

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRK BAYRAKLI GEMİLERİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ceren YILMAZ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRK BAYRAKLI GEMİLERİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ceren YILMAZ

(508101005)

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selma ERGİN

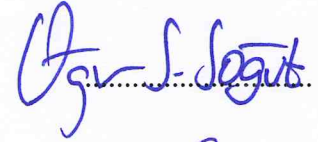
HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 508101005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ceren YILMAZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TÜRK BAYRAKLI GEMİLERİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Selma ERGİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT**
İstanbul Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Deniz ÜNSALAN
Piri Reis Üniversitesi



Teslim Tarihi : 03 Mayıs 2013
Savunma Tarihi : 03 Haziran 2013

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlamamda büyük emeği olan sayın Prof. Dr. Selma Ergin'e, tüm lisans ve lisansüstü hocalarıma ve bana tezimi hazırlamam sırasında desteğini esirgemeyen hayat arkadaşım, sevgili eşim Erdem Üçer'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Aynı zamanda tez dönemimde ve diğer hayatımın her bölümünde benden ilgilerini, sevgilerini ve anlayışlarını esirgemeyen aileme (Annem Reşide Yılmaz'a, Özen Üçer'e, Babam Salih Yılmaz'a ve küçük kardeşlerim S.Ceyhun ve Seren'e) teşekkürlerimle.

Mayıs 2013

Ceren Yılmaz
(Gemi İnşaatı ve Makineleri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. IMO MEPC ENERJİ VERİMLİLİĞİ DÜZENLEMELERİ	7
3.1 Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI)	8
3.1.1 Tanım	8
3.1.2 Dizayn parametrelerinin EEDI üzerine etkisi	17
3.1.3 Gelecekte gemilerin EEDI oranlarını azaltacak önlemler.....	19
3.2 Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP).....	20
3.2.1 Tanım	20
3.2.2 Yakıt tasarrufu sağlayabilecek faaliyetler	20
3.2.3 Örnek SEEMP Planı Formatı	26
3.3 Dünya Filosunun CO ₂ Salınım Miktarının Azaltımında EEDI ve SEEMP Etkisi.....	27
4. IMO DIŞINDAKİ ÇEVRESEL İNDEKSLER	31
4.1 Gemi Dizel Makinası Emisyonlarının Sürekli İzlenmesi.....	31
4.2 Ulstein Gemi Emisyon İndeksi	31
4.3 Çevresel Gemi İndeksi	32
4.4 Ticaret İçin Sosyal Sorumluluk (BSR) İndeksi	34
4.5 INTERTANKO İndeksi	34
4.6 Temiz Gemi İndeksi	34
4.7 Kore Finans Birliğinin Yeşil Gemi Programı	35
4.8 Klas Kuruluşlarının Çevre Notasyonları	35
4.8.1 DNV çevre notasyonu	35
4.8.2 RINA çevre notasyonu.....	36
4.8.3 ABS çevre notasyonu	36
4.9 Baltık Bölgesi Çevresel Verimlilik İndeksi	36
4.10 Rightship İndeksi (EVDI)	37
5. MEVCUT GEMİLER İÇİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ	39
5.1 Mevcut Gemiler için Enerji Verimliliği İndeksi (EVDI)	39
5.2 Mevcut gemiler için sera gazı emisyon değerlendirmesi	41
6. TÜRK BAYRAKLI GEMİLERİN CO₂ SALINIMLARI	43
6.1 Türk Bayraklı Gemilere EVDI Uygulaması.....	43
6.1.1 IMO referans eğrileri ile karşılaştırılması	43
6.1.2 Türk bayraklı gemilerin CO ₂ salınımı eğilim eğrileri	48

6.2 Türk Bayraklı Gemilerin Sera Gazı Emisyon Oranına Göre Sınıflandırılması	53
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ	69

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ABS	: Amerikan Loydu
AEEDI	: Sağlanan Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi
BREEI	: Baltık Bölgesi Çevresel Verimlilik İndeksi
CO₂	: Karbondioksit
CSI	: Temiz Gemi İndeksi
ECA	: Emisyon Kontrol Alanı
EEDI	: Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi
EEOI	: Enerji Verimliliği Operasyon İndeksi
ESI	: Çevresel Gemi İndeksi
EVDI	: Mevcut Gemiler İçin Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi
GHG	: Sera Gazı
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü
ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
LR	: İngiliz Loydu
MARPOL	: Uluslararası Deniz Kirliliği Sözleşmesi
MEPC	: Deniz Çevresini Koruma Komitesi
NO_x	: Azot Oksit
REEDI	: İstenen Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi
SEEMP	: Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı
SO_x	: Sülfür Oksit
SOLAS	: Uluslararası Denizde Can Güvenliği Sözleşmesi
US	: Birleşik Devletler
USEI	: Ulstein Gemi Emisyon İndeksi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Enerji verimliliği dizayn indeksinin uygulandığı gemi tipleri	8
Çizelge 3.2 : Yakıt tipine göre C_F dönüşüm faktörleri	11
Çizelge 3.3 : Buz sınıfı gemiler için güç düzeltme faktörü (f_j)	12
Çizelge 3.4 : Buz sınıfı gemiler için kapasite düzeltme faktörü (f_j)	13
Çizelge 3.5 : Değişik gemi tipleri için referans eğrisi parametreleri	15
Çizelge 3.6 : Yüzde olarak referans eğri değerinde yapılacak azaltma faktörleri (X)	16
Çizelge 3.7 : EEDI oranlarını azaltacak önlemler	19
Çizelge 3.8 : Örnek SEEMP Planı	26
Çizelge 3.9 : Dünya Filosu CO ₂ salınımı tahmini senaryoları	27
Çizelge 3.10 : EEDI ve SEEMP'e bağlı emisyon azaltımı	28
Çizelge 4.1 : ESI hesaplamasında gerekli veriler	34
Çizelge 5.1 : Ana makine yakıt tüketimi, SFC_{ME}	39
Çizelge 5.2 : Yardımcı makine yakıt tüketimi, SFC_{AE}	40
Çizelge 5.3 : Yardımcı makine gücü P_{AE}	40
Çizelge 5.4 : Yakıt tipine göre C_F dönüşüm faktörleri	40
Çizelge 5.5 : Sera gazı değerlendirme anahtarı	41
Çizelge 6.1 : Türk Bayraklı gemilerin EVDI eğilim eğrisi katsayıları	48
Çizelge 6.2 : Türk bayraklı dökme yük gemileri emisyon değerlendirmesi	53
Çizelge 6.3 : Türk bayraklı tankerlerin emisyon değerlendirmesi.	54
Çizelge 6.4 : Türk bayraklı konteynerlerin emisyon değerlendirmesi.	55
Çizelge 6.5 : Türk bayraklı genel yük gemilerinin emisyon değerlendirmesi	56
Çizelge 6.6 : Türk bayraklı gemilerin emisyon sınıflandırması.	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Deniz Taşımacılığı kaynaklı CO ₂ emisyonunun toplam küresel emisyonla karşılaştırılması.....	1
Şekil 3.1 : Referans hızın belirlenmesi.....	9
Şekil 3.2 : Dökme yük gemileri için istenen EEDI eğrileri.....	16
Şekil 3.3 : Hız azaltımının EEDI üzerine etkisi.....	17
Şekil 3.4 : Dikmeler arası boyun EEDI üzerine etkisi.....	18
Şekil 3.5 : Çelik ağırlığındaki değişimin EEDI üzerine etkisi	19
Şekil 3.6 : Dünya filosu CO ₂ salınımının azaltımında değişik senaryoların etkisi...	28
Şekil 5.1 : Sera Gazı Emisyon Oranı.....	42
Şekil 6.1 : Türk bayraklı tankerlerin DWT'a bağlı EVDI oranları.	44
Şekil 6.2 : Türk bayraklı dökme yük gemilerinin DWT'a bağlı EVDI oranları.	45
Şekil 6.3 : Türk bayraklı genel yük gemilerinin DWT'a bağlı EVDI oranları.	46
Şekil 6.4 : Türk bayraklı konteyner gemilerinin DWT'a bağlı EVDI oranları.	47
Şekil 6.5 : Türk bayraklı tankerlerin EVDI eğilim eğrisi.	49
Şekil 6.6 : Türk bayraklı dökme yük gemilerin EVDI eğilim eğrisi.	50
Şekil 6.7 : Türk bayraklı genel yük gemilerin EVDI eğilim eğrisi.	51
Şekil 6.8 : Türk bayraklı konteyner gemilerin EVDI eğilim eğrisi.	52
Şekil 6.9 : Türk bayraklı dökme yük gemileri için sera gazı emisyon oranına göre sınıflandırma.....	53
Şekil 6.10 : Türk bayraklı tankerler için sera gazı emisyon oranına göre sınıflandırma.....	54
Şekil 6.11 : Türk bayraklı konteyner gemileri için sera gazı emisyon oranına göre sınıflandırma.....	55
Şekil 6.12 : Türk bayraklı genel yük gemileri için sera gazı emisyon oranına göre sınıflandırma.....	56
Şekil 6.13 : Türk bayraklı gemilerin sera gazı emisyon oranına göre sınıflandırma..	57

TÜRK BAYRAKLI GEMİLERİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Deniz taşımacılığı kaynaklı sera gazı emisyonları geçtiğimiz son on yılda önemli miktarda artmıştır. 2007 yılı verileriyle deniz taşımacılığının CO₂ salınımına katkısı toplam CO₂ emisyonun yaklaşık olarak % 3.3'üne karşılık gelmektedir. Bu oran günden güne artmaktadır. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), gemilerin enerji verimliliğini arttırmak maksadıyla bir dizi önlem getirmektedir. Bu önlemler yeni gemilere uygulanacak enerji verimliliği dizayn indeksi (EEDI) ve mevcut gemilere uygulanacak gemi enerji verimliliği yönetim planıdır (SEEMP). IMO, değişik senaryolar kullanarak, EEDI ve SEEMP'in CO₂ salınımının azaltımındaki etkisini incelemiştir. Bu incelemeden gemi kaynaklı CO₂ emisyonunun, EEDI ve SEEMP düzenlemeleriyle önemli miktarlarda azalacağı görülmektedir. 2020'ye kadar SEEMP, CO₂ emisyonunun azaltılmasında EEDI'ya nazaran çok daha etkili olacaktır çünkü mevcut gemilere uygulanabilmektedir. Yeni kural ve düzenlemelere uygun şekilde dizayn edilmiş gemilerin, eski az tonajlı verimsiz gemilerin yerini almasıyla birlikte EEDI'nin etkisi artacaktır. Bu da 2030'dan itibaren görülmektedir. Gemi servis hızının değiştirilmesi, gemilerin enerji verimliliğinin arttırılmasında en önemli parametredir. Gemi boyunun ve çelik ağırlığının değiştirilmesinin etkisi gemi servis hızının değiştirilmesine nazaran çok daha azdır.

Bu çalışmada, Türk bayraklı gemilerin CO₂ salınım miktarları, EEDI gibi bir ölçüm yöntemi olan Rightship organizasyonunun geliştirdiği mevcut gemilerle ilgili enerji verimliliği dizayn indeksi, EEDI kullanılarak belirlenmiş ve IMO EEDI referans eğrileri ile karşılaştırılarak izin verilen emisyon sınırını geçip geçmedikleri ortaya konulmuştur. İstenen enerji verimliliği dizayn indeksi değerini gösteren referans eğrileri her bir gemi tipi için IMO tarafından istatistiki çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. IMO tarafından belirlenen istenen enerji verimliliği dizayn indeksi değerlerinin 2025 yılına kadar 3 fazda yaklaşık % 30 oranında düşürülmesi planlanmaktadır. Faz 1 için (2015-2019) referans eğrisinde % 10'luk, faz 2 için (2020-2024) % 20'lik ve faz 3 için (2025 sonrası) % 30'luk azaltım söz konusudur. Faz 0'dan faz 3'e doğru gittikçe istenen enerji verimliliği artmaktadır.

Elde edilen sonuçlardan, tüm Türk bayraklı tankerlerin % 60'ının faz 0 eğrisinin altında kaldığı, faz 3 eğrisi göz önüne alındığında ise tankerlerin %55'inin eğrinin altında kaldığı bulunmuştur. Faz 2-3 eğrisi altında kalan 12000 DWT üzerinde herhangi bir Türk bayraklı tanker bulunmadığı da belirlenmiştir.

Türk bayraklı dökme yük gemilerinin % 60'ından fazlası IMO faz 0 referans eğrisinin üzerinde kaldığı, faz 1 eğrisi göz önüne alındığında ise yaklaşık olarak % 94'ü eğrinin üzerinde kaldığı, faz 2 ve faz 3 eğrileri göz önüne alındığında ise sadece % 2'sinin eğri altında kaldığı belirlenmiştir.

Konteyner gemilerinin CO₂ emisyon miktarlarına bakıldığında ise gemilerin %9.8'inin faz 0 eğrisi üzerinde kaldığı, faz 1 eğrisine bakıldığında eğri üzerinde kalan gemilerin %14.6'ya çıktığı, faz 2 eğrisinde ise gemilerin yüzde 65.9'unun eğri üzerinde kaldığı belirlenmiştir. Faz 3 eğrisi üzerinde kalan gemi sayısının toplam konteyner gemilerinin %78'ine karşılık geldiği bulunmuştur.

Bu çalışmada EVDI hesaplamasının yanı sıra her bir gemi için hesaplanan EVDI değerleri kullanılarak, sera gazı emisyon değerlendirmesi yapılmıştır. Sera gazı emisyon değerlendirmesi, basit bir A-G skalası kullanılarak, benzer boyutlu ve tipteki gemilerin teorik karbondioksit emisyonlarını karşılaştırmaya olanak veren yenilikçi bir ölçümdür. A sınıfı en enerji verimli gemiyi, G sınıfı ise enerji verimliliği en az olan gemiyi göstermekte olup, A'dan G'ye doğru gidildikçe gemilerin enerji verimliliği azalmaktadır.

Türk bayraklı mevcut gemiler saldıkları sera gazı emisyonu oranlarına göre A-G arası sınıflandırılmıştır. Buna göre, Türk bayraklı dökme yük gemilerinin % 42.27'sinin D sınıfı olduğu bunu % 17.53 ile C sınıfının izlediği, A sınıfında olan gemilerin tüm gemilerin sadece %2'si olduğu belirlenmiştir. Türk bayraklı tankerler de C sınıfına ait gemi sayısı D sınıfından fazla olup, tankerlerin % 35'inin C sınıfı, % 30'unun ise D sınıfı olduğu, A sınıfı tanker sayısının ise sadece 5 olup toplam tankerlerin % 2.5'ine karşılık geldiği bulunmuştur. Türk bayraklı konteynerlerin % 73'ü D sınıfı olduğu, A sınıfı konteyner gemisi olmadığı saptanmıştır.

Tüm Türk bayraklı gemilerin % 43.32'si D sınıfı, % 22.43'ü C sınıfı, A sınıfı gemi sayısının ise 19 adet olup toplam gemilerin % 3.25'ine karşılık geldiği bulunmuştur.

Oransal olarak D sınıfı gemi sayısı en fazla olan gemi tipi % 73 ile konteyner gemileri olduğu bunu % 49.2 ile genel yük gemileri, % 42 ile dökme yük gemileri ve % 30 ile tankerler izlediği, oransal olarak C sınıfı gemi sayısı en fazla olan gemi tipi % 35 ile tankerler olduğu bunu % 17.5 ile dökme yük gemileri, % 16.9 ile genel yük gemileri ve % 7.3 ile konteyner gemileri izlediği, B sınıfı gemi sayısı en fazla olan gemi tipi % 22.7 ile tankerler olduğu % 9.7 ile genel yük gemileri, % 9.3 ile dökme yük gemileri ve % 7.3 ile konteyner gemileri izlediği belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre, şayet IMO, EVDI benzeri bir CO₂ emisyon indeksi kullanıp, yeni gemiler için belirlediği referans eğrileri ile olması gereken CO₂ salınımlarını sınırlaması durumunda; özellikle Türk bayraklı dökme yük gemilerinin bir an önce CO₂ salınımlarını azaltmak için gerekli tedbirler alınmalıdır. Türk bayraklı konteyner gemilerinden A sınıfında olan hiçbir gemi bulunmadığı göz ardı edilmemelidir. CO₂ salınımlarını azaltmak için, öncelikle gemilerin servis hızları yeniden gözden geçirilip azaltmaya gidilebilir.

AN INVESTIGATION ON THE ENERGY EFFICIENCY OF TURKISH FLAG SHIPS

SUMMARY

Greenhouse Gas (GHG) emissions has increased dramatically due to maritime activities in ten years. Shipping is estimated to have emitted 1,046 million tonnes of CO₂ in 2007, which corresponds to 3.3% of the global emissions during 2007. International shipping is estimated to have emitted 870 million tonnes, or about 2.7% of the global emissions of CO₂ in 2007. Exhaust gases are the primary source of emissions from ships. Carbon dioxide is the most important GHG emitted by ships. Both in terms of quantity and of global warming potential, other GHG emissions from ships are less important. Mid-range emissions scenarios show that by 2050, in the absence of policies, carbon dioxide emissions from international shipping may grow by a factor of 2 to 3 (compared to the emissions in 2007) as a result of the growth in shipping. Therefore, International Maritime Organization (IMO) adopts regulations to improve the energy efficiency of ships. These regulations are energy efficiency design index (EEDI) for new built ships and ship energy efficiency management plan (SEEMP) for all ships.

Energy efficiency design index (EEDI) is a measure is a measure of ships CO₂ efficiency. It requires a minimum energy efficiency level (CO₂ emissions) per capacity mile (e.g. tonne mile) for different ship type and size segments. With the level being tightened over time, the EEDI will stimulate continued technical development of all the components influencing the energy efficiency of a ship. Reduction factors are set until 2025 when a 30% reduction is mandated over the average efficiency for ships built between 1999 and 2009. The EEDI has been developed for the largest and most energy intensive segments of the world merchant fleet and will embrace about 70% of emissions from new oil and gas tankers, bulk carriers, general cargo, refrigerated cargo and container ships as well as combination carriers (wet/dry bulk).

The purpose of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) is to establish a mechanism for a company and/or a ship to improve the energy efficiency of a ship's operation. It establishes a mechanism for a shipping company and/or a ship to improve the energy efficiency of ship operations. The SEEMP provides an approach for monitoring ship and fleet efficiency performance over time using, for example, the Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) as a monitoring and/or benchmark tool. The SEEMP urges the ship owner and operator at each stage of the operation of the ship to review and consider operational practices and technology upgrades to optimize the energy efficiency performance of a ship.

IMO designed scenarios to be used to forecast possible world's fleet CO₂ emission growth trajectories to 2050. The scenarios included options for fleet growth, EEDI and SEEMP uptake, fuel price and EEDI waiver. The model keeps track of the year of build for all ships, and scraps the oldest and least energy-efficient ships first. By

including the scrapping rate, the renewal rate of the fleet is taken into account. From the results of IMO study, it can be observed that CO₂ emission decreases significantly due to shipping with the usage of EEDI and SEEMP regulations. SEEMP is more effective than EEDI on the decrement of CO₂ emissions until the end of the year 2020 because it can be used to old ships beside new ships. The effect of EEDI will increase by the increment of the replacement of old ships with the ships built based on the new IMO regulations. It will be seen clearly in 2030. The service speed of ships is the most important parameter on the increment of the energy efficiency of ships. Both the variation of the length and the steel weight of the ship are less important parameters on energy efficiency than the service speed of the ship.

In this study, CO₂ emissions of Turkish Flagged ships were determined by using the existing vehicle energy efficiency design index (EVDI) developed by Rightship organization and the results compared with the values of the EEDI reference lines of IMO. Then, greenhouse gas ratings of Turkish flagged ships were determined by A-G class scale. A scale shows the highest energy efficient ship whereas G scale shows the lowest energy efficient ship. The number of ships per type were also presented.

Similar to the IMO MEPC's EEDI, RightShip's EVDI measures a ship's theoretical CO₂ emissions per nautical mile travelled. However, unlike the EEDI that is applied only to new ships the EVDI is designed for application to existing vessels. EVDI values are calculated from vessel design information and associated data. Where ship specific data is not available such as specific fuel consumption, the values used in the EVDI calculation are based on the same assumptions used in the IMO GHG Study2 and/or detailed in IMO Circulars on calculation of the energy efficiency measure. RightShip's approach utilises the same data set recognised by IMO MEPC in their establishment of an EEDI reference line for new ships.

From the results of this study, it is found that there is not any tankers above the deadweight of 12000 tonnes above the phase 2 reference line of EEDI, the sixty percent of the tankers are under the phase 0 reference line whereas for phase 3 reference line fifty five percent of tankers are under the reference line.

More than sixty percent of Turkish flagged bulk carriers are above the phase 0 reference line of IMO. When the phase 1 reference line is considered, ninety four percent of the bulk carriers are above the reference line. Only two ships are below both the phase 2 and phase 3 reference lines of IMO.

The difference between the general cargo ships between 3000 DWT and 15000 DWT under phase 0 reference line and phase 3 reference line is just eight ships. Sixty percent of the general cargo ships are above the all of IMO reference lines.

For CO₂ emissions of container vessels, only 9.8 percent of container vessels is above the phase 0 reference line. The percentage of container vessels above the phase 1 reference line increases to 14.8 percent. For phase 2, the percentage of container vessels over the reference line is 65.9%. If phase 3 reference line is considered, 78% of container vessels is above the reference line.

The GHG Emissions Rating is a practical measure derived from the EVDI that allows relative comparison of a ship's CO₂ emissions to vessels of a similar size and type using a simple A - G scale. The most efficient being A, the least efficient being G. RightShip GHG Emissions Rating, is based on calculating a statistical Z Score.

Existing Turkish Flagged container ships, tankers, bulk carriers and general cargo ships are classified from A to G by using greenhouse gas rating scale developed by

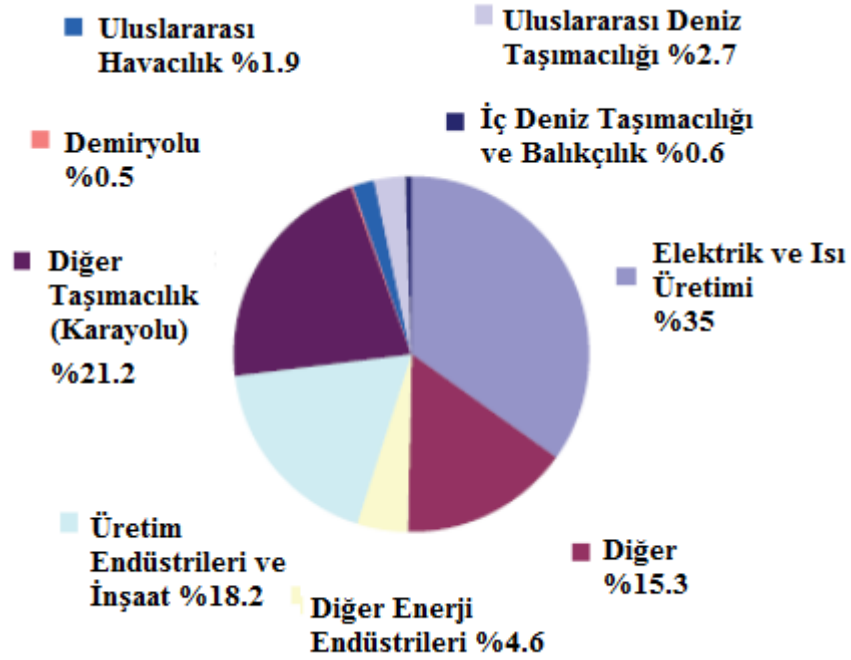
Rightship organization. From the results of this classification, it is found that 42.27 percent of bulk carriers is D class, 17.53 percent of them is C class and 2 percent of them is “A” class. The thirty five percent of tankers are C classed whereas thirty percent of tankers are D classed. The percentage of C classed tankers are more than D class tankers. “A” classed tankers are only five and it corresponds 2.5 percent. The seventy three percent of containerships are “D” class and there is not any “A” class ships. %43.32 percent of the all of Turkish flagged ships are “D” class, 22.43 percent is C class and just nineteen ship is “A” classed and corresponds to 3.25 percent.

The highest percentage of “D” classed ship type is container ships with a percent of forty nine. The percentage of “D” class ships of bulk carriers is forty two and the thirty percent of tankers is “D” class. The highest percentage of “C” and “B” classed ship type is tankers with a percent of thirty and twenty two by order.

From the results of this study, it is found that if IMO adopts EVDI type CO₂ emission index regulation for existing ships and uses the EEDI reference line of new built ships to existing ships to limit CO₂ emissions, the necessary measures should be taken to limit CO₂ emissions for particularly Turkish flagged bulk carriers. Because only two ships are below the reference line. Tankers are the best energy efficient ship type. The sixty percent of tankers are below the reference line. The energy efficiency of ships can be increased by decreasing the service speed of them.

1. GİRİŞ

Gemi kaynaklı hava kirliliğinin doğada sebep olduğu problemler buharlı gemilerin kullanılmasıyla başlamış olup, geçen son on yılda dünyadaki taşımacılığın %80'den fazlasının gemilerle yapılmasıyla birlikte önemli miktarda artmıştır. Deniz taşımacılığı kaynaklı CO₂ salınımı 2007 yılı için yaklaşık bir milyon tondur, bu değer toplam küresel emisyonun yaklaşık olarak %3.3'üne karşılık gelmektedir [1]. Şekil 1.1'den görülebileceği gibi, bu değer demiryolu taşımacılığının yedi katı, karayolu taşımacılığının ise yaklaşık olarak altıda biridir.



Şekil 1.1: Deniz Taşımacılığı kaynaklı CO₂ emisyonunun toplam küresel emisyonla karşılaştırılması [1].

Gemilerin CO₂ emisyonuna katılımının artmasıyla birlikte, ABD ve bir çok ülke 1997 yılında MARPOL Ek VI olarak bilinen, gemilerden kaynaklanan hava kirliliğine karşı makul kurallar getiren uluslar arası bir anlaşma imzalamışlardır. Bu anlaşma Mayıs 2005'e kadar uygulanmamıştır. ABD, Temmuz 2008'den sonra yasalaştırarak yürürlüğe koymuştur.

MARPOL EK VI ile gemilerden kaynaklanan hava kirliliği'nin önlenmesine ilişkin kurallar getirilmiştir, bunlardan bir kısmı;

- Ozon tabakasına zarar veren emisyonların havaya bırakılması yasaklanmış ve gemilerin baca (egzost) gazlarından çıkan azot oksitleri (NO_x) ve sülfür oksitleri (SO_x) içeren emisyonların sınırlandırılması ile ilgili yeni düzenlemeler getirilmiştir
- Özel bölgeler (ECA,SECA) belirlenmiştir.
- NO_x kod uygulamasını zorunlu hale getirmiştir,
- Gemilerin ve gemi dizel motorları üreticilerinin almaları gerekli sertifikalar belirlenmiştir.

Bu çalışmanın konusu olan “gemilerde enerji verimliliği” ise 9-13 Ocak 2012 tarihleri arasında Londra'daki IMO merkezinde düzenlenen MEPC 62 toplantısında alınan kararla MARPOL Ek VI'ya yeni bir bölüm (Bölüm 4) olarak girmiştir. Yeni gemiler için Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) ve bütün gemiler için Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) zorunlu hale getirilmiştir. Fakat EEDI sadece yeni gemilere uygulanmaktadır. SEEMP ise mevcut gemilere de uygulanmaktadır.

Bu çalışma, IMO yakın gelecekte mevcut gemilere uygulanacak enerji verimliliği dizayn indeksi oluşturabileceği ön görülmesine dayanılarak yapılmıştır. Bu durumda IMO “mevcut gemilerin” CO_2 salınımı için bir düzenleme uygulamaya koyarsa şimdiden mevcut Türk bayraklı gemilerin enerji verimliliği ve CO_2 salınımlarını ortaya koymaktadır.

Çalışmanın, ikinci bölümünde önceden yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, gemilerle ilgili mevcut enerji verimliliği düzenlemeleri, Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) ve Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) anlatılmıştır. Gemi dizayn parametrelerinin EEDI üzerine etkileri ve yakıt tasarrufu yapabilecek faaliyetler belirtilmiştir. Dördüncü bölümde, IMO dışındaki organizasyon ve kuruluşların çevresel indeksleri anlatılmıştır. Beşinci bölümde, mevcut gemiler için enerji verimliliği ölçüm yöntemleri, enerji verimliliği dizayn indeksi (EEDI) ve sera gazı değerlendirme ölçeği (GHG rating) anlatılmıştır. Altıncı bölümde, Türk bayraklı konteyner, dökme yük, tanker ve genel yük gemilerinin CO_2 salınımları belirlenmiş ve sera gazı değerlendirme ölçeği kullanılarak A-G arasında sınıflandırmaları yapılmıştır. Son bölümde sonuçlara ve önerilere yer verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Uluslararası deniz taşımacılığı kaynaklı sera gazı emisyonları endişe verici seviyededir. Bu nedenle uluslararası denizcilik örgütü (IMO) gibi kuruluşlar ve bilimsel araştırmacılar, gemilerin enerji verimliliğinin artırılması ve dolayısıyla gemi kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması için son yıllarda önemli çalışmalar yapmışlardır. Uluslararası düzenlemeler haricinde son on yıl içerisinde yapılmış bilimsel araştırmalardan bazılarına aşağıda değinilmiştir.

Endresen ve diğerleri [2] 2007 yılında, deniz taşımacılığının küresel ölçekte sera gazı emisyonlarına katılımını incelemişlerdir. Yaptıkları analiz sonucunda, 1925'te 229 Tg olan CO₂ emisyonunun [3], 2002 yılı verileriyle 634 Tg'ye çıktığını saptamışlardır. Daha önceden yapılmış bilimsel çalışmalarında 100 GT'dan düşük gemilerin hesaba katılmadığını belirtip bunun analizlerde yanlış sonuçlar elde edilmesine yol açtığını vurgulamışlardır. Çünkü 100 GT'dan küçük gemilerin sayısı çok fazladır (örneğin, 1.3 milyon balıkçı gemisi) ve bunların yakıt tüketimi dünya gemi filosunun tükettiği yakıtın yaklaşık olarak %10'una karşılık gelmektedir.

Dolseren ve diğerleri [4] 2009 yılında, dünya gemi filosunun çevreye etkilerini bölgesel olarak incelemişlerdir. Gemi emisyonları, ozon yüzeyi üzerinde Amerika, İskandinavya, Avrupa'nın batısında, Kuzey Batı Afrika ve Malezya/Endonezya'da çok etkilidir.

Corbett ve diğerleri [5] tarafından 2009 yılında, Birleşik Devletler (US) limanlarında gemi kaynaklı CO₂ salınımının azaltılabilmesi için gemi hızı azaltımının maliyet-etkif bir potansiyel seçenek olup olmadığı üzerine bir araştırma yapmışlardır. Araştırmalarının sonuçlarına göre, gemi hızının düşürülmesiyle CO₂ salınımının önemli miktarda azaltılabileceğini bulmuşlardır. Gemi hızı yarıya indirildiğinde, CO₂ emisyonu %70 oranında azaltılmıştır.

Eide ve diğerleri [6], Lindstad ve diğerleri [7] ve Smith [8], gemi servis hızındaki azaltımın direkt olarak emisyonlar ve deniz taşımacılığı maliyetleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmanın sonucuna göre, servis hızındaki değişikliğin

deniz taşımacılığı kaynaklı CO₂ emisyonu azaltımında önemli bir potansiyeli vardır [6-8]. Emisyonlar maliyet azaltımıyla %19 oranında, sıfır maliyet değişimiyle %28 oranında azaltılabilmektedir. Emisyon miktarının %59 oranında azaltılması ancak şu anki yakıt fiyatları ve gemi inşaat maliyetlerine bağlı olarak maliyet artımı ile mümkün olabilmektedir [7].

Longva ve diğerleri [9], 2010 yılında maliyet etkinlik kriterine bağlı olarak 11 adet Panamax dökme yük gemisinin enerji verimliliği dizayn indeksi seviyesini belirlemeye çalışmışlardır. Maliyet-etkinlik yöntemiyle seçilen geminin indeks oranı %25-30 oranında azaltılabileceğini saptamışlardır.

Gemi dizaynına ve hidrodinamiğine enerji verimliliği dizayn indeksi (EEDI)'nin etkisi 2011'de Hasan R.M.S tarafında araştırılmıştır [10]. Çalışmasında EEDI'nin yanında diğer emisyon kontrol indekslerini de incelemiştir. Gemi dizayn parametreleri boy, genişlik, draft, prizmatik katsayı ve blok katsayısını değiştirerek gerekli EEDI değerini yakalamaya çalışmıştır. Verimli mevcut tekne formlarının IMO EEDI faz 0 eğrisindeki değerlere uyumlu olduğu, tekne parametrelerindeki bazı değişiklikler ve gelişmiş bir tekne dizaynıyla faz 1 gereksinimlerinin karşılanabileceğini öne sürmüştür. Fakat ileriki fazların tekne boyutlarını değiştirip gelişmiş bir tekne dizaynıyla ulaşılamayacağını ancak gemilerin servis hızlarındaki azaltım ile bir başka deyişle; güç gereksiniminin azaltılmasıyla, faz 2 ve faz 3 gereksinimlerinin karşılanabileceğini ortaya koymuştur [10]. Ayrıca küçük gemilerin izin verilen EEDI değerlerinin daha yüksek olmasını, yani küçük teknelerin büyük gemilere nazaran daha yüksek hıza izin verilmesini eleştirmiştir.

Barkowski ve diğerleri [11] 2012 yılında yaptıkları çalışmada, konteyner gemilerinin enerji verimliliği dizayn indeksi hesaplanmasını incelemişlerdir. Konteyner gemilerinin 2025 yılında IMO %20-30'luk emisyon azaltımı hedefini karşılayacak hız kesimi haricinde herhangi bir gerçekçi teknik çözüm olmadığını iddaa etmişlerdir.

Jafarzadeh ve diğerleri [12], Norveç ekonomisi için son derece önemli olan balıkçı gemisi filosunun emisyonlarının azaltılması üzerine bir çalışma yapmıştır. Yaptıkları bu çalışma, daha önceden yapılan diğer araştırmaların ortaya koyduğu üzere [13-15], Norveç balıkçı gemilerinin ağır deniz koşullarında çalıştıkları için çok fazla enerji tükettiğini, yakıt fiyatlarındaki artış ve emisyon salınımına bağlı vergilerden dolayı

balıkçılık sektörünün kar marjının düştüğünü göstermektedir. MARPOL Ek VI ile birlikte 2015 ve 2016 yıllarında ECA bölgesinde çalışacak gemiler için sülfür dioksit (SO_2) ve azot oksit (NO_x) emisyonlarının sınırlandırılması için çok sıkı düzenlemelerin yürürlüğe girecektir. Buna bağlı olarak, Norveç balıkçı gemilerinin ECA bölgesinde çalışacaklarsa, emisyonlarını azaltmaları için çok sıkı tedbirler almaları gerektiğini saptamışlardır. Tedbir olarak; gemilerin makine sistemlerinin değiştirilmesi gerektiğini belirtip, yakıt olarak daha az emisyonlu doğal gaz (LNG) kullanılmasını önermişler, böylelikle balıkçı filosunun emisyonun önemli miktarda azalacağını ifade etmişlerdir.

2012 yılında Köpke ve Sames [16,17], dünya konteyner filosunun CO_2 emisyonlarını üzerine bir inceleme yapmışlardır. Yaptıkları bu inceleme sonucunda, hem dizaynlarında hem de operasyonlarında yapılacak iyileştirmelere rağmen şu aşamada konteyner taşımacılığının potansiyel emisyon hedefini gerçekleştiremeyeceğini ön görmektedirler.

Fitzgerald ve diğerleri [18] 2012 yılında, kargo tabanlı bir analiz yöntemiyle Yeni Zelanda'nın ithalat ve ihracatında uluslararası deniz taşımacılığı kaynaklı sera gazı emisyonunu ve yakıt tüketimini sunmuşlardır. 2007 yılı boyunca Yeni Zelanda'nın deniz taşımacılığıyla yapılan ithalat ve ihracatında 2.5 milyon ton yakıt tüketildiğini ve 7.7 Mt CO_2 emisyonu salındığını saptamışlardır.

Dedes ve diğerleri [19], küresel deniz taşımacılığında kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmak için hibrit enerji teknolojisinin kullanılmasının olası etkilerini değerlendiren bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında, Hibrit pil-dizel-elektrik sevk sistemi kullanarak yakıt tüketimini azaltmayı ve sera gazı emisyonlarını düşürmeyi amaçlamışlardır. Tüm dökme yük gemisi filosunun operasyon verilerini kullanarak makine yüklerini ve enerji gereksinimlerini hesaplamışlar ve uygun pil depolama sistemi önermişlerdir. Tüm emisyon değişimlerini tahmin etmişler ve yakıt tüketimindeki azalmayı tanımlamışlardır. Geminin durumu, yakıt tipine ve depolama sistemine bağlı olarak 0.32 milyon ton NO_x , 0.07 milyon ton SO_x ve 4.1 milyon ton CO_2 azaltımı sağlamışlardır. Bu değerler; tüm dökme yük gemilerinin %14'lük, dünya filosunda ise %1.8'lik emisyon azalmasına karşılık geldiğini göstermiştir.

Yang ve diğerleri [20], emisyon ve enerji verimliliğine bağlı olarak çift ana makine uygulamasının yol gösterici analizini sunmuşlardır.

Wang ve diğlerleri [21], dñnyada hem artan enerji sıkıntısı hem de deniz çevresinin korunması ÷zerine artan baskı sebebiyle fosil yakıt tüketimini azaltabilmek için alternatif enerji tiplerinden güneş ve rüzgar enerjisinin deniz taşımacılığında kullanımına yoğunlaşmışlardır.

Johnson ve diğlerleri [22], Gemi Verimliliği Enerji Yönetim Planı (SEEMP)'in CO₂ emisyonlarını azaltıp azaltamayacağını ve ISO 50001 ve ISM koduyla karşılaştırmasını 2013 yılındaki çalışmalarında sunmuşlardır. SEEMP'de tipik bir yönetim sistemi standardında bulunması gereken hayati özelliklerden örneğin politika ve yönetimi yeniden gözden geçirme bulunmamaktadır [19]. ISO 50001, denetleme, enerji bilançosu, tedarik işlemleri üzerine daha detaylıdır. SEEMP, deniz taşımacılığı endüstrisinden kaynaklanan CO₂ emisyonu artışları üzerine bir etki yaratmak için geliştirilmiş uluslararası bir düzenlemedir.

3. IMO MEPC ENERJİ VERİMLİLİĞİ DÜZENLEMELERİ

9-13 Ocak 2012 tarihleri arasında Londra'daki IMO merkezinde düzenlenen MEPC 62 toplantısında, gemilerin enerji verimliliğine yönelik önlemlerin, MARPOL Ek VI'ya yeni bir bölüm olarak (Bölüm 4) eklenmesi kabul edilmiştir. Bu sayede, yeni gemiler için Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) ve bütün gemiler için Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) zorunlu hale getirilmiştir. Aynı toplantıda aşağıda belirtilen dört kılavuz üzerinde yoğunlaşmıştır:

- Yeni gemiler için enerji verimliliği dizayn indeksi (EEDI) hesaplama metodu taslak kılavuzu,
- Gemilerin enerji verimliliği yönetim planı (SEEMP) geliştirme taslak kılavuzu,
- Enerji verimliliği dizayn indeksinin sorvey ve sertifikasyonu taslak kılavuzu,
- Kötü hava koşullarında manevra kabiliyetinin kaybedilmemesi için gerekli en az makina gücü ya da gemi hızı belirlenmesine yönelik taslak kılavuz.

EEDI hesaplama metodu taslak kılavuzlarının kapsamadığı diğer gemi tipleri ve tahrik sistemleriyle ilgili, büyük tanker ve dökme yük gemileri için EEDI hesaplaması ve Enerji Verimliliği Operasyonel İndeksi konuları da bu toplantıda tartışılmıştır.

01.01.2013 tarihinde yürürlüğe giren MARPOL Ek VI Bölüm 4 ile gemilerde enerji verimliliği ile ilgili zorunlu kuralların uygulamasına yardımcı olan, sağlanan enerji verimliliği dizayn indeksi hesaplama yöntemleri kılavuzu MEPC.212(63) [23], gemi enerji verimliliği yönetim planı hazırlama kılavuzu MEPC.213(63) [24], enerji verimliliği dizayn indeksi sorvey ve sertifikasyonu kılavuzu MEPC.214(63) [25] ve enerji verimliliği dizayn indeksi ile birlikte kullanım için referans eğrilerinin hesaplanması kılavuzu MEPC.215(63) [26] düzenlemeleriyle kabul edilmiştir.

3.1 Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI)

3.1.1 Tanım

Enerji verimliliği dizayn indeksi (EEDI), dizel-elektrik, türbin ve hibrit sevk sistemine sahip gemiler haricinde 400 gros ton ve üzeri yeni gemilerin teorik olarak CO₂ emisyon performanslarının ölçülmesi için geliştirilmiş olup, gemi dizayn ve makine performans verilerinden hesaplanır. Bu indeksin uygulanmasının nedeni, geminin dizayn safhasında geminin enerji verimliliğini etkileyen yenilikçi ve teknolojik gelişmeleri teşvik etmektir. EEDI, Çizelge 3.1’de gösterilen özellikte ve tipte gemilere uygulanabilmektedir.

Çizelge 3.1 : Enerji verimliliği dizayn indeksinin uygulandığı gemi tipleri [27].

Gemi Tipi	Özellik
Yolcu Gemisi	SOLAS Bölüm 1 Düzenleme 2’de tanımlandığı gibi 12’den fazla yolcu taşıyan gemiler.
Dökme Yük Gemileri	SOLAS Bölüm 9 Düzenleme 1’de tanımlandığı gibi dökme yük taşıyan genellikle tek güverteli kargo boşluklarının üst tarafında tankları olacak şekilde inşa edilmiş gemiler örneğin cevher gemileri.
Gaz Tankerleri Tanker	SOLAS Bölüm II-1 Düz. 3’de tanımlanan gaz tankerleri MARPOL Ek I Düzenleme 1’de tanımlanan petrol tankerleri veya Ek II Düzenleme 1’de tanımlanan kimyasal tankerler
Konteyner Gemisi	Ambarlarında ve güvertesinde konteyner taşımak üzere dizayn edilmiş gemiler
RO-RO Kargo Gemisi veya araç taşıyıcılar	Boş araba ve kamyon taşımak üzere dizayn edilmiş çok güverteli ro-ro kargo gemileri
RO-RO Kargo Gemisi Hacim Taşıyıcılar	Araç metre (lane meter) başına 4 Ton/m’den az taşımak üzere dizayn edilmiş ulaşım üniteleri taşıyan gemiler
RO-RO Kargo Gemisi Ağırlık Taşıyıcılar	Araç metre başına 4 Ton/m ve üzeri taşımak üzere dizayn edilmiş ulaşım üniteleri taşıyan gemiler
Genel Yük Gemileri	Çok güverteli veya tek güverteli, ana olarak genel yük taşımak üzere dizayn edilmiş gemiler.
RO-RO Yolcu Gemisi	SOLAS Bölüm II-1, Kısım A, Düzenleme 2.23’de tanımlanan yolcu gemileri

Enerji verimliliği dizayn indeksi (EEDI), (3.1) yardımıyla hesaplanır [27].

EEDI

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(\prod_{j=1}^n f_j) (\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} C_{FME(i)} SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} C_{FAE} SFC_{AE*})}{f_i f_c \text{Kapasite } V_{ref} f_w} \\
 &+ \frac{((\prod_{j=1}^n f_j \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} P_{AEeff(i)}) C_{FAE} SFC_{AE})}{f_i f_c \text{Kapasite } V_{ref} f_w} \\
 &- \frac{\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} P_{eff(i)} C_{FME} SFC_{ME**}}{f_i f_c \text{Kapasite } V_{ref} f_w}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Burada

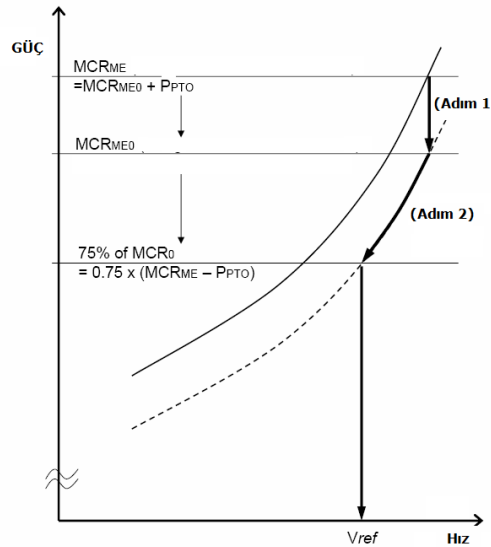
ME ve AE sırasıyla ana ve yardımcı makineleri temsil etmektedir [27].

$P_{PTO(i)}$, her bir şaft jeneratörünün verdiği maksimum sürekli elektrik gücünün %75'dir.

P_{ME} , ana makine gücünü temsil etmektedir ve (3.2) ile belirlenir [27]. Her bir ana makine gücünden (MCR_{ME}) yerleştirilmiş şaft jeneratörü gücü (P_{PTO}) çıkarıldıktan sonra kalan gücün %75'i alınarak hesaplanır.

$$P_{ME(i)} = 0.75 \times (MCR_{MEi} - P_{PTOi}) \tag{3.2}$$

V_{ref} : geminin derin suda, kapasitesinin tanımlandığı şartlarda (yolcu ve ro-ro yolcu gemileri için bu şart, yaz draftıdır), sakin deniz kabulü ile yapabildiği hızın deniz mili/saat (knot) olarak ölçülen değeridir. Şekil 3.1, referans hızın belirlenmesini temsil etmektedir [27].



Şekil 3.1 : Referans hızın belirlenmesi [27].

P_{AE} , yardımcı makinelerin gücü temsil etmektedir. Maksimum deniz yükünde sevk makine ve sistemleri ve yaşam mahallleri örneğın ana makine pompaları, navigasyon sistemleri ve cihazları ve güverte yaşam ekipmanları için gerekli güçtür. İtıcılar, kargo pompaları, kargo dişlisi, balast pompaları, soğutucular ve ambar fanları gibi sistemler için gerekli güç bu güce dahil değildir. Ana makine gücü 10000 KW üzeri kargo gemileri için P_{AE} (3.3a) ile, ana makine gücü 10000 KW'dan küçük kargo gemileri için ise P_{AE} (3.3b) belirlenir [27].

$$P_{AE(MCR_{ME}>10000\text{ KW})} = \left(0.025 \times \sum_{i=1}^{nME} MCR_{MEi} \right) + 250 \quad (3.3a)$$

$$P_{AE(MCR_{ME}<10000\text{ KW})} = \left(0.05 \times \sum_{i=1}^{nME} MCR_{MEi} \right) \quad (3.3b)$$

Yukarıdaki gibi hesaplanan P_{AE} değeri geminin seyri sırasında kullanılan toplam güçten oldukça farklı ise (örneğin, yolcu gemilerinde olduğu gibi) P_{AE} değeri geminin V_{ref} hızı ile seyrederken tükettiğı elektrik gücüne göre tahmin edilebilir. Bu amaçla elektrik güç tabloları oluşturulur ve toplam elektrik gücü jeneratörün ağırlıklı ortalama verimine bölünerek P_{AE} hesaplanır.

P_{PTI} , her bir şaft motorunun sürekli güç tüketiminin %75'inin jeneratörün ağırlıklı ortalama verimine bölümünden elde edilir.

P_{Aeff} : $P_{ME(i)}$ 'de ölçülen, yenilikçi elektrik enerjisi etkin teknolojiler nedeni ile yardımcı makine gücündeki azalmadır.

P_{eff} : %75 ana makina gücünde, sevk için yenilikçi mekanik enerji etkin teknolojilerden elde edilen güç. Direkt olarak şafta iletilen, geri kazanılmış mekanik enerjinin ayrıca ölçülmesi gerekmez. Çünkü bu teknolojinin etkisi zaten direkt olarak V_{ref} kapsamındadır. ** $P_{PTI(i)} > 0$ ise (SFC_{ME} , CF_{ME}) ve (SFC_{AE} , CF_{AE})'nin ortalama ağırlıklı değeri P_{eff} 'in hesabında kullanılır.

C_F , gram cinsinden ölçülen yakıt tüketimiyle, yine gram cinsinden ölçülen CO_2 emisyonu arasındaki boyutsuz dönüştürme faktörüdür. Değişik yakıt türleri için C_F değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmektedir [27].

Çizelge 3.2 : Yakıt tipine göre C_F dönüşüm faktörleri [27].

Yakıt Tipi	Referans	Karbon içeriği	C_F (t-CO ₂ /t-fuel)
DGO	ISO 8217 DMX-DMC	0.875	3.206
LFO	ISO 8217 RMA-RMD	0.86	3.15104
HFO	ISO 8217 RME-RMK	0.85	3.1144
LPG	Propane	819	0. 3.000
	Butane	0.827	3.030
LNG		0.75	2.75

SFC: makinaların g/kWh cinsinden ölçülen, sertifikalı özgül yakıt tüketimleridir.

- NO_x Teknik Kodu 2008'in E2 veya E3 test çevrimlerine göre sertifikalanmış makineler için özgül yakıt tüketimi ($SFC_{ME(i)}$), NO_x teknik dosyasında %75 MCR'daki değeridir.
- NO_x Teknik Kodu 2008'in D2 veya C1 test çevrimlerine göre sertifikalanmış makineler için özgül yakıt tüketimi ($SFC_{AE(i)}$), NO_x teknik dosyasında %50 MCR'daki değeridir. SFC değeri ISO standart referans şartlarına göre, yakıtın standart alt ısı değeri 42700 kJ/kg alınarak düzeltilmelidir.
- SFC_{AE} değeri her bir makinanın $SFC_{AE(i)}$ değerinin güç ağırlıklı ortalamasıdır.
- Gücü 130 kW'ın altındaki makineler için test raporu olmayacağından üretici firma tarafından verilen SFC değerler kullanılabilir.
- Dizayn aşamasında makinaların NO_x teknik dosyasında test raporları yoksa üretici firma tarafından verilen değerler kullanılabilir.
- LNG kullanılan makinelerin SFC değerleri kJ/kWh olarak ölçülür.
- Bu değer LNG'nin standart alt ısı değeri 48000 kJ/kg alınarak g/kWh değerine dönüştürülmelidir.

*Eğer normal maksimum deniz yükünün bir bölümü şaft jeneratörlerinden sağlanıyorsa; gücün bu bölümü için SFC_{AE} ve C_{FAE} yerine SFC_{ME} ve C_{FME} kullanılabilir.

Kapasite: (maksimum dizayn yükü) değeri olarak;

- Dökme yük gemileri, tankerler, gaz tankerleri, ro-ro kargo gemileri, genel yük gemileri, soğutulmuş kargo gemileri ve kombo gemiler için DWT
- Yolcu gemileri ve ro-ro yolcu gemileri için GRT (gros ton),

- Konteyner gemilerinde DWT'un % 70'i kullanılır.

f_j , gemiye özel dizayn unsurlarını hesaba katan bir düzeltme faktörüdür. Buz sınıfı gemiler için güç düzeltme faktörü, f_j aşağıdaki Çizelge 3.3'e göre belirlenir. f_{j0} ve f_{min} değerlerinden hangisi büyükse o değer alınır. f_{jmax} 1'den büyük olamaz. Çizelgede gösterilen gemi tipleri haricindeki gemiler için f_j 1 olarak alınır [27].

$f_{eff(i)}$: her bir yenilikçi enerji verimliliği teknolojisi bulunma faktörüdür. Atık enerji geri kazanım sistemi için $f_{eff(i)}=1$ olarak alınmalıdır.

Çizelge 3.3 : Buz sınıfı gemiler için güç düzeltme faktörü (f_j) [27].

Gemi Tipi	f_j	Buz sınıfına bağlı limitler			
		IC	IB	IA	IA Süper
Tanker	$\frac{0.516 L_{BP}^{1.87}}{\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{iME}}$	Maks: 1.	Maks: 1.	Maks: 1.	Maks: 1.
		Min:	Min:	Min:	Min:
		$0.72 L_{BP}^{0.06}$	$0.61 L_{BP}^{0.08}$	$0.50 L_{BP}^{0.10}$	$0.40 L_{BP}^{0.12}$
Dökme Yük Gemisi	$\frac{2.150 L_{BP}^{1.58}}{\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{iME}}$	Maks: 1.	Maks: 1.	Maks: 1.	Maks: 1.
		Min:	Min:	Min:	Min:
		$0.89 L_{BP}^{0.02}$	$0.78 L_{BP}^{0.04}$	$0.68 L_{BP}^{0.06}$	$0.58 L_{BP}^{0.08}$
Genel Yük Gemisi	$\frac{0.045 L_{BP}^{2.37}}{\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{iME}}$	Maks: 1.	Maks: 1.	Maks: 1.	Maks: 1.
		Min:	Min:	Min:	Min:
		$0.85 L_{BP}^{0.03}$	$0.70 L_{BP}^{0.06}$	$0.54 L_{BP}^{0.10}$	$0.39 L_{BP}^{0.15}$

f_w : dalga yüksekliği, dalga frekansı ve rüzgar hızı gibi deniz koşullarına bağlı olarak gemi hızındaki azalmayı belirten bir boyutsuz katsayıdır ve aşağıdaki gibi belirlenir:

- MARPOL Ek VI, Düzenleme 20-21'e göre sağlanan EEDI hesabı için $f_w=1$ 'dir. Eğer f_w değeri aşağıda verildiği gibi hesaplanırsa sağlanan EEDI 'sağlanan EEDI_{hava}' şeklinde gösterilmelidir. f_w değeri temsili deniz koşulları için yapılacak özel bir simülasyonla belirlenebilir. Simülasyon metodolojisi organizasyon tarafından geliştirilen bir rehberi esas almalıdır. Metot ve

sonuçları idare veya idare tarafından yetkilendirilmiş bir kuruluş tarafından onaylanmalıdır. [27].

- Simülasyon yapılmadığında, f_w değeri “standart f_w ” tablo/eğrisinden alınmalıdır. “Standart f_w ” tablosu rehberde gemi tiplerine bağlı olarak kapasitenin (örneğin, deadweight) bir fonksiyonu olarak verilir. “Standart f_w ” tablo/eğrisi, mümkün olduğu kadar çok sayıda mevcut geminin benzer deniz koşullarındaki hızlarındaki azalmalar esas alınarak hazırlanmaktadır (Rehber henüz hazır değildir, hazırlanmaktadır).
- f_w ve sağlanan $EEDI_{hava}$ değeri hesaplanmışsa bu EEDI teknik dosyada belirtilmelidir.

f_i : kapasiteyle ilgili herhangi bir teknik/regulasyon sınırlama için kapasite düzeltme faktörüdür. Aksi belirtilmedikçe 1.0 olarak alınabilir. Her bir gemi tipi için değerleri Çizelge 3.4’te gösterilmektedir [27]. $f_{i,0}$ ve $f_{i,max}$ değerlerinden küçüğü alınarak belirlenir. $f_{i,min}$ 1’den küçük olamaz.

Çizelge 3.4 : Buz sınıfı gemiler için kapasite düzeltme faktörü (f_i) [27].

Gemi Tipi	f_i	Buz sınıfına bağlı limitler			
		IC		IA Süper	
Tanker	$0.00115 L_{BP}^{3.36}$	Maks:	Maks:	Maks:	Maks:
	Kapasite	1.31 L_{BP}^- 0.05	1.54 $L_{BP}^{-0.07}$ Min: 1	1.80 L_{BP}^- 0.09	2.10 L_{BP}^- 0.11
Dökme Yük Gemisi	$0.000665 L_{BP}^{3.4}$	Min: 1	Maks:	Min: 1	Min: 1
	Kapasite	1.31 L_{BP}^- 0.05	1.54 $L_{BP}^{-0.07}$ Min: 1	1.80 L_{BP}^- 0.09	2.10 L_{BP}^- 0.11
Genel Yük Gemisi	$0.000676 L_{BP}^{3.4}$	Maks: 1	Maks: 1.08	Maks: 1.12	Maks: 1.25
	Kapasite	Min: 1	Min: 1	Min: 1	Min: 1
Konteyner Gemisi	$0.1749 L_{BP}^{2.29}$	Maks:	Maks:	Maks:	Maks:
	Kapasite	1	1.25 $L_{BP}^{-0.04}$ Min: 1	1.60 L_{BP}^- 0.08	2.10 L_{BP}^- 0.12
Gaz Tankeri	$0.1749 L_{BP}^{2.33}$	Min: 1	Maks:	Min: 1	Min: 1
	Kapasite	1.25 L_{BP}^- 0.04	1.60 $L_{BP}^{-0.08}$ Min: 1	2.10 L_{BP}^- 0.12	1. Min: 1
		Min: 1		Min: 1	

$f_{i,VSE}$ gemiye özel gönüllülük esasında yapısal iyileştirme katsayısı aşağıdaki gibi belirlenir:

$$f_{i,VSE} = \frac{DWT_{\text{referans dizayn}}}{DWT_{\text{geliştirilmiş dizayn}}} \quad (3.4)$$

burada

$$DWT_{\text{referans dizayn}} = \Delta - LWT \text{ (Çıplak Tekne Ağırlığı}_{\text{referans dizayn}}) \quad (3.5a)$$

$$DWT_{\text{geliştirilmiş dizayn}} = \Delta - LWT \text{ (Çıplak Tekne Ağırlığı}_{\text{geliştirilmiş dizayn}}) \quad (3.5b)$$

Bu hesaplamada referans ve iyileştirilmiş dizayn için aynı deplasman alınmalıdır. Her iki dizayn için de yapısal planlar onaylanmalıdır.

Klaslama kuruluşlarının yapı kurallarına uygun yapılmış dökme yük ve petrol tankerler için kapasite düzeltme faktörü aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$f_{iCSR} = 1 + (0.08 LWT_{CSR} / DWT_{CSR}) \quad (3.6)$$

Diğer gemi tipleri için $f_i = 1$ alınmalıdır.

f_c katsayısı kübik kapasite düzeltme faktörüdür ve gerekmedikçe 1.0 kabul edilmelidir. MARPOL Ek II’de tanımlandığı gibi kimyasal tankerler için;

$$R < 0.98 \text{ için } f_c = R^{-0.7} - 0.014 \quad (3.7a)$$

veya

$$R \geq 0.98 \text{ için } f_c = 1.000 \quad (3.7b)$$

R ; geminin DWT’unun geminin kargo tanklarının toplam kapasitesine bölünmesiyle elde edilen kapasite oranıdır.

Sıvılaştırılmış doğal gaz taşıyan direk dizel tahrikli gaz taşıyıcılar için;

$$f_{c,LNG} = R^{-0.56} \quad (3.8)$$

01.01.2013 tarihinden itibaren inşa edilen, 400 GT’den büyük, uluslararası sefer yapan tüm yeni gemiler için “sağlanan enerji verimliliği dizayn indeksi” (Attained EEDI) değeri **(3.1)** yardımıyla hesaplanacaktır [28]. Bu değerin, IMO’nun istatistiki çalışmalar sonucunda belirlemiş olduğu “istenen enerji verimliliği dizayn indeksi” (Required EEDI) değerinin altında olması gerekmektedir.

“İstenen enerji verimliliği dizayn indeksi” (Required EEDI) değeri şu an için 7 gemi tipi için IMO tarafından tanımlanmış durumdadır. Ancak bazı küçük tonajlı gemiler için (örneğin 4000 DWT’den küçük tankerler, 3000 DWT’den küçük genel kargo gemileri vb.) “İstenen enerji verimliliği dizayn indeksi” (Required EEDI) değeri yoktur. Bu boyuttaki (Bkz. Çizelge 3.6) gemiler için “Sağlanan Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi” (AEEDI) hesaplanacak ancak herhangi bir değerle kıyaslama yapılmayacaktır [28].

İstenen enerji verimliliği dizayn indeksi (REEDI) (3.9) ile hesaplanır.

$$\text{Sağlanan EEDI (AEEDI)} \leq \text{REEDI} = (1-X) \times \text{Referans Eğri Değeri} \quad (3.9)$$

Referans eğrisi değeri ise Denklem (3.10) ile belirlenir [28]. Referans eğrisi değerleri müsaade edilen maksimum EEDI değerlerini göstermektedir.

$$\text{Referans eğri değeri} = a \times b^{-c} \quad (3.10)$$

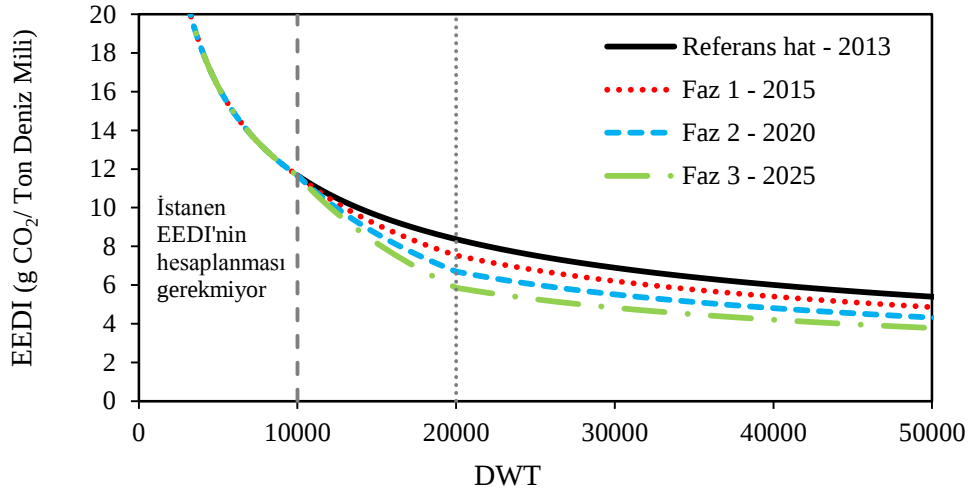
Bu denklemde eğriyi belirlemede kullanılan parametrelerin değişik gemi tipleri için değerleri Çizelge 3.5’te gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 : Değişik gemi tipleri için referans eğrisi parametreleri [28].

Gemi tipleri	a	b	c
Dökme Yük Gemisi	961.79	Geminin DWT’u	0.477
Gaz Tankeri	1120.00	Geminin DWT’u	0.456
Tanker	1218.80	Geminin DWT’u	0.488
Konteyner Gemisi	174.22	Geminin DWT’u	0.201
Genel Yük Gemisi	107.48	Geminin DWT’u	0.216
Soğutmalı Kargo Gemisi	227.01	Geminin DWT’u	0.244
Kombo Taşıyıcı	1219.00	Geminin DWT’u	0.488

Çizelge 3.6’da yüzde olarak referans eğri değerinde yapılacak azaltma faktörleri gösterilmiş, Şekil 3.2’de ise bu çizelgeden yararlanılarak elde edilmiş dökme yük

gemileri için hesaplanmış istenen enerji verimliliği dizayn indeksi değerleri gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : Dökme yük gemileri için istenen EEDI eğrileri.

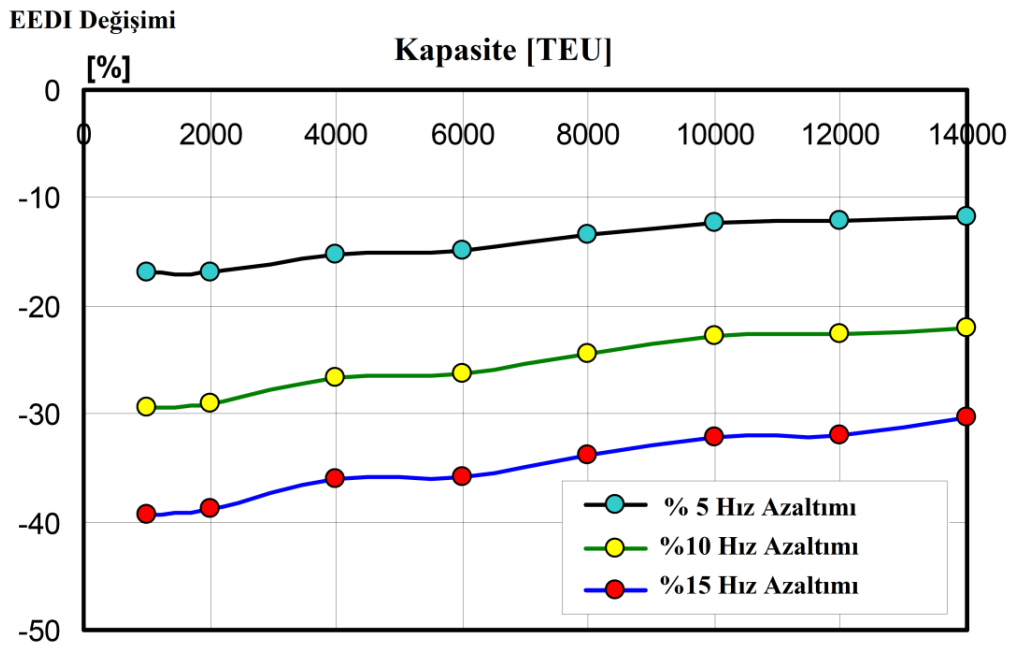
Çizelge 3.6 : Yüzde olarak referans eğri değerinde yapılacak azaltma faktörleri (X) [28].

Gemi Tipi	Boyut	Faz 0 01.01.2013- 31.12.2014	Faz 1 01.01.2015- 31.12.2019	Faz 2 01.01.2020- 31.12.2024	Faz 3 01.01.2025-
Dökme Yük Gemisi	20000 DWT ve üzeri	0	10	20	30
	10000-20000 DWT	Mevcut Değil	0-10*	0-20*	0-30*
Gaz Taşıyıcı Gemi	10000 DWT ve üzeri	0	10	20	30
	2000-10000 DWT	Mevcut Değil	0-10*	0-20*	0-30*
Tanker	20000 DWT ve üzeri	0	10	20	30
	4000-20000 DWT	Mevcut Değil	0-10*	0-20*	0-30*
Konteyner Gemisi	15000 DWT ve üzeri	0	10	20	30
	10000-15000 DWT	Mevcut Değil	0-10*	0-20*	0-30*
Genel Kargo Gemisi	15000 DWT ve üzeri	0	10	15	30
	3000-15000 DWT	Mevcut Değil	0-10*	0-15*	0-30*
Soğutuculu Kargo Gemisi	5000 DWT ve üzeri	0	10	15	30
	3000-5000 DWT	Mevcut Değil	0-10*	0-15*	0-30*
Kombo Gemi (OBO)	20000 DWT ve üzeri	0	10	20	30
	4000-20000 DWT	Mevcut Değil	0-10*	0-20*	0-30*

* sembolü azaltma faktörünün lineer interpolasyonla verilen iki tekne boyutu yapılacağı anlamına gelmektedir.

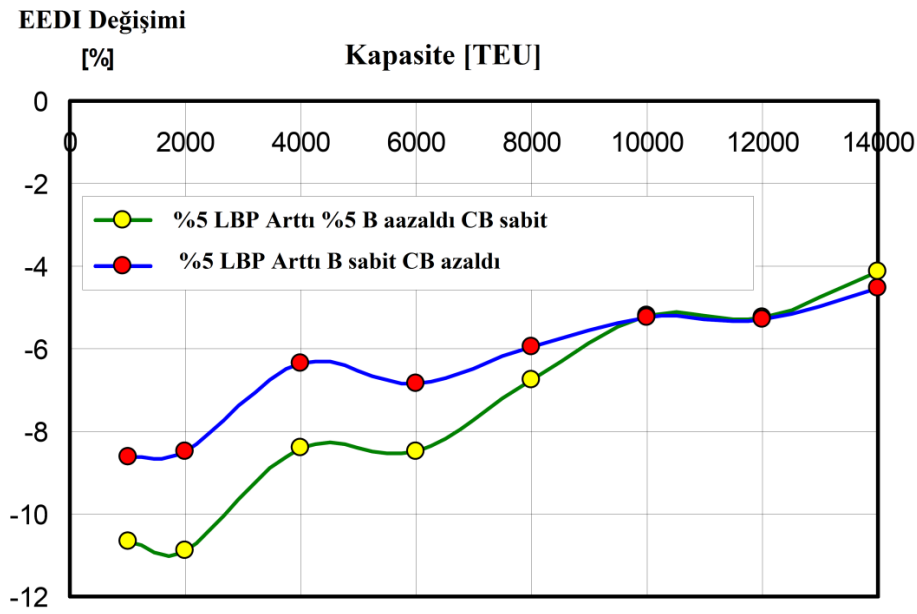
3.1.2 Dizayn parametrelerinin EEDI üzerine etkisi

Danimarka Teknik Üniversitesi tarafından bir konteyner gemisinin enerji verimliliğinin üzerine yapılmış bir araştırmanın sonuçlarına göre, enerji verimliliği artışıdaki en önemli parametre gemi servis hızındaki azaltımdır [29]. Şekil 3.3'te, gemi servis hızındaki azaltımın EEDI üzerine etkisi konteyner taşıma kapasitesine bağlı olarak gösterilmektedir. Beklenildiği gibi konteyner taşıma kapasitesi arttıkça gemi servis hızındaki azaltımın enerji verimliliği üzerindeki etkisi düşmektedir. 2000 TEU'nun altındaki konteyner taşıma kapasitesinde, servis hızındaki %5'lik azaltım EEDI yüzdesinde %16'lık düşmeye 14000 TEU kapasitesinde ise %12'lik düşmeye sebep olmaktadır. Gemi servis hızındaki azaltım %10'a çıktığında ise 2000 TEU altında EEDI yüzdesinde %29'luk düşmeye 14000 TEU kapasitesinde ise %22'lik düşmeye sebep olmaktadır. Son olarak hız azaltımı %15'e çıkarılmış ve 2000 TEU kapasitenin altında EEDI yüzdesinde %39'luk azaltıma ulaşılmışken, 14000 TEU kapasitesinde ise %30'luk azaltıma ulaşılmıştır. Yine aynı grafikten gemi servis hızındaki %5, %10 ve %15'lik azaltımların ortalama EEDI yüzdesinde sırasıyla %15, %25 ve %35 oranında azaltımlara yol açtığı söylenebilir.



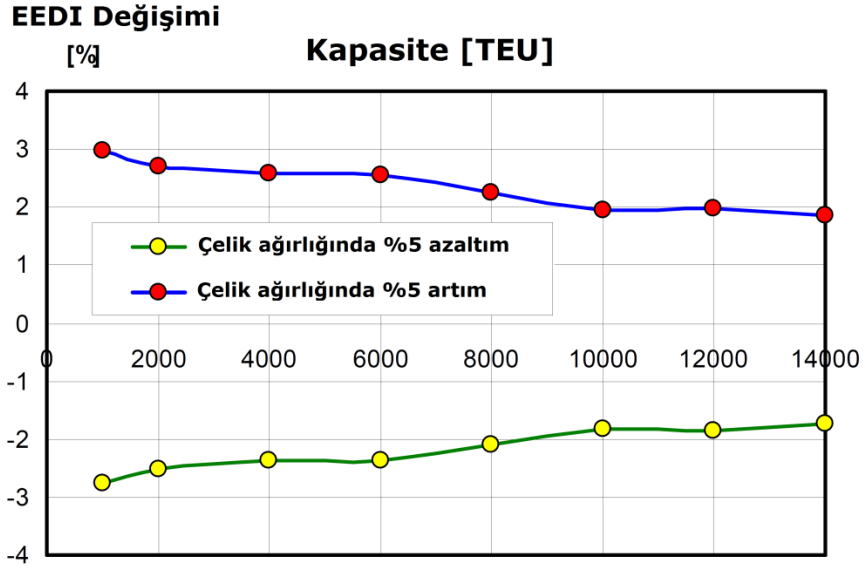
Şekil 3.3 : Hız azaltımının EEDI üzerine etkisi [29].

Şekil 3.4'te konteyner gemisinin dikmeler arası boyunda yapılacak artışın EEDI yüzdesi üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Şekilde yeşil çizgi ile blok katsayısının değiştiği dikmeler arası boyda yapılacak %5'lik bir artımın ve genişliğin değişmediği durum, mavi çizgi ile blok katsayısı değişmeden dikmeler arası boyun %5 artıp genişliğin %5 azaltıldığı durum için EEDI yüzdesindeki değişim konteyner taşıma kapasitesine bağlı olarak gösterilmektedir. Beklenildiği gibi konteyner taşıma kapasitesi arttıkça gemi boyundaki artışın EEDI'nın azalma yüzdesi üzerindeki etkisi düşmektedir. Gemi boyundaki artışla birlikte EEDI yüzdesi en fazla % 11 oranında azalmaktadır. Bu oran gemi servis hızındaki azaltıma nazaran çok düşüktür.



Şekil 3.4 : Dikmeler arası boyun EEDI üzerine etkisi [29].

Şekil 3.5'te konteyner gemisinin çelik ağırlığındaki değişiminin, enerji dizayn indeksi üzerindeki etkisi konteyner taşıma kapasitesine bağlı olarak gösterilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi, çelik ağırlığındaki %5 oranındaki bir artım en fazla EEDI oranında %3'lük bir artışa, %5 oranındaki bir azaltım ise en fazla EEDI oranında %3'lük bir azalışa sebep olmaktadır. Çelik ağırlığındaki değişim dikmeler arası boya ve özellikle gemi servis hızına göre EEDI üzerinde çok az etkilidir.



Şekil 3.5 : Çelik ağırlığındaki değişimin EEDI üzerine etkisi [29].

3.1.3 Gelecekte gemilerin EEDI oranlarını azaltacak önlemler

Çizelge 3.7’de EEDI oranlarını azaltacak teknolojik önlemler gösterilmektedir.

Çizelge 3.7 : EEDI oranlarını azaltacak önlemler [30].

No	EEDI azaltım önlemleri	Yorum
1	Optimize edilmiş tekne boyutları ve formu.	Geminin enerji verimliliğini arttırmak için ana boyutların (liman ve kanal sınırlamaları) ve tekne formlarının seçimi.
2	Hafif ağırlıklı inşaa.	Yeni hafif ağırlıklı gemi inşaa malzemeleri.
3	Tekne kaplaması.	İleri tekne kaplama/boyaları kullanımı.
4	Tekne hava yağlama sistemi.	Teknenin altına/etrafına ıslak yüzeyi azaltacak şekilde hava enjeksiyonu ve böylece gemi direnci azaltımı.
5	Tekne pervane etkileşiminin optimizasyonu/akım cihazlar.	Pervane-tekne-dümen dizayn optimizasyonu ek olarak gemi kıçında değişimler.
6	Ters yönlü dönen pervaneler.	Değişik doğrultuda dönen iki pervane.
7	Makine verimliliği iyileştirilmesi.	Uzun strok, elektronik enjeksiyon, değişken geometrili turboşarjır, vs.
8	Atık ısı geri kazanımı.	Ana ve yardımcı makinelerin egzoz gazlarından atık ısı geri kazanılması ve elektrik enerjisine dönüştürülmesi.
9	Gaz yakıt (LNG) kullanımı.	Doğal gaz ve çift yakıtlı makineler.
10	Hibrit elektrik gücü ve sevk sistemleri.	Bazı gemiler için hibrit veya elektrik kullanımı verimliliği arttıracak.
11	Güverte yönetim gücü talebini azaltmak (yardımcı sistem ve otel yükleri).	Maksimum ısı geri kazanımı ve esnek güç çözümleri ve yönetimi ile gerekli elektirik yüklerinin minimize edilmesi.
12	Pompalar, fanlar vs. için değişken hızlı sürücüler.	Dönen akış makineleri için değişken hızlı elektrik motorlarının kullanımı enerji kullanımlarını önemli miktarda azalmasına yol açar.
13	Rüzgar gücü (yelken, rüzgar, makine, vs.).	Yelkenler, fletnner rotoru, vs.
14	Güneş enerjisi.	Güneş fotovoltlu hücreler.
15	Dizayn hızı azaltımı (Yeni inşaa)	Düşük güçlü makineler kullanarak dizayn hızı azaltımı.

3.2 Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP)

MARPOL Ek VI Bölüm 4 ile gemilerin işletilmeleri sırasında enerji verimliliğinin dikkate alındığının doğrulanabilmesi için tüm gemilere Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı, SEEMP bulunması getirilmiştir. Mevcut gemilerde SEEMP'in hazırlanması ve gemide bulunduğunun doğrulanması yürürlüğe girdikten sonraki ilk ara veya yenileme sürveyinde (hangisi önce ise) yapılacaktır. “Büyük değişim” kapsamına giren değişimler için, idarelerin değerlendirmesine bağlı olarak enerji verimliliği kurallarına uygun olma şartı sağlanacaktır. Kurallara uygunluk sonucunda gemilere “International Energy Efficiency Certificate” düzenlenecektir.

3.2.1 Tanım

Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP), üstlenilen enerji tasarrufu önlemlerini ve bu önlemlerin enerji verimliliğinin geliştirmesi açısından ne kadar etkili olduğunu belirler. Ayrıca, geminin enerji verimliliğini daha da geliştirmek için hangi önlemlerin kabul edilebileceğini tanımlar [31,32].

Planlama, SEEMP'in en önemli safhasıdır. Bu, hem geminin mevcut durumda enerji kullanımının, hem de gemi enerji verimliliğinin beklenen gelişiminin ilk olarak belirlendiği safhadır. Bu nedenle en uygun, etkin ve uygulanabilir planın geliştirilebilmesi için planlamaya yeterli vaktin ayrılması teşvik edilmektedir [31, 32].

Bir geminin enerji verimliliği sayısal olarak izlenmelidir. Bu işlem oluşturulmuş bir yöntemle, tercihen uluslararası bir standartla yapılmalıdır. IMO tarafından geliştirilen EEOI, çalışmakta olan bir geminin ve/veya filonun enerji verimliliğine dair sayısal bir gösterge elde etmek için uluslararası olarak oluşturulmuş araçlardan biridir ve bu amaçla kullanılabilir. EEOI'nın IMO tarafından geliştirilen Kılavuza (MEPC.1/Circ.684) uygun olarak hesaplanması ve gerektiğinde belirli bir gemi ya da ticari operasyona göre ayarlanabilir olması tavsiye edilmektedir.

3.2.2 Yakıt tasarrufu sağlayabilecek faaliyetler

Geliştirilmiş sefer planlaması

En uygun rota ve gelişmiş verimlilik, yolculukların dikkatli şekilde planlanması ve yürütülmesi ile elde edilebilir. Kapsamlı yolculuk planlaması vakit gerektirir, ancak

planlama amacıyla kullanılan birçok farklı yazılım aracı bulunmaktadır. Yolculuk planlaması kılavuzlarına ilişkin A.893(21) sayılı IMO kararı (25 Kasım 1999), gemi mürettebatı ve yolculuk planlama sorumluları için temel bir kılavuz sağlar [32].

Hava durumuna göre rota belirleme

Havaya göre rota belirleme, belirli rotalarda verimlilik tasarrufları için yüksek bir potansiyele sahiptir. Ticari açıdan tüm gemi türleri ve birçok ticaret alanı için uygulanabilir. Bu şekilde kayda değer tasarruflar elde edilebilir; ancak tersine hava geçişleri belirli seferlerde yakıt tüketimini artırabilir [32].

Tam zamanında ulaşım

Bir sonraki limanla erken ve iyi iletişimin amacı, demirleme yerinin uygunluğunu maksimum süre öncesinde bildirmek ve limanda optimum hızın kullanılması için yaklaşmayı destekleyecek operasyonel prosedürlerin oluşturulması olmalıdır [32].

Optimum hale getirilmiş liman operasyonları, limanlarda bulunan farklı elleçleme düzenlemelerine göre farklı prosedürler yapmayı gerektirebilir. Liman yetkilileri verimliliği maksimuma çıkarmak ve gecikmeleri ise minimum indirmek için teşvik edilmelidir [32].

Hız optimizasyonu

Hız optimizasyonu, önemli tasarruflar sağlayabilir. Optimum hız, mil başına kullanılan yakıtın o yolculuk için minimum seviyede olduğu hız anlamına gelmektedir. Yani aslında optimum hız, minimum hız anlamına gelmemektedir. Optimum hızın altında seyrederken daha az değil daha çok yakıt tüketilir. Hız optimizasyonu için motor üreticisinin güç/tüketim eğrisine ve geminin pervane eğrisine bakılmalıdır. Düşük hızda çalışmanın olası olumsuz sonuçları arasında titreşim artışı ve yanma odaları ve egzoz sistemlerinde kurum birikme sorunları sayılabilir. Bu olası sonuçlar dikkate alınmalıdır.

Hız optimizasyonu işleminin bir parçası olarak, varış zamanlarının yükleme/boşaltma amaçlı demirleme yerlerinin vb. uygunluğu ile koordine edilmesine dikkat edilebilir. Hız optimizasyonu değerlendirilirken belirli bir ticari rotada seyreden gemilerin sayısı dikkate alınmalıdır [32].

Bir limandan ya da nehir ağzından çıkarken motor yükünü belirli limitlerde tutup hızda kademeli bir artış sağlamak, yakıt tüketiminin azaltılmasına yardımcı olabilir [32].

Birçok gemi kira sözleşmesinde gemi hızının işletmeci değil, kiracı tarafından belirlendiği bilinmektedir. Gemi kira sözleşmesi yapılırken, enerji verimliliğini maksimum düzeye çıkarmak amacıyla gemiyi optimum hızda çalışmaya teşvik etmek için çaba gösterilmelidir [32].

Optimum şaft gücü

Geminin sabit şaft devrinde çalıştırılması, motor gücü ile hızı sürekli olarak ayarlamaktan daha verimli olabilir. İnsan müdahalesine bağlı hız kontrolü yerine otomatik motor yönetim sistemlerini kullanmak faydalı olabilir [32].

Optimum gemi trimi

Çoğu gemi, belirlenmiş miktarda yükü belirli bir hızda taşıırken belirli miktarda yakıt tüketmek için tasarlanmaktadır. Bu durum, geminin belirli trim koşullarının tanımlanması anlamına gelmektedir. Yüklü ya da boş durumda, geminin trimi geminin suda göstereceği direnç üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve gemi triminin optimum hale getirilmesi önemli yakıt tasarrufu sağlayabilir. Her su çekimi için, minimum direnç gösteren bir gemi trim koşulu vardır. Bazı gemilerde, yakıt verimliliği için gemi trim koşullarını yolculuk boyunca sürekli olarak değerlendirmek mümkündür. Tasarım ya da emniyet faktörleri gemi triminin optimizasyonunun tam kullanımını engelleyebilir [32].

Optimum balast

Balast; optimum trim ve dümen kabiliyeti ile birlikte; iyi yük planlaması sonucu elde edilen optimum balast koşullarını dikkate alarak ayarlanmalıdır. Optimum balast koşullarını belirlerken, geminin balast suyu yönetim planında belirtilen limitlere, koşullara ve balast yönetim düzenlemelerine o gemi için dikkat edilmelidir [32]. Balast koşullarının, dümen kabiliyeti ve otomatik pilot ayarları üzerinde önemli bir etkisi vardır ve daha az balast suyunun en yüksek verimlilik anlamına gelmediği unutulmamalıdır.

Optimum pervane ve pervaneye gelen akımlarla ilgili hususlar

Pervane seçimi normalde bir geminin tasarım ve yapım safhasında belirlenir. Ancak pervane tasarımındaki yeni gelişmeler, daha yüksek yakıt ekonomisi sağlamak için pervanenin daha yeni tasarımlarla değiştirilmesini mümkün kılmıştır. Bu durumun kesinlikle dikkate alınması gerekmektedir birlikte, pervanenin tahrik sisteminin yalnızca bir parçası olması ve yalnızca pervanede yapılacak bir değişikliğin verimlilik üzerinde herhangi bir etki göstermeyebileceği ve hatta yakıt tüketimini arttırabileceği bilinmelidir. Finler ve/veya nozullar gibi düzenlemeler kullanılarak pervaneye su girişinde yapılan düzenlemeler, tahrik gücü verimliliğini arttırabilir ve dolayısıyla yakıt tüketimini düşürebilir [32].

Dümen ve rota tutma kontrol sistemlerinin (otomatik pilotlar) optimum kullanımı

Otomatik rota tutma ve dümen kontrol sistemleri teknolojisinde büyük gelişmeler olmuştur. Aslen köprü üstü güverte ekibini daha etkin hale getirmek için geliştirilmiş olsalar da, modern otomatik pilotlar daha fazla performans gösterebilir. Entegre Navigasyon ve Komut Sistemi, "rotadan saparak" katedilen mesafeyi basit biçimde azaltarak önemli oranda yakıt tasarrufu sağlayabilir. Prensibi basittir; daha seyrek ve daha küçük düzeltmelerle sağlanan daha iyi rota kontrolü, dümen direnci kaynaklı kayıpları minimuma indirecektir. Mevcut gemilerin daha verimli bir otomatik pilotla donatılması değerlendirilebilir. Limanlara ve pilot istasyonlara yaklaşılırken dümen, verilen komutlara hızlıca tepki vermek zorunda olduğu için otomatik pilot her zaman etkin olarak kullanılamaz. Dahası, seferin belirli bölümlerinde örn. yoğun hava şartları ve limanlara yaklaşılırken otomatik pilotun devre dışı bırakılması ya da çok dikkatli ayarlanması gerekebilir. Geliştirilmiş dümen yelpazesi dizaynının kullanımı da ("çift akışlı" dümen gibi) düşünülebilir [32].

Tekne bakımı

Havuzlama aralıkları, gemi işletmecisinin devam eden geminin performans değerlendirmesi ile entegre edilmelidir. Tekne direnci, muhtemelen temizlik aralıkları ile birlikte yeni teknoloji kaplama sistemleri ile optimize edilebilir. Tekne kondüsyonunun su altı muayeneleri ile denetimi tavsiye edilmektedir [32].

Pervane temizliği ve cilalama ve hatta uygun kaplama yakıt verimliliğini önemli ölçüde artırabilir. Gemilerin su altında tekne temizliği ile verimliliklerinin

sürdürülmesi ihtiyacı, Liman devletleri tarafından değerlendirilmeli ve kolaylık sağlanmalıdır. Tekrarlanan spot raspa ve birçok havuzda yapılan tamirlerden kaynaklanan tekne pürüzlülüğünün artması problemini önlemek için, su altı boya sistemlerinin zamanı geldiğinde tamamen sökölme ya da değıştirilme imkanı göz önünde bulundurulabilir. Genellikle, tekne ne kadar pürüzsüzse yakıt verimliliğı o kadar iyi olur [32].

Tahrik sistemi

Dizel deniz motorları çok yüksek bir termal verimliliğı sahiptir (~%50). Bu mükemmel performans yalnızca ortalama yüzde 60 termal verimliliğı sahip yakıt hücresi teknolojisi ile aşılabılır. Bunun nedeni, ısı ve mekanik kaybın sistematik şekilde minimuma düşürölmesidir. Özellikle yeni nesil elektronik kontrollü motorlar verimlilik kazanımları sağlayabilir. Yine de, maksimum fayda sağlamak için ilgili personelin özel olarak eğitilmesi düşünülebilir [32].

Tahrik sistemi bakımı

Üretici talimatlarına uygun olarak şirketin planlı bakım programıyla gerçekleştirilen bakım, verimliliğı de sürdürecektir. Motor durumu izleme yönteminin kullanılması, yüksek verimliliğın sürdürölmesi için yararlı bir araç olabilir [32].

Motor verimliliğini arttırmak için ek yöntemler şunlar olabilir:

- Yakıt katkı maddelerinin kullanılması;
- Silindir yağlama yağı tüketiminin ayarlanması;
- Valf iyileştirilmesi;
- Tork analizi; ve
- Otomatik motor izleme sistemleri;

Atık ısının geri kazanılması

Atık ısının geri kazanılması günümüzde bazı gemiler için ticari anlamda uygulanabilir bir teknolojidir. Atık ısıyı geri kazanma sistemleri, elektrik üretimi ya da bir şaft motoruyla ek tahrik için egzoz gazından kaynaklanan termal ısı kayıplarını kullanırlar. Mevcut sistemlerin bu tür sistemlerle donatılması mümkün olmayabilir. Yine de, bu yöntem yeni gemiler için yararlı bir seçenek olabilir. Gemi inşacıları, yeni teknolojileri tasarımlarına dahil etmeye teşvik edilmelidirler [32].

Geliştirilmiş filo yönetimi

Filo kapasitesinin daha iyi şekilde kullanılması, genellikle filo planlamasındaki iyileştirmelerle sağlanabilir. Örneğin, geliştirilen filo planlaması ile uzun balast yolculuklarının önlenmesi ya da azaltılması mümkün olabilir. Bu hususta kiracılar için verimliliği artırma fırsatı bulunmaktadır. Bu yöntem, "tam zamanında ulaşım" konseptiyle yakından alakalı olabilir. Bir şirket bünyesindeki verimlilik, güvenilirlik ve bakım odaklı veri paylaşımı, bir şirketteki gemiler için en iyi uygulamanın geliştirilmesi için kullanılabilir ve aktif olarak teşvik edilmelidir [32].

Geliştirilmiş yük elleçleme

Yük elleçleme, çoğu durumda limanın kontrolü altında olup gemi ve liman gerekliliklerine yönelik optimum çözümler bulunmalıdır [32].

Enerji yönetimi

Gemideki elektrik servislerinin incelenmesi, beklenmeyen verimlilik kazanımları için potansiyeli açığa çıkarabilir. Ancak elektrik servislerini (örn. aydınlatmalar) kapatırken yeni emniyet tehlikelerinden kaçınılmaya dikkat edilmelidir. Isı yalıtımı, enerji tasarrufu için başvuru bilindik bir yoldur. Soğutmalı konteyner istifleme konumlarının optimizasyonu, kompresör ünitelerinden gelen ısı aktarımının etkisini düşürmede yararlı olabilir. Bu, uygun şekilde yük tankı ısıtması, havalandırması vb. ile birleştirilebilir. Daha düşük enerji tüketimli su soğutmalı düzenek kullanımı da değerlendirilebilir [32].

Yakıt tipi

Yeni geliştirilen alternatif yakıtların kullanımı, CO₂'i azaltma yöntemi olarak değerlendirilebilir, ancak genellikle yakıtların bulunabilirliği bu yöntemin uygulanıp uygulanamayacağı konusunda belirleyicidir [32].

Diğer önlemler

Emisyon "ayak izini" belirlemek için yakıt tüketiminin hesaplanması, operasyonların optimizasyonu ve hedeflerin belirlenerek gelişimin izlenmesi için bilgisayar yazılımlarının kullanımı düşünülebilir.

Son yıllarda rüzgar, güneş (ya da fotovoltaik) pil teknolojisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları önemli derecede geliştirilmiştir ve gemide uygulanmak üzere değerlendirilmelidir.

Bazı limanlarda bazı gemiler için sahil beslemesi mevcut olabilir, ancak bu genellikle liman bölgesindeki hava kalitesini geliştirme amacıyla yapılmaktadır. Kıyıdan gelen güç kaynağı karbon açısından verimliyse, net bir verimlilik faydası oluşabilir. Gemiler, uygunsa sahil beslemesini kullanmayı değerlendirmelidir. Rüzgar destekli tahrik de değerlendirmeye alınabilir. Belirli bir güç çıkışı sağlamak için gerekli olan yakıt miktarını minimum düzeye indirmek amacıyla kalitesi yüksek yakıt beslemesi yapmaya çaba gösterilebilir [32].

3.2.3 Örnek SEEMP Planı Formatı

Çizelge 3.8’de gemi enerji verimliliği yönetim planı (SEEMP) gösterilmektedir.

Çizelge 3.8 : Örnek SEEMP Planı [32].

Gemi Adı:		GT:	
Gemi Tipi:		Kapasite:	
Geliştirme Tarihi:		Geliştiren:	
Uygulama Süresi:	Başlangıç:	Uygulayan:	
	Bitiş:		
Bir sonraki planlanan değerlendirme tarihi:			
1. ÖNLEMLER			
Enerji Verimliliği Önlemleri	Uygulama	Sorumlu Personel	
Hava Durumuna göre rota belirleme	Örnek; Servis sağlayıcılar tarafından sağlanan bilgilere göre optimum rota seçiminden kaptan sorumludur.	[Servis sağlayıcılar] tarafından sağlanan bilgilere göre optimum rota seçiminden kaptan sorumludur.	
Hız Optimizasyonu	Örnek: 1 Mayıs 2013 tarihi itibariyle tasarım hızı (%85 MCR) 19kt iken 18kt olarak belirlendi.	Gemi hızından ve kontrol edilmesinden kaptan sorumludur.	
2. İZLEME			
İzleme araçlarına dair açıklamalar bu bölümde yer almalıdır.			
3. HEDEFLER			
Ölçülebilir hedefler buraya yazılmalıdır.			
4. DEĞERLENDİRME			
Değerlendirme prosedürleri buraya yazılmalıdır.			

3.3 Dünya Filosunun CO₂ Salınım Miktarının Azaltımında EEDI ve SEEMP Etkisi

Uluslararası iklim değişikliği panelinde dünya nüfusu, ekonomik gelişim ve enerji tüketimi artışları üzerine 6 senaryo (A1 için üç senaryo, B1, A2 ve B2 için birer senaryo) hazırlanmıştır [33]. A1, hızlı ekonomik gelişimin sürdüğü ve dünya nüfusunun en yüksek seviyesine 21'inci yüzyılın ortasında ulaştığı, yeni teknolojilerinin ve enerji verimliliği teknolojilerinin hızlı bir şekilde geliştiği, kişi başına düşen bölgesel gelir açığının hızlı bir şekilde azaldığı bir senaryodur [33]. A1 senaryo ailesi üç gruba ayrılmıştır. A1FI fosil enerji kaynakları, A1T fosil olmayan enerji kaynakları ve A1B bütün enerji tipleri için geliştirmiş senaryolardır [33]. A2 senaryosunda bölgesel gelişim ana faktördür. B1 senaryosunda ekonomik yapı bilgi ekonomilerine doğru hızlı bir şekilde değişmekte, malzemeye yönelik eğilim azalmakta temiz ve ekonomik teknolojiler geliştirilmeye başlanmıştır [33]. B2 senaryosunda, A2 senaryosuna nazaran dünya nüfusu daha hızlı artmaktadır ve ekonomik gelişim orta seviyededir.

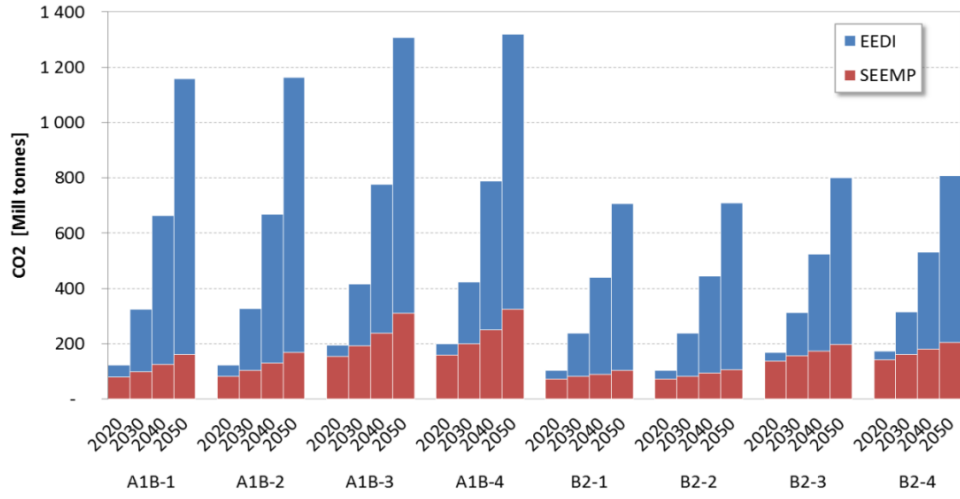
IMO'nun sera gazları üzerine 2009 yılında yaptığı çalışmada, Uluslararası iklim değişikliği panelinin A1B ve B2 senaryoları kullanarak, dünya filusunun CO₂ salınımının 2050'ye kadar tahmininde kullanılmak üzere geliştirilmiş, uluslararası düzenlemeleri ve teknolojik gelişmeleri göz önünde bulunduran değişik seneryolar ve bu seneryolara EEDI ve SEEMP'in katılım etkisi Çizelge 3.9'da gösterilmektedir [30].

Çizelge 3.9 : Dünya Filosu CO₂ salınımı tahmini senaryoları [30].

Senaryo	EEDI senaryo	SEEMP uptake	Yakıt Fiyatı Senaryosu
A1B-1	Düzenleme	Düşük*	Referans
A1B-2	Düzenleme	Düşük	Yüksek
A1B-3	Düzenleme	Yüksek**	Referans
A1B-4	Düzenleme	Yüksek	Yüksek
B2-1	Düzenleme	Düşük	Referans
B2-2	Düzenleme	Düşük	Yüksek
B2-3	Düzenleme	Yüksek	Referans
B2-4	Düzenleme	Yüksek	Yüksek

Çizelgede * %30 **%60 katılımı göstermektedir.

Şekil 3.6’da değişik seneryolar için dünya filosu CO₂ salınımının azaltımında EEDI ve SEEMP’in karşılaştırmalı etkisi gösterilmektedir.



Şekil 3.6 : Dünya filosu CO₂ salınımının azaltımında değişik senaryoların etkisi [30].

Çizelge 3.10 : EEDI ve SEEMP’e bağlı emisyon azaltımı [30].

Emisyon Azaltımı	A1B 1	A1B 2	A1B 3	A1B 4	B2 1	B2 2	B2 3	B2 4
EEDI (mil. ton)	0				0			
SEEMP (mil. ton)	22	22	42	43	21	22	41	42
Toplam (mil. ton)	22	22	42	43	21	22	41	42
% Toplam	%2	%2	%4	%5	%2	%2	%5	%5
EEDI (mil. ton)	42				31			
SEEMP (mil. ton)	80	81	154	158	72	73	138	142
Toplam (mil. ton)	122	123	196	200	103	104	169	173
% Toplam	%10	%11	%17	%17	%10	%10	%16	%17
EEDI (mil. ton)	538				551			
SEEMP (mil. ton)	100	103	192	199	82	83	156	161
Toplam (mil. ton)	324	327	416	423	237	238	312	316
% Toplam	%30	%30	%35	%35	%28	%28	%33	%34
EEDI (mil. ton)	995				603			
SEEMP (mil. ton)	162	168	311	325	103	106	197	205
Toplam (mil. ton)	1158	1164	1306	1320	706	709	800	808
% Toplam	%36	%36	%41	%41	%35	%35	%40	%40

Şekil 3.4’teki ve Çizelge 3.10’daki senaryolardan aşağıdaki şu bulgulara ulaşabiliriz:

- Gemi kaynaklı CO₂ emisyonunun, EEDI ve SEEMP düzenlemeleriyle önemli miktarlarda azalacağı görülmektedir.
- 2020'ye kadar SEEMP, CO₂ emisyonunun azaltılmasında EEDI'ye nazaran çok daha etkili olacaktır çünkü mevcut gemilere uygulanabilmektedir.
- Yeni kural ve düzenlemelere uygun şekilde dizayn edilmiş gemilerin, eski az tonajlı verimsiz gemilerin yerini almasıyla birlikte EEDI'nin etkisi artacaktır. Bu da 2030'dan itibaren görülmektedir.
- A1B-4 ve B-2 senaryolarının ortalaması alındığında, 2020 yılından itibaren yeni gemiler için EEDI düzenlemelerinin ve mevcut gemiler için SEEMP planlarının devreye girmesiyle birlikte, dünya filosunun CO₂ salınımı 151.5 milyon ton düşeceği, bu rakamın 2030'da 330, 2040'da ise 615 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir.

4. IMO DIŞINDAKİ ÇEVRESEL İNDEKSLER

IMO ile beraber diğerk organizasyonların da kendilerine özgü emisyon kontrol indeks ve yöntemleri bulunmaktadır. Bir çok klas kuruluşu, liman işletmesi ve araştırma geliştirme merkezi, çevre dostu gemi üretmek üzere çalışmaktadır. Bu bölümde, bu diğerk kuruluşların oluşturduğu emisyon yöntemleri kısaca açıklanacaktır.

4.1 Gemi Dizel Makinası Emisyonlarının Sürekli İzlenmesi

Bu görüntüleme sistemi İngiltere menşeeeli Martek Deniz firması tarafından geliştirilmiştir. Onların ifadesine göre; bu sistem ilk klas onaylı NO_x, SO_x, ve CO₂ emisyonlarının güvertede izleme sistemidir [34]. (Lloyds Register (LR) ve Det Norske Veritas (DNV) onaylıdır. Son sürüm yazılımı IMO'nun en güncel EEDI formülüyle donatılmıştır; bu da emisyon izleme düzeyinin ve trendinin daha düzgün olmasını sağlamıştır. Bunun yanı sıra bu sistem NO_x azaltımı için MARPOL EK VI düzenleme 13 ve çevresel performans yönetim sistemi için ISO 14001'e uygundur [34].

4.2 Ulstein Gemi Emisyon İndeksi

Ulstein gemi emisyon indeksi, gemi sahiplerine emisyonların çevreye etkilerini anlatan, politik ve endüstriyel problemlerle ilgili karşılaştacakları zorluklarla mücedelelerinde yardımcı olan ve artan yeni inşa ve işletme masrafları ile ilgili yol gösteren bir indekstir [35]. İndeks aşağıdaki konularda bilgi vermektedir:

- Emisyon takibi
- Emisyon indeksi hesaplaması
- CO₂ performans göstergesi skoru

Bu indeks emisyon azaltımı için herhangi bir yöntem belirtmekten ziyade değişik gemilerin emisyon salınımlarının ölçülmesi ve karşılaştırması için yol gösterir [35].

CO₂ performans göstergesi skoru regrasyon analizine dayalıdır ve aynı tipte değişik boyutlarda ve gemi sistemi düzenlemelerine sahip gemilerin karşılaştırmasına olanak verir [35].

Emisyon takibinde CO₂, NO_x, and SO_x miktarları birim iş veya zaman başına kg/birim iş veya ton/yıl olarak sunulur [35].

Emisyon indeks hesabında aşağıdaki veriler sunulur;

- Dış emisyon maaliyetleri (Milyon Avro veya dolar)/yıl
- Emisyon maliyet indeksi (Avro veya dolar)/birim iş
- Yıllık emisyon : ton-denikleri/yıl
- İndeks: Kg-denikleri/birim iş.

Emisyon indeksi incelenen benzer tipteki gemilerle 1 ile 7 arasında bir seviye skoru verecek şekilde ve ortalama değer 4 alınarak bakılır. Seviye skorunun 4 üzerinde olması geminin emisyon performansının örneklerin ortalamasından daha iyi olduğu anlamına gelmektedir [35].

Dizaynın geliştirilmesine olanak olduğu noktada bu indeks uygulanabilir. Emisyonların %80'i dizayn konfigürasyonlarından hesaplanır. Gelişmeler ve ölçümler indekse yansıtılır. Standartlaştırma yöntemi benzer tipte gemilerle karşılaştırıldığı için eleştiriye açıktır. Bütün gemi tipleri için hesaplanabilir ancak amacı değişik fonksiyonlara sahip gemilerin karşılaştırılması değildir [35].

4.3 Çevresel Gemi İndeksi

Dünyadaki 55 tane kilit liman sera gazı emisyonlarını azaltmak için bir araya gelip, çevresel gemi indeksini (ESI) geliştirmişlerdir. ESI'da uluslararası kuruluşların mevzuatıyla (IMO) karşılaştırılarak gemi performanslarına puan verilir [36]. Tüm gemi tiplerine uygulanabilir.

ESI formülü NO_x, SO_x, ve CO₂ için değişik kısımlardan oluşmaktadır. NO_x çevreye zararı SO_x'in iki katı olarak kabul edilmektedir. ESI de 0'dan 100'e kadar değer elde edilir. 0 çevresel performans düzenlemelerini ancak sağlayan gemileri, 100 ise SO_x ve NO_x emisyonu olmayan gemileri göstermektedir. Denklem (4.1)'deki bağıntıyla hesaplanır [36].

$$ESI = \frac{1}{3.1} (2 * ESI_{NO_x} + ESI_{SO_x} + RR_{CO_2}) \quad (4.1)$$

Burada

ESI_{NO_x} , NO_x için çevresel gemi indeksidir. Denklem (4.2)'de ifade yardımıyla belirlenir [36].

$$ESI_{NO_x} = \frac{100}{\sum_{i=1}^n P_i} * \sum_{i=1}^n \frac{(NO_x \text{ limit değeri} - NO_x \text{ oranı})}{NO_x \text{ limit değeri}} \quad (4.2)$$

Burada

P_i : makine gücü

$NO_{x,oranı}$: makinenin sertifikalanmış NO_x emisyonu (g/kwh)

$NO_{x,limit \text{ değeri}}$: makine için izin verilen emisyon oranı

ESI_{SO_x} , SO_x için çevresel gemi indeksidir. Denklem (4.3)'teki ifade yardımıyla belirlenir [36].

$$ESI_{SO_x} = a\% * 30 + b\% * 35 + c\% * 35 \quad (4.3)$$

Burada

a: Açık denizde yakıtın ortalama sülfür içeriğinin nispi azaltımı

b: ECA bölgesinde yakıtın ortalama sülfür içeriğinin nispi azaltımı

c: Limanlarda yakıtın ortalama sülfür içeriğinin nispi azaltımı

RR_{CO_2} : CO_2 emisyonları direkt olarak yansıtılmaz fakat enerji verimliliği raporunda 10 puan olarak kabul edilir.

Çizelge 4.1'de ESI hesaplamasında gerekli veriler gösterilmektedir [36].

Çizelge 4.1 : ESI hesaplamasında gerekli veriler [36].

	ESI NO _x	ESI SO _x	RR CO ₂
Belge :	EIAPP sertifikası	1 yıl üzeri yakıt alma notları	Enerji verimliliği operasyon indeksi (EEOI) yada gemi enerji yönetim planı
Gerekli Veriler :	Ana ve Yardımcı makine güçleri (kW) ve devirleri (rpm) Güncel NO _x emisyon değeri	Yakıt tipi başına her bir yakıt alma için ortalama yakıttaki sülfür içeriği Her bir yakıt alımında yakıt tipi ve miktarı	Enerji verimliliği opreasyon indeksi (EEOI) yada gemi enerji yönetim planının kabulü

4.4 Ticaret İçin Sosyal Sorumluluk (BSR) İndeksi

Şirketlerin kargolarının konteynerler ile taşınması sırasında CO₂ salınımlarının hesaplanması için geliştirilen bir indekstir [37]. Bu indekste CO₂ emisyonları g/TEU-km olarak ifade edilmektedir [37]. IMO indeksinden farkları;

- İndeks sadece konteyner gemileri için geliştirilmiştir.
- İndeks geminin her zaman tam yüklü kabulüyle hesaplanır.
- Konteynerleri soğutmada kullanılan yakıt hesaba katılmaz.
- İndeks aynı rotadaki bir grup gemi için hesaplanır.

4.5 INTERTANKO İndeksi

INTERTANKO (Uluslararası Tanker Organizasyonu) indeksi IMO indeksine paralel olarak benzer amaçlar için geliştirilmiştir. Aralarındaki fark yükün taşınmasında kabul edilen tanımdır [37].

4.6 Temiz Gemi İndeksi

Temiz gemi indeksi (CSI), İsveç Göteborg'da indekse adını veren projeyle geliştirilmiştir. Bu indeks çevresel etkilerin çoğunu hesaba katar. Örneğin; havaya ve suya emisyonlar, kimyasallar ve korozyon önleyiciler. İndeks gemilerin çevreye olan etkilerine beş değişik alanda (NO_x, SO_x, Partikül Madde (PM), CO₂ emisyonları ve kimyasal, su ve atık kontrolü) puanlayarak odaklanır [38].

Maksimum skor 150 olmak üzere her bir alan için 30 puandır. Bu tip bir puanlama yöntemi geminin hangi alanda daha iyi olduğunu görülmesine olanak tanır. Her bir alan için ayrı kriter ve puanlaması vardır. Çevresel performanslar taşıyıcı ve gemi için ayrı ayrı puanlanır [38]. Sonuçta, yeşil (iyi), sarı (orta) ve kırmızı (zayıf) performansı gösterecek şekilde gruplanır.

4.7 Kore Finans Birliğinin Yeşil Gemi Programı

Bu program, Kore finans birliğinin gemi emisyonlarını azaltacak gemi sahiplerine getirdiği düşük faiz oranlı borç ayrıcalığı sağladığı yeşil gemi finans programıdır [39]. Bu finansal ayrıcalıklardan yararlanabilmek için gemiler hava kirleticiler (örneğin; NO_x, SO_x, vs), CO₂ veya sera gazı (GHG) azaltacak teknolojiler kullanarak inşa edilmelidir [39].

4.8 Klas Kuruluşlarının Çevre Notasyonları

DNV, RINA, NK, LR ve ABS klas kuruluşlarının çevre duyarlı gemiler için geliştirdikleri çeşitli notasyonlar bulunmaktadır.

4.8.1 DNV çevre notasyonu

DNV Temiz (CLEAN) ve Temiz Tasarım (CLEAN DESIGN) notasyonları gönüllü (zorunlu olmayan) klas notasyonları olup zararlı hava kirleticiler emisyonlarının ve kazaların sonuç ve olasılıklarını sınırlandırmaya yöneliktirler [40].

“CLEAN”: MARPOL’ün ek gereksinimlerini karşılar

“CLEAN DESIGN”: “CLEAN” notasyonu gibidir fakat daha sıkı ek gereksinimleri vardır ve bunlara ek olarak kazaların önlenmesi ve sınırlandırılması için ek şartlar içermektedir [40].

“CLEAN” notasyonlu gemiler genelde IMO NO_x sertifikası veya uygun makineler için denk bir sertifikayı taşır [40].

“CLEAN DESIGN” notasyonunu alabilmesi için;

- Gemilerin makineleri IMO NO_x eğrisinde belirtilenden %30 daha az NO_x salınımı yapmalıdır.

- Geminin kurallara uygun çalıştığının gösterilebilmesi için yakıt sülfür içeriğinin her zaman belirlenmiş olan sınırın altında olması gereklidir.
- Gemi Sülfür Emisyon Kontrol Alanı (SECA) ve limanlarda çalışırken düşük sülfürlü yakıtla çalıştığını kanıtlamalıdır.

4.8.2 RINA çevre notasyonu

İtalyan klas kuruluşu RINA, MARPOL ve dengi yasal mevzuatları karşılayan gemilere “Yeşil Yıldız” (Green Star) notasyonunu vermektedir [41,42]. Bunu bir adım daha öteye götürerek “Yeşil Artı” (Green Plus) notasyonunu sunmuştur. Bu notasyonu ancak yeni gemiler kazanabilir çünkü belirlenen sınır değerlerin çok altında olan bu notasyonu kazanabilmek için dizayn ve güverte üstü ekipmanlarına ciddi yatırım yapılması gereklidir [41,42].

4.8.3 ABS çevre notasyonu

ABS, MARPOL EK I, II, IV, V ve VI gereksinimlerini karşılayan gemilere “ENVIRO” notasyonunu vermektedir [43]. “ENVIRO+” notasyonunu ise “ENVIRO” notasyonunu karşılayıp ek olarak deniz ve havaya atık bırakma ve destek düzenlemeleri ile ilgili ekstra şartları sağlayan gemilere vermektedir [43].

4.9 Baltık Bölgesi Çevresel Verimlilik İndeksi

Baltık Bölgesi Çevresel Verimlilik İndeksi (BREEL) üç ana kısımdan oluşmaktadır [44]. Bunlar;

- Atık su
- Petrol, yağ, balast
- Hava emisyonları ve yakıt tüketimi

Bu indekste gemiler dört tipe ayrılıp ayrı ayrı değerlendirilir ve her bir alt grup, özel karakteristikleri ve çevreye etkilerine göre puanlandırılır [44]. Gemi tipleri, kargo(yolcu taşımayan gemiler), seyahat (yük taşımayan yolcu taşıyan gemiler), “RoPax” (hem yolcu hem kargo taşıyan gemiler yolculuk ve seyahat süresi 2 saatten çok gemiler) ve Feribottur (yolcu ve yük taşıyan fakat yolculuk süresi 2 saatten az gemiler). İndeks, -3 ile 5 arasında gemi tipi ve çevreye etkisine bağlı olarak başlar, çevreye zararlı olan etkiler (-) puanlanır, enerji verimliliğinde yapılan olumlu değişiklikler ise (+) olarak puanlanır. Her bir alt grubun puanı bu (+) ve (-) puanlar

toplanarak bulunur. Alt grupların puanları toplanarak Baltık Bölgesi Çevresel Verimlilik İndeksi bulunmuş olur [44].

4.10 Rightship İndeksi (EVDİ)

Bu çalışmada kullanılan indeks olduğu için detaylı bir şekilde Bölüm 5’te anlatılacaktır [45].

5. MEVCUT GEMİLER İÇİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ

5.1 Mevcut Gemiler için Enerji Verimliliği İndeksi (EVDI)

Mevcut gemiler için enerji verimliliği dizayn indeksi (EVDI), IMO MEPC'in enerji verimliliği dizayn indeksine (EEDI) benzer şekilde gemilerin karbondioksit (CO₂) emisyonlarını ölçmekle birlikte mevcut gemilere de uygulanabilir [45]. Yakıt tüketimi gibi her gemiye özgü verilere ulaşılamadığı durumlarda EVDI'yı belirlemek için, IMO sera gazı çalışması ve/veya IMO düzenlemelerinde yer alan kabuller kullanılmaktadır [45]. EVDI hesaplama formülü (5.1)'de gösterilmektedir.

$$\begin{aligned}
 \text{EVDI} &= \frac{(\prod_{j=1}^M f_j) (\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} C_{FME(i)} SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} C_{FAE} SFC_{AE*})}{f_i \text{Kapasite } V_{ref} f_w} \\
 &+ \frac{((\prod_{j=1}^M f_j \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} P_{AEeff(i)}) C_{FAE} SFC_{AE})}{f_i \text{Kapasite } V_{ref} f_w} \\
 &- \frac{\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} P_{eff(i)} C_{FME} SFC_{ME**}}{f_i \text{Kapasite } V_{ref} f_w}
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

Çizelge 5.1'de, ana makine yakıt tüketimi gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 : Ana makine yakıt tüketimi, SFC_{ME} [45].

Makine Yaşı	MCR _{ME} (kw)	SFC _{ME} (g/kwh)
1983 öncesi	>15000	205
	15000> >5000	215
	<5000	225
1984-2000	>15000	185
	15000> >5000	195
	<5000	205
2001-2007	>15000	175
	15000> >5000	185
	<5000	195

Çizelge 5.2’de, yardımcı makine yakıt tüketimi gösterilmektedir.

Çizelge 5.2 : Yardımcı makine yakıt tüketimi, SFC_{AE} [45].

Makine Yaşı	$MCR_{AE} > 800 \text{ kW}$	$MCR_{AE} < 800 \text{ kW}$
Hepsi	220 g/kWh	230 g/kWh

Ana makine gücü, ana makinenin maksimum çalışma oranının yüzde 75’i alınarak Denklem (5.2)’deki şekilde hesaplanır [45].

$$\text{Ana makine gücü} = 0.75 MCR_{ME} \quad (5.2)$$

Yardımcı makine gücü Çizelge 5.3’teki formülle hesaplanır [45].

Çizelge 5.3 : Yardımcı makine gücü P_{AE} [30].

MCR_{ME}	$> 10,000 \text{ kW}$	$< 10,000 \text{ kW}$
P_{AE}	$=(0.025 * MCR_{ME}) + 250$	$0.05 * MCR_{ME}$

Gemi hızı (V_{ref}), dizayn hızına eşit alınır [45].

Kapasite, dökme yük, tanker, gaz taşıyıcı tanker, roro kargo ve genel kargo gemilerinin DWT’unun tamamına eşit alınır, konteyner gemileri için DWT’un %70’i alınır, yolcu ve ro-ro yolcu gemilerinin gros tonaja eşit alınır [45].

Çizelge 5.4’te, hesaplamalarda kullanılan C_F dönüşüm faktörleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.4 : Yakıt tipine göre C_F dönüşüm faktörleri [45].

Yakıt tipi	Karbon içeriği	C_F (t-CO ₂ /t-Fuel)
Diesel/Gas Oil (DGO)	0.875	3.206
Light Fuel Oil (LFO)	0.86	3.15104
Heavy Fuel Oil (HFO)	0.85	3.1144
Liquified Petroleum Gas (LPG)		
Propane	0.819	3.000
Butane	0.827	3.030
Liquified Natural Gas (LNG)	0.75	2.750

5.2 Mevcut gemiler için sera gazı emisyon değ erlendirmesi

Sera gazı emisyon değ erlendirmesi (GHG Rating), basit bir A-G skalası kullanarak, benzer boyutlu ve tipteki gemilerin teorik karbondioksit emisyonlarını kar ıla tırmaya olanak veren yenilikçi bir ölçümüdür. A-G kıyaslama  l    , deniz ta ımacılarının değişik gemileri kar ıla tırarak en enerji verimli gemiyi tanımlamasına olanak verir [45].

A-G kıyaslama  l     istatistiksel z skorunun hesabına dayalıdır. A-G kıyaslama  l     sırasıyla aşağıdaki gibi belirlenir [45].

1. Her biri geminin EVDI değ erinin logaritması alınır,
2. Tipleri aynı olan gemilerin logaritması alınmış EVDI değ erlerinin ortalamasını ($\hat{y}$) ve standart sapmasını (σ) bulunur,
3. Z skorunu (5.3) kullanarak belirlenir.

$$z \text{ skor} = \frac{y_i - \hat{y}}{\sigma} \quad (5.3)$$

burada

y_i gemilerin logaritmik EVDI değ erlerini

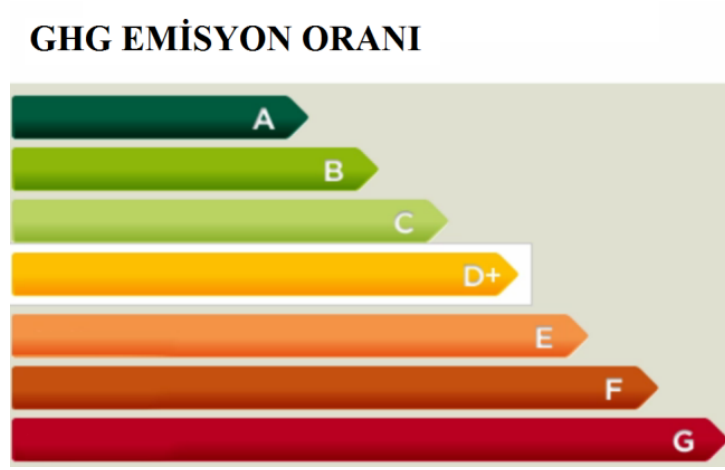
($\hat{y}$): Tipleri aynı olan gemilerin logaritması alınmış EVDI değ erlerinin ortalaması

σ : Tipleri aynı olan gemilerin logaritması alınmış EVDI değ erlerinin standart sapmasını göstermektedir.

Çizelge 5.5 ve  ekil 5.1’de sera gazı emisyon oranı değ erlendirmesinin z skoruna bağlı değişimi gösterilmektedir [45].

Çizelge 5.5 : Sera gazı değ erlendirme anahtarı [45].

Sera gazı değ�erlendirmesi	A	B	C	D	E	F	G
�l��m Skoru	>2.0	>1.0	>0.5	>-0.5	>-1.0	>-2.0	<= -2.0



Şekil 5.1 : Sera Gazı Emisyon Oranı [45].

6. TÜRK BAYRAKLI GEMİLERİN CO₂ SALINIMLARI

6.1 Türk Bayraklı Gemilere EVDI Uygulaması

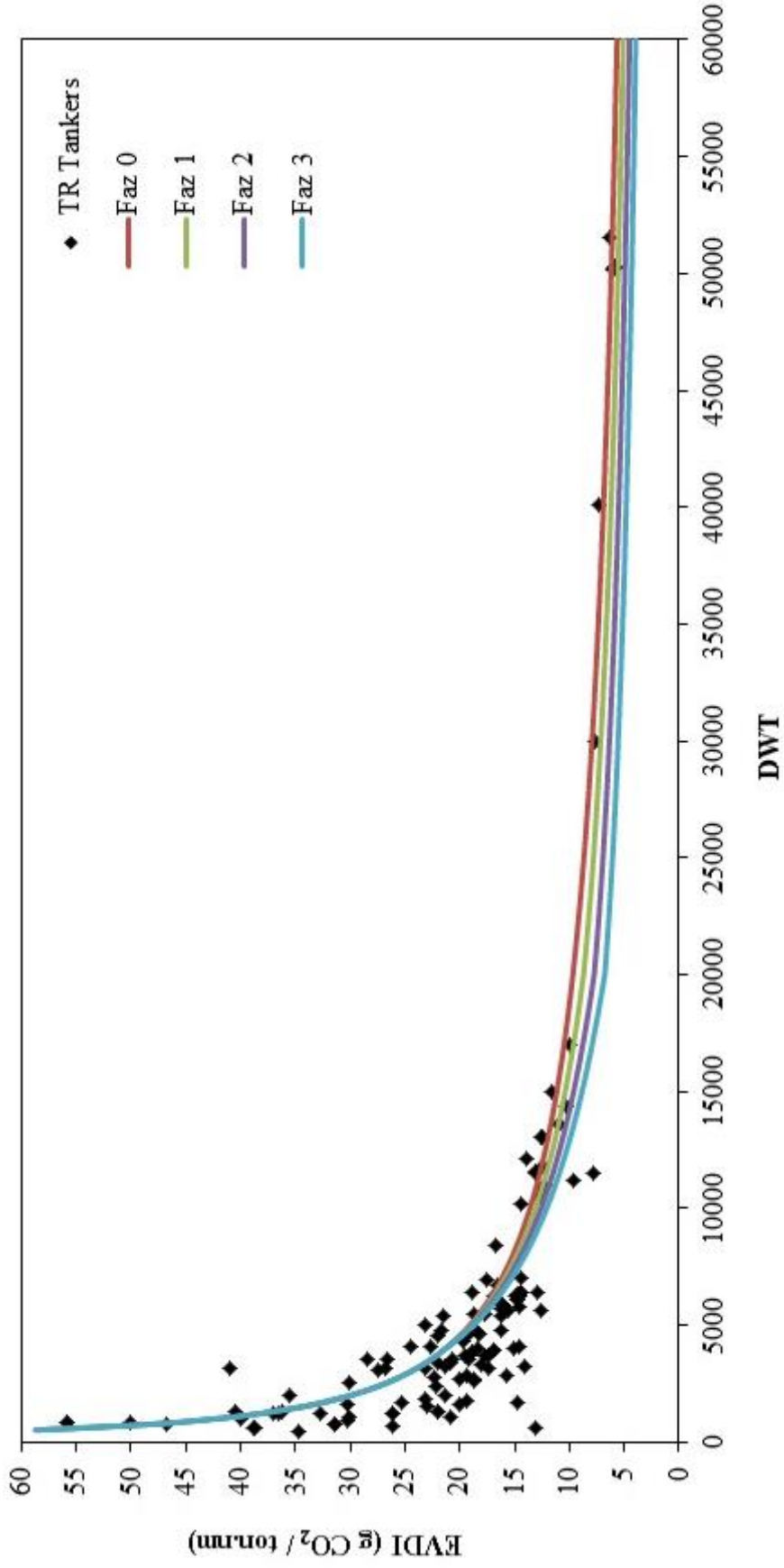
6.1.1 IMO referans eğrileri ile karşılaştırılması

Şekil 6.1-6.4'te, sırasıyla Türk bayraklı; tanker, dökme yük, genel yük ve konteyner gemilerinin EVDI (gr CO₂ / ton.nm) miktarları DWT'a bağlı olarak gösterilmektedir. Bu şekillerin üzerinde IMO istenen enerji verimliliği dizayn indeksi eğrileri de her bir faz için gemi tipine bağlı olarak gösterilmiş olup, bu eğriler (3.9) ve Çizelge 3.5 -3.6'dan yararlanılarak çizilmiştir.

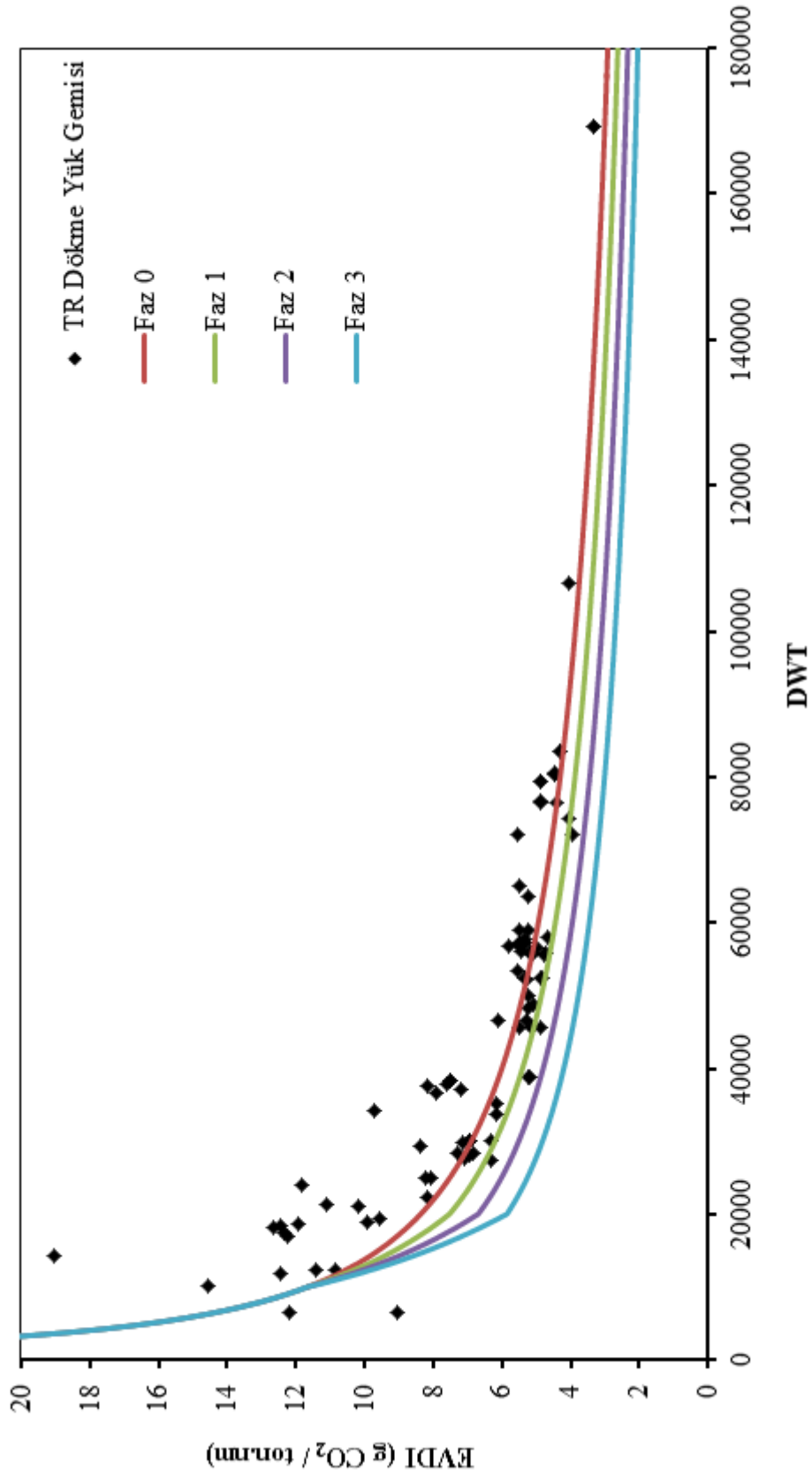
Şekil 6.1'den görülebileceği gibi, tüm tankerlerin % 60'ı Faz 0 eğrisinin altında kalmaktadır. Faz 3 eğrisi göz önüne alındığında ise tankerlerin %55'inin eğrinin altında kaldığı görülmektedir. IMO faz 2 ve faz 3 eğrileri altında kalan 12000 DWT üzerinde herhangi bir Türk bayraklı tanker yoktur.

Şekil 6.2'ye göre, Türk bayraklı dökme yük gemilerinin %60'ından fazlası IMO faz 0 referans eğrisinin üzerinde kalmaktadır. Faz 1 eğrisi göz önüne alındığında ise yaklaşık olarak %94'ü eğrinin üzerinde kalmakta olup, Faz 2 ve Faz 3 eğrileri göz önüne alındığında ise gemilerin sadece %2'si eğri altında kalmaktadır.

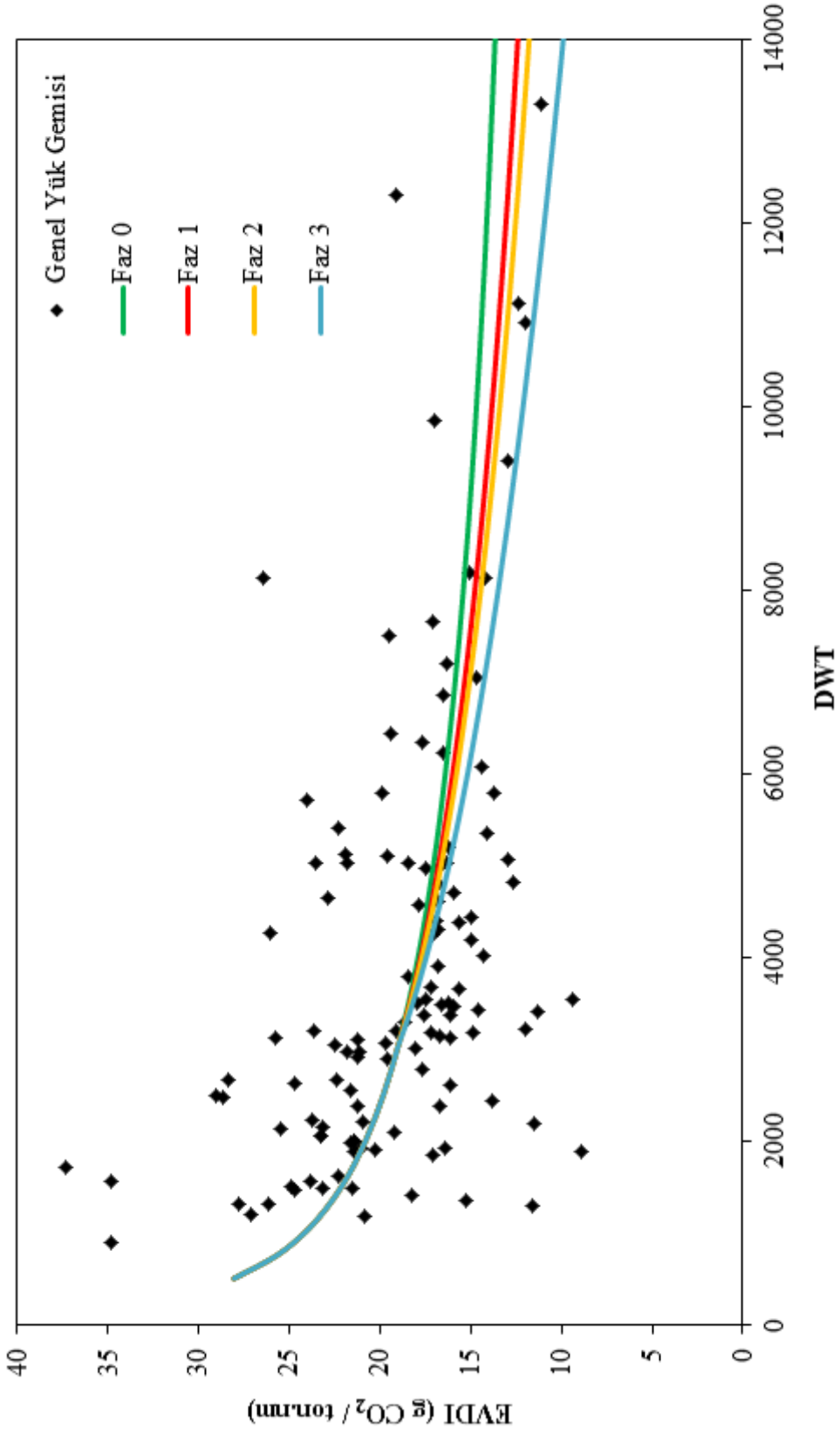
Türk bayraklı genel yük gemilerinin yarısına yakını 3000 DWT'dan küçük olduğu için sadece Sağlanan Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi değerleri hesaplanmıştır ve bütün fazlar için bu değer aynıdır. 3000 DWT'dan 15000 DWT'a kadar olan genel yük gemilerinde, IMO faz 0 eğrisi ile faz 3 eğrisi üstünde kalan gemiler arasında %6.5'lik fark bulunmaktadır. Tüm genel yük gemileri göz önüne alındığında, %60'ından fazlası her bir faz için IMO eğrileri üzerinde kalmaktadır (Bkz.Şekil 6.3).Konteyner gemilerinin CO₂ emisyon miktarlarına bakıldığında ise gemilerin %9.8'inin faz 0 eğrisi üzerinde kaldığı, faz 1 eğrisine bakıldığında eğri üzerinde kalan gemilerin %14.6'ya çıktığı, faz 2 eğrisinde ise gemilerin yüzde 65.9'unun eğri üzerinde kaldığı görülmektedir. Faz 3 eğrisi üzerinde kalan gemi sayısının toplam konteyner gemilerinin %78'ine karşılık geldiği bulunmuştur. Yani,faz 0'dan faz 3'e doğru gidildikçe referans eğrileri altında kalan gemi sayısı azalmaktadır.



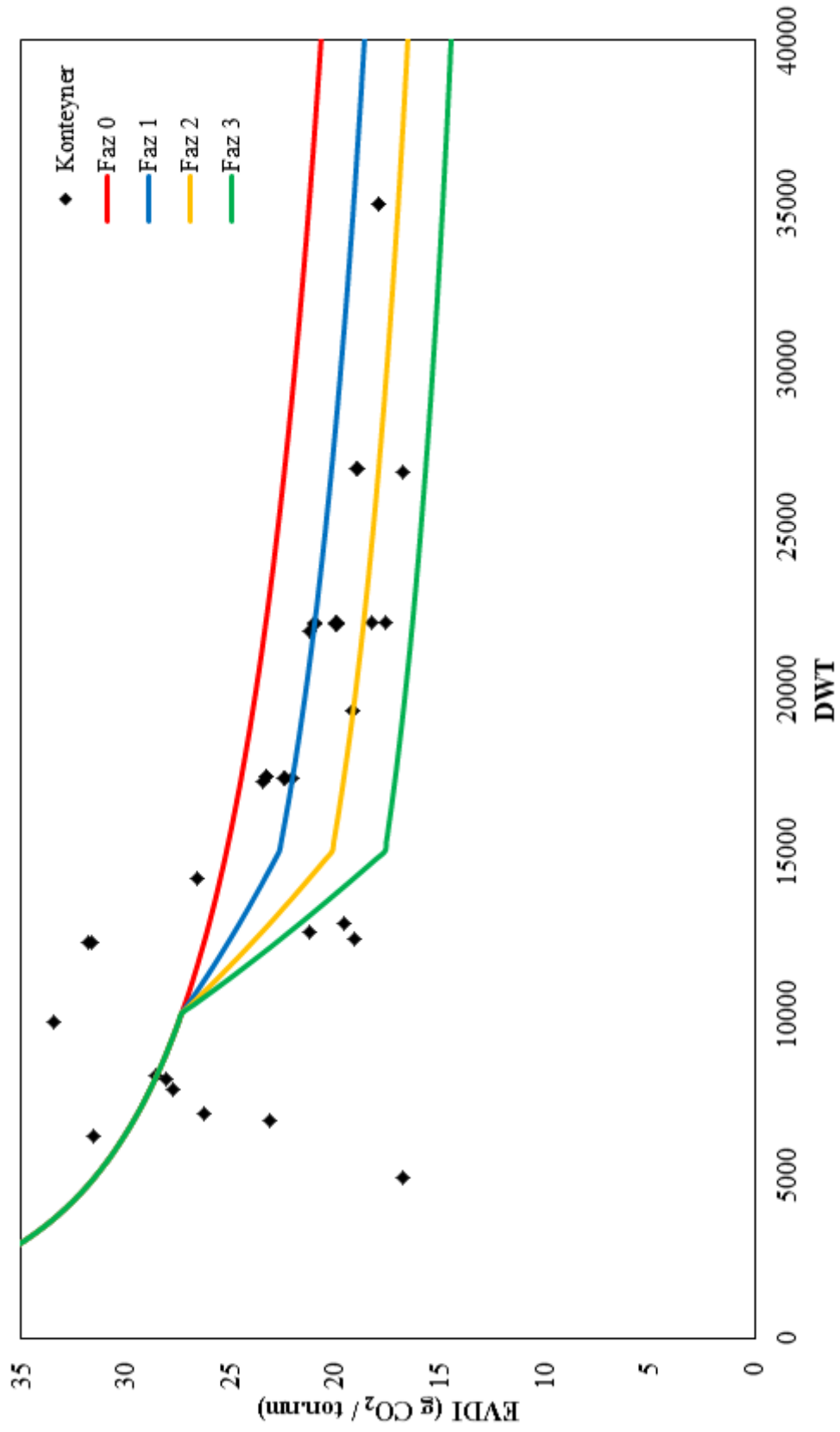
Şekil 6.1 :Türk bayraklı tankerlerin DWT'a bağlı EVDI oranları.



Şekil 6.2 :Türk bayraklı dökme yük gemilerinin DWT'a bağlı EVDI oranları.



Şekil 6.3 : Türk bayraklı genel yük gemilerinin DWT'a bağlı EVDI oranları.



Şekil 6.4 : Türk bayraklı konteyner gemilerinin DWT' a bağlı EVDI oranları.

6.1.2 Türk bayraklı gemilerin CO₂ salınımı eğilim eğrileri

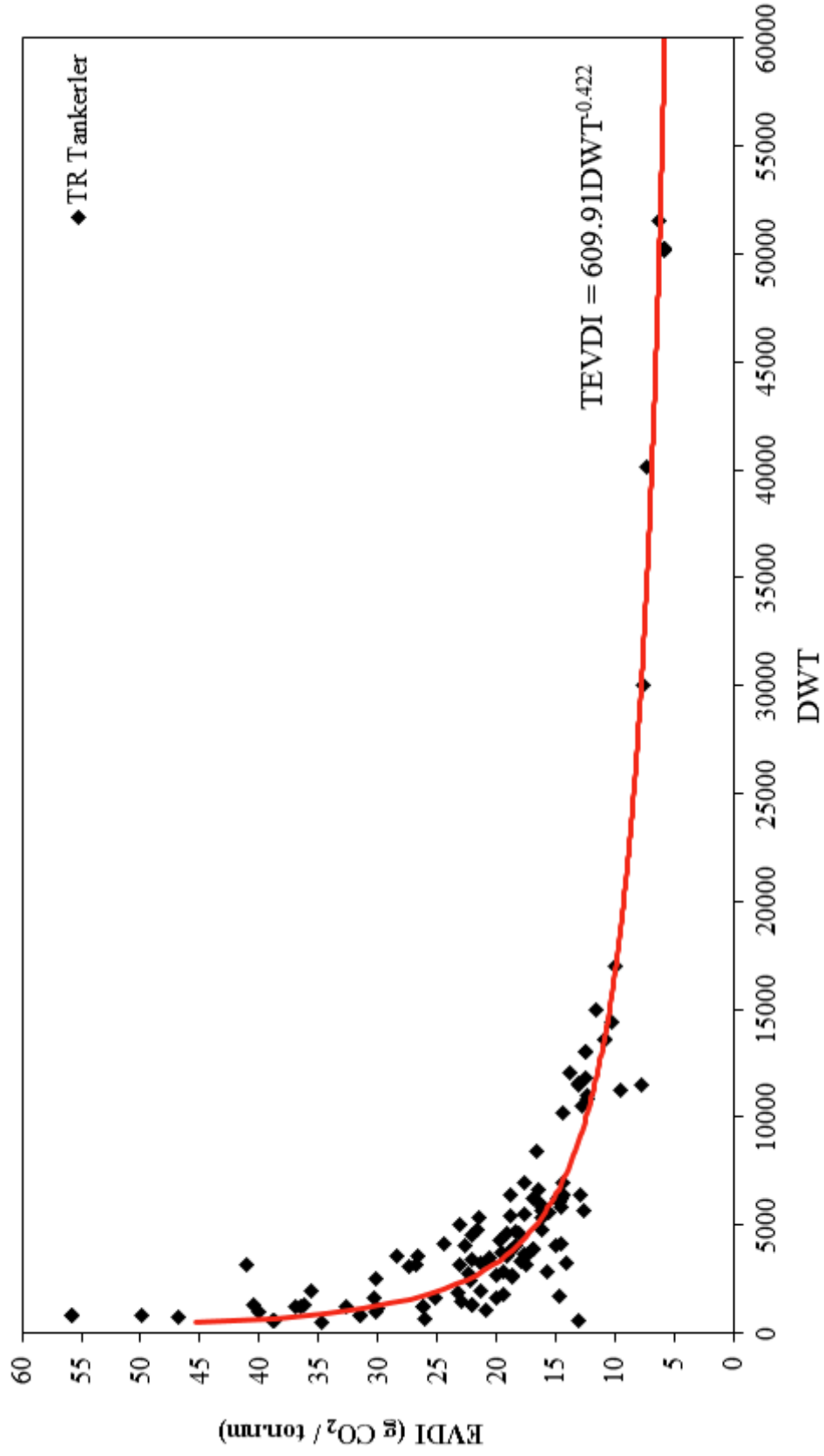
Şekil 6.5-6-9'da, Türk Bayraklı tanker, genel yük, dökme yük ve konteyner gemilerinin EVDI'ya göre hesaplanmış eğilim eğrileri yük taşıma kapasitesine bağlı olarak gösterilmektedir. Her bir gemi tipi için eğilim eğrileri geçirilip, CO₂ salınım karakteristikleri IMO referans hattına benzer şekilde belirlenmiştir. Çizelge 6.1'de, her bir gemi tipi için eğilim eğrisi katsayıları ve Denklem (6.1)'de eğilim eğrisi denklemini gösterilmektedir.

$$TEVDI = a \times b^{-c} \quad (6.1)$$

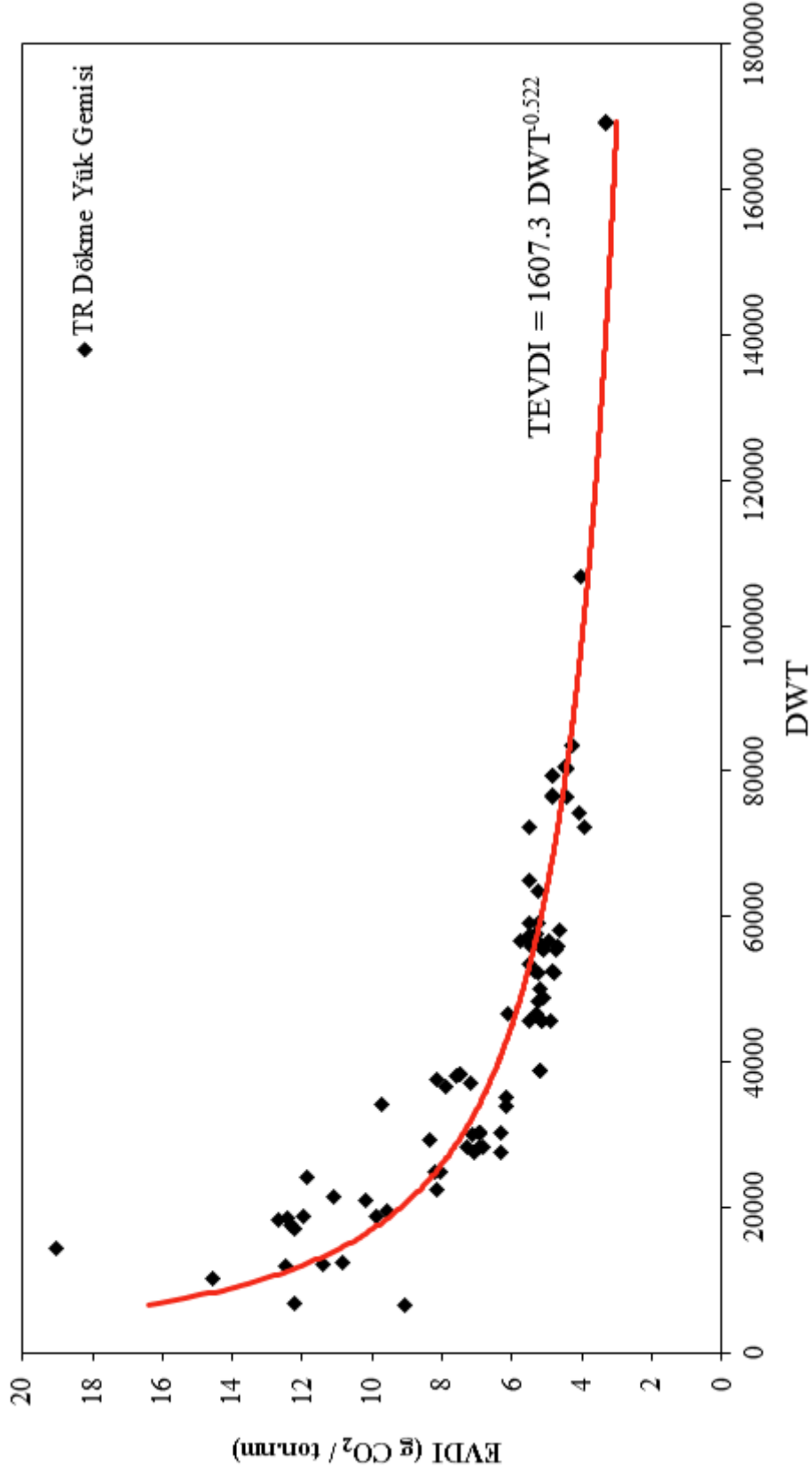
burada TEVDI, Türk bayraklı gemilerin (g CO₂ /ton.nm) miktarını, a, b ve c eğilim eğrisini katsayılarını göstermektedir. b katsayısı geminin DWT'udur.

Çizelge 6.1 : Türk Bayraklı gemilerin EVDI eğilim eğrisi katsayıları.

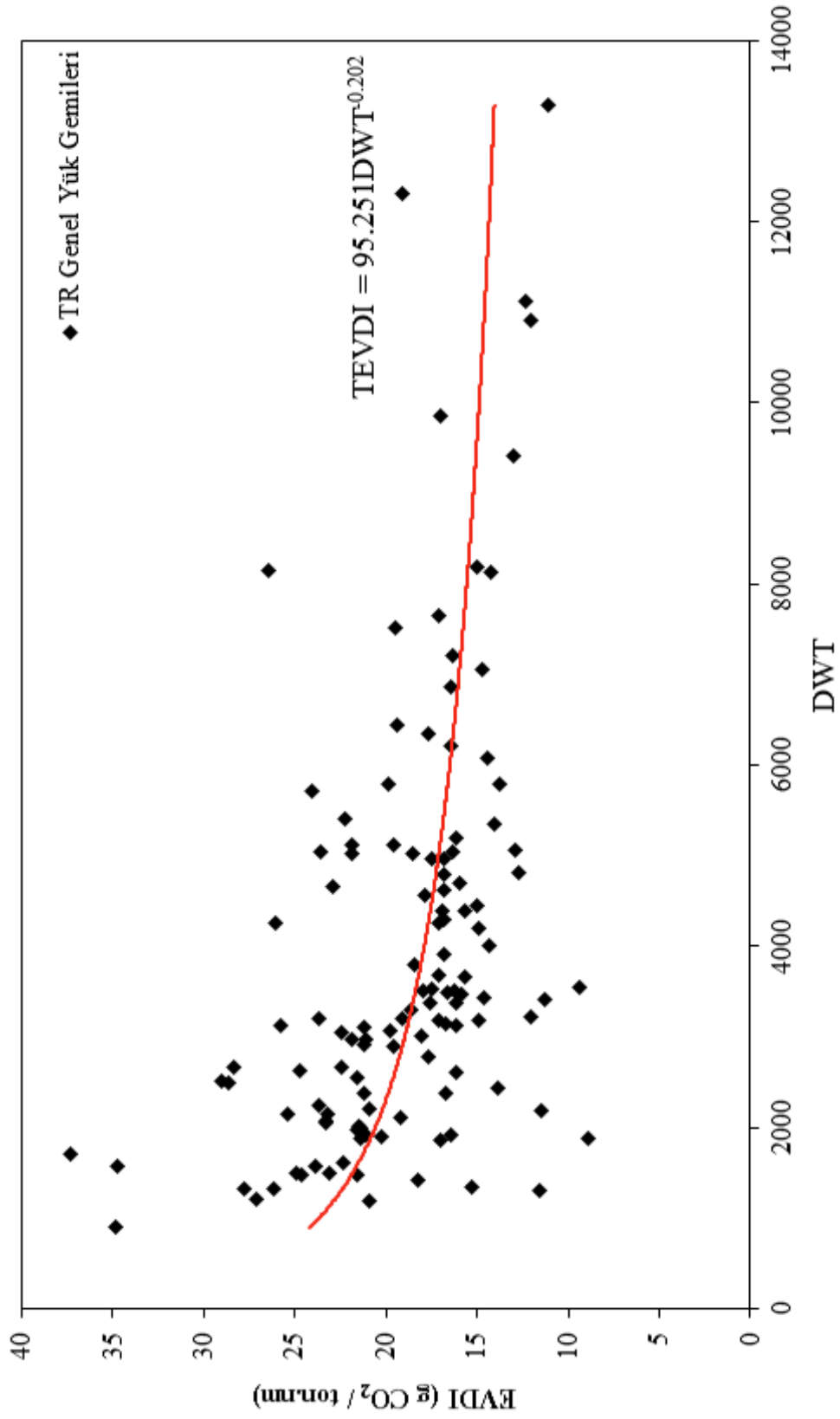
Gemi Tipi	a	b	c
Tanker	609.91	DWT	0.422
Dökme Yük	1607.3	DWT	0.522
Genel Yük	95.251	DWT	0.202
Konteyner	203.03	DWT	0.230



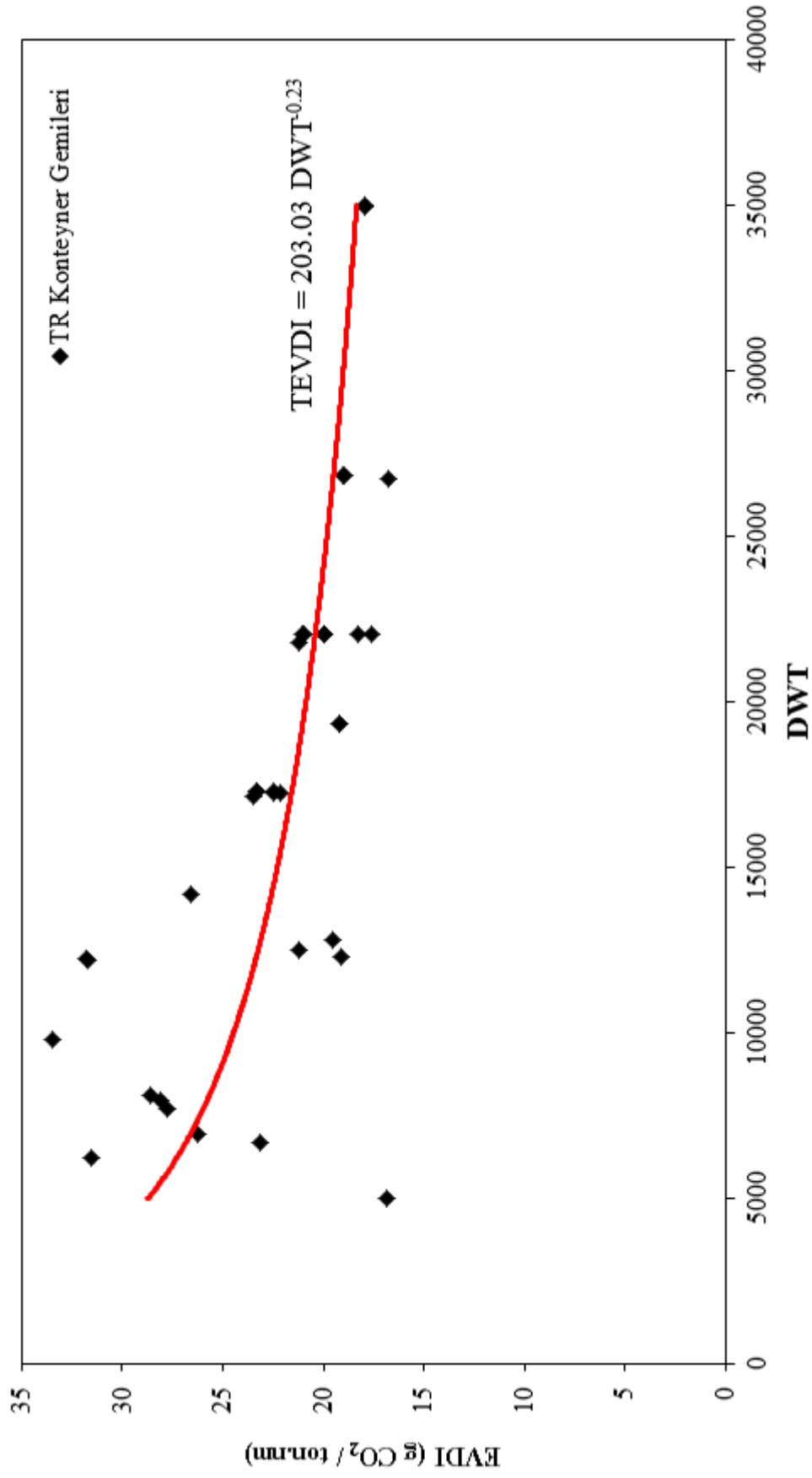
Şekil 6.5 : Türk bayraklı tankerlerin EVDI eğilim eğrisi.



Şekil 6.6 : Türk bayraklı dökme yük gemilerin EVDI eğilim eğrisi.



Şekil 6.7 : Türk bayraklı genel yük gemilerin EVDI eğilim eğrisi.



Şekil 6.8 : Türk bayraklı konteyner gemilerin EVDI eğilim eğrisi.

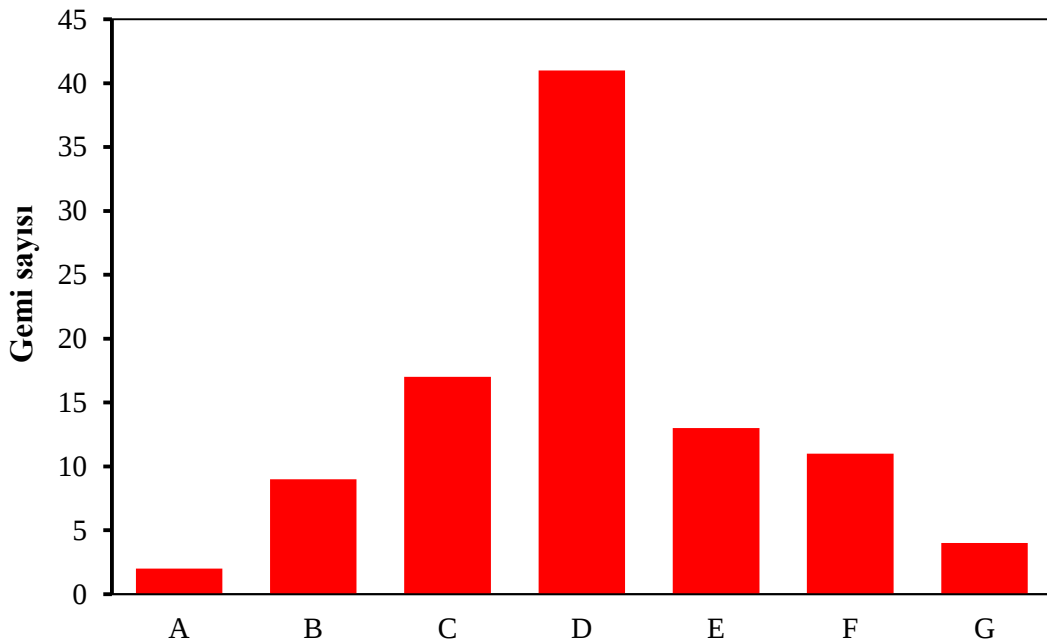
6.2 Türk Bayraklı Gemilerin Sera Gazı Emisyon Oranına Göre Sınıflandırılması

Bölüm 6.1’de belirlemiş olduğumuz EVDI değerlerini kullanarak elde edilen sera gazı değerlendirme sonuçları, dökme yük, tanker, konteyner, genel kargo ve tüm gemiler için sırasıyla Şekil 6.9-6.12 ve Çizelge 6.2-6.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 6.2 ve Şekil 6.9’dan görülebileceği gibi, Türk bayraklı dökme yük gemilerinin %42.27’si D sınıfıdır. Bunu %17.53 ile C sınıfı izlemekte olup, A sınıfında olan gemiler tüm gemilerin sadece %2’sidir.

Çizelge 6.2 : Türk bayraklı dökme yük gemileri emisyon değerlendirmesi.

ÖLÇEK	GEMİ SAYISI	YÜZDE %
A	2	2.06
B	9	9.28
C	17	17.53
D	41	42.27
E	13	13.40
F	11	11.34
G	4	4.12
Toplam	97	100.00

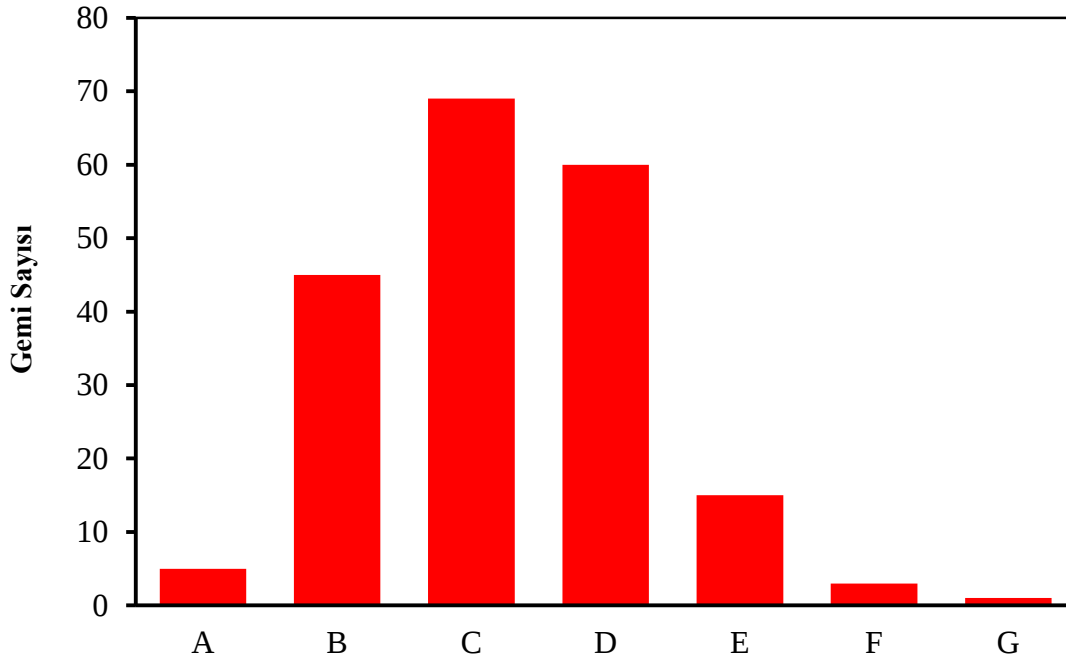


Şekil 6.9 : Türk bayraklı dökme yük gemileri için sera gazı emisyon oranına göre sınıflandırma.

Çizelge 6.3 ve Şekil 6.10'dan görülebileceği gibi, Türk bayraklı tankerlerde C sınıfına ait gemi sayısı D sınıfından fazladır. Toplam tankerlerin %35'i C sınıfı, %30'u ise D sınıfıdır. A sınıfı Tanker sayısı 5 olup, toplam tankerlerin %2.5'idir.

Çizelge 6.3 : Türk bayraklı tankerlerin emisyon değerlendirmesi.

ÖLÇEK	GEMİ SAYISI	YÜZDE %
A	5	2.53
B	45	22.73
C	69	34.85
D	60	30.30
E	15	7.58
F	3	1.52
G	1	0.51
Toplam	198	100.00

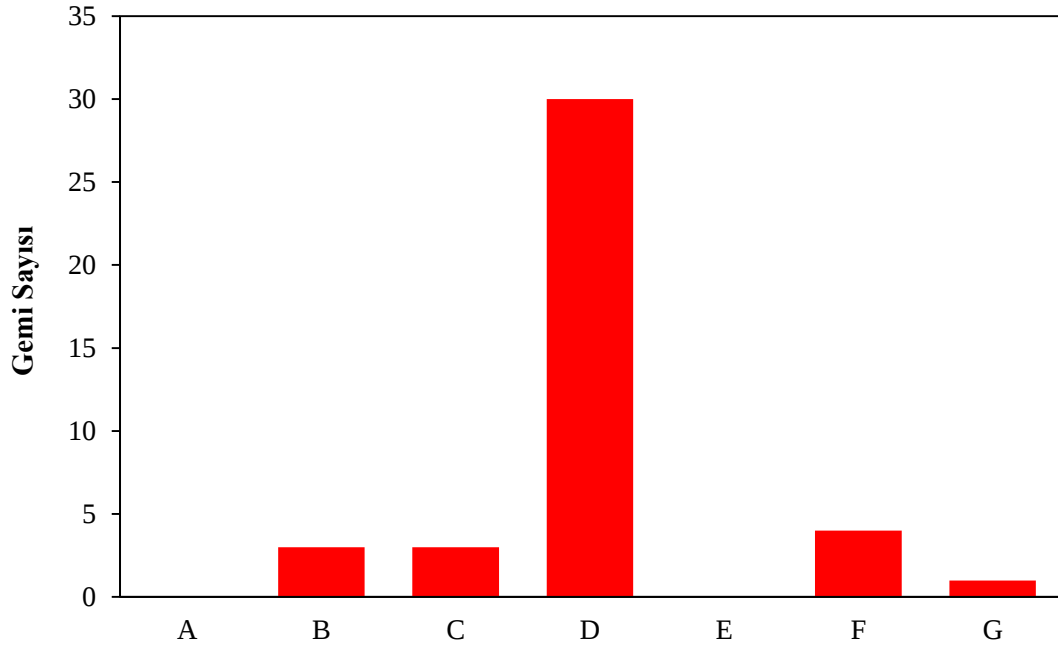


Şekil 6.10 :Türk bayraklı tankerler için sera gazı emisyon oranına göre sınıflandırma.

Çizelge 6.4 ve Şekil 6.11'dan görülebileceği, Türk bayraklı konteynerlerin %73'ü D sınıfıdır. A sınıfı konteyner gemisi yoktur.

Çizelge 6.4 : Türk bayraklı konteynerlerin emisyon değerlendirmesi.

ÖLÇEK	GEMİ SAYISI	YÜZDE
A	0	0.00
B	3	7.32
C	3	7.32
D	30	73.17
E	0	0.00
F	4	9.76
G	1	2.44
Toplam	41	100.00

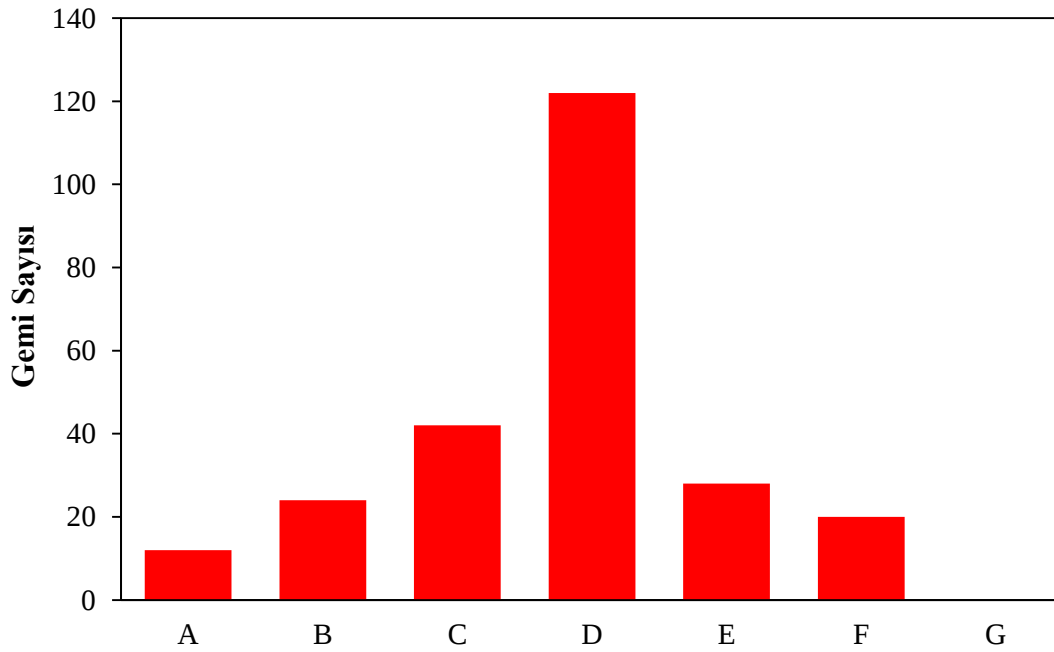


Şekil 6.11 : Türk bayraklı konteyner gemileri için sera gazı emisyon oranına göre sınıflandırma.

Çizelge 6.5 ve Şekil 6.11’den görülebileceği gibi, Türk bayraklı genel yük gemilerinin %49.2’si D sınıfıdır. Bunu C sınıfı %17 ile izlemektedir. A sınıfı genel yük gemisi sayısı 12 olup, toplam genel yük gemilerinin %4.8’idir.

Çizelge 6.5 : Türk bayraklı genel yük gemilerinin emisyon değerlendirilmesi.

ÖLÇEK	GEMİ SAYISI	YÜZDE
A	12	4.84
B	24	9.68
C	42	16.94
D	122	49.19
E	28	11.29
F	20	8.06
G	0	0.00
Toplam	248	100.00

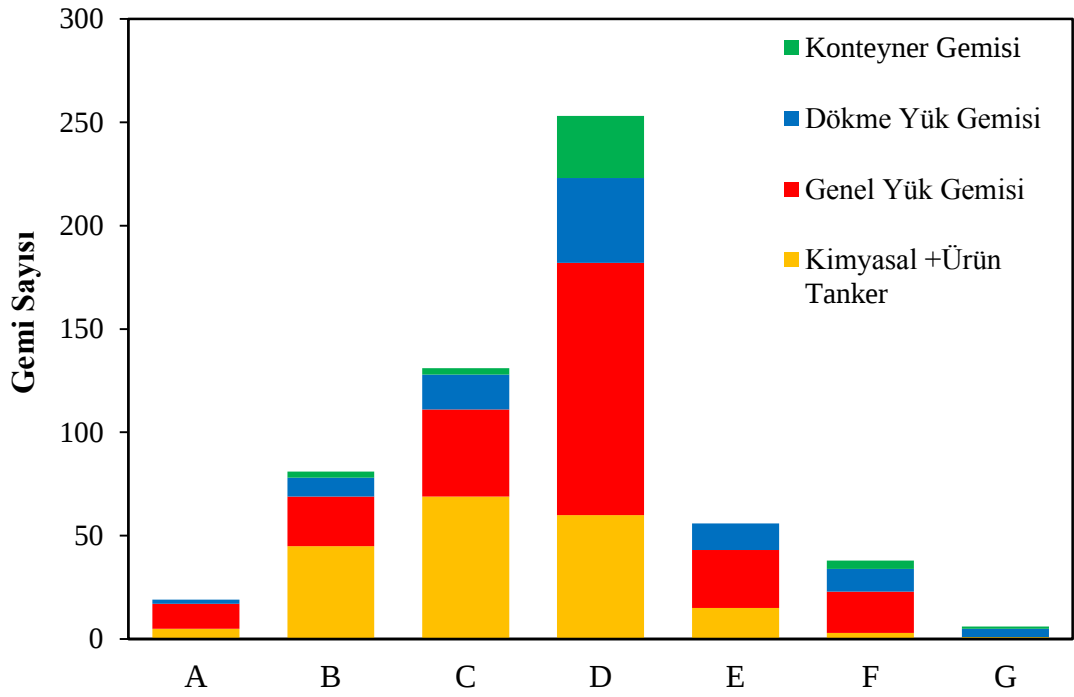


Şekil 6.12 : Türk bayraklı genel yük gemileri için sera gazı emisyon oranına göre sınıflandırma.

Tüm Türk bayraklı gemilerin emisyon sınıflandırması Çizelge 6.6'da ve Şekil 6.13'de gösterilmektedir. Gemilerin %43.32'si D sınıfı, %22.43'ü C sınıfıdır. A sınıfı gemi sayısı 19 adet olup toplam gemilerin %3.25'ine karşılık gelmektedir.

Çizelge 6.6 : Türk bayraklı gemilerin emisyon sınıflandırması.

ÖLÇEK	GEMİ SAYISI	YÜZDE
A	19	3.25
B	81	13.87
C	131	22.43
D	253	43.32
E	56	9.59
F	38	6.51
G	6	1.03
Toplam	584	100.00



Şekil 6.13 : Türk bayraklı gemilerin sera gazı emisyon oranına göre sınıflandırma.

Şekillerden ve çizelgelerden görülebileceği gibi, oransal olarak D sınıfı gemi sayısı en fazla olan gemi tipi %73 ile konteyner gemileridir. Bunu %49.19 ile genel yük gemileri, %42 ile dökme yük gemileri ve %30 ile tankerler izlemektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deniz taşımacılığında kaynaklanan sera gazı emisyonları son 20 yıl içerisinde taşımacılık hacminin büyümesine bağlı olarak önemli miktarda artmıştır. Uluslar arası Denizcilik Örgütü (IMO), çeşitli klas kuruluşları (DNV, LR, RINA, ABS, vs.) ve araştırmacılar gemi kaynaklı emisyonları azaltmak için bir yol arayışı içindedirler. IMO, sera gazı emisyonlarını sınırlandırmak için MARPOL Ek VI ile birlikte enerji verimliliği ile ilgili çok sıkı düzenlemeleri 2013 yılından itibaren yürürlüğe koymuştur. Özellikle ECA bölgesinde çalışacak gemiler için çok ciddi düzenlemeler yürürlüğe girecektir. Bu sebepten ötürü gemilerin emisyon oranlarını hesaplamak ve nasıl azaltılabileceğini belirlemek ve alternatif sevk sistemlerinin olası etkilerini belirlemek üzere bir çok bilimsel araştırma yapılmaktadır.

Gemi kaynaklı sera gazı emisyonunun azaltılması üzerine yapılan çalışmalardan gemi boyutlarında yapılacak değişimden ziyade gemi servis hızında yapılacak azaltımın emisyon oranlarının düşürülmesi üzerinde çok etkili olduğu bulunmuştur. Fakat servis hızını belli bir oranda azaltılabilmesi mümkündür çünkü yapılacak bu hız azaltımı belli bir orandan sonra taşımacılık maliyetinin artmasına sebep olmaktadır.

Gemilerin enerji verimliliğinin ve emisyon oranlarının belirlenmesi üzerine IMO EEDI haricinde bir çok indeks bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, Ulstein gemi emisyon indeksi (USEI), çevresel gemi indeksi (ESI), ticaret için sorumluluk indeksi (BSRI), INTERTANKO indeksi, temiz gemi indeksi (CSI), Baltık bölgesi çevresel emisyon indeksi (BREEI) ve Rightship organizasyonunun mevcut gemiler için enerji verimliliği dizayn indeksi (EVDI)'dir. INTERTANKO indeksi IMO EEDI indeksinin çok benzeridir sadece yükün taşınmasında kabul edilen tanım farklıdır. USEI da dizaynı geliştirilebilir gemilere sadece uygulanabilmektedir ve standartlaştırma yöntemi benzer tip gemilerle yapıldığı için eleştiriye açıktır. BSRI, sadece konteyner gemileri için geliştirilmiş; uygulama alanı çok sınırlı bir indekstir. BREEI'da gemiler kargo (sadece yük taşıyan), seyahat (sadece yolcu taşıyan), ROPAX (seyahat süresi 2 saatten fazla olup hem yük hem yolcu taşıyan) ve feribot (seyahat süresi 2 saatten az olup hem yük hem yolcu taşıyan) olmak üzere dört tipe ayrılmaktadır. Bu tip bir

ayrım yapmak doğru değildir. Özellikle yük taşıyan tüm gemileri aynı gruba koymak uygun değildir. Bir sıvı doğal gaz taşıyan gemi ile dökme yük gemisi veya bir genel yük gemisi ile tanker farklı enerji gereksinimleri olan gemilerdir. Çevresel emisyon indeksi (ESI), NO_x ve SO_x emisyonlarını direkt olarak hesaplamalarına katan CO₂ emisyon salınlamını ise direkt olarak hesaba katmadan sabit olarak kabul etmektedir.

EVDI'yı bu çalışmada tercih etmemizin en önemli sebepleri; mevcut gemilerin enerji verimliliklerinin hesaplanabilmesi ve kullanılan teorinin IMO'nun EEDI hesaplama yöntemine benzer olmasıdır. Bunların yanı sıra, Rightship organizasyonunun gemi veri bankasının geniş ve kapsamlı olmasıdır. Diğer indekslerden farklı olarak, sera gazı emisyonlarından CO₂ emisyonunu ayrı olarak değerlendirmesidir. Her bir gemi için hesaplanan EVDI değerleri kullanarak sera gazı emisyon değerlendirme ölçeğindeki A-G sınıfı olarak karşılıklarının bulunması da EVDI'yı kullanmayı cazip hale getirmektedir.

Mevcut gemiler için enerji verimliliği dizayn indeksi, EVDI kullanılarak, Türk bayraklı tanker, dökme yük, genel yük ve konteyner gemilerinin CO₂ salınımları (gr CO₂ / ton.nm) olarak belirlenmiş, IMO'nun yeni gemiler için belirlediği referans eğrileri ile karşılaştırmaları yapılmış ve her bir gemi tipi için EVDI eğilim eğrileri çıkarılmıştır.

İstenen enerji verimliliği dizayn indeksi değerini gösteren referans eğrileri her bir gemi tipi için IMO tarafından istatistiki çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. IMO tarafından belirlenen istenen enerji verimliliği dizayn indeksi değerlerinin 2025 yılına kadar 3 fazda yaklaşık % 30 oranında düşürülmesi planlanmaktadır. Faz 1 için (2015-2019) referans eğrisinde % 10'luk, faz 2 için (2020-2024) % 20'lik ve faz 3 için (2025 sonrası) % 30'luk azaltım söz konusudur. Faz 0'dan faz 3'e doğru gidildikçe istenen enerji verimliliği artmaktadır. Türk bayraklı tanker, dökme yük, genel yük ve konteyner gemilerinin CO₂ salınımları, IMO'nun yeni gemiler için belirlediği referans eğrileri ile karşılaştırmasından elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Tüm tankerlerin % 60'ı Faz 0 eğrisinin altında kalmaktadır. Faz 3 eğrisi göz önüne alındığında ise tankerlerin %55'inin eğrinin altında kaldığı görülmektedir. IMO faz 2 ve faz 3 eğrileri altında kalan 12000 DWT üzerinde herhangi bir Türk bayraklı tanker yoktur.

- Türk bayraklı dökme yük gemilerinin %60'ından fazlası IMO faz 0 referans eğrisinin üzerinde kalmaktadır. Faz 1 eğrisi göz önüne alındığında ise yaklaşık olarak %94'ü eğrinin üzerinde kalmakta olup, Faz 2 ve Faz 3 eğrileri göz önüne alındığında ise sadece gemilerin %2'si eğri altında kalmaktadır.
- 3000 DWT'dan 15000 DWT'a kadar olan genel yük gemilerinde, IMO faz 0 eğrisi ile faz 3 eğrisi üstünde kalan gemiler arasında %6.5'lik fark bulunmaktadır. Tüm genel yük gemileri göz önüne alındığında, %60'ından fazlası her bir faz için IMO eğrileri üzerinde kalmaktadır.
- Konteyner gemilerinin CO₂ emisyon miktarlarına bakıldığında ise gemilerin %9.8'inin faz 0 eğrisi üzerinde kaldığı, faz 1 eğrisine bakıldığında eğri üzerinde kalan gemilerin %14.6'ya çıktığı, faz 2 eğrisinde ise gemilerin yüzde 65.9'unun eğri üzerinde kaldığı görülmektedir. Faz 3 eğrisi üzerinde kalan gemi sayısının toplam konteyner gemilerinin %78'ine karşılık geldiği bulunmuştur. Yani, faz 0'dan faz 3'e doğru gidildikçe referans eğrileri altında kalan gemi sayısı azalmaktadır.

Son olarak bu çalışmada her bir gemi için hesaplanan EVDI değerleri kullanılarak, sera gazı emisyon değerlendirmesi yapılmıştır. Sera gazı emisyon değerlendirmesi, basit bir A-G skalası kullanılarak, benzer boyutlu ve tipteki gemilerin teorik karbondioksit emisyonlarını karşılaştırmaya olanak veren yenilikçi bir ölçümdür. A sınıfı en enerji verimli gemiyi, G sınıfı ise enerji verimliliği en az olan gemiyi göstermekte olup, A'dan G'ye gidildikçe gemilerin enerji verimliliği azalmaktadır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Türk bayraklı dökme yük gemilerinin %42.27'si D sınıfıdır. Bunu %17.53 ile C sınıfı izlemekte olup, A sınıfında olan gemiler tüm gemilerin sadece %2'sidir.
- Türk bayraklı tankerlerde C sınıfına ait gemi sayısı D sınıfından fazladır. Toplam tankerlerin %35'i C sınıfı, %30'u ise D sınıfıdır. A sınıfında olan tanker sayısı 5 olup, toplam tankerlerin %2.5'idir.
- Türk bayraklı konteynerlerin %73'ü D sınıfıdır. A sınıfında olan konteyner gemisi yoktur.
- Türk bayraklı genel yük gemilerinin %49.2'si D sınıfıdır. Bunu %17 ile C sınıfı izlemektedir. A sınıfı genel yük gemilerinin yüzdesi 4.8'dir.

- Tüm Türk bayraklı gemilerin %43.32'si D sınıfı, %22.43'ü C sınıfıdır. A sınıfı gemi sayısı 19 adet olup toplam gemilerin %3.25'ine karşılık gelmektedir.
- D sınıfında gemi sayısı en fazla olan gemi tipi %73 ile konteyner gemileridir. Bunu %49.19 ile genel yük gemileri, %42 ile dökme yük gemileri ve %30 ile tankerler izlemektedir.
- C sınıfında %35 oranla en fazla tankerler bulunmaktadır. Bunu %17.5 ile dökme yük gemileri, %16.94 ile genel yük gemileri ve %7.3 ile konteyner gemileri izlemektedir.
- B sınıfında en fazla olan gemi tipi %22.7 ile tankerlerdir. Bunu %9.7 ile genel yük gemileri, %9.3 ile dökme yük gemileri ve %7.3 ile konteyner gemileri izlemektedir.
- Tüm Türk bayraklı gemiler göz önünde alındığında A sınıfında olan gemi sayısı sadece 19 adet olup, tüm Türk bayraklı gemilerin %3.25'ine karşılık gelmektedir. Bu da oldukça düşük bir orandır.

Bu sonuçlara göre, eğer IMO EVDI benzeri bir CO₂ emisyon indeksini kullanıp, yeni gemiler için belirlediği referans eğrileri ile olması gereken CO₂ salınımlarını sınırlar ise, özellikle dökme yük gemileri için bir an önce CO₂ salınımlarını azaltmak için gerekli tedbirler alınmalıdır. Türk bayraklı konteyner gemilerinden A sınıfında olan hiçbir gemi bulunmadığı göz ardı edilmemelidir. CO₂ salınımlarını azaltmak için, daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi, gemilerin servis hızları yeniden gözden geçirilip azaltmaya gidilebilir. Bunun dışında aşağıdaki tedbirler alınabilir;

- Hibrit teknolojili sevk sistemleri kullanılabilir.
- Ana ve yardımcı makinelerin egzoz gazlarından atık ısı geri kazanılması ve elektrik enerjisine dönüştürülmesi düşünülebilir.
- Teknenin altına/etrafına ıslak yüzeyi azaltacak şekilde hava injekte edilerek gemi direnci azaltılabilir.
- Uzun strok, elektronik injeksiyon, değişken geometrilili turboşarjır, vs. düşünülebilir.
- Dönen akış makineleri için değişken hızlı elektrik motorlar kullanılabilir.

Bu çalışmada EVDI ile Türk bayraklı gemilerin enerji verimliliği ortaya koyulmuştur. İleriki çalışmalarda, Türk bayraklı gemilerin farklı indekslerle enerji verimlilikleri hesaplanıp, karşılaştırmaları yapılabilir. Bunun yanı sıra ulusal bir

enerji verimliliği dizayn indeksi hesaplama yöntemi geliştirilebilir. Türk bayraklı gemilerin diğer tüm sera gazı emisyon envanteri çıkarılabilir. Aynı zamanda gemi üzerinde deneylerle bu sonuçlar desteklenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **IMO** (2009). Second GHG study, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), Londra.
- [2] **Endresen, O., Sorgard, E., Behrens, H.L., Brett, P.O., Isaksen, I.S.A.** (2007). A historical reconstruction of ships fuel consumption and emissions, *Journal of Geophysical Research*, **112(D12)**, 1-17.
- [3] **Stopford, M.** (1997). Maritime Economics, 2nd ed., Routledge, Londra.
- [4] **Dalsøren, S. B., Eide, M. S., Endresen, Ø., Mjelde, A., Gravir, G., Isaksen, I. S. A.** (2009). Update on emissions and environmental impacts from the international fleet of ships: the contribution from major ship types and ports, *Atmos. Chem. Phys.*, **9**, 2171–2194.
- [5] **Corbett, J.J, Wang, H., Winebrake, W.J.** (2009). The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping, *Transportation Research*, **14(D)**, 593–598.
- [6] **Eide, M.S., Endresen, Ø., Skjong, R., Longva, T., Alvik, S.** (2009). Cost-effectiveness assessment of CO₂ reducing measures in shipping. *Maritime Policy & Management: The flagship journal of international shipping and port research*, **36 (4)**, 367–384.
- [7] **Lindstad, H., Asbjørnslett, B.E., Strømman, A.H.** (2011). Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds, *Energy Policy*, **39**, 3456-3464.
- [8] **Smith, TWP.** (2012). Technical energy efficiency, its interaction with optimal operating speeds and the implications for the management of shipping's carbon emissions, *Carbon Management*, **3(6)**, 589-600.
- [9] **Longva, T., Eide, M.S., Skjong S.** (2010). Determining a required energy efficiency design index level for new ships based on a cost-effectiveness criterion, *Maritime Policy & Management*, **37(2)**, 129-143.
- [10] **Hasan, R.M.S.** (2011). *Impact of EEDI on Ship Design and Hydrodynamics*, (Yüksek Lisans Tezi), Chalmers University of Technology, Gothenburg, İsveç.
- [11] **Borkowski, T., Kasyk, L., Kowalak, P.** (2012). Energy efficiency design index of container vessel – operational approach, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, **19(4)**, 93-100.
- [12] **Jafarzadeh, S., Ellingsen, S., Utne, I.B.** (2012). Emission Reduction in the Norwegian Fishing Fleet: Towards LNG?, Second International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency, Vigo, İspanya, Mayıs 2012.

- [13] **URL-1** <http://www.regjeringen.no/upload/FKD/Diverse/2011/Fakta_Fiskeri_Havbruk_eng-lowres_singlepages.pdf>, alındığı tarih: 17.04.2013.
- [14] **Winther, U., Ziegler, F., Hognes, S., Emanuelsson, A., Sund, V., Ellingsen, H.** (2009). Carbon footprint and energy use of Norwegian seafood products," SINTEF Fisheries and Aquaculture SFH80 A096068 Raporu, Norveç.
- [15] **Schau, E. M., Ellingsen, H., Endal, A., Aanondsen, S. A.** (2009). Energy consumption in the Norwegian fisheries, *Journal of Cleaner Production*, **17**, 325-334.
- [16] **Sames, P.C. ve Köpke, M.** (2010). Future required energy efficiency of container vessels, 32nd annual Motorship propulsion & emission conference, Hamburg, Almanya.
- [17] **Sames, P.C. ve Köpke, M.** (2012). *CO₂ Emissions of Container World Fleet*, Procedia - Social and Behavioral Sciences, **48**, 1 – 11.
- [18] **Fitzgerald, W.B., Howitt, O.J.A., Smith, I.J.** (2011). Greenhouse gas emissions from the international maritime transport of New Zealand's imports and exports, *Energy Policy*, **39**, 1521–1531.
- [19] **Dedes, E.K., Hudson, D.A., Turnock, S.R.** (2012). Assessing the potential of hybrid energy technology to reduce exhaust emissions from global shipping, *Energy Policy*, **40**, 204–218.
- [20] **Yang, B., Sun, P., Huang, L., Song, D.** (2013). The Prospective Analysis of Marine Dual Fuel Engine Application Based on Emission and Energy Efficiency, *Applied Mechanics and Materials*, **291-294**, 1975-1980.
- [21] **Wang, H., Sun, P., Shi, C.** (2012). Research on wind energy applications in Ocean Shipping, *Advanced Materials Research*, **347**, 1017-1021.
- [22] **Johnson, H., Johansson, M., Andersonn, K., Södahl, B.** (2013). Will the ship energy efficiency management plan reduce CO₂ emissions? A comparison with ISO 50001 and the ISM code, *Maritime Policy & Management*, **40(2)**, 177-190.
- [23] **MEPC 63/23 Ek 8** (2012). 2012 guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), Londra.
- [24] **MEPC 63/23 Ek 9** (2012). 2012 guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP), Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), Londra.
- [25] **MEPC 63/23 Ek 10** (2012). 2012 guidelines on survey and certification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI), Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), Londra.
- [26] **MEPC 63/23 Ek 11** (2012). guidelines for calculation of reference lines for use with the energy efficiency design index (EEDI), Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), Londra.
- [27] **URL-2** <<http://gigm.itu.edu.tr/wp-content/uploads/projeSERGIN.pdf> >, alındığı tarih: 17.04.2013.

- [28] **MEPC 62/24/Add.1** (2011). Amendments to the annex of the protocol of 1997 to amend the international convention for the prevention of pollution from ships, 1973, as modified by the protocol of 1978 relating thereto (Inclusion of regulations on energy efficiency for ships in MARPOL Annex VI), Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), Londra.
- [29] **Kristensen, H.O.H** (2011). Model for Environmental Assessment of Container Ship Transport, Danimarka Teknik Üniversitesi.
- [30] **IMO MEPC 63/INF.2** (2011). Estimated CO₂ emissions reduction from introduction of mandatory technical and operational energy efficiency measures for ships, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), Londra.
- [31] **IMO MEPC 63/23** (2012). 2012 Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP), Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), Londra.
- [32] **Türk Loydu** (2012). Gemi enerji verimliliği yönetim planinin (SEEMP) geliştirilmesine yönelik 2012 yılı kılavuzları.
- [33] **Miyashita** (2008). The world's changing maritime industry and a vision for Japan, Ocean policy research foundation research study.
- [34] **URL-3** <<http://www.martek-marine.com/ProductsSystems/EngineEmissionsMonitoring.aspx>>, alındığı tarih: 17.04.2013.
- [35] **URL-4** <[http://www.ulsteingroup.com/kunder/ulstein/mm.nsf/lupGraphics/Ulstein Ship Emission index brochure edition 1.pdf/\\$file/Ulstein Ship Emission index brochure edition 1.pdf](http://www.ulsteingroup.com/kunder/ulstein/mm.nsf/lupGraphics/Ulstein%20Ship%20Emission%20index%20brochure%20edition%201.pdf/$file/Ulstein%20Ship%20Emission%20index%20brochure%20edition%201.pdf)>, alındığı tarih: 17.04.2013.
- [36] **URL-5** <<http://www.environmentalshipindex.org/Public/Home/ESIFormulas>>, alındığı tarih: 17.04.2013.
- [37] **URL-6** <http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/transport/final_report.pdf>, alındığı tarih: 17.04.2013.
- [38] **URL-7** <http://www.cleanshippingproject.se/Guidance_document.pdf>, alındığı tarih: 17.04.2013.
- [39] **URL-8** <<http://eng.maritimepress.com/news/articleView.html?idxno=735>>, alındığı tarih: 17.04.2013.
- [40] **URL-9** <<http://exchange.dnv.com/publishing/cn/CN62-1.pdf>>, alındığı tarih: 17.04.2013.
- [41] **URL-10** <http://www.rina.org/en/news/press/_file/pr0808.doc>, alındığı tarih: 17.04.2013.
- [42] **Cogliolo, A.** (2012). The green ships. The future of shipbuilding, *Electronic Journal of Management*, **3**, 1-12.
- [43] **URL-11** <http://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEARepository/Rules&Guides/Current/99_EnvirProtecNotationVessels2009/Enviro_Vess_Guide>, alındığı tarih: 17.04.2013.
- [44] **Haukilehto J.** (2010). Development of the Baltic Region Environmental Efficiency Index for Marine Vessels, (Yüksek Lisans Tezi), Faculty of

Engineering and Architecture, Department of Applied Mechanics,
AALTO University School of Science and Technology.

[45] **URL-12** <<http://shippingefficiency.org/userfiles/files/Data-Methodology.pdf>>,
alındığı tarih: 17.04.2013.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ceren Yılmaz (Üçer)
Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul / 14.03.1986
Adres: Acıbadem, Üsküdar, İstanbul
E-Posta: crnylmz@yahoo.com
Lisans: Yıldız Teknik Üni. Gemi İnş. ve Gemi Mak. Müh.

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Şubat 2012- Kasım 2012- Araştırma Görevliliği (ÖYP): Balıkesir Üniversitesi Bandırma Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Bölümü.

Kasım 2011-Şubat 2012- Araştırma Görevliliği: Zirve Üniversitesi, Gemi Makinaları İşletme Mühendisliği, Gaziantep-Türkiye.

Mayıs 2010 – Eylül 2011- Gemi Brokerı, Alma Navigation SA.İstanbul.