T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEMİ ANA MAKİNELERİNDE DÜŞÜK SÜLFÜRLÜ YAKITIN KULLANIMININ MALİYET ANALİZİ

Gökhan ÇAKICI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Gökhan KARA

Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Programı

Şubat, 2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Gökhan ÇAKICI tarafından, **Prof. Dr. Gökhan KARA** danışmanlığında hazırlanan ***GEMİ ANA MAKİNELERİNDE DÜŞÜK SÜLFÜRLÜ YAKITIN KULLANIMININ MALİYET ANALİZİ*** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **09/02/2023** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Prof. Dr. Gökhan KARA İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Güldem ELMAS İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Güfte CANER AKIN İstanbul Gelişim Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

Kızım Fatma Nur'a ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

GEMİ ANA MAKİNELERİNDE DÜŞÜK SÜLFÜRLÜ YAKITIN KULLANIMININ MALİYET ANALİZİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana destek olan değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Gökhan KARA'ya teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim boyunca değerli tecrübeleriyle yardımını esirgemeyen, sorularımı cevapsız bırakmayan Sayın Arş. Gör. Dr. Olgay OKŞAŞ'a, katkılarından dolayı değerli arkadaşım ve meslektaşım Wtrans Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisi Ahmet Melih AYDEMİR'e, akademik çalışmalarım konusunda destekleyen, aktif olarak görev yaptığım Gelişim Üniversitesi Deniz Liman İşletmeciliği Program Başkanım Sayın Öğr. Gör. Levent BAKIR'a, akademik görevde devam ederek sektörel bilgiyle akademik bilginin birleştirilmesine olanak sağlayan ORAS Denizcilik Yönetim Başkanı Sayın Salih Zeki ÇAKIR'a ve mesaimin tamamını birlikte geçirdiğim, bilgileriyle gelişimimde büyük etkisi olan ORAS Denizcilik DPA&CSO Sayın Kaptan Recep DOĞRUL'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tezimin yazılmasındaki manevi desteğinden ötürü sevgili eşim Türk Dili ve Edebiyatı Öğretmeni Gizem ÇAKICI'ya teşekkürü borç bilirim.

Şubat 2023 **Gökhan ÇAKICI**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **iv**
TEŞEKKÜR ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **x**
ÖZET ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI 5
1.2. LİTERATÜR TARAMASI 6
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **8**
2.1. GEMİ ANA MAKİNELERİ 8
2.1.1. İki Zamanlı Dizel (Two-Stroke) Ana Makineler 9
2.1.2. Dört Zamanlı Dizel (Four Stroke) Ana Makineler 11
2.2. GEMİLERDE ENERJİ KAYNAĞI OLARAK KULLANILAN YAKITLAR 14
2.2.1. Gemi Yakıtlarının Tarihçesi 14
2.2.2. Gemi Yakıtları ve Çeşitleri 14
2.2.3. Yakıtın Kimyası 14
2.3. BACA GAZI ARITMA SİSTEMLERİ 20
2.3.1. Baca Gazı Arıtma Sistem Tipleri 20
2.4. KURALLAR VE DÜZENLEMELER 23
2.4.1. IMO 2020 Sülfür Düzenlemesi 23
2.4.2. MARPOL Ek-VI 24
2.5. MALİYET ANALİZİ 27
3. YÖNTEM **32**
3.1. ANALİZ 32

3.2. ANALİZDE KULLANILAN VERİLER 33
4. BULGULAR 37
4.1. KİLOWATT'A GÖRE DWT, GT VE NRT İLİŞKİSİ 37
4.1.1. Groston ve Kilowatt İlişkisi 37
4.1.2. Net ton ve Kilowatt İlişkisi 38
4.1.3. Deadweight Ton ve Kilowatt İlişkisi 38
4.1.4. Deadweight Ton, Netton ve Groston'un Kilowatt'a göre İlişkileri 39
4.2. KİLOWATT'A GÖRE YAKIT SARFİYATLARI 39
4.2.1. 3000kW ile 4000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi 41
4.2.2. 4000kW ile 5000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi 43
4.2.3. 5000kW ile 6000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi 45
4.2.4. 6000kW ile 7000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi 46
4.2.5. 7000kW ile 8000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi 47
4.2.6. 8000kW ile 9000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi 48
4.2.7. 9000kW ile 10000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi 50
4.2.8. Referans Alınan 8 Geminin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi 51
4.3. KİLOWATT'A GÖRE YAKIT MALİYETLERİ 51
4.4. REFERANS 100 GEMİNİN YILLIK BAZDA YAKIT MALİYETLERİ 56
5. TARTIŞMA 62
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 64
KAYNAKLAR 65
EKLER 68
EK 1. 2021 YILI YAKIT FİYATLARI TABLOLARI 68
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI ..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ETİK KURUL İZİN YAZISI ..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
KURUM İZNİ YAZILARI ..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZGEÇMİŞ ..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2. 1: İki zamanlı makine çalışmasının çizimi- 1 9
Şekil 2. 2: İki zamanlı makine çalışmasının çizimi- 2 10
Şekil 2. 3: İki zamanlı makine P-V diyagramı 10
Şekil 2. 4: Dört zamanlı makine çalışmasının çizimi 12
Şekil 2. 5: Dört zamanlı makine P-V diyagramı 13
Şekil 2. 6: Tipik bir dizel yakıtında bulunan hidrokarbonların kimyasal formülleri [19] 16
Şekil 2. 7: No:2 dizel yakıtı tipik karbon sayısı dağılımı [19] 17
Şekil 2. 8: Sabit Maliyet [14]. 27
Şekil 2. 9: Değişken Maliyet [14]. 27
Şekil 2. 10: Toplam Maliyet [14]. 28
Şekil 2. 11: Ortalama Sabit Maliyet [14]. 28
Şekil 2. 12: Ortalama Değişken Maliyet [14]. 29
Şekil 2. 13: Ortalama Toplam Maliyet [14]. 30
Şekil 2. 14: Marjinal Maliyet Eğrisi [14]. 30
Şekil 2. 15: Marjinal Maliyet Doğrusu 31
Şekil 4. 1: Referans 100 geminin GT ve kW arasındaki ilişki 37
Şekil 4. 2: Referans 100 geminin NT ve kW arasındaki ilişki 38
Şekil 4. 3: Referans 100 geminin DWT ve kW arasındaki ilişki 38
Şekil 4. 4: Referans 100 geminin DWT, NT ve GT ile kW arasındaki ilişki 39
Şekil 4. 5: Referans 100 geminin yıllık bazdaki fuel oil sarfiyatı 40
Şekil 4. 6: Referans 100 geminin yıllık bazdaki dizel oil sarfiyatı 40
Şekil 4. 7: Referans 100 geminin kW'a göre yıllık yakıt sarfiyatı ve farkı 41

Şekil 4. 8: 3000 kW - 4000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı....41

Şekil 4. 9: 4000 kW - 5000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı....43

Şekil 4. 10: 5000 kW - 6000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı....45

Şekil 4. 11: 6000 kW - 7000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı....46

Şekil 4. 12: 7000 kW - 8000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı....47

Şekil 4. 13: 8000 kW - 9000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı....48

Şekil 4. 14:9000 kW - 10000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı....50

Şekil 4. 15: HFO 2021 yılı Amerikan Doları bazında fiyat grafiği....52

Şekil 4. 16: VLSFO 2021 yılı Amerikan Doları bazında fiyat grafiği....52

Şekil 4. 17: Dizel 2021 yılı Amerikan Doları bazında fiyat grafiği....53

Şekil 4. 18: 2021 yılı Amerikan Doları bazında yakıt fiyatları karşılaştırma grafiği....54

Şekil 4. 19: 2021 yılı Amerikan Doları bazında yakıt fiyatlarının aylık ortalaması....54

Şekil 4. 20: 2021 yılı Amerikan Doları bazında yakıt fiyatlarının yıllık ortalaması....55

Şekil 4. 21: Referans 100 geminin yıllık yakıt maliyet karşılaştırması (Amerikan Doları cinsinden)....56

Şekil 4. 22: Referans 100 geminin yıllık ortalama VLSFO - HFO yakıt maliyet farkı (Amerikan Doları cinsinden)....56

Şekil 4. 23: Referans 100 geminin yıllık ortalama DİZEL - VLSFO yakıt maliyet farkı (Amerikan Doları cinsinden)....57

Şekil 4. 24: Referans 8 geminin 2021 yılı yakıt maliyetleri (Amerikan Doları cinsinden)....57

Şekil 4. 25: 2021 yılı VLSFO - Dizel yakıtların fiyat farkı (Amerikan Doları cinsinden)....58

Şekil 4. 26: 2021 yılı VLSFO - HFO yakıtların fiyat farkı (Amerikan Doları cinsinden)....58

Şekil 4. 27: 2021 yılı yakıt fiyatları farkı aylık ortalaması....59

Şekil 4. 28: 2021 yılı yakıt fiyatları ve farkları karşılaştırması....59

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2. 1: Dizel yakıtları No:1 ve No:2'nin özellikleri [19] 15

Tablo 2. 2: Dizel yakıtları No:1 ve No:2'nin bileşimi (% hacimce) [19] 15

Tablo 2. 3: Fuel oillerin ASTM D 396-04 standardına göre sınıflandırılması [20] 18

Tablo 2. 4: ASTM D 396 fuel oillerin özellikleri [20] 19

Tablo 3. 1: Referans alınan 1 ile 40 gemilerin özellikleri 34

Tablo 3. 2: Referans alınan 41 ile 80 arasındaki gemilerin özellikleri 35

Tablo 3. 3: Referans alınan 81 ile 100 arasındaki gemilerin özellikleri 36

Tablo 3. 4: Baca gazı yıkama sistemi maliyetleri 36

Tablo 4. 1: 3000 kW – 4000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri 42

Tablo 4. 2: 4000 kW – 5000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri 44

Tablo 4. 3: 5000 kW – 6000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri 45

Tablo 4. 4: 6000 kW – 7000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri 46

Tablo 4. 5: 7000 kW – 8000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri 48

Tablo 4. 6: 8000 kW – 9000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri 49

Tablo 4. 7: 8000 kW – 9000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri 50

Tablo 4. 8: 3000 kW – 10000 kW arası referans 8 geminin yıllık yakıt sarfiyat tablosu 51

Tablo 4. 9: 2021 yılı aylık ve ortalama yakıt fiyatları (Amerikan Doları cinsinden) 55

Tablo 4. 10: 2021 yılı yakıt fiyat farkları ortalamaları (Amerikan Doları cinsinden) 60

Tablo 4. 11: Referans 8 geminin yıllık ortalama yakıt maliyetleri (Amerikan Doları cinsinden) 60

Tablo 4. 12: Referans 8 gemi için yıllık yakıt maliyet farkı ve baca gazı yıkama sisteminin karşılaştırılması 61

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	**Açıklama**
CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
cST	: Santistokes
HC	: Hidrokarbon
H_2SO_4	: Sülfürik Asit
K	: Özgün Yakıt Katsayısı
kW	: Kilowatt
$K_{D/O}$	: Dizel Oil Özgün Yakıt Tüketim Katsayısı
$K_{F/O}$	: Fuel Oil Özgün Yakıt Tüketim Katsayısı
Mt	: Metrik Ton
m/m	: Mass by Mass
NOx	: Nitritoksitler
SO_2	: Kükürtdioksit
SO_x	: Kükürtoksitler
$\sum X$	**:** Toplam Gün Sayısı
$\sum C$	**:** Toplam Yakıt Değeri

Kısaltmalar	**Açıklama**
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	: American Society for Testing and Materials
API	: American Petroleum Institute
BDC	: Bottom Dead Centre
BHP	: Brake Horse Power
DSI	: Dry Suction Injector
DWT	: Deadweight Ton
D/O	: Diesel Oil
ECA	: Emission Control Area
EEDI	: Energy Efficiency Design Index
EMEP	: European Monitoring and Evaluation Programme

EPA : United States Environmental Protection Agency
FONAR : Fuel oil Non-Availability Report
F/O : Fuel Oil
GISIS : Global Integrated Ship Information System
GT : Gross Ton
HFO : High Sulphur Fuel Oil
IAPP : International Air Pollution Prevention
IMO : International Maritime Organization
LNG : Liquid Natural Gas
MARPOL : International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
MDO : Marine Diesel Oil
MEPC : Marine Environment Protection Committee
MGO : Marine Gas Oil
NT : Net Ton
PSC : Port State Control
SDA : Spray Dryer Absorbers
SOLAS : Safety of Life at Sea
TDC : Top Dead Centre
UAB : Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
ULSFO : Ultra Low Sulphur Fuel Oil
VLSFO : Very Low Sulphur Fuel Oil

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEMİ ANA MAKİNELERİNDE DÜŞÜK SÜLFÜRLÜ YAKIT KULLANIMININ MALİYET ANALİZİ

Gökhan ÇAKICI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Programı

Danışman : Prof. Dr. Gökhan KARA

Gelişen teknoloji, artan nüfus ile birlikte insan kaynaklı emisyonların artmasına zemin hazırlamıştır. Öyle ki bu emisyonlar hava kirliliğini dolayısıyla insan sağlığını tehdit eder hale gelmiştir. İnsanlardan kaynaklı emisyonları ise taşımacılık, enerji üretimi, atıkların yakılması gibi öğeler oluşturmaktadır. Denizcilik sektöründeki taşımacılık enerjiye en fazla ihtiyaç duyulan taşımacılık şeklinden biridir. Bu nedenle denizcilik sektörü küresel ölçüde oldukça önemli bir emisyon kaynağı olarak görülmektedir. Gemi kaynaklı emisyonlar bu zararlı maddeleri gittikleri limanlara, hatta farklı kıtalara taşıyabilmektedir. Bu da gemi kaynaklı emisyonların mahalli bazdan küresel baza taşınması demektir. IMO 2020 yılı itibari ile gemilerden kaynaklanan hava kirliliğini en aza indirgemek için yeni düzenlemeler ve sınırlamalar getirmiştir. Emisyon Kontrol Alanları içerisinde en fazla %0,1 sülfür içerikli yakıtın kullanılmasına devam edilmiş, bu alanlar dışında kalan bölgelerde büyük bir düşüş kararı alınarak, sülfür içeriği %3,5'ten %0,5'e çekilmiştir. Bu durum iki şekilde sağlanmıştır: Düşük sülfürlü yakıtın kullanılması veya baca gazı arıtma sistemi kurulmasıdır. Baca gazı arıtma sistemi kurulumu yaptıran gemiler %3,5 yüksek sülfür içerikli yakıt kullanımına devam

edebileceklerdir. Baca gazı arıtma sistemi kurulumu; yapısal değişiklikler içermesi, maliyetinin yüksek olması ve ilerleyen zamanlarda yüksek sülfürlü yakıtın tedarik edilememesi gibi zorluklara rağmen daha çevreci bir sistem olduğu için kullanımı ve kurulumu düşünülebilir. Diğer yandan düşük sülfür içeren yeni nesil yakıtın kullanılması durumunda ise; yeni nesil yakıtın ana makineye uzun vadede ki zararının bilinememesi, hali hazırda kullanılan dizel yakıtları ile fiyat farkının çok yüksek olmaması ve baca gazı arıtma sistemine yönelimi gibi durumlara rağmen maliyeti daha uygun olduğu için kullanımı düşünülebilir. Çalışmada iki durum da değerlendirilmiş farklı değişkenler ortaya çıkmıştır. Belirlenen kısıtlamalara göre yukarıdaki durumlar göz önüne alınmıştır. Referans alınan 100 geminin yakıt sarfiyatı, tonajı, gemi tipi, kilowatt gibi özellikleri esas alınarak 2021 yılı yakıt maliyetleri hesaplanmıştır. Analizin neticesinde kısa vadede yeni nesil düşük sülfürlü yakıtın (VLSFO) kullanımı avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak uzun vadede yeni nesil düşük sülfürlü yakıtın (VSLFO) gemi ana makinelerine ve yardımcı sistemlerine etkileri bilinemediğinden, baca gazı yıkama sisteminin hava kirliliğini azalttığından dolayı kurulumu tavsiye edilmektedir.

Şubat 2023 , 94 sayfa.

Anahtar kelimeler: Denizcilik, Gemi Makineleri, Gemi Yakıtları

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

COST ANALYSIS OF LOW SULPHUR FUEL USAGE IN SHIP MAIN ENGINES

Gökhan ÇAKICI

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Marine Transportation Management Engineering

Marine Transportation Management Engineering Programme

Supervisor : Prof. Dr. Gökhan KARA

Developing technology has paved the way for an increase in human-induced emissions with the increasing population. So much so that these emissions have become a threat to air pollution and therefore to human health. Emissions originating from humans, on the other hand, consist of items such as transportation, energy production, and incineration of wastes. Transportation in the maritime sector is one of the most needed forms of transportation for energy. For this reason, the maritime sector is seen as a very important emission source on a global scale. Ship-based emissions can carry these harmful substances to the ports they go to, and even to different continents. This means the transfer of ship-based emissions from a local to a global basis. As of 2020, IMO has introduced new regulations and limitations to minimize air pollution from ships. Fuel with a maximum sulfur content of 0.1% continued to be used within the Emission Control Areas, and the sulfur content was reduced from 3.5% to 0.5%, with a major reduction decision taken in the regions outside these areas. This is achieved in two ways: Using low-sulfur fuel or installing an exhaust gas treatment system. Ships that have installed an exhaust gas treatment system will be able to continue to use fuel with a high sulfur content of 3.5%. Installation of exhaust gas treatment system; Despite difficulties such as structural changes,

high cost, and inability to supply high sulfur fuel in the future, its use and installation can be considered because it is a more environmentally friendly system. On the other hand, if a new generation fuel containing low sulfur is used; Although the long-term damage of the new generation fuel to the main engine is unknown, the price difference with the currently used diesel fuels is not very high, and its orientation to the exhaust gas treatment system, its use can be considered because it is more cost-effective. In the study, both conditions were evaluated and different variables emerged. The above situations have been taken into account, according to the specified constraints. The fuel costs for 2021 were calculated based on the characteristics such as fuel consumption, tonnage, ship type, and kilowatts of the referenced 100 ships. As a result of the analysis, the use of new generation low sulfur fuel (VLSFO) in the short term is an advantage. However, since the effects of the new generation low sulfur fuel (VSLFO) on the ship's main engines and auxiliary systems in the long term are unknown, it is recommended to install the exhaust gas scrubbing system because it reduces air pollution.

February 2023, 94 pages.

Keywords: Maritime, Ship Engines, Ship Fuels

1. GİRİŞ

Çağımızın ve geleceğin en önemli konularından biri enerjidir. Enerji insanlar için genel ihtiyaçların karşılanmasında büyük bir paya sahip olduğu gibi, ülkelerin ekonomik açıdan büyümesinde de rol oynamaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerjiye duyulan ihtiyaç günden güne artmıştır. Her sektörde olduğunu gibi enerjiye duyulan ihtiyaç deniz taşımacılığında da kendini göstermiş, gemi sahipleri ve işletenleri enerjinin az maliyetle sağlanmasını gündemlerinde tutmuşlardır. Bu yüzden enerjinin yönetilmesi ile ilgili pek çok araştırma yapılmıştır. Devam eden araştırmalar, az enerji kullanımı ile çok verim almaya ve aynı zamanda daha çevreci olmaya yöneliktir.

Özellikle 20. Yüzyıl'da gelişen teknoloji, nüfus artışı ve ticari ilişkilerin tesiri ile insanoğlunun enerji tüketimi sürekli artmaktadır. Bu yükseliş, enerji kazanımı sürecinde açığa çıkan, doğrudan veya dolaylı, zararlı ürünlerin de doğaya salınmasını beraberinde getirmektedir. Bu süreçte yapılan çalışmalar, CO_2, HC ve NO_x gibi zararlı ürünlerin hem insan sağlığına direkt olumsuz etkilere sahip olduğunu, hem de dünya atmosferinde sera gazı etkisi oluşturarak Dünya'ya gelen güneş ışınlarının gereğince yansıtılamaması nedeniyle de global ortalama sıcaklıkları artırdığını ortaya koymuştur. Emisyon katsayıları için öncelikle Avrupa İzleme ve İnceleme Programı (EMEP) ve ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) yayınları kullanılmıştır. Emisyon limitleri için ise IMO MARPOL Ek VI' da getirilen NO_x limitleri güncel duruma uyacak biçimde alınmıştır. Ayrıca SO_x emisyonlarının hesaplanması için de yakıt sülfür miktarı yine IMO MARPOL Ek VI ile uyumlu şekilde hesaplamalara katılmıştır [1].

Genel olarak gemilerin ana makinelerinde, jeneratörlerinde, kurtarma botlarında ve filikalarında kullanılan enerji fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtlar (petrol türevi yakıtlar) yenilenebilir enerji kaynakları arasında değildir, ayrıca ilerleyen zamanda tükenecektir. Bu nedenle gemi sahipleri ve işletenleri için yükselen bir maliyet olarak karşılarına çıkacaktır.

Ulusal ve uluslararası yüksek kapasitelerdeki yük taşımacılığı deniz yoluyla yapılmaktadır. Dolayısı ile deniz taşımacılığında bu kapasitelerin karşılanabilmesi için, enerjinin doğru ve verimli kullanımı konusu önem kazanmıştır. Gemilerde yenilenebilir enerji kaynaklarına

yönelimler söz konusu olsa da henüz enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların kullanımında verimin arttırılması ve daha düşük emisyona sahip olması için araştırmalar ve geliştirmeler yapılmaktadır. Yakıtın verimli olması, iyi yakıtın gemi ana makinelerinde ve yardımcı makinelerinde kullanılması, bölgesel yakıt maliyetlerinin analiz edip tedariğin buna göre yapılması, yedek parça maliyetlerinin az olması gemi işletmeciliğinde rekabet edilebilirliği arttırmaktadır.

Dünya ticaretinin artması ve uluslararası taşımacılığın günden güne büyümesiyle, nakliye ve taşımacılık alanlarında hava kirliliği önemli bir hâl almıştır. Uluslararası taşımacılıkta büyük bir rolü bulunan gemilerin artması ve tonaj kapasitelerinin büyümesiyle enerji ihtiyacı dolayısıyla emisyonlar da artmıştır. Enerji gereksinimi nedeniyle gemilerde kullanılan yakıt sarfiyatı da artmıştır. Resmî kurumlarca gemilerden kaynaklı salınımın küresel bazda iklim değişikliklerine neden olduğu sürekli gündeme getirilmektedir. IMO 2020 ile Marpol Ek VI'ya eklenen kuralda; gemide enerji ihtiyacını karşılayacak yakıtların sülfür içeriği en fazla %0,5 m/m ile sınırlandırılmıştır. Bu kural gereği 2020 yılı itibariyle gemilerde düşük sülfürlü yakıtlar denizcilik sektöründe kullanılmaya başlanmıştır. Bunun yanında IMO'nun kabul ettiği alternatif emisyon azaltma opsiyon olan baca gazı yıkama sistemleri denizcilik sektöründeki işletenlerce değerlendirmeye alınmıştır. Bunlara ilaveten teknolojinin gelişimiyle sevk sistemleri ve alternatif yakıt da sektörde yatırımcıların ilgisini çekmekte ve hem çevreye hem de insan sağlığına pozitif yönde katkı sağlamaktadır [2].

Denizcilik sektörü IMO 2020 gereklerine uymak için iki farklı uygulamaya gitmek zorunda kalmıştır. Bunlardan biri düşük sülfür içerikli yakıt kullanımı, diğeri ise baca gazı arıtma (yıkama) sistemi kurulmasıdır. Bu iki uygulama gemi sahipleri ve işletenlerini hem maliyet hem de teknik konularda zora sokmuştur. Düşük sülfür içerikli yakıtların kullanılması uzun vadede gemi ana makinelerine nasıl bir etki bırakacağı bilenmemektedir. Makine üreticileri olası senaryolara karşı, kullanılacak olan yakıt ile ilgili bültenler yayınlamış ve teknik destekler vermiştir. Bazı gemi sahipleri çareyi dizel yakıt kullanmakta aramış, bazıları da düşük sülfür içerikli yakıtın ana makineye olan etkilerinden çekindikleri için yakıtı değiştirmeyerek gemilerine baca gazı arıtma sistemi kurmakta bulmuştur. Belirtilen ve izlenen yolların hepsi maliyetten geçmektedir.

Ekolojik dengenin sürdürülebilmesi ve çevreye verilen zararların azaltılması önemlidir. Emisyondan kaynaklı asit yağmurları bitki yetiştirilen toprağı ve dolayısı ile bunlarla beslenen

hayvanları ve insanları olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden denizcilik sektörü bazında gemilerden kaynaklı emisyonların azaltılması gerekmektedir [3].

Uluslararası ticaretin toplam değerinin yüzde yetmişinden fazlası deniz yoluyla yapılmakta ve denizcilik sektöründe kullanılan yakıt dünya üzerindeki yakıt tüketiminin yaklaşık olarak yüzde altısını oluşturmaktadır. Durum göz önünde alındığında yakılan yakıt kaynaklı zararlı maddelerin çevre kirliğine payının göz ardı edilemez büyüklükte olduğu da bir gerçektir. Denizcilik sektöründe salım ve enerji verimliliği için getirilen düzenlemeler ve zorunluluklar da göz önüne alındığında gemilerden kaynaklı olan çevre kirliliklerinin düşürülmesi için çözümler bulunması kaçınılmaz olmuştur. Bu konu ile alakalı birçok çalışma arasında yakıt değişikliği ve karışım yakıtların kullanımı olumlu etkilerle sonuçlandırılabilmiştir [4].

Gemi makinelerinin bacalarından çıkan hava kirletici maddeler insan yaşamını tehdit etmektedir. Enerji ihtiyacı için gemilerde kullanılan fosil yakıtların tükenecek olması ve insan sağlığına zarar vermesi nedeniyle global çapta alternatif yöntemlere gidilmektedir. Biyodizel, düşük sülfürlü fuel oil, elektrikli tahrik sistemleri, doğalgaz, hidrojen ve etanol gibi alternatif yakıtlara yönelimler gerçekleşmektedir [5].

Dizel makineler petrol türevi yakıtlar ile çalışmaktadır. Petrol sınırsız bir enerji kaynağı değildir. Bu yüzden petrol türevi kullanılan makinelerde; yakıt sarfiyatının azaltılması, özellikle gemiler için baca gazından salınan ve ozona zararlı gazların emilimi için çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Emisyonu daha da düşürebilmek için hibrit sistemler ve alternatif enerji kaynaklara yönelim oluşmuştur [6].

Gemilerin yol alabilmeleri için gereken hareket enerjisini üreten ekipmanların yaklaşık olarak %98'i, içten yanmalı dizel çevrimli makinelerden oluşmaktadır. Gemide sevk için kullanılan içten yanmalı makineler çalıştıkları sürece normal kullanımdan dolayı yıpranmalara ve arızalara maruz kalmaktadır. Küçük arızaların göz ardı edilmesi, ertelenmesi ve fark edilememesi sonrasında büyük arızaların ve hasarların oluşmasına zemin oluşturur [7].

Gemilerin yük taşıma kapasiteleri günden güne artmaktadır. Bunun için daha çok enerji ve dolayısı ile güçlü ana makineler kullanılmıştır [8].

Gemilerde sevk sistemi olarak en fazla kullanılan makineler dizel makinelerdir. Ayrıca dizel makineler yüksek verimleri ve dayanıklı yapıları sebebiyle endüstriyel, tarım ve diğer

taşımacılık alanlarında da yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Gemilerde kullanılan dizel makineler diğer alanlarda kullanılan dizel makinelerine göre yakıt, egzoz, yağlama sistemleri açısından farklılıklar göstermektedir. Gemilerdeki ana makinelerin bakım ve tutumları makine üreticisinin bakım el kitabında belirttiği tavsiyeler doğrultusunda yapılmalıdır. Üretici bakım el kitapçığında belirtilen intervallerin aşımında makinede büyük problemler ve zaralar oluşmaktadır. İhmal edilen, gözden kaçan küçük arızalar; (su-yağ kaçakları, su-yağ düşük seviyeleri ve yükselen sıcaklık değerleri vb.) daha sonra tamiri zor olan veya mümkün olmayan, geminin çalıştırılmasına engel, önemli ve büyük sorunlara sebebiyet verebilmektedir [9].

Gemi sayısının ve trafik yoğunun artması, dünya nüfusunun ve küresel ticaret hacminin artmasıyla oluşmuştur. Gemilerin bacalarından salınan egzoz gazı da büyük oranda artmış ve hava kirliliğini önemli ölçüde arttırmıştır. Bu nedenle gemi trafiğinin yoğun olduğu yerlerde, otoriteler tarafından görevlendirilen kişiler gemiden kaynaklı emisyon değerlerini ölçüp, tedbirler almakta ve yoğun denetimler yapmaktadır [10].

IMO 2020 Marpol Ek VI "Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesine Yönelik Düzenlemeler" incelendiğinde gemilerden kaynaklık emisyonların azaltılması önem kazanmıştır. Bu kapsamda deniz ulaştırmasında yer alan gemilerin enerji kazanımı sağlamak adına ana makinesinde, gemi gövdesinde ve sevk sisteminde teknolojik değişimler yapılmaktadır. IMO'nun oluşturduğu Enerji Verimliliği Tasarım Endeksi, yeni inşa gemilerde en önemli unsurlardan olup, enerji tasarrufu yapan ve daha az emisyona sahip donanımda gemi makinelerinin kullanımını önermektedir [11].

Marpol Ek VI'da gemilerden kaynaklanan emisyonların kontrolleri için gerekli olan uluslararası limitler belirlenmiştir. Ek VI'da 2012 yılına kadar sülfür üst limitleri %4,50 m/m iken 2012'den sonra üst limit %3,50 m/m'ye indirilmiştir. Üst limit 2020 yılında tekrar güncellenerek %0,50 m/m'e çekilmiştir [2].

Gemilerden oluşan hava kirliliği MARPOL Ek IV'da yer almaktadır. MARPOL Ek VI'da gemi kaynaklı SO_x ve NO_x ; gemilerin tamamında ve sabit ve yüzer sondaj platformlarına uygulanması zorunludur. Bu Ek'in amacı ozon tabaksının incelmesini önlemek, gemilerin baca gazı salınımlarına limit koymaktır. Ayrıca bazı bölgeler kontrol altına alınmış bölgelerdir ve MARPOL Ek VI'da ECA (Emission Control Area) olarak belirtilmektedir. Bu alanlarda gemi sahipleri ve işleticileri çok düşük sülfürlü yakıt veya dizel oil, kısacası %0,1 sülfür içeren

yakıtlar kullanmak zorundadır. ECA dışında ise MARPOL Ek VI'ya göre sülfür oranı %0,5 ile sınırlandırılmıştır [12].

IMO tarafından gemilerde yakıt olarak kullanılması kabul edilen petrol ürünlerinin verimli olması, olası makine arızalarının en aza indirilmesi konusunda gemi sahipleri ve işletmeleri kadar, makine üreticileri ve yakıt tedarikçileri de araştırmalar ve çalışmalar yapmaya devam etmektedir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) Deniz Çevresini Koruma Komitesi'nin MEPC 280(70) sayılı kararı ile, 1 Ocak 2020 tarihinden itibaren gemilerde kükürt içeriği en fazla % 0.5 olan yakıtların kullanımına başlanacağı, bununla ilgili olarak, 01 Mart 2020 tarihinden itibaren eğer gemide eşdeğer bir uygulama mevcut değilse, kükürt içeriği % 0.5'i aşan yakıtların gemide yakıt olarak taşınmasının da yasaklandığı, söz konusu sülfür düzenlemesinin uygunluğunun, tüm dünyada yoğunlaştırılmış denetimlerle kontrol edileceği bildirilmektedir [13].

Uluslararası Denizcilik Örgütü 2020 yılı itibari ile gemilerde kullanılan yakıtlara ilişkin bazı düzenlemeler ve sınırlamalar getirmiştir. Bu kapsamda yapılan düzenlemeler ve sınırlamalarda ki amaç hava kirliliğinin önlenmesidir. Hatta son zamanlarda yapılan Deniz Çevre Emniyet Komitesi (MEPC) 2050 yılında sıfır emisyon olması için öneriler sunmuştur.

Taşımacılık maliyeti denizcilik sektöründeki önemi çok yüksektir. Globalleşen dünyada rekabet için minimum maliyetler gözetilmesi gerekmektedir. Bu yüzden maliyetin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır [14].

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Ticaret durmadığı ve alternatif taşıma şekilleri bulunmadığı sürece deniz taşımacılığının araçları olan gemilerin kullanılmaya, alternatif enerji kaynaklarına geçilmediği sürece de gemilerde petrol ürünleri yakıt olarak kullanılmaya devam edecektir. Çalışmanın amacı; gemilerde 2020 yılı itibari ile kullanılan yeni nesil düşük sülfürlü yakıtın gemi ana makinelerine etkisi, makine üreticilerinin konu hakkındaki tavsiyeleri ile birlikte yapısal değişiklik önerileri, gemilere baca gazı arıtma sistemlerinin kurulması ve en önemlisi bu çalışmalarının maliyet analizlerinin yapılmasıdır.

Ulusal ve uluslararası taşımacılık yapan denizcilik firmaları, gemilerinin kilowatt değerine göre yakıt maliyetleri göz önüne alınmıştır. IMO tarafından zorunlu hale getirilen düşük sülfürlü

yakıt kullanımı veya baca gazı yıkama sistemi kurularak eski nesil yakıta devam etmesi konusunda ışık tutacağı bir çalışma olacaktır. Ancak bu çalışmadaki yakıt değerleri ve sistemsel kurulumlar günden güne değiştiği 2021 yılı ortalamaları dikkate alınarak yazılmıştır.

1.2. LİTERATÜR TARAMASI

İnak, 2022 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde Türk Boğazları ve Marmara Denizi'nde gemi kaynaklı emisyonları aşağı yukarı hesaplama metodu kullanarak emisyon hesabı yapmış ve incelemiştir [1].

Ejder, 2020 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde gemilerden kaynaklanan emisyonları azaltmak için karşılaştırmalı analiz yapmış alternatif yakıtların kullanımını incelemiş ve çevreye olan maddi zararları hesaplamıştır [2].

Ekin, 2016 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde yakıt püskürtme açısı, püskürtme avansı, püskürtme koniklik açısı için ejektör nozul delik çapları önermiştir [3].

Işık, 2020 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde hidrojenin gemi yakıtlarında katkı olarak kullanımının emisyona olan etkisini incelemiş, yanmanın daha verimli olduğunu ve özgül yakıt sarfiyatının düştüğünü bulmuştur [4].

Özcumalı, 2007 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde gemi dizel makinelerinde biyodizel kullanımının emisyona olan etkisini incelemiş CO emisyonunun dizeldeki emisyona benzer, HC salınımının ise düşük olduğunu tespit etmiştir [5].

Türkcan, 2006 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde dizel makinelerinde performans, deneysel tespit yapmış, silindir gaz basıncı verileri kullanılarak yanma kontrolünün yapılmasıyla egzoz emisyonlarını azaltılabileceğini bulmuştur [6].

Halilbeşe, 2015 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde gemi ana makinelerinin çalışmasında yatak tasarımlarını incelemiş, yeni bir tasarım oluşturarak sorunsuz çalışıp çalışmayacağı ve titreşim etkilerini modellemiştir [8].

Benek, 2013 yılında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde biyodizel yakıtın gemi makinelerinde kullanılmasını incelemiş, biyodizel yakıt karışımlarının yanma sonucunda silindir içerisinde daha fazla miktarlarda artık gaz oluşturduğunu görmüştür [9].

Aygül ve Baştuğ, 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada gemilerden kaynaklı hava kirliliğinin, insan sağlığı yönünden etkisini incelemişler, gemi tonajlarının ve hızlarının artmasına dayalı olarak tükettiği fosil yakıtlarında arttığını vurgulamışlar, Liman Devleti kontrollerinin sıklaştırılmasını ve baca gazı yıkama sistemlerinin gemilere kurulmasını tavsiye etmişlerdir [10].

Bayraktar, Bilir Fidan ve Cerit, 2018 tarihinde yapmış oldukları çalışmada İzmir Alsancak Limanı'nda yakıt tipinin ve hibrit sistemlerin bir hizmet gemisinde yakıt tüketimine etkisini incelemişler, geminin ana makinelerindeki iyileştirmeleri teorik olarak ele almışlar ve en düşük yakıt tüketimine eurodizel ile ulaşmalarına rağmen biyodizelin yanması sonucunda çıkan NO_x değerinin fazla olduğunu görmüşlerdir [11].

Kalender, 2017 yılında yapmış olduğu doktora tezinde gemilerde kullanılan ultra düşük sülfürlü dizel yakıtın emisyonlara etkisi incelemiş, temiz yakıt olmasına rağmen havaya salınan partiküllerin içerisinde kalsiyum, çinko, alüminyum, demir olduğunu görmüştür. Diğer yakıtlara göre özellikle kullanımında SO_2 salınımın çok daha azalacağını belirtmiştir [12].

Literatür taraması yapıldığında gemi makinelerinde kullanılan yakıtların ana makineye etkisi, emisyon oluşum değerleri, yakıtların karşılaştırılması, alternatif yakıtların kullanılması ve makine modellerinin incelendiği görülmüştür. Bu çalışmada ise 3000 kW ve 10000 kW arası gemi ana makinelerinde yakıt olarak kullanılan dizel oil, düşük sülfürlü fuel oil ve yüksek sülfürlü fuel oil yıllık maliyetleri karşılaştırılmıştır. Kural gereği yüksek sülfürlü yakıt kullanımında baca gazı arıtma sisteminin maliyetleri göz önünde bulundurulmuştur. Böylelikle uzun veya kısa vadede belirtilen kW aralıklarında gemi sahibi ve işleticileri için referans olacaktır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. GEMİ ANA MAKİNELERİ

Makine tahrikli gemilerde geçmişten günümüze dıştan yanmalı ve içten yanmalı olmak üzere iki makine tipi kullanılmıştır. Dıştan yanmalı makineler yanmanın makine dışında gerçekleştiğinden dolayı bu ismi alırken, yanmanın bir silindir içerisinde ve sınırlı alanda gerçekleşmesine de içten yanmalı makineler adı verilmiştir.

Günümüzde gemilerde içten yanmalı makineler kullanılmaktadır. İçten yanmalı makineler; otto makineler, dizel makineler ve gaz türbinler olarak sınıflandırılmaktadır. İlk makine 1893 yılında Prof. Rudolf Diesel ve Sadi Carnot tarafından yapılmıştır. Bu ilk makine kömür tozu ile çalıştırılmak istenmiş ve kömür tozunun yanmasından dolayı çıkan küller sorun teşkil etmiştir. Bu yüzden Rudolf Diesel farklı yakıtların kullanılması konusuna yönelmiştir [15].

Dünya ticaret ağında yer edinen gemilerde genellikle dizel çevrimli makineler kullanılmaktadır; ancak tehlikeli yük taşıyan gemilerde buhar türbinli makinelerle karşılaşıldığı görülmektedir. İçten yanmalı makinelerin enerji çevrimindeki yeri; yakıtın kimyasal tepkime sonucunda açığa çıkardığı enerjinin pistonlar ile hareket enerjisine çevrilmesidir.

Dizel makineler sıkıştırılmış ve sıcaklığı yükseltilmiş hava içerisine yakıt püskürtülüp, herhangi bir ateşleme donanımı olmaksızın yakıtın kendiliğinden tutuşmasıyla çalışırlar. Bu çalışma şu şekilde olmaktadır:

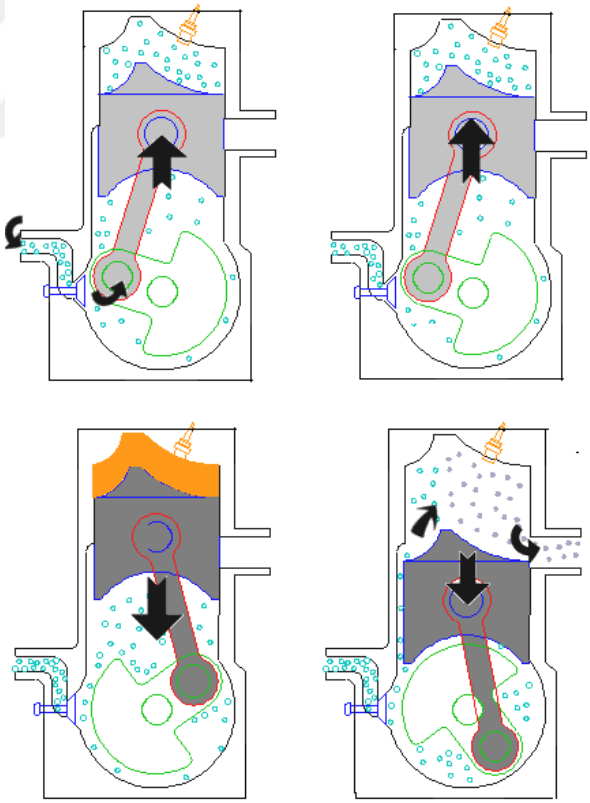
- Makine silindirleri içine temiz hava girişi olur,
- Piston ile sıkıştırılan temiz havanın basıncı ve bununla beraber sıcaklığı yükselir,
- Sıkıştırma oranına göre temiz havanın basıncı 30-40 bar ve sıcaklığı 450-650 °C civarlarındadır,
- Basıncı yüksek ve sıcak bu temiz havanın içerisine püskürtülen yakıt kendiliğinden tutuşur. Dizel yakıtların tutuşma sıcaklığı 280-365 °C civarlarındadır,
- Tutuşan yakıt yanar ve 40-80 bar basınç 1400-1900 °C sıcaklık aralığında tepkime gazları oluşur,

- Basıncı yüksek çok sıcak tepkime gazları pistonu hareket ettirir,
- Pistonun geri hareketiyle sıcaklıkları ve basıncı azalan tepkime gazları (egzoz) silindirlerin dışına atılır, silindir yeni bir çevrime hazırlanır.

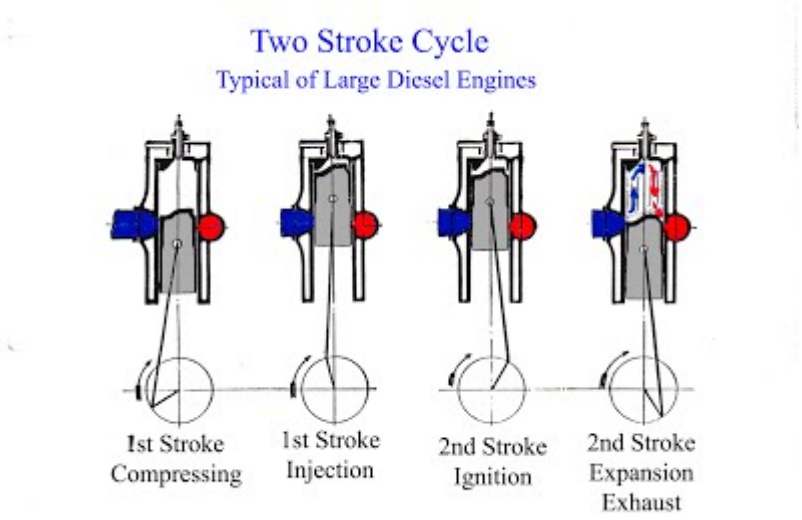
Yukarıdaki olaylardan sonra enerji aktarımının büyük bir kısmı mekanik enerjiye döner. Geri kalan kısımları ısı vb. kayıplara dönüşür [16].

2.1.1. İki Zamanlı Dizel (Two-Stroke) Ana Makineler

İki stroklu makinelerde bir iş çevriminin oluşması için gerekli dört olay, pistonun iki strokunda veya krank şaftın tam bir devri ya da 360^0 krank açısından tamamlanır. İki stroklu dizel makinelerinde temiz hava girişi ve sıkıştırma aynı anda olur, püskürtme ve egzoz aynı anda olur. Bu yüzden bu makinelere iki zamanlı denmektedir. Dolayısıyla bu işlerin beraber yapılması iki zamanlı makine ile dört zamanlı makinenin birbirinden ayırt edilmesinin en önemli farkıdır [15].

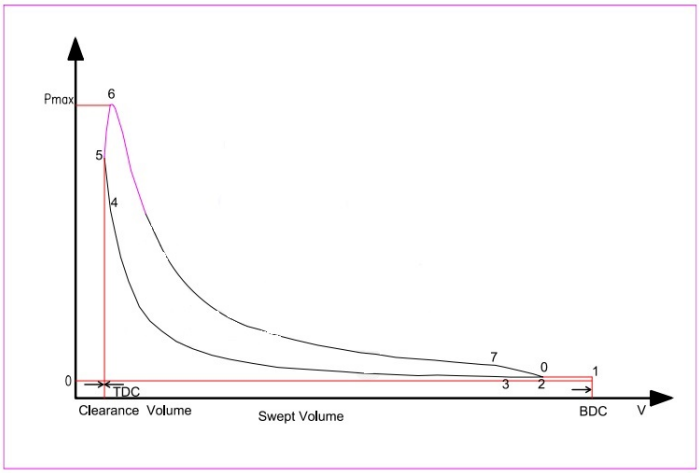


Şekil 2. 1: İki zamanlı makine çalışmasının çizimi- 1



Şekil 2. 2: İki zamanlı makine çalışmasının çizimi- 2

İki zamanlı dizel makinesi ilk olarak temiz hava; emme veya farklı bir ekipman yardımıyla silindirin içerisine gönderilir. Bu süre zarfında silindirin içerisinde bulunan hava sıkıştırılır. Emme ile sıkıştırma aynı zamanda gerçekleşir. Sıkışan havanın basıncı ve sıcaklığı artar. Sıcak ve basıncı yüksek olan havanın üzerine yakıt püskürtülür. Sıcak havanın etkisiyle püskürtülen yakıt kendiliğinden tutuşur ve yanma gerçekleşir. Yakıtın yanmasıyla sıcaklık ve basınç yükselir, pistonu aşağı doğru iter. Bu süre zarfında hem yanma hem de egzoz gerçekleşir. Egzoz gerçekleştiği sırada aynı şekilde içeriye temiz hava girişi olur ve böylece yeni döngüye geçilir.



Şekil 2. 3: İki zamanlı makine P-V diyagramı

Şekil 2.3'te belirtilen sayılara göre:

0: Scavenge portunun açılması [17].

0-1: Havanın içeriye emilmesi ve egzoz gazının dışarıya itilmesi [17].

1: Piston BDC' de [17].

1-2: Scavenge'nin temiz havayla doldurulması [17].

2: Scavence portunun kapanması [17].

2-3: Sıkıştırma stroku [17].

3: Egzoz valfinin kapanması [17].

3-4: Sıkıştırma stokunun devamı [17].

4: Yakıt püskürtmenin başlaması [17].

5: Piston TDC noktası'nda [17].

6: Yakıt püskürtmenin bitmesi [17].

6-7: Genişleme stroku [17].

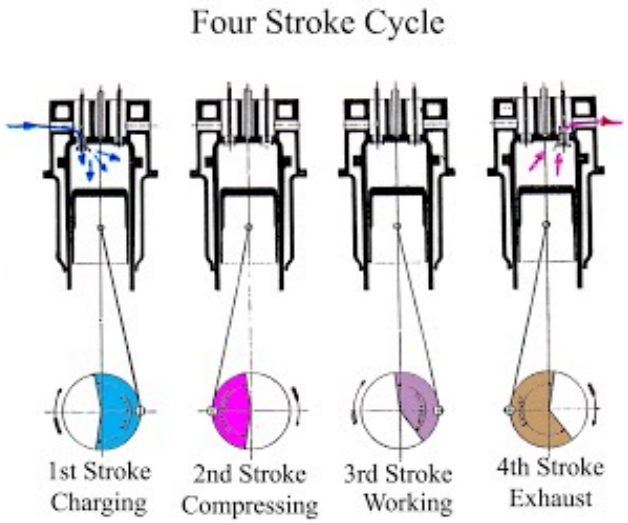
7: Egzoz valfinin açılması [17].

7-0: Egzoz gazının dışarıya itilmesi [17].

Yanma sırasında silindirdeki basınç 40-80 (en fazla 250) bar ve sıcaklık 1400-1900^{0}C dolaylarındadır [15].

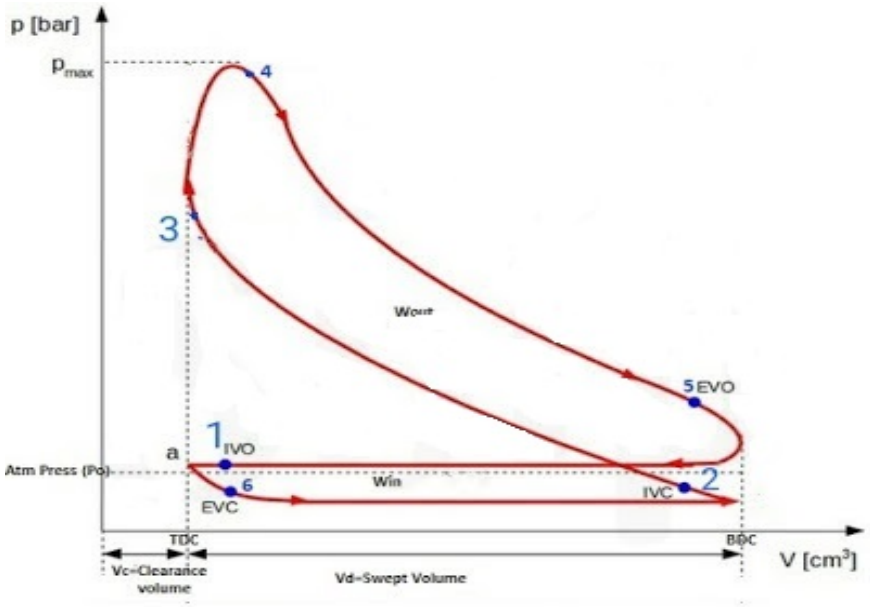
2.1.2. Dört Zamanlı Dizel (Four Stroke) Ana Makineler

Bir iş çevrimi; havanın silindirlere emilmesi veya doldurulması, sıkıştırılması, püskürtülen yakıtın yanması ve genişlemesi ya da işin elde edilmesi ve egzoz olmak üzere dört olayın birbirlerini tamamlamasıyla oluşturulur. Sözü edilen dört olay krank şaftın iki tam devrinde ya da pistonun dört strokunda veya 720^{0}lik krank açısından oluşuyorsa bu tür makinelere dört zamanlı dizel makineler denir [15].



Şekil 2. 4: Dört zamanlı makine çalışmasının çizimi

Pistonun aşağı olan hareketinden dolayı hacim artarken basınç azalır. Alçak basınç silindir içerisinde bir vakum etkisi oluşturur ve böylelikle dışarıdan silindir içerisine temiz hava emilir. Pistonun yukarı hareketiyle emilen hava sıkıştırılır, sıkışan havanın basıncı ve sıcaklığı artar. Sıcak havanın üzerine yakıt püskürtülür. Püskürtülen yakıt sıcak havanın etkisiyle tutuşur ve yanma gerçekleşir. Yanma sonucunda yüksek sıcaklık, basınç oluşur ve piston aşağı doğru itilir. Yanma sonucunda oluşan egzoz pistonun geri yukarı hareketiyle dışarı atılır. Birinci zamanda emme, ikinci zamanda sıkıştırma, üçüncü zamanda yanma, dördüncü zamanda da egzoz yapılmış olur.



Şekil 2. 5: Dört zamanlı makine P-V diyagramı

Şekil 2.5'de belirtilen sayılara göre:

1: Emme valfinin açılması [17].

1-2: Emme stroku [17].

2: Emme valfinin kapanması [17].

2-3: Sıkıştırma stroku [17].

3: Püskürtmenin başlaması [17].

4: Püskürtmenin bitmesi [17].

4-5: Genişleme stroku [17].

5: Egzoz valfinin açılması [17].

5-6: Egzoz stoku [17].

6: Egzoz valfinin kapanması [17].

Sıkıştırma sonunda hava basıncı kompresyon oranına bağlı olarak 30-40 bar (en fazla 90 bar) ve sıcaklığı 450-650^{0}C değerine erişir [15].

2.2. GEMİLERDE ENERJİ KAYNAĞI OLARAK KULLANILAN YAKITLAR

Literatürde enerji için farklı ve açık olmayan tanımlamalar vardır. Enerji kavramı genellikle iş yapma veya ısı üretme yeteneği gibi kullanılmıştır. Enerji; hareket, ses ve ışık üretirken teknolojiye de güç sağladığından, üretim süreçlerinde temel girdiler arasındadır [18].

2.2.1. Gemi Yakıtlarının Tarihçesi

Teknolojik ilerlemelerle birlikte gemiler makinelerle donatılmıştır. Bu gemiler öncelikle buhar gücü ile çalışan makinelerle donatılmış ve gemilerin tahrik güçleri için gerekli enerji katı yakıtlardan (odun ve kömür vb.) sağlanmıştır. Petrolün insan hayatına girmesiyle petrol türevi yakıtlar kullanan buhar makineleri, içten yanmalı makineler ve türbinler gemilerde de yerini almıştır.

2.2.2. Gemi Yakıtları ve Çeşitleri

Çoğunlukla petrolün rafine edilmesinden elde edilen yakıtlardır. Artık (residual) ve damıtık (distilled) olmak üzere ikiye ayrılır.

2.2.2.1. Petrol Ürünü Artık Yakıtlar (Residual Fuels)

Rafineride petrolün işlenmesinden sonra kalan sıvı olup çok yoğun ve koyu renkli fiziksel görünüme sahip yakıtlardır. Düşük sıcaklıklarda donma eğilimi gösterir ve akışkanlık direnci (viskozite) yüksektir. Kullanımı için ısıtılması gerekmektedir.

2.2.2.2. Petrol Ürünü Damıtık Yakıtlar (Distillate Fuels)

Petrolün rafinerideki ayrıştırma işlemi esnasında, üst seviyede kalan, nispeten hafif, açık renkli, artık yakıtlara göre daha temiz sayılabilecek yakıtlardır. Gücün önemli olduğu, büyük makineli ticari gemilerde motorine göre biraz daha düşük kalitede ve maliyette olan marine diesel oil (MDO) ve marine gas oil (MGO) yakıt tipleri kullanılmaktadır.

2.2.3. Yakıtın Kimyası

2.2.3.1. Dizel Yakıtlar

Ham petrolden elde edilirler. Ham petrollerin tamamının moleküler yapısında bulunan hidrokarbonlar parafinik, naftenik ve aromatik olarak 3 çeşittir. Tablo2.1 ve Tablo 2.2'de de görüldüğü gibi normal parafinlerin düşük sıcaklıkta akışkanlıkları iyi değildir, volümetrik ısı değerleri düşüktür ve setan sayıları çok yüksektir. Aromatik bileşikler setan sayıları çok düşük

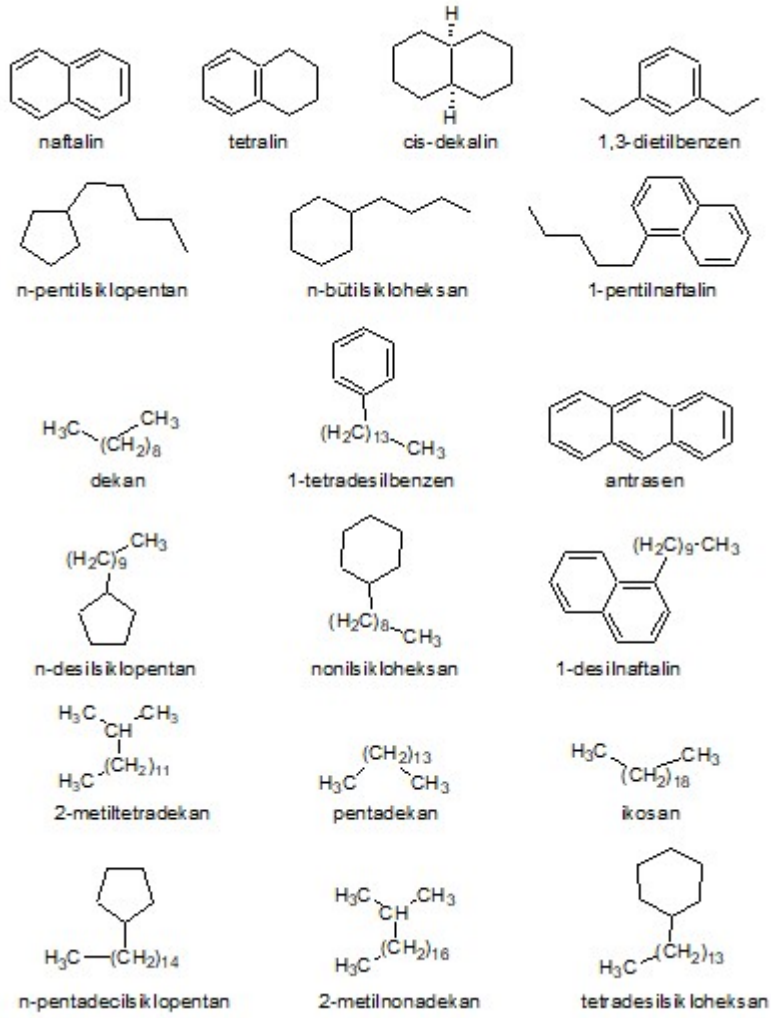
olmasına rağmen düşük sıcaklıkta volümetrik ısı değerleri çok iyidir. İzoparefinler ve naftenlerin özellikleri normal parefinler ve aromatikler arasındadır. No.1 dizel yakıtı (gaz yağı) C9-C16 arasında karbon içeren hidrokarbonlar karışımıdır ve yoğunluğu 0,81 g/cm^3'tür. No.2 dizel yakıtı No.1 dizel yakıta göre daha ağır bileşenlerden oluşur. C9-C24 arasında karbon içeren hidrokarbonlar karışımıdır ve yoğunluğu 0,82 g/cm^3 - 0,86 g/cm^3'tür [19].

Tablo 2. 1: Dizel yakıtları No:1 ve No:2'nin özellikleri [19]

Özellik	*No.1*	*No.2*	*Test ASTM**
API gravite, maks.	43	39	D 287
Alevlenme noktası, ^{0}C, min.	38	52	D 93
Distilasyon, % hac., ^{0}C, maks. 90 toplanan	288	338	D 86
Viskozite, 40 ^{0}C	1.3-2.4	1.9-4.1	D 445
Setan sayısı, min.	40	40	D 613
Oksidasyon stabilitesi, mg/L, maks.	15	15	D 2274
Korozyon, Cu, 3sa. 50 ^{0}C, maks.	No. 3	No. 3	D 130
Su ve tortu, %hac. maks.	0.05	0.05	D 2709, 1796
Sülfür, % ağ. maks.	0.50	0.50	D 2622
Karbon kalıntısı, son %10'da, maks.	0.15	0.35	D 524
Kül, %ağ. maks.	0.01	0.01	D 482

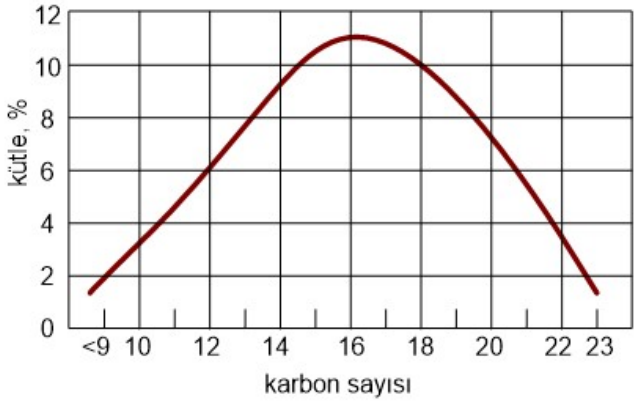
Tablo 2. 2: Dizel yakıtları No:1 ve No:2'nin bileşimi (% hacimce) [19]

Hidrokarbon tipi	*No.1*	*No. 2*	*Hidrokarbon tipi*	*No.1*	*No. 2*
Parafinik	50.5	55	Olefinik	-	5
Naftenik	30.9	12	Kalıntı	-	4
Aromatik	18.6	24			



Şekil 2. 6: Tipik bir dizel yakıtında bulunan hidrokarbonların kimyasal formülleri [19]

No.2 dizel yakıtının çoğu 9-24 karbon içeren temel olarak aromatik, naftenik ve parafinik yapılı binlerce bileşiğin karışımıdır. Tabko 2.2'deki hidrokarbon, farklı kimyasal ve fiziksel özellik göstermekte ve ayrıca her bir dizel yakıtta farklı oranlarda bulunmaktadırlar. Sonuç olarak bu farklılıklardan dolayı motor performansı etkilenir [19].



Şekil 2. 7: No:2 dizel yakıtı tipik karbon sayısı dağılımı [19]

Dizel yakıtının tam yanmasını ve makinenin kolay çalışmasını sağlayan özellik olarak setan sayısı tanımlanabilir. Dizel makinelerinde sıkıştırma basıncı, ortam sıcaklığı veya soğutucu sıcaklığı gibi değişkenlerin düşük olması sıkıştırma sıcaklığını da azaltacağından makinenin kolay çalışması ve yakıtın tam yanması için yüksek setan sayısına ihtiyaç duyulur. Tam yanmanın olmaması durumunda makine verimi düşer, sarfiyat artar ve gemi bacasından yanmamış yakıt dumanla birlikte atılır. Bu yüzden dizel makinelerde setan sayısı değerinin en az 40 olması gerekmektedir [19].

2.2.3.2. Fuel Oil

Fuel oiller, rafinerideki damıtma sonucunda oluşan kalıntı ürünleridir. Kalıntı ürünler ham petrolün değerli ürünleri elde etmek amacıyla çeşitli proseslerden geçirildikten sonra ve artık rafine edilemeyen kısımlarıdır. Tablo 2.3'te ASTM de 396 standardına göre sınıflandırma ve genel kullanım alanları belirtilmiştir [20].

Vizkozite yakıtlar için önemli olmasına rağmen yakıtın diğer özellikleri ile ilgili bilgi vermez. Fuel oiller genellikle hafif, orta ve ağır fuel oil olarak tanınırlar. Hafif fuel oil no.1 ve no.2 damıtma yakıtlarıdır, özellikleri no.1 ve no.2 dizel yakıtlara benzer. Çevre korumanın önemi nedeniyle bazı alanlarda dizel makinelerde kullanılır. Kullanıldıkları alanlar arasında evler, iş yerleri, gemiler, tankerler vb. sayılabilir. Evlerde, iş yerlerinde ısıtma yağı olarak, tankerlerde, gemilerde ve bazı araçlarda yakıt olarak kullanılır. Ancak kirlilik yönünden dezavantaja sahiptir ve doğal gazdan pahalı bir yakıttır. Sektörde bu tür yakıtlara gaz oil, bunker gaz oil, marine gaz oil gibi isimler verilir. Orta fuel oiller no.4 fuel oilin hafif kalıntısıdır ve vizkozitelerine göre gruplandırılır. Sektörde hafif marine fuel, orta marine fuel, ince oil gibi isimler verilir. Ara

yakıtlar 50^0C'deki maksimum kinematik vizkozite (cSt) değeriyle belirtilir. Ağır fuel oiller kalıntı yakıtlardır. Kaynama noktaları ve vizkoziteleri çok yüksektir. Kullanabilmek ve atomizasyonun düzgün yapılabilmesi için ön ısıtma gerektirir. Fiyat olarak diğerlerine göre daha uygundur ve büyük dizel makineler için uygun yakıtlardır. Ancak fazla miktarda hava kirliliğine neden olan maddeler içerir, özellikle sülfürlü bileşikler yandıklarında sülfür dioksit meydana getirirler. Fuel oil no.5 vizkozite olarak no.4'ten yüksek no.6'dan düşük kalıntı yakıttır. Soğuk havalarda ön ısıtma gerektirir. Sektörde fuel oil no.6; bunker C yakıtı, ağır fuel oil, bunker fuel oil ve marine fuel oil gibi isimlerle bilinir. Depolama tanklarındayken pompalanabilmesi ve atomize edilmesi için ön ısıtma gerektirir. Bunker C yakıtı C9-C36 arasında hidrokarbonlardan oluşur [20].

Tablo 2. 3: Fuel oillerin ASTM D 396-04 standardına göre sınıflandırılması [20]

FUEL OİL, ASTM D 396-04		
No.1	**HAFİF FUEL OİLLER** Orta distilat yakıtlar, kolay buharlaşır,	Yerleşimler (konut, otel, v.s.,..) ve küçük endüstriyel bekler (burner) için uygundurlar. No.1 ve No.1 Düşük Sülfürlü, özellikle gazlaştırıcı tip bekler ve düşük akma noktalı yakıt depolama koşullarına uygundur.
No.1, Düşük Sülfürlü		
No.2		
No.2, Düşük Sülfürlü		
No.4 Hafif	**ORTA FUEL OİLLER** Ağır distilat yakıtlar veya distilat/kalıntı yakıt harmanlarıdır	Ticari/endüstriyel beklerde (burner) kullanılırlar; viskozite aralıklarına uygun olarak seçilir, taşıma ve kullanımda ön ısıtma gerekmez
No.4		
No. 5, Hafif	**AĞIR FUEL OİLLER** Artan viskozite ve kaynama aralıklarında kalıntı yakıtlar	Endüstriyel bekler için uygundur; taşıma ve kullanımda yeterli ve düzgün atomizasyon için, No. 5 için soğuk iklim ve ekipmana göre, özellikle No.6 için ön ısıtma gerekir.
No. 5, Ağır		
No. 6		

ASTM D 396-04 Fuel Oiller Standart Şartnamesi

Kapsam: Şartnamede belirtilen değişik iklim ve çalışma koşulları için tasarlanmış çeşitli tiplerdeki fuel oil yakma ekipmanlarında kullanılan farklı derecelerde (grade) fuel oilleri kapsar [20].

1.derece yakıtlar ve düşük sülfürlü 1.derece yakıtlar: Orta damıtma işlemi görmüş yakıtlardır. Yerleşimler ve küçük endüstriyel burnerlerde kullanılır. Özellikle buharlaştırıcı tip burnerlerde veya vizkozitesi düşük olan yakıtlara ihtiyaç duyulan depolama koşullarında kullanımı uygundur [20].

2.derece yakıtlar ve düşük sülfürlü 2.derece yakıtlar: Orta damıtma işlemi görmüş yakıtlardır. Yerleşimler ve küçük endüstriyel burnerlerde kullanılır [20].

4.derece yakıtlar ve 4.derece hafif yakıtlar: Ağır damıtma yakıtlarıdır veya damıtma ve kalıntı yakıt karışımından oluşur. Bu yakıtlardaki vizkozite aralığına uygun olarak imal edilmiş ticari ve endüstriyel burnerlerde kullanılır [20].

5.derece yakıtlar, 5.derece hafif yakıtlar ve 6.derece yakıtlar: Kalıntı yakıtlardır. Vizkoziteleri ve kaynama aralıkları yüksektir. Taşıma ve düzenli atomizasyon için ön ısıtma gerekmektedir ve endüstriyel burnerlerde kullanılır [20].

Tablo 2. 4: ASTM D 396 fuel oillerin özellikleri [20]

Özellik	***No. 1***	***No. 2***	***No. 4***	***No. 5 Hafif***	***No. 5 Ağır***	***No. 6***
Spesifik gravite, 60/60°F	0.8499	0.8762	...	...	...	...
API gravite, maks.	35 min.	30 min.	...	...	...	...
Alev. noktası, ^{0}C, min.	38	38	55	55	55	60
Akma noktası, ºC, maks.	-18	-6	-6	...	...	G
Distilasyon, % hac., ^{0}C						
10 toplanan, (maks.)	(215)		...	...	...	...
90 toplanan, (maks.)	(288)	282-338	...	...	...	...
Viskozite						>900-
Saybolt, saniye		32.6-	45-125	>125-	>300-	9000
SSU, 38 ^{0}C	...	37.9	...	300	900	>45-
SSF, 50 ^{0}C	...	...		...	23-40	300
Kinematik cSt				>26.4-		
38 ^{0}C	1.4-2.2	2.0-3.6	5.8-	65	>65-	...
40 ^{0}C	1.3-2.1	1.9-3.4	26.6	>24.0-	194	...
50 ^{0}C	...	...	5.5-	58	>58-	>92-
			24.0	...	168	638
			...		42-81	
Korozyon, Cu, 50 ^{0}C, maks.	No. 3	No. 3	...	...	...	...
Su ve tortu, %hac. maks.	0.05	0.05				
Sülfür, % ağ. maks.	0.5	0.5	...	...	...	...
Karbon kalıntısı, son %10'da, maks.	0.15	0.35	...	...	...	...
Kül, %ağ. maks.	...	...	0.10	0.10	0.10	...

2.3. BACA GAZI ARITMA SİSTEMLERİ

Baca gazlarında bulunan SO_2, NO_x, CO, CO_2, HC vb. gazlar genellikle havayı kirleten gazlardır. Gaz halinde, renksiz ve yanıcı olmayan kükürt oksitler en çok bilinen hava kirletici gazlardır [21].

Gaz yıkama sistemleri, sanayi ile ilgili egzoz akışlarından, partikülleri ve gazları çıkarmak için kullanılan çeşitli hava kirliliklerinin kontrol edilmesi için tasarlanmış sistemlerdir. Genel olarak, "Scrubber" tanımı, bir gaz akışından kirleticileri yıkamak için, sıvı kullanılarak baca gazını temizlemek için kullanılır. Yıkayıcılar, öncelikle asit gazları olmak üzere gaz emisyonlarının kontrolü için kullanılan önemli cihazlardan biridir. Yıkayıcılar gemilerde öncelikle petrol tankerleri için İnert Gaz üretimi adına kullanılmıştır. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) 2020 de yürürlüğe giren %0,5 kükürt oranının, kükürt yönetmeliğine uyumunu sağlamak adına gemilerde egzoz gazı yıkayıcılarının (baca gazı temizleme sistemlerinin) onayını, kullanımını ve kurulumuna ilişkin yönergeleri kabul etmiştir. MARPOL Ek VI. [22].

Bayrak Devletleri bu sistemleri kabul eder, liman devletleri de bu sistemlerin çalışıp çalışmadığını kontrol eder ve düzgün çalışması için denetlemeler yapar. Yıkayıcı sistem düzgün çalışmıyorsa ve IMO kurallarına uygun değilse, liman devletleri gemiye yaptırım uygulama hakkına sahiptir. Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesine göre, liman devletleri; limanlarda ve iç sularda gaz yıkayıcı sistemlerinin kullanımını düzenleme ve hatta yasaklama hakkına sahiptir [22].

2.3.1. Baca Gazı Arıtma Sistem Tipleri

2.3.1.1. Baca gazı kükürt giderme yöntemleri

Baca gazı kükürt giderme yöntemleri arasında en çok tercih edilen temizleme yöntemleri şunlardır:

1.Genellikle gazları temizlemek için kireç, kireç taşı gibi emici maddeler veya deniz suyu kullanılarak ıslak fırçalama ile temizleme yapılır [22].

2.Benzer emici maddeler kullanılarak püskürtme yöntemiyle kuru temizleme yapılabilir [22].

3.Sülfürü geri kazanmak adına ıslak sülfürik asit ile temizleme işlemi yapılabilir [22].

4.SNOX Baca gazı kükürt giderme, kükürt dioksiti, nitrojen oksitleri ve partikülleri baca gazlarından ayırarak temizleme işlemleri yapılabilir [22].

Petrol, kömür vb. yakıtlar, yüksek oranda kükürt içerebilmektedir. Bu yakıtlar yakıldığında, kükürdün takriben % 95'i veya daha fazlası kükürt dioksite (SO_2) dönüşür. Dönüşüm, normal sıcaklık ve baca gazında bulunan oksijen koşulları altında gerçekleşir [22].

Aşındırıcı ya da zehirli bileşikleri egzoz gazından çıkarmak için birkaç yöntem vardır;

2.3.1.2. Yanma

Yanma eğer, sıcaklık yüksekse ve gerekli oksijen varsa egzoz gazı temizliği için kullanılabilir [22].

2.3.1.3. Islak yıkama

Islak gaz yıkayıcılar; kirleticileri baca gazından ayıran çeşitli cihazlardır. Islak yıkayıcılarda kirleticileri arındırmak için sıvı püskürtülerek, bir sıvı havuzundan geçirilerek ya da farklı bir yöntemle yıkama sıvısı ile temas ettirilir [22].

Islak fırçalama, bileşenlerin veya parçacıklı maddelerin yıkama çözeltisi ile temasıyla çalışır. Kirletici maddelerin arındırılma verimliliği, yıkayıcıda kalma süresinin çoğaltılmasıyla, dolgulu kuleler veya aspiratör kullanılarak yıkayıcı solüsyonların yüzey alanının büyütmesiyle iyileştirilir [22].

Islak yıkayıcılar ilaveten baca gazı yoğunlaşmasıyla sıcak gazlardan ısının geri kazanımı için de kullanılabilir. Yoğuşmalı yıkama olarak da bilinen bu tip yıkamada yıkayıcı boşaltmasından gelen su, yıkayıcının üstündeki suyu püskürtmeye yarayan elemanlarla (nozullarla) soğutucu içinden dolaştırılır [22].

Sıcak gaz yıkayıcıya ise alttan girer. Gaz sıcaklığı, su buharının çiy olarak yoğunlaştığı sıcaklığının (çiğlenme noktasının) üzerindeyse, başlangıçta su damlalarının buharlaşmasıyla soğutulur [22].

<u>Islak yıkamanın avantajları ve dezavantajları</u>

1- Islak yıkayıcılar, yüksek sıcaklıkları ve nemi yönetirler,

2- Islak yıkayıcılarda, baca gazları soğutulduğundan küçük ekipman parçaları kullanılır,

3- Islak yıkayıcılar parçacıklı maddeleri ve gazları temizleyebilirler,

4- Islak yıkayıcılar yıpratıcı gazları etkisizleştirebilirler [22].

Dezavantajı

Korozyon, yüksek verimlilik almak adına aşındırarak ayırma veya buhar giderme ihtiyacı ve kullanılmış sıvının işlenmesi ve yahut tekrardan kullanılması ihtiyacıdır [22].

2.3.1.4. Kuru yıkama

Kuru yıkama sistemlerinde ıslak yıkama sistemlerine bilakis baca gazı akışını ıslatmaz. Bazı durumlarda nem ilave edilmezken, bazısında yalnızca baca gazında buharlaştırılabilen nem miktarı ilave edilir. Bu yüzden, kuru yıkayıcılar genellikle atık su işleme ve bertaraf gereksinimlerine sahip değildir. Kuru temizleme sistemleri, öncelikle asit gazlarının yanma kaynaklarından gidermek için kullanılır [22].

Kuru yıkama sistemleri, kuru emici enjektörler (DSİ'ler) veya sprey kurutucu emiciler (SDA'lar) olarak sınıflandırılabilir. Püskürtmeli kurutucu emiciler olarak da adlandırılır [22].

2.3.1.5. Yıkayıcı atık ürünler

Yıkamanın, gereksiz ve istenmeyen maddeyi egzoz gazından; sıvı bir solüsyon, katı bir macun veya toz haline getirmesi olumsuz bir durumdur. Bu maddeler eğer tekrar kullanılmayacaksa güvenli bir şekilde ortadan yok edilmelidir [22].

2.3.1.6. Tasarım

Islak yıkayıcıların ya da bir hava kirliliği denetleme aygıtının tasarımı, endüstriyel süreç koşullarına ve ilgili hava kirleticilerinin yapısına bağlıdır. Islak yıkayıcılar, gaz ve toz partiküllerini damlacıklar ile tutarak temizleme işlemi yapar. Damlacıklar sonra toplanır, sıvı, kirletici gazları çözer ya da içine çeker. İlaveten ortaya çıkan yıkama sıvısı tekrar kullanılmadan önce işlenmelidir [22].

Islak yıkayıcıların küçük partikülleri toplama kabiliyeti, genellikle temizleyiciye gelen güç girişi ile ilişkilidir. Püskürtme kuleleri gibi düşük güçlü aygıtlar, 5 mikrometreden büyük partikülleri toplamak için kullanılır. 1 mikrometre ya da daha az parçacıkların yüksek verimli bir şekilde ayrıştırılmasını sağlamak adına venturi yıkayıcılar gibi yüksek enerjili aygıtları kullanmak veya yoğunlaştırmalı yıkayıcılar gibi aygıtlar kullanmak gerekir [22].

Emiciler gaz halindeki kirleticileri gideren ıslak yıkayıcılardandır. Emicilerde yüksek arındırma elde etmek için iyi bir gaz-sıvı teması gerekmektedir. Gazlı kirleticileri gidermek için ise en çok kullanılan ıslak yıkayıcı tasarımları; levha kule ve paketli kulelerdir [22].

2.4. KURALLAR VE DÜZENLEMELER

2.4.1. IMO 2020 Sülfür Düzenlemesi

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) Deniz Çevresini Koruma Komitesi'nin MEPC 280(70) sayılı kararı ile, 1 Ocak 2020 tarihi itibari ile gemilerde kükürt oranın en fazla % 0.5 olması kararlaştırılmış olup kükürt oranı en fazla % 0,5 olan yakıtlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu duruma ek olarak, 01 Mart 2020 tarihi itibari ile gemide muadil bir kullanım mevcut değilse, kükürt oranı %0.5'in üstünde olan yakıtların gemilerde yakıt olarak taşınmasına dahi izin verilmemiştir. Yeni sülfür düzenlemesinin uygunluğu, tüm dünyada sıkı denetimlerle kontrol edilecektir [23].

Bahsi geçen kural gereklerinin karşılanmasına özgü, IMO'nun MEPC 259(68) sayılı kararı ve ilgili diğer kurallar kaplamında, yetki verilmiş olan klas kuruluşların gözetiminde gemi donatımları yapılarak sertifikalandırılan Egzoz Gazı Temizleme Sistemleri (Scrubber) MARPOL Ek 6 Kural 4 kaplamında muadil aplikasyon olarak kabul edilmiştir. Bu eşdeğer aplikasyon ile ilgili, kimi ülkelerin egzoz gazı temizleme sistemi yıkama sularının boşaltmasının sınırlandırılması ile ilgili mahalli düzenlemeler de yapabileceği göz önüne alınmıştır [23].

Aplikasyonla ilgili olarak Liman Devleti Denetim Uzmanları; MARPOL Ek 6 Kural 10 ve IMO'nun MEPC 321(74) sayılı 2019 PSC kılavuzluğu çerçevesinde gemide ilk tetkiklerini yaparak, bu kaplamda; Uluslararası Hava Kirliliğini Önleme Sertifikası (IAPP), gemi uygulama planı, yakıt iskandil değerleri, makine jurnali, yakıt teslim belgeleri, yağ kayıt defterleri ve ilgili diğer kontrolleri yapacaklardır. Bu kontrollerde "açık gerekçeler" saptandığında, yakıttaki sülfür elverişliliği için yakıt numuneleri alınarak diğer ayrıntıların kontrolleri yapılacaktır [23].

Gemiler seyirlerinde ve gitmiş oldukları limanlarda, uygun yakıt tedariğinde herhangi bir problemle karşılaşırlarsa, uygun yakıt sağlamak adına; planlanan seferden uzaklaşmaya ve gecikmeye neden olmadan, bir nüshası MEPC.320 (74) sayılı kararda bulunan Uygun (Fuel Oil Non-Availability Yakıt Eksikliği Raporunu Report-FONAR) doldurmak suretiyle geminin gideceği limana bilgi vermeleri ve seyirlerine devam edebilmelidirler. Bu raporlar, MARPOL Ek 6'nın 11.4 sayılı kuralına göre, liman devleti tarafından bayrak devletine ve IMO'nun Küresel Entegre Gemi Bilgisi Sistemi (GISIS)'ne sunulmalıdır [23].

Söz konusu sülfür sınırlamasına bağlı olarak gemilerin ve işletmelerinin; uygun yakıtı temin etmek ve temin edilen yakıtı kullanmaya yönelik tedbirleri ile taslaklarını hazırlaması gerekmektedir. Bu kaplamda, gemi uygulama planının iyileştirilmesine yönelik MEPC.1 / Circ. 878 sayılı kılavuz kabul edilmiştir. Bu kılavuzda; kullanılacak olan yeni yakıtın risk analizlerinin yapılarak yakıtın sistemlere olan olumsuz tesirlerinin minimuma indirilmesi, yakıt sistemi ve sistemin değişimi, yakıt tanklarının temizlik konusunun değerlendirilmesi, yakıt tankı doldura bilirliğinin sorgulanması, yeni yakıta geçişin kullanımının planlanması, belgeleme ve raporlama, tutanak vb. kısımlardan meydana gelen "Gemi Uygulama Planı" hazırlanması önerilmiştir. "Gemi Uygulama Planı" öneri niteliğinde de olsa, planın bulunmaması halinde gemiye ayrıntılı kontrol yapılması adına "Açık Gerekçe" olarak değerlendirilecektir [23].

Bunlarla birlikte, sülfür sınırlamasına yönelik IMO'nun MEPC 320(74) sayılı kararı ile "%0,5 oranındaki kükürt sınırının istikrarlı bir şekilde uygulanması adına 2019 rehberi kabul edilmiştir. Anılan rehberde, %0,5 sülfürün sınırlı yakıtın makineye ve yakıt sistemlerine etkisi, yakıt analizi için numune alımı, yakıt uygunluğu denetimleri, uygunsuz yakıt raporlama sistemi ve ilgili diğer konular hakkında açıklamalar yapılmıştır [23].

Bahsi geçen rehberlerin yanı sıra IMO, gemilerde kullanılan yakıtın sülfür miktarının uygunluğu adına, yakıtın numunesinin alınmasına yönelik MEPC.1/Circ.864/Rev.1 rehberini de yayımlamıştır. Bu rehberde, yakıt numunelerinin önceden belirlenmiş numune yerlerinden alınması, numune yerlerinin ve sayısının belirlenerek uygunluğu tavsiye önerilmekte olup, gemilerin klas kuruluşlarının bilgisi ile birlikte gerekli olan hazırlıkların yapılması uygun görülmüştür [23].

2.4.2. MARPOL Ek-VI

Gemi yakıtlarındaki kükürt oranına istinaden IMO 2020 kuralı doğrultusunda %0,5 oranının uygulanması adına yakıt numunesi alma ve test etme için yeni gereklilikler MARPOL 73/78 Sözleşmesi Ek-VI kapsamında yürürlüğe girmiştir [24].

Söz konusu değişikliklerin, bilhassa yakıt numunesi alan ve test eden kişiler başta olmak üzere, liman devleti kontrolü ve diğer çevre yönetimlerini doğrulaması, böylelikle IMO 2020 kuralının ilerletilmesinde küresel seviyede bir aplikasyon alanı geliştirmesi amaçlanmaktadır. Bahsi geçen değişiklikler 2020 yılında gerçekleştirilen Deniz Çevresini Koruma Komitesi'nin 75'inci Oturumu'nda (Marine Environment Protection Committee-MEPC75) kabul edilmiştir [24].

MARPOL Ek-VI'da yapılan diğer değişiklikler, Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (Energy Efficiency Design Index-EEDI) "Faz 3" zorunluluklarını kuvvetli ölçüde güçlendirerek, gaz tankerleri, genel kargo gemileri ve LNG tankerlerini de içeren çeşitli gemi türleri için "Faz 3" aplikasyonlarının yürürlüğe girme tarihini 2025 yılından 2022 yılına çekmiştir. Bu olay, bahsi geçen tarihten itibaren inşa edilen yeni gemi tiplerinin, referans değerine göre kuvvetli ölçüde daha fazla enerji verimli olması gerektiğini bildirmektedir [24].

MARPOL Ek-VI kapsamındaki değişiklikler aşağıda yer almaktadır:

Kükürt İçeriğinin Belirlenmesi ve Örneklenmesi:
1-MARPOL Ek-VI Kural 2 "Tanımlar"daki Değişiklikler;

I. Yakıt kükürt içeriğinin tanımlara katılması; IMO tarafından kabul edilen ölçüye göre test edilerek % m/m biriminde ölçülür, herhangi bir yakıttaki kükürt yoğunlaşması anlamına gelmektedir [24].

II. Düşük parlama noktalı yakıtın tanımlara katılması; SOLAS düzenlemesi II-2/4'ün 2.1.1 paragrafında verilen izinden daha alçak bir parlama noktasına sahip gaz ya da sıvı yakıt demektir [24].

III. MARPOL teslim numunesinin tanımlara katılması; MARPOL Ek-VI Kural 18.8.1'e uygun bir şekilde teslim edilen yakıt numunesi anlamındadır [24].

IV. Kullanımdaki numunenin tanımlara katılması; gemide kullanılan yakıt numunesi anlamına gelmektedir [24].

V. Gemideki numunenin tanımlara katılması; o gemide bulundurmak üzere alınan ya da kullanmak için taşınan yakıt numunesi anlamındadır [24].

2-Yakıt Numunesi Alma ve Test Etme-Kural 14 "Kükürt Oksitler (SO_x) ve Partikül Madde"de Yapılan Değişiklikler;

I. Gemide bulundurulan ve kullanılan yakıttan numune alınması ve test edilmesi ile alakalı farklı başlıklar eklenmiştir [24].

II. Gemide bulundurulan ya da kullanılmak üzere taşınan yakıtın numunelerinin alınması amacıyla bir ya da birden fazla numune alma noktasının belirlenmesini gerektiren yeni

başlıklar eklenmiştir. Yakıtların talimatlara uygun olup olmadığını doğrulamak adına gemide kullanılan yakıttan numuneler alınacaktır [24].

3-Uluslararası Hava Kirliliğini Önleme (International Air Pollution Prevention-IAPP) Sertifikası'nda Yapılan Değişiklikler (Appendix I);

I. Numune alma noktalarına bir referans eklemek için IAPP sertifikasını güncel duruma getirmek ve ayrıyeten düşük parlama noktalı yakıt kararında muafiyetin olduğu yerlere dikkat çekmek için önemli değişiklikler yapılmıştır [24].

4-MARPOL Ek-VI yakıt numuneleri için yakıt doğrulama prosedürüne ilişkin Altıncı Ek'te (Appendix VI),

I. Gemide bulundurulan ve kullanılan yakıttan numunelerin onaylanmasını kapsayacak şekilde, doğrulama işlemlerinde önemli değişiklikler yapılmıştır [24].

EEDI Değişiklikleri

Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) "Faz 3" Gerekliliklerinin Güçlendirilmesi doğrultusunda, konteyner gemilerine yönelik daha büyük gemiler için EEDI azaltım miktarı büyük ölçüde artırılmıştır. Bu kapsamda 2022 yılından itibaren uygulanmak üzere EEDI azaltım oranları [24]:

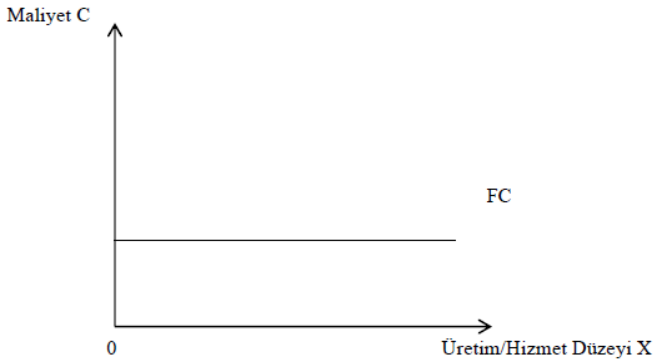
- 200.000 DWT ve üzeri konteyner gemileri için %50 [24].
- 120.000 ile 200.000 DWT aralığındaki konteyner gemileri için %45 [24].
- 80.000 ile 120.000 DWT aralığındaki konteyner gemileri için %40 [24].
- 40.000 ile 80.000 DWT aralığındaki konteyner gemileri için %35 [24].
- 15.000 ile 40.000 DWT aralığındaki konteyner gemileri için %30 olarak belirlenmiştir [24].

2.5. MALİYET ANALİZİ

Firmanın kısa dönemde mal ve hizmet üretebilmek için karşı karşıya kaldığı maliyet türüne sabit maliyet ve değişken maliyet denir. Bu maliyetler ikiye ayrılır [14].

Sabit Maliyet (FC)

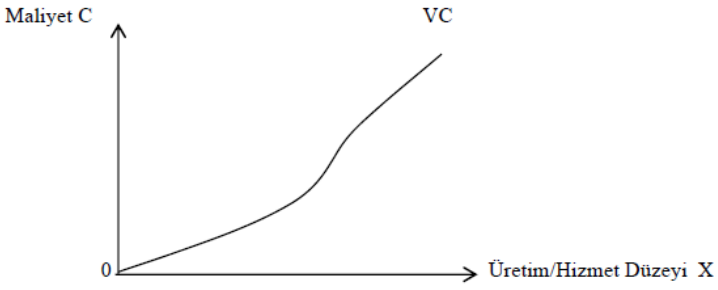
Üretim tutarı değişmeden yapılan zorunlu harcamaların toplamına sabit maliyet denir. Üretim hacminden bağımsız olan, mevcut maliyettir. Şekil 2.8'de sabit maliyet doğrusu gösterilmiştir [14].



Şekil 2. 8: Sabit Maliyet [14].

Değişken Maliyet (VC)

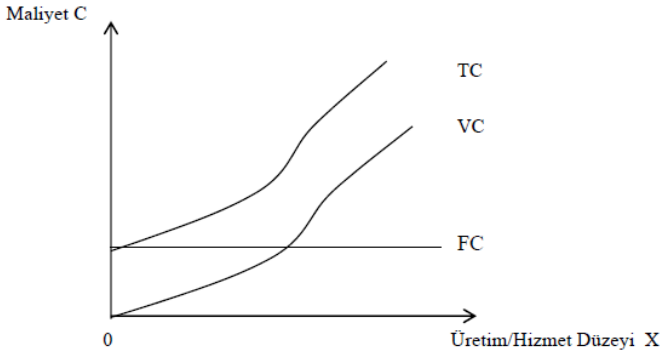
Üretim hacminde artış veya azalış olarak meydana gelen değişikliğe paralel olarak maliyet yapısında da artış veya azalış değişiklik sergilemesine değişken ya da değişir maliyet denir. Şekil 2.9'da görüldüğü üzere üretim (X) yapılmadığında değişken maliyet (C) sıfırdır [14].



Şekil 2. 9: Değişken Maliyet [14].

Toplam Maliyet (TC)

Değişken maliyet ve sabit maliyetin toplamına denir (Şekil 2.10) [14].



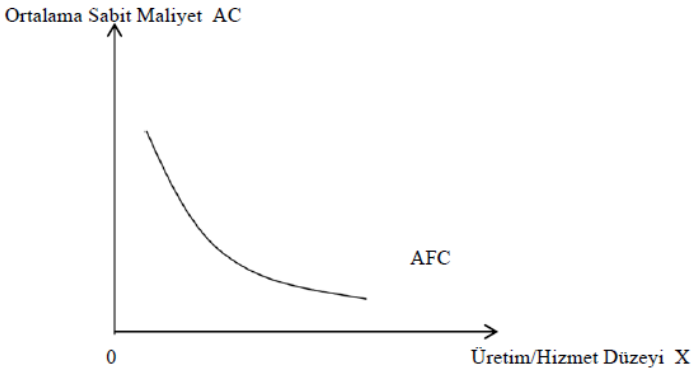
Şekil 2. 10: Toplam Maliyet [14].

Ortalama Sabit Maliyet (AFC)

Üretim sürecinde ortaya çıkan sabit maliyetin toplam üretilen tutara bölünmesiyle elde edilen maliyete ortalama sabit maliyet, birim maliyet veya parça başına düşen sabit maliyet denir. Şekil 2.11'de belirtildiği üzere belirli bir üretim seviyesinden sonra ortalama sabit maliyet sıfırlanır [14].

$$Ortalama\ Sabit\ Maliyet = \frac{Sabit\ Maliyet}{Üretim\ Hacmi} \tag{2.1}$$

$$AFC = \frac{FC}{Q} \tag{2.2}$$



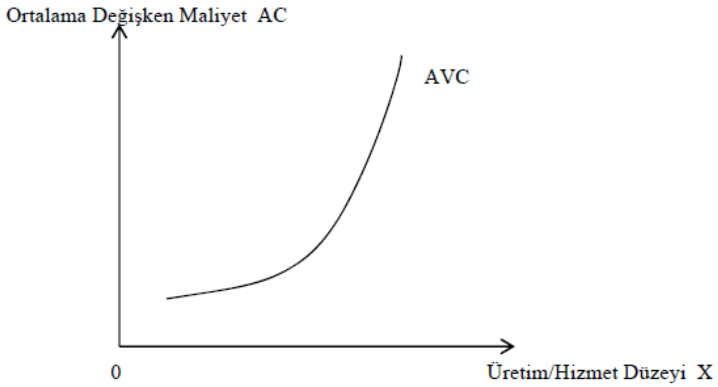
Şekil 2. 11: Ortalama Sabit Maliyet [14].

Ortalama Değişken Maliyet (AVC)

Üretim sürecinde ortaya çıkan toplam değişir maliyetin toplam üretim tutarına bölünmesiyle elde edilen değerdir [14].

$$Ortalama\ Değişken\ Maliyet = \frac{Değişken\ Maliyet}{Üretim\ Hacmi} \tag{2.3}$$

$$AVC = \frac{VC}{Q} \tag{2.4}$$



Şekil 2. 12: Ortalama Değişken Maliyet [14].

Üretilen miktarın artması ortalama maliyetin azalması ile sonuçlanır. Üretimdeki yükselişin devam etmesi durumunda ortalama değişken maliyet düşer. Üretimdeki yükseliş devam etmesi durumda ise ortalama değişken maliyet eğrisi yükselişe geçer. Şekil 2.12'deki gibi ortalama değişken maliyet eğrisi, ortalama sabit maliyet eğrisinin tam aksine üretimin artması ile maliyet artışına sebep olur [14].

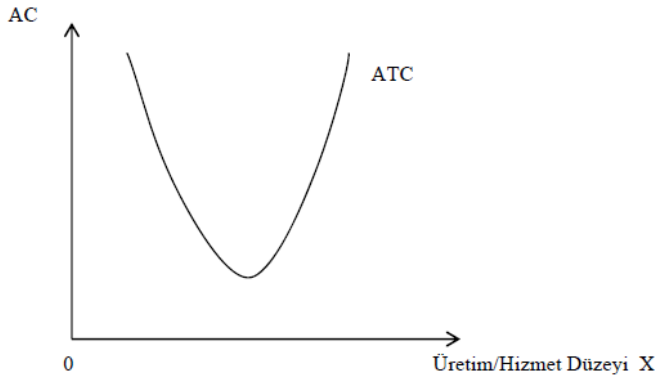
Ortalama Toplam Maliyet (ATC)

Ortalama sabit maliyet ile ortalama değişken maliyetin toplamıdır [14].

$$ATC = AVC + AFC \tag{2.5}$$

Ortalama maliyet ortalama toplam maliyet anlamındadır. Kısa dönem ortalama toplam maliyet ile uzun dönem ortalama toplam maliyet toplamından oluşur. Uzun dönemde göz önüne alındığında ortalama maliyet eğrisi ortalama değişken maliyet eğrisine yaklaşır veya ona eşit

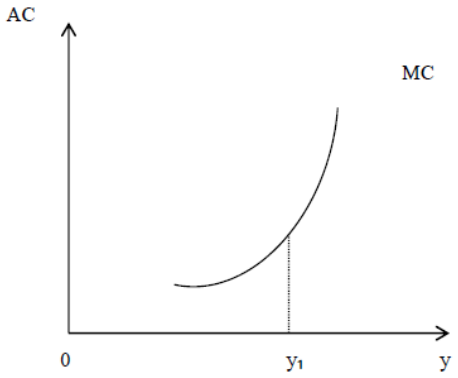
değer alır. Uzun dönemde üretim artıkça ortalama sabit maliyet sıfıra yaklaştığından dolayı ortalama maliyet ortalama değişken maliyete eşit olur (Şekil 2.13) [14].



Şekil 2. 13: Ortalama Toplam Maliyet [14].

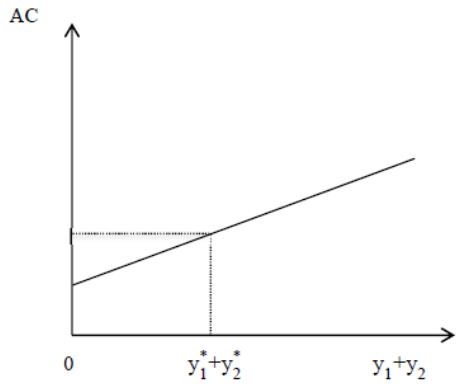
Marjinal Maliyet

İlave son birimi üretmekle bu son birimin toplam maliyet üzerindeki etkisine marjinal maliyet denir. Üretimdeki artışların maliyet üzerindeki yansımasını tespit etmede marjinal maliyet önemlidir. [14].



Şekil 2. 14: Marjinal Maliyet Eğrisi [14].

Üretim arttıkça ilave birimin artan üretim üzerindeki etkisi marjinal maliyeti verir. Üretimin ilerleyen aşamaların ilave üretimlerin maliyet üzerinde baskısı artar (Şekil 2.14), (Şekil 2.15) [14].



Şekil 2. 15: Marjinal Maliyet Doğrusu

$$MC = \frac{d(TC)}{dQ} \tag{2.6}$$

Ağırlıklı Ortalama Maliyet (AOM)

Bu ortalama maliyet türünde, satın alınan malların miktarları baz alınır. Birim fiyat ile satın alınan mal miktarı çarpılarak bulunur ve miktarlara göre ağırlık verilmiştir. Ağırlıklı ortalama maliyet; birim fiyatları ile mal miktarları çarpımı olan mal alış değerleri toplamının alınan toplam mal miktarına bölünmesiyle bulunur [25].

$$Ağırlıklı\ ortalama\ maliyet = \frac{1.Maliyet+2.Maliyet+\cdots+n.maliyet}{1.adet+2.adet+\cdots+n.adet} \tag{2.7}$$

$$AOM = \frac{C_1+C_2+\cdots+C_n}{X_1+X_2+\cdots+X_n} \tag{2.8}$$

Basit Ortama Maliyet (BOM)

Belli bir ürünün yıl içindeki birim alış fiyatının toplanarak sipariş sayısına bölünmesiyle basit ortalama maliyet bulunmuş olur [25].

$$Basit\ ortalama\ maliyet = \frac{Toplam\ Maliyet}{Toplam\ adet} \tag{2.9}$$

$$BOM = \frac{\sum C}{\sum X} \tag{2.10}$$

3. YÖNTEM

3.1. ANALİZ

Yapılan çalışmada karar vericinin; kuralları, yakıt fiyatlarını ve yapısal modifikasyonların fiyatlarını gözeterek minimum maliyet üzerinden işlem yapacağı varsayılmıştır. Yıllık ortalama yakıt fiyatları ve baca gazı arıtma sistemlerinin gemideki yapısal değişikliğinin maliyeti karşılaştırılarak, 100 gemi üzerinde ve farklı kilowatt aralıklarında optimum maliyetin hesaplanması bu bölümde anlatılmıştır.

Çalışmanın kapsamı, sınırlamalar ve varsayımlar:

- 3000 kW ile 10000 kW arasındaki gemiler referans alınmıştır.
- Gemi tipleri, gemilerin özellikleri ve makine tipleri farklıdır.
- 100 adet gemiyle sınırlandırılmıştır.
- Gemilerin; bir takvim yılı 360 gün olarak ve bir takvim yılının 4'te 3'ü kadar seyir yaptığı varsayılmıştır. Toplam seyir süresi 270 gündür. Ayrıca gemi ana makinesinin sadece seyirde çalıştığı düşünüldüğünden dolayı, yakıt sarfiyatı 270 gün üzerinden hesaplanmıştır.
- Gemi ana makineleri tam kapasite çalışacağı varsayılmış olup hesaplamalar kilowatt cinsinden yapılmıştır.
- Çalışmada yüksek sülfürlü yakıt, düşük sülfürlü yakıt ve dizel yakıt sadece ana makinede yakılacak gibi hesaplanmıştır.
- Deniz ve hava şartları gibi meteorolojik durumlar, seyir bölgeleri, akıntılar hesaplamaya dahil edilmemiştir.
- Yeni nesil yakıtın kullanılmasına 01.01.2020 tarihi itibari ile başlandığı için analiz sadece 2021 yılı yakıt verilerini kapsamaktadır.

Karşılaştırmalı analiz, geminin yakıt sarfiyatı ve tonajı gözetilerek, düşük sülfürlü yakıt kullanımının ve baca gazı arıtma sistemi donatımının maliyetleri hesaplanmış olup tablolaştırılmıştır.

Gemilerde yakıt sarfiyat tespitinde Avrupa Birliği standartlarına uyumlu olarak geminin cinsi, grostonu, makine gücü (BHP, kW) ve seyir süreleri esas alınmıştır. Bu kapsamda özgün yakıt tüketimi katsayısı (K), tarihler gün ay yıl olarak belirtilmiştir.

IMO 2020 kuralı gereği, eğer gemiye baca gazı yıkama sistemi kurulmuşsa yüksek sülfürlü ağır yakıt (HFO), kurulmamışsa düşük sülfürlü ağır yakıt (VLSFO) veya dizel yakıtı seçimlerinden bir tanesi kullanılmak zorundadır.

$$1\ kW = 1{,}34\ BHP \tag{3.1}$$

(3.1) nolu formülasyona göre [26]:

kW : kilowatt

BHP : beygir gücü

$$K_{F/O} = 100\frac{gr}{BHP.saat} = 134\frac{gr}{kW.saat} \tag{3.2}$$

(3.2) nolu formülasyona göre [26]:

$K_{F/O}$: Fuel oil özgün yakıt tüketim katsayısı

$$K_{D/O} = 118\frac{gr}{BHP.saat} = 158{,}12\frac{gr}{kW.saat} \tag{3.3}$$

(3.3) nolu formülasyona göre [26]:

$K_{D/O}$: Dizel oil özgün yakıt tüketim katsayısı

Yıllık yakıt değerlerinin ortalama maliyetinin hesaplaması için Basit Ortalama Maliyet formülasyonu kullanılmıştır. Bu formülasyonda $\sum X$ değeri kısmına toplam gün sayısı, $\sum C$ değeri kısmına toplam yakıt değeri koyulmuştur.

3.2. ANALİZDE KULLANILAN VERİLER

Analizde tablo 3.1, tablo 3.2 ve tablo 3.3'teki toplam 100 geminin özellikleri kullanılmıştır. 2021 yılı İstanbul merkez olmak üzere Akdeniz ve Karadeniz kıyı limanlarından alınan ortalama yakıt fiyat verileri kullanılmış olup para birimi Amerikan Doları cinsinden verilmiştir.

Ayrıca tablo 3.4'da 3 farklı firmanın ortalama baca gazı yıkama sistemi kurulum maliyetleri de verilmiştir.

Tablo 3. 1: Referans alınan 1 ile 40 gemilerin özellikleri

	Type	*DWT*	*GT*	*NT*	*LOA*	*Beam*	*Year Built*	*Country*	*BHP*	*KW*
1	TANKER	7076	5281	1991	104,93	19	1998	JAPAN	4027	3000
2	GENERAL CARGO	6186	4463	2608	110,5	17,5	1992	JAPAN	4027	3000
3	BULK CARRIER	9999	6186	3055	116,23	18	2014	CHINA	4038	3008
4	TANKER	9055	6445	2914	117,6	19	2011	CHINA	4038	3008
5	TANKER	5698	3978	1793	105,5	16,6	2009	CHINA	4079	3039
6	GENERAL CARGO	8063	5629	2877	108,14	18,48	2008	CHINA	4079	3039
7	GENERAL CARGO	7608	5688	3144	110,8	18,2	2009	CHINA	4200	3129
8	GENERAL CARGO	7362	4438	2588	100,78	18,5	2000	JAPAN	4200	3129
9	GENERAL CARGO	7833	4737	2905	100,52	19,23	1997	JAPAN	4200	3129
10	GENERAL CARGO	8527	6154	3097	100,64	18,8	1997	JAPAN	4400	3278
11	GAS TANKER	5002	4312	1381	99,9	17,6	2011	JAPAN	4419	3292
12	GENERAL CARGO	10090	6381	3658	100,6	18,8	2002	JAPAN	4419	3292
13	GENERAL CARGO	8952	7141	2681	110	18,83	2011	TAIWAN	4499	3352
14	GENERAL CARGO	12223	7988	3928	140,3	20	2009	CHINA	4500	3353
15	TANKER	9057	6190	2898	117,5	19,02	2010	CHINA	4500	3353
16	TANKER	6221	4297	1799	118,02	17,1	1991	NETHERLANDS	4589	3419
17	TANKER	7530	5424	2444	112,7	17,6	2018	CHINA	4678	3485
18	TANKER	12000	8538	3561	139,98	20,2	2018	CHINA	4861	3621
19	GENERAL CARGO	5356	3958	1948	107,98	16,5	1992	GERMANY	4935	3677
20	GENERAL CARGO	5055	4276	2129	100,59	16,24	1997	CHINA	5017	3738
21	GENERAL CARGO	9646	6178	2726	100,68	18,8	1995	JAPAN	5130	3822
22	GENERAL CARGO	10320	7823	3252	115,48	19,6	2003	JAPAN	5279	3933
23	TANKER	8727	5372	2621	113,98	18,23	2000	JAPAN	5281	3934
24	TANKER	8981	5667	2743	114,4	18,2	2008	KOREA, SOUTH	5302	3950
25	GENERAL CARGO	12246	7792	4078	111,31	19,6	2012	JAPAN	5302	3950
26	GENERAL CARGO	5196	4150	2005	100,62	16,2	1997	CHINA	5384	4011
27	GENERAL CARGO	6962	4450	2141	100,58	18,8	1999	CHINA	5384	4011
28	GENERAL CARGO	11004	7350	3931	114,58	18,8	2010	VIETNAM	5389	4015
29	GENERAL CARGO	11008	7350	3931	114,58	18,8	2010	VIETNAM	5389	4015
30	GENERAL CARGO	9387	6872	3414	109,83	18,2	2012	CHINA	5438	4051
31	GAS TANKER	7638	5961	2007	121	19,22	1997	JAPAN	5699	4246
32	GENERAL CARGO	9743	9004	3075	119,35	19,6	2003	JAPAN	5699	4246
33	CONTAINER	6231	4631	2157	113,8	16,2	1999	TURKEY	5812	4330
34	BULK CARRIER	16730	9865	5617	134,93	23	2007	JAPAN	5846	4355
35	GENERAL CARGO	10585	7767	3856	145,63	18,29	2005	NETHERLANDS	5873	4375
36	BULK CARRIER	24803	15824	8861	159,9	24,4	2008	CHINA	5982	4457
37	GENERAL CARGO	12625	10177	3053	142,8	32,24	2009	CHINA	5982	4457
38	BULK CARRIER	19800	12979	6881	155,91	22,6	2010	CHINA	6000	4470
39	TANKER	12498	8473	3924	127,2	20,43	2007	KOREA, SOUTH	6037	4498
40	TANKER	12950	8499	4014	127,2	20,42	2007	KOREA, SOUTH	6060	4515

Tablo 3. 2: Referans alınan 41 ile 80 arasındaki gemilerin özellikleri

	Type	*DWT*	*GT*	*NT*	*LOA*	*Beam*	*Year Built*	*Country*	*BHP*	*KW*
41	TANKER	12983	8499	4014	127,2	20,42	2007	KOREA, SOUTH	6060	4515
42	TANKER	13078	8539	4117	128,6	20,42	2008	KOREA, SOUTH	6060	4515
43	TANKER	11259	7321	3582	129,5	19,8	2008	TURKEY	6118	4558
44	GAS TANKER	6539	5835	2091	119,29	18,2	2006	JAPAN	6160	4589
45	BULK CARRIER	8731	6200	1920	118,45	16,77	1987	KOREA, SOUTH	6599	4916
46	BULK CARRIER	26045	16405	9211	171,97	25,06	1997	CHINA	6635	4943
47	BULK CARRIER	24325	14704	8251	154,5	26,03	1995	JAPAN	6650	4954
48	GENERAL CARGO	10613	6352	2857	110,03	19,03	1999	JAPAN	6650	4954
49	BULK CARRIER	24823	14948	8472	158	25	2007	JAPAN	6650	4954
50	TANKER	12003	7361	3671	131,4	19,63	2002	JAPAN	6650	4954
51	TANKER	8400	5729	2954	125,4	18,2	2007	TURKEY	6690	4984
52	BULK CARRIER	18969	11666	6432	139,91	25	2009	JAPAN	7043	5247
53	BULK CARRIER	22019	14912	8109	159,9	24	2008	CHINA	7043	5247
54	BULK CARRIER	23612	14446	8548	150,52	26,05	1998	JAPAN	7200	5364
55	BULK CARRIER	23524	14754	7920	154,5	26,03	1996	JAPAN	7200	5364
56	GENERAL CARGO	32256	20238	10947	177,13	28,4	2007	JAPAN	7650	5699
57	BULK CARRIER	34334	21532	11200	179,96	30,04	2015	JAPAN	7777	5794
58	BULK CARRIER	32912	19984	11351	178	27,6	2010	CHINA	7926	5905
59	BULK CARRIER	28316	17027	10108	169,37	27,24	2015	JAPAN	7954	5926
60	BULK CARRIER	36371	21728	12253	176,5	28,8	2014	JAPAN	8076	6017
61	BULK CARRIER	26467	16041	9280	168,68	26,03	1996	CHINA	8258	6152
62	TANKER	20896	12105	6665	147,83	24,23	2007	JAPAN	8362	6230
63	BULK CARRIER	29828	17944	10748	170,7	27	2006	JAPAN	8362	6230
64	BULK CARRIER	33773	19828	11433	174,7	27,8	2004	JAPAN	8470	6310
65	BULK CARRIER	33773	19828	11433	174,7	27,8	2004	JAPAN	8470	6310
66	BULK CARRIER	31780	19994	10883	177,48	28,24	2011	CHINA	8565	6381
67	GENERAL CARGO	29517	18597	9065	181	26,06	1998	CHINA	8701	6482
68	GENERAL CARGO	17500	12262	5443	143	21,8	2014	KOREA, SOUTH	8810	6563
69	BULK CARRIER	35045	22475	11913	179,88	28,85	2012	CHINA	8810	6563
70	BULK CARRIER	27797	18095	9315	169,03	27,05	1999	JAPAN	8900	6631
71	BULK CARRIER	32162	19828	10953	175,53	29,4	2008	JAPAN	9300	6929
72	TANKER	24035	16683	6399	168	26,4	2005	CROATIA	9517	7090
73	GENERAL CARGO	32259	19883	10780	171,6	27,03	2003	JAPAN	9600	7152
74	BULK CARRIER	46750	26778	15663	187,3	32,24	1998	JAPAN	9800	7301
75	GAS TANKER	23292	17980	5395	159	26,03	1998	JAPAN	9901	7376
76	TANKER	46408	28246	12481	182,94	32,23	1999	KOREA, SOUTH	10151	7562
77	BULK CARRIER	52262	30447	16985	190	32,29	2001	KOREA, SOUTH	10400	7748
78	BULK CARRIER	52471	30081	17927	189,99	32,29	2004	JAPAN	10605	7901
79	GENERAL CARGO	19465	14357	7005	159,99	23,73	2003	NETHERLANDS	10686	7961
80	BULK CARRIER	34420	23443	11526	180	30,05	2011	KOREA, SOUTH	10741	8002

Tablo 3. 3: Referans alınan 81 ile 100 arasındaki gemilerin özellikleri

	Type	*DWT*	*GT*	*NT*	*LOA*	*Beam*	*Year Built*	*Country*	*BHP*	*KW*
81	BULK CARRIER	61491	34614	20170	199,9	32,29	2016	CHINA	11054	8235
82	BULK CARRIER	43775	26897	13874	190	30,54	1996	KOREA, SOUTH	11271	8397
83	TANKER	47314	27526	14026	182,43	32,23	1998	CROATIA	11298	8417
84	BULK CARRIER	64214	37550	20055	225	32,24	1994	KOREA, SOUTH	11631	8665
85	TANKER	46319	27627	12769	182,85	32,22	2004	KOREA, SOUTH	11665	8690
86	TANKER	49708	28326	16175	184	32,23	2015	CROATIA	11801	8792
87	BULK CARRIER	72493	37831	23801	225	32,24	2000	JAPAN	12001	8941
88	BULK CARRIER	75658	40921	25963	225	32,3	2012	CHINA	12009	8947
89	BULK CARRIER	74009	38338	24681	225	32,26	1997	JAPAN	12099	9014
90	BULK CARRIER	60220	34808	19834	199,9	32,26	2016	JAPAN	12236	9116
91	TANKER	45663	28131	11696	179,88	32,23	2005	JAPAN	12599	9386
92	BULK CARRIER	56562	33035	19221	190,01	32,29	2012	CHINA	12889	9602
93	BULK CARRIER	56039	31238	18504	189,99	32,28	2007	JAPAN	12889	9602
94	GAS TANKER	29536	25937	7782	180	29,2	2007	KOREA, SOUTH	12889	9602
95	BULK CARRIER	56623	32962	19142	189,99	32,3	2011	CHINA	12889	9602
96	BULK CARRIER	54808	32390	18118	189,98	32,26	2010	CHINA	12889	9602
97	BULK CARRIER	56847	33042	19231	189,99	32,3	2009	CHINA	12889	9602
98	TANKER	51527	29733	13661	183	32,23	2008	KOREA, SOUTH	12900	9611
99	CONTAINER	13699	9948	5020	147,83	23,28	2007	CHINA	13233	9859
100	BULK CARRIER	75318	39691	25277	224,95	32,2	2003	JAPAN	13324	9926

Tablo 3. 4: Baca gazı yıkama sistemi maliyetleri

Makine Gücü	*1. Firma*	*2. Firma*	*3. Firma*	*Ortalama*
3000 kW - 5000 kW	$1.000.000	$1.250.000	$1.500.000	$1.250.000
5000 kW - 7000 kW	$1.500.000	$1.700.000	$2.000.000	$1.733.333
7000 kW - 10000 kW	$2.250.000	$2.650.000	$2.950.000	$2.616.667

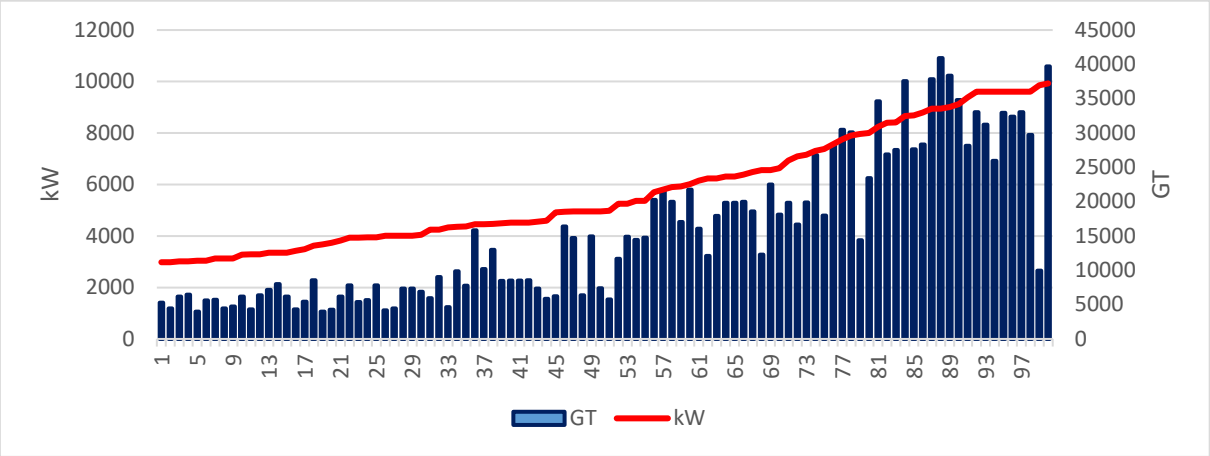
Baca gazı yıkama sistemi ile ilgili maliyetler tablo 3.4'de verilmiştir. Alınan fiyatlar ortalama fiyatlardır. Firmalardan alınan bilgilere göre gemiden gemiye, makine dairesinin yerleşim durumuna, kurulacak sistemin tipine ve kalitesine göre fiyatlar değişkenlik göstermektedir.

4. BULGULAR

Referans olarak belirlenen 100 geminin yakıt sarfiyatları hesaplanmıştır. 1 günde 1 kW enerji için 3.216 gr fuel oil tüketilmektedir. Kısıtlamalara göre bir takvim yılında 1 kW enerji için 868.320 gr (yaklaşık olarak 869 kg, 0,869 ton) fuel oil tüketilmektedir. 3.000 kW ve 10.000 kW arasındaki makinelerin yakıt tüketimi hesaplandığından tüketim aralığı 2.607 – 8.690 ton'dur (3.2). Dizel oil için 118gr/BHP.saat'tir. 1 saatte 1 kW enerji üretilmesi için tüketilen dizel oil miktarı 158,12 gr'dır (3.1). 1 günde 1 kW enerji için 3.794,88 gr dizel oil tüketilmektedir. Kısıtlamalara göre bir takvim yılında 1 kW enerji için 1.024.617,6 gr (yaklaşık olarak 1.025 kg, 1,025 ton) dizel oil tüketilmektedir. 3.000 kW ve 10.000 kW arasındaki makinelerin yakıt tüketimi hesaplandığından tüketim aralığı 3.075 – 10.250 ton'dur (3.3).

4.1. KİLOWATT'A GÖRE DWT, GT VE NRT İLİŞKİSİ

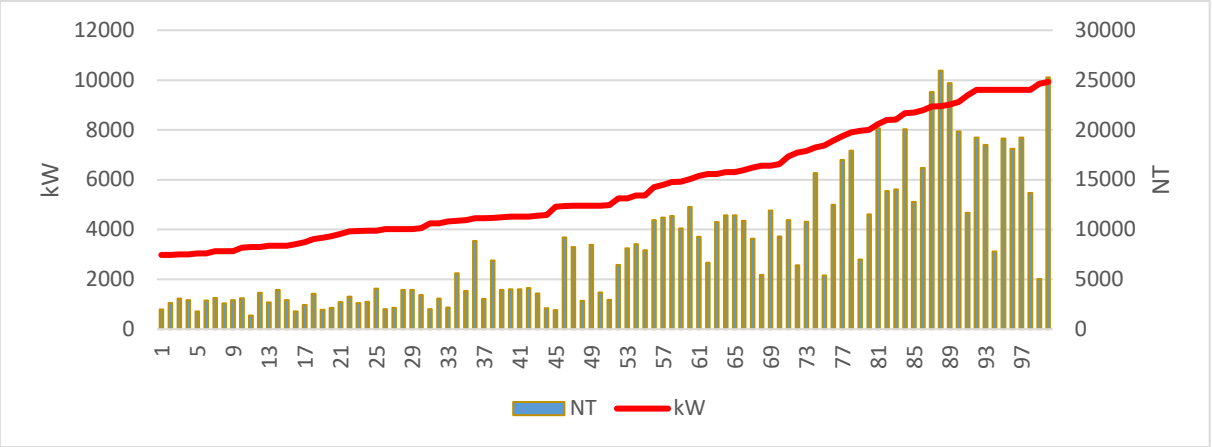
4.1.1. Groston ve Kilowatt İlişkisi



Şekil 4. 1: Referans 100 geminin GT ve kW arasındaki ilişki

Referans alınan 100 gemi GT ve kW değerleri grafiğe koyulmuş, GT ile kW arasında ilişki şekil 4.1'deki gibi çıkmıştır. Buna göre kW'taki artış GT'daki artış ile kısmen paralel bir artış izlediği görülmüştür. Ancak dalgalanmanın nedeni geminin tasarımı, tipi ve taşıdığı yüke göre farklı makine güçlerine ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır.

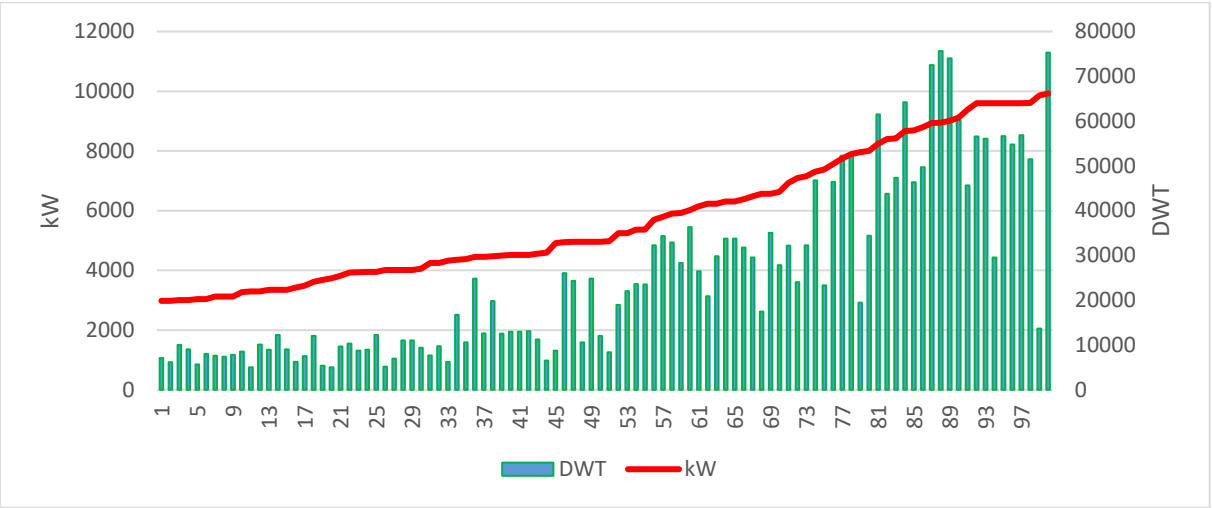
4.1.2. Net ton ve Kilowatt İlişkisi



Şekil 4. 2: Referans 100 geminin NT ve kW arasındaki ilişki

Şekil 4.2'de ki gibi NT, kW'a kısmen paralel bir artış izlediği görülmüştür. Ancak dalgalanmanın nedeni geminin değişik yükleri taşıyabilmesi için, ambar ve tank tasarımına göre, farklı makine güçlerine ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır.

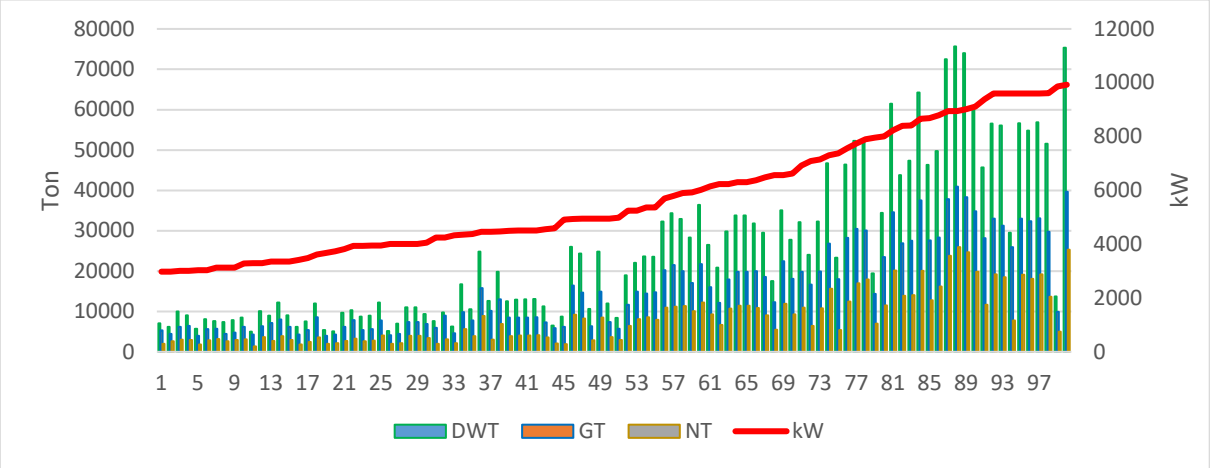
4.1.3. Deadweight Ton ve Kilowatt İlişkisi



Şekil 4. 3: Referans 100 geminin DWT ve kW arasındaki ilişki

Şekil 4.3'de ki gibi DWT, kW'a kısmen paralel bir artış izlediği görülmüştür. Ancak dalgalanmanın nedeni geminin taşıdığı kapasiteye ve yüke göre farklı makine güçlerine ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır.

4.1.4. Deadweight Ton, Netton ve Groston'un Kilowatt'a göre İlişkileri

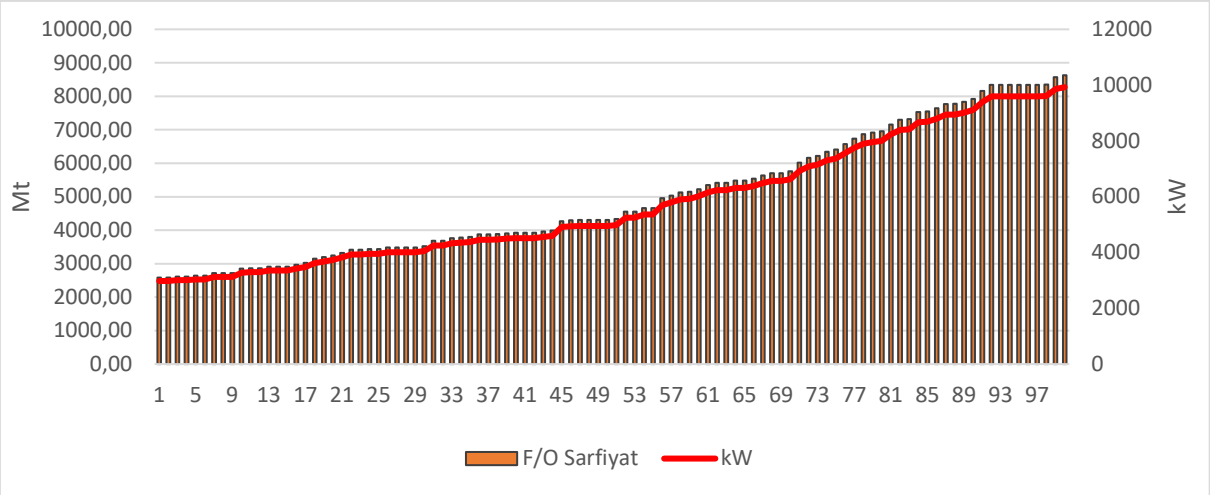


Şekil 4. 4: Referans 100 geminin DWT, NT ve GT ile kW arasındaki ilişki

Referans alınan 100 gemi karşılaştırıldığında DWT, NT ve GT şekil 4.4'teki gibi benzer oranlarda artmıştır. Ancak kW'taki değişim tonajın artmasında bir etken oluştursa da aynı tonajda olan gemilerin farklı kW değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeni gemi tasarımı, yük mahalleri, yük tipleri, çalışılan bölgeler farklı makine güçleri gerektirdiğindendir.

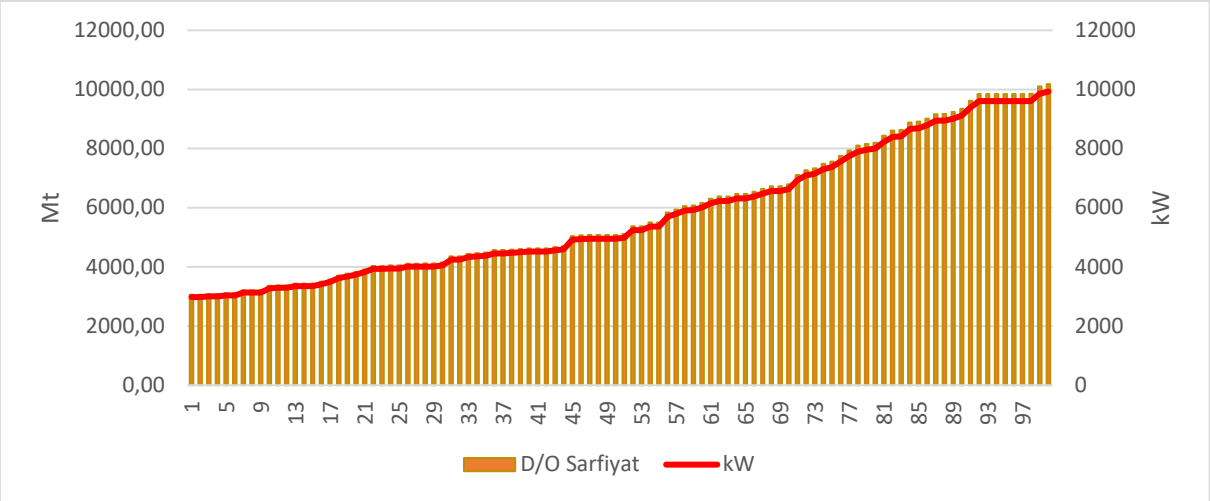
4.2. KİLOWATT'A GÖRE YAKIT SARFİYATLARI

Bir makinenin 1 saatte 1 kilowatt güç üretebilmesi için $K_{F/O}$ ve $K_{D/O}$ kadar yakıt sarf etmesi gerekmektedir (3.2) (3.3). Yıllık bazda fuel oil ve dizel oil sarfiyatları şekil 4.5 ve şekil 4.6'da verilmiştir.



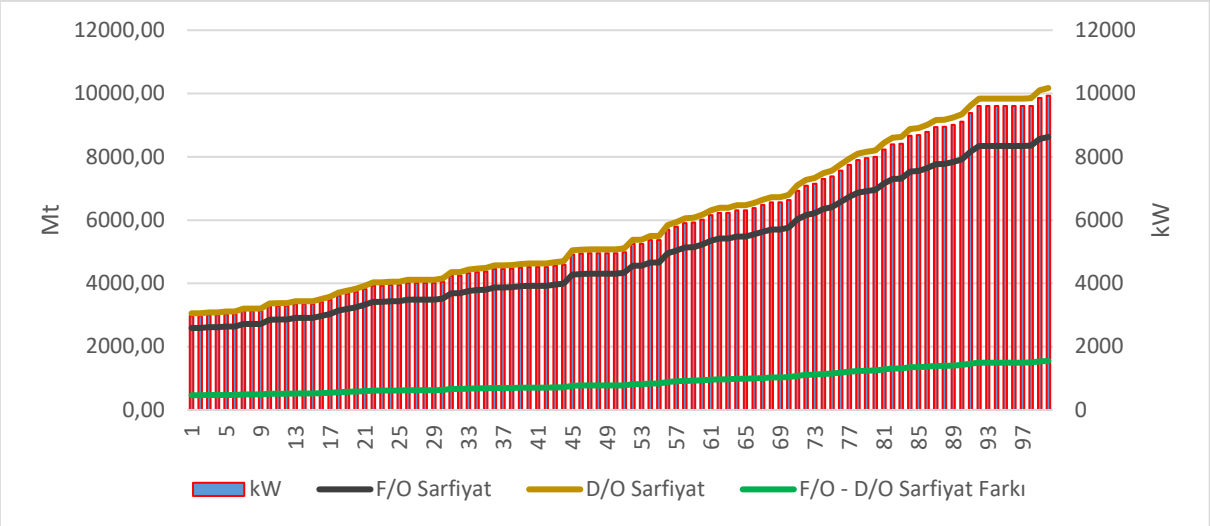
Şekil 4. 5: Referans 100 geminin yıllık bazdaki fuel oil sarfiyatı

Şekil 4.5'teki gibi kW'daki artışın doğrudan yakıt sarfiyatını etkilediği görülmüştür.



Şekil 4. 6: Referans 100 geminin yıllık bazdaki dizel oil sarfiyatı

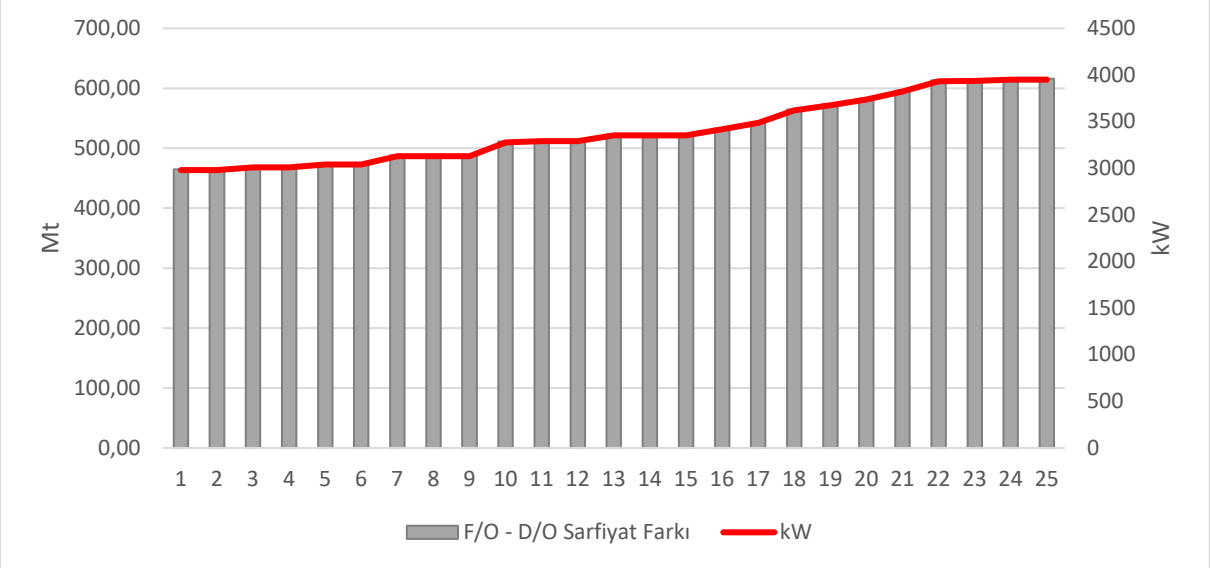
Şekil 4.6'daki gibi kW'daki artış doğrudan yakıt sarfiyatını etkilediği görülmüştür. Şekil 4.5 ve şekil 4.6 incelendiğinde yakıt sarfiyatının aynı kW değerini yakalayabilmek için, gemi ana makinesinde daha fazla dizel oil yakıldığı görülmüştür. Bu şekil 4.7 de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4. 7: Referans 100 geminin kW'a göre yıllık yakıt sarfiyatı ve farkı

Şekil 4.7'de referans alınan 100 gemi üzerinde yapılan analizde kW arttıkça F/O ve D/O yakıt sarfiyatları verilmiştir. Şekil 4.7'ye göre kW değeri arttıkça F/O ve D/O arasındaki sarfiyat farkının da arttığı görülmüştür.

4.2.1. 3000kW ile 4000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi



Şekil 4. 8: 3000 kW - 4000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı

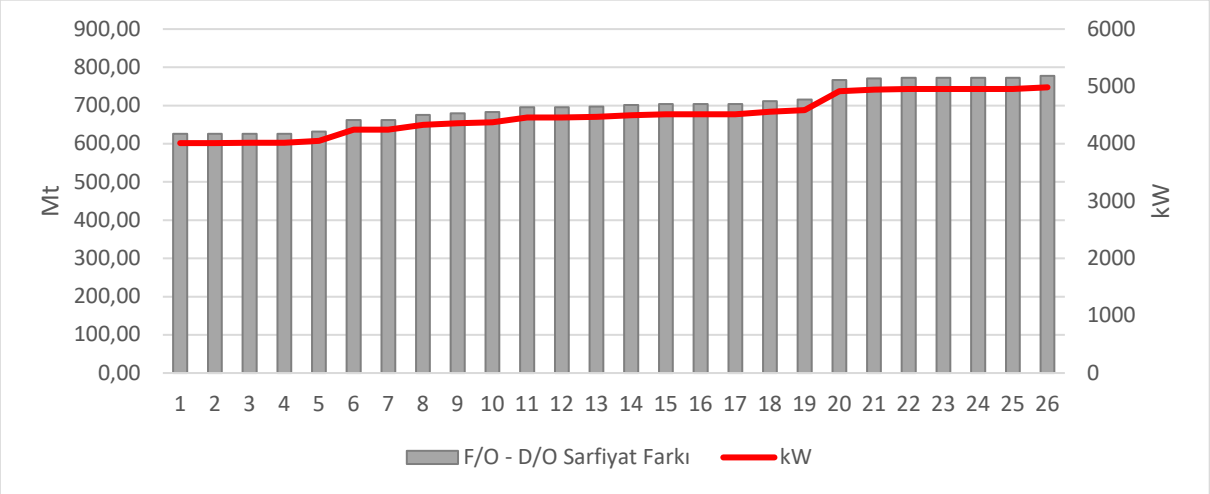
Şekil 4.8'de 3000 kW ile 4000 kW arasındaki referans gemilerin kW ve F/O ile D/O arasındaki yakıt sarfiyatının farkının grafiği verilmiş olup bu referans aralıktaki gemilerin özellikleri tablo 4.1'deki gibidir.

Tablo 4. 1: 3000 kW – 4000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri

	Gemi Tipi	*DWT*	*BHP*	*kW*	*F/O Sarfiyat Yıllık*	*D/O Sarfiyat Yıllık - Ton*	*F/O - D/O Sarfiyat Farkı – Yıllık - Ton*
1	Tanker	7076	4027	3000	2589,62	3054,50	464,88
2	Genel Kargo Gemisi	6186	4027	3000	2589,62	3054,50	464,88
3	Dökme Yük Gemisi	9999	4038	3008	2614,22	3083,52	469,30
4	Tanker	9055	4038	3008	2614,22	3083,52	469,30
5	Tanker	5698	4079	3038	2640,76	3114,83	474,06
6	Genel Kargo Gemisi	8063	4079	3038	2640,76	3114,83	474,06
7	Genel Kargo Gemisi	7608	4200	3129	2719,10	3207,23	488,12
8	Genel Kargo Gemisi	7362	4200	3129	2719,10	3207,23	488,12
9	Genel Kargo Gemisi	7833	4200	3129	2719,10	3207,23	488,12
10	Genel Kargo Gemisi	8527	4400	3278	2848,58	3359,95	511,37
11	Tanker	5002	4419	3292	2860,88	3374,46	513,58
12	Genel Kargo Gemisi	10090	4419	3292	2860,88	3374,46	513,58
13	Genel Kargo Gemisi	8952	4499	3351	2912,68	3435,55	522,87
14	Genel Kargo Gemisi	12223	4500	3352	2913,32	3436,31	522,99
15	Tanker	9057	4500	3352	2913,32	3436,31	522,99
16	Tanker	6221	4589	3418	2970,94	3504,28	533,33
17	Tanker	7530	4678	3485	3028,56	3572,24	543,68
18	Tanker	12000	4861	3621	3147,04	3711,98	564,95
19	Genel Kargo Gemisi	5356	4935	3676	3194,94	3768,49	573,55
20	Genel Kargo Gemisi	5055	5017	3737	3248,03	3831,11	583,08
21	Genel Kargo Gemisi	9646	5130	3821	3321,19	3917,40	596,21
22	Genel Kargo Gemisi	10320	5279	3932	3417,65	4031,18	613,53
23	Tanker	8727	5281	3934	3418,95	4032,70	613,76
24	Tanker	8981	5302	3950	3432,54	4048,74	616,20
25	Genel Kargo Gemisi	12246	5302	3950	3432,54	4048,74	616,20

Tablo 4.1'e göre yıllık yakıt sarfiyatı 3000 kW gücünde bir gemi için dizel oil bazında 3054,50 ton, fuel oil bazında 2589,62 ton olduğu görülmektedir ve bu 464,88 ton olarak bir farka karşılık gelmektedir. Aynı şekilde 3950 kW gücünde bir gemi için dizel oil bazında 4048,74 ton, fuel oil bazında 3432,54 ton sarfiyat olduğu görülmektedir ve bu 616,20 ton olarak bir farka karşılık gelmektedir. Yukarıdaki durum değerlendirildiğinde 3000 kW ile 4000 kW arasındaki 1000 kW'lık güç için yıllık olarak yaklaşık F/O bandında 842,92 ton, D/O bandında 994,24 ton sarfiyata ve dolayısı ile 151,32 ton D/O ve F/O farkına neden olmaktadır.

4.2.2. 4000kW ile 5000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi



Şekil 4. 9: 4000 kW - 5000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı

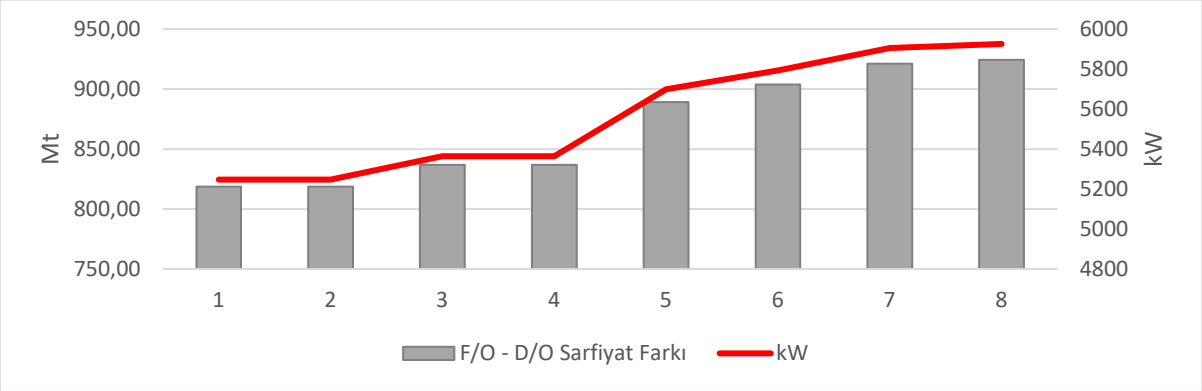
Şekil 4.9'de 4000 kW ile 5000 kW arasındaki referans gemilerin kW ve F/O ile D/O arasındaki yakıt sarfiyat farkının grafiği verilmiş olup bu referans aralıktaki gemilerin özellikleri tablo 4.2'deki gibidir.

Tablo 4. 2: 4000 kW – 5000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri

	Gemi Tipi	*DWT*	*BHP*	*kW*	*F/O Sarfiyat Yıllık*	*D/O Sarfiyat Yıllık - Ton*	*F/O - D/O Sarfiyat Farkı – Yıllık - Ton*
1	Genel Kargo Gemisi	5196	5384	4011	3485,63	4111,36	625,73
2	Genel Kargo Gemisi	6962	5384	4011	3485,63	4111,36	625,73
3	Genel Kargo Gemisi	11004	5389	4015	3488,87	4115,18	626,31
4	Genel Kargo Gemisi	11008	5389	4015	3488,87	4115,18	626,31
5	Genel Kargo Gemisi	9387	5438	4051	3520,59	4152,59	632,00
6	Tanker	7638	5699	4246	3689,56	4351,90	662,34
7	Genel Kargo Gemisi	9743	5699	4246	3689,56	4351,90	662,34
8	Konteyner Gemisi	6231	5812	4330	3762,72	4438,19	675,47
9	Dökme Yük Gemisi	16730	5846	4355	3784,73	4464,15	679,42
10	Genel Kargo Gemisi	10585	5873	4375	3802,21	4484,77	682,56
11	Dökme Yük Gemisi	24803	5982	4457	3872,78	4568,00	695,23
12	Genel Kargo Gemisi	12625	5982	4457	3872,78	4568,00	695,23
13	Dökme Yük Gemisi	19800	6000	4470	3884,43	4581,75	697,32
14	Tanker	12498	6037	4498	3908,38	4610,00	701,62
15	Tanker	12950	6060	4515	3923,27	4627,57	704,29
16	Tanker	12983	6060	4515	3923,27	4627,57	704,29
17	Tanker	13078	6060	4515	3923,27	4627,57	704,29
18	Tanker	11259	6118	4558	3960,82	4671,86	711,03
19	Tanker	6539	6160	4589	3988,01	4703,93	715,92
20	Dökme Yük Gemisi	8731	6599	4916	4272,23	5039,16	766,94
21	Dökme Yük Gemisi	26045	6635	4943	4295,53	5066,65	771,12
22	Dökme Yük Gemisi	24325	6650	4954	4305,24	5078,11	772,86
23	Genel Kargo Gemisi	10613	6650	4954	4305,24	5078,11	772,86
24	Dökme Yük Gemisi	24823	6650	4954	4305,24	5078,11	772,86
25	Tanker	12003	6650	4954	4305,24	5078,11	772,86
26	Tanker	8400	6690	4984	4331,14	5108,65	777,51

Tablo 4.2'ye göre yıllık yakıt sarfiyatı 4011 kW gücünde bir gemi için dizel oil bandında 4111,36 ton, fuel oil bazında 3485,63 ton olduğu görülmektedir ve bu 625,73 ton olarak bir farka karşılık gelmektedir. Aynı şekilde 4984 kW gücünde bir gemi için dizel oil bazında 5108,65 ton, fuel oil bazında 4331,14 ton sarfiyat olduğu görülmektedir ve bu 777,51 ton olarak bir farka karşılık gelmektedir. Yukarıdaki durum değerlendirildiğinde 4000 kW ile 5000 kW arasındaki 1000 kW'lık güç için yıllık olarak yaklaşık F/O bandında 845,51 ton, D/O bandında 997,29 ton sarfiyata ve dolayısı ile 151,78 ton D/O ve F/O farkına neden olmaktadır.

4.2.3. 5000kW ile 6000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi



Şekil 4. 10: 5000 kW - 6000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı

Şekil 4.10'de 5000 kW ile 6000 kW arasındaki referans gemilerin kW ve F/O ile D/O arasındaki yakıt sarfiyat farkının grafiği verilmiş olup bu referans aralıktaki gemilerin özellikleri tablo 4.3'deki gibidir.

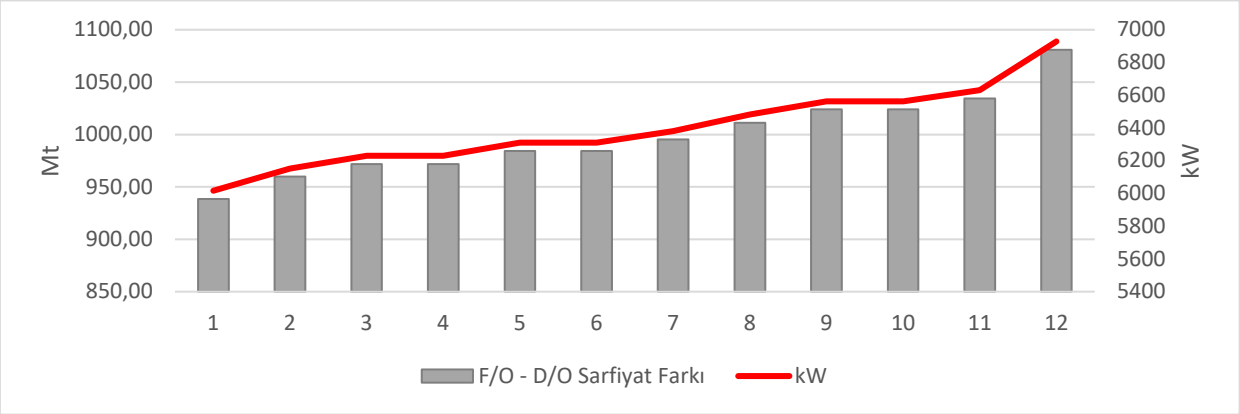
Tablo 4. 3: 5000 kW – 6000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri

	Gemi Tipi	*DWT*	*BHP*	*kW*	*F/O Sarfiyat Yıllık*	*D/O Sarfiyat Yıllık - Ton*	*F/O - D/O Sarfiyat Farkı – Yıllık - Ton*
1	Dökme Yük Gemisi	18969	7043	5247	4559,67	5378,21	818,54
2	Dökme Yük Gemisi	22019	7043	5247	4559,67	5378,21	818,54
3	Dökme Yük Gemisi	23612	7200	5364	4661,32	5498,10	836,78
4	Dökme Yük Gemisi	23524	7200	5364	4661,32	5498,10	836,78
5	Genel Kargo Gemisi	32256	7650	5699	4952,65	5841,73	889,08
6	Dökme Yük Gemisi	34334	7777	5794	5034,87	5938,71	903,84
7	Dökme Yük Gemisi	32912	7926	5905	5131,33	6052,49	921,16
8	Dökme Yük Gemisi	28316	7954	5926	5149,46	6073,87	924,41

Tablo 4.3'ye göre yıllık yakıt sarfiyatı 5247 kW gücünde bir gemi için dizel oil bandında 5378,21 ton, fuel oil bazında 4559,67 ton olduğu görülmektedir ve bu 818,54 ton olarak bir farka karşılık gelmektedir. Aynı şekilde 5926 kW gücünde bir gemi için dizel oil bazında 6073,87 ton, fuel oil bazında 5149,46 ton sarfiyat olduğu görülmektedir ve bu 924,41 ton olarak

bir farka karşılık gelmektedir. Yukarıdaki durum değerlendirildiğinde 5200 kW ile 6000 kW arasındaki 800 kW'lık güç için yıllık olarak yaklaşık F/O bandında 589,79 ton, D/O bandında 695,66 ton sarfiyata ve dolayısı ile 105,87 ton D/O ve F/O farkına neden olmaktadır.

4.2.4. 6000kW ile 7000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi



Şekil 4. 11: 6000 kW - 7000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı

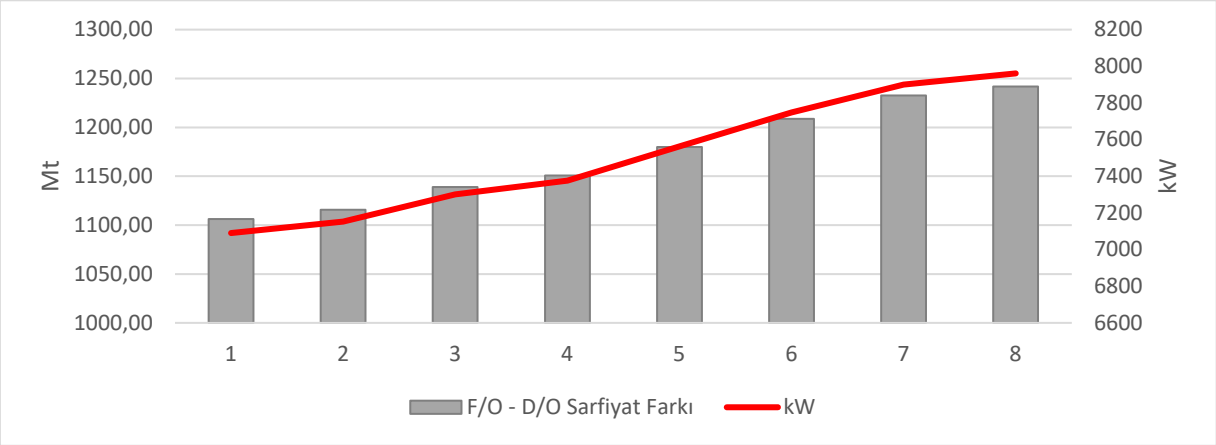
Şekil 4.11'de 5000 kW ile 6000 kW arasındaki referans gemilerin kW ve F/O ile D/O arasındaki yakıt sarfiyat farkının grafiği verilmiş olup bu referans aralıktaki gemilerin özellikleri tablo 4.4'deki gibidir.

Tablo 4. 4: 6000 kW – 7000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri

	Gemi Tipi	*DWT*	*BHP*	*kW*	*F/O Sarfiyat Yıllık*	*D/O Sarfiyat Yıllık - Ton*	*F/O - D/O Sarfiyat Farkı – Yıllık - Ton*
1	Dökme Yük Gemisi	36371	8076	6017	5228,44	6167,04	938,59
2	Dökme Yük Gemisi	26467	8258	6152	5346,27	6306,02	959,74
3	Tanker	20896	8362	6230	5413,60	6385,43	971,83
4	Dökme Yük Gemisi	29828	8362	6230	5413,60	6385,43	971,83
5	Dökme Yük Gemisi	33773	8470	6310	5483,52	6467,90	984,38
6	Dökme Yük Gemisi	33773	8470	6310	5483,52	6467,90	984,38
7	Dökme Yük Gemisi	31780	8565	6381	5545,02	6540,45	995,42
8	Genel Kargo Gemisi	29517	8701	6482	5633,07	6644,30	1011,23
9	Genel Kargo Gemisi	17500	8810	6563	5703,64	6727,54	1023,90
10	Dökme Yük Gemisi	35045	8810	6563	5703,64	6727,54	1023,90
11	Dökme Yük Gemisi	27797	8900	6631	5761,90	6796,26	1034,36
12	Dökme Yük Gemisi	32162	9300	6929	6020,87	7101,71	1080,85

Tablo 4.4'ye göre yıllık yakıt sarfiyatı 6017 kW gücünde bir gemi için dizel oil bandında 6167,04 ton, fuel oil bazında 5228,44 ton olduğu görülmektedir ve bu 938,6 ton olarak bir farka karşılık gelmektedir. Aynı şekilde 6929 kW gücünde bir gemi için dizel oil bazında 7101,71 ton, fuel oil bazında 6020,87 ton sarfiyat olduğu görülmektedir ve bu 1080,84 ton olarak bir farka karşılık gelmektedir. Yukarıdaki durum değerlendirildiğinde 6000 kW ile 7000 kW arasındaki 1000 kW'lık güç için yıllık olarak yaklaşık F/O bandında 792,43 ton, D/O bandında 984,67 ton sarfiyata ve dolayısı ile 142,24 ton D/O ve F/O farkına neden olmaktadır.

4.2.5. 7000kW ile 8000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi



Şekil 4. 12: 7000 kW - 8000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı

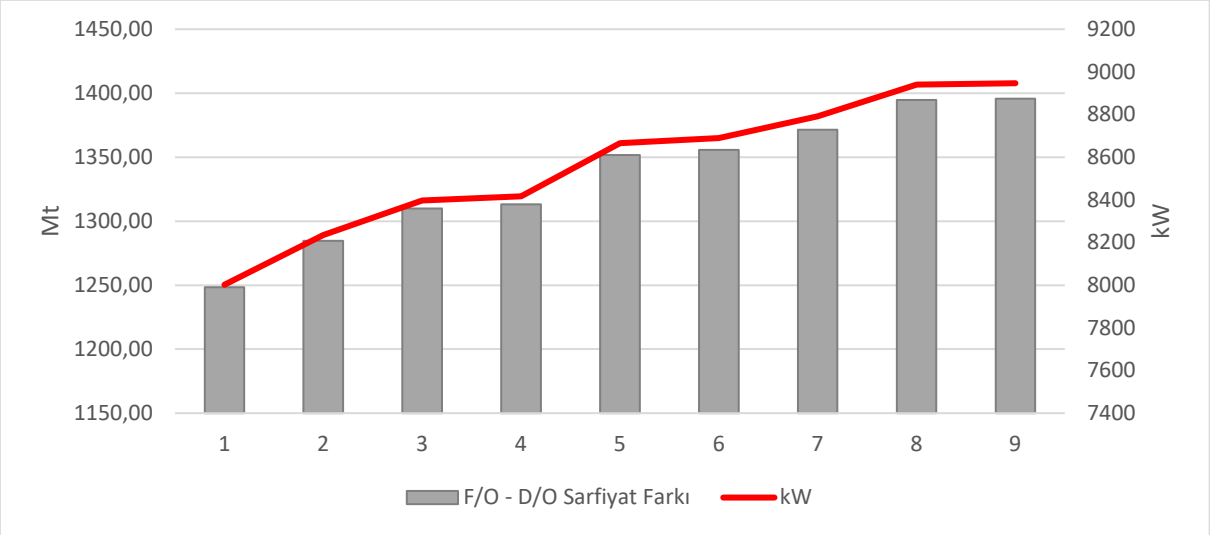
Şekil 4.12'de 7000 kW ile 8000 kW arasındaki referans gemilerin kW ve F/O ile D/O arasındaki yakıt sarfiyat farkının grafiği verilmiş olup bu referans aralıktaki gemilerin özellikleri tablo 4.5'deki gibidir.

Tablo 4. 5: 7000 kW – 8000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri

	Gemi Tipi	*DWT*	*BHP*	*kW*	*F/O Sarfiyat Yıllık*	*D/O Sarfiyat Yıllık - Ton*	*F/O - D/O Sarfiyat Farkı – Yıllık - Ton*
1	Tanker	24035	9517	7090	6161,35	7267,42	1106,07
2	Genel Kargo Gemisi	32259	9600	7152	6215,09	7330,80	1115,71
3	Dökme Yük Gemisi	46750	9800	7301	6344,57	7483,53	1138,96
4	Tanker	23292	9901	7376	6409,96	7560,65	1150,69
5	Tanker	46408	10151	7562	6571,81	7751,56	1179,75
6	Dökme Yük Gemisi	52262	10400	7748	6733,01	7941,70	1208,69
7	Dökme Yük Gemisi	52471	10605	7901	6865,73	8098,24	1232,51
8	Genel Kargo Gemisi	19465	10686	7961	6918,17	8160,10	1241,93

Tablo 4.5'e göre yıllık yakıt sarfiyatı 7090 kW gücünde bir gemi için dizel oil bazında 7267,42 ton, fuel oil bazında 6161,35 ton olduğu görülmektedir ve bu 1106,07 ton olarak bir farka karşılık gelmektedir. Aynı şekilde 7961 kW gücünde bir gemi için dizel oil bazında 8160,10 ton, fuel oil bazında 6918,17 ton sarfiyat olduğu görülmektedir ve bu 1241,93 ton olarak bir farka karşılık gelmektedir. Yukarıdaki durum değerlendirildiğinde 7000 kW ile 8000 kW arasındaki 1000 kW'lık güç için yıllık olarak yaklaşık F/O bandında 756,82 ton, D/O bandında 892,68 ton sarfiyata ve dolayısı ile 135,86 ton D/O ve F/O farkına neden olmaktadır.

4.2.6. 8000kW ile 9000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi



Şekil 4. 13: 8000 kW - 9000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı

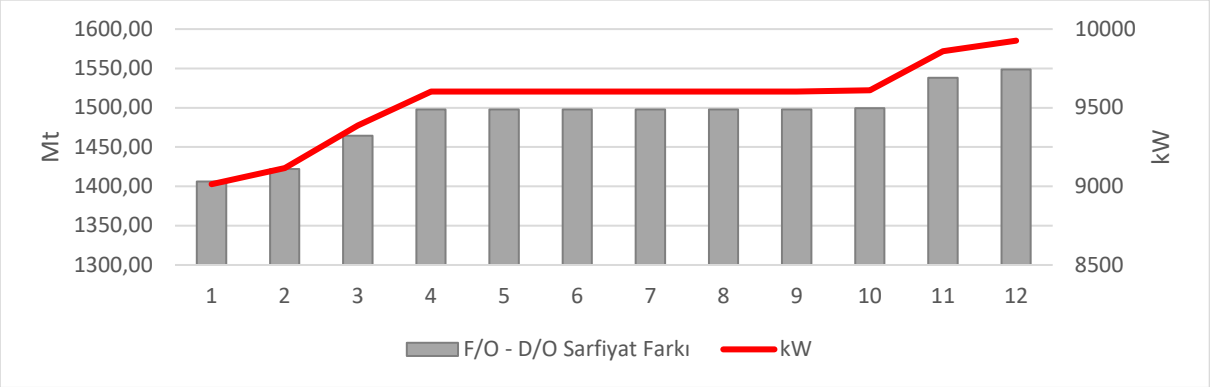
Şekil 4.13'de 8000 kW ile 9000 kW arasındaki referans gemilerin kW ve F/O ile D/O arasındaki yakıt sarfiyat farkının grafiği verilmiş olup bu referans aralıktaki gemilerin özellikleri tablo 4.6'deki gibidir.

Tablo 4. 6: 8000 kW – 9000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri

	Gemi Tipi	*DWT*	*BHP*	*kW*	*F/O Sarfiyat Yıllık*	*D/O Sarfiyat Yıllık - Ton*	*F/O - D/O Sarfiyat Farkı – Yıllık - Ton*
1	Dökme Yük Gemisi	34420	10741	8002	6953,78	8202,10	1248,32
2	Dökme Yük Gemisi	61491	11054	8235	7156,41	8441,11	1284,70
3	Dökme Yük Gemisi	43775	11271	8397	7296,90	8606,82	1309,92
4	Tanker	47314	11298	8417	7314,38	8627,44	1313,05
5	Dökme Yük Gemisi	64214	11631	8665	7529,97	8881,72	1351,75
6	Tanker	46319	11665	8690	7551,98	8907,69	1355,71
7	Tanker	49708	11801	8792	7640,03	9011,54	1371,51
8	Dökme Yük Gemisi	72493	12001	8941	7769,51	9164,26	1394,76
9	Dökme Yük Gemisi	75658	12009	8947	7774,69	9170,37	1395,69

Tablo 4.6'ye göre yıllık yakıt sarfiyatı 8002 kW gücünde bir gemi için dizel oil bazında 8202,10 ton, fuel oil bazında 6953,78 ton olduğu görülmektedir ve bu 1248,32 ton olarak bir farka karşılık gelmektedir. Aynı şekilde 8947 kW gücünde bir gemi için dizel oil bazında 9170,37 ton, fuel oil bazında 7774,69 ton sarfiyat olduğu görülmektedir ve bu 1395,68 ton olarak bir farka karşılık gelmektedir. Yukarıdaki durum değerlendirildiğinde 8000 kW ile 9000 kW arasındaki 1000 kW'lık güç için yıllık olarak yaklaşık F/O bandında 820,91 ton, D/O bandında 968,27 ton sarfiyata ve dolayısı ile 147,36 ton D/O ve F/O farkına neden olmaktadır.

4.2.7. 9000kW ile 10000kW Arasındaki Referans Alınan Gemilerin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi



Şekil 4. 14:9000 kW - 10000 kW arasındaki gemilerin kW ve F/O - D/O yıllık yakıt sarfiyat farkı

Şekil 4.14'de 7000 kW ile 8000 kW arasındaki referans gemilerin kW ve F/O ile D/O arasındaki yakıt sarfiyat farkının grafiği verilmiş olup bu referans aralıktaki gemilerin özellikleri tablo 4.7'deki gibidir.

Tablo 4. 7: 8000 kW – 9000 kW arasındaki referans gemilerin özellikleri

	Gemi Tipi	*DWT*	*BHP*	*kW*	*F/O Sarfiyat Yıllık*	*D/O Sarfiyat Yıllık - Ton*	*F/O - D/O Sarfiyat Farkı – Yıllık - Ton*
1	Dökme Yük Gemisi	74009	12099	9014	7832,95	9239,10	1406,15
2	Dökme Yük Gemisi	60220	12236	9116	7921,65	9343,72	1422,07
3	Tanker	45663	12599	9386	8156,66	9620,91	1464,26
4	Dökme Yük Gemisi	56562	12889	9602	8344,40	9842,36	1497,96
5	Dökme Yük Gemisi	56039	12889	9602	8344,40	9842,36	1497,96
6	Tanker	29536	12889	9602	8344,40	9842,36	1497,96
7	Dökme Yük Gemisi	56623	12889	9602	8344,40	9842,36	1497,96
8	Dökme Yük Gemisi	54808	12889	9602	8344,40	9842,36	1497,96
9	Dökme Yük Gemisi	56847	12889	9602	8344,40	9842,36	1497,96
10	Tanker	51527	12900	9611	8351,52	9850,76	1499,24
11	Konteyner Gemisi	13699	13233	9859	8567,11	10105,05	1537,94
12	Dökme Yük Gemisi	75318	13324	9926	8626,02	10174,54	1548,52

Tablo 4.6'ye göre yıllık yakıt sarfiyatı 9014 kW gücünde bir gemi için dizel oil bazında 9239,10 ton, fuel oil bazında 7832,95 ton olduğu görülmektedir ve bu 1406,15 ton olarak bir farka

karşılık gelmektedir. Aynı şekilde 9926 kW gücünde bir gemi için dizel oil bazında 10174,54 ton, fuel oil bazında 8626,02 ton sarfiyat olduğu görülmektedir ve bu 1548,52 ton olarak bir farka karşılık gelmektedir. Yukarıdaki durum değerlendirildiğinde 9000 kW ile 10000 kW arasındaki 1000 kW'lık güç için yıllık olarak yaklaşık F/O bandında 793,07 ton, D/O bandında 935,44 ton sarfiyata ve dolayısı ile 142,37 ton D/O ve F/O farkına neden olmaktadır.

4.2.8. Referans Alınan 8 Geminin Yakıt Sarfiyatının İncelenmesi

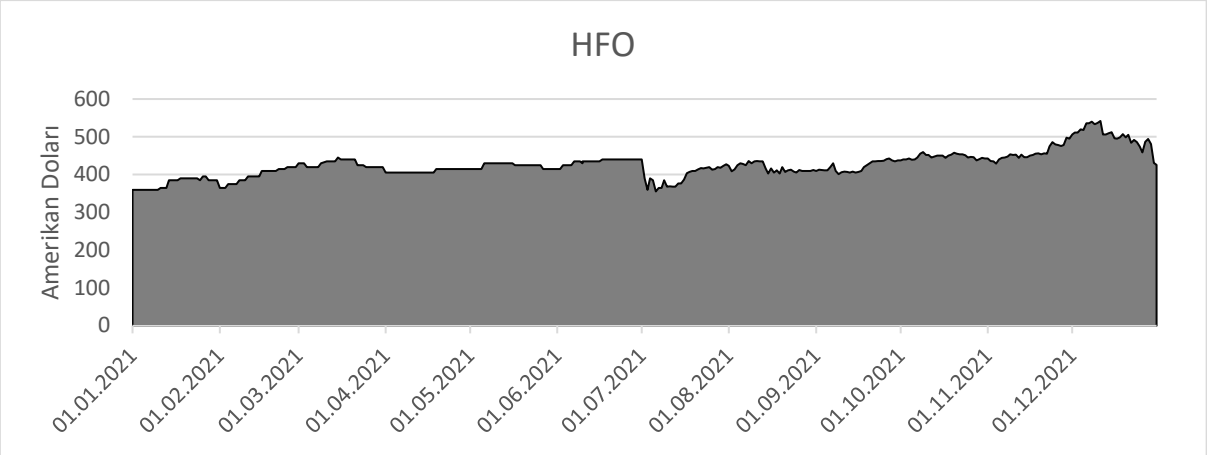
Tablo 3.8'de belirtilen her yaklaşık olarak her 1000 kW aralıktaki gemilerin yakıt sarfiyatları verilmiştir.

Tablo 4. 8: 3000 kW – 10000 kW arası referans 8 geminin yıllık yakıt sarfiyat tablosu

	DWT	*BHP*	*kW*	*F/O Sarfiyat Yıllık*	*D/O Sarfiyat Yıllık - Ton*	*F/O - D/O Sarfiyat Farkı – Yıllık - Ton*
1	9999	4038	3008	2614,22	3083,52	469,30
2	5196	5384	4011	3485,63	4111,36	625,73
3	8400	6690	4984	4331,14	5108,65	777,51
4	36371	8076	6017	5228,44	6167,04	938,59
5	24035	9517	7090	6161,35	7267,42	1106,07
6	34420	10741	8002	6953,78	8202,10	1248,32
7	74009	12099	9014	7832,95	9239,10	1406,15
8	75318	13324	9926	8626,02	10174,54	1548,52

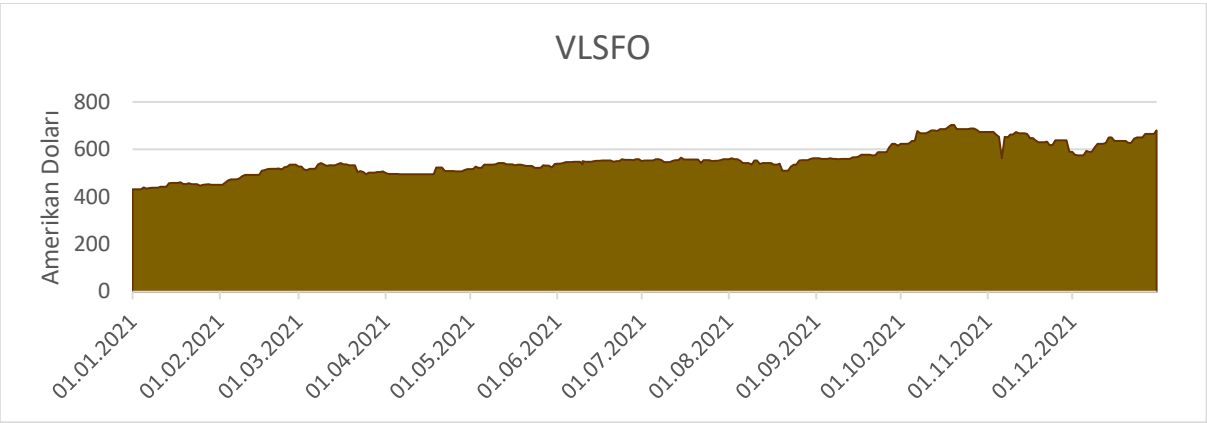
4.3. KİLOWATT'A GÖRE YAKIT MALİYETLERİ

Analizde kullanılan yakıt fiyatları 2021 yılı verileriyle hesaplanmıştır ve grafiğe yansıtılmıştır. Yakıt fiyat hesabı tablosu İstanbul- Türkiye merkez olmak üzere Karadeniz ve Akdeniz yakıt fiyatlarının ortalaması göze alınarak oluşturulmuştur. Analizde ve yapılan çalışmada yüksek sülfürlü fuel oil (HFO), düşük sülfürlü fuel oil (VLSFO) ve dizel yakıtlarının 2021 yılı fiyatları kullanılmıştır. Fiyatlandırma Amerikan Dolarıdır.



Şekil 4. 15: HFO 2021 yılı Amerikan Doları bazında fiyat grafiği

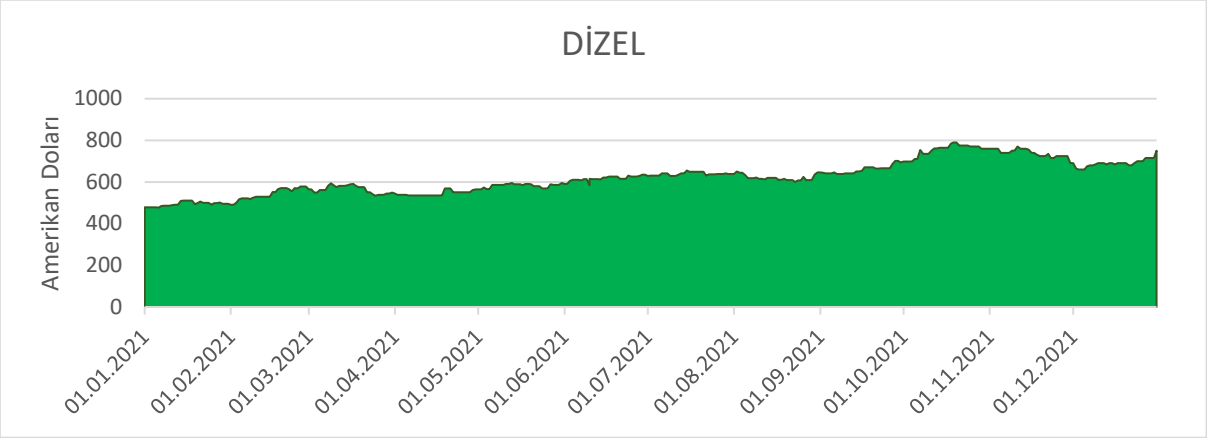
Yüksek sülfürlü yakıt fiyatları 2021 yılı grafiği şekil 4.15'te verilmiştir. 2021 ilk çeyreğinde ortalama 401 Amerikan Doları bandında seyretmiş, ikinci çeyreğinde ortalama 422 Amerikan Dolarına yükselmiştir. Üçüncü çeyreğinde ortalama 411 Amerikan Dolarına gerilemiştir. Yılın son çeyreğinde yüksek bir artış göstererek ortalama 469 Amerikan Doları olmuştur. 2021 yılı fiyatları ise ortalama 426 Amerikan Doları bandında olmuştur.



Şekil 4. 16: VLSFO 2021 yılı Amerikan Doları bazında fiyat grafiği

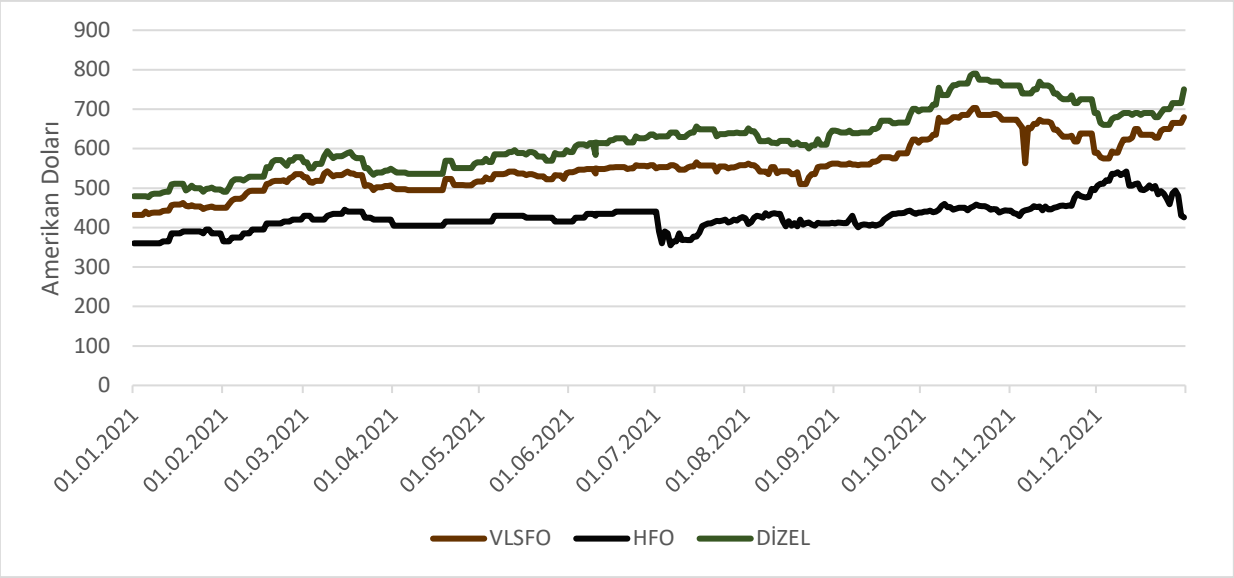
Düşük sülfürlü yakıt fiyatları 2021 yılı grafiği şekil 4.16'te verilmiştir. 2021 ilk çeyreğinde ortalama 489 Amerikan Doları bandında seyretmiş, ikinci çeyreğinde ortalama 528 Amerikan

Dolarına yükselmiştir. Üçüncü çeyreğinde yükselmeye devam etmiş, ortalama 558 Amerikan Doları olmuştur. Yılın son çeyreğinde yüksek bir artış göstererek ortalama 648 Amerikan Dolarına çıkmıştır. 2021 yılı fiyatları ise ortalama 556 Amerikan Doları bandında seyretmiştir.



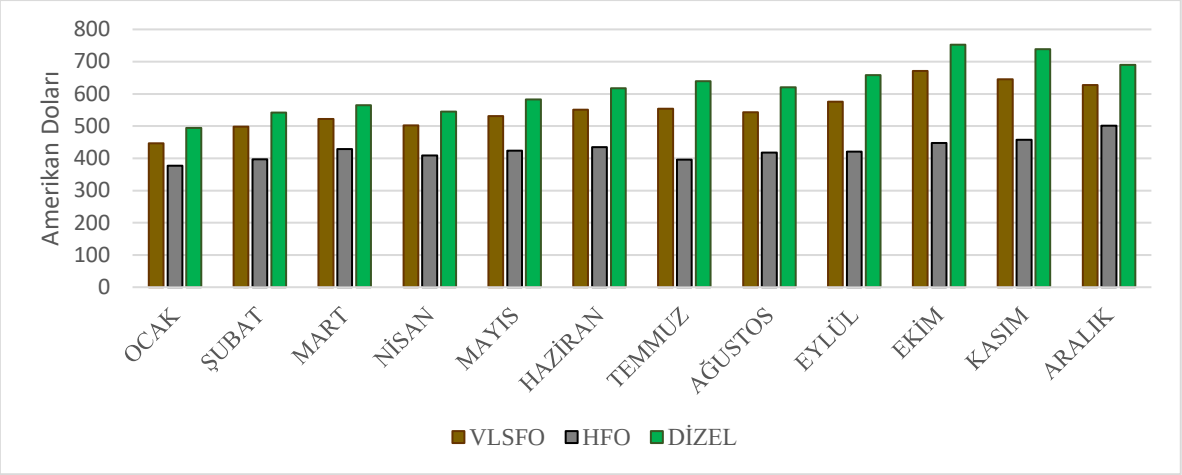
Şekil 4. 17: Dizel 2021 yılı Amerikan Doları bazında fiyat grafiği

Dizel yakıt fiyatları 2021 yılı grafiği şekil 4.17'te verilmiştir. 2021 ilk çeyreğinde ortalama 533 Amerikan Doları bandında seyretmiş, ikinci çeyreğinde ortalama 582 Amerikan Dolarına yükselmiştir. Üçüncü çeyreğinde yükselmeye devam etmiş ortalama 639 Amerikan Doları olmuştur. Yılın son çeyreğinde yüksek bir artış göstererek ortalama 727 Amerikan Doları olmuştur. 2021 yılı fiyatları ise ortalama 621 Amerikan Doları bandında seyretmiştir.



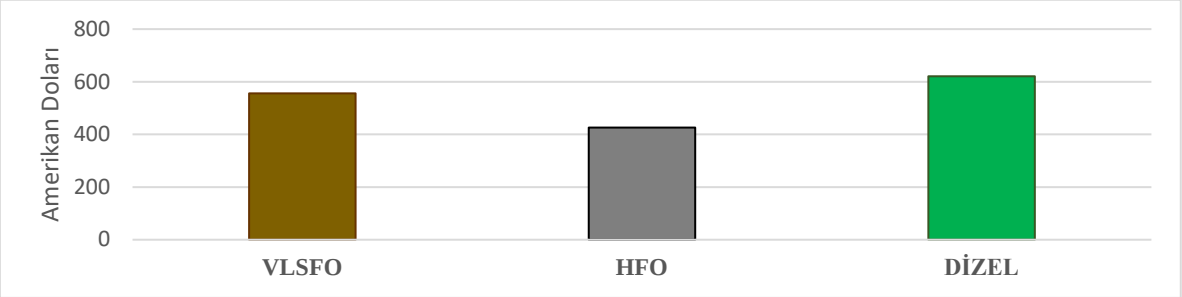
Şekil 4. 18: 2021 yılı Amerikan Doları bazında yakıt fiyatları karşılaştırma grafiği

Şekil 4.18'de görüldüğü üzere 2021 yılı yakıt fiyatlarının karşılaştırılmasında dizel yakıt fiyatları diğer yakıtlara göre daha yüksektir. Önceki analizlerimizde belirttiğimiz üzere diğer yakıtlara göre gemi makinesinde aynı gücü alabilmek için, fazla dizel yakıt sarf edilmesi gerekmektedir. Sekil 4.19'deki grafikleri incelediğimizde düşük sülfürlü yakıt fiyatları dizel yakıta göre yakın seyretmiştir. Grafiklere bakıldığında fiyat olarak genellikle artışlar gözlenmektedir.



Şekil 4. 19: 2021 yılı Amerikan Doları bazında yakıt fiyatlarının aylık ortalaması

Şekil 4.19'de ve tablo 2021 yılı düşük sülfürlü yakıt, yüksek sülfürlü yakıt ve dizel yakıt aylık fiyat ortalamaları verilmiştir. Grafikte yılın ilk yarısında fiyatlarda artışlar görülmüştür, ancak ikinci yarısında fiyatlarda yüksek artışlarla karşılaşılmıştır.



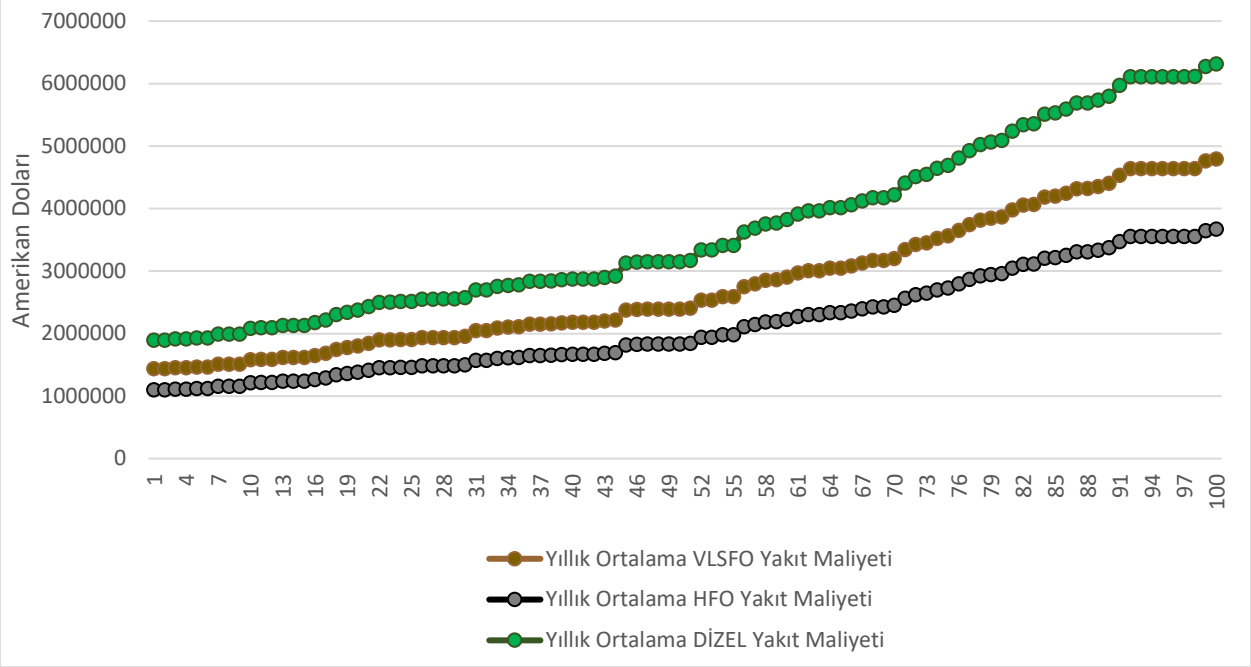
Şekil 4. 20: 2021 yılı Amerikan Doları bazında yakıt fiyatlarının yıllık ortalaması

Şekil 4.19, şekil 4.20 ve tablo 4.9'da aylık ve yıllık yakıtların fiyat ortalamaları verilmiştir. Düşük sülfürlü yakıt ve dizel yakıt arasında 2021 yılı ortalama fiyat farkı en az Şubat, Mart ve Nisan ayları olmuş, en fazla ortalama fiyat farkı Kasım ayında gerçekleşmiştir. Düşük sülfürlü yakıt ve yüksek sülfürlü yakıt arasında 2021 yılı ortalama fiyat farkı en az Ocak ayı olmuş, en fazla ortalama fiyat farkı Ekim ayında gerçekleşmiştir.

Tablo 4. 9: 2021 yılı aylık ve ortalama yakıt fiyatları (Amerikan Doları cinsinden)

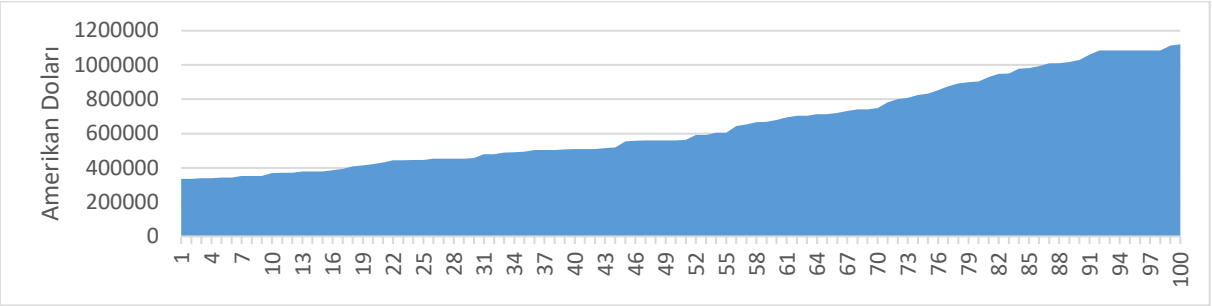
	VLSFO	*HFO*	*DİZEL*
OCAK	447	377	494
ŞUBAT	498	397	541
MART	522	429	564
NİSAN	503	409	545
MAYIS	531	424	582
HAZİRAN	550	435	618
TEMMUZ	554	396	639
AĞUSTOS	543	418	620
EYLÜL	576	421	658
EKİM	671	447	753
KASIM	645	457	739
ARALIK	627	501	690
ORTALAMA	**556**	**426**	**621**

4.4. REFERANS 100 GEMİNİN YILLIK BAZDA YAKIT MALİYETLERİ



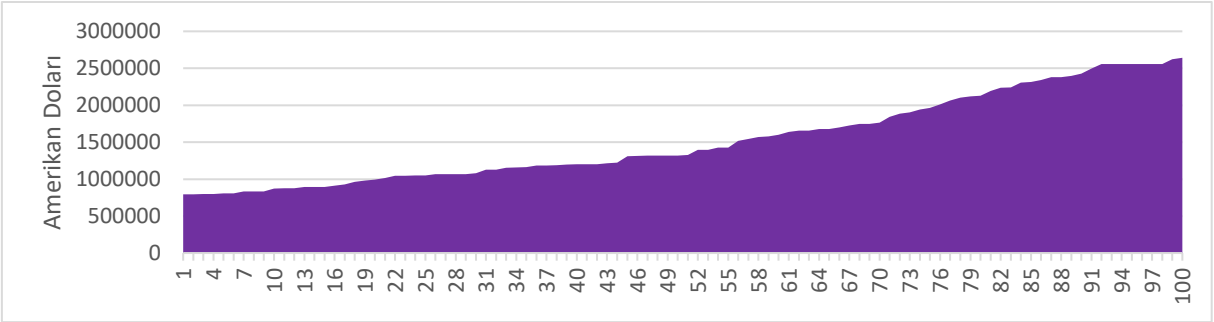
Şekil 4. 21: Referans 100 geminin yıllık yakıt maliyet karşılaştırması (Amerikan Doları cinsinden)

Şekil 4.21'de referans olarak alınan 100 geminin düşük kilowatt'tan yüksek kilowatt'a doğru ayrı ayrı yakıt maliyetleri hesaplanmış ve grafik oluşturulmuştur. Kilowatt arttıkça yakıt sarfiyatları arasındaki fark açılmış dolayısıyla maliyetin arttığı gözlenmiştir.



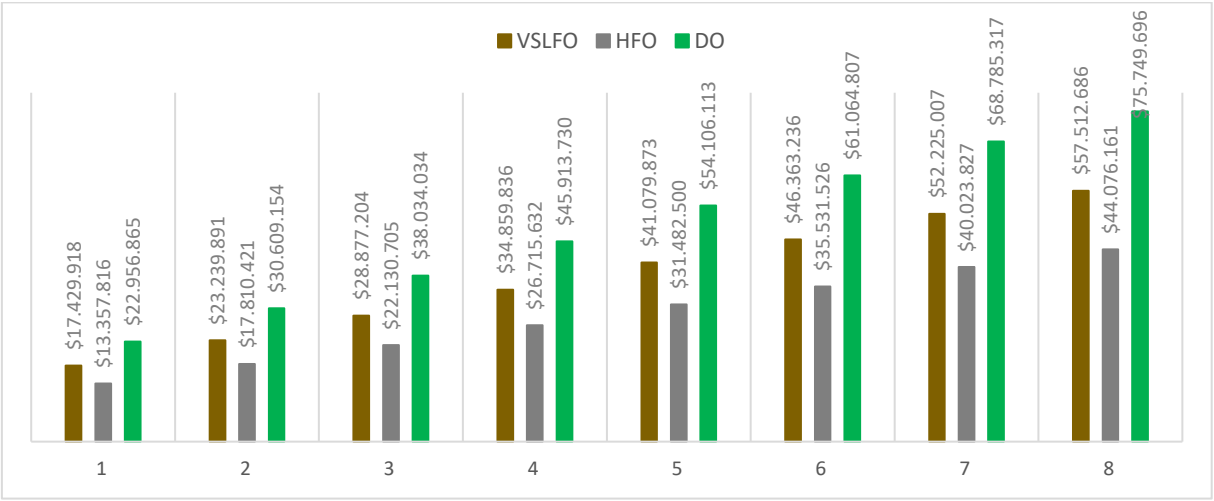
Şekil 4. 22: Referans 100 geminin yıllık ortalama VLSFO - HFO yakıt maliyet farkı (Amerikan Doları cinsinden)

Şekil 4.22'de belirtilen grafikte 3000 kW gücünde bir makinenin yıllık düşük sülfürlü yakıt maliyeti ile yüksek sülfürlü yakıt maliyeti fiyat farkı ortalama 338.774,00 Amerikan Dolarıdır. 10.000 kW gücünde bir makinenin yıllık düşük sülfürlü yakıt maliyeti ile yüksek sülfürlü yakıt maliyeti fiyat farkı ortalama 1.129.248,00 Amerikan Doları olmuştur.



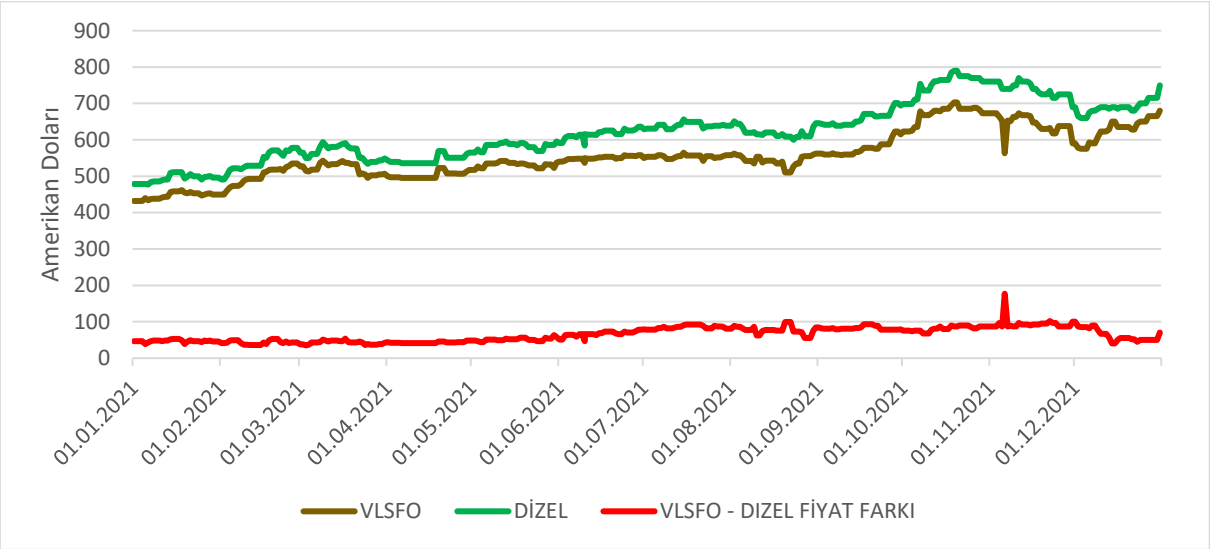
Şekil 4. 23: Referans 100 geminin yıllık ortalama DİZEL - VLSFO yakıt maliyet farkı (Amerikan Doları cinsinden)

Şekil 4.23'de belirtilen grafikte 3000 kW gücünde bir makinenin yıllık düşük sülfürlü yakıt maliyeti ile dizel yakıt maliyeti fiyat farkı ortalama 798.552,00 Amerikan Dolarıdır. 10.000 kW gücünde bir makinenin yıllık düşük sülfürlü yakıt maliyeti ile yüksek sülfürlü yakıt maliyeti fiyat farkı ortalama 2.661.841,00 Amerikan Dolarıdır.



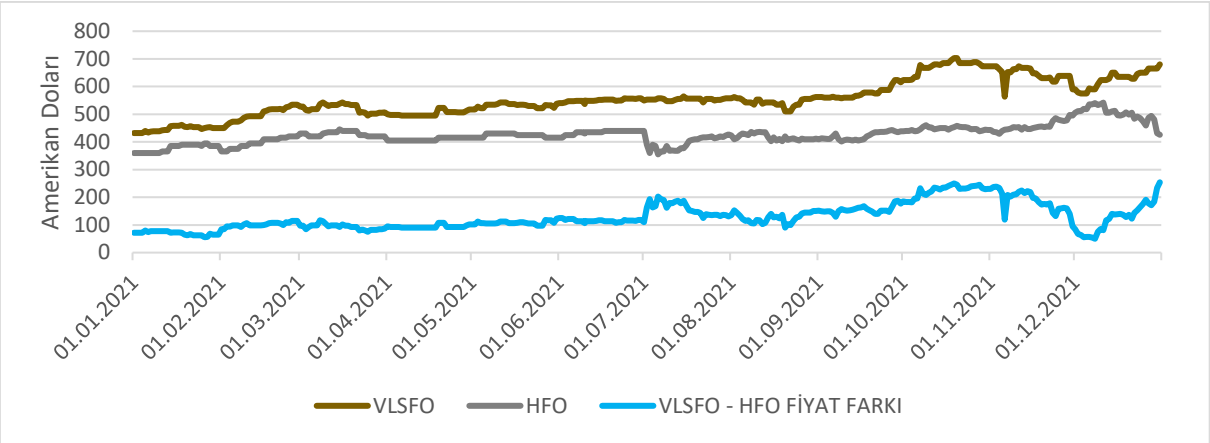
Şekil 4. 24: Referans 8 geminin 2021 yılı yakıt maliyetleri (Amerikan Doları cinsinden)

Tablo 4.8'de referans alınan 8 geminin 2021 yılı yakıt maliyetleri şekil 4.24'te verilmiştir. Yaklaşık olarak 1000 kW'lık arayla seçilen gemilerin 1000 kW güce harcadığı maliyetler hesaplanmıştır.



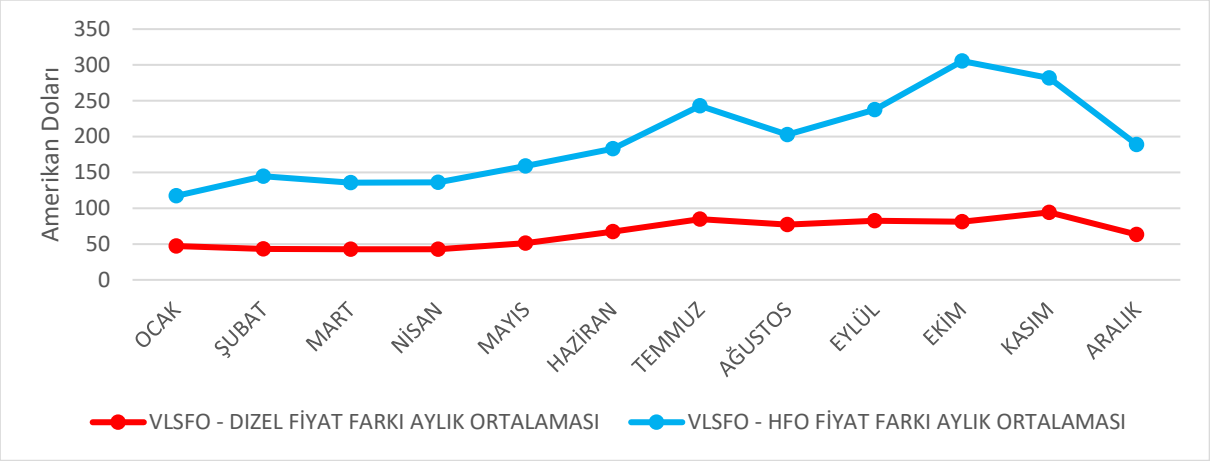
Şekil 4. 25: 2021 yılı VLSFO - Dizel yakıtların fiyat farkı (Amerikan Doları cinsinden)

Şekil 4.25'te yıllık bazda ton başına VLSFO ve dizel yakıtlarının fiyatları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada yakıt fiyat farkı 30 Amerikan Doları bandını da görmüş, 180 Amerikan Doları farkını da. Ortalama fiyat farkı yıl genelinde 65 Amerikan Doları olmuştur.



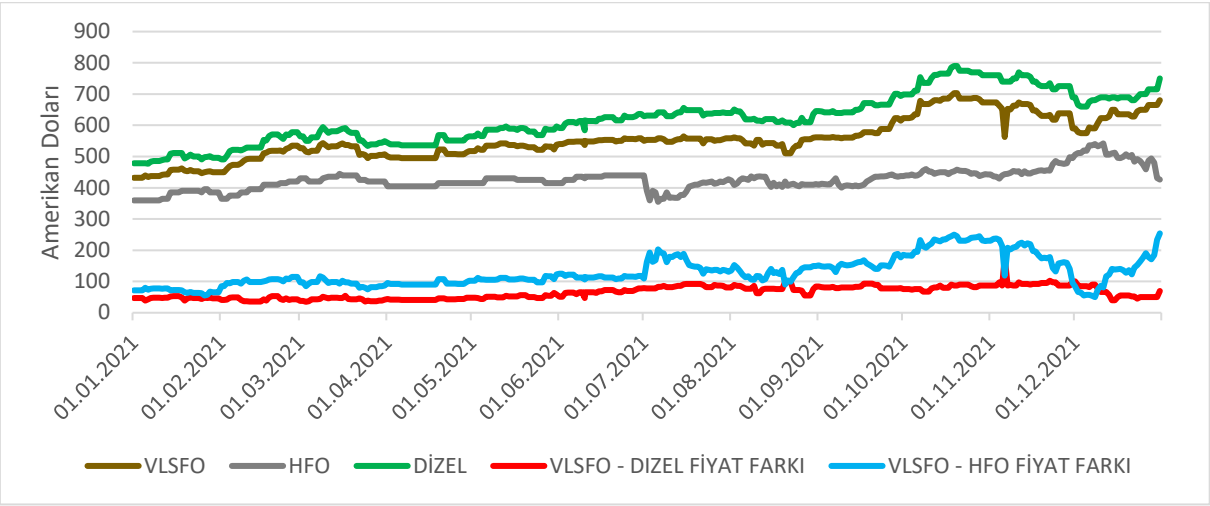
Şekil 4. 26: 2021 yılı VLSFO - HFO yakıtların fiyat farkı (Amerikan Doları cinsinden)

Şekil 4.26'te yıllık bazda ton başına VLSFO ve HFO yakıtlarının fiyatları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada yakıt fiyat farkı 55 Amerikan Doları bandını da görmüş, 250 Amerikan Doları farkını da. Ortalama fiyat farkı yıl genelinde 130 Amerikan Doları olmuştur.



Şekil 4. 27: 2021 yılı yakıt fiyatları farkı aylık ortalaması

Şekil 4.27'te 2021 yılı aylık ortalama bazında ton başına VLSFO-HFO ve VLSFO-Dizel yakıtlarının fiyatları karşılaştırılmıştır. Farkların karşılaştırılmasında en az fark ortalama 23 Amerikan Dolarıyla Ocak ayında oluşmuş, en çok fark ise ortalama 143 Amerikan Dolarıyla Ekim ayında olmuştur.



Şekil 4. 28: 2021 yılı yakıt fiyatları ve farkları karşılaştırması

Şekil 4.28'de 2021 yılı yakıt fiyatları ve fiyat farkları karşılaştırılmıştır. Dizel yakıt fiyatları 2021 yılında düşük sülfürlü yakıt fiyatlarının altına düşmemiş, aynı şekilde düşük sülfürlü yakıt fiyatları da yüksek sülfürlü yakıt fiyatlarının altına düşmemiştir.

Tablo 4. 10: 2021 yılı yakıt fiyat farkları ortalamaları (Amerikan Doları cinsinden)

	VLSFO - DIZEL FİYAT FARKI *AYLIK ORTALAMASI*	*VLSFO - HFO FİYAT FARKI* *AYLIK ORTALAMASI*
OCAK	47	70
ŞUBAT	43	102
MART	43	93
NİSAN	43	94
MAYIS	51	108
HAZİRAN	67	116
TEMMUZ	85	158
AĞUSTOS	77	126
EYLÜL	83	155
EKİM	81	224
KASIM	94	188
ARALIK	63	126
ORTALAMA	**65**	**130**

Tablo 4.10'de 2021 yılında aylık olarak yakıt fiyat farklarının ortalama fiyatları verilmiş ve yıllık ortalama hesaplanmıştır.

Tablo 4. 11: Referans 8 geminin yıllık ortalama yakıt maliyetleri (Amerikan Doları cinsinden)

kW	***F/O Sarfiyat***	***D/O Sarfiyat***	*Yıllık Ortalama VLSFO Yakıt Maliyeti*	*Yıllık Ortalama HFO Yakıt Maliyeti*	*Yıllık Ortalama DİZEL Yakıt Maliyeti*	*Yıllık Ortalama VSLFO - DİZEL Yakıt Maliyet Farkı*	*Yıllık Ortalama VSLFO - HFO Yakıt Maliyet Farkı*
3008	3083,52	3083,52	$ 1.714.258	$ 1.313.562	$ 1.914.408	$ 200.150	$ 400.697
4011	4111,36	4111,36	$ 2.285.678	$ 1.751.416	$ 2.552.544	$ 266.866	$ 534.262
4984	5108,65	5108,65	$ 2.840.116	$ 2.176.257	$ 3.171.717	$ 331.600	$ 663.859
6017	6167,04	6167,04	$ 3.428.517	$ 2.627.123	$ 3.828.817	$ 400.300	$ 801.394
7090	7267,42	7267,42	$ 4.040.267	$ 3.095.881	$ 4.511.992	$ 471.725	$ 944.386
8002	8202,10	8202,10	$ 4.559.894	$ 3.494.048	$ 5.092.288	$ 532.395	$ 1.065.846
9014	9239,10	9239,10	$ 5.136.407	$ 3.935.805	$ 5.736.114	$ 599.706	$ 1.200.602
9926	10174,54	10174,54	$ 5.656.459	$ 4.334.298	$ 6.316.884	$ 660.425	$ 1.322.161

Tablo 4.8'de referans alınan 8 geminin 2021 yılı yakıt maliyetleri tablo 4.11'de hesaplanmıştır. Tabloya göre yıllık bazda 3008 kW gücündeki bir makinede VLSFO ve Dizel yakıt maliyet farkı ortalama

200.000,00 Amerikan Doları olarak hesaplanmış, aynı makinede VLSFO ve HFO arasındaki yakıt maliyet farklı ortalama 400.000,00 Amerikan Doları olarak hesap edilmiştir. 9926 kW gücündeki bir makinede VLSFO ve Dizel yakıt maliyet farkı ortalama 650.000,00 Amerikan Doları olarak hesaplanmış olup, aynı makinede VLSFO ve HFO arasındaki yakıt maliyet farkı ortalama 1.350.000,00 Amerikan Doları olarak hesap edilmiştir.

Tablo 4. 12: Referans 8 gemi için yıllık yakıt maliyet farkı ve baca gazı yıkama sisteminin karşılaştırılması

kW	***F/O Sarfiyat***	***D/O Sarfiyat***	*Yıllık Ortalama VSLFO - DİZEL Yakıt Maliyet Farkı*	*Yıllık Ortalama VSLFO - HFO Yakıt Maliyet Farkı*	*Baca Gazı Yıkama Sistemi Kurulumu Ortalama Maliyeti*
3008	3083,52	3083,52	$ 200.150	$ 400.697	$1.250.000
4011	4111,36	4111,36	$ 266.866	$ 534.262	$1.250.000
4984	5108,65	5108,65	$ 331.600	$ 663.859	$1.733.333
6017	6167,04	6167,04	$ 400.300	$ 801.394	$1.733.333
7090	7267,42	7267,42	$ 471.725	$ 944.386	$2.616.667
8002	8202,10	8202,10	$ 532.395	$ 1.065.846	$2.616.667
9014	9239,10	9239,10	$ 599.706	$ 1.200.602	$2.616.667
9926	10174,54	10174,54	$ 660.425	$ 1.322.161	$2.616.667

Tablo 4.12'de görüldüğü üzere 3.000 – 5.000 kW arası gemilerde sefere bağlı olarak ortalama 3-4 yıl içerisinde, 5000 – 10000 kW arası gemilerde ise sefere bağlı olarak ortalama 2-3 yıl içerisinde kurulum maliyeti karşılayacağı ön görülmektedir. Ancak değişken yakıt fiyatları, piyasa koşulları gibi etkenler söz konusudur.

5. TARTIŞMA

IMO tarafından getirilen yeni düzenleme ve kuralların hava kirliliğini azaltacağı düşünülmektedir. Gemi sahipleri ve işleticilerinin bu kurala uyması için 3 yöntemleri vardır.

1. Gemilerde düşük sülfürlü (%0,5 Sülfür) yakıt kullanmak:

IMO 2020 sülfür kuralı gereği gemilerine baca gazı arıtma sistemi (scrubber) kurdurmak istemeyen gemi sahipleri veya işletenleri, düşük sülfürlü (%0,5 Sülfür) yakıt kullanmak zorundadır. Gemi sahipleri veya işleticileri maliyeti düşük olduğu için bu yöntemi seçebilirler. Ayrıca kısa vadede gemi makinesine zararı olduğu görülmemiştir. Baca gazı yıkama sisteminin kurulması kısa vadede yüksek maliyete sahip olacağından tercih edilmeyebilir. Düşük sülfürlü yakıtın (VLSFO) gemi makinelerine ve yardımcı sistemlerine vereceği zarar bilinmediğinden, gemi sahipleri ve işletenleri daha pahalı bir yakıt olan dizel yakıtı (%0,1 Sülfür) kullanmaya yönelebilirler. Dizel yakıtın kullanılması; geminin makine kondisyonunu daha iyi olmasını sağlar, ayrıca gemilerden kaynaklı hava kirliği aza indirgenmiş olur.

2. Baca gazı yıkama sistemi kurmak:

Gemi sahipleri veya işleticileri mevcut kullandıkları yakıtı değiştirmek yerine baca gazı yıkama sistemi kurdurabilirler. Kurulması için geminin tersane sürecine girmesi gerekebilir. Baca gazı yıkama sistemi maliyetli bir sistemdir. Tersane sürecinde gemi ticari faaliyet gösteremediğinden dolayı bana göre navlun kaybı da baca gazı yıkama sistemi kurulum maliyetleri arasında gösterilmelidir. Ek olarak bu maliyetlerin içerisine geminin işletme maliyetlerini de katmak gereklidir. Gemi sahipleri veya işletenleri bu denli yüksek maliyetli olan bu sistemi kurmayı göze almayabilirler. Ancak kısa vadede çok maliyetli gibi duran bu sistem, uzun vadede kâr sağlayabilir. Nitekim alışılagelmiş yakıtların kullanımından ziyade, yeni yakıtın gemi makinesine vereceği zarar, uzun vadede daha fazla maliyete denk gelebilir. Baca gazı yıkama sistemi sadece sülfür emilimini değil, diğer zararlı gazların da emilimini sağlayacağı için hava kirliliği konusunda iyi bir seçenektir. Hatta tüm yakıt türlerinde ekstra olarak emisyonu azaltmaktadır. Bu yüzden gelecekte tüm gemilere zorunlu olacağı düşünülmektedir.

3. Dizel yakıt (%0,1 Sülfür) kullanmak:

Dizel yakıt diğer yakıtlara göre çevreye daha az zarar verdiği için ECA bölgelerinde zorunludur. Gemi sahipleri veya işletenleri kısa vadede yüksek maliyeti olan baca gazı yıkama sistemini kurmak yerine veya gemi makinelerine nasıl bir etki bırakacağı bilinmeyen yeni nesil düşük sülfürlü yakıt yerine dizel yakıtı tercih edebilirler. Her ne kadar pahalı bir yakıt türü olsa da yukarıdakiler göz önüne alındığında gemi sahipleri veya işletenleri için avantajlı görülebilir. Dizel yakıt temiz bir yakıt olmasına karşın sürekli olarak makinede kullanımında bazı sorunları da beraberinde getirebilir. Sonuç olarak makine üreticileri her ne kadar dizel makine olarak gösterilse de bu makineler fuel oil yakmak için tasarlanmış makinelerdir. Ancak çoğu gemi sahibi ve işleticisi bu durumları göz önüne aldığında ve maliyet ön plana çıktığında yönelimleri 1. veya 2. seçenek çoğunlukla da 1. seçenek olacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

100 geminin özellikleri baz alınarak yapılan analizde farklı değişkenler ile karşılaşılmıştır. Bu değişkenlerden biri şüphesiz yakıtlardır. Enerjiyi karşılamak için alternatif kaynaklara yönelim, çevreci yakıtlar ve katılaşan kurallar yakıt piyasalarını etkilemiştir. 2020 yılı itibari ile IMO Emniyet Komitesi (MSC) ve Marpol ek VI'da belirtildiği üzere, Emisyon Kontrol Alanı (ECA) dışında kalan yerlerde %0,5 sülfür içerikli (VLSFO), içinde kalan yerlerde ise %0,1 sülfür içerikli (ULSFO, MDO, MGO) gibi yakıtların kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Sadece bu zorunluluktan baca gazı yıkama sistemleri kurulmuş olan gemiler muaf tutmuş, ancak o gemilerde de temizlenmiş baca gazının sülfür oranının IMO tarafından belirlenen oranın üstünde olmaması istenmiştir.

Bulguların ışığında yapılan maliyet analizlerinde, düşük sülfürlü yakıtın kullanımı dizel kullanımı ve yüksek sülfürlü yakıt kullanımı maliyetlerinin tam arasında kalmış olsa da dizel ile maliyet ortalaması ton başına 65 Amerikan Doları'na yakın bir grafik sergilemiştir. Sonuç sadece yakıt sarfiyatı maliyet göz önüne alınarak yapıldığı ve düşük sülfürlü yakıtın makineye olan zararından doğacak maliyetlerin araştırılması gerektiğidir.

Maliyetlerin aynı oranlarda artacağı varsayılırsa, baca gazı sistemi kurulumu uzun vadede yatırımcı için avantajlıdır. Ayrıca sistem kurulumu daha çevreci olarak göze çarpmaktadır. İlerleyen zamanda emisyonların daha da düşürülmesinde kurulmuş olması avantaj getirebilir.

Sonuç olarak, daha çevreci uzun vade düşünüldüğünde maliyeti daha az olan baca gazı yıkama sisteminin kurulumu tavsiye edilmektedir. Konu farklı değişkenlere sahip olup, daha net sonuçlar için detaylı izleme ve araştırma yapılmalıdır. Ayrıca gerçek zamanlı olarak aynı makine gücündeki gemilerde farklı yakıt kullanımı, yakıtların maliyeti, makinelerin servis ve bakım maliyetleri hesaba katılmalıdır.

KAYNAKLAR

[1]. İnak, D., 2022, Gemi Kaynaklı Emisyonların Türk Boğazları ve Marmara Denizi için İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

[2]. Ejder, E., 2020, *Gemi Kaynaklı Egzoz Emisyonları Azaltma Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[3]. Ekin, F., 2016, *Bir Gemi Dizel Motorunda Dizayn ve İşletme Parametrelerinin Performans ve Emisyon Değerleri Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[4]. Işık, Y.A., 2020, *Gemi Yakıtlarında Hidrojen Katkısının Kullanımı; Bir Dizel Motordaki Salım Değerleri Üzerine Etkisinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi,* Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[5]. Özcumalı, R.U., 2007, *Biyodizelin Bir Gemi Dizel Motorunun Egzoz Emisyon Karakteristiklerine Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[6]. Türkcan, A., 2006, *Bir Dizel Motorun Performans Parametrelerinin Deneysel Tespiti,* Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[7]. Özsoysal, O.A., 2021, *Gemi Dizel Motorları Arıza ve Nedenleri,* 2. Basım, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, ISBN: 978-625-402-591-4.

[8]. Halilbeşe, A.N., 2015, *Gemi Makinalarının Yataklanması ve Titreşim Etüdü,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[9]. Benek, G., 2013, *Gemi Dizel Makinalarında Biyodizel Yakıt Kullanımı,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[10]. Aygül O., Baştuğ, S., 2020, *Deniz Taşımacılığı Kaynaklı Hava Kirliliği ve İnsan Sağlığına Etkisi,* Journal of Maritime Transport and Logistics.

[11]. Bayraktar, M., Fidan, C.Ö.B., Cerit, A.G., 2018, *Yakıt Tipinin ve Hibrit Sevk Sisteminin Yakıt Tüketimine Etkisi: İzmir Alsancak Limanında Bir Hizmet Gemisi İçin Uygulama,* Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, ISSN:1309-4246.

[12]. Kalender, S.S., 2017, *Ultra Düşük Sülfürlü Dizel Yakıtın Gemilerden Salınan Partikül Madde ve Gaz Emisyonlarına Olan Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[13]. DTO, 2019, *Gemilerde Düşük Sülfürlü Yakıt Kullanımı Hk.* *https://www.denizticaretodasi.org.tr/tr/sirkuler/gemilerde-dusuk-sulfurlu-yakit-kullanimi-hk-11188*, [Ziyaret tarihi: Ocak 2021].

[14]. Okşaş, O., 2014, *İntermodal Taşımacılıkta Maliyet Analizi ile Optimum Taşıma Uzaklıklarının Belirlenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[15]. Küçükşahin, F., 2011, *Gemi Makineleri,* 1.Basım, Birsen Yayınevi, İstanbul, ISBN: 975-511-559-7.

[16]. Kesebol, S., 2012, *Gemi Dizel Motorlarındaki Hareketli Elemanlarda Oluşan Hasarlar ve Nedenleri,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[17]. Actual PV Diagrams Of 4 Stroke And 2 Stroke Marine Diesel Engines, *https://www.marinesite.info/2020/04/actual-pv-diagrams-of-4-stroke-and-2.html*, [Ziyaret tarihi: Aralık 2022].

[18]. Mucuk, M., Gerçeker, M., 2021, *Enerjide Dışa Bağımlılık Fosil Yakıtlar ve Yenilenebilir Enerji,* 1.Basım, Çizgi Kitabevi Yayınları, Konya, ISBN: 978-605-196-632-8.

[19]. Petrol Ürünleri, http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/5-petrol-urunleri.html, [Ziyaret tarihi: Aralık 2022].

[20]. Fuel Oiller, http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/fuel-oiller-1.html, [Ziyaret tarihi: Aralık 2022].

[21]. Başlayıcı, S., 2014, *Baca Gazındaki Düşük SO_2'nin Kalsine Dolamit Kullanılarak Tutulması,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[22]. Scrubber, https://www.bunkerist.com/scrubber/, [Ziyaret tarihi: Aralık 2022].

[23]. Gemilerde Düşük Sülfürlü Yakıt Kullanımı Hk., https://www.denizticaretodasi.org.tr/tr/sirkuler/gemilerde-dusuk-sulfurlu-yakit-kullanimi-hk-11188?page=1, [Ziyaret tarihi: Aralık 2022].

[24]. Hava Kirliliği ve Enerji Verimliliği Kurallarının Uygulanmasının Desteklenmesi, Microsoft Word - MARPOL-dönüştürüldü (armatorlerbirligi.org.tr), [Ziyaret tarihi: Aralık 2022].

[25]. Akdoğan, N., Gündüz, H.,E., Sevim, A., 2018, *Maliyet Muhasebesi*, Eskişehir, ISBN:978-975-06-2648-7.

[26]. Gemi Cinslerine Göre Yakıt Tüketim Kapasitelerinin Tespiti, http://atlantis.udhb.gov.tr/OTV2/Docs/s44.pdf, [Ziyaret tarihi: Aralık 2022].

EKLER

EK 1. 2021 YILI YAKIT FİYATLARI TABLOLARI

2021 yılı Ocak ayı yakıt fiyatları

	VLSFO	HFO	DİZEL		VLSFO	HFO	DİZEL
01.01.2021	$432	$360	$479	**17.01.2021**	$458	$385	$511
02.01.2021	$432	$360	$479	**18.01.2021**	$462	$390	$511
03.01.2021	$432	$360	$479	**19.01.2021**	$455	$390	$494
04.01.2021	$432	$360	$479	**20.01.2021**	$453	$390	$499
05.01.2021	$440	$360	$479	**21.01.2021**	$457	$390	$506
06.01.2021	$434	$360	$477	**22.01.2021**	$453	$390	$500
07.01.2021	$437	$360	$484	**23.01.2021**	$453	$390	$500
08.01.2021	$438	$360	$486	**24.01.2021**	$453	$390	$500
09.01.2021	$438	$360	$486	**25.01.2021**	$447	$385	$491
10.01.2021	$438	$360	$486	**26.01.2021**	$450	$395	$498
11.01.2021	$442	$365	$489	**27.01.2021**	$452	$395	$499
12.01.2021	$443	$365	$491	**28.01.2021**	$453	$385	$501
13.01.2021	$443	$365	$491	**29.01.2021**	$450	$385	$496
14.01.2021	$457	$385	$509	**30.01.2021**	$450	$385	$496
15.01.2021	$458	$385	$511	**31.01.2021**	$450	$385	$496
16.01.2021	$458	$385	$511				

2021 yılı Şubat ayı yakıt fiyatları

	VLSFO	HFO	DİZEL		VLSFO	HFO	DİZEL
01.02.2021	$450	$365	$491	**15.02.2021**	$493	$395	$529
02.02.2021	$450	$365	$491	**16.02.2021**	$510	$410	$553
03.02.2021	$460	$365	$502	**17.02.2021**	$512	$410	$551
04.02.2021	$469	$375	$517	**18.02.2021**	$517	$410	$566
05.02.2021	$473	$375	$522	**19.02.2021**	$518	$410	$571
06.02.2021	$473	$375	$522	**20.02.2021**	$518	$410	$571
07.02.2021	$473	$375	$522	**21.02.2021**	$518	$410	$571
08.02.2021	$478	$385	$519	**22.02.2021**	$520	$415	$564
09.02.2021	$487	$385	$524	**23.02.2021**	$515	$415	$556
10.02.2021	$492	$385	$529	**24.02.2021**	$525	$415	$571
11.02.2021	$493	$395	$529	**25.02.2021**	$528	$420	$569
12.02.2021	$493	$395	$529	**26.02.2021**	$535	$420	$578
13.02.2021	$493	$395	$529	**27.02.2021**	$535	$420	$578
14.02.2021	$493	$395	$529	**28.02.2021**	$535	$420	$578

2021 yılı Mart ayı yakıt fiyatları

	VLSFO	HFO	DİZEL		VLSFO	HFO	DİZEL
01.03.2021	$527	$430	$565	17.03.2021	$537	$440	$591
02.03.2021	$527	$430	$565	18.03.2021	$537	$440	$581
03.03.2021	$515	$430	$550	19.03.2021	$533	$440	$576
04.03.2021	$513	$420	$550	20.03.2021	$533	$440	$576
05.03.2021	$518	$420	$561	21.03.2021	$533	$440	$576
06.03.2021	$518	$420	$561	22.03.2021	$505	$425	$551
07.03.2021	$518	$420	$561	23.03.2021	$508	$425	$551
08.03.2021	$537	$420	$581	24.03.2021	$505	$425	$541
09.03.2021	$543	$430	$594	25.03.2021	$495	$420	$534
10.06.2021	$537	$430	$584	26.03.2021	$502	$420	$539
11.03.2021	$530	$435	$576	27.03.2021	$502	$420	$539
12.03.2021	$533	$435	$581	28.03.2021	$502	$420	$539
13.03.2021	$533	$435	$581	29.03.2021	$505	$420	$544
14.03.2021	$533	$435	$581	30.03.2021	$505	$420	$544
15.03.2021	$538	$445	$585	31.03.2021	$507	$420	$549
16.03.2021	$542	$440	$589	17.03.2021	$537	$440	$591

2021 yılı Nisan ayı yakıt fiyatları

	VLSFO	HFO	DİZEL		VLSFO	HFO	DİZEL
01.04.2021	$500	$405	$544	**16.04.2021**	$495	$405	$536
02.04.2021	$497	$405	$539	**17.04.2021**	$495	$405	$536
03.04.2021	$497	$405	$539	**18.04.2021**	$495	$405	$536
04.04.2021	$497	$405	$539	**19.04.2021**	$523	$415	$569
05.04.2021	$497	$405	$539	**20.04.2021**	$523	$415	$569
06.04.2021	$495	$405	$536	**21.04.2021**	$523	$415	$569
07.04.2021	$495	$405	$536	**22.04.2021**	$508	$415	$551
08.04.2021	$495	$405	$536	**23.04.2021**	$508	$415	$551
09.04.2021	$495	$405	$536	**24.04.2021**	$508	$415	$551
10.04.2021	$495	$405	$536	**25.04.2021**	$508	$415	$551
11.04.2021	$495	$405	$536	**26.04.2021**	$507	$415	$551
12.04.2021	$495	$405	$536	**27.04.2021**	$507	$415	$551
13.04.2021	$495	$405	$536	**28.04.2021**	$507	$415	$551
14.04.2021	$495	$405	$536	**29.04.2021**	$513	$415	$561
15.04.2021	$495	$405	$536	**30.04.2021**	$517	$415	$565

2021 yılı Mayıs ayı yakıt fiyatları

	VLSFO	HFO	DİZEL		VLSFO	HFO	DİZEL
01.05.2021	$517	$415	$565	**17.05.2021**	$533	$425	$585
02.05.2021	$517	$415	$565	**18.05.2021**	$535	$425	$591
03.05.2021	$527	$415	$574	**19.05.2021**	$535	$425	$591
04.05.2021	$522	$415	$566	**20.05.2021**	$533	$425	$589
05.05.2021	$522	$415	$566	**21.05.2021**	$530	$425	$580
06.05.2021	$535	$430	$586	**22.05.2021**	$530	$425	$580
07.05.2021	$535	$430	$586	**23.05.2021**	$530	$425	$580
08.05.2021	$535	$430	$586	**24.05.2021**	$522	$425	$569
09.05.2021	$535	$430	$586	**25.05.2021**	$522	$425	$569
10.05.2021	$537	$430	$586	**26.05.2021**	$522	$425	$569
11.05.2021	$542	$430	$591	**27.05.2021**	$533	$415	$589
12.05.2021	$542	$430	$591	**28.05.2021**	$532	$415	$586
13.05.2021	$542	$430	$596	**29.05.2021**	$532	$415	$586
14.05.2021	$537	$430	$589	**30.05.2021**	$523	$415	$586
15.05.2021	$537	$430	$589	**31.05.2021**	$538	$415	$596
16.05.2021	$537	$430	$589				

2021 yılı Haziran ayı yakıt fiyatları

	VLSFO	HFO	DİZEL		VLSFO	HFO	DİZEL
01.06.2021	$540	$415	$591	**16.06.2021**	$552	$435	$621
02.06.2021	$540	$415	$591	**17.06.2021**	$553	$440	$626
03.06.2021	$543	$425	$606	**18.06.2021**	$553	$440	$626
04.06.2021	$547	$425	$611	**19.06.2021**	$553	$440	$626
05.06.2021	$547	$425	$611	**20.06.2021**	$553	$440	$626
06.06.2021	$547	$425	$611	**21.06.2021**	$548	$440	$616
07.06.2021	$548	$435	$607	**22.06.2021**	$550	$440	$616
08.06.2021	$548	$435	$614	**23.06.2021**	$550	$440	$616
09.06.2021	$548	$435	$614	**24.06.2021**	$558	$440	$631
10.06.2021	$550	$435	$616	**25.06.2021**	$556	$440	$626
11.06.2021	$548	$435	$614	**26.06.2021**	$556	$440	$626
12.06.2021	$548	$435	$614	**27.06.2021**	$556	$440	$626
13.06.2021	$548	$435	$614	**28.06.2021**	$555	$440	$629
14.06.2021	$550	$435	$613	**29.06.2021**	$558	$440	$636
15.06.2021	$552	$435	$621	**30.06.2021**	$558	$440	$636

2021 yılı Temmuz ayı yakıt fiyatları

	VLSFO	HFO	DİZEL		VLSFO	HFO	DİZEL
01.07.2021	$550	$440	$629	**17.07.2021**	$557	$404	$649
02.07.2021	$553	$390	$631	**18.07.2021**	$557	$407	$649
03.07.2021	$553	$360	$631	**19.07.2021**	$557	$410	$649
04.07.2021	$553	$390	$631	**20.07.2021**	$557	$410	$649
05.07.2021	$553	$385	$631	**21.07.2021**	$557	$414	$649
06.07.2021	$558	$355	$641	**22.07.2021**	$542	$417	$631
07.07.2021	$558	$365	$641	**23.07.2021**	$555	$416	$637
08.07.2021	$555	$365	$641	**24.07.2021**	$555	$418	$637
09.07.2021	$547	$385	$629	**25.07.2021**	$555	$420	$637
10.07.2021	$547	$368	$629	**26.07.2021**	$550	$413	$639
11.07.2021	$547	$369	$629	**27.07.2021**	$552	$415	$639
12.07.2021	$552	$368	$636	**28.07.2021**	$552	$420	$639
13.07.2021	$555	$368	$641	**29.07.2021**	$555	$418	$641
14.07.2021	$555	$377	$641	**30.07.2021**	$558	$423	$639
15.07.2021	$565	$377	$656	**31.07.2021**	$558	$427	$639
16.07.2021	$557	$387	$649				

2021 yılı Ağustos ayı yakıt fiyatları

	VLSFO	HFO	DİZEL		VLSFO	HFO	DİZEL
01.08.2021	$558	$423	$639	**17.08.2021**	$535	$405	$611
02.08.2021	$562	$409	$651	**18.08.2021**	$535	$411	$611
03.08.2021	$558	$414	$644	**19.08.2021**	$540	$403	$616
04.08.2021	$558	$425	$644	**20.08.2021**	$510	$420	$609
05.08.2021	$552	$430	$634	**21.08.2021**	$510	$407	$609
06.08.2021	$542	$428	$619	**22.08.2021**	$510	$411	$609
07.08.2021	$542	$425	$619	**23.08.2021**	$527	$413	$600
08.08.2021	$542	$436	$619	**24.08.2021**	$535	$408	$608
09.08.2021	$535	$430	$621	**25.08.2021**	$535	$405	$608
10.08.2021	$553	$435	$615	**26.08.2021**	$553	$412	$624
11.08.2021	$553	$436	$615	**27.08.2021**	$555	$410	$610
12.08.2021	$538	$435	$613	**28.08.2021**	$555	$410	$610
13.08.2021	$543	$435	$620	**29.08.2021**	$555	$410	$610
14.08.2021	$543	$416	$620	**30.08.2021**	$560	$410	$636
15.08.2021	$543	$403	$620	**31.08.2021**	$562	$412	$646
16.08.2021	$543	$416	$620				

2021 yılı Eylül ayı yakıt fiyatları

	VLSFO	HFO	DİZEL		VLSFO	HFO	DİZEL
01.09.2021	$562	$410	$646	**16.09.2021**	$570	$407	$654
02.09.2021	$562	$413	$644	**17.09.2021**	$578	$410	$671
03.09.2021	$560	$412	$641	**18.09.2021**	$578	$420	$671
04.09.2021	$560	$411	$641	**19.09.2021**	$578	$425	$671
05.09.2021	$560	$411	$641	**20.09.2021**	$578	$430	$671
06.09.2021	$563	$420	$646	**21.09.2021**	$575	$435	$664
07.09.2021	$560	$430	$639	**22.09.2021**	$575	$435	$664
08.09.2021	$560	$410	$639	**23.09.2021**	$588	$436	$666
09.09.2021	$558	$401	$639	**24.09.2021**	$588	$436	$666
10.09.2021	$560	$406	$641	**25.09.2021**	$588	$437	$666
11.09.2021	$560	$408	$641	**26.09.2021**	$588	$441	$666
12.09.2021	$560	$407	$641	**27.09.2021**	$608	$443	$686
13.09.2021	$560	$405	$641	**28.09.2021**	$623	$438	$701
14.09.2021	$567	$408	$650	**29.09.2021**	$623	$435	$701
15.09.2021	$567	$405	$650	**30.09.2021**	$615	$438	$694

2021 yılı Ekim ayı yakıt fiyatları

	VLSFO	HFO	DİZEL		VLSFO	HFO	DİZEL
01.10.2021	$623	$438	$699	**17.10.2021**	$685	$444	$765
02.10.2021	$623	$440	$699	**18.10.2021**	$695	$450	$785
03.10.2021	$623	$440	$699	**19.10.2021**	$703	$453	$790
04.10.2021	$625	$443	$699	**20.10.2021**	$703	$458	$790
05.10.2021	$635	$439	$711	**21.10.2021**	$685	$455	$775
06.10.2021	$635	$440	$711	**22.10.2021**	$685	$454	$775
07.10.2021	$678	$445	$754	**23.10.2021**	$685	$454	$775
08.10.2021	$668	$455	$736	**24.10.2021**	$685	$451	$775
09.10.2021	$668	$460	$736	**25.10.2021**	$685	$445	$770
10.10.2021	$668	$452	$736	**26.10.2021**	$688	$447	$770
11.10.2021	$673	$452	$751	**27.10.2021**	$688	$446	$770
12.10.2021	$680	$445	$761	**28.10.2021**	$683	$438	$770
13.10.2021	$680	$448	$761	**29.10.2021**	$673	$441	$760
14.10.2021	$678	$450	$765	**30.10.2021**	$673	$444	$760
15.10.2021	$685	$450	$765	**31.10.2021**	$673	$443	$760
16.10.2021	$685	$450	$765				

2021 yılı Kasım ayı yakıt fiyatları

	VLSFO	HFO	DİZEL		VLSFO	HFO	DİZEL
01.11.2021	$673	$443	$760	**16.11.2021**	$648	$450	$740
02.11.2021	$673	$436	$760	**17.11.2021**	$648	$452	$740
03.11.2021	$673	$435	$760	**18.11.2021**	$638	$455	$730
04.11.2021	$663	$429	$760	**19.11.2021**	$630	$456	$725
05.11.2021	$653	$440	$740	**20.11.2021**	$630	$454	$725
06.11.2021	$563	$444	$740	**21.11.2021**	$630	$456	$725
07.11.2021	$653	$445	$740	**22.11.2021**	$633	$455	$735
08.11.2021	$651	$448	$740	**23.11.2021**	$618	$475	$715
09.11.2021	$663	$454	$750	**24.11.2021**	$618	$486	$715
10.11.2021	$663	$452	$750	**25.11.2021**	$638	$480	$725
11.11.2021	$673	$453	$770	**26.11.2021**	$638	$478	$725
12.11.2021	$668	$444	$760	**27.11.2021**	$638	$476	$725
13.11.2021	$668	$453	$760	**28.11.2021**	$638	$478	$725
14.11.2021	$668	$446	$760	**29.11.2021**	$638	$498	$725
15.11.2021	$665	$446	$755	**30.11.2021**	$590	$495	$690

2021 yılı Aralık ayı yakıt fiyatları

	VLSFO	HFO	DİZEL		VLSFO	HFO	DİZEL
01.12.2021	$590	$506	$690	**17.12.2021**	$635	$495	$690
02.12.2021	$578	$511	$665	**18.12.2021**	$635	$499	$690
03.12.2021	$575	$511	$660	**19.12.2021**	$635	$507	$690
04.12.2021	$575	$520	$660	**20.12.2021**	$635	$499	$690
05.12.2021	$575	$518	$660	**21.12.2021**	$628	$505	$680
06.12.2021	$593	$536	$675	**22.12.2021**	$628	$484	$680
07.12.2021	$590	$536	$680	**23.12.2021**	$645	$492	$690
08.12.2021	$590	$540	$680	**24.12.2021**	$650	$486	$700
09.12.2021	$608	$533	$685	**25.12.2021**	$650	$474	$700
10.12.2021	$623	$537	$690	**26.12.2021**	$650	$459	$700
11.12.2021	$623	$542	$690	**27.12.2021**	$665	$487	$715
12.12.2021	$623	$506	$690	**28.12.2021**	$665	$494	$715
13.12.2021	$628	$506	$685	**29.12.2021**	$665	$481	$715
14.12.2021	$650	$510	$690	**30.12.2021**	$665	$431	$715
15.12.2021	$650	$512	$690	**31.12.2021**	$680	$426	$750
16.12.2021	$635	$496	$685				

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

4801190734 - GÖKHAN ÇAKICI - YL Tez Tekrar

ORİJİNALLİK RAPORU

%19	%17	%2	%6
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	www.denizticaretodasi.org.tr İnternet Kaynağı	%4
2	bilsenbesergil.blogspot.com İnternet Kaynağı	%2
3	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%2
4	acikerisim.istanbul.edu.tr İnternet Kaynağı	%2
5	www.bunkerist.com İnternet Kaynağı	%2
6	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
7	polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	%1
8	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%1
9	www.marinesite.info İnternet Kaynağı	<%1