

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULUSLARARASI EMİSYON KURALLARI ÇERÇEVESİNDE BİR
GEMİ FİLOSUNUN İNCELENMESİ

Berna KANBEROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Görkem KÖKKÜLÜNK

Temmuz, 2020

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULUSLARARASI KURALLAR ÇERÇEVESİNDE BİR GEMİ
FİLOSUNUN İNCELENMESİ**

Berna KANBEROĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 01.07.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Gökem KÖKKÜLÜNK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Gökem KÖKKÜLÜNK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cengiz DENİZ, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Gökem KÖKKÜLÜNK sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Uluslararası Kurallar Çerçevesinde Bir Gemi Filosunun İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Berna KANBEROĞLU

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamda ve akademik hayatımın en başından bu yana desteğini ve hoşgörüsünü hiçbir zaman esirgemeyen değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Görkem KÖKKÜLÜNK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde bana desteklerini sunan değerli aileme ve özellikle bu süreçte her türlü yardımı sağlayan kız kardeşim Emine Bengü KANBEROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Berna KANBEROĞLU



İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	16
1.3 Hipotez.....	17
2 ULUSLARARASI DÜZENLEMELER VE EMİSYON SINIRLAMALARI	19
2.1 Montreal ve Kyoto Protokolleri.....	19
2.2 Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) ve Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC).....	20
2.3 Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL).....	20
2.4 Karbon Dioksit (CO ₂) Emisyon Sınırlamaları.....	21
2.4.1 Avrupa Birliği İzleme, Raporlama ve Doğrulama (EU MRV).....	23
2.4.2 IMO Veri Toplama Sistemi (IMO DCS).....	25
2.5 Gemilerde Enerji Verimliliği ve Düzenlemeleri.....	26
2.5.1 Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI).....	26
2.5.2 Enerji Verimliliği Operasyon İndeksi (EEOI).....	27
2.5.3 Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP).....	29
3 MATERYAL VE METOT	30
3.1 Filo Özellikleri.....	30
3.2 Hesaplama Yöntemleri.....	31
3.2.1 CO ₂ Emisyon ve CO ₂ İndeks.....	31
3.2.2 Enerji Verimliliği Operasyon İndeksi (EEOI).....	31
3.2.3 Filo Enerji Verimliliği Yönetim İndeksi (FEEMI).....	32
3.2.4 SPSS Analizi.....	32
4 BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	34
4.1 CO ₂ Emisyonlarının Değerlendirilmesi.....	34
4.1.1 Aylık Değerlendirme.....	35

4.1.2	Seferlik Değerlendirme	40
4.2	CO ₂ İndeksinin Değerlendirilmesi	49
4.2.1	Aylık Değerlendirme	49
4.3	Enerji Verimliliği Operasyon İndeksinin (EEOI) Değerlendirilmesi	55
4.3.1	Seferlik Değerlendirme	55
4.3.2	EEOI ile İlgili Senaryolar	68
4.4	Filo Enerji Verimliliği Yönetim İndeksinin (FEEMI) Değerlendirilmesi	78
4.5	İstatistik Analizi	78
5	SONUÇ VE ÖNERİLER	83
	KAYNAKÇA	87
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	93



KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BDN	Yakıt Alım Evrakı
CFC	Kloroflorokarbon
CO ₂	Karbon Dioksit
ECA	Emisyon Kontrol Alanı
EEDI	Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi
EEOI	Enerji Verimliliği Operasyon İndeksi
EU	Avrupa Birliği
EU MRV	Avrupa Birliği İzleme Raporlama ve Doğrulama
FEEMI	Filo Enerji Verimliliği Yönetim İndeksi
GRT	Gros Tonaj
HFO	Ağır Yakıt
ICCT	Uluslararası Temiz Ulaştırma Konseyi
ICS	Uluslararası Deniz Ticaret Odası
IEEC	Uluslararası Enerji Verimliliği Sertifikası
IMO	Uluslararası Denizcilik Örgütü
IMO DCS	Uluslararası Denizcilik Örgütü Veri Toplama Sistemi
LFO	Hafif Yakıt
MARPOL	Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşmesi
MDO	Gemi Tipi Dizel Yakıt
MEPC	Deniz Çevresini Koruma Komitesi
MGO	Gemi Tipi Dizel Yakıt
MP	İzleme Planı
NO _x	Azot Oksitler
PCA	Temel Bileşen Analizi
PM	Partikül Madde
SEEMP	Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı
SO _x	Kükürt Oksitler
VIF	Varyans Genişlik Faktörü
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Küresel sera gazı emisyonlarının dağılımı[56].....	22
Şekil 3.2 SPSS ara yüzü.....	32
Şekil 3.3 SPSS ara yüzü.....	33
Şekil 4.1 A1 ve A2 gemilerinin aylık CO ₂ emisyon değerleri.....	35
Şekil 4.2 B1 ve B2 gemilerinin aylık CO ₂ emisyon değerleri.....	36
Şekil 4.3 C1 ve C2 gemilerinin aylık CO ₂ emisyon değerleri.....	37
Şekil 4.4 D1 ve D2 gemilerinin aylık CO ₂ emisyon değerleri.....	37
Şekil 4.5 E1 ve E2 gemilerinin aylık CO ₂ emisyon değerleri.....	38
Şekil 4.6 F1 gemisinin yıllara göre aylık CO ₂ emisyon değerleri.....	39
Şekil 4.7 A1 gemisinin yıllara göre seferlik CO ₂ emisyon değerleri.....	41
Şekil 4.8 A2 gemisinin yıllara göre seferlik CO ₂ emisyon değerleri.....	42
Şekil 4.9 B1 gemisinin yıllara göre seferlik CO ₂ emisyon değerleri.....	42
Şekil 4.10 B2 gemisinin yıllara göre seferlik CO ₂ emisyon değerleri.....	43
Şekil 4.11 C1 gemisinin yıllara göre seferlik CO ₂ emisyon değerleri.....	44
Şekil 4.12 C2 gemisinin yıllara göre seferlik CO ₂ emisyon değerleri.....	44
Şekil 4.13 D1 gemisinin yıllara göre seferlik CO ₂ emisyon değerleri.....	45
Şekil 4.14 D2 gemisinin yıllara göre seferlik CO ₂ emisyon değerleri.....	45
Şekil 4.15 E1 gemisinin yıllara göre seferlik CO ₂ emisyon değerleri.....	46
Şekil 4.16 E2 gemisinin yıllara göre seferlik CO ₂ emisyon değerleri.....	47
Şekil 4.17 F1 gemisinin yıllara göre seferlik CO ₂ emisyon değerleri.....	47
Şekil 4.18 Tüm filonun 2017-2018-2019 yılları toplam CO ₂ emisyon değerleri....	49
Şekil 4.19 A1 ve A2 gemilerinin aylık CO ₂ indeks değerleri.....	50
Şekil 4.20 B1 ve B2 gemilerinin aylık CO ₂ indeks değerleri.....	51
Şekil 4.21 C1 ve C2 gemilerinin aylık CO ₂ indeks değerleri.....	51
Şekil 4.22 D1 ve D2 gemilerinin aylık CO ₂ indeks değerleri.....	52
Şekil 4.23 E1 ve E2 gemilerinin aylık CO ₂ indeks değerleri.....	53
Şekil 4.24 F1 gemisinin yıllara göre aylık CO ₂ indeks değerleri.....	53
Şekil 4.25 A1 ve A2 gemilerinin seferlik EEOI değerleri.....	56
Şekil 4.26 B1 ve B2 gemilerinin seferlik EEOI değerleri.....	57
Şekil 4.27 C1 ve C2 gemilerinin seferlik EEOI değerleri.....	57
Şekil 4.28 D1 ve D2 gemilerinin seferlik EEOI değerleri.....	58
Şekil 4.29 E1 ve E2 gemilerinin seferlik EEOI değerleri.....	59

Şekil 4.30	F1 gemisinin yıllara göre seferlik EEOI değerleri.....	59
Şekil 4.31	Tüm filonun 2017-2018-2019 yılları EEOI ortalama değerleri.....	67
Şekil 4.32	A1 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması.....	69
Şekil 4.33	A2 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması.....	69
Şekil 4.34	B1 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması.....	70
Şekil 4.35	B2 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması.....	71
Şekil 4.36	C1 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması.....	71
Şekil 4.37	C2 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması.....	72
Şekil 4.38	D1 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması.....	73
Şekil 4.39	D2 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması.....	73
Şekil 4.40	E1 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması.....	74
Şekil 4.41	E2 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması.....	75
Şekil 4.42	F1 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması.....	75
Şekil 4.43	Filo gemilerinin farklı yakıt sarfiyatı durumlarındaki EEOI değerleri...	76
Şekil 4.44	Tüm filonun 2017-2018-2019 yılları FEEMI değerleri.....	78
Şekil 4.45	Aykırı değer analizi.....	79
Şekil 4.46	Korelasyon matrisi.....	80

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Küresel ve denizcilik kaynaklı CO ₂ emisyonları [1].....	22
Tablo 2.2 Yakıt karbon içerikleri [1].....	28
Tablo 3.1 Tüm filo gemilerinin özellikleri.....	30
Tablo 4.1 Tüm filo gemileri aylık CO ₂ emisyon değerinin yıllık toplamı.....	40
Tablo 4.2 Tüm filo gemileri için seferlik CO ₂ emisyon değerinin yıllık ortalaması.....	48
Tablo 4.3 Tüm filo gemilerinin CO ₂ indeks değerinin yıllık ortalaması.....	54
Tablo 4.4 A1 gemisinin 2017 yılı 4.sefer detayı.....	62
Tablo 4.5 A1 gemisinin 2018 yılı 6.sefer detayı.....	62
Tablo 4.6 B1 gemisinin 2019 yılı 2.sefer detayı.....	63
Tablo 4.7 B1 gemisinin 2018 yılı 7.sefer detayı.....	63
Tablo 4.8 B2 gemisinin 2018 yılı 4.sefer detayı.....	64
Tablo 4.9 B2 gemisinin 2017 yılı 1.sefer detayı.....	64
Tablo 4.10 Tüm filonun 2017-2018-2019 yılları EEOf değerleri.....	66
Tablo 4.11 Lineer regresyon analizi 1.....	81
Tablo 4.13 Lineer regresyon analizi sonuç.....	82

Uluslararası Kurallar Çerçevesinde Bir Gemi Filosunun İncelenmesi

Berna KANBEROĞLU

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Görkem KÖKKÜLÜNK

Günümüzde gemilerden kaynaklanan emisyonlarla ilgili birçok uluslararası kurallar yürürlüğe girmeye başlamıştır. Bunlardan biri, 1 Ocak 2018 tarihi itibarı ile uygulanmaya başlayan, Avrupa ekonomik alanı limanlarından, limanlarına ve limanları arasında ticari sefer yapan 5000 GRT (Gros Tonaj) ve üzeri gemilerden kaynaklı CO₂ emisyonlarının izlenmesi, raporlanması ve doğrulanması ile ilişkili olan EU MRV (European Union Monitoring, Reporting and Verification)'dir. Bir diğer önemli kural ise 1 Ocak 2019 tarihi itibarı ile uygulanmaya başlayan, 5000 GRT ve üzeri gemiler için uluslararası tüm deniz sularında geçerli olan, Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP)'in ikinci bölümünü oluşturan IMO-DCS (International Maritime Organization- Data Collection System) adı verilen veri toplama sistemidir. Bu kurallar çerçevesinde yakın gelecekte uluslararası taşımacılık yapan gemilerin enerji verimliliklerine göre sınıflara ayrılması ve bu sınıflandırılmaya göre liman vergilerine veya CO₂ emisyon vergilerine tabii tutulması öngörülmektedir.

Bu tez çalışmasında bir dökme yük filosuna ait 11 adet geminin 2017, 2018 ve 2019 yılları içerisindeki gerçek verileri kullanılarak CO₂ emisyon, CO₂ indeks ve EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) değerleri karşılaştırılmıştır. Belirtilen üç yıllık süreçte gerçekleşen filo gemilerine ait tüm seferlerin operasyonel enerji verimliliği değerleri arasındaki farkların olası nedenleri incelenmiştir. Özellikle kardeş gemiler arasında tespit edilen sefer operasyon verimliliği değişimleri ile gemilerin sefer planlamasında öncelikle dikkat edilmesi gereken parametreler değerlendirilmiştir.

Ayrıca uygulanan senaryolar ile farklı operasyon şartlarındaki enerji verimliliği indeksinin değişim oranları incelenmiştir. Bu kapsamda yapılan istatistiksel analizler ile de gemi operasyon parametrelerinin EEOI değeri üzerindeki etkileri incelenmiş ve diğer parametrelere kıyasla en etkili parametrenin taşınan yük olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, EEOI, CO₂ emisyonları, gemi, filo

Analysis of a Fleet of Ships under the International Emissions Rules

Berna KANBEROĞLU

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Gökem KÖKKÜLÜNK

Nowadays, many international regulations regarding emissions from ships have come into force. One of them is EU MRV (European Union Monitoring, Reporting and Verification), which is on the monitoring, reporting and verification of CO₂ emissions from ships of 5000 GRT and above operating commercial voyage from, to and between ports of the European Economic Area, which has been implemented as of January 1, 2018. Another important regulation is the data collection (IMO-DCS) system, which makes up the second part of the Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), which has been implemented as of January 1, 2019 and is in force in all international waters for ships of 5000 GRT and above. Within the framework of these regulations, it is predicted that in the near future, ships transporting internationally will be classified by their energy efficiency and subjected to port taxes or CO₂ emission taxes according to this classification.

In this study, CO₂ emission, the CO₂ index and the EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) values of 11 ships belonging to a bulk carrier fleet using their actual data have been compared for the year of 2017, 2018 and 2019. Furthermore,

the possible reasons for the differences between the operational energy efficiency values of all voyages of the ships have been analyzed during the specified three-year period. In particular, the parameters that the ships should pay attention to in the planning of the voyages and the changes in the operational performance of the voyages identified among the sister ships have been evaluated.

In addition, the rates of change of the energy efficiency index have been examined in different operating conditions with the applied scenarios. The effects of the ship operation parameters on the EEOI value have been analyzed through statistical analyses and concluded that the cargo is found as the most effective parameter in comparison with the other parameters.

Keywords: Ship energy efficiency, EEOI, CO₂ emissions, ship, fleet

1.1 Literatür Özeti

Deniz taşımacılığı, diğer taşımacılık türlerine kıyasla en verimli taşımacılık türü olarak bilinmektedir. Ancak, son zamanlarda deniz taşımacılığının artması ile gemi kaynaklı emisyonların da arttığı görülmektedir. Gemilerden kaynaklanan emisyonların, hem çevre hem de canlılar üzerinde büyük bir etkisi olduğu; Uluslararası Denizcilik Örgütünün (IMO) gemi kaynaklı emisyonların azaltılması ile ilgili çeşitli çalışmalar yapmalarına sebebiyet vermiştir [2]. Literatürde de gemilerin enerji verimliliğinin arttırılması ve CO₂ emisyonlarının azaltılması ile ilgili birçok çalışma vardır.

Xing vd. [3] yaptıkları vaka çalışmasında, nehir taşımacılığının enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları üzerine etkilerini ele almış, bu verileri açık denizde çalışan gemilerin performansı ile karşılaştırmışlardır. Araştırma kapsamındaki veriler durgun su ve gerçek navigasyon koşulları altında toplanmış, enerji verimliliği operasyon indeksleri hesaplanmış ve analize tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, özellikle seyir şartları ve gemiye etki eden akımın enerji verimliliği üzerine önemli etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir.

Banks vd. [4] farklı gemi tipleri için işletme şartlarını incelemişlerdir ve son yıllarda işletme koşullarının temel eğilimlerini araştırmışlardır. Yapılan analizler limanda, seyirde veya manevra sırasındaki balast ya da yükleme için harcanan zamanın oranı, operasyonel hız ve ortalama draft aralıklarını içerir. Analizin çoğunluğu gemideki personel tarafından çeşitli gözlem yöntemleri kullanılarak hazırlanan "öğlen" ve "liman" raporları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda farklı gemi tiplerinin farklı işletim şartlarına sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu operasyon farklılığının çoğu, geminin amaçlanan işletimi (yani yolculuk uzunluğu, servis hızı) ile karakterize edilir.

Johnson vd. [5] çalışmalarında, hem CO₂ azaltımının toplumsal perspektifinin, hem de şirketlerin enerji yönetimindeki eksiklerinin SEEMP'in başarısının önünde bir engel olduğunu savunmuşlardır. Bu kapsamda araştırmanın amacı, ISM kodu ve diğer sektörlerdeki enerji yönetimi üzerine yapılan araştırmalara dayanarak, araştırmacılar için ileriye dönük bir SEEMP'in sahada uygulanmasını incelemektir. Sonuç olarak; denizcilik şirketleri yönetim sistemlerini 'gönüllü' olarak tanıtarak, standart yönlerinin eksikliğini ele alıyor mu? SEEMP'in gemiye özel planı şirket hedeflerini kapsıyor mu? Performans izleme için hangi sistemler seçilir ve bu seçimlerin etkileri nelerdir? Şirketler zorunlu olmamasına rağmen hedefler koyuyorlar mı? Bu tür gereklilikler olmasa da şirketler yönetim sisteminin performansını takip ediyorlar mı? Sorularına cevap aranmıştır.

Acomi ve Acomi [6] çalışmalarında gemi sahipleri ve işletmecilerine, gemilerden kaynaklanan emisyonların sınırlandırılmasını veya azaltılmasını sağlayacak bir sistem oluşturmak amacıyla, Totem Plus adını verdikleri bir yazılım geliştirmişlerdir. Örnek olay yöntemiyle gerçekleştirilen yazılımın amacı, gemide hesaplanan gerçek değere kıyasla, yolculuktan önce EEOI değerini tahmin etmektir. Sonuç olarak aynı şartlar için ticari yazılım ve geliştirilen yazılım karşılaştırıldığında, EEOI değerleri arasında farkın olduğu, bu farkın ise %18-20 civarında olduğu anlaşılmıştır. Bunun yanı sıra iki ayrı uygulamayla ölçülen EEOI değerleri arasındaki bu farkın, hızın ve yakıt tüketiminin azalmasıyla kademeli olarak arttığı görülmüştür.

Acomi ve Acomi [7] yine örnek olay yöntemiyle yürüttükleri bir diğer çalışmalarında geliştirdikleri yazılımı kullanarak, seferler sırasında üç ay boyunca farklı yakıt türleri kullanan bir gemi için EEOI değerlerini hesaplamışlardır. Temel yakıt sarfiyatına sebep olan ekipmanlar olarak; ana makine, yardımcı dizel jeneratörler ve kazan belirlenmiştir. Kullanılan yakıt türleri, uluslararası kurallara uyu/ yerel kural ve düzenlemelere uyacak şekilde seçilmiştir. Sonuç olarak farklı ekipmanlar için farklı yakıt türlerinin kullanımının operasyonel önlemlerle enerji verimliliğinde iyileşmelere yol açacağı ortaya çıkmıştır. Yakıt türünde en uygun maliyetli yakıt türü HFO, en düşük EEOI değerine karşılık gelmektedir. HFO kullanımı ile karşılaştırıldığında, MDO / MGO kullanarak EEOI değerinin %2,82 daha yüksek

olduğunu belirlenirken, LFO kullanımı EEOI değerin %1,15 oranında artmasına neden olmaktadır.

Moon ve Woo'nun [8] çalışmalarının temel amacı, geminin limanda geçirdiği sürenin, işletme maliyetleri ve CO₂ emisyonu miktarı açısından verimli gemi işletimini nasıl etkilediğine ilişkin operasyonel sorunları araştırmaktır. Bu amaçla, bir yöntem olarak, geminin limandaki zamanı ile işletme maliyetleri ve çevresel performans seviyesi arasındaki ilişkiyi analiz etmek için sistem dinamiğine (SD) dayalı bir simülasyon tekniği kullanılmıştır. Sonuç olarak, liman operasyonlarının iyileştirilmesinden kaynaklanan limanda daha az zaman geçirmenin; gemi maliyetleri, gemi maliyetleri endüstrisindeki işletme maliyetleri, CO₂ emisyonları ve dış etkiler açısından verimli bir şekilde çalışılmasına katkıda bulunmasıdır. Özellikle, liman operasyonunun kalitesine göre verimli gemi operasyonu üzerine yapılan duyarlılık analizi, daha büyük gemilerin, limanda daha az zaman harcamalarına olanak sağlayan yüksek verimli arama limanlarını seçmesi gerektiği gösterilmektedir.

Talay vd. [9] çalışmalarında, gemilerde enerji verimliliğini arttıran ve CO₂ emisyonlarını azaltan yöntemleri araştırmış, gemilerin dizaynları, operasyonları, seyir planı koordinasyonu ve bakım-tutum işleri sırasında gemi tipine göre uygulanabilen yöntemleri analiz etmişlerdir. Sonuç olarak incelenen yöntemlerin her gemi tipine uygun olmadığı ve hatta CO₂ emisyonları açısından aynı miktarda etkisinin bulunmadığı görülmüştür.

Zbigniew ve Włodzimierz [10] çalışmalarında SEEMP ile ilgili kapsamlı literatür taraması yapmışlar ve tanker şirketlerinden birinde mevcut olan Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı'nın pratik uygulamasını sunmuşlardır. Yazarlar, enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, izleme yöntemleri ve gemide SEEMP'in etkinliğinin değerlendirilmesi için olası tedbirleri de çalışmalarında anlatmışlardır. Çalışmada sunulan Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı kavramı, yalnız doğru bir şekilde uygulandığı zaman planlanan etkileri gerçekleştirebilir. Bu planın uygulanabilmesi için gemi personeli, armatörler ve şirket teknik ekiplerinin hazırlanması gerekmektedir.

Akpınar [11] örnek olay yöntemiyle hazırlamış olduğu tez çalışmasında, Marmara Denizinde çalışan örnek bir gemiyi ele alarak SEEMP’de bulunan yöntem ve uygulamalar çerçevesinde gemiye uygun bir yönetim planı hazırlamıştır. Sonrasında gemiden alınan; taşınan yük, trim, yakıt sarfiyatı, yakıt türü, ortalama hız, gidilen mesafe gibi veriler ile EEOI değerini hesaplayarak hazırlamış olduğu SEEMP’in değerlendirmesini yapmıştır. Bu değerlendirmelere göre ise uygulama ve yöntemlerini de dikkate alarak gerekli iyileştirmelere yönelik önerilerde bulunmuş ve bu önerilerin idare ve gemi işletmecileri tarafından iş birliği içerisinde ele alınmasını tavsiye etmiştir.

Poulsen ve Sornn-Friese [12] tarafından literatür taraması ve odak gurupla yapılan görüşmelerin içerik analizi yöntemiyle analiz edilmesiyle yürütülen çalışmada, enerji verimliliği ve gemi yönetimi literatürleri bir araya getirilerek, gemi yönetim modellerinin gemi operasyonlarında enerji verimliliğini nasıl etkilediği gösterilmiştir. Bunun yanı sıra gerçekleştirilen analiz, yeni ekipmanlara çok az yatırım gerektiren veya hiç yatırım gerektirmeyen operasyonel önlemlere incelenmiştir. Çalışmada, gemi sahiplerinin enerji verimliliği ve gemi yönetim hizmetleri sunan üçüncü şahıs yönetimi hakkındaki algılarına odaklanarak yönetim sonuçları tartışılmaktadır. Araştırma, sınırlı rasyonellik boyutları ve insan boyutu dahil olmak üzere özellikle davranışsal yönlerin gemi operasyonlarında enerji verimliliğine nasıl engel oluşturduğunu vurgulamıştır. Ayrıca gemi sahiplerinin enerji verimliliğini artırmak için başlatabilecekleri çeşitli girişimleri tanımlamıştır.

Wang vd. [13] makalelerinde, geminin kısa mesafedeki çalışma koşulunu, dalga sinir ağı yöntemi ile öngörmüş ve daha sonra farklı çalışma koşulları altında optimum enerji verimliliği için en iyi ana makine devrini tespit etmişlerdir. Bu kapsamda optimum enerji verimliliğini sağlamada optimum ana makine hızını belirlemek için gerçek zamanlı gemi enerji verimliliği optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Çalışmada önerilen yöntemin, gemi enerji verimliliğinin artırılmasında, geleneksel hız ayarlayan navigasyon yöntemlerine göre daha pratik bir yere sahip olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak uygulanan modelin, ana makine hızını düşürerek gemi enerji verimliliğini artırdığı ve buna bağlı olarak diğer gemi tipleri için de modelin geçerli olduğu görülmüştür.

Wang vd. [14] makalelerinde Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemini kullanarak; ekonomi, emisyon azaltma ve güvenliği dikkate alan bir güç kaynağı modeli oluşturmuş ve sistemin yüksek güvenlik düzeyinde, düşük CO₂ emisyonunda ve orta düzeyde yakıt tüketiminde çalışmasını sağlamak için çok amaçlı bir optimizasyon yöntemi önermişlerdir. Ayrıca, çok amaçlı optimizasyon problemini çözmek için parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını benimsemiş ve elde edilen düşük kaliteli çözümler, personelin, ekonomiyi ve geminin güvenliğini ölçerek optimum ana makine hızını seçmelerine yardımcı olmuşlardır. Sonuçlar, önerilen enerji verimliliği yönteminin, geminin sera gazı emisyonunu ve enerji verimliliği operasyon endeksini (EEOI) etkili bir şekilde azaltılabileceğini göstermektedir. Enerji verimliliği yönteminin, geleneksel çalışma moduna kıyasla EEOI'nın yaklaşık %17.262 düşmesine neden olabileceği görülmüştür. Bu nedenle, sevk sistemi konfigürasyon formunun tasarımı ve PSO'ya dayalı enerji verimliliği yöntemi, pratik uygulama değerine sahiptir ve geminin enerji tasarrufu ve emisyon azaltımını sağlamada önemli bir rol oynamaktadır.

Beşikçi vd. [15] araştırmalarında, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından kabul edilen Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) kapsamındaki operasyonel önlemleri incelemişlerdir. Bu kapsamda çeşitli nakliye şirketlerinden 20 uzmana (gemi kaptanı, mühendisler ve şirket temsilcileri) anket uygulanmış ve toplanan veriler “Analitik Hiyerarşi Süreci” yaklaşımıyla analiz edilmiştir. Bu çerçevede altı ana kriter ve dokuz alt faktör karşılaştırılmış ve ortaya çıkan matrisler tablolar halinde sunulmuştur. Çalışmada, enerji tasarruflu çözümleri tanımlamak için, operasyonel önlemlerin önemi ispatlanmaya çalışılmıştır. Araştırmanın sonuçlarının, karar vericilere en etkili önlemleri seçmek ve denizcilik endüstrisinde enerji verimliliğini sağlamak için stratejik bir yaklaşım sunacağı düşünülmektedir.

Beşikçi vd. [16] çalışmalarının; Yapay Sinir Ağı (YSA) yoluyla çeşitli çalışma koşulları için gemi yakıt tüketimini tahmin etme ve enerji tasarruflu gemi operasyonları için gemilerde gerçek zamanlı olarak kullanılacak YSA tabanlı yakıt tahmin modelini kullanan bir karar destek sistemi (KDS) geliştirme olmak üzere iki amacı vardır. Bu kapsamda esas amaç; gemi enerji verimliliğini artırmak için hem ekonomik hem de çevresel yönleri dikkate alarak operasyonel önlemlerin uygulanmasına ilişkin

kararlar verirken, Yapay Sinir Ağı (YSA) tabanlı bir karar destek sistemi geliştirmektedir. YSA'nın performansı, çoklu regresyon analizi ile karşılaştırma yaparak doğrulanmaktadır. Bunun yanı sıra geliştirilen KDS, gemi işletmecilerinin kararlarını hem ekonomik hem çevresel açıdan operasyonel bir düzeyde vermek zorunda kaldıklarında stratejik bir yaklaşım sunmaktadır.

Papanikolaou vd. [17] çalışmalarında SHOPERA (SHip OPERAtion) projesinin arka planını tartışmış ve olumsuz hava koşullarında geminin manevra kabiliyetinin ve güvenliğinin değerlendirilmesi için uygun kriter ve yöntemleri değerlendirmişlerdir. Bu kapsamda; açık denizde, kıyıya yakın ve kısıtlı alanlarda düşük hızlı manevra kabiliyeti tartışılmıştır. Bunun yanı sıra kullanılan yöntemler arasında; potansiyel akış ve alan yöntemleri çalışmada sunulmuştur. Araştırmaya göre olumsuz hava koşullarında navigasyon kaynaklı kazalar açısından en savunmasız gemi türlerinin genel kargo gemileri olduğu ve bunu sırasıyla Ro-Ro gemileri, kuru yük gemileri ve tankerlerin takip ettiği görülmüştür. Çevre koşullarının, özellikle de deniz yolunun olumsuzluk seviyesinin tartışmalı olduğu ve şu ana kadar bu durumun dışında kalan diğer gemi özelliklerinin üzerinde ciddi etkilere yol açabileceği düşünülmüştür. Bununla birlikte araştırma için gerçekleştirilen kapsamlı incelemeler neticesinde, rasyonel değerlendirme kriterlerine ilişkin anlaşmanın büyük önem taşıdığı anlaşılmıştır.

Perera ve Mo [18] hazırlamış oldukları makalelerinde gemi işletmelerinde olası enerji tasarrufu durumlarına ilişkin emisyon kontrolüne dayalı enerji verimliliği önlemlerine genel bir bakış sunmuşlardır. Literatürde var olan çalışmalardan yola çıkarak bu çalışma iki bölümde ele alınmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde, denizcilik endüstrisindeki ilgili emisyon kontrol yönetmelikleri gerekliliklerince, enerji verimliliği önlemleri tartışılmıştır. İkinci bölümde ise gemi işletmeleri için önerilen olası enerji tasarrufu durumları tanımlanmıştır. Son olarak, bu sonuçlar altında, özellikle belirlenen ECA alanlarında egzoz emisyonlarını (yani CO₂, SO_x ve NO_x) azaltmak için uygun operasyon stratejilerinin (yolculuk planlaması, taslak ve düzen optimizasyonu) kullanma olasılıkları sunulmuştur.

Rehmatulla vd. [19] gemi sahiplerinin ve işletmecilerin bir araştırmasını kullanarak otuzdan fazla enerji verimliliği ve CO₂ emisyonu azaltma teknolojilerinin

uygulanmasını anket yoluyla ölçmeye çalışmışlardır. Bu makale, farklı veri setlerini birbirleriyle doğrulamak amacıyla, teknik enerji verimliliği önlemlerinin uygulanması ile ilgili veri toplama yöntemlerini sunmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, farklı tedbirler arasında iyi bir uygulama yayılımı olmasına rağmen, kategorilerin her birinde yalnızca belirli sayıda önlem yeterli düzeyde uygulanmaktadır. İkincisi, yüksek uygulama gerektiren önlemler, gemi seviyesinde küçük enerji verimliliği kazançları olan önlemler olma eğilimindedir. Bu önlemler, CO₂ emisyon teknolojilerini, özellikle alternatif yakıtları, CO₂ emisyonlarını azaltma potansiyeline rağmen düşüktür.

Kökkülünk ve Parlak [20] örnek olay yöntemiyle gerçekleştirdikleri çalışmalarında “İnce Anadolu” adlı geminin tam ve kısmi yüklü olması durumunda EEOI değerinin değişimini incelemiş ve filonun FEEMI değerlerini sunmuşlardır. Araştırmacılar ayrıca, şirketlerin enerji verimliliği yönetimi yeteneğini ölçmek için “Filo Enerji Verimliliği Yönetim Endeksi” (FEEMI) terimini bu çalışmalarında literatüre kazandırmışlardır. Sonuç olarak geminin tam yüklü operasyon yapmasının, CO₂ tüketimini azaltmanın yanı sıra enerji verimliliğini arttırmada önemli bir rolü olduğu ortaya çıkmıştır. Emisyon artışının ana nedeni, gemiyi düşük kapasitede çalıştırmaktır. Gemiler sürekli olarak farklı yük ve hatlarda çalıştığından, sadece EEOI ile olgusal değerlendirme yapılamaz. Ayrıca EEOI değerlerini azaltmak için alınan önlemler, EEOI değerlerinden görülemez. Ancak, EEOI ve FEEMI birlikte kullanıldığında gemi ve filo performanslarının değerlendirilmesi daha anlamlı olur.

Tran [21] örnek olay yöntemiyle yürüttüğü çalışmasında bir yazılım kullanarak Vietnam'daki VINIC Shipping şirketinin M/V NSU JUSTICE 250,000 DWT adlı bir gemisinin, 12 Kasım 2015 ile 4 Ocak 2016 tarihleri arasındaki 16 seferine ait verilerini toplamıştır. Toplanan verilerden, Totem Plus tarafından EEOI indeksi hesaplanmaktadır. Bu kapsamda Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) enerji verimliliği ölçüm aracı, Vietnam'daki tüm gemileri değerlendirmek için kullanılmıştır. Dolayısıyla çalışmanın tüm gemiler için enerji verimliliğini hesaplama ve değerlendirmede bir model olduğu açıktır.

Yuan vd. [22] örnek olay yöntemiyle yürüttükleri çalışmalarında, turistik bir gemiyi kullanarak, gemi operasyonu enerji verimliliği için uzaktan veri toplama sistemi

tasarlamışlardır. Ölçülen verilere göre, geminin seyir ortamı faktörleri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Rüzgar, su derinliği, su hızı ve gemi operasyonu enerji verimliliği arasındaki korelasyon derecesi Gray Korelasyon Analizi ile belirlenmiştir. Çalışmada, rüzgâr hızı etkisinin gemi operasyonunun enerji verimliliği üzerindeki etkisini analiz etmek için Yangtze Nehri'nin Wuhan-Nanjing bölgesi seçilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, farklı navigasyon ortamlarında, ana makine devrini optimize ederek gemi enerji verimliliğinin önemli ölçüde artırılacağı ortaya çıkmıştır. Çalışmanın sonuçları, denizcilik şirketlerinin ve gemi işletmecilerinin, gemi yönetimini ekonomik olarak gerçekleştirmelerine ve gemi operasyonel enerji verimliliğini artırmalarına yardımcı olabilir.

Kaya ve Enginer [23] odak grup yöntemiyle yürüttükleri çalışmalarında, işletmelerin sera gazı salınımını azaltan ve enerji verimliliğini sağlayan yöntemlerine ilişkin uygulamalarını ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Çalışmaya 9 uzman, 2 raportör ve 1 modaratör katılım göstermiştir. Katılımcılar, şirketlerinin sera gazı salınımı ve enerji verimliliği sağlama potansiyellerini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada yöntemlerin yaygın ve etkin kullanımı yönünde maliyet ve yöntemlere ilişkin, işletme ve sektör tabanlı olarak yeterli deneyim sahibi olunmaması sonucuna varılmıştır. İşletmelerin edindikleri deneyimleri birbirleriyle paylaşmaları katılanlarca önemli görülmektedir. Ancak bu paylaşımların önünde, yöntem uygulamalarının maliyetlerinin oluşu büyük bir engel olarak durmaktadır. Katılımcılar için; operasyon açısından gemi temizliği, tasarım açısından gemi boyutlarının optimizasyonu, sevk ve pervane sistemleri açısından pervane-tekne etkileşimi optimasyonu, egzoz gazı filtreleme cihazı, makine teknolojileri açısından atık ısıdan enerji geri kazanımı ve alternatif yakıtlar açısından sıvılaştırılmış doğal gaz en önemli görülen yöntemlerdir.

Bouman vd. [24] kapsamlı olarak sundukları literatür çalışmalarında, CO₂ emisyonlarını azaltma potansiyeli ve önlemleri hakkında genel bir bakış sağlamak için daha önce yayınlanan yaklaşık 150 çalışmanın sonuçlarını paylaşmışlardır. Araştırmanın sonuçlarına göre CO₂ emisyonlarını azaltmak için tek bir tedbirin yeterli olmayacağı ispatlanmaktadır. Çalışmada daha dengeli bir analiz sunmak için, incelenen veri kümesindeki ortanca ve üçüncü çeyrek değerlere odaklanılmıştır.

İncelenen çalışmalara dayanarak, çok sayıda bireysel bağımlı ve bağımsız önlemin hızlı bir şekilde benimsenmesi ve birleştirilmesiyle %75'in üzerinde önemli bir emisyon azaltımının elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Diğer bir deyişle, 2050 yılında mevcut teknolojilerle taşınan yük birimi başına sera gazı emisyonlarını %4-6 oranında azaltmak mümkündür. Çalışmada buna örnek olarak, 3. çeyrek değerlere göre %78 emisyon azaltımına yol açan bir önlem kombinasyonu sunulmuştur.

Ammar [25] vaka çalışması yöntemiyle yürüttüğü araştırmasında, CO₂ emisyonlarının azaltılmasının maliyet etkinliğini ve iyileştirilmiş EEDI'nın, slowsteaming nedeniyle azalan EEOI'ya karşılık geldiğini hesaplamıştır. Sonuç olarak sera gazı emisyonu ve maliyet etkinliği açısından, gemi hızı tasarlanan değerinden %40 daha aşağı düşürüldüğünde, CO₂ azaltımının %78,39'a kadar düşeceği ve bu azalmanın 3272 ton / yıl yakıt tasarrufu sağlayarak, kalan gemi kullanım ömrü sonunda toplam 6,8 milyon dolar tasarruf sağlayacağı ortaya çıkmıştır. Yine geliştirilmiş EEOI ile gemi hızını operasyonel değerinden %70,65 azaltmak, birinci ve ikinci aşamalara uygun olacaktır. İlgili EEDI değeri, üçüncü aşama için gerekli IMO değerinden %7 daha yüksektir. Son olarak, gemi hızının düşürülmesi, sera gazı emisyonları için IMO gerekliliklerini karşılayacak önlemlerden biridir. Bu önlemler yeni gemi tasarımlarını optimize etmek ve halen işletilen orta ve yüksek hızlı gemiler için CO₂ emisyonlarını azaltmak için kullanılabilir.

Wang vd. [26] çalışmalarında, zamana göre değişen çevresel faktörler için gemi enerji verimliliği hesabını optimize etmede model öngörme kontrolü (MPC) stratejisini benimseyen yeni bir yöntem önermişlerdir. Araştırmada öncelikle zamana göre değişen gemi enerji verimliliğinin dinamik optimizasyon modeli; çevresel faktörler ve gemi enerji verimliliğinin doğrusal olmayan sistem modeli oluşturulmuştur. Daha sonra ise bu optimizasyon yönteminin geçerliliğini göstermek için bir vaka çalışması yapılmıştır. Optimizasyon algoritmasına dayalı olarak tasarlanan DOSEE denetleyicisi, tüm seyir sırasında çevresel faktörlerin değiştirilmesinden kaynaklanan problemleri telafi edebilir. Optimizasyon sonuçlarına göre, önerilen yöntem gemi enerji verimliliğini statik optimizasyon yönteminden yaklaşık olarak %2 daha etkili bir şekilde artırabilmektedir. Yöntem

ayrıca, geminin pratik çalışmasına kıyasla, ideal durumlarda yakıt tüketimini ve CO₂ emisyonlarını yaklaşık %28 azaltabilir. Bu yöntem, gemi enerji verimliliğini artırabilir ve CO₂ emisyonlarını etkili bir şekilde azaltabilir.

Jensen vd. [27] bir simülatörün sunduğu korumalı bir ortamda gerçekleştirdikleri örnek olay yöntemiyle yürütülen çalışmalarında, enerji tasarruflu operasyon ve farkındalık eğitiminin gemilerin enerji tüketimini nasıl etkileyebileceğini analiz etmişlerdir. Çalışmanın verileri, Uluslararası Denizcilik Akademisi SIMAC'ta yapılan navigasyon, tam görev simülatör testlerine dayanmaktadır. Çalışmaya insan faktörleri ve teknik konular da dahil edilmiş ve test oturumları pratik simülatör egzersizleri ve yansıtma atölyelerinin bir kombinasyonundan oluşmuştur. Simülatör testlerinin sonucu, teknik ekipman takma ve farkındalığı artırma kombinasyonunun, enerji tüketimi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ortalama olarak, katılımcılar yaklaşık %10 yakıt tasarrufu sağlamışlardır. Başlangıçta, katılımcıların hepsi güvenlik konusuna odaklanmışlarsa da tatbikatlar sırasında güvenlik ve enerji verimliliğini yönetme arasında uygun bir denge bulmuşlardır. Sonuç olarak çalışmada açıklanan navigasyon simülatörlerinin, gemilerin daha verimli çalışması için bir öğrenme süreci oluşturmada nasıl kullanılabileceğine bir cevap verilmektedir.

Chi vd. [28] gemilerinin operasyonel verimliliğini optimize etmek, Gerçek Zamanlı Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesini uygulamak için bir çerçeve önermişlerdir. Singapur Boğazı boyunca gemilerin enerji verimliliğini izleyen bir konsept model sunmak amacıyla gerçekleştirilen bu çalışma bir vaka araştırmasıdır. Bu kapsamda ilişkisel veri tabanı yönetim sistemi olarak PostgreSQL kullanılarak Python'da bir VESSEL-DB modeli geliştirilmiştir. Bu çalışma, gerçek zamanlı performans izleme çerçevesi için ilk adımı temsil etmektedir. Sonuç olarak IMO ve AB gibi kuruluşlarda devam eden veri toplama ve paylaşma zorunluluğu konusundaki tartışmaların, böyle bir çerçevenin uygulanmasına bağlı olarak hız kazanacağına inanılmaktadır.

Prill ve Igielski [29] araştırmalarında bir eğitim gemisinin 30 seferini analiz etmiş ve bu geminin Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesinin, dünya filosundaki nakliye gemilerinden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Analiz sonucunda,

mesafesi 450 Nm'yi aşan gemi seyri durumunda EEOI değerlerinin $1.325E^{-02}$ - $2.112E^{-02}$ aralığında olduğu, 450 Nm'den daha kısa olan seferler için ise bu değerlerin yükseldiği ortaya çıkmıştır. Çalışma, EEOI değerini belirlemek için standart yöntemin eğitim gemisi için uygulanamayacağını da göstermiştir. Sonuç olarak çalışmada kısa mesafeler ile operasyonel verimlilik göstergesinin yüksek değerleri arasında bir ilişki olduğu belirtilmektedir. Bu, sefer sırasındaki ortalama gemi hızı ile ilgilidir. Geminin seyir defterlerinin analizi, bu durumlarda geminin, hız değişkenliği ile yoğun manevralar gerçekleştirdiğini kanıtlamaktadır. Ve böylece yakıt tüketimi önemli ölçüde artmaktadır.

Akoel ve Miler [30] çalışmalarında MRV ve yakıt sarfiyatı verilerine özel olarak odaklanıp deniz taşımacılığı süreçleri üzerindeki ekonomik ve operasyonel etkilerini sunmuşlardır. Bunun yanı sıra yazarlar GSP (Çevreci Taşımacılık Uygulamaları) araçlarının yüksek çevresel etkililiğe sahip düşük maliyetli önlem araçları olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu araçlar, kapsamı dahilindeki en büyük emisyon miktarını yakalar, nakliye sektöründeki teknik ve operasyonel önlemlerin kullanılmasına izin verir ve diğer sektörlerdeki emisyonları dengeleyebilir. Araştırmada gerçekleştirilen analizler neticesinde, MRV ve yakıt sarfiyatı verileri araçlarının tanıtılması ile deniz ulaştırma antropojeni azaltılması arasında bir ilişki olduğu görülmüştür.

Ančić vd. [31] hazırlamış oldukları konferans bildirilerinde, tanker gemilerinin enerji verimliliğini daha gerçekçi bir şekilde belirlemek için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yaklaşım, gemideki temel enerji tüketicileri göz önünde bulundurularak geminin tüm işletim sürecini daha iyi temsil etmektedir. Bu yaklaşım; termal güç sistemi de dâhil olmak üzere tüm gemi güç sistemini dikkate alır, birden fazla makine yükünü ve gemi yükleme koşulunu gözlemler ve gemi kapasitesi ile ortalama hıza göre referans değerleri tanımlar. Bu yaklaşımla 1 Ocak 2009'dan 15 Temmuz 2015'e kadar teslim edilen tankerlerin çoğunun (%69), Faz 0 gereksinimini karşıladığı ortaya konulmuştur. Öte yandan, tankerlerin sadece %4'ü güç sistemlerinin nasıl iyileştirileceğine dair net bir gösterge olmadan Faz 3 gereksinimini karşılamaktadır. Önerilen yaklaşım benzer sonuçlara sahiptir. Ancak geminin enerji verimliliği performansı hakkında daha iyi bir kavrayış sağlar ve bu

nedenle tanker güç sistemi üzerinde daha yüksek etkiye sahip olabilir, bu da enerji verimliliğinin en üst düzeye çıkarılmasına ve sera gazı emisyonlarının en aza indirilmesine yol açabilir.

Tran [32] araştırmasında dökme yük gemileri, konteyner gemileri gibi büyük boy gemiler için enerji verimliliği operasyonunu, farklı ortam faktörlerinin direnç özelliklerine dayanarak analiz etmiştir. Vaka analizi yöntemiyle yürütülen bu çalışmada, IMO'nun, enerji verimliliği ölçütü dikkate alınıp ve izleme aracı olarak Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi (EEOI) kullanılarak sayısal bir ana makine için enerji verimliliği operasyonu modeli sunulmuştur. Bu EEOI sayısal modeli Simulink / Matlab aracılığıyla oluşturulmuş, simüle edilmiş ve Vietnam'daki belirli bir gemiden toplanan verilerle doğrulanmıştır. Daha sonra ise, araştırmanın simülasyon sonuçları bir dökme yük gemisinin deneysel veri tabanı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, gemide enerji tasarrufu yapmak ve sera gazı emisyon problemini azaltmak için gemi işletiminde ana makine hızının dikkate alınmasının önemli olduğunu göstermiştir. Bu araştırmanın sonuçları sayesinde ana makine yakıt tüketimi azalabilir. Buna ek olarak, yardımcı dizel makine gücü, dökme yük gemileri için EEOI sayısal modelinin kurulması sırasında da istikrarını korur. Öte yandan, bu araştırmadaki enerji verimliliği yönetiminin sayısal modeli, günümüzde dökme yük taşıyıcılar üzerinde dizel motorun yakıt yağı tüketimi üzerindeki dış faktörler göz önüne alındığında, optimal bir modeldir.

Zhang vd. [33] vaka çalışması modeliyle yürüttükleri araştırmalarında buz gemilerinin enerji verimliliğinin kapsamlı bir analizini sunma amaçlanmıştır. Bu kapsamda ilk olarak, Kuzey Kutbu'ndaki gemilerin enerji verimliliğini tahmin etmek için sinir ağı teorisine dayanan veri odaklı bir model geliştirilmiştir. Burada öncelikle bir korelasyon analizi yapılmıştır. Ardından, maliyetleri düşürmek ve mümkün olduğunca çevre dostu olmak için optimum enerji verimliliğine sahip bir rota sunulmuştur. Son olarak, geminin performansını analiz etmek çeşitli çevre koşullarında seyreden bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın sonuçlarında bir Arktik gemi için rota planlarken, enerji verimliliğinden önce mesafeye odaklanmanın doğru olmayacağı gösterilmektedir.

Zhang vd. [34] gemilerin enerji verimliliğinde küresel bir mekanizma geliştirilirken performans karşılaştırması için uygun bir göstergenin ön şart olduğuna değinirken, mevcut göstergelerin sorgulanmasına bağlı olarak var olan eksikliklerin giderilmesi için, Enerji Verimliliği Performans Göstergesi (EEPI) adı verilen alternatif bir metriği, yarı deneysel analizlerle önermişlerdir. Basitliği, uygulanabilirliği, tarafsızlığı ve mevcut politika çerçevesine uyarlanabilirliği göz önüne alındığında, EEPI potansiyel olarak, enerji verimliliği performansı ve daha temiz çalışma için teşvikler oluşturmak amacıyla tek başına veya bir derecelendirme ölçütüyle birlikte kıyaslama aracı olarak kullanılabilir. Petrol tankerlerinden türetilmiş olsa da, EEPI, teorik olarak dökme yük gemileri, belirli revizyonlara sahip diğer gemi tipleri, kargo gemileri ve kimyasal tankerlere uygulanabilir. EEPI'nın diğer seçeneklerle karşılaştırıldığında en önemli avantajı, ticari olarak hassas veriler kullanılmadan daha az çarpık metrik sonuçlar üretebilmesidir. Bunun yanı sıra, konteyner taşıyıcılarına ve diğer gemilere potansiyel olarak genişletilmiş uygulaması da doğrulamaya ihtiyaç duyar. Bu bağlamda, bu çalışma tarafından önerilen EEPI daha fazla iyileştirmeye tabi bir prototip olarak kabul edilebilir.

Jang ve Zheng [35] bildirilerinde, bir ticari dökme gemisinin 2015-2017 yılları arasındaki gerçek verilerini kullanarak yakıt tüketimiyle EEOI değeri arasındaki ilişkiyi saptamaya çalışmışlardır. Çalışma geminin ana makinesinin yakıt tüketimine odaklanmakta ve esas olarak geminin karbon emisyonlarını etkileyen faktörleri analiz etmektedir. Büyük ölçekli geminin, yolculuk, hız, kargo hacmi ve yolculuk süresinin net olması gibi aynı çalışma koşullarında, geminin verimliliğini artırmaya yardımcı olduğu bulunmuştur. Ayrıca yakıt türünü, yakıt miktarını ve karbon oksidasyon hızını değiştirerek karbon emisyonlarını azaltmak ve sonuçta geminin enerji verimliliğini artırmak amacına ulaşmak mümkündür.

IM vd. [36] anket tekniği kullanarak yürüttükleri çalışmalarında, bir geminin enerji verimliliği planını ne kadar başarılı bir şekilde uyguladığını belirleyebilen bir değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Araştırmada verimli gemi operasyonları, SEEMP yönergelerine göre değerlendirilmiştir. İlk olarak, deniz taşımacılığı şirketleri tarafından yönetilen gemi operasyonlarının enerji verimliliğini belirleyebilen bir gemi operasyonu enerji verimliliği değerlendirme yöntemi

geliştirilmiş ve bu süreç; SEEMP yönergesine göre enerji tasarruflu gemi işletimine katkıda bulunan öğelerin belirlenmesi, her enerji tasarruflu gemi operasyon maddesinin katkı seviyesine sayısal bir değer atamak için AHP yöntemine dayanan bir anket geliştirilmesi ve enerji tasarruflu gemi operasyon öğelerinin ağırlıklı değerlerini kullanarak, gemi operasyonu enerji verimliliği değerlendirme endeksinin oluşturulması şeklinde devam etmiştir. İkinci olarak ise örnek olay metoduyla, geliştirilen değerlendirme yöntemi kullanılarak, beş denizcilik şirketinin operasyonları, enerji verimliliği açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme yöntemi Güney Kore'deki denizcilik şirketlerine uygulanmış ve gemi işletme enerji verimliliği endeksleri elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Tran [37] çalışmasında, gemilerin emisyon kontrol alanlarındaki yolculuklarında karşılaştıkları, ağır kükürtlü yakıt ile bağlantılı olan problemlere bir çözüm bulmak doğrultusunda, düşük kükürtlü yakıt (DKY) tasarrufu sağlayıp deniz çevre kirliliğini azaltmayı amaçlamıştır. Bunu elde edebilmek için, Yapay Sinir Ağları (ANN) metodunun, DKY tüketimini öngörebilme kapasitesi araştırılmıştır. Araştırma, Vietnam'da bulunan nakliye şirketi VINIC'e ait yük gemisi baz alınarak yürütülmüştür. DKY'e ait tahmin modelinin kuruluş sürecinde; YSA'lar modele uygulanarak, geminin, emisyon kontrol bölgesinde göstermiş olduğu operasyonel faaliyetler üzerinden elde edilen deneysel veriler kullanmıştır. Bu araştırmanın sonucundan ortaya çıkan verilerin doğruluğu, DKY tüketiminde bir düşüş gözlemlendiği zaman anlaşılmıştır. Tran, araştırmasının sonunda, YSA modelinin, DKY tüketimini konu alan tahminlerde, geleneksel istatistiksel regresyon yöntemlerine göre daha kullanışlı olduğunu belirterek, bu araştırmanın, gemilerin özel deniz bölgelerine yapılan yolculuklarına ait enerji verimliliği yönetimiyle ilgili, asli bilgiler sunduğunu belirtmiştir.

Shaw vd. [38] yaptıkları çalışmada, EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) kullanılarak, karbondioksit (CO₂) yayılım ve tüketiminin gemiler için azaltıldığı, kayıt ve analizler sunmuşlardır. Hazırladıkları deneyde, gemi, Pasifik ve Atlantik Okyanusu arasında yolculuk yaparken, geminin yolculuk şartlarını küresel uydu iletişiminden elde ederek, büyük bir "Nesnelerin İnterneti" (IoT) verisi toplanmıştır. Bu çalışmada iki husus incelenmiştir; birinci olarak, güç

verimliliğinin, hız ve çeşitli su çekimleri (draft) arasındaki ilişkisine bakılmış, ikinci olarak ise gemi enerji yönetimiyle ilgili EEOI temelli bir strateji sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, sanılanın aksine, derin su çekiminin, sığ su çekimine göre daha iyi bir performans sergilediğini göstermiştir. İncelenen türdeki bir konteyner gemisi için, 11,5 ile 12 m arası derinlikteki bir su çekiminin, yakıt tüketimini azaltmak için ideal olduğu anlaşılmıştır. Araştırmada, EEOI temelli modeller kullanılarak, denizcilik endüstrisinin enerji tasarrufunun ve gemilerin motor etkinliğinin iyileştirilebileceği vurgulanmıştır. Bunun yanı sıra, IoT kullanılarak hazırlanacak yapıcı bir modelin, gemiyle ilgili verilecek kararlarda, doğru bir yol gösterici olacağına değinilmiştir.

Behrendt [39] çalışmasında, EEOI hesap sonuçlarını, karbondioksit yakıt tüketimi ve yayılımının bir indikatörü olarak sunmuştur. Bu araştırmada EEOI'nın saptanılması için saha çalışmaları düzenlenmiştir. Saha çalışmaları, aynı türde üç tane Polonyalı balıkçı botuna, ana makine olarak, farklı üç türde orta hız, kendiliğinden tutuşan ve içten yanmalı makine takılarak gerçekleştirilmiş. Bunun yanı sıra, modern makinelerin EEOI kıyaslaması yapılmıştır. Hazırlanan analiz sayesinde, bir ana makine tipinin, EEOI değerinin üzerinde, nasıl bir etki yarattığı görülmüştür. Sonuçlara göre, yeni jenerasyon makineler, EEOI birim değerinde bir düşüşe sebep olmaktadır.

Ichsan vd. [40] araştırmalarında, EEOI'yı yayılım tahmin parametresi olarak kullanıp, Endonezya'da bulunan, üç adet ücretli deniz kanalındaki yayılım düzeylerini düşürebilecek bir metot sunmaya çalışmışlardır. Toplamda, üç farklı kanaldan geçen üç farklı gemi göz önünde bulundurulmuştur. Operasyonel veriler, Endonezya Ulaştırma Bakanlığından gelerek, geminin hızını, net tonilatosunu, yükünü ve yükünün kullanımını kapsamaktadır. Bu veriler, hedef kanallardaki karbondioksit üretim düzeylerini ölçmek için kullanılmıştır. Bu çalışmada, yakıt tüketimini düşürecek ideal hız değerinin tahminini yapabilmek için kullanılan metot; yavaş akıştır. Elde edilen sonuçlar, yavaş akış işleminin, bahsi geçen deniz kanallarından elde edilen yayılım değerlerini pozitif yönde etkilediğini göstermektedir. Deneydeki temel güçlük, zaman kısıtlaması olarak belirlenmiştir.

Prill vd. [41] çalışmalarının odağı yeni bir EEOI metodolojisi geliştirmektir. Bunun sebebi Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından sunulan EEOI metodunun sadece, kullanım altındaki yedi tip gemiyi kapsamasıdır. Fakat, kullanım görevleri, ticaret filosundaki yolcu ve kargo taşıyan gemilerden farklı olan özel gemiler, bu kapsama alanına girmemektedir. Bu çalışmada, seçilen araştırma ve eğitim gemisi üzerinden yürütülen analizler sonucu, özel gemilerin kullanım görevlerine ek olarak, yolculuk sürelerini, yakıt türlerini, gidilen mesafeyi ve geminin hızını göz önünde bulunduran bir EEOI metodolojisi hazırlanmıştır. Prill ve diğerleri, elde ettikleri en yüksek özel gemi EEOI verilerini incelediklerinde, bunun sebebinin kötü planlanan kullanım görevleri ve bunların yürürlüğe geçirilme şekilleriyle ilgili olduğunu görmüşlerdir. Çalışmanın sonunda, bu yeni metodolojinin, özel gemilerde kullanım amaçlarının, çalışma sürelerinin, ideal rota ve hızlarının doğru planlanmasıyla EEOI değerlerini düşürdüğü, ve bununla birlikte, yakıt tüketimini azalttığı vurgulanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Gemilerde enerji verimliliği süreci, geminin tasarım aşamasından başlayarak faaliyeti boyunca da devam eden bakım onarım ve operasyon sürecinin de dâhil olduğu tüm aşamalarda karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda ortaya çıkan SEEMP, EEDI ve EEOI gibi kavramların ortak amacı enerji tüketimine sebep olan tüm durumların minimum olmasını sağlayarak temelde enerji verimliliğini arttırmaktır. MARPOL 73/78 (1973/1978 Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi) EK VI ile SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı)'in gerekleri belirlenmekte olup bu gereklere uyulması sonucunda gemilerde enerji tüketen sistemlerin verimliliğini arttırmak hedeflenmektedir. Bu kapsamda gemiler için enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik ve her gemi için ayrı ayrı olan SEEMP planlamaları yapılmaya başlanmıştır. SEEMP uygulamasının doğruluğu için ise IMO tarafından gemilerin enerji verimliliğinin sayısal bir göstergesi olan EEOI önerilmektedir [42].

Ülkemizde faaliyet gösteren bir denizcilik firmasının filosundaki ortalama gemi sayısı dikkate alındığında, şirketin verimliliğini değerlendirirken tüm gemilerini ele alarak sonuçlara ulaşmak önemlidir.

Bu çalışmada, bir dökme yük filosundan alınan veriler doğrultusunda, tüm gemilerin yakıt tüketim ve buna bağlı CO₂ salınım değerlerinin karşılaştırmalarının yapılması, buna ilave olarak enerji verimliliği göstergelerine göre de sefer verimliliklerinin incelenmesi ve sefer verimlilikleri arasındaki farkların temel nedenlerini inceleyerek gerekli iyileştirmelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca yapılan senaryolarla uygulanan değişikliklerin CO₂ emisyonları ve enerji verimliliği üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca SEEMP Bölüm 1' de belirtilen verimliliği iyileştirici tedbirlere ek olarak yeni iyileştirici tedbirlerin önerilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın yardımcı ise; korelasyon analizi yöntemi kullanılarak, EEOI üzerindeki parametrelerin önem derecelerini belirlemek ve sefer planlamasında operasyonel verimlilik faaliyetlerinin yük, mesafe ve yakıt tüketimi ile olan ilişkilerini lineer regresyon istatistiksel yöntemi ile belirlemektir. Böylece enerji verimliliği yönetimindeki maksimum iyileştirmelerin sunulması hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Enerji verimliliği konusu günümüzde tüm alanlarda olduğu gibi denizcilik sektöründe de önemli bir yere sahiptir. Gemiler kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması hedefleri aynı zamanda yakıt sarfiyatının azaltılması ve gemilerin daha verimli donanımlara ilave olarak uygun operasyon planı ile de enerji verimliliklerini iyileştirmeyi gerekli kılmıştır. Enerji verimliliğini arttırmayı hedefleyen yeni birçok teknolojik gelişmelerin olmasına rağmen mevcut gemilere uygulanabilirliği her zaman mümkün olmamaktadır. Bu durum mevcut gemiler için en önemli enerji verimliliği artırıcı etkinin gemilerin verimli işletilmesiyle mümkün olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada aynı filoya ait 11 geminin gerçek verileri ile sefer enerji verimlilikleri ve CO₂ emisyon salınımları hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam emisyon miktarları ve enerji verimliliği operasyonel göstergeleri özellikle kardeş gemiler arasında karşılaştırılmıştır. Mevcut farklılıklar ile gemilerin verimli işletilmesindeki öncelikleri ve yapılacak iyileştirmelerin önemi konularında bir fikir üretilmesi sağlanacaktır. Böylece enerji verimliliği yönetimi ile CO₂ emisyonlarının azalacağı ve verimliliğin artacağı öngörülmüştür. Ayrıca yapılan analizler ile gemi sefer

parametrelerinin etkilerine göre geleceğe yönelik verim arttırıcı uygulamalarla operasyonel verimliliğin arttırılması hedeflenmiştir.



ULUSLARARASI DÜZENLEMELER VE EMİSYON SINIRLAMALARI

2.1 Montreal ve Kyoto Protokolleri

Küresel ısınmayla mücadele temel olarak uluslararası hukukta iki ana koldan yürütülmektedir. Bunlardan biri ozon tabakasının korunmasına dair yapılan Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü'ken diğeri ise Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü'dür [43].

Montreal Protokolü Eylül 1987'de kabul edilmiş ve çevre ile alakalı oluşturulmuş çok taraflı temsilcilere sahip olan anlaşma olarak tanımlanmıştır. Bu sözleşmeye taraf olan ülkeler, insan sağlığını, çevreyi ve ozon tabakasını olumsuz etkileyen veya etkileyebilecek insan kaynaklı etkilere karşı korumak amacıyla gerekli önlemleri almakla yükümlüdürler. CFC (Kloroflorokarbon) atıklarının yaklaşık %80'ini çevreye salan Montreal Protokolündeki imzacı taraflar, bu sözleşme ile benzer atıklarını 1986 yılındaki seviyelerinin yarısına kadar indirmeyi kabul etmişlerdir. 19 Aralık 1991 tarihinde Türkiye devleti protokole taraf olarak tüm gerekliliklerini kabul etmiştir. Bu kapsamda Protokole ilişkin çalışmalar Çevre ve Şehircilik Bakanlığının bağlantı ve ilişkileriyle gerçekleştirilmektedir [44].

1997 yılında Japonya'da Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi gerçekleşmiştir. Bu kapsamda 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'nün ise temel amacı 6 ana sera gazı (karbon dioksit, metan, nitroz oksit, kükürt heksaflorür, HFC'ler ve PFC'ler) salınımlarının sınırlandırılarak toplam emisyonun azaltılmasıdır. Bu kapsamda gelecek yıllara yönelik emisyon azaltım hedefleri belirlenmiştir. Taraf olan ülkeler ise bu hedefe ulaşmak için gerekli olan emisyon azaltımı ve kontrol edilmesine ilişkin yükümlülükleri üstlenmişlerdir. 191 ülkenin taraf olduğu protokole Türkiye 2009 yılında taraf olmuştur [45].

Protokol kapsamında gemilerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının kontrol edilmesi görevi, denizcilik ile ilgili tüm düzenlemeleri yürüten Birleşmiş Milletlerin bir alt kuruluşu olan Uluslararası Denizcilik Örgütüne (IMO) verilmiştir [46].

2.2 Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) ve Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC)

Deniz taşımacılığı çok yönlü ve uluslararası bir alanı kapsadığından dolayı bu sektörü ilgilendiren faaliyetlerin tek bir ana koldan yürütülmesi, yapılacak çalışmaların daha etkili olmasını sağlayacaktır. Bu kapsamda; Uluslararası Denizcilik Örgütü, gemilerin güvenliği ve emniyetinin yanında gemilerden kaynaklanan her türlü kirliliğin önlenmesinden sorumlu olan Birleşmiş Milletlerin özelleştirmiş olduğu bir kuruluştur. IMO teknik bir örgüt olup sorumlu olduğu alanlara yönelik çalışmaları komite ve alt komiteler tarafından yürüterek gerekli düzenleyici çerçeveyi oluşturmaktadır. Komiteler, ilgili düzenlemelerin geliştirilmesi, takip edilmesi, güncellenmesi ve onaylanmasından sorumludur [47].

Bu çerçevede denizcilik sektörü kaynaklı çevre kirliliğini azaltmak ve kontrol etmek amacıyla IMO tarafından yürütülen politikalar, Deniz Çevre Koruma Komitesi (MEPC) ile birlikte gerçekleştirilmektedir. MEPC'nin çalışma alanı gemi kaynaklı tüm çevresel sorunları ele alır. Bunlar arasında yağ ve yakıt kaçakları, çöp atıkları, sintine ve balast suları ve kirletici emisyonlar başta olmak üzere tüm çevresel kirliliğe neden olan sorunlar bu komite kapsamı alanına girmektedir. MEPC kısaca gemilerden kaynaklanan deniz çevresinin kirliliğinin kontrolü ve önlenmesi ve bu amaç doğrultusunda teşkilat faaliyetlerinin koordinasyonundan sorumludur [48].

2.3 Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL)

MARPOL 73/78 sözleşmesi 2 Kasım 1973 tarihinde IMO tarafından kabul edilmiştir. Ancak yeterli taraf devlet sayısına ulaşamadığı için yürürlüğe girememiştir ve daha sonra gerekli taraf ülke sayısına ulaşılmasıyla birlikte 1978 protokolü ile birlikte ana sözleşmeyi de kapsayarak kabul edilmiştir. Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme Sözleşmesi (MARPOL 73/78) 6 uygulama ekinde oluşmakta olup gemilerden kaynaklı hava kirliliğinin önlenmesine ilişkin kurallar MARPOL 73/78

EK VI kapsamına girmektedir. MARPOL 73/78 EK VI Sözleşmesi Mayıs 2005'te yürürlüğe girmiştir [49].

MARPOL 73/78 EK VI Gemi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Önlenmesi Sözleşmesi ile bazı kurallar belirlenmiştir. Bunlardan birkaçı;

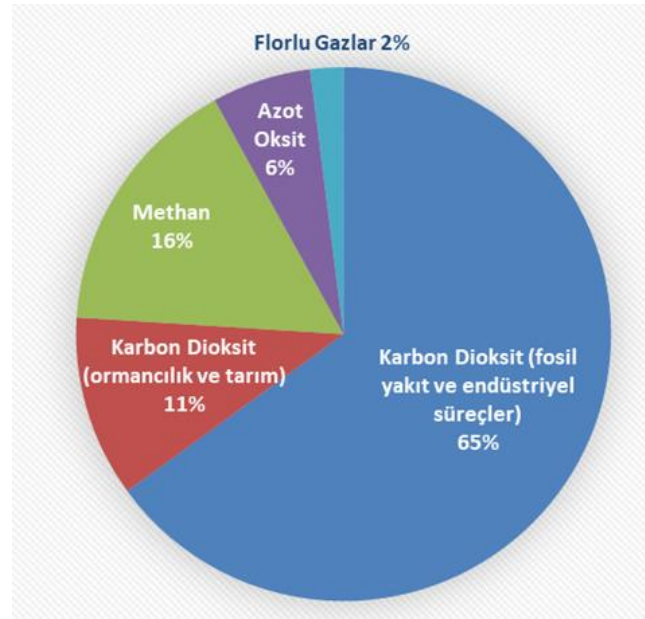
- SO_x, NO_x ve partikül madde (PM) emisyonları için salınım oranları belirlenmiştir.
- Gemi egzoz gazı salınımlarının sınırlandırıldığı özel emisyon kontrol alanları belirlenmiştir (ECA).
- Gemiler ve yardımcı dizel motor üretici firmaları için emisyon azaltımına katkı sağlayan ve alınması da zorunlu olan sertifikalar belirlenmiştir [50].

IMO, zaman içerisinde mevcut hedeflere ulaşılabilme durumuna bağlı olarak gerekli görülen iyileştirmeler neticesinde yeni düzenlemeler yaparak sözleşmenin kapsamını geliştirmektedir.

Türkiye, MARPOL 73/78 Sözleşmesinin I, II ve V. Eklerine, 24.06.1990 tarihinde Bakanlar Kurulu Kararı ile taraf olmuştur. Ülkemizin taraf olmasından sonra 10 Ocak 1991 tarihinde ise belirtilen sözleşme ekleri yürürlüğe girmiştir [51].

2.4 Karbon Dioksit (CO₂) Emisyon Sınırlamaları

Dünyada sanayinin gelişmesiyle birlikte artan fosil yakıt tüketimi, atmosfere salınan zehirli gaz emisyon miktarını, çevre ve insan sağlığı açısından tehlikeli seviyelere çıkarmıştır. Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya birçok zararlı bileşenler çıkmaktadır. Yeryüzünden yansıyan güneş ışınlarının bir kısmını tekrar yeryüzüne göndererek atmosferdeki ısının artmasına ve iklim değişikliğine neden olan bu gazlara sera gazı adı verilmektedir. Şekil 2.1'de görüleceği üzere sera gazları içerisinde en yüksek paya sahip olan %65 oranıyla CO₂ gazıdır [52].



Şekil 2.1 Küresel sera gazı emisyonlarının dağılımı [56]

Tüm dünya ticaretinin büyük bir çoğunluğunun deniz yolu taşımacılığı ile gerçekleştiği bilinen bir gerçektir. Ayrıca deniz taşımacılığı, taşınan yük ve mesafe başına salınan emisyon miktarı bakımından (birim/ton.mil) diğer taşımacılık türlerine göre oldukça verimlidir [53].

Temel kaynağı fosil yakıt olan küresel karbon emisyonları son 40 yılda %90 oranında artmıştır. IMO üçüncü sera gazı emisyonlar çalıştayını açıklamasına göre, deniz taşımacılığı kaynaklı CO₂ emisyonları 2012 yılı verilerine göre yılda yaklaşık olarak 940 milyon tondur ve bu değer küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %2,6'sına karşılık gelmektedir. Ayrıca 2007-2012 yılları arası küresel bazda salınım yapan CO₂ emisyonunun ortalama %3,1'i denizcilik sektöründen kaynaklanmaktadır. Toplam küresel CO₂ emisyon salınımının denizcilik sektörü kaynaklı CO₂ emisyon salınımı ile karşılaştırması Tablo 2.1'de gösterilmektedir [2].

Tablo 2.1 Küresel ve denizcilik kaynaklı CO₂ emisyonları [2]

Yıl	Küresel CO ₂	Toplam Denizcilik	Küresel %	Uluslararası Denizcilik	Küresel %
2007	31,409	1,100	%3.5	885	%2.8

Tablo 2.1 Küresel ve denizcilik kaynaklı CO₂ emisyonları (devamı)

2008	32,204	1,135	%3.5	921	%2.9
2009	32,047	978	%3.1	855	%2.7
2010	33,612	915	%2.7	771	%2.3
2011	34,723	1,022	%2.9	850	%2.4
2012	35,64	938	%2.6	796	%2.2
Ortalama	33,273	1,015	%3.1	846	%2.6

Yine aynı çalıştayda, dünya deniz ticaretinin büyümeye devam etmesini de dikkate alarak karbon emisyon oranının 2050 yılına kadar %50 ile %250 arasında büyüebileceği belirtilmiştir [57]. Bu nedenledir ki denizcilik sektörü kaynaklı emisyonların azaltılmasını amaçlayan düzenlemeler yapmak bir zorunluluk halini almıştır. Bu kapsamda AB ve IMO, gemi kaynaklı CO₂ emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması ile ilgili kuralları yürürlüğe sokmuştur.

2.4.1 Avrupa Birliği İzleme, Raporlama ve Doğrulama (EU MRV)

EU MRV, Avrupa Birliği'nin kendi sınırları içerisinde gemilerden kaynaklı CO₂ emisyonlarını denetlemek amacıyla oluşturmuş olduğu ve Avrupa Birliği ülkeleri limanlarına gelen/giden ve arasında sefer yapan 5000 GRT ve üzeri tüm ticari gemilerin CO₂ emisyon miktarlarının izlenmesi, raporlanması ve doğrulanmasını hedef alan bir yönetmeliktir. Yönetmelik, 29 Nisan 2015 tarihinde Avrupa Birliği Parlamentosu tarafından kabul edilmiş ve 1 Temmuz 2015 tarihinde yürürlüğe girmiştir [54]. Bu kapsamda ilk raporlama dönemi için veriler 1 Ocak 2018 – 31 Aralık 2018 tarihleri arasında toplanmış olup hazırlanan yıllık raporlama 30 Nisan 2019'da kamuoyu ile paylaşılmıştır [55].

EU MRV Yönetmeliği kapsamında her gemi için özel hazırlanan ve CO₂ emisyonları, gidilen yol, taşınan yük gibi bilgilerin izleme ve raporlamadaki yöntemini belirten bir izleme planı olmalıdır. Bu plan, uygulama yönetmeliğindeki izleme planının yapısı ve düzenlemenin gereklilikleriyle uyumlu olmalıdır. Buna göre, izleme planında (MP- Monitoring Plan) gerekli olan veri şablonu aşağıdaki gibidir;

- Gemi ile ilgili genel bilgiler
- Gemideki CO₂ emisyon kaynakları
- Kullanılacak izleme yöntemi
- Kullanılan yakıt türü
- Emisyon faktörleri [56]

Ayrıca şirketler, raporlama dönemleri boyunca Avrupa Birliği'nin 2015/757 düzenlemesinde belirtilen parametrelere göre sefer başına ve yıllık bazda CO₂ emisyonlarını izleyebilmelidir. Sefer bazlı olarak bakıldığında bu parametreler; her gemi için tarih ve saat belirtilerek çıkış/varış limanı, katedilen mesafe, denizde harcanan zaman, taşınan kargo miktarı, CO₂ emisyon miktarı, seyir süresi, tüketilen her yakıt türü için miktar ve emisyon faktörü olarak belirtilmiştir. Yönetmelik gemi tipine göre taşınan yükü belirtecek parametreleri; yolcu gemisi için yolcu sayısı, petrol tankeri için gemideki yükün kütlesi, genel kargo gemisi için deadweight değeri, konteyner gemisi için TEU miktarı olarak kabul etmiştir [56].

Gemilerin temel emisyon kaynağı ana makinelerdir ancak beraberinde yardımcı makineler, kazanlar, gaz türbinleri ve asal gaz jeneratörleri de dikkate alınması gereken emisyon kaynaklarındandır. Bu kaynaklardan salınan CO₂ miktarı aşağıda belirtilen metotlardan herhangi biri ile hesaplanabilmektedir. Şirketler izleme planlarında hangi yöntemi kullandıklarını belirtmeli ve buna uygun verileri raporlamalıdır.

1. Metot: Yakıt alım evrakı (BDN-Bunker Delivery Note)
2. Metot: Gemideki yakıt tankı seviyesi takibi
3. Metot: Debi ölçer (flow meter) ile hesaplama
4. Metot: Doğrudan bacadan ölçülen CO₂ salınımları [54]

İlk iki yöntem uygulama kolaylığı ve düşük maliyetli olması sebebiyle daha çok tercih edilmiş olabilir. Ancak burada önemli olan emisyon kayıtlarının doğrulanabilmesi açısından en güvenilir yöntemi seçmektir.

Şirketler yönetmelik kapsamında belirtilen yakıt sarfiyatını saptama ve raporlama metotlarından kendi gemilerine uygun olanı seçerek oluşturdukları izleme planı ile doğrulayıcı kuruluşlara başvurmalıdırlar. Doğrulayıcı kuruluşlar, izleme planının yönetmeliğe uygunluğunu ve raporlamanın belirtilen plana uygun olarak yapılıp yapılmadığını inceleyerek teyit etmektedirler. Doğrulanmış izleme planı dâhilinde CO₂ emisyonlarının yıllık olarak raporlanması gerekmektedir [54] [57].

Avrupa Komisyonu 2016/1927 düzenlemesi ile şirketlerin her bir gemi için ayrıca emisyon raporu oluşturmalarını gerekli kılmıştır. İlgili raporun içeriğine dair bilgiler düzenlemede ayrıca belirtilmektedir. Buna göre hazırlanan emisyon raporları ve izleme raporları her yılın 30 Nisan'ına kadar doğrulayıcı kuruluşlara iletilmelidir. Doğrulayıcı kuruluş gerekli kontrolleri yaparak uygun görmesi halinde gemi için sunulan raporlara dayanarak bir uygunluk raporu (DOC- Document of Compliance) hazırlar. Doğrulan bu raporlar Avrupa Komisyonuna ve Bayrak Devletine bildirildikten sonra komisyon tarafından her yılın 30 Haziran'ına kadar kamuoyu ile paylaşılmaktadır. Böylece deniz taşımacılığı sektörü kaynaklı CO₂ emisyonları daha şeffaf ve güvenilir bilgi sunmaktadır [56].

2.4.2 IMO Veri Toplama Sistemi (IMO DCS)

Uluslararası deniz ticaretinden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltmak ve enerji verimliliğini arttırmak amacıyla Avrupa Parlamentosunun ardından IMO, 24-28 Ekim 2016 yılında MEPC 70 toplantısı ile MARPOL EK VI'da yapılan değişiklikleri kabul etmiştir. Bu kapsamda 5000 GRT ve üzeri ticari sefer yapan tüm gemilerin kullandıkları yakıt verilerinin yanında seyir bilgilerini de içeren ek verileri toplaması gerekmektedir. Gemiler için oluşturulacak veri toplama ve raporlama metodunun gemiye ait SEEMP'in içeriğine eklenmesi ve kurala uygunluğunun teyit edilmesi gerekmektedir [58].

Toplanan veriler yıllık periyotlarla Bayrak Devletine rapor edilmekte olup raporların uygunluğunun kontrolü sağlandıktan sonra IMO'nun Yakıt Veri Toplama Veritabanı'na aktarılacaktır. İlk raporlama dönemi 1 Ocak 2019 – 31 Aralık 2019 olarak belirlenmiştir. Raporlama dönemi sonrası doğrulanmış yakıt tüketim verileri her yılın en geç 30 Haziran'ına kadar GISIS sistemine sunulmalıdır [59], [60].

2.5 Gemilerde Enerji Verimliliği ve Düzenlemeleri

Gemi egzozlarından salınan hava kirletici gaz emisyonları, temelde doğrudan yakıt sarfiyatı ile ilişkilidir. Bu nedenledir ki uluslararası kurallar kapsamında uygulanan emisyon sınırlamaları aslında enerji verimliliğini de arttıran bir uygulamadır. IMO tarafından 11-15 Temmuz 2011’de düzenlenen MEPC 62 toplantısı ile yeni gemiler için dizayn ve teknik tedbirler ile mevcut gemiler için operasyonel verimliliği arttırıcı tedbirleri kapsayan düzenlemelerin MARPOL EK VI’ya yeni bir bölüm (Bölüm 4) olarak eklenmesi kabul edilmiştir. Bölüm 4’te EEDI, EEOI ve SEEMP olarak adlandırılan üç ayrı ölçüt önerisi bulunmakta olup bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanmaktadır [42], [61].

2.5.1 Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI)

Gemi enerji verimliliği dizayn indeksi, yeni inşa edilecek gemilerin tasarım aşamasında enerji verimliliğini etkileyen yenilikçi teknolojilere göre dizayn edilmesini ve böylece gemilerdeki enerji verimliliğini arttırarak gemi kaynaklı CO₂ salınımını azaltmayı amaçlamaktadır. Kısaca taşıma işi yani ton-mil başına salınan CO₂ emisyon miktarı olarak da tanımlanmaktadır.

EEDI, 1 Ocak 2013 tarihinden sonra inşa edilen, 400 GRT ve üzeri, tüm gemiler için zorunlu kılınmaktadır. IMO tarafından belirlenen metoda göre yeni inşa gemileri için hesaplanan “Sağlanan EEDI” (Attained EEDI) değerinin “Gerekli EEDI” (Required EEDI) değerine eşit veya daha küçük olması gerekmektedir [42].

$$\text{Sağlanan EEDI} = \frac{\text{Güç} \times \text{Özgöl Yakıt Tük.} \times \text{Emisyon Faktörü}}{\text{Kapasite} \times \text{Hız}} \leq \text{İstenen EEDI} \quad (2.1)$$

Yukarıdaki formülde “Sağlanan EEDI” ile “İstenen EEDI” arasındaki ilişki gösterilmektedir. Ayrıca formülde belirtilen sağlanan EEDI değeri geminin enerji verimliliğinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir [62], [42].

EEDI ile bir geminin tasarım aşamasından itibaren yakıt verimliliğini arttıracak tüm bileşenlerinin sürekli olarak gelişimi ve iyileştirilmesi hedef alınmıştır. Bu hedefler doğrultusunda öngörülen verimlilik artışı ise 2015 yılına kadar %10, 2020 yılına

kadar %20 ve 2025 yılına kadar %30'dur. Planlanan hedeflerin 2030 yılında yakalanması halinde ICCT'nin (International Council of Clean Transportation) öngördüğü karbondioksit salımı 263 milyon metrik ton azalacaktır [63].

2.5.2 Enerji Verimliliği Operasyon İndeksi (EEOI)

Enerji Verimliliği Operasyonel İndeksi (EEOI), temelde gemilerin işletme kaynaklı enerji verimliliğinin sayısal bir göstergesidir. Gemi işletmecileri için geminin operasyonel verimliliğini ölçmek uzun vadede yapılacak iyileştirmeler ile birlikte yüksek kazançlar elde edebilme imkânı sağlamaktadır. Ayrıca SEEMP yönetim planının gemiye uygunluğunun kontrol edilebilmesi için de enerji verimliliğinin niceliksel olarak takip edilmesi gerekli görülmüştür. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda uluslararası standartlar kapsamında enerji verimliliğinin niceliksel olarak hesaplanabilmesi amacıyla IMO tarafından EEOI oluşturulmuştur ve MEPC.1/Circ.684'te belirtilmiştir. Mevcut gemiler için EEOI hesabı zorunlu tutulmayıp şirketlerin SEEMP değerlendirmesi yapabilmesi amacıyla tavsiye olarak sunulmuştur. Gemi işletmecileri EEOI hesabı ile planlamış oldukları SEEMP'i kontrol edebilmekte ve gerçeğe uygunluğunu test edebilmektedirler [1].

Tek seferlik yük taşıyan bir gemi için EEOI değeri aşağıda belirtilen (2.2) formülü ile hesaplanmaktadır.

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{kargo} \times D} \quad (2.2)$$

Belirli bir süre sefer yapan gemiler için ise EEOI değeri aşağıda belirtilen (2.3) formülü ile hesaplanmaktadır.

$$Ortalama EEOI = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i (m_{kargo,i} \times D_i)} \quad (2.3)$$

Formüllerde; j yakıt tipini, i sefer sayısını, FC_{ij} i. seferde kütleli olarak harcanan j yakıtını, C_{Fij} j yakıtının kütleli olarak CO₂'e dönüşen miktarını, m_{kargo} taşınan yük ya da yapılan iş ya da yolcu gemisi için gros tonajı, D yükün taşıma mesafesini ifade etmektedir [64].

EEOI birimi formülde görüldüğü gibi gemi tipine bağlı olarak değişen taşınan yük türüne göre değişmektedir. Geminin CO₂ salınım miktarı kullanılan yakıt tipinin C_F değeri ile tüketilen toplam yakıt miktarı çarpımı ile bulunur. Taşınma işi ise, geminin taşıdığı toplam yükün toplam mesafe ile çarpımı ile bulunur [29].

Yakıt tipine bağlı olarak ton başına yanmayla yakıtın saldığı CO₂ değeri değişmektedir. Bu C_F olarak ifade edilir ve IMO MEPC.1/Circ 684'te belirtilen yakıt tipleri ve referansına göre karbon içerikleri aşağıdaki Tablo 2.2'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Yakıt karbon içerikleri [1]

Yakıt tipi	Referans	Karbon içeriği	C _F (t-CO ₂ /t-Yakıt)
1.MDO / MGO	ISO 8217 DMX DMC	0,875	3,206
2. LFO	ISO 8217 RMA RMD	0,86	3,151
3.HFO	ISO 8217 RME RMK	0,85	3,114
4.LPG	Propan	0,819	3,000
	Bütan	0,827	3,030
5.LNG	CH ₄	0,75	2,750

Tabloda da görüldüğü gibi en düşük karbon içeriği LNG yakıtlarında iken en yüksek karbon içeriği ise MDO/MGO yakıtlarındadır. Buradan sadece yakıt tipini değiştirerek bile CO₂ emisyonlarının etkili miktarda azalacağı anlaşılmaktadır.

Bir geminin farklı seferlerindeki operasyon göstergesinin ortalaması alınarak elde edilen EEOI, filodaki kardeş ve diğer gemiler arasında performans kıyaslama olanağı sağlamaktadır. EEOI değeri sefer operasyonu değişkenlerine göre farklılık göstermekte olup aynı seferler için yakıt tüketimini düşürerek, taşınan kargo miktarını arttırarak veya geminin boş seyir süresi ile liman periyodunu azaltarak geliştirilebilmektedir.

2.5.3 Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP)

Günümüz teknolojik şartlarında gemilerdeki CO₂ emisyonunun azalmasını sağlayan en etkili parametre yakıt sarfiyatının azaltılmasıdır. Bu ise gemilerde yakıt tüketimine sebep olan tüm ekipmanların verimli işletilmesi ile mümkün olmaktadır. Mevcut gemilerde enerji verimliliğini arttırabilmek, gemilerin işletilmeleri sırasında alınacak önlemler ile sağlanmaktadır.

Bu doğrultuda IMO tarafından geliştirilen SEEMP, 1 Ocak 2013 tarihi itibari ile 400 GRT'den büyük gemiler için zorunlu olan ve şirketlerdeki her bir gemiye ait enerji verimliliğini arttırmayı amaçlayan bir yönetim planıdır. Gemilerde bulunması gerekli olan SEEMP, sörvey sırasında denetlenmekte olup onaylanması durumunda gemilere Uluslararası Enerji Verimliliği Sertifikası (IEEC) düzenlenmektedir.

SEEMP'in temel olarak iki kısmı vardır. SEEMP Kısım 1, gemi ve filo verimlilik performansını izleyerek geminin performansını optimize etmek için dikkate alınması gereken bazı öneriler sunmaktadır. Bölüm II ise, MARPOL Ek VI'nın 22A düzenlemesine göre 5000 GRT ve üzeri gemiler için yakıt tüketim verilerini toplamak amacıyla oluşturulmuş IMO DCS adı verilen yönetmelik gerekliliklerini ve süreçlerini kapsamaktadır [65].

3.1 Filo Özellikleri

Mevcut çalışmamızda kullanılan veriler bir Türk armatör firmasının sahip olduğu filoya ait 11 adet gemiden alınmıştır. Örnek filoya ait gemiler ve genel özellikleri Tablo 3.1’de görülmektedir. Sınıflandırma yapılırken benzer özelliğe sahip gemiler (kardeş gemi) aynı kategori altında gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Tüm filo gemilerinin özellikleri

Gemi	Gros Tonaj GRT	DWT, MT	Boy (L.O.A.), Metre	Ana Makine, HP	Yardımcı Dizel Makine, KW	Yapım Yılı
A1	31.255	55.905	189,99	9480	3x550	2007
A2	32.795	55.442	187,88	8820	3x680	2013
B1	38.895	75.621	225,00	8970	3x455	2006
B2	38.895	75.580	225,00	8970	3x455	2006
C1	42.895	82.000	229,06	10170	3x650	2012
C2	44.557	82.000	229,06	10170	3x650	2012
D1	44.367	83.482	229,00	9130	3x440	2011
D2	44.367	83.482	224,23	9130	3x440	2011
E1	42.895	82.849	228,99	9800	3x455	2006
E2	42.895	82.849	228,99	9800	3x455	2006
F1	106.405	207.777	299,70	16610	3x560	2008

Filodaki gemi özelliklerine bakıldığında F1 gemisinin diğer filo gemilerine kıyasla hem yük kapasitesi olarak hem de ana makine ve yardımcı dizel makine gücü olarak oldukça farklı olduğu görülmektedir. Bu farkın da enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olduğu bilinmektedir.

3.2 Hesaplama Yöntemleri

3.2.1 CO₂ Emisyon ve CO₂ İndeks

Yakıtın türüne göre içeriğindeki karbon miktarı değişmektedir. Buna bağlı olarak ton başına yanmayla atmosfere salınan CO₂ miktarı da yakıt cinsine göre değişmekte olup bu değer C_F olarak tanımlanmıştır. IMO MEPC.1/Circ 684'te yakıt tipi ve referans alınacak C_F (ton-CO₂/ton-yakıt) değerleri verilmektedir [66].

Bu çalışmada kullanılan CO₂ indeks değeri ise mil başına salınan CO₂ emisyonu miktarını "ton CO₂/ mil" cinsinden gösterir ve şu şekilde hesaplanır:

$$CO_2 \text{ İndeks} = \frac{\text{Toplam } CO_2 \text{ Emisyonu (ton)}}{\text{Mesafe (deniz mili)}} \times 1000 \quad (3.1)$$

3.2.2 Enerji Verimliliği Operasyon İndeksi (EEOI)

Çalışmamızda kullanılan EEOI değerinin hesaplanması yapılırken IMO tarafından yayınlanan MEPC.1/Circ.684 kılavuzu referans alınmıştır.

Formülün pay kısmında yer alan yakıt tüketimi, geminin liman, seyir ve demir periyotlarında ana makine ve diğer yardımcı makinelerin tükettikleri yakıt miktarının değerini göstermektedir. Payda kısmı ise seyir mesafesi ile taşınan yük değerinin çarpımı olan "taşıma işi" veya "faydalı iş" olarak tanımlanmaktadır. Buradaki seyir mesafesi geminin kat ettiği toplam mesafe (deniz mili), taşınan yük ise gemi tipine göre değişen genel, katı, sıvı, gaz, konteyner, yolcu, araç vb. miktarları kapsamaktadır. Hesaplamalar sonucu EEOI değerleri "ton CO₂/(ton x deniz mili)" cinsinden ifade edilmiştir [1].

Gemilerin seyirleri ara sefer (pasaj) ve sefer olarak ikiye ayrılır. Gemi ara seferlerinde yük olmadan yapılan balastlı seferler de bulunmaktadır. Bu durumlarda ilgili ara sefere ait EEOI değeri formülde payda 0 olduğundan sonsuz olarak bulunur. Ancak bir seferin verimliliğine bakarken mevcut ara seferleri ile birlikte değerlendirmek gerekmektedir. Bir sefer; yüksüz olarak limandan ayrılış, geminin yüklenmesi, yükü tahliye etme ve limandan tekrar yüksüz olarak ayrılış arasında geçen ara seferlerin tümünü kapsamaktadır.

3.2.3 Filo Enerji Verimliliği Yönetim İndeksi (FEEMI)

Tüm filonun enerji verimliliği kapsamında işletme verimliliğinin değerlendirilebilmesi için literatürde Filo Enerji Verimliliği Yönetim İndeksi (FEEMI) tanımlanmıştır. FEEMI (3.2) formülü ile hesaplanmaktadır.

$$FEEMI = \frac{\sum_{i=1}^n EEOI_i}{n} = \frac{EEOI_{Ortalama}}{n} \quad (3.2)$$

Formülde gösterilen “n” değeri filodaki gemi sayını temsil etmektedir. FEEMI değeri şirketlerin yıla göre ne kadar daha verimli işletilip işletilmediğini gösterir.

3.2.4 SPSS Analizi

Aynı filoya ait gemiler arası sefer değerlendirmesi yapılabilmesi için bu araştırmada temel olarak SPSS programı ile veriler analiz edilmiştir. Yardımcı olarak ise R Studio programından faydalanılmıştır. Öncelikle tüm gemilerin verileri tek sayfada SPSS programına eklenmiştir ve program ara yüzü Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te görülmektedir.

	GemiNo	SeferNo	CO2Emisyonu	Mesafe	Yük	EEOI	EEOIOrtalama	DWT	AnaMakineGücü	PRE_1	ZRE_1	SRE_1
1	A1	1,0	1227,7280799999999	4389,0000000000000	28582,75000000000	11,315453764817530	11,315453764817530	55905	9480	12,08591	-,31067	-,31903
2	A1	2,0	2762,4313200000000	8744,6899999999999	47100,00000000000	11,714395438266058	11,58868150898231	55905	9480	11,93668	-,08963	-,09076
3	A1	3,0	1274,0526399999999	3788,6899999999999	29900,00000000000	12,431100520545950	11,781917742968826	55905	9480	12,66413	-,09396	-,09555
4	A1	4,0	1796,8292800000000	6525,0400000000000	41106,81000000000	20,569991200971323	13,219054245340491	55905	9480	13,97834	2,65791	2,71645
5	A1	5,0	689,7244400000000	2141,6000000000000	48200,00000000000	12,489593093060474	13,150408931055152	55905	9480	13,70989	-,49326	-,50410
6	A1	6,0	2536,3802099999999	7727,0000000000000	40900,00000000000	16,920729969696975	13,944877442043524	55905	9480	14,93158	,82027	,82331
7	A1	7,0	3371,7294599999999	9999,3000000000000	41950,00000000000	14,889911083730433	13,967879425593373	55905	9480	15,03485	-,38102	-,39147
8	A1	8,0	1248,7295199999999	3485,9000000000000	52453,00000000000	10,822745521929658	13,640212335622257	55905	9480	14,83061	-,15755	-,161491
9	A1	9,0	3888,3288599999999	12786,2000000000000	52250,00000000000	7,89645638131657	11,856163196117163	55905	9480	12,10044	-,16955	-,172651
10	A1	10,0	3588,0308399999999	10634,0000000000000	34466,66666666667	10,26333253269588	10,26333253269588	55905	9480	10,80362	-,21786	-,22073
11	A1	11,0	1344,1216999999999	3516,2000000000000	51011,00000000000	8,316125672838705	9,641783590220166	55905	9480	9,49223	-,47423	-,48214
12	A1	12,0	3288,8722500000000	9563,5000000000000	41850,00000000000	13,586040764322203	10,920656609688730	55905	9480	11,37929	,89405	,90474
13	A1	13,0	1183,0318400000000	3228,3000000000000	38000,00000000000	12,120383415909549	11,059103224725325	55905	9480	11,56746	,22295	,22611
14	A1	14,0	2435,1671800000000	6608,4000000000000	48400,00000000000	9,070323892997340	10,579932518983790	55905	9480	10,76132	-,68185	-,69043
15	A1	15,0	2605,6683000000000	7487,8000000000000	53750,00000000000	6,914104140035065	9,653465101477117	55905	9480	9,46611	-,102903	-,104473
16	A1	16,0	698,3956600000000	1877,6000000000000	46850,00000000000	8,766279237979163	9,608489382572583	55905	9480	9,52684	-,30668	-,31215
17	A1	17,0	1198,3605900000000	3168,4000000000000	51550,00000000000	9,417666580062779	9,594171510739537	55905	9480	9,40502	,00510	,00519
18	A1	18,0	3806,6175999999999	12171,3900000000000	40144,40000000000	9,54505321142638	9,54505321142638	55905	9480	9,72446	-,07234	-,07339
19	A1	19,0	1737,4302199999999	5038,9000000000000	49500,00000000000	7,652807239516059	8,859812680328074	55905	9480	8,59104	-,37832	-,38580
20	A1	20,0	418,1692799999999	1062,2000000000000	55602,00000000000	8,308395586505998	8,817656962650138	55905	9480	8,29584	,00506	,00518
21	A1	21,0	4656,5061999999999	15510,1900000000000	40000,00000000000	20,026297223975956	11,685780905919152	55905	9480	12,27409	3,12567	3,17954
22	A1	22,0	2094,2956800000000	4341,4500000000000	54300,00000000000	11,889570140785873	11,715685083884458	55905	9480	12,02293	-,06184	-,06296
23	A1	23,0	1378,6886399999999	3092,5000000000000	48300,00000000000	15,509623006340774	12,002940712051267	55905	9480	12,44877	1,23429	1,25361
24	A1	24,0	1158,1109399999999	3559,3000000000000	55000,00000000000	7,328100001898289	11,448311982836312	55905	9480	11,48139	-,167471	-,169974
25	A1	25,0	383,6146399999999	1266,1000000000000	40000,00000000000	7,54730274069978	11,306434969773960	55905	9480	11,73234	-,167645	-,170210
26	A1	26,0	6286,1278600000000	17658,7500000000000	48775,23000000000	7,934008851304537	10,080428930748017	55905	9480	10,36156	-,97885	-,99833
27	A1	27,0	2836,8645400000000	8077,8000000000000	53245,00000000000	7,805712853048570	9,754428551610077	55905	9480	9,62128	-,73208	-,74298
28	A3	1,0	1227,7280799999999	3881,0000000000000	28582,75000000000	11,315453764817530	11,315453764817530	55442	8820	12,33611	-,41155	-,41619
29	A3	2,0	2762,4313200000000	8744,6899999999999	33550,00000000000	11,714395438266058	11,58868150898231	55442	8820	12,56240	-,34193	-,34482

Şekil 3.2 SPSS ara yüzü

	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role
1	GemNo	String	2	0		None	None	2	Left	Nominal	Input
2	SeferNo	Numeric	3	1	Sefer No	None	None	12	Right	Scale	Input
3	CO2Emisy...	Numeric	18	14	CO2 Emisyonu	None	None	15	Right	Scale	Input
4	Mesafe	Numeric	19	14		None	None	14	Right	Scale	Input
5	Yak	Numeric	18	12		None	None	13	Right	Scale	Input
6	EEQOrtal...	Numeric	18	15		None	None	16	Right	Scale	Input
7	EEQOrtal...	Numeric	18	15	EEQ Ortalama	None	None	16	Right	Scale	Input
8	DWT	Numeric	6	0		None	None	12	Right	Scale	Input
9	AnaMakine...	Numeric	5	0	Ana Makine G...	None	None	12	Right	Scale	Input
10	PRE_1	Numeric	11	5	Unstandardize...	None	None	13	Right	Scale	Input
11	ZRE_1	Numeric	11	5	Standardized...	None	None	13	Right	Scale	Input
12	SRE_1	Numeric	11	5	Studentized R...	None	None	13	Right	Scale	Input
13	SDR_1	Numeric	11	5	Studentized O...	None	None	13	Right	Scale	Input
14	CO2Mesafe	Numeric	11	5	CO2Mesafe	None	None	13	Right	Scale	Input
15	YakDWT	Numeric	11	5	YakDWT	None	None	13	Right	Scale	Input
16	PRE_2	Numeric	11	5	Unstandardize...	None	None	13	Right	Scale	Input
17	ZRE_2	Numeric	11	5	Standardized...	None	None	13	Right	Scale	Input
18	SRE_2	Numeric	11	5	Studentized R...	None	None	13	Right	Scale	Input
19	SDR_2	Numeric	11	5	Studentized O...	None	None	13	Right	Scale	Input
20	PRE_3	Numeric	11	5	Unstandardize...	None	None	13	Right	Scale	Input
21	ZRE_3	Numeric	11	5	Standardized...	None	None	13	Right	Scale	Input
22	SRE_3	Numeric	11	5	Studentized R...	None	None	13	Right	Scale	Input
23	SDR_3	Numeric	11	5	Studentized O...	None	None	13	Right	Scale	Input
24	PRE_4	Numeric	11	5	Unstandardize...	None	None	13	Right	Scale	Input
25	ZRE_4	Numeric	11	5	Standardized...	None	None	13	Right	Scale	Input
26	SRE_4	Numeric	11	5	Studentized R...	None	None	13	Right	Scale	Input
27	SDR_4	Numeric	11	5	Studentized O...	None	None	13	Right	Scale	Input
28	PRE_5	Numeric	11	5	Unstandardize...	None	None	13	Right	Scale	Input
29	ZRE_5	Numeric	11	5	Standardized...	None	None	13	Right	Scale	Input
30	SRE_5	Numeric	11	5	Studentized R...	None	None	13	Right	Scale	Input
31	SDR_5	Numeric	11	5	Studentized O...	None	None	13	Right	Scale	Input
32	PRE_6	Numeric	11	5	Unstandardize...	None	None	13	Right	Scale	Input

Şekil 3.3 SPSS ara yüzü

İlk olarak verilerimizin güvenilirlik değerini ya da normal dağılımını görebilmek için R programı kullanılarak outlier (aykırı değer) analizi yapılmıştır. Sırasıyla “dfn <- as.data.frame(scale(df[3:9]))” kodu ile boxplot grafiğinde tüm değişkenlerin aynı ölçek üzerinde görülebilmesi için normalizasyon yapılarak 0-1 aralığında değerler üretilmiştir. “colnames(dfn)[7] <- "Ana Mak. Gücü”” kodu ile sadece “Ana Makine Gücü” sütun adı değiştirilerek kısaltması yazılmıştır. Son olarak “boxplot(dfn,las=2)” kodu ile aykırı değer analizi için boxplot oluşturulmuştur. Daha sonra SPSS programı ile spearman korelasyon analizi yöntemi uygulanmıştır.

Korelasyon matrisi R studio programı kullanarak yapılmıştır. Bunun için “library("PerformanceAnalytics")” paketinden “chart.Correlation(df[3:9], histogram=TRUE, pch=19)” fonksiyonu kullanılmıştır.

Son olarak ise lineer regresyon analizi SPSS istatistik paket programı kullanılarak yapılmıştır.

BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada bir filoya ait 11 adet geminin 2017, 2018 ve 2019 yıllarındaki “aylık” ve “limandan limana/seyir” gerçek verileri kullanılmıştır. Bu veriler ile tüm gemilerin CO₂ emisyon, CO₂ indeks ve EEOI değerleri aylık ve seyirlik olarak hesaplanmıştır. Referans alınan yıllar içerisinde gemilerin işletme esnasında verimli işletilip işletilmediğinin göstergesi olarak EEOI değerleri karşılaştırılmış ve buna bağlı olarak filo içerisindeki gemilerde meydana gelen farklılıklar incelenmiş ve olası nedenleri yorumlanmıştır.

Hesaplanan CO₂ emisyon, CO₂ indeks ve EEOI değerleri kendi içlerinde “aylık” ve “seferlik” olarak değerlendirilmiştir. Aylık değerlendirme, bir geminin bir ay boyunca tüm seyir, manevra, demir ve liman operasyonlarını birbirinden ayırmaksızın belirtilen ay içerisindeki yakıt tüketimi, gidilen mesafe vs. gibi parametrelerini kullanarak ulaşılan sonuçları ifade etmektedir. Seferlik değerlendirme ise gemilerin bir seferi tamamlaması için yapmış oldukları tüm ara seferlerin hesaba katılması ile ulaşılan sonuçları ifade etmektedir.

Ayrıca yapılan senaryolardan ilkinde gemilerin mevcut seferleri üzerinden yalnızca yüklü olduğu seferler için yük taşıma kapasitesinin %100 olduğu varsayılarak diğer parametrelerde herhangi bir değişiklik yapılmadan sefere ait yeni enerji verimliliği operasyon indeksleri hesaplanmıştır. Böylece gemilerin sadece tam yük kapasitesinde çalıştırılmasıyla bir yıllık ve üç yıllık zaman dilimlerindeki verimlilik artışları incelenmiştir. İkinci bir diğer senaryo ile ise belirli oranlarda azaltılan yakıt sarfiyatı ile diğer tüm değişkenlerin aynı olduğu seferlerin enerji verimliliklerindeki artış oranları hesaplanmaktadır. Son olarak ise enerji verimliliği hesabında gemilerin seferlerindeki tüm parametrelerin etkileri analiz edilmiştir.

4.1 CO₂ Emisyonlarının Değerlendirilmesi

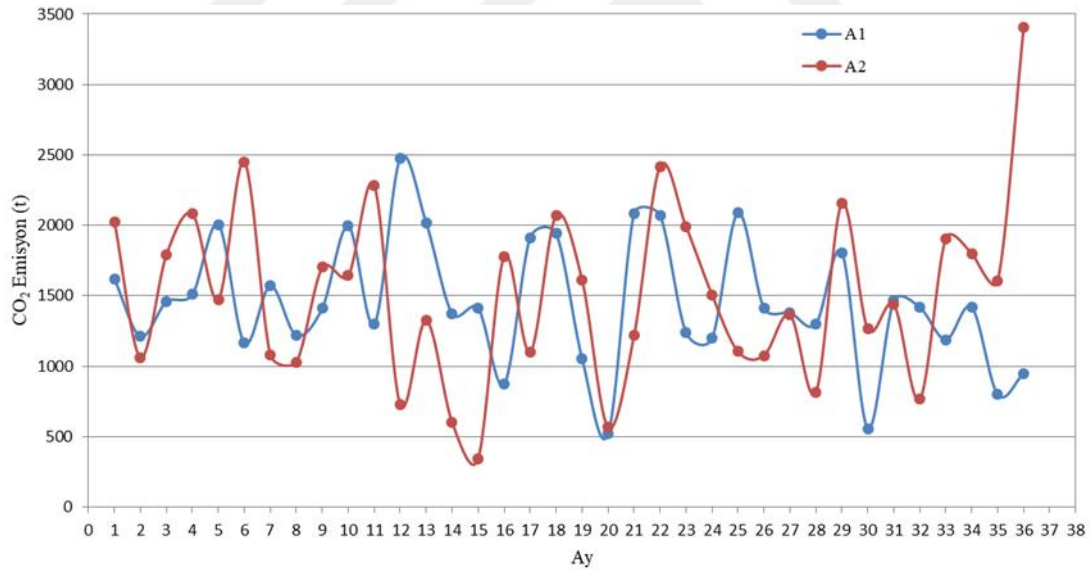
Bu bölümde tüm filonun 2017, 2018 ve 2019 yıllarındaki aylık CO₂ emisyonları ton cinsinden hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar “aylık” değerlendirmede kardeş

gemilerin birlikte olduğu ve “seferlik” değerlendirmede ise her gemi için ayrı ayrı olacak şekilde iki ayrı kategoride incelenmiştir.

4.1.1 Aylık Değerlendirme

Bu bölümde aylık değerlendirme yapılırken kardeş (sister) gemiler tek bir grafikte gösterilmiştir. Ancak F1 gemisinin kardeş gemisi olmadığından dolayı tek gemi için yıllara göre değerlendirme yapılmıştır.

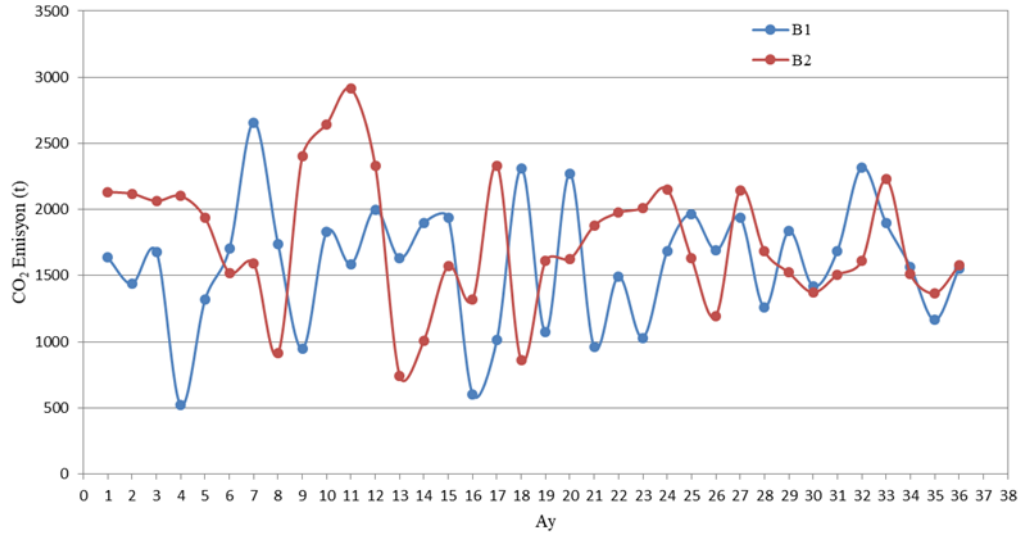
Şekil 4.1’de A1 ve A2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki aylık CO₂ emisyon değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen 1–12 arası 2017 yılı, 13–24 arası 2018 yılı ve 25–36 arası 2019 yılı içerisindeki ayları göstermektedir. Bu süreç içerisinde A1 gemisi için CO₂ emisyonunun minimum olduğu değer 519,62 ton ile 2018 Ağustos ayında, maksimum olduğu değer ise 2417,12 ton ile 2017 Aralık ayında hesaplanmıştır. A2 gemisi için ise CO₂ emisyonunun minimum olduğu değer 344,5 ton ile 2018 Mart ayında, maksimum olduğu değer ise 3406,16 ton ile 2019 Aralık ayında hesaplanmıştır.



Şekil 4.1 A1 ve A2 gemilerinin aylık CO₂ emisyon değerleri

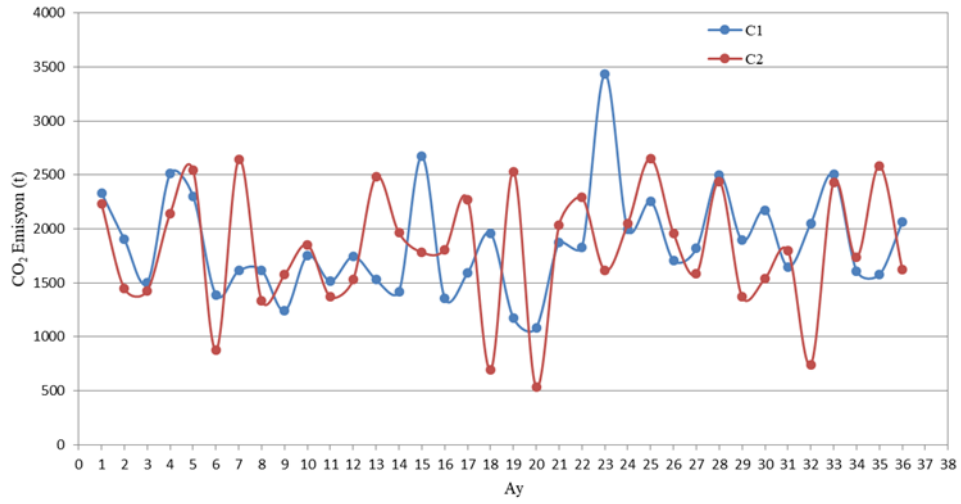
Şekil 4.2’de B1 ve B2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki aylık CO₂ emisyon değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen 1–12 arası 2017 yılı, 13–24 arası 2018 yılı ve 25–36 arası 2019 yılı içerisindeki ayları göstermektedir. Bu süreç içerisinde B1 gemisi için CO₂ emisyonunun minimum olduğu değer 519,79

ton ile 2017 Nisan ayında, maksimum olduğu değer ise 2659,01 ton ile 2017 Temmuz ayında hesaplanmıştır. B2 gemisi için ise CO₂ emisyonunun minimum olduğu değer 745,17 ton ile 2018 Ocak ayında, maksimum olduğu değer ise 2913,28 ton ile 2017 Kasım ayında hesaplanmıştır.



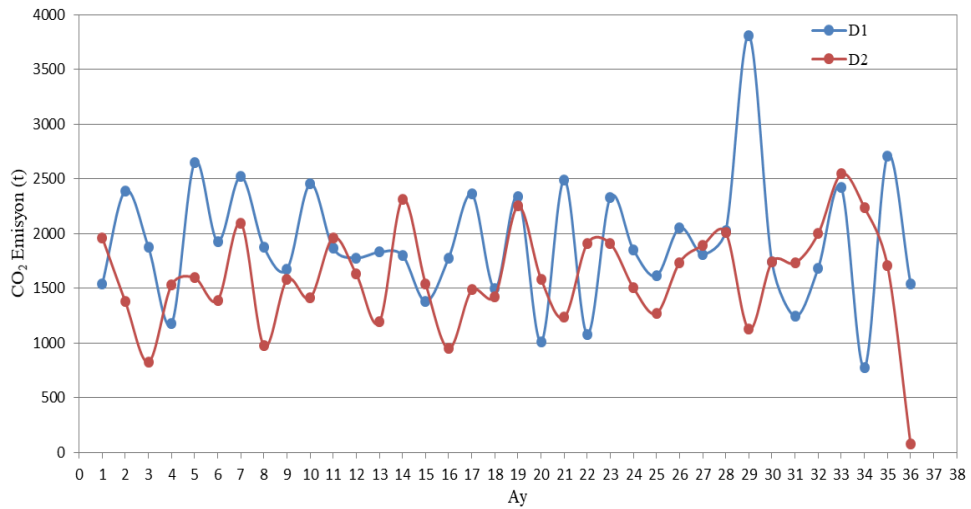
Şekil 4.2 B1 ve B2 gemilerinin aylık CO₂ emisyon değerleri

Şekil 4.3'de C1 ve C2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki aylık CO₂ emisyon değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen 1-12 arası 2017 yılı, 13-24 arası 2018 yılı ve 25-36 arası 2019 yılı içerisindeki ayları göstermektedir. Bu süreç içerisinde C1 gemisi için CO₂ emisyonunun minimum olduğu değer 1084,74 ton ile 2018 Ağustos ayında, maksimum olduğu değer ise 3431,74 ton ile 2018 Kasım ayında hesaplanmıştır. C2 gemisi için ise CO₂ emisyonunun minimum olduğu değer 532,37 ton ile 2018 Ağustos ayında, maksimum olduğu değer ise 2640,67 ton ile 2017 Temmuz ayında hesaplanmıştır.



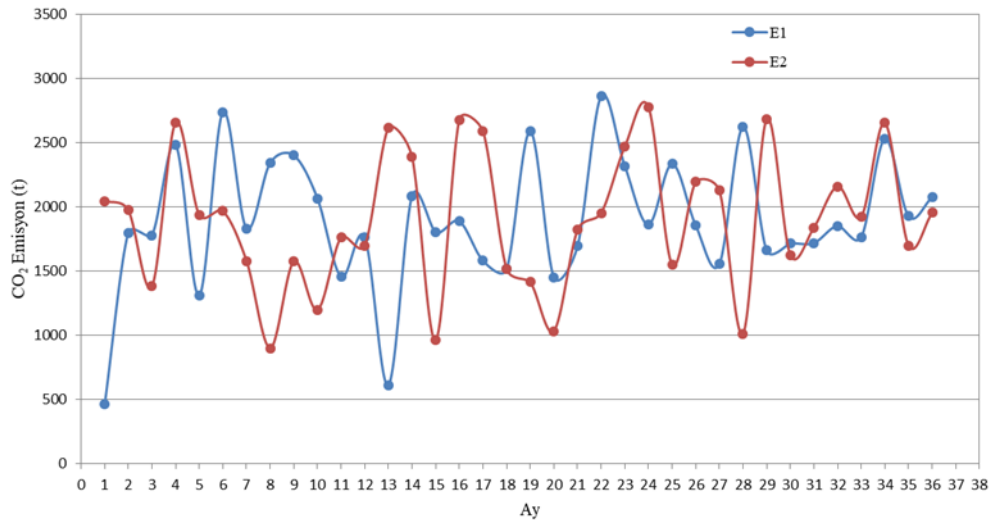
Şekil 4.3 C1 ve C2 gemilerinin aylık CO₂ emisyon değerleri

Şekil 4.4’de D1 ve D2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki aylık CO₂ emisyon değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen 1–12 arası 2017 yılı, 13–24 arası 2018 yılı ve 25-36 arası 2019 yılı içerisindeki ayları göstermektedir. Bu süreç içerisinde D1 gemisi için CO₂ emisyonunun minimum olduğu değer 774,18 ton ile 2019 Ekim ayında, maksimum olduğu değer ise 3809,02 ton ile 2019 Mayıs ayında hesaplanmıştır. D2 gemisi için ise CO₂ emisyonunun minimum olduğu değer 79,72 ton ile 2019 Aralık ayında, maksimum olduğu değer ise 2544,46 ton ile 2019 Eylül ayında hesaplanmıştır.



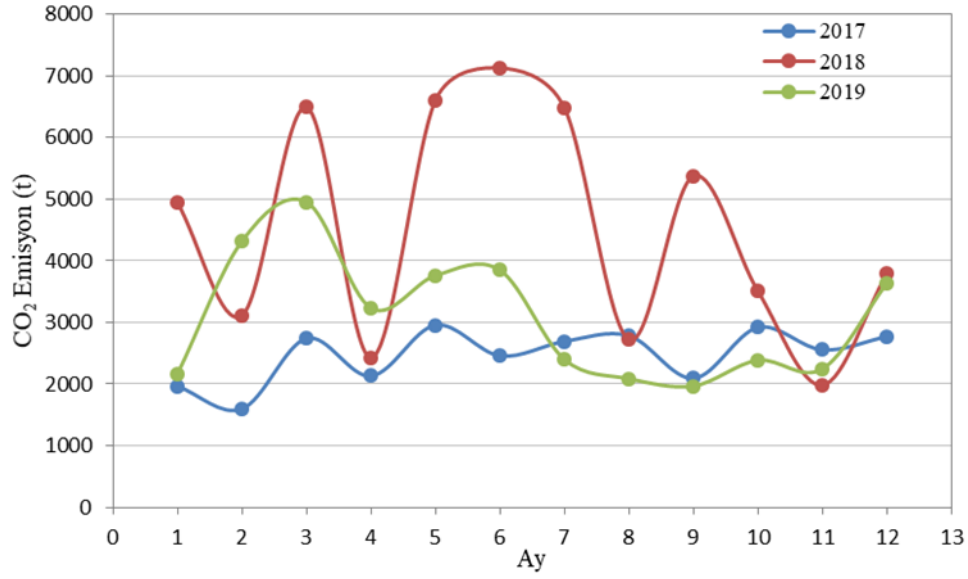
Şekil 4.4 D1 ve D2 gemilerinin aylık CO₂ emisyon değerleri

Şekil 4.5’de E1 ve E2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki aylık CO₂ emisyon değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen 1–12 arası 2017 yılı, 13–24 arası 2018 yılı ve 25–36 arası 2019 yılı içerisindeki ayları göstermektedir. Bu süreç içerisinde E1 gemisi için CO₂ emisyonunun minimum olduğu değer 462,06 ton ile 2017 Ocak ayında, maksimum olduğu değer ise 2860,73 ton ile 2018 Ekim ayında hesaplanmıştır. E2 gemisi için ise CO₂ emisyonunun minimum olduğu değer 900,67 ton ile 2017 Ağustos ayında, maksimum olduğu değer ise 2775,82 ton ile 2018 Aralık ayında hesaplanmıştır.



Şekil 4.5 E1 ve E2 gemilerinin aylık CO₂ emisyon değerleri

Şekil 4.6’da F1 gemisinin 2017-2018-2019 yıllarındaki aylık CO₂ emisyon değerlerinin grafiği görülmektedir. Bu süreç içerisinde CO₂ emisyonunun minimum olduğu değer 1598,85 ton ile 2017 Şubat ayında, maksimum olduğu değer ise 7132,59 ton ile 2018 Haziran ayında hesaplanmıştır. Genel olarak bakıldığında ise F1 gemisinin 2018 yılı içerisinde salınan CO₂ emisyon miktarları diğer yıllara göre daha fazladır. Bunun en önemli sebebi geminin yıllık çalışma süresinin uzun olmasından kaynaklanan yakıt sarfiyatıdır.



Şekil 4.6 F1 gemisinin yıllara göre aylık CO₂ emisyon değerleri

Kardeş gemilerin yıllık toplam CO₂ emisyon miktarları birbirlerine yakın değerlerde olmasına rağmen aylık olarak ayrı ayrı bakıldığında değişim miktarının zaman zaman büyük ölçülerde olduğu görülmektedir. Bu miktarın geminin genel ortalamasının oldukça dışında olduğu görülmekte olup ortalamanın altında ve üstünde olması durumlarının, geminin belirtilen ay içerisinde neredeyse hiç seyir yapmamış olduğu veya minimum bekleme yaparak tüm ay boyunca seyir yapması kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4.1’de tüm filo gemilerinin yıllık toplam CO₂ emisyonları görülmektedir. Genel olarak bakıldığında en fazla CO₂ emisyon salınımını F1 gemisinin gerçekleştirdiği görülmekte olup 2018 yılında 54592,82 ton CO₂ ile maksimum salınım gerçekleştirmiştir. Filodaki diğer gemilere kıyasla ortaya çıkan emisyon farkının temel sebebi, F1 gemisi boyutunun ve ana makine gücünün diğer gemilerden hemen hemen iki kat daha büyük olması ve buna bağlı ana makine günlük yakıt sarfiyatının fazla olmasıdır.

Tablodaki minimum CO₂ emisyon miktarına 2019 yılında 15792,29 ton ile A1 gemisi sahiptir. Bu durumun temel nedeni olarak, A1 gemisinin 2019 yılı seferlerine bakıldığında uzun liman ve demir periyotları gerçekleştirdiğini ve toplam seyir süresinin oldukça az olduğu görülmüştür.

Tablo 4.1 Tüm filo gemileri aylık CO₂ emisyon değerinin yıllık toplamı

CO ₂ Emisyon (ton)			
	2017	2018	2019
A1	18944	17704	15792
A2	19355	16540	18714
B1	19060	17916	20307
B2	24669	19102	19357
C1	21421	21919	23801
C2	20968	22052	22456
D1	23743	21764	23434
D2	18345	19314	20083
E1	22426	22254	23608
E2	20671	24213	23418
F1	29676	54592	37027

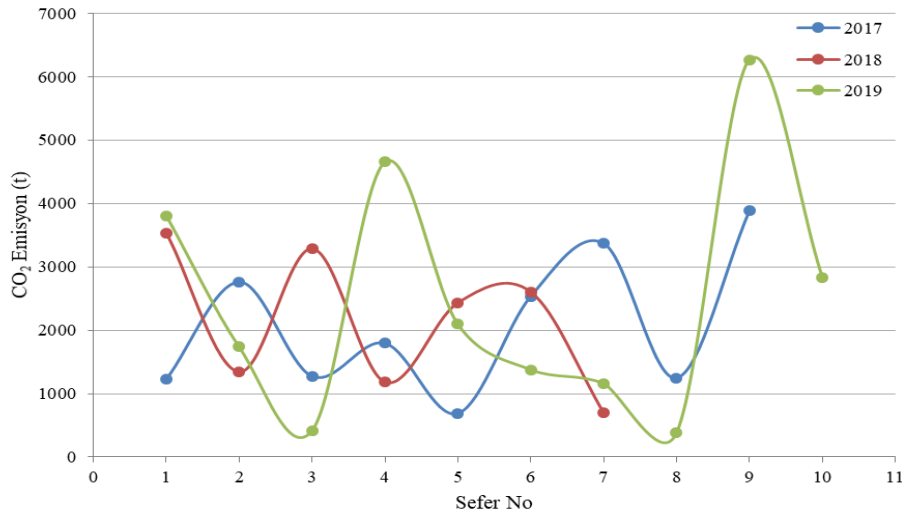
Ayrıca filodaki tüm gemiler için diğer parametrelerle birlikte incelendiğinde CO₂ emisyonunun minimum ve maksimum değerlerinin, geminin seyir mesafesine bağlı olarak yakıt tüketiminin artması veya azalması ile ilişkili olduğu görülmüştür.

4.1.2 Seferlik Değerlendirme

Tüm filo gemilerinin sırasıyla 2017, 2018 ve 2019 yıllarında gerçekleştirmiş oldukları seferler ve bu seferlerde atmosfere salmış oldukları CO₂ emisyonları hesaplanarak yıllara göre her geminin kendi içinde karşılaştırıldığı grafikleri oluşturulmuştur. Burada yıl içerisinde gerçekleştirilen sefer sayısı doğrudan CO₂ emisyonu ile ilişkili değildir. Sefer sayısının az ya da çok olması seferin toplam

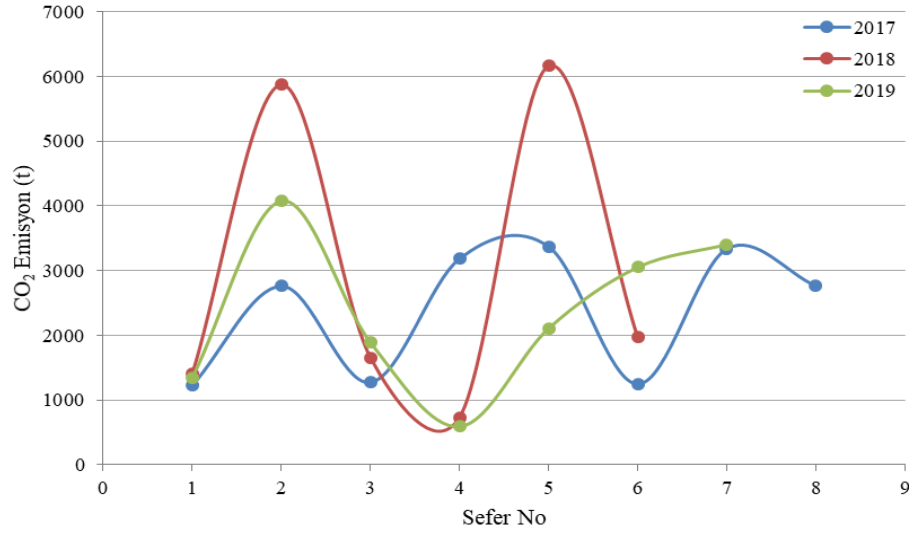
mesafesi, liman periyodu süresi, demirde kalma sürelerinin uzun veya kısa olması gibi birbirinden farklı parametrelere göre değişmektedir. Kısaca CO₂ emisyonuna etki eden ana parametre sefer sayısı değil, seferde geçen süre ile ilişkili olan seyir mesafesidir.

Şekil 4.7’de A1 gemisinin seferlik CO₂ emisyon grafiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere A1 gemisi sırasıyla 2017 yılında 9 sefer ile 18795,95 ton emisyonu, 2018 yılında 7 sefer ile 16291,65 ton emisyonu ve 2019 yılında 10 sefer ile 24726,43 ton CO₂ emisyonu salınımı gerçekleştirmiştir. 2019, A1 gemisi için CO₂ emisyon miktarının en fazla salındığı ve aynı zamanda en uzun mesafe (71778,58 deniz mili) yol kat ettiği yıldır.



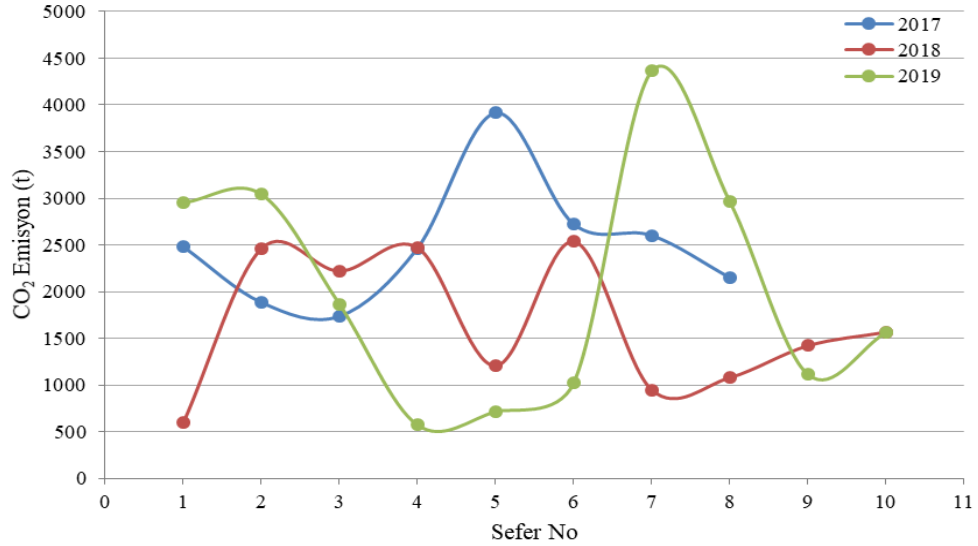
Şekil 4.7 A1 gemisinin yıllara göre seferlik CO₂ emisyon değerleri

Şekil 4.8’de A2 gemisinin yıllara göre ayrılan seferlik CO₂ emisyon grafiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere A2 gemisi sırasıyla 2017 yılında 8 sefer ile 19174,66 ton CO₂ emisyonu, 2018 yılında 6 sefer ile 17806,79 ton CO₂ emisyonu ve 2019 yılında 7 sefer ile 16475,28 ton CO₂ emisyonu atmosfere atmıştır. 2017, A2 gemisi için CO₂ emisyon miktarının en fazla salındığı ve aynı zamanda en uzun mesafe (59784,82 deniz mili) yol kat ettiği yıldır.



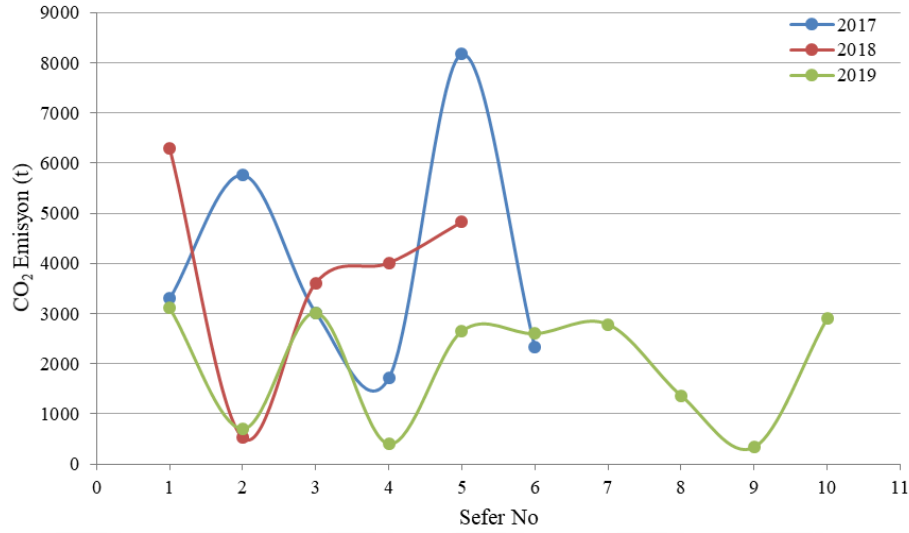
Şekil 4.8 A2 gemisinin yıllara göre seferlik CO₂ emisyon değerleri

Şekil 4.9'da B1 gemisinin yıllara göre ayrılan seferlik CO₂ emisyon grafiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere B1 gemisi sırasıyla 2017 yılında 8 sefer ile 19960,64 ton CO₂ emisyonu, 2018 yılında 10 sefer ile 16510,77 ton CO₂ emisyonu ve 2019 yılında 10 sefer ile 20175,05 ton CO₂ emisyonu atmosfere atmıştır. 2019, B1 gemisi için CO₂ emisyon miktarının en fazla salındığı ve aynı zamanda en uzun mesafe (61210,6 deniz mili) yol kat ettiği yıldır.



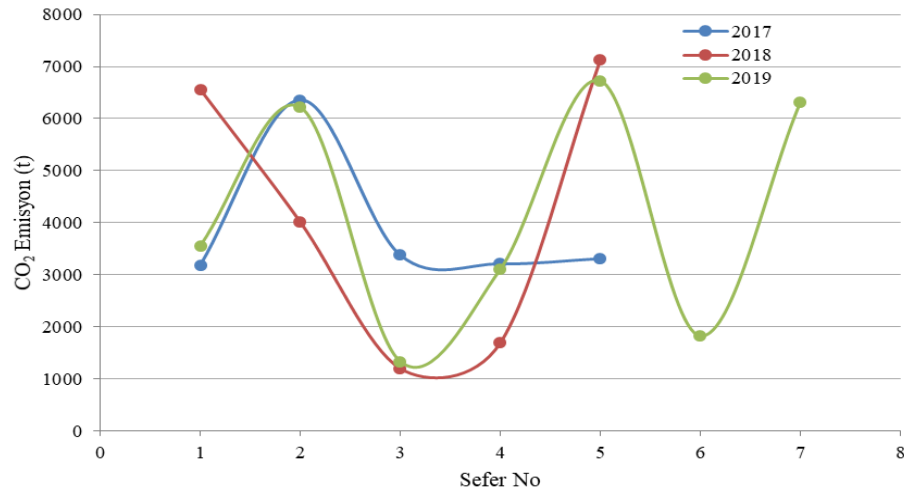
Şekil 4.9 B1 gemisinin yıllara göre seferlik CO₂ emisyon değerleri

Şekil 4.10'da B2 gemisinin yıllara göre ayrılan seferlik CO₂ emisyon grafiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere B2 gemisi sırasıyla 2017 yılında 6 sefer ile 24282,03 ton CO₂ emisyonu, 2018 yılında 5 sefer ile 19266,03 ton CO₂ emisyonu ve 2019 yılında 10 sefer ile 19871,07 ton CO₂ emisyonu atmosfere atmıştır. 2017, B2 gemisi için CO₂ emisyon miktarının en fazla salındığı ve aynı zamanda en uzun mesafe (76720,97 deniz mili) yol kat ettiği yıldır.



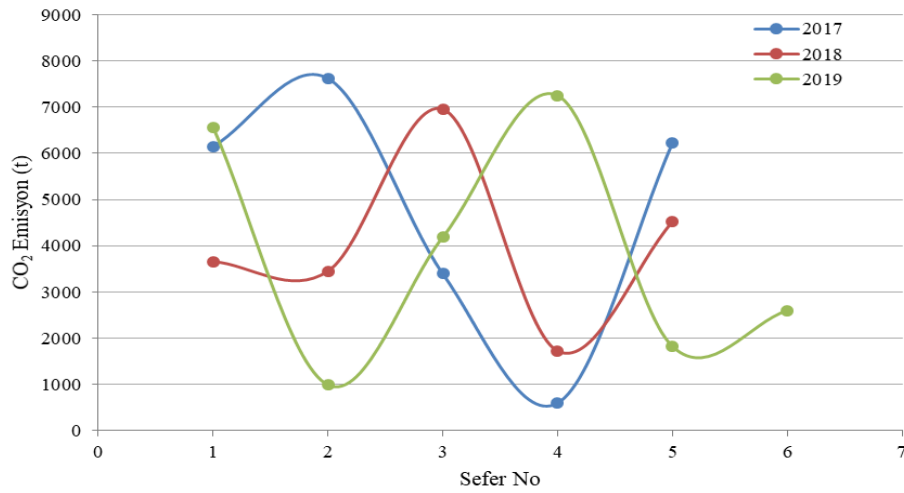
Şekil 4.10 B2 gemisinin yıllara göre seferlik CO₂ emisyon değerleri

Şekil 4.11'de C1 gemisinin yıllara göre ayrılan seferlik CO₂ emisyon grafiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere C1 gemisi sırasıyla 2017 yılında 5 sefer ile 19444,55 ton CO₂ emisyonu, 2018 yılında 5 sefer ile 20592,39 ton CO₂ emisyonu ve 2019 yılında 7 sefer ile 29084,21 ton CO₂ emisyonu atmosfere atmıştır. 2019, C1 gemisi için CO₂ emisyon miktarının en fazla salındığı ve aynı zamanda en uzun mesafe (87890,78 deniz mili) yol kat ettiği yıldır.



Şekil 4.11 C1 gemisinin yıllara göre seferlik CO₂ emisyon değerleri

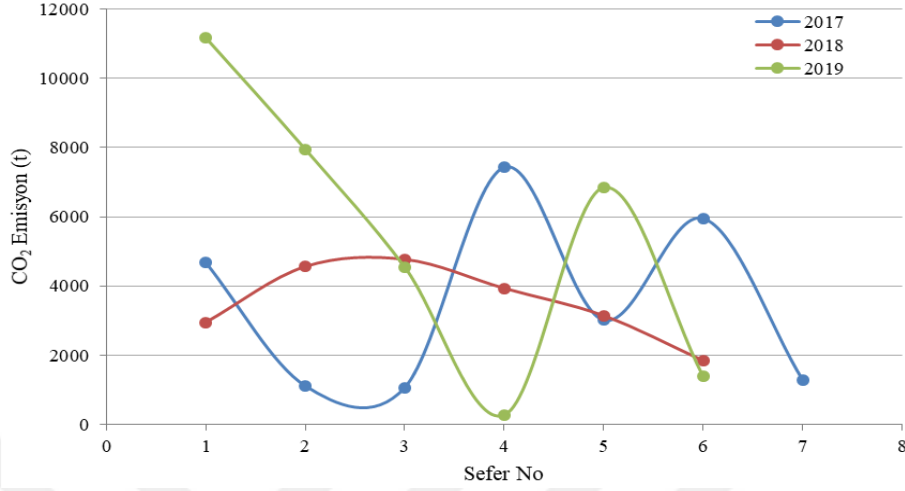
Şekil 4.12’de C2 gemisinin yıllara göre ayrılan seferlik CO₂ emisyon grafiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere C2 gemisi sırasıyla 2017 yılında 5 sefer ile 23990,36 ton CO₂ emisyonu, 2018 yılında 5 sefer ile 20317,97 ton CO₂ emisyonu ve 2019 yılında 6 sefer ile 23412,88 ton CO₂ emisyonu atmosfere atmıştır. 2017, C2 gemisi için CO₂ emisyon miktarının en fazla salındığı ve aynı zamanda en uzun mesafe (74991,2 deniz mili) yol kat ettiği yıldır.



Şekil 4.12 C2 gemisinin yıllara göre seferlik CO₂ emisyon değerleri

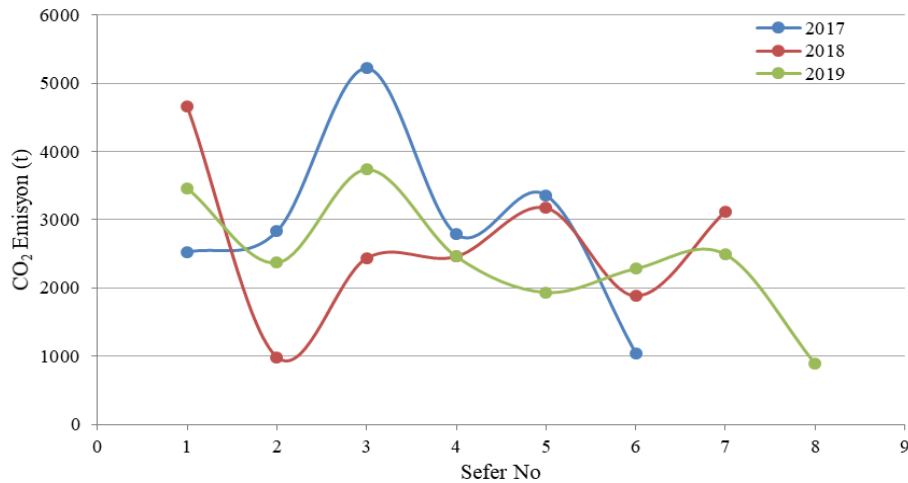
Şekil 4.13’te D1 gemisinin yıllara göre ayrılan seferlik CO₂ emisyon grafiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere D1 gemisi sırasıyla 2017 yılında 7 sefer ile 24533,14 ton CO₂ emisyonu, 2018 yılında 7 sefer ile 21205,95 ton CO₂ emisyonu

ve 2019 yılında 6 sefer ile 32166,73 ton CO₂ emisyonu atmosfere atmıştır. 2019, D1 gemisi için CO₂ emisyon miktarının en fazla salındığı ve aynı zamanda en uzun mesafe (86785,55 deniz mili) yol kat ettiği yıldır.



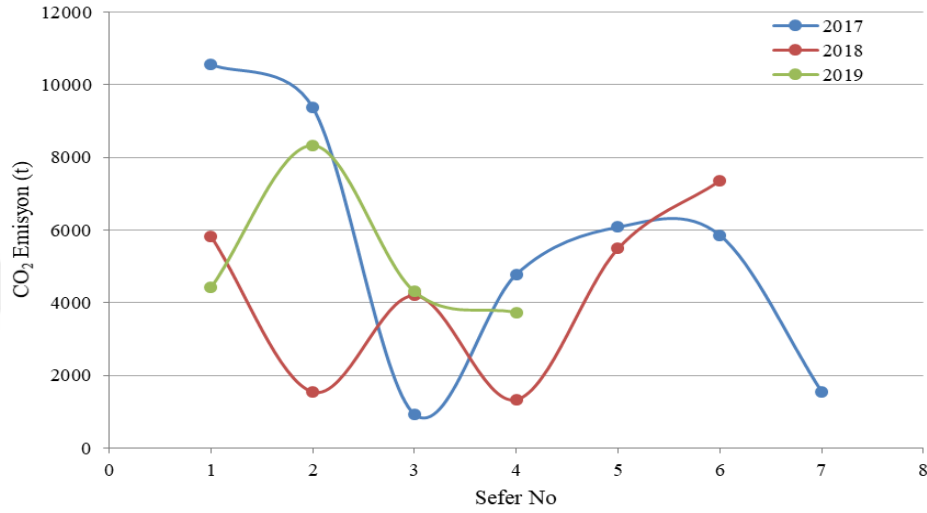
Şekil 4.13 D1 gemisinin yıllara göre seferlik CO₂ emisyon değerleri

Şekil 4.14'te D2 gemisinin yıllara göre ayrılan seferlik CO₂ emisyon grafiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere D2 gemisi sırasıyla 2017 yılında 6 sefer ile 17774,77 ton CO₂ emisyonu, 2018 yılında 7 sefer ile 18730,03 ton CO₂ emisyonu ve 2019 yılında 8 sefer ile 19634,15 ton CO₂ emisyonu atmosfere atmıştır. 2019, D2 gemisi için CO₂ emisyon miktarının en fazla salındığı ve aynı zamanda en uzun mesafe (58648,3 deniz mili) yol kat ettiği yıldır.



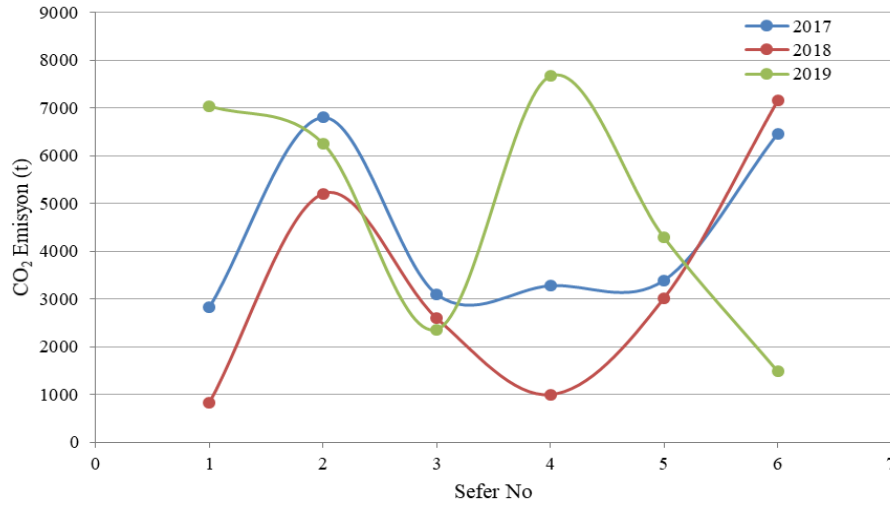
Şekil 4.14 D2 gemisinin yıllara göre seferlik CO₂ emisyon değerleri

Şekil 4.15'te E1 gemisinin yıllara göre ayrılan seferlik CO₂ emisyon grafiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere E1 gemisi sırasıyla 2017 yılında 7 sefer ile 39148,25 ton CO₂ emisyonu, 2018 yılında 6 sefer ile 25753,65 ton CO₂ emisyonu ve 2019 yılında 4 sefer ile 20791,02 ton CO₂ emisyonu atmosfere atmıştır. 2017, E1 gemisi için CO₂ emisyon miktarının en fazla salındığı ve aynı zamanda en uzun mesafe (118071,7 deniz mili) yol kat ettiği yıldır.



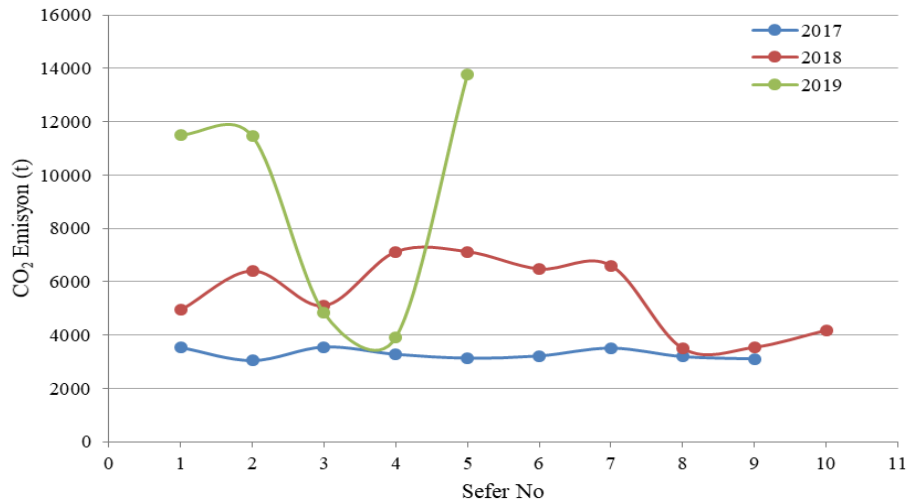
Şekil 4.15 E1 gemisinin yıllara göre seferlik CO₂ emisyon değerleri

Şekil 4.16'da E2 gemisinin yıllara göre ayrılan seferlik CO₂ emisyon grafiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere E2 gemisi sırasıyla 2017 yılında 6 sefer ile 25854,94 ton CO₂ emisyonu, 2018 yılında 6 sefer ile 19803,53 ton CO₂ emisyonu ve 2019 yılında 6 sefer ile 29100,87 ton CO₂ emisyonu atmosfere atmıştır. 2019, E2 gemisi için CO₂ emisyon miktarının en fazla salındığı ve aynı zamanda en uzun mesafe (83236,1 deniz mili) yol kat ettiği yıldır.



Şekil 4.16 E2 gemisinin yıllara göre seferlik CO₂ emisyon değerleri

Şekil 4.17’de F1 gemisinin yıllara göre ayrılan seferlik CO₂ emisyon grafiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere F1 gemisi sırasıyla 2017 yılında 9 sefer ile 29638,17 ton CO₂ emisyonu, 2018 yılında 10 sefer ile 55065,30 ton CO₂ emisyonu ve 2019 yılında 5 sefer ile 45495,38 ton CO₂ emisyonu atmosfere atmıştır. 2018, F1 gemisi için CO₂ emisyon miktarının en fazla salındığı ve aynı zamanda en uzun mesafe (122492,6 deniz mili) yol kat ettiği yıldır.



Şekil 4.17 F1 gemisinin yıllara göre seferlik CO₂ emisyon değerleri

Gemilerin seferlik CO₂ emisyon miktarı, aynı geminin bir seferini tamamlaması için gerçekleştirmiş olduğu tüm farklı operasyon durumlarında salınan CO₂ emisyonlarının toplamı olarak hesaplanmaktadır. Tablo 4.2’de ise gemilerin seferlik

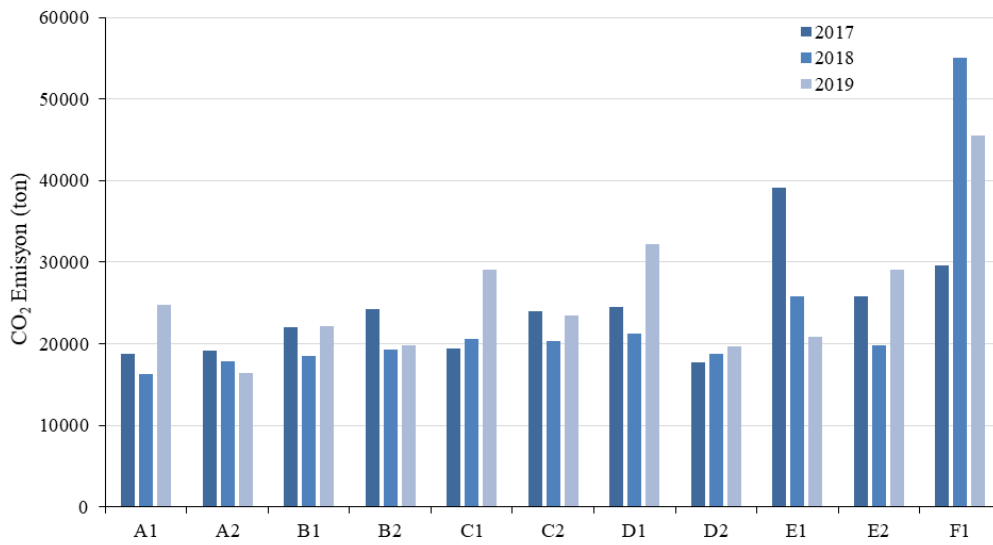
CO₂ emisyonlarının ortalama değerleri gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde CO₂ emisyon miktarlarının seferlerin uzunluklarıyla doğrudan ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Bazı seferler A ve B limanları arası kısa mesafede oluşurken, bazı seferlerde A, B ve daha fazla liman arasında daha fazla mesafelerde oluşurlar. Buna bağlı olarak CO₂ emisyon miktarları değişir. Buradaki önemli husus bir seferi değerlendirirken CO₂ emisyonunun yanında CO₂ indeks ve EEOI değerlerine bakılmasıdır.

Tablo 4.2 Tüm filo gemileri için seferlik CO₂ emisyon değerinin yıllık ortalaması

CO ₂ Emisyon (ton)			
	2017	2018	2019
A1	2088	2036	2473
A2	2396	2967	2353
B1	2441	1684	2017
B2	4047	3853	1987
C1	3888	4118	4154
C2	4798	4063	3902
D1	3504	3534	5361
D2	2962	2675	2454
E1	5592	4292	5197
E2	4309	3300	4850
F1	3293	5506	9099

CO₂ emisyonlarındaki asıl kaynak geminin pervanesini döndüren main propulsion system olan ana makinedir. Ana makineye kıyasla, diğer yardımcı makine ve diesel generatorlerin emisyonlara çok fazla bir etkisi yoktur.

Şekil 4.18’de filodaki tüm gemilerin 2017, 2018 ve 2019 yıllarındaki toplam CO₂ emisyonları görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi kardeş gemilerin yıllık toplam emisyon miktarları birbirlerine yakın değerlerde hesaplanmıştır. Ayrıca en fazla CO₂ emisyonunun F1 gemisi tarafından atmosfere salındığı görülmektedir. F1 gemisinin yakıt tüketimi diğerlerine kıyasla oldukça fazladır. Gemi özelliklerine bakıldığında bu durumun olası nedeninin yakıt sarfiyatının temel kaynağı olan ana makine kaynaklı olduğu ve gücünün 16610 BHP olarak diğer gemilerin ana makine gücünden oldukça fazla olduğu ve bu nedenle daha fazla yakıt sarfiyatına neden olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.18 Tüm filonun 2017-2018-2019 yılları toplam CO₂ emisyon değerleri

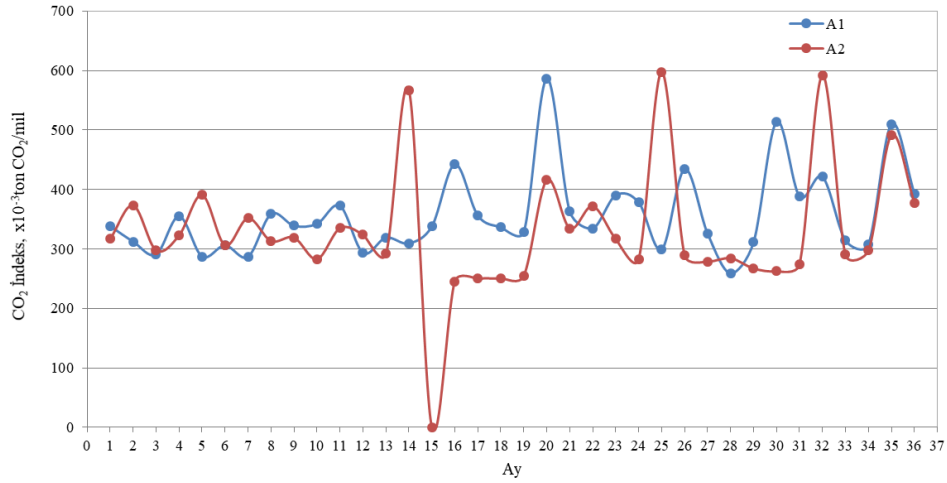
4.2 CO₂ İndeksinin Değerlendirilmesi

CO₂ indeks değeri, deniz mili başına salınan CO₂ emisyon miktarını kütsel olarak göstermektedir. Bu bölümde tüm filonun 2017, 2018 ve 2019 yıllarındaki aylık CO₂ indeks değerleri “x10⁻³ton CO₂/mil” cinsinden hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar aylık ve tüm filonun genel durumu şeklinde iki ayrı kategoride değerlendirilmiştir.

4.2.1 Aylık Değerlendirme

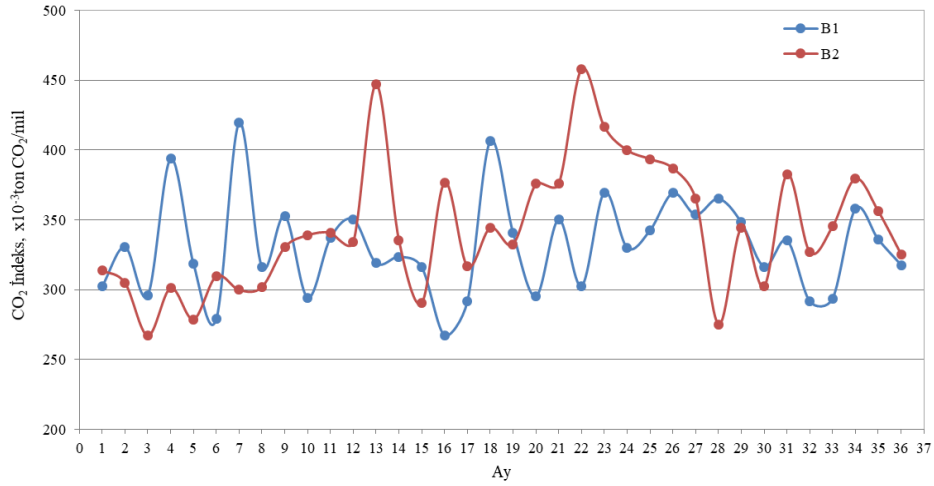
Bu bölümde aylık değerlendirme yapılırken kardeş (sister) gemiler tek bir grafikte gösterilmiştir. Ancak F1 gemisinin kardeş gemisi olmadığından dolayı tek gemi için yıllara göre değerlendirme yapılmıştır.

Şekil 4.19’da A1 ve A2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki aylık CO₂ indeks değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen 1–12 arası 2017 yılı, 13–24 arası 2018 yılı ve 25–36 arası 2019 yılı içerisindeki ayları göstermektedir. A1 gemisinin 2018 Ağustos (20) ayı CO₂ indeks değeri 586,67x10⁻³ton CO₂/mil olarak ortalamanın üstünde hesaplanmıştır. Bunun sebepleri arasında geminin yüksek hızlarda seyir yapması ve gemi yakıt sarfiyatını artırması ve demir periyotlarında uzun süre kalarak mesafe kat etmeden harcanan yakıtlar söylenebilmektedir. A2 gemisi için ise 2018 Mart (15) CO₂ indeks değeri 0 olarak en düşük seviyede hesaplanmıştır. Bu durum geminin belirtilen ay boyunca seyir gerçekleştirmediğini göstermektedir.



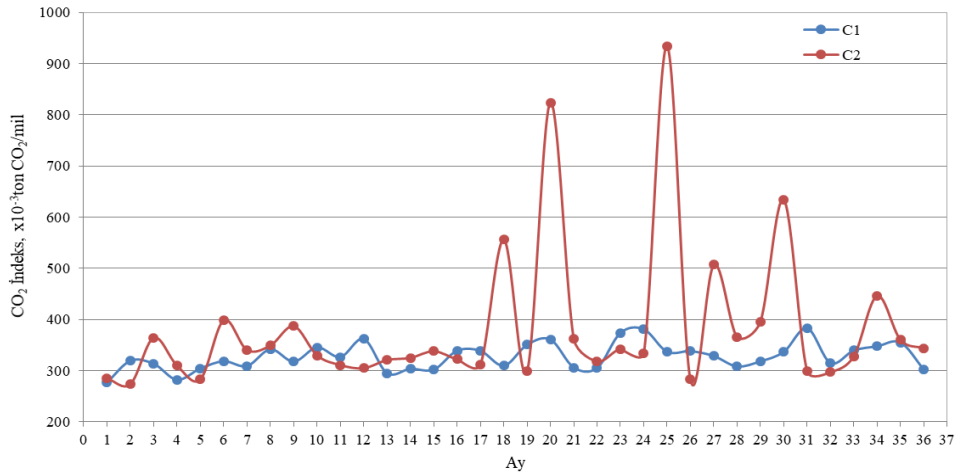
Şekil 4.19 A1 ve A2 gemilerinin aylık CO₂ indeks değerleri

Şekil 4.20’de B1 ve B2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki aylık CO₂ indeks değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen 1–12 arası 2017 yılı, 13–24 arası 2018 yılı ve 25–36 arası 2019 yılı içerisindeki ayları göstermektedir. B2 gemisinin 2018 Ekim (22) ayı CO₂ indeks değeri 458,03x10⁻³ton CO₂/mil olarak ortalamanın üstünde hesaplanmıştır. Bunun sebepleri arasında geminin yüksek hızlarda seyir yapması ve gemi yakıt sarfiyatını artırması ve demir periyotlarında uzun süre kalarak mesafe kat etmeden harcanan yakıtlar söylenebilmektedir. B1 gemisi için ise 2018 Nisan (16) CO₂ indeks değeri 267,17x10⁻³ton CO₂/mil olarak en düşük seviyede hesaplanmıştır. Bu durum geminin belirtilen ay boyunca optimum hızda seyir gerçekleştirdiğini göstermektedir.



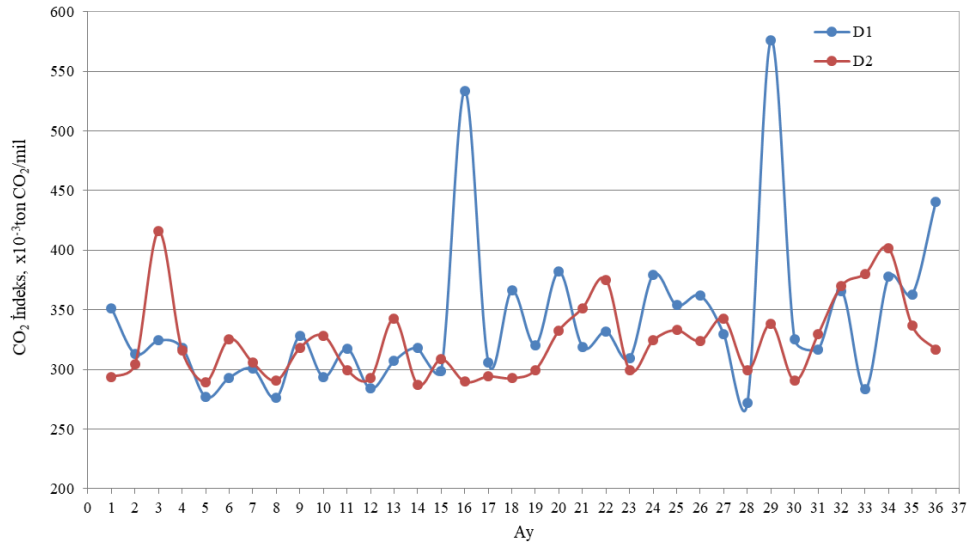
Şekil 4.20 B1 ve B2 gemilerinin aylık CO₂ indeks değerleri

Şekil 4.21’de C1 ve C2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki aylık CO₂ indeks değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen 1–12 arası 2017 yılı, 13–24 arası 2018 yılı ve 25-36 arası 2019 yılı içerisindeki ayları göstermektedir. C2 gemisinin 2019 Ocak (25) ayı CO₂ indeks değeri 933,6 x10⁻³ton CO₂/mil olarak ortalamanın üstünde hesaplanmıştır. Bunun sebepleri arasında geminin yüksek hızlarda seyir yapması ve gemi yakıt sarfiyatını artırması ve demir periyotlarında uzun süre kalarak mesafe kat etmeden harcanan yakıtlar söylenebilmektedir. C2 gemisi için ise 2017 Şubat (2) CO₂ indeks değeri 273,81x10⁻³ton CO₂/mil olarak en düşük seviyede hesaplanmıştır. Bu durum geminin belirtilen ay boyunca optimum hızda seyir gerçekleştirdiğini göstermektedir.



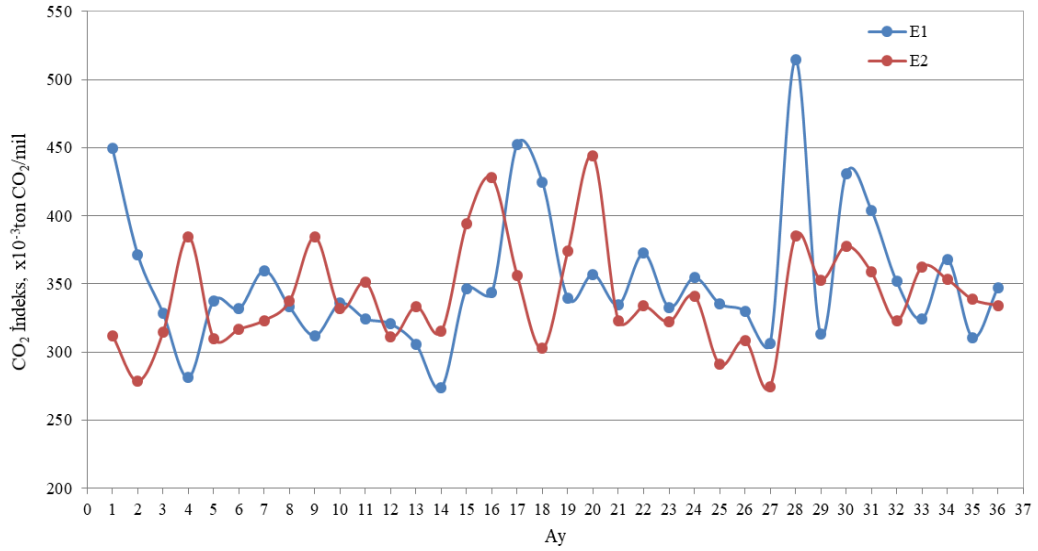
Şekil 4.21 C1 ve C2 gemilerinin aylık CO₂ indeks değerleri

Şekil 4.42’de D1 ve D2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki aylık CO₂ indeks değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen 1–12 arası 2017 yılı, 13–24 arası 2018 yılı ve 25–36 arası 2019 yılı içerisindeki ayları göstermektedir. D1 gemisinin 2019 Mayıs (29) ayı CO₂ indeks değeri 575,74 x10⁻³ton CO₂/mil olarak ortalamanın üstünde hesaplanmıştır. Bunun sebepleri arasında geminin yüksek hızlarda seyir yapması ve gemi yakıt sarfiyatını artırması ve demir periyotlarında uzun süre kalarak mesafe kat etmeden harcanan yakıtlar söylenebilmektedir. D1 gemisi için ise 2019 Nisan (28) CO₂ indeks değeri 272,04 x10⁻³ton CO₂/mil olarak en düşük seviyede hesaplanmıştır. Bu durum geminin belirtilen ay boyunca optimum hızda seyir gerçekleştirdiğini göstermektedir.



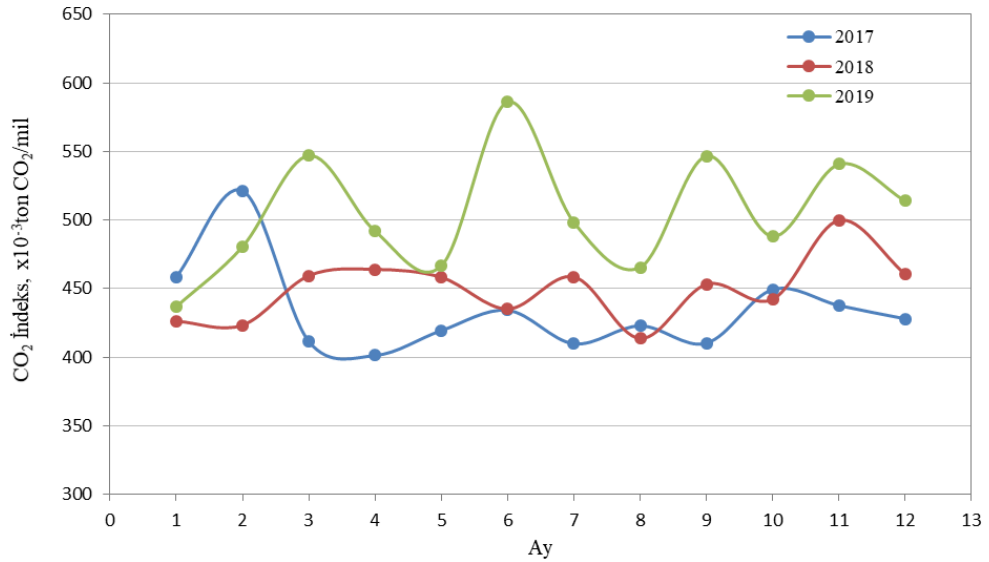
Şekil 4.22 D1 ve D2 gemilerinin aylık CO₂ indeks değerleri

Şekil 4.23’te E1 ve E2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki aylık CO₂ indeks değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen 1–12 arası 2017 yılı, 13–24 arası 2018 yılı ve 25–36 arası 2019 yılı içerisindeki ayları göstermektedir. E1 gemisinin 2019 Nisan (28) ayı CO₂ indeks değeri 514,31 x10⁻³ton CO₂/mil olarak ortalamanın üstünde hesaplanmıştır. Bunun sebepleri arasında geminin yüksek hızlarda seyir yapması ve gemi yakıt sarfiyatını artırması ve demir periyotlarında uzun süre kalarak mesafe kat etmeden harcanan yakıtlar söylenebilmektedir. E2 gemisi için ise 2019 Mart (27) CO₂ indeks değeri 274,76 x10⁻³ton CO₂/mil olarak en düşük seviyede hesaplanmıştır. Bu durum geminin belirtilen ay boyunca optimum hızda seyir gerçekleştirdiğini göstermektedir.



Şekil 4.23 E1 ve E2 gemilerinin aylık CO₂ indeks değerleri

Şekil 4.24'te F1 gemisinin 2017-2018-2019 yıllarındaki aylık CO₂ indeks değerlerinin grafiği görülmektedir. Bu süreç içerisinde CO₂ indeksinin maksimum olduğu değer 586,12x10⁻³ton CO₂/mil ile 2019 Haziran ayında, minimum olduğu değer ise 410,23x10⁻³ton CO₂/mil ile 2017 Eylül ayında hesaplanmıştır. Genel olarak bakıldığında ise F1 gemisinin 2019 yılı içerisinde CO₂ indeks değerinin diğer yıllara göre daha fazladır. Bunun en önemli sebebi geminin yüksek hızlarda ve verimsiz yakıt tüketimine sahip olmasıdır.



Şekil 4.24 F1 gemisinin yıllara göre aylık CO₂ indeks değerleri

Tablo 4.3'te tüm filonun yıllara göre ortalama CO₂ indeks değeri görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi C2 gemisinin 2019 yılı değeri genel ortalamanın üzerinde çıkmıştır. Ayrıca F1 gemisinin üç yılı kapsayan genel ortalaması da diğer gemilere kıyasla yüksek değerdedir. Ana makine gücü arttıkça yakıt sarfiyatının artmasının yanında farklı yük altında çalışması ile beraber yakıt harcamı da değişmektedir. Gemilerin kendi ortalama CO₂ indeks değerlerinin üzerine çıktığı yıllar içerisinde verimsiz makine sarfiyatına sebep olan operasyon gerçekleştirdikleri bir diğer anlamda uzun bir süre demirde kaldığı ve yardımcı dizel jeneratör kaynaklı yakıt sarfiyatlarını arttırmış ancak bunun yanında yeterli yol kat edememiş oldukları sonucuna varılır. Ayrıca diğer bir sebep olarak ana makinenin yüksek yük altında çalıştırılmasıyla yakıt sarfiyatı mil başına artar ve bu nedenle CO₂ indeks değerini ortalama üstüne çıkmaktadır.

Tablo 4.3 Tüm filo gemilerinin CO₂ indeks değerinin yıllık ortalaması

CO ₂ İndeks, x10 ⁻³ ton CO ₂ /mil			
	2017	2018	2019
A1	323	373	373
A2	327	298	358
B1	332	326	335
B2	310	372	348
C1	318	330	334
C2	328	387	432
D1	306	347	363
D2	314	316	338

Tablo 4.3 Tüm filo gemilerinin CO₂ indeks değerinin yıllık ortalaması (devamı)

E1	340	353	361
E2	329,61	355,54	338,32
F1	433,66	449,53	505,16

4.3 Enerji Verimliliği Operasyon İndeksinin (EEOI)

Değerlendirilmesi

Enerji verimliliğinden söz ederken CO₂ emisyon miktarı tek başına yorum yapılabilmesinde yeterli olmaktadır. Bunun yanında ne kadar faydalı iş yapıldığına bakmak gerekmektedir. Faydalı iş tanımı geminin yaktığı yakıtın karbon faktörüyle çarpımının, taşıdığı yük miktarı (ton) ile kat ettiği mesafe (mil) çarpımına oranıyla bulunur. Ancak gemi yüksüz mesafe kat eder ise sonucunda ortaya bir iş çıkmamış olur. Dolayısıyla yüksüz gerçekleşen bir gemi seferi enerji verimliliği açısından oldukça verimsiz olarak tanımlanır.

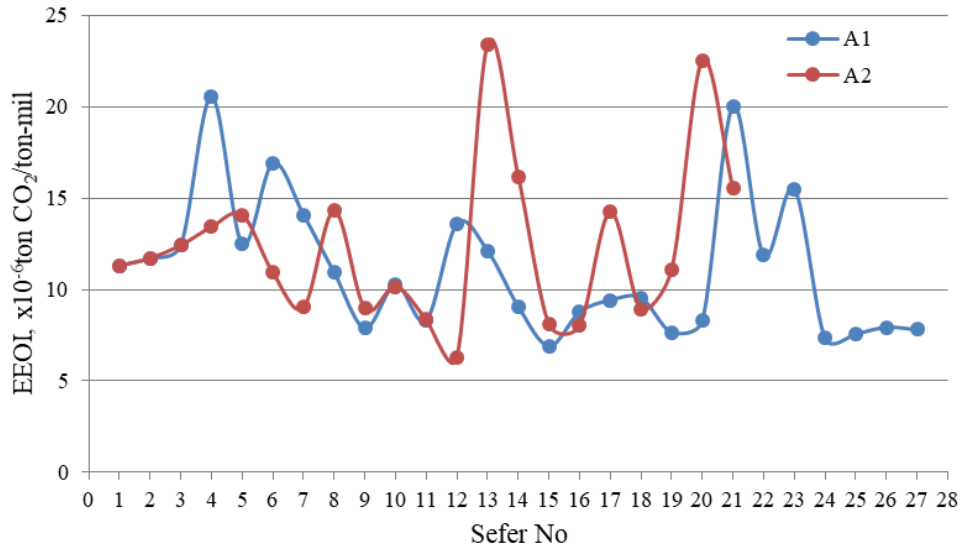
Bu bölümde gemilerin işletme esnasında verimli işletilip işletilmediğinin göstergesi olan EEOI değerleri tüm filo gemileri için seferlik olarak ton-CO₂/ton-mil cinsinden hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir. Bu hesaplamalar seferlik ve tüm filonun genel durumu şeklinde iki ayrı kategoride değerlendirilmiştir. Ayrıca değerlendirme yapılırken EEOI sayısal değerinin azalmasının, enerji verimliliğinin daha iyi olduğunu gösterdiği bilinmektedir.

4.3.1 Seferlik Değerlendirme

Tüm filo gemilerinin 2017, 2018 ve 2019 yıllarında gerçekleştirmiş oldukları seferler ve bu seferlerin EEOI değerleri hesaplanarak grafikleri oluşturulmuştur. Kardeş (sister) gemiler tek bir grafikte gösterilirken F1 gemisinin kardeş gemisi olmadığından dolayı kendi içinde yıllara göre değişimini gösteren grafiği çizdirilmiştir.

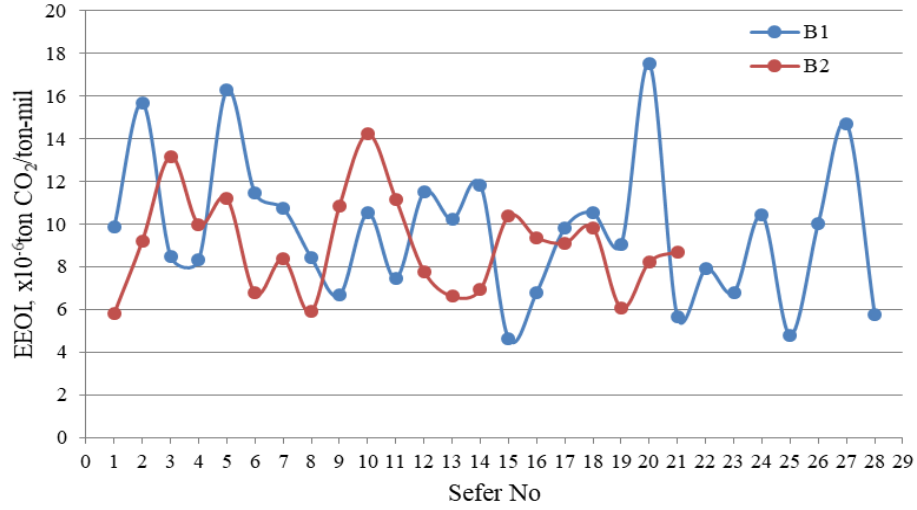
Şekil 4.25'te A1 ve A2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki seferlik EEOI değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen seferlerden, A1

gemisi için 1-9 arası 2017 yılı, 10-17 arası 2018 yılı ve 18-27 arası 2019 yılı içerisindeki seferlerini göstermekte olup A2 gemisi için ise 1-8 arası 2017 yılı, 9-14 arası 2018 yılı ve 15-21 arası 2019 yılı içerisindeki seferlerini göstermektedir. Belirtilen süre aralığında enerji verimliliği operasyon indeksi, A1 gemisi için 2017 yılının 4.seferinde (4) 20,57 değeri ile maksimum, 2018 yılının 6.seferinde (15) 6,91 değeri ile minimum olarak hesaplanmış olup A2 gemisi için ise 2018 yılının 5. seferinde 23,43 değeri ile maksimum, 2018 yılının 4.seferinde 6,28 değeri ile minimum olarak hesaplanmıştır.



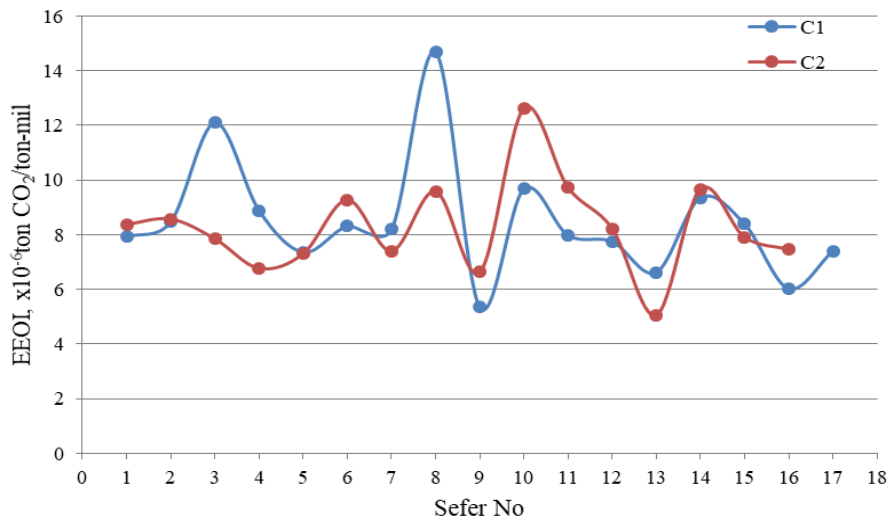
Şekil 4.25 A1 ve A2 gemilerinin seferlik EEOI değerleri

Şekil 4.26'da B1 ve B2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki seferlik EEOI değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen seferlerden, B1 gemisi için 1-8 arası 2017 yılı, 9-18 arası 2018 yılı ve 19-28 arası 2019 yılı içerisindeki seferlerini göstermekte olup B2 gemisi için ise 1-6 arası 2017 yılı, 7-11 arası 2018 yılı ve 12-21 arası 2019 yılı içerisindeki seferlerini göstermektedir. Belirtilen süre aralığında enerji verimliliği operasyon indeksi, B1 gemisi için 2019 yılının 2. seferinde 17,49 değeri ile maksimum, 2018 yılının 7.seferinde 4,64 değeri ile minimum olarak hesaplanmış olup B2 gemisi için ise 2018 yılının 4. seferinde 14,21 değeri ile maksimum, 2017 yılının 1.seferinde 5,81 değeri ile minimum olarak hesaplanmıştır.



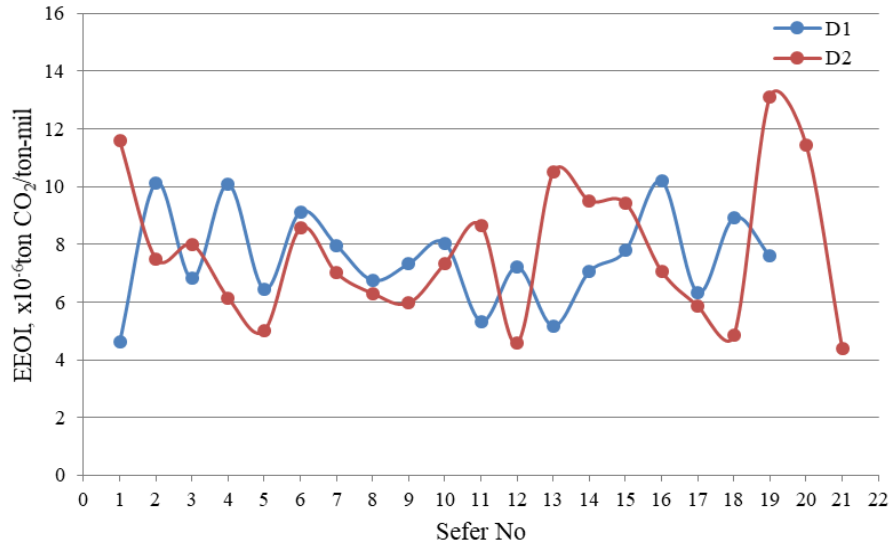
Şekil 4.26 B1 ve B2 gemilerinin seferlik EEOI değerleri

Şekil 4.27’de C1 ve C2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki seferlik EEOI değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen seferlerden, C1 gemisi için 1–5 arası 2017 yılı, 6–10 arası 2018 yılı ve 11-17 arası 2019 yılı içerisindeki seferlerini göstermekte olup C2 gemisi için ise 1–5 arası 2017 yılı, 6–10 arası 2018 yılı ve 11-16 arası 2019 yılı içerisindeki seferlerini göstermektedir. Belirtilen süre aralığında enerji verimliliği operasyon indeksi C1 gemi için 2018 yılının 3. seferinde 14,68 değeri ile maksimum, 2018 yılının 4.seferinde 5,35 değeri ile minimum olarak hesaplanmış olup C2 gemi için 2018 yılının 5. seferinde 12,63 değeri ile maksimum, 2019 yılının 3.seferinde 5,06 değeri ile minimum olarak hesaplanmıştır.



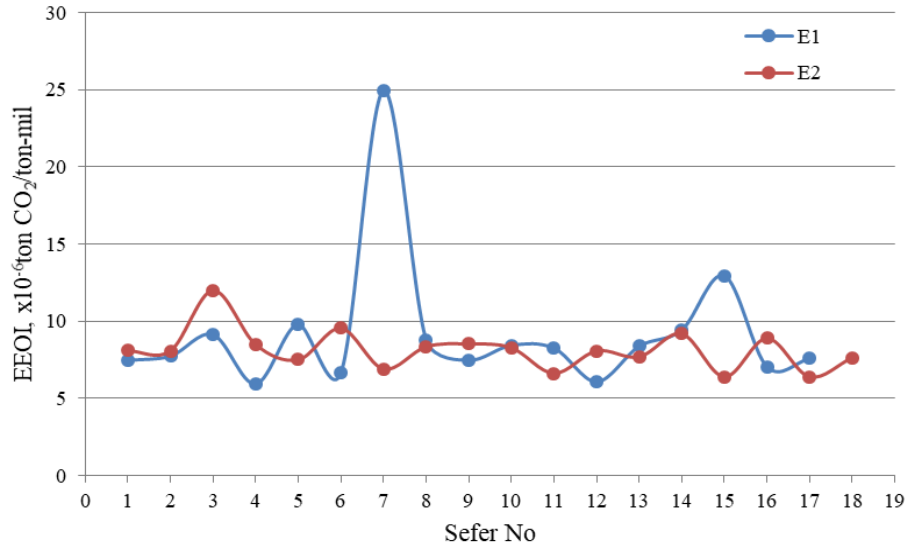
Şekil 4.27 C1 ve C2 gemilerinin seferlik EEOI değerleri

Şekil 4.28’de D1 ve D2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki seferlik EEOI değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen seferlerden, D1 gemisi için 1–7 arası 2017 yılı, 8–13 arası 2018 yılı ve 14-19 arası 2019 yılı içerisindeki seferlerini göstermekte olup D2 gemisi için ise 1–6 arası 2017 yılı, 7–13 arası 2018 yılı ve 14-21 arası 2019 yılı içerisindeki seferlerini göstermektedir. Belirtilen süre aralığında enerji verimliliği operasyon indeksi D1 gemisi için 2019 yılının 3. seferinde 10,20 değeri ile maksimum, 2017 yılının 1.seferinde 4,62 değeri ile minimum olarak hesaplanmış olup D2 gemisi için 2019 yılının 6. seferinde 13,11 değeri ile maksimum, 2019 yılının 8.seferinde 4,38 değeri ile minimum olarak hesaplanmıştır.



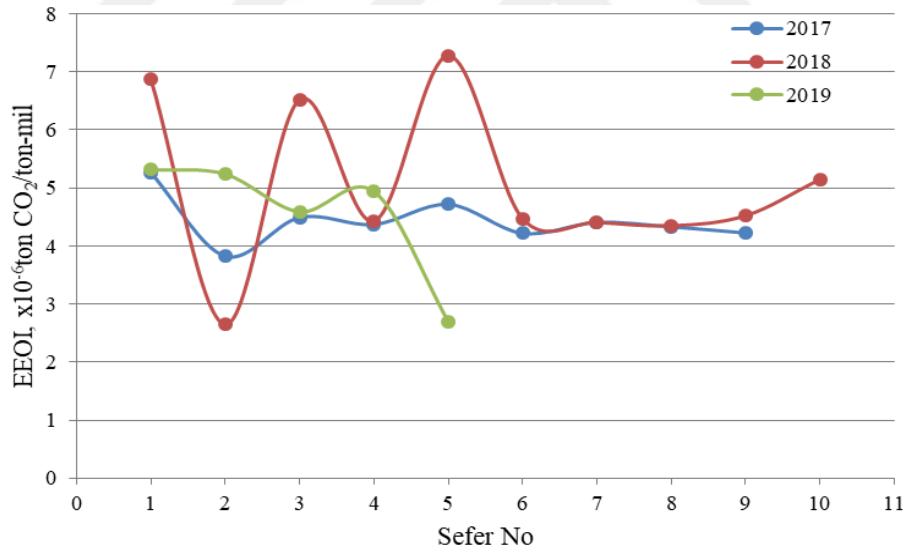
Şekil 4.28 D1 ve D2 gemilerinin seferlik EEOI değerleri

Şekil 4.29’da E1 ve E2 gemilerinin 2017-2018-2019 yıllarındaki seferlik EEOI değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafikte x sütununda belirtilen seferlerden, E1 gemisi için 1–7 arası 2017 yılı, 8–13 arası 2018 yılı ve 14-17 arası 2019 yılı içerisindeki seferlerini göstermekte olup E2 gemisi için ise 1–6 arası 2017 yılı, 7–12 arası 2018 yılı ve 13-18 arası 2019 yılı içerisindeki seferlerini göstermektedir. Belirtilen süre aralığında enerji verimliliği operasyon indeksi, E1 gemisi için 2017 yılının 7. seferinde 24,95 değeri ile maksimum, 2017 yılının 4.seferinde 5,93 değeri ile minimum olarak hesaplanmış olup E2 gemisi için 2017 yılının 3. seferinde 11,99 değeri ile maksimum, 2019 yılının 3. seferinde 6,40 değeri ile minimum olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.29 E1 ve E2 gemilerinin seferlik EEOI değerleri

F1 gemisinin belirtilen süreç içerisinde enerji verimliliği operasyon indeksi; 2018 yılının 5. seferinde 7,28 değeri ile maksimum, 2018 yılının 2. seferinde 2,65 değeri ile minimum olarak hesaplanmıştır. (Şekil 4.30)



Şekil 4.30 F1 gemisinin yıllara göre seferlik EEOI değerleri

EEOI değerlerinin seferlik olarak değişimleri geminin çalışma şartlarına göre değişmektedir. Bunları daha iyi anlayabilmek için bazı gemilerin üç yıllık zaman periyodundaki maksimum ve minimum EEOI değerine sahip olduğu seferlerin detaylandırılması yapılmıştır.

A1 gemisinin EEOI maksimum değeri 2017 yılının 4. seferinde ve minimum değeri 2018 yılının 6. seferlerinde hesaplanmış ve daha önce belirtilmiştir. Tablo 4.4'te A1 gemisinin maksimum EEOI değerinin hesaplandığı seferin detayları gösterilmektedir. EEOI değerlerindeki bu artışın nedenlerine bakacak olursak; yüksüz (ballast) seyir için harcanan yakıt ve buna bağlı CO₂ salınımının fazla miktarda olmasıdır. Bunun yanında bir diğer neden ise seferin toplam taşıma işinin salınan emisyon değerine göre oldukça az olmasıdır. Bu nedenle EEOI değerleri diğer seferlere kıyasla artış göstermektedir. Bu da verimliliğin azaldığını göstermektedir. Tablo 4.5'te ise A1 gemisinin minimum EEOI değerinin hesaplandığı seferin detayları gösterilmektedir. EEOI değerlerindeki bu azalmanın nedenlerine bakacak olursak; yüksüz (ballast) seyir için harcanan yakıt ve buna bağlı CO₂ salınımının düşük miktarda, bir başka deyişle ballast seyir mesafesinin kısa olmasıdır. Bunun yanında bir diğer neden ise seferin toplam taşıma işinin salınan emisyon değerine göre oldukça fazla olmasıdır. Bu nedenle EEOI değerleri diğer seferlere kıyasla azalmış olup bu da verimliliğin arttığını göstermektedir.

B1 gemisinin EEOI maksimum değeri 2019 yılının 2. seferinde ve minimum değeri 2018 yılının 7. seferlerinde hesaplanmış ve daha önce belirtilmiştir. Tablo 4.6'da B1 gemisinin maksimum EEOI değerinin hesaplandığı seferin detayları gösterilmektedir. EEOI değerlerindeki bu artışın nedenlerine bakacak olursak; yüksüz (ballast) seyir için harcanan yakıt ve buna bağlı CO₂ salınımının fazla miktarda olmasıdır. Bunun yanında bir diğer neden ise seferin toplam taşıma işinin salınan emisyon değerine göre oldukça az olmasıdır. Bu nedenle EEOI değerleri diğer seferlere kıyasla artış göstermektedir. Bu da verimliliğin azaldığını göstermektedir. Tablo 4.7'de ise B1 gemisinin minimum EEOI değerinin hesaplandığı seferin detayları gösterilmektedir. EEOI değerlerindeki bu azalmanın nedenlerine bakacak olursak; yüksüz (ballast) seyir için harcanan yakıt ve buna bağlı CO₂ salınımının düşük miktarda, bir başka deyişle ballast seyir mesafesinin kısa olmasıdır. Bunun yanında bir diğer neden ise seferin toplam taşıma işinin salınan emisyon değerine göre oldukça fazla olmasıdır. Bu nedenle EEOI değerleri diğer seferlere kıyasla azalmış olup bu da verimliliğin arttığını göstermektedir.

B2 gemisinin EEOI maksimum değeri 2018 yılının 4. seferinde ve minimum değeri 2017 yılının 1. seferlerinde hesaplanmış ve daha önce belirtilmiştir. Tablo 4.8’de B2 gemisinin maksimum EEOI değerinin hesaplandığı seferin detayları gösterilmektedir. EEOI değerlerindeki bu artışın nedenlerine bakacak olursak; yüksüz (ballast) seyir için harcanan yakıt ve buna bağlı CO₂ salınımının fazla miktarda olmasıdır. Bunun yanında bir diğer neden ise seferin toplam taşıma işinin salınan emisyon değerine göre oldukça az olmasıdır. Bu nedenle EEOI değerleri diğer seferlere kıyasla artış göstermektedir. Bu da verimliliğin azaldığını göstermektedir. Tablo 4.9’da ise B2 gemisinin minimum EEOI değerinin hesaplandığı seferin detayları gösterilmektedir. EEOI değerlerindeki bu azalmanın nedenlerine bakacak olursak; yüksüz (ballast) seyir için harcanan yakıt ve buna bağlı CO₂ salınımının düşük miktarda, bir başka deyişle ballast seyir mesafesinin kısa olmasıdır. Bunun yanında bir diğer neden ise seferin toplam taşıma işinin salınan emisyon değerine göre oldukça fazla olmasıdır. Bu nedenle EEOI değerleri diğer seferlere kıyasla azalmış olup bu da verimliliğin arttığını göstermektedir.

Tablo 4.4 A1 gemisinin 2017 yılı 4.sefer detayı

Sefer No	Ara Sefer No	Kalkış / Varış Limanı	Mesafe, Nm	Yük, ton	HFO/DGO, ton	CO ₂ , mt	Taşıma İşi, Ton-Nm x 10 ⁶	EEOI, x10 ⁶ ton CO ₂ /ton.mil	Seferlik EEOI, x10 ⁶ ton-CO ₂ /ton.mil
4	12	TEMA - RECALADA	4052,04	0	329,20	1036,67	0	-	20,57
4	13	RECALADA - ROSARIO	348	0	43,78	139,06	0	-	
4	14	ROSARIO -	2125	41106,8	197,19	621,10	87,35	7,11	

Tablo 4.5 A1 gemisinin 2018 yılı 6.sefer detayı

Sefer No	Ara Sefer No	Kalkış / Varış Limanı	Mesafe, Nm	Yük, ton	HFO/DGO, ton	CO ₂ , mt	Taşıma İşi, Ton-Nm x 10 ⁶	EEOI, x10 ⁶ ton CO ₂ /ton.mil	Seferlik EEOI, x10 ⁶ ton CO ₂ /ton.mil
6	13	RIGA - UST LUGA	476,40	0	62,04	198,90	0	-	6,91
6	14	UST LUGA - SANTOS	7011,40	53750	767,33	2406,77	376,86	6,39	

Tablo 4.6 B1 gemisinin 2019 yılı 2.sefer detayı

Sefer No	Ara Sefer No	Kalkış / Varış Limanı	Mesafe, Nm	Yük, ton	HFO/DGO, ton	CO ₂ , mt	Taşıma İşi, Ton-Nm x 10 ⁶	EEOI, x10 ⁶ ton-CO ₂ /ton-mil	Seferlik EEOI, x10 ⁶ ton-CO ₂ /ton-mil
2	3	AMSTERDAM - TROMBETAS	5031	0	550	1913,11	0	-	17,49
2	4	TROMBETAS - BURNSIDE	3163	55000	234,29	1129,72	173,97	6,49	

Tablo 4.7 B1 gemisinin 2018 yılı 7.sefer detayı

Sefer No	Ara Sefer No	Kalkış / Varış Limanı	Mesafe, Nm	Yük, ton	HFO/DGO, ton	CO ₂ , mt	Taşıma İşi, Ton-Nm x 10 ⁶	EEOI, x10 ⁶ ton-CO ₂ /ton-mil	Seferlik EEOI, x10 ⁶ ton-CO ₂ /ton-mil
7	17	ALFRED - CARTIER	176,9	0	0	128,91	0	-	4,64
7	18	CARTIER - GHENT	2766	73935	176,3	819,74	204,50	4,01	

Tablo 4.8 B2 gemisinin 2018 yılı 4.sefer detayı

Sefer No	Ara Sefer	Kalkış / Varış Limanı	Mesafe, Nm	Yük, ton	HFO/DGO, ton	CO ₂ , mt	Taşıma İşi, Ton-Nm x 10 ⁶	EEOI, x10 ⁶ ton-CO ₂ /ton-mil	Seferlik EEOI, x10 ⁶ ton-CO ₂ /ton-mil
4	10	SODEGAURA -STOCKTON	4610,79	0	471,1	1676,6	0	-	14,21
4	11	STOCKTON - RICHMOND	93,1	37147	0	102,59	3,46	29,66	
4	12	RICHMOND - KINIUURA	4706,19	59207	674,1	2229,7	278,64	8,00	

Tablo 4.9 B2 gemisinin 2017 yılı 1.sefer detayı

Sefer No	Ara Sefer No	Kalkış / Varış Limanı	Mesafe, Nm	Yük, ton	HFO/DGO, ton	CO ₂ , mt	Taşıma İşi, Ton-Nm x 10 ⁶	EEOI, x10 ⁶ ton-CO ₂ /ton-mil	Seferlik EEOI, x10 ⁶ ton-CO ₂ /ton-mil
1	1	BILBAO - LAS PALMAS	1324	0	116,51	364,32	0	-	5,81
1	2	LAS PALMAS - KAMSAR	1314	0	108,9	375,70	0	-	

Tablo 4.9 B2 gemisinin 2017 yılı 1.sefer detayı (devamı)

1	3	KAMSAR - VIZAG	8575	66101	812,3	2555,79	566,82	4,51
---	---	----------------	------	-------	-------	---------	--------	------

Daha önce de belirtildiği gibi gemiler bir seferi tamamlamak için yüksüz (ballast) ve yüklü olmak üzere iki tip seyir operasyonu gerçekleştirebilmektedirler. Yüksüz seferlerde gemide ticari taşınan bir yük bulunmaz yani boş seyir gerçekleştirdiğinden EEOI değeri hesaplanamaz ve tanımsız olarak ifade edilir. Ancak çalışmamızda ara seferler üzerinden değil ara seferlerin birlikte dahil edildiği tam bir sefer gerçekleştiğinde hesaplanan veriler üzerinde değerlendirme yapılmıştır. Buradan da anlaşılabacağı üzere bir sefer ara seferlerdeki taşıma işlerini de kapsadığı için EEOI hesabında payda sıfır olmaz ve tanımlı bir değer sonucuna ulaşılır.

Tablo 4.10'da tüm filo gemilerinin seferlik EEOI ortalama değerleri $\times 10^{-6}$ ton CO₂/ton-mil cinsinden gösterilmiştir. En düşük enerji verimliliği operasyon indeks değeri 207.777 DWT'lik F1 gemisinde hesaplanmıştır.

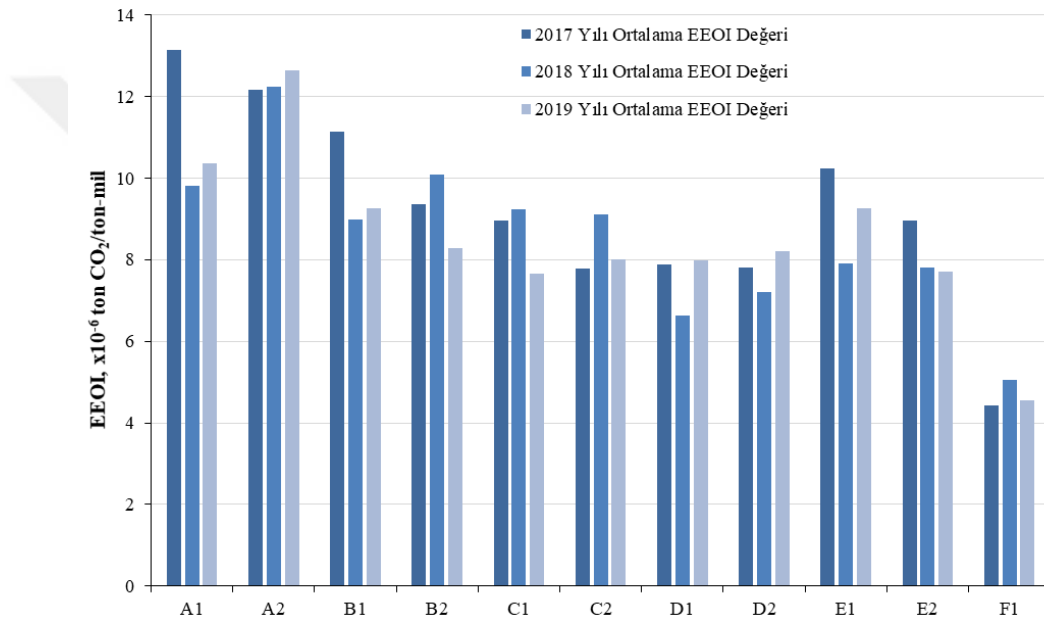
Tablo 4.10 Tüm filonun 2017-2018-2019 yılları EEOI değerleri

No	Gemi	2017 yılı EEOI Ortalama Değerleri $\times 10^{-6}$ ton CO ₂ /ton-mil	2018 yılı EEOI Ortalama Değerleri $\times 10^{-6}$ ton CO ₂ /ton-mil	2019 yılı EEOI Ortalama Değerleri $\times 10^{-6}$ ton CO ₂ /ton-mil
1	A1	13,97	12,42	10,73
2	A2	13,20	11,22	9,41
3	B1	11,14	9,81	9,01
4	B2	8,70	9,75	10,16
5	C1	8,72	8,69	8,98
6	C2	9,58	9,93	8,62
7	D1	6,65	7,57	7,88
8	D2	9,27	7,12	8,53

Tablo 4.10 Tüm filonun 2017-2018-2019 yılları EEOI değerleri (devamı)

9	E1	7,98	13,05	12,05
10	E2	9,16	9,60	8,35
11	F1	4,89	4,44	5,61

Yukarıdaki tabloda EEOI ortalama değerleri verilen gemilerin karşılaştırma grafiği Şekil 4.31’de gösterilmiştir. Grafiğe baktığımızda gemilerin yıllara göre EEOI değerlerindeki değişimler görülmektedir.



Şekil 4.31 Tüm filonun 2017-2018-2019 yılları EEOI ortalama değerleri

2017-2018 Yılları; A1, B1, D1, D2, E1 ve E2 gemilerinde 2017 yılına göre EEOI değerlerinde azalma meydana geldiği, A2, B2, C1, C2 ve F1 gemilerinde ise 2017 yılına göre EEOI değerlerinden artma olduğu görülmüştür.

2018-2019 Yılları; B2, C1, C2, E2 ve F1 gemilerinde 2018 yıllarına göre EEOI değerlerinde azalma meydana geldiği, A1, A2, B1, D1, D2 ve E1 gemilerinde ise EEOI değerlerinde artma olduğu görülmüştür.

EEOI değerinde azalma olan gemilere bakıldığında düzenli sefer yaptıkları görülmektedir. Bu da gemilerin daha az yüksüz seyir yapmalarına neden

olmaktadır. Bir diğer neden ise gemilerin yüksek kapasite kullanım oranlarıyla seferlerini tamamlamaları olarak görülmektedir.

Filonun hedeflenen EEOI değerlerine ulaşamamasının olası nedenleri arasında;

- 1- 2017 ve 2018 yıllarında gemilere gönderilen enerji verimliliğini artırma yönündeki önerilen tavsiyelere yeteri kadar uyulmadığı,
- 2- Gemilerin bir önceki yıla göre kapasite kullanım oranlarının düşmüş olması,
- 3- Gemilerin yüksüz olarak gidilen seyir sürelerinin fazla olması
- 4- Demirde kalma sürelerinin fazla olması

gibi nedenler görülebilir. Düzenli sefer yapan gemilerde alınan tedbirlerin sonuçları çok daha belirgin olarak görülebilir.

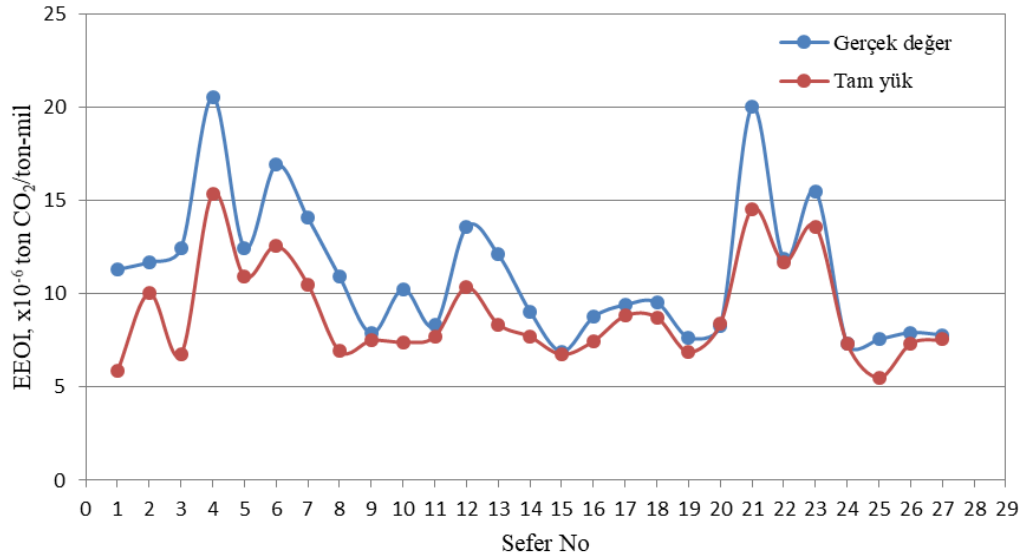
4.3.2 EEOI ile İlgili Senaryolar

Bu bölümde 11 geminin mevcut seferlerine ait parametreler üzerinden bazı iyileştirmeler yapılarak EEOI değeri üzerindeki değişimlerin incelendiği senaryolar üretilmiştir.

4.3.2.1 Senaryo 1

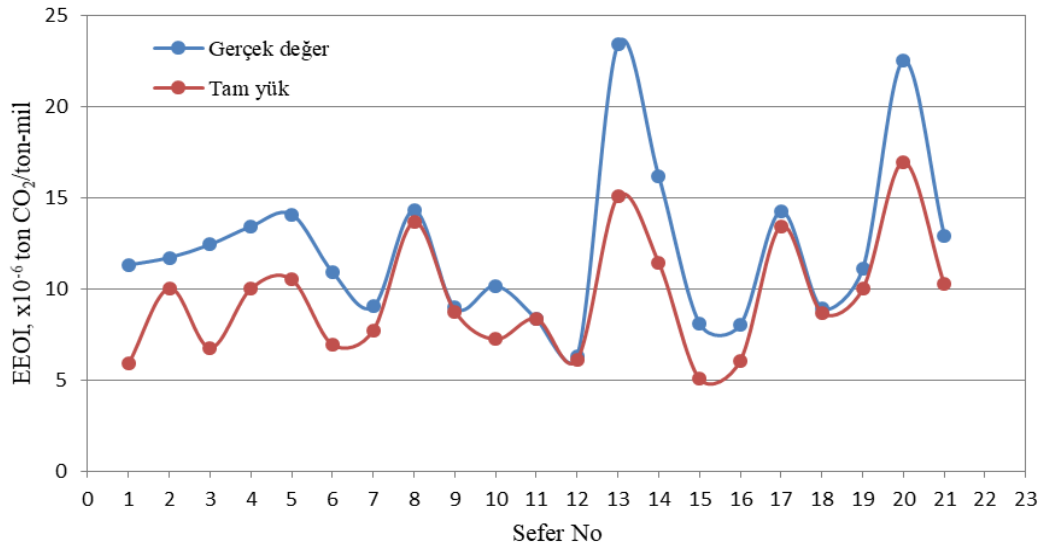
Senaryo 1’de gemilerin gerçekleştirmiş oldukları tüm seferleri için tam kapasitede çalıştığı varsayılmış ve diğer tüm değişkenler aynı olacak şekilde yeni EEOI değerleri hesaplanmıştır. Seferlere ait gerçek EEOI değeri grafiklerde “Gerçek değer”, yeni EEOI değeri ise “Tam yük” olarak gösterilmiştir.

Şekil 4.32’de A1 gemisi için senaryo-1 sonuçları verilmiştir. EEOI değerindeki maksimum değişim 3.seferde, minimum değişim ise 24.seferde gerçekleşmiştir. Belirtilen seferlerde gemiler sırasıyla %54,35 ve %100 kapasitelerinde çalıştırılmışlardır. A1 gemisinin üç yıllık süreç için tam yükte çalıştırılması senaryosu sonucu verimlilikteki toplam artışının %19,15 olduğu görülmüştür.



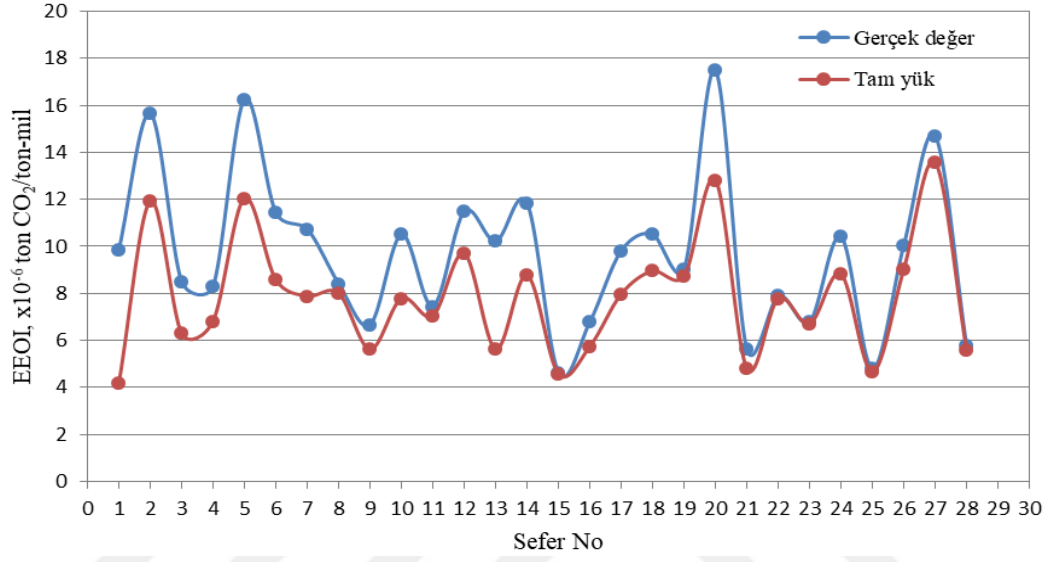
Şekil 4.32 A1 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması

Şekil 4.33'de A2 gemisi için senaryo-1 sonuçları verilmiştir. EEOI değerindeki maksimum değişim 13.seferde, minimum değişim ise 12.seferde gerçekleşmiştir. Belirtilen seferlerde gemiler sırasıyla %46,60 (25632 ton) ve %97,45 (53600 ton) kapasitelerinde çalıştırılmışlardır. A2 gemisinin üç yıllık süreç için tam yükte çalıştırılması senaryosu sonucu verimlilikteki toplam artışının %22,44 olduğu görülmüştür.



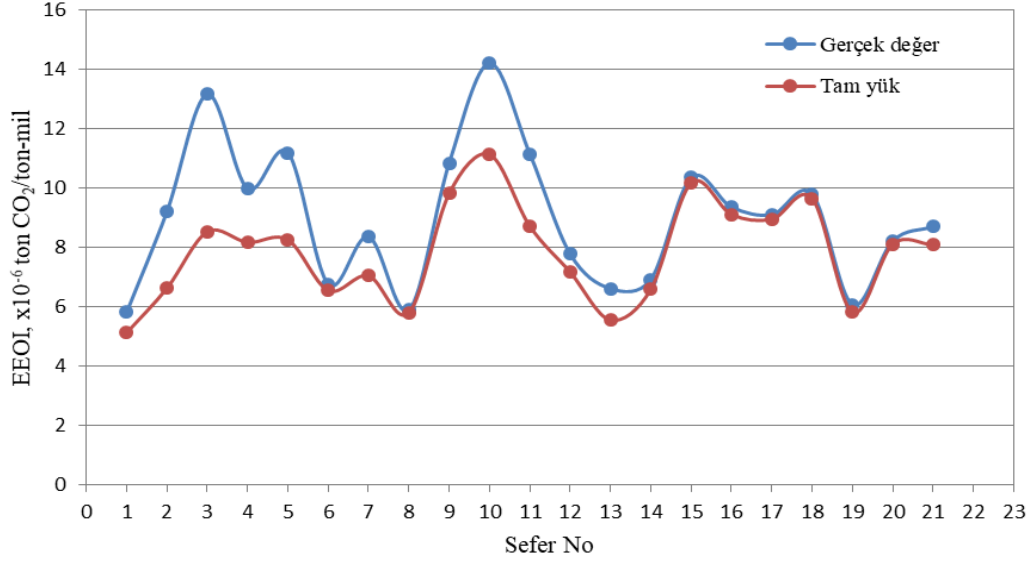
Şekil 4.33 A2 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması

Şekil 4.34'de B1 gemisi için senaryo-1 sonuçları verilmiştir. EEOI değerindeki maksimum değişim 1.seferde, minimum değişim ise 15.seferde gerçekleşmiştir. Belirtilen seferlerde gemiler sırasıyla %49,09 (36818 ton) ve %98,58 (73935 ton) kapasitelerinde çalıştırılmışlardır. B1 gemisinin üç yıllık süreç için tam yükte çalıştırılması senaryosu sonucu verimlilikteki toplam artışının %16,20 olduğu görülmüştür.



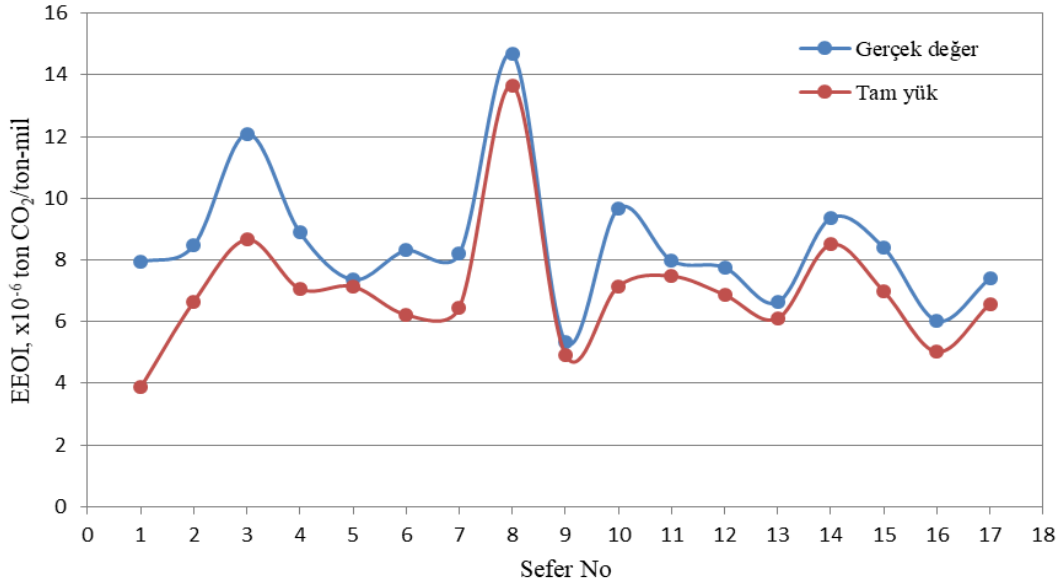
Şekil 4.34 B1 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması

Şekil 4.35'te B2 gemisi için senaryo-1 sonuçları verilmiştir. EEOI değerindeki maksimum değişim 3.seferde, minimum değişim ise 8.seferde gerçekleşmiştir. Belirtilen seferlerde gemiler sırasıyla %64,73 (48550 ton) ve %98,41 (73810 ton) kapasitelerinde çalıştırılmışlardır. B2 gemisinin üç yıllık süreç için tam yükte çalıştırılması senaryosu sonucu verimlilikteki toplam artışının %12,96 olduğu görülmüştür.



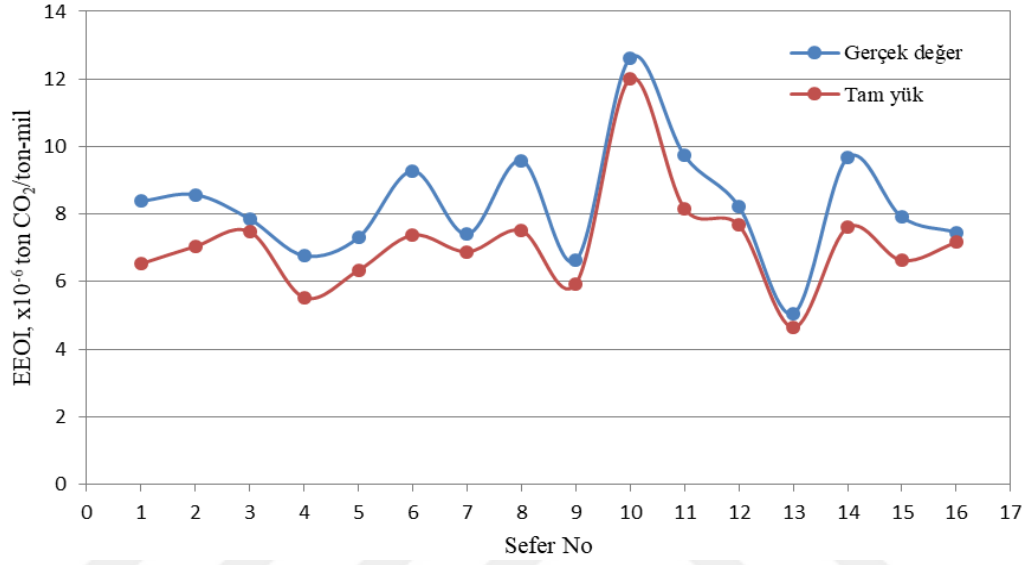
Şekil 4.35 B2 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması

Şekil 4.36'da C1 gemisi için senaryo-1 sonuçları verilmiştir. EEOI değerindeki maksimum değişim 1.seferde, minimum değişim ise 5.seferde gerçekleşmiştir. Belirtilen seferlerde gemiler sırasıyla %83,63 (68577 ton) ve %96,99 (79536 ton) kapasitelerinde çalıştırılmışlardır. C1 gemisinin üç yıllık süreç için tam yükte çalıştırılması senaryosu sonucu verimlilikteki toplam artışının %17,41 olduğu görülmüştür.



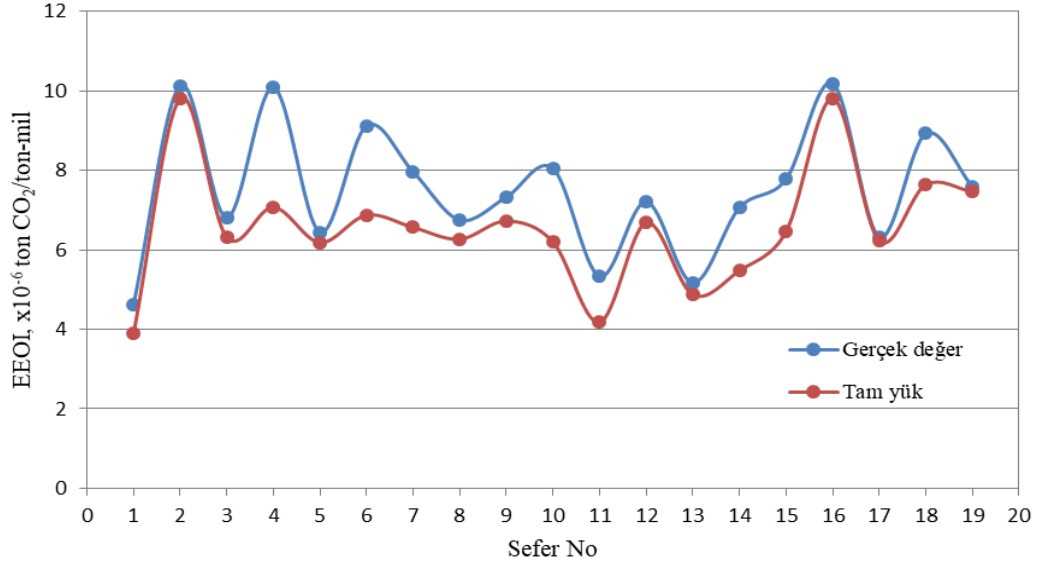
Şekil 4.36 C1 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması

Şekil 4.37’de C2 gemisi için senaryo-1 sonuçları verilmiştir. EEOI değerindeki maksimum değişim 14.seferde, minimum değişim ise 16.seferde gerçekleşmiştir. Belirtilen seferlerde gemiler sırasıyla %78,65 (64500 ton) ve %96,05 (78761 ton) kapasitelerinde çalıştırılmışlardır. C2 gemisinin üç yıllık süreç için tam yükte çalıştırılması senaryosu sonucu verimlilikteki toplam artışının %13,53 olduğu görülmüştür.



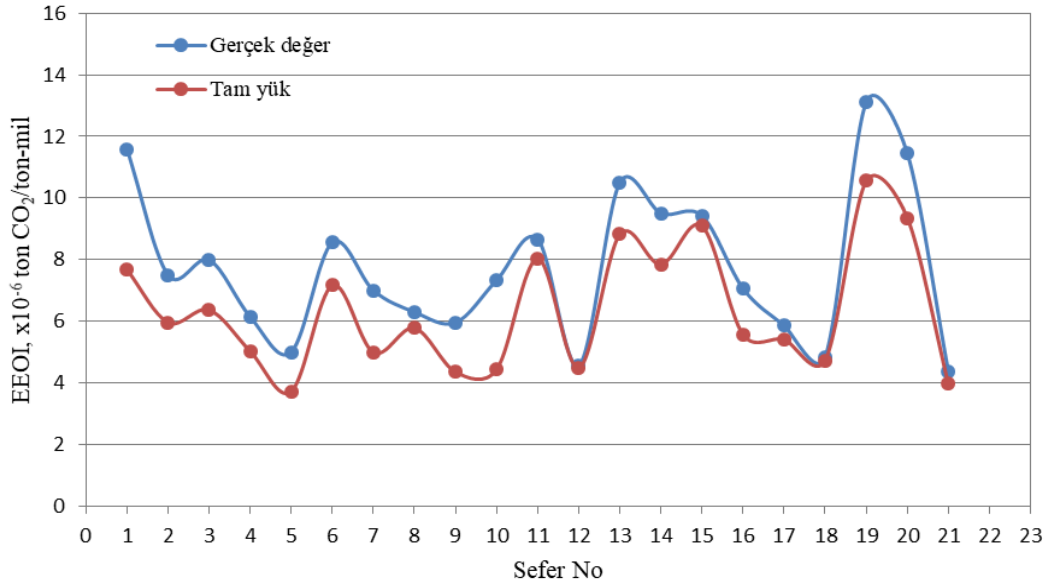
Şekil 4.37 C2 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması

Şekil 4.38’de D1 gemisi için senaryo-1 sonuçları verilmiştir. EEOI değerindeki maksimum değişim 4.seferde, minimum değişim ise 17.seferde gerçekleşmiştir. Belirtilen seferlerde gemiler sırasıyla %70,13 (58210 ton) ve %98,37 (81655 ton) kapasitelerinde çalıştırılmışlardır. D1 gemisinin üç yıllık süreç için tam yükte çalıştırılması senaryosu sonucu verimlilikteki toplam artışının %12,63 olduğu görülmüştür.



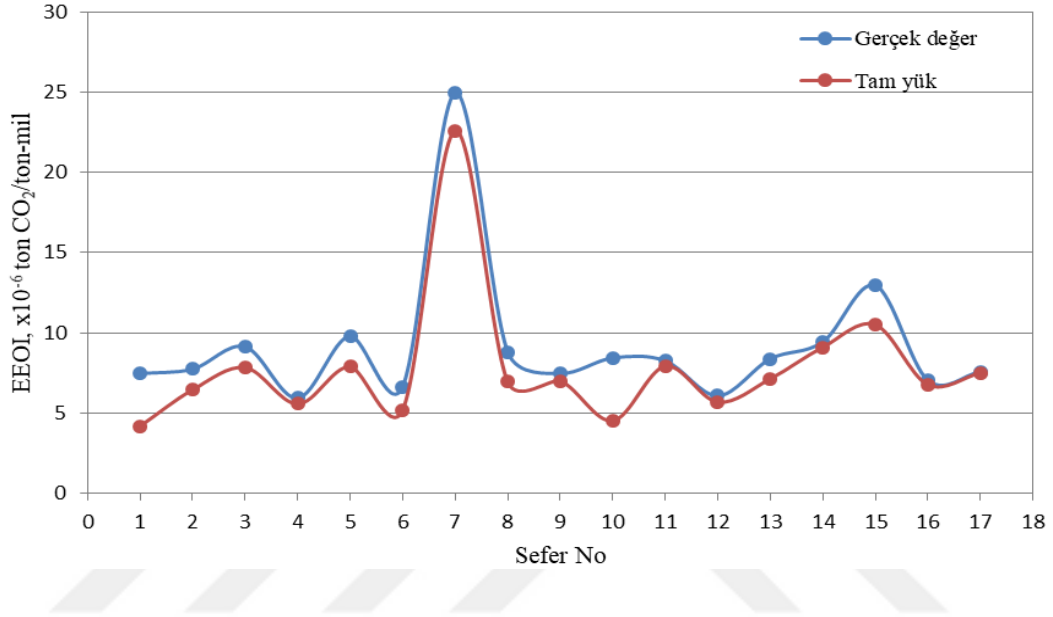
Şekil 4.38 D1 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması

Şekil 4.39'da D2 gemisi için senaryo-1 sonuçları verilmiştir. EEOI değeriindeki maksimum değişim 1.seferde, minimum değişim ise 12.seferde gerçekleşmiştir. Belirtilen seferlerde gemiler sırasıyla %66,26 (55000 ton) ve %98,22 (81528 ton) kapasitelerinde çalıştırılmışlardır. D2 gemisinin üç yıllık süreç için tam yükte çalıştırılması senaryosu sonucu verimlilikteki toplam artışının %17,94 olduğu görülmüştür.



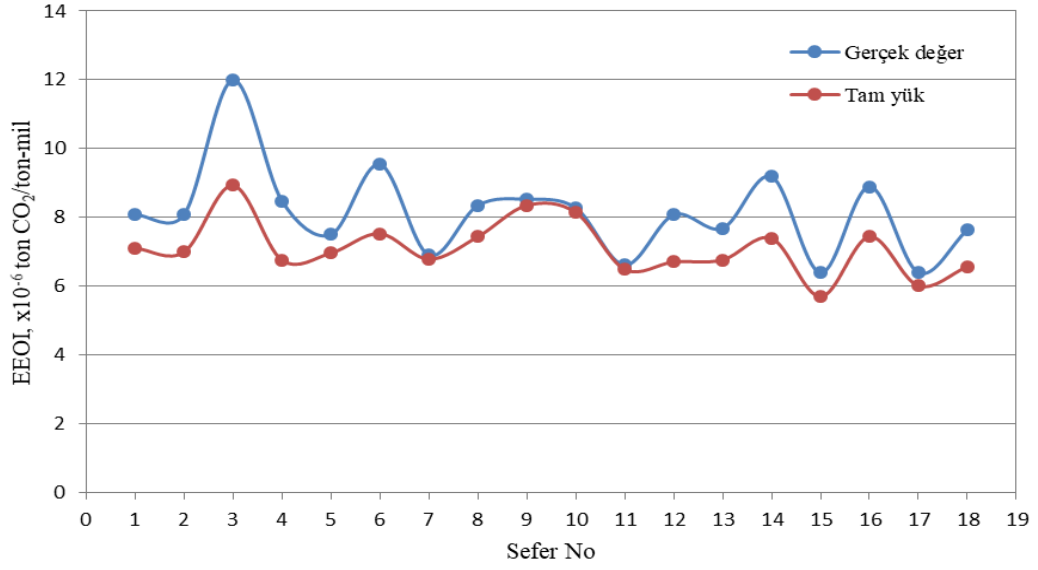
Şekil 4.39 D2 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması

Şekil 4.40'da E1 gemisi için senaryo-1 sonuçları verilmiştir. EEOI değerindeki maksimum değişim 10.seferde, minimum değişim ise 17.seferde gerçekleşmiştir. Belirtilen seferlerde gemiler sırasıyla %53,65 (44000 ton) ve %99,10 (81263 ton) kapasitelerinde çalıştırılmışlardır. E1 gemisinin üç yıllık süreç için tam yükte çalıştırılması senaryosu sonucu verimlilikteki toplam artışının %14,92 olduğu görülmüştür.



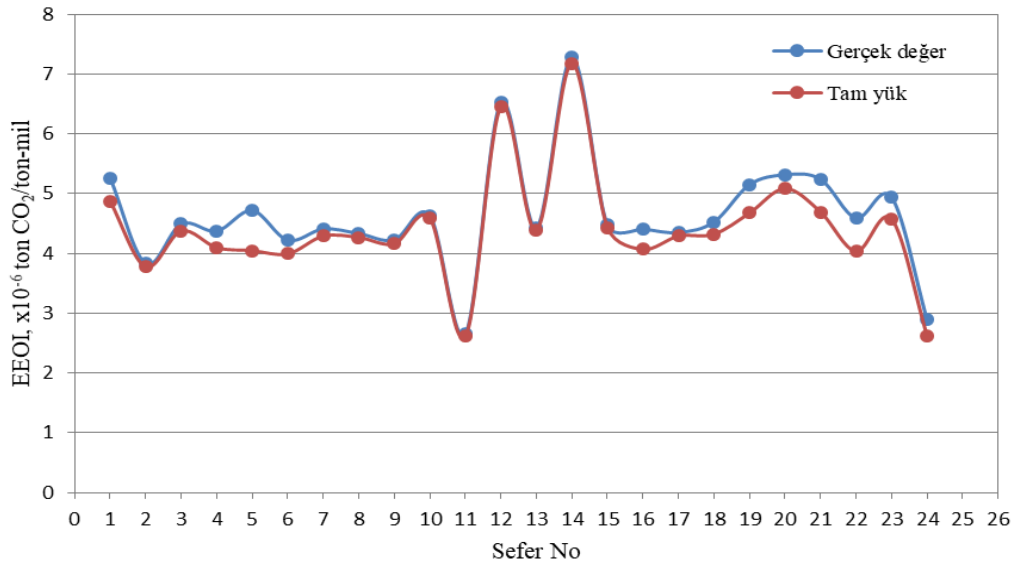
Şekil 4.40 E1 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması

Şekil 4.41'de E2 gemisi için senaryo-1 sonuçları verilmiştir. EEOI değerindeki maksimum değişim 3.seferde, minimum değişim ise 24.seferde gerçekleşmiştir. Belirtilen seferlerde gemiler sırasıyla %65,45 (53675 ton) ve %98,29 (80600 ton) kapasitelerinde çalıştırılmışlardır. E2 gemisinin üç yıllık süreç için tam yükte çalıştırılması senaryosu sonucu verimlilikteki toplam artışının %14,92 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.41 E2 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması

Şekil 4.42’de F1 gemisi için senaryo-1 sonuçları verilmiştir. EEOI değerindeki maksimum değişim 5.seferde, minimum değişim ise 11.seferde gerçekleşmiştir. Belirtilen seferlerde gemiler sırasıyla %64,44 (133404 ton) ve %98,55 (204014 ton) kapasitelerinde çalıştırılmışlardır. F1 gemisinin üç yıllık süreç için tam yükte çalıştırılması senaryosu sonucu verimlilikteki toplam artışının %4,75 olduğu görülmüştür.

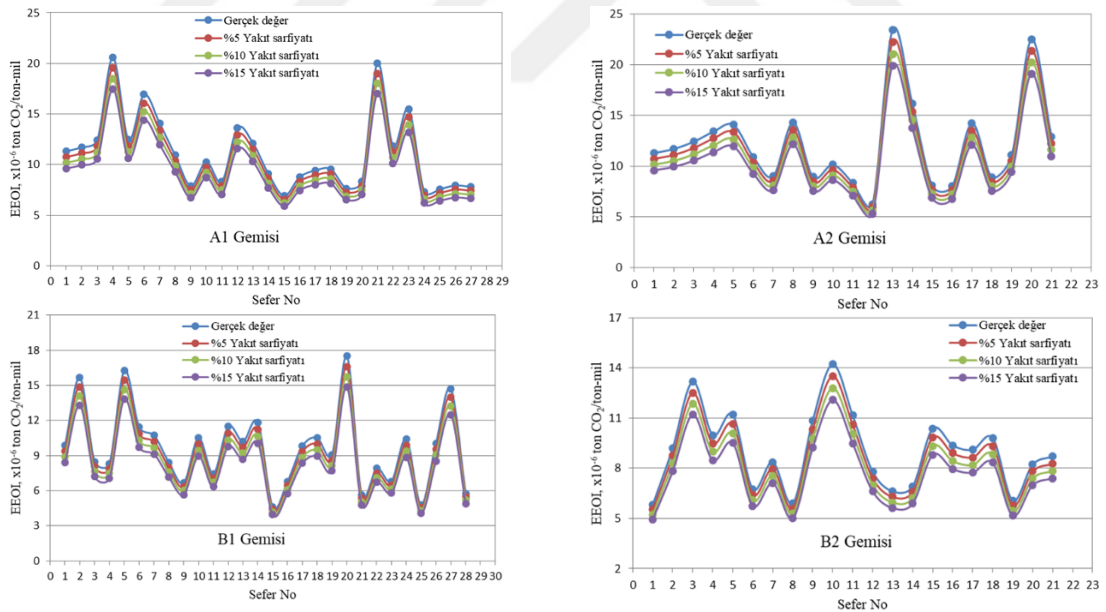


Şekil 4.42 F1 gemisinin senaryo-1 karşılaştırması

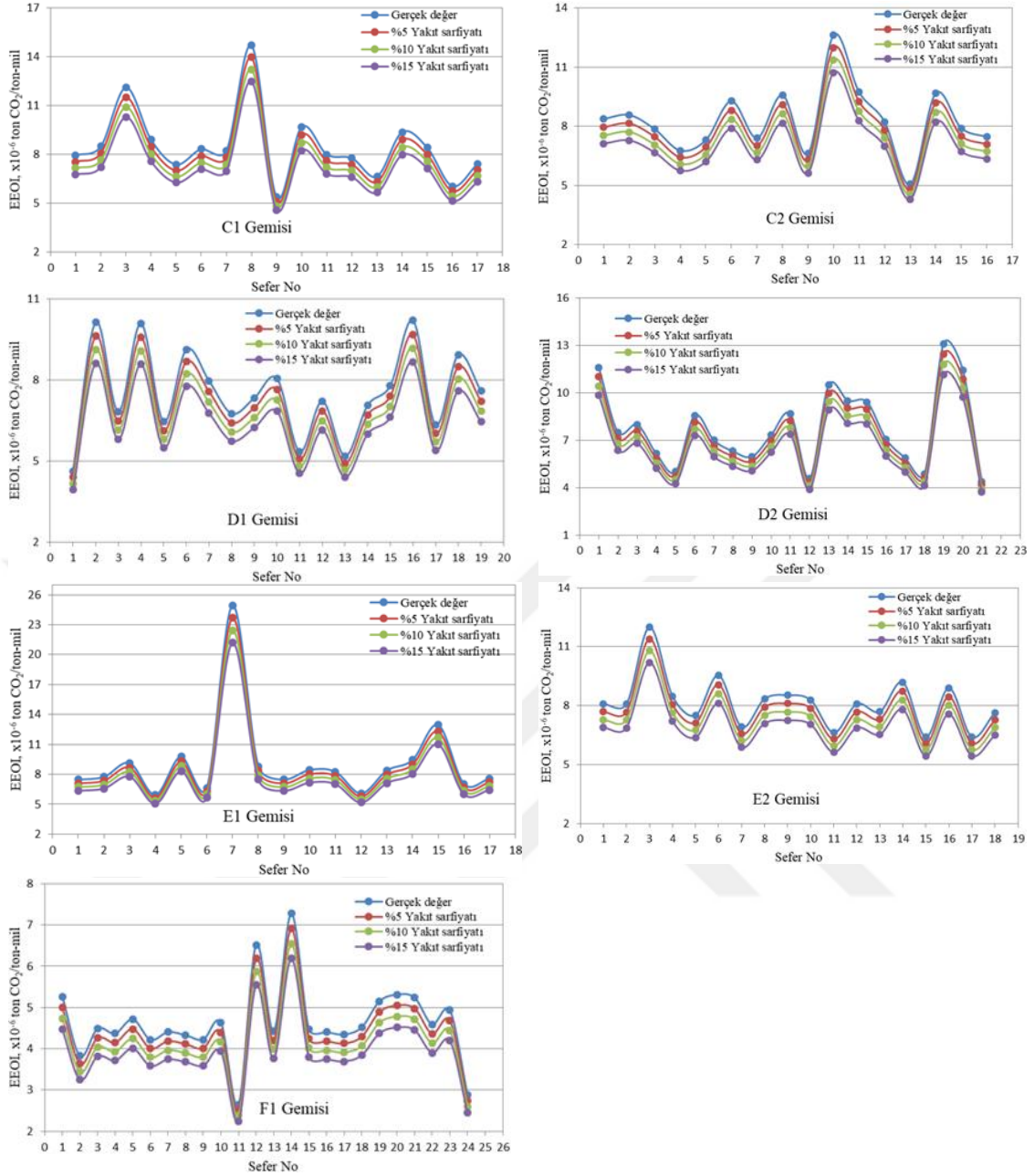
EEOI değeri hesabında en önemli parametrenin geminin taşıdığı yük olduğu yapılan hesaplamalar sonucunda kanıtlanmıştır. Her seferin gerçek EEOI değeri ile senaryo sonu EEOI değeri arasındaki değişim aynı değildir. Değişim oranının seferde taşınan yük miktarı ile alakalı olduğu görülmüştür. Gerçek seferdeki taşınan yük miktarı ne kadar az ise geminin tam kapasite yük taşıması durumunda EEOI değeri o kadar azalacaktır. Sonuç olarak senaryo 1 ile tüm filo gemilerinin tam yük kapasitesinde operasyon gerçekleştirmesiyle üç yıllık süreç için EEOI değeri 8,70'den 7,33'e düşerek %15,79 oranında artış göstermiştir.

4.3.2.2 Senaryo 2

Senaryo 2'de gemilerin gerçekleştirmiş oldukları tüm seferleri için kargo ağırlıklarını ve seyir mesafesini değiştirmeden yakıt tüketimini %5, %10 ve %15 oranında azaltarak yeni EEOI değerleri hesaplanmıştır. Seferlere ait gerçek EEOI değeri grafiklerde "Gerçek değer", yeni EEOI değeri ise uygulanan yakıt sarfiyat oranı adı ile gösterilmiştir. Şekil 4.43'te tüm filo gemilerinin yakıt sarfiyat oranlarına göre değişen EEOI değerini gösteren grafikler görülmektedir.



Şekil 4.43 Filo gemilerinin farklı yakıt sarfiyatı durumlarındaki EEOI değerleri

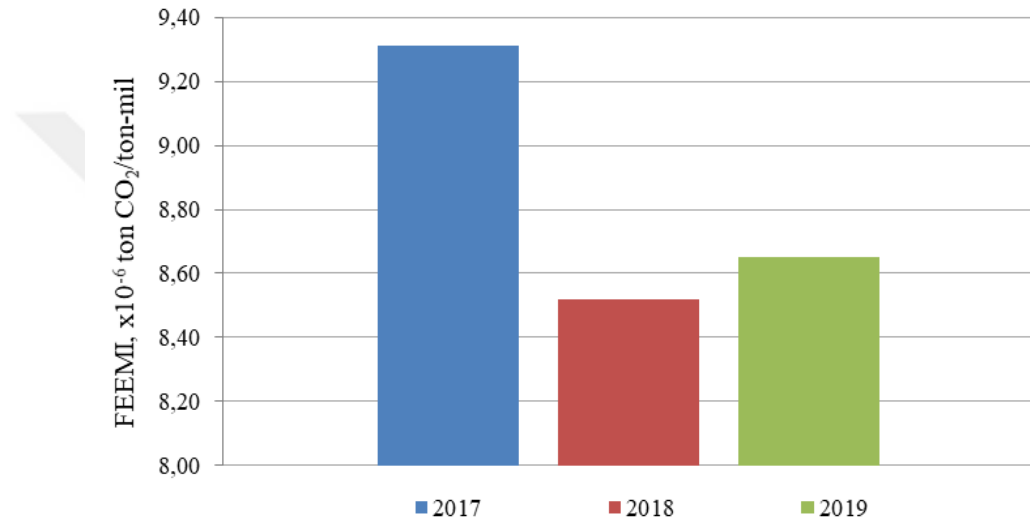


Şekil 4.43 Filo gemilerinin farklı yakıt sarfiyatı durumlarındaki EEOI değerleri (devamı)

Şekildeki grafiklerden de görülebileceği gibi, EEOI değeri yakıt tüketimiyle doğru orantılı olarak azalmaktadır. Örneğin, yakıt tasarruf oranı %5 ise, ortalama EEOI değerinin azalma oranı da %5'tir. Bu durum geminin sabit özelliklerinden ana makine gücü veya gemi boyutuna bağlı olmadığı gibi sefere ait diğer parametrelere göre de farklı oranlarda değişim göstermemektedir.

4.4 Filo Enerji Verimliliği Yönetim İndeksinin (FEEMI) Değerlendirilmesi

Bu bölümde tüm filonun işletme verimliliğinin göstergesi olan FEEMI değeri üç yıl için hesaplanmıştır ve Şekil 4.44'te gösterilmiştir. FEEMI değeri 2017 yılında 9,31, 2018 yılında 8,52 ve 2019 yılında 8,65 olarak hesaplanmıştır. Şirket, 2017 yılına göre 2018 yılında aldığı tedbirler doğrultusunda filo enerji verimliliğini arttırmış olup 2019 yılında aynı seviyeyi koruyamadığı görülmüştür. Buradan da anlaşılabacağı gibi 2019 yılı planlanan tedbirlerin gerçekleştirilemediği sonucuna ulaşılmaktadır.



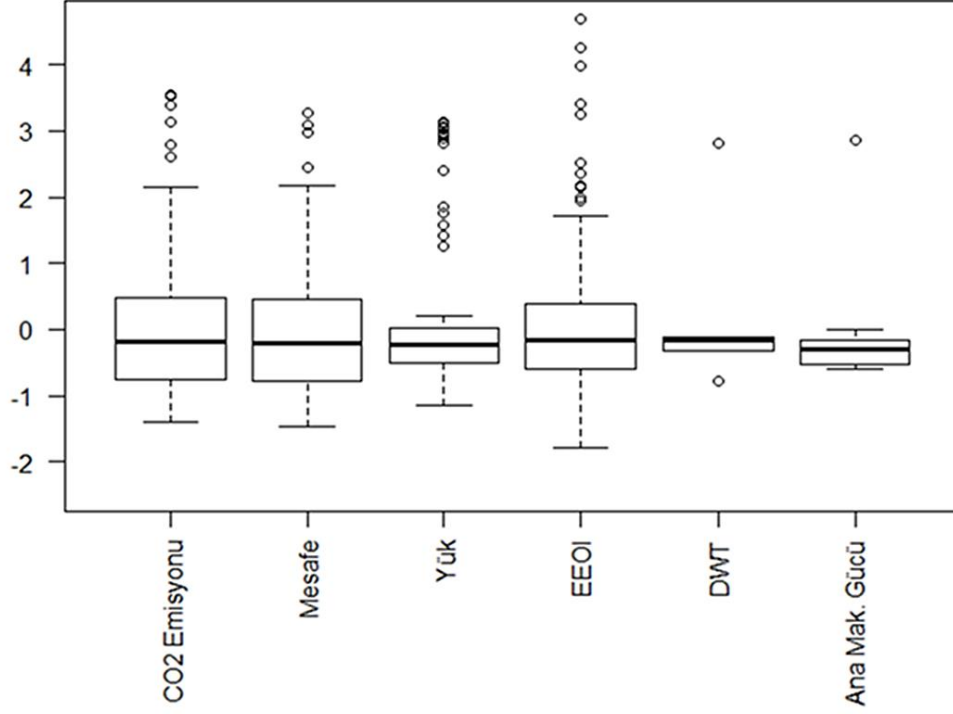
Şekil 4.44 Tüm filonun 2017-2018-2019 yılları FEEMI değerleri

4.5 İstatistik Analizi

Bu bölümde çalışmamızda incelediğimiz 11 adet geminin 2017-2018-2019 yılları arasında gerçekleştirmiş oldukları seferlere ait veriler analiz edilmiştir. Bu veriler içerisinde CO₂ emisyonu, mesafe, yük, EEOI değeri ve sabit veri olan gemiye ait ana makine gücü ve DWT değerleridir.

İlk olarak verilerimizin güvenilirlik değerini ve normallik dağılımını görebilmek için R programı kullanılarak outlier (aykırı değer) analizi yapılmıştır. Sırasıyla “dfn <- as.data.frame(scale(df[3:9]))” kodu ile boxplot grafiğinde tüm değişkenlerin aynı ölçek üzerinde görülebilmesi için normalizasyon yapılarak 0-1 aralığında değerler üretilmiştir. “colnames(dfn)[7] <- "Ana Mak. Gücü”” kodu ile sadece “Ana Makine Gücü” sütun adı değiştirilerek kısaltması yazılmıştır. Son olarak

“boxplot(dfn,las=2)” kodu ile Şekil 4.45’te görülen aykırı değer analizi için boxplot oluşturulmuştur. Buradan görüldüğü gibi EEOI ve yük değişkenlerinde bazı outlier değerleri bulunmaktadır.

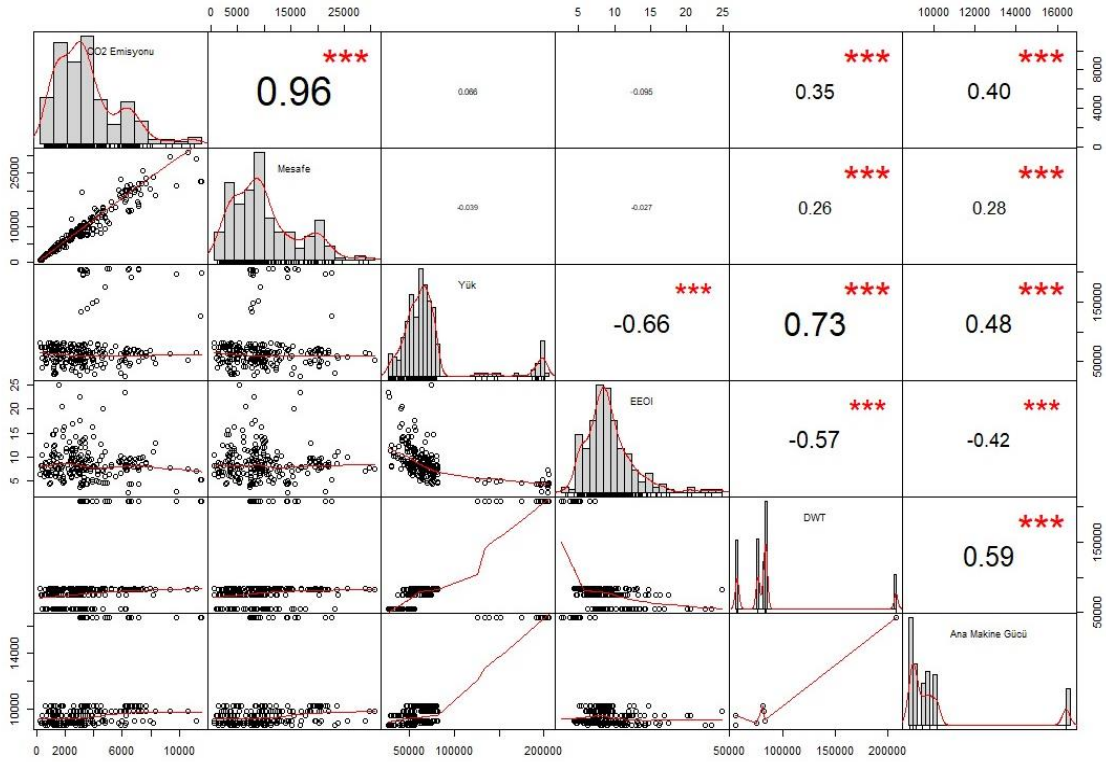


Şekil 4.45 Aykırı değer analizi

Ayrıca yapmış olduğumuz normallik analizi sonucu da verilerin normal dağılmadığı görülmüştür. Bu nedenle mevcut değişkenler arasındaki etkileşime spearman korelasyon analizi yöntemi ile bakılmıştır.

Korelasyon analizi, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü, derecesini ve önemini belirten bir istatistiksel yöntemdir. İlişkinin yönü ve derecesi ise korelasyon katsayısı adı verilen katsayı üzerinden tespit edilmekte olup bu katsayı -1 ile +1 arasında değer almaktadır. 0.7 – 1 güçlü, 0.5 – 0.7 orta ve 0.5 düşük korelasyon gücünü göstermektedir [67].

Korelasyon matrisi R studio programı kullanarak yapılmıştır. Bunun için “library(“PerformanceAnalytics”)” paketinden “chart.Correlation(df[3:9], histogram=TRUE, pch=19)” fonksiyonu kullanılmıştır. İki nümerik değişken arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon matrisi şekil 4.46’de gösterilmektedir.



Şekil 4.46 Korelasyon matrisi

Korelasyon matrisinde görüldüğü üzere değişkenlerin birçoğunun birbirleri ile yüksek ve orta dereceden ilişkisi bulunmaktadır. Yük ve DWT değişkeni arasında 0.73'lük bir korelasyon vardır ve değer anlamlıdır. Yani yük ile DWT arasından güçlüye yakın pozitif korelasyon vardır.

Regresyon analizi, bir ya da daha fazla bağımsız değişkenin, bağımlı bir değişkenle arasındaki ilişkiyi bir denklem ile ifade etmek için kullanılır [68]. Çalışmamızda yapılan ilk regresyon analizinde tüm değişkenler kullanılmış olup EEOI değeri bağımlı veri ve diğer değişkenler bağımsız veriler olarak belirlenmiştir. Analiz için SPSS istatistik paket programı kullanılmıştır.

Tablo 4.11'de birinci regresyon analizi sonuçları görülmektedir. Sonuçlara bakıldığında, VIF (Variance Inflation Factor) değerinin 10 ve altına kadar kabul edilebilir aralıkta olduğu bilindiğinden burada çoklu doğrusallık problemi (Multicollinearity) yaşandığı görülmektedir. Çoklu doğrusallık problemi, bağımsız değişkenlerimiz arasında doğrusala yakın ilişki olduğunu temsil etmektedir. Yani değişkenler arasında yüksek bir korelasyon bulunuyor ve bu durum yapmış olduğumuz bir önceki korelasyon analizinde de (özellikle 0,90'dan büyük olan

ilişkilerde) görülmüştür [69]. Bu nedenle VIF değerini azaltmak için değişkenler üzerinde bazı işlemler yapmamız gerekli olmuştur. İlk olarak, PCA (Temel Bileşenler Analizi) ile korelasyon matrisinde en yüksek dereceli ilişkiye sahip iki değişken tek değişkene düşürülmüştür. Birleştirilen ikili değişkenler CO₂ emisyonu-Mesafe ile Yük-DWT'dir.

Tablo 4.11 Lineer regresyon analizi 1

Model		Standartlaşmamış Katsayılar		Std. Katsayılar	t	Anlamlılık	Eşdoğrusallık İstatistikleri	
		B	Std. Hata	Beta			Hata Payı	B
1	Sabit	0,023	1,918		0,012	0,991		
	CO ₂ Emisyonu	0,000	0,000	0,183	0,911	0,363	0,056	17,746
	Mesafe	-7,718E-05	0,000	-0,143	-0,736	0,462	0,061	16,466
	Yük	-3,061E-05	0,000	-0,373	-2,120	0,035	0,074	13,593
	DWT	4,869E-05	0,000	0,596	2,086	0,038	0,028	35,852
	Ana Makine Gücü	0,000	0,000	-0,232	-1,054	0,293	0,047	21,338

PCA analizi sonrası birleştirdiğimiz verilerin doğruluğunda yaklaşık %3 kadar kayıp tespit edilmiştir. VIF (Varyans Enflasyon Faktörü) değerini azaltmak için veri birleştirme işlemi sonrası alınan diğer aksiyonlar belirtilen şekilde devam etmiştir.

EEOI ve EEOI ortalaması arasındaki korelasyon yüksek olduğundan EEOI ortalama değeri diğer değişkenlerin etkisini oldukça düşürmektedir. Bu nedenle diğer değişkenlerin de EEOI üzerindeki etkisini daha iyi görebilmek için EEOI ortalama değeri regresyon bileşenlerinden çıkarılmıştır. Son olarak ise ana makine gücü değişkeni de CO₂ emisyonu bileşeniyle yüksek korelasyon gösterdiği için denklemden çıkarılmıştır.

Tüm yapılan aksiyonlar sonrası lineer regresyon analizi bu defa EEOI bağımlı değişkeni ile “Yük-DWT” ve “CO₂ emisyonu-Mesafe” bağımsız değişkenleri arasında yapılmıştır. Tablo 4.12’de regresyon analizi sonucunda oluşan modelinin katsayılar tablosu görülmektedir.

Tablo 4.12 Lineer regresyon analizi sonuç

Model		Standartlaşmamış Katsayılar		Std. Katsayılar	t	Anlamlılık	Eşdoğrusallık İstatistikleri	
		B	Std. Hata	Beta			Hata Payı	VIF
1	Sabit	8,799	0,195		45,042	0,000		
	YükDWT	-1,795	0,200	-0,521	-8,989	0,000	0,961	1,040
	CO ₂ Mesafe	0,032	0,200	0,009	0,161	0,872	0,961	1,040

EEOI ile Yük-DWT arasında (-1,795) negatif bir ilişki, EEOI ile CO₂ emisyonu-Mesafe arasında ise (0,032) pozitif bir ilişki vardır.

Ayrıca tablodaki “Anlamlılık” değerine bakacak olursak Yük-DWT için $0,000 < 0,05$ olduğu için oluşturulan modelin anlamlı olduğu, CO₂-Mesafe için ise $0,872 > 0,05$ olduğu için bu değişkenin bağımlı değişken olan EEOI üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı sonucu çıkmıştır [70]. Buradaki CO₂-Mesafe için anlamlılık derecesi $> 0,05$ olduğu için modelde alınmaz. Sonuç olarak analiz sonucu çoklu doğrusal regresyon modeli; $EEOI = 8,799 - 1,79 \times \text{YükDWT}$ şeklinde oluşmuştur.

Bu çalışmada, bir filoya ait 11 adet geminin 2017-2018-2019 yıllarındaki sefer bilgileri ile şirket veri tabanında kayıtlı olan aylık verileri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle CO₂ emisyon ve CO₂ indeks değerleri aylık ve seferlik olarak iki ayrı kategoride kardeş gemiler arasında değerlendirilmiştir. Bir sonraki bölümde gemilerin seferlerine ait veriler kullanılarak EEOI değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Buna ilave olarak maksimum ve minimum EEOI değerlerinin nedenlerinin tespit edilebilmesi amacıyla ilgili seferler detaylandırılarak incelenmiş ve sefer verimliliğine etki eden parametreler belirlenmiştir. Ayrıca filo verimliliğini genel olarak değerlendirebilmek için literatürde var olan FEEMI indeksi kullanılarak, üç yıllık süreçteki genel verimlilik değerlendirmesi yapılmıştır.

CO₂ emisyon değerinin temel olarak ana makine çalışma saatiyle yani geminin yapmış olduğu mesafe ile ilişki olarak arttığı sonucuna ulaşılmıştır. CO₂ emisyonu enerji verimliliği açısından tek başına değerlendirilememektedir. Emisyonun artmasına bağlı olarak verimlilik iyileştirebilmek mümkündür.

CO₂ indeks değeri ise mile başına salınan CO₂ emisyon miktarını göstermekte olup gemilerin kendi seferleri arasındaki kıyaslamada çok büyük farklar göstermemektedir. Daha çok gemi tipine bağlı ana makine performansı ile daha büyük değişimler göstermektedir.

EEOI değeri ise kısaca gemilerin operasyonel anlamda ne kadar iyi işletildikleri hakkında bilgi vermektedir. Yapılan karşılaştırmalarda bu değer artış oranının özellikle taşınan yük ile doğrudan ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Ayrıca Senaryo 1 ile üç yıllık süreç boyunca tüm filo gemilerinin yüklü seferlerini tam yük kapasitesinde gerçekleştirdiği varsayılmıştır. Buna göre A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2 ve F1 gemilerinin enerji verimliliklerindeki artışları sırasıyla %19,15, %22,44, %16,20, %12,96, %17,41, %13,53, %12,63, %17,94, %14,92, %12,64 ve %4,75 olduğu görülmüştür. Bu artış oranının fazla olması gemilerin yüklü

seyirlerini kapasitesinin çok altında gerçekleştirmiş olduğu, artış oranının az olması ise de gemilerin yüklü seyirlerini tam kapasiteye yakın olarak gerçekleştirmiş olduğu sonucunu vermektedir. Senaryo 2 ile seferlere ait yakıt tüketim sarfiyatının %5, %10, %15 oranlarında azaltılmasıyla sefer EEOI değerlerinin aynı oranda azaldığı görülmüştür. EEOI değerini azaltmada yani daha verimli işletmenin gerçekleşmesinde, yakıt sarfiyatınının doğru oranda etkisi olduğu belirlenmiştir.

Gemiler için hazırlanan SEEMP'in doğruluğu EEOI değerleriyle kontrol edileceği bilinmektedir. Şirketler belirledikleri EEOI hedeflerine ve yılsonu başarısına göre yönetim planlarındaki tutarlılığı gözden geçirmeli, hatta EEOI değeri yıllar bazında aşağı çekilmediği takdirde hedefler yeniden gözden geçirilmeli ve SEEMP yeniden revize edilmelidir.

Çalışmamızdaki şirket için yapılan genel filo verimliliği değerlendirmesinde 2017 yılına göre 2018 yılında düşüş olmasına karşı 2019 yılına gelindiğinde %1,53 oranında artma olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda enerji verimliliğini arttırıcı yöndeki tavsiyelerin uygulanmasının daha yakından takip edilmesi ve sonuçlarının düzenli olarak alınması gerekli olmaktadır.

Şirketler için bu kapsamda alınacak enerji verimliliği arttırıcı yöndeki tavsiyelere aşağıda değinilmiştir.

- Gemilerde özellikle en fazla yakıt sarfeden dolayısıyla CO₂ emisyonunun ana kaynağı sayılan ana makine ve diğer dizel motorların performansını etkileyen parametrelerinin düzenli olarak ölçülerek değerlendirilmesi ve arıza öncesi tedbirlerin alınması yönünde bir çalışma içerisine girilmesi faydalı olacaktır.
- Enerji verimliliğiyle ilgili bilinç düzeyi arttırmak için kurum içi kara ve gemi teknik personeline gemi enerji verimliliği yönetim planı ve enerji tasarruf potansiyelleri, enerji verimliliği operasyon indeksinin (EEOI) hesap ve yorumlanması, işletme şartlarının optimizasyonu ile enerji tasarruf potansiyeli, tasarım şartlarının işletme şartlarına uydurulmasıyla ortaya çıkabilecek enerji potansiyeli, örnek enerji verimli işletme modelleri konularında periyodik eğitimlerin verilmesi gerekmektedir.

- Ayrıca, düşük hızlarda seyir olarak bilinen slow steaming uygulaması ile düşük devirli ana makinelerde yakıt sarfiyatı azaltılabilmektedir. Bu da CO₂ emisyonlarının azalmasını ve enerji verimliliğinin artmasını sağlamaktadır.
- Ana makine ve diğer dizel motorlarda kullanılan yakıt viskozitesinin kontrol dışında düşmesi ile oluşabilecek aşınmalar yakıt sarfiyatını arttırmaktadır. Bu nedenle yakıt seçiminde ve daha sonrasında işletim esnasında yakıtın sıcaklık ve viskozitesinin kontrol altında tutulması gerekmektedir.
- Daha önce de bahsedildiği üzere ana pervane tahrik sistemi olan dizel motorların düzenli olarak performans izlemesinin ve değerlendirmesinin yapılması gereklidir. Bu sayede oluşabilecek problemler önceden tahmin edilerek, gerekli iyileştirmelerin yapılabilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede yakıt sarfiyatı ve CO₂ emisyonları azalacak, enerji verimliliğinin de artmasını sağlanacaktır.
- Gemilerde atık ısı geri kazanım sistemleri kullanılarak, yakıt enerjisinin doğaya emisyon olarak salınmadan tekrar geri kazanılmasını sağlanması da enerji verimliliğini artırıcı önlemler arasındadır. Örneğin, özellikle ana makine hava soğutucusunun ve dizel jeneratörlerin egzoz atık ısısının geri kazanılmasının enerji verimliliği olumlu etkileri olacaktır.
- Ana makine ve dizel jeneratör bakım onarımlarının düzenli yapılması ile de dizel motor performansında önemli derecede iyileştirmeler gözlenerek enerji verimliliğinde artış sağlanacaktır.

Son olarak; günümüzde artık gemilerin CO₂ emisyonlarına göre sınıflandırılacağı öngörülmektedir. Ayrıca "Rightship" gibi bağımsız kuruluşlar gemileri enerji verimliliklerine göre sınıflandırmaya başlamış bulunmaktadır. Bu sınıflandırma neticesinde gemilerin ticaret yaptığı sefer bölgeleri belirlenmektedir. Bu açıdan denizcilik şirketlerinde mevcut yönetim planlarının revize edilmesinin veya uygulanma yeterliliklerinin denetlenmesi gibi gerekliliklerinin ortaya çıkması ile denizcilik şirketlerinde enerji yönetimi ve enerji verimliliği ile ilgili "Enerji Etüt Birimleri"nin kurulması gerekliliği aşikâr olmuştur.

Ayrıca günümüzde fabrikalarda mevcut olan ve ileride de gemilere uygulanabilecek olan bir CO₂ borsası ve emisyon vergisi öngörülmektedir. Bu açıdan ilk adım olarak sayılan yakıt sarfiyatı veri toplama sistemi, Avrupa Birliği ve IMO tarafından

yürölüğe konulmuştur. İkinci adım ise ileriki tarihlerde bu verilerin analiz edilmesi sonucunda gemi çeşitleri ve tonajlarına göre CO₂ emisyon sınır değeri belirlenecektir. Sonrasında ise belirlenen değeri aşan gemi ve şirketlere çeşitli cezalandırmalar ve vergilendirmeler getirilecektir. Bu verginin de minimum seviyelerde olabilmesi için Denizcilik Şirketlerinde gemi enerji verimliliğinin yönetimi ile ilgili birimlerin kurulması ve aktif olarak çalışması büyük önem kazanmıştır.



- [1] MEPC.1/Circ.684, "Guidelines For Voluntary Use Of The Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)". International Maritime Organization, Ağu. 17, 2009, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://gmni.imo.org/wp-content/uploads/2017/05/Circ-684-EEOI-Guidelines.pdf>. [Erişim: May. 18, 2020]
- [2] "Third IMO GHG Study 2014". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>. [Erişim: May. 13, 2020].
- [3] X. Sun, X. Yan, B. Wu, ve X. Song, "Analysis of the operational energy efficiency for inland river ships", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, c. 22, ss. 34-39, Tem. 2013.
- [4] C. Banks vd., "Understanding ship operating profiles with an aim to improve energy efficient ship operations", *Proceedings of the Low Carbon Shipping Conference*, ss. 51-52, Oca. 2013.
- [5] H. Johnson, M. Johansson, K. Andersson, ve B. Sö Dahl, "Will the ship energy efficiency management plan reduce CO₂ emissions? A comparison with ISO 50001 and the ISM code", *Maritime Policy & Management*, c. 40, sy 2, ss. 177-190, Mar. 2013.
- [6] N. Acomi ve O. C. Acomi, "Improving the Voyage Energy Efficiency by Using EEOI", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, c. 138, ss. 531-536, Tem. 2014.
- [7] N. Acomi ve O. C. Acomi, "The Influence of Different Types of Marine Fuel over the Energy Efficiency Operational Index", *Energy Procedia*, c. 59, ss. 243-248, Oca. 2014.
- [8] D. Moon ve Woo, "The impact of port operations on efficient ship operation from both economic and environmental perspectives", *Maritime Policy & Management*, c. 41, Tem. 2014.
- [9] A A Talay, C. Deniz, ve Y. Durmuşoğlu, "Gemilerde Verimi Arttırmak İçin Uygulanan Yöntemlerin CO₂ Emisyonlarını Azaltmaya Yönelik Etkilerinin Analizi", *Journal of ETA Maritime Science*, c. 2, ss. 61-74, 2014.
- [10] Ł. Zbigniew ve K. Włodzimierz, "Practical Application of Ship Energy Efficiency Management Plan", s. 6.
- [11] M. Akpınar, "Gemilerde Enerji Verimliliği Planının Kabotaj Hattında Çalışan Türk Bayraklı Yüksek Hızlı Yolcu Gemisine Uygulanması Ve Değerlendirilmesi.", Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, 2014.
- [12] R. T. Poulsen ve H. Sornn-Friese, "Achieving energy efficient ship operations under third party management: How do ship management models influence energy efficiency?", *Research in Transportation Business & Management*, c. 17, ss. 41-52, Ara. 2015.

- [13] K. Wang, X. Yan, Y. Yuan, ve F. Li, "Real-time optimization of ship energy efficiency based on the prediction technology of working condition", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, c. 46, ss. 81-93, Tem. 2016.
- [14] K. Wang, X. Yan, Y. Yuan, ve D. Tang, "Optimizing ship energy efficiency: Application of particle swarm optimization algorithm", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, c. 232, Mar. 2016.
- [15] E. B. Beşikçi, T. Kecici, O. Arslan, ve O. Turan, "An application of fuzzy-AHP to ship operational energy efficiency measures", *Ocean Engineering*, c. 121, ss. 392-402, Tem. 2016.
- [16] E. Bal Beşikçi, O. Arslan, O. Turan, ve A. I. Ölçer, "An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations", *Computers & Operations Research*, c. 66, ss. 393-401, Şub. 2016.
- [17] A. Papanikolaou vd., "Energy Efficient Safe SHip Operation (SHOPERA)", *Transportation Research Procedia*, c. 14, ss. 820-829, Oca. 2016.
- [18] L. P. Perera ve B. Mo, "Emission control based energy efficiency measures in ship operations", *Applied Ocean Research*, c. 60, ss. 29-46, Eki. 2016.
- [19] N. Rehmatulla, J. Calleya, ve T. Smith, "The implementation of technical energy efficiency and CO₂ emission reduction measures in shipping", *Ocean Engineering*, c. 139, ss. 184-197, Tem. 2017.
- [20] G. Kökkülünk ve A. Parlak, "An Alternative Energy Efficiency Index Offer to Reduce CO₂ Emissions from Ships: Fleet Energy Efficiency Management Index", *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, c. 7, sy 1, ss. 127-136, 2017.
- [21] T. A. Tran, "A research on the energy efficiency operational indicator EEOL calculation tool on M/V Nsu Justice of Vinic transportation company, Vietnam", *Journal of Ocean Engineering and Science*, c. 2, sy 1, ss. 55-60, Mar. 2017.
- [22] Y. Yuan, Z. Li, R. Malekian, ve X. Yan, "Analysis of the operational ship energy efficiency considering navigation environmental impacts", *Journal of Marine Engineering & Technology*, c. 16, sy 3, ss. 150-159, Eyl. 2017.
- [23] A. Y. Kaya ve K. E. Erginer, "Gemilerde Enerji Verimliliğini Sağlamave Sera Gazı Salımlarını Azaltmaya Yönelik Uygulamalar: Bir Odak Grup Çalışması", *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, Ara. 2017.
- [24] E. A. Bouman, E. Lindstad, A. I. Rialland, ve A. H. Strømman, "State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, c. 52, ss. 408-421, May. 2017.
- [25] N. R. Ammar, "Energy- and cost-efficiency analysis of greenhouse gas emission reduction using slow steaming of ships: case study Ro-Ro cargo vessel", *Ships and Offshore Structures*, c. 13, sy 8, ss. 868-876, Kas. 2018.

- [26] K. Wang, X. Yan, Y. Yuan, X. Jiang, X. Lin, ve R. R. Negenborn, "Dynamic optimization of ship energy efficiency considering time-varying environmental factors", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, c. 62, ss. 685-698, Tem. 2018.
- [27] S. Jensen, M. Lützen, L. L. Mikkelsen, H. B. Rasmussen, P. V. Pedersen, ve P. Schamby, "Energy-efficient operational training in a ship bridge simulator", *Journal of Cleaner Production*, c. 171, ss. 175-183, Oca. 2018.
- [28] H. Chi, G. Pedrielli, S. H. Ng, T. Kister, ve S. Bressan, "A framework for real-time monitoring of energy efficiency of marine vessels", *Energy*, c. 145, ss. 246-260, Şub. 2018.
- [29] K. Prill ve K. Igielski, "Calculation of Operational Indicator EEOI for Ships Designed to Other Purpose Than Transport Based on A Research – Training Vessel", *New Trends in Production Engineering*, c. 1, sy 1, ss. 335-340, Eki. 2018.
- [30] A. Akoel ve R. K. Miler, "Economic and operational impact of the MRV implementation on maritime transport processes", *WSB Journal of Business and Finance*, c. 53, sy 1, ss. 133-143, Şub. 2019.
- [31] I. Ančić, M. Perčić, G. Theotokatos, ve N. Vladimir, "A novel approach towards more realistic energy efficiency regulations for tankers", *Proceedings of Moses2019 Conference*, s. 6, May. 2019.
- [32] T. A. Tran, "Investigate the energy efficiency operation model for bulk carriers based on Simulink/Matlab", *Journal of Ocean Engineering and Science*, c. 4, sy 3, ss. 211-226, Eyl. 2019.
- [33] C. Zhang, D. Zhang, M. Zhang, ve W. Mao, "Data-driven ship energy efficiency analysis and optimization model for route planning in ice-covered Arctic waters", *Ocean Engineering*, c. 186, s. 106071, Ağu. 2019.
- [34] S. Zhang, Y. Li, H. Yuan, ve D. Sun, "An alternative benchmarking tool for operational energy efficiency of ships and its policy implications - ScienceDirect", *Journal of Cleaner Production*, sy 240, Ara. 2019.
- [35] Y. Jang ve H. Zheng, "Analysis of Impact Factors of Bulk Carrier Energy Efficiency Operation Index", program adı: 2nd Symposium on Health and Education 2019 (SOHE 2019), May. 2019.
- [36] N. IM, B. Choe, ve C.-H. Park, "Developing and Applying a Ship Operation Energy Efficiency Evaluation Index Using SEEMP: a Case Study of South Korea", *J. Marine. Sci. Appl.*, c. 18, sy 2, ss. 185-194, Haz. 2019.
- [37] T. A. Tran, "Design the prediction model of low-sulfur-content fuel oil consumption for M/V Nord Venus 80,000 DWT sailing on emission control areas by artificial neural networks", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, c. 233, sy 1, ss. 345-362, Şub. 2019.
- [38] H.-J. Shaw ve F.-M. Tzu, "The Strategy of Energy Saving for Smart Shipping", *Advances in Technology Innovation; Taiwan*, c. 4, sy 3, ss. 165-176, Haz. 2019.

- [39] C. Behrendt, "Energy Efficiency Operational Indicator of the Selected Type of Polish Fleet Fishing Cutter in Dependence of the Main Engine Type", *J. Phys.: Conf. Ser.*, c. 1172, s. 012073, Mar. 2019.
- [40] M. Ichsan, M. F. Pradana, ve B. Noche, "Estimation and optimization of the voyage energy efficiency operational indicator (EEOI) on Indonesian sea tollway corridors", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, c. 673, s. 012024, Ara. 2019.
- [41] K. Prill, C. Behrendt, M. Szczepanek, ve I. Michalska-Požoga, "A New Method of Determining Energy Efficiency Operational Indicator for Specialized Ships", *Energies*, c. 13, sy 5, Art. sy 5, Oca. 2020.
- [42] "MEPC.203(62).pdf". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.203\(62\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.203(62).pdf). [Erişim: Mar. 10, 2020].
- [43] M. Korkmaz Sürer, "Küresel Isınma Hakkında Uluslararası Düzenlemeler", [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://www.skb.gov.tr/wp-content/uploads/2014/09/Ara%C5%9F-G%C3%B6r.-Mukaddes-Korkmaz-S%C3%BCrer.pdf>. [Erişim: May. 13, 2020].
- [44] "Montreal Protokolü(2).pdf". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: [https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/MONTREAL%20PROTOKOLU\(2\).pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/MONTREAL%20PROTOKOLU(2).pdf). [Erişim: Mar. 27, 2020].
- [45] "Kyoto Protokolü / T.C. Dışişleri Bakanlığı". <http://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa>. [Erişim Mar. 27, 2020].
- [46] "Kyoto Protocol Reference Manual". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf. [Erişim: Mar. 13, 2020].
- [47] "About IMO". <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>. [Erişim Mar. 27, 2020].
- [48] "Marine Environment Protection Committee (MEPC)". <http://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/MEPC/Pages/Default.aspx>. [Erişim May. 13, 2020].
- [49] "International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)". [http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx). [Erişim Mar. 27, 2020].
- [50] "Prevention of Air Pollution from Ships". <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx> [Erişim Mar. 13, 2020].
- [51] "T.C. Ulaştırma ve Alt Yapı Bakanlığı - MARPOL 73/78". <https://imo.uab.gov.tr/marpol-73-78>. [Erişim Mar. 27, 2020].
- [52] "Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change". IPCC, 2014, [Çevrimiçi]. Erişim adresi:

- https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf.
[Erişim: May. 13, 2020].
- [53] "Verband Deutscher Reeder: Climate".
<https://www.reederverband.de/en/themes-positions/climate.html>. [Erişim Haz. 06, 2020].
- [54] P. O. of the E. Union, "Regulation (EU) 2015/757 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2015 on the monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC (Text with EEA relevance)", Nis. 29, 2015.
<https://op.europa.eu:443/en/publication-detail/-/publication/c895b0b3-fdf7-11e4-a4c8-01aa75ed71a1/language-en> [Erişim Mar. 13, 2020].
- [55] "Thetis-MRV". <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/eumrv>. [Erişim Haz. 06, 2020].
- [56] "Commission Implementing Regulation (EU) 2016/ 1927 [- of 4 November 2016 - on templates for monitoring plans, emissions reports and documents of compliance pursuant to Regulation (EU) 2015/ 757 of the European Parliament and of the Council on monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport", s. 21.
- [57] "ics-guidance-on-eu-mrv.pdf". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.ics-shipping.org/docs/default-source/resources/ics-guidance-on-eu-mrv.pdf?sfvrsn=10>. [Erişim: Haz. 07, 2020].
- [58] "Gemilerden Kaynaklan Emisyon.pdf". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.denizticaretodasi.org.tr/Media/SharedDocuments/SektorelEgitim/GemilerdenKaynaklanEmisyon.pdf>. [Erişim: May. 13, 2020].
- [59] MEPC.278(70), "Amendments to the Annex of The Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, As Modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto". MARPOL Annex VI, Eki. 28, 2016.
- [60] "Data Collection System".
<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Data-Collection-System.aspx>, [Erişim Haz. 07, 2020].
- [61] "MEPC 62nd session".
<http://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/MEPC/Pages/MEPC-62nd-session.aspx>, [Erişim Haz. 07, 2020].
- [62] D. S. ErgiN, "GEM422 Proje II Gemilerde Enerji Verimliliği", s. 80.
- [63] "ICCTpolicyupdate15_EEDI_final.pdf". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTpolicyupdate15_EEDI_final.pdf. [Erişim: Mar. 27, 2020].
- [64] "471.pdf". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://docs.yasinskiy.net/books/imo-mepc-circ1/471.pdf>. [Erişim: Haz. 07, 2020].

- [65] "seemp-mepc282-70.pdf". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/seemp/seemp-mepc282-70.pdf>. [Erişim: Mar. 11, 2020].
- [66] "MEPC.1_Circ.684_Guidelines for Voluntary use of EEOI.pdf". [Çevrimiçi]. Erişim adresi: http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Technical%20and%20Operational%20Measures/MEPC.1_Circ.684_Guidelines%20for%20Voluntary%20use%20of%20EEOI.pdf. [Erişim: Nis. 26, 2020].
- [67] Dr. Ertuğrul Çolak, "Korelasyon Analizi", <http://eczacilik.anadolu.edu.tr/2017/>, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: http://eczacilik.anadolu.edu.tr/bolumSayfalari/belgeler/ecz2014%2012_20140527094539.pdf. [Erişim: May. 13, 2020].
- [68] Y. Tonta, "Regresyon Analizi", [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~tonta/courses/fall2007/sb5002/sb5002-11-regresyon-analizi.pdf>. [Erişim: May. 14, 2020].
- [69] "12.1 - What is Multicollinearity? | STAT 501", *PennState: Statistics Online Courses*. <https://online.stat.psu.edu/stat501/lesson/12/12.1> [Erişim May. 11, 2020].
- [70] S. Kul, "Interpretation of Statistical Results: What Is P Value And Confidence Interval?", *Plev Bult*, c. 8, sy 1, ss. 11-13, Mar. 2014.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: bkanber@yildiz.edu.tr

Konferans Bildirileri

1. B. Kanberoğlu ve G. Kökkülünk, “Assesment of Energy Efficiency of a Bulk Carrier Ship in Accordance with International Regulations”, IV. International Scientific and Vocational Studies Congress-Engineering, Ankara, Türkiye, 7-10 Kasım 2019, ss.1

