

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İZLENMESİ VE RAPORLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre HÜSMEN

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İZLENMESİ VE RAPORLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emre HÜSMEN
(508141002)**

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT

HAZİRAN 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 508141002 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Emre HÜSMEN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GEMİLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İZLENMESİ VE RAPORLANMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nurhan KAHYAOĞLU**
Piri Reis Üniversitesi

Doç. Dr. Erdem ÜÇER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05.05.2017**
Savunma Tarihi : **06.06.2017**



ÖNSÖZ

Öncelikle, lisansüstü öğrenimim ve tez çalışmam süresince benden desteğini ve bilgi birikimlerini esirgemeyen değerli danışmanım, Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT'e sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim. Lisansüstü öğrenimim boyunca bana kapılarını açan ve desteklerini esirgemeyen Caria Marine Technologies ailesine ve değerli çalışma arkadaşlarıma minnetlerimi sunarım. Öğrenim hayatım boyunca, benden maddi ve manevi desteğini bir an olsun esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, lisansüstü öğrenimim ve tez çalışmam süresince beni hep destekleyen, güvenen ve yol arkadaşım olan Mimar Yasemin ERDEM'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2017

Emre HÜSMEN
(Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Gemilerde Enerji Verimliliğinin Gerekliliği	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Enerji Verimliliği Hakkında Yapılan Çalışmalar	5
2.2 Veri Toplanması Enerji Verimliliğindeki Önemi	8
2.3 Teorik Modelleme ve Veri Analizi Örneklemeleri	10
2.4 Anahtar Performans Göstergelerinin Veri Analizindeki Önemi	12
2.5 Tezin Amacı	13
3. ENERJİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE GENEL YAKLAŞIM	15
3.1 Enerji Kavramı	15
3.2 Dünyada Enerji Tüketim Miktarları	15
3.3 Dünyada Enerji Verimlilik Projeleri	15
3.3.1 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi.....	16
3.3.2 Kyoto Protokolü.....	17
3.4 Denizcilik Sektöründe Enerji Verimliliği Yaklaşımı	18
3.4.1 Uluslararası Denizcilik Örgütü(IMO)'nün enerji verimliliği yaklaşımı ...	18
3.4.1.1 Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI)	19
3.4.1.2 Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP).....	20
3.4.1.3 Enerji Verimliliği Operasyonel İndeksi (EEOI)	21
3.4.1.4 Fuel oil veri toplama sistemi	22
3.4.2 Avrupa Birliği'nin enerji verimliliği yaklaşımı	23
3.4.2.1 İzleme, raporlama ve doğrulama (EU MRV).....	23
4. VERİLERİN TOPLANMASI	27
4.1 Veri Toplama Yöntemleri	27
4.1.1 Günlük raporlar ile veri toplama yöntemi	27
4.1.2 Sürekli izleme ile veri toplama yöntemi.....	29
4.1.2.1 Parakete	30
4.1.2.2 Rüzgar anemometresi	31
4.1.2.3 Devir ve tork metre	32
4.1.2.4 Hava termometresi ve barometresi.....	33
4.1.2.5 Cayro pusula	33
4.1.2.6 Deniz suyu termometresi.....	33
4.1.2.7 DGPS	33

4.1.2.8 Echo sounder	35
4.1.2.9 Debimetre	35
4.2 Veri Toplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması	36
5. VERİ ANALİZİ.....	39
5.1 Veri Analizinde Kullanılacak Performans Göstergelerinin Belirlenmesi	39
5.1.1 Yakıt Tüketim İndeksi (FCI).....	40
5.1.2 Karbondioksit Üretim Yoğunluğu (CO ₂ I).....	41
5.1.3 Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEOI)	43
5.2 Veri Analizi Yapılacak Olan Gemiye Ait Dizayn Özellikleri.....	45
5.3 Analizi Yapılacak Olan Verilerin Toplanması	45
5.4 Anahtar Performans Göstergeleri İçin Gerekli Verilerin Hesaplanması	46
5.4.1 Günlük raporlar yardımıyla yakıt tüketiminin hesaplanması	47
5.4.2 Günlük raporlar yardımıyla taşınan yük miktarının hesaplanması	48
5.4.3 Günlük raporlara göre kat edilen mesafenin hesaplanması.....	49
5.4.4 Üretilen CO ₂ miktarının hesaplanması	51
5.5 Veri Analiz Hesaplamaları	54
5.5.1 Örnek gemi verilerinin FCI göstergesi ile analizi	54
5.5.2 Örnek gemi verilerinin CO ₂ I göstergesi ile analizi	56
5.5.3 Örnek gemi verilerinin EEOI göstergesi ile analizi	58
5.6 Veri Analiz Sonuçları ve Yorumlar.....	60
6. SONUÇ	69
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	77

KISALTMALAR

IMO	: International Maritime Organization
EEDI	: Energy Efficiency Design Index
SEEMP	: Ship Energy Efficiency Management Plan
MARPOL	: International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
EEOI	: Energy Efficiency Operational Index
EEOI_{diz.}	: Energy Efficiency Operational Index Dizayn Koşulları
EU MRV	: European Nations Monitoring, Reporting and Verifying
FCI	: Fuel Consumption Index
FCI_{diz.}	: Fuel Consumption Index Dizayn Koşulları
SEI	: Ship Energy Intensity
CO₂	: Carbondioxide
CO₂I	: Carbondioxide Index
CO₂I_{diz.}	: Carbondioxide Index Dizayn Koşulları
PEI	: Propeller Energy Intensity
UNCTAD	: United Nations Conference on Trade and Development
GES	: General Energy System
USEIA	: United States Energy Information Administration
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change
UN	: United Nations
SOC	: Statement of Compliance
HFO	: Heavy fuel oil
MGO	: Marine gas oil
LNG	: Liquefied Natural Gas
AB	: Avrupa Birliği
TB	: Terabayt
LR	: Lloyd's Register
EETI	: Energy Efficiency Technical Index
ME	: Main engine
DNV GL	: Det Norske Veritas Germanischer Lloyd

SEMBOLLER

FC	: Yakıt tüketimi (gram)
C_f	: CO ₂ kütle çevrim faktörü cinsinden yakıt ağırlığı (t-CO ₂ /t-fuel)
m_{cargo}	: Taşınan kargo miktarı (ton)
D	: Mesafe (deniz mili)
SFOC	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
DWT	: Detveyt (ton)
V_{dizayn}	: Dizayn hızı (knot)
RPM	: Devir (rpm)
GT	: Gros ton (ton)
LOA	: Tam boy (metre)
LBP	: Dikmeler arası boy (metre)
B	: Genişlik (metre)



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Gemi dizayn özellikleri.	45
Çizelge 5.2 : Günlük raporlardan bir kesit.	46
Çizelge 5.3 : Bir sefer için günlük rapor örneği.	47
Çizelge 5.4 : Günlük raporlarda yükleme örneği.	48
Çizelge 5.5 : Günlük raporlarda tahliye örneği.	49
Çizelge 5.6 : Günlük raporlarda kalan mesafe bilgisi.	49
Çizelge 5.7 : Geminin bir yıldaki tüm seferleri.	52
Çizelge 5.8 : Yakıt kütlesi – CO ₂ kütlesi dönüşüm çizelgesi (IMO,2008).	56
Çizelge 5.9 : Bazari'ye göre enerji verimlilik skalası.	61
Çizelge 5.10 : Bazari'nin enerji verimlilik skalasına FCI ve CO ₂ I değerlerinin uyarlanması.	62
Çizelge 5.11 : 1, 8 ve 15 numaralı seferlerin enerji verimlilik kıyaslamaları.	63
Çizelge 5.12 : 1, 8 ve 15 numaralı seferler için gemi hızı, devir, rüzgar ve deniz durumları.	63
Çizelge 5.13 : 5 ve 13 numaralı seferlerin enerji verimlilik kıyaslamaları.	64
Çizelge 5.14 : 5 ve 13 numaralı seferler için gemi hızı, devir, rüzgar ve deniz durumları.	64
Çizelge 5.15 : 1, 17, 24 ve 26 numaralı seferlerin enerji verimlilik değerleri karşılaştırması.	66
Çizelge 5.16 : 1, 17, 24 ve 26 numaralı seferlerde mil başına yakıt tüketimi ve taşıma işi değerleri.	67
Çizelge 5.17 : Taşıma işi-EEOI ilişkisi.	68



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : 2012–2050 yılları arasına beklenen gemilerden kaynaklı CO ₂ emisyon artış senaryoları (IMO, 2014).	2
Şekil 3.1 : Yıllara göre tüm dünyadaki enerji tüketim miktarları ve gelecekteki olası enerji tüketim miktarı beklentileri (USEIA, 2016).	16
Şekil 3.2 : MRV zaman göstergesi.	24
Şekil 4.1 : Noon report örneği.	28
Şekil 4.2 : Sürekli izleme yöntemi ile oluşturulmuş bir enerji verimlilik sistemi (IMO, 2016).	30
Şekil 4.3 : Rüzgar anemometresi örneği.	31
Şekil 4.4 : Devir ve tork metre örneği.	32
Şekil 4.5 : Deniz suyu sıcaklığı ile hava sıcaklığının değişimi (Hansen ve diğ., 2012).	34
Şekil 4.6 : DGPS ve paraketelerden alınan hız ölçümleri arasındaki farklar (Hansen ve diğ., 2012).	34
Şekil 4.7 : Echo sounder ana ünite örneği.	35
Şekil 4.8 : 4 aylık bir süreçte günlük raporlar ve sürekli izleme ile alınan gemi hızı ile fuel oil tüketim miktarlarının değişim verileri (Aldous ve diğ., 2013).	37
Şekil 4.9 : LR'ye göre tankerler için FCI _{diz.} -Deplasman ve FCI _{diz.} -DWT grafikleri (Bazari, 2007).	41
Şekil 4.10 : LR'ye göre tankerler için CO ₂ I _{diz.} - Deplasman ve CO ₂ I _{diz.} - DWT grafikleri (Bazari, 2007).	43
Şekil 5.1 : “Google Maps” ile iki konum arasındaki mesafe hesabı.	50
Şekil 5.2 : “DNV GL EEOI Calcuator” ile CO ₂ üretim miktarları.	51
Şekil 5.3 : Yakıt tüketimi – mesafe grafiği.	54
Şekil 5.4 : Yakıt tüketimi – üretilen CO ₂ grafiği.	54
Şekil 5.5 : FCI karşılaştırma grafiği.	56
Şekil 5.6 : CO ₂ I karşılaştırma grafiği.	57
Şekil 5.7 : DNV GL EEOI Calculator program girdileri.	58
Şekil 5.8 : DNV GL EEOI Calculator program çıktıları.	59
Şekil 5.9 : EEOI karşılaştırma grafiği.	59
Şekil 5.10 : Yakıt tüketimi - ortalama hız grafiği.	65
Şekil 5.11 : Yakıt tüketimi - rüzgar durumu grafiği.	66
Şekil 5.12 : Yakıt tüketimi - deniz durumu grafiği.	66



GEMİLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İZLENMESİ VE RAPORLANMASI

ÖZET

Denizcilik sektörü, her geçen yıl içerisinde, dünyadaki ticaret hacminin genişlemesi ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, önemli bir rol kazanmıştır. Bu durum da, dünya gemi filosunun artmasına yol açmaktadır. Artan gemi sayısı ile birlikte, gemilerin toplam yakıt tüketim miktarları artmakta ve buna bağlı olarak doğaya salınan zehirli gazların miktarı da artmaktadır. Bu durum, denizcilik şirketlerini, gemilerindeki yakıt tüketim miktarını azaltmaya ve enerji verimliliğini arttırmaya iten bir sebeptir. Ayrıca geçen yıllarda yakıt fiyatlarında görülen artış da denizcilik şirketlerinin bir dizi önlem almasına yol açmıştır. Bu önlemlerin alınmasında en başta gelen kurum Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)'dür. IMO, gemilerin dizayn aşamasından başlayarak tüm operasyonel ve bakım tutum verilerini de kapsayacak şekilde mevzuatlar hazırlayarak enerji verimliliği çalışmalarında etkili olmaktadır. Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) ve Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planlaması (SEEMP) bu mevzuatlara örnek olarak gösterilebilir. Mevzuatların dâhilinde geliştirilen enerji verimlilik çalışmaları yakıt tüketim miktarlarını azaltmaya fayda sağlamaktadır.

Enerji verimlilik çalışmaları incelendiğinde; enerji verimliliğini arttırmak ve yakıt tüketim miktarlarını azaltmak için gemilerden veri toplanması ve analizinin büyük önemi bulunmaktadır. Veri toplanması gemilerdeki günlük raporlar veya sürekli izleme yöntemleri ile yapılabilmektedir. Veri analizi ise, bu toplanan verilerin, bir takım anahtar performans göstergeleri kullanılarak anlamlı hale getirilmesi ve sonuçlarının yorumlanması anlamına gelmektedir. Bu çalışma kapsamında; enerji verimliliği adına doğru anahtar performans göstergelerini seçerek gemiden alınan verilerin analizini yapmak, analizler sonucunda elde edilen yakıt tüketim ve CO₂ salınım değerlerinin karşılaştırmalarına göre sefer verimliliklerini incelemek ve sefer verimlilikleri arasındaki farkların nedenlerini inceleyerek gemi personeline ve armatöre sefer verimlilikleri hakkında bilgilendirme yapmak amaçlanmıştır. Ayrıca veri toplama yöntemleri hakkında bilgiler verilerek karşılaştırmalar yapılmış, yöntemlerin avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. Çalışma dâhilinde örnek bir geminin günlük raporları veri toplama yöntemi olarak kullanılmıştır. Alınan veriler seçilen anahtar performans göstergeleri ile analiz edilmiş, analiz performans göstergelerinin dizayn şartlarındaki değerleri gemi dizayn özelliklerine göre hesaplanmış ve ortaya çıkan sonuçlar yorumlanmıştır.

Yapılan tüm bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkan sonuçlar ve yorumlar, örnek geminin sahibi olan denizcilik şirketine ve benzer özelliklerde gemiye sahip olan başka şirketlere, geminin seferlerindeki enerji verimlilik durumu hakkında fikir oluşturmaktadır. Denizcilik şirketlerinin değerlendirmeleri ve geliştirmeleri ile gemilerin enerji verimlilik performansının artırılacağı düşünülmektedir.



MONITORING AND REPORTING OF ENERGY EFFICIENCY IN SHIPS

SUMMARY

Shipping has become important in every year with the expansion of trade volume in the world and the advancement of technology. This leads to an increase in world ship fleet. According to United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) the increase in the number of all ships in the world trade fleet appears to be around 5,5% between 2000 and 2015. Because of this increase, the amount of total ship fuel consumption is also increasing. It directly effects emission amounts of toxic gases as CO₂, NO_x, SO_x and become an environmental threat. This is why shipping companies try to reduce fuel consumption and increase energy efficiency on their ships. Additionally, high fuel prices is also an economical factor to reduce fuel consumption for shipping companies. On this way, International Maritime Organization (IMO) is the most important advisor to shipping companies. In years, IMO prepared different legislations for ship design, operation and management to increase energy efficiency in ships.

International Maritime Organization (IMO) published MARPOL declaration in 1973 in order to be able to produce solutions to toxic gas emission problems. This declaration has six additions and the last one, MARPOL ANNEX VI, has been included in the literature as Prevention of Air Pollution from Ships in 2005. During the following years new additions have been made to Annex VI. In 2009, Energy Efficiency Operational Index (EEOI) was added to MARPOL ANNEX VI to monitor CO₂ emissions from ships. In 2011, Energy Efficiency Design Index (EEDI) and Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) were added to MARPOL Annex VI. Also, The European Union issued a regulation under the name Monitoring, Reporting and Verification (MRV) on July 1, 2015 to monitor CO₂ emissions. This regulation, will be effective from 1 January 2018, is based on the fact that ships larger than 5000 GT will send their reports to the EU data center stations at least once a year, if they visit an European Port in that year.

As a result of all these environmental and economic problems observed, it seems that it is necessary to reduce CO₂ emissions and fuel consumption. For this reason, a lot of methods have been developed and studies have been done in order to use energy more efficiently in ships. After checking these energy efficiency studies, it is discovered that all effective studies has been made with real ship data. The collection of data has a great importance for the main idea of energy efficiency studies. Data collection at the ships is an helpfull way to increase hull and propeller coordination, to improve main and auxiliary machine performances, to create ideas for innovations in ship design, to ensure long-term operational optimization and to improve environmental impacts.

There are two basic methods for data collection. First method is known as noon reports. Ship crew prepares noon reports day by day and these reports include data as date, location, avarage speed, cargo mass, etc. These reports are mostly prepared at

noon time, so they have named as noon report. Second method for data collection is continuous monitoring method. With this method, data is collected with electronic devices such as; dgps, echo sounder, speed log etc. It is possible to collect data in a second with these devices. The main objective in data collection is, learning fuel consumption of vessel in her voyages. Then try to understand effects of other data on fuel consumption. To understand these effects next part of energy efficiency studies will be data analysis.

It can be said that during the ship's voyages, whether from noon reports or continuous monitoring from the devices, collected data are raw data and are only numbers. For this reason, raw data is need to be analyzed with some key performance indicators. It is possible to define key performance indicators basically as mathematical expressions, numbers. Bazari has defined some indicators as Fuel Consumption Index (FCI), Ship Energy Intensity (SEI), CO₂ Production Intensity (CO₂I), Propeller Energy Intensity (PEI). Also, after IMO prepared EEOI, it is used as a key performance indicator too. These indicators are firstly calculated according to the design values of the ship, and they become a comparison criterion. Afterwards, after the ship has started its voyage, it can be compared with the originally determined design values by making calculations for voyages.

In the light of all these information, the aim of this thesis is determined as; to analyze ship data by choosing the right key performance indicators for energy efficiency, to examine the efficiency of the voyage according to the comparison of fuel consumption and CO₂ emission values obtained as a result of the analyzes and to inform the ship crew and shipowner voyage efficiency by examining the reasons for of voyage energy efficiency.

According to this aim, firstly, a real ship has been chosen for data collection. Noon report data collection method is used for data collection. One year noon report data is gathered from ship and 50 voyages are available in one year. 28 of these 50 voyages are loaded and 22 of these voyages are ballast. After that, key performance indicators for this energy efficiency study is determined as Fuel Consumption Index (FCI), CO₂ Production Intensity (CO₂I) and Energy Efficiency Operational Index (EEOI). To calculate design value of indicators, ship design values are used such as; deadweight, design speed, specific fuel oil consumption and power of main engine. Then, data collected from noon reports, is analyzed for all these key performance indicators. For FCI and CO₂I, data are only analyzed for loaded voyages and compared with design indicator values. It is shown that 18 of loaded voyages indicator value were below design value and these voyages were energy efficient. For EEOI, data are analyzed for both loaded and ballast voyages. In EEOI calculations, effects of ballast voyages are also analyzed. Separately all loaded voyages indicator values are compared with design value. It is, again, shown that 18 of loaded voyages indicator value were below design value. This situation shows that all these indicators results are same and consistent.

After comparing the voyage indicator values with each other and design value, it can be said that, some voyages are energy efficient, however some voyages are not. The reasons for this situation is amount of fuel consumption, amount of cargo loaded, distance travelled in voyage, average ship speed and weather. To understand the main reason for energy efficiency, voyages are compared with each other using these different data and results.

Finally, after all these works, some final reasons has discovered for energy efficiency. For example, in same voyage route and cargo, there are two different indicator values available. In one voyage, indicator value of voyage is better than design value, however other voyage is not. After checking these two voyages, it is shown that, fuel consumption amount of efficient voyage is less than other one. In these two voyages avarage ship speed, amount of carried cargo and travelled distance is nearly same. However, weather effects are different. In energy efficient voyage, effect of weather is less than other voyage so, needed power to reach same ship speed is also less. With these information, it can be proved that weather has a direct effect on fuel consumption and energy efficiency.

In another example, transport work is compared in different voyages. Ship has travelled close distance in seperate voyages. Fuel consumption per mile is also close in these two different voyages. However, carried cargo amount of first voyage is nearly twice of other one. After calculations, it is shown that, indicator value of less cargo voyage is twice of other voyage. With these information, it can be proved that transport work has a direct effect on fuel consumption and energy efficiency.

As a final stand, these result and comments will be an opinion for shipping companies about energy efficiency. Different solution will be disscussed to increase energy efficiency on voyages. With continious monitoring devices it is possible to increase the amount of data and detailize this thesis in future.



1. GİRİŞ

1.1 Gemilerde Enerji Verimliliğinin Gerekliliği

Günümüzde dünya ticaret hacminde yaşanan artışlar, gelişen teknolojik faaliyetler ve üretilen çok çeşitli ürünlerin bir yerden bir yere taşınması gerekliliği, taşımacılığı tüm dünyada çok önemli bir noktaya yerleştirmiştir. Karayolu, havayolu, demiryolu ve denizyolu taşımacılıklarının tümü düşünüldüğünde deniz taşımacılığının daha düşük maliyetli ve daha yüksek hacimli oluşu tüm dünyada deniz taşımacılığını ön plana çıkarmıştır. Deniz taşımacılığının tüm dünyadaki taşımacılığa oranı %90 seviyelerindedir (Hoffmann, 2010).

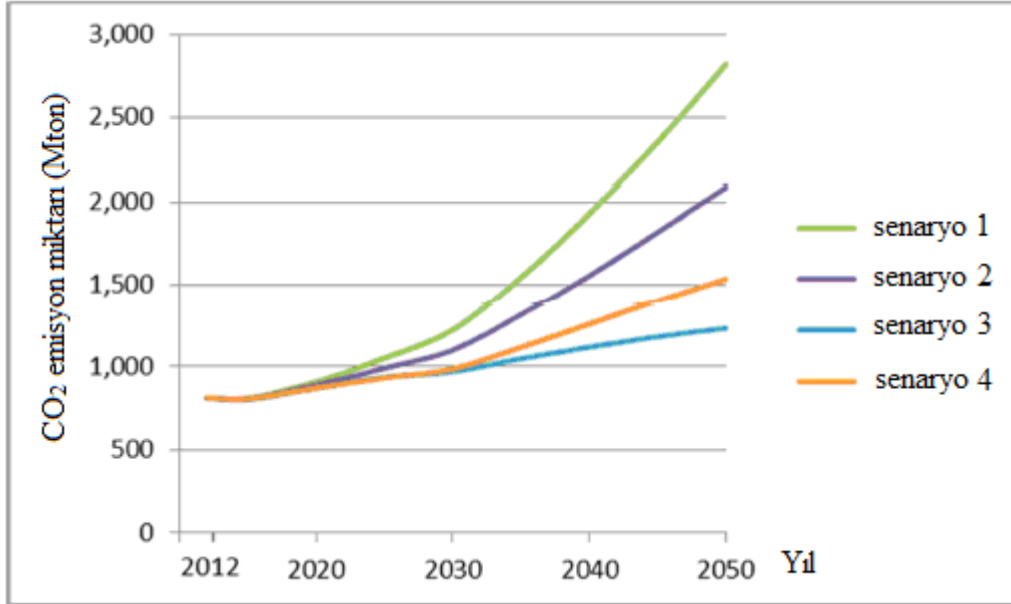
Bu durum, her geçen yıl, hem toplam taşınan ürün tonajının; hem de deniz ticaret filosundaki toplam gemi sayısının artmasına neden olmuştur. 1970 yılında taşınan toplam ürün miktarının 2605 milyon ton olduğu görülürken bu miktar 2015 yılında 10047 milyon ton kadardır (UNCTAD, 2016). Ayrıca dünya ticaret filosundaki tüm gemi sayısındaki artışın 2000 ile 2015 yılları arasında yaklaşık %5,5 dolaylarında olduğu görülmektedir (UNCTAD, 2016).

Gemi sayısındaki artış ve yaşanan teknolojik gelişmelerin her ne kadar taşımacılık ve ticaret adına olumlu gelişmeler olduğu düşünülse de olumsuz yanları da bulunmaktadır. Bu olumsuzlukları; artan CO₂ salınımlarından kaynaklanan iklim problemleri, artan yakıt fiyatları ve yakıt tüketiminden kaynaklı ekonomik problemler olarak sıralayabiliriz (Johnson, 2013).

1999 yılının verilerine göre, Atlantik'in kuzeydoğusu, Kuzey Denizi ve Baltık Denizi'nin toplamında yapılan uluslararası denizcilik faaliyetleri nedeniyle salınan toplam SO₂ miktarı 1,6 milyon ton ve NO₂ miktarı 2,3 milyon ton olarak kayıt edilmiştir (Kageson, 1999).

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)'nün verilerine göre 2007–2012 yılları arasında tüm dünyadaki ortalama CO₂ salınım miktarı 33273 milyon ton kadardır ve geçen 6 yıl içerisinde salınım miktarının yılbaşına %3,0 kadar arttığı görülmektedir. Yine bu tarihler arasında toplam salınımın %2,6'sı uluslararası denizcilik faaliyetleri kaynaklı

olmaktadır. Bu da yılda ortalama 846 milyon ton civarında gelmektedir (IMO, 2014). 2012 yılının verilerine göre 796 milyon ton civarında olan, uluslararası denizcilik faaliyetleri sebebiyle oluşan CO₂ salınım miktarının, 2050 yılına kadar, oluşturulan farklı senaryolara göre, %50 ila %250 oranlarında artması öngörülmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : 2012–2050 yılları arasında beklenen gemilerden kaynaklı CO₂ emisyon artış senaryoları (IMO, 2014).

Örneğin 1 numaralı senaryo, dünyadaki toplam CO₂ emisyon miktarının yılda %3,0 artışla 2050 yılına kadar devam etmesi ve uluslararası denizcilik faaliyetlerinden kaynaklı CO₂ salınım miktarının toplam CO₂ salınım miktarına oranı %2,6 civarında seyretmesi öngörülerek hazırlanmıştır. Yıllık toplam CO₂ emisyon miktarındaki artışın %2,0 seviyesine çekilebilmesi ve uluslararası denizcilik faaliyetlerinden kaynaklı CO₂ salınım miktarının toplam CO₂ salınım miktarına oranı %2,6 civarında seyretmesi durumu senaryo 2, yıllık toplam CO₂ emisyon miktarındaki artışın %1,0 seviyesine çekilebilmesi ve uluslararası denizcilik faaliyetlerinden kaynaklı CO₂ salınım miktarının toplam CO₂ salınım miktarına oranı %2,6 civarında seyretmesi durumu senaryo 3, yıllık toplam CO₂ emisyon miktarındaki artışın %2,0 seviyesine ve uluslararası denizcilik faaliyetlerinden kaynaklı CO₂ salınım miktarının toplam CO₂ salınım miktarına oranının da yine %2,0 seviyesine çekilebilmesi durumu senaryo 4 olarak hazırlanmıştır. Bu örnek senaryolar CO₂ salınım miktarındaki artışın azaltılmaya çalışılması hakkında bir tavsiye niteliğinde olduğu söylenebilir.

Yaşanmakta olan bu problemlere çözüm üretebilmek adına Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) 1973 yılında MARPOL isimli bildiriye yayınlamıştır. Günümüzde altı ekten oluşan MARPOL'ün CO₂ salınımlarını da içine alan kısmı MARPOL EK VI Gemi Baca Gazlarından Kirilenmenin Önlenmesi İçin Kurallar olarak literatürde yerini almıştır (IMO, 2005). Devam eden yıllar içerisinde EK VI'ya yeni eklemeler de yapılmıştır. 2009 senesinde gemilerden kaynaklı CO₂ salınımlarını denetlemek adına Enerji Verimliliği Operasyonel İndeksi (EEOI) MARPOL EK VI'ya eklenmiştir (IMO, 2009). Bu tarihten sonra EEOI'nın operasyonel enerji verimliliğine etkileri yapılan çalışmalarla incelenmiştir (Acomi ve Acomi, 2014). 2011 yılında da Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) ve Enerji Verimliliği Yönetim Planlaması (SEEMP) MARPOL EK VI'ya eklenmiştir (IMO, 2011).

Avrupa Birliği de CO₂ emisyonlarını denetlemek adına 1 Temmuz 2015 tarihinde İzleme, Raporlama ve Doğrulama (MRV) adı altında bir yönetmelik yayınlamıştır (The European Parliament and the Council of the European Union, 2015). Bu yönetmelik 5000 GT'den büyük gemilerin yılda en az bir kez bir Avrupa Limanı'na uğraması durumunda AB veri merkezi istasyonlarına raporlamalarını göndermeleri ve doğrulattırmaları üzerine kurulmuştur ve 1 Ocak 2018 tarihinden itibaren yürürlüğe girecektir. IMO'nun da bu konuda çalışmalar yaptığı bilinmektedir ve kısa süre içerisinde bir MRV yönetmeliği yayınlaması beklenmektedir.

Gözlenen tüm bu iklimsel ve ekonomik sorunların bir sonucu olarak CO₂ salınımlarını azaltmanın ve yakıt tüketimini düşürmenin bir gereklilik olduğu görülmektedir. Bu nedenle de gemilerde enerjinin daha verimli kullanılması adına birçok yöntem geliştirilmiş ve çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda göze çarpan en önemli özellik gemilerde enerji verimliliğinin dört ana başlıkta incelenmiş olmasıdır. Bu başlıklar gemi tasarım uygulamaları, sevk ve pervane sistemleri, makine sistemleri ve gemi bakım-tutum ve operasyonları olarak sıralanmıştır (Wartsila, 2009; Talay ve diğ., 2013; ABS, 2014).

Bahse konu başlıkların içerisinde önerilen enerji verimliliği yöntemleri, yapılan çalışmalarda, farklı gemiler ve filolar üzerinde uygulanarak, en iyi enerji verimliliği düzeylerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalardan bir tanesi, Armstrong (2013), Teekay Shipping firmasının Aframax tankerleri üzerinde yapılmıştır. Geminin gövde, pervane, ana ve yardımcı makineleri üzerinde optimizasyonlar yapılmış; ayrıca rota ve hava koşulları da incelenmiştir. Tüm bu gözlemler ve çalışmalar

ışığında, enerji verimliliğinde gözlenen artışın, hem yakıt tasarrufu nedeniyle ekonomik, hem de CO₂ salınımının azalması sebebiyle iklimsel olarak faydaları vurgulanmıştır. Benzer bir çalışma, Erat (2014), Türkiye’de Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı bünyesinde de gerçek gemi verileri kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada gemilerden alınan günlük raporlar kullanılmıştır. Bu raporlardaki veriler ile gemilerin sabit bir rota üzerindeki seferlerinde; gemi genel performansının, tekne ve pervane optimizasyonunun, hava koşullarının ve hız optimizasyonunun enerji verimliliğine etkileri incelenmiştir.

Yapılan genel çalışmaların dışında enerji verimliliğinin artırılma çalışmaları belirli konular üzerinde de ilerlemektedir. Örneğin; ana makine sistemlerinin verimliliğinin artırılması adına yapılan bir çalışmada, Mellin ve Andler (2013), Maersk Kithira gemisinin MAN marka ana makinesi optimizasyonunu incelemiştir. Makinenin çalışma verileri okunup, analiz edilmiş ve yapılan optimizasyon ile yakıt tüketiminin azaltıldığı ve enerji verimliliği sağlandığı saptanmıştır. Yine benzer bir konuda yapılan bir çalışmada, M/V İnce Bolu gemisinin ana makinesi üzerinde performans değerlendirmesi ve matematik modellemesi yapılmış ve enerji verimliliğinde ana makinenin etkisi incelenmiştir (Kökkülünk ve diğ., 2016).

Enerji verimliliği çalışmalarının en önemli başlangıç noktası incelenecek ve geliştirilecek sistemlerin çalışma verilerinin toplanmasıdır. Bu verilerin gemi üzerindeki farklı bölgelerden ilgili cihazlar yardımıyla hem otomatik hem de personelin günlük tuttuğu raporlar yardımıyla edinilmesi gerekmektedir. Örneğin “speed log”, “echo sounder”, “rpm&torque meter” gibi cihazlar yardımıyla alınan veriler enerji verimliliği çalışmalarında kullanılmaktadır (Hansen ve diğ., 2012; Baldi, 2016). Edinilen bu verilerin belirsizlik analizlerinin de yapılması gerekmektedir. Bu analizler, verilerin en sağlıklı ve optimize şekilde kullanılmasını ve en doğru sonuca ulaşılmasını sağlayacaktır (Aldous, 2015).

Tüm bu araştırmalarda karşılaşılan ortak sonuç ise, gemilerde kullanılan gerek makine gerekse operasyonel tüm sistemlerin minimum yakıt tüketimi ve maksimum enerji verimliliği sağlanacak şekilde modellenmesi ve optimize edilmesi olarak ifade edilebilir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümün amacı; öncelikli olarak, enerji verimliliği hakkında yapılan çalışmaların, veri toplanmasının ve analizinin enerji verimliliği çalışmalarındaki önemini incelemektir. Yapılan bu incelemeler ve araştırmalar vasıtası ile literatürdeki en güncel çalışmalar gözlemlenecek, ayrıntılı olarak incelenerek analiz edilecek ve konu ile ilgili boşluklar keşfedilmeye çalışılacaktır.

2.1 Enerji Verimliliği Hakkında Yapılan Çalışmalar

Gemilerde enerji verimliliğini arttırmak ve yakıt tüketimini azaltmak adına çeşitli çalışmalar geçmişten günümüze kadar yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir. Denizcilik alanında enerji verimliliğinin artırılması ve buna bağlı olarak yakıt tüketimi ve CO₂ salınımlarının azaltılması için yapılan çalışmaların, IMO tarafından belirlenen kurallar çerçevesinde yürütüldüğü açıkça görülmektedir. IMO'nun enerji verimliliği kuralları, gemilerin dizayn ve inşa aşamasından başlayıp tüm sefer ve bakım-tutum operasyonlarını göz önünde bulundurur. Bu nedenle enerji verimliliğini arttırmayı amaçlayan çalışmaların; dizayn, sevk, makine, operasyon ve bakım-tutum gibi maddelere ayrılarak incelendiği söylenebilir. Wartsila (2009) ve ABS (2014) gibi kurumların yaptıkları enerji verimliliği çalışmalarında yakıt tüketimini azaltmaya yarayacağı tahmin edilen geliştirmelerden bahsedilmiş ve enerji verimliliğini arttıracığı düşünülen bir dizi yöntemin tahmini olarak payları yüzde olarak verilmeye çalışılmıştır.

Gemilerde enerji verimliliğinin başlangıç noktası geminin dizayn ve inşa aşaması olduğu söylenebilir. IMO'nun da bu duruma; 2011 yılında, MARPOL EK VI'ya, EEDI yönetmeliğini ekleyerek değindiği görülmektedir. Dizayn konusunda yapılan enerji verimliliği çalışmaları IMO'nun belirlediği kurallar ve formüller göz önünde bulundurularak geminin dizaynını optimum şekilde yapabilmek üzerine kurulmaktadır. Yapılan bir çalışmada, Hasan (2011), açıkça görülmektedir ki IMO'nun farklı gemi tipleri için belirlediği EEDI sınırları enerji verimliliğinin en yüksek seviyede olmasını amaçlamaktadır. Dökme yük, konteyner ve tanker gibi

gemi tipleri için optimum dizaynın sağlanması amacıyla yapılan çalışmada geminin hızı, su hattı boyu, genişliği, draftı, boy-genişlik oranı, genişlik-draft oranı ve prizmatik katsayısı göz önünde bulundurularak EEDI hesapları yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuca göre EEDI ile yapılacak optimum dizaynın enerjiyi daha verimli kullanmayı ve yakıt tasarrufu elde etmeyi sağlayacağı görülmüştür. Bunun dışında gemi tasarımları yapılırken mümkün olduğunca hafif materyaller kullanmanın geminin direncinde yapacağı azalma ile düşük yakıt tüketimi sağlayarak enerji verimliliği sağlayabileceği düşünülmektedir.

Geminin kış tasarım optimizasyonunun iyi yapılması; gemi kış tarafına sert dalgaların etkisinin azaltılması, pervane içine akışın geliştirilmesi ve girdap etkilerinin önlenmesi için oldukça önemlidir. Ek olarak gemi dizaynında “air lubrication” olarak adlandırılan yeni teknolojilerin de enerji verimliliğini arttırmak adına kullanılabilirdiği görülmektedir. Gemi tekne yüzeyinin hava kabarcıkları ile yağlanması üzerine tasarlanmış olan bu sistem deniz suyu ile gemi gövdesi arasındaki direnci azaltarak, tahrik için gerekli güç ihtiyacının azalmasını sağlar. Daha az güç ile aynı itkinin yapılması yakıt tüketiminin de azalması anlamına geldiğinden enerji verimliliği için önemli bir nokta olarak dikkat çekmektedir (Kawabuchi ve diğ., 2011).

Ayrıca bir geminin dizaynının yanında doğru makine sistemleri ve doğru sevk sistemlerinin seçilmesi de enerji verimliliği açısından önemlidir. Bu konularda sistem üreticisi firmaların yaptıkları çalışmalarda farklı tip ve tonajlardaki gemiler için en iyi makine gücü, silindir sayısı ve devri ile birlikte kullanılacak pervane sayısı, kanat sayısı ve devri için öneriler de yapılmaktadır (MAN Diesel & Turbo, 2013).

Geminin sevk sistemleri için seçim yapılırken geminin tipi ve çalışacağı bölgenin de önemi büyüktür. Duruma göre ters dönüşlü çift pervane sisteminin tahrik sistemi olarak gemilerde kullanılması enerji verimliliği açısından geliştirmeler sağlayabilir. Öyle ki tahrik için gerekli güç ihtiyacının %10–15 dolaylarında azalması gündeme gelebilmektedir (Talay ve diğ., 2013). Özellikle yüksek manevra gerektiren alanlarda çalışan; örneğin deniz otobüsü gibi deniz taşıtlarında, azimut pervane sistemlerinin kullanılması da enerji verimliliği artırma çalışmaları için önemlidir. Pervane kanatlarının geliştirilmesi ve pervane verimlilik ölçümlerinin yapılması da sevk sistemleri açısından enerji verimlilik yöntemleri olarak incelenebilir.

Gemilerdeki makine sistemleri ve enerji verimlilik yöntemleri incelendiğinde; ilk öne çıkan nokta makinelerin çalıştırılabilmesi için gerekli yakıtlardır. Gemilerde kullanılan yakıtların iyileştirilmesi ve çevreci bir hal alabilmesi için çalışmalar yürütülmektedir. Ayrıca gemilerde son zamanlarda rüzgâr ve güneş enerji sistemleri ile sevk sağlayabilecek hibrit güç sistem denemelerinin yapılmakta olduğu ifade edilebilir (Adnanes, 2016).

Makine teknolojisinin gelişmesi ile birlikte geliştirilen yeni sistemler ve uygulamalar enerji verimliliği çalışmalarında önde gelmektedir. Bu tarz uygulamalardan biri atık ısıdan enerji geri kazanım sistemleridir. Bu sistemlerde dizel makinelerden atılan egzoz gazları kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca gemideki motorlara da ekstra güç üretimi sağlanmaktadır. Bu şekilde normalde atık olarak salınacak olan ısı enerjisi geri kazanılarak enerji verimliliği sağlanmış olur (MAN Diesel & Turbo, 2014; Nielsen ve diğ., 2014). Makine teknolojisi sayesinde kullanılan bir diğer uygulama ise ortak hat uygulamasıdır. Ortak hat uygulamasında da amaç yanma sırasında yakıt tüketiminin azaltılarak CO₂ ve SO₂ emisyonlarının azaltılmasıdır.

Gemilerde enerji verimliliğinin artırılması için önem verilmesi gereken bir diğer nokta ise geminin operasyonel planlamasıdır. Bu operasyonel planlamanın içeriğine geniş bir pencereden bakılacak olunursa; geminin seferdeki ortalama hızı, geminin rotası, rota üzerinde karşılaşılan hava koşulları, gemi pervane ve gövde temizliği, oto pilot kullanımı, ana makine ve yardımcı makinelerin optimizasyonu gibi bileşenlerle karşılaşılabilmektedir (Armstrong ve Banks, 2015). Bu bileşenler incelendiğinde tamamının enerji verimliliğinin geliştirilmesi için kullanılabilen yöntemler oldukları görülmektedir. Denizcilik şirketleri hava ve denizin durumuna göre rota belirlenmesini bazı programlar yardımıyla desteklemektedir. Yine pervane ve gövde temizliğine dikkat edilmektedir. Pervane ve gövde temizliğinin belirli periyotlarla yapılması yakıt tüketiminin gemilerde %3 ila %5 oranında azalttığı gözlenmektedir (Wartsila, 2009). Bunun yanı sıra hız optimizasyonu da günümüzde enerji verimliliği çalışmaları açısından önem kazanmaktadır. Yapılan çalışmalarda, belirlenen liman varış sürlerinde yapılacak düzenlemeler ile optimum ortalama hızlarda seyir, güç ihtiyacını ve yakıt tüketimini azaltmaya fayda sağlamaktadır. Buna göre; ortalama hızda yaşanacak %10 civarındaki bir azalma, güç ihtiyacında %27'lik bir düşüş

yaratacak ve CO₂ salınım miktarları da %19 civarında azalmış olacaktır (Zanne ve diğ., 2013).

Bu konuda en iyi verimlilik sonuçlarına ulaşmak ve çıkarımlar yapabilmek adına çalışmalarda en sık karşılaşılan noktanın, gerçek gemiler üzerinde yapılan çalışmalar olduğu söylenebilir. İncelenen birçok çalışmada ya farklı tiplerdeki birkaç farklı gemi üzerinde ya da aynı tip gemilerin oluşturduğu büyük bir filo üzerinde enerji verimliliği çalışmaları yapılmıştır. Geminin operasyonel yönetiminin enerji verimliliğine etkilerinin incelendiği çalışmalarda, bahse konu bileşenlerin, verimliliğe ve dolayısıyla yakıt tüketimine etkilerinin nasıl olduğu görülebilmektedir. IMO'nun operasyonel verimlilik ve yönetim planlaması ile ilgili çıkarmış olduğu EEOI ve SEEMP mevzuatları da bu tip çalışmalarda kullanılmış ve yol gösterici olmuştur. Örneğin; aynı geminin, aynı rotada, aynı yük ile sahip olduğu EEOI değerinin sefer planlamasında yapılan optimizasyon ile %18–20 oranlarında azaltılabileceği ve böylece yakıt tüketiminde ciddi azalma sağlanabileceği ifade edilmiştir (Acomi ve Acomi, 2014). Bu çalışmalardan bir başkasında, Armstrong (2013), 50 aframax tankerden oluşan bir filoda, 5 yılı aşkın süre içerisinde, toplam yakıt tüketiminin nasıl azaltıldığı uygulanan yöntemler ile anlatılmıştır. Bu yöntemlerin tamamı yıllarca yapılan izlemeler ve toplanan verilere dayanmaktadır.

Tüm bu enerji verimliliği yöntemlerinin gemiler üzerinde uygulanmasının gerekliliği enerji verimliliği izleme, analiz ve raporlama çalışmalarının yapılmasından sonra ortaya çıkabilmektedir. Bu yöntemlerden hangilerinin hangi gemilerde veya filolarda uygulanacağına karar verebilmek için gemilerden konum, hız, rüzgar ve deniz durumu, yakıt tüketimi, devir gibi verilerin izlenmesi ve analizlerinin yapılması gerekmektedir.

2.2 Veri Toplanması Enerji Verimliliğindeki Önemi

Bir önceki bölümde ifade edildiği üzere; gerçek gemi verileri dikkate alınarak yapılan enerji verimliliği çalışmalarının sayısı oldukça fazladır. Bu çalışmaların ortak noktası ise; gemilerden elde edilen veriler kullanarak, bu verileri yakıt tüketimi ve enerji verimliliği ile ilişkilendirmeleridir. Konu verilerin elde edilmesi için kullanılan iki genel yöntem vardır. Bunların birincisi gemilerde personelin tuttuğu günlük raporlar, diğeri ise otomatik olarak istenen süre aralığında veri toplayabilen

sürekli izleme sistemleridir. Elde edilen bu verilerin enerji verimliliği çalışmalarındaki yeri oldukça önemlidir (Ando, 2011).

Enerji verimliliğinin gemi sefer yönetimi ile ilişkisini incelemek amacıyla yapılan bir çalışmada, Beşikçi (2015), altı farklı gemiden edinilen günlük raporlardaki verilerin bir paket program yardımıyla analizi yapıldıktan sonra yakıt tüketiminin ayrı ayrı ortalama gemi hızı, gemi draftı, gemi trimi, hava koşulları ve geminin rpm değeri ile olan ilişkileri incelenmiştir. Ortaya çıkan bu değerler oluşturulan modelleme sistemi ile ayıklanmış ve bu etmenlerin enerji verimliliğine etki miktarları ifade edilmiştir. Çalışma kapsamında gemi sahibi ve personelinin alabileceği önlemleri belirtmek ve bir karar destek sistemi oluşturmak amaçlanmıştır.

Bir başka benzer çalışmada aynı şirketin sahip olduğu 4 farklı gemiden alınan 1 yıllık günlük raporlar vasıtası ile elde edilen veriler yardımıyla, bu gemilerin operasyonel enerji verimliliğinin analizi yapılmıştır. Çalışmada anahtar performans göstergeleri olarak EEOI ve deniz mili başına yakıt tüketimi kullanılmıştır. Gemilerin tekne ve pervane temizliği, gemilerin ortalama hızları, hava ve deniz şartları gibi çevresel koşullar sabit bir rotada ve aynı yük ile 1 yıl boyunca izlenmiştir. Oluşturulan formüller ve korelasyon değerleri ile bu verilerin analizleri yapılmış ve gemi EEOI değerleri ve toplam yakıt tüketimi ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak izlenen değerlerin hem gemilerin ayrı ayrı EEOI değerlerinde hem de yakıt tüketimlerinde oluşabilecek azalmalar yüzdesel olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu azalmaların armatöre sağlayabileceği yıllık kar miktarları da yaklaşık olarak hesaplanmıştır (Erat, 2014).

Gemilerde veri toplamak için kullanılan ve içerisinde speed log, echo sounder, torque meter gibi otomatik ölçüm cihazları ile toplanan verilerin analizini yapabilen birçok paket program bulunmaktadır. Yapılan kapsamlı çalışmalarda günlük raporlar yerine bu sistemlerden de yararlanılmaktadır. Alınan bu verilerin isteğe göre dakikada hatta saniyede bir okunacak şekilde ayarlanması da mümkündür. Bu komple sistemlerin verinin modellemesini ve analizini yaptıktan sonra anahtar performans göstergelerine göre ortaya çıkardığı sonuçların gerçekçiliğinin oldukça yüksek olduğu ifade edilmektedir (Hasselaar, 2010). Ayrıca bu sistemlerin her gemi türüne rahatlıkla kurulabileceği de belirtilmiştir. Yine de günlük raporlardan da gerçekliği yüksek sonuçlar alınabiliyorken bu maliyeti yüksek sistemlerin kullanılabilirliği tartışmaya açıktır.

2.3 Teorik Modelleme ve Veri Analizi Örneklemeleri

Gemilerin seferleri sırasında, ister günlük raporlardan ister otomatik olarak cihazlardan, elde edilen bu verilerin ham veriler olduğu ve sadece sayılardan ibaret oldukları söylenebilir. Bu nedenle bu verilerin, enerji verimliliği adına anlam ifade edebilmesi için, farklı modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller yardımıyla bazı paket programlar ve sistemlerde işlenen verilerin analizleri yapılmaktadır. Analizi yapılan veriler enerji verimliliği ve yakıt tüketimi adına yorumlanabilir hale getirilmektedir.

Bahse konu modellemelerden bir tanesinin yapay sinir ağları modeli olduğu yapılan araştırmalar sonucu görülmüştür. Gemi günlük raporlarından elde edilen veriler yardımıyla, yapay sinir ağları modeli ile gemi seferine ait çeşitli operasyonel koşullarda, geminin yakıt tüketimi modellenmiştir (Beşikçi, 2015). Ayrıca raporlardan alınan ve modellenen bu veriler “Statistical Package For Social Sciences” paket programı ile istatistikî olarak analiz edilmiş ve bu veriler ile yakıt tüketimi arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur.

İncelenen bir başka tezde, Aldous (2015), gemideki otomatik veri alma cihazları yardımıyla toplanan hız, draft, trim, hava koşulları gibi operasyonel veriler; ana makine, yardımcı makineler, kazan gibi sistemlerden alınan veriler; ve dizayn verilerinin tamamı kullanılarak yapılan enerji verimliliği çalışmasında teorik ve istatistiksel olmak üzere iki model kullanıldığı görülmüştür. Her iki modelde de aynı veriler kullanılmıştır ve modeller karşılaştırılmıştır. Teorik modelde dizayn verileri ön planda tutularak bu veriler operasyonel ve çevresel faktörler ile ilişkilendirilmiştir. Fakat sınırları ve sonuçları itibariyle daha yüzeyseldir. İstatistiksel model ise tüm verilerin kendi içlerindeki değişken kombinasyonlarına göre oluşturulmuştur. Enerji verimliliği adına yapılan analiz sonrasında istatistiksel model teorik modele göre daha iyi sonuçlar verse de zayıf kaldığı noktalar da olmuştur. Bunun üzerine çoğunlukla istatistiksel modelden faydalanarak hybrid model adında üçüncü bir modelleme tekniği geliştirilmiştir. Yapılan belirsizlik analizleri ve simülasyonlardan sonra hybrid modelin ayrı ayrı üç model arasında en iyi sonuçları verdiği görülmüştür.

Bazı modellemeler, sistemler üzerinde de yapılabilmektedir. Örneğin pervane ve ana makinenin uyumunun yakıt tüketimine etkisi paket programlar yardımıyla

modellenecek incelenebilmektedir. Yine sık olarak kullanılan enerji verimliliği artırma yöntemlerinden biri olan “waste heat recovery” sistemlerinin de optimizasyonu ve modellenmesi bu tarz programlar ile yapılabilmektedir (Baldi, 2016).

Enerji verimliliği çalışmalarında kullanılan bir başka modelleme yöntemi de Bond-Graph yöntemidir. 1960 senesinde H. Panyter tarafından geliştirilmiştir. Model grafiksel bir dil yapısında sahip olup farklı verilerin kombinasyonlarına ve aralarındaki ilişkilere göre analiz yapmaya uygundur (Rokseth, 2014). Gemilerdeki enerji verimliliği çalışmalarında ise bond graph modelini kullanarak veri analizi yapabilen GES(General Energy System) paket programından yararlanılabilmektedir. Otomatik ölçüm cihazlarından alınan hız, devir, deniz ve hava koşul verileri, draft gibi tüm veriler GES programı içerisinde toplanarak geminin performans analizi çıkarılabilir. M/V Clementine Maersk gemisi ile yapılan bir çalışmada bu programın kullanım örnekleme görülmektedir. Tüm bu veriler ile çıkarılan performans analizleri sonucunda da geminin gövde ve pervane temizliği ile hız optimizasyonunun enerji verimliliğindeki etkileri ifade edilmiştir (Hansen ve diğ., 2012).

Başka bir çalışmada, Marty (2013), Modellica programının yazılım dilini kullanarak Seecat adında bir enerji verimlilik modeli oluşturmuştur. Belirlenen rotalarda program seferi simüle ederek optimum yakıt tüketimi ve CO₂ salınım miktarlarını hesaplamıştır. Bu modele göre gerçek yolcu gemilerinden alınan gemi hızı, yakıt tipi, konum, hava ve deniz durumu gibi veriler yardımıyla seferde tüketilen toplam yakıt miktarı ve CO₂ salınım miktarı hesaplanmıştır. Simüle edilen optimum değer ile gerçek değerler karşılaştırılarak oransal olarak verimlilik hesaplanmış ve verimliliğe olan etkiler yorumlanmıştır.

Kurulan tüm bu modellerin ortak amacı enerji verimlilik analizlerini yapabilmek ve yakıt tüketim miktarlarının seferlere göre artış veya azalışının altında yatan sebepleri anlayabilmektir. Hangi model veya analiz tekniği kullanılırsa kullanılsın gemi hızı, makine devri, deniz ve rüzgar durumu, trim, draft, taşınan yük miktarı gibi veriler yakıt tüketim miktarlarını ve dolayısıyla enerji verimliliğini doğrudan etkileyen veriler olarak ifade edilmektedir (Beşikçi ve diğ., 2016).

2.4 Anahtar Performans Göstergelerinin Veri Analizindeki Önemi

Anahtar performans göstergeleri gemilerde enerji verimliliğinin anlaşılması ve yorumlanabilmesi için kilit rol oynamaktadır. Hem günlük raporlar ile hem de sürekli izleme sistemleri ile toplanan ham verilerin kendi başlarına enerji verimliliği hakkında bilgi vermesinin olanaklı olmadığı ve bu verilerin farklı modellerle analizinin yapılması gerektiği bilgisi daha önceki bölümlerde izah edilmişti. İşte bu analiz sırasında kullanılan, bir takım matematiksel değerler olarak karşımıza çıkan ve karşılaştırma ve karar mekanizması olarak kullanılan değerlerin tamamını anahtar performans göstergeleri olarak adlandırabiliriz.

Anahtar performans göstergelerini temelde birer matematiksel ifade, sayı olarak tanımlamak mümkündür. Bu göstergeler öncelikle geminin dizayn değerlerine göre hesaplanarak bir karşılaştırma kriteri haline getirilir. Sonrasında ise gemi sefere başladıktan sonra, ister seferlik, ister belirli periyotlar arasında, hesaplamalar yapılarak ilk belirlenen dizayn değerleri ile karşılaştırmalar yapılır ve sonuçlar çıkarılabilir.

Enerji verimliliği çalışmalarında kullanılan bazı anahtar performans göstergelerini Yakıt Tüketim İndeksi (FCI), Gemi Enerji Tüketim Yoğunluğu (SEI), Karbondioksit Üretim Yoğunluğu (CO₂I), Pervane Enerji Tüketim Yoğunluğu (PEI) gibi sıralamak mümkündür. Gemilerden alınan verilerin analizi, bu göstergelerin formüllerine göre yapılan hesaplamalar ile ortaya çıkan sonuçlar yardımıyla yapılmaktadır (Bazari, 2007). Ayrıca IMO, EEOI mevzuatını yürürlüğe koyduktan sonra, EEOI hesabı da bir anahtar performans göstergesi olarak kabul edilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Farklı çalışmalarda EEOI değerinin bir performans göstergesi olarak kullanıldığı ve bu değere göre yakıt tüketim karşılaştırmalarının yapıp sonuçlar çıkarılarak tavsiyeler sunulduğu görülmektedir (Lu ve diğ., 2015).

Bir geminin enerji verimlilik çalışmalarını yürütürken en az üç farklı anahtar performans göstergesi seçilmesi ve uygulanması oldukça önemlidir. Öncelikle, geminin performans verilerine uygun anahtar performans göstergeleri seçilmesi gerekmektedir. Kullanılmak istenilen göstergelerin hesaplamalarında ihtiyaç olunacak verilerin kolay izlenebilir olması ve yeterli sayıda veriye sahip olunması gösterge seçiminde önemli bir gerekliliktir. Aynı zamanda seçilen göstergelerin anlaşılması ve yorumlanması olabildiğince kolay olması gerekmektedir (Kirk, 2013).

Anahtar performans göstergeleri hesaplandıktan sonra ortaya çıkan değerler ve grafiklerin okunması ve yorumlanması bu çalışmaların yapılmasındaki ana nedenlerden biridir. Armatörlerin ve gemi işletmecilerinin amacı; burdan çıkacak yorumlar ve tavsiyeler ile enerji verimliliğini arttırarak, yakıt tüketimi ve CO₂ salınımlarını azaltmak şeklinde olmaktadır. Bu nedenle anahtar performans göstergelerinin seçimi ve enerji verimlilik planlarındaki kullanımları en hızlı ve en etkili sonucu verecek şekilde organize edilmelidir.

2.5 Tezin Amacı

Gemilerde enerji verimliliğinin arttırılması hakkında literatürde yer alan çalışmalar üzerinde yapılan incelemeler sonucunda; bir enerji verimlilik çalışmasının tüm aşamaları anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu incelemelere göre veri izlenmesinin ve analizinin enerji verimliliğindeki önemi ortaya çıkmaktadır. Fakat farklı veri izleme yöntemlerinin kullanılması yapılan çalışmalarda farklı sonuçların ortaya çıkmasına da neden olmaktadır. Aynı şekilde veri analizinde değişik performans göstergelerinin kullanılması ve değişik analiz sistemleri ve modellerinin kullanılıyor olması da elde edilen sonuçları ve yorumları etkilemektedir.

Bu çalışmanın asıl amaçlarını; enerji verimliliği adına doğru anahtar performans göstergelerini seçerek gemiden alınan verilerin analizini yapmak, analizler sonucunda elde edilen yakıt tüketim ve CO₂ salınım değerlerinin karşılaştırmalarına göre sefer verimliliklerini incelemek ve sefer verimlilikleri arasındaki farkların nedenlerini inceleyerek gemi personeline ve armatöre sefer verimlilikleri hakkında bilgilendirme yapmak şeklinde ifade edebiliriz.

Ayrıca, çalışmanın içerisinde yer alan veri izleme yöntemlerinin ayrıntılı olarak anlatılması, karşılaştırılması ve birbirlerine karşı olan avantajlarının ve dezavantajlarının listelenmesi ile, bu iki veri izleme yönteminden hangisinin verimlilik çalışmalarında kullanılmasının daha verimli olacağını anlaşılması da çalışmanın bir yan amacı olarak ifade edilebilir.



3. ENERJİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE GENEL YAKLAŞIM

Üçüncü bölümde genel olarak enerji kavramı ve enerji verimliliği çalışmalarından bahsedilmektedir. Bölüm; hem dünyada farklı sektörlerde uygulanan enerji verimlilik çalışmaları ve mevzuatları hakkında hem de denizcilik alanında enerji verimlilik çalışmaları hakkında bilgiler içermektedir. Ayrıca denizcilik ile ilgili kurumlar tarafından konulan kurallar ve bu kuralların uygulamaları hakkında da bilgiler bulunmaktadır.

3.1 Enerji Kavramı

Enerji, en basit tanımı ile iş yapabilme kapasitesidir. Farklı biçimlere girebilme yetisi sebebiyle çok farklı alanda farklı enerji çeşitleri bulunmakta ve kullanılmaktadır. Isı enerjisi, ışık enerjisi, ses enerjisi, mekanik enerji, elektrik enerjisi enerjinin farklı formlarına örnek olarak gösterilebilir. Bu enerji çeşitleri form değiştirerek birbirlerine dönüşebilirler ve enerji asla kaybolmaz.

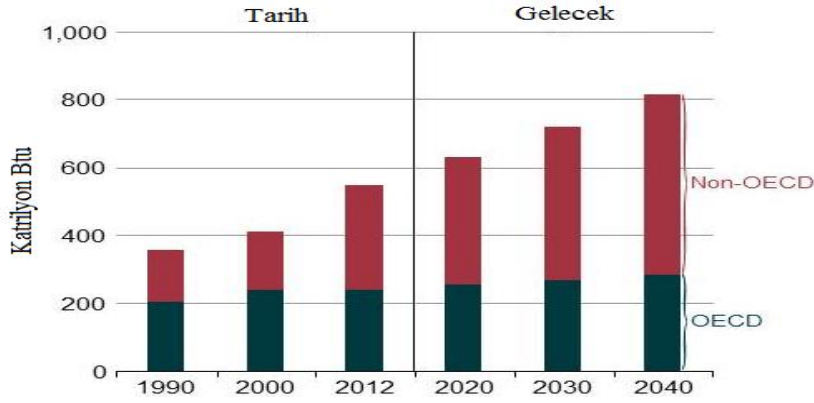
3.2 Dünyada Enerji Tüketim Miktarları

Tüm bu enerji formları dikkate alındığında gelişen teknoloji ve artan nüfus oranlarının da bir sebebi olarak tüm dünyada enerji talebi giderek artmaktadır. Tüm dünyadaki enerji tüketimi 2000 yılında 400 katrilyon Btu iken bu miktar 2012 yılında 549 katrilyon Btu seviyelerine ulaşmıştır. Enerji tüketim miktarlarındaki artışın bu düzeyde devam etmesi durumunda, tüm dünyadaki enerji tüketim miktarının 2040 yılında, 815 katrilyon Btu olması beklenmektedir. Bu da 2012 yılındaki tüketim miktarının %48 artması anlamına gelmektedir (Şekil 3.1).

3.3 Dünyada Enerji Verimlilik Projeleri

Enerjinin tüm dünyada bu denli tüketilmesi ve enerji ihtiyacının sürekli olarak artış göstermesi enerji verimliliği çalışmalarının hızlanmasına yol açmıştır. Hem ekonomik kalkınma ve sosyal kalkınma hedefleri, hem de sera gazları salınımindan kaynaklı çevre kirliliği enerji verimlilik çalışmalarının yapılması ve desteklenmesini

sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılma çalışmaları da son dönemlerde hızlandırılmıştır. Dünyanın farklı noktalarında elektrik enerjisi üretmek adına rüzgârdan faydalanan rüzgâr türbinleri, ısı enerjisi elde etmek adına güneşten faydalanan güneş enerji sistemleri kullanılmaktadır. Yine son dönem araçlarda hareket enerjisi elde etmek adına petrol içerikli yakıtlar yerine elektrik enerjisi ile çalışan motorlar kullanılarak çevre kirliliği en aza indirilmeye çalışılmaktadır.



Şekil 3.1 : Yıllara göre tüm dünyadaki enerji tüketim miktarları ve gelecekteki olası enerji tüketim miktarı beklentileri (USEIA, 2016).

3.3.1 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

Dünya enerji verimliliği çalışmalarına sessiz kalmayarak sera gazlarının salınımını azaltmak ve küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele edebilmek adına ortak bir noktada birleşmek istemiştir. Bu amaçla atılan ilk adım 1992 yılında Brezilya'nın Rio Da Janerio kentinde düzenlenen Rio Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)'dir. Daha çok bir iyi niyet anlaşması olarak görülmüştür. Sözleşmede temel amaç CO₂ ve sera gazlarının zararlarının ortaya konulması ve iklim değişikliğine insan etkisinin en aza indirilmesinin önemi hakkında vurgu yapılmasıdır. Buna göre sözleşmede yer alan bazı temel maddeler şöyle sıralanabilir (UN, 1992).

- İnsanlık sürdürülebilir kalkınmanın merkezinde bulunmaktadır ve doğayla uyumlu, sağlıklı ve üretken bir yaşama hakları vardır.
- Sürdürülebilir kalkınmayı başarmak amacıyla, çevresel koruma kalkınma sürecinin gerekli bir kısmını oluşturmalı ve ondan ayrı olarak düşünülmemelidir.
- Devletler ciddi çevresel bozulmaya sebep olan veya insan sağlığına zararlı olduğu bulunan her faaliyet ve maddeden diğer devletlere geri gönderme ve

transferi engellemek veya önüne geçmek için etkili bir şekilde işbirliğine gitmelidirler.

- Devletler bütün çevresel ihtilaflarını barışçıl şekilde ve Birleşik Milletler Tüzüğü ile uyum içinde uygun yollarla çözmelidirler.
- Devletler ve insanlar iyi niyetle ve ortaklık ruhuyla bu Bildirge'de belirtilen ilkelerin yerine getirilmesinde ve sürdürülebilir kalkınma alanındaki uluslararası kanunların daha ileri geliştirilmesinde işbirliğine gitmelidirler.

Sözleşmenin 21 Mart 1994 senesinde yürürlüğe girmesinin ardından üye ülkelerin katılımıyla her yıl farklı şehirlerde bir taraflar konferansı düzenlenmesi kararlaştırılmıştır. İlki 1995 yılında Berlin'de düzenlenen konferansların en önemlisi, 1997 yılında Kyoto'da düzenlenen konferans olarak kabul edilmektedir.

3.3.2 Kyoto Protokolü

11 Aralık 1997 tarihinde, adını Kyoto'da yapılan taraflar konferansından alan, Kyoto Protokolü imzalanmıştır. Kyoto Protokolü'nün amacı CO₂ ve sera gazlarının salınımının azaltılmasını sağlamaktır. Kyoto Protokolü içerisinde belirlenmiş olan bazı önemli maddeler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Böhringer, 2003).

- Atmosfere salınan karbon miktarı 1990 yılı seviyelerine geri çekilecektir.
- Atmosfere salınan sera gazı miktarı %5 seviyesine çekilecektir.
- Üretim, ulaşım, ısınma faaliyetlerinde daha az enerji ile aynı hatta daha fazla iş yapabilmek için mevzuat geliştirilecektir.
- Bio dizel yakıtlara yönelim teşvik edilecektir.
- Güneş enerjisi ve nükleer enerji ön plana çıkarılacaktır.

Kyoto Protokolü'nde devletler iki sınıfa ayrılmıştır. Bunlardan ilki EK1 ülkeler adıyla anılmaktadır. EK1 ülkeleri gelişmiş ülkeler olup EK2 ülkeleri ise gelişmekte olan ülkelerdir. EK2 ülkeleri EK1 ülkelerinin alt kümesi sayılmıştır. EK1 ülkeleri sera gazı salınımlarını kendileri için belirlenen sınırlara düşürmeyi kabul etmişlerdir. EK2 ülkelerinin ise böyle bir sınırlamaları yoktur fakat her yıl gaz envanter raporları vermek zorundadırlar. Fakat Kyoto Protokolü'nce belirlenen sınırlara düşmek EK1 ülkeleri için zorlayıcı olduğundan bu ülkelerin sera gazı salınımlarını azaltmak yerine EK1 ülkelerine, EK2 ülkelerinden karbon kredisi satın alma hakları

tanınmıştır. Bu durum da EK2 ülkelerinin karbon kredisi satarak, sera gazları salınımını azaltacak projelerde kullanılacak, maddi kaynaklar elde etmesini sağlamıştır. Bu yöntem ile de EK2 ülkelerinin konu ile ilgili teşvik edilmesinin amaçlandığı ifade edilebilir.

Protokol, 1997 yılında imzalanmasına rağmen yürürlüğe girebilmesi için belirlenen sınırlar nedeniyle ancak 16 Şubat 2005 yılında Rusya'nın da katılımıyla yürürlüğe girebilmiştir. Ayrıca Türkiye de protokolü imzalayacağını 2008 yılında resmen duyurmuş ve 17 Şubat 2009 tarihinde protokol Türkiye'de resmen yürürlüğe girmiştir.

3.4 Denizcilik Sektöründe Enerji Verimliliği Yaklaşımı

Düzenlenen enerji verimliliği mevzuatlarının yürürlüğe girmesiyle ortaya çıkan sınırlamalar, enerjinin kullanıldığı tüm sektörlerde olduğu gibi ulaşım sektöründe de enerji verimliliği ile ilgili düzenlemelerin yapılmasını gerektirmiştir. Ulaşım sektöründe hem ticaret hem de yolcu taşıma adına çok önemli bir yeri bulunan denizcilik sektöründe de enerji verimliliği çalışmaları giderek hızlanmıştır. Hem gemilerden salınan gazların çevreye vermiş olduğu zararlardan, hem de yüksek yakıt tüketim miktarlarının artan yakıt fiyatlarıyla birleşmesinden kaynaklı ekonomik sıkıntılardan dolayı, gemi sahipleri enerjinin daha verimli kullanılması gerektiği farkındalığını ortaya koymuşlardır. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) de tüm bu farkındalığın gerekliliğini yerine getirmek için Kyoto Protokolü'nün de yürürlüğe girmesini takip eden yıllarda bir dizi mevzuata imza atmıştır. Denizcilik faaliyetlerinde bulunan ve etkilenen tüm ülkeler de bu mevzuatları takip etmiş ve uygulamışlardır, uygulamaya da devam etmektedirler. Ayrıca Avrupa Birliği Komisyonu gibi bölgesel kuruluşlar da hem IMO'nun yapmış olduğu çalışmaları ve mevzuatları desteklemiş hem de kendi bölgelerini kapsayan daha sıkı denetimler ortaya koymuşlardır.

3.4.1 Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)'nün enerji verimliliği yaklaşımı

1973 yılında Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından yayınlanan MARPOL mevzuatına Kyoto Protokolü'nün imzalanması ve yürürlüğe girmesinin ardından 2005 yılında "EK VI Gemi Baca Gazlarından Kirlenmenin Önlenmesi İçin Kurallar" bölümü eklenmiştir. Bu ekte amaç gemilerden kaynaklı CO₂ ve sera gazlarının

salınımını azaltmak ve sınırlayabilmek olarak belirlenmiştir. İlerleyen yıllarda gemilerin operasyon, dizayn ve yönetim planlamalarını içeren EEDI, SEEMP ve EEOI gibi yönetmelikler MARPOL EK VI'ya eklenmiştir.

3.4.1.1 Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI)

Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI), 2011 yılında, IMO tarafından, MARPOL EK VI'ya, yeni inşa edilecek gemilerin dizayn aşamasında enerji verimliliği kriterlerine uygun olarak dizayn edilmesini sağlamak amacıyla eklenmiştir. Bu yönetmelikteki en temel amaç CO₂ salınımını dizayn aşamasında en aza indirebilmek olarak belirlenmiştir. EEDI hesabı ile yeni gemilerin dizaynı ve inşası sırasında belirlenen sınırlamalar sayesinde CO₂ salınım seviyeleri kontrol edilebilmektedir. Ayrıca gemi inşa alanında yeni teknolojilerin takibi ve kullanımı da teşvik edilmek istenmiştir. EEDI en basit tabiri ile ton-mil başına salınan CO₂ miktarı olarak tarif edilebilir (3.1).

$$EEDI = \frac{\text{Hava kirliliği (Yayılan CO}_2\text{)}}{\text{Taşıma İşi}} \quad (3.1)$$

EEDI hesabının 1 Ocak 2013 tarihinden itibaren 400 GT'den büyük gemiler için yürürlüğe girmesi kararlaştırılmıştır. Dizel-elektrik, türbin ve hibrit sevk sistemlerine sahip gemiler bu kapsama dahil edilmemiştir. Ayrıca bu kapsama girecek olan sınır üstü gemiler; teslimden önceki yeni gemiler, tamirde büyük değişim geçiren gemiler ve büyük değişim geçirip yeni inşa olarak kabul edilen gemiler olarak belirlenmiştir. IMO'nun dizayn aşamasında kabul edilen bir gemi için getirmiş olduğu EEDI sınırlaması sağlanan EEDI değerinin istenen EEDI değerinden eşit ya da küçük olması olarak ifade edilebilir (3.2).

$$\text{Sağlanan EEDI} = \frac{\text{Güç x Özgül Yakıt Tük. x Emisyon Faktörü}}{\text{Kapasite x Hız}} \leq \text{İstenen EEDI} \quad (3.2)$$

Formüle göre istenen EEDI değeri farklı tiplerdeki gemiler için farklı değerler olarak belirlenmiştir. Sağlanan EEDI'da ise hız; geminin derin suda, kapasitesinin tanımladığı şartlarda sakin deniz kabulü ile yapabildiği knot cinsinden değer, kapasite; gemi tipine göre DWT ya da GT olarak maksimum dizayn yükü, emisyon faktörü; ölçülen yakıt tüketimi ile ölçülen CO₂ emisyonu arasındaki boyutsuz katsayı, güç; her bir ana makinenin %75 performansta ürettiği güç (varsa şaft jeneratörü, şaft motoru ve yardımcı makineler de ilave edilir), özgül yakıt tüketimi

ise gemideki makinelerin g/kWh cinsinden sertifikalı özgül yakıt tüketimi olarak kabul edilmiştir (Tran, 2016).

Sağlanan EEDI değerlerini istenen EEDI değerlerinden düşük tutabilmek adına birçok farklı yeni teknolojik çalışma denenmektedir. Bunlardan bazılarını ana boyut optimizasyonu, hafif konstrüksiyon malzemesi kullanma, hava yağlama sistemleri, uygun makine ve pervane seçimleri, atık ısı kazanımı, hibrit sistemlerin kullanımı, rüzgar ve güneş enerjisinden faydalanma olarak örneklendirmek mümkündür (Talay ve diğ., 2013).

3.4.1.2 Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP)

Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP), 2011 yılında IMO tarafından MARPOL EK VI'ya, gemi ve filo verimliliği performanslarını izlemek ve gemilerden kaynaklı CO₂ ve sera gazı emisyonları izlemek ve azaltmak için eklenmiş bir yaklaşımdır. SEEMP, gemi verimliliğini optimize ederek emisyon azaltmak için göz önüne alınması gereken bazı seçenekler de sunmaktadır. SEEMP dört aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalardan ilki planlama, ikincisi uygulama, üçüncüsü izleme ve sonuncusu ise öz-değerlendirme ve iyileştirme aşamasıdır (Rosmani ve İsmail, 2015).

Planlama aşaması, gemi verimliliğini artırmak ve emisyonları azaltmak için gemi üzerinde uygulanabilecek gemi özel önlemlerinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Planlama aşamasının da kendi içerisinde bir takım safhaları bulunmaktadır. Planlama aşamasında öncelikle gemiye özel önlemler araştırılır. Geminin tipi, taşıdığı yükü, rotası, bu rota üzerindeki hava koşulları, tekne ve pervane bakım tutumu gemiye uygulanacak özel önlemlerin belirlenebilmesi için dikkat edilmesi gereken koşullar olarak ifade edilebilir. Gemiye özel önlemlerin ardından şirkete özel önlemlerin planlaması enerji verimliliği açısından önemlidir. Eğer şirket belirli bir yönetim planlaması kullanmıyor ise; filoları yönetmek ve tersane, liman, yük sahipleri gibi paydaşlar arasında koordinasyonu sağlamak adına bir yönetim planlaması geliştirilmesi gerekmektedir. Planlama aşamasında hem gemideki hem de ofisteki personellerin gerekli eğitimlere tabi tutulması da büyük önem taşımaktadır. Planlamanın son aşaması olarak bir hedef belirlenmesi gerekmektedir. Hedef belirlemenin amacı, planlamanın doğru uygulanmasını teşvik etmek ve enerji

verimliliğinin arttırılmasını sağlamak adına doğru bir sistematik oluşturulmasını sağlamak olarak ifade edilebilir.

Planlama aşamasından belirlenen bu önlemlerin uygulanması kısmı ikinci aşamanın içeriği olarak belirlenmiştir. Planlama aşamasında geliştirilen sistemin, planlamaya uygun bir şekilde işletilmesi, gerekli kayıtların tutulması ve personelin uygulamaya teşvik edilmesi bu aşamanın önemli noktaları olarak dikkat çekmektedir.

Üçüncü aşamada yine IMO tarafından oluşturulmuş olan Enerji Verimliliği Operasyonel İndeksi (EEOI) kullanılarak uygulanan bu önlemlerin izlemesi yapılır. Sayısal olarak verilerin elde edildiği izleme aşamasında kılavuza ve kurallara göre hesaplamalar yapılmaktadır. Gerekli durumlarda EEOI'ye ek olarak farklı ölçüm ve hesaplama araçları da kullanılabilir. İzleme sisteminde elde edilen verilerin tutarlı ve kullanılabilir olması için önceden belirlenmiş bir prosedüre uygun olarak izlemenin yapılması gerekmektedir. Bunun için de veriler gemilerdeki jurnaller ve günlük raporlar yardımıyla edinilebilmektedir.

Son aşamada ise, izleme aşamasında toplanan verilerden elde edilen genel bir analiz, gemi operasyonunun karakteristik özelliklerinin belirlenebilmesi için ayrıntılı bir şekilde incelenir. Burada, kullanılan uygulamalardan hangilerinin faydalı, hangilerinin daha az faydalı oldukları tespit edilerek, bir sonraki SEEMP döngüsünün iyileştirilmesi amaçlanmaktadır (Türk Loydu, 2012).

3.4.1.3 Enerji Verimliliği Operasyonel İndeksi (EEOI)

Enerji Verimliliği Operasyonel İndeksi (EEOI), 2009 yılında, IMO tarafından, gemilerden kaynaklı CO₂ salınımlarını denetlemek amacıyla, bir tavsiye olarak, MARPOL EK VI'ya eklenmiştir. SEEMP'nin yürürlüğe girmesiyle beraber, gerekli operasyonel hesaplamaların yapılması ve incelenmesi için, SEEMP'nin bir anahtar performans göstergesi olarak kullanılmaktadır.

EEOI'nın ana hesaplama prensibi taşınan yük başına salınan CO₂ oranı olarak ifade edilebilir. Bu hesap her gemi tipi ve taşıdıkları yük durumu için özel olmak durumundadır. Örneğin, bir kuru yük gemisi, bir yolcu gemisi ve bir konteyner gemisi için yapılan hesaplamaların birbirlerinden farklı değerler çıkması son derece normal karşılanmalıdır. Buna göre EEOI hesabı formülde belirtildiği şekilde yapılmaktadır (denklem 3.3).

$$EEOI = \frac{\sum J FC_j \times CF_j}{m_{\text{Cargo}, i} \times D_i} \quad (3.3)$$

Burada FC_j ; i seferinde tüketilen j yakıt kütlelerini, CF_j ; j yakıtı için CO_2 kütle çevrim faktörü cinsinden yakıt ağırlığını, $m_{\text{Cargo}, i}$; taşınan yük miktarını, D_i ; deniz mili olarak mesafeyi, i ; sefer sayısını ve J ; kullanılan yakıt tipini ifade etmektedir.

Bu hesaplardan da anlaşılacağı üzere EEOI değerleri her seferde taşınan yüke, gidilen mesafeye ve kullanılan yakıt miktarına göre değişiklik göstermektedir. Geminin sefer sayısı arttıkça elden edilen tüm EEOI değerleri üzerinden geminin ortalama EEOI değeri de hesaplanabilir. Bu ortalama değer ne kadar düşük olursa; geminin enerji verimliliği de o oranda yüksektir.

EEOI hesabı her ne kadar zorunlu bir uygulama olmasa da SEEMP'nin önemli bir parçası olarak kabul edilmektedir. EEOI hesaplamaları geminin sefer ve yakıt tüketim planlaması için önemli bir rol teşkil etmektedir. Ayrıca tekne ve pervane temizliğinin operasyonel verimliliğe etkilerinin analizine de yardımcı olmaktadır. Sonuç olarak, EEOI'nin etkisi, iyileştirilmiş operasyonel önlemler almak için yararlı olacaktır (Öztürk, 2013).

3.4.1.4 Fuel oil veri toplama sistemi

IMO, enerji verimlilik çalışmalarını geliştirmek ve kuralları sıkılaştırmak adına yeni mevzuatlar üzerinde çalışmaya devam etmektedir. IMO'nun 2014 yılından beri üzerinde çalışmalarının devam ettiği yeni bir mevzuat olan, fuel oil veri toplama sistemi, yakıt tüketim verilerinin düzenli olarak takip edilmesini, veri toplanmasının yaygınlaştırılmasını ve toplanan veri sayısının artırılmasını amaçlamaktadır. Veri toplama sistemi üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama; gemilerden verilerin toplanması ve raporlanması, ikinci aşama toplanan verilerin ilgili bayrak devletlerince doğrulanması ve üçüncü aşama ise toplanan verilerin yıllık olarak IMO veritabanına yüklenmesi şeklindedir. 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla yürürlüğe girecek sistem, ana hatlarıyla şu özellikleri içermektedir (IMO, 2016).

- Sistem 5000 GT'den büyük gemiler için geçerli olacaktır.
- Verilerin raporlanması yıllık periyotlarda olacak, seferlik olarak yapılmayacaktır.
- Raporlarda gemi IMO numarası belirtilecektir.

- Veri toplanması ve raporlanmasından geminin sisteme kayıtlı olan sahibi sorumlu olacaktır.
- Verilerin ve raporların doğrulanmasından ilgili bayrak devletleri sorumlu olacaktır.
- Gemiye yıllık olarak “Statement of Compliance (SOC)” adında bir uyum sertifikası düzenlenecektir.
- SOC belgesinin geçerliliği liman devletleri tarafından denetlenebilecek, geçerlilik süresinin dolması durumunda liman devletleri gerekli yaptırım uygulayabilecektir.

Tüm bu sistem gereklilikleri, gemilerde tüketilen HFO, MGO, LNG gibi yakıtların tüketim miktarlarını kontrol altında tutmayı amaçlamaktadır. Enerji verimliliğinin arttırılmaya çalışıldığı bu mevzuattaki toplanan ve raporlanan veriler arasına, mesafe ve taşınan yük gibi ek verilerin de katılması olasıdır.

3.4.2 Avrupa Birliği'nin enerji verimliliği yaklaşımı

IMO'nun dışında Avrupa Birliği'nin de denizcilik sektöründe gemilerden kaynaklı CO₂ ve sera gazları salınımı hakkında çalışmaları mevcuttur. IMO'nun yapmış olduğu çalışmaları ve mevzuatları destekleyen ve uygulayan Avrupa Birliği komisyonu ayrıca gemilerden kaynaklı CO₂ emisyonlarını denetlemek adına farklı çalışmalar da yapmaktadır.

3.4.2.1 İzleme, raporlama ve doğrulama (EU MRV)

EU MRV, Avrupa Birliği'nin son yıllarda gemilerden kaynaklı CO₂ salınımlarını denetlemek adına yayınlamış olduğu bir yönetmeliktir. İlk kez 1 Temmuz 2015 tarihinde yayınlanan bu yönetmelik, adını, “Monitoring, Reporting and Verification” terimlerinin kısaltması olarak MRV şeklinde almıştır. Yönetmeliğin basit olarak tanımı; gemilerde yakıt tüketim ve CO₂ salınım miktarlarının izlenmesi, raporlanması ve atanmış doğrulayıcılar tarafından doğrulanmasını sağlayan komple bir sistem olarak ifade edilebilir. Başlangıç olarak AB limanlarına uğrayan 5000 GT'dan büyük gemilerin yıllık CO₂ emisyonlarının AB merkezi veri istasyonlarına gönderilmesi gerekmektedir. MRV kapsamında veri toplama işlemleri ilk olarak 1 Ocak 2018 tarihinden itibaren başlayacaktır. Bu nedenle şirketlerin 31 Ağustos 2017 tarihine kadar yakıt tüketimi saptama ve raporlama metot planlarını doğrulayıcı

kuruluşlarla paylaşımları gerkmektedir (Şekil 3.2). Böylelikle bir AB limanından başka bir AB limanına, bir AB limanından AB dışındaki bir limana veya AB dışındaki bir limandan bir AB limanına sefer yapacak 5000 GT'dan büyük tüm gemilerin yılda en az bir kez veri toplaması ve raporlaması amaçlanmaktadır (The European Parliament and the Council of the European Union, 2015).



Şekil 3.2 : MRV zaman göstergesi.

MRV'nin ilk aşaması izleme aşamasıdır. İzleme aşamasında kaydedilmesi gereken tüm veriler; tarihler ve saatleri ile birlikte kalkış ve varış limanları, toplamda tüketilen tüm yakıtların miktarları ve emisyon faktörleri, toplam CO₂ emisyon miktarı, kat edilen mesafe, seferde geçirilen süre, taşınan kargo tipi ve miktarı şeklindedir. İzleme aşamasında ölçümü ve hesaplaması en önemli iki parametre yakıt tüketimi ve CO₂ emisyon miktarı olarak ifade edilmektedir. Yakıt tüketim miktarları yakıt ikmal raporları ve gemideki günlük raporlardan edinilebilmektedir. Yakıt tüketimi ana makine, yardımcı makineler, gaz türbinleri, kazanlar ve inert gaz jeneratörlerindeki toplam yakıt tüketimini ifade etmektedir. CO₂ emisyon miktarı ise toplam yakıt tüketimi ile tüketilen yakıtın emisyon faktörünün çarpılması ile elde edilir. Emisyon faktörü olarak IMO'nun belirlemiş olduğu katsayılar kullanılmaktadır. Ayrıca limanlardaki yakıt tüketimlerinin de ayrıca hesaplanması gerekmektedir.

MRV'nin ikinci aşaması raporlama aşamasıdır. Bu aşamada gemilerden izlemeler sonucunda elde edilen veriler şirket tarafından yönetmelikte belirtilen şekilde raporlaştırılır. Raporlarda geminin ve şirketin tanımlanması, raporu değerlendirecek doğrulayıcıların tanımlanması, kullanılan izleme yöntemlerinin ve ilgili belirsizlik seviyelerinin belirtilmesi ve izleme aşamasında elde edilen verilerin işlenmesi gerekmektedir. Raporlarda CO₂ emisyonlarının ve yakıt tüketiminin iki farklı parametreye göre hesaplanarak belirtilmesi gerekmektedir. Bu parametreler mesafe

başına yakıt tüketimi, taşınan yük başına yakıt tüketimi ve mesafe başına CO₂ tüketimi, taşınan yük başına CO₂ tüketimi şeklindedir. Ayrıca MRV yönetmeliğinde raporlama teknikleri hakkında da önerilerde bulunmaktadır. Raporlamalar şirket tarafından belirlenecek sabit bir program ile yapılabileceği gibi entegre web tabanlı bir sistem üzerinde de yapılabilmektedir (Fradelos, 2016).

MRV'nin son aşaması ise doğrulama aşamasıdır. Raporlama aşamasında oluşturulan raporlar bu aşamada, ulusal akreditasyon kuruluşları tarafından seçilen yetkili kişiler tarafından değerlendirilmektedir. Doğrulama yetkililerinin görevi, hem oluşturulan izleme planlarının hem izleme sistemlerinin hem de raporların MRV yönetmeliğine uygunluğunu incelemek ve teyit etmektir. Ayrıca doğrulayıcılar, raporlardaki verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini teyit etmek ve eksiksiz ve tutarlı olduklarını onaylamakla yükümlüdürler. Bu nedenle doğrulayıcıların gemi üzerinde bulunması ve gerekli denetim ve kontrolleri yapması da gerekmektedir. Tüm bu işlemlerden sonra doğrulayıcılar final doğrulama raporlarını hazırlayarak varsa sorunları ve önerilerini raporlarında bildirmelidirler. Bu doğrulama raporlarının da hem şirkette hem de gemide bulunması ve gerektiğinde paylaşımına açık olması gerekmektedir.

Sonuç olarak; Avrupa Birliği hazırladığı MRV yönetmeliği ile yakıt tüketim miktarları ve CO₂ emisyonlarını denetlemeyi ve kontrol altında tutmayı amaçlamaktadır. Gemi personeli, ofis çalışanları ve doğrulama kuruluşlarının entegre bir şekilde çalışmasını gerektiren bu yönetmeliğin enerji verimliliğinin artırılması adına önemli bir adım olduğu öngörülmektedir (İnsel, 2016).



4. VERİLERİN TOPLANMASI

Verilerin toplanması enerji verimlilik çalışmalarındaki ana fikrin edinilmesi için büyük önem teşkil eder. Gemilerde veri toplanması, gemi tekne ve pervane koordinasyonlarının artırılması, ana ve yardımcı makine performanslarının geliştirilmesi, gemi dizaynında yapılabilecek yeniliklere fikir oluşturması, uzun soluklu operasyonel optimizasyon sağlanması ve çevresel etkilerin iyileştirilmesi açısından yardımcı bir faaliyet olarak kabul edilmektedir.

Bu bölümde verilerin toplanmasında kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerde kullanılan cihazlardan bahsedilecektir. Ayrıca veri toplama yöntemlerinin karşılaştırması yapılarak bu yöntemlerin birbirlerine karşı olan avantajlarından ve dezavantajlarından bahsedilecektir.

4.1 Veri Toplama Yöntemleri

Veri toplama enerji verimliliği çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Denizcilik sektöründe kabul gören ve işletilen tüm mevzuatların yerine getirilebilmesi adına gemi üzerinde veri toplama gerekliliği ortaya çıkmıştır. Gemi ortalama hızı, ana makine devri, draft, trim, havanın durumu, yakıt tüketim miktarları, yağ tüketim miktarları gibi birçok veri gemi üzerinde kaydedilmekte ve gemi işletme ofislerine bildirilmektedir. Bu süreçte veri toplamak için kullanılan iki temel yöntem vardır. Bunlardan ilki gemi üzerindeki personelin günlük olarak tuttuğu ve “noon report” olarak bilinen günlük raporlardır. Bir diğer veri toplama yöntemi ise; otomatik olarak çalışan cihazlar ile gerektiğinde saniyede bir olacak şekilde veri toplanabilen sürekli veri toplanması yöntemidir.

4.1.1 Günlük raporlar ile veri toplanması yöntemi

Günlük raporlar ya da bir başka deyişle öğlen raporları geminin başmühendisi tarafından her gün belli bir standartta hazırlanan raporlardır. Bu raporlar, geminin günlük olarak bulunduğu konum ve performansı hakkında verileri içermektedir (Şekil 4.1). Ayrıca, gemi yönetiminin de geminin durumundan haberdar olması

açısından önemlidir. Raporların hazırlanmasının sorumluluğu başmühendiste olmasının yanı sıra yönetim ofisine gönderilme sorumluluğu gemi kaptanıdır.

Vessel	36	EPSILON RAIN	Previous Port	GOTHENBURG
Date / Time	27-03-2004 12:00:00		Next Port	HAMBOURG
Hours Sailed				
Hours	49	Minutes	0	
Position				
Latitude	44	16 N	Longitude	22 48 W
Wind	4	NNE	Stream	4 NNE
Current	0.5 E			
Distance				
Miles Sailed	616	Remaining	3696	
			E.T.A.	08-04-2004 08:00:00
Main Engine Rev Count	309882		Pitch	4.13
Prop Rpm	105.4		Load Indicator	7.1
Consumptions				
IFO	32	Fresh Water	245	
MDO	1	SumpTank	11300	
Sys	80	Fresh Water Production	37	
Cyl	345	Temperature		
Gen	20	Max	370	
Generators				
Generator	3	170		
Generator				
Generator				
Turbocharger Rpm				
		No 1	11100	
Scavenge Air Press				
		No 1	0.96	
		No 2		

Record: 1 of 2520 No Filter Search

View Position Analysis View Departure Port Call

Şekil 4.1 : Noon report örneği.

Günlük raporlara verileri, çoğunlukla, makine, yakıt, kargo ve güverte bilgilerinin yer aldığı seyir defterleri kullanılarak işlenir. Seyir defterleri gemi personeli tarafından günlük olarak doldurulmaktadır. Makineye ait defterde, makinenin çalışma performansı ve genel koordinasyonuna ait veriler bulunurken, güverteye ait defterde, seferin durumu ve geminin konumu gibi veriler yer alır. Seyir defterlerindeki tüm bu veriler birleşerek gemi günlük raporunu oluştururlar.

Bu raporlar, genellikle öğlen saatlerinde kaptan tarafından ofise gönderildiği için, öğlen raporları adını almıştır. Öğlen raporlarının içeriği aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Gemi adı
- Gemi sefer numarası
- Raporun tarih ve saat bilgisi

- Geminin, raporun hazırlandığı saatlerdeki pozisyonu
- Hazırlanan son rapordan bu yana geminin knot cinsinden ortalama hızı
- Gemide çalışan ana makine/makinelerin ortalama devri
- Rüzgar yönü ve şiddeti
- Raporun hazırlandığı saatlerde denizin durumu
- Gelecek liman bilgisi ve tahmini varış zamanı
- Gemide bulunan su, yağ ve yakıt miktarları

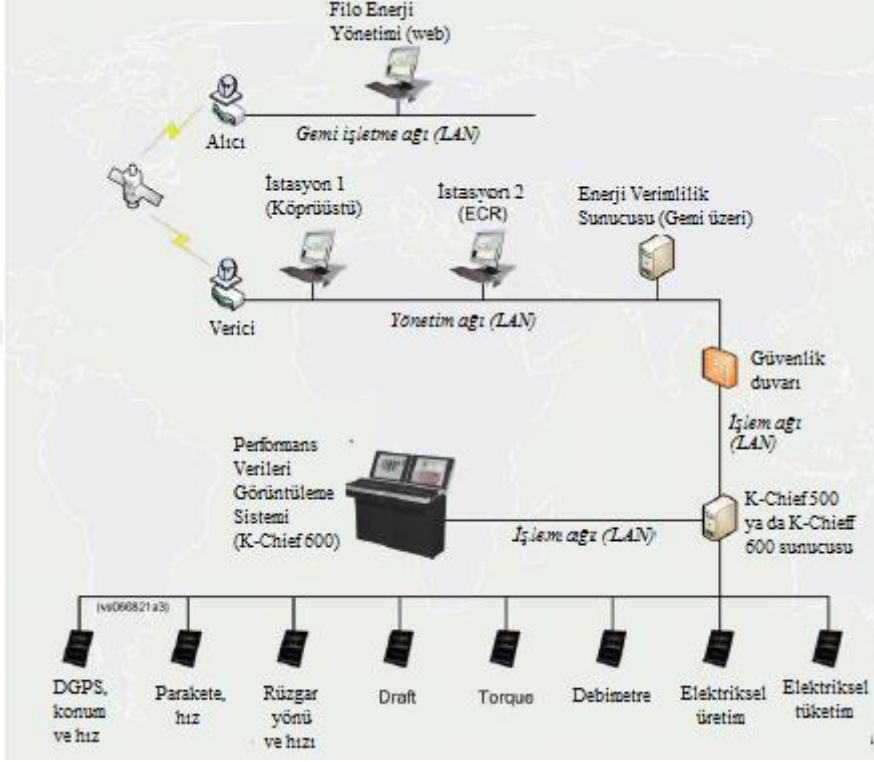
Günlük raporlar yardımıyla edinilen bu veriler ile geminin günlük yağ ve yakıt tüketimi miktarlarını saptamak mümkündür. Ayrıca son rapordan bu yana geminin kat ettiği mesafeyi, bir sonraki limanına kalan mesafeyi ve süreyi hesaplamak da mümkündür. Geminin limanlarda geçirdiği süreler ve belli bir rotayı ortalama ne kadar sürede gittiği de bu raporlar yardımıyla öğrenilebilir. Ayrıca enerji verimliliği çalışmaları açısından yağ ve yakıt tüketim miktarlarının saptanması ve EEOI hesaplamalarının yapılabilmesi adına günlük raporlar büyük bir önem taşımaktadır.

4.1.2 Sürekli izleme ile veri toplanması yöntemi

Gemilerde farklı amaçlar için kullanılan ve saniyelik olarak veri toplanmasını sağlayan birçok sensör bulunmaktadır. Bu sensörler marka, model, kalite gibi konularda farklılık gösterse de temel olarak aynı amaca hizmet etmektedir. Geminin anlık konumunun ve performansının incelenmesi için yüksek sayıda veri toplanmasını sağlayan bu sensörlerden bazılarını parakete, rüzgar anemometresi, devir ve tork metre, hava termometresi ve barometresi, cayro pusula, deniz suyu termometresi, DGPS, echo sounder ve debimetre olarak sıralanabilir. Bu sensörler günün yirmi dört saati boyunca sürekli çalışarak veri toplayabilme ve topladıkları verileri gemide kullanılan sistemlere iletebilme özelliklerine sahiptir.

Sürekli izleme ile toplanan bu verilerin kayıt yerleri ise enerji verimlilik sistemleridir. Farklı üreticiler tarafından üretilmiş değişik birçok sistem piyasada bulunmakta ve denizcilik filoları tarafından kullanılmaktadır. Bu sistemler SEEMP ve MRV gibi mevzuatlar gözetilerek üretilmişlerdir. Kullanım amaçları ise; sürekli izleme yöntemi ile elektronik cihazlardan alınan verilerin kaydedilmesi, gemi personeli ve işletmecisinin ulaşabileceği ortak bir veritabanına işlenmesi,

raporlanması ve geminin yapacağı seferlerde enerji verimliliğinin sefer bazında yükseltilmesi olarak sıralanabilir. Sürekli veri izleme yöntemini kullanarak oluşturulan bir sistem örneği Şekil 4.2’de gözüktüğü gibidir. Buna benzer sistem tasarımları yapan farklı şirketler ve markalar örneklerle çoğaltılabilmektedir (Fathom Focus, 2014).



Şekil 4.2 : Sürekli izleme yöntemi ile oluşturulmuş bir enerji verimlilik sistemi (IMO, 2016).

4.1.2.1 Parakete

Parakete gemilerde suya göre geminin hızını ölçen cihazdır. Eskiden kullanılan ilkel yöntemlerin ve basit cihazların aksine bugünlerde elektronik sistemler kullanılmaktadır. Paraketeler sayesinde knot cinsinden ölçüm anındaki hızı edinebilmek mümkün olduğu gibi ortalama ve maksimum hız değerlerini kaydedebilmek de mümkündür. Ölçümü yapılan bu hız değerlerinin ölçüm aralığı ve hassasiyeti kullanılan cihazın marka model ve kalibrasyonuna göre değişiklik gösterebilmektedir ve hassasiyeti %0,1 değeri civarında olabilmektedir (Griffiths ve diğ., 1998).

Paraketelerin çalışma prensibi; elektronik bir veri alıcısı ve ana üniteye dayanmaktadır. Teknenin kıç tarafına yerleştirilen alıcı tekne altından akan suyun hızına göre düşük veya yüksek voltajlı bir elektrik akımı üretir. Bu elektrik akımı

kablo ile ana üniteye aktarılır ve ana ünite gelen elektrik akımına göre hızı belirler ve dijital ekranda gösterir. Paraketelerde ölçülen hızı ve doğal olarak gemi hızını etkileyen en önemli faktörlerin suyun durgunluğu, denizin ve havanın durumu ve gemi trimi olarak sıralamak mümkündür.

4.1.2.2 Rüzgar anemometresi

Rüzgar anemometresi temel olarak rüzgarın hızını ve yönünü tespit etmek için kullanılan bir cihazdır. Birçok farklı sektörde kullanıldığı gibi gemilerde de rüzgar anemometrelerinden faydalanılmaktadır. Gemilerde bu cihazları mümkün olabilen en yüksek ve açık noktaya koymak doğru ölçüm açısından önemlidir. Bu yüzden genellikle geminin baş tarafında en uç bölümde kullanımını tercih edilmektedir. Ayrıca gemilerde kullanılan anemometreler “helicoid” adı verilen pervaneli tip anemometrelerdendir. Ortalama bir anemometre kalibrasyonları yapıldıktan sonra 0–100 m/s hız aralığında ve 0-360° açı aralığında ölçüm yapabilmektedir. Bu aralıktaki bir anemometrenin hız hata payının $\pm 0,3$ m/s ya da okunan değerin %1'i kadar olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca yön hata payının da $\pm 3^\circ$ kadar olduğu söylenebilir (Şekil 4.3).

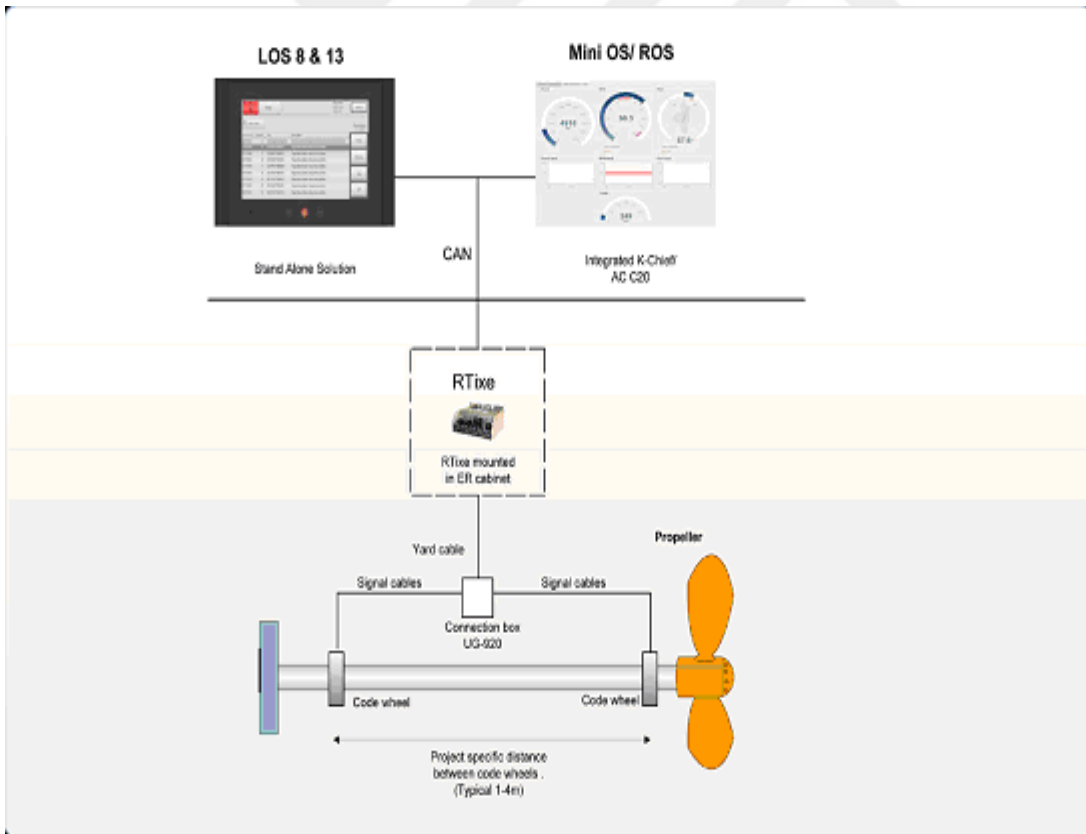


Şekil 4.3 : Rüzgar anemometresi örneği.

4.1.2.3 Devir ve tork metre

Devir ve tork metre; geminin ana makinesi ile pervanesi arasında bulunan ve geminin hareketini sağlayan şaftın devrini ve üzerine binen torku dijital olarak ölçen bir cihazdır. Eskiden şaft üzerine yapıştırılan “strain gauge”ler yardımıyla ölçüm yapan cihazlar, artık yerini lazer yardımıyla ölçüm yapan cihazlara bırakmaktadır. 200–1000 mm. şaft çap aralığı ve 0–10000 RPM devir aralığında ölçüm yapabilen bu cihazların tahmini hata payının % 0,5 olduğu ifade edilmektedir (Şekil 4.4).

Kullanılan bu sistemden alınan veriler geminin operasyon ofisindeki görevli çalışanlar ile paylaşılarak geminin ana makine ve pervane optimizasyonunun en iyi şekilde ayarlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca sistem, ana makineden pervanelere iletilen tork ve gücü ölçerek, harcanan toplam güç ve buna karşılık tüketilen yakıt miktarının karşılaştırılmasını da sağlamaktadır. Bu durum da yakıt tüketim ve CO₂ salınım miktarlarının azaltılması ile enerji verimliliği çalışmalarına katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.4 : Devir ve tork metre örneği.

4.1.2.4 Hava termometresi ve barometresi

Hava termometreleri ve barometreleri genellikle geminin köprüüstünde bulunur. Termometreler geminin izlediği rota boyunca anlık hava sıcaklıklarını, mevsim durumuna göre sıcaklık değişimlerini ve farklı bölgelerdeki iklim koşullarına göre değişimleri saptamak için ölçümler yapar. Barometreler ise yine geminin rotasında sıcaklık ve hava koşullarının değişimi ile meydana gelen basınç değişimlerini ve değerlerini ölçmek için kullanılır.

4.1.2.5 Cayro pusula

Cayro pusulalar; cayro prensibinden yararlanarak, gemilerde, manyetik kuzeyin yerine doğru kuzeyin bulunmasını sağlayan cihazlardır. Dünya'nın kütleli çekim ve dönüşünden yararlanılarak yapılmışlardır. Dünya'nın ve geminin manyetizmasından etkilenmezler. Cayrolara gemi hızı girdileri paraketelerden alınan hız ölçümleri ile yapılır. Ayrıca rüzgar anemometreleri ile de rüzgar hızı ve yönü ölçümlerinde eş zamanlı olarak çalışırlar. Ayrıca cayro pusulaların en iyi şekilde çalışabilmeleri için ayarlarının da yapılması gereklidir. Bu ayarlamalar cayro pusulaların yapım şekline göre hız, rota ve enlem ayarları olabilmektedir. Bulunulan enlemde veya seyir hızında büyük değişiklikler yaşanması durumunda ya da uzun süre boyunca aynı rota üzerinde yapılacak seyirlerde cayro pusulaların ayarlarının yapılması gerekmektedir.

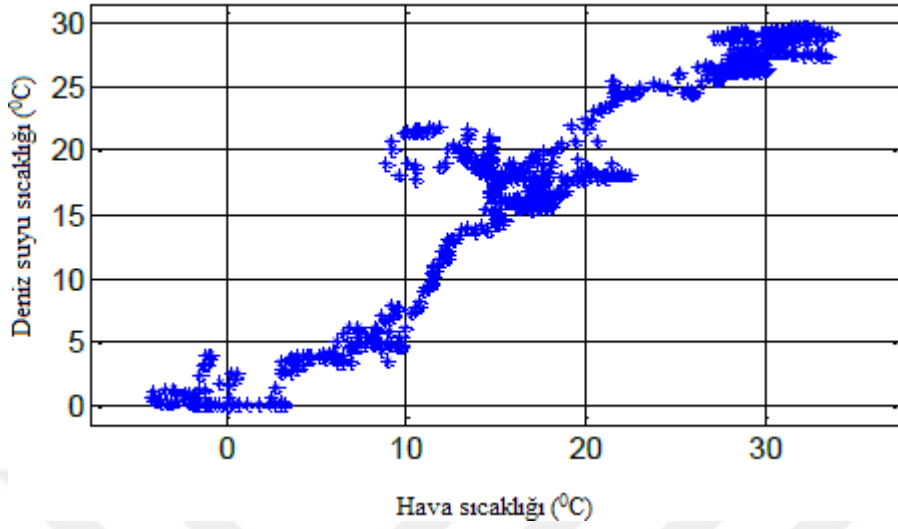
4.1.2.6 Deniz suyu termometresi

Deniz suyu termometresi deniz suyunun sıcaklığını ölçmek için kullanılan cihazdır. Bu termometreler genellikle geminin kinistin sandığına emilen deniz suyunun sıcaklığını ölçerek deniz suyunun sıcaklığı hakkında bilgi verir. Mevsimlere ve rota üzerindeki bölgelere göre deniz suyu sıcaklığı farklılık gösterebilir fakat büyük oranda hava sıcaklığı ve deniz suyu sıcaklığı arasındaki oran lineer olarak değişmektedir. Sadece kış periyodunda hava sıcaklığı sıfırın altına düştüğü durumlarda deniz suyu sıcaklığının sıfır civarında kalarak altına düşmeme durumundan bahsedilebilir (Şekil 4.5).

4.1.2.7 DGPS

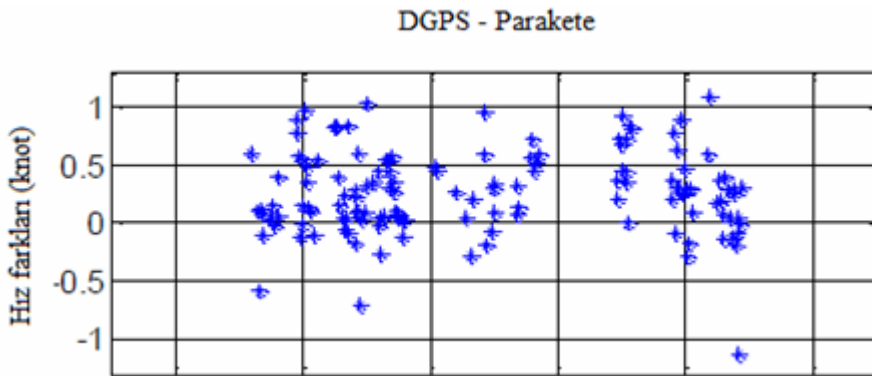
GPS aslında basit tanımı ile uydulara gönderilen noktasal koordinatlar ile konum belirlenmesi olarak açıklanabilir. DGPS ise verileri sabit yer tabanlı istasyonlar

yardımları ile alarak uydulara gidecek dalgaların karşılaşacakları dirençlerden kaynaklı hataları en aza indirmeyi sağlamak amacıyla tasarlanmıştır.



Şekil 4.5 : Deniz suyu sıcaklığı ile hava sıcaklığının değişimi (Hansen ve diğ., 2012).

Bu nedenle gemilerde en yaygın olarak kullanılan GPS sistemleri DGPS sistemleridir. DGPS Türkçe olarak ifade edilmek istendiğinde ise karşılığı ayrımsal küresel konumlama sistemi anlamına gelecektir. Ayrıca DGPS sistemleri geminin karaya göre olan hızını da veri olarak sunmaktadır. Paraketelerden farklı olarak hızı karaya göre ifade etmekte olan DGPS sistemleri sayesinde gemide iki farklı hız ölçüm şekli oluşmaktadır. DGPS ve paraketelerden elde edilen hız miktarları geminin konumu ve deniz suyun durumuna göre ± 1 knot fark gösterebilmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : DGPS ve paraketelerden alınan hız ölçümleri arasındaki farklar (Hansen ve diğ., 2012).

4.1.2.8 Echo sounder

Echo sounder ultrasonik ses dalgaları yardımıyla denizin dip derinliğini ölçmeye yarayan bir cihazdır. Genellikle geminin baş bölümünde ve yaşam mahallinin hemen alt kısmında olacak şekilde iki adet sensör yardımıyla ölçümler yapılır. Deniz dibindeki cisimlerin dikey olarak deniz dibinden yüzeye olan mesafesinin belirlenebilir. Echo sounder çalışma prensibi cihazdan deniz dibine gönderilen sinyallerin deniz dibindeki cisimlere çarparak geri dönmesi üzerine kuruludur. Geri dönen sinyaller gemi üzerindeki vericiler tarafından kaydedilerek koprüstündeki ana üniteye gönderilir ve ölçülen dip mesafe verilerinin görüntülemesi yapılır. Standart bir cihaz 50–200 kHz frekans aralığında sinyal gönderebilme kapasitesine sahiptir ve yapılan ölçüm derinliğine göre %2,5 civarında bir hata payı bulunmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Echo sounder ana ünite örneği.

4.1.2.9 Debimetre

Debimetreler akışkan bir sıvının geçtiği devreler üzerine bağlanarak devreden geçen sıvının akış miktarını ölçen ve kaydeden cihazlardır. Gemilerde özellikle ana makine ve yardımcı makinelerde kullanılan yakıt miktarının ölçülmesinde önem taşımaktadırlar. Yakıt tüketim miktarlarının belirlenmesi ve azaltılması, ayrıca enerji verimliliğinin artırılması için yakıt tüketim verileri oldukça önemlidir. Bu yüzden

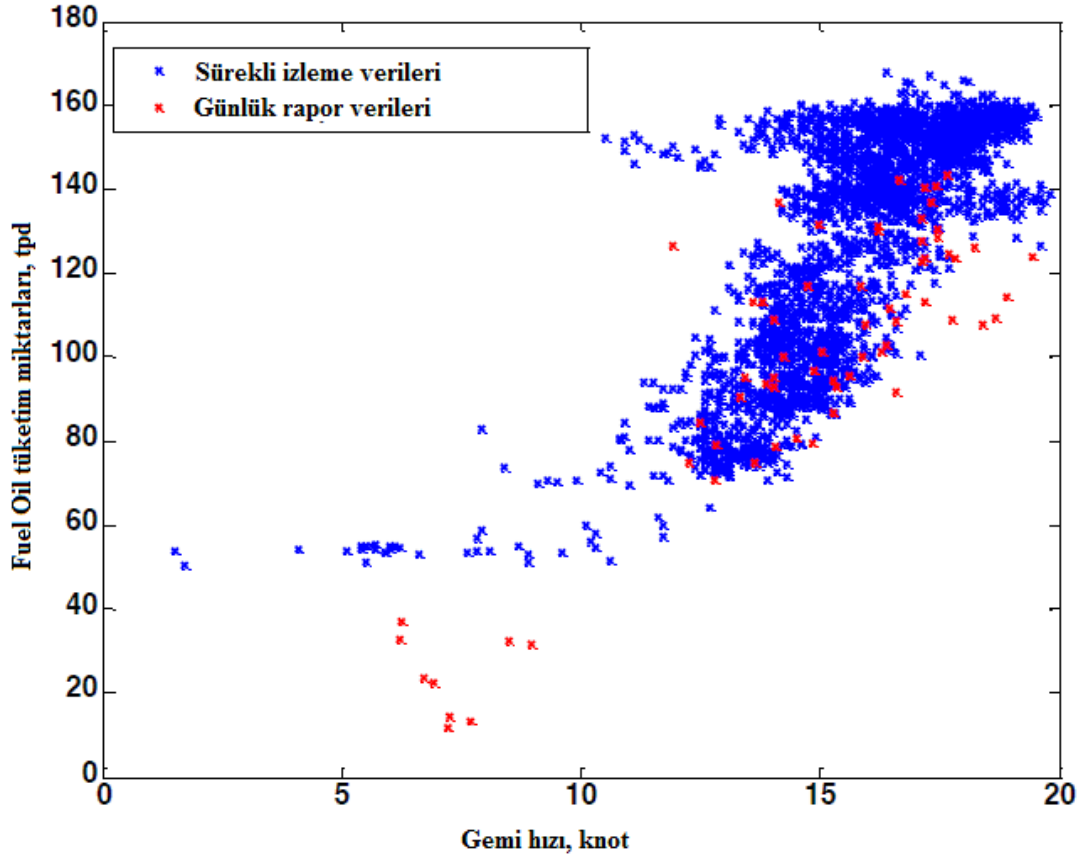
debimetrelerden alınan verilerin anlık kaydının yapılmasına özellikle dikkat edilmektedir. Debimetrelerin kullanım yerleri ve amaçlarına göre mekanik, elektromanyetik, ultrasonik, basınç bazlı, optik, vorteks gibi farklı tipleri de bulunmaktadır. Gemilerde yakıt akış miktarlarının dışında yağ devreleri üzerine bağlanarak yağ akış miktarlarını ölçen debimetreler de bulunmaktadır. Bu debimetreler sayesinde harcanan yağ ve yakıt miktarları bilindiğinden, kalan miktarların kullanım süreleri ve sipariş edilmesi gerekli miktarların da hesaplanması mümkündür.

4.2 Veri Toplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Gemilerde veri toplamak adına iki farklı yöntem olan günlük raporlar ve sürekli izleme aslında temel mantık olarak birbirleriyle benzerlerdir. Her iki yöntemde de aynı bileşenlerin değer ölçümleri yapılır ve kaydedilir. Fakat bu iki izleme yöntemini birbirinden ayıran temel farklılıklar da bulunmaktadır. Bu farklılıkların genel yaklaşımını ve analizini belirlemek adına iki yöntemin karşılaştırıldığı çalışmalar da bulunmaktadır.

Dünyanın genelindeki tüm gemilerin yaklaşık %70'i veri toplamak adına günlük raporlardan yararlanmaktadır. Bu raporların hazırlanması ve dosyalanması hem sürekli izlemeye göre daha kolay hem de denizcilik işletmelerinde zorunlu bir prosedür olduğu için bir alışkanlıktır (Mantel, 2014). Ancak IMO ve AB tarafından geliştirilen yeni mevzuatlar ve gelişen teknoloji ile birlikte sürekli izleme sistemlerinin kullanımı artmaya başlamıştır. İnsan gücünü ve hatasını en aza indiren bu sistemler günlük raporlara göre çok daha fazla veri toplama kapasitesine de sahiptir. Öyle ki günlük raporlar ile dokuz ayda toplanabilen veri miktarı sürekli izleme ile yaklaşık üç ay gibi bir sürede toplanabilmektedir (Şekil 4.8). Ayrıca modern bir sürekli izleme sistemi kurulması için bir geminin tüm kontrol sisteminde yaklaşık olarak 2800 adet sensör bulunması gerekebilmektedir. Bu sensörlerin sadece 200 tanesi geminin ana makine dairesinde bulunan ve basınç, sıcaklık ve yakıt durumlarını ölçen sensörler olacaktır. Yapılan çalışmalar ve incelemeler göz önünde alındığında bu sensörler yardımıyla yüz günlük bir sürede 2 TB'lik veri toplanabildiği görülmüştür (Hansen, 2016). Tüm bu bilgilerin ışığında günlük raporlar ve sürekli izleme yöntemlerinin artıları ve eksileri ile komple bir karşılaştırması düzenlenebilmektedir.

- Günlük raporlar gemi personeli tarafından elle yazılan ve kaydedilen raporlardır. Sürekli izleme yöntemine ise elektronik cihazlar insan eli değmeden veri toplaması ve kaydı yaparlar. Bu durum insandan kaynaklı hataları en aza indirebilmektedir ve sürekli izleme yönteminin bir avantajı gibi görünmektedir. Ancak insan elinin hiç değmemesi ve insan kontrolünün saf dışı bırakılması bir negatif etki olarak da algılanmaktadır.



Şekil 4.8 : 4 aylık bir süreçte günlük raporlar ve sürekli izleme ile alınan gemi hızı ile fuel oil tüketim miktarlarının değişim verileri (Aldous ve diğ., 2013).

- Günlük raporlar yıllardan beri gemilerde işletilen standart bir prosedürdür ve günlük raporlar ile veri toplanması personele ekstra bir görev değildir. Sürekli izleme sistemlerinin gemiye kurulması ve işler hale getirilmesi ise ekstra bir görev ve sorumluluk olarak kabul edilmektedir.
- Günlük raporlar içerdiği her bileşen için günde bir adet veri sağlayabilirken sürekli izleme yöntemi ile günlük yüzlerce veri almak mümkündür. Bu da günlük raporlar ile alınan verilerin kullanılabilir sonuçlar doğurması için uzun süreli ölçümler ve veriler alınması gerektiğini göstermektedir. Sürekli izleme yöntemlerinde ise bu süre yaklaşık olarak üçte birine inmektedir.

- Sürekli izleme sistemlerinde kullanılan cihazların tamamının elektronik cihazlar olması bu cihazların kalibrasyonlarının ve kontrollerinin belirlenen aralıklarda düzenli bir şekilde yapılmasını gerektirmektedir. Cihazların bozulması veya hasar alması durumunda cihazlardan kaynaklı ölçüm hataları ortaya çıkabilmektedir.
- Sürekli ölçüm sistemlerindeki cihazların çoğu birbiriyle bağlı olarak çalıştıkları ve veri alışverişi yaptıkları için veri analizi avantajı sağlamaktadırlar. Fakat sistemde meydana gelebilecek bir problemde cihazların tamamının çalışma sıkıntısı çekmesi muhtemeldir.
- Sürekli izleme sistemlerinde kullanılan cihazlar ve veri analizi için geliştirilen komple sistemler çok fazla sensör içerdikleri için maddi açıdan pahalı sistemler olabilmektedir. Günlük raporların kaydedilmesi maliyet açısından çok daha ucuzdur. Bu nedenle sürekli izleme sistemleri kullanılarak sağlanacak yakıt tasarrufu ile ortaya çıkabilecek maddi kazançların sistem fiyatları ile karşılaştırılarak hareket edilmesinde fayda bulunmaktadır.

Tüm bu karşılaştırmalar göz önünde bulundurulduğunda günlük raporların elektronik sistemlere göre hata ihtimali daha az ve düşük maliyetli olduğu görülmektedir. Ayrıca günlük raporların alışılmış bir prosedür olması da sürekli izleme yöntemleri önünde bir avantaj sağlamaktadır. Günlük raporların en önemli dezavantajı veri sayısındaki azlık olarak gözüke de uzun süreli izlemelerde enerji verimlilik çalışmaları için yeterli olacak kadar veri elde edilebildiği görülmektedir. Bu nedenle; çalışmada kullanılacak verilerin toplanması için, hem kolay erişilebilir olması, hem daha düşük maliyetli olması hem de çalışma için yeterli veri sayısına sahip olması nedeniyle günlük raporlar yardımı ile veri toplanması yöntemi tercih edilmiştir.

5. VERİ ANALİZİ

Veri analizi, toplanan ham verilerin belirli performans göstergeleri yardımıyla işlenerek anlamlı hale getirilmesi olarak tanımlanabilir. Bu bölümde, belirlenen anahtar performans göstergelere göre, gerçek bir gemiden alınan günlük raporlar yardımıyla elde edilen verilerin analizi yapılacaktır. Yapılan analiz sonucunda ortaya çıkan yakıt tüketim ve CO₂ salınım değerleri dizayn şartlarındaki değerler ile karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanacaktır.

5.1 Veri Analizinde Kullanılacak Performans Göstergelerinin Belirlenmesi

Veri izlenmesi sonucunda elde edilen verilerin analizi aşamasında bir takım anahtar performans göstergelerinden faydalanılmaktadır. Bu anahtar performans göstergeleri belirlenirken gemi üzerinde yapılacak çalışma ve incelenmek istenen konu oldukça önemlidir. Bu nedenle yakıt tüketimi, enerji tüketimi ve CO₂ salınımları göz önünde bulundurularak, bu enerji verimliliği çalışmasına en uygun anahtar performans göstergelerinin seçilmesine dikkat edilmiştir ve çalışmada kullanılacak anahtar performans göstergeleri; Yakıt Tüketim İndeksi (FCI), Karbondioksit Üretim Yoğunluğu (CO₂I) ve Enerji Verimliliği Operasyonel İndeksi (EEOI) olarak belirlenmiştir. FCI, EEOI yürürlüğe girmeden önce ortaya çıkmış bir göstergedir ve EEOI'nın atası olarak kabul edilebilir. EEOI ile yakın değerleri ifade etmesine rağmen, CO₂ salınımının incelenmesi için kullanılacak CO₂I ile doğrudan bağlantılı olduğu ve atıfta bulunduğu için, bir performans göstergesi olarak seçilmiştir.

Tüm bu göstergelerin iki farklı hesaplanma formülü bulunmaktadır. Mantık olarak aynı olan bu formüllerin birinde geminin yaptığı seferlerdeki veriler kullanılarak sefer başına gösterge değerleri hesaplanır. İkinci olarak ise geminin dizayn değerleri kullanılarak gemiye özel bir dizayn değeri hesaplanır. Hesaplanan dizayn değeri geminin tam yüklü durumunda, maksimum kargo kapasitesinde yüklü olacak şekilde servis hızında çalıştığı durumdaki değer olarak ifade edilebilir. Bu değer geminin makine gücüne, detveyt veya deplasman tonajına, dizayn hızına ve kullanılan makinenin özgül yakıt tüketimine bağlı bir değerdir. Seferlik gösterge değerleri bu

dizayn değeri ile karşılaştırılır ve aralarındaki orana göre seferin enerji verimliliği hakkında yorumlar yapılır.

5.1.1 Yakıt Tüketim İndeksi (FCI)

FCI, enerji verimliliği çalışmalarında kullanılan bir anahtar performans göstergesi olarak, kat edilen mesafede taşınan yük başına geminin yakıt tüketim miktarı olarak ifade edilebilir (Bazari, 2007). Geminin sefer başına aldığı yol, taşıdığı yük ve yakıt tüketim miktarı değişebileceğinden FCI değeri de seferden sefere farklılık gösterecektir. Bu değerın hesaplanması denklem 5.1’de belirtilen formül kullanılarak yapılmaktadır.

$$FCI = \frac{\text{yakıt tüketimi}}{\text{taşınan kargo x mesafe}} \quad (5.1)$$

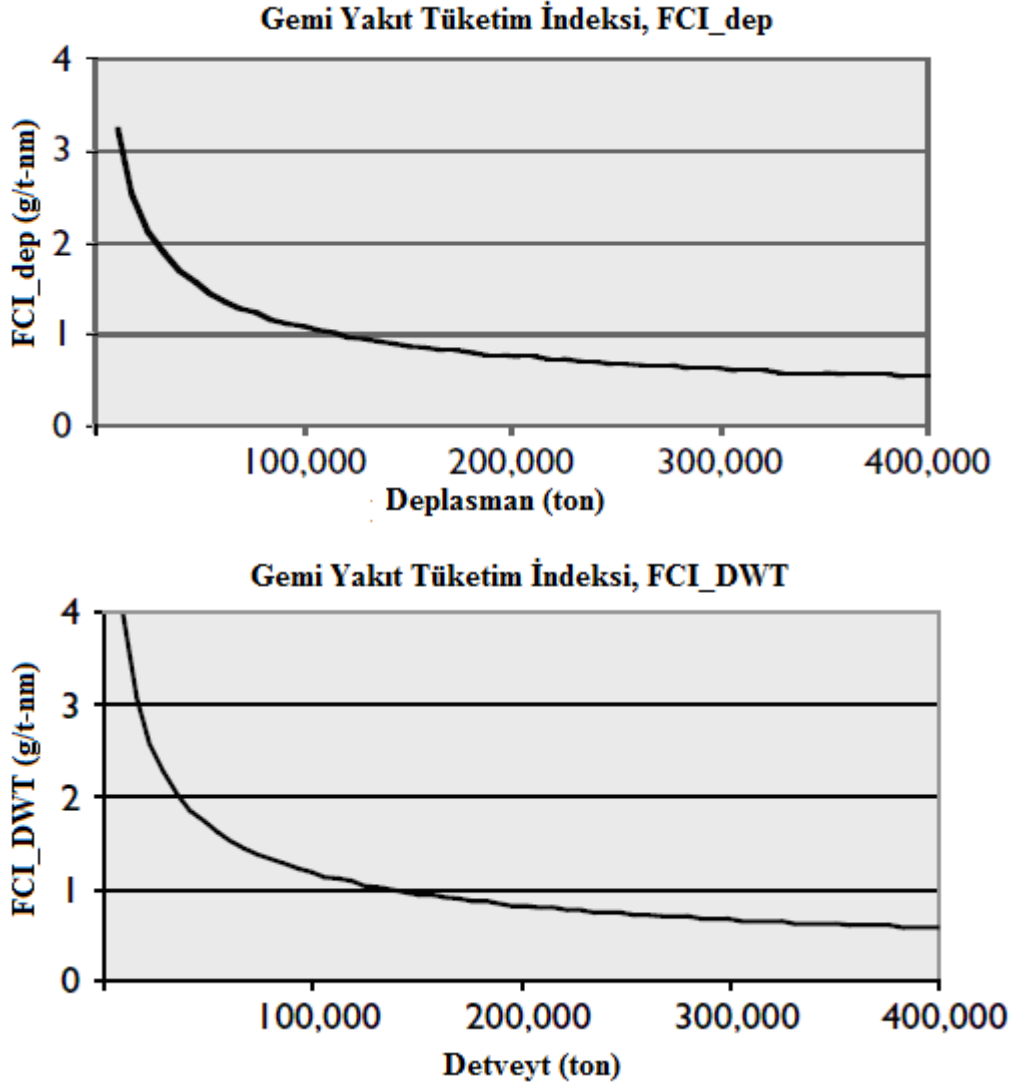
Burada, alınan mesafe; deniz mili cinsinden geminin sefer boyunca kat ettiği toplam mesafeyi, taşınan yük; ton cinsinden geminin sefer boyunca taşıdığı toplam yük miktarını, yakıt tüketimi de; gram cinsinden geminin sefer boyunca tükettiği toplam yakıt miktarını belirtir. Buna göre FCI’nın birimi g/t-nm şeklindedir. FCI’nın bu formülü üzerinde yapılacak düzenleme ile $FCI_{diz.}$ değerini verecek olan formülün türetilmesi mümkündür. Dizayn değeri, geminin dizayn şartlarına göre hesaplanacak değer olacağından; formüldeki yakıt tüketim miktarı, geminin ana makinesinin belirtilen maksimum gücü ile makinenin dizaynında belirtilen özgül yakıt tüketiminin çarpılması şeklinde ifade edilir. Taşınan yük miktarı, detveyt veya deplasman tonajı cinsinden geminin taşıyabileceği maksimum yük baz alınarak hesaba dahil edilir. Mesafe ise; hız ve zamanın çarpımı olarak formüle dahil edilir. Burada zaman birimi özgül yakıt tüketimi içerisinde ifade edilirken hız değeri de knot cinsinden geminin dizayn hızıdır (denklem 5.2).

$$FCI_{diz.} = \frac{\text{güç x SFOC}}{DWT \times V_{dizayn}} \quad (5.2)$$

Formülde; ana makine gücü kW, ana makinenin özgül yakıt tüketimi g/kWh, geminin detveyti ton ve geminin dizayn hızı da knot cinsinde hesap edilir. Buna göre, $FCI_{diz.}$ değerinin birimi de aynı FCI değeri gibi g/t-nm şeklindedir.

FCI, az sayıda veri kullanılarak hesaplanabilen ve kolay anlaşılabilen bir yapısı olan oldukça avantajlı bir anahtar performans göstergesidir. Lloyd’s Register da bu

gösterge ile ilgili bir çalışma yürütmüştür. Dünyadaki tanker filosu üzerinde yapılan bu çalışmaya göre, gemilerin FCI_{diz} değerleri, hem deplasman hem de detveyt tonajları kullanılarak hesaplanmış ve genel bir FCI_{diz} eğrisi oluşturulmuştur. LR'ye göre oluşturulan bu grafikler Şekil 4.9'daki gibidir.



Şekil 4.9 : LR'ye göre tankerler için FCI_{diz} -Deplasman ve FCI_{diz} -DWT grafikleri (Bazari, 2007).

FCI_{diz} değeri, formül üzerinde yapılan hesaplamalar ile bulunabileceği gibi, geminin DWT ve deplasman tonajları kullanılarak bu grafikler yardımı ile de bulunabilir.

5.1.2 Karbondioksit Üretim Yoğunluğu (CO_2I)

CO_2I , kat edilen mesafede taşınan yük başına, geminin karbondioksit üretim miktarını belirten bir anahtar performans göstergesi olarak ifade edilebilir (Bazari, 2007). Geminin seferi sırasında kat ettiği mesafeye, sefer sırasında taşıdığı yük

miktarına ve sefer sırasındaki CO₂ üretim miktarına göre CO₂I değeri değışiklik gösterebilir. CO₂I değerinin hesaplanması için denklem 5.3'te belirtilen formülden yararlanılır.

$$\text{CO}_2\text{I} = \frac{\text{CO}_2 \text{ üretimi}}{\text{taşınan kargo x mesafe}} \quad (5.3)$$

Formülde, CO₂ üretimi; gram cinsinden, geminin seferindeki CO₂ üretim miktarını, taşınan yük; ton cinsinden, geminin sefer boyunca taşıdığı toplam yük miktarını, alınan mesafe de; deniz mili cinsinden, geminin sefer boyunca kat ettiği toplam mesafeyi ifade etmektedir. Buna göre CO₂I değerin birimi g/t-nm şeklindedir.

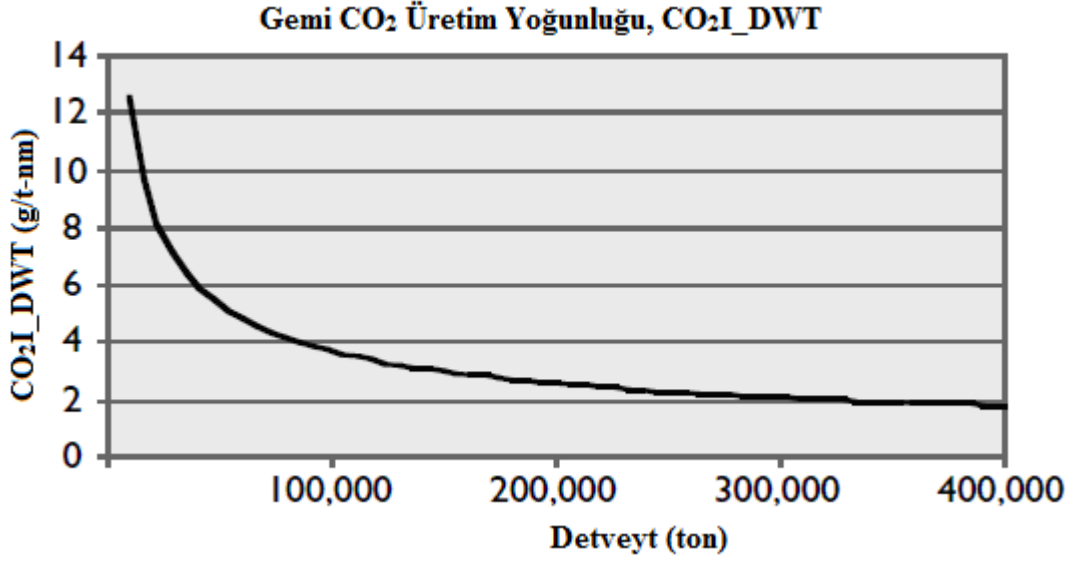
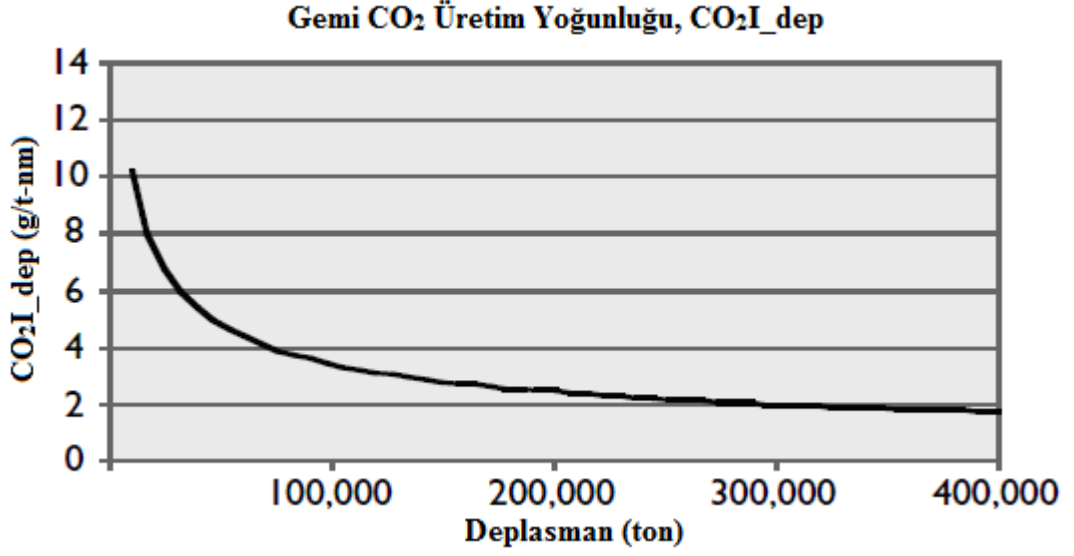
Sefer başına CO₂I değerleri hesaplandıktan sonra, bu değerlerin karşılaştırılacağı CO₂I_{diz.} değerin de hesaplanması gerekmektedir. CO₂I_{diz.} değeri doğrudan FCI_{diz.} değeri ile ilişkilidir. FCI_{diz.} değeri ile CO₂I_{diz.} değeri arasındaki ilişki gemide kullanılan yakıtta göre belirlenir. Kullanılan yakıtın karbon katsayısı ile FCI_{diz.} değerin çarpılması durumunda CO₂I_{diz.} değerine ulaşılması mümkündür (denklem 5.4).

$$\text{CO}_2\text{I}_{\text{diz.}} = 3,67 \times C_{\text{fuel}} \times \text{FCI}_{\text{diz.}} \quad (5.4)$$

Formülde, FCI_{diz.} değeri; g/t-nm cinsinden, kat edilen mesafede taşınan yük başına geminin yakıt tüketim miktarını, birimsiz C_{fuel} katsayısı ise yakıtın karbon katsayısını belirtir. Buna göre CO₂I_{diz.} değerin birimi de CO₂I değerin birimi gibi g/t-nm şeklindedir.

CO₂I ve FCI değerleri arasındaki ilişki sayesinde, FCI değeri hesaplanan her gemide, kullanılan yakıt tipi de aynı olduğu sürece, CO₂I değeri de kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Bu nedenle LR'nin dünya tanker filosu üzerinde yapmış olduğu FCI_{diz.} çalışması, CO₂I_{diz.} değeri üzerinde de aynı şekilde uygulanabilmektedir. Buna göre; CO₂I_{diz.} değeri aynı FCI_{diz.} değerinde olduğu gibi geminin deplasman ve DWT tonajları ile ilişkilendirilerek grafik haline getirilmiştir (Şekil 4.10).

CO₂I_{diz.} değeri, formül üzerinde yapılan hesaplamalar ile bulunabileceği gibi, geminin DWT ve deplasman tonajları kullanılarak bu grafikler yardımı ile de bulunabilir.



Şekil 4.10 : LR'ye göre tankerler için CO₂I_{diz.} - Deplasman ve CO₂I_{diz.} - DWT grafikleri (Bazari, 2007).

5.1.3 Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEOI)

IMO tarafından 2009 yılında yürürlüğe koyulan EEOI hesabı aslında enerji ve yakıt tüketimi ile ilgili göstergeler ile CO₂ salınımı ile ilgili göstergelerin birleşimi ve geliştirilmiş versiyonu olarak ifade edilebilir. EEOI her ne kadar bir tavsiye olarak ortaya çıkmış olsa da 2011 yılında SEEMP'nin mevzuata dahil olması ile operasyonel enerji verimliliği çalışmalarında önemli bir performans göstergesi haline gelmiştir. EEOI tam ifade olarak; kat edilen toplam mesafede taşınan yük başına yakıt tüketim miktarı şeklindedir. Daha önceki bölümlerde de ifade ettiğimiz üzere EEOI hesaplaması denklem 5.5'te belirtildiği şekilde yapılır.

$$EEOI = \frac{\text{yakıt tüketimi} \times C_f}{\text{taşınan kargo} \times \text{mesafe}} \quad (5.5)$$

Formülde yakıt tüketimi; gram cinsinden, sefer sırasındaki yakıt tüketim miktarını, sabit bir katsayı olan C_f ; CO₂ kütle çevrim faktörü cinsinden yakıt ağırlığını, taşınan yük; ton cinsinden, geminin sefer boyunca taşıdığı toplam yük miktarını, alınan mesafe de; deniz mili cinsinden, geminin sefer boyunca kat ettiği toplam mesafeyi ifade etmektedir. Buna göre EEOI değerinin birimi g/t-nm şeklinde olmaktadır. EEOI değeri taşınan yük, kat edilen mesafe ve yakıt tüketim miktarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Hesapların karşılaştırılması ve yorumlanması için gereken EEOI_{diz.} değerinin formülü bu EEOI formülü kullanılarak türetilmektedir. Çalışmalarda EETI olarak karşımıza çıkan enerji verimliliği teknik indeks değeri de ifade ediliş biçimi olarak EEOI_{diz.} değerine referans oluşturmaktadır (Parker ve diğ., 2015). Formüldeki yakıt tüketim miktarı, geminin ana makinesinin belirtilen maksimum gücü ile makinenin dizaynında belirtilen özgül yakıt tüketiminin çarpılması şeklinde ifade edilir. Taşınan yük miktarı, detveyt tonajı cinsinden geminin taşıyabileceği maksimum yük baz alınarak hesaba dahil edilir. Mesafe ise; hız ve zamanın çarpımı olarak formüle dahil edilir. Burada zaman birimi özgül yakıt tüketimi içerisinde ifade edilirken hız değeri de knot cinsinden geminin dizayn hızıdır (denklem 5.6).

$$EEOI_{diz.} = \frac{\text{güç} \times \text{SFOC} \times C_f}{\text{DWT} \times V_{dizayn}} \quad (5.6)$$

EEOI_{diz.} değerinin hesaplandığı bu formülde; ana makine gücü kW, ana makinenin özgül yakıt tüketimi g/kWh, geminin detveyti ton ve geminin dizayn hızı da knot cinsinde hesap edilir. Buna göre, EEOI_{diz.} değerinin birimi de aynı EEOI değeri gibi g/t-nm şeklindedir.

Her sefer için ayrı ayrı ve belirlenen bir süre aralığı için ortalama olarak hesaplanabilen EEOI değeri; EEOI_{diz.} değeri ile karşılaştırılarak operasyonel enerji verimliliğinin izlenmesi ve yorumlanması için önemli bir performans göstergesi haline gelmiştir. Günlük raporlar yardımıyla toplanan veriler ile kolaylıkla hesaplaması yapılabilen EEOI değerleri, az sayıda veri ile kolay anlaşılır sonuçlar elde etmeyi de sağlamaktadır (Ballou, 2013).

5.2 Veri Analizi Yapılacak Olan Gemiye Ait Dizayn Özellikleri

Enerji verimlilik çalışmalarında optimum sonuçlar elde edebilmek ve enerji verimlilik çözümleri üretebilmek adına gerçek gemi verileri kullanılmaktadır. Bu çalışmada da, belirlenen anahtar performans göstergelerinin hesaplamalarında kullanılmak üzere, çoğunlukla Akdeniz ve Karadeniz’de sefer yapmakta olan bir kimyasal tanker, dizayn verileri ve günlük raporlarından yararlanılmıştır.

Çalışmada kullanılan kimyasal tankere ait dizayn bilgileri Çizelge 5.1’de belirtildiği gibidir. Çalışmada bir senelik günlük raporları kullanılan tanker, seferleri, yoğunluklu olarak Akdeniz ve Karadeniz sularında yapılmaktadır. Yılda toplamda 50 adet seferi bulunan geminin 28 seferi yüklü, 22 seferi balastlı olacak şekilde gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.1 : Gemi dizayn özellikleri.

LOA (m.)	LBP (m.)	B (m.)	GT (ton)	ME Gücü (kW)	ME RPM	ME SFOC (g/kWh)	Vdizayn (knot)	DWT (ton)	Deplasman (ton)
121	113,22	18,5	6085	3323	735	175	11	9630,7	12612,7

Ayrıca geminin tüm seferlerinde kullandığı yakıt tipi “Heavy Fuel Oil (HFO)” olduğu bilgisi günlük raporlar yardımıyla edinilmiştir ve tüm hesaplamalarda IMO tarafından HFO yakıtına ait olduğu belirtilen katsayılar kullanılacaktır.

5.3 Analizi Yapılacak Olan Verilerin Toplanması

Daha önce dördüncü bölümde gemilerde veri toplanması için kullanılan yöntemlerden bahsedilmişti. Bu yöntemlerden; hem kolay erişilebilir olması, hem daha düşük maliyetli olması hem de çalışma için yeterli veri sayısına sahip olması nedeniyle günlük raporlar yardımı ile veri toplanması yöntemi ile verilerin elde edilmesine karar verilmiştir.

Geminin, 2016 yılı Ocak ayının başından itibaren, 1 yıllık olacak şekilde, 2016 yılı Aralık ayı sonuna kadar tüm günlük raporlarından yararlanılmıştır. Bu raporlar içerisinde geminin konumu, gemide mevcut bulunan yağ ve yakıt miktarları, geminin anlık ve ortalama hızı, geminin gideceği liman, limana kalan mesafe ve rüzgar durumu gibi veriler bulunmaktadır (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2 : Günlük raporlardan bir kesit.

Tarih/Saat	Rapor Tipi	Konum	Gemi Hızı	Kalan Mesafe	Rüzgar Yönü ve Şiddeti	Kalan HFO Miktarı	...
04.04.2016 05:00	Sefer	4529N 3047E	10,4 knot	1869,0 nm	SE 4-3	200,6 ton	...
05.04.2016 05:00	Sefer	4133N 2917E	10,5 knot	1618,0 nm	SE 5-4	190,7 ton	...
06.04.2016 06:00	Boğaz geçişi	4099N 2897E	NA	1584,0 nm	SE 3-2	188,3 ton	...
07.04.2016 05:00	Sefer	3839N 2502E	11,2 knot	1341,0 nm	E 4-3	178,7 ton	...
08.04.2016 05:00	Sefer	3620N 2115E	10,7 knot	1085,0 nm	E 5-4	168,9 ton	...

Analiz hesaplamaları yapılırken kullanılacak tüm verilerin bu günlük veriler yardımıyla hesaplanması mümkündür. Ayrıca hesaplamalar yapıldıktan sonra ortaya çıkacak sonuçların karşılaştırılması ve yorumlanmasında da günlük raporlarda yer alan veriler birer referans niteliği taşımaktadır.

5.4 Anahtar Performans Göstergeleri İçin Gerekli Verilerin Hesaplanması

Çalışmada kullanılacak anahtar performans göstergelerinin belirlenmesinin ardından bu göstergelerin dizayn ve seferlik değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Anahtar performans göstergelerinin dizayn değerlerinin hesaplanması için gerekli verilerin tamamı geminin dizayn değerlerini oluşturmaktadır. Ana makinenin gücü, özgül yakıt tüketimi, dizayn hızı, dwt tonajı gibi değerler Çizelge 5.1’de gemiye ait özellikler içerisinde belirtildiği şekildedir.

Seferlik gösterge değerlerinin hesaplanmasında kullanılacak veriler ise günlük raporlar yardımı ile elde edilir. Seçilen anahtar performans göstergeleri incelendiğinde seferlik değerlerin hesaplanabilmesi için ihtiyaç duyulan verilerin tamamının yakıt tüketim miktarı, taşınan yük miktarı, CO₂ üretim miktarı ve kat edilen mesafe olduğu görülmektedir. Bu verilerden yakıt tüketim miktarı, taşınan yük miktarı ve mesafe direk günlük raporlar üzerinden hesaplanabilmektedir. CO₂ üretim miktarı ise bu verilerin yardımı ile ayrıca hesaplanmaktadır.

5.4.1 Günlük raporlar yardımıyla yakıt tüketiminin hesaplanması

Geminin, herhangi bir seferindeki toplam yakıt tüketiminin hesaplanması günlük raporlar yardımı ile yapılabilmektedir. Günlük raporlarda yazılı olan yakıt miktarı, raporlar yazıldığı sırada gemi üzerindeki mevcut yakıt miktarını belirtmektedir. Geminin sefer, tahliye, yükleme gibi tüm günlük rapor tiplerinde gemi üzerindeki yakıt miktarları raporlarda belirtilir (Çizelge 5.3). Bir sefer boyunca tüketilen yakıt miktarı, geminin sefere başlamadan önceki son raporunda belirtilen yakıt miktarı ile varış limanına ulaştığı ilk raporundaki yakıt miktarının farkı alınarak hesaplanır.

Çizelge 5.3 : Bir sefer için günlük rapor örneği.

Tarih/Saat	Rapor Tipi	Konum	Gemi Hızı (knot)	Rüzgar ve Deniz Durumu (BF)	Kalan HFO Miktarı (ton)	...
18.01.2016 06:00	Yükleme	Varna Liman	NA	NA	149,0 ton	...
19.01.2016 06:00	Sefer	4127N 2904E	1,6 knot	8	141,0 ton	...
20.01.2016 06:00	Sefer	3918N 2546E	10,6 knot	4	132,0 ton	...
21.01.2016 06:00	Sefer	3629N 2807E	10,5 knot	7	122,6 ton	...
22.01.2016 06:00	Sefer	3559N 3256E	9,2 knot	7	113,0 ton	...
23.01.2016 06:00	Boşaltma	Mersin Liman	NA	NA	108,1 ton	...

Geminin tam bir seferini örnekleyen Çizelge 5.3'teki günlük raporlarda görüldüğü üzere, geminin yükleme limanındaki son raporu 18.01.2016 tarihine aittir ve bu tarihten sonra gemi sefere başlamıştır. Bu nedenle geminin sefere başladığı andaki mevcut yakıt miktarı 149,0 ton olarak kabul edilmektedir. Takip eden dört gün boyunca gemiden gelen günlük raporlar sefere ait raporlardır ve seferin devam ettiği anlaşılmaktadır. 23.01.2016 tarihine ait günlük raporun ise boşaltma raporu olduğu görülmektedir ki bu rapordan geminin seferini tamamladığı ve varış limanına ulaştığı anlaşılmaktadır. Buna göre geminin seferini tamamladığı andaki mevcut yakıt miktarı 108,1 ton olarak kabul edilmektedir. Bu kabuller ışığında geminin 18.01.2016 tarihi ile 23.01.2016 tarihi arasında yaptığı bu seferindeki yakıt tüketim miktarı $149,0 - 108,1 = 40,9$ hesabından 40,9 ton olarak hesaplanmıştır.

5.4.2 Günlük raporlar yardımıyla taşınan yük miktarının hesaplanması

Geminin, bir seferi boyunca taşıdığı yük miktarının belirlenmesi için, geminin limanda bulunduğu sırada paylaşılan tahliye veya yükleme günlük raporlarına bakılmaktadır. Gemi, seferlerinin bazılarını yüklü olarak, bazılarını ise yük almadan balastlı olarak yapmaktadır. Buna göre hangi seferin yüklü, hangi seferin balastlı olduğunun anlaşılması için günlük raporlardaki tahliye ve yükleme değerlerine bakılmaktadır (Çizelge 5.4). Ayrıca yüklü seferlerdeki taşınan yük miktarı da seferden sefere değişiklik gösterebilmektedir. Bu durum da günlük raporlarda belirtilen yükleme miktarına göre anlaşılabilir.

Çizelge 5.4 : Günlük raporlarda yükleme örneği.

Tarih/Saat	Rapor Tipi	Konum	Gemi Hızı	Mevcut Kargo Miktarı	Yüklenecek Kargo Miktarı	...
14.12.2016 05:00	Sefer	4359N 0837W	10,6 knot	0,0 ton	NA	...
15.12.2016 05:00	Yükleme	Aviles Liman	NA	0,0 ton	9120,0 ton	...
16.12.2016 05:00	Yükleme	Aviles Liman	NA	9120,0 ton	0,0 ton	...
17.12.2016 05:00	Sefer	4341N 0930W	8,2 knot	9120,0 ton	NA	...

Yukarıdaki örnek günlük rapor çizelgesinde de görüldüğü üzere gemi 15.12.2016 tarihinde yükleme yapacağı limana yüksüz olarak ulaşmış bulunmaktadır. Bu tarihte verilen günlük rapora göre yükleme işlemine daha başlanmamış olup yükleme yapılacak toplam miktar 9120,0 ton olarak raporda belirtilmiştir. Geminin limandaki bir sonraki gününde verdiği rapora göre ise yüklemenin 9120,0 ton olarak tamamlandığı ve yüklenecek kargo kalmadığı görülmüştür. Buna göre geminin sonraki seferini 9120,0 ton kargo yüklü olarak yaptığı kabul edilmiştir. Benzer durum kargo tahliye raporlarında da geçerlidir. Geminin tahliye raporlarına göre yükünün bir kısmını veya tamamını boşaltarak yeni bir sefere başladığı anlaşılabilir. Çizelge 5.5'te örneği verilmiş olan günlük raporlardan geminin tahliye durumu hakkında bilgi edinilebilmektedir. Raporlara göre gemi, 14.10.2016 tarihinde, tahliye limanına doğru 5000,0 ton yük ile seferine devam etmektedir. Bir sonraki gün verilen rapora göre ise; geminin limana ulaştığı ve tahliyesine başladığı görülmektedir.

Çizelge 5.5 : Günlük raporlarda tahliye örneği.

Tarih/Saat	Rapor Tipi	Konum	Gemi Hızı	Mevcut Kargo Miktarı	Tahliye Edilen Kargo Miktarı	...
14.10.2016 08:00	Sefer	3737N 0925W	9,5 knot	5000,0 ton	NA	...
15.10.2016 06:00	Tahliye	Lizbon Liman	NA	2830,0 ton	2170,0 ton	...
16.10.2016 06:00	Tahliye	Lizbon Liman	NA	600,0 ton	4400,0 ton	...
17.10.2016 08:00	Sefer	3643N 0945W	9,3 knot	0,0 ton	NA	...

Rapordaki bilgiye göre; gemi, toplamdaki 5000,0 tonluk yükünün 2170,0 tonluk kısmını tahliye etmiştir ve tahliye edilmeyi bekleyen 2830,0 ton yükü kalmıştır. Rapordaki bu bilginin; geminin, yükünün tamamını tahliye edeceğini ve aynı limanda herhangi bir yükleme bilgisi verilmediği sürece, bir sonraki seferini, yüksüz olarak yapacağını ifade ettiği kabul edilmiştir. Devam eden gündeki rapora göre ise tahliye işlemi devam etmiş, fakat sona ermemiştir. Toplamda 4400,0 ton tahliyenin yapıldığı ve tahliye edilecek 600,0 tonluk yükün bulunduğu görülmektedir. 17.10.2016 tarihinde paylaşılan sefer raporuna göre ise; geminin, yükünün tamamını tahliye ettiği ve bir sonraki sefere balastlı olarak başladığı kabul edilmiştir.

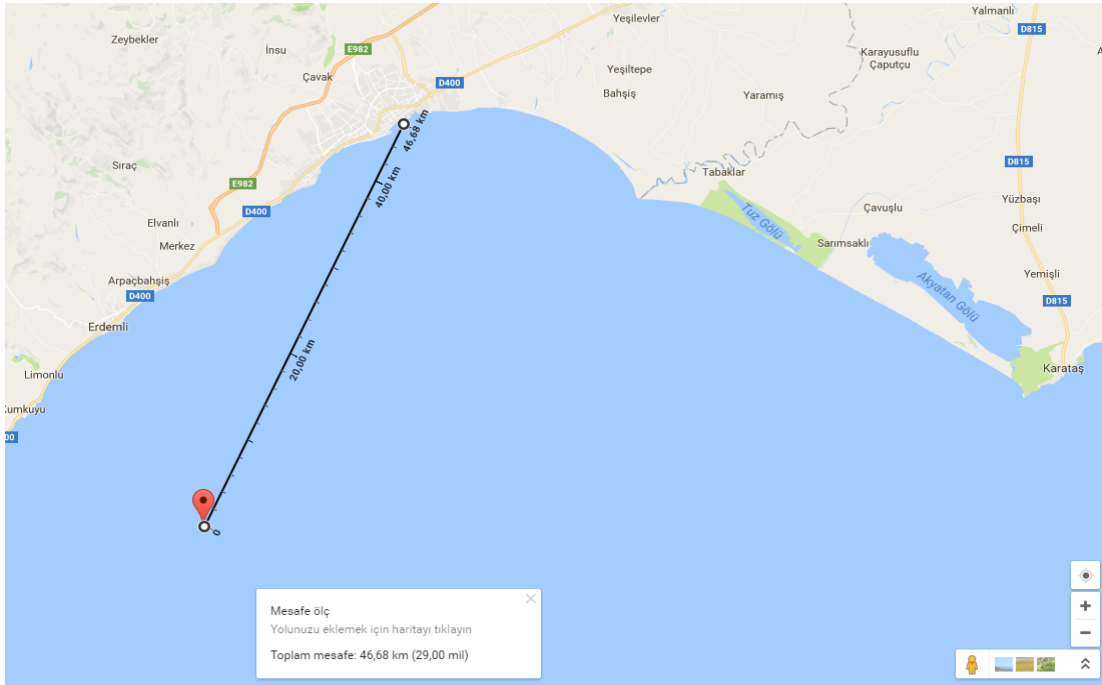
5.4.3 Günlük raporlara göre kat edilen mesafenin hesaplanması

Geminin, herhangi bir seferi sırasında, kat ettiği toplam mesafenin hesaplanması da yine günlük raporlar yarımıyla yapılmaktadır. Geminin, seferi sırasında paylaşılmış olan günlük raporların tamamında, gelecek limana olan mesafe bilgisi, rapor üzerinde paylaşılmaktadır. Fakat geminin tahliyesine ya da yüklemesine denk gelen raporlarda gelecek limana kalan mesafe belirtilmemektedir. Bu nedenle; geminin çıkış yaptığı limandan, seferde paylaşılmış ilk günlük raporda belirtilen konuma olan mesafe günlük raporlardan tespit edilememektedir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6 : Günlük raporlarda kalan mesafe bilgisi.

Tarih/Saat	Rapor Tipi	Konum	Kalan Mesafe	...
07.05.2016 08:00	Tahliye	Mersin Liman	NA	...
08.05.2016 08:00	Sefer	4133N 2917E	913,0 nm	...

Günlük rapor kesit örneğine göre; 07.05.2016 tarihinde gemi tahliye limanındadır ve bir sonraki limana kalan mesafe belli değildir. Bir sonraki günlük raporun ise sefer raporu olduğu görülmektedir ve bu rapor paylaşılana kadar, geminin, limandan kalktığı ve sefere başladığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, geminin iki liman arasında kat ettiği toplam mesafenin hesaplanabilmesi için, geminin 08.05.2016 tarihli raporundaki 4133N 2917E konumu ile tahliye limanındaki konumu arasındaki mesafenin hesaplanarak, 08.05.2016 tarihinde paylaşılmış kalan mesafe değerine eklenmesi gerekmektedir. Buradaki hesaplamada gerek duyulan iki konum arasındaki mesafenin mil cinsinden ölçülmesi ise “Google Maps” uygulaması kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : “Google Maps” ile iki konum arasındaki mesafe hesabı.

Verilen bu örnek incelendiğinde; 08.05.2016 tarihli raporda belirtilen 4133N 2917E koordinatlı konum ile varış limanı olan Mersin Limanı arasındaki mesafe “Google Maps” programı ile 29 mil olarak hesaplanmıştır. Raporda bu konumdan itibaren varış limanına olan mesafe 913 mil olarak belirtilmiştir. Geminin seferinde kat edilen toplam mesafe değerinin hesaplanması için bu iki değer toplanması gerekmektedir. Buna göre; geminin bu seferinde kat ettiği toplam mesafe $913 + 29 = 942$ hesabından 942 mil olarak kabul edilmiştir.

Yapılan bu kabul, bu örnekle birlikte, çalışma içerisinde karşılaşılan diğer tüm benzer durumlar için, kabul edilmiş ve uygulanmıştır.

5.4.4 Üretilen CO₂ miktarının hesaplanması

Geminin, balastlı ve yüklü tüm seferlerinde üretilen CO₂ miktarının hesaplanması, günlük raporlardan elde edilen yakıt tüketimi, taşınan yük miktarı ve mesafe verileri kullanılarak yapılmaktadır. Çalışma kapsamında, üretilen CO₂ miktarının elde edilmesi, EEOI hesaplarını yapmak için kullanılan “DNV GL EEOI Calculator” programı yardımı ile sağlanmıştır (Şekil 5.2).

Voyage	Arrival Date	nm	Cargo [mt]	HFO [mt]	LFO [mt]	MDO/MGO [mt]	LNG [mt]	LPG [mt]	total equiv. HFO [mt]	equiv. HFO [kg/nm]	Total CO2 [mt]	Total CO2 [kg/nm]
1	04.01.2016	221	9.100	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	11,9	53,8	37	167,7
2	09.01.2016	221	0	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	45,7	31	142,3
3	12.01.2016	240	9.100	11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	46,7	35	145,3
4	16.01.2016	240	0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	37,5	28	116,8
5	22.01.2016	969	9.100	40,9	0,0	0,0	0,0	0,0	40,9	42,2	127	131,4
6	27.01.2016	755	0	23,3	0,0	0,0	0,0	0,0	23,3	30,9	73	96,1
7	31.01.2016	656	0	14,1	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1	21,5	44	66,9
8	02.02.2016	223	9.100	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	11,9	53,4	37	166,2
9	08.02.2016	414	0	14,1	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1	34,1	44	106,1
10	12.02.2016	528	8.000	24,7	0,0	0,0	0,0	0,0	24,7	46,8	77	145,7
11	19.02.2016	236	9.100	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4	48,3	35	150,4
12	24.02.2016	239	0	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	39,7	30	123,8
13	01.03.2016	993	9.100	35,5	0,0	0,0	0,0	0,0	35,5	35,8	111	111,3
14	09.03.2016	960	0	38,7	0,0	0,0	0,0	0,0	38,7	40,3	121	125,5
15	11.03.2016	221	9.103	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	38,5	26	119,8
16	15.03.2016	205	0	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	11,7	57,1	36	177,7
17	18.03.2016	235	9.100	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	47,2	35	147,1
18	24.03.2016	239	0	10,7	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	44,8	33	139,4
19	27.03.2016	233	9.100	11,3	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	48,5	35	151,0
20	01.04.2016	502	0	21,6	0,0	0,0	0,0	0,0	21,6	43,0	67	134,0
21	12.04.2016	2.012	8.600	84,6	0,0	0,0	0,0	0,0	84,6	42,0	263	130,9
22	18.04.2016	1.192	5.000	56,8	0,0	0,0	0,0	0,0	56,8	47,7	177	148,4
23	21.04.2016	157	0	11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	71,3	35	222,1

Şekil 5.2 : “DNV GL EEOI Calcuator” ile CO₂ üretim miktarları.

CO₂ üretim miktarı, hem ton cinsinden hem de kg/nm cinsinden program tarafından hesaplanmaktadır. Programın girdileri, hesaplama yöntemi ve çıktıları hakkında detaylı bilgiler EEOI hesaplamaları bölümünde ifade edilecektir.

Bölüm 5.4’te verilen tüm hesaplama yöntemleri göz önüne alındığında; geminin bir yıldaki toplam 50 seferi için yakıt tüketimi, taşınan kargo miktarı, mesafe ve CO₂ üretimi Çizelge 5.7’deki gibi hesaplanmıştır.

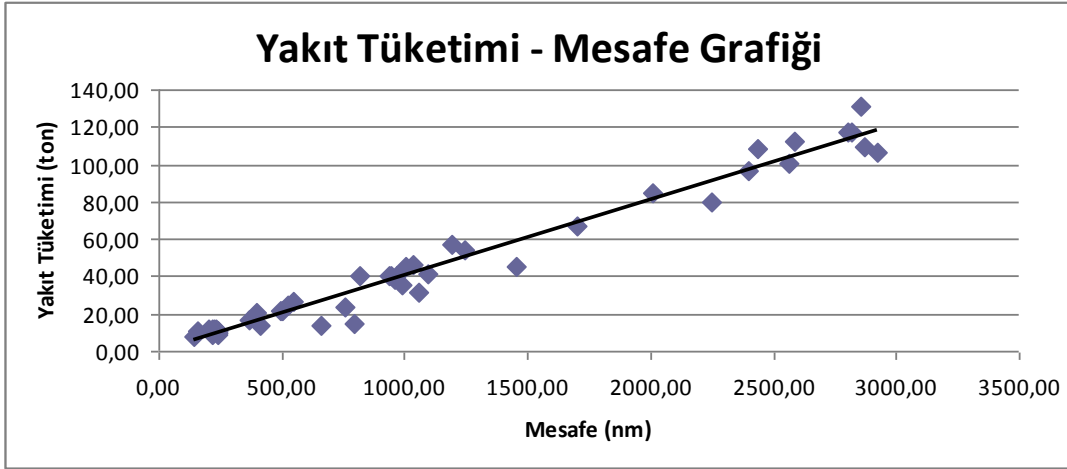
Çizelge 5.7 : Geminin bir yıldaki tüm seferleri.

Sefer No	Kalkış Yeri	Variş Yeri	Kalkış Tarihi	Variş Tarihi	Mesafe (nm)	Yakıt Tüketimi (ton)	Taşınan Kargo Miktarı (ton)	Total CO ₂ (ton)
1	Varna	İzmit	02.01.2016	04.01.2016	221,00	11,90	9100,00	37,00
2	İzmit	Varna	07.01.2016	09.01.2016	221,00	10,10	0,00	31,00
3	Varna	Bandırma	10.01.2016	12.01.2016	240,00	11,20	9100,00	35,00
4	Bandırma	Varna	15.01.2016	16.01.2016	240,00	9,00	0,00	28,00
5	Varna	Mersin	19.01.2016	22.01.2016	969,00	40,90	9100,00	127,00
6	Mersin	Eleusis	25.01.2016	27.01.2016	755,00	23,30	0,00	73,00
7	Eleusis	Varna	29.01.2016	31.01.2016	656,00	14,10	0,00	44,00
8	Varna	İzmit	02.02.2016	03.02.2016	223,00	11,90	9100,00	37,00
9	İzmit	Thesselanoki	06.02.2016	08.02.2016	414,00	14,10	0,00	44,00
10	Thesselanoki	Varna	09.02.2016	12.02.2016	528,00	24,70	8000,00	77,00
11	Varna	Bandırma	18.02.2016	19.02.2016	236,00	11,40	9100,00	35,00
12	Bandırma	Varna	22.02.2016	24.02.2016	239,00	9,50	0,00	30,00
13	Varna	Mersin	25.02.2016	01.03.2016	993,00	35,50	9100,00	111,00
14	Mersin	Varna	04.03.2016	09.03.2016	960,00	38,70	0,00	121,00
15	Varna	İzmit	10.03.2016	11.03.2016	221,00	8,50	9103,00	26,00
16	İzmit	Varna	14.03.2016	15.03.2016	205,00	11,70	0,00	36,00
17	Varna	Bandırma	16.03.2016	18.03.2016	235,00	11,10	9100,00	35,00
18	Bandırma	Varna	23.03.2016	24.03.2016	239,00	10,70	0,00	33,00
19	Varna	Bandırma	26.03.2016	27.03.2016	233,00	11,30	9100,00	35,00
20	Bandırma	Nikolaev	29.03.2016	01.04.2016	502,00	21,60	0,00	67,00
21	Nikolaev	Cartegena	03.04.2016	12.04.2016	2012,00	84,60	8600,00	263,00
22	Categena	Bilbao	13.04.2016	18.04.2016	1192,00	56,80	5000,00	177,00
23	Bilbao	Aviles	20.04.2016	21.04.2016	157,00	11,20	0,00	35,00
24	Aviles	Mersin	22.04.2016	03.05.2016	2874,00	109,20	9100,00	340,00
25	Mersin	Varna	08.05.2016	12.05.2016	942,00	40,90	0,00	127,00

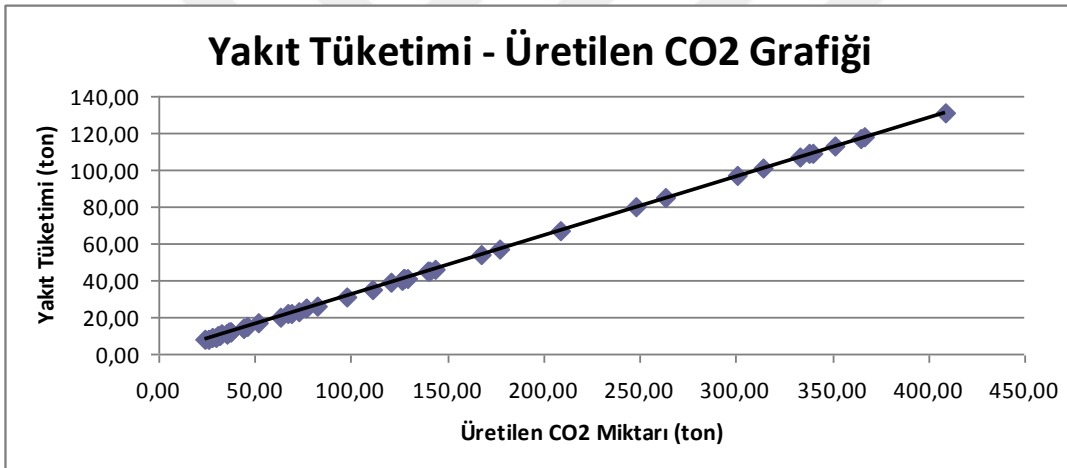
Çizelge 5.7 (devam): Geminin bir yıldaki tüm seferleri.

Sefer No	Kalkış Yeri	Variş Yeri	Kalkış Tarihi	Variş Tarihi	Mesafe (nm)	Yakıt Tüketimi (ton)	Taşınan Kargo Miktarı (ton)	Total CO ₂ (ton)
26	Varna	Tarragona	14.05.2016	21.05.2016	1699,00	67,00	9100,00	209,00
27	Tarragona	Valencia	22.05.2016	23.05.2016	140,00	7,70	4300,00	24,00
28	Valencia	Huelva	24.05.2016	27.05.2016	544,00	26,40	0,00	82,00
29	Huelva	Adabiya	28.05.2016	07.06.2016	2250,00	79,70	9234,00	248,00
30	Adabiya	Varna	13.06.2016	18.06.2016	1093,00	41,50	0,00	129,00
31	Varna	Bandırma	22.06.2016	23.06.2016	238,00	10,20	9100,00	32,00
32	Bandırma	Dneprobugsky	25.06.2016	30.06.2016	495,00	22,00	0,00	69,00
33	Dneprobugsky	Villagarcia	05.07.2016	18.07.2016	2803,00	117,80	7154,00	367,00
34	Villagarcia	Bilbao	19.07.2016	21.07.2016	398,00	20,30	3154,00	63,00
35	Bilbao	Safi	22.07.2016	26.07.2016	937,00	40,90	0,00	127,00
36	Safi	Ceyhan	28.07.2016	07.08.2016	2436,00	108,60	5499,00	338,00
37	Ceyhan	Marsa El Braga	10.08.2016	15.08.2016	1032,00	46,30	0,00	144,00
38	Marsa El Braga	Rotterdam	17.08.2016	29.08.2016	2921,00	106,80	7638,00	333,00
39	Rotterdam	Aviles	01.09.2016	04.09.2016	797,00	14,90	0,00	46,00
40	Aviles	Mersin	04.09.2016	18.09.2016	2818,00	117,10	9108,00	365,00
41	Mersin	Nikolaev	23.09.2016	01.10.2016	1244,00	54,10	0,00	168,00
42	Nikolaev	Lizbon	03.10.2016	14.10.2016	2564,00	100,70	5000,00	314,00
43	Lizbon	Safi	16.10.2016	18.10.2016	364,00	16,60	0,00	52,00
44	Safi	Ceyhan	20.10.2016	30.10.2016	2398,00	96,70	9186,00	301,00
45	Ceyhan	Varna	01.11.2016	05.11.2016	1003,00	45,30	0,00	141,00
46	Varna	Villagarcia	10.11.2016	22.11.2016	2583,00	112,70	8160,00	351,00
47	Villagarcia	Rotterdam	24.11.2016	28.11.2016	1055,00	31,40	4061,00	98,00
48	Rotterdam	Casablanca	01.12.2016	07.12.2016	1452,00	44,90	6000,00	140,00
49	Casablanca	Aviles	11.12.2016	14.12.2016	820,00	40,50	0,00	126,00
50	Aviles	İzmit	14.12.2016	28.12.2016	2858,00	131,20	9130,00	409,00

Bu hesaplamalar sonucunda mesafe ve CO₂ üretim miktarının yakıt tüketimi ile ilişkisini anlayabilmek adına Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'teki grafikler hazırlanmıştır.



Şekil 5.3 : Yakıt tüketimi – mesafe grafiği.



Şekil 5.4 : Yakıt tüketimi – üretilen CO₂ grafiği.

5.5 Veri Analiz Hesaplamaları

Çalışmanın bu bölümünde, daha önceki bölümlerde ifade edilen anahtar performans göstergelerinin dizayn ve seferlik değerleri hesaplanacaktır. Bu hesaplamalar, geminin dizayn verileri ve günlük raporlardan alınan verilerin analizini oluşturmaktadır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen analiz sonuçları, grafikler üzerinde belirtilerek karşılaştırılacak ve yoruma hazır hale getirilecektir.

5.5.1 Örnek gemi verilerinin FCI göstergesi ile analizi

Dizayn verileri ve günlük raporlardan elde edilen seferlik verileri mevcut bulunan örnek geminin, enerji verimlilik çalışmaları dahilinde yapılacak veri analizi,

başlangıçta, bir anahtar performans göstergesi olarak FCI değeri üzerinde yapılmıştır. İlk olarak, daha önce ifade edilmiş olan $FCI_{diz.}$ formülü kullanılarak, örnek gemi için $FCI_{diz.}$ değeri hesaplanmıştır (denklem 5.7).

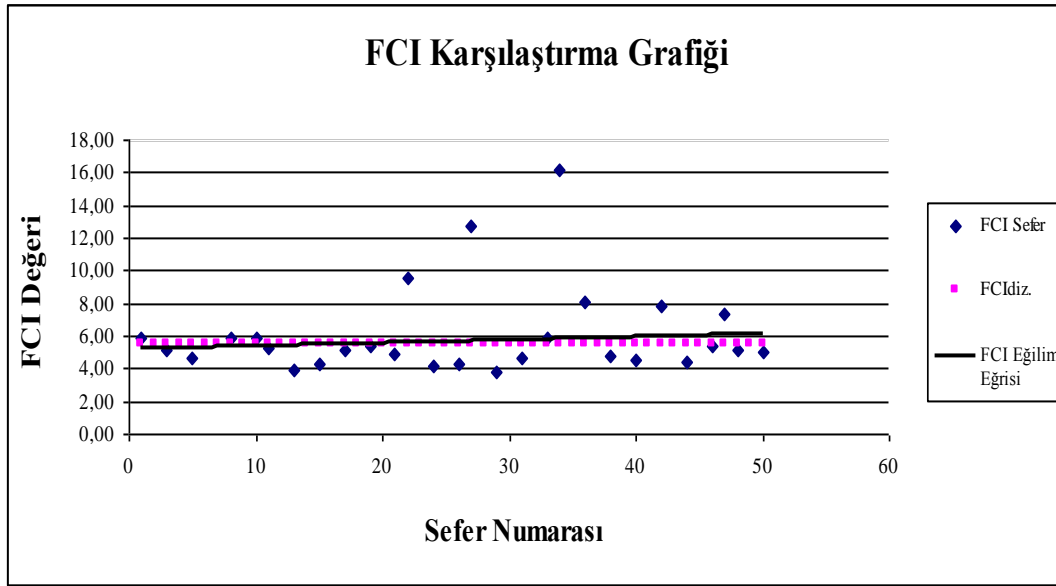
$$FCI_{diz.} = \frac{\text{güç} \times \text{SFOC}}{\text{DWT} \times V_{dizayn}} = \frac{3323,0 \text{ kW} \times 175,0 \text{ g/kWh}}{9630,7 \text{ ton} \times 11,0 \text{ knot}} \quad (5.7)$$

Yapılan bu hesaplama göre; hesaplanacak seferlik değerlerin karşılaştırılacağı $FCI_{diz.}$ değeri 5,49 g/t-nm olarak bulunmuştur. Dizayn değeri hesaplandıktan sonra ise; FCI formülüne göre her sefer için ayrı ayrı FCI değerleri “MS Excel” yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplamalara örnek oluşturması açısından 1 numaralı sefer için hesaplama denklem 5.8’de belirtildiği şekildedir.

$$FCI = \frac{\text{yakıt tüketimi}}{\text{taşınan kargo} \times \text{mesafe}} = \frac{11,90 \text{ ton} \times 10^6}{9100,0 \text{ ton} \times 221,0 \text{ nm}} \quad (5.8)$$

Örnek olarak belirtilen bu hesaplama sonucunda, bu verilerin ait olduğu seferin FCI değeri 5,92 g/t-nm olarak hesaplanmıştır ve dizayn değerinde olduğu görülmektedir. Aynı yöntem ile geminin toplam 50 seferine ait FCI değerleri de hesaplanmıştır. Ancak; geminin balastlı seferlerinde taşınan yük miktarı sıfır olduğu için, FCI formülüne göre payda, sıfır olmaktadır. Bu nedenle yüksüz seferler için FCI değeri hesaplanamamaktadır. Tüm hesaplamalar sona erdikten sonra elde edilen tüm değerler tek bir grafik üzerinde toplanmıştır. Buna göre; bir yıllık toplamda, 28 adet yüklü seferi bulunan örnek geminin, sefer başına FCI değerleri ile $FCI_{diz.}$ değerinin karşılaştırma grafiği Şekil 5.5’teki gibi olmaktadır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen grafik incelendiğinde, toplam 28 yüklü seferin 18 tanesinde FCI değerinin dizayn değerinin altında kaldığı, 10 tanesinde ise dizayn değerinin üzerine çıktığı görülmektedir. Buna göre; bir yıl içerisinde yapılan seferlerin bazılarının yakıt tüketim indeksi dizayn değerine göre yüksek, bazılarının ise yakıt tüketim indeksi dizayn değerine göre düşüktür denilebilir. Bu değerler arasındaki farklar, yorumlar bölümünde incelenerek nedenleri araştırılacak ve detaylandırılacaktır.



Şekil 5.5 : FCI karşılaştırma grafiği.

5.5.2 Örnek gemi verilerinin CO₂I göstergesi ile analizi

Örnek gemiye ait olan verilerin analizi, FCI hesaplarının yapılmasının ardından, CO₂I hesaplarının yapılması ile devam etmektedir. Başlangıç olarak, CO₂I_{diz.} değeri, daha önce hesaplanmış olan FCI_{diz.} değerinden faydalanılarak yapılmıştır. Bu hesaplamanın formülü daha önce ifade edildiği şekilde olup, örnek gemiden alınan veriler formüldeki yerlerine konularak CO₂I_{diz.} değeri elde edilmiştir (denklem 5.9).

$$CO_2I_{diz.} = 3,67 \times C_{fuel} \times FCI_{diz.} = 3,67 \times 0,85 \times 5,49 \quad (5.9)$$

Yapılan bu hesaplama göre; CO₂I_{diz.} değeri 17,13 g/t-nm olarak bulunmuştur. Formülde yer alan FCI_{diz.} değeri daha önce hesaplanan değer olarak formül içerisinde kullanılmıştır. Formülde yer alan C_{fuel} değeri ise IMO tarafından HFO yakıtı için belirlenmiş olan yakıt karbon katsayısıdır (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.8 : Yakıt kütlesi – CO₂ kütlesi dönüşüm çizelgesi (IMO,2008).

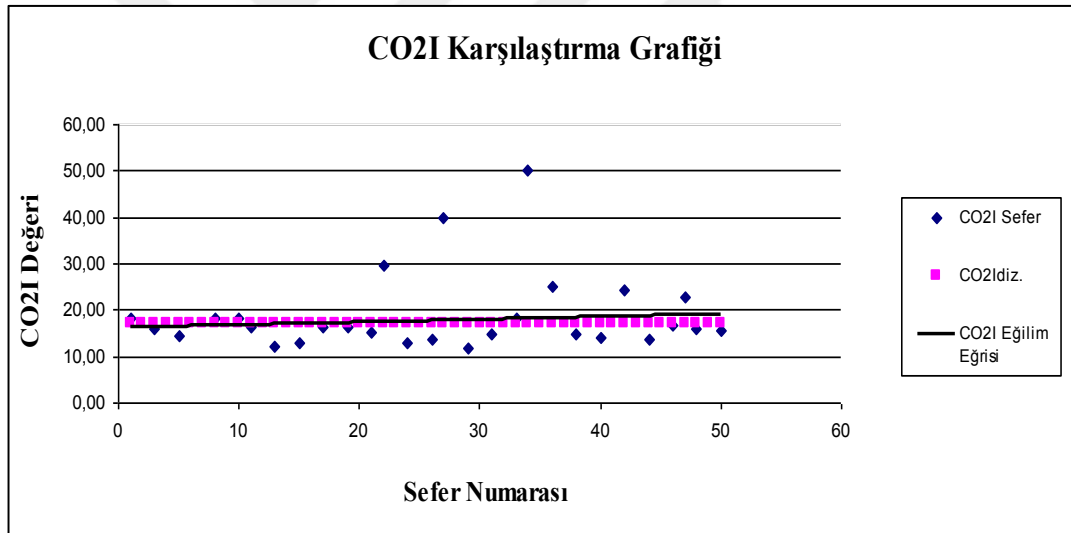
Yakıt Tipi	Referans	Karbon Katsayısı	CF (t-CO ₂ /t-Fuel)
Diesel/Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMC	0,875	3,20600
Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	0,860	3,15104
Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	0,850	3,11440
Liquified Petroleum Gas (LPG)	Propane	0,819	3,00000
Liquified Petroleum Gas (LPG)	Butane	0,827	3,03000
Liquified Natural Gas (LNG)		0,750	2,75000

CO₂I_{diz.} değerinin hesaplanmasının ardından, CO₂I formülüne göre her sefer için ayrı ayrı CO₂I değerleri “MS Excel” yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplamalara örnek

oluşturması açısından 1 numaralı sefer için hesaplama denklem 5.10'da belirtildiği şekildedir.

$$CO_2I = \frac{CO_2 \text{ üretimi}}{\text{taşınan kargo x mesafe}} = \frac{37,0 \text{ ton} \times 10^6}{9100,0 \text{ ton} \times 221,0 \text{ nm}} \quad (5.10)$$

Örnek olarak belirtilen bu hesaplama sonucunda, bu verilerin ait olduğu seferin CO₂I değeri 18,40 g/t-nm olarak hesaplanmıştır ve dizayn değer üzerinde olduğu görülmektedir. Aynı yöntem ile geminin toplam 50 seferine ait CO₂I değerleri de hesaplanmıştır. Ancak; geminin balastlı seferlerinde taşınan yük miktarı sıfır olduğu için, CO₂I formülüne göre payda da, sıfır olmaktadır. Bu nedenle yüksüz seferler için CO₂I değeri hesaplanamamaktadır. Tüm hesaplamalar sona erdikten sonra elde edilen tüm değerler tek bir grafik üzerinde toplanmıştır. Buna göre; bir yıllık toplamda, 28 adet yüklü seferi bulunan örnek geminin, sefer başına CO₂I değerleri ile CO₂I_{diz.} değerinin karşılaştırma grafiği Şekil 5.6'daki gibi olmaktadır.



Şekil 5.6 : CO₂I karşılaştırma grafiği.

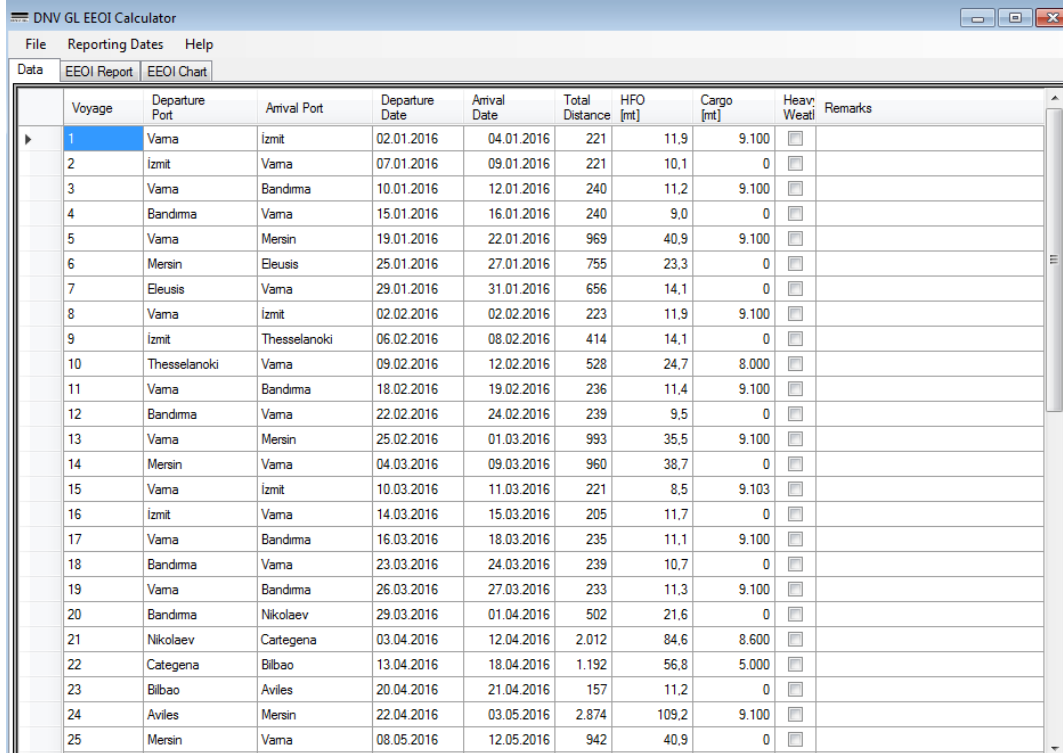
Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen grafik incelendiğinde, toplam 28 yüklü seferin 18 tanesinde CO₂I değerinin dizayn değerinin altında kaldığı, 10 tanesinde ise dizayn değerinin üzerine çıktığı görülmektedir. Buna göre; bir yıl içerisinde yapılan seferlerin bazılarının CO₂ üretim yoğunluğu dizayn değerine göre yüksek, bazılarının ise CO₂ üretim yoğunluğu dizayn değerine göre düşüktür denilebilir. Bu değerler arasındaki farklar, yorumlar bölümünde incelenerek nedenleri araştırılacak ve detaylandırılacaktır.

5.5.3 Örnek gemi verilerinin EEOI göstergesi ile analizi

Örnek gemiye ait olan verilerin analizi, FCI ve CO₂I göstergelerinin ardından, son olarak, EEOI göstergesi ile yapılmıştır. Öncelikle EEOI_{diz.} değerinin hesaplanması gerekmektedir ve bu değer daha önce ifade edilmekte olan EEOI_{diz.} formülü ile hesaplanacaktır (denklem 5.11).

$$EEOI_{diz.} = \frac{\text{güç} \times SFOC \times C_f}{DWT \times V_{dizayn}} = \frac{3323,0 \text{ kW} \times 175,0 \text{ g/kWh} \times 3,1144}{9630,7 \text{ ton} \times 11 \text{ knot}} \quad (5.11)$$

Yapılan bu hesaplama göre; EEOI_{diz.} değeri 17,10 g/t-nm olarak bulunmuştur. Formülde yer alan değerler geminin dizayn değerlerinden seçilerek kullanılmıştır. Formülde yer alan C_f değeri ise IMO tarafından HFO yakıtı için belirlenmiş olan yakıt karbon katsayısıdır (Çizelge 5.8). EEOI_{diz.} değerinin hesaplanmasının ardından, EEOI formülüne göre her sefer için ayrı ayrı EEOI değerleri “DNV GL EEOI Calculator” programı yardımı ile hesaplanmıştır. Programa; yakıt tüketim miktarı, taşınan kargo miktarı ve mesafe verileri girdi olarak yazılmıştır. Kullanılan yakıt tipi HFO olarak işaretlenmiş ve daha önce hesaplanan EEOI_{diz.} değeri olan 17,10 g/t-nm programa bir başka girdi olarak işlenmiştir. Ayrıca seferleri belirtmek adına; sefer başlangıç ve bitiş günleri, sefer numaraları, kalkış ve varış limanları da program girdileri arasında yer almaktadır (Şekil 5.7).



Voyage	Departure Port	Arrival Port	Departure Date	Arrival Date	Total Distance	HFO [mt]	Cargo [mt]	Heavy Weat	Remarks
1	Vama	Izmit	02.01.2016	04.01.2016	221	11,9	9.100	<input type="checkbox"/>	
2	Izmit	Vama	07.01.2016	09.01.2016	221	10,1	0	<input type="checkbox"/>	
3	Vama	Bandirma	10.01.2016	12.01.2016	240	11,2	9.100	<input type="checkbox"/>	
4	Bandirma	Vama	15.01.2016	16.01.2016	240	9,0	0	<input type="checkbox"/>	
5	Vama	Mersin	19.01.2016	22.01.2016	969	40,9	9.100	<input type="checkbox"/>	
6	Mersin	Eleusis	25.01.2016	27.01.2016	755	23,3	0	<input type="checkbox"/>	
7	Eleusis	Vama	29.01.2016	31.01.2016	656	14,1	0	<input type="checkbox"/>	
8	Vama	Izmit	02.02.2016	02.02.2016	223	11,9	9.100	<input type="checkbox"/>	
9	Izmit	Thessaloniki	06.02.2016	08.02.2016	414	14,1	0	<input type="checkbox"/>	
10	Thessaloniki	Vama	09.02.2016	12.02.2016	528	24,7	8.000	<input type="checkbox"/>	
11	Vama	Bandirma	18.02.2016	19.02.2016	236	11,4	9.100	<input type="checkbox"/>	
12	Bandirma	Vama	22.02.2016	24.02.2016	239	9,5	0	<input type="checkbox"/>	
13	Vama	Mersin	25.02.2016	01.03.2016	993	35,5	9.100	<input type="checkbox"/>	
14	Mersin	Vama	04.03.2016	09.03.2016	960	38,7	0	<input type="checkbox"/>	
15	Vama	Izmit	10.03.2016	11.03.2016	221	8,5	9.103	<input type="checkbox"/>	
16	Izmit	Vama	14.03.2016	15.03.2016	205	11,7	0	<input type="checkbox"/>	
17	Vama	Bandirma	16.03.2016	18.03.2016	235	11,1	9.100	<input type="checkbox"/>	
18	Bandirma	Vama	23.03.2016	24.03.2016	239	10,7	0	<input type="checkbox"/>	
19	Vama	Bandirma	26.03.2016	27.03.2016	233	11,3	9.100	<input type="checkbox"/>	
20	Bandirma	Nikolaev	29.03.2016	01.04.2016	502	21,6	0	<input type="checkbox"/>	
21	Nikolaev	Cartegen	03.04.2016	12.04.2016	2.012	84,6	8.600	<input type="checkbox"/>	
22	Cartegen	Bilbao	13.04.2016	18.04.2016	1.192	56,8	5.000	<input type="checkbox"/>	
23	Bilbao	Aviles	20.04.2016	21.04.2016	157	11,2	0	<input type="checkbox"/>	
24	Aviles	Mersin	22.04.2016	03.05.2016	2.874	109,2	9.100	<input type="checkbox"/>	
25	Mersin	Vama	08.05.2016	12.05.2016	942	40,9	0	<input type="checkbox"/>	

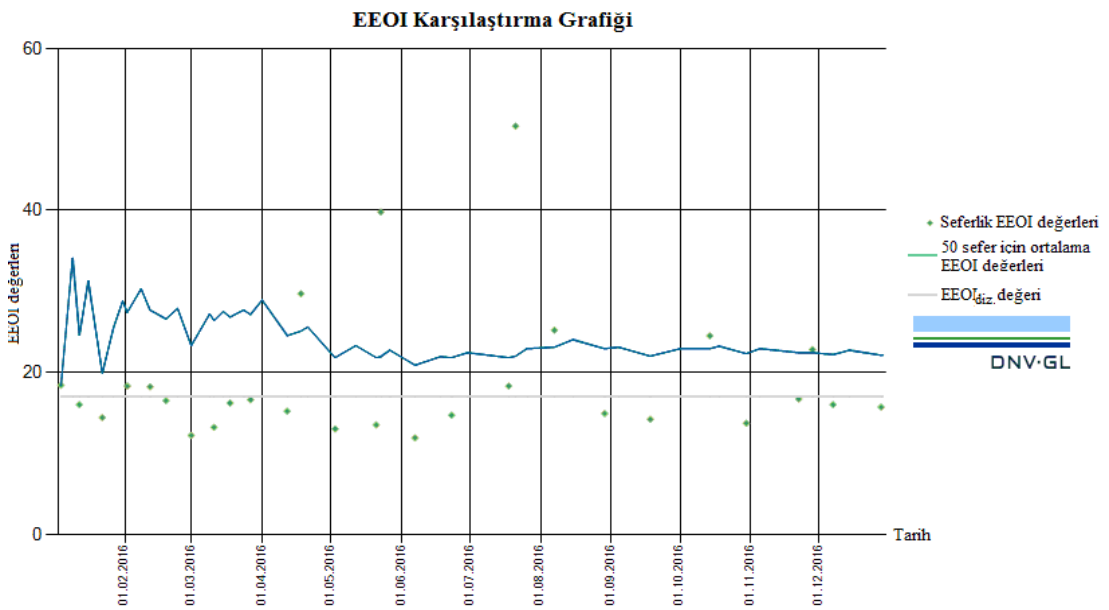
Şekil 5.7 : DNV GL EEOI Calculator program girdileri.

Programı çıktısı olarak; seferlik EEOI değerlerinin dışında üretilen CO₂ miktarını ve yük taşıma işi değerini de vermektedir (Şekil 5.8). Ayrıca diğer göstergelerden farklı olarak EEOI hesabı yapılırken, balastlı seferleri de hesaba katarak, 50 seferin ortalama EEOI değeri de hesaplanmıştır. Bu sayede balastlı seferlerin enerji verimliliğine etkileri de incelenmeye çalışılacaktır.

	LNG [mt]	LPG [mt]	total equiv. HFO [mt]	equiv. HFO [kg/nm]	Total CO2 [mt]	Total CO2 [kg/nm]	Transport work [t*nm]	EEOI (voyage)	EEOI (rolling average)
0,0	0,0	0,0	11,9	53,8	37	167,7	2.011.100	18,4	18,4
0,0	0,0	0,0	10,1	45,7	31	142,3	0		34,1
0,0	0,0	0,0	11,2	46,7	35	145,3	2.184.000	16,0	24,6
0,0	0,0	0,0	9,0	37,5	28	116,8	0		31,3
0,0	0,0	0,0	40,9	42,2	127	131,4	8.817.900	14,4	19,9
0,0	0,0	0,0	23,3	30,9	73	96,1	0		25,5
0,0	0,0	0,0	14,1	21,5	44	66,9	0		28,8
0,0	0,0	0,0	11,9	53,4	37	166,2	2.029.300	18,3	27,4
0,0	0,0	0,0	14,1	34,1	44	106,1	0		30,3
0,0	0,0	0,0	24,7	46,8	77	145,7	4.224.000	18,2	27,7
0,0	0,0	0,0	11,4	48,3	35	150,4	2.147.600	16,5	26,6
0,0	0,0	0,0	9,5	39,7	30	123,8	0		27,9
0,0	0,0	0,0	35,5	35,8	111	111,3	9.036.300	12,2	23,3
0,0	0,0	0,0	38,7	40,3	121	125,5	0		27,2
0,0	0,0	0,0	8,5	38,5	26	119,8	2.011.860	13,2	26,4
0,0	0,0	0,0	11,7	57,1	36	177,7	0		27,5
0,0	0,0	0,0	11,1	47,2	35	147,1	2.138.500	16,2	26,8
0,0	0,0	0,0	10,7	44,8	33	139,4	0		27,7
0,0	0,0	0,0	11,3	48,5	35	151,0	2.120.300	16,6	27,1

Şekil 5.8 : DNV GL EEOI Calculator program çıktıları.

Tüm bu hesaplamalar tamamlandıktan sonra, EEOI_{diz.} değeri, seferlik EEOI değerleri ve 50 sefer için ortalama EEOI değerlerinin tamamı bir grafik üzerinde toplanmıştır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 : EEOI karşılaştırma grafiği.

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen grafik incelendiğinde, toplam 28 yüklü seferin 18 tanesinde EEOI değerinin dizayn değerinin altında kaldığı, 10 tanesinde ise dizayn değerinin üzerine çıktığı görülmektedir. Buna göre; bir yıl içerisinde yapılan seferlerin bazılarının enerji verimliliği dizayn değerine göre yüksek, bazılarının ise enerji verimliliği dizayn değerine göre düşüktür denilebilir. Bu değerler arasındaki farklar, yorumlar bölümünde incelenerek nedenleri araştırılacak ve detaylandırılacaktır.

5.6 Veri Analiz Sonuçları ve Yorumlar

Çalışmada kullanılan üç anahtar performans göstergesi ile de hesaplamalar yapıp ortaya çıkan sonuçlar Bölüm 5.5'te grafikler yardımı ile ortaya konmuştur. Bu sonuçlar ve grafikler incelendiğinde hem FCI, hem CO₂I, hem de EEOI ile yapılan hesaplarda toplam 28 seferlik değer elde edildiği görülmüştür. Bu seferlik değerlerin dizayn değerleri ile karşılaştırılması sonucunda 18 seferlik değer dizayn değerlerinin altında olduğu, 10 seferlik değer ise dizayn değerlerinin üstünde olduğu ve bu seferlerin tamamının her üç performans göstergesinde de aynı seferler olduğu tespit edilmiştir. Buna göre; enerji verimlilik çalışmasında kullanılan göstergelerin birbirlerini destekledikleri ve çıkan sonuçların doğruluk payını yükselttikleri yorumu yapılabilir.

Verilerin analizi sonucunda ortaya çıkan grafikler incelendiğinde, ilk olarak sorulacak soru, “Geminin her seferindeki enerji verimlilik değerleri neden birbirlerinden farklıdır?” şeklinde olacaktır. Bu soru bizleri aslında tezin amacına da direkt olarak ulaştıracak sorudur.

Daha önce de belirtildiği gibi geminin toplam 28 yüklü seferinin 18 tanesi belirlenen dizayn değerinin altındadır. Yani bu seferler enerji tüketimi açısından verimlidir denilebilir. Ancak bu verimli seferler de kendi içlerinde daha çok verimli veya daha az verimli gibi derecelendirilebilir. Aynı şekilde enerji verimliliği düşük olan seferlerin bazıları dizayn değerinin çok az miktarda üzerindeyken, bazıları oransal olarak dizayn değerinin iki katından fazladır. Bu durumu ifade edebilmek adına, Bazari, 2007 yılında yaptığı çalışmada, FCI ve CO₂I anahtar performans göstergelerinin dizayn değerleri için, bir skala geliştirmiştir. Seferlik değerlerin, dizayn değerlerine yüzde olarak yakınlık veya uzaklığına göre sıralandığı bu skala,

en verimli sefer için 1, en az verimli sefer için 10 değerini sunmaktadır. Dizayn değeri ise skalada 4 değeri ile ifade edilmiştir (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.9 : Bazari'ye göre enerji verimlilik skalası.

Değer	Açıklama	Yorumlar
1	Sefer < Diz.-10%	en verimli
2	Diz.-10% =< Sefer < Diz.-6%	
3	Diz.-6% =< Sefer < Diz.-2%	
4	Sefer = Diz. +/-2%	standart
5	Diz.+2% < Sefer =< Diz.+6%	
6	Diz.+6% < Sefer =< Diz.+10%	
7	Diz.+10% < Sefer =< Diz.+15%	
8	Diz.+15% < Sefer =< Diz.+20%	
9	Diz.+20% < Sefer =< Diz.+25%	
10	Sefer > Diz.+25%	en az verimli

Buradan da görüldüğü üzere, her sefer için bulunan performans gösterge değerleri birbirlerinden farklıdır ve aralarında kıyaslamalar yapılması farklılıkların nedenlerini öğrenmek açısından önemlidir. Bu nedenle; hesaplanan seferlik FCI ve CO₂I değerlerinin, dizayn değerleri ile olan yüzdesel farkları hesaplanmış ve skalaya göre hangi enerji verimlilik derecesine dahil oldukları gösterilmiştir (Çizelge 5.10).

Enerji verimlilik skalasındaki verimlilik sıralamaları, hesaplamalar sonucunda çıkan sonuçlar ve grafikler incelendiğinde, çalışma dahilinde cevapları aranacak bir takım sorular ortaya çıkmıştır. Bu soruların cevaplanması ve yorumlanması ile enerji verimlilik çalışmasına başlanırken konulmuş hedeflere ulaşılmaya çalışılacaktır.

Çalışma kapsamında sonuçları yorumlamak adına, grafikler üzerinde ilk incelenen nokta benzer seferlerin enerji verimlilik değerlerinin kıyaslanması ve aralarındaki farkların nedenlerinin araştırılması olmuştur. Buna göre; seferler arasında kıyaslama yapılabilmesi için, geminin aynı kalkış ve varış noktalarını kullanması ve bu seferlerde aynı miktarda yük taşınması kıstas olarak kabul edilmiştir. İnceleme sonucunda geminin 1, 8 ve 15 numaralı seferlerinde kalkış noktasının Varna, varış noktasının ise İzmit olduğu görülmüştür ve her üç seferde de taşınan yük miktarı 9100,0 tondur. Karşılaştırma için uygunluğu belirlenen bu üç sefere ait anahtar performans gösterge değerleri kıyaslanmış ve sonuçlar Çizelge 5.11'deki şekilde belirtilmiştir.

Çizelge 5.10 : Bazari'nin enerji verimlilik skalasına FCI ve CO₂I değerlerinin uyarlanması.

Sefer No	Kalkış Yeri	Variş Yeri	FCI _{sefer}	FCI _{diz.}	FCI Farkı %	FCI Skala Değeri	CO ₂ I _{sefer}	CO ₂ I _{diz.}	CO ₂ I Farkı %	CO ₂ I Skala Değeri
1	Varna	İzmit	5,92	5,49	7,78%	6	18,40	17,13	7,40%	6
3	Varna	Bandırma	5,13	5,49	-6,59%	2	16,03	17,13	-6,45%	2
5	Varna	Mersin	4,64	5,49	-15,51%	1	14,40	17,13	-15,92%	1
8	Varna	İzmit	5,86	5,49	6,81%	6	18,23	17,13	6,44%	6
10	Thesselanoki	Varna	5,85	5,49	6,51%	6	18,23	17,13	6,42%	6
11	Varna	Bandırma	5,31	5,49	-3,31%	3	16,30	17,13	-4,86%	3
13	Varna	Mersin	3,93	5,49	-28,44%	1	12,28	17,13	-28,29%	1
15	Varna	İzmit	4,23	5,49	-23,04%	1	12,92	17,13	-24,55%	1
17	Varna	Bandırma	5,19	5,49	-5,45%	3	16,37	17,13	-4,46%	3
19	Varna	Bandırma	5,33	5,49	-2,92%	3	16,51	17,13	-3,64%	3
21	Nikolaev	Cartegena	4,89	5,49	-10,94%	1	15,20	17,13	-11,27%	1
22	Categena	Bilbao	9,53	5,49	73,59%	10	29,70	17,13	73,37%	10
24	Aviles	Mersin	4,18	5,49	-23,95%	1	13,00	17,13	-24,11%	1
26	Varna	Tarragona	4,33	5,49	-21,07%	1	13,52	17,13	-21,09%	1
27	Tarragona	Valencia	12,79	5,49	132,98%	10	39,87	17,13	132,73%	10
29	Huelva	Adabiya	3,84	5,49	-30,13%	1	11,94	17,13	-30,32%	1
31	Varna	Bandırma	4,71	5,49	-14,22%	1	14,78	17,13	-13,75%	1
33	Dneprobugsky	Villagarcia	5,87	5,49	7,00%	6	18,30	17,13	6,84%	6
34	Villagarcia	Bilbao	16,17	5,49	194,56%	10	50,19	17,13	192,98%	10
36	Safi	Ceyhan	8,11	5,49	47,67%	10	25,23	17,13	47,30%	10
38	Marsa El Braga	Rotterdam	4,79	5,49	-12,81%	1	14,93	17,13	-12,87%	1
40	Aviles	Mersin	4,56	5,49	-16,90%	1	14,22	17,13	-16,98%	1
42	Nikolaev	Lizbon	7,85	5,49	43,08%	10	24,49	17,13	42,98%	10
44	Safi	Ceyhan	4,39	5,49	-20,04%	1	13,66	17,13	-20,23%	1
46	Varna	Villagarcia	5,35	5,49	-2,60%	3	16,65	17,13	-2,78%	3
47	Villagarcia	Rotterdam	7,33	5,49	33,50%	10	22,87	17,13	33,53%	10
48	Rotterdam	Casablanca	5,15	5,49	-6,12%	2	16,07	17,13	-6,19%	2
50	Aviles	İzmit	5,03	5,49	-8,41%	2	15,67	17,13	-8,50%	2

Çizelge 5.11 : 1, 8 ve 15 numaralı seferlerin enerji verimlilik kıyaslamaları.

Sefer No	Kalkış Yeri	Variş Yeri	EEOI _{sefer}	FCI _{sefer}	CO ₂ I _{sefer}
1	Varna	İzmit	18,40	5,92	18,40
8	Varna	İzmit	18,30	5,86	18,23
15	Varna	İzmit	13,20	4,23	12,92

Yapılan kıyaslama sonucunda 1 ve 8 numaralı seferlerin hem EEOI, hem FCI, hem de CO₂I değerlerinin birbirlerine çok yakın ve dizayn değerlerinden (EEOI_{diz.}=17,10 FCI_{diz.}=5,49 CO₂I_{diz.}=17,13) fazla oldukları görülmektedir. Bu fazlalığın yüzdesel olarak miktarı 6,5% ile 8% arasında hesaplanmaktadır. Bu durumda; 1 ve 8 numaralı seferlerin enerji verimliliği, enerji verimlilik skalasında altıncı sırada olmaktadır. Ancak 15 numaralı sefer incelendiğinde, her üç gösterge için hesaplanan değer, dizayn değerlerinden daha küçük ve yüzdesel farkın 25% civarında olduğu görülmektedir. Skalaya göre 15 numaralı sefer birinci sıradadır ve en verimli sınıftadır. Her üç seferde de kat edilen mesafe ve taşınan yük aynı olmasına rağmen 15 numaralı seferin, 1 ve 8 numaralı seferlere göre daha verimli olması, 15 numaralı seferdeki yakıt tüketim miktarının daha düşük olduğunu kanıtlamaktadır. Yakıt tüketim miktarının daha az olmasının altında yatan sebepler, günlük raporlarda yer alan veriler yardımıyla incelenebilmektedir. Buna göre yakıt tüketiminin gemi hızı, devir ve rüzgar ve deniz durumu ile olan ilişkileri incelenerek seferlerde karşılaşılan enerji verimlilik farklarının nedenleri anlaşılmasına çalışılacaktır. 1, 8 ve 15 numaralı seferler için bu karşılaştırma Çizelge 5.12'deki gibidir.

Çizelge 5.12 : 1, 8 ve 15 numaralı seferler için gemi hızı, devir, rüzgar ve deniz durumları.

Sefer No	Kalkış Yeri	Variş Yeri	Gemi hızı (knot)	Devir (RPM)	Rüzgar durumu (BN)	Deniz durumu (BN)	Yakıt tüketimi (ton)
1	Varna	İzmit	9,80	735,00	5	4	11,9
8	Varna	İzmit	10,00	735,00	5	4	11,9
15	Varna	İzmit	10,20	735,00	4	3	8,5

Bu örnek durum incelendiğinde, 15 numaralı seferde deniz ve rüzgar etkisi 1 ve 8 numaralı seferlere göre daha düşüktür. Ancak; her üç seferde de, ortalama gemi hızları birbirine yakındır. Seferlerde aynı gemi hızlarının yakalanabilmiş olması, rüzgar ve deniz etkisinin daha yüksek olduğu seferlerdeki enerji ve güç sarfiyatının daha fazla olması anlamına gelmektedir. Rüzgar ve deniz durumunun daha yüksek olduğu 1 ve 8 numaralı seferlerdeki yakıt tüketimi de 15 numaralı sefere göre yüksek

olmaktadır. Bu durumda, 15 numaralı sefer, bu üç sefer arasında yakıt tüketimi en düşük ve enerji verimliliği en yüksek sefer olmaktadır.

Hız, devir, rüzgar ve deniz durumlarının yakıt tüketimine etkisini incelemek için daha uzun mesafeli benzer seferlerden faydalanmak da mümkündür. Bu inceleme için yaklaşık 1000 mil civarı mesafede yapılan 5 ve 13 numaralı Varna-Mersin seferlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu iki sefer için ortalama gemi hızı, devir, rüzgar ve deniz durumlarının değerleri Çizelge 5.13'te belirtildiği gibidir.

Çizelge 5.13 : 5 ve 13 numaralı seferlerin enerji verimlilik kıyaslamaları.

Sefer No	Kalkış Yeri	Variş Yeri	EEOI _{sefer}	FCI _{sefer}	CO ₂ I _{sefer}
5	Varna	Mersin	14,40	4,64	14,40
13	Varna	Mersin	12,20	3,93	12,28

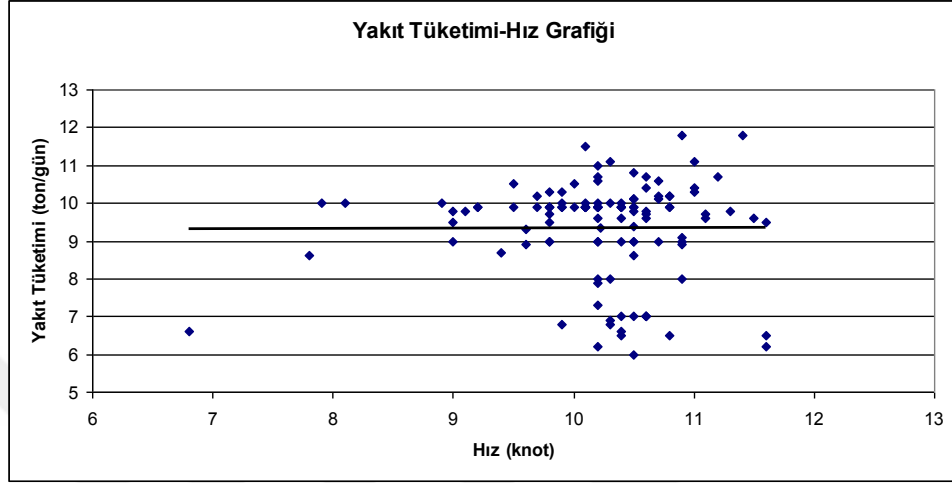
Yapılan kıyaslama sonucunda 5 ve 13 numaralı seferlerin hem EEOI, hem FCI, hem de CO₂I değerlerinin dizayn değerlerinden (EEOI_{diz.}=17,10 FCI_{diz.}=5,49 CO₂I_{diz.}=17,13) düşük oldukları görülmektedir. Yüzdesele olarak fark miktarı 16% ile 29% arasında hesaplanmaktadır. Bu durumda; 5 ve 13 numaralı seferlerin ikisi de enerji verimlilik skalasında birinci sıradadır. Ancak yine de, aynı mesafede aynı yükün taşındığı iki farklı seferde enerji verimlilik değerlerinin birbirlerinden farklı çıkması, seferlerdeki yakıt tüketim miktarlarından kaynaklanmaktadır. Bu iki sefer için yakıt tüketiminin hız, devir, rüzgar ve deniz durumu ile ilişkileri Çizelge 5.14'te belirtildiği şekildedir.

Çizelge 5.14 : 5 ve 13 numaralı seferler için gemi hızı, devir, rüzgar ve deniz durumları.

Sefer No	Kalkış Yeri	Variş Yeri	Ortalama gemi hızı (knot)	Devir (RPM)	Rüzgar durumu (BN)	Deniz durumu (BN)	Yakıt tüketimi (ton)
5	Varna	Mersin	10,45	735,00	6	5	40,9
13	Varna	Mersin	10,40	735,00	4	3	35,5

İkinci örnek durum incelendiğinde, 13 numaralı seferde deniz ve rüzgar etkisinin 5 numaralı sefere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Her iki sefer için ortalama gemi hızı incelendiğinde hızların birbirine yakın olduğu dikkat çekmektedir. Bu durumda, geminin 13 numaralı seferde rüzgar ve deniz durumu nedeniyle karşılaştığı direnç, 5 numaralı seferde karşılaştığına göre daha düşük olarak kabul edilebilir. Geminin, daha yüksek dirençte, aynı gemi hızını yakalayabilmesi için gereken güç miktarı daha yüksek olacağı için, yakıt tüketim miktarı da daha fazladır denebilir.

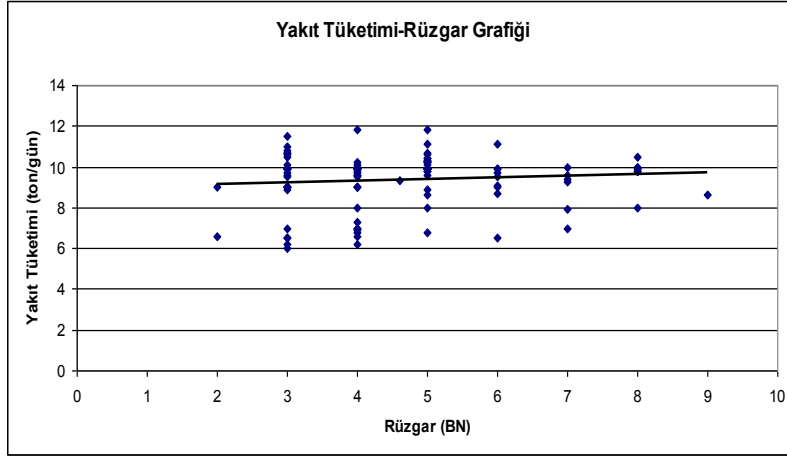
Her iki örnek de incelendiğinde, rüzgar ve denizin durumunun, gemi hızının ve yakıt tüketiminin birbirleriyle doğrudan ilişkili oldukları gözükmektedir. Bu ilişkinin belirlenebilmesi için, geminin toplam 50 seferini içerecek şekilde; yakıt tüketim-gemi hızı , yakıt tüketimi - rüzgar durumu ve yakıt tüketimi-deniz durumu grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 5.10; Şekil 5.11; Şekil 5.12).



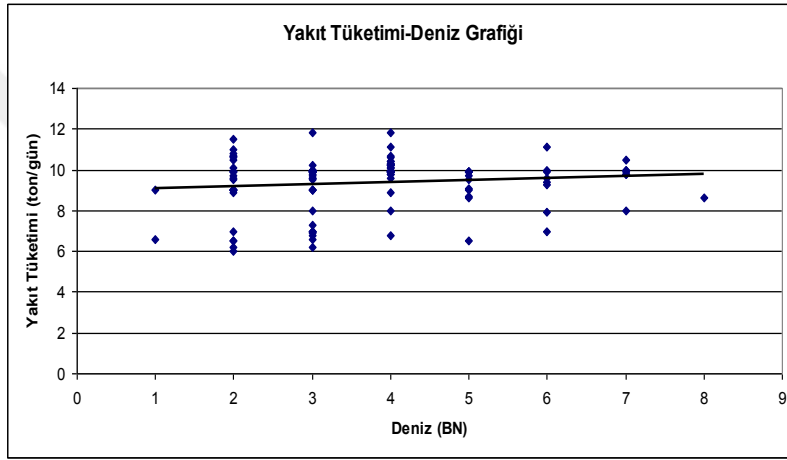
Şekil 5.10 : Yakıt tüketimi - ortalama hız grafiği.

Hazırlanan bu grafik ile geminin optimum hız değeri ve bu değerindeki yakıt tüketim miktarı incelenmiştir. Buna göre; geminin optimum ortalama hızı 10,2 knot, bu hızdaki optimum yakıt tüketim miktarı 9,5 ton/gün olmaktadır. Grafikteki noktaların büyük çoğunluğunun, 9–11 ton/gün aralığındaki yakıt tüketim bölgesine yığıldığı, bu bölgedeki hız değerlerinin de 9–11 knot aralığında değişim gösterdiği görülmektedir. Ancak; yer yer, benzer ortalama hızlarda daha düşük veya daha yüksek yakıt tüketim miktarları da mevcuttur. Bu durum, deniz ve rüzgar durumundaki değişikliklerin ortalama hızı ve yakıt tüketimini etkilediğinin bir göstergesi olmaktadır. Ayrıca; günlük raporlar yardımıyla elde edilen yakıt tüketim bilgileri, günlük yakıt tüketim miktarlarını şekillendirmektedir. Ancak gün içerisinde, ana makinenin kaç saat çalıştığı ve bu yakıt tüketimini kaç saatte gerçekleştirdiği bilinmemektedir. Günlük raporlarda bu verilere rastlanmaması aslında sürekli izleme sistemlerinin gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Bu nedenle, günlük raporların bu karşılaştırmada yetersiz kalabileceği ve sürekli izleme sistemleri ile daha optimum sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

Grafikte geminin seferlerindeki rüzgar durumları ile bu durumlardaki yakıt tüketimleri incelenmiştir. Grafikten çıkarılabilecek sonuca göre rüzgar şiddeti arttıkça, geminin günlük yakıt tüketim tonajı da artmaktadır denilebilir.



Şekil 5.11 : Yakıt tüketimi - rüzgar durumu grafiği.



Şekil 5.12 : Yakıt tüketimi - deniz durumu grafiği.

Grafikte geminin seferlerindeki deniz durumları ile bu durumlardaki yakıt tüketimleri incelenmiştir. Grafikten çıkarılabilecek sonuca göre denizin dalga durumu arttıkça, geminin günlük yakıt tüketim tonajı da artmaktadır denilebilir.

Çalışma kapsamında yapılan veri analizleri sonucunda tartışılmak istenen ikinci nokta, seferde kat edilen mesafenin enerji verimlilik değerleri üzerindeki etkileri olarak nitelendirilebilir. Karşılaştırmalar için, taşınan yük miktarının aynı olduğu, 500 milden kısa seferler ve 1500 milden uzun seferler seçilmiştir. Buna göre bu seferlerin anahtar performans gösterge değerleri Çizelge 5.15'teki gibidir.

Çizelge 5.15 : 1, 17, 24 ve 26 numaralı seferlerin enerji verimlilik değerleri karşılaştırması.

Sefer No	Kalkış Yeri	Variş Yeri	Mesafe (nm)	EEOIsefer	FCIsefer	CO ₂ Isefer
1	Varna	İzmit	221,00	18,40	5,92	18,40
17	Varna	Bandırma	235,00	16,20	5,19	16,37
24	Aviles	Mersin	2874,00	13,00	4,18	13,00
26	Varna	Tarragona	1699,00	13,50	4,33	13,52

Yapılan kıyaslama sonucunda, 24 ve 26 numaralı, mesafe olarak daha uzun olan, seferlerin 1 ve 17 numaralı, mesafe olarak daha kısa olan, seferlere göre enerji verimliliği açısından daha verimli oldukları hem EEOI, hem FCI, hem de CO₂I göstergelerine göre görülmüştür. Bu durumun ortaya çıkmasında iki temel sebepten bahsedilebilmektedir. İlk neden, kısa mesafelerdeki seferlerde mil başına yakıt tüketim tonajının azalması olarak ifade edilebilir. Kısa mesafelerdeki yüksek manevra sayıları ve boğaz geçişlerindeki hız kısıtlamaları mil başına yakıt tüketim tonajını arttırmaktadır. İkinci neden ise, her üç performans göstergesinin de paydasını oluşturan taşıma işi değerinin artması olarak ifade edilebilir. Taşıma işinin artması, gösterge değerlerini azaltarak, enerji verimlilik değerinin artmasını sağlamaktadır (Çizelge 5.16).

Çizelge 5.16 : 1, 17, 24 ve 26 numaralı seferlerde mil başına yakıt tüketimi ve taşıma işi değerleri.

Sefer No	Kalkış Yeri	Variş Yeri	Mesafe (nm)	Yakıt Tüketimi (ton)	Mil Başına Yakıt Tüketimi (t/nm)	Taşıma İşi (t-nm)
1	Varna	İzmit	221,00	11,90	0,054	2629,90
17	Varna	Bandırma	235,00	11,10	0,047	2608,50
24	Aviles	Mersin	2874,00	109,20	0,038	313840,80
26	Varna	Tarragona	1699,00	67,00	0,039	113833,00

Çalışma kapsamında yapılan veri analizleri sonucunda tartışılmak istenen bir diğer nokta ise EEOI hesabıdır. EEOI hesabı, daha önce de ifade edildiği gibi hem yüklü seferler için, hem de balastlı seferler dahil edilecek şekilde, tüm seferler için ortalama olarak hesaplanmıştır. Çoğu yüklü seferin enerji verimlilik değeri, dizayn değerinin altında bulunmuş ve enerji verimliliği yüksektir, denmiştir. Ancak; balastlı seferler de dahil edilerek yapılan EEOI hesabında, toplamdaki 50 seferin ortalama EEOI değeri 22,0 g/t-nm şeklinde bulunmuştur. Bu durum; balastlı seferlerin, ortalama EEOI değerini yükselterek, enerji verimliliğini düşürdüğü şeklinde yorumlanabilir. Bunun dışında, seferlik EEOI değerleri teker teker incelendiğinde, ortalama EEOI değerinin artmasına neden olan iki seferin varlığı özellikle göze çarpmaktadır.

Bu seferlerden ilki, 27 numaralı sefer olan Tarragona-Valencia seferidir. Bu seferde EEOI değeri 39,80 g/t-nm olarak hesaplanmıştır. Diğer sefer ise; 34 numaralı sefer olan Villagarcia-Bilbao seferidir. Bu seferde EEOI değeri 50,40 g/t-nm olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre; iki seferin de EEOI değerleri, EEOI_{diz.}

değerinin iki katından fazladır. Bu farkın nedenlerini anlamak adına detaylı bir inceleme yapıldığında, her iki seferin de, yükün bir kısmı tahliye edildikten sonra, kalan yükün diğer tahliye limanına taşındığı seferler olduğu görülmüştür. Mesafe başına yakıt tüketim tonajı, benzer mesafedeki seferler ile karşılaştırıldığında, ortalama değerler civarında olsa da, taşınan yük miktarı azaldığı için, EEOI formülünün paydasını oluşturan taşıma işi oransal olarak daha fazla azalmakta ve EEOI değeri yüksek çıkmaktadır. Bu durum, yakın mesafelerde daha fazla yük taşınan seferlerle karşılaştırıldığında, EEOI değerleri arasındaki farklar ortaya çıkmaktadır (Çizelge 5.17).

Çizelge 5.17 : Taşıma işi-EEOI ilişkisi.

Sefer No	Kalkış Yeri	Variş Yeri	Mesafe (nm)	Taşınan Kargo Miktarı (ton)	Yakıt Tüketimi (ton)	Mil Başına Yakıt Tüketimi (t/nm)	Taşıma İşi (t-nm)	EEOI _{sefer}
1	Varna	İzmit	221,00	9100,00	11,90	0,054	2011100,00	18,40
8	Varna	İzmit	223,00	9100,00	11,90	0,053	2029300,00	18,30
27	Tarragona	Valencia	140,00	4300,00	7,70	0,055	602000,00	39,80
34	Villagarcia	Bilbao	398,00	3154,00	20,30	0,051	1255292,00	50,40

Çizelgede görüldüğü üzere, dört seferin mil başına yakıt tüketim miktarları birbirlerine çok yakın olmasına rağmen, 27 ve 34 numaralı seferlerin seferlik EEOI değerleri 1 ve 8 numaralı seferlerin seferlik EEOI değerlerinin iki katından yüksektir. Bu farkın nedeni olarak da, taşıma işinin 27 ve 34 numaralı seferlerde diğer seferlere göre daha düşük olması gösterilebilir.

Tüm bu değerlendirmeler sonucunda ortaya çıkan yorumların amacı, gemi işletmecilerine, gemilerin seferlerindeki enerji verimlilik durumları hakkında fikir oluşturmaktır. Hesaplamaların tamamı kolaylıkla günlük raporlardan elde edilebilmekte ve sonuçlara göre yapılan değerlendirmeler ile anlık olarak takip edilebilmektedir. Ayrıca önceden yapılan tahminler ile optimum rotalar belirlenip, optimum seferler organize edilerek enerji verimliliği mümkün olabilen en üst seviyelere çekilebilmektedir.

6. SONUÇ

Uzun yıllardır üzerinde çalışılmakta olan bir konu olan enerji verimliliği, çevresel ve ekonomik etkiler de göz önünde bulundurulduğunda, son yıllarda etkisini git gide arttırmıştır. Konu ile ilgili hem IMO'nun hem de AB'nin yaptığı çalışmalar enerji verimliliğinin artırılması için önemli bir kriter haline gelmiştir.

Enerji verimliliğinde, veri toplamanın önemi çalışmada vurgulanmış ve veri toplama yöntemlerinden bahsedilmiş ve bu yöntemler karşılaştırılmıştır. Toplanan verilerin anlamlı ve yorumlanabilir hale gelmesi için veri analizinin önemi vurgulanmış, veri analizinde kullanılacak anahtar performans göstergeleri detaylandırılmıştır.

Veri analizi için kullanılacak veriler, günlük raporlar yardımıyla elde edilmiştir. Kolay erişilebilir olmaları, maliyetsiz olmaları ve hali hazırda gemide yürütülen bir prosedür olmaları itibarıyla günlük raporların kullanışlı olduğu gözükmemektedir. Ancak, her ne kadar günlük raporlar yardımıyla gösterge hesaplamaları yapılabilir de sonuçların yorumlanması ve nedenlerin araştırılması sırasında detaylı bilgi gereken durumlarda günlük raporların yetersiz kaldığı görülmüştür.

Bir örnekle durumu ifade etmek gerekirse; anahtar performans göstergelerinin dizayn değer hesapları gemi ana makinesinin tam yüklü değeri olarak alınmıştır. Gemide, ana makinenin, günlük yakıt tüketim miktarı günlük raporlarla bilinmesine rağmen, makinenin günde kaç saat ve ne kadar yüklü olarak çalıştığı günlük raporlar ile bilinmemektedir. Bu nedenle karşılaştırmalarda geminin ortalama yakıt tüketim hesaplamaları sadece yaklaşık olarak yapılabilmektedir. Ancak bu çalışmanın, sürekli veri izleme sistemleri ile desteklenmesi ile daha kesin ve doğru sonuçlar elde edilmesi mümkün olabilmektedir.

Çalışmada elde edilen bir başka genel sonuç günümüz IMO mevzuatlarına göre önemli bir kriter olan EEOI ile ilgilidir. EEOI dizayn değeri yapılan hesaplamalarda 17,10 g/t-nm olarak hesaplanmıştır. Ancak balastlı seferler dahil olmak üzere, bir yıldaki tüm seferlerin ortalama EEOI değeri 22,0 g/t-nm olarak hesaplanmıştır. Çalışma sayesinde yapılan bu hesaplama ile geminin bir yılın ortalamasındaki enerji

verimliliğinin dizayn değerinin üstünde kaldığı anlaşılmıştır. Bu ortalama değerin azaltılabilmesi için enerji verimliliği çalışması yapılarak farklı enerji verimliliği artırma yöntemleri uygulanabilir.

Çalışma sonucunda elde edilen tüm sonuçlar ve yorumlar bir araya getirildiğinde, gemi sahibi denizcilik şirketi ve benzer özelliklerde gemilere sahip olan denizcilik şirketleri için, enerji verimliliği konusunda bir fikir oluşturacağı ifade edilebilir. Ayrıca bu çalışma gelecekte yapılabilecek enerji verimliliği projeleri ve çalışmalarını için referans oluşturabilir.



KAYNAKLAR

- ABS.** (2014). Ship Energy Efficiency Measures – Status and Guidance.
- Acomi, N., ve Acomi, O. C.** (2014). Improving the Voyage Energy Efficiency by Using EEOI. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 138(2014), 531-536.
- Adnanes, A. K.** (2016). Energy Efficiency in Marine Vessels. *ABB Generations*, 1(2016), 80-84.
- Aldous, L. G.** (2015). *Ship Operational Efficiency: Performance Models and Uncertainty Analysis*. (Doktora tezi). University College London, London.
- Aldous, L., Smith, T., ve Bucknall, R.** (2013). Noon Report Data Uncertainty. *Low Carbon Shipping Conference, London, UK*.
- Ando, H.** (2011). Performance Monitoring and Analysis for Operational Improvements. (PowerPoint Sunum). *International Conference on Ship Efficiency, Hamburg*.
- Armstrong, V. N.** (2013). Vessel Optimisation for Low Carbon Shipping. *Ocean Engineering*, 73(2013), 195-207.
- Armstrong, V. N., ve Banks, C.** (2015). Integrated Approach to Vessel Energy Efficiency. *Ocean Engineering*, 110(2015), 39-48.
- Baldi, F.** (2016). Modelling, Analysis and Optimisation of Ship Energy Systems. (Doktora tezi). *Chalmers University of Technology, Department of Shipping and Marine Technology, Gothenburg*.
- Ballou, P. J.** (2013). Ship Energy Efficiency Management Requires a total Solution Approach. *Paper*, 47(1), 83-95.
- Bazari, Z.** (2007). Ship Energy Performance Benchmarking/Rating: Methodology and Application. *Journal of Marine Engineering and Technology*, A9.
- Beşikçi, E. E.** (2015). *Gemi Sefer Yönetiminde Enerji Verimliliğinin Optimizasyonu*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı, İstanbul.
- Beşikçi, B. E., Arslan, O., Turan, O., ve Ölçer, A. I.** (2016). An Artificial Neural Network Based Decision Support System for Energy Efficient Ship Operations. *Computers & Operations Research*, 66(2016), 393-401.
- Böhringer, C.** (2003). The Kyoto Protocol: A Review and Perspectives. *ZEW Discussion Papers*, No. 03-61.
- Erat, E.** (2014). *Gemilerin Operasyonel Enerji Verimliliğinin Analizi ile Gemilerde Enerji Verimliliğine İlişkin Ulusal Mevzuat Uyarlaması*. (Denizcilik Uzmanlık Tezi). T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, İstanbul liman Başkanlığı, İstanbul.

- Fathom Focus.** (2014). Ship Performance Management.
- Fradelos, S.** (2016). EU MRV Regulation & challenges for Ship-operators. (PowerPoint Sunum). *ABS Seminar Environmental & Regulatory Updates, Istanbul, Turkey.*
- Furuno.** (2014). Navigational Echo Sounder Model: FE-800 Manual.
- Griffiths, G., ve Bradley, S.E.** (1998). A Correlation Speed Log for Deep Waters. *Sea Technology, 39(3), pp. 29-35.*
- Hansen, S. V., Petersen, J. B., Jensen, J. J., ve Lützen, M.** (2012). Performance Monitoring of Ships. *Technical University of Denmark, Department of Mechanical Engineering, Section of Coastal, Maritime and Structural Engineering, Kongens Lyngby.*
- Hansen, S.** (2016). Vessel Performance Management. (PowerPoint Sunum). *ABS Seminar, Genoa, Italy.*
- Hasan, S. M. R.** (2011). *Impact of EEDI on Ship Design and Hydrodynamics: A Study of the Energy Efficiency Design Index and Other Related Emission Control Indexes.* (Yüksek Lisans Tezi). Chalmers University of Technology, Department of Shipping and Marine Technology, Gothenburg.
- Hasselaar, T. W. F.** (2010). An Investigation into the Development of an Advanced Ship Performance Monitoring and Analysis System. (Doktora tezi). *Newcastle University, Faculty of Science, Agriculture and Engineering, School of Marine Science and Technology, Newcastle upon Tyne.*
- Hoffmann, J.** (2010). Shipping Out of the Economic Crisis. *The Brown Journal of World Affairs, Spring/Summer 2010, Volume XVI, Issue II.*
- International Maritime Organization.** (2005). Guidelines for Post State Control Under Marpol Annex VI. *Resolution MEPC 53/24/Add.1, Annex 11.*
- International Maritime Organization.** (2008). 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. *Resolution MEPC. 176(53).*
- International Maritime Organization.** (2009). Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI). *Resolution MEPC. 1/Circ.684.*
- International Maritime Organization.** (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. *Resolution MEPC. 203(62).*
- International Maritime Organization.** (2014). Reduction of GHG Emissions From Ships. *Third IMO GHG Study 2014 – Final Report, MEPC 67/INF, 3.*
- International Maritime Organization.** (2016). Report of the Marine Environment Protection Committee on Its Seventieth Session. *Resolution MEPC 70(18).*

- International Maritime Organization.** (2016). Energy Management Plans and Systems. *Module 6*.
- İnsel, M.** (2016). Gemilerde Enerji Verimliliği ve Enerji Operasyon Planları. (PowerPoint Sunum).
- Johnson, H.** (2013). Towards Understanding Energy Efficiency in Shipping. (YL Tezi). *Chalmers University of Technology, Department of Shipping and Maritime Technology, Göteborg*.
- Kageson, P.** (1999). Economic Instruments for Reducing Emissions from Sea Transport. *Air Pollution and Climate Series, No11, T&E Report 99/7*.
- Kawabuchi, M., Kawakita, C., Mizokami, S., Higasa, S., Kodan, Y., ve Takano, S.** (2011). CFD Predictions of Bubbly Flow around an Energy-saving Ship with Mitsubishi Air Lubrication System. *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 48 No. 1*.
- Kirk, T.** (2013). Shipboard Operational Energy Efficiency: Strategy for Success. *Intertanko – North American Panel Meeting, Stamford, CT*.
- Kongsberg Maritimes AS.** (2011). Torque and Power Monitoring System for Rotating Shafts.
- Kökkülünk, G., Parlak, A., ve Erdem, H. H.** (2016). Determination of Performance Degredation of a Marine Diesel Engine by Using Curve Based Approach. *Applied Thermal Engineering, 108(2016), 1136-1146*.
- Lu, R., Turan, O., Boulougouris, E., Banks, C., ve İncecik, A.** (2015). A Semi-empirical Ship Operational Perfprnace Prediction Model for Voyage Optimization Towards Energy Efficient Shipping. *Ocean Engineering, 110(2015), 18-28*.
- MAN Diesel & Turbo.** (2013). Propulsion of 2200-2800 TEU Container Vessel.
- MAN Diesel & Turbo.** (2014). Waste Heat Recovery Systems (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emissions and EEDI.
- Mantel, P.** (2014). (PowerPoint Sunum). Measure, Understand and Improve. *Smart Operations 2014, London, UK*.
- Marty, P.** (2014). *Ship Energy Efficiency Study: Development and Application of an Analysis Method*. (Doktora Tezi). L'Universite Nantes Angers Le Mans, Sciences Por L'Ingenieur Geosciences et Architecture, Nantes.
- Mellin, J., ve Andler, F. S.** (2013). The Effect of Optimizing Engine Control on Fuel Consumption and Roll Amplitude in Ocean-going Vessels: An Experimental Study. *University of Skövde, Skövde*.
- Nielsen, R. F., Haglind, F., ve Larsen, U.** (2014). Design and Modelling of an Advance Marine Machinery System Including Waste Heat Recovery and Removal of Sulphur Oxides. *Energy Conversion and Management, 85(2014), 687-693*.
- Öztürk, E.** (2013). Operational Measures For Energy Efficiency In Shipping. *Journal of ETA Maritime Science, Vol. 1, No. 2, (2013), 65-72*.

- Parker, S., Raucci, C., Smith, T ve Laffineur, L.** (2015). Understanding the Energy Efficiency Operational Indicator: An Empirical Analysis of Ships from the Belgian Shipowners' Association. *UCL Energy Institute, Royal Belgian Shipowners' Association.*
- Parlak, A. ve Kökkülünk, G.** (2016). Bir Gemi Dizel Motorunun Performans Ölçümü ve Değerlendirilmesi. *Journal of ETA Maritime Science, 4(2), 165-173.*
- Rokseth, B.** (2014). *A Bond Graph Approach for Modelling Systems of Rigid Bodies in Spatial Motion.* (YL Tezi). Norwegian University of Science and Technology, Department of Marine Technology, Trondheim.
- Rosmani, M. N. A., Ismail, N.** (2015). Technical and Economic Evaluation of Implementing Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) On Steam Propulsion LNG Carrier. *Journal of Transport System Engineering, 2:3 (2015), 01-10.*
- Talay, A. A., Deniz, C., ve Durmuşoğlu, Y.** (2013). Gemilerde Verimi Arttırmak İçin Uygulanan Yöntemlerin CO₂ Emisyonlarını Azaltmaya Yönelik Etkilerinin Analizi. *Journal of ETA Maritime Science, 2(1), 61-74.*
- The European Parliament and the Council of the European Union.** (2015). Monitoring, Reporting and Verification of Carbon Dioxide Emissions from Maritime Transport, and amending Directive 2009/16/EC. *Official Journal of the European Union, L 123, 55-76.*
- Tran, T. A.** (2016). Calculation and Assessing the EEDI Index in the Field of Ship Energy Efficiency for M/V Jules Garnier. *Journal of Marine Science: Research & Development, 2016, 6-6.*
- Tran, T. A.** (2017). A research on the energy efficiency operational indicator EEOI calculation tool on M/V JUSTICE of VINIC transportation company, Vietnam. *Journal of Ocean Engineering and Science, 2(2017), 55-60.*
- Trodden, D. G., Murphy, A. J., Pazouki, K., ve Sargeant, J.** (2015). Fuel Usage Data Analysis for Efficient Shipping Operations. *Ocean Engineering, 110(2015), 75-84.*
- Türk Loydu.** (2012). Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planının (SEEMP) Geliştirilmesine Yönelik 2012 Yılı Kılavuzları. *MEPC 63/23, Ek 9, 4-6.*
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD).** (2016). Review of Maritime Transport. *United Nations Publication, UNCTAD/RMT/2016, New York and Geneva.*
- United Nations (UN).** (1992). United Nations Framework Convention On Climate Change. *FCCC/INFORMAL/84, GE.05-62220 (E) 200705.*
- U.S. Energy Information Administration.** (2016). International Energy Outlook 2016, DOE/EIA-27/7(2016).
- Wartsila.** (2009). Boosting Energy Efficiency. *Energy Efficiency Catalogue/Ship Power R&D.*
- Young Meteorological Instruments.** (2000). Wind Monitor Model 05103 Manual.

Zanne, M., Pocuca, M., ve Bajec P. (2013). Environmental and Economic Benefits of Slow Steaming. *Transactions of Maritime Science*, 2(2013), 123-127.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Emre HÜSMEN
Doğum Tarihi ve Yeri : 31.08.1991 – Eminönü/İstanbul
E-posta : husmenemre@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Teknik Satış Müdürü, Caria Marine Technologies, 08/2015 – 04/2017
- Satış Temsilcisi, Caria Marine Technologies, 10/2014 – 08/2015
- Stajyer, Selah Tersanesi, 06/2014 – 07/2014
- Stajyer, Türkiye Deniz İşletmecilikleri A.Ş., 08/2011 – 09/2011