ekonomisine olan katkıları çok fazladır (Eide ve Endersen, 2010\*). Gemilerden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonu özellikle yakıt tüketimi ile doğrudan orantılıdır.

---

\* İlgili kaynağın 4. ve 9. sayfalarından yararlanılmıştır.



Yüksek hızda yakıt tüketimi beraberinde fazla CO<sub>2</sub> emisyonunu da getirmektedir. Bunun sonucu olarak da hızın düşürülmesi ile daha yavaş hızda seyir, beraberinde daha az enerji ve yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak daha az CO<sub>2</sub> emisyonuna neden olmaktadır. Düşük hızlarda seyreden gemilerin karşılaştığı su direnci daha az olduğundan, daha az bir enerji ve yakıt ile daha uzun mesafeler gidebilir. Diğer bölümlerde bahsedilmiş olan gemi dizaynının da aslında geminin karşılaştığı su direncini azaltması vasıtasıyla emisyon düşürücü bir önlem olmasına ayrıca değinilmiştir. Seyir süratine geri gelmek gerekir ise çok az bir oranda bile hızın düşürülmesi, yüksek oranlarda yakıt tasarrufu ve CO<sub>2</sub> emisyonunun düşmesine sebep olmaktadır. IMO'nun dünya deniz ticaret filosu genelinde yaptığı çalışmalar deniz taşımacılığındaki gemilerde bu oranın %10 nispetinde hızın düşürülmesinin %23.3 oranında emisyonu azaltacağı yönünde sonuçlanmıştır (Savitz v.d., 2008). Gemi hızının düşürülmesi karbondioksit emisyonlarını azaltmaktadır. Dünyaca ünlü gemi hattı Hapag Lloyd tarafından yapılan çalışmalarda da kendi gemilerindeki %20'lik hız düşürmenin yani mevcut seyir süratlerinden 5 knot'luk bir yavaşlama ile %50 oranında yakıt maliyetlerini düşürdüğünü ortaya çıkartmıştır (Savitz v.d., 2008). Diğer bir örnek çalışmada da iki filo grubu üzerindeki yakıt harcamalarını ortaya koymak üzere aynı taşıma kapasitelerine sahip bir yanda 10 adet gemi ve hepsi 16 knot süratle diğer tarafta da 14 adet gemi ve süratleri 10.5 knot ile seyrettirilmiş ve 16 knot yapan filonun toplamda 140.000 metrik ton yakıt harcadığı yavaş giden 14 geminin ise toplamda sadece 60.000 metrik ton yakıt harcadığı ortaya çıkartılarak %57 oranında yakıt ve emisyon farkı olduğu sonucuna varılmıştır (Savitz v.d., 2008).

Seyir hızının düşürülmesi ile belli bir rotadaki yıllık toplam taşınacak kargo miktarı, gemilerin yavaş seyretmesi sonucu yıllık daha az sefer sayısına ulaşması sonucunu doğuracağından, düşük hızda seyir beraberinde o rotasyonda ilave gemi çalıştırılması sonucunu da doğurmaktadır.

Seyir zamanındaki artışa karşın, gemilerin limanlarda yükleme ve tahliye zamanlarında yapılacak olan operayonel iyileştirmeler de yine yılda yapılacak sefer sayısını gemiler daha yavaş gitseler dahi kapatabilecek bir iyileştirme değildir. Alıcıların daha hızlı bir şekilde yüklerine ulaşmak istemeleri üzerine de aynı rotada seyreden hızlı ve yavaş servis gemileri pazarda kendilerine yer bulmaktadır zira süratli gemiler için ödenen ücret belli durumlardan daha yüksek olmaktadır.

### 2.2.4.3. Trim ve draftın ayarlanması

Geminin trimi ve draftı gövdeye etki eden su direncini etkilediğinden, yakıt ve buna bağlı CO<sub>2</sub> emisyonlarına etkilidir. Geminin draft ve trimi yükmeden yüklemeye geçeceği



Şekil 17. Yüklü Konteyner Geminin Trim ve Draft Duruşu Fotoğrafi

için optimum yükleme koşulları operasyonel olarak sağlanabilir ise geminin sahip olacağı draft ve trim değeri ile daha az bir su direncine maruz kalması daha az yakıt ve CO<sub>2</sub> emisyonuna sebep olur. Ortalama olarak gemilerdeki trim ve draft iyileştirmeleri ile %0,5 ile %2 arasında bir yakıt tasarrufu kazanılabilmektedir (Eide ve Endersen, 2010\*). Fakat konteyner gemisi, RoRo ve yolcu gemileri için aldıkları yüklerin uğrak limanları boyunca değiştiği gemi tipleri için bu oran %5 seviyesine çıkmaktadır. Yüklü bir konteyner gemisinin yandan görünüşü ve karina hattı şekil 17’de gösterilmiştir.

### 2.2.4.4. Hava koşullarına göre rotasyon (weather routing)

Rüzgar ve dalgalar ile beraberindeki akıntı ile birlikte değerlendirilen hava koşulları geminin sevki için harcanan enerjiyi etkilemektedir. Bu nedenle rota hesaplaması yapılırken havanın durumunun da gözönüne alınması gereklidir. Gemi rotası ne kadar uzun olursa, buna bağlı olarak hava koşullarının rotasyonda esneklik sağlanabilir. Bu bağlamda kıtalararası okyanus geçişlerinde hava koşullarına göre rotasyon operasyonel bir önlem olarak alınabilir. Gemi tipi ve tonajına bağlı olarak %0-5 arasında bir değerlendirme payına sahiptir (Eide ve Endersen, 2010\*).

---

\* İlgili kaynağın 4. ve 9. sayfalarından yararlanılmıştır.

Bunun yanında hava koşullarına göre rotanın tayini hava koşullarına bağlı olası kazaların da önüne geçmek için faydalı bir önlemdir.

### **2.3. Gemi Kaynaklı CO<sub>2</sub> Emisyonundaki Mevcut Kurallar**

Uluslararası deniz taşımacılığı en çevreci ve en enerji verimli taşımacılık şekli olarak toplam dünya ticaret hacminin tonaj olarak %90'ını taşıırken aynı zamanda taşınan birim yük başına salınan emisyonlar açısından; karayolu havayolu ve demiryolu taşımacılığına kıyasla en düşük olanıdır. Birleşmiş Milletlere bağlı Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) güvenli, emniyetli ve verimli denizciliğin temiz denizlerde sağlanması ve devam etmesi yönünde uluslararası kuralları ve uygulamaları düzenleyen kuruluştur. IMO gemi kaynaklı sera gazı salımlarını azaltmak için zorunlu teknik ve operasyonel önlemler paketini içeren MARPOL Ek VI için yeni bir bölüm kabul etmiştir.

11-15 temmuz 2011 tarihinde Londra'da toplanan IMO'nun 62. Denizel Çevre Koruma Komitesi (MEPC) Marpol Ek VI kapsamında uluslararası denizcilik taşımacılıklarından kaynaklı sera gazlarının azaltılması konusunda zorunlu uygulamaları başlatılması yönünde aldığı kararlar ile Kyoto Protokol'ünden bu yana ilk defa uluslararası bir sanayi sektörü için zorunlu küresel sera gazı azaltma rejimini yürürlüğe koymuştur. Bu kural ile yürürlüğe girmiş olan EEDI, EEOI ve SEEMP uygulamaları da gönüllü olarak başlamıştır ve 1 Ocak 2013 tarihinde zorunlu yaptırımların denizcilik sektöründe hayata girişine karar verilmiştir (IMO, 2011\*).

#### **2.3.1. Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI)**

Denizcilik sektörü gemilerin yakıt tüketimini optimize etmek üzere sürekli çalışmaktadır. Son yıllarda IMO'daki gemi kaynaklı sera gazları ve özellikle baca gazlarından salınan karbondioksit emisyonlarının azaltılmasına yönelik yapılan tartışmalar ve çalışmalar neticesinde sivil toplumun çıkarlarını temsil eden hükümetler, sektör dernekleri ve kuruluşların ortak katılım ve destekleri ile Enerji Verimliliği Dizayn Endeksi (EEDI) hayata

---

\* İlgili kaynağın 11. ve 14. sayfalarından yararlanılmıştır.

kazandırılmıştır. IMO'nun Hava Kirliliği ve İklim Değişikliği Bölümünde çalışan Edmund Hughes'a göre Enerji Verimliliği Dizayn Endeksi geniş bir çevrenin ve kurumların gemilerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması hedefinde topyekün yarattığı bir üründür (2011).

EEDI gemilerin enerji verimliliği artırıcı hesaplamaları barındırdığından daha az fosil yakıtı kullanımı ve buna bağlı daha az sera gazı emisyonu ile küresel çevreye etkinliğine hizmet eder. Yeni inşaa gemiler için EEDI hesaplama metodu MEPC.1/Circ.681 nolu geçiçi yönergesi ile 17 Ağustos 2009 tarihinde IMO tarafından sirküle edilmiştir. Daha verimli motorlar ve tahrik sistemleri ile daha büyük gemi ve optimize edilmiş gövde tasarımlarının geliştirilmesi yoluyla ton-km kapasitesi bazında CO<sub>2</sub> emisyonunda kayda değer azalma elde edilmektedir (IMO, COP15, 2009).

Yeni inşaa edilecek gemiler için getirilmiş olan EEDI uygulaması ile teknik önlemler kullanılarak enerji verimliliği yükseltilmesi teşvik etmektedir. EEDI farklı gemi tip ve modellerinde ton/mil başına taşınan kargo için minimum enerji verimliliği seviyesini gerektirir. Her beş yılda bir de, gelişen teknoloji ve yeni geliştirilen önlemler ile düşürülecek EEDI seviyeleri neticesinde yakıt verimliliği ve emisyonların da azaltılması amaçlanmaktadır. EEDI geminin ton/mil başına saldığı CO<sub>2</sub> emisyonu için, yani daha az yakıt kullanımını sağlayacak daha verimli enerji kullanımını sağlamak üzere, yine o geminin belirli teknik tasarım parametrelerine dayalı karmaşık bir formülle hesaplanması ile ortaya çıkarılan bir rakam değeridir. Daha küçük EEDI rakam değerleri, daha enerji verimli gemi tasarımı olarak kullanılmaktadır. İlk faz CO<sub>2</sub> düşürme seviyesi (gram CO<sub>2</sub> / ton x mil) %10'dur ve ileriki her beş yılda bir de gelişen teknolojilere bağlı verimlilik yapılandırmalarına ayak uydurmalıdır. 2000 ile 2010 yılları arasında inşa edilen gemilerin verimlilikleri ortalamasını baz alan IMO 2025 ile 2030 dönemine kadar azaltma oranlarını %30 olarak belirlemiştir (IMO, 2011\*). EEDI dünya deniz ticaret filosunun en büyük ve en çok enerji (yakıt) harcayan gemi modelleri olan petrol ve gaz tankerleri, dökme yük, genel kargo ve konteyner gemileri ile yeni inşaa gemi emisyonlarının yaklaşık %70'i hedef almaktadır. Diğer tip ve model gemiler için de ileriki yıllarda geliştirilecek formülasyonları oluşturma çabasıdır. CO<sub>2</sub> emisyonları için IMO'nun teknik yönetmelik takvimi ile hedeflenenler aşağıdaki şekil 18'de gösterilmiştir.

---

\* İlgili kaynağın 11. ve 14. sayfalarından yararlanılmıştır.

1 Ocak 2013 tarihi itibariyle yürürlüğe giren EEDI uygulaması aşağıdaki gibi hedeflenmiştir (Knudsgaard, 2011).

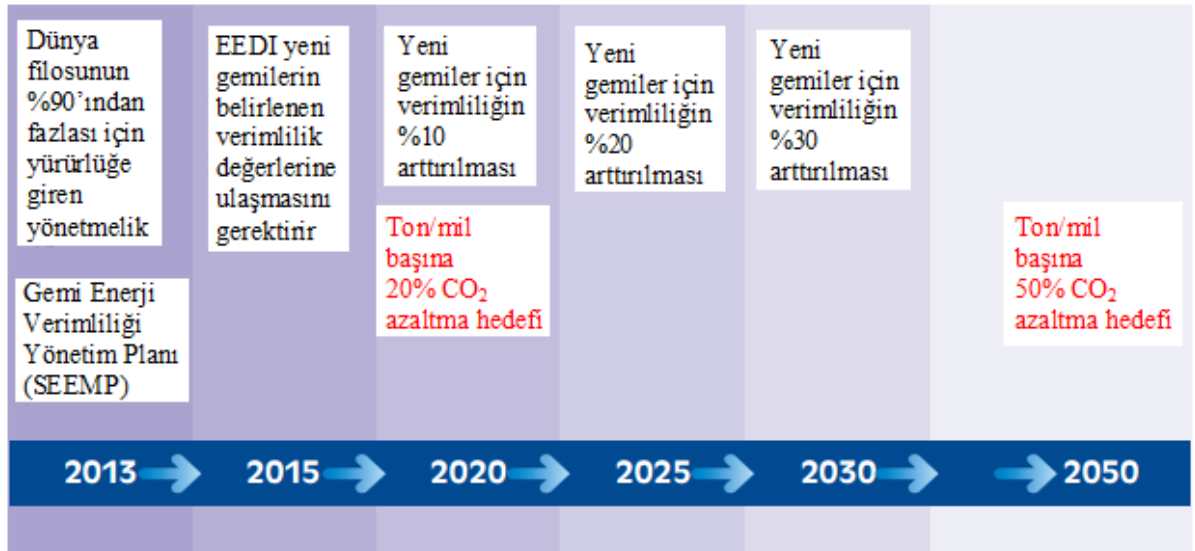
Hedeflenen EEDI < ( 1-X / 100 ) x Referans Değeri

X = 0 ; 1 Ocak 2013 sonrası inşa edilen yeni gemiler için

X = 10 ; 1 Ocak 2015 sonrası inşa edilen yeni gemiler için

X = 20 ; 1 Ocak 2020 sonrası inşa edilen yeni gemiler için

X = 30 ; 1 Ocak 2025 sonrası inşa edilen yeni gemiler için



Şekil 18. CO<sub>2</sub> Emisyonları İçin IMO'nun Teknik Yönetmelik Takvimi (IMO, COP18\*)

Denizcilik sektörü ve gemi taşımacılığı mevcutta taşımacılığın en yakıt verimli ve yeşil modu olarak kabul edilmesinin yanında 2009 yılında yapılan İkinci IMO Sera Gazı Çalışması, mevcut teknolojilerin kullanılması, geliştirilmiş gemi gövde dizaynı, daha verimli motorlar ve tahrik sistemleri, farklı içerikli yakıt türleri ve hatta daha büyük gemilerin kullanılması yolu ile daha az karbondioksit emisyonu için ciddi bir potansiyel olduğunu ortaya koymuştur (IMO, MEPC 59, 2009\*\*).

\* İlgili kaynağın 5. sayfasından yararlanılmıştır.

\*\* İlgili kaynağın 1. ve 9. sayfaları arasından yararlanılmıştır.

EEDI düzenlemesinin uygulaması sadece 400 GT'dan büyük gemiler içindir. Ayrıca EEDI aşağıdaki 7 farklı gemi tipi için uygulanmaktadır (IMO, MEPC 63/23/10, 2012):

1. Dökme Yük Gemileri ( Bulk Carriers )
2. Tanker ( Tankers )
3. Gas Tankeri ( Gas Tanker )
4. Konteyner Gemileri ( Container Ships)
5. Genel Kargo Gemileri ( General Cargo Ships)
6. Soğutuculu Gemiler (Refrigerated Cargo Ships)
7. Kombine Taşımacılık Gemileri ( Combination Carriers )

Ancak buharlı, dizel elektrikli ve hibrid sevk sistemli gemiler için uygulanmamaktadır.

EEDI yeni gemiler için minimum enerji verimliliği seviyesi gerektiren ölçümü kendinden önceki mevcut gemilerin yakıt verimliliğini etkileyen tüm bileşenlerin hesaplanması ile ortaya koymaktadır. Ayrıca EEDI aynı taşıma işini üstlenmiş aynı boyutta benzer gemilerin enerji verimliliği karşılaştırmasını yapabilmek için de gerek duyulan bir parametredir.

EEDI değeri ne kadar küçük ise, gemi o kadar enerji verimli denilmektedir. Taşıdığı kargonun bir tonunu bir deniz mili taşımak için kullanılan yakıt ve buna bağlı olarak gram cinsinden CO<sub>2</sub> emisyonu miktarını gösteren aşağıdaki grafik dünya deniz ticaret filosunun da durumunu göstermektedir. Daha büyük tonajlı ve özellikle daha yavaş seyir süratine sahip gemilerin EEDI değerleri düşük ancak dünya deniz ticaret filosunun gemi adedi bakımından çoğunluğunun 0 ile 100.000 DWT aralığında oluşu mavi renkli noktaların bu aralıkta daha çok olduğundanır. Bu bağlamda daha enerji verimli gemiler inşa edilmesinin de daha büyük taşıma tonajlı gemilerde olduğu da yine aşağıdaki şekilden anlaşılmaktadır.

EEDI ile amaçlanan belli başlı konular aşağıdakilerdir (IMO, 2011\*);

- Yeni gemiler için minimum enerji verimliliği düzeyini bulur.
- Bir geminin yakıt verimliliğini etkileyen tüm bileşenlerinin devam eden teknik gelişimini teşvik eder.
- Teknik ve dizayn esaslı operasyonel ve ticari önlemleri ayırır.

---

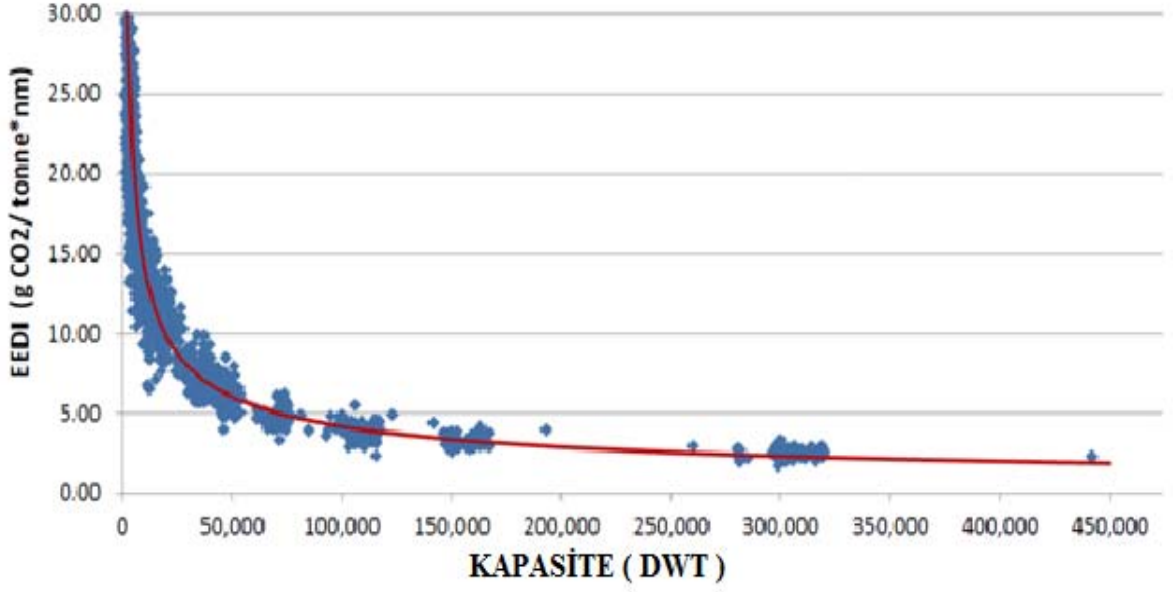
\* İlgili kaynağın 11. ve 14. sayfalarından yararlanılmıştır.

- Aynı taşıma işini üstlenmiş ve aynı boyuttaki gemilerin farklı enerji verimliliği değerlerini kıyaslama olanağı sağlar.

Tablo 13. Farklı Gemi Tiplerinin EEDI Düşürme Oranları Yüzdesi Tablosu  
(IMO, MEPC 63/23/10, 2012 )

Gemi Tipi	Gemi Boyutu	0. Faz ( 1 Ocak 2013 - 31 Aralık 2014 )	1. Faz ( 1 Ocak 2015 - 31 Aralık 2019 )	2. Faz ( 1 Ocak 20120- 31 Aralık 2024 )	3. Faz ( 1 Ocak 2025 - .... )
<b>Dökme Yük Gemisi (Bulk Carrier)</b>	20.000 DWT üzeri	0%	10%	20%	30%
	10.000 - 20.000 DWT arası	Yok	0-%10 *	0-%20*	0-%30*
<b>Tanker Gemisi (Tanker)</b>	20.000 DWT üzeri	0%	10%	20%	30%
	4.000 - 20.000 DWT arası	Yok	0-%10 *	0-%20*	0-%30*
<b>Konteyner Gemisi (Container Ship)</b>	15.000 DWT üzeri	0%	10%	20%	30%
	10.000 - 15.000 DWT arası	Yok	0-%10 *	0-%20*	0-%30*
<b>Genel Kargo Gemisi (General Cargo Ship)</b>	15.000 DWT üzeri	0%	10%	20%	30%
	3.000 - 15.000 DWT arası	Yok	0-%10 *	0-%20*	0-%30*
<b>Soğutuculu Yük Gemisi (Refrigerated Cargo Carriers)</b>	5.000 DWT üzeri	0%	10%	20%	30%
	3.000 - 5.000 DWT arası	Yok	0-%10 *	0-%20*	0-%30*
* Düşürme faktörü yüzdesi geminin tonajına göre belirtilen iki değer arasındaki orana göre belirlenir. Düşük yüzde değeri düşük tonajdaki gemi için uygulanır					

Farklı gemi tiplerinin EEDI düşürme oranları yüzdesi yukarıdaki tablo 13’de, deniz ticaret filosunun kapasiteye bağlı EEDI değeri de şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 19. Deniz Ticaret Filosunun Kapasiteye Bağlı EEDI Değerleri (www.dnv.com)

Gemi tasarımcıları ve inşaatçıları için birbirinden bağımsız gemilerin sahip oldukları enerji verimliliği değerlerinin ortaya çıkarılması ve mukayeseleri ile daha az yakıt tüketimi sağlayan gemilerin inşasına olanak sağlamayı amaçlayan EEDI, 2010 yılındaki MEPC komitesinin çalışmaları sonucunda %15 ile %30 arasında gemi tipine ve boyutuna bağlı olarak iyileştirmenin olası olduğunu belirtmiştir (IMO, MEPC 61/5/16, 2010). Ayrıca bir gemi için yapılan EEDI çalışması daha sonra geminin servis hayatı boyunca beş ve on yıllık periyotlar ile teknolojik gelişmeler ile yeniden yapılandırılıp güncel tutulabilir. Ayrıca EEDI hem gemi sahipleri hem de yük sahipleri açısından kendi işlerinde hesaplayacakları enerji ve yakıt ihtiyacı için hesaplama kolaylığı doğurmaktadır.

Hiç şüphesizdir ki gelişmiş ülkeler ve büyük ekonomiler daha çok CO<sub>2</sub> emisyonu yapmaktadırlar. Dünyanın lider ekonomilerinden birisi olarak Amerika Birleşmiş Devletleri; dünya fosil yakıtı emisyonlarının %23'ünü oluşturarak en çok CO<sub>2</sub> emisyonu yapan ülkelerinin de başını çekmektedir (Roberts v.d., 2003). Pekçok araştırma büyük ekonomilerin büyük CO<sub>2</sub> emisyon oranları arasındaki lineer kolerasyonu incelemiştir. Ülkelerin meydana getirdiği birim CO<sub>2</sub> emisyonları ile ülkelerin sahip oldukları GDP (Gross Domestic Product) değerlerini arasında doğrudan bir ilişki vardır. Ekonomik büyüme ile enerji kullanımı ve buna bağlı olarak artan CO<sub>2</sub> emisyonu artmamıştır. 1980'lerdeki Batı Almanya'nın ekonomisi %2,1 büyüme



katederken ülkenin meydana getirdiği karbondioksit emisyonları ise %1,2 azalmıştır (Roberts v.d., 2003). Mevcut teknolojilerin ve operasyonel uygulamalar eşliğinde karbondioksit emisyonları azaltılma potansiyelleri tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14. Mevcut Teknoloji ve Operasyonel Uygulamaların Kullanılması ile CO<sub>2</sub> Emisyonlarının Azaltılabilme Potansiyeli ( IMO, COP15, 2009)

<b>DİZAYN ( Yeni Gemi )</b>	<b>CO<sub>2</sub>/ton-mil Tasarrufu</b>	<b>Birleştirilmiş</b>	<b>Birleştirilmiş</b>
Konsept, Hız ve Kapasitesi	%2 - %50*	%10 - %50*	%25 - %75*
Gövde ve Üstyapı	%2 - %20		
Güç ve Sevk Sistemleri	%5 - %15**		
Düşük Karbonlu Yakıtlar	%5 - %15		
Yenilenebilir Enerji	%1 - %10		
Egsoz Gazından CO <sub>2</sub> Azaltımı	0%		
<b>OPERASYONEL ( Tüm Gemiler )</b>			
Filo Yönetimi, Lojistik ve Teşvikler	%5 - %50*	%10 - %50*	
Rota Optimizasyonu	%1 - %10		
Enerji Yönetimi	%1 - %10		
* = Bu seviyedeki tasarruflar operasyonel hız düşürülmesini gerektirecektir			
**= LNG kullanımına dayalı CO <sub>2</sub> eşdeğeri hesaba alınmıştır			

Bu sonuç ile görülebilir ki teknolojik ve termodinamik parametrelerin artmasından daha çok insanların üretim ve tüketim organizasyonlarındaki tasarruflarına ve seçimlerine göre CO<sub>2</sub> emisyonları değişebilmektedir. Farklı ekonomilerin farklı verimlilik ve refah anlayışları ile karbondioksit emisyonları da değişebilmektedir. Düşük karbondioksit emisyonu kullanan teknolojilerin az gelişmiş ülkelerde bulunması da pek mümkün değildir. Çünkü gelişmiş ülkeler, yüksek ekonomik ve refah verilerine ulaşırken ekonomik ihtiyaçlarını karşılayacak enerjiyi oluşturken düşük karbondioksit emisyon teknolojisi ile gelişmekte olan bir ülkenin kullandığı enerji kaynaklarına göre daha az karbondioksit emisyonunda bu avantajlara sahip olurlar. Bu bağlamda Avrupa, Çin, Güney Kore ve Japon gemilerinin ortalama EED değerleri tablo 15’de sunulmuştur.

Tablo 15. Avrupa, Çin, Güney Kore ve Japon Gemilerinin Ortalama Değerleri İle Ortalama EEDI Değerleri ( Deltamarin, 2009)

	<b>Tanker</b>	<b>Dökme Yük</b>	<b>Konteyner</b>	<b>Genel Kargo</b>
Adet	1.725	1.784	1.400	965
Ort. DWT (ton )	66.525	91.178	52.740	11.398
Ort. Ana Makine Gücü (kW)	9.056	10.478	31.381	4.210
Ort. Hız ( Kn )	14,4	14,36	22,22	13,83
<b>Ort. EEDI (g/ton x nm)</b>	<b>8,08</b>	<b>4,54</b>	<b>12,39</b>	<b>14,19</b>
	<b>Gaz Tankeri</b>	<b>Ro Ro Hafif Yük</b>	<b>Ro Ro Ağır yük</b>	<b>TOPLAM</b>
Adet	262	172	33	<b>6.448</b>
Ort. DWT (ton )	49.099	16.631	12.290	<b>59.038</b>
Ort. Ana Makine Gücü (kW)	15.685	12.291	14.012	<b>14.139</b>
Ort. Hız ( Kn )	17,16	19,84	19,42	<b>16,40</b>
<b>Ort. EEDI (g/ton x nm)</b>	<b>11,98</b>	<b>17,81</b>	<b>24,81</b>	<b>9,77</b>

### 2.3.1.1. Enerji verimliliği dizayn indeksi (EEDI) formülü

EEDI formülü aşağıdaki gibi ifade edilir (IMO, MEPC.1/Circ.681, 2009).

$$\frac{\left( \prod_{j=1}^M f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} C_{FME(i)} SFG_{ME(i)} \right) + (P_{AE} C_{FAE} SFG_{AE}) + \left( \prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{noff} f_{off(i)} P_{AEoff(i)} \right) C_{FAE} SFG_{AE}}{f_i \cdot \text{Kapasite} \cdot V_{ref} \cdot f_v} - \left( \sum_{i=1}^{noff} f_{off(i)} \cdot P_{off(i)} \cdot C_{FME} SFG_{AE} \right)$$

Formülün bileşenlerini inceleyecek olursak (IMO, MEPC 61/5/16,2010);

**C<sub>F</sub>** = Salınan CO<sub>2</sub> ile tüketilen yakıt arasındaki dönüşüm faktörü. Boyutsuzdur. Referans olarak  $C_{FME} = C_{FAE} = C_F = 3.1144$  g CO<sub>2</sub>/g yakıt olarak referans alınabilir. C<sub>f</sub> dönüşüm faktörünün farklı yakıt tiplerine göre CO<sub>2</sub> emisyon değerleri tablo 16'de sunulmuştur.

**V<sub>ref</sub>** = Gemi Sürati (rüzgarsız ve dalgasız açık denizde maksimum yüklü geminin knot cinsinden hızı )

Tablo 16.  $C_f$  Dönüşüm Faktörünün Farklı Yakıt Tiplerine Göre CO<sub>2</sub> Emisyon Değerleri (IMO, MEPC.1/Circ.681, 2009)

Yakıt Türü	Referans	Karbon İçeriği	$C_F$ (t- CO <sub>2</sub> / 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

**SFC** = Makinelerin belirlenmiş g/kWh cinsinden yakıt tüketim katsayısıdır.

SFC (Specific Fuel Consumption) tüm gemilerin;

ana makineleri için sabit olarak  $SFC_{ME} = 190$  g/kWh olarak,

yardımcı makineler için  $SFC_{AE} = 215$  g/kWh olarak referans hesaplamalarda kullanılır.

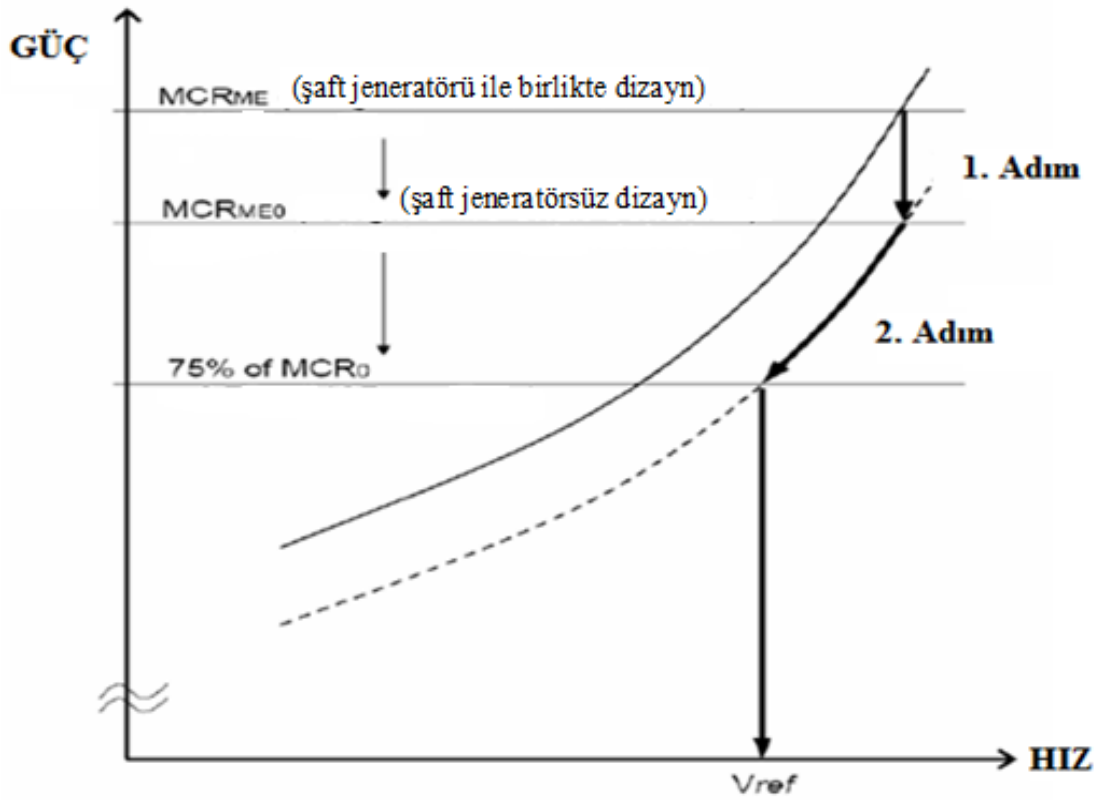
**Kapasite (Capacity)** = Konvansiyonel gemiler için Deadweight, RoRo ve yolcu gemileri için ise Gross Tonaj

**Dedveyt (Deadweight)** = Bir geminin taşıyabileceği en çok ağırlık olup, ham yükün, yakıtın, suyun, kumanyanın, yolcu ve gemi adamlarının kendilerinin ve eşyalarının ağırlıklarının toplamıdır. Diğer bir deyişle Lightweight tonaj ile geminin en yüksek draft değerindeki deplasman hacminin 1.025 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk değeri ile çarpımı arasındaki ton farkıdır.

**$P_{ME(i)}$**  = Ana makinenin kW cinsinden MEPC.1/Circ.681’de belirtilen %75 MCR’de gücü  $P_{ME(i)}$   
=  $0.75 \times (MCR_{MEi} - P_{PTOi})$  olarak formülize edilir

**$P_{AE(i)}$**  = Yardımcı makinenin kW cinsinden gücüdür.

Gemi ana makinesinin güç-hız grafiği aşağıdaki şekil 20’de belirtilmiştir.



Şekil 20. Ana Makinenin Güç-Hız Grafiği (IMO, MEPC.1/Circ.681, 2009)

Kargo gemilerinde 10.000 kW ve daha yüksek değerlerde olan ana makineli gemilerde  $P_{AE}$  aşağıdaki gibi tanımlanır (IMO, MEPC.1/Circ.681, 2009).

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

Kargo gemilerinde 10.000 kW'dan daha düşük değerlerde olan ana makineli gemilerde ise  $P_{AE}$  aşağıdaki gibi tanımlanır (IMO, MEPC.1/Circ.681, 2009).

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

$P_{PTO(i)}$  = Şaft Jeneratörünün kW cinsinden gücü

$P_{AE(i)}$  = Yardımcı makinenin kW cinsinden gücüdür.

Kargo gemilerinde 10.000 kW ve daha yüksek değerlerde olan ana makineli gemilerde  $P_{AE}$  aşağıdaki gibi tanımlanır (IMO, MEPC.1/Circ.681, 2009).

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

Kargo gemilerinde 10.000 kW'dan daha düşük değerlerde olan ana makineli gemilerde ise  $P_{AE}$  aşağıdaki gibi tanımlanır (IMO, MEPC.1/Circ.681, 2009).

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

$P_{PTO(i)}$  = Şaft Jeneratörünün kW cinsinden gücü

$P_{PTI(i)}$  = Şaft Motorunun kW cinsinden gücü

$P_{eff(i)}$  = %75 ana makine kW cinsinden mekanik enerji verimliliği teknolojileri yeniliğiyle düşürülmüş gücü

$P_{AEeff(i)}$  = Yardımcı makinenin kW cinsinden elektrik enerji verimliliği teknolojileri yeniliğiyle  $P_{ME(i)}$ 'da ölçülmüş değeri

$f_i$  = Geminin dizayn parametrelerinin düzeltme faktörü. Buyutsuzdur. Ice-Class'lı gemiler için aşağıdaki tablo 17'deki değerlere göre hesaplanır.

Tablo 17.  $f_j$  Düzeltme Faktörü Katsayısının Farklı Ice-Class Gemiler İçin Değerleri (IMO, MEPC.1/Circ.681, 2009).

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

Diğer gemi tipleri için;  $f_j$  değeri 1.0 alınmalıdır

$f_w$  = Deniz koşullarında geminin hız azalmasını gösteren katsayısı. Buyutsuzdur.

$f_{eff(i)}$  = Yenilikçi enerji verimliliği teknolojilerinin durum faktörü.

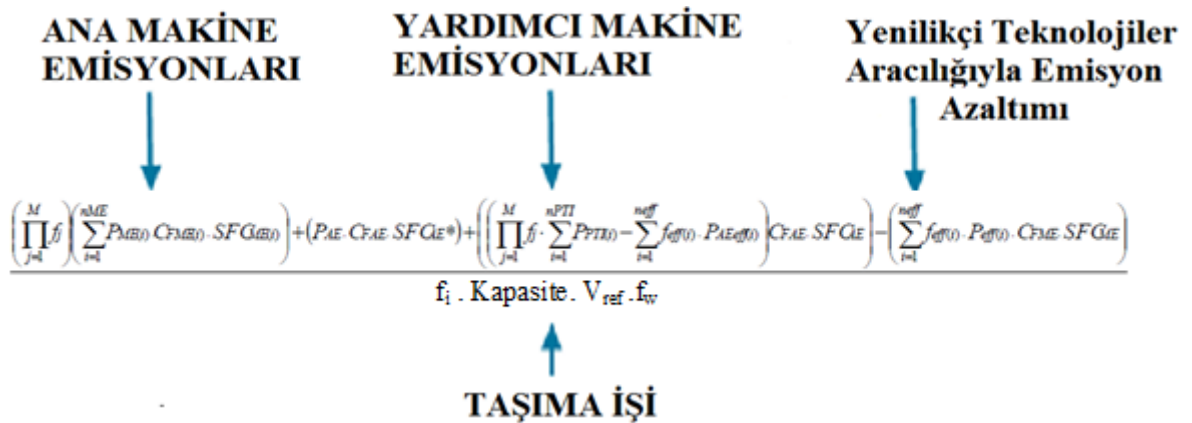
$f_i$  = Herhangi bir teknik veya düzenleyici sınırlama için kapasite faktörüdür ve herhangi bir değişiklik yok ise bir (1.0) olarak alınır. Ice-Class'lı gemiler için aşağıdaki tablo 18'deki değerlere göre hesaplanır.

Tablo 18.  $f_i$  Düzeltme Faktörü Katsayısının Farklı Ice-Class Gemiler İçin Değerleri (IMO, MEPC.1/Circ.681, 2009).

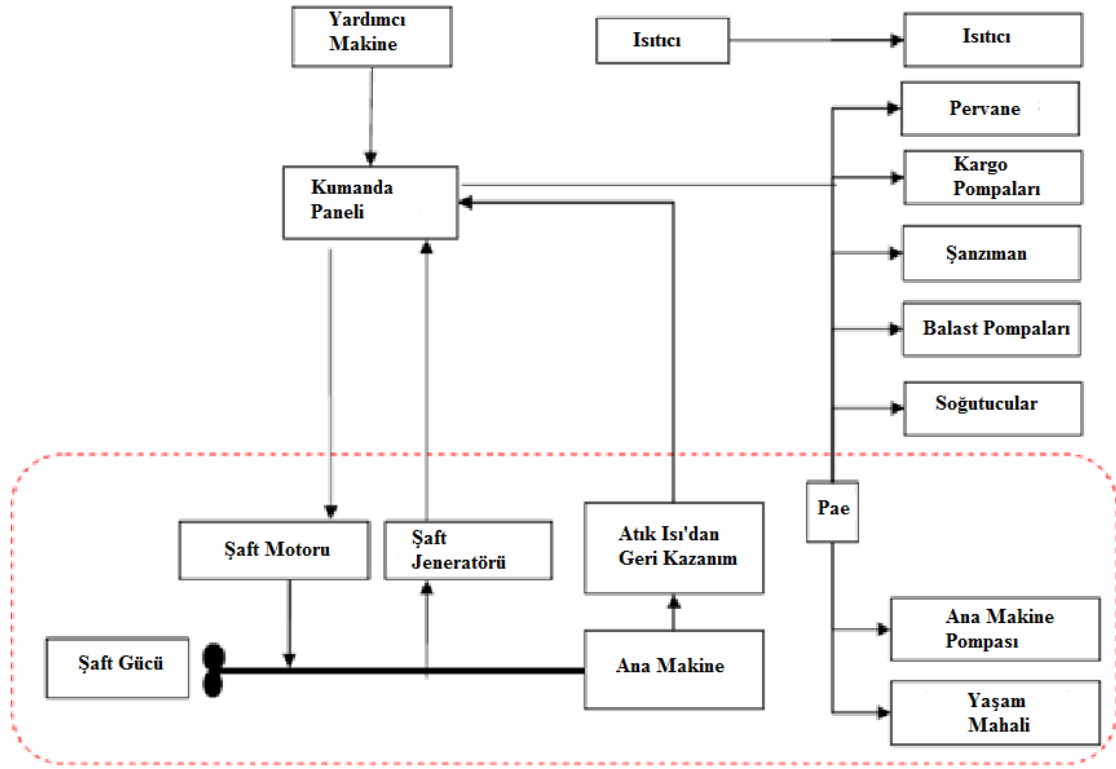
Gemi Tipi	$f_i$	Buz Sınıf (Ice Class) Gemiler için Limit Değerleri			
		IC	IB	IA	IA Super
Tanker	$\frac{0,00115L_{PP}^{3,36}}{\text{kapasite}}$	$\begin{cases} \max 1,31L_{PP}^{-0,05} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,54L_{PP}^{-0,07} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,80L_{PP}^{-0,09} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 2,10L_{PP}^{-0,11} \\ \min 1,0 \end{cases}$
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

EEDI formülünün bileşenleri üzerine farklı bir gösterim aşağıdaki şekil 21'de gösterilmiştir. Ana makinenin güç üretim şeması ise de şekil 22'de gösterilmiştir.



Şekil 21. EEDI Formülü (MEPC.1/Circ. 681)



Şekil 22. Genel ve Basitleştirilmiş Gemi Enerji Üretim Şeması  
(IMO, MEPC.1/Circ.681).

Ayrıca aşağıdaki basitleştirilmiş bir formülle de gösterilebilir (Knudsgaard, 2011).

$$EEDI = \frac{\text{CO}_2 \text{ Emisyonu}}{\text{Taşınan İş}} = \frac{\Sigma P \times CF \times SFC}{\text{Kapasite} \times \text{Hız}} = \text{gram CO}_2/(\text{Ton} \times \text{Deniz Mili})$$

Formülün pay kısmındaki toplam CO<sub>2</sub> emisyonu ana makineden ve yardımcı makineden salınan CO<sub>2</sub> emisyonları toplamı olarak ayrılacak olursa; ve bunu da yakıt tüketimi ile karbon dönüşüm faktörü katsayısı ile çarpımı olarak ayrı ayrı gösterdiğimizde;

$$EEDI = \frac{CO_{2ME} + CO_{2AE}}{\text{Kapasite} \times V_{\text{ref}}} = \frac{(FC_{ME} \cdot C_{FME}) + (FC_{AE} \cdot C_{FAE})}{\text{Kapasite} \times V_{\text{ref}}}$$

Bir motorun yakıt tüketimi; motorun ürettiği güç ve motorun verimliliğine bağlıdır. Tüketilen yakıt; üretilen güç (P) ve özgül yakıt tüketiminin (SFC) bir ürünü olarak hesaplanabilir. Bu faktörlerin formül içerisinde yerleştirilmesi ile ifade aşağıdaki şekilde de yazılabilir (Deltamarine, 2009\*).

$$EEDI = \frac{(P_{ME} \cdot SFC_{ME} \cdot C_{FME}) + (P_{AE} \cdot SFC_{AE} \cdot C_{FAE})}{\text{Kapasite} \times V_{ref}}$$

Bazı gemiler elektrik gücünü, pervane şaftına bağlanmış ve enerjisini pervane şaftından alan elektrik motorları ( $P_{PTI}$ ) ile donatılmıştır. Bu cihazların çevreye olan etkisini de formüle dahil etmek gerekmektedir. Ayrıca gemiler; yelkenler, güneş panelleri ve atık ısı geri kazanım sistemi gibi yenilikçi enerji tasarrufu teknolojileri ile de donatılmış olabilirler. Bu sistemler de ana ve yardımcı makinelerin ( $P_{eff}$  ve  $P_{AEeff}$ ) ihtiyaç duyduğu enerjinin bir kısmını sağlarlar. Bu yenilikçi teknolojiler emisyon azaltıcı faktörler olarak devreye alınırlar ve EEDI formülüne ek elemanlar olarak şu şekilde yazılabilir:

$$EEDI = \frac{(P_{ME} \cdot SFC_{ME} \cdot C_{FME}) + (P_{AE} \cdot SFC_{AE} \cdot C_{FAE}) + ((P_{PTI} - P_{AEeff}) \cdot SFC_{AE} \cdot C_{FAE}) + (P_{eff} \cdot SFC_{ME} \cdot C_{FME})}{\text{Kapasite} \times V_{ref}}$$

Örneğin buz sınıfı gibi özel tasarım elemanları bulduran gemiler, ilave ana makine gücü gerektirirler. Bu ilave kurulu gücü de hesaba katmak üzere bir güç düzeltme faktörü ( $f_j$ ) hesaba alınır. Ayrıca geminin kapasitesi teknik veya dizayn koşulları ile sınırlıdır ve bu sebeple kapasite düzeltme faktörü ( $f_i$ ) formüle dahil edilir.

Bunun yanında gemi operasyonel faaliyetleri sırasında pekçok olası senaryolar ile karşılanacağından ve farklı çalışma koşulları için dizayn edilmiş olması gerektiğinden, gemi dalga yüksekliği, dalga frekansı ve rüzgar hızı, rüzgar geliş açısı gibi faktörleri de, bir hava düzeltme katsayısı ( $f_w$ ) olarak tanımlanan ve boyutsuz bir katsayısı olarak geminin hızının normalleştirilmesi için formüle dahil edilir (Deltamarine, 2009\*).

---

\* İlgili kaynağın 33. ve 35. sayfaları arasından yararlanılmıştır.



$$EEDI = \frac{f_j \cdot (P_{ME} \cdot SFC_{ME} \cdot C_{FME}) + (P_{AE} \cdot SFC_{AE} \cdot C_{FAE}) + ((f_j \cdot P_{PTI} - P_{AE_{eff}}) \cdot SFC_{AE} \cdot C_{FAE}) + (P_{eff} \cdot SFC_{ME} \cdot C_{FME})}{\text{Kapasite} \times V_{ref}}$$

Sonunda matematiksel sembolleri de formüle dahil edecek olursak, formül IMO MEPC.1/Circ.681'deki hali ile EEDI aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\frac{\left( \prod_{j=1}^M f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{NME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFG_{E(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFG_E) + \left( \left( \prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{NPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{Neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff}(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFG_E \right) - \left( \sum_{i=1}^{Neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFG_E \right)}{f_i \cdot \text{Kapasite} \cdot V_{ref} \cdot f_v}$$

İlk bakışta çok karmaşık gibi görünen EEDI formülü, aslında ayrı ayrı faktörler olarak bir araya getirildiğinde gemi CO<sub>2</sub> verimliliğini veren oldukça basit bir temsilidir. EEDI birimi, formülden de aşağıdaki şekilde elde edilir. Saatte salınan gram olarak CO<sub>2</sub>, saatte kat edilen deniz mili ile bölüldüğünde, formüldeki saat de ortadan kalkar ve EEDI'nin birimi gr-CO<sub>2</sub> / ton-mil olarak ortaya çıkar (Deltamarine, 2009\*).

$$[EEDI] = \frac{[gCO_2] / [h]}{[t] \cdot [nm] / [h]} = \frac{[gCO_2]}{[t] \cdot [nm]}$$

Referans hesaplaması için şu şekilde de formülize edilebilir (IMO, MEPC.1/Circ.681, 2009).

$$EEDI = 3.1144 \cdot \frac{190 \cdot \sum_{i=1}^{NME} P_{MEi} + 215 \cdot P_{AE}}{\text{Kapasite} \cdot V_{ref}}$$

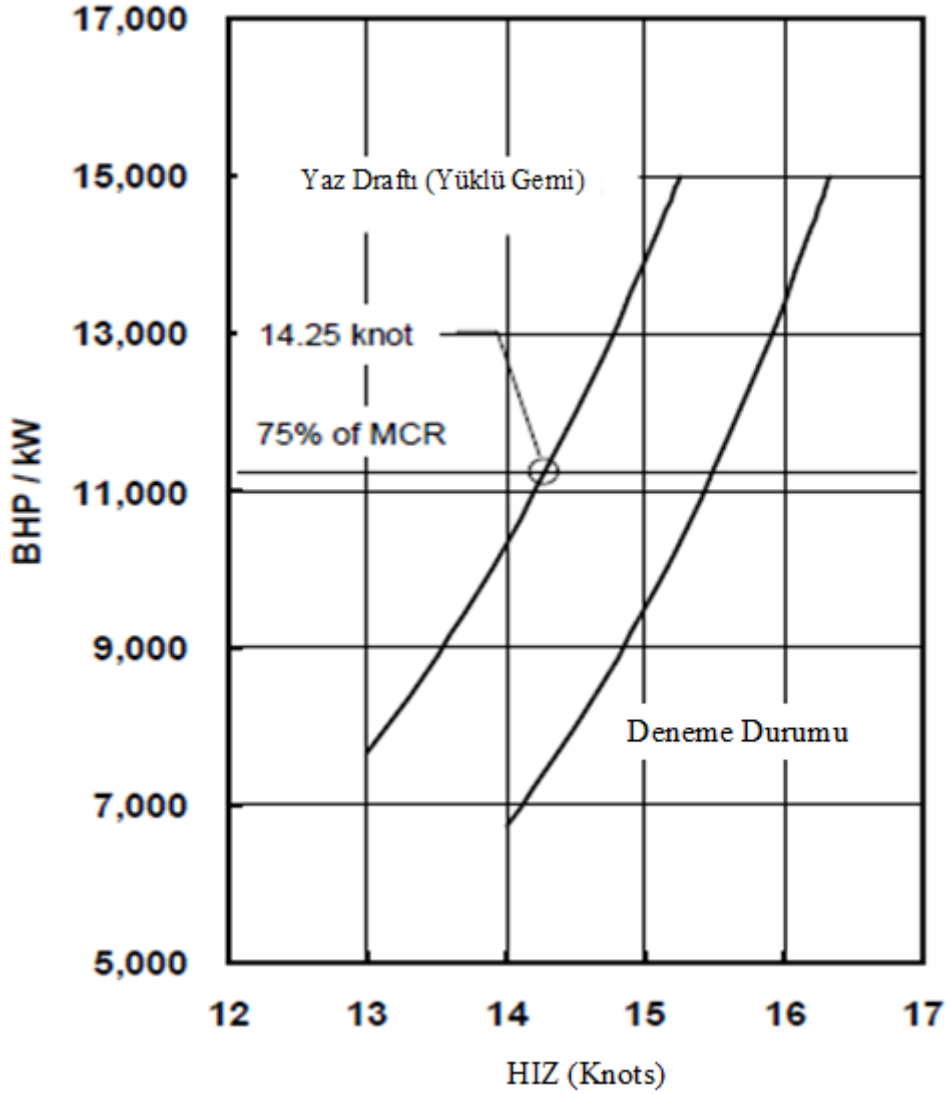
\* İlgili kaynağın 33. ve 35. sayfaları arasından yararlanılmıştır.

**2.3.1.2. 150.000 DWT’luk dökme yük gemisi için örnek EEDI hesaplaması (ilave mekanik veya elektrikli enerji verimliliği teknolojileri olmadan)**

Tablo 19. 150.000 DWT’luk dökme yük gemisi için örnek EEDI hesaplaması (ilave mekanik veya elektrikli enerji verimliliği teknolojileri olmadan); (IMO, MEPC 63/23, 2012 )

Gemi İnşaa Eden Kuruluş	Japan Shipbuilding Company
Gemi IMO Numarası	94111XX
Gemi Tipi	Dökme Yük Gemisi - Bulk Carrier
LOA	250 m
LBP	240 m
B ( Genişlik )	40 m
D ( Yükseklik )	20
Draft Yaz	14
DWT ( Yaz Draftında )	150.000 ton
<b>Ana Makine</b>	
Üretici	Japan Heavy Industries Ltd.
Tipi	6J70A
MCR ( Maximum Continous Rating )	15.000 kW x 80 rpm
SFC ( 50% MCR deki )	165.0 g/kWh
Adet ve Yakıt Türü	1 / Dizel
<b>Yardımcı Makine</b>	
Üretici	Japan Diesel Ltd.
Tipi	5J-200
MCR ( Maximum Continou Rating )	600 kW x 900 rpm
SFC at 50% MCR	220.0 g/kWh
Adet	3
Yakıt Türü	Dizel
HIZ Yüklü yaz draftında %75 MCR'de	14,25 knots
Pervane Tipi	Fixed Pitch propeller
Pervane Çapı	7 m
Pervane Piç Sayısı ve Pervane Adet	4 ve 1
<b>Ana Jeneratör</b>	
Üretici	Japan Electric
Rated Output	560 kW (700 kVA ) x 900 rpm
Voltaj	AC 450 V
Adet	3

Tasarım aşamasında tahmin ve hız denemeleri sonra değiştirilmiş ana makineye ait güç eğrileri aşağıdaki şekil 23’de gösterilmiştir.



Şekil 23. 150.000 DWT’luk Dökme Yük Gemisine Ait Güç - Hız Eğrileri  
(IMO, MEPC 63/23/10)

Hesaplamalarda kullanılmak üzere yukarıdaki grafikten okunan değerleri şöyledir;

Hız değeri 14,25 knot için Ana Makine Gücü 11.250 kW

Hız değeri 13,54 knot için Ana Makine Gücü 9.000 kW

Hız değeri 12,83 knot için Ana Makine Gücü 7.400 kW

Yukarıdaki veriler doğrultusunda EEDI formülüne yerleştirilmesi ile;

Gemi Tipi: Dökme Yük,	SFC <sub>ME</sub> : 165 g/kWh,	SFC <sub>AE</sub> : 220 g/kWh
Kapasite: 150.000 ton,	P <sub>ME</sub> : 11.250 kW	P <sub>AE</sub> : 625 kW
Hız V <sub>ref</sub> : 14.25 knot	Yakıt: Dizel	Yakıt: Dizel
MCR <sub>ME</sub> : 15.000 kW	C <sub>FME</sub> :3.206	C <sub>FAE</sub> : 3.206
Ice Class: Yok	f <sub>i</sub> : Yok	
İleri Elektrik Enerji Verimliliği Teknoloji: Yok		
İleri Mekanik Enerji Verimliliği Teknoloji: Yok		

$$EEDI = \frac{\left( \prod_{j=1}^M f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{\left\{ \left( \prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{noff} f_{off(i)} \cdot P_{AEoff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right\} - \left( \sum_{i=1}^{noff} f_{off(i)} \cdot P_{off(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)} + \frac{f_i \cdot f_c \cdot \text{Kapasite} \cdot f_w \cdot V_{ref}}{f_i \cdot f_c \cdot \text{Kapasite} \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

$$1 \times (11250 \times 3.206 \times 165) + (625 \times 3.206 \times 220)$$

$$EEDI = \frac{\dots}{1 \times 1 \times 150.000 \times 1 \times 14,25} + 0 - 0$$

$$(5.951.137.500) + (440.825.000)$$

$$EEDI = \frac{\dots}{2.137.500}$$

$$2.137.500$$

$$6.391.962.500$$

$$EEDI = \frac{\dots}{2.137.500}$$

$$2.137.500$$

$$EEDI = 2,990 \text{ gr CO}_2 / \text{ton.mil ( IMO, MEPC 63/23/10, 2012 )}$$

**2.3.1.3. 150.000 DWT’luk dökme yük gemisi için örnek EEDI hesaplaması  
(ilave mekanik veya elektrikli enerji verimliliği teknolojileri kullanıldığında)**

Yukarıdaki bölüm 2.3.1.2. deki aynı gemi için ilave mekanik ve elektrikli enerji verimliliği teknolojileri kullanılması neticesinde sonuç aşağıdaki gibi hesaplanır.

Gemi Tipi: Dökme Yük,	SFC <sub>ME</sub> : 165 g/kWh,	SFC <sub>AE</sub> : 220 g/kWh
Kapasite: 150.000 ton,	P <sub>ME</sub> : 11.250 kW	P <sub>AE</sub> : 625 kW
Hız V <sub>ref</sub> : 14.25 knot	Yakıt: Dizel	Yakıt: Dizel
MCR <sub>ME</sub> : 15.000 kW	C <sub>FME</sub> :3.206	C <sub>F<sub>AE</sub></sub> : 3.206
Ice Class: Yok	fi: Yok	

P<sub>Aeff</sub> (İleri Elektrik Enerji Verimliliği Teknolojisi) : 600 kW

İleri elektrik enerjisi verimliliği teknolojisi olarak; turbo jeneratör kullanarak Atık Isı Geri Kazanım Sistemi uygulanmıştır. P<sub>Aeff</sub>= 600 kW olarak hesaplanmıştır.

P<sub>eff</sub> (İleri Mekanik Enerji Verimliliği Teknolojisi ): 1500 kW

P<sub>Aeff</sub> (İleri Mekanik Enerji Verimliliği Teknolojisi ): -750 kW

EEDI Hesaplama İndeksi Ek 2 – MEPC 61/5/3’e göre Atık ısı geri kazanım sistemi için f<sub>eff(i)</sub> 1.0 olarak alınır .

$$\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} = 1 \times (600 \times 3.206 \times 220) = 423,200$$

\*\* İleri mekanik enerji verimliliği teknolojisi olarak; hava püskürtücüsü olarak hava yağlama sistemi kullanılmıştır. P<sub>eff</sub>= 1500 kW ve P<sub>Aeff</sub>= -750 kW olarak hesaplanmıştır ( IMO, MEPC 62/INF.37, 2011).

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} = \\ & = 1 \times 1500 \times 3.206 \times 165 - 1 \times 750 \times 3.206 \times 220 = 264,500 \end{aligned}$$

Bunlara bağılı olarak EEDI hesaplaması yapılırsa

$$EEDI = \frac{\left( \prod_{j=1}^M f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot \text{Kapasite} \cdot f_w \cdot V_{ref}} +$$

$$+ \frac{\left\{ \left( \prod_{j=1}^M f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff}(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right\}}{f_i \cdot \text{Kapasite} \cdot f_w \cdot V_{ref}} - \frac{\left( \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)}{f_i \cdot \text{Kapasite} \cdot f_w \cdot V_{ref}} =$$

$$= \frac{1 \times (11250 \times 3.206 \times 165.0) + (625 \times 3.206 \times 220.0) + 0}{1 \times 150000 \times 14.25 \times 1} - \frac{423.200}{1 \times 150000 \times 14.25 \times 1} - \frac{264500}{1 \times 150000 \times 14.25 \times 1}$$

$$= 2.990 - 0.198 - 0.124 = 2.668$$

$$EEDI = \frac{1 \times (11250 \times 3.206 \times 165) + (625 \times 3.206 \times 220) + (-423.200) - (264.500)}{1 \times 1 \times 150.000 \times 1 \times 14,25}$$

$$EEDI = \frac{(5.951.137,500) + (440.825,000) + (-423.200) - (264.500)}{2.137.500}$$

$$EEDI = \frac{5.704.262,5}{2.137.500}$$

EEDI = 2,668 gr.CO<sub>2</sub>/ ton-mil olarak bulunur ( IMO, MEPC 62/INF.37, 2011).

Sonuç olarak aynı gemide aynı koşullar altında bir önceki bölümde ilave mekanik ve elektrikli enerji verimliliği teknolojileri kullanılmadan bulunan EEDI değeri olan EEDI: 2,99

gr-CO<sub>2</sub>/ton-mil değeri ile karşılaştıracak olursak daha k olduğunu görürüz. Bu da daha az karbondioksit emisyonuna neden olacak enerji verimliliğini ortaya koyacaktır. Çünkü daha k EEDI değerleri daha enerji verimli gemiler yani daha az yakıt tktimi olan ve daha az CO<sub>2</sub> emisyonu olan gemiler olarak söylenir.

### 2.3.2. Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi (EEOI)

Gemilerde EEOI'nin gönüllü kullanımı için rehber bilgi 17 Ağustos 2009 tarihinde MEPC.1/Circ.684 ile ortaya konulmuştur. Taşınan birim ktle bazında maksimum yakıt tasarruflu taşımacılık şekli olmasına rağmen deniz taşımacılığına özne gemiler IMO'nun ikinci sera gazları konferansında enerji verimliliğinin; yapılacak operasyonel iyileştirmeler, filo yönetimi, rota optimizasyonu gibi konularda ciddi bir tasarruf potansiyeli barındırdığı ortaya koymuştur. Ayrıca yine aynı konferansta yapılacak belli enerji tasarrufu yöntemlerinin birleştirilip topluca uygulanması ile %10 ile %50 arasında daha az CO<sub>2</sub> emisyonu olacağını ortaya konulmuştur (IMO, WMD, 2009). Operasyonel aşamada yapılan iyileştirmeler Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) bünyesinde ele alınır ve Enerji Operasyonel Verimlilik Göstergesi (EEOI) de izleme aracı olarak kullanılabilir. EEOI yapılan her sefer için, farklı bir değer ile ölçülür. Aşağıdaki formül ile hesaplanır ve birim olarak da CO<sub>2</sub> / ton-mil, CO<sub>2</sub> / Teu-mil, CO<sub>2</sub> / kişi-mil olarak belirlenebilir. Düşük EEOI değerlerine sahip gemiler daha enerji verimli gemilerdir.

$$EEOI = \frac{\text{Gerçekleşen CO}_2 \text{ Emisyonu}}{\text{Gerçekleşen Taşıma İşi}} \quad EEOI = \frac{\sum_i FC_i \times C_{\text{carbon}}}{\sum_i m_{\text{cargo},i} \times D_i}$$

Formüldeki “Gerçekleşen CO<sub>2</sub> Emisyonu” değeri sefer süresince gemide kullanılan yakıtın cinsine göre o yakıt için belirlenmiş olan CO<sub>2</sub> dönüşüm faktörü ile çarpılması ile bulunur. Formüldeki “Gerçekleşen Taşıma İşi” ise yükün ktlesi olan ton veya TEU veya yolcu sayısı değerleri ile mesafenin mil olarak çarpılması ile hesaplanır (IMO, MEPC 59 , 2009\*).

---

\* İlgili kaynağın 1. ve 9. sayfalar arasından yararlanılmıştır.

$FC_i$  = Seferde kullanılan yakıt miktarı

$C_{\text{carbon}}$  = Kullanılan yakıtın karbon içeriği

$m_{\text{cargo}}$  = Seferde taşınan yükün kütlesi

$D_i$  = Sefer mesafesi

EEOI'nin birimi gram CO<sub>2</sub>/kapasite-mil olarak oluşur. Buradaki “kapasite” ile anlatılmak istenen taşınan kargonun kütle değeridir. Pekçok gemi için kapasite ton olarak belirtilir fakat örneğin konteyner gemiler için bu birim TEU veya RORO gemileri için araba veya yolcu gemileri için de yolcu adeti olarak verilebilir. EEOI; EEDI'dan farklı olarak operasyonel koşulların değişmesi ile değişebilmektedir. Bu yüzden EEOI her seferde tekrar tekrar ölçülüp, kayıtlarının tutulması sonrasında bunların değerlendirilmesi ve belli periyotlar ile bunun tekrarlanması ile verimli olabilmektedir (IMO, MEPC 59 , 2009\*).

### 2.3.3. Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP)

Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı'nın (SEEMP) amacı, bir geminin operasyonlarındaki enerji verimliliğini arttırmaktır. Deniz taşımacılığı, kullanılan yakıtın pahalı olması sebebi ile enerji verimliliğine ihtiyaç duyulan bir sektördür ve bu hali ile de küresel ısınmayı azaltıcı tedbirlerin operasyonel verimlilik maksadı ile uygulamaya alınmaya daima potansiyeldir. Bir gemi nazarındaki küçük bir enerji tasarrufu dahi tüm dünya ticaret filosu hesaba alındığında önemli enerji tasarrufu ve buna bağlı daha az CO<sub>2</sub> emisyonu demektir. SEEMP; gemi sahibi, operatörü veya işletmeci şirket tarafından uygulanmalı ve yeni teknolojiler için de o gemi özelinde takip edilip geliştirilmelidir. SEEMP bir geminin enerji verimliliğini dört adımda iyileştirmeye çalışır.

Bunlar, planlama, uygulama, değerlendirme ve iyileştirme. Bu bileşenler gemiyi sürekli en optimum enerji verimliliğinde tutmak için gereklidir.

Bazı kriterler aynı kalsalar dahi, bir veya birkaç kriter SEEMP hesaplamaları döngüsünde zamanla farklılaşabilir. Örnek bir SEEMP formu tablo 20'de, azaltıcı tedbirler tablo 21'de ve ölçülen CO<sub>2</sub> azalma potansiyelleri tablo 22'de gösterilmiştir.

---

\* İlgili kaynağın 1. ve 9. sayfaları arasından yararlanılmıştır.



SEEMP'in rehberlik ettiği konuların başlıcaları, seyir rotası optimizasyonu, gemi sevk ve idaresi, gövde ve tahrik sistemleri kullanımı ve bakımı, atık ısının geri kazanımı, gelişmiş filo yönetimi, kargo elleçleme, lojistikte entegre enerji yönetimi ve yakıt türüdür.

Tablo 20. Örnek Bir SEEMP Formu ( IMO, COP15, 2009)

Gemi Adı :		Gross Ton :	
Gemi Tipi :		Kapasite :	
Uygulama Tarihi :		Uygulayan :	
Uygulama Süresi :	Başlangıç: Bitiş :	Planlanan Bir Sonraki Uygulama Tarihi	
<b>Enerji Verimliliği Önlemleri</b>	<b>Uygulama</b>		<b>Sorumlu Kişi</b>
Rotasyondaki Hava Optimizasyonu	Kiracının seyir rotasındaki hava optimizasyona 1 Temmuz 2012 itibariyle başlanacaktır.		Rotanın seçimi gemi kaptanı tarafından yapılacaktır.
Seyir Sürati Optimizasyonu	Tasarım hızı (% 85 MCR) 19 knot iken, maksimum hız 1 Temmuz 2012'den itibaren 17 knot olarak ayarlanır.		Seyir süratini belirlemen kaptanın sorumluluğundandır.

Tablo 21. SEEMP ve EEDI Azaltıcı Tedbirler Tablosu  
(IMO, MEPC 63/23/ 9, 2012)

	<b>EEDI Azaltıcı Tedbirler</b>	<b>SEEMP İlgili Tedbirler</b>
1	Gemi gövde ve form dizaynı optimizasyonu	Ana makine ayarlama ve izleme
2	Gövde karina boyası	Gövde optimizasyonu
3	Hava yağlama sistemleri	Pervane optimizasyonu
4	Pervane optimizasyonu	Düşürülmüş yardımcı güç
5	Ana makine verimliliğin yükseltilmesi	Operasyonel hız azaltılması
6	Atık ısıdan geri kazanım	Trim ve draft ayarlaması
7	LNG kullanımı	Seyir rotasyon düzenlemesi
8	Hibrid elektrik güç ve pervane sistemleri	Hava koşullarına göre seyir
9	Yardımcı makinelerin verimliliğin artırılması	Gelişmiş karina boyaları
10	Pompa ve fanlarda verimliliğin artırılması	İlave gemi seyir cihazları
11	Ruzgar gücü ile sevk	
12	Güneş enerjisi paneli	

Tablo 22. SEEMP İle Ölçülen Karbondioksit Azalma Potansiyelleri (Bazari ve Longva, 2011)

Enerji Verimliliği Ölçütü	Dökme Yük Gemisi		Gaz Tankeri		Sıvı yük Tankeri	
	Handy max 30-40k DWT	Capesize > 100k DWT	LNG 125-155k m3	LNG > 175k m3	Panamax 60-85k DWT	VLCC > 200k DWT
Ana makine ayarlama ve izleme	2,5	1,8	1,8	1,8	2,2	1,6
Gövde optimizasyonu	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Pervane optimizasyonu	1,1	0,8	1,1	0,8	1,1	0,8
Düşürülmüş yardımcı güç	0,6	0,9	0,7	1	0,6	1,7
Operasyonel hız azaltılması	15	15	12	10	13	12
Trim ve draft ayarlaması	0,7	0,7	1	1,4	0,7	0,7
Seyir rotasyon düzenlemesi	2,5	3,4	2,5	3,4	2,5	3,4
Hava koşullarına göre seyir	0,1	1	0,1	1	0,2	1
Gelişmiş karina boyaları	3	3	3	3	3	3
İlave gemi seyir cihazları	3	3	3	3	3	3
<b>Tüm SEEMP Ölçütleri Toplamı</b>	<b>28,7</b>	<b>29,6</b>	<b>25,9</b>	<b>26</b>	<b>26,8</b>	<b>27,7</b>
Enerji Verimliliği Ölçütü	Konteyner Gemisi		Genel Kargo / Soğutuculu			
	Panamax 4-5k TEU	NPX >12-14k TEU	3,5k DWT	10k DWT		
Ana makine ayarlama ve izleme	1,6	1,6	2,9	2,9		
Gövde optimizasyonu	3,5	3,5	3,5	3,5		
Pervane optimizasyonu	0,8	0,8	1,1	1,1		
Düşürülmüş yardımcı güç	0,8	1	2,6	1,1		
Operasyonel hız azaltılması	10	11	21	13		
Trim ve draft ayarlaması	1,7	1,7	0,7	0,7		
Seyir rotasyon düzenlemesi	1,4	1,4	2,5	2,5		
Hava koşullarına göre seyir	1	0,8	0,1	1		
Gelişmiş karina boyaları	3	3	3	3		
İlave gemi seyir cihazları	3	3	3	3		
<b>Tüm SEEMP Ölçütleri Toplamı</b>	<b>24,3</b>	<b>25,2</b>	<b>36</b>	<b>28,4</b>		

### **III. TİCARİ GEMİ KAYNAKLI KARBONDİOKSİT EMİSYONLARININ AZALTI MASINA YÖNELİK FAALİYETLERİN ANALİZİ VE ÇÖZÜM METODOLOJİSİ**

Ticari gemi kaynaklı karbondioksit emisyonları, kullanılan yakıtın gemi makinelerinde enerji üretmesi ile yanması sonucu gemi bacasından atmosfere salım şeklinde meydana gelmektedirler. Geminin sevk ve idaresi için gerekli enerjinin temini için kullanılan yakıtın içeriğindeki karbon miktarına bağlı olarak tepkime sonucu açığa çıkan karbondioksit atmosfere yayılmaktadır. Bu bölümde ticari gemi kaynaklı karbondioksit emisyonlarını azaltıcı tedbirlerin analizi yapılacaktır. Artan enerji maliyetleri ve alternatif enerji kaynaklarına yönelim, denizcilik sektörünü ekonomik gemi dizaynına ve alternatif yakıtlara itmektedir. Karbondioksit emisyonlarını azaltıcı bazı alternatif yakıt türleri olarak rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ancak gemilerdeki aydınlatma gibi bazı yardımcı gereksinimleri karşılamak için alternatif olabilirler. Çünkü rüzgâr ve güneş enerjisi, gemilerin büyük fiziksel boyutu gözönüne alındığında, gemi ana makinelerini çalıştırmak için yeterli güç sağlamaya kâfi gelmeyecektirler. Konteyner gemilerinde ise güvertenin yük kullanımı için tahsis edilmesi şartı ve fırtınalı havalarda yükselen denizlere karşı manevra ile seyir için gerekli enerji koşulları pratikte belirtilebileceklerden sadece birkaçıdır. Emniyet ve güvenlik etkileri ile altyapı destek maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen ticaret gemileri için de nükleer enerji ile gemi ana makineleri için yeterli tahrik teknik olarak fazlası ile mümkündür. Ne var ki gerek amortisman maliyetleri gerek geminin ticari ömrü gerek ise çalışacağı denizler ve içsular hesaba alındığında nükleer ile sevk askeri gemiler ve denizaltılar için kullanılsa dahi, ticari gemiler için yakın dönemde kullanılması yine pratik olmayacaktır. Alternatif yakıtların bu nedenlerinden dolayı geçerli varsayım olarak gemilerin, yakın gelecekte de fosil yakıtlarını yakmaya devam edeceğini belirtebiliriz.

Yapılan literatür taraması neticesinde ticari gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması için en önemli tedbirler olarak ortaya konulabilecek maddeler olarak aşağıdakiler sıralanabilir;

1. Pervane Bakımı ( Pervane performans izleme, pervane temizleme )
2. Pervane ve Tahrik Sistemi Yükseltmeleri ( pervane, dümen yükseltme )
3. Gemi Gövdesi Kaplama ve Bakım (Sualtı gövde raspalama)
4. Seyir ve Operasyon alternatifleri (Şaft, yakıt tüketimi izleme ve otopilot ayarlama)
5. Ana Makine Güçlendirme
6. Yardımcı Sistemler (Hız kontrol pompaları ve düşük enerjili aydınlatma)
7. Uçurtma Çekme ( Towing Kite )
8. Hız Azaltma ( Slow Steaming)
9. Hava Yağlama (yeni gemiler sadece)
10. Gemi Dizaynında Optimizasyon (Gövde ve Pervane)
11. Yakıt Seçimi
12. Gemi Makine Ölçümleri ve Performans İzlenmesi
13. Alternatif Rotalar
14. Seyir Sürati Azaltılması
15. Gemi Trimi ve Draftı
16. Pervane Piç ve Dümen Açılarının Optimizasyonu
17. Filo Optimizasyonu

Global çevre kirliliğinin insan ve yaşadığımız ekosisteme olan etkileri günümüzde detaylı olarak anlaşılmış ve diğer taraftan insanoğlunun neden olduğu karbondioksit emisyonu ve diğer sera gazların küresel iklimin değişikliğinin nedenlerinden biri olduğu da kabul edilmiştir. Küresel iklim değişikliğinin başlıca nedenlerinden birisi olan karbondioksit emisyonu, dünya sistematiği içerisinde diğer sosyoekonomik parametreler ile analiz edilmektedir. Kurmaya çalışılan bağlantılar ile ekonomik parametreler (GSMH), kullanılan enerji (kWh), salınan CO<sub>2</sub> (gr), taşınan birim tonaj (Ton, Teu) üzerinden deniz taşımacılığı kaynaklı karbondioksit emisyonunun çevreye olan etkileri de analiz edilebilmektedir. Teze konu olarak belirtilen asıl sorun dünya ticaret filosundaki gemilerin bacalarından salınan CO<sub>2</sub> miktarının yıllık toplam değerlerinin düşürülmesi ve ileriki yıllarda artacak ticaret hacmi ile toplam küresel CO<sub>2</sub> emisyonları içerisindeki uluslararası deniz taşımacılığı payının azaltılmasına yönelik analizlerin ortaya konulmasında bir çözüm metodolojisi sunmaktır. Deniz taşımacılığı yapan gemilerin baca gazı emisyonlarını düşürmek üzere tüm geminin güvertesinin güneş enerjisi

panelleri ile kaplanması veya rüzgar destekli sevk ile iki nokta arasındaki taşımacılığın günümüzdeki değerleri ile olmasını beklemek pek gerçekçi değildir. Deniz taşımacılığına duyulan talep ve bu talebi karşılamak üzere de daha en azından 20 ile 30 yıl daha fosil yakıtlarının birincil enerji kaynağı olarak kullanılacak olan dünyamızda, emisyon azaltıcı faaliyetlerden gemi hızının düşürülmesi analizi ile sorunun çözümünde analizler ortaya konulmuştur.

Mevcutta gemi ana makinelerinde kullanılan fosil yakıtları ve içeriklerindeki karbon miktarları bölüm 2’de belirtildiği üzere aşağıdaki tablo 23’de tekrardan verilmiştir.  $C_F$ ; yakıt tiplerine göre CO<sub>2</sub> emisyon değeri idi. Yani 1 ton HFO’nun yakılması ile gemi bacasından salınan CO<sub>2</sub> miktarı da 3,1144 tondur.

Tablo 23. Farklı Yakıt Türlerinin Karbon İçerikleri ve  $C_F$  Değerleri (IMO, MEPC.1/Circ.681, 2009)

Yakıt Türü	Karbon İçeriği	$C_F$ (t- CO <sub>2</sub> / t- Fuel )
1. Dizel	0,875	3,206
2. Hafif Fuel Oil (LFO)	0,860	3,151
3. Ağır Fuel Oil (HFO)	0,850	3,114
4. Likit Petrol Gaz (LPG)	0,819 - 0,827	3,000- 3,030
5. Likit Doğal Gaz ( LNG )	0,750	2,750

Gemiye sevk ve idare için gerekli olan enerji seyir boyunca; liman girişlerinde, manevralarda veya ileriki dört saat hiç rotasını ve süratini değiştirmeden yol alacağı açık denizde farklılıklar gösterdiği üzere ana makinelerde ve pervanelerde olması beklenen gücü sağlamak üzere gemiler farklı tipte yakıtlar depolarlar. Gemiler açık denizde ve ani manevra gerektirmeyen durumlarda ve yolculuğu boyunca neredeyse hep HFO kullanırlar. Ani manevra ihtiyaçlarında LFO’ya geçerler, jeneratör ve aydınlanma gibi ihtiyaçları için ise dizel yakıt kullanırlar. Bahsedilen yakıtların 1 tonundaki karbon miktarları, 1 ton yakıtın oluşturacağı enerji ile yine yakıtın maliyeti sürekli gözönünde bulundurulmaktadır. Bir geminin iki liman arasında yaptığı yolculuğu boyunca maruz kaldığı deniz ve hava dirençlerine karşı ana makinesi ve yardımcı makineleri ile ürettiği güç ile göstermiş olduğu seyir sürati esnasında salınan CO<sub>2</sub> emisyonu değerini belli formüller ile bulanabilir. Ayrıca bir seferin başlaması ile tamamlanması arasında tüm diğer dış faktörlerin de hesaba katılması ve ayrıca seyir süresince bu değerlerin

başta gemi hızı olmak üzere değişimi, boğaz geçişleri, liman operasyonları gibi farklı uygulamalar altında devam eden bir sürecin de hesaplanması mümkündür. Farklı förmüller ile farklı parametrelerdeki değişiklikler farklı sonuçlarda değerlendirilebilirler. Bir gemiden salınan karbondioksit miktarını, yine o gemide tüketilen yakıtın karbon içeriği miktarı ile de ölçebilmekteyiz. O geminin bir seferde veya yılda ürettiği toplam karbondioksit miktarlarını bulmak için, taşıma kapasitesi ve gemi seyir hızına da ihtiyaç duyulmaktadır. Uluslararası ticaretin sürekli artması problemimizdeki taşıma kapasitesinin sürekli artması olarak dikkate alınacaktır. Taşıma işinin tanımı olarak toplam taşıma kapasitesinin belirli bir hız ile bir noktadan diğer bir noktaya nakledilmesi olarak düşünebiliriz. 1826 yılında Fransız matematikçi Gaspard-Gustave Coriolis'in ilk defa bulduğu iş, fizikteki tanımı ile kısaca, belirli bir kuvvet altında bir cismin belirli bir yolu kat etmesi olarak belirtilmiştir ve formül olarak da,

$$\text{İş} = \text{Güç} \times \text{Yol}$$

Birimler olarak  $W$  (joule) =  $N$  (Newton) x  $m$  (metre) şeklinde belirtilir ki buradaki güç Newton ve Yol da metre olarak SI birim sisteminde birimlendirilerek Newton x metre yani "joule" adı ile adlandırılmıştır. Eğer tüm yol boyunca geçen zaman esnasında güç değişmeden sabit olarak kalıyorsa bu problemi çözmek basit bir formüle dayanır. Ancak değişen güçlere maruz kalınıyor ise o zaman problemi çözmek için farklı matematiksel hesaplar devreye girmektedir. Bu türden problemleri çözmek için değişen her farklı gücün ne kadar süre ile etki ettiği ayrı ayrı hesaplanarak sonrasında bu tüm ayrı zaman parçalarının toplamı biraraya getirilir. Kesin sonuç ise aşağıda belirtilen genel tanımı ile matematiksel limitler yardımı integral olarak hesaplanarak elde edilir.

$$\text{İş} ( W ) = \int \text{Güç} \times \text{Yol değişimi} ( dx ) = \int \text{Güç} \times v dt$$

Nesnelerin üzerine gelen güçler değiştiği gibi nesnelerin kendi hareketleri de problem dahilinde olabilir ve hareketli nesnelere için belirli mesafedeki (yol) iş için hız hesaplamaları da probleme dahil olur. Herhangi bir andaki iş hesaplanırken güç bileşenini kuvvet x hız olarak ifadeye katmak gerekir. Bu şekilde güç joule/sn veya Watt olarak birim kazanır. Bir gemi belli bir hızda seyir ediyorsa, o geminin hızı bilinir. Ancak o geminin hangi rotada ne hızla gittiği de bilinmesi gerekir ki bu da kinematik tanımında *velosite (velocity)* yani belli bir vektör hız değerinin hangi doğrultuda hareket ettiği diğer bir deyişle hızın hareket yönüdür. Tıpkı gücün zaman içindeki

değişimlerini meydana getiren kuvvet ve hız bileşenleri gibi, hızın da belirli bir süre boyunca hep aynı kalmadan farklılaşması olabilir ki burada da devreye ivmelenme girecektir. Kuvvet ve hızın skaler olarak hesaplanması ile anlık güç değerleri elde edilir. Tıpkı toplam mesafe boyunca anlık hız değerlerinin entegre edilebildiği gibi temel matematik teoremi kurularak bir yol boyunca toplam güç değerleri de aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$\text{İş} = (\text{Kuvvet} \times \text{Hız}) \times \text{Yol}$$

Hız; bir cismin belirli bir zaman aralığında kat ettiği mesafedir. Ayrıca hız vektörel bir büyüklüktür yani yönü ve büyüklüğü ile birlikte ifade edilir. Yukarıdaki denklemdeki anlık değişimleri de hesaplayacak şekilde matematiksel gösterimi ile

$$\begin{aligned}\text{İş} &= \int \text{Kuvvet} \times \text{Hız} \times \text{Yol değişimi} (dx) \text{ yani} \\ &= \int \text{Kuvvet} \times \text{Hız} \times dx \\ &= \int F \times v dt\end{aligned}$$

buradaki  $v dt$  Hız'dır ve  $v dt = dx / dt$ 'dir.

Gemilerin taşıma kapasiteleri dahilindeki yükleri belirli bir rota üzerinde bir noktadan diğerine belirli bir mesafe boyunca yolculukları sırasında yaptıkları iş harcadıkları yakıt ile gerçekleşir. Burada gücü oluşturan ve belirli bir yol boyunca geminin hızını sağlayacak olan mekanik enerji, yani pervaneyi tahrik eden, ana makineyi besleyen yakıt üzerinden giderek enerji verimliliği ve CO<sub>2</sub> emisyon verimliliği hesaplamalarını yapmak üzere örnek model olarak belirli bir geminin belirli bir rotadaki kat ettiği mesafede harcadığı yakıt tüketimine bağlı olarak karbondioksit emisyonunu düşürmesine etken olarak gemi hızındaki azaltımın sonuçlarını bulmak üzere aşağıdaki çalışma yapılmıştır.

Bir geminin bacasından salınan CO<sub>2</sub> miktarını bulabilmek için o taşımanın yapıldığı iş ile o gemiye ait belirlenmiş CO<sub>2</sub> emisyonun indeks katsayısı ile çarpımına ihtiyaç duyarız. Bölüm 2'deki EEDI formülü bize yeni inşa edilecek gemilere ait belirli pek çok parametrenin de ayrı ayrı ve hepsinin aynı formülde birlikte değişimlerinin analizi sonucunda ulaşılabilecek bir katsayı değerinin olduğunu göstermiştir. Bilimsel bir formül olarak değerlendirilmesinin yapılmasından önce buradaki yapılacak analize ışık tutacak bir parametre referans değeri olarak sistem içerisinde kullanılmıştır. EEDI formülünün hesapladığı gram CO<sub>2</sub>/(Ton x Deniz Mili) değerindeki bilimsel doğru kabul edilebilecek referans daha düşük EEDI değerinin daha az CO<sub>2</sub> emisyonu emisyonu olduğudur. Yani belirli bir mesafede taşınan iş için harcanan yakıttan tasarruf edebilmek adına tüm ilave teknik ve operasyonel önlemler olan; alternatif yakıtlar,

rüzgar destekli sevk, yakıt hücreleri teknolojisi, dizayn değişikliği, trim ve draftun ayarlanması, hava koşulları dahilinde farklı rota ve alternatif enerji tasarrufu yöntemleri ile EEDI değerinin düşürülmesi esastır. Daha düşük EEDI değerleri daha az CO<sub>2</sub> emisyonu demektir ki amaçlanan da zaten budur. EEDI; ton –km başına salınan CO<sub>2</sub> gramını kullanarak gemi dizaynı ve tasarımı için belirli bir rakam sağlar. Daha küçük EEDI değeri daha enerji verimli gemi tasarımı anlamına gelmektedir (IMO, COP15, 2009). O halde hesaplanmış EEDI değerinin doğruluğundan çok hesaplanmış EEDI değerinin global çevreye salınan toplam yıllık CO<sub>2</sub> miktarı ile ilerleyen yıllarda artan ticaret hacmine paralel olacak büyümenin analiz edilmesi burada analiz edilecektir. Bir gemiden salınan toplam karbondioksit emisyonunu gram olarak hesaplayacağımız formülü aşağıdaki şekilde gösterir isek;

$$\text{Gemiden salınan CO}_2 \text{ miktarı} = \text{Taşınan İş} \times \text{O geminin CO}_2 \text{ emisyon indeksi}$$

Gemiden salınan CO<sub>2</sub> miktarı için geminin CO<sub>2</sub> emisyonunu diğer bir deyiş ile yakıt tüketiminden dolayı salınan CO<sub>2</sub> miktarını; kendisini meydana getiren bileşenleri olarak, motorun ürettiği güç ve motorun verimliliği ile o motorun sefer süresince gemide kullanılan yakıtın cinsine göre o yakıt için belirlenmiş olan CO<sub>2</sub> dönüşüm faktörü ile çarpımı olarak düşünebiliriz.

Taşınan İş için formülize edecek olarsak

$\text{İş} ( W ) = \int \text{Güç} \times \text{Yol değişimi} ( dx ) = \int \text{Güç} \times v dt$  yazar ve formüldeki güç yerine de kapasite x hız olarak belirtir isek aşağıdaki sonuca ulaşabiliriz.

$$\text{Geminin CO}_2 \text{ Emisyonu} = ( \text{Kapasite} \times \text{Hız} ) \times \text{CO}_2 \text{ Emisyon İndeksi}$$

CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi için gemiden salınan CO<sub>2</sub> emisyonun taşınan işe bölünmesi olarak ifade edebiliriz.

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyon İndeksi} = \frac{\text{Gemiden salınan CO}_2 \text{ miktarı}}{\text{Taşınan İş}}$$



$$\text{CO}_2 \text{ Emisyon İndeksi} = \frac{\text{Makine Gücü} \times \text{Yakıt miktarı} \times \text{Yakıtın Karbon İçeriği}}{\text{Taşınan Kapasite} \times \text{Gemi hızı}}$$

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyon İndeksi} = \frac{\Sigma P \times CF \times SFC}{\text{Kapasite} \times \text{Hız}} = \text{gram CO}_2/(\text{Ton} \times \text{Deniz Mili})$$

Formülün pay kısmındaki toplam CO<sub>2</sub> emisyonu ana makineden ve yardımcı makineden salınan CO<sub>2</sub> emisyonları toplamı olarak ayrılacak olursa; ve bunu da yakıt tüketimi ile karbon dönüşüm faktörü katsayısı ile çarpımı olarak ayrı ayrı gösterdiğimizizde;

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyon İndeksi} = \frac{CO_{2_{ME}} + CO_{2_{AE}}}{\text{Kapasite} \times V_{\text{ref}}} = \frac{(FC_{ME} \cdot C_{FME}) + (FC_{AE} \cdot C_{FAE})}{\text{Kapasite} \times V_{\text{ref}}}$$

CO<sub>2</sub> emisyon indeksinin birimi gram CO<sub>2</sub>/(Ton x Deniz Mili)'dir. Bulunmak istenen gemiye ait CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi her gemi için farklıdır. Formüldeki emisyon indeksi veya IMO'nun detaylıca ortaya koyduğu EEDI formülünün bileşenlerini inceleyecek olursak (IMO, MEPC 61/5/16,2010) ve de bölüm 2'de belirtilen mevcut teknoloji ve operasyonel uygulamaların ne oranda CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltabileceği konusuna bakacak olursak en önemli faktörün gemi hızı olduğu ortaya çıkmaktadır. Mevcut gemilerde de yakıt tasarrufu için en büyük oranda değiştiren parametre gemi hızı olduğundan çalışmada bu yaklaşım ile problemin çözümüne yollar aranmıştır.

Gemi bacasından salınan CO<sub>2</sub> emisyonlarının problem olarak tahsis edilmesi ve baca gazlarından olan CO<sub>2</sub> emisyonlarının düşürülmesine çözüm olarak da geminin daha yavaş seyir süratleri neticesinde daha az yakıt harcaması esas alınması metodu çözümde yaklaşım olarak kullanılmıştır. Bu bağlamda problemin çözümünde aşağıdaki analizler yapılarak çözüme yol gösterilmeye çalışılmıştır;

- İlk olarak 150.000 DWT'luk seyir sürati 14,25 knot olan dökme yük gemisinin meydana getirdiği toplam yıllık emisyon miktarı için sırasıyla %5 ve %10 hızın düşürülmesi neticesinde (sadece dolu gemi seyirlerinde hızın düşürülüp, dönüşte boş geminin

hızında herhangi bir değişiklik olmaması kabulü ile) toplam yıllık salınan karbondioksit miktarının ne ölçüde azalacağı analiz edilecektir. Bu analizin ikinci bölümde dolu gemi için EEDI değeri verilmiş olan geminin  $EEDI_{Boş\ Gemi}$  1,8 gr CO<sub>2</sub>/ton.mil olarak referans alınmıştır. Daha sonrasında ise alınan boş gemi dizayn indeksi kabulünün 2 olması durumunda sistemin nasıl sonuç verdiği de ayrıca belirtilmiştir.

- İkinci olarak farklı tip ve boyutlardaki gemilerin seyir süratleri değişim analizi ve buna bağlı olarak iki nokta arasında taşınacak olan aynı miktar kargonun taşınması için gerekli, servise sokulacak ilave gemilerin meydana getirdikleri emisyonun analizi yine belli yaklaşımlar ile yapılacaktır. Seferdeki yakıt tüketiminin hızın küpü ile değiştigi yaklaşımları ile bulunan yeni karbondioksit emisyon değerlerinde gemi yakıt maliyetlerinin toplam gemi işletme maliyetleri içerisindeki payının %50 olması durumunda asgari ticari karlılık ile servis verilebilecek ekolojik hız sınır değerleri belirtilecektir.
- Son olarak daha yavaş seyir süratleri neticesinde, servise giren ilave gemiler için toplam filo yönetiminin optimum düzeye çekilmesinde, gemi günlük kira ve operasyonel maliyetler içerisinde yakıt bedeli miktarının değişimlerinin gemi işletmeciliği yönünden analizini ortaya koymak üzere de sırasıyla gemi yakıt maliyetlerinin toplam gemi işletmeciliği içerisindeki yüzde oranının %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80 olması durumlarında, asgari ticari karlılık ile servis verilebilecek ekolojik hız sınır değerleri tablosu oluşturulacaktır.

### **3.1. Gemi Seyir Hızının Düşürülmesinin Toplam Oluşan CO<sub>2</sub> Emisyonu Miktarına Etkilerinin Analizi**

Bölüm 2'deki sonuçlardan anlaşılacağı üzere CO<sub>2</sub> emisyonunu düşürecek en verimli etkenlerin başında yer alan gemi seyir hızının düşürülmesi ve buna bağlı yakıt tüketiminin azaltılması konusu idi. Daha az harcanan yakıtın sebep olduğu daha az fosil yakıtının yanması sonucunda salınan daha az CO<sub>2</sub> emisyonu da gemi baca gazlarından salınan küresel verilerde de indirimi beraberinde getirecektir. O halde neden gemiler daha yavaş gitmiyorlar sorusu aklımıza geliyor. Artan küresel ticaret hacmi ve hammadde ile tüketim mallarına duyulan hızlı talep, ayrıca uluslararası şirketlerin ekonomik tedbirleri arasında yer alan minimum stoklama

maliyeti ve buna bağlı olarak tam zamanında lojistik kavramları hep daha hızlı ulaşım ve daha hızlı tedarige doğru ilerlemektedir. Ne var ki artan fosil yakıtı fiyatları ve daha hızlı ulaşım maliyetleri, daha hızlı taşımacılığın önünde kalan büyük engeldir. Bu engel gemilerden salınan karbondioksit gazları emisyonları için olumlu bir engeldir zira daha düşük hızlarda seyir daha az CO<sub>2</sub> emisyonu olarak geri dönmektedir. Taşıyıcı firmaların da gemi taşımacılığı ile uğraşan uluslararası kuruluşların (IMO ve benzeri) ve hatta ülkelerin de küresel ısınmayı azaltıcı tedbir olarak koyacağı kuralları gerçekçi kılmak ve pratikte uygulanabiliyor olması aslında ticaretin felsefesindeki maliyet düşürme ve kâr arttırma senaryoları ile vuku bulabilir. Yani daha az CO<sub>2</sub> emisyonu için değil daha az yakıt maliyeti için yeni düzenlemelere gidilmesi ne yazık ki asıl olandır. Zaten sadece çevresel tedbirleri yerine getiren ama yüksek maliyetlerdeki taşımacılık fiyatları ile ticaretin olması uygun değildir hatta olanaksızdır.

150.000 DWT'luk seyir sürati 14,25 knot olan dökme yük gemisinin meydana getirdiği toplam yıllık emisyon miktarı ile sırasıyla %5 ve %10 hızın düşürülmesi neticesinde (sadece dolu gemi seyirlerinde hızın düşürölüp, dönüşte boş geminin hızında herhangi bir değişiklik olmaması kabulü ile) toplam yıllık salınan karbondioksit miktarının ne ölçüde azalacağı analiz edilecektir. CO<sub>2</sub> emisyon indeksi için ileriki senaryolarda bölüm 2'deki hesaplamalar neticesinde belirtilen EEDI değeri referans olarak kullanılacaktır ve ana makine ile yardımcı makine güçlerinin ile kullanılan yakıt değerleri hesaba alınmayacaktır. Bu analizin ikinci bölümünde dolu gemi için EEDI değeri verilmiş olan geminin EEDI<sub>Boş Gemi</sub> dizayn indeksi 1,8 gr CO<sub>2</sub>/ton.mil olarak referans alınmıştır. Daha sonrasında ise alınan boş gemi dizayn indeksi kabulünün 2 alınması durumunda sistemin nasıl sonuç verdiği de ayrıca belirtilmiştir.

### **3.1.1. 150.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisinin 14,25 Knot Seyir Hızında Oluşturduğu Yıllık Toplam CO<sub>2</sub> Emisyona Miktarı**

150.000 dwt'luk dökme yük gemisinin yıl içindeki toplam oluşturduğu CO<sub>2</sub> emisyonu değerini azaltmak üzere geminin seyir hızının düşürölmesi senaryosu analiz edilecektir. Geminin taşıma yaptığı limanlar arasında daha yavaş seyretmesi neticesinde yıl içinde yapacağı sefer sayısı azalacak ve bu da belirlenmiş limanlar arasındaki hedeflenen miktardaki kargoyu taşımak için ilave gemi ihtiyacına yol açacaktır. Buradaki iki farklı senaryodan birisinde geminin belirlenen hız ile ne kadar karbondioksit saldığı, ikincisinde ise aynı miktar kargonun nakliyesi

için gerekli olan ilave geminin servise sokulması neticesinde toplam salınan karbondioksit miktarları karşılaştırılacaktır.

Taşınacak Mal	: Demir Çelik
Yıllık Taşınacak Miktar	: 5.000.000 Ton
Yükleme Limanı	: Ambarlı, İstanbul
Tahliye Limanı	: Yokohama, Japonya
Taşıma Yapacak Gemi Tipi	: 150.000 Dwt'luk Dökme Yük Gemisi
Kargo Taşıma Kapasitesi	: 138.000 Ton ( Yakıt, kumanya, yolcu vbs hariç )
Gemi Hızı	: 14,25 knots
Yakıt Türü	: Dizel

Yukarıda belirtilen ticareti sağlayacak gemi ve taşınacak kargonun meydana getirdiği toplam CO<sub>2</sub> emisyonu değerini hesaplamak için diğer kaynak verilerini de yazacak olursak;

Gemi Ana Makine Gücü	: 15.000 kW x 80 rpm
SFC	: 165 gr / kWh
Menzil	: 8676 mil ( deniz mili )
Sefer Süresi A (Gidiş)	: 30 gün ( Ambarlı – Yokohama )
Sefer Süresi B (Gidiş)	: 30 gün ( Yokohama – Ambarlı )
Tam Dolu Gemi CO <sub>2</sub> İndeksi	: 2,99 gr CO <sub>2</sub> / ton x mil (Bölüm 2.3.1.2'den alınmıştır )
<b>Boş Gemi CO<sub>2</sub> İndeksi</b>	<b>: 1,8 gr CO<sub>2</sub> / ton x mil Referans alınmıştır</b>

Yukarıdaki bilgileri ışığında bulunacak olan diğer bilgiler ise şöyledir.

Bir geminin yıllık sefer sayısı :  $360 \text{ gün} / 60 \text{ gün} = 6 \text{ adet}$

Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi :  $6 \text{ sefer} \times 138.000 \text{ ton} = 828.000 \text{ ton} / \text{yıl}$

Yıllık 5.000.000 ton demir çelik yükünü Türkiye'den Japonya'ya taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı  $5.000.000 / 828.000 = 6,038 \text{ adet gemi}$

Yıllık 5.000.000 ton demir çelik yükünü Türkiye'den Japonya'ya taşıma esnasında atmosfere salınan CO<sub>2</sub> miktarını hesaplamak üzere yukarıdaki formülden hareketle

$$\text{CO}_2 \text{ Emisyon İndeksi} = \frac{\text{Gemiden salınan CO}_2 \text{ miktarı}}{\text{Taşınan Kapasite} \times \text{Gemi hızı}}$$

$$\text{Gemiden salınan CO}_2 \text{ miktarı} = \text{CO}_2 \text{ Emisyon İndeksi} \times \text{Taşınan Kapasite} \times \text{Gemi hızı}$$

olarak belirtilir.

Bir Geminin yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu o geminin Ambarli- Yokohama seferindeki dolu seyirindeki CO<sub>2</sub> emisyonu ile Yokohama – Ambarli arasındaki boş olarak dönüşündeki CO<sub>2</sub> emisyonlarının toplamının yıllık sefer sayısı ile çarpımıdır.

Bir geminin iki liman arasındaki seyri boyunca baca gazından salınan karbondioksit miktarını kısaca “K” olarak ifade eder isek ve

Ambarli – Yokohoma arası yüklü olan seyirdeki toplam salınan CO<sub>2</sub> değerine : K1

Yokohoma – Ambarli arası boş seyirdeki toplam salınan CO<sub>2</sub> değerine : K2 dersek;

K1 = Dolu Gemi CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi x Taşınan Kapasite x Gemi hızı

K1 = 2,99 gr CO<sub>2</sub> / ton x mil x 138.000 ton x 14,25 knot

K1 = 5.879.835 gr CO<sub>2</sub> / saat

K2 = Boş Gemi CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi x Taşınan Kapasite x Gemi hızı

K2 = 1,8 x 138.000 ton x 14,25 knot

K2 = 3.539.700 gr CO<sub>2</sub> / saat

Bir geminin gidiş ve dönüşündeki Toplam CO<sub>2</sub> emisyonu yani “K”

K= K1 + K2 olarak

K = 5.879.835 + 3.539.700 = 9.419.535 gr CO<sub>2</sub> / saat’dir.

K = 9,42 ton CO<sub>2</sub> / saat’dir.

14,25 knot sürat yapan bir gemi yılda 6 sefer yaparsa ve bu iş için gerekli olan toplam 6,038 adet gemi kullanılır ise, bir yılda toplam taşınması hedeflenen 5.000.000 ton demir çelik ürününün Ambarli limanından Japonya’nın Yokohama limanına taşıma işinde toplam salınan karbondioksit miktarı ;

K yıllık  $v_{14,25} = 9.419.535 \times 6 \text{ sefer} \times 6,038 \text{ adet gemi}$

**K yıllık  $v_{14,25} = 341.250.914 \text{ gr CO}_2 / \text{saat} = 341 \times 24 \times 360 = 2,946 \text{ milyon ton CO}_2$**

olarak bulunur.

### 3.1.2. 150.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisinin 13,54 Knot Seyir Hızında Oluşturduğu Yıllık Toplam CO<sub>2</sub> Emisyona Miktarı

Şimdi aynı örnekteki gemi hızını %5 azaltılması sonucunda toplam karbondioksit miktarının değişiminin ne olacağına bakmak üzere yukarıdaki hesaplama yeniden yapılır ise; Gemi Hızı 2 : 14,25 x 0,95 = 13,54 knots

Bölüm 2.3.1.2'deki EEDI hesaplamasındaki gemi hızının değiştirilmesindeki yeni CO<sub>2</sub> emisyon indeksi değerinin hesaplanması için ;

Gemi Tipi: Dökme Yük,	SFC <sub>ME</sub> : 165 g/kWh,	SFC <sub>AE</sub> : 220 g/kWh
Kapasite: 150.000 ton,	P <sub>ME</sub> : 9.000 kW	P <sub>AE</sub> : 625 kW
Hız V <sub>ref</sub> : 13.54 knot	Yakıt: Dizel	Yakıt: Dizel
MCR <sub>ME</sub> : 15.000 kW	C <sub>FME</sub> :3.206	C <sub>F<sub>AE</sub></sub> : 3.206
Ice Class: Yok	f <sub>i</sub> : Yok	
İleri Elektrik Enerji Verimliliği Teknoloji: Yok		
İleri Mekanik Enerji Verimliliği Teknoloji: Yok		

$$EEDI = \frac{\left( \prod_{j=1}^M f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot \text{Kapasite} \cdot f_w \cdot V_{ref}} +$$

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

$$1 \times ( 9000 \times 3.206 \times 165 ) + ( 625 \times 3.206 \times 220 )$$

$$EEDI_{v13,54} = \frac{\text{-----}}{1 \times 1 \times 150.000 \times 1 \times 13,54} + 0 - 0$$

$$( 4.760.910.000 ) + ( 440.825.000 )$$

$$EEDI_{v13,54} = \frac{\text{-----}}{2.031.000}$$

$$\text{EEDI}_{v13,54} = \frac{5.201.735.000}{2.031.000}$$

$$\text{EEDI}_{v13,54} = 2,56 \text{ gr CO}_2 / \text{ ton x mil ( Dolu gemi için )}$$

Hızın %5 oranında azaltılması ile CO<sub>2</sub> emisyonunda %15'lik bir iyileşme sözkonusu olduğu görülmektedir. **Senaryomuzdaki geminin sadece dolu olarak gerçekleştirdiği Ambarli – Yokohama seyrindeki hızını 14,25'ten 13,54 oranına düşürmesi esastır.** Yani boş olarak dönüşündeki Yokohama – Ambarli seferinde yine 14,25 knot hızı ile gelmektedir ve CO<sub>2</sub> indeksi de yukarıdaki Bölüm 3.1.1.'dekinin aynısı olarak 1,8 gr CO<sub>2</sub> / ton x mil olarak hesaba alınmıştır.

Tam Dolu Gemi CO<sub>2</sub> İndeksi : 2,56 gr CO<sub>2</sub> / ton x mil

Boş Gemi CO<sub>2</sub> İndeksi : 1,8 gr CO<sub>2</sub> / ton x mil

K1 = Dolu Gemi CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi x Taşınan Kapasite x Gemi hızı

$$K1 = 2,56 \times 138.000 \text{ ton} \times 13,54 \text{ knot}$$

$$K1 = 4.783.411,2 \text{ gr CO}_2 / \text{ saat}$$

K2 = Boş Gemi CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi x Taşınan Kapasite x Gemi hızı

$$K2 = 1,8 \times 138.000 \text{ ton} \times 14,25 \text{ knot}$$

$$K2 = 3.539.700 \text{ gr CO}_2 / \text{ saat}$$

Bir geminin gidiş ve dönüşündeki Toplam CO<sub>2</sub> emisyonu yani “K”

K= K1 + K2 olarak

$$K = 4.783.411,2 + 3.539.700 = 8.323.111,2 \text{ gr CO}_2 / \text{ saat}$$

K = 8,32 ton CO<sub>2</sub> / saat'tir.

Dolu olarak yaptığı Ambarli – Yokohama seyrinde hızını 13,54 knot olarak yapan geminin sefer süresi artacak ve bu rotada çalışan gemi sayısı da artacaktır.

Menzil : 8676 mil ( deniz mili )

Sefer Süresi A (Gidiş) : 32 gün ( Ambarli – Yokohama )

Sefer Süresi B (Gidiş) : 30 gün ( Yokohama – Ambarli )

Yukarıdaki bilgileri ışığında bulunacak olan diğer bilgiler ise şöyledir.

Bir geminin yıllık sefer sayısı :  $360 \text{ gün} / 62 \text{ gün} = 5,8$  adet sefer

Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi :  $5,8 \text{ sefer} \times 138.000 \text{ ton} = 800.400 \text{ ton} / \text{yıl}$

Yıllık 5.000.000 ton demir çelik yükünü Türkiye’den Japonya’ya taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı  $5.000.000 / 800.400 = 6,25$  adet gemi gereklidir.

Dolu olarak gidişte 13,54 knot sürat yapan ve dönüşte 14,25 knot sürat ile seyreden bir gemi yılda 5,8 sefer yaparsa ve bu iş için gerekli olan toplam 6,25 adet gemi kullanılır ise, bir yılda toplam taşınması hedeflenen 5.000.000 ton demir çelik ürününün Ambarli limanından Japonya’nın Yokohama limanına taşımak işinde toplam salınan karbondioksit miktarı;

K yıllık  $v_{13,54} = 8.323.111,2 \times 5,8 \text{ sefer} \times 6,25 \text{ adet gemi}$

**K yıllık  $v_{13,54} = 301.712.781 \text{ gr CO}_2 / \text{saat} = 301 \times 24 \times 360 = 2,6 \text{ milyon ton CO}_2$**

olarak bulunur.

Sonuç olarak 5.000.000 ton demir çelik yükünü Ambarli – Yokohama taşımaya uygun geminin hem dolu hem boş seferinde hızını 14,25 knot olarak gitmesi ile yıllık toplam

K yıllık  $v_{14,25} = 2,946$  milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu yapması hesaplanmış idi.

İkinci hesapta ise aynı işi yapmak üzere konulan geminin sadece dolu seferinde hızını 14,25’ten %5 oranında azaltması ile yani 13,54 knot ile gitmesi ve yine boş seferinde yani Yokohama – Ambarli dönüşünde 14,25 knot sürat ile seyretmesi halinde yıllık toplam 2,6 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu yapması hesaplanmıştır.

2,946 milyon ton CO<sub>2</sub> ve 2,6 milyon ton CO<sub>2</sub> sonuçlarına bakacak olursak sadece gidişte %5 oranında azaltılan hız yine sadece gidişte %15 oranında düşen CO<sub>2</sub> salınım indeksi (EEDI referans olarak alınmıştır) değerine karşılık bu iş için yıllık toplam salınan CO<sub>2</sub> miktarında yaklaşık % 11,7 oranında azaltma sözkonusudur.

Sonuçlar aşağıdaki tablo 24’te gösterecek olur isek hızdaki %5’lik azaltma CO<sub>2</sub> emisyon indeksinde %15 ve toplam yıllık salınan CO<sub>2</sub> miktarında da %12 azalmaya neden olmaktadır.



Tablo 24. Gemi Seyir Hızının %5 Azaltılması ile CO<sub>2</sub> Emisyon Oranlarının Değişimi

Gemi Hızı	Hız Azaltma Oranı	Makine Gücü	Dolu Gemi CO <sub>2</sub> Emisyon İndeksi	Index Düşme Oranı	
14,25 knot		11.250 kW	2,99 gr CO <sub>2</sub> / ton.mil		
13,54 knot	5%	9.000 kW	2,56 gr CO <sub>2</sub> / ton.mil	15%	
Gemi Hızı	Gidiş Sefer Süresi	Beher Geminin Yıllık Sefer Sayısı	Yıllık Taşıma İçin Gerekli Olan Gemi Sayısı	Yıllık Toplam Salınan CO <sub>2</sub> miktarı	CO <sub>2</sub> Emisyonu Azalma Oranı
14,25 knot	30 gün	6 Adet	6,038 adet	2,946 milyon ton CO <sub>2</sub> (341.250.914 gr CO <sub>2</sub> /saat)	
13,54 knot	32 gün	5,8 Adet	6,25 adet	2,6 milyon ton CO <sub>2</sub> (301.712.781 gr CO <sub>2</sub> /saat)	11,7%

Sadece dolu seferdeki seyir süratının %5 oranında azaltılması ve dolu gemi EEDI oranının %15 oranda azalmasına karşın toplam salınan CO<sub>2</sub> emisyonunun yaklaşık %12 düşmesi aynı zamanda yakıttan da tasarruf edileceğini de belirtmektedir. Burada düşünülmesi ve hesaplanması gereken ise yakıttan yapılacak olan tasarrufun yıllık hatta geminin kullanım ömrü boyunca yani ortalama 20 veya 30 yıllık süreler boyunca bunun ne orada ve ne boyutta olacağıdır. Yukarıdaki iki farklı senaryo arasındaki %11,7'lik CO<sub>2</sub> emisyonu iyileştirmesi tabii ki servise giren ilave (6,25 – 6,038 = 0,21) 0,21 gemi ile olmuştur. Diğer bir bakış açısı ile yıllık 0,21 adet ilave gemi ile veya 20 yıllık sürede yapılacak olan taşımayı gerçekleştirmek üzere servise konulacak 4,2 adet geminin maliyeti yanında yakıttan yapılacak olan tasarrufun ilişkisine de bakmak gerekir.

### 3.1.3. 150.000 DWT'lik Dökme Yük Gemisinin 12,83 Knot Seyir Hızında Oluşturduğu Yıllık Toplam CO<sub>2</sub> Emisyona Miktarı

Şimdi aynı örnekteki gemi hızını %10 azaltılması sonucunda toplam karbondioksit miktarının değişiminin ne olacağına bakmak üzere yukarıdaki hesaplama yeniden yapılır ise;

$$\text{Gemi Hızı 3: } 14,25 \times 0,90 = 12,83 \text{ knots}$$

Bölüm 2.3.1.2'deki EEDI hesaplamasındaki gemi hızının değiştirilmesindeki yeni CO<sub>2</sub> emisyon indeksi değerinin hesaplanması için ;

Gemi Tipi: Dökme Yük,	SFC <sub>ME</sub> : 165 g/kWh,	SFC <sub>AE</sub> : 220 g/kWh
Kapasite: 150.000 ton,	P <sub>ME</sub> : 9.000 kW	P <sub>AE</sub> : 625 kW
Hız V <sub>ref</sub> : 12.83 knot	Yakıt: Dizel	Yakıt: Dizel
MCR <sub>ME</sub> : 15.000 kW	C <sub>FME</sub> :3.206	C <sub>FAE</sub> : 3.206
Ice Class: Yok	f <sub>i</sub> : Yok	
İleri Elektrik Enerji Verimliliği Teknoloji: Yok		
İleri Mekanik Enerji Verimliliği Teknoloji: Yok		

$$EEDI = \frac{\left( \prod_{j=1}^M f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot \text{Kapasite} \cdot f_w \cdot V_{ref}} +$$

$$+ \frac{\left\{ \left( \prod_{j=1}^M f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff}(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right\}}{f_i \cdot \text{Kapasite} \cdot f_w \cdot V_{ref}} - \frac{\left( \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)}{f_i \cdot \text{Kapasite} \cdot f_w \cdot V_{ref}} =$$

$$1 \times ( 7400 \times 3.206 \times 165 ) + ( 625 \times 3.206 \times 220 )$$

$$EEDI_{V12,83} = \frac{\dots}{\dots} + 0 - 0$$

$$1 \times 1 \times 150.000 \times 1 \times 12,83$$

$$( 3.914.526.000 ) + ( 440.825.000 )$$

$$EEDI_{V12,83} = \frac{\dots}{\dots}$$

$$1.924.500$$

$$4.355.351.000$$

$$EEDI_{V12,83} = \frac{\dots}{\dots} = 2,26 \text{ gr CO}_2 / \text{ton} \cdot \text{mil} \text{ ( Dolu gemi için )}$$

$$1.924.500$$

Hızın %10 oranında azaltılması ile CO<sub>2</sub> emisyonunda %25'lik bir iyileşme sözkonusu olduğu görülmektedir. Senaryomuzdaki geminin sadece dolu olarak gerçekleştirdiği Ambarli-Yokohama seyriindeki hızını 14,25'ten 12,83 oranına düşürmesi esastır. Yani boş olarak

dönüşündeki Yokohama–Ambarli seferinde yine 14,25 knot hızı ile gelmektedir ve CO<sub>2</sub> indeksi de yukarıdaki Bölüm 3.1.1.’dekinin aynısı olarak 1,8 gr CO<sub>2</sub> / ton . mil olarak hesaba alınmıştır.

Tam Dolu Gemi CO<sub>2</sub> İndeksi : 2,26 gr CO<sub>2</sub> / ton x mil

Boş Gemi CO<sub>2</sub> İndeksi : 1,8 gr CO<sub>2</sub> / ton x mil

K1 = Dolu Gemi CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi x Taşınan Kapasite x Gemi hızı

K1 = 2,26 x 138.000 ton x 12,83 knot

K1 = 4.001.420,4 gr CO<sub>2</sub> / saat

K2 = Boş Gemi CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi x Taşınan Kapasite x Gemi hızı

K2 = 1,8 x 138.000 ton x 14,25 knot

K2 = 3.539.700 gr CO<sub>2</sub> / saat

Bir geminin gidiş ve dönüşündeki Toplam CO<sub>2</sub> emisyonu yani “K”

K= K1 + K2 olarak

K = 4.001.420,4 + 3.539.700 = 7.541.120,4 gr CO<sub>2</sub> /saat

K = 7,541120 ton CO<sub>2</sub> /saat’dır.

Dolu olarak yaptığı Ambarli – Yokohama seyrinde hızını 12,83 knot olarak yapan geminin sefer süresi artacak ve bu rotada çalışan gemi sayısı da artacaktır.

Menzil : 8676 mil ( deniz mili )

Sefer Süresi A (Gidiş) : 34 gün ( Ambarli – Yokohama )

Sefer Süresi B (Gidiş) : 30 gün ( Yokohama – Ambarli )

Yukarıdaki bilgileri ışığında bulunacak olan diğer bilgiler ise şöyledir.

Bir geminin yıllık sefer sayısı : 360 gün / 64 gün = 5,625 adet sefer

Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi : 5,625 sefer x 138.000 ton = 776.250 ton / yıl

Yıllık 5.000.000 ton demir çelik yükünü Türkiye’den Japonya’ya taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı 5.000.000 / 776.250 = 6,44 adet gemi gereklidir.

Dolu olarak gidişte 12,83 knot sürat yapan ve dönüşte 14,25 knot sürat ile seyreden bir gemi yılda 5,625 sefer yaparsa ve bu iş için gerekli olan toplam 6,44 adet gemi kullanılır ise, bir yılda toplam taşınması hedeflenen 5.000.000 ton demir çelik ürününün Ambarlı limanından Japonya'nın Yokohama limanına taşımak işinde toplam salınan karbondioksit miktarı ;

K yıllık  $v_{12,83} = 7.541.120,4 \times 5,625$  sefer  $\times 6,44$  adet gemi

**K yıllık  $v_{12,83} = 273.177.086$  gr CO<sub>2</sub> / saat =  $273 \times 24 \times 360 = 2,358$  milyon ton CO<sub>2</sub> olarak bulunur.**

Sonuç olarak 5.000.000 ton demir çelik yükünü Ambarlı – Yokohama taşımaya uygun geminin hem dolu hem boş seferinde hızını 14,25 knot olarak gitmesi ile yıllık toplam K yıllık  $v_{14,25} = 2,946$  milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu yapması hesaplanmış idi.

İkinci hesapta ise aynı işi yapmak üzere konulan geminin sadece dolu seferinde hızını 14,25'ten %5 oranında azaltması ile yani 13,54 knot ile gitmesi ve yine boş seferinde yani Yokohama – Ambarlı dönüşünde 14,25 knot sürat ile seyretmesi halinde yıllık toplam 2,6 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu yapması hesaplanmıştır.

Buradaki üçüncü hesapta ise aynı işi yapmak üzere konulan geminin sadece dolu seferinde hızını 14,25'ten %10 oranında azaltması ile yani 12,83 knot ile gitmesi ve yine boş seferinde yani Yokohama – Ambarlı dönüşünde 14,25 knot sürat ile seyretmesi halinde yıllık toplam 2,358 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu yapması hesaplanmıştır.

2,946 milyon ton CO<sub>2</sub> ve 2,358 milyon ton CO<sub>2</sub> sonuçlarına bakacak olursak sadece gidişte %10 oranında azaltılan hız yine sadece gidişte %25 oranında düşen CO<sub>2</sub> salınım indeksi (EEDI referans olarak alınmıştır) değerine karşılık bu iş için yıllık toplam salınan CO<sub>2</sub> miktarında yaklaşık % 20 oranında azaltma sözkonusudur.

Sadece dolu seferdeki seyir süratının %10 oranında azaltılması ve dolu gemi EEDI oranının %25 oranda azalmasına karşın toplam salınan CO<sub>2</sub> emisyonunun %20 düşmesi aynı zamanda yakıttan da tasarruf edileceğini de belirtmektedir. Burada düşünülmesi ve hesaplanması gereken ise yakıttan yapılacak olan tasarrufun yıllık hatta geminin kullanım ömrü boyunca yani ortalama 20 veya 30 yıllık süreler boyunca bunun ne orada ve ne boyutta olacağıdır. Yukarıdaki iki farklı senaryo arasındaki %20'lik CO<sub>2</sub> emisyonu iyileştirmesi tabi ki servise giren ilave ( $6,44 - 6,038 = 0,46$ ) 0,4 gemi ile olmuştur. Diğer bir bakış açısı ile yıllık 0,4 adet gemi veya 20 yıllık sürede yapılacak olan taşımayı gerçekleştirmek üzere alınacak

yaklaşık 8 adet geminin maliyeti yanında yakıttan yapılacak olan tasarrufun ilişkisine de bakmak gerekir.

Sonuçları aşağıdaki tablo 25’te gösterecek olur isek hızdaki %10’lik azaltma CO<sub>2</sub> emisyon indeksinde %25 ve toplam yıllık salınan CO<sub>2</sub> miktarında da %20 azalmaya neden olmaktadır.

Tablo 25. Gemi Seyir Hızının %5 ve %10 Azaltılması ile CO<sub>2</sub> Emisyon Oranlarının Değişimi (Boş Gemi Dizayn İndeksi “1,8” iken)

Gemi Hızı	Hız Azaltma Oranı	Makine Gücü	Dolu Gemi CO <sub>2</sub> Emisyon İndeksi	Index Düşme Oranı	
14,25 knot		11.250 kW	2,99 gr CO <sub>2</sub> / ton.mil		
13,54 knot	5%	9.000 kW	2,56 gr CO <sub>2</sub> / ton.mil	15%	
12,83 knot	10%	7.400 kW	2,26 gr CO <sub>2</sub> / ton.mil	25%	
Gemi Hızı	Gidiş Sefer Süresi	Beher Geminin Yıllık Sefer Sayısı	Yıllık Taşıma İçin Gerekli Olan Gemi Sayısı	Yıllık Toplam Salınan CO <sub>2</sub> miktarı	CO <sub>2</sub> Emisyonu Azalma Oranı
14,25 knot	30 gün	6 Adet	6,038 adet	2,946 milyon ton CO <sub>2</sub> (341.250.914 gr CO <sub>2</sub> /saat)	
13,54 knot	32 gün	5,8 Adet	6,25 adet	2,6 milyon ton CO <sub>2</sub> (301.712.781 gr CO <sub>2</sub> /saat)	11,7%
12,83 knot	34 gün	5,625 Adet	6,44 adet	2,358 milyon ton CO <sub>2</sub> (273.177.086 gr CO <sub>2</sub> /saat)	20%

### 3.1.4. 150.000 DWT’luk Dökme Yük Gemisinin Farklı Seyir Hızlarında Boş Gemi Dizayn İndeksi Değerlerinin “2” Alınacağı Hesapta Oluşan Yıllık Toplam CO<sub>2</sub> Emisyona Miktarları

150.000 DWT’luk dökme yük gemisinin sırasıyla 14,25 knot, 13,54 knot ve 12,83 knot seyir hızlarında yapılan hesaplamaları EKLER kısmında detaylıca verilmiştir ve sonuç olarak aşağıdaki tablodaki sonuçlar meydana gelmiştir. EK 1, EK 2 ve EK 3’teki sonuç değerleri olarak boş gemi dizayn indeksi olarak 2 değerini referans aldığımızda da

K yıllık  $V_{14,25} = 355.499.386$  gr CO<sub>2</sub> / saat = 3,067 milyon ton CO<sub>2</sub> olarak bulunur.

K yıllık  $V_{13,54} = 315.969.906$  gr CO<sub>2</sub> / saat = 2,721 milyon ton CO<sub>2</sub> olarak bulunur.

K yıllık  $V_{12,83} = 287.424.379$  gr CO<sub>2</sub> / saat = 2,479 milyon ton CO<sub>2</sub> olarak bulunur.

Tablo 26. Gemi Seyir Hızının %5 ve %10 Azaltılması ile CO<sub>2</sub> Emisyon Oranlarının Değişimi (Boş Gemi Dizayn İndeksi “2” iken)

Gemi Hızı	Gidiş Sefer Süresi	Behir Geminin Yıllık Sefer Sayısı	Yıllık Taşıma İçin Gerekli Olan Gemi Sayısı	Yıllık Toplam Salınan CO <sub>2</sub> miktarı	CO <sub>2</sub> Emisyonu Azalma Oranı
14,25 knot	30 gün	6 Adet	6,038 adet	3,067 milyon ton CO <sub>2</sub> (355.499.386 gr CO <sub>2</sub> /saat)	
13,54 knot	32 gün	5,8 Adet	6,25 adet	2,721 milyon ton CO <sub>2</sub> (315.969.906 gr CO <sub>2</sub> /saat)	11,3%
12,83 knot	34 gün	5,625 Adet	6,44 adet	2,479 milyon ton CO <sub>2</sub> (287.424.379 gr CO <sub>2</sub> /saat)	19%

Sonuçları tablo 26’da gösterecek olur isek hızdaki %5’lik azaltma yıllık salınan CO<sub>2</sub> miktarında da %11,3’lük azalmaya, hızdaki %10’luk azaltma ise yıllık salınan CO<sub>2</sub> miktarında da %19’lük azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca daha yüksek EEDI değerlerinin daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonlarına neden olduğunu da doğrulamaktadır. Çünkü geminin boş dönüşünde “2” yerine “1,8” alınan EEDI değeri ile CO<sub>2</sub> emisyon miktarı azalma oranları daha yüksek çıkmış idi.

### 3.2. Gemi Seyir Hızının Değiştirilmesi ile Filo Yönetimi Optimizasyonu

Bu kısımda farklı tip ve boyutlardaki gemilerin seyir süratleri değişim analizi ve buna bağlı olarak iki nokta arasındaki taşınacak olan aynı miktar kargonun taşınması için gerekli servise sokulacak ilave gemi veya gemilerin meydana getirdikleri emisyonun analizi, yine belli yaklaşımlar ile yapılacaktır. Seferdeki yakıt tüketiminin hızın küpü ile değiştiği yaklaşımı ile bulunan yeni karbondioksit emisyon değerlerinde gemi yakıt maliyetlerinin toplam gemi işletme maliyetleri içerisindeki payının %50 olması durumunda asgari ticari kârlılık ile servis verilebilecek ekolojik hız sınır değerleri belirtilecektir.

Süratli giden bir geminin baca gazı emisyon değerleri daha düşük süratlerdeki seyirlerinden daha fazla olduğunu önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Başta IMO olmak üzere Birleşmiş Milletlerin de üzerinde durduğu ve gelecek yıllarda sera gazları ve özellikle karbondioksit emisyonunu azaltmaya yarar tedbirler olarak görüşülen ve daha çevre dostu uygulamaların amaçlanması da gemilerin seyir süratının düşürülmesi uygulanabilir hedeflerdendir. Daha fazla yakıt tüketiminin, daha fazla karbondioksit emisyonu olarak ölçülebildiği deniz taşımacılığında, gemi seyir sürati ile günlük tüketilen yakıt arasında küp kanunu olduğu belirlenmiştir (Psaraftis v.d., 2009). Burada kurulacak modelde de kabul edilen referans bilgiler aşağıdaki gibi alınıp çözüm için yaklaşımlar çalışılmıştır.

$$F_{\text{yeni}} / F = (V_{\text{yeni}} / V)^3$$

$F=k.V^3$  formülündeki “k” o gemiye ait belirlenebilen bir yakıt-hız değişken sabiti olduğu göre ve  $F_1=k_1V_1^3$  ve  $F_2=k_2V_2^3$  formülüzasyonundaki gemi seyir hızının değişmesi ile yakıt tüketimi arasındaki kubik değişim formülünü değişen hız değerleri ile değişen günlük yakıt tüketimi arasındaki değişimi  $F_{\text{yeni}} / F = (V_{\text{yeni}} / V)^3$  olarak belirtebiliriz (Psaraftis ve Kontovas, 2010).

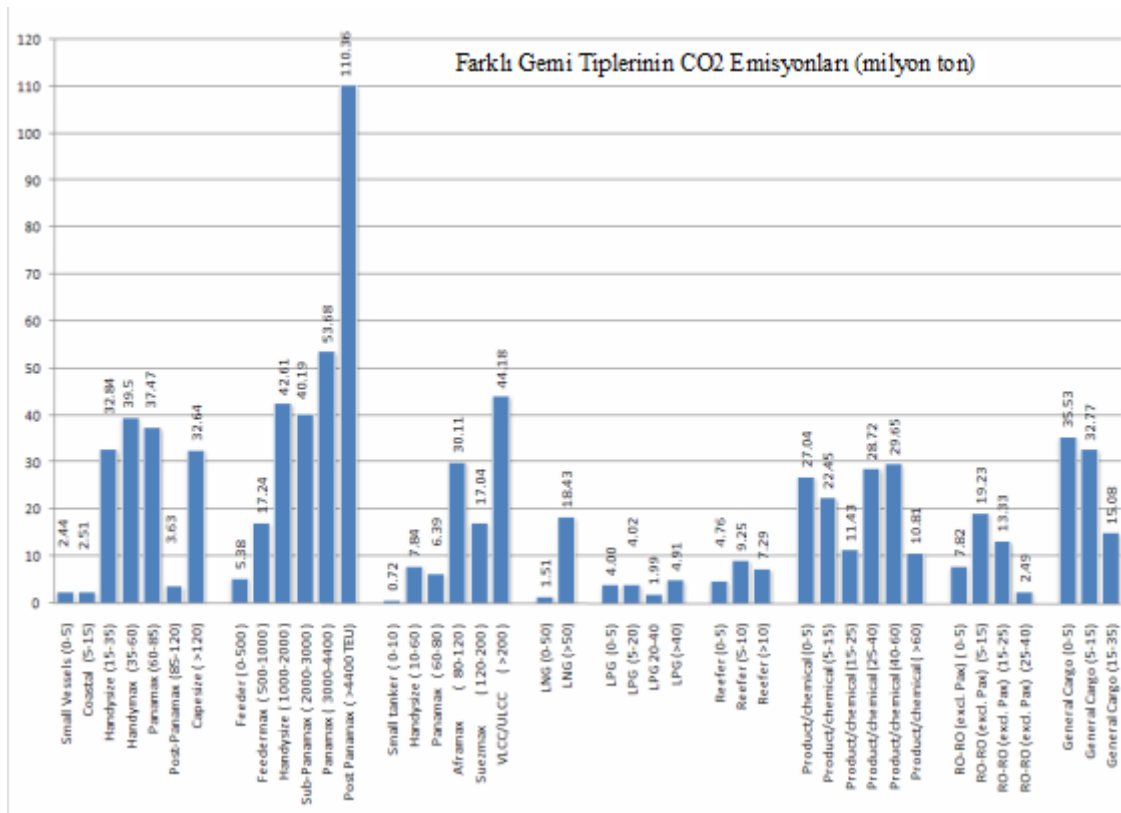
Tablo 27.  $C_f$  Dönüşüm Faktörünün Farklı Yakıt Tiplerine Göre CO<sub>2</sub> Emisyon Değerleri (IMO, MEPC.1/Circ.681, 2009)

Yakıt Türü	Referans	Karbon İçeriği	$C_f$ (t- CO <sub>2</sub> / 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
<b>3. Ağır Fuel Oil (HFO)</b>	<b>ISO 8217 Grades RME</b>	<b>0,850</b>	<b>3,114</b>
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 27’yi örneklemek gerekir ise 1 ton yakıtın gemi makine dairesinde yanması sonucu meydana gelen CO<sub>2</sub> miktarı yaklaşık olarak 3,12 olarak analizde kullanılacaktır 3,12 sayısı yukarıdaki tablodan ortalama olarak referans alınmıştır. Bu bağlamda yakıt tüketimini ve buna bağlı karbondioksit emisyonunu düşürmeye yarar tedbirlerin başında özellikle de yüksek

hızlı gemiler olan konteyner gemiler için seyir süratinin belli oranda düşürülmesi en yetkin çözümlerin başında gelmektedir. Ne var ki gemi seyir süratinin düşürülmesi ile birlikte taşınması planlanan aynı miktardaki yıllık tonaj kapasitelerinin nakli için uzayan sefer süreleri ile birlikte servise ilave gemilerin de sokulması gerekecektir.

Tablo 28. Dünya Filosundaki Farklı Gemi Kategorilerinin Karbondioksit Emisyon Değerleri (Psaraftis v.d., 2009).



Filodaki gemi sayısının artışının neden olacağı ilave karbondioksit emisyonu ile birlikte doğuracağı maliyetin de, yüksek seyir süratindeki oluşturduğu toplam karbondioksit emisyonu ile operasyonel maliyetler içinde en yüksek paya sahip olan yakıt ücretinin değerlendirilerek optimize edilmesi gerekmektedir. Yani filodaki mevcut gemilerin seyir süratlerinin düşürülmesi ile toplam yıllık taşıma kapasitesini aynı seviyede tutmaya yönelik ilave gemilerin filoya girişinin ve bunun ne ölçüde, başka bir deyişle hangi düşürülmüş seyir süratinde ve ilave



optimum kaç gemi adedi ile çevreye en az karbondioksit emisyonu meydana geleceğini iyi analiz etmek gerekir.

Yapılan araştırmalar neticesinde en çok yakıt tüketen gemi kategorileri 3.000 ile 5.000 TEU arasındaki konteyner gemileri, 5.000 ile 8.000 TEU arasındaki konteyner gemileri, yüksek süratli VLOCC tanker başta gelmektedir ki bu aynı zamanda en çok karbondioksit emisyonu gerçekleştiren gemi kategorileri anlamına gelmektedir (Psaraftis v.d., 2009). Tablo 28’de dünya ticaret filosundaki farklı gemi tip ve kategorilerinin meydana getirdiği karbondioksit emisyonları karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablodan da görüleceği üzere en çok karbondioksit emisyonu meydana getiren gemi kategorileri de referans alınarak piyasa temelli bir analiz için 106.000 DWT’luk Aframax sınıfı tanker gemisi, 70.000 DWT’luk Panamax sınıfı dökme yük gemisi ve 50.000 DWT’luk yine Panamax sınıfı konteyner gemisi seçilmiştir.

Buradaki analiz çalışmasında kurulan modelde üç farklı gemi tipinde seyir süratinin sırasıyla %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35, %40, %45 ve %50 azaltılmasını ile 9 gemi x 10 farklı hız değeri olan senaryolar değerlendirilmiştir. Seçilen gemi tipleri ve boyutları aşağıdaki gibidir;

1. 2.000 DWT’luk Dökme Yük (Bulk Carrier)
2. 15.000 DWT’luk Handysize Dökme Yük (Bulk Carrier)
3. 70.000 DWT’luk Panamax Dökme Yük (Bulk Carrier)
4. 2.050 DWT’luk Küçük Tanker
5. 17.000 DWT’luk Handysize Tanker
6. 106.000 DWT’luk Aframax Tanker
7. 1.961 DWT’luk Feeder Konteyner
8. 20.000 DWT’luk Handysize Konteyner
9. 50.000 DWT’luk Panamax Konteyner

Farklı tip ve boyutlardaki tanker, dökme yük gemisi ve konteyner gemilerinin hız spektrumları ile yıllık toplam taşınan kapasitenin nakli sırasında salınan karbondioksit miktarları ve yakıt maliyetleri ile filo yönetimi üzerine optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Çalışılacak analizde kullanılacak kısaltmalar şu şekilde tanımlanmıştır:

N : Filodaki Gemi Adedi Sayısı

W : Bir Geminin Taşıma Kapasitesi ( Payload ), ( ton )

T<sub>A</sub> : A Limanında yükleme için kalınan süre, gün olarak

T<sub>B</sub> : B Limanında tahliye için kalınan süre, gün olarak

V<sub>1</sub> : Yükleme limanından tahliye limanına seyirdeki gemi sürati knot olarak

V<sub>2</sub> : Tahliye limanından yükleme limanına seyirdeki gemi sürati knot olarak

L : Yükleme ve tahliye limanları arasındaki mesafe

O<sub>C</sub> : Bir geminin operasyonel maliyetleri toplamı

D : Geminin bir yıldaki operasyondaki gün sayısı, 360 gün olarak alınacaktır

f : Bir geminin limandaki günlük yakıt tüketimi, ton olarak

F<sub>1</sub> : Geminin yükleme limanından tahliye limanına olan seyirdeki günlük yakıt tüketimi (ton)

F<sub>2</sub> : Geminin tahliye limanından yükleme limanına olan seyirdeki günlük yakıt tüketimi (ton)

F : k.V<sup>3</sup> formülündeki “k” o gemiye ait belirlenebilen bir yakıt-hız değişken sabiti olduğu göre ve F<sub>1</sub>=k<sub>1</sub>V<sub>1</sub><sup>3</sup> ve F<sub>2</sub>=k<sub>2</sub>V<sub>2</sub><sup>3</sup> formülüzasyonundaki gemi seyir hızının değişmesi ile yakıt tüketimi arasındaki kubik değişim formülünü değişen hız değerleri ile değişen günlük yakıt tüketimi arasındaki değişimi F<sub>yeni</sub> / F = ( V<sub>yeni</sub> / V )<sup>3</sup> olarak belirtebiliriz.

F<sub>CO2</sub>: 1 ton yakıtın gemi makine dairesinde yanması sonucu meydana gelen CO<sub>2</sub> miktarıdır. Bu değer yaklaşık olarak 3,17 olarak analizde kullanılacaktır (Psaraftis, Kontovas, 2010).

d : Gidiş-Geliş toplam seyir süresi, gün olarak  $d = L/V_1 + L/V_2 + T_{AB}$

T<sub>AB</sub> : Gidiş-Gelişteki toplam limanda geçen süre, gün olarak.  $T_{AB} = T_A + T_B$

n : Bir yıldaki sefer sayısı  $n = D / d$

n :  $D / [ L / V_1 + L / V_2 + T_{AB} ]$

T<sub>FC</sub> : Seferdeki toplam tüketilen yakıt miktarı  $T_{FC} = T_{AB} f + L(k_1 V_1^2 + k_2 V_2^2)$

### Deniz Seyrinde

F<sub>0</sub> : Seyirdeki Günlük yakıt tüketimi, ton olarak

T<sub>0</sub> : Seyirde geçen toplam süre, gün olarak

$$T_0 = \frac{L}{24 \times V_0}$$

### Limanda Yükleme ve Tahliye Sırasında

$f_0$  : Limandaki günlük yakıt tüketimi, ton olarak

$t_0$  : Limanda geçen toplam süre, gün olarak

Olmakla birlikte toplam 1 seferdeki yakıt tüketim miktarı  $FC_0 = (F_0 \times T_0) + (f_0 \times t_0)$

Buradaki analizde gemi seyir hızının değiştirilmesi ile seferde harcanan yakıt miktarı ve buna bağlı olarak salınan karbondioksit emisyonunun değişimleri incelenecektir.

Yeni gemi hızı  $V$ , dizayndaki ilk gemi hızının bir oranıdır. Bu orana “ $a$ ” der isek “ $a$ ” 0 ile 1 arasında bir değer olacaktır.

$$V = a \times V_0 \quad (0 < a < 1)$$

$$\text{Yeni gemi seyir süresi de buna bağlı olarak ; } T = \frac{L}{24 \times V} = \frac{T_0}{a}$$

Gemi hızının düşürülmesinde gerçekçi değerler %5 ile %20 aralığındaki düşüşlerin incelenmesi yani “ $a$ ” katsayısının 0,8 ile 0,95 aralığında olması hesaplanacaktır. Aynı geminin hızındaki değişimin yakıt sarfiyatına olan oranı hızın kübü ile değiştiği formülü esas alınmıştır ve

$F / F_0 = (V / V_0)^3$  şeklindeki belirtilen  $F = k \times V^3$  formülündeki “ $k$ ” bilinebilen bir katsayıdır.

Limandaki yakıt tüketimi, seyir hızının değiştirilmesinden bağımsız olduğu aslında değişmeyecektir ancak hesaplamadaki yakıt tüketiminin değişimi formülasyonunda limandaki yakıt miktarının da düşünülüp toplam yakıt tüketiminin maddi değerlerinin hesaplanmasında rol oynadığı için, geminin limanda kalma yeni süresi de “ $t$ ” olarak gösterilecektir.

Analiz edilecek olan bu seferdeki yakıt tüketim değişikliğini aşağıdaki şekilde formülize edecek olursak;

$$\Delta (\text{Seferdeki Yakıt Tüketimi}) = \Delta (\text{Seyirdeki Yakıt Tüketimi}) + \Delta (\text{Limandaki Yakıt Tüketimi})$$

$$\Delta (\text{Seferdeki Yakıt Tüketimi}) = (F \times T) - (F_0 \times T_0) + (f \times t) - (f_0 \times t_0)$$

$$\Delta (\text{Seferdeki Yakıt Tüketimi}) = \left[ F \cdot \frac{L}{24 \cdot V} \right] - \left[ F_0 \cdot \frac{L}{24 \cdot V_0} \right] + [ f \cdot (t-t_0) ]$$

$V = a \times V_0$  değeri yukarıdaki formülde yerine konursa;

$$\Delta (\text{SYT}) = \left[ F \cdot \frac{L}{24 \cdot a \cdot V_0} \right] - \left[ F_0 \cdot \frac{L}{24 \cdot V_0} \right] + [ f \cdot (t-t_0) ]$$

$$\Delta (\text{SYT}) = \frac{L}{24 \cdot V_0} \cdot \left( F \cdot \frac{1}{a} - F_0 \right) + [ f \cdot (t-t_0) ]$$

$F / F_0 = (V / V_0)^3$  değeri yukarıdaki formülde yerine konursa;

$$\Delta (\text{SYT}) = \frac{L}{24 \cdot V_0} \cdot \left[ (V / V_0)^3 \cdot F_0 (1/a) - F_0 \right] + [ f \cdot (t-t_0) ]$$

$$\Delta (\text{SYT}) = \frac{L}{24 \cdot V_0} \cdot \left[ (aV_0 / V_0)^3 \cdot F_0 (1/a) - F_0 \right] + [ f \cdot (t-t_0) ]$$

$$\Delta (\text{SYT}) = \frac{L}{24 \cdot V_0} \cdot \left[ (a^3 \cdot F_0 \cdot (1/a) - F_0 \right] + [ f \cdot (t-t_0) ]$$

Sonuç olarak  $\Delta (\text{Seferdeki Yakıt Tüketimi}) = \left[ (L / (24 \cdot V_0)) \cdot F_0 \cdot (a^2 - 1) \right] + f \cdot (t-t_0)$

$$\Delta(\text{Yakıt Tüketimi}) = \frac{L}{24 \cdot V_0} F_0 (a^2 - 1) + f \cdot (t - t_0)$$

“a” parametresi 0 ile 1 arasında olduğu üzere yakıt tüketimindeki değişim değeri de (-) negatif olarak çıkacaktır. Formüldeki  $F_0$  ve  $V_0$  değerleri ise daima (+) pozitiftir. Geminin limandaki kalma süreleri farklı seyirlerde de değişmediği düşünülürse  $(t - t_0)$  değeri ( 0 ) sıfır olacaktır ki bu da ancak yıllık aynı miktardaki kargonun taşınması için servise ilave gemilerin sokulması ihtiyacını yaratacaktır. Tabi ki bir geminin limanda kalma süresinin düşürülmesi gerçekleştirilebiliyor ise toplam yıllık harcanan yakıt miktarı ve buna bağlı salınan karbondioksit miktarı da azalacaktır ve bu da hedeflenen bir parametredir.

### 3.2.1. 2.000 DWT'luk Dökme Yük ( Bulk Carrier ) Filosunun Analizi

Tablo 29. 2000 DWT'luk Dökme Yük Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi

No	Small Bulk Carrier 2.000 DWT	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması
1	D ( Geminin bir yıldaki Operasyondaki gün sayısı )	gün	360	360
2	W ( Bir Geminin Taşıma Kapasitesi ) - ( Payload )	ton	1.800	1.800
3	a ( Seyir Hızının Değişim Katsayısı )			0,95
4	V ( Gemi Seyir Hızı )	knot	6	5,700
5	L ( Seyir Mesafesi )	nm	800	800
6	To ( Seyir Gün Sayısı )	gün	5,556	5,848
7	Fo ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	2,5	
8	F Yeni ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün		2,143
9	f ( Limandaki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	0,7	0,7
10	TA ( Limandaki Gün Sayısı )	gün	2	2
11	FCO $FCO = (FO \times To) + (f \times to)$ ( Tek Yön )	Ton	15,29	13,93
12	<b>FCO ( Bir Seferde Tüketilen Yakıt Miktarı )</b>	Ton	<b>30,58</b>	<b>27,87</b>
13	T Sefer ( Sefer Gün Sayısı ) $T \text{ sefer} = (2 \times To) + (2 \times TA)$	Gün	<b>15,11</b>	<b>15,70</b>
14	Bir Geminin Yıldaki Sefer Sayısı	Adet	23,82	22,94
15	1 Yılda 1 Geminin Taşıdığı Toplam Kapasite ( payload )	Ton	42.882	41.285
16	1 Yılda 1 Geminin Harcadığı Toplam Yakıt Miktarı	Ton	728,5	639,2
17	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Ton	0,01699	0,01548
18	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Kg	16,99	15,48
19	Filodaki Gemi Adedi Sayısı	Adet	10	10,39
20	Toplam Filonun Yıllık Taşıma Kapasitesi (Payload)	Ton	428.824	428.824
21	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Miktarı	Ton	7.285	6.639
22	<b>Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyon Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>22.728</b>	<b>20.715</b>
23	Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyonu Yüzde Değişim	%		8,86%
24	HFO Yakıt Birim Fiyatı	USD/Ton	655	655
25	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	4.771.482	4.348.863
26	Yavaş Seyirden Ötürü İlave Gelen Gemi Adedi Sayısı	Adet		0,39
27	Beher Geminin Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	477.148	418.683
28	<b>Beher Geminin Yıllık Saldığı CO2 Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>2.273</b>	<b>1.994</b>
29	Beher Geminin Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	1.307	1.147
30	Filonun Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	13.073	11.915
31	Yakıttan Kazanım			1.158
32	Filonun Günlük İşletme Bedeli	Usd	2.615	3.626
33	İlave Gemi İşletme Gideri			-1.012
34	Yakıttan Kazanım ile Ek Gemi İşletmesi Arasındaki Fark	<b>Usd</b>		<b>146</b>

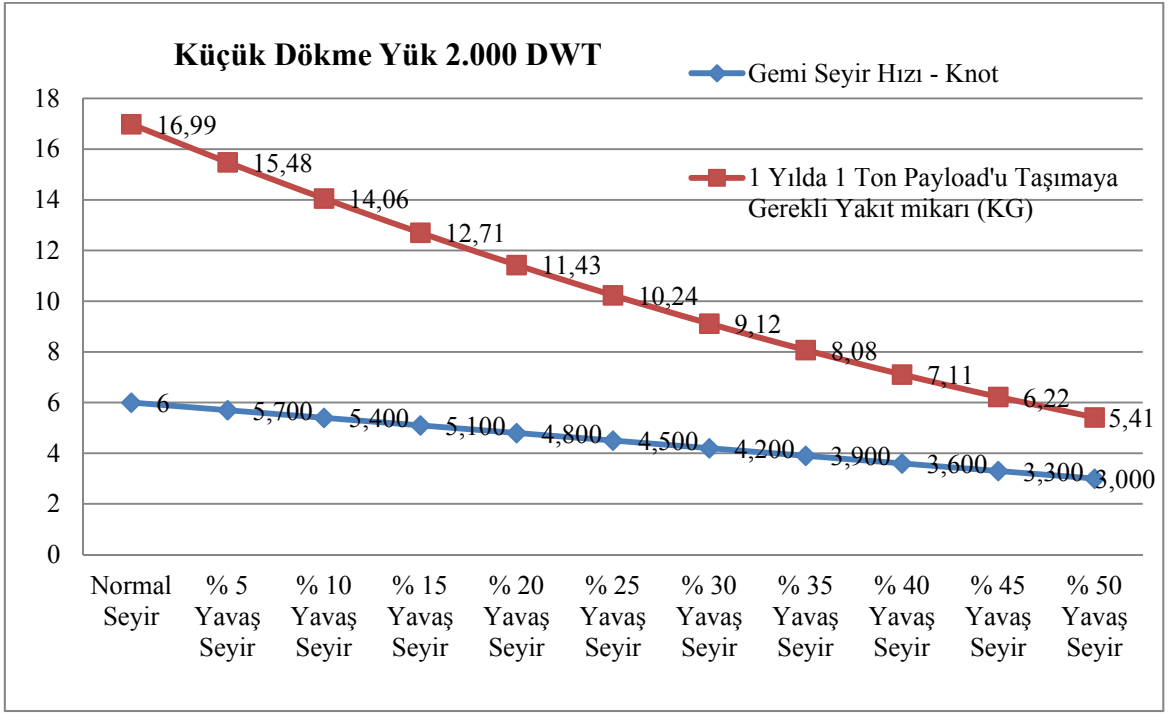
Tablo 30. 2.000 DWT’luk Küçük Dökme Yük Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması	Hızın % 10 Azaltılması	Hızın % 15 Azaltılması	Hızın % 20 Azaltılması	Hızın % 25 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
3			0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
4	knot	6	5,700	5,400	5,100	4,800	4,500
5	nm	800	800	800	800	800	800
6	gün	5,556	5,848	6,173	6,536	6,944	7,407
7	ton / gün	2,5					
8	ton / gün		2,143	1,823	1,535	1,280	1,055
9	ton / gün	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
10	gün	2	2	2	2	2	2
11	Ton	15,29	13,93	12,65	11,43	10,29	9,21
12	Ton	<b>30,58</b>	<b>27,87</b>	<b>25,30</b>	<b>22,87</b>	<b>20,58</b>	<b>18,43</b>
13	Gün	<b>15,11</b>	<b>15,70</b>	<b>16,35</b>	<b>17,07</b>	<b>17,89</b>	<b>18,81</b>
14	Adet	23,82	22,94	22,02	21,09	20,12	19,13
15	Ton	42.882	41.285	39.644	37.957	36.224	34.441
16	Ton	728,5	639,2	557,2	482,3	414,1	352,5
17	Ton	0,01699	0,01548	0,01406	0,01271	0,01143	0,01024
18	Kg	16,99	15,48	14,06	12,71	11,43	10,24
19	Adet	10	10,39	10,82	11,30	11,84	12,45
20	Ton	428.824	428.824	428.824	428.824	428.824	428.824
21	Ton	7.285	6.639	6.027	5.448	4.902	4.389
22	<b>Ton</b>	<b>22.728</b>	<b>20.715</b>	<b>18.805</b>	<b>16.999</b>	<b>15.295</b>	<b>13.695</b>
23	%		8,86%	17,26%	25,21%	32,70%	39,74%
24	USD/Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	4.771.482	4.348.863	3.947.916	3.568.642	3.211.041	2.875.113
26	Adet		0,39	0,82	1,30	1,84	2,45
27	USD	477.148	418.683	364.974	315.877	271.243	230.915
28	<b>Ton</b>	<b>2.273</b>	<b>1.994</b>	<b>1.738</b>	<b>1.505</b>	<b>1.292</b>	<b>1.100</b>
29	Usd	1.307	1.147	1.000	865	743	633
30	Usd	13.073	11.915	10.816	9.777	8.797	7.877
31			1.158	2.256	3.295	4.275	5.196
32	Usd	2.615	3.626	4.751	6.007	7.421	9.023
33			-1.012	-2.136	-3.393	-4.806	-6.408
34	<b>Usd</b>		<b>146</b>	<b>120</b>	<b>-97</b>	<b>-531</b>	<b>-1.213</b>

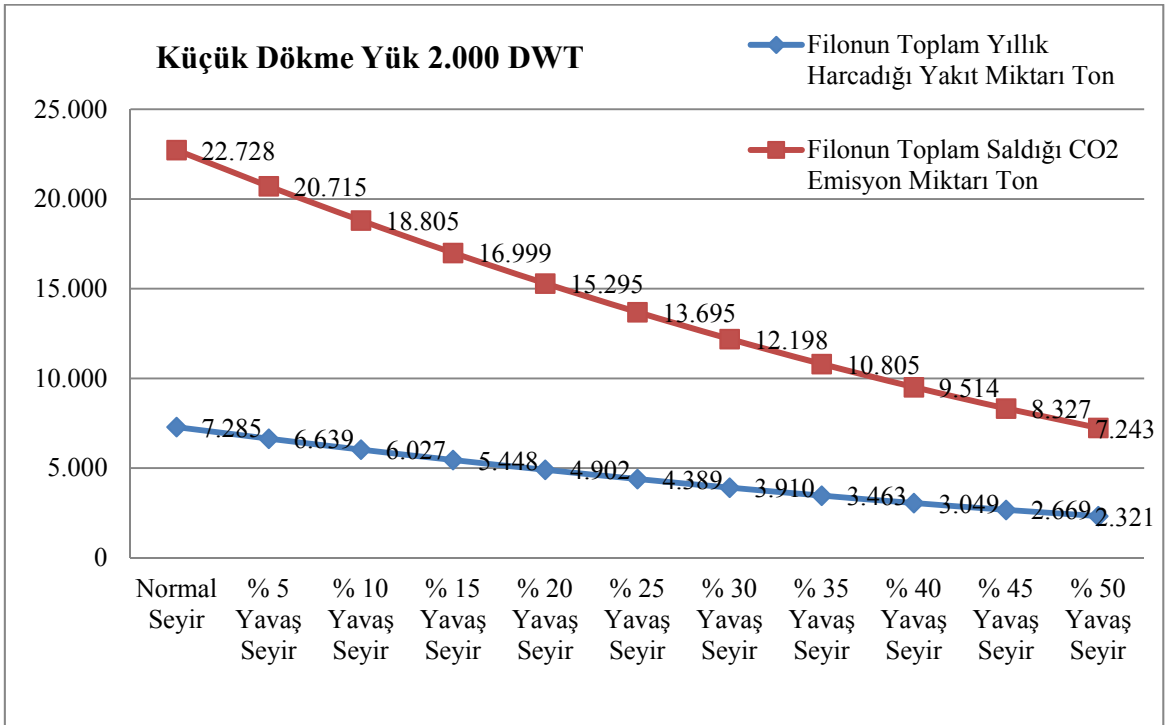
Tablo 31. 2.000 DWT’luk Küçük Dökme Yük Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 30 Azaltılması	Hızın % 35 Azaltılması	Hızın % 40 Azaltılması	Hızın % 45 Azaltılması	Hızın % 50 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
3			0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
4	knot	6	4,200	3,900	3,600	3,300	3,000
5	nm	800	800	800	800	800	800
6	gün	5,556	7,937	8,547	9,259	10,101	11,111
7	ton / gün	2,5					
8	ton / gün		0,857	0,687	0,540	0,416	0,313
9	ton / gün	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
10	gün	2	2	2	2	2	2
11	Ton	15,29	8,21	7,27	6,40	5,60	4,87
12	Ton	<b>30,58</b>	<b>16,41</b>	<b>14,54</b>	<b>12,80</b>	<b>11,20</b>	<b>9,74</b>
13	Gün	<b>15,11</b>	<b>19,87</b>	<b>21,09</b>	<b>22,52</b>	<b>24,20</b>	<b>26,22</b>
14	Adet	23,82	18,12	17,07	15,99	14,87	13,73
15	Ton	42.882	32.607	30.720	28.776	26.775	24.712
16	Ton	728,5	297,3	248,1	204,6	166,6	133,8
17	Ton	0,01699	0,00912	0,00808	0,00711	0,00622	0,00541
18	Kg	16,99	9,12	8,08	7,11	6,22	5,41
19	Adet	10	13,15	13,96	14,90	16,02	17,35
20	Ton	428.824	428.824	428.824	428.824	428.824	428.824
21	Ton	7.285	3.910	3.463	3.049	2.669	2.321
22	<b>Ton</b>	<b>22.728</b>	<b>12.198</b>	<b>10.805</b>	<b>9.514</b>	<b>8.327</b>	<b>7.243</b>
23	%		46,33%	52,46%	58,14%	63,36%	68,13%
24	USD/Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	4.771.482	2.560.857	2.268.275	1.997.365	1.748.128	1.520.563
26	Adet		3,15	3,96	4,90	6,02	7,35
27	USD	477.148	194.723	162.492	134.034	109.149	87.626
28	<b>Ton</b>	<b>2.273</b>	<b>928</b>	<b>774</b>	<b>638</b>	<b>520</b>	<b>417</b>
29	Usd	1.307	533	445	367	299	240
30	Usd	13.073	7.016	6.214	5.472	4.789	4.166
31			6.057	6.858	7.600	8.283	8.907
32	Usd	2.615	10.854	12.966	15.431	18.344	21.839
33			-8.239	-10.352	-12.816	-15.729	-19.224
34	<b>Usd</b>		<b>-2.182</b>	<b>-3.493</b>	<b>-5.216</b>	<b>-7.446</b>	<b>-10.318</b>





Şekil 24. 2.000 Dwt'lik Dökme Yük Filosunun Farklı Seyir Hızı Düşüşlerinde 1 Yılda 1 Ton Kargonun Taşınması İçin Gerekli Yakıt Miktarları



Şekil 25. 2.000 Dwt'lik Dökme Yük Filosunun Farklı Seyir Hızı Düşüşlerindeki Toplam Harcanan Yakıt ve Salınan CO<sub>2</sub> Miktarları (Ton)

Tablo 29'daki 22 numaralı satırdaki filonun toplam saldığı CO<sub>2</sub> emisyon miktarı 21 nolu satır ile 3,12 katsayısı çarpımı olarak ve 31 numaralı satırda yer alan "Gemi Günlük İşletme Bedeli" yaklaşık olarak gemi günlük yakıt maliyetinin iki katı olarak referans alınmışlardır. 34 numaralı satırda belirtilen fark ise geminin seyir süratının düşürülmesi ile yakıttan tasarruf edilen bedel ile gemi günlük işletme bedeli arasındaki farktır. 34 numaralı satırın pozitif olması halen ticari olarak mümkün olduğunu göstermektedir.

Tablo 31'deki 34 numaralı satırda hızın %15'in üzerindeki değerlere düşürülmesinde, servise sokulacak ilave gemi maliyetini neticesi ile zarara neden olacağını göstermektedir. Ayrıca hızın %5 azaltılmasında da ticari olarak filonun maksimum karlılık yaptığı değer gösterilmektedir.

### **3.2.2. Muhtelif Diğer Gemi Filolarında Hız Düşürülme Analizleri**

Gemi seyir hızının düşürülmesi ile toplam oluşan CO<sub>2</sub> emisyon miktarlarının azaltılması konusunda bölüm 3.1'de örnek alınan 150.000 DWT'luk dökme yük gemisinden ziyade dünya karbondioksit emisyonlarının %2,7'sini meydana getiren ticaret gemilerinin farklı tipleri üzerine analizler bu bölümde değerlendirilmiştir.

Tanker, dökme yük ve konteyner gemi tiplerine ait küçük tonaj, orta tonaj ve büyük tonaj gemilerin den seyir hızının düşürülmesi ile toplam filo optimizasyonu analiz edilmiştir. 15.000 DWT'luk handysize dökme yük (bulk carrier) filusunun analizi Ek 4, Ek 5 ve Ek 6'da verilmiştir.

70.000 DWT'luk panamax dökme yük (bulk carrier) filusunun analizi Ek 7, Ek 8 ve Ek 9'da verilmiştir.

2.050 DWT'luk küçük tanker filusunun analizi Ek 10, Ek 11 ve Ek 12'de verilmiştir.

17.000 DWT'luk handysize tanker filusunun analizi Ek 13, Ek 14 ve Ek 15'de verilmiştir.

106.000 DWT'luk aframes tanker filusunun analizi Ek 16, Ek 17 ve Ek 18'de verilmiştir.

1.961 DWT'luk feeder konteyner filusunun analizi Ek 19, Ek 20 ve Ek 21'de verilmiştir.

20.000 DWT'luk handysize konteyner filusunun analizi Ek 22, Ek 23 ve Ek 24'te verilmiştir.

### 3.2.3. 50.000 DWT'luk Panamax Konteyner Filosunun Analizi

Tablo 32. 50.000 DWT'luk Konteyner Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi

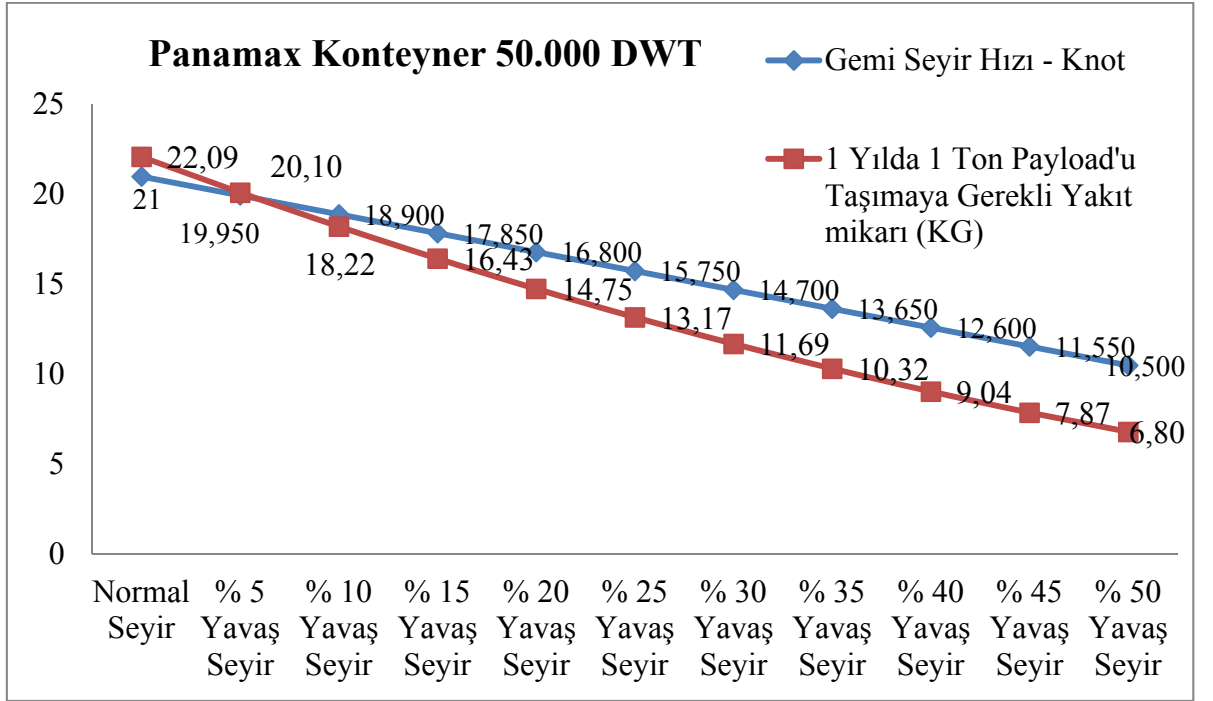
No	Panamax Container 50.000 DWT	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması
1	D ( Geminin bir yıldaki Operasyondaki gün sayısı )	gün	360	360
2	W ( Bir Geminin Taşıma Kapasitesi ) - ( Payload )	ton	47000	47.000
3	a ( Seyir Hızının Değişim Katsayısı )			0,95
4	V ( Gemi Seyir Hızı )	knot	21,00	19,95
5	L ( Seyir Mesafesi )	nm	2100	2100
6	To ( Seyir Gün Sayısı )	gün	4,167	4,386
7	Fo ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	115	
8	F Yeni ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün		98,598
9	f ( Limandaki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	10	10
10	TA ( Limandaki Gün Sayısı )	gün	4	4
11	FCO $FCO = (FO \times To) + (f \times to)$ ( Tek Yön )	Ton	519,17	472,45
12	<b>FCO ( Bir Seferde Tüketilen Yakıt Miktarı )</b>	Ton	<b>1.038,33</b>	<b>944,90</b>
13	T Sefer ( Sefer Gün Sayısı ) $T \text{ sefer} = (2 \times To) + (2 \times TA)$	Gün	<b>16,33</b>	<b>16,77</b>
14	Bir Geminin Yıldaki Sefer Sayısı	Adet	22,04	21,46
15	1 Yılda 1 Geminin Taşıdığı Toplam Kapasite ( payload )	Ton	1.035.918	1.008.828
16	1 Yılda 1 Geminin Harcadığı Toplam Yakıt Miktarı	Ton	22.885,7	20.281,7
17	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Ton	0,02209	0,02010
18	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Kg	22,09	20,10
19	Filodaki Gemi Adedi Sayısı	Adet	10	10,27
20	Toplam Filonun Yıllık Taşıma Kapasitesi (Payload)	Ton	10.359.184	10.359.184
21	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Miktarı	Ton	228.857	208.263
22	<b>Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyon Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>714.034</b>	<b>649.780</b>
23	Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyonu Yüzde Değişim	%		9,00%
24	HFO Yakıt Birim Fiyatı	USD/Ton	655	655
25	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	149.901.429	136.412.105
26	Yavaş Seyirden Ötürü İlave Gelen Gemi Adedi Sayısı	Adet		0,27
27	Beher Geminin Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	14.990.143	13.284.484
28	<b>Beher Geminin Yıllık Saldığı CO2 Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>71.403</b>	<b>63.279</b>
29	Beher Geminin Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	41.069	36.396
30	Filonun Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	410.689	373.732
31	Yakıttan Kazanım			36.957
32	Filonun Günlük İşletme Bedeli	Usd	82.138	104.194
33	İlave Gemi İşletme Gideri			-22.056
34	Yakıttan Kazanım ile Ek Gemi İşletmesi Arasındaki Fark	<b>Usd</b>		<b>14.901</b>

Tablo 33. 50.000 DWT'luk Panamax Konteyner Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi

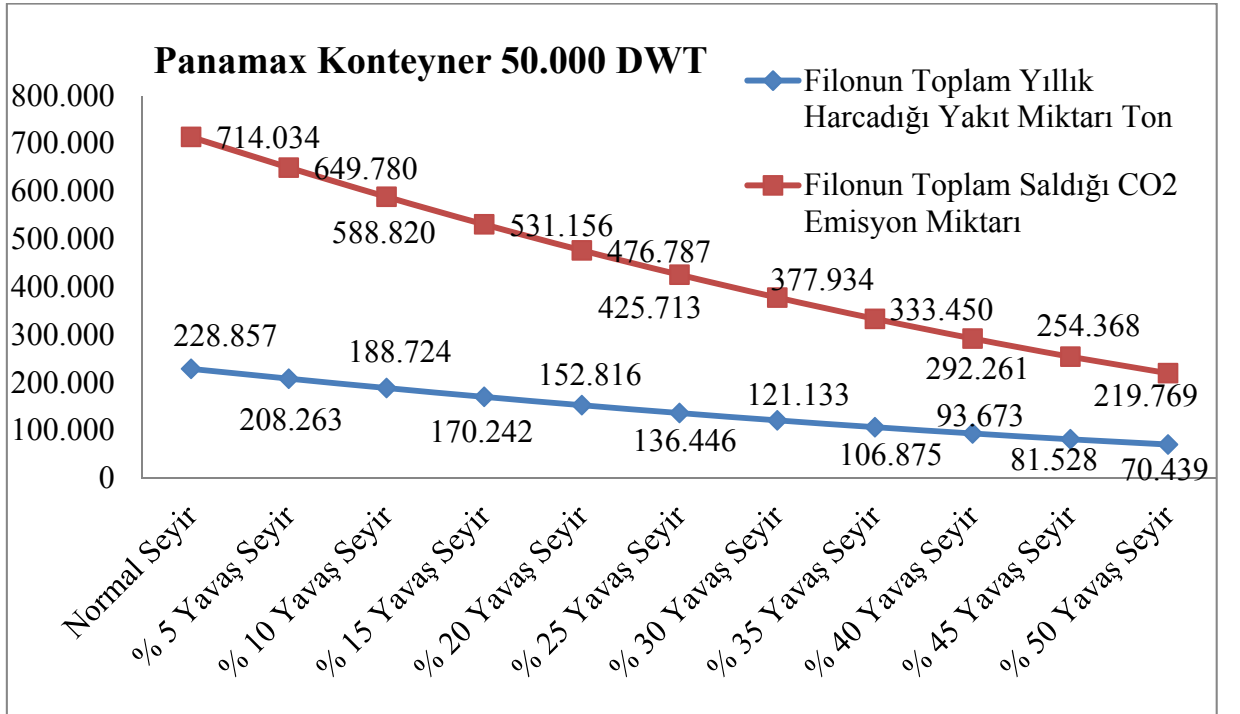
No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması	Hızın % 10 Azaltılması	Hızın % 15 Azaltılması	Hızın % 20 Azaltılması	Hızın % 25 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	47000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000
3			0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
4	knot	21,00	19,95	18,90	17,85	16,80	15,75
5	nm	2100	2100	2100	2100	2100	2100
6	gün	4,167	4,386	4,630	4,902	5,208	5,556
7	ton / gün	115					
8	ton / gün		98,598	83,835	70,624	58,880	48,516
9	ton / gün	10	10	10	10	10	10
10	gün	4	4	4	4	4	4
11	Ton	519,17	472,45	428,13	386,20	346,67	309,53
12	Ton	<b>1.038,33</b>	<b>944,90</b>	<b>856,25</b>	<b>772,40</b>	<b>693,33</b>	<b>619,06</b>
13	Gün	<b>16,33</b>	<b>16,77</b>	<b>17,26</b>	<b>17,80</b>	<b>18,42</b>	<b>19,11</b>
14	Adet	22,04	21,46	20,86	20,22	19,55	18,84
15	Ton	1.035.918	1.008.828	980.343	950.352	918.733	885.349
16	Ton	22.885,7	20.281,7	17.860,0	15.618,0	13.552,9	11.661,4
17	Ton	0,02209	0,02010	0,01822	0,01643	0,01475	0,01317
18	Kg	22,09	20,10	18,22	16,43	14,75	13,17
19	Adet	10	10,27	10,57	10,90	11,28	11,70
20	Ton	10.359.184	10.359.184	10.359.184	10.359.184	10.359.184	10.359.184
21	Ton	228.857	208.263	188.724	170.242	152.816	136.446
22	<b>Ton</b>	<b>714.034</b>	<b>649.780</b>	<b>588.820</b>	<b>531.156</b>	<b>476.787</b>	<b>425.713</b>
23	%		9,00%	17,54%	25,61%	33,23%	40,38%
24	USD /Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	149.901.429	136.412.105	123.614.541	111.508.737	100.094.694	89.372.411
26	Adet		0,27	0,57	0,90	1,28	1,70
27	USD	14.990.143	13.284.484	11.698.286	10.229.821	8.877.176	7.638.223
28	<b>Ton</b>	<b>71.403</b>	<b>63.279</b>	<b>55.723</b>	<b>48.728</b>	<b>42.285</b>	<b>36.384</b>
29	Usd	41.069	36.396	32.050	28.027	24.321	20.927
30	Usd	410.689	373.732	338.670	305.503	274.232	244.856
31			36.957	72.019	105.185	136.457	165.833
32	Usd	82.138	104.194	128.701	156.091	186.905	221.828
33			-22.056	-46.563	-73.954	-104.768	-139.690
34	<b>Usd</b>		<b>14.901</b>	<b>25.456</b>	<b>31.232</b>	<b>31.689</b>	<b>26.143</b>

Tablo 34. 50.000 DWT'luk Panamax Konteyner Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 30 Azaltılması	Hızın % 35 Azaltılması	Hızın % 40 Azaltılması	Hızın % 45 Azaltılması	Hızın % 50 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	47000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000
3			0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
4	knot	21,00	14,70	13,65	12,60	11,55	10,50
5	nm	2100	2100	2100	2100	2100	2100
6	gün	4,167	5,952	6,410	6,944	7,576	8,333
7	ton / gün	115					
8	ton / gün		39,445	31,582	24,840	19,133	14,375
9	ton / gün	10	10	10	10	10	10
10	gün	4	4	4	4	4	4
11	Ton	519,17	274,79	242,45	212,50	184,95	159,79
12	Ton	<b>1.038,33</b>	<b>549,58</b>	<b>484,90</b>	<b>425,00</b>	<b>369,90</b>	<b>319,58</b>
13	Gün	<b>16,33</b>	<b>19,90</b>	<b>20,82</b>	<b>21,89</b>	<b>23,15</b>	<b>24,67</b>
14	Adet	22,04	18,09	17,29	16,45	15,55	14,59
15	Ton	1.035.918	850.048	812.660	772.995	730.838	685.946
16	Ton	22.885,7	9.939,8	8.384,2	6.989,8	5.751,8	4.664,2
17	Ton	0,02209	0,01169	0,01032	0,00904	0,00787	0,00680
18	Kg	22,09	11,69	10,32	9,04	7,87	6,80
19	Adet	10	12,19	12,75	13,40	14,17	15,10
20	Ton	10.359.184	10.359.184	10.359.184	10.359.184	10.359.184	10.359.184
21	Ton	228.857	121.133	106.875	93.673	81.528	70.439
22	<b>Ton</b>	<b>714.034</b>	<b>377.934</b>	<b>333.450</b>	<b>292.261</b>	<b>254.368</b>	<b>219.769</b>
23	%		47,07%	53,30%	59,07%	64,38%	69,22%
24	USD /Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	149.901.429	79.341.888	70.003.125	61.356.122	53.400.880	46.137.398
26	Adet		2,19	2,75	3,40	4,17	5,10
27	USD	14.990.143	6.510.590	5.491.624	4.578.350	3.767.418	3.055.044
28	<b>Ton</b>	<b>71.403</b>	<b>31.012</b>	<b>26.159</b>	<b>21.808</b>	<b>17.946</b>	<b>14.552</b>
29	Usd	41.069	17.837	15.046	12.543	10.322	8.370
30	Usd	410.689	217.375	191.789	168.099	146.304	126.404
31			193.314	218.899	242.590	264.385	284.285
32	Usd	82.138	261.739	307.791	361.518	425.013	501.208
33			-179.602	-225.653	-279.380	-342.876	-419.070
34	<b>Usd</b>		<b>13.712</b>	<b>-6.754</b>	<b>-36.790</b>	<b>-78.491</b>	<b>-134.785</b>



Şekil 26. 2.000 Dwt'lik Küçük Dökme Yük Filosunun Farklı Seyir Hızı Düşüşlerinde 1 Yılda 1 Ton Kargonun Taşınması için Gerekli Yakıt Miktarları



Şekil 27. 2.000 Dwt'lik Küçük Dökme Yük Filosunun Farklı Seyir Hızı Düşüşlerindeki Toplam Harcanan Yakıt ve Salınan CO<sub>2</sub> Miktarları (Ton)

Tablo 32'deki 32 numaralı satırda yer alan "Gemi Günlük İşletme Bedeli" yaklaşık olarak gemi günlük yakıt maliyetinin iki katı alınmıştır. 34 numaralı satırda belirtilen fark ise geminin seyir süratının düşürülmesi ile yakıttan tasarruf edilen bedel ile gemi günlük işletme bedeli arasındaki farktır. 34 numaralı satırın pozitif olması halen ticari olarak mümkün olduğunu göstermektedir. Tablo 34'deki 34 numaralı satırda hızın %35'in üzerindeki değerlerde düşürülmesinde, servise sokulacak ilave gemi maliyetini neticesi ile zarara neden olacağını göstermektedir. Ayrıca hızın %22 azaltılmasında da ticari olarak filonun maksimum karlılık yaptığı değer gösterilmektedir.

### **3.2.4. Gemi Seyir Hızının Düşürülmesi ile Toplam Filo Yönetimi Optimizasyonu Senaryolarında Asgari Ticari Karlılık ile Ekolojik Servis Hızı Analizi**

Yukarıdaki çalışma tablolarından da görüleceği üzere yapılan kabuller ışığında bir geminin azami ticari kârlılığı dizayn hızının yaklaşık %12'si ve asgari ticari karlılık ile yani, minimum CO2 salınımı - ekolojik hız - değeri de dizayn hızının yaklaşık %22'sidir. Bunun üzerindeki hız azaltmalarında filo ticari olarak zarar eder. Eklerde verilen tabloların sonuçları olarak belirtilecek toplam karbondioksit emisyonundaki potansiyel azalmaları gerçek kılacak senaryolar farklı gemi tipleri için aşağıdaki paragraflarda belirtilmiştir.

- 2.000 DWT'luk günde 2,5 ton yakıt sarfiyatı olan Küçük Dökme Yük Gemisi, normal seyir sürati olan 6 knot ile yılda toplam 728,5 ton yakıt tüketirken, seyir süratının gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği asgari ticari karlılık ile en düşük hız değeri olan 4,3 knot olacak şekilde %12'lik hızın azaltılmasına müteakip %20'lik karbondioksit emisyonu azalması ile yıllık 2.272 ton karbondioksit emisyonu yerine 1790 ton karbondioksit emisyonlarına geçirebilmektedir. Hızın azaltılması ile servise ilave giren gemilerin ürettikleri karbondioksit de hesaba dahil edilmiştir. Normal seyir süratının %12 ve üzeri değerlerinde düşürülmesi ticari olarak zarara sebep olacaktır. Ticari olarak filonun maksimum karlılık yaptığı hız düşürme değeri ise normal seyir süratının %5'idir.
- 15.000 DWT'luk günde 15 ton yakıt sarfiyatı olan Handysize Dökme Yük Gemisi, normal seyir sürati olan 8 knot ile yılda toplam 3.290 ton yakıt tüketirken, seyir süratının gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği en düşük değeri olan 5,65 knot olacak şekilde

%29'luk hızın azaltılmasına mütakip %48'lik karbondioksit emisyonu azalması ile yıllık 10.265 ton karbondioksit emisyonu yerine 5.337 ton karbondioksit emisyonlarına gerçekleştirebilmektedir. Normal seyir süratının %29 ve üzeri değerlerinde düşürülmesi ticari olarak zarara sebep olacaktır. Ticari olarak filonun maksimum karlılık yaptığı hız düşürme değeri ise normal seyir süratının %15'idir.

- 70.000 DWT'luk günde 32,5 ton yakıt sarfıyatı olan Panamax Dökme Yük Gemisi, normal seyir sürati olan 14 knot ile yılda toplam 9.208 ton yakıt tüketirken, seyir süratının gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği en düşük değeri olan 12 knot olacak şekilde %14'lük hızın azaltılmasına mütakip %25'lik karbondioksit emisyonu azalması ile yıllık 28.730 ton karbondioksit emisyonu yerine 21.548 ton karbondioksit emisyonlarına gerçekleştirebilmektedir. Normal seyir süratının %14 ve üzeri değerlerinde düşürülmesi ticari olarak zarara sebep olacaktır. Ticari olarak filonun maksimum karlılık yaptığı hız düşürme değeri ise normal seyir süratının %10'udur.
- 2.050 DWT'luk günde 3,5 ton yakıt sarfıyatı olan Küçük Tanker Gemisi, normal seyir sürati olan 10 knot ile yılda toplam 859 ton yakıt tükettirirken, seyir süratının gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği en düşük değeri olan 7,7 knot olacak şekilde %22'lik hızın azaltılmasına mütakip %37'lik karbondioksit emisyonu azalması ile yıllık 2.681 ton karbondioksit emisyonu yerine 1.690 ton karbondioksit emisyonlarına gerçekleştirebilmektedir. Normal seyir süratının %22 ve üzeri değerlerinde düşürülmesi ticari olarak zarara sebep olacaktır. Ticari olarak filonun maksimum karlılık yaptığı hız düşürme değeri ise normal seyir süratının %10'udur.
- 17.000 DWT'luk günde 18 ton yakıt sarfıyatı olan Handysize Tanker Gemisi, normal seyir sürati olan 12,5 knot ile yılda toplam 4.648 ton yakıt tüketirken, seyir süratının gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği en düşük değeri olan 9,9 knot olacak şekilde %21'lik hızın azaltılmasına mütakip %36'lik karbondioksit emisyonu azalması ile yıllık 14.501 ton karbondioksit emisyonu yerine 9.280 ton karbondioksit emisyonlarına gerçekleştirebilmektedir. Normal seyir süratının %21 ve üzeri değerlerinde düşürülmesi



ticari olarak zarara sebep olacaktır. Ticari olarak filonun maksimum karlılık yaptığı hız düşürme değeri ise normal seyir süratinin %10'udur.

- 106.000 DWT'luk günde 65 ton yakıt sarfiyatı olan Aframax Tanker Gemisi, normal seyir sürati olan 15 knot ile yılda toplam 17.351 ton yakıt tüketirken, seyir süratinin gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği en düşük değeri olan 12,4 knot olacak şekilde %17'lik hızın azaltılmasına müteakip %30'luk karbondioksit emisyonu azalması ile yıllık 54.135 ton karbondioksit emisyonu yerine 37.895 ton karbondioksit emisyonlarına gerçekleştirebilmektedir. Normal seyir süratinin %17 ve üzeri değerlerinde düşürülmesi ticari olarak zarara sebep olacaktır. Ticari olarak filonun maksimum karlılık yaptığı hız düşürme değeri ise normal seyir süratinin %10'udur.
- 1.961 DWT'luk günde 3 ton yakıt sarfiyatı olan Feeder Konteyner Gemisi, normal seyir sürati olan 8 knot ile yılda toplam 786 ton yakıt tüketirken, seyir süratinin gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği en düşük değeri olan 6,45 knot olacak şekilde %19'luk hızın azaltılmasına müteakip %31'lik karbondioksit emisyonu azalması ile yıllık 2.453 ton karbondioksit emisyonu yerine 1.693 ton karbondioksit emisyonlarına gerçekleştirebilmektedir. Normal seyir süratinin %19 ve üzeri değerlerinde düşürülmesi ticari olarak zarara sebep olacaktır. Ticari olarak filonun maksimum karlılık yaptığı hız düşürme değeri ise normal seyir süratinin %10'udur.
- 20.000 DWT'luk günde 60 ton yakıt sarfiyatı olan Handysize Konteyner Gemisi, normal seyir sürati olan 17 knot ile yılda toplam 12.780 ton yakıt tüketirken, seyir süratinin gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği en düşük değeri olan 11,75 knot olacak şekilde %31'lik hızın azaltılmasına müteakip %48'lik karbondioksit emisyonu azalması ile yıllık 39.886 ton karbondioksit emisyonu yerine 16.300 ton karbondioksit emisyonlarına gerçekleştirebilmektedir. Normal seyir süratinin %31 ve üzeri değerlerinde düşürülmesi ticari olarak zarara sebep olacaktır. Ticari olarak filonun maksimum karlılık yaptığı hız düşürme değeri ise normal seyir süratinin %15'idir.

- 50.000 DWT’luk günde 115 ton yakıt sarfiyatı olan Panamax Konteyner Gemisi, normal seyir sürati olan 21 knot ile yılda toplam 22.885 ton yakıt tüketirken, seyir süratinin gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği en düşük değeri olan 14,2 knot olacak şekilde %32,5’luk hızın azaltılmasına müteakip %50’lik karbondioksit emisyonu azalması ile yıllık 71.403 ton karbondioksit emisyonu yerine 28.500 ton karbondioksit emisyonlarına gerçekleştirebilmektedir. Normal seyir süratinin %32,5 ve üzeri değerlerinde düşürülmesi ticari olarak zarara sebep olacaktır. Ticari olarak filonun maksimum karlılık yaptığı hız düşürme değeri ise normal seyir süratinin %20’sidir.

Belirtilen dokuz farklı tip gemilerin hızlarının normal seyir süratinden sırasıyla %5, %10,%15, %20, %25, %30, %35, %40, %45, %50 azaltılması ile toplam filo nazarında bir yılda yakıttan kazanım ile ek gemi işletmesi arasındaki USD olarak fark değeri aşağıdaki tablo 35’de belirtilmiştir.

Tablo 35. 9 Farklı Tip Gemi Filolarının Hız Azaltımlarında Yakıttan Kazanım ile Ek Gemi İşletmesi Arasındaki Fark Sonuçları Tablosu (USD)

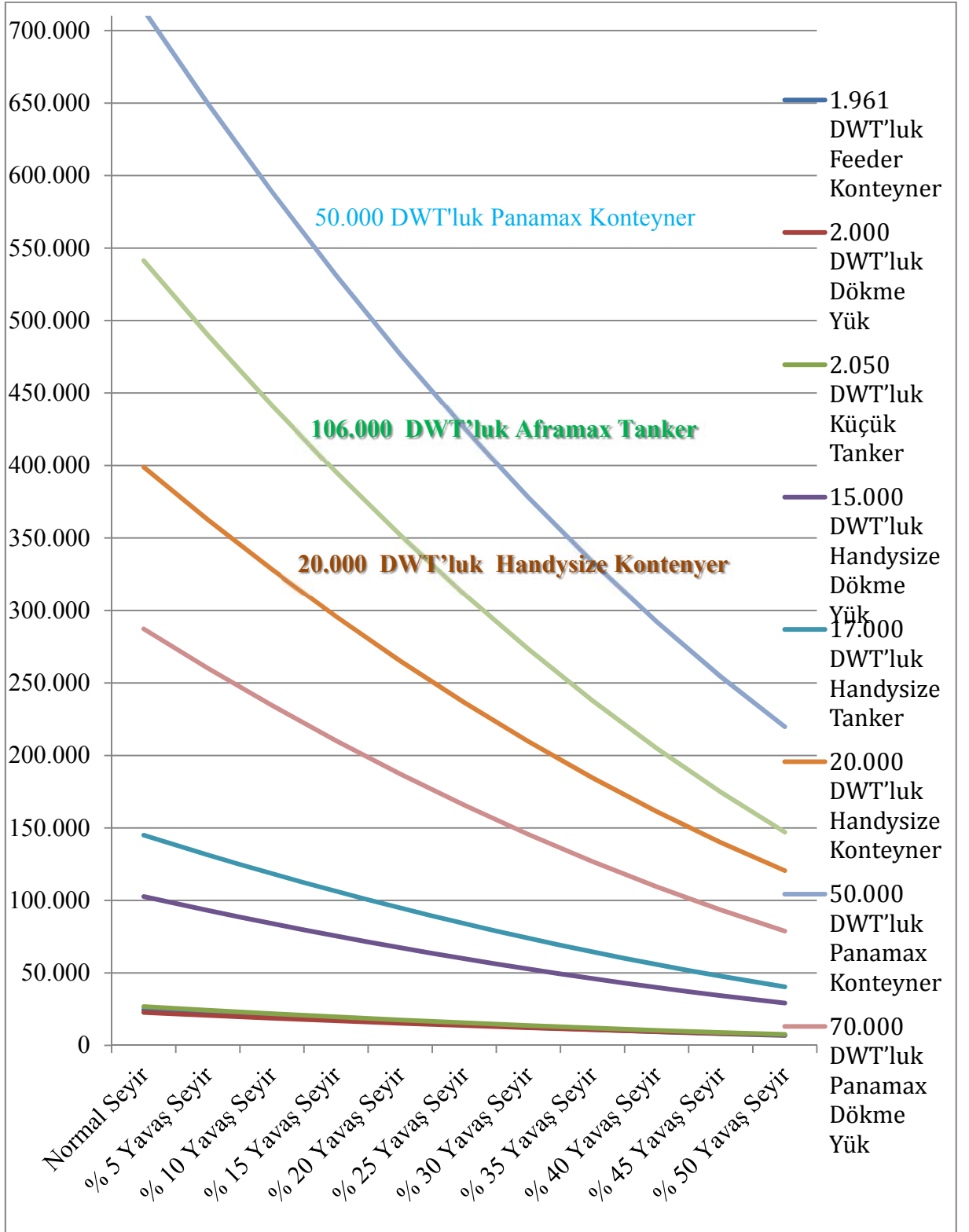
<b>Gemi Tipleri</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>	<b>25%</b>
2.000 DWT’luk Dökme Yük	146	120	-97	-531	-1.213
15.000 DWT’luk Dökme Yük	1.880	3.076	3.519	3.118	1.763
70.000 DWT’luk Dökme Yük	2.343	2.415	-44	-5.357	-13.936
2.050 DWT’luk Tanker	379	567	543	280	-253
17.000 DWT’luk Tanker	1.764	2.455	1.953	111	-3.261
106.000 DWT’luk Tanker	5.879	7.626	4.775	-3.249	-17.181
1.961 DWT’luk Konteyner	284	384	280	-53	-648
20.000 DWT’luk Konteyner	7.513	12.482	14.645	13.676	9.164
50.000 DWT’luk Konteyner	14.901	25.456	31.232	31.689	26.143
<b>Gemi Tipleri</b>	<b>30%</b>	<b>35%</b>	<b>40%</b>	<b>45%</b>	<b>50%</b>
2.000 DWT’luk Dökme Yük	-2.182	-3.493	-5.216	-7.446	-10.318
15.000 DWT’luk Dökme Yük	-691	-4.432	-9.713	-16.876	-26.401
70.000 DWT’luk Dökme Yük	-26.310	-43.169	-65.436	-94.367	-131.721
2.050 DWT’luk Tanker	-1.099	-2.314	-3.971	-6.171	-9.054
17.000 DWT’luk Tanker	-8.403	-15.631	-25.368	-38.187	-54.893
106.000 DWT’luk Tanker	-37.962	-66.823	-105.407	-155.954	-221.599
1.961 DWT’luk Konteyner	-1.547	-2.803	-4.489	-6.704	-9.587
20.000 DWT’luk Konteyner	576	-12.780	-31.832	-57.840	-92.571
50.000 DWT’luk Konteyner	13.712	-6.754	-36.790	-78.491	-134.785

Tablo 35’deki sonuçlar nazarında; normal seyir süratının hangi yüzde değerlerin üzerine çıkmasında ticari olarak zarar edileceği değerin asgari karlılık olarak adlandırıp ve ticari olarak filonun maksimum karlılık yaptığı hız düşürme değerine de azami karlılık olarak adlandırarak aşağıdaki şekilde minimum ve maksimum değerleri tablo 36’da gösterebiliriz. Bunun sonucunda yapılan kabuller ışığında bir geminin azami ticari kârlılığı dizayn hızının yaklaşık %12’si ve asgari ticari karlılık ile yani, minimum CO2 salınımı - ekolojik hız - değeri de dizayn hızının yaklaşık %22’sidir. Bunun üzerindeki hız azaltmalarında filo ticari olarak zarar eder.

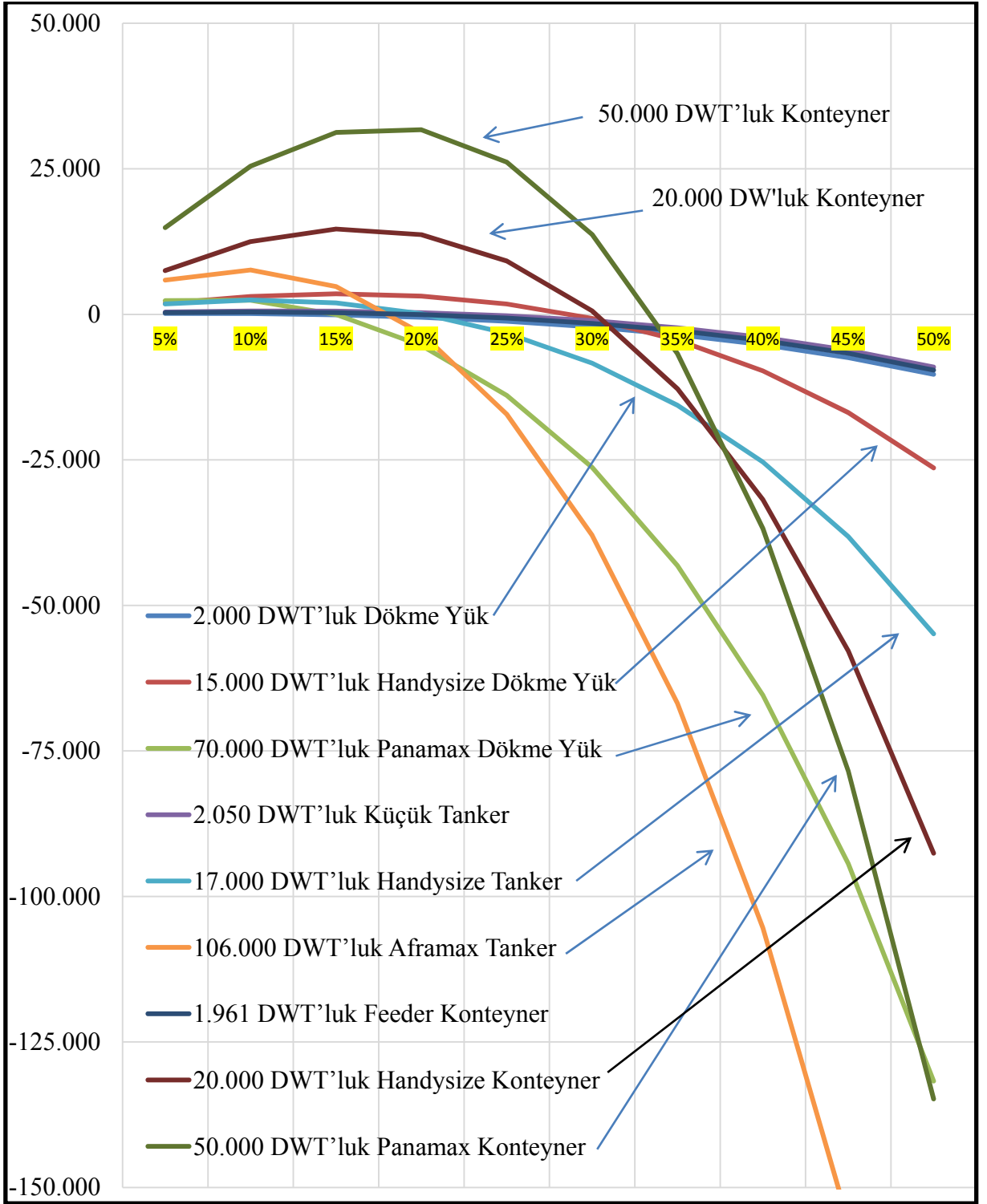
Tablo 36. 9 Farklı Tip Gemi Filolarının Azami ve Asgari Kârlılık Hızı Değerleri

<b>Gemi Tipleri</b>	<b>Azami Karlılık</b>	<b>Asgari Karlılık</b>
2.000 DWT’luk Dökme Yük	5%	15%
15.000 DWT’luk Handysize Dökme Yük	15%	29%
70.000 DWT’luk Panamax Dökme Yük	10%	15%
2.050 DWT’luk Küçük Tanker	10%	22%
17.000 DWT’luk Handysize Tanker	10%	22%
106.000 DWT’luk Aframax Tanker	10%	17%
1.961 DWT’luk Feeder Konteyner	10%	18%
20.000 DWT’luk Handysize Konteyner	15%	31%
50.000 DWT’luk Panamax Konteyner	20%	31%
<b>Tipik Değer Ortalaması</b>	<b>12%</b>	<b>22%</b>

Ayrıca belirtilen dokuz farklı tip gemilerin hızlarının normal seyir süratinden sırasıyla %5, %10,%15, %20, %25, %30, %35, %40, %45, %50 azaltılması ile toplam filo nazarında bir yılda meydana getirdikleri toplam CO<sub>2</sub> emisyon değerleri ton bazında aşağıdaki şekil 28’de belirtilmiştir.



Şekil 28. 9 Farklı Tip Gemi Filolarının Toplam Saldığı CO<sub>2</sub> Emisyon Miktarının (Ton) Hız Düşüşü İle Azalma Eğrisi



Şekil 29. 9 Farklı Tip Gemi Filolarının Hız Azaltımlarında Maksimum ve Minimum Kârlılık İle Ekolojik Hız Eğrileri (USD)

### **3.3. Gemi Yakıt Maliyetinin Toplam Gemi İşletme Maliyetleri İçerisindeki Oranınin Değişiminin Karbondioksit Emisyonuna Etkilerinin Analizi**

Bu son bölümde daha yavaş seyir süratleri neticesinde, servise giren ilave gemilerin toplam filo yönetiminin, optimum düzeye çekilmesi için gemi günlük kira ve operasyonel maliyetler içinde yakıt bedeli oranı değişimlerinin, gemi işletmeciliği yönünden analizini ortaya koymak üzere; sırasıyla gemi yakıt maliyetlerinin toplam gemi işletmeciliği içerisindeki yüzde oranının sırasıyla %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80 olması durumlarında asgari ticari karlılık ile servis verilebilecek ekolojik hız sınır değerleri tablosu oluşturulacaktır.

Yukarıdaki senaryolarda ortaya konulan ve gemi seyir hızının ortalama %22 seviyelerindeki değişiklikleri ile bulunan asgari ticari karlılık ile filo yönetiminde referans alınan değer bir geminin toplam işletme maliyetinin, yine o geminin harcadığı yakıt maliyetinin iki katı olması idi. Gemi işletme maliyetlerine bakacak olursak bunlar;

- Yakıt Maliyeti
- Liman Masrafları
- Yönetimsel Genel Giderler
- Erzak, Kumanya ve Motor Yağlama Yağları
- Sigorta Giderleri
- Tamirat ve Bakım Masrafları
- Gemi Personeli Masrafları
- Amortisman Gideri
- Diğer Giderler

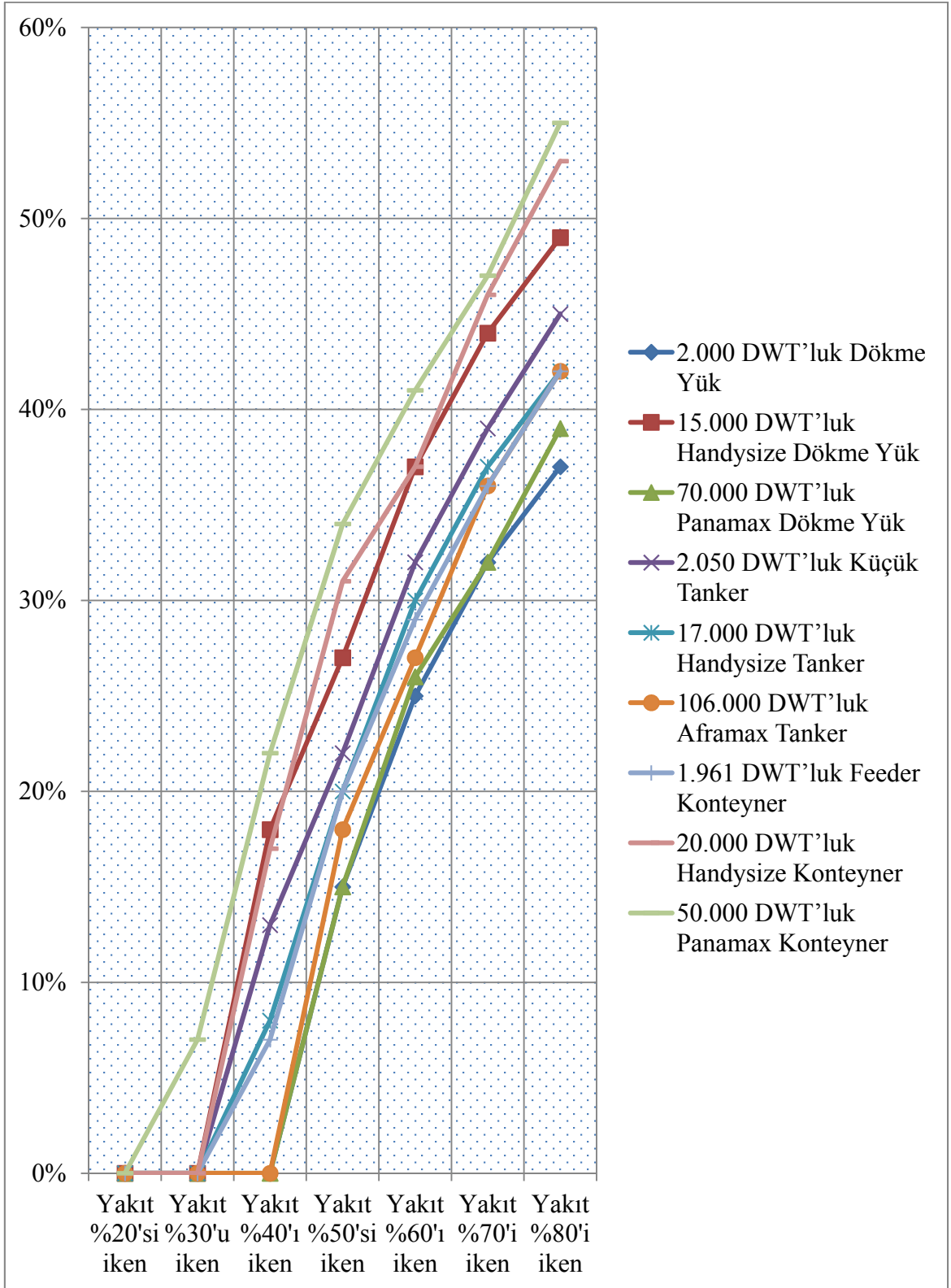
Bunların toplam içindeki payları yakıt masrafı için yaklaşık %46 ve liman masrafları için ise %21 seviyelerinde düşünülmüştür.

Yukarıdaki çalışmalarda HFO yakıt ücreti olarak 655 USD/ton değeri referans alınmıştır. Gemi yakıt bedellerinin yani HFO ücretlerindeki değişimin sonuca etkisi var mıdır sorusuna da aşağıdaki şekilde yanıt aranmıştır.

Kullanılan modelde örnek alınan farklı boyutlardaki gemi tipleri için gemi yakıt birim fiyatının sırası ile 200 USD/ton, 300 USD/ton, 400 USD/ton, 500 USD/ton ve 600 USD/ton

olarak girilmiş ve gemi seyir sürati değişimi ile amaçlanan karbondioksit emisyonu düşürülmesinin azami olarak %30 seviyelerinde düşürülebileceği durumuna aykırı bir sonuç çıkmamıştır. Piyasalarda artan ve azalan yakıt değerleri kendisine eşzamanlı gemi işletme maliyetlerini ve gemilerin günlük kira (charter) piyasalarını da değiştirmektedir.

İkinci olarak ise HFO ücretlerinin değişimi yerine, gemi işletme maliyetlerinin içerisinde artan veya azalan HFO ücretlerine bağlı olarak yukarıdaki modellerde referans alınan gemi işletme maliyetleri içerisindeki gemi yakıt ücretinin yüzde oranlarına göre sırası ile azdan çoğa doğru %20, %30, %40, %50 (çalışma tablolarındaki referans değeridir), %60, %70 ve %80 değerlerindeki değişimleri incelenmiştir. Diğer bir deyiş ile yukarıdaki çalışmalarda gemi yakıt maliyetlerinin toplam gemi işletme maliyetlerinin içindeki oranı yarısı kadar (%50) olduğu kabul edilip buna göre bulunan sonuçlara göre de geminin seyir süratının asgari oranda hangi yüzdelere kadar düşürmesi ile daha az yakıt ve karbondioksit emisyonu oluşturabileceğinin ticari olarak mümkün olabileceği hesaplanmış idi. Gelecekte değişebilecek gemi işletme maliyetleri içerisindeki yakıt giderleri oranına bağlı olarak nasıl değiştiğini sonucunu da aşağıdaki şekil 30'da gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 30. Gemi Yakıt Maliyetinin Gemi İşletme Maliyeti İçerisindeki Değişen Oranlarının Sebep Olacağı Asgari Hız Düşürme Yüzdeleri



### 3.4. Bulguların Tartışılması

İster İmo ister UNFCCC bünyesinde alınacak kararlar ve uygulamalar olsun sonuç olarak CO<sub>2</sub> emisyonları konusunda yapılması gerekli olanlar;

- 2020 ve 2050 yılları için ayrı ayrı spesifik hedeflerin oluşturulması
- Alınacak hedefler IPCC'nin belirlediği iklim değişikliği için kritik +2°C sıcaklığına göre belirlenmesi
- 2020 yılında deniz taşımacılığı sektörünün belli ve hedeflenir düşük CO<sub>2</sub> emisyon değerlerine ulaşması
- Bu hedeflere kısa sürede ulaşılması gerektiğinden bunun hayata geçirilmesi için yapılacak uygulamaların da en kısa sürede hayata geçirilmesi
- Maksimum düzeyde emisyon düşüşü hedeflendiğinden problemin çözümündeki olası tüm çözüm yolları ve alternatif modeller topyekün uygulanması
- Gemi bayrağı ve sahibi farklılığı gözetilmeden tüm dünya deniz ticaret filosu tarafından uygulanmasıdır.

Karıştırılmaması gereken, Kyoto Protokolü Ek I'e üye olan ülkeler deniz ticaret filosunun %35'nin bayrak devletidir. Buna karşın Kyoto Ek I'e üye olmayıp ancak MARPOL Ek VI'yı kabul etmiş filo toplam deniz taşımacılığı filosunun %89,82'sidir. 2012 yılı başında dünya filosundaki 300 GT ve üzeri toplam gemi sayısı 48.197 adede ulaşırken, toplam gemi tonajı 1,46 milyar DWT ve toplam konteyner filo kapasitesi 15,3 milyon TEU'ya ulaşmıştır (DTGM, 2012). Bugüne dönersek aşırı yavaş seyir uygulamasını özendirmek için devletler tarafından karbon vergisine konulacak ilave ücretler veya MARPOL Annex VI değişiklikleriyle bugün herkesin bildiği BAF, CAF gibi navluna ilave ücretlerin yanına CES (carbon emission surcharge) gibi taşıyanın ödeyeceği masrafın da yük taşıtanlar tarafından karşılanması metoduna götürebilecektir. Ayrıca;

- Bir bölgeden geçen geminin bacasından salınan karbondioksitin uzun menzillere yayılması ve diğer bölgelere de bu kirliliğin taşınması
- Karbondioksit emisyonlarının küresel ısınma ve iklim değişikliğine ve bu nedenle de insan sağlığı ve yaşamına olan etkileri

- Karbondioksit emisyonlarını azaltıcı tedbirlerin gemi makinelerindeki verimliliği arttıracak olan tedbirler olması da taşımacılıktaki maliyetleri azaltmaya yönelik yakıt tasarrufu sağlaması durumlarından ötürü toplam küresel ticari gemi kaynaklı karbondioksit emisyonlarının ölçülebilir, kontrol edilebilir ve azaltılabilir olması gerekliliğinden ötürü ticari gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması konusu artarak önem kazanmaktadır.

Bir geminin bacasından salınan CO<sub>2</sub> miktarını bulabilmek için o taşımanın yapıldığı iş ile o gemiye ait belirlenmiş CO<sub>2</sub> emisyonunun indeks katsayısı ile çarpımına ihtiyaç duyulur. Bölüm 2'deki EEDI formülü bize yeni inşa edilecek gemilere ait belirli pekçok parametrenin de ayrı ayrı ve hepsinin aynı formülde birlikte değişimlerinin analizi sonucunda ulaşılabilecek bir katsayı değerinin olduğunu göstermiştir. Bilimsel bir formül olarak değerlendirilmesinin yapılmasından önce, burada yapılacak analize ışık tutacak bir parametre referans değeri olarak sistem içerisinde kullanılmıştır. EEDI formülünün hesapladığı gram CO<sub>2</sub>/(Ton x Deniz Mili) değerindeki bilimsel doğru kabul edilebilecek referans; daha düşük EEDI değerinin daha az CO<sub>2</sub> emisyonu olduğudur. Yani belirli bir mesafede taşınacak iş için harcanan yakıttan tasarruf edebilmek adına tüm ilave teknik ve operasyonel önlemler olan, alternatif yakıtlar, rüzgar destekli sevk, yakıt hücreleri teknolojisi, dizayn değişikliği, trim ve draftın ayarlanması, hava koşulları dahilinde farklı rota ve alternatif enerji tasarrufu yöntemleri ile EEDI değerinin düşürülmesi esastır. Daha düşük EEDI değerleri daha az CO<sub>2</sub> emisyonu demektir ki amaçlanan da zaten budur. EEDI; ton–mil başına salınan CO<sub>2</sub> gramını kullanarak gemi dizaynı ve tasarımı için belirli bir rakam sağlar. Daha küçük EEDI değerleri daha enerji verimli gemi tasarımı anlamına gelmektedir (IMO, COP15, 2009). O halde hesaplanmış EEDI değerinin doğruluğundan çok hesaplanmış EEDI değerinin global çevreye salınan toplam yıllık CO<sub>2</sub> miktarı ile ilerleyen yıllarda artan ticaret hacmine paralel olacak büyümenin analiz edilmesi burada analiz edilecektir.

CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltabilecek önlemlere bakacak olursak en önemli faktörün gemi hızı olduğu ortaya çıkmaktadır. Mevcut gemilerde de yakıt tasarrufunu en yüksek oranda değiştiren parametrenin gemi hızı olduğundan, çalışmada bu yaklaşım ile problemin çözümü analiz edilmiştir. Gemi bacasından salınan CO<sub>2</sub> emisyonlarının problem olarak tahsis edilmesi ve baca gazlarından olan CO<sub>2</sub> emisyonlarının düşürülmesine çözüm olarak da geminin daha

yavaş seyir süratleri neticesinde daha az yakıt harcaması esas alınması metodu çözümde yaklaşım olarak kullanılmış ve kurulan duyarlılık analizi metodları ile sonuçlar değerlendirilmiştir.

Duyarlılık analizi, doğrusal programlamadaki en önemli konulardan bir tanesidir. Pek çok doğrusal programlama modelinde parametreler yani amaç fonksiyonundaki katsayılar, sağ taraf değerleri veya diğer teknik katsayılar belli durumlara göre değişebilmektedir. Duyarlılık analizi ile bu değişiklikler olduğunda modelin sonuçlarında nasıl değişiklikler olacağı, başka bir deyişle en iyi sonucun parametrelerine ne kadar bağımlı olacağı araştırılmıştır. Böylece belli parametrelerdeki değişikliklerin orijinal problemin sonuçlarında nasıl bir değişikliğe neden olduğu saptanabilmiştir.

Bir geminin iki liman arasında yaptığı yolculuğu boyunca maruz kaldığı deniz ve hava dirençlerine karşı ana makinesi ve yardımcı makineleri ile ürettiği güç ile göstermiş olduğu seyir sürati esnasında salınan CO<sub>2</sub> emisyonu değerini belli formüller ile bulanabilir. Ayrıca bir seferin başlaması ile tamamlanması esnasında tüm diğer dış faktörlerin de hesaba katılması ve seyir sürecinde bu değerlerin başta gemi hızı olmak üzere değişimi, boğaz geçişleri, liman operasyonları gibi farklı uygulamalar altında devam eden bir sürecin de hesaplanması mümkündür. Farklı förmüller ile farklı parametrelerdeki değişiklikler, farklı sonuçlarda değerlendirebilirler. Bir gemiden salınan karbondioksit miktarı, yine o gemide tüketilen yakıtın karbon içeriği miktarı ile de ölçülebilmektedir.

Farklı tip ve boyutlardaki gemilerin seyir süratleri değişimi analizi ve buna bağlı olarak iki nokta arasında taşınacak olan aynı miktar kargonun taşınması için gerekli, servise sokulacak ilave gemilerin meydana getirecekleri emisyonun analizi ile daha yavaş seyir süratleri neticesinde, servise giren ilave gemilerin toplam filo yönetiminin optimum düzeye çekilmesi için gemi günlük kira ve operasyonel maliyetleri içerisindeki yakıt bedeli oranının değişimlerinin gemi işletmeciliği yönünden analizi yapılmıştır.

Seyir boyunca gemiye sevk ve idare için gerekli olan enerji; liman girişlerinde, manevralarda veya ileriki dört saat hiç rotasını ve süratini değiştirmeden yol alacağı açık denizde farklılıklar gösterdiği üzere ana makinelerde ve pervanelerde olması beklenen gücü sağlamak üzere gemiler farklı tipte yakıtlar depolarlar. Açık denizde ve ani manevra gerektirmeyen durumlarda ve yolculuğu boyunca neredeyse hep HFO kullanırlar. Ani manevra ihtiyaçlarında LFO'ya geçerler, jeneratör ve aydınlanma gibi ihtiyaçları için ise dizel yakıt

kullanırlar. Bahsedilen yakıtların 1 tonundaki karbon miktarları, 1 ton yakıtın oluşturacağı enerji ile yine yakıtın maliyeti sürekli gözönünde bulundurulmaktadır. Bir geminin iki liman arasında yaptığı yolculuğu boyunca maruz kaldığı deniz ve hava dirençlerine karşı ana makinesi ve yardımcı makineleri ile ürettiği güç ile göstermiş olduğu seyir sürati esnasında salınan CO<sub>2</sub> emisyonu değerinin belli formüller ile bulunabilir.

Geçmişten günümüze artan deniz ticaret filosu ve taşınan deniz taşımacılığı toplam kapasitesi artmakta ve buna bağlı olarak da fosil yakıtlarının toplam tüketimi de yaklaşık olarak her yıl 10 milyon ton artmaktadır. İncelenen sorun gemilerden salınan CO<sub>2</sub> miktarının yıllık toplam değerlerinin düşürülmesi ve ileriki yıllarda artan ticaret hacmi paralel toplam küresel CO<sub>2</sub> emisyonları içerisindeki uluslararası deniz taşımacılığı payının azaltılmasına yönelik analizlerin ortaya konulmasında bir çözüm metodolojisi sunmaktır.

**Model 1)** 150.000 DWT'luk seyir sürati 14,25 knot olan dökme yük gemisinin meydana getirdiği toplam yıllık emisyon miktarı için sırasıyla %5 ve %10 hızın düşürülmesi neticesinde (sadece dolu gemi seyirlerinde hızın düşürülüp, dönüşte boş geminin hızında herhangi bir değişiklik olmaması kabulü ile) toplam yıllık salınan karbondioksit miktarının ne ölçüde azalacağı analizinde; EEDI<sub>Boş Gemi</sub> dizayn indeksi 1,8 gr CO<sub>2</sub> /ton.mil olarak referans alınarak 14,25 knot seyir hızında oluşturduğu yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı 341.250.914 gr CO<sub>2</sub>/saat, 13,54 knot seyir hızında oluşturduğu yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı 301.712.781 gr CO<sub>2</sub>/saat, 12,83 knot seyir hızında oluşturduğu yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı 273.177.086 gr CO<sub>2</sub>/saat bulunmuştur. Sonuç olarak hızdaki %5'lik azaltma CO<sub>2</sub> emisyon indeksinde %15 ve toplam yıllık salınan CO<sub>2</sub> miktarında da %12 azalmaya neden olmaktadır. Hızdaki %10'luk azaltma ise CO<sub>2</sub> emisyon indeksinde %25 ve toplam yıllık salınan CO<sub>2</sub> miktarında da %20 azalmaya neden olmaktadır.

**Model 2)** Gemi seyir hızının sırasıyla %5, %10, %15, %20, %25, %30, %40, %45, %50 değiştirilmesi ile toplam yakıt sarfiyatının nasıl değiştiği üç farklı tip (Dökme Yük, Tanker ve Konteyner) ve her bir gemi tipine bağlı üç ayrı tonajdaki gemiler için ayrı ayrı modellenmesinde 1 ton yakıtın yanmasından 3,12 ton CO<sub>2</sub> oluşması ve gemi yakıt maliyetlerinin toplam gemi işletme maliyetleri içerisindeki payının %50 olması kabulleri durumunda filoların günlük yakıt tüketimleri ile servise ilave giren gemilerin oluşturduğu işletme maliyetleri analiz edilmiştir. Gemi işletme gideri ile yakıttan tasarruftan kazanılan gelir arasındaki değer negatif ve pozitif

değerlerine göre de gemilerin asgari ve azami ticari kârlılık ile servis verebileceği seyir hızı azaltma yüzdeleri bulunmaya çalışılmıştır.

**Model 3)** 2. Modelde analiz edilen veriler ile belirli bir zaman aralığında toplam kapasitenin taşınması için gerekli, servise sokulacak ilave gemilerin etkisinin ve doğuracağı sonuçların analizi için yapılan modelleme sonucunda bölüm 3.2.1'den 3.2.4'e kadar olan tablolardan da görüleceği üzere ele alınmış olan farklı gemi tip ve boyutlarında ortaya çıkan gemi seyir süratının ortalama tipik değer olarak %22'nin üzerindeki değerlerinde servise sokulan ilave gemilerin harcayacağı yakıt miktarı gemi günlük işletme maliyetinin üzerinde kalacağından fizible olmamaktadır. Ortaya konulan ve gemi seyir hızının yaklaşık %22 seviyelerindeki değişiklikleri ile bulunan asgari ticari karlılık ile filo yönetiminde referans alınan değer bir geminin toplam işletme maliyetinin, yine o geminin harcadığı yakıt maliyetinin iki katı olması kabulü ile belirlenen dokuz farklı tipteki gemilerin hızlarının normal seyir süratinden sırasıyla %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35, %40, %45, %50 azaltılması ile toplam filo nazarında bir yılda meydana getirdikleri toplam CO<sub>2</sub> emisyon değerleri ton bazında belirlenmiştir.

**Model 4)** Gemi işletmecisi bakış açısı ile; günlük yakıt maliyetlerinin günlük gemi kiralama maliyetleri içerisindeki yüzdesel oranlarını değiştirerek farklı senaryolar altındaki etkilerinin piyasa temelli analizinin modellenmesi sonucunda yapılmıştır. Daha yavaş seyir süratleri neticesinde, servise giren ilave gemilerin toplam filo yönetiminin, optimum düzeye çekilmesi için gemi günlük kira ve operasyonel maliyetler içerisinde yakıt bedeli miktarı değişimlerinin, gemi işletmeciliği yönünden analizini ortaya koymak üzere; sırasıyla gemi yakıt maliyetlerinin toplam gemi işletmeciliği içerisindeki yüzde oranının %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80 olması durumlarında asgari ticari karlılık ile servis verilebilecek ekolojik hız sınır değerleri tablosu oluşturulmuştur.

Deniz taşımacılığına duyulan talep ve bu talebi karşılamak üzere de daha en azından 20 ile 30 yıl daha fosil yakıtlarının birincil enerji kaynağı olarak kullanılacak olan dünyamızda, emisyon azaltıcı faaliyetlerden gemi hızının düşürülmesi analizi ile çözüm aranmaya çalışılmıştır. Artan yakıt maliyetleri ile birlikte artan gemicilik operasyonel giderlerinin düşürülmesine yönelik yapılacak tasarruflar ile gemi operasyonel maliyetini azaltan alternatif modeller, beraberinde gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı tedbirleri de içermektedir. Bu bağlamda daha az yakıt sarfiyatına bağlı olarak daha az salınan CO<sub>2</sub> emisyon değerlerine ulaşılabilir. Bu bağlamda daha az yakıt sarfiyatına bağlı olarak daha az salınan CO<sub>2</sub> emisyon değerlerine ulaşılabilir.

Piyasalarda artan ve azalan yakıt değerleri kendisine eşzamanlı gemi işletme maliyetlerini ve gemilerin günlük kira (charter) piyasalarını da değiştirmektedir. Seferdeki yakıt tüketiminin hızın küpü ile değiştigi yaklaşımı ile bulunan yeni karbondioksit emisyon değerlerinde gemi yakıt maliyetlerinin toplam gemi işletme maliyetleri içerisindeki payının %50 olması durumunda asgari ticari karlılık ile servis verilebilecek ekolojik hız sınır değerleri belirtilmiştir.

Gemi hızının azaltılması her zaman daha düşük yakıt maliyetleri sonucunu doğurmaktadır. Daha düşük seyir süratlerinde yapılan gemi taşımacılığı ile uzayan transit süreler ile yıllık gerçekleştirilecek sefer sayısındaki düşüğe bağlı olarak iki nokta arasında yıllık taşınması planlan toplam kapasite tonajı gerçekleştirebilmek üzere servise sokulan ilave gemiler ile talebin karşılanması göz önünde bulundurulduğunda dahi düşük seyir hızı daha düşük yakıt maliyeti ve buna bağlı olarak azalan karbondioksit emisyonu olduğu ortaya çıkmıştır.

Gemi seyir hızının düşürülmesi, servise ilave gemi sokulsa dahi hiçbir zaman daha yüksek yakıt masrafı doğurmamaktadır.

Seyir sürati düşürülerek uzayan sefer süresinde harcanan toplam yakıt miktarı, limanlarda harcanan yakıt sarfiyatından bağımsızdır.

Emisyonları ve yakıt tüketimini azaltmak maksadıyla gemi hızının düşürülmesi ancak ve ancak gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği ölçüde gerçek hayatta uygulanabilir. Seyir hızının düşürülmesi neticesinde salınan toplam CO<sub>2</sub> emisyonunun düşürülmesi ve bunu yaparken yakıt bedeli ile filo yönetimi ve gemi operasyonel maliyetlerinin analizleri yapılmıştır. Tezde kurulan dört ayrı modelde ve yapılan kabuller ışığında geminin asgari ve azami ticari kârlılık ile devam edebileceği ekolojik hız (optimum karlılık, minimum CO<sub>2</sub> emisyonu) değeri ve ticari olarak armatöre en çok kazandıran dizayn seyir süratinin ortalama yüzde kaç olduğu sorusuna cevap gösterilmeye çalışılmıştır.

#### IV. SONUÇLAR

Taşımacılık, 2007 yılı verilerine göre toplam küresel karbondioksit emisyonların %3,3'ünü oluşturmaktadır ve 1046 milyon ton CO<sub>2</sub> yaydığı belirtilmektedir. (Faber v.d., 2010). Sadece deniz taşımacılığı ise 870 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu ile toplam küresel karbondioksit emisyonların %2,7'sinden sorumludur (IMO, MEPC 59, 2009\*). Bu %2,7'lik oran 1996 yılında 420 milyon ton ile toplam küresel karbondioksit emisyonların %1,8'i idi (IMO, COP15, 2009). Diğer taşıma modlarına göre en yeşil taşımacılık şekli olmasına ve beher mil başına taşınan birim yükte en düşük karbondioksit emisyonunu salmasına rağmen hiçbir önlem alınmaz ise deniz taşımacılığı kaynaklı karbondioksit emisyonunun 2020 yılında 1475 milyon tona artacağı ve toplam küresel karbondioksit emisyonlarının %6'sından sorumlu olacağı tahmin edilmektedir (IMO, MEPC 63/23/10, 2012). Ayrıca eğer diğer sektörler dünya yüzey sıcaklığının +2°C kritik sıcaklığın altında tutmaya yönelik kendi üzerlerine düşen iyileştirmeleri %50 oranında gerçekleştirirlerse, deniz taşımacılığı şuanda %2,7'sinden sorumlu olduğu global karbondioksit emisyonlarının 2050 yılı itibariyle yaklaşık %12-18'den sorumlu olabilecektir (IMO, MEPC 59/4, 2009). Uluslararası taşımacılık kaynaklı sera gazı emisyonlarının 2020 yılına kadar 1990 yılındaki değerinin en az %40 altına düşürmeyi ve 2050 yılına kadar da 1990 yılındaki değerinin en az %80 altındaki değerlere düşürmeyi hedef almıştır (IPCC, 2007). IMO'nun yaptığı çalışmalar ayrıca tüm tedbirlerin birlikte uygulanması ile gemi tipi ve operasyonuna bağlı olarak verimliliği arttırıp, beher ton/mil bazında mevcut CO<sub>2</sub> emisyon değerlerini %25-75 arasında azaltılmasının muhtemel olduğunu öngörmektedir (IMO, MEPC 59/4, 2009).

Bir geminin iki liman arasında yaptığı yolculuğu boyunca maruz kaldığı deniz ve hava dirençlerine karşı ana makinesi ve yardımcı makineleri ile ürettiği güç için yakmış olduğu yakıttan salınan CO<sub>2</sub> emisyon miktarı belli formüller ile bulanabilir.

Ayrıca bir seferin başlaması ile tamamlanması arasında tüm diğer dış faktörlerin de hesaba katılması, yani gemi hızının değişimi, trim ve draftın değişimi, yavaşma

---

\* İlgili kaynağın 1. ve 9. sayfaları arasından yararlanılmıştır.

manevralarında LFO'ya geçilmesi ve liman operasyonları gibi diğer pekçok farklı uygulamalar altında devam eden bir süreç için de hesaplanabilir. Bir gemiden salınan CO<sub>2</sub> miktarı, yine o gemide tüketilen yakıtın karbon içeriği ile de ölçülebilmektedir. Bir ton gemi yakıtının yanmasından yaklaşık 3,17 ton CO<sub>2</sub> salınmaktadır (Psaraftis vd., 2009). Literatürdeki diğer bir referans ise gemi seyir sürati ile günlük tüketilen yakıt arasında küp kanunu olduğudur [  $F_{yeni} / F = (V_{yeni} / V)^3$  ] (Psaraftis, Kontovas, 2010). Dünya üzerindeki toplam ticari gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak üzere, artan gemi ticaret hacmine paralel olarak artan enerji ihtiyacını karşılayacak daha enerji verimli gemilere ihtiyaç duyulmaktadır. Daha az yakıt sarfiyatı ile aynı işi yerine getiren gemiler neticesinde, daha az CO<sub>2</sub> emisyonu gerçekleşmiş olacaktır. CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı tedbirlerin verimliliğini arttıracak olan tedbirler olması ve taşımacılıktaki maliyetleri azaltmaya yönelik yakıt tasarrufu sağlayıcı tedbirler olmasından ötürü ticari gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması konusu artarak önem kazanmaktadır. Önemi arttıran diğer unsur ise yakıt fiyatının kendi artışıdır.

Bir geminin bacasından salınan CO<sub>2</sub> miktarını bulabilmek için o taşımanın yapıldığı iş ile o gemiye ait belirlenmiş CO<sub>2</sub> emisyonunun indeks katsayısı ile çarpımına ihtiyaç duyulur ki EEDI formülü bize yeni inşa edilecek gemilere ait belirli pekçok parametrenin de ayrı ayrı ve hepsinin aynı formülde birlikte değişimlerinin analizi sonucunda ulaşılabilecek bir katsayı değerinin hesaplanabilir olduğunu göstermiştir. EEDI formülünün hesapladığı (gram x CO<sub>2</sub>) / (Ton x Deniz Mili) değerindeki bilimsel doğru kabul edilebilecek referans; daha düşük EEDI değerinin daha az CO<sub>2</sub> emisyonu emisyonu olduğudur. Yani yeni inşa edilecek ve daha enerji verimli gemilerin belirli bir mesafede taşınan iş için harcanan yakıttan tasarruf edebilmek adına ilave teknik ve operasyonel önlemler olan, alternatif yakıtlar, rüzgar destekli sevk, trim ve draftın ayarlanması, hava koşulları dahilinde farklı rota ve alternatif enerji tasarrufu yöntemleri ile EEDI değerinin düşürülmesi esastır.

CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltabilecek en önemli faktör yakıt olduğundan ve mevcut gemilerde de yakıt tasarrufunu en yüksek oranda değiştiren parametrenin gemi hızı olmasından, çalışmada farklı tip ve tonajdaki gemilerin seyir hızlarının kademeli olarak azaltılması ile nasıl duyarlı olduğu analiz edilmiştir. Tezde kurulan modellerde ve yapılan kabuller ışığında geminin asgari ticari karlılık ile devam edebileceği ekolojik hız (optimum karlılık, minimum CO<sub>2</sub> emisyonu) değerinin, dizayn seyir süratının ortalama yüzde kaç olduğu sorusuna cevap



aranmıştır. Ayrıca ticari olarak filonun maksimum kârlılı yaptığı hız düşürme yüzde değerleri de gösterilmeye çalışılmıştır.

Seferdeki yakıt tüketiminin hızın küpü ile değiştiği yaklaşımı ile bulunan yeni CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinde gemi yakıt maliyetlerinin toplam gemi işletme maliyetleri içerisindeki payının %50 olması durumunda asgari ticari karlılık ile servis verilebilecek ekolojik hız sınır değerlerinin belirlenmesi ve farklı gemi tip ve tonajlarında nasıl duyarlı olduğu analiz edilmiştir. Gemi hızının azaltılması her zaman daha düşük yakıt maliyetleri sonucunu doğurur. Diğer taraftan farklı tip ve boyutlardaki gemilerin seyir süratlerinin düşürülmesi neticesinde uzayan transit süreler ile yıllık gerçekleştirilecek sefer sayısındaki düşüşe bağlı olarak analiz edilen iki nokta arasındaki taşınacak olan aynı miktar kargonun nakli için gerekli servise sokulacak ilave gemilerin meydana getirdikleri emisyonlar da analiz edilmiştir. Bulunan sonuçta gemi seyir hızının düşürülmesinden sebep servise ilave giren gemilerle birlikte toplam yakıt miktarının her zaman daha az yakıt masrafı doğurduğu gösterilmiştir.

Yapılan kabuller ışığında bir geminin azami ticari kârlılığı dizayn hızının yaklaşık %12'si ve asgari ticari karlılık ile yani, minimum CO<sub>2</sub> salınımı - ekolojik hız - değeri de dizayn hızının yaklaşık %22'sidir. Bunun üzerindeki hız azaltma değerlerde servise sokulan ilave gemilerin harcayacağı yakıt miktarının, gemi günlük işletme maliyetinin üzerinde kalacağından ticari olarak zarar ettiği sentezlenmiştir.

Bir başka modelde günlük yakıt maliyetlerinin günlük gemi kiralama maliyetleri içerisindeki yüzdesel oranlarını değiştirerek farklı senaryolar altındaki etkilerinin piyasa temelli analizinin modellenmesi yapılmıştır. Daha yavaş seyir süratleri neticesinde, servise giren ilave gemilerin toplam filo yönetiminin, optimum düzeye çekilmesi için gemi günlük kira ve operasyonel maliyetler içinde yakıt bedeli miktarının değişimlerinin, gemi işletmeciliği yönünden analizi ortaya konulmuştur. Kademeli olarak gemi yakıt maliyetlerinin toplam gemi işletmeciliği içerisindeki farklı yüzde oranlarına sahip olması durumlarında asgari ticari karlılık ile servis verilebilecek ekolojik hız sınır değerleri tablosu oluşturulmuştur. Zira gemi hızının; emisyonları ve yakıt tüketimini azaltmak amacıyla düşürülmesine ancak ve ancak gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği ölçüde gerçek hayatta uygulanabilir.

Deniz taşımacılığına duyulan talep ve bu talebi karşılamak üzere de daha en azından 20 ile 30 yıl daha fosil yakıtlarının birincil enerji kaynağı olarak kullanılacak olan dünyamızda, CO<sub>2</sub> emisyon azaltıcı faaliyetlerden gemi hızının düşürülmesinin hangi boyuttaki, hangi gemi

tipleri için daha duyarlı olduğu analiz edilmiştir. Geçmişten günümüze artan deniz ticaret filosu ve taşınan deniz taşımacılığı toplam kapasitesi artışı ve buna bağlı olarak da fosil yakıtlarının toplam tüketimini de yaklaşık olarak her yıl 10 milyon ton artmaktadır. Gemilerinden salınan CO<sub>2</sub> miktarının yıllık toplam değerlerinin düşürülmesi ve ileriki yıllarda artan deniz ticaret hacmi ile toplam küresel CO<sub>2</sub> emisyonları içerisindeki uluslararası deniz taşımacılığı payının azaltılmasına yönelik analizlerin ortaya konulmasında insan düşünce sistematığı içerisinde bir çözüm metodolojisi sunulmuştur.

Bir gemiden salınan CO<sub>2</sub> emisyon değeri gemi hızına, harcanan yakıt ve yakıtın içeriğindeki karbon miktarına bağlı olarak hesaplanabilir. Gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği en düşük hız değerindeki CO<sub>2</sub> emisyon tasarruf değeri de hesaplanabilir.

Karbondioksit emisyonlarını azaltıcı tedbirlerin gemi makinelerindeki verimliliği arttıracak olan tedbirler olması da taşımacılıktaki maliyetleri azaltmaya yönelik yakıt tasarrufu da sağlamaktadır yani CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı tedbirler, aynı zamanda verimliliği arttıracak ve yakıt tasarrufu sağlayacak tedbirlerdir.

Sadece çevresel tedbirleri yerine getiren ama yüksek maliyetlerdeki taşımacılık uygun değildir. CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı tedbirler, aynı zamanda verimliliği arttıracak ve yakıt tasarrufu sağlayacak tedbirlerdir.

Yakıt tasarrufunu ve buna bağlı CO<sub>2</sub> emisyonunu en yüksek oranda değiştiren parametre gemi hızıdır. Yapılan kabuller ışığında bir geminin azami ticari kârlılığı dizayn hızının yaklaşık %12'si ve asgari ticari karlılık ile yani, minimum CO<sub>2</sub> salınımı - ekolojik hız (optimum karlılık, minimum CO<sub>2</sub> salınımı) - değeri de dizayn hızının yaklaşık %22'sidir. Bunun üzerindeki hız azaltmalarında filo ticari olarak zarar eder.

Daha yavaş seyir süratleri neticesinde, servise giren ilave gemilerin toplam filo yönetiminin optimum düzeye çekilmesi için gemi günlük kira ve operasyonel maliyetler içinde, yakıt bedeli miktarı değişimlerinin de gemi işletmeciliği yönünden analiz edilmelidir.

Emisyonları ve yakıt tüketimini azaltmak amacıyla gemi hızının düşürülmesi ancak ve ancak gemi işletme maliyetlerinin izin verdiği ölçüde gerçek hayatta uygulanabilir. Sadece çevresel tedbirleri yerine getiren ancak yüksek maliyetteki taşımacılık uygun olmayacaktır.

Seyir hızının düşürülmesi neticesinde salınan toplam CO<sub>2</sub> emisyonunun düşürülmesi ve bunu yaparken yakıt bedeli ile filo yönetimi ve gemi operasyonel maliyetlerinin analizleri yapılmıştır. Tezde kurulan dört ayrı modelde ve yapılan kabuller ışığında geminin asgari ticari

kârlılık ile devam edebileceği ekolojik hız (optimum karlılık, minimum CO<sub>2</sub> emisyonu) değeri dizayn seyir süratının ortalama yüzde kaç olduğu sorusuna cevap gösterilmeye çalışılmıştır. Ayrıca ticari olarak armatöre en çok kazandıran dizayn seyir süratının ortalama yüzde kaç olduğu sorusuna cevap gösterilmeye çalışılmıştır.

En fazla CO<sub>2</sub> salınımını düşürecek olan gemi tipleri yüksek tonaj konteyner ve tankerlerdir. Dökme yük gemileri tonajları yüksek olsa dahi hızları düşük olduğundan genel toplamı değiştirme payı daha düşüktür.

Gemi seyir hızının düşürülmesi, servise ilave gemi sokulsa dahi hiçbir zaman daha yüksek yakıt masrafı doğurmamaktadır. Kârlılık yaklaşık %22'ye kadar devam eder.

Seyir hızı düşürülerek uzayan sefer süresinde harcanan toplam yakıt miktarı, limanlarda harcanan yakıt sarfiyatından bağımsızdır.

Yakıt bedelleri gelecekte daha yükselir veya düşer ise ve toplam gemi maliyetleri içerisindeki farklı yüzde değerlerine karşılık gelecek azami gemi seyir hızı azaltma yüzdelerinin neler olduğu da bulunabilir.

Ticari gemi kaynaklı karbondioksit emisyonlarını azaltabilecek en önemli faktör yakıt olduğundan ve mevcut gemilerdeki yakıt tasarrufu da kendi içinde bir enerji verimliliği konusu olduğundan diğer pekçok sektörde artan enerji ihtiyacına çözüm için de yol gösterici olabilecektir.

## **KAYNAKLAR**

BAZARI, Z., LONGVA, T. (2011): Assesment Of IMO Mandated Energy Efficiency Measures For International Shipping, Det Norske Veritas (DNV), IMO, MEPC 63 (2), 1-62.

BIMCO (2009): Applying Market Based Instruments to control the emissions of Greenhouse gases by the shipping industry, Denmark.

BURGEL, A.P. (2007): Air pollution from ships: Recent developments. WMU Journal of Maritime Affairs, The Netherlands, 6 (2), 217-224.

BUHAUG, Ø.; CORBETT, J. J.; ENDERSEN, Ø.; EYRING, V.; FABER, J.; HANAYAMA, S.; Lee, D. S.; LEE, D.; LINDSTAD, H.; MJELDE, A.; PALSSON, C.; WANQUING, W.; WINEBRAKE, J. J.; YOSHIDA, K. (2009): Updated Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships, 1 Eylül 2008, IMO, Londra.

COLMAN, T., PASTER, P. (2007): Red, White and “Green”: The Cost Of Carbon In The Global Wine Trade. American Association Of Wine Economists, AAWE Working Paper, No:9 New York, 8.

DELTAMARINE, (2009): EEDI Tests And Trials For EMSA (European Maritime Safety Agency), Report For Project 1098, Finland.

DELTAMARINE, (2011): Study On Tests and Trials Of The Energy Efficiency Design Index As Developed By The IMO. Applicability and Refinement of the EEDI for RoRo, RoPax Vessels and Specialized Ships. Report for project 6543, Deltamarin EEDI Study for EMSA - Final Report, Finland.

DENİZ, C. (2013): Gemilerde CO<sub>2</sub> Emisyonunun Azaltılması ve Enerji Verimliliği. Deniz Endüstri Dergisi, Istanbul, 144 (1), 38-40.

DENİZ, C. ve DURMUŞOĞLU, Y. (2008): Estimating shipping emissions in the region of the Sea of Marmara, Turkey, *Science of The Total Environment*, 390 (1), 255-261.

DTGMGSİDB, (2010): Deniz Ticareti İstatistikleri. T.C. Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü. Ankara.

DTGM, (2012): Deniz Ticareti Analizleri. T.C. Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü. Ankara.

EIDE, M.S. ve ENDERSEN, O. (2010): Assesment of Measures to Reduce Future CO<sub>2</sub> Emissions From Shipping, Research and Innovation, Position Paper 05, Det Norske Veritas, Norway.

ENDESEN, O., SORGARD, E., SUNDET, J.K., DALSOREN, S.B., ISAKSEN, I.A., BERGLEN, T.F. ve GRAVIR. G. (2003): Emission from international sea transportation and environmental impact. *Journal of Geophysical Research*, 108 (17), 28-29.

EYRING, V., CORBETT, J.J., LEE, D.S. ve WINEBRAKE, J.J. (2007): Brief summary of the impact of ship emissions on atmospheric composition, climate, and human health. Health and Environment sub-group of the International Maritime Organization.

FABER, J., FREUND, M., KÖPKE, M. ve NELISSEN, D. (2010): Going Slow to Reduce Emissions, Can the current surplus of maritime transport capacity be turned into an opportunity to reduce GHG emissions. *Seas At Seas.*, yayın No: 10.7115.21, Holland.

FREDRICH, A., HEINEN, F., KAMAKATE, F. ve KODJAK, D. (2007): Air Pollution and Greenhouse Gas Emissions from Ocean-going Ships: Impacts, Mitigation Options and Opportunities for Managing Growth. International Council on Clean Transportation (ICCT). San Francisco. 43 (55), 38.

HUGHES, E. (2011): MARPOL Annex VI – Prevention Of Air Pollution From Ships. Clean air at sea—promoting solutions for sustainable and competitive shipping. European Commission, 1 Haziran 2011, Air Pollution and Climate Change Marine Environment Division, Brussels, 4.

IMO, (2011): Main Events in IMO’s Work On Limitation And Reduction Of Greenhouse Gas Emissions From International Shipping, Londra.

IMO, COP15 (2009): Control Of Greenhouse Gas Emissions From Ships Engaged In International Trade. UNFCCC 15. Konferansı, AD HOC Working Group On Long-Term Cooperative Action 8. Oturumu (AWG-LCA 8), 7-18 Aralık 2009, IMO, Kopenhag.

IMO, COP16 (2010): Control Of Greenhouse Gas Emissions From Ships Engaged In International Trade. UNFCCC 16. Konferansı, 29 Kasım–10 Aralık 2010, IMO, Mexico.

IMO, COP18 (2012): Shipping, World Trade and the Reduction of CO<sub>2</sub> Emissions. IMO UNFCCC 18. Konferansı, 26 Kasım – 7 Aralık 2012, International Chamber of Shipping, Doha, Qatar.

IMO, MEPC.1/Circ.681 (2009): Interim Guidelines On The Method Of Calculation Of The Energy Efficiency Design Index For New Ships. Londra, 1 (681), 1-8.

IMO, MEPC 59 (2009): Control Of Greenhouse Gas Emissions From Ships Engaged In International Trade. The Conference Of The Parties Serving As The Meeting Of The Parties To The Kyoto Protocol 5. Oturumu, 7-18 Aralık 2009, Second IMO GHG Study 2009, Kopenhag.

IMO, MEPC 59/4 (2009): Prevention Of Air Pollution From Ships. Marine Environment Protection Committee, 59 (4), 2-4.

IMO, MEPC 61/5/16 (2010): Reduction Of GHG Emissions From Ships, Further Details On The United States Proposal To Reduce Greenhouse Gas Emissions From International Shipping, Marine Environment Protection Committee, Londra, 61 (5), 2-6.

IMO, MEPC 62 (2011): Mandatory Energy Efficiency Measures For International Shipping Adopted At IMO Environment Meeting, 62. Oturum Marine Environment Protection Committee, 11 – 15 Temmuz 2011, 3-5, Londra.

IMO, MEPC 62/INF.37 (2011): Reduction Of GHG Emissions From Ships, Detail Treatment Of Innovative Energy Efficiency Technologies For Calculation Of The Attained EEDI, Marine Environment Protection Committee, Londra, 62 (5), 1-3.

IMO, MEPC 63/23/9 (2012): 2012 Guidelines For The Development Of A Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), Resolution MEPC.213(63), Annex 9, Londra, 63 (23), 3-7.

IMO, MEPC 63/23/10 (2012): 2012 Guidelines On Survey and Certificaiton Of The Energy Efficiency Design Index (EEDI), Resolution MEPC.214(63), Annex 10, Londra, 63 (23), 1-16.

IMO, MEPC/SBSTA (2010): Emissions From Fuel Used For International Aviation And Maritime Transport. Note by the International Maritime Organization to the thirty-third session of the Subsidiary Body for Scientific and Technical Advice (SBSTA 33), Further progress made on technical, operational and market-based measures, 61 (33), 4.

IMO, WMD (2007): World Maritime Day 2007, IMO's Response To Current Environmental Challenges, 3, London.

IMO, WMD (2009): World Maritime Day 2009, Climate change: A challenge for IMO too! Background paper, 1-3, London.

IPCC, (2007): Summary for Policymakers In: Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I, Fourth Assessment Report. SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K.B., TIGNOR, M. ve MILLER, H.L. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

KILIÇ, A. (2009): Marmara Denizi'nde Gemilerden Kaynaklanan Egzoz Emisyonları. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Türkiye, 11 (2) 124-134.

KNUDSGAARD, P. (2011): Environmental Rules and Regulations Seen As Business Opportunities, Engineering the Future MAN Diesel & Turbo 2011, The Blue Conference 2011, 1-6, Londra.

LAWRENCE, R.Z., HANOUIZ, M.D. ve DOHERTY, S. (2012): Reducing Supply Chain Barriers: The Enabling Trade Index 2012, World Economic Forum, 3-9, Geneva.

McCOLLUM, D., GOULD, G. ve GREENE, D. (2010): Greenhouse Gas Emissions from Aviation and Marine Transportation: Mitigation Potential and Policies, UC Davis, Institute of Transportation Studies (UCD). Recent Work, Institute of Transportation Studies, University of California, USA.

PSARAFTIS, H.N. ve KONTOVAS, C.A. (2009): CO<sub>2</sub> Emissions Statistics For The World Commercial Fleet. National Technical University of Athens, WMU Journal of Maritime Affairs, Greece, 8 (1), 3-23.

PSARAFTIS, H.N. ve KONTOVAS, C.A. (2010): Ship Emissions: Logistics and Other Tradeoffs. Maritime Transport National Technical University of Athens, 1-18, Greece.

PSARAFTIS, H.N., KONTOVAS, C.A., KAKALIS, N.M.P. (2009): Speed Reduction As An Emissions Reduction measure For Fast Ships. 10. International Conference on Fast Sea Transportation, FAST 2009 Konferansı, Ekim 2009, Maritime Transport National Technical University of Athens, 4-12, Greece.



ROBERTS, J.T., GRIMES, P.E., MANALE, J. (2003): Social Roots Of Global Environmental Change: A World-Systems Analysis Of Carbon Dioxide Emissions. Journal of World-System Research, USA, 9 (2), 277-295.

SAVITZ, J., HIRSHFIELD, M., BILSKY, E., SAENZ, D., KRENZ, C., LEVINE, M., COLLIER, A., WATKINS, M.P. ve GRAYSON, J. (2008): Shipping Impacts On Climate: A Source With Solutions. Ellycia Harrould-Kolieb, Oceana, Washington.

TÜRKEŞ, M., SÜMER, U. M. ve ÇETİNER, G. (2000): Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, 13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası, Ankara.

UNCTAD, (2011): Review of Maritime Transport 2011. UNCTAD/RMT/2011, United Nations Publication, yayın no: E.11.II.D.4, ISBN 978-92-1-112841-3, New York.

WORLD SHIPPING COUNCIL, (2009): The Liner Shipping Industry and Carbon Emissions Policy, Washington, USA, 1-8.

## İNTERNET KAYNAKLARI

- [http://arsiv.ntvmsnbc.com/news/KURESEL\\_front.asp](http://arsiv.ntvmsnbc.com/news/KURESEL_front.asp) 16.12.2012
- [http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs\\_v3/](http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/) 16.12.2012
- [http://www.dnv.com/binaries/eedi%20-%20maritime%20advisory%20flyer\\_tcm4-481881.pdf](http://www.dnv.com/binaries/eedi%20-%20maritime%20advisory%20flyer_tcm4-481881.pdf)  
16.12.2012
- [http://www.eie.gov.tr/iklim\\_deg/i\\_deg\\_nedir.aspx](http://www.eie.gov.tr/iklim_deg/i_deg_nedir.aspx), 25.12.2012
- <http://www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads06/07CR.pdf> Inventory of U.S.,  
04.08,2011 Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2005, 27.11.2011
- <http://www.equasis.org>, 15.03.2012
- <http://evworld.com/index.cfm>, 01.07.2012).
- [http://www.imo.org/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-\(marpol\).aspx](http://www.imo.org/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-(marpol).aspx), 04.12.2011.
- <http://www.imo.org/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx>, 04.12.2011
- <http://www.imo.org/MediaCentre/PressBriefings/Pages/42-mepec-ghg.aspx>, 27.05.2012
- <http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/GHG-Emissions.aspx>, 15.12.2012
- <http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/SpecialAreasUnderMARPOL/Pages/Default.aspx>, 14.10.2012
- <http://www.insee.fr/en/bases-de-donnees/bsweb/serie.asp?idbank=000455746>
- <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>, 15.08.2011
- <http://www.shippingandco2.org/CO2-Flyer.pdf>, 15.12.2012
- <http://www.shippingandco2.org/DSAFuelLevy.pdf>, 15.12.2012
- <http://www.skysails.info/english/skysails-marine/skysails-propulsion-for-cargo-ships/>,  
01.07.2012).
- <http://www.turkhukusitesi.com/showthread.php?t=18345>, 04.12.2011.
- <http://www.worldshipping.org/industry-issues/environment/air-emissions/carbon-emissions>,  
15.12.2012

**EK 1. 150.000 DWT’luk Dökme Yük Gemisinin 14,25 Knot Seyir Hızında Boş Gemi Dizayn İndeksi Değerlerinin 2 Alınacağı Hesapta Oluşan Yıllık Toplam CO<sub>2</sub> Emisyona Miktarları**

Taşınacak Mal	: Demir Çelik
Yıllık Taşınacak Miktar	: 5.000.000 Ton
Yükleme Limanı	: Ambarlı, İstanbul
Tahliye Limanı	: Yokohama, Japonya
Taşıma Yapacak Gemi Tipi	: 150.000 Dwt'luk Dökme Yük Gemisi
Kargo Taşıma Kapasitesi	: 138.000 Ton ( Yakıt, kumanya, yolcu vbs hariç )
Gemi Hızı	: 14,25 knots
Yakıt Türü	: Dizel

Yukarıda belirtilen ticareti sağlayacak gemi ve taşınacak kargonun meydana getirdiği toplam CO<sub>2</sub> emisyonu değerini hesaplamak için diğer kaynak verilerini de yazacak olursak;

Gemi Ana Makine Gücü	: 15.000 kW x 80 rpm
SFC	: 165 gr / kWh
Menzil	: 8676 mil ( deniz mili )
Sefer Süresi A (Gidiş)	: 30 gün ( Ambarlı – Yokohama )
Sefer Süresi B (Gidiş)	: 30 gün ( Yokohama – Ambarlı )
Tam Dolu Gemi CO <sub>2</sub> İndeksi	: 2,99 gr CO <sub>2</sub> / ton x mil (Bölüm 2.3.1.2’den alınmıştır )
Boş Gemi CO <sub>2</sub> İndeksi	: 2 gr CO <sub>2</sub> / ton x mil Referans alınmıştır

Yukarıdaki bilgileri ışığında bulunacak olan diğer bilgiler ise şöyledir.

Bir geminin yıllık sefer sayısı :  $360 \text{ gün} / 60 \text{ gün} = 6 \text{ adet}$

Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi :  $6 \text{ sefer} \times 138.000 \text{ ton} = 828.000 \text{ ton} / \text{yıl}$

Yıllık 5.000.000 ton demir çelik yükünü Türkiye’den Japonya’ya taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı  $5.000.000 / 828.000 = 6,038 \text{ adet gemi}$

Bir Geminin yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu o geminin Ambarlı- Yokohama seferindeki dolu seyrindeki CO<sub>2</sub> emisyonu ile Yokohama – Ambarlı arasındaki boş olarak dönüşündeki CO<sub>2</sub> emisyonlarının toplamının yıllık sefer sayısı ile çarpımıdır. Bir geminin iki liman arasındaki

seyri boyunca baca gazından salınan karbondioksit miktarına kısaca “K” olarak ifade eder isek ve Ambarli – Yokohoma arası yüklü olan seyirdeki toplam salınan CO<sub>2</sub> değerine : K1  
Yokohoma – Ambarli arası boş seyirdeki toplam salınan CO<sub>2</sub> değerine : K2

K1 = Dolu Gemi CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi x Taşınan Kapasite x Gemi hızı

K1 = 2,99 gr CO<sub>2</sub> / ton x mil x 138.000 ton x 14,25 knot

K1 = 5.879.835 gr CO<sub>2</sub> / saat

K2 = Boş Gemi CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi x Taşınan Kapasite x Gemi hızı

K2 = 2 x 138.000 ton x 14,25 knot

K2 = 3.933.000 gr CO<sub>2</sub> / saat

Bir geminin gidiş ve dönüşündeki Toplam CO<sub>2</sub> emisyonu yani “K”

K= K1 + K2 olarak

K = 5.879.835 + 3.933.000 = 9.812.835 gr CO<sub>2</sub> / saat'dir.

14,25 knot sürat yapan bir gemi yılda 6 sefer yaparsa ve bu iş için gerekli olan toplam 6,038 adet gemi kullanılır ise, bir yılda toplam taşınması hedeflenen 5.000.000 ton demir çelik ürününün Ambarli limanından Japonya'nın Yokohama limanına taşımak işinde toplam salınan karbondioksit miktarı ;

K yıllık  $v_{14,25} = 9.812.835 \times 6 \text{ sefer} \times 6,038 \text{ adet gemi}$

**K yıllık  $v_{14,25} = 355.499.386 \text{ gr CO}_2 / \text{saat}$  olarak bulunur.**

**EK 2. 150.000 DWT’luk Dökme Yük Gemisinin 13,54 Knot Seyir Hızında Boş Gemi Dizayn İndeksi Değerlerinin 2 Alınacağı Hesapta Oluşan Yıllık Toplam CO<sub>2</sub> Emisyona Miktarları**

Tam Dolu Gemi CO<sub>2</sub> İndeksi : 2,56 gr CO<sub>2</sub> / ton x mil

Boş Gemi CO<sub>2</sub> İndeksi : 2 gr CO<sub>2</sub> / ton x mil

K1 = Dolu Gemi CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi x Taşınan Kapasite x Gemi hızı

K1 = 2,56 x 138.000 ton x 13,54 knot

K1 = 4.783.411,2 gr CO<sub>2</sub> / saat

K2 = Boş Gemi CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi x Taşınan Kapasite x Gemi hızı

K2 = 2 x 138.000 ton x 14,25 knot

K2 = 3.933.000 gr CO<sub>2</sub> / saat

Bir geminin gidiş ve dönüşündeki Toplam CO<sub>2</sub> emisyonu yani “K”

K= K1 + K2 olarak

K = 4.783.411,2 + 3.933.000 = 8.716.411,2 gr CO<sub>2</sub> / saat’tir.

Dolu olarak yaptığı Ambarlı – Yokohama seyrinde hızını 13,54 knot olarak yapan geminin sefer süresi artacak ve bu rotada çalışan gemi sayısı da artacaktır.

Menzil : 8676 mil ( deniz mili )

Sefer Süresi A (Gidiş) : 32 gün ( Ambarlı – Yokohama )

Sefer Süresi B (Gidiş) : 30 gün ( Yokohama – Ambarlı )

Yukarıdaki bilgileri ışığında bulunacak olan diğer bilgiler ise şöyledir.

Bir geminin yıllık sefer sayısı : 360 gün / 62 gün = 5,8 adet sefer

Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi : 5,8 sefer x 138.000 ton = 800.400 ton / yıl

Yıllık 5.000.000 ton demir çelik yükünü Türkiye’den Japonya’ya taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı 5.000.000 / 800.400 = 6,25 adet gemi gereklidir.

Dolu olarak gidişte 13,54 knot sürat yapan ve dönüşte 14,25 knot sürat ile seyreden bir gemi yılda 5,8 sefer yaparsa ve bu iş için gerekli olan toplam 6,25 adet gemi kullanılır ise, bir yılda toplam taşınması hedeflenen 5.000.000 ton demir çelik ürününün Ambarlı limanından Japonya’nın Yokohama limanına taşımak işinde toplam salınan karbondioksit miktarı ;

K yıllık  $v_{13,54} = 8.716.411,2 \times 5,8 \text{ sefer} \times 6,25 \text{ adet gemi}$

**K yıllık  $v_{13,54} = 315.969.906 \text{ gr CO}_2 / \text{saat}$  olarak bulunur.**

**EK 3. 150.000 DWT’luk Dökme Yük Gemisinin 12,83 Knot Seyir Hızında Boş Gemi Dizayn İndeksi Değerlerinin 2 Alınacağı Hesapta Oluşan Yıllık Toplam CO<sub>2</sub> Emisyona Miktarları**

Tam Dolu Gemi CO<sub>2</sub> İndeksi : 2,26 gr CO<sub>2</sub> / ton x mil

Boş Gemi CO<sub>2</sub> İndeksi : 2 gr CO<sub>2</sub> / ton x mil

K1 = Dolu Gemi CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi x Taşınan Kapasite x Gemi hızı

K1 = 2,26 x 138.000 ton x 12,83 knot

K1 = 4.001.420,4 gr CO<sub>2</sub> / saat

K2 = Boş Gemi CO<sub>2</sub> Emisyon İndeksi x Taşınan Kapasite x Gemi hızı

K2 = 2 x 138.000 ton x 14,25 knot

K2 = 3.933.000 gr CO<sub>2</sub> / saat

Bir geminin gidiş ve dönüşündeki Toplam CO<sub>2</sub> emisyonu yani “K”

K= K1 + K2 olarak

K = 4.001.420,4 + 3.933.000 = 7.934.420,4 gr CO<sub>2</sub> /saat’tir.

Dolu olarak yaptığı Ambarlı – Yokohama seyrinde hızını 12,83 knot olarak yapan geminin sefer süresi artacak ve bu rotada çalışan gemi sayısı da artacaktır.

Menzil : 8676 mil ( deniz mili )

Sefer Süresi A (Gidiş) : 34 gün ( Ambarlı – Yokohama )

Sefer Süresi B (Gidiş) : 30 gün ( Yokohama – Ambarlı )

Yukarıdaki bilgileri ışığında bulunacak olan diğer bilgiler ise şöyledir.

Bir geminin yıllık sefer sayısı : 360 gün / 64 gün = 5,625 adet sefer

Bir geminin yıllık taşıma kapasitesi : 5,625 sefer x 138.000 ton = 776.250 ton / yıl

Yıllık 5.000.000 ton demir çelik yükünü Türkiye’den Japonya’ya taşıma işi için gerekli olan gemi sayısı 5.000.000 / 776.250 = 6,44 adet gemi gereklidir.

Dolu olarak gidişte 12,83 knot sürat yapan ve dönüşte 14,25 knot sürat ile seyreden bir gemi yılda 5,625 sefer yaparsa ve bu iş için gerekli olan toplam 6,44 adet gemi kullanılır ise, bir yılda toplam taşınması hedeflenen 5.000.000 ton demir çelik ürününün Ambarlı limanından Japonya’nın Yokohama limanına taşımak işinde toplam salınan karbondioksit miktarı ;

K yıllık  $v_{12,83} = 7.934.420,4 \times 5,625 \text{ sefer} \times 6,44 \text{ adet gemi}$

**K yıllık  $v_{12,83} = 287.424.379 \text{ gr CO}_2 / \text{saat}$  olarak bulunur.**

**EK 4. 15.000 DWT’luk Handysize Dökme Yük Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi**

No	Handysize Bulk Carrier 15.000 DWT	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması
1	D ( Geminin bir yıldaki Operasyondaki gün sayısı )	gün	360	360
2	W ( Bir Geminin Taşıma Kapasitesi ) - ( Payload )	ton	13.800	13.800
3	a ( Seyir Hızının Değişim Katsayısı )			0,95
4	V ( Gemi Seyir Hızı )	knot	8	7,600
5	L ( Seyir Mesafesi )	nm	800	800
6	To ( Seyir Gün Sayısı )	gün	4,167	4,386
7	Fo ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	15	
8	F Yeni ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün		12,861
9	f ( Limandaki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	1	1
10	TA ( Limandaki Gün Sayısı )	gün	3	3
11	FCO $FCO = (FO \times To) + (f \times to)$ ( Tek Yön )	Ton	65,50	59,41
12	<b>FCO ( Bir Seferde Tüketilen Yakıt Miktarı )</b>	Ton	<b>131,00</b>	<b>118,81</b>
13	T Sefer ( Sefer Gün Sayısı ) $T \text{ sefer} = (2 \times To) + (2 \times TA)$	Gün	14,33	14,77
14	Bir Geminin Yıldaki Sefer Sayısı	Adet	25,12	24,37
15	1 Yılda 1 Geminin Taşdığı Toplam Kapasite ( payload )	Ton	346.605	336.314
16	1 Yılda 1 Geminin Harcadığı Toplam Yakıt Miktarı	Ton	3.290,2	2.895,5
17	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Ton	0,00949	0,00861
18	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Kg	9,49	8,61
19	Filodaki Gemi Adedi Sayısı	Adet	10	10,31
20	Toplam Filonun Yıllık Taşıma Kapasitesi (Payload)	Ton	3.466.047	3.466.047
21	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Miktarı	Ton	32.902	29.841
22	<b>Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyon Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>102.655</b>	<b>93.105</b>
23	Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyonu Yüzde Değişim	%		9,30%
24	HFO Yakıt Birim Fiyatı	USD/Ton	655	655
25	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	21.551.023	19.546.038
26	Yavaş Seyirden Ötürü İlave Gelen Gemi Adedi Sayısı	Adet		0,31
27	Beher Geminin Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	2.155.102	1.896.569
28	<b>Beher Geminin Yıllık Saldığı CO2 Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>10.266</b>	<b>9.034</b>
29	Beher Geminin Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	5.904	5.196
30	Filonun Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	59.044	53.551
31	Yakıttan Kazanım			5.493
32	Filonun Günlük İşletme Bedeli	Usd	7.380	9.639
33	İlave Gemi İşletme Gideri			-2.258
34	Yakıttan Kazanım ile Ek Gemi İşletmesi Arasındaki Fark	<b>Usd</b>		<b>3.235</b>

**EK 5. 15.000 DWT’luk Handysize Dökme Yük Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması	Hızın % 10 Azaltılması	Hızın % 15 Azaltılması	Hızın % 20 Azaltılması	Hızın % 25 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	13.800	13.800	13.800	13.800	13.800	13.800
3			0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
4	knot	8	7,600	7,200	6,800	6,400	6,000
5	nm	800	800	800	800	800	800
6	gün	4,167	4,386	4,630	4,902	5,208	5,556
7	ton / gün	15					
8	ton / gün		12,861	10,935	9,212	7,680	6,328
9	ton / gün	1	1	1	1	1	1
10	gün	3	3	3	3	3	3
11	Ton	65,50	59,41	53,63	48,16	43,00	38,16
12	Ton	<b>131,00</b>	<b>118,81</b>	<b>107,25</b>	<b>96,31</b>	<b>86,00</b>	<b>76,31</b>
13	Gün	14,33	14,77	15,26	15,80	16,42	17,11
14	Adet	25,12	24,37	23,59	22,78	21,93	21,04
15	Ton	346.605	336.314	325.573	314.352	302.619	290.338
16	Ton	3.290,2	2.895,5	2.530,3	2.193,9	1.885,9	1.605,5
17	Ton	0,00949	0,00861	0,00777	0,00698	0,00623	0,00553
18	Kg	9,49	8,61	7,77	6,98	6,23	5,53
19	Adet	10	10,31	10,65	11,03	11,45	11,94
20	Ton	3.466.047	3.466.047	3.466.047	3.466.047	3.466.047	3.466.047
21	Ton	32.902	29.841	26.937	24.190	21.600	19.167
22	<b>Ton</b>	<b>102.655</b>	<b>93.105</b>	<b>84.044</b>	<b>75.473</b>	<b>67.392</b>	<b>59.801</b>
23	%		9,30%	18,13%	26,48%	34,35%	41,75%
24	USD /Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	21.551.023	19.546.038	17.643.872	15.844.526	14.148.000	12.554.294
26	Adet		0,31	0,65	1,03	1,45	1,94
27	USD	2.155.102	1.896.569	1.657.325	1.437.016	1.235.257	1.051.626
28	<b>Ton</b>	<b>10.266</b>	<b>9.034</b>	<b>7.894</b>	<b>6.845</b>	<b>5.884</b>	<b>5.009</b>
29	Usd	5.904	5.196	4.541	3.937	3.384	2.881
30	Usd	59.044	53.551	48.339	43.410	38.762	34.395
31			5.493	10.705	15.634	20.282	24.649
32	Usd	7.380	9.639	12.148	14.953	18.108	21.684
33			-2.258	-4.768	-7.572	-10.727	-14.303
34	<b>Usd</b>		<b>3.235</b>	<b>5.937</b>	<b>8.062</b>	<b>9.555</b>	<b>10.345</b>



**EK 6. 15.000 DWT’luk Handysize Dökme Yük Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 30 Azaltılması	Hızın % 35 Azaltılması	Hızın % 40 Azaltılması	Hızın % 45 Azaltılması	Hızın % 50 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	13.800	13.800	13.800	13.800	13.800	13.800
3			0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
4	knot	8	5,600	5,200	4,800	4,400	4,000
5	nm	800	800	800	800	800	800
6	gün	4,167	5,952	6,410	6,944	7,576	8,333
7	ton / gün	15					
8	ton / gün		5,145	4,119	3,240	2,496	1,875
9	ton / gün	1	1	1	1	1	1
10	gün	3	3	3	3	3	3
11	Ton	65,50	33,63	29,41	25,50	21,91	18,63
12	Ton	<b>131,00</b>	<b>67,25</b>	<b>58,81</b>	<b>51,00</b>	<b>43,81</b>	<b>37,25</b>
13	Gün	14,33	17,90	18,82	19,89	21,15	22,67
14	Adet	25,12	20,11	19,13	18,10	17,02	15,88
15	Ton	346.605	277.468	263.967	249.788	234.877	219.176
16	Ton	3.290,2	1.352,2	1.125,0	923,1	745,7	591,6
17	Ton	0,00949	0,00487	0,00426	0,00370	0,00317	0,00270
18	Kg	9,49	4,87	4,26	3,70	3,17	2,70
19	Adet	10	12,49	13,13	13,88	14,76	15,81
20	Ton	3.466.047	3.466.047	3.466.047	3.466.047	3.466.047	3.466.047
21	Ton	32.902	16.891	14.772	12.809	11.004	9.356
22	<b>Ton</b>	<b>102.655</b>	<b>52.699</b>	<b>46.087</b>	<b>39.965</b>	<b>34.333</b>	<b>29.190</b>
23	%		48,66%	55,10%	61,07%	66,56%	71,56%
24	USD /Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	21.551.023	11.063.407	9.675.340	8.390.093	7.207.666	6.128.058
26	Adet		2,49	3,13	3,88	4,76	5,81
27	USD	2.155.102	885.661	736.855	604.649	488.428	387.510
28	<b>Ton</b>	<b>10.266</b>	<b>4.219</b>	<b>3.510</b>	<b>2.880</b>	<b>2.327</b>	<b>1.846</b>
29	Usd	5.904	2.426	2.019	1.657	1.338	1.062
30	Usd	59.044	30.311	26.508	22.987	19.747	16.789
31			28.733	32.536	36.057	39.297	42.255
32	Usd	7.380	25.770	30.486	35.987	42.489	50.290
33			-18.390	-23.105	-28.607	-35.108	-42.910
34	<b>Usd</b>		<b>10.343</b>	<b>9.431</b>	<b>7.451</b>	<b>4.189</b>	<b>-655</b>

**EK 7. 70.000 DWT'luk Dökme Yük Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi**

No	Panamax Bulk Carrier 70.000 DWT	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması
1	D ( Geminin bir yıldaki Operasyondaki gün sayısı )	gün	360	360
2	W ( Bir Geminin Taşıma Kapasitesi) - ( Payload )	ton	66.000	66.000
3	a ( Seyir Hızının Değişim Katsayısı )			0,95
4	V ( Gemi Seyir Hızı )	knot	14	13,300
5	L ( Seyir Mesafesi )	nm	4287	4287
6	To ( Seyir Gün Sayısı )	gün	12,759	13,430
7	Fo ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	32,5	
8	F Yeni ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün		27,865
9	f ( Limandaki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	3,5	3,5
10	TA ( Limandaki Gün Sayısı )	gün	4	4
11	FCO $FCO = (FO \times To) + (f \times to)$ ( Tek Yön )	Ton	428,67	388,24
12	<b>FCO ( Bir Seferde Tüketilen Yakıt Miktarı )</b>	Ton	<b>857,33</b>	<b>776,47</b>
13	T Sefer ( Sefer Gün Sayısı ) $T \text{ sefer} = (2 \times To) + (2 \times TA)$	Gün	33,52	34,86
14	Bir Geminin Yıldaki Sefer Sayısı	Adet	10,74	10,33
15	1 Yılda 1 Geminin Taşdığı Toplam Kapasite ( payload )	Ton	708.876	681.566
16	1 Yılda 1 Geminin Harcadığı Toplam Yakıt Miktarı	Ton	9.208,2	8.018,4
17	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Ton	0,01299	0,01176
18	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Kg	12,99	11,76
19	Filodaki Gemi Adedi Sayısı	Adet	10	10,40
20	Toplam Filonun Yıllık Taşıma Kapasitesi (Payload)	Ton	7.088.759	7.088.759
21	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Miktarı	Ton	92.082	83.397
22	<b>Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyon Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>287.296</b>	<b>260.199</b>
23	Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyonu Yüzde Değişim	%		9,43%
24	HFO Yakıt Birim Fiyatı	USD/Ton	655	655
25	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	60.313.670	54.625.144
26	Yavaş Seyirden Ötürü İlave Gelen Gemi Adedi Sayısı	Adet		0,40
27	Beher Geminin Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	6.031.367	5.252.067
28	<b>Beher Geminin Yıllık Saldığı CO2 Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>28.730</b>	<b>25.017</b>
29	Beher Geminin Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	16.524	14.389
30	Filonun Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	165.243	149.658
31	Yakıttan Kazanım			15.585
32	Filonun Günlük İşletme Bedeli	Usd	33.049	46.291
33	İlave Gemi İşletme Gideri			-13.242
34	Yakıttan Kazanım ile Ek Gemi İşletmesi Arasındaki Fark	<b>Usd</b>		<b>2.343</b>

**EK 8. 70.000 DWT’luk Panamax Dökme Yük Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması	Hızın % 10 Azaltılması	Hızın % 15 Azaltılması	Hızın % 20 Azaltılması	Hızın % 25 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	66.000	66.000	66.000	66.000	66.000	66.000
3			0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
4	knot	14	13,300	12,600	11,900	11,200	10,500
5	nm	4287	4287	4287	4287	4287	4287
6	gün	12,759	13,430	14,177	15,011	15,949	17,012
7	ton / gün	32,5					
8	ton / gün		27,865	23,693	19,959	16,640	13,711
9	ton / gün	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
10	gün	4	4	4	4	4	4
11	Ton	428,67	388,24	349,88	313,60	279,39	247,25
12	Ton	<b>857,33</b>	<b>776,47</b>	<b>699,76</b>	<b>627,19</b>	<b>558,77</b>	<b>494,50</b>
13	Gün	33,52	34,86	36,35	38,02	39,90	42,02
14	Adet	10,74	10,33	9,90	9,47	9,02	8,57
15	Ton	708.876	681.566	653.588	624.918	595.529	565.394
16	Ton	9.208,2	8.018,4	6.929,6	5.938,5	5.041,9	4.236,2
17	Ton	0,01299	0,01176	0,01060	0,00950	0,00847	0,00749
18	Kg	12,99	11,76	10,60	9,50	8,47	7,49
19	Adet	10	10,40	10,85	11,34	11,90	12,54
20	Ton	7.088.759	7.088.759	7.088.759	7.088.759	7.088.759	7.088.759
21	Ton	92.082	83.397	75.158	67.364	60.015	53.112
22	<b>Ton</b>	<b>287.296</b>	<b>260.199</b>	<b>234.492</b>	<b>210.175</b>	<b>187.247</b>	<b>165.709</b>
23	%		9,43%	18,38%	26,84%	34,82%	42,32%
24	USD /Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	60.313.670	54.625.144	49.228.338	44.123.251	39.309.883	34.788.234
26	Adet		0,40	0,85	1,34	1,90	2,54
27	USD	6.031.367	5.252.067	4.538.884	3.889.736	3.302.435	2.774.682
28	<b>Ton</b>	<b>28.730</b>	<b>25.017</b>	<b>21.620</b>	<b>18.528</b>	<b>15.731</b>	<b>13.217</b>
29	Usd	16.524	14.389	12.435	10.657	9.048	7.602
30	Usd	165.243	149.658	134.872	120.886	107.698	95.310
31			15.585	30.371	44.357	57.545	69.933
32	Usd	33.049	46.291	61.005	77.450	95.950	116.917
33			-13.242	-27.956	-44.401	-62.901	-83.869
34	<b>Usd</b>		<b>2.343</b>	<b>2.415</b>	<b>-44</b>	<b>-5.357</b>	<b>-13.936</b>

**EK 9. 70.000 DWT’luk Panamax Dökme Yük Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 30 Azaltılması	Hızın % 35 Azaltılması	Hızın % 40 Azaltılması	Hızın % 45 Azaltılması	Hızın % 50 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	66.000	66.000	66.000	66.000	66.000	66.000
3			0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
4	knot	14	9,800	9,100	8,400	7,700	7,000
5	nm	4287	4287	4287	4287	4287	4287
6	gün	12,759	18,227	19,629	21,265	23,198	25,518
7	ton / gün	32,5					
8	ton / gün		11,148	8,925	7,020	5,407	4,063
9	ton / gün	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
10	gün	4	4	4	4	4	4
11	Ton	428,67	217,19	189,20	163,28	139,44	117,67
12	Ton	<b>857,33</b>	<b>434,37</b>	<b>378,39</b>	<b>326,56</b>	<b>278,87</b>	<b>235,33</b>
13	Gün	33,52	44,45	47,26	50,53	54,40	59,04
14	Adet	10,74	8,10	7,62	7,12	6,62	6,10
15	Ton	708.876	534.484	502.769	470.218	436.796	402.468
16	Ton	9.208,2	3.517,6	2.882,5	2.326,6	1.845,6	1.435,1
17	Ton	0,01299	0,00658	0,00573	0,00495	0,00423	0,00357
18	Kg	12,99	6,58	5,73	4,95	4,23	3,57
19	Adet	10	13,26	14,10	15,08	16,23	17,61
20	Ton	7.088.759	7.088.759	7.088.759	7.088.759	7.088.759	7.088.759
21	Ton	92.082	46.654	40.641	35.074	29.952	25.276
22	<b>Ton</b>	<b>287.296</b>	<b>145.560</b>	<b>126.801</b>	<b>109.432</b>	<b>93.452</b>	<b>78.861</b>
23	%		49,33%	55,86%	61,91%	67,47%	72,55%
24	USD /Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	60.313.670	30.558.304	26.620.094	22.973.603	19.618.832	16.555.779
26	Adet		3,26	4,10	5,08	6,23	7,61
27	USD	6.031.367	2.304.060	1.888.027	1.523.906	1.208.876	939.964
28	<b>Ton</b>	<b>28.730</b>	<b>10.975</b>	<b>8.993</b>	<b>7.259</b>	<b>5.758</b>	<b>4.477</b>
29	Usd	16.524	6.312	5.173	4.175	3.312	2.575
30	Usd	165.243	83.721	72.932	62.941	53.750	45.358
31			81.522	92.311	102.302	111.493	119.885
32	Usd	33.049	140.880	168.529	200.786	238.908	284.655
33			-107.831	-135.480	-167.737	-205.859	-251.606
34	<b>Usd</b>		<b>-26.310</b>	<b>-43.169</b>	<b>-65.436</b>	<b>-94.367</b>	<b>-131.721</b>

## EK 10. 2.050 DWT'lık Küçük Tanker Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi

No	Small Tanker 2.050 DWT	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması
1	D ( Geminin bir yıldaki Operasyondaki gün sayısı )	gün	360	360
2	W ( Bir Geminin Taşıma Kapasitesi ) - ( Payload )	ton	1.950	1.950
3	a ( Seyir Hızının Değişim Katsayısı )			0,95
4	V ( Gemi Seyir Hızı )	knot	10	9,500
5	L ( Seyir Mesafesi )	nm	900	900
6	To ( Seyir Gün Sayısı )	gün	3,750	3,947
7	Fo ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	3,5	
8	F Yeni ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün		3,001
9	f ( Limandaki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	0,3	0,3
10	TA ( Limandaki Gün Sayısı )	gün	2	2
11	FCO $FCO = (FO \times To) + (f \times to)$ ( Tek Yön )	Ton	13,73	12,45
12	<b>FCO ( Bir Seferde Tüketilen Yakıt Miktarı )</b>	Ton	<b>27,45</b>	<b>24,89</b>
13	T Sefer ( Sefer Gün Sayısı ) T sefer = $(2 \times To) + (2 \times TA)$	Gün	11,50	11,89
14	Bir Geminin Yıldaki Sefer Sayısı	Adet	31,30	30,27
15	1 Yılda 1 Geminin Taşıdığı Toplam Kapasite ( payload )	Ton	61.043	59.018
16	1 Yılda 1 Geminin Harcadığı Toplam Yakıt Miktarı	Ton	859,3	753,3
17	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Ton	0,01408	0,01276
18	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Kg	14,08	12,76
19	Filodaki Gemi Adedi Sayısı	Adet	10	10,34
20	Toplam Filonun Yıllık Taşıma Kapasitesi (Payload)	Ton	610.435	610.435
21	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Miktarı	Ton	8.593	7.792
22	<b>Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyon Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>26.810</b>	<b>24.311</b>
23	Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyonu Yüzde Değişim	%		9,32%
24	HFO Yakıt Birim Fiyatı	USD/Ton	655	655
25	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	5.628.443	5.103.660
26	Yavaş Seyirden Ötürü İlave Gelen Gemi Adedi Sayısı	Adet		0,34
27	Beher Geminin Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	562.844	493.429
28	<b>Beher Geminin Yıllık Saldığı CO2 Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>2.681</b>	<b>2.350</b>
29	Beher Geminin Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	1.542	1.352
30	Filonun Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	15.420	13.983
31	Yakıttan Kazanım			1.438
32	Filonun Günlük İşletme Bedeli	Usd	1.928	2.589
33	İlave Gemi İşletme Gideri			-662
34	Yakıttan Kazanım ile Ek Gemi İşletmesi Arasındaki Fark	<b>Usd</b>		<b>776</b>

**EK 11. 2.050 DWT’luk Küçük Tanker Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması	Hızın % 10 Azaltılması	Hızın % 15 Azaltılması	Hızın % 20 Azaltılması	Hızın % 25 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	1.950	1.950	1.950	1.950	1.950	1.950
3			0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
4	knot	10	9,500	9,000	8,500	8,000	7,500
5	nm	900	900	900	900	900	900
6	gün	3,750	3,947	4,167	4,412	4,688	5,000
7	ton / gün	3,5					
8	ton / gün		3,001	2,552	2,149	1,792	1,477
9	ton / gün	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
10	gün	2	2	2	2	2	2
11	Ton	13,73	12,45	11,23	10,08	9,00	7,98
12	Ton	<b>27,45</b>	<b>24,89</b>	<b>22,46</b>	<b>20,17</b>	<b>18,00</b>	<b>15,97</b>
13	Gün	11,50	11,89	12,33	12,82	13,38	14,00
14	Adet	31,30	30,27	29,19	28,07	26,92	25,71
15	Ton	61.043	59.018	56.919	54.743	52.486	50.143
16	Ton	859,3	753,3	655,7	566,1	484,5	410,5
17	Ton	0,01408	0,01276	0,01152	0,01034	0,00923	0,00819
18	Kg	14,08	12,76	11,52	10,34	9,23	8,19
19	Adet	10	10,34	10,72	11,15	11,63	12,17
20	Ton	610.435	610.435	610.435	610.435	610.435	610.435
21	Ton	8.593	7.792	7.032	6.313	5.635	4.998
22	<b>Ton</b>	<b>26.810</b>	<b>24.311</b>	<b>21.939</b>	<b>19.696</b>	<b>17.581</b>	<b>15.594</b>
23	%		9,32%	18,17%	26,54%	34,43%	41,84%
24	USD/Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	5.628.443	5.103.660	4.605.789	4.134.830	3.690.783	3.273.647
26	Adet		0,34	0,72	1,15	1,63	2,17
27	USD	562.844	493.429	429.459	370.807	317.338	268.907
28	<b>Ton</b>	<b>2.681</b>	<b>2.350</b>	<b>2.046</b>	<b>1.766</b>	<b>1.512</b>	<b>1.281</b>
29	Usd	1.542	1.352	1.177	1.016	869	737
30	Usd	15.420	13.983	12.619	11.328	10.112	8.969
31			1.438	2.802	4.092	5.309	6.451
32	Usd	1.928	2.589	3.324	4.146	5.070	6.118
33			-662	-1.397	-2.218	-3.143	-4.190
34	<b>Usd</b>		<b>776</b>	<b>1.405</b>	<b>1.874</b>	<b>2.166</b>	<b>2.261</b>

**EK 12. 2.050 DWT’luk Küçük Tanker Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 30 Azaltılması	Hızın % 35 Azaltılması	Hızın % 40 Azaltılması	Hızın % 45 Azaltılması	Hızın % 50 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	1.950	1.950	1.950	1.950	1.950	1.950
3			0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
4	knot	10	7,000	6,500	6,000	5,500	5,000
5	nm	900	900	900	900	900	900
6	gün	3,750	5,357	5,769	6,250	6,818	7,500
7	ton / gün	3,5					
8	ton / gün		1,201	0,961	0,756	0,582	0,438
9	ton / gün	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
10	gün	2	2	2	2	2	2
11	Ton	13,73	7,03	6,15	5,33	4,57	3,88
12	Ton	<b>27,45</b>	<b>14,06</b>	<b>12,29</b>	<b>10,65</b>	<b>9,14</b>	<b>7,76</b>
13	Gün	11,50	14,71	15,54	16,50	17,64	19,00
14	Adet	31,30	24,47	23,17	21,82	20,41	18,95
15	Ton	61.043	47.709	45.178	42.545	39.804	36.947
16	Ton	859,3	344,1	284,8	232,4	186,6	147,1
17	Ton	0,01408	0,00721	0,00630	0,00546	0,00469	0,00398
18	Kg	14,08	7,21	6,30	5,46	4,69	3,98
19	Adet	10	12,80	13,51	14,35	15,34	16,52
20	Ton	610.435	610.435	610.435	610.435	610.435	610.435
21	Ton	8.593	4.402	3.848	3.334	2.861	2.430
22	<b>Ton</b>	<b>26.810</b>	<b>13.735</b>	<b>12.004</b>	<b>10.402</b>	<b>8.928</b>	<b>7.582</b>
23	%		48,77%	55,23%	61,20%	66,70%	71,72%
24	USD/Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	5.628.443	2.883.424	2.520.113	2.183.713	1.874.226	1.591.650
26	Adet		2,80	3,51	4,35	5,34	6,52
27	USD	562.844	225.355	186.513	152.198	122.211	96.337
28	<b>Ton</b>	<b>2.681</b>	<b>1.073</b>	<b>888</b>	<b>725</b>	<b>582</b>	<b>459</b>
29	Usd	1.542	617	511	417	335	264
30	Usd	15.420	7.900	6.904	5.983	5.135	4.361
31			7.521	8.516	9.438	10.286	11.060
32	Usd	1.928	7.315	8.697	10.308	12.213	14.499
33			-5.388	-6.769	-8.381	-10.285	-12.571
34	<b>Usd</b>		<b>2.133</b>	<b>1.747</b>	<b>1.057</b>	<b>0</b>	<b>-1.511</b>

### EK 13. 17.000 DWT'luk Tanker Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi

No	Handysize Tanker 17.000 DWT	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması
1	D ( Geminin bir yıldaki Operasyondaki gün sayısı )	gün	360	360
2	W ( Bir Geminin Taşıma Kapasitesi ) - ( Payload )	ton	16.000	16.000
3	a ( Seyir Hızının Değişim Katsayısı )			0,95
4	V ( Gemi Seyir Hızı )	knot	12,5	11,875
5	L ( Seyir Mesafesi )	nm	2000	2000
6	To ( Seyir Gün Sayısı )	gün	6,667	7,018
7	Fo ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	18	
8	F Yeni ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün		15,433
9	f ( Limandaki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	1,6	1,6
10	TA ( Limandaki Gün Sayısı )	gün	3	3
11	FCO $FCO = (FO \times To) + (f \times to)$ ( Tek Yön )	Ton	124,80	113,10
12	<b>FCO ( Bir Seferde Tüketilen Yakıt Miktarı )</b>	Ton	<b>249,60</b>	<b>226,20</b>
13	T Sefer ( Sefer Gün Sayısı ) T sefer = $(2 \times To) + (2 \times TA)$	Gün	19,33	20,04
14	Bir Geminin Yıldaki Sefer Sayısı	Adet	18,62	17,97
15	1 Yılda 1 Geminin Taşıdığı Toplam Kapasite ( payload )	Ton	297.931	287.496
16	1 Yılda 1 Geminin Harcadığı Toplam Yakıt Miktarı	Ton	4.647,7	4.064,5
17	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Ton	0,01560	0,01414
18	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Kg	15,60	14,14
19	Filodaki Gemi Adedi Sayısı	Adet	10	10,36
20	Toplam Filonun Yıllık Taşıma Kapasitesi (Payload)	Ton	2.979.310	2.979.310
21	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Miktarı	Ton	46.477	42.120
22	<b>Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyon Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>145.009</b>	<b>131.414</b>
23	Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyonu Yüzde Değişim	%		9,38%
24	HFO Yakıt Birim Fiyatı	USD/Ton	655	655
25	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	30.442.593	27.588.600
26	Yavaş Seyirden Ötürü İlave Gelen Gemi Adedi Sayısı	Adet		0,36
27	Beher Geminin Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	3.044.259	2.662.227
28	<b>Beher Geminin Yıllık Saldığı CO2 Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>14.501</b>	<b>12.681</b>
29	Beher Geminin Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	8.340	7.294
30	Filonun Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	83.404	75.585
31	Yakıttan Kazanım			7.819
32	Filonun Günlük İşletme Bedeli	Usd	10.426	14.210
33	İlave Gemi İşletme Gideri			-3.784
34	Yakıttan Kazanım ile Ek Gemi İşletmesi Arasındaki Fark	<b>Usd</b>		<b>4.035</b>



**EK 14. 17.000 DWT’luk Handysize Tanker Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması	Hızın % 10 Azaltılması	Hızın % 15 Azaltılması	Hızın % 20 Azaltılması	Hızın % 25 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
3			0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
4	knot	12,5	11,875	11,250	10,625	10,000	9,375
5	nm	2000	2000	2000	2000	2000	2000
6	gün	6,667	7,018	7,407	7,843	8,333	8,889
7	ton / gün	18					
8	ton / gün		15,433	13,122	11,054	9,216	7,594
9	ton / gün	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
10	gün	3	3	3	3	3	3
11	Ton	124,80	113,10	102,00	91,50	81,60	72,30
12	Ton	<b>249,60</b>	<b>226,20</b>	<b>204,00</b>	<b>183,00</b>	<b>163,20</b>	<b>144,60</b>
13	Gün	19,33	20,04	20,81	21,69	22,67	23,78
14	Adet	18,62	17,97	17,30	16,60	15,88	15,14
15	Ton	297.931	287.496	276.726	265.606	254.118	242.243
16	Ton	4.647,7	4.064,5	3.528,3	3.037,9	2.592,0	2.189,3
17	Ton	0,01560	0,01414	0,01275	0,01144	0,01020	0,00904
18	Kg	15,60	14,14	12,75	11,44	10,20	9,04
19	Adet	10	10,36	10,77	11,22	11,72	12,30
20	Ton	2.979.310	2.979.310	2.979.310	2.979.310	2.979.310	2.979.310
21	Ton	46.477	42.120	37.986	34.076	30.389	26.926
22	<b>Ton</b>	<b>145.009</b>	<b>131.414</b>	<b>118.517</b>	<b>106.317</b>	<b>94.814</b>	<b>84.008</b>
23	%		9,38%	18,27%	26,68%	34,62%	42,07%
24	USD/Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	30.442.593	27.588.600	24.880.966	22.319.690	19.904.772	17.636.214
26	Adet		0,36	0,77	1,22	1,72	2,30
27	USD	3.044.259	2.662.227	2.311.008	1.989.802	1.697.760	1.433.973
28	<b>Ton</b>	<b>14.501</b>	<b>12.681</b>	<b>11.008</b>	<b>9.478</b>	<b>8.087</b>	<b>6.831</b>
29	Usd	8.340	7.294	6.332	5.452	4.651	3.929
30	Usd	83.404	75.585	68.167	61.150	54.534	48.318
31			7.819	15.237	22.255	28.871	35.086
32	Usd	10.426	14.210	18.414	23.114	28.401	34.392
33			-3.784	-7.989	-12.688	-17.975	-23.967
34	<b>Usd</b>		<b>4.035</b>	<b>7.248</b>	<b>9.566</b>	<b>10.896</b>	<b>11.119</b>

**EK 15. 17.000 DWT’luk Hanydsize Tanker Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 30 Azaltılması	Hızın % 35 Azaltılması	Hızın % 40 Azaltılması	Hızın % 45 Azaltılması	Hızın % 50 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
3			0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
4	knot	12,5	8,750	8,125	7,500	6,875	6,250
5	nm	2000	2000	2000	2000	2000	2000
6	gün	6,667	9,524	10,256	11,111	12,121	13,333
7	ton / gün	18					
8	ton / gün		6,174	4,943	3,888	2,995	2,250
9	ton / gün	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
10	gün	3	3	3	3	3	3
11	Ton	124,80	63,60	55,50	48,00	41,10	34,80
12	Ton	<b>249,60</b>	<b>127,20</b>	<b>111,00</b>	<b>96,00</b>	<b>82,20</b>	<b>69,60</b>
13	Gün	19,33	25,05	26,51	28,22	30,24	32,67
14	Adet	18,62	14,37	13,58	12,76	11,90	11,02
15	Ton	297.931	229.962	217.253	204.094	190.461	176.327
16	Ton	4.647,7	1.828,2	1.507,2	1.224,6	978,5	767,0
17	Ton	0,01560	0,00795	0,00694	0,00600	0,00514	0,00435
18	Kg	15,60	7,95	6,94	6,00	5,14	4,35
19	Adet	10	12,96	13,71	14,60	15,64	16,90
20	Ton	2.979.310	2.979.310	2.979.310	2.979.310	2.979.310	2.979.310
21	Ton	46.477	23.686	20.669	17.876	15.306	12.960
22	<b>Ton</b>	<b>145.009</b>	<b>73.899</b>	<b>64.487</b>	<b>55.773</b>	<b>47.755</b>	<b>40.435</b>
23	%		49,04%	55,53%	61,54%	67,07%	72,12%
24	USD/Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	30.442.593	15.514.014	13.538.172	11.708.690	10.025.566	8.488.800
26	Adet		2,96	3,71	4,60	5,64	6,90
27	USD	3.044.259	1.197.470	987.213	802.091	640.913	502.398
28	<b>Ton</b>	<b>14.501</b>	<b>5.704</b>	<b>4.702</b>	<b>3.821</b>	<b>3.053</b>	<b>2.393</b>
29	Usd	8.340	3.281	2.705	2.198	1.756	1.376
30	Usd	83.404	42.504	37.091	32.079	27.467	23.257
31			40.900	46.313	51.326	55.937	60.147
32	Usd	10.426	41.240	49.141	58.359	69.253	82.326
33			-30.814	-38.716	-47.934	-58.828	-71.900
34	<b>Usd</b>		<b>10.086</b>	<b>7.598</b>	<b>3.392</b>	<b>-2.890</b>	<b>-11.753</b>

**EK 16. 106.000 DWT'luk Tanker Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi**

No	Aframax Tanker 106.000 DWT	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması
1	D ( Geminin bir yıldaki Operasyondaki gün sayısı )	gün	360	360
2	W ( Bir Geminin Taşıma Kapasitesi ) - ( Payload )	ton	90.000	90.000
3	a ( Seyir Hızının Değişim Katsayısı )			0,95
4	V ( Gemi Seyir Hızı )	knot	15	14,250
5	L ( Seyir Mesafesi )	nm	3702	3702
6	To ( Seyir Gün Sayısı )	gün	10,283	10,825
7	Fo ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	65	
8	F Yeni ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün		55,729
9	f ( Limandaki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	5	5
10	TA ( Limandaki Gün Sayısı )	gün	4	4
11	FCO $FCO = (FO \times To) + (f \times to)$ ( Tek Yön )	Ton	688,42	623,25
12	<b>FCO ( Bir Seferde Tüketilen Yakıt Miktarı )</b>	Ton	<b>1.376,83</b>	<b>1.246,49</b>
13	T Sefer ( Sefer Gün Sayısı ) T sefer = $(2 \times To) + (2 \times TA)$	Gün	28,57	29,65
14	Bir Geminin Yıldaki Sefer Sayısı	Adet	12,60	12,14
15	1 Yılda 1 Geminin Taşıdığı Toplam Kapasite ( payload )	Ton	1.134.189	1.092.781
16	1 Yılda 1 Geminin Harcadığı Toplam Yakıt Miktarı	Ton	17.351,0	15.134,9
17	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Ton	0,01530	0,01385
18	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Kg	15,30	13,85
19	Filodaki Gemi Adedi Sayısı	Adet	10	10,38
20	Toplam Filonun Yıllık Taşıma Kapasitesi (Payload)	Ton	11.341.890	11.341.890
21	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Miktarı	Ton	173.510	157.084
22	<b>Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyon Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>541.351</b>	<b>490.103</b>
23	Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyonu Yüzde Değişim	%		9,47%
24	HFO Yakıt Birim Fiyatı	USD/Ton	655	655
25	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	113.648.996	102.890.140
26	Yavaş Seyirden Ötürü İlave Gelen Gemi Adedi Sayısı	Adet		0,38
27	Beher Geminin Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	11.364.900	9.913.374
28	<b>Beher Geminin Yıllık Saldığı CO2 Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>54.135</b>	<b>47.221</b>
29	Beher Geminin Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	31.137	27.160
30	Filonun Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	311.367	281.891
31	Yakıttan Kazanım			29.476
32	Filonun Günlük İşletme Bedeli	Usd	38.921	53.669
33	İlave Gemi İşletme Gideri			-14.748
34	Yakıttan Kazanım ile Ek Gemi İşletmesi Arasındaki Fark	<b>Usd</b>		<b>14.728</b>

**EK 17. 106.000 DWT’luk Aframax Tanker Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması	Hızın % 10 Azaltılması	Hızın % 15 Azaltılması	Hızın % 20 Azaltılması	Hızın % 25 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	90.000	90.000	90.000	90.000	90.000	90.000
3			0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
4	knot	15	14,250	13,500	12,750	12,000	11,250
5	nm	3702	3702	3702	3702	3702	3702
6	gün	10,283	10,825	11,426	12,098	12,854	13,711
7	ton / gün	65					
8	ton / gün		55,729	47,385	39,918	33,280	27,422
9	ton / gün	5	5	5	5	5	5
10	gün	4	4	4	4	4	4
11	Ton	688,42	623,25	561,42	502,93	447,79	395,98
12	Ton	<b>1.376,83</b>	<b>1.246,49</b>	<b>1.122,84</b>	<b>1.005,86</b>	<b>895,57</b>	<b>791,97</b>
13	Gün	28,57	29,65	30,85	32,20	33,71	35,42
14	Adet	12,60	12,14	11,67	11,18	10,68	10,16
15	Ton	1.134.189	1.092.781	1.050.180	1.006.334	961.187	914.680
16	Ton	17.351,0	15.134,9	13.102,0	11.247,0	9.564,6	8.048,9
17	Ton	0,01530	0,01385	0,01248	0,01118	0,00995	0,00880
18	Kg	15,30	13,85	12,48	11,18	9,95	8,80
19	Adet	10	10,38	10,80	11,27	11,80	12,40
20	Ton	11.341.890	11.341.890	11.341.890	11.341.890	11.341.890	11.341.890
21	Ton	173.510	157.084	141.501	126.760	112.861	99.805
22	Ton	<b>541.351</b>	<b>490.103</b>	<b>441.482</b>	<b>395.490</b>	<b>352.126</b>	<b>311.391</b>
23	%		9,47%	18,45%	26,94%	34,95%	42,48%
24	USD/Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	113.648.996	102.890.140	92.683.020	83.027.636	73.923.988	65.372.076
26	Adet		0,38	0,80	1,27	1,80	2,40
27	USD	11.364.900	9.913.374	8.581.802	7.366.806	6.264.807	5.272.008
28	Ton	<b>54.135</b>	<b>47.221</b>	<b>40.878</b>	<b>35.091</b>	<b>29.842</b>	<b>25.112</b>
29	Usd	31.137	27.160	23.512	20.183	17.164	14.444
30	Usd	311.367	281.891	253.926	227.473	202.531	179.102
31			29.476	57.441	83.894	108.836	132.266
32	Usd	38.921	53.669	70.056	88.370	108.974	132.325
33			-14.748	-31.135	-49.449	-70.053	-93.404
34	Usd		<b>14.728</b>	<b>26.306</b>	<b>34.445</b>	<b>38.783</b>	<b>38.861</b>

**EK 18. 106.000 DWT’luk Aframax Tanker Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45  
ve %50 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 30 Azaltılması	Hızın % 35 Azaltılması	Hızın % 40 Azaltılması	Hızın % 45 Azaltılması	Hızın % 50 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	90.000	90.000	90.000	90.000	90.000	90.000
3			0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
4	knot	15	10,500	9,750	9,000	8,250	7,500
5	nm	3702	3702	3702	3702	3702	3702
6	gün	10,283	14,690	15,821	17,139	18,697	20,567
7	ton / gün	65					
8	ton / gün		22,295	17,851	14,040	10,814	8,125
9	ton / gün	5	5	5	5	5	5
10	gün	4	4	4	4	4	4
11	Ton	688,42	347,52	302,41	260,63	222,20	187,10
12	Ton	<b>1.376,83</b>	<b>695,05</b>	<b>604,81</b>	<b>521,26</b>	<b>444,39</b>	<b>374,21</b>
13	Gün	28,57	37,38	39,64	42,28	45,39	49,13
14	Adet	12,60	9,63	9,08	8,52	7,93	7,33
15	Ton	1.134.189	866.752	817.335	766.360	713.752	659.430
16	Ton	17.351,0	6.693,7	5.492,6	4.438,6	3.524,3	2.741,8
17	Ton	0,01530	0,00772	0,00672	0,00579	0,00494	0,00416
18	Kg	15,30	7,72	6,72	5,79	4,94	4,16
19	Adet	10	13,09	13,88	14,80	15,89	17,20
20	Ton	11.341.890	11.341.890	11.341.890	11.341.890	11.341.890	11.341.890
21	Ton	173.510	87.591	76.219	65.690	56.003	47.158
22	<b>Ton</b>	<b>541.351</b>	<b>273.283</b>	<b>237.803</b>	<b>204.952</b>	<b>174.729</b>	<b>147.133</b>
23	%		49,52%	56,07%	62,14%	67,72%	72,82%
24	USD/Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	113.648.996	57.371.901	49.923.462	43.026.759	36.681.792	30.888.562
26	Adet		3,09	3,88	4,80	5,89	7,20
27	USD	11.364.900	4.384.383	3.597.654	2.907.275	2.308.406	1.795.895
28	<b>Ton</b>	<b>54.135</b>	<b>20.884</b>	<b>17.137</b>	<b>13.848</b>	<b>10.996</b>	<b>8.554</b>
29	Usd	31.137	12.012	9.857	7.965	6.324	4.920
30	Usd	311.367	157.183	136.777	117.882	100.498	84.626
31			154.184	174.591	193.486	210.869	226.741
32	Usd	38.921	159.012	189.804	225.729	268.185	319.133
33			-120.091	-150.884	-186.808	-229.265	-280.212
34	<b>Usd</b>		<b>34.093</b>	<b>23.707</b>	<b>6.677</b>	<b>-18.396</b>	<b>-53.471</b>

**EK 19. 1.961 DWT'luk Konteyner Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi**

No	Feeder Container 1.961 DWT	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması
1	D ( Geminin bir yıldaki Operasyondaki gün sayısı )	gün	360	360
2	W ( Bir Geminin Taşıma Kapasitesi ) - ( Payload )	ton	1750	1.750
3	a ( Seyir Hızının Değişim Katsayısı )			0,95
4	V ( Gemi Seyir Hızı )	knot	8,00	7,60
5	L ( Seyir Mesafesi )	nm	900	900
6	To ( Seyir Gün Sayısı )	gün	4,688	4,934
7	Fo ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	3	
8	F Yeni ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün		2,572
9	f ( Limandaki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	0,27	0,27
10	TA ( Limandaki Gün Sayısı )	gün	2	2
11	FCO $FCO = (FO \times To) + (f \times to)$ ( Tek Yön )	Ton	14,60	13,23
12	<b>FCO ( Bir Seferde Tüketilen Yakıt Miktarı )</b>	Ton	<b>29,21</b>	<b>26,46</b>
13	T Sefer ( Sefer Gün Sayısı ) T sefer = $(2 \times To) + (2 \times TA)$	Gün	13,38	13,87
14	Bir Geminin Yıldaki Sefer Sayısı	Adet	26,92	25,96
15	1 Yılda 1 Geminin Taşıdığı Toplam Kapasite ( payload )	Ton	47.103	45.427
16	1 Yılda 1 Geminin Harcadığı Toplam Yakıt Miktarı	Ton	786,1	686,9
17	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Ton	0,01669	0,01512
18	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Kg	16,69	15,12
19	Filodaki Gemi Adedi Sayısı	Adet	10	10,37
20	Toplam Filonun Yıllık Taşıma Kapasitesi (Payload)	Ton	471.028	471.028
21	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Miktarı	Ton	7.861	7.123
22	<b>Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyon Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>24.526</b>	<b>22.223</b>
23	Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyonu Yüzde Değişim	%		9,39%
24	HFO Yakıt Birim Fiyatı	USD/Ton	655	655
25	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	5.148.814	4.665.369
26	Yavaş Seyirden Ötürü İlave Gelen Gemi Adedi Sayısı	Adet		0,37
27	Beher Geminin Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	514.881	449.938
28	<b>Beher Geminin Yıllık Saldığı CO2 Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>2.453</b>	<b>2.143</b>
29	Beher Geminin Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	1.411	1.233
30	Filonun Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	14.106	12.782
31	Yakıttan Kazanım			1.325
32	Filonun Günlük İşletme Bedeli	Usd	1.763	2.414
33	İlave Gemi İşletme Gideri			-651
34	Yakıttan Kazanım ile Ek Gemi İşletmesi Arasındaki Fark	<b>Usd</b>		<b>674</b>

**EK 20. 1.961 DWT’luk Feeder Konteyner Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması	Hızın % 10 Azaltılması	Hızın % 15 Azaltılması	Hızın % 20 Azaltılması	Hızın % 25 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	1750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
3			0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
4	knot	8,00	7,60	7,20	6,80	6,40	6,00
5	nm	900	900	900	900	900	900
6	gün	4,688	4,934	5,208	5,515	5,859	6,250
7	ton / gün	3					
8	ton / gün		2,572	2,187	1,842	1,536	1,266
9	ton / gün	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
10	gün	2	2	2	2	2	2
11	Ton	14,60	13,23	11,93	10,70	9,54	8,45
12	Ton	<b>29,21</b>	<b>26,46</b>	<b>23,86</b>	<b>21,40</b>	<b>19,08</b>	<b>16,90</b>
13	Gün	13,38	13,87	14,42	15,03	15,72	16,50
14	Adet	26,92	25,96	24,97	23,95	22,90	21,82
15	Ton	47.103	45.427	43.699	41.918	40.080	38.182
16	Ton	786,1	686,9	595,8	512,6	437,0	368,7
17	Ton	0,01669	0,01512	0,01364	0,01223	0,01090	0,00966
18	Kg	16,69	15,12	13,64	12,23	10,90	9,66
19	Adet	10	10,37	10,78	11,24	11,75	12,34
20	Ton	471.028	471.028	471.028	471.028	471.028	471.028
21	Ton	7.861	7.123	6.422	5.760	5.136	4.549
22	<b>Ton</b>	<b>24.526</b>	<b>22.223</b>	<b>20.038</b>	<b>17.971</b>	<b>16.023</b>	<b>14.192</b>
23	%		9,39%	18,30%	26,72%	34,67%	42,13%
24	USD/Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	5.148.814	4.665.369	4.206.716	3.772.855	3.363.786	2.979.509
26	Adet		0,37	0,78	1,24	1,75	2,34
27	USD	514.881	449.938	390.276	335.755	286.223	241.521
28	<b>Ton</b>	<b>2.453</b>	<b>2.143</b>	<b>1.859</b>	<b>1.599</b>	<b>1.363</b>	<b>1.150</b>
29	Usd	1.411	1.233	1.069	920	784	662
30	Usd	14.106	12.782	11.525	10.337	9.216	8.163
31			1.325	2.581	3.770	4.890	5.943
32	Usd	1.763	2.414	3.137	3.944	4.853	5.883
33			-651	-1.373	-2.181	-3.090	-4.120
34	<b>Usd</b>		<b>674</b>	<b>1.208</b>	<b>1.589</b>	<b>1.801</b>	<b>1.823</b>

**EK 21. 1.961 DWT’luk Feeder Konteyner Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 30 Azaltılması	Hızın % 35 Azaltılması	Hızın % 40 Azaltılması	Hızın % 45 Azaltılması	Hızın % 50 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	1750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
3			0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
4	knot	8,00	5,60	5,20	4,80	4,40	4,00
5	nm	900	900	900	900	900	900
6	gün	4,688	6,696	7,212	7,813	8,523	9,375
7	ton / gün	3					
8	ton / gün		1,029	0,824	0,648	0,499	0,375
9	ton / gün	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
10	gün	2	2	2	2	2	2
11	Ton	14,60	7,43	6,48	5,60	4,79	4,06
12	Ton	<b>29,21</b>	<b>14,86</b>	<b>12,96</b>	<b>11,21</b>	<b>9,59</b>	<b>8,11</b>
13	Gün	13,38	17,39	18,42	19,63	21,05	22,75
14	Adet	26,92	20,70	19,54	18,34	17,11	15,82
15	Ton	47.103	36.222	34.196	32.102	29.935	27.692
16	Ton	786,1	307,6	253,3	205,5	164,0	128,4
17	Ton	0,01669	0,00849	0,00741	0,00640	0,00548	0,00464
18	Kg	16,69	8,49	7,41	6,40	5,48	4,64
19	Adet	10	13,00	13,77	14,67	15,73	17,01
20	Ton	471.028	471.028	471.028	471.028	471.028	471.028
21	Ton	7.861	4.000	3.489	3.016	2.581	2.183
22	<b>Ton</b>	<b>24.526</b>	<b>12.480</b>	<b>10.886</b>	<b>9.410</b>	<b>8.052</b>	<b>6.812</b>
23	%		49,11%	55,61%	61,63%	67,17%	72,23%
24	USD/Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	5.148.814	2.620.024	2.285.332	1.975.431	1.690.322	1.430.006
26	Adet		3,00	3,77	4,67	5,73	7,01
27	USD	514.881	201.478	165.913	134.631	107.425	84.072
28	<b>Ton</b>	<b>2.453</b>	<b>960</b>	<b>790</b>	<b>641</b>	<b>512</b>	<b>400</b>
29	Usd	1.411	552	455	369	294	230
30	Usd	14.106	7.178	6.261	5.412	4.631	3.918
31			6.928	7.845	8.694	9.475	10.189
32	Usd	1.763	7.060	8.418	10.003	11.876	14.123
33			-5.297	-6.655	-8.240	-10.112	-12.360
34	<b>Usd</b>		<b>1.631</b>	<b>1.190</b>	<b>455</b>	<b>-637</b>	<b>-2.171</b>



**EK 22. 20.000 DWT'luk Konteyner Gemisi Hızının %5 Azaltılmasının Analizi**

No	Handysize Container 20.000 DWT	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması
1	D ( Geminin bir yıldaki Operasyondaki gün sayısı )	gün	360	360
2	W ( Bir Geminin Taşıma Kapasitesi ) - ( Payload )	ton	18500	18.500
3	a ( Seyir Hızının Değişim Katsayısı )			0,95
4	V ( Gemi Seyir Hızı )	knot	17,00	16,15
5	L ( Seyir Mesafesi )	nm	1500	1500
6	To ( Seyir Gün Sayısı )	gün	3,676	3,870
7	Fo ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	60	
8	F Yeni ( Seyirdeki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün		51,443
9	f ( Limandaki Günlük Yakıt Tüketim miktarı )	ton / gün	5,5	5,5
10	TA ( Limandaki Gün Sayısı )	gün	3	3
11	FCO $FCO = (FO \times To) + (f \times to)$ ( Tek Yön )	Ton	237,09	215,58
12	<b>FCO ( Bir Seferde Tüketilen Yakıt Miktarı )</b>	Ton	<b>474,18</b>	<b>431,16</b>
13	T Sefer ( Sefer Gün Sayısı ) T sefer = $(2 \times To) + (2 \times TA)$	Gün	13,35	13,74
14	Bir Geminin Yıldaki Sefer Sayısı	Adet	26,96	26,20
15	1 Yılda 1 Geminin Taşıdığı Toplam Kapasite ( payload )	Ton	498.767	484.718
16	1 Yılda 1 Geminin Harcadığı Toplam Yakıt Miktarı	Ton	12.784,0	11.296,9
17	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Ton	0,02563	0,02331
18	1 Yılda 1 Ton Payload'u Taşımaya Gerekli Yakıt Miktarı	Kg	25,63	23,31
19	Filodaki Gemi Adedi Sayısı	Adet	10	10,29
20	Toplam Filonun Yıllık Taşıma Kapasitesi (Payload)	Ton	4.987.665	4.987.665
21	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Miktarı	Ton	127.840	116.243
22	<b>Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyon Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>398.860</b>	<b>362.677</b>
23	Filonun Toplam Saldığı CO2 Emisyonu Yüzde Değişim	%		9,07%
24	HFO Yakıt Birim Fiyatı	USD/Ton	655	655
25	Toplam Filonun Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	83.734.969	76.138.989
26	Yavaş Seyirden Ötürü İlave Gelen Gemi Adedi Sayısı	Adet		0,29
27	Beher Geminin Yıllık Harcadığı Yakıt Tutarı	USD	8.373.497	7.399.447
28	<b>Beher Geminin Yıllık Saldığı CO2 Miktarı</b>	<b>Ton</b>	<b>39.886</b>	<b>35.246</b>
29	Beher Geminin Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	22.941	20.272
30	Filonun Günlük Harcadığı Yakıt Tutarı	Usd	229.411	208.600
31	Yakıttan Kazanım			20.811
32	Filonun Günlük İşletme Bedeli	Usd	28.676	36.987
33	İlave Gemi İşletme Gideri			-8.311
34	Yakıttan Kazanım ile Ek Gemi İşletmesi Arasındaki Fark	<b>Usd</b>		<b>12.500</b>

**EK 23. 20.000 DWT’luk Handysize Konteyner Gemisi Hızının %5, %10, %15, %20 ve %25 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 5 Azaltılması	Hızın % 10 Azaltılması	Hızın % 15 Azaltılması	Hızın % 20 Azaltılması	Hızın % 25 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	18500	18.500	18.500	18.500	18.500	18.500
3			0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
4	knot	17,00	16,15	15,30	14,45	13,60	12,75
5	nm	1500	1500	1500	1500	1500	1500
6	gün	3,676	3,870	4,085	4,325	4,596	4,902
7	ton / gün	60					
8	ton / gün		51,443	43,740	36,848	30,720	25,313
9	ton / gün	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
10	gün	3	3	3	3	3	3
11	Ton	237,09	215,58	195,18	175,88	157,68	140,58
12	Ton	<b>474,18</b>	<b>431,16</b>	<b>390,35</b>	<b>351,75</b>	<b>315,35</b>	<b>281,16</b>
13	Gün	13,35	13,74	14,17	14,65	15,19	15,80
14	Adet	26,96	26,20	25,41	24,57	23,70	22,78
15	Ton	498.767	484.718	470.009	454.591	438.412	421.414
16	Ton	12.784,0	11.296,9	9.917,3	8.643,4	7.473,2	6.404,6
17	Ton	0,02563	0,02331	0,02110	0,01901	0,01705	0,01520
18	Kg	25,63	23,31	21,10	19,01	17,05	15,20
19	Adet	10	10,29	10,61	10,97	11,38	11,84
20	Ton	4.987.665	4.987.665	4.987.665	4.987.665	4.987.665	4.987.665
21	Ton	127.840	116.243	105.241	94.833	85.020	75.802
22	<b>Ton</b>	<b>398.860</b>	<b>362.677</b>	<b>328.350</b>	<b>295.879</b>	<b>265.263</b>	<b>236.503</b>
23	%		9,07%	17,68%	25,82%	33,49%	40,71%
24	USD/Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	83.734.969	76.138.989	68.932.546	62.115.641	55.688.273	49.650.443
26	Adet		0,29	0,61	0,97	1,38	1,84
27	USD	8.373.497	7.399.447	6.495.811	5.661.414	4.894.961	4.195.031
28	<b>Ton</b>	<b>39.886</b>	<b>35.246</b>	<b>30.942</b>	<b>26.967</b>	<b>23.316</b>	<b>19.982</b>
29	Usd	22.941	20.272	17.797	15.511	13.411	11.493
30	Usd	229.411	208.600	188.856	170.180	152.571	136.029
31			20.811	40.555	59.231	76.840	93.382
32	Usd	28.676	36.987	46.222	56.543	68.154	81.313
33			-8.311	-17.545	-27.866	-39.477	-52.636
34	<b>Usd</b>		<b>12.500</b>	<b>23.009</b>	<b>31.365</b>	<b>37.363</b>	<b>40.746</b>

**EK 24. 20.000 DWT'lık Handysize Konteyner Gemisi Hızının %30, %35, %40, %45 ve %50 Azaltılmasının Analizi**

No	Birim	Normal Seyir	Hızın % 30 Azaltılması	Hızın % 35 Azaltılması	Hızın % 40 Azaltılması	Hızın % 45 Azaltılması	Hızın % 50 Azaltılması
1	gün	360	360	360	360	360	360
2	ton	18500	18.500	18.500	18.500	18.500	18.500
3			0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
4	knot	17,00	11,90	11,05	10,20	9,35	8,50
5	nm	1500	1500	1500	1500	1500	1500
6	gün	3,676	5,252	5,656	6,127	6,684	7,353
7	ton / gün	60					
8	ton / gün		20,580	16,478	12,960	9,983	7,500
9	ton / gün	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
10	gün	3	3	3	3	3	3
11	Ton	237,09	124,59	109,70	95,91	83,23	71,65
12	Ton	<b>474,18</b>	<b>249,18</b>	<b>219,40</b>	<b>191,82</b>	<b>166,46</b>	<b>143,29</b>
13	Gün	13,35	16,50	17,31	18,25	19,37	20,71
14	Adet	26,96	21,81	20,79	19,72	18,59	17,39
15	Ton	498.767	403.534	384.699	364.834	343.849	321.648
16	Ton	12.784,0	5.435,2	4.562,3	3.782,9	3.093,8	2.491,4
17	Ton	0,02563	0,01347	0,01186	0,01037	0,00900	0,00775
18	Kg	25,63	13,47	11,86	10,37	9,00	7,75
19	Adet	10	12,36	12,97	13,67	14,51	15,51
20	Ton	4.987.665	4.987.665	4.987.665	4.987.665	4.987.665	4.987.665
21	Ton	127.840	67.179	59.150	51.716	44.877	38.633
22	<b>Ton</b>	<b>398.860</b>	<b>209.598</b>	<b>184.549</b>	<b>161.355</b>	<b>140.017</b>	<b>120.534</b>
23	%		47,45%	53,73%	59,55%	64,90%	69,78%
24	USD/Ton	655	655	655	655	655	655
25	USD	83.734.969	44.002.150	38.743.394	33.874.176	29.394.496	25.304.352
26	Adet		2,36	2,97	3,67	4,51	5,51
27	USD	8.373.497	3.560.052	2.988.284	2.477.800	2.026.451	1.631.843
28	<b>Ton</b>	<b>39.886</b>	<b>16.958</b>	<b>14.234</b>	<b>11.803</b>	<b>9.653</b>	<b>7.773</b>
29	Usd	22.941	9.754	8.187	6.788	5.552	4.471
30	Usd	229.411	120.554	106.146	92.806	80.533	69.327
31			108.857	123.265	136.605	148.878	160.084
32	Usd	28.676	96.352	113.705	133.949	157.875	186.586
33			-67.675	-85.028	-105.273	-129.199	-157.909
34	<b>Usd</b>		<b>41.182</b>	<b>38.236</b>	<b>31.332</b>	<b>19.679</b>	<b>2.174</b>

## ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 26.05.1981

Doğum Yeri : İstanbul

Lise : (1994–1998 ) Karaköy Merkez Lisesi, İstanbul

Lisans : (1999–2004), İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Makineleri Mühendisi

Yüksek Lisans : (2004-2007), İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Denizel Çevre Ana Bilim Dalı

Doktora : (2007-2013), İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Denizel Çevre Ana Bilim Dalı

Çalıştığı Kurum : (2006–devam ediyor) Bati Nakliyat ve Ticaret A.Ş.