

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

Yaşadığımız kutsal vatan topraklarını azim ve kararlı mücadelesi ile bizlere hediye eden, hayatı boyunca gerçekleştirdiği tutum ve davranışlarıyla yol gösterici bir ışık olan Ulu Önder Gazi Mustafa Kemal ATATÜRK ve vatan mücadelesine destek veren tüm kahramanlara,

Doktora tezimin yürütülmesi esnasında bilgilerini, tecrübelerini ve değerli zamanlarını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan tez danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Ersan BAŞAR'a, tezimin geliştirilmesi açısından buldukları görüş ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Ercan KÖSE ve Dr. Öğr. Ü. Ercan YÜKSEKYILDIZ hocalarıma,

Arkas Holding A.Ş. bünyesinde faaliyet gösteren gemilerin verilerini paylaşarak, tez çalışmamdaki veri kaynağını oluşturması ile bana ve bilime olan katkılarından dolayı Kaptan İbrahim KONTAYTEKİN'e ve nezdinde Kaptan Alaattin KURT ve Kaptan Oğuzhan ŞİRİNOĞLU ağabeylerime,

Hayatım boyunca desteklerini koşulsuz olarak gördüğüm, bugünlere gelmemde büyük emek gösteren annem ve babama, hayatı birlikte paylaştığım, zor günlerimde bir nefes, mutlu günlerimde büyük bir tebessüm aşıl原因an, yüzündeki samimiyetle geleceğimizi aydınlatan, meslek hayatı gereği insanlara en değerli olanı "sağlığı", bana ise tüm anlarımızı birlikte paylaşmayı sunan hayat arkadaşım Uzm. Dr. Ulviye Cansu ÖZTÜRK'e ve hayatımızın bize verdiği en kıymetli hediyesi olan, varlığı ile bizleri daha güzel bir aile haline getiren, adı gibi yaşamımıza ferahlık katan oğlum Poyraz Efe ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunar, doktora tez çalışmamı kıymetli aileme ithaf ederim.

Orkun Burak ÖZTÜRK
Trabzon, 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Konteyner Taşımacılığında Yeşil Gemi Uygulamaları’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ersan BAŞAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26/06/2020

Orkun Burak ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Sürdürülebilirlik	4
1.3. Enerji Verimliliği	6
1.3.1. Enerji Verimliliğine İlişkin Düzenlemeler	7
1.3.1.1. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli.....	9
1.3.1.2. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi	11
1.3.1.3. Kyoto Protokolü	12
1.3.1.4. Paris Anlaşması	15
1.4. Denizyolu Taşımacılığı ve Enerji Verimliliği	17
1.4.1. Denizyolu Taşımacılığı ve Konteyner Taşımacılığının Durumu	17
1.4.2. Denizyolu Taşımacılığının Hava Kirliliğine Etkisi.....	21
1.4.2.1. Konteyner Taşımacılığının Hava Kirliliğine Etkisi.....	24
1.4.3. Denizyolu Taşımacılığında Enerji Verimliliği Düzenlemeleri	26
1.4.3.1. Enerji Verimliliği Dizayn Göstergesi.....	27
1.4.3.2. Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi	28
1.4.3.3. Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı	28
1.4.3.4. Emisyon Kontrol Alanları	30
1.4.3.5. NO _x Bileşeni Açısından Uygulanan Kurallar.....	32
1.5. Gemilerde Enerji Verimliliği Uygulamaları (Yeşil Gemi Uygulamaları).....	33
1.5.1. Tekne Yapısı ve Bakımı Kapsamındaki Yeşil Gemi Uygulamaları.....	34

1.5.2.	Sevk ve Manevra Sistemleri Kapsamındaki Yeşil Gemi Uygulamaları	34
1.5.3.	Makine Sistemleri Kapsamındaki Yeşil Gemi Uygulamaları	35
1.5.4.	Alternatif Enerji Kaynakları Kapsamındaki Yeşil Gemi Uygulamaları	36
1.5.5.	Sefer Yönetimi Kapsamındaki Yeşil Gemi Uygulamaları	37
1.5.5.1.	Sefer Planı Optimizasyonu.....	37
1.5.5.2.	Hız Optimizasyonu.....	39
1.5.5.3.	Draft-Trim Optimizasyonu.....	40
1.5.5.4.	Ballast Optimizasyonu	42
1.5.5.5.	Oto-Pilot ve Rota Kontrol Sistemlerinin Optimizasyonu.....	42
1.5.5.6.	Yük Optimizasyonu.....	43
1.6.	Enerji Verimliliği Uygulamalarının Engelleri.....	44
1.7.	Çalışmada Kullanılacak Yöntemler.....	45
1.7.1.	Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi.....	46
1.7.2.	Yapay Sinir Ağları.....	48
1.7.2.1.	Yapay Sinir Ağları Modellerinin Belirlenmesi	51
1.7.2.1.1.	Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları Modeli.....	53
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	55
2.1.	Çalışmada Kullanılacak Veriler	55
2.1.1.	Çalışmada Kullanılacak Gemilerin Özellikleri	55
2.1.2.	Çalışmada Kullanılacak Gemilerin Sefer Bölgeleri	61
2.1.3.	Çalışmada Kullanılacak Gemilerin Sefer Değişkenleri.....	64
2.2.	Yakıt Sarfıyatı Tahmin Modellerin Kurulması	68
2.2.1.	Çoklu Doğrusal Regresyon Modelinin Kurulması.....	68
2.2.2.	Yapay Sinir Ağları Modelinin Kurulması.....	69
2.3.	Çalışmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları	71
3.	BULGULAR	73
3.1.	Çoklu Regresyon Analizi Bulguları	73
3.1.1.	Alfa Grubu Gemilerin Çoklu Regresyon Analizi Bulguları.....	73
3.1.1.1.	Regresyon Analizi Varsayımlarının Sınanması	73
3.1.1.2.	Regresyon Analizi ve Regresyon Modeli.....	75
3.1.2.	Bravo Grubu Gemilerin Çoklu Regresyon Analizi	80
3.1.2.1.	Regresyon Modeli Varsayımlarının Sınanması.....	80

3.1.2.2.	Regresyon Analizi Sonuçları ve Kurulan Regresyon Modeli	82
3.1.3.	Charlie Grubu Gemilerin Çoklu Regresyon Analizi	86
3.1.3.1.	Regresyon Modeli Varsayımlarının Sınanması.....	86
3.1.3.2.	Regresyon Analizi Sonuçları ve Kurulan Regresyon Modeli	88
3.1.4.	Delta Grubu Gemilerinin Çoklu Regresyon Analizi	92
3.1.4.1.	Regresyon Modeli Varsayımlarının Sınanması.....	92
3.1.4.2.	Regresyon Analizi Sonuçları ve Kurulan Regresyon Modeli	94
3.1.5.	Echo Grubu Gemilerin Çoklu Regresyon Analizi.....	98
3.1.5.1.	Regresyon Modeli Varsayımlarının Sınanması.....	98
3.1.5.2.	Regresyon Analizi Sonuçları ve Kurulan Regresyon Modeli	100
3.2.	Yapay Sinir Ağları Bulguları	103
3.2.1.	Alfa Grubu Gemilerin Yapay Sinir Ağları Bulguları.....	103
3.2.2.	Bravo Grubu Gemilerin Yapay Sinir Ağları Bulguları	106
3.2.3.	Charlie Grubu Gemilerin Yapay Sinir Ağları Bulguları	108
3.2.4.	Delta Grubu Gemilerin Yapay Sinir Ağları Bulguları	110
3.2.5.	Echo Grubu Gemilerin Yapay Sinir Ağları Bulguları.....	112
3.3.	Tahmin Modellerinin Performans Değerlendirmesi.....	114
3.4.	Tahmin Modelleri ile Yeşil Gemi Uygulamaları Optimizasyonu Örneği.....	116
3.4.1.	YSA Tahmin Modeli Örneği.....	116
3.4.2.	ÇDRA Tahmin Modeli Örneği.....	117
4.	TARTIŞMA.....	118
5.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	127
6.	KAYNAKLAR.....	131
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

KONTEYNER TAŞIMACILIĞINDA YEŞİL GEMİ UYGULAMALARI

Orkun Burak ÖZTÜRK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ersan BAŞAR
2020, 149 Sayfa

Yeşil gemi uygulamaları, gemi kaynaklı hava kirliliğinin ve gemi sefer maliyetlerinin azaltılmasını sağlayan gemi enerji verimliliği uygulamalarıdır. Bu uygulamalar, gemilerin tekne ve makine bölümleri, sevk ve manevra sistemleri, sefer yönetimi ve alternatif enerji kaynaklarının kullanımı çerçevesinde değerlendirilmektedir.

Bu tezin amacı, gemilerde sefer yönetimi enerji verimliliği uygulamalarının yapılması sonucunda gemi kaynaklı sera gazı salınımının ve sefer maliyetlerinin düşürülmesidir. Bu doğrultuda 5 farklı grup içerisindeki 19 adet konteyner gemisinin ortalama 24 aylık günlük raporlarından alınan RPM, Pitch, vasat draft, trim, hava durumu ve yakıt sarfiyatı verileri incelenmiştir. Gemilerin yakıt sarfiyatları tahmini için Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi (ÇDRA) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemleriyle karar destek sistemleri kurulmuştur.

ÇDRA modelinde %76 ile %86 oranları arasında, YSA modelinde ise %80 ile %90 oranları arasında uyumluluk elde edilmiştir. Optimizasyon uygulama senaryoları sonucunda RPM optimizasyonu ile %32-37, trim optimizasyonu ile %6,5-%8, balast optimizasyonu ile %6-8 ve hava rotalama optimizasyonu ile %7-12 oranlarında enerji verimliliği sağlanmıştır. Bu sonuçlar, gemi sefer yönetimi kapsamında yapılacak enerji verimliliği uygulamalarının gemi kaynaklı seragazı salınımını ve gemi sefer maliyetlerini azaltacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Konteyner taşımacılığı, Gemi enerji verimliliği, Çoklu regresyon analizi, Yapay sinir ağları, Yakıt sarfiyatı tahmini

PhD. Thesis

SUMMARY

GREEN SHIPPING PRACTICES in CONTAINER TRANSPORTATION

Orkun Burak ÖZTÜRK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Maritime Transportation and Management Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ersan BAŞAR
2020, 149 Pages

Green shipping practices are ship energy efficiency measures enable to reduce air pollution from ships and voyage costs. These practices are evaluated within the scope of hull and machinery sections, propulsion and maneuvering systems, voyage management and using of alternative energy sources on ships.

The aim of this study is to reduce greenhouse gas emission from ships and voyage costs by performing voyage management energy efficiency measures on ships. The data of RPM, Pitch, mean draft, trim, weather and fuel consumption from the average 24-month daily reports of 19 container ships in 5 different groups were examined in accordance with this purpose. Decision support systems have been established to predict the ship fuel consumption with Multiple Linear Regression Analysis (MLRA) and Artificial Neural Network (ANN) methods.

MLRA and ANN prediction models have shown good fit between 76-86% and 80-90% respectively. As a result of the optimization application scenarios energy efficiency was achieved via RPM optimization 32-37%, trim optimization 6.5-8%, ballast optimization 6-8% and wheather routing optimization 7-12%. These results indicate that energy efficiency applications to be carried out within voyage management will reduce the emissions of greenhouse gases and voyage costs.

Key Words: Container transportation, Ship energy efficiency, Multiple regression analysis, Artificial neural networks, Fuel-oil consumption prediction

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri.....	5
Şekil 2. Denizyolu Taşımacılığı Yük Payları	18
Şekil 3. Konteyner Taşımacılığı Hacmi ve Yıllık Büyüme Oranı.....	20
Şekil 4. Gemi Tiplerine Göre Karbondioksit Emisyonu	24
Şekil 5. Gemi Tiplerine Göre Karbon Emisyon Oranı	25
Şekil 6. ECA Bölgeleri ve Sülfür Sınırları	30
Şekil 7. IMO ve AB Sülfür Sınırları.....	31
Şekil 8. Denizcilik Firmalarının Enerji Verimliliği Önlemlerinin Uygulama Durumu	33
Şekil 9. Havaya Göre Rota Seçimi Programı Görüntüsü	38
Şekil 10. Gemi Draft-Trim Optimizasyonu Programı	41
Şekil 11. Sinir Hücresinin (Nöron) Yapısı	49
Şekil 12. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı.....	50
Şekil 13. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı Yapısı.....	53
Şekil 14. Çok Katmanlı İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ Yapısı.....	54
Şekil 15. Alfa (A) Grubu Gemilerin Özellikleri.....	56
Şekil 16. Bravo (B) Grubu Gemilerin Özellikleri	57
Şekil 17. Charlie (C) Grubu Gemilerin Özellikleri	58
Şekil 18. Delta (D) Grubu Gemilerin Özellikleri	59
Şekil 19. Echo (E) Grubu Gemilerin Özellikleri	60
Şekil 20. Alfa Grubu Gemilerin Sefer Bölgeleri	61
Şekil 21. Bravo Grubu Gemilerin Sefer Bölgeleri	62
Şekil 22. Charlie Grubu Gemilerin Sefer Bölgeleri	62
Şekil 23. Delta Grubu Gemilerin Sefer Bölgeleri.....	63
Şekil 24. Echo Grubu Gemilerin Sefer Bölgeleri	63
Şekil 25. Neural Network Fitting Tools	70
Şekil 26. Alfa Grubu Regresyon Modeli Artıklar Saçılım Grafiği.....	74
Şekil 27. Alfa Grubu Regresyon Hata Değeri P-P Plotlaması	78
Şekil 28. Bravo Grubu Regresyon Modeli Artıklar Saçılım Grafiği.....	81
Şekil 29. Bravo Grubu Regresyon Hata Değeri P-P Plotlaması.....	84

Şekil 30. Charlie Grubu Regresyon Modeli Artıklar Saçılım Grafiği.....	87
Şekil 31. Charlie Grubu Regresyon Hata Değeri P-P Plotlaması.....	91
Şekil 32. Delta Grubu Regresyon Modeli Artıklar Saçılım Grafiği.....	93
Şekil 33. Delta Grubu Regresyon Hata Değeri P-P Plotlaması.....	96
Şekil 34. Echo Grubu Regresyon Modeli Artıklar Saçılım Grafiği	99
Şekil 35. Echo Grubu Regresyon Hata Değeri P-P Plotlaması.	102
Şekil 36. Alfa Grubu YSA Model Yapısı.....	104
Şekil 37. Alfa Grubu YSA Modeli Korelasyon ve Hata Değerleri	104
Şekil 38. Alfa Grubu YSA Regresyon Grafikleri.....	105
Şekil 39. Bravo Grubu YSA Model Yapısı.....	106
Şekil 40. Bravo Grubu YSA Modeli Korelasyon ve Hata Değerleri	106
Şekil 41. Bravo Grubu YSA Regresyon Grafikleri	107
Şekil 42. Charlie Grubu YSA Model Yapısı	108
Şekil 43. Charlie Grubu YSA Modeli Korelasyon ve Hata Değerleri.....	108
Şekil 44. Charlie Grubu YSA Regresyon Grafikleri	109
Şekil 45. Delta Grubu YSA Model Yapısı	110
Şekil 46. Delta Grubu YSA Modeli Korelasyon ve Hata Değerleri.....	110
Şekil 47. Delta Grubu YSA Regresyon Grafikleri	111
Şekil 48. Echo Grubu YSA Model Yapısı.....	112
Şekil 49. Echo Grubu YSA Modeli Korelasyon ve Hata Değerleri	112
Şekil 50. Echo Grubu YSA Regresyon Grafikleri.....	113

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. BMİDÇS Öncesi İklim Değişikliğine Yönelik Çalışmalar	8
Tablo 2. Dünya Deniz Ticaret Filosu Gemi Sayıları ve DWT Tonajı.....	19
Tablo 3:Uluslararası Deniz Ticareti Büyüme Tahminleri	21
Tablo 4. Deniz Taşımacılığının Karbondioksit Gazı Salınımı Payı	22
Tablo 5. Deniz Taşımacılığı Kaynaklı Diğer Gazların Salınımı	23
Tablo 6. SEEMP'deki Yakıt Verimliliği Operasyonları	29
Tablo 7. NO _x Sınırlamaları.....	32
Tablo 8. Sefer Değişkenleri Periyotları	64
Tablo 9. Aylık Sefer Özeti Formu Örneği.....	66
Tablo 10. Alfa Grubu Normallik Dağılımı Tablosu	73
Tablo 11. Alfa Grubu Çoklu Doğrusallık Testi Tablosu	74
Tablo 12. Alfa Grubu Tanımlayıcı İstatistikler Tablosu	75
Tablo 13. Alfa Grubu Korelasyon Tablosu	76
Tablo 14. Alfa Grubu Model Özet ve Anova Tablosu	76
Tablo 15. Alfa Grubu Regresyon Katsayı Korelasyonu Tablosu	77
Tablo 16. Alfa Grubu Regresyon Katsayı Tablosu	78
Tablo 17. Bravo Grubu Normallik Dağılımı Tablosu	80
Tablo 18. Bravo Grubu Çoklu Doğrusallık Testi Tablosu	80
Tablo 19. Bravo Grubu Tanımlayıcı İstatistikler Tablosu.....	82
Tablo 20. Bravo Grubu Korelasyon Tablosu.....	82
Tablo 21. Bravo Grubu Model Özet ve Anova Tablosu.....	83
Tablo 22. Bravo Grubu Regresyon Katsayı Korelasyonu Tablosu	84
Tablo 23. Bravo Grubu Regresyon Katsayı Tablosu.....	85
Tablo 24. Charlie Grubu Normallik Dağılımı Tablosu	86
Tablo 25. Charlie Grubu Çoklu Doğrusallık Testi Tablosu	87
Tablo 26. Charlie Grubu Tanımlayıcı İstatistikler Tablosu.....	88
Tablo 27. Charlie Grubu Korelasyon Tablosu.....	89
Tablo 28. Charlie Grubu Model Özet ve Anova Tablosu.....	89
Tablo 29. Charlie Grubu Regresyon Katsayı Korelasyonu Tablosu	90

Tablo 30. Charlie Grubu Regresyon Katsayı Tablosu.....	91
Tablo 31. Delta Grubu Normallik Dağılımı Tablosu	92
Tablo 32. Delta Grubu Çoklu Doğrusallık Testi Tablosu	93
Tablo 33. Delta Grubu Tanımlayıcı İstatistikler Tablosu.....	94
Tablo 34. Delta Grubu Korelasyon Tablosu.....	95
Tablo 35. Delta Grubu Model Özet ve Anova Tablosu.....	95
Tablo 36. Delta Grubu Regresyon Katsayı Korelasyonu Tablosu	96
Tablo 37. Delta Grubu Regresyon Katsayı Tablosu.....	97
Tablo 38. Echo Grubu Normallik Dağılımı Tablosu.....	98
Tablo 39. Echo Grubu Çoklu Doğrusallık Testi Tablosu.....	98
Tablo 40. Echo Grubu Tanımlayıcı İstatistikler Tablosu	100
Tablo 41. Echo Grubu Korelasyon Tablosu	100
Tablo 42. Echo Grubu Model Özet ve Anova Tablosu	101
Tablo 43. Echo Grubu Regresyon Katsayı Korelasyonu Tablosu.....	101
Tablo 44. Echo Grubu Regresyon Katsayı Tablosu	102
Tablo 45. Rastgele Seçilen Gerçek Sefer Verileri Bilgileri.....	114
Tablo 46. Yakıt Tahmin Modelleri Performans Değerlendirmesi.....	115
Tablo 47. Alfa Grubu Gemileri Enerji Verimliliği Uygulaması	116
Tablo 48. Bravo Grubu Gemileri Enerji Verimliliği Uygulaması.....	117

SEMBOLLER DİZİNİ

AB:	Avrupa Birliği
AR:	Değerlendirme Raporu
ART:	Adaptif Rezonans Teorisi Modeli
BM:	Birleşmiş Milletler
BMİDÇS:	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CARB:	California Air Resources Board
CDM:	Temiz Kalkınma Mekanizması
cm:	Santimetre
CNG:	Sıkılaştırılmış Doğaz Gaz
CO ₂ :	Karbondioksit
COP:	Taraflar Konferansı
COSP:	Sefer Başlangıcı-Commence of Sea Passage
ÇDRA:	Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi
Dk:	Dakika
DVP:	Doğrusal Vektör Parçalama Modeli
DWT	Deadweight Tonaj
ECA:	Emisyon Kontrol Alanı
EEDI:	Enerji Verimliliği Tasarım Göstergesi
EEOI:	Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi
EGR:	Egzoz Gazı Yıkayıcıları
EOSP:	Sefer Bitişi- End of Sea Passage
ERU:	Salım Azaltma Kredisi-Emission Reduction Unit
FAR:	İlk Değerlendirme Raporu
g:	Gram
GHG:	Sera gazı, Green House Gas
GT:	Grosston
HVAC:	Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri
ICCT:	Uluslararası Temiz Ulaşım Konseyi

IET:	Uluslararası Emisyon Ticareti
IMO:	Uluslararası Denizcilik Örgütü
IPCC:	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
ISO:	Uluslararası Standartlar Örgütü
IUCN:	Dünya Doğayı Koruma Birliği
JI:	Ortak Yürütme
JIT:	Tam zamanında Varış
kW:	KiloWatt
LED:	Işık Yayan İyot
LM:	Levenberg–Marquardt
LNG:	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
LVQ:	Öğrenmeli Vektör Kuantalama-Learning Vector Quantization
m:	Metre
MARPOL:	Denizlerin Gemiler Tarafından Kirletilmesinin Önlenmesine Ait Sözleşme
MATLAB:	Matrix Laboratory
MEPC:	Deniz Çevresini Koruma Komitesi
MLP:	Çok Katmanlı Algılayıcılar-Multi Layer Perceptron
mm:	Milimetre
MSE:	Ortalama Hata Değeri
NDC:	Ulusal Katkı Beyanı
NF:	Neural Net Fitting Tool (MATLAB)
NO _x :	Azot Oksit
OHSAS:	İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi
P:	Olasılık
PE:	Proses Elemanları
PM:	Parçacık Madde
R:	Çoklu Korelasyon Katsayısı
R ² :	Çoklu Belirtme Katsayısı
Rev:	Dönüş
Ro-Ro:	Roll on Roll of
RPM:	Pervanenin Dakikadaki Tur Sayısı

SAR:	İkinci Değerlendirme Raporu
SECA:	Sülfür Emisyonu Kontrol Alanı
SEEMP:	Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı
Sig. P:	Anlamlılık İfadesi
SOM:	Öz Düzenleyici Haritalar- Self-Organizing Map
SO _x :	Kükürt Oksit
SPSS:	Statistical Package for the Social Sciences
T:	Ton
TAR:	Üçüncü Değerlendirme Raporu
TEU:	20' lik konteyner ölçü birimi
Tier:	Makine Özelliğini Gösterici Basamak
TPC:	1 cm Batırma Tonu-Ton per centimeter
UN:	Birleşmiş Milletler
UNCTAD:	Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı
UNEP:	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UNFCCC:	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
VIF:	Varyans Genişlik Faktörü- Variance Inflation Factor
VLCC:	Çok Büyük Ham Petrol Taşıyıcı-Very Large Crude Carrier
WCED:	Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu
WHR:	Atık Isı Geri Kazanım Sistemi
WIF:	Yakıt Sisteminde Su
WMO:	Dünya Meteoroloji Örgütü
YSA:	Yapay Sinir Ağları
\$:	Dolar
xi:	Girdi
y:	Çıktı
wi:	Ağırlık
B:	Standardize Edilmemiş Katsayı
Beta:	Standardize Edilmiş Katsayı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Denizyolu taşımacılığı çok eski tarihlerden bu yana yaygın olarak kullanılan bir taşımacılık türüdür. Bu taşımacılık türü, özellikle büyük miktardaki yüklerin uzun mesafelerce taşınmasında emniyetli, güvenilir, esnek ve ekonomik olmasından dolayı dünya deniz ticaretinde en çok tercih edilen noktaya ulaşmıştır. Öyle ki günümüzde uluslararası ticarete konu olan yüklerin yaklaşık %85'i deniz yoluyla taşınmaktadır (Lind vd., 2018). Deniz yolu taşımacılığı, ülkelerarası ticaretin temel ticaret yolu olarak göze çarpmakta olup bunun bir takım sebepleri olduğu aşikardır. Öncelikle deniz yolu taşımacılığı, etkin ve ucuz bir taşımacılık sunduğundan, uluslararası taşımacılıkta önemli bir yerdedir. Deniz yolu taşımacılığı diğer taşımacılık şekilleri karşılaştırıldığında, demir yolu taşımacılığına göre iki buçuk kat, karayolun taşımacılığına göre yedi kat daha ekonomik, yakıt tüketimi açısından demiryolu taşımacılığından iki kat, karayolu taşımacılığından ise dört kat daha ekonomik bir taşımacılık yöntemi olarak göze çarpmaktadır (Baird, 2002). Bunun yanında taşımaya konu olan malların boyutu da diğer taşımacılık araçlarına göre çok daha fazladır. Endüstriyel sektörün hammadde ihtiyacını karşılayan büyük miktarlardaki yükler, deniz yolu taşımacılığı vesilesi ile bir defada bir limandan diğer limana kolaylıkla taşınabilmekte ve elleçlenebilmektedir. Bu durum, deniz yolu taşımacılığını diğer taşıma yöntemlerine kıyasla düşük maliyet sunması avantajı nedeniyle üstün kılmaktadır (Goss, 2011). Öte yandan denizyolu taşımacılığı yüksek derecede güvenilirliğe sahiptir. Özellikle diğer taşımacılık türlerinden olan kara, demir ve havayolu taşımacılığının ülkeler arası ticarete çeşitli gerginliklerden etkilenmesi daha muhtemel olduğundan denizyolu taşımacılığı diğer taşımacılık türlerine kıyasla bir adım öne çıkmaktadır.

Enerjinin verimli kullanılması, yarınlara inşa edilmesinde sürdürülebilir bir yaşam döngüsü açısından sağladığı çevreci bakışın yanında bununla birlikte getirdiği maliyet avantajı ile günümüzün önemli konularından birisi haline gelmiştir. Bu konu üzerinde uzun zamandır birçok araştırmalar ve uygulamalar yapılmakta olup, ortak hedef verimliliğin yükseltilmesi ve çevre kirliliğinin azaltılması şeklindedir. Denizcilik sektörü de, tüm katılımcılar ile birlikte enerji verimliliğini ön planda tutan uygulamalara son zamanlarda daha çok önem vermektedir. Özellikle uluslararası ticaretin çok büyük kısmının denizyolu

ile yapılması enerji verimliliği uygulamalarının bu alanda yapılmasının kıymetini daha üst noktalara çıkarmaktadır.

Dünya deniz ticaretinin artan hacmiyle birlikte son zamanlarda ortaya konulan yeni düzenlemeler doğrultusunda denizcilik piyasaları enerji verimliliği çerçevesinde çevre koruma ve maliyetleri düşürme noktasında bir takım çalışmalara ağırlık vermektedir. 2019 yılı itibari ile dünya denizlerinde 1,97 milyar dwt tonajla 96295 adet gemi deniz ticaretinde rol oynamaktadır (UNCTAD, 2019). Artan gemi sayısı ve tonajı ile birlikte gemilerin çevreye olan etkileri dikkat çekici noktalara ulaşmıştır. Bu etkiler deniz, hava ve kara kaynaklarını doğrudan ya da dolaylı olarak değişime uğratabilmektedir. Çevre konusunda Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından oluşturulan kurallar deniz ticareti açısından bağlayıcı nitelikte olup, denizcilik sektörü bu kurallara mutlak suretle riayet etmek durumundadır. Bu doğrultuda IMO çalışmalarını deniz kirliliğinin yanında küresel anlamda hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik olarak da yapmaktadır. IMO, 2007 yılında küresel anlamdaki hava kirliliğinin %2,8'inin uluslararası deniz taşımacılığı kaynaklı olduğunu, 2012 yılında ise bu oranın ile %2,2 dolaylarına doğru azaldığını vurgulamaktadır (IMO GHG, 2014). Bu emisyon oranlarının 2050 yılında dünya ticaretinin üç katına çıktığı her zamanki faaliyet senaryoları çerçevesinde % 150-250 oranında artacağı varsayılmakta olup deniz taşımacılığının küresel karbondioksit salınımindaki payının % 17 seviyesine ulaşması öngörülmektedir (ENVI, 2015; Bouman vd., 2017).

Gemilerden kaynaklı hava kirliliğini önlenmesi hususunda uluslararası sözleşmelerle birlikte birçok düzenleyici kurallar ortaya konulmuştur. Literatürde sera gazı etkisi olarak adlandırılan hava kirliliğine yönelik getirilen düzenlemeler, Birleşmiş Milletler nezdinde öncelikle 2005 yılındaki Kyoto Protokolü ile başlamış, Denizlerin Gemiler Tarafından Kirletilmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşmesinin (MARPOL 1973/78) EK-VI 'sıyla (Gemilerden Kaynaklı Hava Kirliliğini Önleme) da gündeme getirilmiştir. Denizcilikteki en temel çevre sözleşmesi olarak kabul edilen MARPOL'e eklenen EK-VI bölümü çalışmaları 1997 yılında kabul edilerek 2005 yılında yürürlüğe girmiştir (URL-1, 2019). İlerleyen yıllarda IMO'nun alt komitelerinden birisi olan Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC) hava kirliliği alanında ciddi düzeyde birtakım çalışmalara giderek, yeni standartlar getirmiştir. Bu standartlarda, gemilerin seyrüsefer alanlarında Emisyon Kontrol Alanları (ECA) ve Sülfür Emisyon Kontrol Alanları (SECA) belirlenmiş, kükürtoksit (SO_x), azotoksit (NO_x) ve parçacık madde (PM) türevi maddelerinin emisyon sınırları ortaya

konulmuş, bunun yanında yeni nesil makinelerinin üretimi de Tier-1, Tier-2 ve Tier-3 sınıflandırması ile üç basamak olarak aşamalandırılmıştır.

Genel bir bakış açısıyla, çevre hassasiyetini azami düzeyde gözeten ve işletme giderlerini asgari düzeye indirmeyi amaçlayan çalışmaların uygulandığı deniz ticaret filolarında yeşil gemi olarak adlandırılan bir anlayış ön plana çıkmaktadır. Yeşil gemiler, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği kavramları çerçevesinde gemilerin işletme faaliyetlerinin azami şekilde çevreye duyarlı ve asgari düzeyde yakıt sarfiyatı altında tamamlanmasının amaçlandığı gemilerdir. Bu durum son zamanlarda, uluslararası denizcilik sektörlerindeki öncü kuruluşların filolarında çeşitli yöntemlerle sürekli olarak uygulanmakta ve geliştirilmektedir. Gemilerin başlıca tekne, sevk ve manevra, makine ve sefer verimliliklerini konu olan bu çalışmalar birçok alt başlıklarla ayrılarak yürütülmektedir. Nihayet buna benzer çalışmalar IMO'nun haricinde, öncü firmaların bir araya gelmesi ile farklı boyutlara ulaşarak sürdürülebilirlik kavramı çerçevesinde ortaya konulmaya başlanmıştır (URL-2, 2019).

Çalışmada enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik kavramlarının önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu kavramlar çerçevesinde gemilere yönelik enerji verimliliği düzenlemelerine değinilmiş, denizcilikteki enerji verimliliği önlemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Konteyner gemisi odaklı çalışmamızda, konteyner piyasalarından bilgiler aktarılmıştır. Araştırma konusunun konteyner tipi gemiler olması, konteyner taşımacılığının denizcilik piyasalarındaki payından dolayıdır.

Araştırmaya konu olan 19 adet konteyner gemisinin ortalama 24 aylık sefer verileri analiz edilerek, yakıt sarfiyatında etkili olan sefer değişkenlerinin ağırlıkları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu açıdan, eldeki sefer verilerinden tahminleme yapılarak enerji tasarrufu çerçevesinde yakıt sarfiyatının düşürülmesi için karar destek modeli ortaya konulması amaçlanmıştır. Gemi sefere başlamadan önce draft, trim, makine devir sayısı (RPM), pervane açısı (Pitch), hava değişkenleri esas alınarak oluşacak en uygun yakıt sarfiyatı tahmini ve bu doğrultuda gemi kaynaklı sera gazı salınımının indirgenmesi ve verimlilik kazancının ortaya konulması hedeflenmiştir.

Son olarak, incelemeye tabi tutulan 19 gemi özelliklerine göre 5 farklı grupta toplanmış ve gemilerin sefer bildirimlerinden alınan değerler ile çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemi ve yapay sinir ağları modelleri ile yakıt sarfiyatı tahminleri modelleri oluşturulmuştur. Modeller ile örnek gemi grupları için belirlenen sefer verilerindeki enerji verimliliği tasarrufu ortaya konulmuştur. Çalışma her iki model için birbirlerine göre

üstünlüklerini de gösterecek, kullanıcıya ayrı modelleri seçme imkanı tanıyacaktır. Ayrıca oluşturulan modeller kullanılarak yapılan örnek senaryolar dahilinde yeşil gemi uygulamalarının sefer yönetimi açısından yapılabilecek önlemlerine dair optimizasyon uygulamaları verilmiştir. Bu uygulamalar öncelikle RPM ya da Pitch değerindeki ayarlamalar ile yapılabilecek optimizasyon, trim opitimizasyonu, balast suyunun optimizasyonu ve hava rotalama şeklinde tasarlanmıştır. Örnek senaryolar kapsamında yapılan tüm optimizasyon şekillerinde gemiler için kayda değer oranda enerji tasarrufunun meydana geldiği gösterilmiştir. Oluşturulan modelin, çevre duyarlılığını ortaya koyulmasının yanında işletmelerinin yakıttan kaynaklı giderlerini azaltmak açısından yeşil gemi konsepti çerçevesinde denizcilik piyasalarına katkı sunacağı düşünülmektedir.

1.2. Sürdürülebilirlik

Günümüz teknolojisindeki ilerlemeler hız kazandıkça, endüstriyel kuruluşlar maliyet konularındaki verimlilik çalışmalarının yanında, çevresel hassasiyet çerçevesinde birtakım önlemlere de başvurmaktadır. En basit ifade ile bu kuruluşlar, yaşadığımız gezegendeki mevcut kaynakların sınırlı olduğu bilinci ile hareket etmek ve bu kaynakların devamlılığının ve nesilden nesile aktarılmasının zaruri olduğunun farkındalığında olarak faaliyetlerini sürdürmek durumundadırlar. İşte bu noktada karşımıza sürdürülebilirlik kavramı çıkmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı 1980' li yılların başında Dünya Doğayı Koruma Birliği (IUCN) tarafından ele alınmış, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından ise 1987 yılında kapsamlı olarak tanımlanmıştır. Bu kavram günümüzde çevre, sağlık, toplum, ekonomi açısından birçok bilim dalında farklı yaklaşımlarla ele alınmaktadır (Pezzey, 1989; Breheny, 1990; Pearce ve Atkinson, 1993; Daly, 1991; Asheim ve Brekke, 2002; McKenzie, 2004). Sürdürülebilirlik kavramı daha temiz üretim, kirliliği önleme, kirlilik kontrolü ve kaynak kullanımının en aza indirilmesi, ekonomik tasarım gibi terimleri içermektedir (Costanza ve Pattern, 2007). Sürdürülebilirlik, gelecek kuşakların kendi gereksinimlerini karşılayabilme yetisinden ödün verilmeden, günümüzün ihtiyaçlarının karşılanmasının sağlanması için kalkınmanın devamlılığını kılma yeteneğidir (WCED, 1987).

Sürdürülebilirlik ya da sürdürülebilir kalkınma tüm işletme sektörlerinde olduğu gibi deniz taşımacılığı sektöründe de önemli hedefler arasına girmiştir. Birleşmiş Milletler (UN) 20-22 Haziran 2012 tarihinde Brezilya'nın Rio de Jenerio şehrinde Sürdürülebilir Kalkınma

adı altında bir çalışma yürütmüş, o tarihten itibaren IMO’da denizyolu taşımacılığında bu konsept çerçevesindeki çalışmalarına daha fazla ağırlık vermiştir (UN, 2012). 2015 yılında ise Birleşmiş Milletlerce sürdürülebilir kalkınma konsepti çerçevesinde 2030 yılına kadar erişilmesi öngörülen 17 hedef belirlenmiştir. Bunlar şekil-1’de gösterilmektedir (UN, 2015).



Şekil 1. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

Şekil 1’ de Birleşmiş Milletler tarafından 2030 yılına kadar erişilmesi belirlenen 17 adet hedefin, yoksullukla mücadelede, temiz su kaynaklarını korunmasına, erişilebilir ve temiz enerjiden, sürdürülebilir şehirler ve topluluklara, iklim değişikliği ile mücadelede sudaki yaşamın korunmasına kadar dünyanın belirli başlı sorunlarına yönelik eylem planlarının çerçevesi gösterilmektedir. Özellikle temiz enerji, iklim eylemi ve sudaki yaşamı koruma hedefi IMO’nun deniz taşımacılığı çerçevesinde dikkat çektiği önlemlerdendir.

Sürdürülebilirlik kavramı deniz taşımacılığı alanında da karşımıza çıkmaktadır. Sürdürülebilir denizcilik, 21. yüzyılın en büyük zorluklarından biri olarak kabul edilmektedir (Lirn vd., 2013). Denizyolu taşımacılığı, diğer taşımacılık modlarına kıyasla nispeten güvenli ve temiz olmasına rağmen toplum ve çevre üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Yuen vd., 2017). Çevre açısından sürdürülebilir yönetim ya da yeşil yönetim ise, bir yandan firmaların kar ve pazar payı elde etmesi ve diğer yandan çevreyi koruma yönünde önemli bir yönetim anlayışı ortaya koyması şeklinde tanımlanabilir (Van Hock ve Erasmus,

2000). Bu doğrultuda denizcilik piyasalarının bileşenleri sürdürülebilirlik konsepti çerçevesinde işletme maliyetlerini düşürmek ve hava kirliliğine sebebiyet veren gemilerin egzoz gazı emisyonlarını en az düzeye çekmek için çalışmalar yapmakta ve standartlar ortaya koymaktadır.

1.3. Enerji Verimliliği

Sürdürülebilir denizcilik kavramı ile birlikte son yıllarda, hem mevzuatlarda hem de araştırmalarda görülebilen, gemilerin enerji verimliliği konusuna artan bir ilgi olmuştur (Rasmussen vd., 2018). Enerji verimliliği kavramı, yakıt sarfiyatı optimizasyonu ve diğer birçok uygulama, problemleri ve çözümleri aynı şekilde değerlendirmek için eş anlamlı bir şekilde kullanılmıştır (Armstrong ve Banks, 2015). Genel olarak enerji verimliliği, aynı miktarda hizmet ya da yararlı çıktı üretmek için daha az enerji kullanılmasını ifade eder. Endüstriyel alanda enerji verimliliği, bir ton ürün üretmek için gereken enerji miktarıyla ölçülebilir. Dolayısıyla, enerji verimliliği genellikle şu formülle gösterilir (Patterson, 1996):

$$\frac{\text{Sürecin Yararlı Çıktısı}}{\text{Süreçteki Enerji Girdisi}} \quad (1)$$

Enerji verimliliği ile birlikte etkinlik ve verimlilik terimleri de karşımıza çıkmaktadır. Bir sürecin verimliliği üzerindeki iyileştirmeler enerji sarfiyatını azaltabileceğinden dolayı verimlilik kavramı enerji etkinliği kavramı ile ilişkilendirilir (Boyd ve Pang, 2000). Denizcilik sektörü ekseninde uygulanan enerji verimliliğindeki amaç işletme maliyetlerini en aza indirmektir ve bu nedenle bu kavram şirket yapısına, gemi tipine ve hizmete büyük ölçüde bağlıdır (Poulsen ve Johnson, 2016). Bir armatör firması için enerji verimliliği geminin etkili ve verimli bir şekilde seferini tamamlaması şeklinde ifade edilebilir. Bir geminin seferi etkin ve verimli olarak iki ana başlık altında incelenebilir. Geminin seferini tamamlaması o seferin etkin olduğunu, seferinin en uygun sürede en az maliyetle tamamlanması ise verimli olduğunu gösterir. Şüphesiz ki buradaki maliyet konusu yakıt sarfiyatı ile güçlü bir ilişkidir.

Diğer taraftan, yakıt sarfiyatındaki azalma, geminin emisyon oranını doğrudan bir şekilde etkileyecek ve indirgeyecektir. Gemilerden kaynaklı hava kirliliği, esas olarak gerekli enerji üretimi için ağır akaryakıt kullanmaktan kaynaklanmaktadır. Bu yakıtlar ekonomik olmasına rağmen, yüksek kirletici üretmektedirler (Rehmatulla vd., 2017). Bu

açından enerji verimliliği denildiğinde hem maliyet hem de kirlilik açısından önemli kazanımlar söz konusudur.

Sonuç olarak deniz taşımacılığının temel bileşenlerinden birisi olan gemilerde enerji verimliliği uygulamalarının temel çıktıları çevre ve ekonomi konuları ekseninde değerlendirilmekte ve sektörel ve akademik çalışmalar bu kapsamda ilerlemektedir (Lokukaluge ve Brage, 2016; Papanikolaou vd., 2016; Bouman vd., 2017).

1.3.1. Enerji Verimliliğine İlişkin Düzenlemeler

Enerji verimliliği, iklim değişikliği etkilerini indirmek ve sürdürülebilir kalkınma için geliştirilen ve ortaya konulan enerji konusundaki politikalarının temel unsuru şeklinde kabul görmektedir (Schnapp, 2012). Bu açıdan enerji verimliliği konusuna ilişkin düzenlemeleri ve kuralları çevre kirliliğiyle mücadele düzenlemeleri kapsamında değerlendirmek gerekmektedir.

Bilim dünyasında 17. yüzyıldan itibaren atmosferdeki sera gazları ve ve bahse konu gazların etkisi araştırılmaktadır. Söz konusu çalışmalar bilim insanlarının ve ülkelerin ortaya koydukları çeşitli işbirlikleri ile 1988 yılına kadar devam etmiştir. Bu doğrultuda, ortaya konulan işbirlikleri neticesinde, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), devletlerin ve bilim camiasının ortak çalışma zemini olarak ortaya konulmuş ve nihayetinde çevre kirliliği ile ilgili bilimsel çalışmalar yepyeni bir yaklaşım ve süreçte değerlendirilmeye başlanmıştır.

IPCC'nin 1988 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından kurulması sonucunda çevre kirliliği ile mücadele konusu daha organize bir şekilde değerlendirilmiştir. Özellikle iklim değişikliği hususunun mevcut ve gelecekteki kuşaklar için korunması gibi ciddi görüşler ortaya konulmaya devam etmiştir. Bu çerçevede Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS-UNFCCC) hazırlıkları da süratle devam etmiştir.

BMİDÇS'nin yürürlüğe girmesine kadarki süreçte iklim değişikliğine dair yapılan önemli çalışmalar 17. Yüzyıl sonlarından itibaren Tablo-1'de gösterilmektedir (IPCC 2017, BMİDÇS, 1992; Öztürk ve Öztürk, 2019; Kıvılcım, 2013; Karakuş, 2010; Çevre ve Orman Bakanlığı, 1998; Özkaya Özlüer, 2015; Qi, 2011: 296; Montreal Protokolü, 1987):

Tablo 1. BMİDÇS Öncesi İklim Değişikliğine Yönelik Çalışmalar

Yıl	Olay
1681	Edme Mariotte, diğer ısı kaynaklarının aksine, cam ve diğer geçirgen yüzeylerin, güneş ışınları ve ısının geçişine izin verdiğini keşfetti.
1760	Horace-Bénédict de Saussure, gaz termometresi aracılığıyla, sera etkisini canlandıran ilk deneyi gerçekleştirdi
1824	Joseph Fourier, güneş ışınlarının dünyadan geri yansırken yapısının değiştiğini, bu ışınların atmosferden geçiş oranının azaldığını, bu nedenle atmosferin yapısına bağlı olarak yeryüzü sıcaklığının değişebileceğini ortaya koydu.
1861	John Tyndall, atmosferdeki su ve CO ₂ gibi moleküllerin birikimindeki değişimin tarih boyunca yaşanmış iklimsel değişikliklerin nedeni olabileceğini öne sürdü.
1896	Svante August Arrhenius, atmosferdeki CO ₂ birikiminin %40'a varan oranda değişmesinin buzul çağına başlayış ya da bitişine sebep olabileceğini iddia etti.
1938	Guy Steward Callendar, atmosferdeki CO ₂ birikiminin iki katına çıkması halinde, küresel ortalama sıcaklığında 2°C'lik bir artışa neden olabileceğini öne sürdü; ayrıca fosil yakıtların tüketilmesi ile atmosferdeki CO ₂ birikimleri arasındaki doğrusal ilişkiyi ortaya koydu.
1958	Charles David Keeling, Pasifik Okyanusu'nda yer alan Hawaii adasında kurulan Mauna Loa gözlem istasyonunda atmosferik CO ₂ birikimlerinin ilk aletli gözlemlerini yapmaya ve kaydetmeye başladı.
1970	CH ₄ , N ₂ O ve CFC'lerin de atmosferdeki sera etkisini kuvvetlendireceği anlaşıldı.
1972	Stockholm Deklarasyonu yayımlanmıştır. UNEP'in kurulmasını ve Çevre Fonu üzerindeki kararları içerir. Her bireyin sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahip olduğu benimsenmiştir.
1979	I. Dünya İklim Konferansı WMO tarafından İsviçre'de düzenlendi.
1980-81	Madden, Ramanthan ve Hansen, insan kaynaklı faaliyetler sonucunda atmosferdeki sera gazı birikimlerinin artması ile yaşanacak küresel ortalama sıcaklık artışının 20 yıl içerisinde net bir şekilde gözlemlenebileceğini belirtti.
1985	Uluslararası Sera Gazları Konferansı, Avusturya'da düzenlendi. İnsan kaynaklı iklim değişikliğinin bilimsel açıdan belirgin bir kesinliğe sahip olduğu üzerinde uzlaşıldı. Ülkelerin uluslararası bir iklim sözleşmesi üzerine çalışmaları önerildi.
1987	Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü
1988	Değişen Atmosfer Konferansı Toronto, Kanada'da düzenlendi. İlk kez küresel sera gazı salımlarının azaltılması gerekliliği gündeme getirildi ve devletlerin atmosfer odaklı kapsamlı bir sözleşme üzerinde çalışmaları önerildi.
Kasım 1988	WMO ve UNEP tarafından IPCC'nin Kurulması
Aralık 1988	BM Genel Kurulu'nun 43/53 nolu kararı (Küresel iklimin şimdiki ve gelecek nesil nesiller için korunması)
21Aralık 1990	BM Genel Kurulu'nun 45/212 nolu kararıyla "Hükümetlerarası Görüşme Komitesi (INC/HGK)"
INC'nin, BMİDÇS imzalanıncaya kadarki toplantıları	4-14 Şubat 1991 – Washington
	19-28 Haziran 1991 – Cenevre
	9-20 Eylül 1991 – Nairobi
	9-20 Aralık 1991 – Cenevre
	18-28 Şubat / 30 Nisan-9 Mayıs 1992 – New York
3-14 Haziran 1992	Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı
INC'nin, BMİDÇS Yürürlüğe girmesine kadarki toplantıları	7-10 Aralık 1992 – Cenevre
	15-20 Mart 1993 – New York
	16-27 Ağustos 1993 – Cenevre
	7-18 Şubat 1994 – Cenevre
21 Mart 1994	BMİDÇS'nin yürürlüğe girmesi

1979 yılında düzenlenen Birinci Dünya İklim Konferansında iklim değişikliği hususu üzerinde tartışmalar yapılmış, karbon kaynaklı yakıtlara olan bağlılığın sürmesi sonucunda iklimde meydana gelebilecek değişiklikler üzerinde durulmuştur. Bunun üzerine ülkeler hava kirliliğine yönelik çalışmalarına daha çok ağırlık vermiş, sera gazı salınımını indirgenmesi amacıyla birçok standartlar ortaya koymuşlardır (Selvitop, 2012). Malta Hükümeti bu konuyu 1988 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulu gündemine getirmiştir. Uluslararası camia, BMİDÇS ile başlayarak, bu tehdide cevap vermek için ortak bir strateji oluşturma yolunda ilk adımları atmışlardır (UNFCCC, 2004). Bu girişimlere müteakip Kyoto Protokolü gibi kapsamlı çalışmalar da günümüze kadar devam etmiştir. BMİDÇS ve Kyoto Protokolü, iklim değişikliğini azaltmak, küresel iklim değişikliği hususunda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin katkılarındaki farklılıkları tanıyarak toplumun tüm sektörleri ve küresel ekonomik sistem arasındaki ortak etkilerini uyarlamak amacıyla küresel eylemi koordine etmek ve düzenlemek için kurulmuştur (Hackmann, 2012).

Günümüzde BMİDÇS ve özellikle de Kyoto Protokol'ünün, başta sera gazı emisyonları için mücadele eden ilk ve en önemli politikalar olduğu kabul edilmelidir (Schipper, 2006). Daha sonra imzalanan Paris Anlaşması ise, BMİDÇS hükümlerine dayanmakta ve 2020 sonrası iklim değişikliği hususlarını düzenlemeyi hedeflemektedir (URL-12, 2019).

1.3.1.1. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli

1980'li yıllarda iklim değişikliğinin küresel çapta bilimsel bir gerçek olmasının kanıtlanması sonucunda, bu değişikliğin temelinde tabii süreçlerden çok insanoğlu kaynaklı sera gazları salınımı payının bulunduğu inancının ortaya çıkmasıyla, küresel ısınma tehlikesine çare aranması amacıyla Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Dünya Meteoroloji Örgütü'nün çabalarıyla 1988 "Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli" kurulmuştur (URL-13, 2019). Oluşturulan birliğe Birleşmiş Milletler nezdinde 195 ülke üye durumdadır. Panelin amacı ise şu şekilde belirtilmektedir (URL-14, 2019);

- İklim değişikliği hususunda bilimsel, teknik ve sosyoekonomik çalışmaların değerlendirmek,
- Bilimsel sonuçlar doğrultusunda iklim değişikliğiyle mücadele ve bu değişime uyum noktalarında karar verici kuruluşlara yol göstermek,

- BMİDÇS' ye iklim değişikliği ve iklim değişikliği politikaları çerçevesinde uygun bilgi sağlamak ve belirli hususlarda rapor hazırlamaktır.

Panel kapsamında periyodik olarak iklim değişikliğine dair özel raporlar hazırlanmaktadır. 1988 yılından itibaren, IPCC iklim değişikliğine ilişkin en kapsamlı bilimsel raporlar olan beş adet "Değerlendirme Raporunu" sunmuştur. Bu raporlar iklim değişikliği ve CO₂ emisyonlarının azaltılması alanındaki çalışmalarını bulanan politika yapıcıları, bilim adamları ve mühendisler için bilgi sağlamaktadır. Özellikle, rapor CO₂ gazı yakalama ve depolamayı, yakıt değişimi, enerji verimliliği, yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları gibi alanların çerçevesinde iklim değişikliği azaltma seçeneklerini içermektedir (OSTI, 2005). Raporlar BMİDÇS ve Kyoto protokolü bağlamında önemli bir anahtar role sahiptir. Burada sunulan bilgiler ışığında iklim değişikliğine yönelik oluşturulacak eylem planları da şekillenmektedir. 1990 yılında, İlk IPCC Değerlendirme Raporu (FAR), iklim değişikliğinin küresel sonuçlarla mücadelede ve uluslararası işbirliğinin önemini altını çizmiştir. İkinci Değerlendirme Raporu (SAR) (1995), hükümetler için 1997'de Kyoto Protokolü'nün kabulüne kadar geçen süreden itibaren önemli bir materyal sağlamıştır. Üçüncü Değerlendirme Raporu (TAR 2001), iklim değişikliğinin etkilerine ve adaptasyon gerekliliğine dikkat çekmiştir. Dördüncü Değerlendirme Raporu (AR4 2007) Kyoto sonrası ortaya konulacak bir anlaşmanın temelini atmış ve küresel ısınmayı 2°C'ye kadar sınırlandırmaya odaklanmıştır. Beşinci Değerlendirme Raporu ise (AR5) 2013-2014 arasında tamamlanarak Paris Anlaşması'na bilimsel girdi sağlaması açısından önemlidir. 2022 yılında Altıncı Değerlendirme Raporunun (AR6) ortalama küresel sıcaklık artışının 2 °C'nin altında (sınır: 1.5 °C) tutulmasını amaçlayan Paris Anlaşması dahilinde tamamlanması beklenmektedir (IPCC Reports,1990; 1995; 2001; 2007; 2014). Sonuç olarak raporlara göre genel olarak salınımları sınırlandıracak bir küresel eylem planı ortaya konulmaz ise 2100 yılına kadar küresel düzeydeki sıcaklık artışının 1,8 °C ile 4,0 °C arasında olabileceği beklenmektedir. Bu, sanayi öncesi zamanlardan beri kaydedilen sıcaklık artışının 2 °C'yi aşacağı anlamına gelmektedir (IPCC, 2019).

Birleşmiş Milletler'e bağlı olarak faaliyet gösteren WMO ve UNEP üye ülkelerinden oluşan IPCC içerisinde Türkiye de bulunmaktadır.

1.3.1.2. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

1992 yılında Brezilya'nın Rio de Janeiro şehrinde BM Çevre ve Kalkınma Konferansı düzenlenmiştir. Sürdürülebilirlik olgusunun ön plana çıktığı bu konferansta, biyolojik çeşitlilik, iklim değişikliği ve çölleşme konularıyla mücadele kapsamında yirmibirinci yüzyıl için bir klavuz niteliği taşıyan üç sözleşme imzaya açılmıştır (URL-10, 2019). BMİDÇS, 1992 yılında kabul edilmiş ve 21.03.1994 tarihinde yürürlüğe girmiş olup sürdürülebilir kalkınmanın kurumsal çerçevesini ortaya koyan en önemli esaslar arasında bulunmaktadır (UNFCCC, 2004). Sözleşme 197 taraf ülke ile birlikte neredeyse evrensel düzeyde bir katılıma ulaşmıştır. Sözleşmenin nihai amacı insan kaynaklı sera gazı emisyonunun iklim sistemi üzerindeki tehlikeli etkisini azaltmak veya durduraktır. Sözleşme, başta sanayi ve diğer sektörler kaynaklı CO₂ ve diğer sera gazı emisyonlarından etkilenebilecek bir iklim sistemini bütüncül bir şekilde ortak bir varlık olduğunu varsaymaktadır (URL-11, 2019). Dünya'da mevcut ve öngörülen emisyon oranlarının iklim sistemine geri dönüşü olmayan bir hasara yol açacağı konusunda ciddi endişeler bulunmaktadır (Ripple vd., 2017; Rockström vd., 2009; Steffen vd., 2015). Bu doğrultuda oluşturulan BMİDÇS, iklim değişikliğini sınırlama konusunda küresel uğraşlara rehberlik etmektedir (Harmsen, 2018).

BMİDÇS' ye taraf ülkeler, seragazı emisyonunu indirgemeye, araştırma ve teknoloji konusunda işbirliği oluşturmaya ve ayrıca seragazı yutaklarını korumaya teşvik etmektedir. Sözleşme ülkelere, seragazı salımlarının indirgemesi noktasında, ülkelerin özel koşullarını ve kalkınma önceliklerini göz önünde bulundurarak "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar" yüklemiştir (BMİDÇS, 1992). "Ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar" ilkesi gelişmiş ülkelerin tarihsel olarak iklim değişikliğine neden olan seragazılarını atmosfere diğer gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelere daha fazla salmalarından dolayı sorumluluklarının daha fazla olması gerektiği düşüncesinden ortaya çıkmıştır (Şentürk, 2016). Sözleşmenin temel ilkeleri şu şekildedir (Özer, 2012);

- İklim sistemini ortak fakat farklı sorumluluk ilkesine uygun olarak korumak,
- Gelişmekte olan ülkelerin özel şartlarına dikkat etmek,
- Etkin ve en düşük maliyetle tedbirler almak,
- Sürdürülebilir kalkınma konusundaki tedbir ve politikaları ulusal düzeydeki kalkınma süreçlerine entegre etmek

26 madde ve 2 adet Ek'ten oluşan BMİDÇS tarafların "sözleşmenin amacına ulaşma ve hükümlerini yerine getirme konusundaki eylemleri" çerçevesindeki çalışmalarını "yönlendirmek" için bir takım ilkeler ortaya koymaktadır. Bunlar (Bodansky, 2011);

- Nesiller Arası Eşitlik
- Ortak Ancak Farklılaştırılmış Sorumluluklar ve İlgili Yetenekler"
- Gelişmekte Olan Ülkelerin Özel İhtiyaçları
- Önlem
- Maliyet Etkinliği
- Sürdürülebilir Kalkınmadır.

Türkiye, 1992 yılında BMİDÇS'nin Ek-I ve Ek-II listelerinde gelişmiş ülkeler ile birlikte yer almaktaydı. Türkiye'nin, Marakeş şehrinde düzenlenen 2001 yılındaki 7.Taraflar Konferansı'nda (COP7) Ek-II'den çıkarılmasına ve özgün koşulları göz önünde bulundurularak Ek-I'de yer almasına karar verilmiştir. Bu karardan sonra Türkiye BMİDÇS'ye 189. Taraf ülke konumunda 24 Mayıs 2004 tarihinde katılmıştır. Türkiye, bugün BMİDÇS Sözleşmesi Ek-I Listesinde olan ancak Protokol'de Ek-B Listesinde yer almayan tek ülkedir. Ancak bu durum kötü olarak yorumlanmamalıdır. Tam tersine Türkiye için büyük avantajlar sağlamaktadır (URL-7, 2019).

Son olarak BMİDÇS kapsamında 2019 yılı Aralık ayında COP (25) adıyla Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı yapılmıştır. Konferans, BM iklim değişikliği sürecinde bir sonraki önemli adımları atmak için yapılmıştır. 2018' de gerçekleştirilen COP 24' teki Paris Anlaşması' nın uygulama kılavuzları üzerinde yapılan anlaşmanın ardından, kilit bir amaç olarak görülen Paris İklim Değişikliği Anlaşmasının tam olarak işletilmesine ilişkin çeşitli hususların tamamlanması amaçlanmaktadır (UNCC, 2019).

1.3.1.3. Kyoto Protokolü

Kyoto protokolü, iklim değişikliği konusuyla mücadele kapsamında, 1992 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi paralelinde ortaya konulan en kapsayıcı anlaşmadır. 1-12 Aralık 1997 tarihleri arasında Japonya'nın Kyoto şehrinde BMİDÇS' nin Üçüncü Taraflar Toplantısı düzenlenmiştir. Protokol, uzun görüşmeler ve tartışmalar neticesinde imzaya açılabilmiştir (Yıkılmaz, 2003). Protokol imzaya açıldığından 8 yıl sonra 16 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girebilmiştir. Arada bu kadarlık bir zamanın olmasının sebebi, protokolü onaylayan ülkelerin 1990 yılındaki atmosfere saldıkları karbon miktarının,

toplam salınımının %55'ini bulması gerekliliği ve bu şartın ancak bu tarihte Rusya'nın katılımıyla yerine getirilmesidir (Gülseven, 2008). Protokol sera gazları kapsamında, karbondioksit, metan, azotoksit, hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar, kükürtheksaflorür gazlarını konu almaktadır (Kyoto Protocol, 1998). Burada esas amaç, “atmosferdeki sera gazı birikimlerini, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek bir düzeyde durdurmayı başarmak” olarak belirlenmiştir (BMİDÇS, 1992). Bu doğrultuda 2008-2012 yılları arasındaki birinci taahhüt döneminde, sanayileşmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarını 1990 yılındaki emisyon oranının % 5 düzeyinde altına düşürülmesi amaçlanmaktadır (CCIWA, 1999).

Özetle Kyoto protokolüne göre (URL-9, 2019);

- 2008-2012 yılı arasındaki sera gazı salınımı 1990 yılına oranla %5'e çekilecek,
- Sanayi, motorlu araç ve ısıtma kaynaklı sera gazı emisyonunu düşürmeye yönelik ilgili kurallar tekrar düzenlenecek,
- Daha düşük enerji sarfiyatı ile ısınma, daha düşük enerji tüketimi yapan araçlarla yol katetme, daha düşük enerji tüketimli teknoloji sistemlerini endüstriye yerleştirme sağlanacak ve ulaşım ve çöp depolama faaliyetleri çevrecilik ilkesi çerçevesinde yapılacak,
- Metan ve karbondioksit gazlarının atmosferdeki payının indirgenmesi amacıyla alternatif enerji kaynakları kullanımı söz konusu olacak (örnek: bio-dizel yakıt kullanımı vb.)
- Yüksek enerji sarfiyatının söz konusu olduğu kuruluşlarda atık işlem prosedürleri gözden geçirilecek,
- Daha az karbon salınımı yapmayı sağlayan yeni sistemler termik santrallerde devreye sokulacak,
- Dünyada karbon salınımı sıfır düzeyinde olan nükleer enerji ve güneş enerjisinin desteklenecek
- Yakıt sarfiyatı yüksek olana daha çok vergilendirme tahakkuk edilecektir.

28 maddeden oluşan protokol Ek-A ve Ek-B olmak üzere iki ekten oluşmaktadır. Ek-A protokol kapsamına giren sera gazlarının yanında sektör/kaynak kategorilerini, Ek-B' ise protokole taraf olan ülkeler listesini içermektedir. Kyoto Protokolü, iklim değişikliğini önlemeye ve bu bağlamda sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik üç yeni mekanizmayı uygulamaya koymuştur (Ayhan, 2010). Bu mekanizmalar Uluslararası Emisyon Ticareti (IET), Temiz Kalkınma Mekanizması (CDM) ve Ortak Yürütme (JI) mekanizmalarıdır. (URL-8, 2019). IET mekanizmasının amacı protokolün 17. Maddesinde, “Ek B'deki ülkeler (sanayileşmiş ülkeler ile ekonomileri geçiş sürecindeki ülkeler), Madde 3'teki

yükümlülüklerini yerine getirmek amacıyla sera gazı salınımlarını ticaretine katılabilirler” olarak açıklanmıştır. Temiz kalkınma düzeneği amacı Protokolün 12. Maddesinde, “Gelişme yolundaki ülkelere, sürdürülebilir kalkınmaya ulaşmada ve Sözleşme’nin nihai amacına katkıda bulunmaya yardımcı olmak; gelişmiş ülkelere ise, 3. Maddedeki sayısal olarak belirlenmiş salınım sınırlandırma ve azaltma yükümlülüklerini gerçekleştirme yolunda yardım etmek” olarak belirlenmiştir (Türkeş vd., 2000; UNEP-CCS, 1998). Ortak yürütme mekanizmasının amacı ise Ek-I ülkeleri arasında gerekli şartların sağlanması koşuluyla, Ek-A’da belirtilen insan kaynaklı sera gazı salımlarının azaltılmasını veya sera gazlarının yutaklar yoluyla uzaklaştırılmasını amaçlayan projelerden elde edilen “Salınım Azaltma Kredisi” (Emission Reduction Unit-ERU) kazanır ve kazanılan bu krediler toplam hedeften düşülür. (Bayrak, 2012).

Protokole Avrupa Birliği ve 191 ülke taraftır (URL-4, 2019). Türkiye 26 Ağustos 2009 tarihinde Kyoto Protokolü’ne taraf olmuştur. Protokol kabul edildiğinde BMİDÇS taraf olmayan Türkiye, Protokol EK-B’ ye (taraflarının sayısallaştırılmış emisyon sınırlama veya azaltım yükümlülüklerinin tanımlandığı liste) dâhil edilmemiştir. Dolayısıyla, Türkiye’nin herhangi bir şekilde rakamsal ifadeyle salınım azaltım yükümlülüğü I. Yükümlülük döneminde (2008-2012 yılları) yer almamaktadır (URL-5, 2019).

Türkiye’nin diğer EK-I ülkelerinden farklı koşullarda olduğu 2010 yılında yapılan 16. Taraflar Konferansı 1/CP.16 sayılı karar ile sözleşmeye taraf olan tüm devletlerce tanınmıştır. Bu karar doğrultusunda Türkiye, teknoloji ve finansman sağlama konusunda yükümlülük altına girmemiştir. Bu konudaki imkanlardan yararlanma durumu ise gelecek toplantılarda değerlendirilecek şekilde karar verilmiştir. Güney Afrika Cumhuriyeti’nin Durban şehrinde düzenlenen 17. Taraflar Konferansı’nda ise Türkiye konusunda, değerlendirmelerin tartışılmasının devam etmesi yönünde karar kılınmıştır. 2012 yılındaki 18. Taraflar Konferansı’nda ise Türkiye’nin iklim değişikliğiyle mücadele faaliyetlerine yönelik çalışma yapılmasına bir yol aralanmış ve 2013’de Türkiye odaklı teknik belge düzenlenmiştir. 19. Taraflar Konferansında görüşmelere 2014 yılı içerisinde de sürmesi değerlendirilmiştir. İleri dönemlerde, istenilen somut çıktılar Taraflar Konferansı Kararı olarak şekillendirmek bağlamında görüşmeler sürdürülecektir (URL-6, 2019).

Bali Yol Haritası, İklim politikalarının belirlenmesinde önemli bir dönüm noktası olarak karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu harita Bali’de gerçekleştirilen 13. Taraflar Konferansı sonucunda 2007 yılında ortaya konmuştur. İlerleyen zamanlarda 2009’da Kopenhag şehrinde gerçekleştirilen 15. Taraflar Konferansı’nda ikinci taahhüt dönemi

periyodunda uzlaşma sağlanamayan taraflar için, 2012 yılında Doha'daki 18. Taraflar Konferansı'nda uzlaşmanın sağlandığı görülmüştür. Bu doğrultuda taraflar Protokol'ün 2020 yılına kadar olan süreci için sürdürülmesi kararı vermişlerdir. Böylece, ikinci taahhüt dönemi tekrar belirlenerek, 2013-2020 yılları şeklinde teşkil edilmiştir (URL-4, 2019).

1.3.1.4. Paris Anlaşması

2015 yılı sonuna kadar devam eden süreçte evrensel açıdan küresel ısınma ve iklim değişikliğiyle mücadele konusundaki düzenlemeler ve kurallar BMİDÇS ve Kyoto Protokolü çerçevesinde ortaya konulmuştur. Daha sonra yürürlüğe konulan Paris Anlaşması ise kendisinden önce düzenlenen BMİDÇS ve Kyoto Protokolünün yerini almış, en önemli ve bağlayıcı yasal düzenleme haline gelmiştir (Köse, 2018). Kyoto Protokolü'nün 2020 yılında son bulması nedeniyle, küresel sera gazı emisyonlarının %55'inden sorumlu olan en az 55 tarafın anlaşmasını onaylaması ile Paris Anlaşması 4 Kasım 2016 itibari ile 2020 yılından itibaren geçerli olacak şekilde yürürlüğe konulmuştur.

Özellikle gelecek nesillere bırakılacak sürdürülebilir bir dünya bağlamında önem arz eden Paris Zirvesi'nde, hem gereken düşük-karbon yatırımlarının gerçekleşmesi için hem de iklim değişikliğinde geri dönülmesi zor bir yola girmemek adına güçlü bir mesaj verilmiştir (Karakaya ve Sofuoğlu, 2015). Anlaşma, sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğun ortadan kaldırılması bağlamında BMİDÇS'nin uygulamasını geliştirmeyi hedeflemektedir. Anlaşmanın uzun dönemli hedefi, küresel ortalama sıcaklık artışının sanayileşme öncesi döneme göre 2°C altında tutulması; ilave olarak ise bu artışın 1,5°C'nin altında tutulmasına yönelik küresel çabaların sürdürülmesi olarak ifade etmektedir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı uyum kabiliyetinin ve iklim direncinin artırılması; düşük sera gazı emisyonlu kalkınmanın temin edilmesi ve bunlar gerçekleştirilirken, gıda üretiminin zarar görmemesi diğer bir temel hedef olarak belirtilmektedir. Son olarak, düşük emisyonlu ve iklim dirençli kalkınma yolunda finans akışının istikrarlı hale getirilmesi hedefler arasında yerini almaktadır. (URL-15, 2019). Anlaşma, Kyoto Protokolü'nden farklı bir şekilde hem gelişmiş hem de gelişmekte ülkeleri sorumlulukları noktasında uyarmaktadır. Bu doğrultuda taraf ülkeler, ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar çerçevesinde kendi kapasitelerini dikkate alarak Ulusal Katkı Beyanları (NDC) hazırlayacaklardır.

29 maddeden oluşan Paris Anlaşması'nın içeriğine bakıldığında ise 5 temel konunun öne çıktığı görülmektedir. Söz konusu konular ise aşağıdaki gibidir (SKD, 2015);

- Emisyonları azaltmak,
- İklim değişikliği konusunda mücadele kapsamındaki bütün hesaplama ve raporlamala işlemlerini şeffaf bir biçimde yapmak,
- İklim değişikliğine uyumu ülkeler nezdinde yükseltmek,
- İklim değişikliğinden dolayı uğranılan zararları gidermek,
- Ülkelere temiz bir gelecek tesis edilmesi amacıyla her türlü desteği sağlamak,

Yukarıda anlaşmanın kilit yönleri olarak adlandırılan kavramlar çerçevesinde (Paris Agreement, 2015);

- Ortalama küresel sıcaklık yükselmesinin mümkün olduğu surette 1,5°C’de tutulması (2°C’yi geçmeme) için çaba sarfedilmelidir.
- Her beş yılda bir ülkelerin ulusal katkı beyanlarını güncellemeleri gerekmektedir.
- 2020 yılı itibariyle söz konusu ülkelerin düşük sera gazı salımlı kalkınma stratejilerini uzun vadeli olarak Sekretaryaya bildirmelidir.
- Yeşil İklim Fonunun desteğinin, gelişmekte olan ülkeler için hızlandırması gerekmektedir.
- Gelişmekte olan ülkelere, finans, teknoloji ve kapasite konusunda gelişmiş ülkelerin desteği olmalıdır.
- Gelişmekte olan ülkelerin “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluk” ilkesi gereği sera gazı azaltma çabalarını sürdürmesi, gelişmiş ülkelerin ise salınım azaltma yükümlülüğünü üstlenmeleri gerekmektedir.
- Özel olarak uyum noktasında kısıtlamaları bulunan ve bu konuda kırılganlıklara sahip olan ülkelerin, iklim değişikliği sonucunda ortaya çıkan olumsuz etkiler neticesinde öncelik ve gereksinimleri dikkat edilmelidir.

İklim değişikliği ile küresel mücadelede bir dönüm noktası olan Paris Anlaşmasını 187 ülke imzalamıştır (Pınarcıoğlu, 2018). Türkiye ise Paris Anlaşması’nı, 22 Nisan 2016 tarihinde düzenlenen Yüksek Düzeyli İmza Töreni’nde imzalamıştır. Ayrıca Ulusal Beyanımıza istinaden Anlaşmanın “gelişmekte olan bir ülke” olarak imzalandığı belirtilmiştir (URL-16, 2019). Bu detaya göre ise Türkiye’nin, Eritre, Güney Sudan, Angola, Kırgızistan, Lübnan, Irak, İran, Libya, Rusya, Yemen ve Ummanla birlikte ülke dünyanın iklimle mücadelesinde en somut diplomatik hamle olarak kabul edilen anlaşmayı tam niyetle imzalamadığı görülebilmektedir.

1.4. Denizyolu Taşımacılığı ve Enerji Verimliliği

İklim değişikliği hususunda endişelerin gün geçtikçe artması, birçok endüstriyel alanda olduğu gibi denizyolu taşımacılığında da önemli girişimlere yol açmaktadır. Genel olarak bu girişimler gemiler ve limanların verimliliğinin artırılması yönünde çalışmalarından oluşmaktadır. Denizyolu taşımacılığında emisyonların azaltılması adına gemilerin verimliliğini arttırmak ve yakıt sarfiyatı tasarrufu odaklı birçok yasal düzenlemeler ve bu düzenlemelerin yanında birçok çalışmalar ortaya konulmuştur.

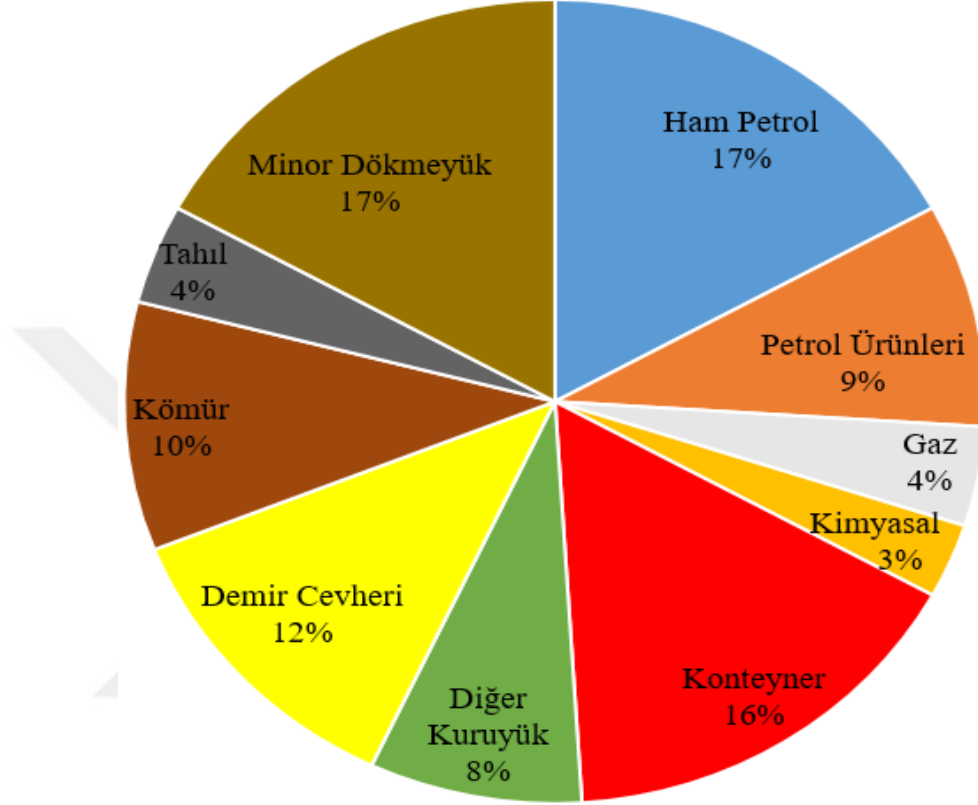
Artan ticaret hacmine paralel olarak büyüyen denizyolu taşımacılığı enerji verimliliği hususunun önemli parçası olan hava kirliliğinde bir paya sahiptir. Bu açıdan denizyolu taşımacılığının günümüzde ulaştığı nokta, gemi sayıları, gemi taşıma kapasiteleri ve yüklerin çeşitliliği açısından önem arz etmekte olup denizyolu taşımacılığının sürdürülebilirlik ilkesi gereği irdelenmesi gerekmektedir.

1.4.1. Denizyolu Taşımacılığı ve Konteyner Taşımacılığının Durumu

Denizyolu taşımacılığının başlıca paydaşları kuruyük, konteyner, tanker, Ro-Ro ve yolcu taşımacılığıdır. Dünya üzerindeki taşımaya konu olan tüm malların çeşitlerine göre ortaya çıkan kuruyük ve tanker tipi gemilerden sonra, 1960'lı yıllarda denizcilik piyasaları konteyner taşımacılığı ile tanışmıştır. Bu taşımacılık türünün ortaya çıkmasında, geleneksel dökme yük taşımacılığı çerçevesinde küçük kalan yüklerin taşınma ihtiyacının giderilmesi hususu rol oynamıştır. Dökme yük taşımacılığı çerçevesinde yapılan taşımacılık faaliyetleri, fazla maliyet, yoğun iş gücü ve uzun liman operasyonu süresi gerektirmektedir. Taşıma faaliyetlerinde bulunan firmaların belirtilen kötü koşullar nedeniyle taşıma işinden beklenen geliri elde edememelerinin yanında maliyetlerin düşürülmesi amacıyla günümüzde kullanılan konteynerler dizayn edilmiştir (Demirlioğlu 2008).

Konteynerler birden fazla çeşitte yükleri bir arada taşımak ve yüklerle ilgili katı-sıvı hal ayrımı yapılmasına gerek duyulmaması gibi avantajlara sahip olan, elleçlenmesi oldukça kolay olan taşıma araçlarından biridir. Bunun yanında yükleme, tahliye operasyonlarındaki hızlilik, depolama olanaklarındaki kolaylıklar açısından da zamanla daha çok tercih edilir konuma gelmiştir. Bu doğrultuda, konteyner taşımacılığı, konteyner içerisindeki bir yükün daha korunaklı muhafaza edilmesinden dolayı hem taşıtan hem de taşıyan için daha az riskli denizyolu taşımacılığı şekli olarak göze çarpmaktadır. Günden güne denizcilik piyasaları

içerinde konteyner taşımacılığının dünya üzerindeki tercih edilirliliği yükselmektedir. Denizyolu taşımacılığında başıca yük çeşitlerinin dağılımı şekil-2’de gösterilmektedir (DTO,2019):



Şekil 2. Denizyolu Taşımacılığı Yük Payları

Şekil 2’ de denizyolu taşımacılığı yükleri, milyon ton olarak petrol ve türevleri, kimyasal ve gaz ürünleri, konteyner, cevher, tahıl ve diğer dökme ve kuruyük çeşitleri olarak 10 farklı yük bazında verilmektedir. 2018 yılı verilerine göre, deniz taşımacılığında konteyner yükleri toplam yüklerin %16’sına, ham petrol ve minör dökme yük %17, petrol ürünleri %9’una, kimyasal %3’üne, gaz %4 üne, diğer kuruyükler %8’ine, demir cevheri %12’sine, kömür cevheri %10’una ve tahıl ise %4’üne tekabül etmektedir.

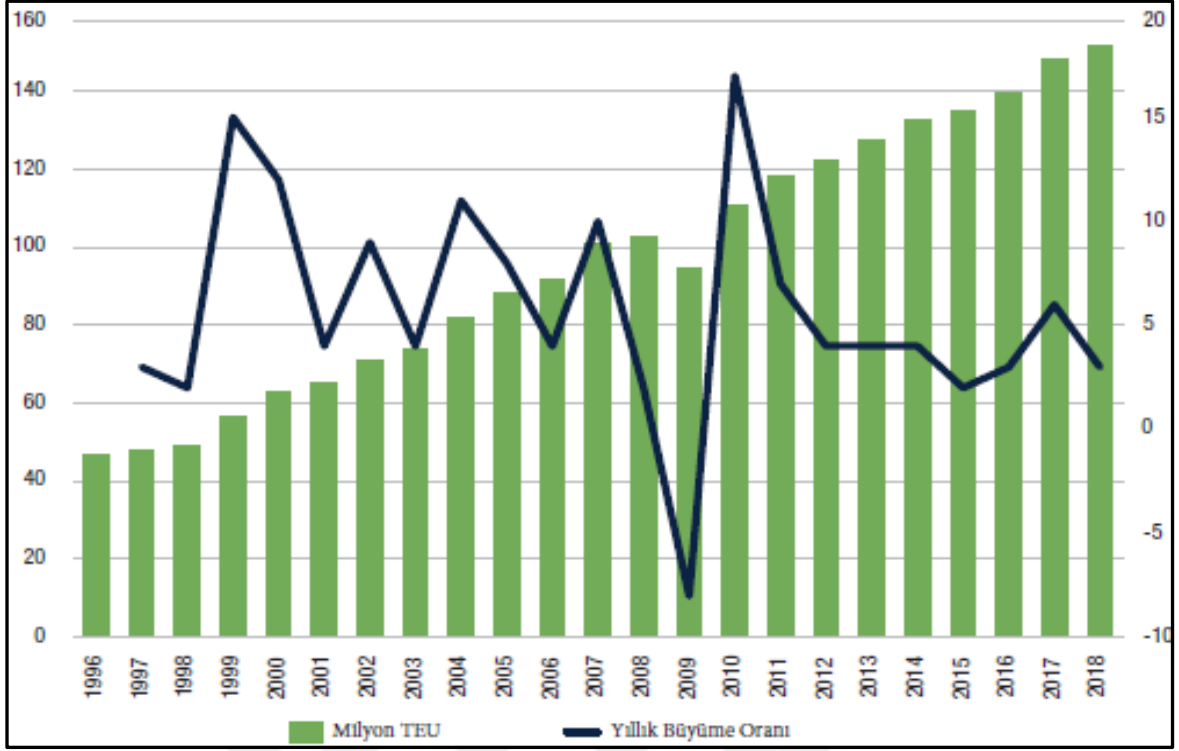
Dünya deniz ticareti filosu sayı ve dwt tonajı ölçüsünde konteyner tipi gemi durumu Tablo 2’de verilmektedir (UNCTADDC, 2019).

Tablo 2. Dünya Deniz Ticaret Filosu Gemi Sayıları ve DWT Tonajı

Yıl		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ham Petrol Tankeri	Sayı	9033	9241	9695	9935	10216	10420	10766
	DWT (bin)	472890	481579	490847	506132	535864	561079	567533
Dökme Yük	Sayı	9568	10162	10509	10747	10892	11125	11373
	DWT (bin)	686635	730296	762322	779565	795839	818613	842438
Kuruyük	Sayı	20282	19664	19566	19698	19716	19613	18993
	DWT (bin)	77589	74989	74538	75121	74961	74459	74000
Konteyner	Sayı	5107	5101	5111	5227	5158	5164	5269
	DWT (bin)	206547	216199	228230	244436	245762	252825	265668
Diğer Gemiler	Sayı	42494	43786	45589	46467	47280	47847	49894
	DWT (bin)	182090	185825	191480	200288	209815	217028	226854
Toplam Filo	Sayı	86484	87954	90470	92074	93262	94169	96295
	DWT (bin)	1625750	1688886	1747417	1805543	1862241	1924002	1976491

Tablo 2' ye göre 2013 yılında 5107 adet konteyner gemisi 206,547,000 dwtlik tonaja sahipken bu durum 2019 yılı itibari ile 5269 adet konteyner gemisine ve 265,668,000 dwtlik taşıma kapasitesine yükselmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda 2013 yılından 2019 yılına kadar dünya ticaret filosunda, gemi sayısı bazında %3,1'lik bir büyüme görülüyorken, dwt tonaj bakımından %28,6 dolaylarında bir büyüme görülmektedir. Toplam filoya bakıldığında ise 2019 yılı itibari ile dünya deniz ticaret filosunun gemi sayısı olarak %5,4'ünü konteyner gemileri oluşturuyorken, dwt tonaj olarak % 13,4'ünü tekabül etmektedir. Bir önceki yıla göre toplam filodaki kapasite artışı %2,7 iken, konteyner gemilerinde %5,1, dökme yük gemilerindeki taşıma kapasitesi artışı %2,9, ham petrol tankeri için %1,1 oranındadır. Sonuç olarak son yıllarda konteyner gemileri dökme ve hampetrol tankerlerine kıyasla daha hızlı bir büyüme oranını yakalamıştır.

Deniz ticareti konteyner filolarının büyüme oranı ve taşıma kapasitesi (TEU) bazında ulaştığı nokta Şekil 3' de verilmektedir (UNCTAD, 2019):



Şekil 3. Konteyner Taşımacılığı Hacmi ve Yıllık Büyüme Oranı

Şekil 3'e göre konteyner taşımacılığı, 2018'de 2017 yılına göre %2.6 artarak toplam 152 milyon TEU'ya ulaşmıştır. Bu büyüme aralığı, 2000'li yılların büyüme oranları ile karşılaştırıldığında son yirmi yılda kaydedilen ortalama yıllık yüzde 5,8 oranının yarısından azdır. Ayrıca 2018 yılında 2017'ye göre, büyüme oranı %6'dan %2.6'ya gerilemiştir.

Özetle dünya deniz ticaret filosu büyüme rakamları gemi DWT bazında 2012 yılından 2019 yılına kadar 444,377,000 ton artarken, konteyner gemilerinin taşıma kapasiteleri 68847 ton artmıştır. Bu da dünya çapında filo kapasitesinin artışının %29 iken, konteyner piyasasının artışı ise %35 seviyelerine ulaştığını göstermektedir. Deniz ticaret filosunun toplam büyüme oranı konteyner filosunun büyümesinin gerisinde kalmıştır. Bu veriler konteyner filosunun deniz ticaretindeki payının daha da arttıracağına mümkün olduğu konusunda fikir vermektedir.

Öte yandan UNCTAD ve Lloyds List kuruluşlarının deniz ticaretine yönelik tahminleri Tablo 3' de verilmektedir (UNCTAD, 2019):

Tablo 3:Uluslararası Deniz Ticareti Büyüme Tahminleri

Kuruluş	Büyüme Oranı (Yıllık)	Dönem	
UNCTAD	3.4	2019-2024	Deniz Ticareti
	4.5	2019-2024	Konteyner Ticareti
	3.9	2019-2024	Kuruyük
	2.2	2019-2024	Tanker Ticareti
Lloyd's List Intelligence	3.1	2019-2026	Deniz Ticareti
	4.6	2017-2026	Konteyner Ticareti
	3.6	2017-2026	Dökme Yük
	2.5	2017-2026	Sıvı Dökme Yük

UNCTAD kuruluşu 2019 yılı raporuna göre, 2019-2024 yılları arası sürece dair deniz ticaretinin yıllık büyüme oranı %3.4 iken konteyner taşımacılığının % 4.5, kuruyük taşımacılığının %3.9 ve son olarak tanker taşımacılığının ise %2.2 olarak öngörülmektedir. Bir başka kuruluş olan Lloyd's List, 2017 raporunda 2019-2026 yılları arasındaki dönemde deniz ticaretinin büyüme oranı %3.1 olarak tahmin etmekte olup 2017-2026 yılları arasındaki dönemde konteyner ticaretinin %4.6 oranında bir büyüme kaydedeceğini belirtilmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda konteyner ticaretinin deniz ticaretine oranla daha hızlı bir büyüme göstereceği düşünülmektedir. Kuruluşların tahminlerine göre konteyner taşımacılığı dünya genelinde büyüyen bir trend olarak karşımıza çıkmakta ve bu anlamda deniz taşımacılığındaki payının ise gün geçtikçe artacağı öngörülmektedir.

1.4.2. Denizyolu Taşımacılığının Hava Kirliliğine Etkisi

Denizcilik alanında hava kirliliğinin önlenmesine ilişkin bir takım çalışmalar ortaya konulmuş ve halen devam etmektedir. Dünya denizyolu taşımacılığında rol oynayan gemiler, operasyonları gereği limanlarda ve seyrüsefer hallerinde hava kirliliğine sebebiyet vermekte ve böylece sürdürülebilir denizcilik kavramı açısından çevre hassasiyeti çerçevesinde bir tehdit unsuru haline gelmektedir. Öyle ki, IMO hava kirliliğine önleyici tedbirleri almak adına birtakım zorunlu kurallar ortaya koymuştur. Bu kurallarla gelecek için yaşanabilir bir ortamın sağlanmasına yönelik küresel çabayı göz önünde bulundurursak, geçmişin bazı ticari faaliyetlerinin ve endüstri uygulamalarının değiştirilmesi gerektiğinin farkında olunmalıdır.

Küresel ticaretteki artışla birlikte gemi kaynaklı emisyonlar, yerel ve küresel çevredeki gaz ve partikül emisyonlarının önemli ve artan bir kaynağı haline getirmektedir. Örneğin, Avrupa Birliği'nde gemiler tarafından oluşturulan NO_x ve SO_x emisyonunun 2020 yılına kadar kara kaynaklı emisyon miktarını aşacağı tahmin edilmektedir (Borkowski ve Tarnapowicz, 2012). Bu tahmin, gemilerin doğal çevre üzerindeki olumsuz etkilerini sınırlama yollarını bulma sürecini de yoğunlaştırmıştır. Literatürde bu sağlıksız tutuma işaret eden net bir şekilde ortaya konulmuş kanıtlar mevcuttur (Corbett vd., 2009; Endresen vd., 2003). Denizciliğin küresel ölçekte hava kirliliğindeki karbondioksit gazı salınımı payı Tablo 4'de verilmektedir (IMO GHG, 2014 ve ICCT, 2017).

Tablo 4. Deniz Taşımacılığının Karbondioksit Gazı Salınımı Payı

	III. IMO Sera Gazı Salınımı Çalışması (Milyon Ton)						ICCT		
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Küresel Karbondioksit Salınımı*	31,959	32,133	31,822	33,661	34,726	34,968	35,672	36,084	36,062
Uluslararası Denizyolu Taşımacılığı	881	916	858	773	853	805	801	813	812
İçsuyolu Taşımacılığı	133	139	75	83	110	87	73	78	78
Balıkçılık	86	80	44	58	58	51	36	39	42
Toplam Denizyolu Taşımacılığının Oranı	1,100 3.5%	1,135 3.5%	977 3.1%	914 2.7%	1,021 2.9%	942 2.6%	910 2.5%	930 2.6%	932 2.6%

*Küresel CO₂ tahminlerine fosil yakıt kullanımı ve endüstriyel proseslerden kaynaklanan CO₂ dahildir.

Tablo 4'e göre denizyolu taşımacılığı üç ana kategoride incelenmektedir. 2007 yılında denizyolu taşımacılığının küresel karbondioksit gazı salınımındaki payı %3.5 iken, 2011 yılında %2.9'a, 2015 yılında ise %2.6'ya gerilemiştir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü'nce gerçekleştirilen deniz taşımacılığı kaynaklı sera gazı etkisi üzerine yapılan bir çalışma, 2007'den 2012'ye kadar küresel karbondioksit emisyon oranının %3,1'inin deniz taşımacılığı kaynaklı olduğu vurgulanmaktadır. Yapılan yasal düzenlemelere rağmen emisyonun artması da beklenmektedir (Smith vd., 2015).

Gelecekteki ekonomik ve enerji gelişimine bağlı olarak, bu artış % 50 ila % 250 arasında bir değerde olabilir. Bu nedenle, sürdürülebilir kalkınmanın sürekliliğini sağlanması noktasında emisyonlardaki artışı indirmek için daha fazla önlem almak gerekmektedir. Buhaug (2009)' a göre ise deniz taşımacılığı sektörü küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık % 3'ünden sorumlu olduğu için bu sektörde ciddi çalışmalarda bulunulmalıdır. Bazari ve Longva'nın (2011) IMO'ya verdiği bir raporda, sektördeki büyüme nedeniyle bu önlemlere rağmen emisyonların artmaya devam edeceği gösterilmiştir. Burada konu olan emisyon karbondioksit gazının yanında azotoksit ve kükürt bileşenli gazlardır. Öyle ki karbondioksit, taşımacılık faaliyetlerinden kaynaklanan toplam sera gazı emisyonlarının % 93-95'ini oluşturmakta olup, kalan % 5-7'si azot oksitler ve farklı kükürt bileşikleri gibi diğer gazlardan oluşur (CEFIC ve ECTA 2011). Denizyolu taşımacılığı kaynaklı karbondioksit gazı dışındaki gazların salınım durumu aşağıda verilmektedir (ICCT, 2017).

Tablo 5. Deniz Taşımacılığı Kaynaklı Diğer Gazların Salınımı

Kirlenici Tipi	III. IMO Sera Gazı Salınımı Çalışması (kiloton, kt)						ICCT (kiloton, kt)		
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Azotoksit	22,801	26,639	20,756	18,756	20,310	19,002	18,426	18,398	19,062
Kükürtoksit	11,581	11,892	11,646	10,550	11,632	10,240	10,355	10,361	10,457
PM	1,622	1,679	1,574	1,432	1,563	1,402	1,475	1,504	1,492
CO	998	1,039	921	893	975	936	797	809	814
NM VOC	827	858	739	683	741	696	781	786	795

Tablo 5, 2007'den 2015'e kadar hava kirlenici diğer gazların emisyonlarını göstermektedir. Azot oksitler 2013-2015 arasında en fazla % 3,5 dolaylarında artarken, kükürt oksitler en az yaklaşık % 1 oranında arttığı görülmektedir.

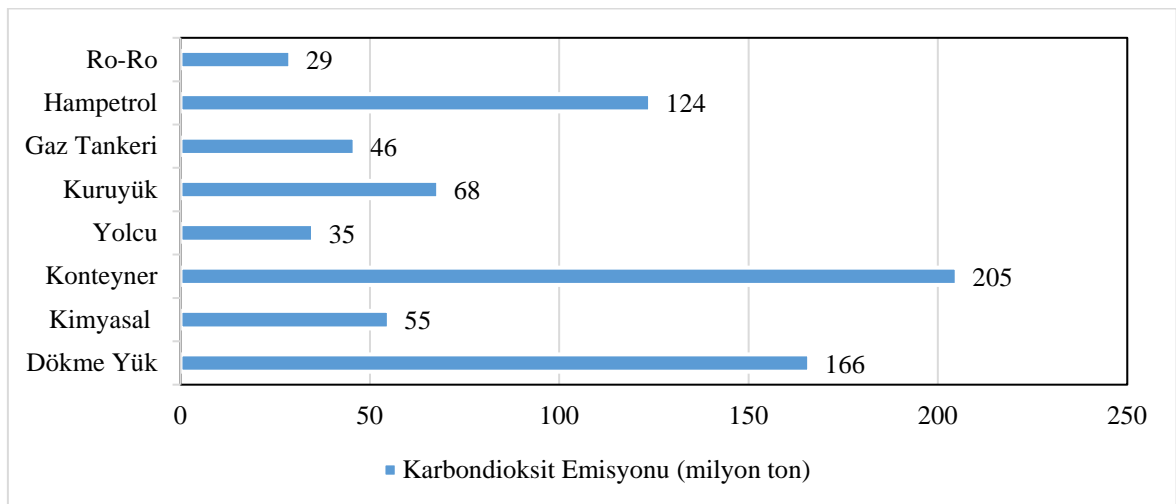
Denizcilikte, hava kirliliğinin önlenmesine ilişkin en kapsamlı çalışma IMO tarafından yapılan, gemiler tarafından salınan sera gazlarının önlenmesi konulu "Greenhouse Gas Study" çalışmalarıdır. Bu çalışmalar, 2000 yılından itibaren ortaya koyulmuş olup son olarak 2014 yılında üçüncüsü yapılmıştır. Dördüncü Greenhouse Gas çalışmaları halen devam etmekte olup çalışmanın nihai raporu, 2020 sonbaharında yapılacak Deniz Çevre Koruma Komitesi'nin 76. oturumuna sunulacaktır (IMO Circ.Letter No.3971). 2000 yılında yapılan ilk çalışmaya göre, uluslararası ticarete rol oynayan gemilerden kaynaklı sera gazı

salınımlarının hava kirliliğine etkisi %1.8 olarak belirtilmiştir. 2009 yılındaki ikinci çalışma da bu oran %2,7 dolaylarında olduğu, 2014 yılında ortaya konulan üçüncü çalışmada %2,2 oranında etki ettiği belirtilmiştir (URL-20, 2020). Uluslararası deniz taşımacılığı kaynaklı emisyonlar 2018 yılı için %1,8 oranındadır. Bu durum 2015 yılından itibaren %2,2'lik artışa işaret etmektedir (EDGAR, 2019). Nisan 2018'de kabul edilen ilk strateji, gemi kaynaklı sera gazı emisyonlarını 2050 yılı için en azından %50 oranında azaltmaktır (UNCTAD, 2018).

UNCTAD verilerine göre, toplamda, 1 Ocak 2019 itibari ile gemilerin % 1,58'i kükürtoksit, % 0,53'ü azotoksit emisyonlarını azaltmak için bir sistem kurmuş veya sipariş etmiştir. Konteyner filosunda bu oran %5,05 iken Dökmeyük gemilerinde %4,03, Hampetrol tankerlerinde %3,71'dir. Scrubber sistemi kullanımında, en büyük pay Yunanistan (tescilli gemilerinin yüzde 9,25'i), ardından Marshall Adaları (yüzde 8,64) ve Malta (yüzde 7,64)' nındır (UNCTAD, 2019). Emisyonları azaltma noktasında scrubber denilen sistemlerin yanında alternatif yakıt kaynaklarının kullanımı ve farklı standartlardaki makine kullanımı da bir anlamda hava kirliliğini önleyici diğer tedbirlerdendir.

1.4.2.1. Konteyner Taşımacılığının Hava Kirliliğine Etkisi

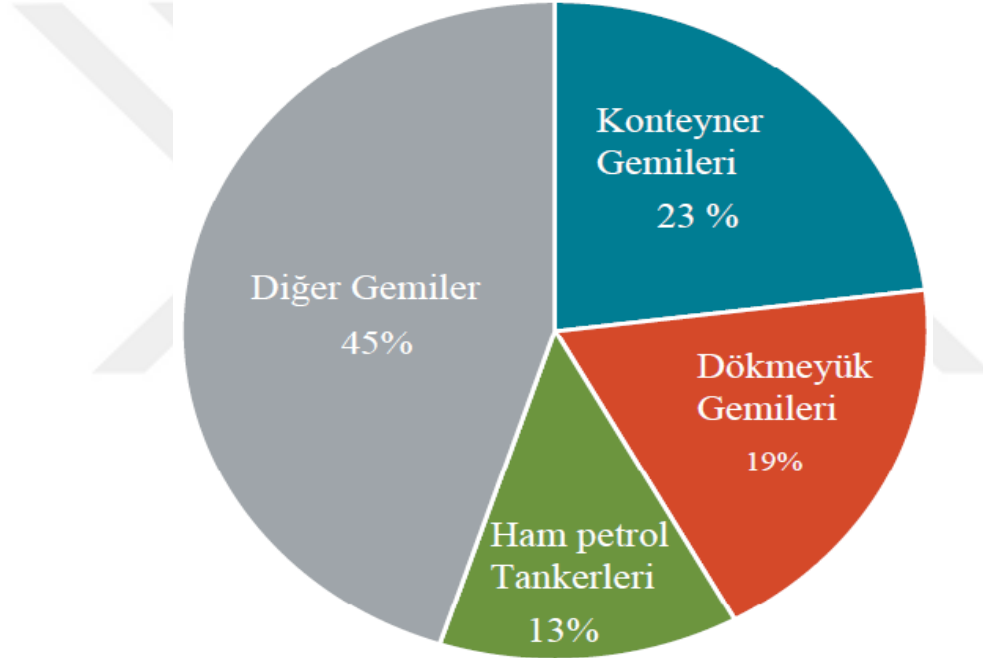
Konteyner taşımacılığı, gün geçtikçe artan hacmiyle deniz ticaret filosunun önemli bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Deniz ticaretinde rol olan gemi türlerinin adet bazında %5,4'ünü, dwt tonaj olarak % 13,4'ünü konteyner gemileri oluşturmaktadır. IMO'nun 2014 yılı çalışmasında, gemilere göre karbondioksit salınımı şu şekildedir (IMO GHG, 2014):



Şekil 4. Gemi Tiplerine Göre Karbondioksit Emisyonu

Buna göre karbondioksit salınımı 205 milyon tonla en fazla konteyner tipi gemilerden kaynaklanmaktadır. Dökme yük tipi gemiler bakıldığında ise bu salınım 166 milyon tona, kuruyük tipi gemilerde ise 68 milyon tona düşmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda deniz ticaret filosunda en fazla karbondioksit salınımı yapan filo konteyner gemileridir. Günümüzde denizyolu taşımacılığı, dünya CO₂ emisyonunun oranının % 25'i mevcut faaliyette olan konteyner gemileri tarafından salınmaktadır (Jepsen vd., 2011).

Öte yandan 2014 yılındaki IMO'nun GHG çalışmasından sonra, Uluslararası Temiz Ulaşım Konseyi (ICCT), gemilerden kaynaklı sera gazı salınımı konusunda son olarak 2013-2015 yılına dair verileri açıklamıştır. Bu veriler aşağıda verilmektedir (ICCT, 2017):



Şekil 5. Gemi Tiplerine Göre Karbon Emisyon Oranı

Şekil 5'e göre konteyner gemileri, dökme yük gemileri ve petrol tankerleri, karbon emisyonlarının % 55'ini yaydığı belirtilmektedir. Bu doğrultuda gemi kaynaklı hava kirliliği oluşumunun %23'ünün konteyner gemileri kaynaklı olduğu dikkat çekmektedir. Konteyner gemilerin adet ve dwt tonaj açısından deniz ticaret filosunun en büyük paya sahip gemi türü olmadığı görülse de hava kirliliğine kattıkları pay açısından diğer gemi tiplerine göre daha fazla kirlletici oldukları görülmektedir.

1.4.3. Denizyolu Taşımacılığında Enerji Verimliliği Düzenlemeleri

Birleşmiş Milletler'in sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde belirlediği 17 hedef doğrultusunda çalışmalarını sürdüren IMO'nun gemilerin çevre duyarlılığını arttırmak ve gemiler için çevre kurallarını koymak amacıyla oluşturduğu en temel yasal düzenleme MARPOL sözleşmesidir. Sözleşme kapsamında 1997 yılında kabul edilen ve 2005 yılında yürürlüğe giren Ek VI bölümü, gemi kaynaklı emisyonlar içerisindeki kükürt oksitler ve azot oksitler dahil olmak üzere ana kirleticileri sınırlandırmakta ve ozon tabakasına zarar verici maddelerin salınımlarını düzenlemektedir. Bu doğrultuda, denizcilik alanında enerji verimliliği düzenlemeleri, MARPOL EK VI'nın 4. bölümüne "gemiler için enerji verimliliği düzenlemeleri" olarak eklenmiştir. Bu düzenlemeler içerisinde Enerji Verimliliği Tasarım Göstergesi (EEDI) ve Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) bulunmaktadır (Banks vd., 2013). IMO Deniz Çevre Koruma Komitesi'nin Enerji Verimliliği Tasarım Göstergesi ve Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı'nı zorunlu kılınması kararının MARPOL sözleşmesinin Ek VI'na eklenmesi, Kyoto Protokolünden bu yana denizcilikte kabul edilen ilk hukuksal bağlayıcı iklim değişikliği ile mücadele kuralı olarak göze çarpmaktadır (IMO Res., 2011).

Denizcilik endüstrisinde, 1 Ocak 2013 tarihinde yürürlüğe giren denizcilik enerji verimliliği düzenlemelerinin eklenmesi ile enerji verimliliği konusunda önemli değişiklikler görülmektedir. (Moller, 2012; Armstrong, 2013; Jackson ve Mccann, 2013; Berglund, 2013). 1 Ocak 2013'ten bu yana, kurallar çerçevesinde tüm yeni gemilerin Enerji Verimliliği Tasarım Göstergesine uyması ve tüm gemilerin bir Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı taşıması gerekmektedir (Johnson vd., 2014). EEDI yeni gemiler için tasarım sınırları ve düzenlemelerini ortaya koyarken, SEEMP ise mevcut ve yeni gemilerin günlük operasyonlarını iyileştirici adımları içermekte ve bu doğrultuda verimliliği arttırmayı hedeflemektedir (Poulsen ve Johnson, 2016). Tüm bu düzenlemelerin ve değişikliklerin yanı sıra, gemilerin sefer alanlarına yönelik sera gazı salınım sınırlarını düzenleyici emisyon kontrol alanları ve sülfür emisyon kontrol alanları ile ve makine özelliklerine ilişkin de kurallar ortaya koyulmuştur (URL-1, 2019).

1.4.3.1. Enerji Verimliliği Dizayn Göstergesi

Enerji verimliliği dizayn göstergesi, enerji tasarrufu yüksek ve bu doğrultuda daha az kirletici ekipman ve makine sistemleri kullanımını teşvik etmeyi amaçlayan, yeni gemilere yönelik en önemli enerji verimliliği teknik önlemdir (IMO Res., 2011). Söz konusu EEDI, 400 gross ton ve üstü, türbin, hibrit ve dizel-elektrik sevk gücü sistemine sahip gemiler dışındaki yeni gemilerin teorik yöntemlerle karbondioksit salınımı performanslarının ölçülmesi amacıyla geliştirilmiş olup, gemi makine ve dizayn performans verilerinden hesaplanmaktadır (Yılmaz, 2013).

400 Grosston ve üzeri, uluslararası sefer yapan ve 1 Ocak 2013 tarihinden itibaren inşa edilen, tüm yeni gemiler için “Ulaşılan Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi” (Ulaşılmış EEDI) değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değer, IMO’nun belirlemiş olduğu “Gerekli Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi” (Gerekli EEDI) değerinin altında veya eşit olması gerekmektedir (Beşikçi, 2015). Gerekli EEDI, MARPOL Annex VI Bölüm 4/21 nolu düzenlemede bulunmaktadır. EEDI hesaplama formülü genel olarak yapılan taşıma işi başına karbondioksit salınım miktarı tanımından yola çıkarak aşağıdaki şekilde gösterilir (MEPC.1/Circ 681, 2009):

$$EEDI = \frac{\text{CO2 Emisyonu}}{\text{Taşıma İşi}} \rightarrow EEDI = \frac{\text{Makine Gücü} \cdot \text{Saatlik Yakıt Sarfıyatı} \cdot \text{Karbon Faktörü}}{\text{Deadweight Tonnage} \cdot \text{Hız}} \quad (2)$$

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^* \right) + \left(\left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPPI} P_{PPI(i)} - \sum_{i=1}^{nPEff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{nPEff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)}{f_i \cdot \text{Capacity} \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

PME, PAE: Ana ve yardımcı makinelerin gücü

PPTI: Her bir şafttaki güç harcamı

PAEeff: Yenilikçi enerji tasarruflu mekanik teknolojisi sayesinde ana motor gücü azaltma

PEff: Yenilikçi enerjisi tasarruflu elektrik teknolojisi sayesinde yardımcı güç azaltma

CFME, CFAE: Karbon içeriğine dayalı yakıt tüketimi ile CO₂ emisyonu arasında boyutsuz dönüşüm faktörü

SFCME, SFCAE: Ana ve yardımcı makinelerin sertifikalı spesifik yakıt tüketimi

f_j: Gemiye özgü tasarım elemanlarını hesaba katacak düzeltme faktörü

f_i: Kapasiteyle ilgili teknik / düzenleyici sınırlamalar için kapasite faktörü

f_w: Hızın azalmasını gösteren boyutsal olmayan katsayı

f_{eff}: Herbir yenilikçi enerji verimliliği teknolojisinin kullanılabilirlik faktörü

1.4.3.2. Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi

EEOI (Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi), EEDI değeri gibi gemilerin CO₂ salınımlarına ilişkin verimlilik değeri vermektedir. Burada bir geminin dizayndan bağımsız olarak daha fazla verimli olabilmesi amaçlanmıştır. EEOI değişikliği, yeni inşa edilen gemilerin daha enerji verimli olacak şekilde tasarlanmasını sağlayarak, EEDI için gereklilikleri belirlemektedir. İsteğe bağlı olarak kullanılan EEOI, operasyonel performansın takip edilebilmesi için SEEMP ile birlikte bir kılavuz olarak sunulmuştur (IMO, 2009). Bu indeks yapılan sefer başına ve aynı geminin ardışık seferleri için ortalama olarak hesaplanmaktadır (Acomi ve Acomi, 2014). EEOI hesabı aşağıda verilmektedir:

$$EEOI = \frac{\text{Yakıt Sarfıyatı} \cdot \text{Karbon Faktörü}}{\text{Taşınan Yük} \cdot \text{Mesafe}} \rightarrow EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times CF_j}{m_{\text{Cargo}} \times D} \rightarrow \text{Ortalama EEOI} = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{Fj} \times CF_j)}{\sum_i m_{\text{Cargo}_i} \times D_i} \quad (3)$$

J: Yakıt tipi

i: Sefer numarası

FC_{ij}: Belirli seferdeki yakıt sarfıyatı kütlesi;

CF_j: Yakıtın karbondioksit dönüşüm faktörü;

m_{cargo}: Taşınan yük (Ton, TEU ya da yolcu)

D: Taşınan yüke veya yapılan işe karşılık gelen deniz mili cinsinden mesafedir.

1.4.3.3. Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı

Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı, gemi ve şirket arası koordine edilecek şekilde, geminin enerji tüketimini asgari düzeye indirmeyi amaçlayan, operasyonel ve teknik açıdan önlem ve tavsiyelerden oluşan rehber niteliği taşıyan bir plandır. 2012 yılının Mart ayında IMO tarafından yayımlanan MEPC.213 (63) kararında bulunan Gemilerde Enerji Verimliliği Yönetim Planı ile hedeflenen, gemi kaynaklı sera gazı salınımını azaltmak ve faaliyet çerçevesinde oluşan yakıt sarfıyatını düşürmektir.

Uluslararası sefer yapan, 400 groston ve üstü bütün gemilerde 2013 tarihi itibarıyla SEEMP bulundurulması gerekmektedir. SEEMP in amacı, hem şirket hem de gemi için gemi işletimi çerçevesinde enerji verimliliğini sağlamaktır. Bu doğrultuda, mevcut gemilerin ve şirketlerin birbirlerinden farklılık göstermesinden dolayı her gemi özelinde bir SEEMP ortaya konulmaktadır (Akpınar, 2014). SEEMP aynı zamanda denizcilik şirketlerine, örneğin Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi'ni izleme aracı olarak kullanarak, gemi ve filo verimlilik performansını zaman içinde yönetmeleri için bir yaklaşım sunmaktadır

(URL-17, 2019). SEEMP, bir geminin enerji verimliliğini arttırmak için, planlama, uygulama, izleme, öz değerlendirme ve gelişim olmak üzere dört ana adımdan oluşmaktadır (Lokukaluge vd., 2015). SEEMP' de enerji verimliliğine yönelik operasyonlar Tablo 6'da verilmektedir (IMO MEPC, 2013):

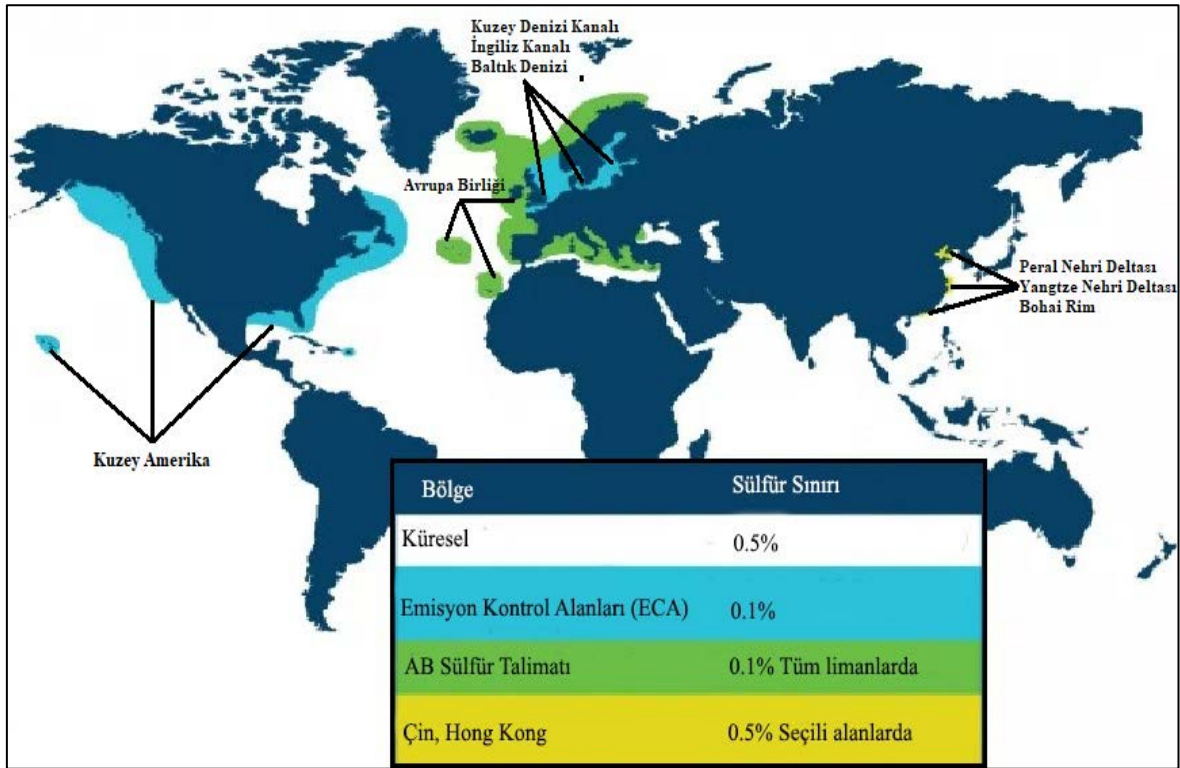
Tablo 6. SEEMP'deki Yakıt Verimliliği Operasyonları

Yakıt Verimliliği Operasyonları	<ul style="list-style-type: none"> • Sefer Planı Optimizasyonu • Hava Şartlarına Göre Rota Belirleme • Zamanında Varış • Hız Optimizasyonu • Şaft Gücü Optimizasyonu
Gemi Elleçleme Optimizasyonu	<ul style="list-style-type: none"> • Trim optimizasyonu • Balast Optimizasyonu • Pervane Optimizasyonu • Dümen ve Otopilotun Optimizasyonu
Tekne Bakımı	<ul style="list-style-type: none"> • Karina Kaplama • Karina Temizliği • Karina Boyama
Sevk Sistemi	<ul style="list-style-type: none"> • Sevk Sistemi Bakımı • Katkı Maddeleri Kullanımı • Silindir Yağlama Yağı Tüketiminin Ayarlanması; • Valf İyileştirmeleri; • Tork Analizi • Otomatik Makine İzleme Sistemleri
Atık Isının Geri kazanımı	<ul style="list-style-type: none"> • Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri
Geliştirilmiş Filo Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> • Filo Planlaması İyileştirmeleri
Geliştirilmiş Yük Elleçleme	<ul style="list-style-type: none"> • Liman Gereklarına Uygun Optimum Çözümler
Enerji Yönetimi	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrik Servislerinin Gözden Geçirilmesi • Isı Yalıtımı • Yüke Göre Depolama Kriterleri (Soğutma, Isıtma)
Yakıt Tipi	<ul style="list-style-type: none"> • Alternatif Yakıt Kullanımı
Diğer Önlemler	<ul style="list-style-type: none"> • Karbon Ayak İzi Oluşturulması, Yazılımlar vb.

Buna göre yakıt verimliliği operasyonları gemi enerji verimliliği yönetim planında yakıt verimliliği operasyonları, gemi elleçleme optimizasyonu, tekne bakımı, sevk sistemi, atık ısının geri kazanımı, geliştirilmiş filo yönetimi, geliştirilmiş yük elleçleme, enerji yönetimi, yakıt tipi ve diğer önlemler olmak üzere 10 farklı başlık altında değerlendirilmektedir. Yakıt verimliliği optimizasyonunda ise sefer planı optimizasyonu, hava şartlarına göre rota belirleme, hız optimizasyonu ve şaft hücüsü optimizasyonu önlemleri bulunuyorken gemi elleçleme optimizasyonu çerçevesinde trim ve balast optimizasyonu önlemleri gibi uygulamalar yer almaktadır.

1.4.3.4. Emisyon Kontrol Alanları

MARPOL EK-VI' daki önemli bir değişiklikte, hava kirleticilerinin belirlenmiş deniz alanlarında emisyonlarını daha da azaltmak için emisyon kontrol alanlarının getirilmesidir (URL-1, 2019). Bu kararla, IMO, SO_x, NO_x ve PM emisyonlarını azaltmaya yönelik iddialı hedefleri olan çeşitli alanlar için “Emisyon Kontrol Alanı” belirlenmiştir (Psaraftis ve Kontovas, 2013). IMO ve AB tarafından ve bölgesel olarak ilan edilen alanlar ve sülfür sınırları Şekil 6’ da gösterilmektedir (MARPOL Ek-VI; DNVGL, 2019).

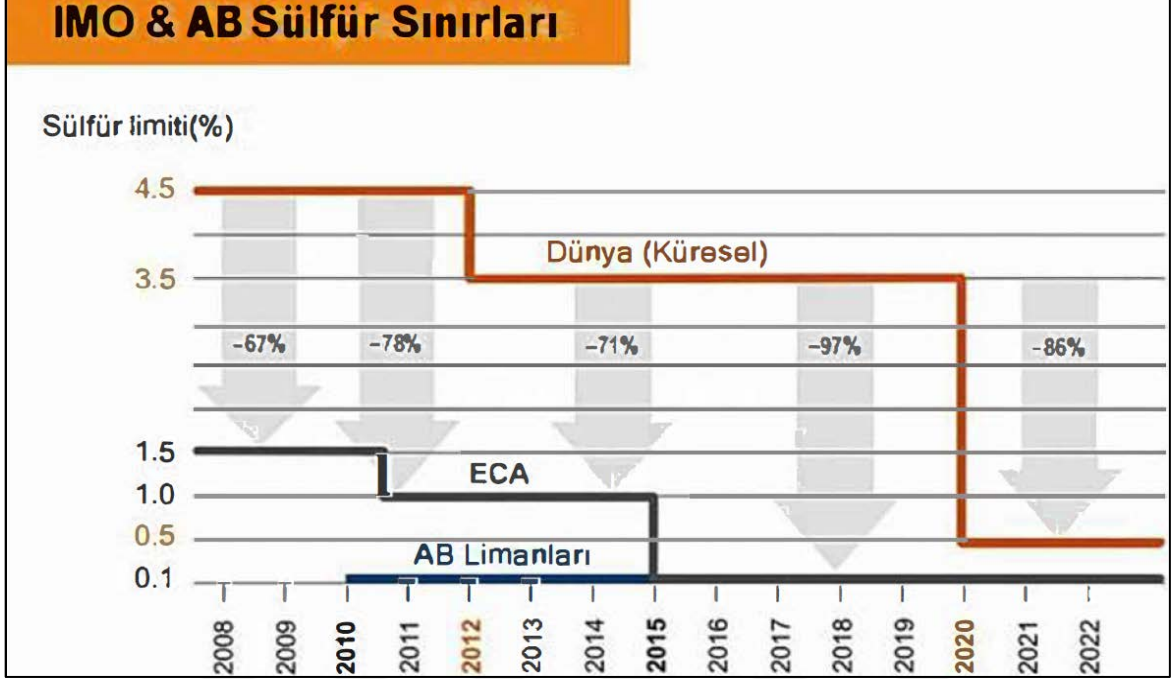


Şekil 6. ECA Bölgeleri ve Sülfür Sınırları

IMO tarafından belirlenen ECA alanları Kuzey Amerika bölgesi SO_x, NO_x ve PM, Birleşik Devletler Karayip Denizi bölgesi SO_x, NO_x ve PM, Baltık Denizi bölgesi sadece SO_x, Kuzey Denizi bölgesi sadece SO_x, Pearl, Tangtze Nehirleri Deltası Bölgesi SO_x ve NO_x, Bohai Rim Bölgesi SO_x ve NO_x şeklindedir. Ayrıca Avrupa Birliği ise sadece limanlarına yönelik %0,1 oranında sülfür emisyon sınırlarını ortaya koymuştur.

IMO, kademeli olarak SO_x Emisyon Kontrol Alanlarında faaliyet gösteren gemiler tarafından kullanılan akaryakıt üzerindeki kükürt limitleri için daha katı gereklilikler

belirlemiştir (Mallidis vd., 2018). Denizyolu ticaretine yönelik sülfür emisyonu gereklilikleri kronolojik olarak Şekil 7’ de verilmektedir (URL-18, 2019).



Şekil 7. IMO ve AB Sülfür Sınırları

Buna göre küresel çapta 2012 yılına kadar %4,5 oranında olan sülfür sınırı, 2012 sonrasında %3,5'e, 1 Ocak 2020 itibari ile %0,5'e çekilmiştir. ECA olarak ilan edilen alanlarda ise 2010 öncesi %1,5 olan bu oran 2010'dan sonra %1'e, 1 Ocak 2015'den sonra ise %0,1'e düşürülmüştür. AB ise limanlarına yönelik 2010 yılından itibaren %0,1 oranlı sülfür sınırlaması getirmiştir.

ECA Bölgeleri, AB ve küresel ölçekteki düzenlemelerin yanı sıra başka alanlarda da yakıt emisyonlarına yönelik düzenlemeler bulunmaktadır. California suları için oluşturulan “CARB Kuralları (California Air Resources Board Regulations)” gereğince %0,1 oranında sülfür içerikli yakıtı müsaade edilmektedir. Çin Halk Cumhuriyeti'nde ise 1 Ocak 2020'den itibaren, iç nehir kontrol alanına giren deniz araçları, sülfür içeriği% 0.1 m/m'den fazla olmayan deniz akaryakıtını kullanacaktır. Avustralya bu konuda % 0.5 oranını getirmiştir (URL-24, 2020). IMO' nun ECA bölgelerini Japonya, Norveç, Güney Amerika ve Akdeniz sularında da ilan edeceği tahminleri bulunmaktadır (DTO, 2019).

1.4.3.5. NO_x Bileşeni Açısından Uygulanan Kurallar

MARPOL Ek-VI uyarınca azotoksit bileşeni açısından da gemi kaynaklı hava kirliliği kuralları getirilmiştir. Buna göre IMO tarafından yayımlanan NO_x Teknik Kod, omurgası 1 Ocak 2000 tarihi ve sonrasında kızağa konulmuş gemilerde acil durum için kullanılmayan, gücü 130 kW'den büyük dizel makineler ile 1 Ocak 2000 tarihinden sonra ilgili sözleşmede tarif edilen şekilde büyük tadilata uğrayan dizel makinelerin NO_x gazı salınım limitlerinin sağlanması üç farklı kategoride ele alınmıştır. Bunlar Tablo 7'de gösterilmektedir (IMO Res., 2008):

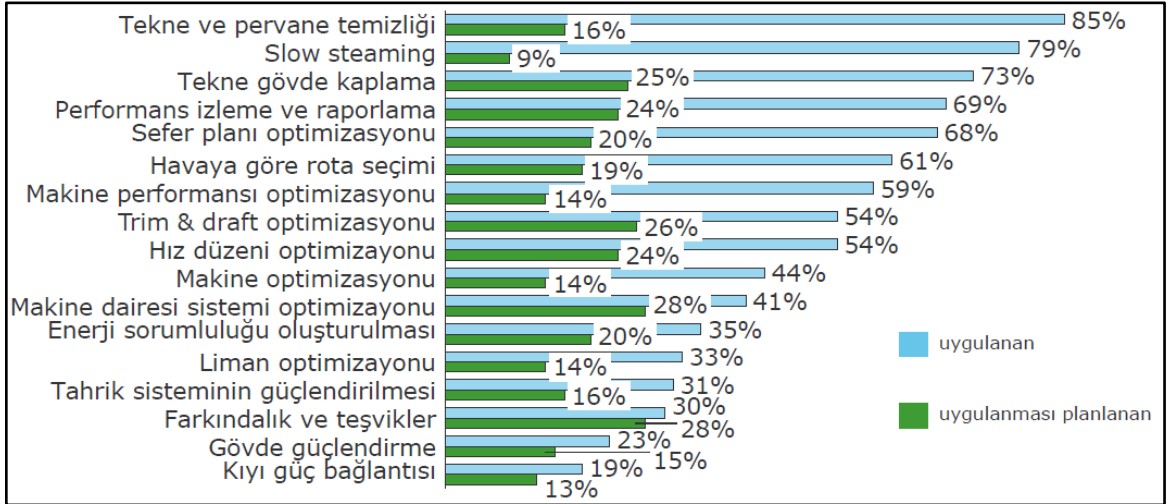
Tablo 7. NO_x Sınırlamaları

Tier	Gemi İnşa Tarihinde / Sonrasında	Toplam Emisyon Limiti (g/kWh)		
		n = Devir Sayısı (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 Ocak 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 12.1	9.8
II	1 Ocak 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ e.g., 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 Ocak 2016	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 2.4	2.0

Buna göre 1 Ocak 2000 tarihinden sonra inşa edilen makine devir sayısı $n < 130$ d/d olan gemilerin emisyon limiti 17,0 g/kWh (Tier I) olarak belirlenmiştir. Ancak bu değer 1 Ocak 2011 tarihinden itibaren 14,4 g/kWh'a (Tier II) çekilmiştir. 1 Ocak 2016 yılından sonra ise Tier III düzenlemesine göre sahile yakın belirli alanlarda çalışacak gemiler için NO_x emisyonlarının sınır değeri 3,4 g/kWh' a indirilmiştir. Belirlenen alanların dışında ise Tier II düzenlemesi aynen devam edecektir. 2000 öncesi inşa edilen gemilerde ise Tier I düzenlemeleri devreye girecektir.

1.5. Gemilerde Enerji Verimliliği Uygulamaları (Yeşil Gemi Uygulamaları)

Denizcilikte enerji verimliliği konsepti çerçevesinde birçok çalışmalar yapılmakta ve yeni yöntemler keşfedilmektedir. Denizcilik firmaları açısından bu çalışmalar teknik, operasyonel, insan kaynakları ve yönetim sistemi alanlarındadır. Bu doğrultuda denizcilik firmalarının ana unsurlarından olan gemiler çerçevesinde de birçok enerji verimliliği çalışmaları bulunmaktadır(Lokukaluge ve Brage, 2016; Lu vd., 2015; Zaccone vd., 2018; URL-21, 2020). Bu çalışmaların olduğu, enerji verimliliği ve çevreye duyarlılık esaslarına uyan gemiler için “yeşil gemi” kavramı kullanılmaktadır. Yeşil gemi; enerji verimliliğinin artırılması doğrultusunda gemi işletme maliyetlerinin azaltılması amacıyla çevre ve iklime duyarlı teknolojilerin devreye girmesi sonucunda ortaya çıkmıştır (Rajasekhar vd., 2016). IMO tarafından hazırlanan gemi enerji verimliliği yönetim planı çalışmasında katılımcı şirketler tarafından belirlenen en iyi operasyonel, teknik, insan kaynağı ve sistem yönetimi ve gelişimi konulu önlemler belirlenmiştir (IMO SEEMP, 2016). DNVGL (2015) klas kuruluşunun 80 adet denizcilik firmasıyla birlikte yaptığı çalışmada, denizcilik firmalarının gemi enerji verimliliği yönetim planındaki enerji verimliliği önlemlerinin uygulayabilme durumu Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 8. Denizcilik Firmalarının Enerji Verimliliği Önlemlerinin Uygulama Durumu

Buna göre çalışmaya katılan denizcilik sektörü firmalarının %85’i 2015 yılına kadar tekne ve pervane temizliği önlemini filolarında uyguladığı görülmektedir. Firmaların %16’sı 2015 yılından sonra bu önlemin planlandığını ifade etmektedir. Aynı şekilde trim draft

optimizasyonu bu firmaların %54'ünde, sefer planı optimizasyonu %68'inde, slow steaming % 79'unda uygulanmaktadır. Ancak trim draft optimizasyonu bu firmaların % 26 'sında, sefer planı optimizasyonu %20'sinde, slow steaming % 9'unda 2015 yılında sonra uygulanması planlanmaktadır.

Enerji verimliliğinin optimizasyonu konusunda uygulanan ve gelişmekte olan birçok yeşil gemi uygulamaları bulunmaktadır. Gemiye özgü uygulanacak olan söz konusu enerji verimliliği önlemlerini tekne yapısı ve bakımı, sevk ve manevra sistemleri, makine sistemleri, alternatif yakıt ve yenilebilir enerji kaynakları ve sefer yönetimi kapsamındaki yeşil gemi uygulamaları olmak üzere beş ana kategoride değerlendirmek mümkündür.

1.5.1. Tekne Yapısı ve Bakımı Kapsamındaki Yeşil Gemi Uygulamaları

Bu alandaki uygulamalar, tekne ve tekne bölümlerinin yapısal verimliliği, teknenin maruz kaldığı dirençlerin indirgenmesi ve tekne bakım tutumuna ilişkin konulardaki enerji verimliliğini optimize eden uygulamalardır. Bu uygulamaların bazıları şu şekildedir (ABS, 2012; IMO SEEMP, 2016; DNVGL, 2016; Alpha Marine, 2014; MEPC63/23, 2012):

- Gemi boyutunun yük kapasitesi açısından optimize edilmesi
- Gemi formunun dirençlere göre optimize edilmesi (baş, kış, bulb vb. yapıların tasarımı, trim kanatları vb.)
- Hava ile yağlama (air lubrication, air cavity, micro bubbles vb. uygulamalar)
- Hafif gemi inşası
- Tekne altı temizliği, parlatma ve kaplama (Farklı anti fouling boyalar kullanımı) vb.

1.5.2. Sevk ve Manevra Sistemleri Kapsamındaki Yeşil Gemi Uygulamaları

Bu alandaki uygulamalar, geminin sevk ve manevra sistemi bileşenlerinden pervane sistemi, şaft, dümen, baş-kış iter ve ana makineye bağlayıcı diğer bölümlerinin verimliliğinin artırılması için yapılan uygulamalardır. Bu açıdan sevk ve manevra sistemlerinin verimliliğinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan, pervanenin dizaynı çalışmaları, pervane temizliği ve bakımı, şaft, dümen ve baş-kış iter sistemlerine yönelik konulardaki enerji verimliliğini optimize eden uygulamalar şu şekildedir (Mizzi vd., 2017; ABS, 2012; Wartsila 2009):

- Pervane dizaynının optimize edilmesi (kanallı pervane-ducted propeller vb.)
- Değişik özellikteki sevk sistemi kullanımı- CPP (Kontrol Edilebilir Kanatlı Pervane), Padded V azimuth, büyük çaplı pervane kullanımı, kontra dönüşlü pervaneler vb.)
- Pervane temizliği
- Pervane boşluklarından oluşan direncin optimize edilmesi
- Pervane-dümen kombinasyonları optimizasyonu
- Skeg tasarımı
- Pervane verimliliğinin arttırıcı diğer ek donanımlar (anafor önleyici önlemler/pre-swirl devices, post-swirl devices, grothues spoilers, bose cap fins, schneekluthducts, grim vane wheels, becker mevis duct vb.)
- Steering gear iyileştirmeleri
- Dümen dizaynının optimize edilmesi (becker ve modifiye edilmiş diğer dümen tipleri vb.)
- Dümen verimliliğini arttırıcı ek donanımlar (dümen bulbleri, dümen itici finler, vb.)
- Şaft hattındaki verimlilik arttırıcı uygulamalar (şaft milin çapının azaltılması vb.)
- Baş ve kış iter donanımlarındaki dizayn değişimleri
- Pervane-dümen-şaft uyumu optimizasyon çalışmaları vb.

1.5.3. Makine Sistemleri Kapsamındaki Yeşil Gemi Uygulamaları

Gemilerde tekne ve sevk sisteminin yanında makine alanında birçok verimlilik çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalar geminin makine ve sistemlerinin tasarımı ve işletiminde mümkün olan verimlilik kazanımlarına yöneliktir. Bu doğrultuda ana ve yardımcı dizel makineleri ve diğer emisyon azaltıcı enerji verimliliği arttırıcı yardımcı ekipmanları kapsamaktadır. Özellikle IMO'nun Tier I-II-III olarak aşamalandırdığı NO_x gazı emisyonuna yönelik makine düzenlemeleri bu konuda belirleyici kurallar olarak göze çarpmaktadır (Azzara vd., 2014). Makine sistemlerinin teknolojileri ve bakım tutumuna yönelik uygulamalar aşağıdaki gibidir (ABS, 2012; Kaya ve Erginer, 2017; Alpha Marine, 2014; Wartsila, 2009; IMO SEEMP 2016):

- Sevk sistemi için dizel makine tipi seçimi (düşük-orta-yüksek devir seçeneği)
- Elektrik enerjisi üretimi için dizel makine tipi seçimi
- Elektronik kontrol
- Otomatik silindir yağı yağlayıcıları

- Egzoz gazı ve turboşarj kontrolü doğrultusunda azaltılmış yükte düşük özgül yakıt tüketimi (egzoz gazı baypası, değişken turboşarj alanı ve değişken türbin geometrisi, düşük steamde turboşarj devresi kesilmesi, makine kontrol ayarı)
- Commonrail (ortak hat) uygulaması
- CODED Makine (kombine dizel-elektrik ve dizel-mekanik makineler)
- Hibrit yardımcı güç üretimi
- Seçici katalitik indirgeme yöntemi(selective ve catalytic reduction system)
- Yakıt enjeksiyonlu sürgülü valf kullanımı
- Makine çalışma kapasitesinin azaltılması (engine de-rating) ve düşük RPM
- Düşük NO_x emisyon gereksinimlerine yönelik uygulamalar
- Farklı yakıt kaynaklarına yönelik ana makine tasarımı (LNG vb.)
- Ana makine verimliliği ölçüm cihazları (yakıt akış ölçer, şaft güç ölçer)
- Ana makine performans ölçümü ve kontrolü (dizel analizörleri, çevrimiçi analizörleri kullanarak düşük devirli dizel makine ayarı)
- Egzoz gazı ısı geri kazanımı - buhar
- Egzoz gazı ısı geri kazanımı - CO₂
- Yardımcı ekipmanlar için uygulamalar (şaft jeneratörü, gemi servis jeneratörlerinin sayısı, boyutu, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemleri, pompalar ve fanlar)
- Salım ve partikül tutma sistemleri-yıkayıcılar-exhaust gas scrubber (egzoz gazı arıtma cihazı, katalizli egzoz dizel partikül filtresi, dizel partikül filtresi)

1.5.4. Alternatif Enerji Kaynakları Kapsamındaki Yeşil Gemi Uygulamaları

Bu alandaki uygulamalar, gemilerin fuel oil ve dizel yakıt maddeleri dışındaki enerji kaynaklarının çeşitliliğini, potansiyel enerji kaynaklarını ve yürütücü güç yanında enerji üretiminin yenilebilir enerji kaynakları çerçevesinde elde edilmesini kapsamaktadır. Bu kaynaklar aşağıdaki gibidir (IEA, 2013; EMSA, 2015; Fernandez vd., 2010; De Marco vd.,2016; Eide vd. 2013; Eyüboğlu vd., 2017; Gilbert vd. 2018; Deniz ve Zincir, 2016; Kaya ve Erginer, 2017):

- LNG kullanımı (Sıvılaştırılmış Doğalgaz)
- CNG kullanımı (Sıkılaştırılmış Doğal Gaz)
- Ethanol kullanımı
- Metanol kullanımı

- Bio yakıtların kullanımı (bitkisel ve hayvansal yağlar, tek hücreli alglerin kullanımı)
- Yelken donanıtılması;
- Uçurtma kullanımı;
- Limanlarda elektrik bağlantısı,
- Rüzgar türbinleri kullanımı (yatay ve dikey eksenli türbinler);
- Fotovoltaik güneş panelleri kullanımı
- Yakıt pilleri kullanımı(Hidrojen esaslı)
- Enerji tasarruflu ekipmanların kullanımı (LED Ampul kullanımı, güneş enerjili aydınlatmalar)

1.5.5. Sefer Yönetimi Kapsamındaki Yeşil Gemi Uygulamaları

Gemilerin sefer yönetimi kapsamındaki yeşil gemi uygulamaları, bir geminin bir limandan kalkışından diğer limana varışına kadar gerçekleştirdiği sefer eylemi için özellikle yakıt sarfiyatı ve bu doğrultuda oluşan sera gazları emisyonunununa ilişkin iyileştirici uygulamalardır. Bu alanda uygulanmakta olan birçok önlem bulunmaktadır. Bu uygulamaların odak noktası gemi operatörünün/ kaptanının alacağı operasyonel önlemlerle seferin verimliliğinin artırılmasıdır.

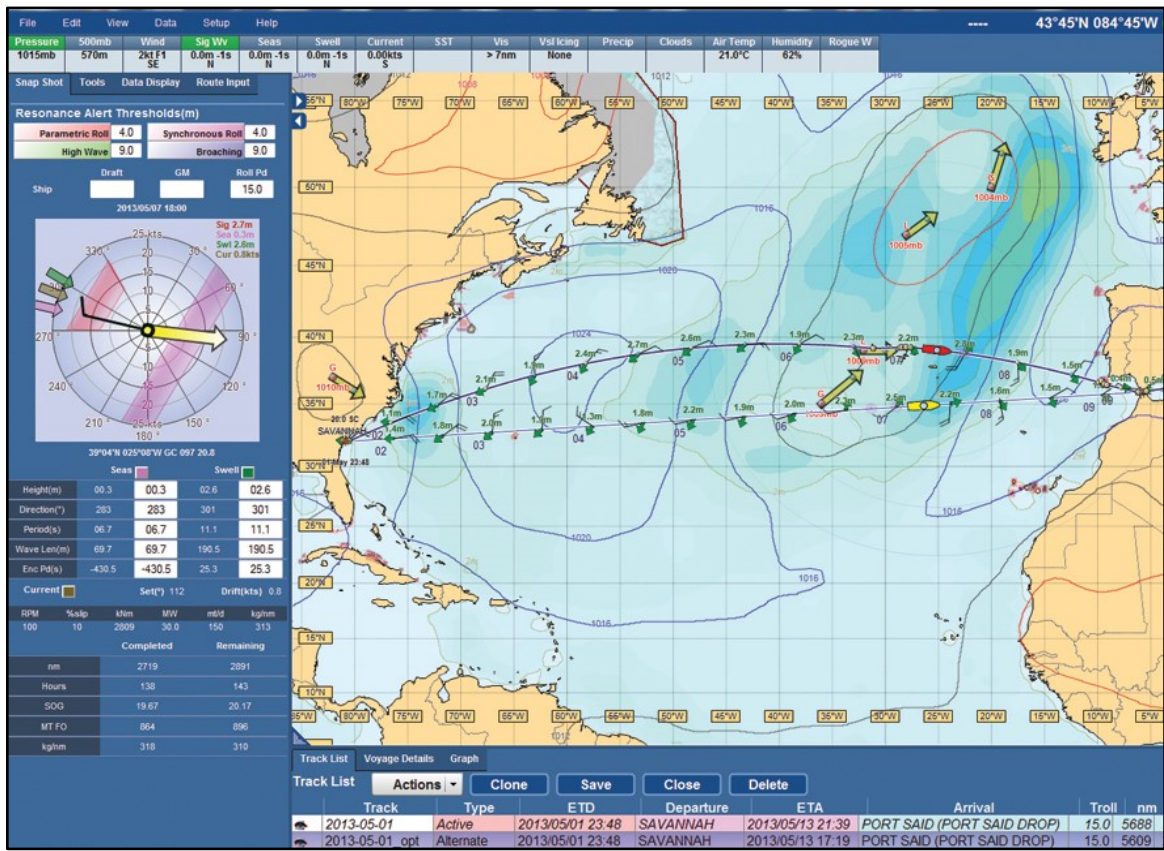
Sefer yönetimi kapsamındaki enerji verimliliği önlemlerinin uygulanması farklı sonuçlar doğurmaktadır. Sefer planı optimizasyonu, otomatik pilot ayarı ve trim optimizasyonu gibi operasyonel önlemlerinin olgunlaştığı ifade edilmektedir (Maddox Consulting, 2012). Ancak bu önlemlerin maliyeti ve tasarrufu konusunda kesin güvenilir bir bilgi bulunmamaktadır (Rehmatulla ve Smith 2015).

1.5.5.1. Sefer Planı Optimizasyonu

Seferlerin dikkatli bir şekilde planlanması ve yürütülmesi ile optimum rota ve yüksek verimlilik elde edilebilir. Geliştirilmiş sefer planı uygulaması, havaya göre rota seçimi (weather routing), sanal varış (virtual arrival) yöntemleri ve zamanında varış (just in time) prensipleri kapsamında sefer planının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Havaya göre rota belirleme, mevcut hava tahminlerine, gemi özelliklerine ve yük gereksinimlerine dayanarak bir gemi için “en iyi rotayı” geliştirme sanatı ve bilimidir (URL-22, 2020). Etkili bir hava yönlendirme sisteminin geliştirilmesinin ön koşulları, beklenen

varış zamanına kadar güvenilir hava tahminlerinin bulunması ve geminin deniz yolunda karşılaşılabileceği her koşulda davranışını, ulaşılabilir hız, yakıt tüketimi, gemi hareketleri ve emisyonlar açısından modelleme kabiliyetleridir (Vettor ve Soares, 2016). Havaya göre rota seçimi, geminin limana beklenen zamanda varması koşulu altında en az yakıt sarfiyatı ile seferinin tamamlanmasını amaçlamaktadır (Lin ve diğ., 2013). Bu uygulama, belirli rotalarda verimlilik noktasında yüksek bir potansiyel sağlamaktadır. Her tipteki gemi ve birçok ticaret bölgesi için belirli bir ücretle temin edilebilmektedir (MEPC.(70), 2016). Havaya göre rota seçimi programı görüntüsü Şekil 9’da verilmektedir (VPO Global, 2018):



Şekil 9. Havaya Göre Rota Seçimi Programı Görüntüsü

Sanal varış yöntemleri, hava modellerini analiz etmekte ve gemi varış zamanını hesaplamak ve kabul etmek için algoritmalar kullanmaktadır. Böylece gemiler “tam zamanında” ilkesine uymaya çalışmaktadır. Gemilerin varış limanlarına önce gelmemelerini sağlamak için bir gecikme olduğunda yavaşlamalarını sağlayan bir sistem içermektedir. Hızdaki azalma yakıt tüketiminin azalmasına ve böylece sera gazının ve diğer egzoz gazı emisyonlarının azalmasına neden olacaktır (INTERTANKO,2011).

Tam zamanında varış (JIT), limanda bekleme süresinden kaçınmak için gemi trafik yoğunluğu, gelgite bağlı liman derinliği değişimi ve diğer varış değişkenlerini dikkate alarak sefer süresinin planlanmasıdır (Green vd., 2008). Gemiler genellikle bir limana hızlı bir şekilde seyahat eder ve daha sonra uzun bir süresini uygun yanaşma yeri beklerken geçirirler. Bu durum, emisyonların artmasına neden olur. Bu sorunu çözümenin anahtarı, sefer sırasında uygun yanaşma yeri mevcudiyetini ve optimum hız kullanımını sağlamak için bir sonraki liman ile iyi bir erken iletişimde yatmaktadır (Sherbaz ve Duan, 2012). Bir sonraki limanla iletişime erken geçilmesi ritminin maksimum düzeyde kullanılmasının sağlamak ve gemi için optimum hızın ayarlanması noktasında kolaylıklar sağlayacaktır (MEPC.282/70, 2016).

1.5.5.2. Hız Optimizasyonu

Sefer yönetiminde, optimizasyonun sağlanması noktasında gemi hızı birçok açıdan önem arz etmektedir. Çevreye salınan sera gazı emisyonu, yakıt sarfiyatı ve tüm bu faktörlerin yanında gemilerin istenilen zamanda istenilen yerde olabilmesi şartları en uygun hız değerinin belirlenmesini etkileyen temel değişkenlerin başında gelmektedir. İşte bu noktada değişkenler düşünülerek yapılan hız optimizasyonu önemli tasarruflar sağlayabilmektedir. Optimum hız, ton/mil başına kullanılan yakıtın bir sefer için en az seviyede olduğu anlamına gelmektedir. Operasyonel düzeyde, piyasa koşullarına ve/veya yüksek yakıt fiyatlarına yanıt olarak hız azaltma uygulaması “slow steaming” olarak bilinmektedir (Psaraftis ve Kontovas, 2014). Bu durum RPM, Pitch gibi değişkenlerin ayarlanması ile yapılabilmektedir. Sabit shaft devrinin kullanılması; sürekli devir ayarlama seçeneğinde daha verimli olabilir. Dışarıdan müdahale yerine otomatik hız ve devir ayarlayıcı sistemler kullanılması faydalıdır. (MEPC.282/70, 2016).

Hız optimizasyonu şüphesiz ki havaya göre rota seçimi, sanal varış yöntemleri, zamanında varış, makine yönetimi gibi enerji tasarrufu sağlayan uygulamalar ile doğrudan ilişkilidir. Bu açıdan bu optimizasyonun sağlanması sefer yönetimine konu olan birçok uygulamanın doğru bir şekilde yorumlanmasına ve kullanılmasına bağlıdır. Filodaki her gemi, deniz taşımacılığı şirketinin filoları için planladığı rotalar ve programlar çerçevesinde bir servis hızına sahiptir. Ancak gerçekte, gemi diğer hızlarda da seyredabilmektedir. Normalde, bir geminin gerçekte gidebileceği hız aralığını tanımlayan minimum ve maksimum seyir hızları vardır. Yakıt tüketimi ve dolayısıyla belirli bir mesafeye gitme maliyeti, büyük oranda hıza bağlıdır (Norstad vd., 2011).

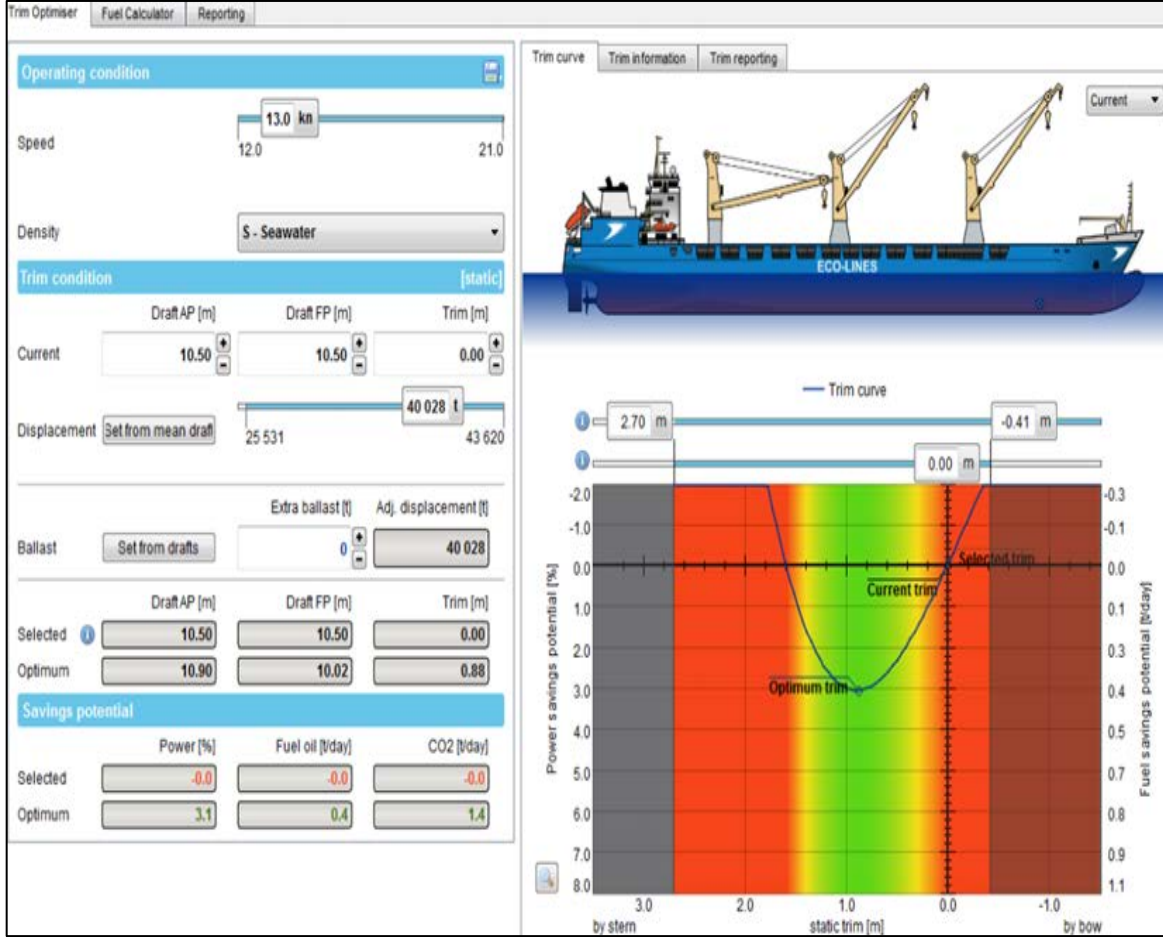
Birçok kiralama sözleşmelerinde geminin hızının operatör tarafından değil, kiracı tarafından belirlendiği kabul edilmektedir. Kiralama sözleşmesi şartlarını kabul ederken, enerji verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için gemiyi optimum hızda çalışmaya teşvik etmek için çaba gösterilmelidir (MEPC.282/70, 2016). Özellikle belirtilmektedir ki, operasyon önlemleri ile yakıt tüketimini azaltmanın en etkili yolu yavaş steam yöntemidir (Corbett vd., 2009). Kabaca bir hesap yapmak gerekirse, hızın iki katına çıkması, gereken gücün en az 8 kat arttırıldığına işaretler (ABS, 2012). Bu doğrultuda gücün bu noktalara kadar arttırılması yakıt sarfiyatını ve çevreye salınan sera gazı emisyonunu da doğrudan arttıracaktır.

1.5.5.3. Draft-Trim Optimizasyonu

Gemilerin draftı ile birlikte trim değerlerinin, sefer yönetimindeki verimlilik durumunu etkilediği birçok çalışmada belirtilmektedir (Armstrong, 2013; Park vd. 2015, Sherbaz ve Duan, 2014; Islam ve Soares, 2019; Abouelfadl ve Abdelraouf, 2016). Trim, gemilerin yüklü veya yüksüz durumda, maruz kaldıkları su direnci üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve bu doğrultuda trim optimizasyonu önemli ölçüde yakıt tasarrufu sağlayabilmektedir (MEPC.282/70, 2016). Trim optimizasyonu, gemi formunda veya makinesinde değişiklik yapılmasını gerektirmediği için IMO tarafından önerilen birçok yakıt tasarrufu önlemi arasında en kolay ve en ucuz yöntemlerden biridir (IMO MEPC, 2013). Genellikle en basit değişikliklerin en büyük kazancı sunması noktasındaki örneklerden birisi olan trim optimizasyonu, yakıtı asgari düzeyde tutmak için odaklanılan bir uygulamadır (Ziylan ve Nas, 2016).

Gemiler seferlerinin kayda değer bir bölümünü tasarım draftı değerleri dışındaki değerlerle yapabilmektedir. Yük, balast ve diğer ağırlıkların dağılımı genellikle farklı trim-draft değerlerine sebep olmaktadır (ABS, 2012). Gemilerde trim optimizasyonu uygun balastlama veya uygun yükleme planının seçilmesiyle yapılabilmektedir (Reichel vd., 2014) Bu değişken durum için birçok klas kuruluşu ve gemi izleme sistemi sağlayıcıları draft-trim optimizasyon hizmetleri sunmaktadır (Shivachev vd., 2017). Örneğin ticari açıdan, FORCE Teknoloji Kurumu, trim optimizasyonu alanındaki hizmet sunuculardan biridir. Tankerler, konteyner gemileri, LNG gemileri, Ro-Ro gemileri ve feribotlar dahil olmak üzere neredeyse 300 gemide trim optimizasyonu çalışması gerçekleştirmiştir (Islam ve Soares, 2019). Draft-

trim optimizasyonuna ilişkin geliştirilen program görüntüsü Şekil 10'da verilmektedir (DNVGL, 2013):



Şekil 10. Gemi Draft-Trim Optimizasyonu Programı

Birçok denizcilik şirketi, yakıt tüketimini azaltmanın etkili ve kanıtlanmış yöntemlerini aramaktadır. İşte bu konuda trim optimizasyonu, tahrik enerjisi verimliliğini artırarak yakıt tüketimini azaltmanın en verimli ve garantili yollarındandır (URL-23, 2020). Sonuç olarak trim ve draft optimizasyonu tüm gemi tipleri ve gemi yaşları için geçerlidir. Ancak bazı gemiler, örneğin yolcu gemileri gibi trim konusunda daha az esnekliğe sahiptir. Ayrıca, ballast konusunda daha az esnekliğe sahip gemiler (örneğin dökme yük), genellikle trim ve draft optimizasyonunu sınırlı şekilde uygulayabilmektedir. Daha uygun draft ve trim değerleri, teknenin maruz kaldığı dirençleri azaltmakta olup bu nedenle daha az yakıt tüketimine yol açan daha az makine gücü gerektirmektedir (URL-24, 2020).

1.5.5.4. Ballast Optimizasyonu

Gemilerin sefer verimliliğinin artırılmasında balast suyunun önemi gemi deplasman tonajında yapacağı değişiklikten dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu doğrultuda değişen tonaj hem geminin su altı hacminde hem de ağırlığında bir değişiklik getirecektir. Böylece gemiye etki eden su dirençleri ve gereken makine gücü de değişecek, geminin sevk elemanlarının da performansı etkilenecek ve dolayısıyla enerji verimliliği noktasında geminin yakıt sarfiyatı ve çevreye saldıgı sera gazı emisyonu da farklılık gösterecektir. Geminin balast durumu, optimum trim, sevk ve stabilite koşulları göz önüne alınarak iyi bir yük planlaması çerçevesinde optimize edilmelidir. Optimum balast koşullarını belirlerken, geminin Balast Suyu Yönetim Planında belirtilen sınırlamalar, koşullar ve balast yönetim düzenlemelerine uyulmalıdır. Balast durumunun sevk ve otopilot ayarları üzerinde önemli bir etkisi bulunmakta olup daha az balast suyunun mutlaka en yüksek verimlilik anlamına gelmediğine dikkat edilmelidir (MEPC.282/70, 2016). Bu nedenle, balast operasyonu sadece gerektiğinde kullanılmalı ve dikkatle planlanmalıdır (Sherbaz ve Duan, 2012).

Gemilerin dizayn aşamasında, taşınacak balast suyu miktarının optimizasyonu yapılsa da (Köpke vd. 2014), değişen sefer koşulları göz önüne alınarak bu optimizasyonun gemi personeli tarafından da gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Şüphesiz ki gemiler, stabilite nedenlerinden dolayı balast suyu taşımaktadır, ancak çoğu zaman gemi personeli mantıksız derecede temkinli davranmakta olup ve çok fazla balast taşıma alışkanlığına sahiptir. Bu tür uygulamalar aşırı yakıt tüketimine neden olmaktadır (Poulsen ve Friese, 2015).

1.5.5.5. Oto-Pilot ve Rota Kontrol Sistemlerinin Optimizasyonu

Oto-pilot ve rota kontrol sistemlerinin etkili kullanımı, gemilerin seferin verimliliğinin artmasında rol oynamaktadır. Oto-pilot, gemilerde serdümen ihtiyacını ortadan kaldıran, planlanan rotanın takibi açısından ortam şartlarına yönelik yapılabilen ayarlamaları ile gemi kullanıcılarına kolaylık sağlayan önemli bir yardımcı seyir cihazıdır. Oto-pilot, gemilerde köprüüstü ekibinin kullanımı için geliştirilen, gemiyi rotada tutmasıyla kat edilen seyir mesafesinin azalmasına ve dümen hareketlerinin küçülmesine ve bundan dolayı gemi direncinin ve dolayısıyla gereken makine gücünün düşmesine neden olan yardımcı bir araçtır (Beşikçi, 2015).

Oto-pilot sisteminin kullanımıyla, daha küçük ve daha seyrek düzeltmeler yapılarak daha uygun bir şekilde rota takibinin yapılması, dümen direncinden kaynaklanan enerji verimliliği kayıplarını minimize edecektir (MEPC.282/70, 2016). Dümen hareketleri gövdeye ek bir sürtünme direnci eklemekte ve direnci arttırmaktadır. Rotayı değiştirmek için uygulanan dümen açısı miktarını en aza indirmek yakıt tasarrufu sağlayacaktır (ABS, 2012). Geçerli rota ve operasyon alanına uygun doğru otopilot parametrelerini bulmak, dümenin kullanımını önemli ölçüde azaltır ve böylece rotadan düşme miktarı da asgariye inmektedir.

Otopilotun uygun ve doğru bir şekilde kullanımı ile, rotadan düşmenin minimize edilmesi ve dolayısıyla tekrar doğru rotanın takibi için uygulanması gereken dümen açılarını azaltarak gerekli enerjinin sarfiyatının düşürülmesi sağlanmaktadır (Le ve Nguyen, 2000; Nguyen vd., 2004). Bu noktada daha etkin bir otopilot sisteminin mevcut gemilere uyarlanması verimlilik açısından önemlidir. Bugün en iyi otomatik pilotlar kendi kendini ayarlayabilen, uyarlanabilir (adaptive) otomatik pilotlardır (Wartsila, 2009).

1.5.5.6. Yük Optimizasyonu

Gemilerde sefer yönetiminin önemli bir parçası da taşınacak yükün uygun stabilite değerleri göz önüne alınarak, yükün niteliği ve niceliği kapsamında planlamasının yapılmasıdır. Bu planlamanın aşamaları gemi tiplerine göre farklılık arz etmektedir. Öyle ki yükün tahliye limanı, yükün özellikleri ve sefer sırasında dikkat edilmesi zorunlu olan düzenlemeler çerçevesinde yükün dağılımı gemi personeli tarafından titizlikle yapılmalıdır. Yük planlaması sonucunda geminin draft, trim vb. değerleri de doğrudan etkilenmekte dolayısıyla seferin enerji verimliliği hem yakıt sarfiyatı hem de çevreye salınan sera gazı emisyonu açısından değişmektedir (ABS, 2012).

Öte yandan yük optimizasyonunun diğer parametresi de liman sürecidir. Yük elleçleme çoğu durumda limanın kontrolü altında olmaktadır ve bu konuda gemi ve liman gereksinimlerine uygun optimum çözümler bulunmalıdır (MEPC.282/70, 2016). Ancak geminin de yükleme veya tahliye durumu süreçlerini iyi planlaması, limanın sunduğu elleçleme ekipmanlarının verimli kullanımı yönünde plan yapması gerekmektedir. Örneğin operasyon, yükün gemi ambarlarına dağılımı, çalışacak kreyn sayısı ve saatleri göz önüne alınarak en optimum şekilde düşünülmelidir. Yükün gemi üzerindeki konumu yeniden konumlandırılarak trim değeri ayarlanabilir (Wartsila, 2009; Alpha Marine, 2014). Aynı şekilde geminin rüzgar alan yüzü (örneğin; konteyner gemisi) yükün dağılımı ile optimize

edilebilir. Konteyner gemisi için soğutucu konteynerin gemi üzerindeki yeri, akışkan bir yükün sıcaklık derecesinin optimizasyonu üretilen ana makine gücünde tasarruf sağlayabilmektedir (ABS, 2012).

Sonuç olarak yük optimizasyonu konusu yaklaşık 40 yıllık süreçte deniz yolu taşımacılığında odak nokta hale gelmiştir (Sherbaz ve Duan, 2012). İlâveten, liman sayısındaki artış, artan yük çeşitliliği vb. nedenlerden dolayı yük yönetiminde optimizasyon çalışmaları devam etmektedir (Armstrong, 2013; Wang vd. 2014; Hsu ve Hsieh, 2007; Bronmo vd., 2010).

1.6. Enerji Verimliliği Uygulamalarının Engelleri

Enerji verimliliğini arttırmak ya da bir başka deyişle enerji tasarrufu tedbirlerini almak zaman zaman bazı durumlar içerisinde mümkün olamayabilmektedir. Bu doğrultuda enerji verimliliğini artırabilecek maliyet-etkin teknolojiler tanımlansa da, bunlar her zaman uygulanamaz. Öyle ki çeşitli sektörlerde yapılan birçok çalışma, enerji verimliliği önlemlerinin önemli ölçüde verimlilik potansiyeline sahip olmasına rağmen her zaman uygun maliyetle uygulanamadığını göstermiştir (Shi vd., 2008; Thollander ve Ottosson, 2008; Trianni vd, 2012; Acciaro vd., 2013). Bu tutarsızlık “enerji verimliliği boşluğu” olarak adlandırılmakta olup ve sık sık bazı çalışmalarda ise enerji verimliliği engeli olarak da belirtilmektedir (Jaffe ve Stavins, 1994). Enerji verimliliği uygulamalarındaki engeller bilgi engelleri, ekonomik engeller, örgüt içi engeller, örgütler arası engeller, teknolojik engeller, politik engeller, coğrafi engeller şeklinde ifade edilmektedir (Jaferzadeh ve Utne, 2014).

Denizcilikte enerji verimliliğinin önündeki engeller aşağıdaki kategorilerde gruplandırılmıştır (Acciaro vd., 2012; Sorrell vd., 2004; Sudhakar ve Painuly, 2004; Girard, 2010; Acciaro vd., 2012):

- (i) Emniyet ve güvenlik: Gemi personelinin, geminin veya operasyonların emniyetini tehlikeye atabilecek yeni teknolojilerin uygulanmasıyla ilişkili riskle ilgilidir.
- (ii) Teknik belirsizlik: Gemiye yeni veya henüz ispatlanmamış teknolojiler getirildiğinde, bu teknoloji ve farklı gemi bileşenleri arasındaki etkileşim ile ilgili tüm konuları kapsamaktadır.
- (iii) Davranışsal engeller: Bu engeller, denizcilik firması içindeki bilgi bulunabilirliği ile ilgilidir. Yeni bir önlemin farklı yönleri hakkındaki bilgi eksikliği, kalitesi ve/ veya farkındalığı genellikle bir engel olabilmektedir.

(iv) Pazar kısıtlamaları: Piyasa kısıtlamalarının yaygın bir örneği, kiralama sözleşmelerinin yapısından kaynaklanan bölünmüş teşvikler ve maliyetlerin yük sahipleri ve armatör şirketleri arasında nasıl paylaşıldığı ile ilgilidir.

(v) Finansal ve ekonomik kısıtlamalar: Çoğu önlem, açık bir yatırım maliyeti gerektirir ve ekonomik uygulanabilirlikleri piyasa koşulları, yakıt fiyatları vb. hususlara bağlıdır.

(vi) Karmaşıklık: Genellikle yeni teknolojilerin kurulumu ve işletilmesi karmaşıktır. Yeni bir önlemin uygulanması ve işletilmesi ne kadar karmaşıksa, uygulanması o kadar çok engellenir. Birçok denizcilik firması, günlük operasyonları idare etmek üzere kurulmuştur ve ilave karmaşıklıkları istenmeyen bir iş yükü olarak görmektedir. Taşımacılık sırasında bu durum, gemi personeli üzerindeki yükü artırabilir.

Birçok denizcilik şirketinde herhangi bir bölüm, enerji sarfiyatı ve maliyet azaltımından gerçekten sorumlu değildir. Gemi işletmecilerinin temel görevi sadece gemilerin emniyetli ve kârlı bir şekilde çalışmasını sağlamaktır ve enerji verimliliği konusu yönetmeliğe uymak adına sadece bir eklentiden ibarettir (Dewan vd, 2018). Ancak bir denizcilik şirketi perspektifinden bakıldığında, kuruluştaki enerji verimliliği uygulamalarının neyi önlediğine ve mevcut engellerin üstesinden gelmek için neler yapılabileceğine odaklanmak daha önemlidir. Mevcut ve gelecek düzenlemeleri yerine getirmek için olmasa dahi, gelecekteki yakıt maliyetlerinin artması öngörüsü ile denizcilik şirketleri bu tür enerji verimliliği boşluklarını aşmaya çalışmalıdır (Johnson ve Anderson, 2016).

1.7. Çalışmada Kullanılacak Yöntemler

Gemilerde işletme maliyetlerinin en büyük kalemi yakıt sarfiyatı haline gelmiştir. Öyleki yakıt sarfiyatı sefer maliyetlerinin neredeyse yarısını zaman zaman %60'dan fazlasına tekabül etmektedir (Nottebom, 2006; Stopford, 2009; Golias vd., 2009). Bu durum çalışmamızın da konusunu oluşturan konteyner tipi gemilere bakıldığında ise yakıt tonunun 500 US\$ olduğu dönemde gemi işletme maliyetlerinin yaklaşık %75'inin yakıt sarfiyatından kaynaklandığı görülmektedir (Ronen, 2011). Aynı zamanda yakıt sarfiyatının yüksek olması sera gazı emisyonunu da yükseltecektir. Bu doğrultuda yakıt tahmini konusunda oluşturulacak modelin gemiler için uygun ve tutarlı bir model olması gerekmektedir.

Yöntemlerin belirlenmesi için gemilerin enerji verimliliği çalışmalarında odak nokta olan yakıt sarfiyatının tahmininde kullanılabilen yöntemler araştırılmıştır. Gemilerin yakıt sarfiyatlarını tahmin etmede çoklu regresyon ve yapay sinir ağları makine öğrenme

modellerinin kullanımına sıkça başvurulmuştur. Gemilerin sefer değişkenleri ele alınarak yapılan bazı çalışmalarda gemi performanslarının gözlemlenmesi ve bu doğrultuda tutarlı bir yakıt sarfiyatı tahmininde bulunmak için çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemleri kullanılmıştır (Erto vd, 2015; Bialystocki ve Konovesis, 2016; Solaymani vd., 2018; Safei vd., 2019; Soner vd. 2019). Bunun yanında, gemilerde enerji verimliliği konusunda yakıt sarfiyatı tahmini yolu ile yapılan çalışmalarda yapay sinir ağları yönteminin de kullanıldığı görülmektedir (Pedersen ve Larsen, 2009; Beşikçi, 2015; Beşikçi vd., 2016; Kee vd., 2018; Gkerekos vd. 2019; Uyanık vd. 2019). Bu bilgiler doğrultusunda çalışma da kullanılacak yöntemlerin çoklu doğrusal regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemi olmasına karar verilmiştir.

1.7.1. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi

Mühendislik ya da bilimde birçok sorun iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkilerin araştırılması noktasında karşımıza çıkmaktadır. Regresyon analizi, bu tür sorunlar için çok yararlı olan istatistiksel bir tekniktir (Montgomery ve Runger, 2003). Regresyon en genel tanımı ile bağımlılığın çalışmasıdır. Regresyon çözümünde bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasında ilişki kurarken bir takım varsayımlar veya kurallar ortaya atılır. Bu varsayım ve kurallar dâhilinde çözüm yapılır ve bulunan sonuç kontrol edilir. Regresyon çözümünde temel nokta analiz yaparken olabildiğince çok veri ile çalışmaktır. Çünkü az veri ile çalışmak genel manada anlamsız sonuçlara neden olabilir (Akgül, 2016).

Regresyon yöntemleri genel olarak, bağımlı değişkenin diğer açıklayıcı değişkenlerden nasıl etkilendiğini, bu etkilenme biçiminin hangi matematik modelle açıklanabileceğini, belirlenen matematik modelin açıklayıcılık (uyumluluk) derecesini incelemek, neden-sonuç ilişkilerini belirlemek için yararlanılan yöntemler olarak ifade edilmektedir. Regresyon analizi temel olarak bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarlık kısmının bağımsız değişkenler tarafından açıklandığını ortaya koyan veri analiz tekniklerindedir. Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki doğrudan ilişkilerin yanı sıra dolaylı ilişkilerin varlığının söz konusu olduğu çok basamaklı bir modelde, regresyon analiziyle doğrudan etkiler tespit edilebilirken, değişkenlerin dolaylı etkileri göz ardı edilmektedir (Dursun ve Kocagöz, 2010). Bu noktada bağımlı ve bağımsız değişken kavramı şu şekilde tanımlanmak mümkündür:

Bağımlı Değişken (y): Regresyon modelinde tahmini yapılan ya da bir başka deyişle açıklanan değişkendir. Bu değişkenin bağımsız değişken ile ilişkili olduğu varsayılır.

Bağımsız Değişken (x): Regresyon modelinde bağımlı değişkenin alacağı değeri tahmin etmek için kullanılan açıklayıcı olarak tabir edilen değişkendir.

Regresyon modelinde, modele giren değişkenler arasındaki ilişkiye bakıldığında doğrusal bir ilişki ya da doğrusal olmayan bir ilişki olabilmektedir. Bundan dolayı, kurulan tahmin modeli için, ilişkinin olup olmadığını gösteren ve ilişki söz konusu ise bu ilişkinin doğrusal olup olmadığını ifade eden saçılım grafiği yapılmadan ve belirlenen değişkenler arasında bir ilişkinin söz konusu olmasına rastlanmadan regresyon analizi yapılmasına karar verilmemesi gerekmektedir.

X ve Y değişkenlerinin doğrusal bağıntısını veren $Y=a+bX$ modelinin geçerliliğini belirlemek için regresyon analizi yönteminden yararlanılır. Burada bağımsız X değişkeninin sadece bir tane olması basit doğrusal regresyonu tanımlarken X değeri yanında farklı bağımsız değişkenlerin de olması çoklu doğrusal regresyon analizini tanımlamaktadır. Y bağımlı değişkenini etkileyen n tane bağımsız değişken X_1, X_2, \dots, X_n olmak üzere çoklu regresyon modeli;

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + \varepsilon \quad (4)$$

olarak tanımlanır. Denklemden Y tahmin edilen bağımlı değişkeni, X_1 ve X_n ($n=2, \dots, n$) bağımlı değişkenin tahmininde kullanılan açıklayıcı değişkeni ve a_0 ve a_i ($i=1, \dots, n$) ise X değişkenindeki 1 birimlik değişimin bağımlı değişkeni etkileme oranı katsayısını ifade etmekte olup, ε hata terimidir. Model tahmininde, ε hata terimini minimum düzeyde tutacak a_0 ve a_i katsayılarını tahmin etmek amaçlanmaktadır.

Yapılacak doğrusal regresyon analizinde bir takım varsayımların kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu varsayımlar modelin kurulup kurulamayacağı bilgisini vermekte olup şu şekildedir (Montgomery ve Runger, 2003; Ramsey ve Schafer, 2002).

- Hata (artık) terimleri normal dağılımlıdır,
- Hata terimleri eşit varyanslıdır,
- Hata terimlerinin ortalaması sıfırdır,
- Hata terimlerinin değerleri arasında otokorelasyon yoktur,
- Bağımlı değişken sürekli ve normal dağılımlıdır,
- Bağımsız değişkenler arasındaki çoklu doğrusallık değeri makul düzeydedir.

Bu varsayımların haricinde ayrıca mantıksal bir hata olan; hata terimi (ε) ile bağımlı değişken (Y) ve bağımsız değişkenler (X) arasında ilişki olmaması gerekmektedir.

Belirtilen varsayımlar çeşitli yollarla sınanmaktadır. Bu doğrultuda normallik dağılımlarının tespitinde aşağıdaki belirleyiciler kullanılmaktadır:

- i) Kolmogorov-Smirnov Testi
- ii) Shapiro-Wilk Testi
- iii) Skewness ve Kurtosis Değerleri (çarpıklık ve basıklık)
- iii) Saçılım Grafiği
- iv) P-P Plot

Kolmogorov-Smitnov ve Shapiro-Wilk testleri genel olarak normallik testi yapılırken örneklem sayısına göre başvurulabilecek bir göstergedir. Ancak bu testlerin normalliği sağladığı gözükmediğinde skewness ve kurtisos değerlerine bakılır ve -2 ile +2 arasında değer aldığı normal dağılım gösterdiği varsayılır (George ve Mallery, 2010). Ayrıca saçılım grafiğinden de normalliği gözlemleyebilmek mümkündür.

Varsayımlardan çoklu doğrusallık bağlantı problemi VIF (Variance Inflation Factor) değerinden anlaşılabilir. Ringle vd. (2015) VIF değerinin 5'den büyük olduğu durumlarda çoklu doğrusal bağlantı problemi söz konusu olacağını ifade etmektedir. Tolerans değerleri de çoklu doğrusallıkta kontrol edilmelidir. Bu değerlerin 0,20'dan küçük olması çoklu doğrusallık sorununun var olduğunu gösterir (Gujarati, 2004).

Diğer varsayımlar için hem saçılım grafikleri hem de P-P plot grafikleri incelenerek karar verilir. Sonuç olarak kurulacak doğrusal regresyon modeli için varsayımların sağlanması beklenir ancak modelin varsayımları sağlamadığı görülürse, literatürde regresyon modellemelerinde varsayımların ihlal edilmesinin, araştırma sonuçları fazla etkilemediği de belirtilmiştir (Ramsey ve Schafer, 2002).

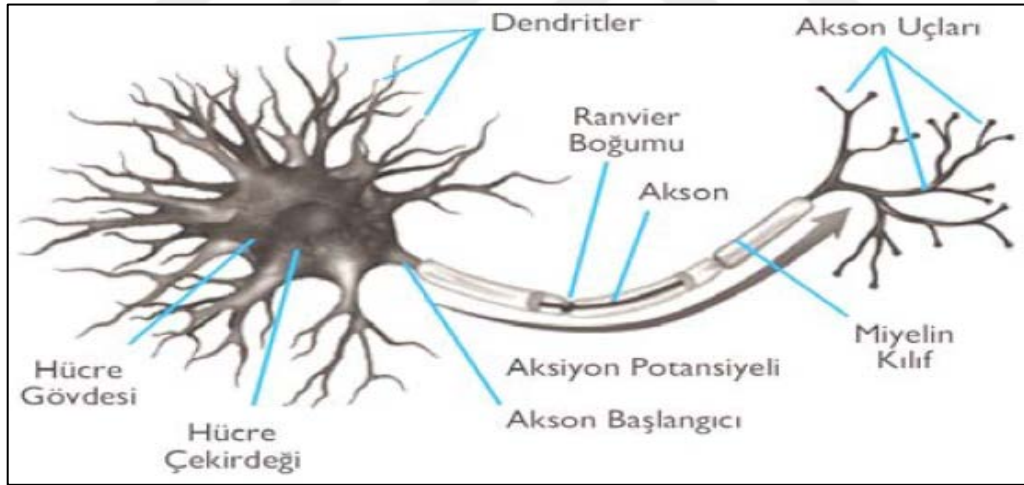
1.7.2. Yapay Sinir Ağları

Son yıllarda yapay zeka kavramı birçok bilim alanının odak noktası haline gelmiştir. İnsanoğlunun düşünme ve öğrenme yetilerinin detaylarını anlayabilme amacıyla tasarlanmış bilgisayarların düşünme yeteneğine sahip olmaları yapay zeka olarak adlandırılmaktadır. Yapay zeka çalışmaları sonucunda ortaya çıkan çalışma alanlarından en önde gelenleri yapay sinir ağları (ANN) teknolojisi, bulanık öğrenmeler mantığı, zeki etmenler, uzman sistemler ve genetik algoritma şeklinde sıralanabilir (Öztemel, 2006).

Yapay sinir ağları yöntemi, verilerin işlenmesi ve modellenmesi bağlamında birçok bilim alanlarında kullanımı gün geçtikçe yaygın hale gelen bir tekniktir. Yapay sinir ağları,

insan beyninin fonksiyonlarının gerçekleştirebildiği öğrenme fonksiyonunu yapabilen, öğrendiği bilgiler doğrultusunda çevreden gelen durumlara karşın üretebileceği tepkileri belirleyebilen yapay zeka tabanlı bilgisayar sistemleridir. Özellikle öğrenme, sınıflandırma, ilişkilendirme, genelleme, optimizasyon ve özellik belirleme gibi alanlarda başarıyla uygulanmaktadırlar (Korkmaz, 2018). İnsan beyninin çalışma mekanizması örnek alınarak geliştirilmiş, öğrenebilen ve genelleyebilen özelliği sayesinde karmaşık matematiksel ve fiziksel problemlerin çözümünde başarı ile kullanılabilir (Elge, 2018). YSA, genelleme yeteneğine sahip, örnekler ve yaşanan tecrübelerden öğrenebilen bir uygulamadır (Rafiq vd., 2001). Bu ağlar insan beynine kıyasla daha az bileşenden oluşur ve daha basit işlemler yapabilir (Pujol ve Pinto, 2011).

YSA sinir sistemi içinde bilgi yoluyla uyarılarak işlem gören bilgisayar algoritmalarıdır (Dursun vd., 2012). Sinir sisteminin asli unsurları gizli işlem tabakalarının girdi ve çıktı tabakaları içine sistemleştirilmiş olan biyolojik sinir hücreleridir. Yapay sinir ağı işleyişini daha iyi kavrayabilmek için nöron yapısını incelemek gerekmektedir:

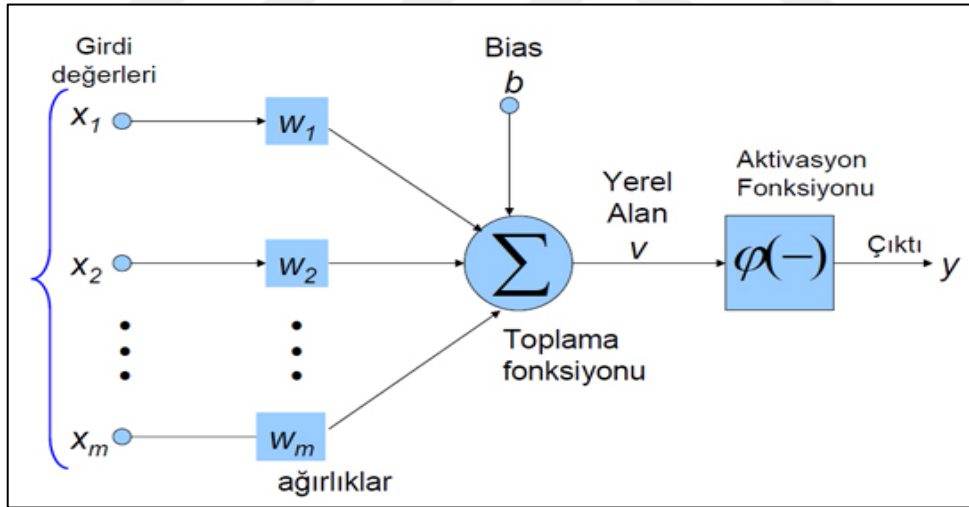


Şekil 11. Sinir Hücresinin (Nöron) Yapısı

Beynimizde birbirleriyle etkileşimde halinde bulunan birçok sinir hücrelerinin biraraya gelmesi biyolojik sinir sistemini meydana getirmektedir. Yani milyarlarca sinir hücresinin bir araya gelmesiyle sinir ağı oluşmaktadır (Öztemel, 2006). Sinir hücresi sinir sisteminin temel bir birimi olup, gelen uyarıları alma ve aktarma işlevini yapmakta ve duyu organlarında, beyinde ve omurilikte 14 milyara yakın sayıda bulunmaktadır. Bu işlevi nörona, çevrenin algılanması ve iletişimin yapılması izni yetisini tanımaktadır. (Carpenter ve

Grossberg, 1990). Dendritler, diğer nöronlardan uyarıyı alan, hücrelerin geniş dallara ayrılmış olan halleridir. Bu uyarılar toplanıp belirli bir eşğin üstüne çıkılması durumunda, nöron patlar ve bu doğrultuda bir heyecan oluşturur ve daha sonra akson olarak adlandırılan bölgeye iletilip sinapsların bir kavşak görevi görmesiyle bir sonraki nöronun dendritlerine geçirilir (Ergezer vd., 2003; Haykin, 1999). Yapay sinir hücresi, matematiksel modeli ifade eden fiziksel ya da algoritma şeklinde biyolojik sinir hücresinin temel davranışlarından esinlenen araç olarak tanımlanabilir. Biyolojik sinir hücresinin tanımından hareketle, yapay bir sinir hücresinin diğer sinir hücrelerinden aldığı sinyalleri bünyesinde topladığını ve toplam sinyal birikiminin belli bir eşği aştığı anda, bu yapay sinir hücresinin kendi sinyalini bir başka sinir hücresine ilettiği söylenebilir (Fahey, 2006).

Bir yapay sinir ağı hücresi de nöronlarda olduğu gibi bir yapıya sahiptir. Bu hücreler aynı zamanda Proses Elemanları (PE) olarak da adlandırılmaktadır. Her hücre elemanı temel girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere 5 temel elemana sahiptir. Yapay sinir hücresini şu şekilde göstermek mümkündür:



Şekil 12. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı

Şekil 12' de görüldüğü üzere nöronda birden fazla girdi (x_i) olabilmekte ve girdi değerlerin her biri bir bağlantı ağırlığıyla (w_i) çarpılmaktadır. Ağırlıklar girdilerin hücre üzerindeki etkisini belirler. En basit yapıda, bu çarpımlar toplanır ve bir transfer fonksiyonuna gönderilerek sonuç üretilerek bir çıktıya dönüştürülür. Bu temel prensip birçok farklı toplama fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve ağ yapısı kullanılarak uygulanabilir (Yurtoğlu, 2005).

Sonuç olarak yapay sinir ağı ile alakalı dünya çapında çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Araştırmalar, yapay sinir ağlarını eğitmenin uzun zaman gerektirmesinden dolayı bu probleme odaklanmıştır. Buradaki hedef daha verimli öğrenme algoritmaları keşfetmektir. 1943 yılından günümüze kadar olan süreçte yaşanan gelişmelerde bu konu temel odak noktasıdır. 1980 yıllarının sonlarından itibaren yapay sinir ağları, gelişimine hız katarak devam etmektedir (Irwin vd., 1995; Efe ve Kaynak, 2000).

1.7.2.1. Yapay Sinir Ağları Modellerinin Belirlenmesi

Yapay sinir ağları genel olarak birbirleri ile bağlantılı işlemci birimlerinden oluşmakta ve her bir sinir hücresi arasındaki bağlantıların yapısı ağı yapısını belirlemektedir. İstenilen sonuçlara ulaşmak için bağlantıların değiştirilmesi şekli ise öğrenme algoritması tarafından belirlenir. Kullanılan öğrenme algoritmalarına göre, hatayı sıfıra indirecek şekilde ağı ağırlıkları değiştirilir. Buradan yola çıkarak genel anlamda YSA'yı yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre şu şekilde sınıflandırmak mümkündür (Korkmaz, 2018):

- Yapısına göre: İleri ve geri beslemeli
- Öğrenme yöntemine göre: Danışmanlı, danışmansız ve destekleyici
- Katman sayısına göre: Tek katmanlı, çok katmanlı

Nöron modeli oluşturulan katmanların ardışık biçimde bir araya getirilmesi sonucunda ileri beslemeli yapay sinir ağlarının en tipik şekli kurulabilmektedir. İleri beslemeli YSA' da, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir (Arslan ve İnce, 1996). Ağı öğrenmesi sırasında girdiler ağı sunularak girdilere karışıklık gelen çıktılar üretilir. Daha sonra üretilen çıktı ile beklenen çıktı karşılaştırılarak aradaki hata geriye doğru dağıtılarak ağırlıkları değiştirilirler. (Öztemel, 2006). Bir başka deyişle kurulan geri bildirim bağlantıları ile bir döngü oluştururlar. Buna da geriye beslemeli denmektedir

Danışmansız öğrenme, yapay sinir ağlarını modelinde sınırlı kullanımda olup, yoğun bir şekilde araştırılan ve geliştirilmeye çalışılan bir öğrenme metodudur. Ancak günümüzde sınırlı kullanım alanları bulan ve hala yoğun araştırma konusu olan bir öğrenme metodudur Danışmanlı öğrenme, yapay sinir ağlarında en fazla kullanılan öğrenme metodudur. Ağı örnek olarak verilen bir çıktı ile bu çıktının ağı kullanarak ürettiği çıktı birbirleri ile kıyaslanır. İki çıktı arasında oluşan fark değeri hata olarak tanımlanır. Başlangıçta genellikle

rassal olarak verilen ağırlıklar ağ tarafından hata en az seviyeye indirilene kadar döngüler halinde değiştirilir. Danışmanlı öğrenme metodunda yapay sinir ağı kullanımından önce ağın eğitilmesi gerekmektedir. Bu eğitim işlemi, oluşturulan sinir ağına giriş ve çıkış bilgilerinin sunulmasıyla gerçekleşmektedir (Anderson ve Mc. Neil, 2006, Elmas, 2003). Destekleyici öğrenme yöntemi danışmanlı öğrenme yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Bu methoda sisteme bir öğretmen yardımcı olur. Ağ çıkışından alınan değerler karşılaştırma için kullanılmaz fakat üretilen çıktının doğru ya da yanlış olduğunu gönderen bir sinyal ağına geri verilir. Sistem, öğretmenden gelen bu sinyali dikkate alarak öğrenmeyi gerçekleştirir (Masters, 1993).

Tek katmanlı yapay sinir ağları doğrusal problemlerin çözümünde kullanılıp sadece girdi ve çıktı katmanından oluşmaktadır. Katmanların bir veya daha fazla nöronu bulunabilmektedir. Tek katmanlı ağların doğrusal olmayan problemlerin çözümünde başarısız olmasının üzerine geliştirilen çok katmanlı ağlar, bilgi girişinin yapıldığı girdi katmanı, bir veya daha fazla gizli (ara) katman ve bir çıktı katmanından oluşmaktadır (Arı ve Berberler, 2017).

Günümüzde, belirli amaçlarla ve değişik alanlarda kullanılmaya uygun birçok yapay sinir ağı modeli (Perceptron, Adaline, MLP, LVQ, Hopfield, Recurrent, SOM, ART vb.) geliştirilmiştir. Belli başlı YSA modellerinin başarılı olacakları kullanım alanları (Özoğuz, 2016);

- Tahmin Alanları: Çok katmanlı yapay sinir ağı modeli
- Sınıflandırma Alanları: Doğrusal vektör parçalama modeli (DVP), adaptif rezonans teorisi modeli
- Veri Şekillendirme: Hopfield, Boltzman makinesi şeklindedir.

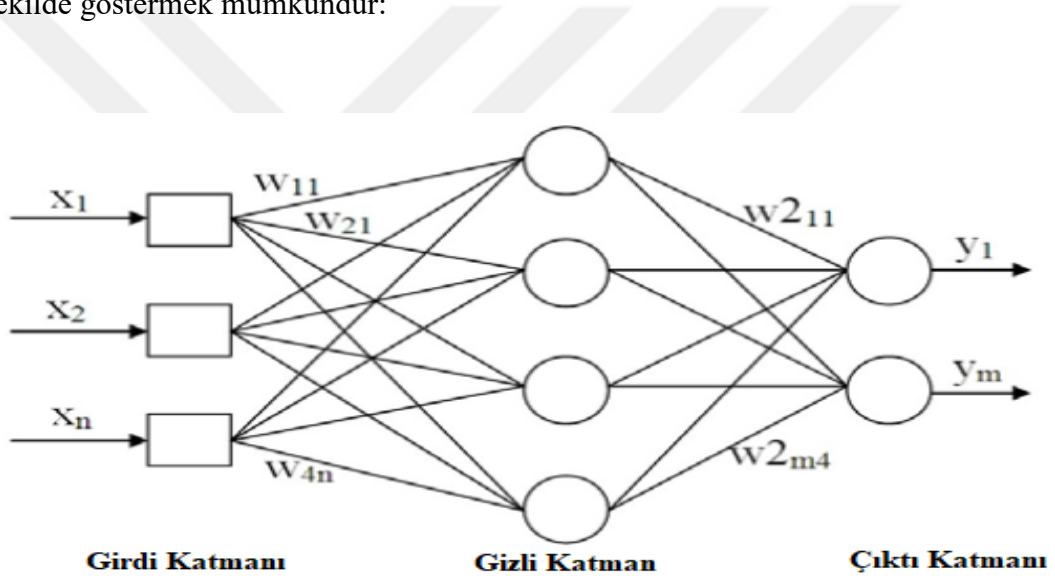
Yapay sinir ağları modelinin oluşturulmasında kullanılabilecek birçok eğitim algoritması bulunmaktadır. Bu eğitim algoritmalarının uygulama alanları ise şu şekildedir (Saraç, 2004):

- Tahmin: Geri Yayılım, delta bar delta, genelleştirilmiş delta bar delta, yönlendirilmiş rastsal tarama
- Sınıflandırma: Öğrenmeli Vektör Kuantalama, Counter propagation
- Veri şekillendirme: Hopfield, Boltzman makinesi
- Veri karşılaştırma: Uyarlanabilir Rezonans Teorisi, Öz Düzenleyici Harita şeklindedir.

Çalışmamızda yakıt sarfiyatı tahmini ile verimlik hesapları yapılacağından çok katmanlı yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır.

1.7.2.1.1. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları Modeli

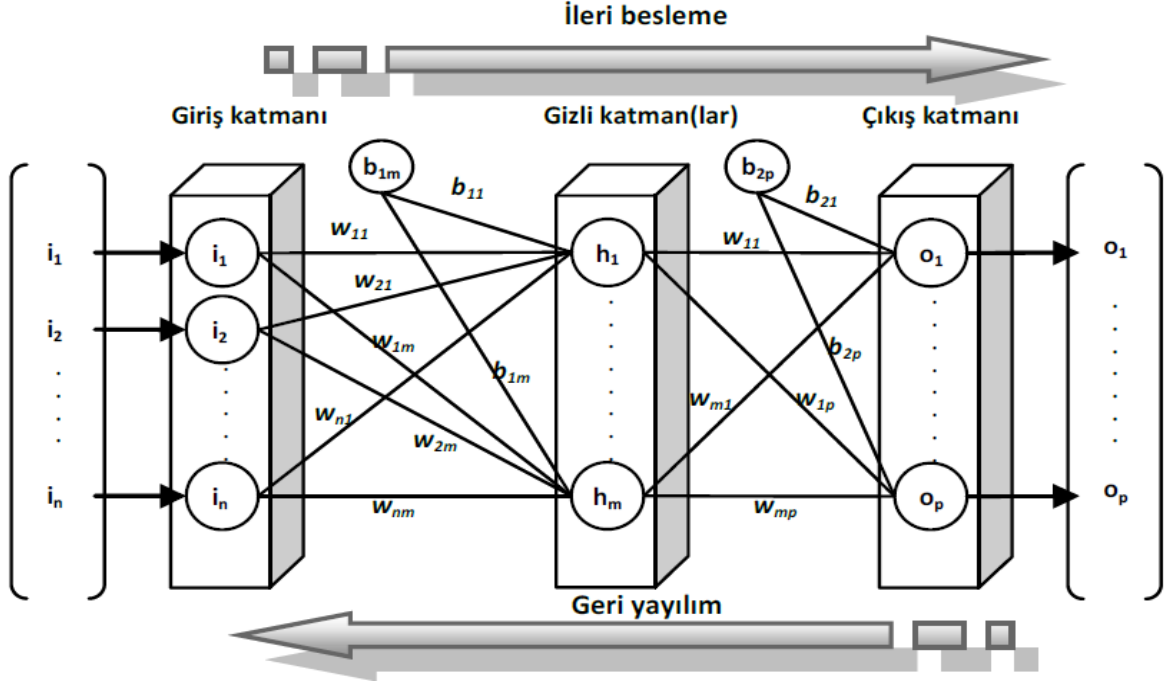
Regresyon türü problemlerde en yaygın sinir ağı yöntemi çok katmanlı ağ yapılarıdır. Çok katmanlı yapay sinir ağları modelinde girdi katmanı, çıktı katmanı ve gizli katman olmak üzere üç katman bulunmaktadır (Bila vd., 1999; Devabhaktuni vd. 2001). Girdi katmanı, çözülmesi istenilen probleme ilişkin bilgilerin YSA'ya alınmasını sağlar. Çıktı katmanı ise ağ içerisinde işlenen bilgiyi dışarıya iletmektedir. Girdi ve çıktı katmanlarının arasında yer alan katmana ise gizli katman adı verilir ve birden fazla gizli katman bulunabilir (Kaynar ve Taştan, 2009). En az üç katmandan meydana gelen çok katmanlı yapay sinir ağları ileri beslemeli, geri yayımlı ağıdır (Batar, 2005). Bu ağ modeli yapısını temel olarak şu şekilde göstermek mümkündür:



Şekil 13. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı Yapısı

Şekil 13'deki YSA yapısı üç katmandan oluşmaktadır. Her biri bir dizi nöron içeren giriş, gizli ve çıkış katmanları x , w , w_2 ve y vektörleri ile sırasıyla YSA girişlerini, giriş ağırlıklarını, çıkış ağırlıklarını ve ağ çıkışlarını temsil eder. Temelde, giriş sinyalleri giriş katmanı aracılığıyla MLP'ye beslenir ve bu sinyaller gizli ağırlık bağlantıları yoluyla gizli nöronlara iletilir. Gizli nöronlar bazı hesaplamalar yapar ve hesaplanan çıktıyı çıktı ağırlık bağlantıları yoluyla çıktı katmanına geçirir. Daha sonra çıkış nöronlarında başka hesaplamalar yapılır ve nihai sonuçlar sunulur (Mokhtar ve Saleh, 2013). Çok katmanlı yapay sinir ağı yapısında her nöron bitişikteki katmanın tüm nöronları ile bağlantılıdır ve diğer nöronlarla bağlantısı bulunmamaktadır. Katman içi bağlantılara izin verilmemektedir. Gizli katman ve nöron sayılarının belirlenmesinde bir kural yoktur (Kılıç vd., 2012).

Yapay sinir ağları, doğruluklarının artırılması amacıyla farklı mimari yapılarda tasarlanmışlardır. İleri beslemeli ve geri yayımlı (feed forward back propagation) yapılar en sık kullanılan sistemlerdir. Çok katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı bir sistem genel hatları ile şu şekilde gösterilmiştir:



Şekil 14. Çok Katmanlı İleri Beslemeli Geri Yayımlı Ağ Yapısı

Bu tür ağ sistemleri ileri beslemeli ağlar ile geri yayımlı öğrenme algoritmalarının birleşiminden meydana gelmektedir. “Evrensel Yaklaşım Teoremi (Universal Approximation Theorem)”, gizli katmanında doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonu tanımlanan tek gizli katmana sahip ileri beslemeli geri yayımlı ağlar, yeteri kadar nöron tanımlandığında süreksizlik içeren her türlü problemi istenilen doğruluk derecesinde tahmin edebilme yeteneğine sahiptir görüşünü savunmaktadır (Hartman vd., 1990). Bu doğrultuda çalışmamızda çok katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı ağ modeli kullanılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde elde edilen veriler, verilerin kapsamı ve çalışmanın örnekleme ile modellerin kurulması detaylı olarak anlatılacaktır. Çalışmada kullanılan gemilerin özellikleri, pervane ve makine özellikleri de dahil olmak üzere verilecektir. Aynı zamanda tüm gemilerin sefer bölgeleri de grup grup aktarılacaktır. Çalışmada elde edilen veriler hakkında detaylı bilgilere de yer verilecektir. Verilerin sefer değişkenlerinden oluştuğu ve hangi verilerle modellerin kurulacağı açıklanacaktır. Son olarak çalışma için kullanılacak modellerin oluşturulması açıklanacak ve tez kapsamı ve sınırlılıkları belirtilecektir.

2.1. Çalışmada Kullanılacak Veriler

2.1.1. Çalışmada Kullanılacak Gemilerin Özellikleri

Çalışmada kullanılacak veriler, 19 adet konteyner tipi gemilerin seferlerinden elde edilmiştir. Verilerin alındığı gemiler birbirlerinden farklı özelliklere sahip olduğundan dolayı 5 farklı gruba ayrılmıştır. Herbir gruptaki gemiler kardeş gemilerdir ve tüm özellikleri aynıdır. Tekne boyutları, makine özellikleri, sevk sistemleri ve geminin diğer özelliklerinin tamamı birbirlerine eşdir. Verilerin elde edildiği gemiler Alfa (A), Bravo (B), Charlie (C), Delta (D), Echo (E) şeklinde gruplandırılmıştır.

Gruplardaki gemi sayısı aşağıdaki gibidir:

- Alfa grubu: 6 adet
- Bravo grubu: 4 adet
- Charlie grubu: 4 adet
- Delta grubu: 3 adet
- Echo grubu: 2 adet

Bu gemilerden Alfa grubunda bulunan 6 adet geminin profil resmi ve gemi boyutları, makine ve pervane özellikleri gibi bilgileri aşağıda belirtilmektedir.

ALFA GRUBU	
1600 TEU	
GEMİ ÖZELLİKLERİ	MAKİNE ÖZELLİKLERİ
Gemi Tipi: Konteyner	Adet: 1
İnşa Yılı: 2007	Üretici Firma: MAN B&W
Tam Boy: 184 m	Tip: 8 S 50 MC-C, dizel makine
Dikmelerarası Boy: 176 m	Maks. Çıkış Gücü: 127 RPM'de 13280kW
Genişlik: 24,50 m	Devir: 127 Rev/dk
Ana Güverte Derinliği: 14,20 m	Silindir Sayısı: 8 silindir
Yaz Draftı: 9,0 m	Silindir Çapı: 500 mm
Rüzgar Draftı: 45,60 m	Piston Çapı: 2.000 mm
Deplasman: 29.783 Ts	PERVANE ÖZELLİKLERİ
Dedveyt: 22.014 Ts	Üretici Firma: Alpha Prop. System
Konteyner Kapasitesi: 1604 TEU	Sistem: CPP
Grostonaj: 17687 GT	Kanat Sayısı: 4
Net Tonaj: 6711	Çap: 5700 mm
Boş Deplasman: 7750 Ts	
TPC (Yaz): 32,80 T / cm	

Şekil 15. Alfa (A) Grubu Gemilerin Özellikleri

Şekil 15’de Alfa grubunda bulunan 1604 TEU’luk konteyner gemileri 184 m boy, 24,50 m genişlik, 9,0 m draft, 45,60 m rüzgar draft, 22014 Ts dedveyt, 29873 Ts deplasman tonaj gibi özelliklere sahiptir. Makine özelliklerine bakıldığında maksimum çıkış gücü 127 RPM’de 13280 kw olan dizel makinesi, 8 silindir ve silindir çapı 500mm, piston çapı 2000 mm gibi özellikler göze çarpmaktadır. Pervane özelliklerine bakıldığında ise çapı 5700mm olan 4 kanatlı değişken adımlı pervaneye sahip gemiler olduğu görülmektedir.

Bravo grubundaki 4 adet geminin profil resmi ve gemi boyutları, makine ve pervane özellikleri gibi detayları aşağıda belirtilmektedir.

BRAVO GRUBU	
2800 TEU	
GEMİ ÖZELLİKLERİ	MAKİNE ÖZELLİKLERİ
Gemi Tipi: Konteyner	Adet: 1
İnşa Yılı: 2007	Üretici Firma: HYUNDAI MAN B&W
Tam Boy: 222,17 m	Tip: 7K 80 MC-C
Dikmelerarası Boy: 210 m	Maks. Çıkış Gücü: 104 RPM'de 25270 kW
Genişlik: 30 m	Devir: 104 Rev/dk
Ana Güverte Derinliği: 16,80 m	Silindir Sayısı: 7 silindir
Yaz Draftı: 12,019 m	Silindir Çapı: 800 mm
Rüzgar Draftı: 53,0 m	Piston Çapı: 2.300 mm
Deplasman: 51.309 Ts	PERVANE ÖZELLİKLERİ
Dedveyt: 39.266 Ts	Üretici Firma: HYUNDAI
Konteyner Kapasitesi: 2824 TEU	Sistem: FPP
Grostonaj: 28927 GT	Kanat Sayısı: 5
Net Tonaj: 15033	Çap: 7200 mm
Boş Deplasman: 12051 Ts	
TPC (Yaz): 56,75 T / cm	

Şekil 16. Bravo (B) Grubu Gemilerin Özellikleri

Şekil 16'da Bravo grubunda bulunan 2824 TEU'luk konteyner gemileri 222,17 m boy, 30 m genişlik, 12,019 m draft, 53,0 m rüzgar draft, 39266 Ts dedveyt, 51309 Ts deplasman tonaj gibi özelliklere sahiptir. Makine özelliklerine bakıldığında maksimum çıkış gücü 104 RPM'de 25270 kw olan dizel makinesi, 7 silindir ve silindir çapı 800mm, piston çapı 2300 mm gibi özellikler göze çarpmaktadır. Pervane özelliklerine bakıldığında ise çapı 7200mm olan 5 kanatlı sabit adımlı pervaneye sahip gemiler olduğu görülmektedir.

Charlie grubundaki dört adet geminin profil resmi ve gemi boyutları, makine ve pervane özellikleri gibi detayları aşağıda belirtilmektedir.

CHARLIE GRUBU	
1400 TEU	
GEMİ ÖZELLİKLERİ	MAKİNE ÖZELLİKLERİ
Gemi Tipi: Konteyner	Adet: 1
İnşa Yılı: 1997	Üretici Firma: MITSUI-MAN B&W
Tam Boy: 168,77 m	Tip: 7S 50 MC-C
Dikmelerarası Boy: 160,13 m	Maks. Çıkış Gücü: 119RPM'de 9561 kW
Genişlik: 27,30 m	Devir: 119 Rev/dk
Ana Güverte Derinliği: 13,50 m	Silindir Sayısı: 7 silindir
Yaz Draftı: 8,615 m	Silindir Çapı: 500 mm
Rüzgar Draftı: 44,90 m	Piston Çapı: 1.910 mm
Deplasman: 25.243 Ts	PERVANE ÖZELLİKLERİ
Dedveyt: 19.325 Ts	Üretici Firma: Nakasima
Konteyner Kapasitesi: 1445 TEU	Sistem: FPP
Grostonaj: 15120 GT	Kanat Sayısı:4
Net Tonaj: 6764	Çap: 5680 mm
Boş Deplasman: 5918 Ts	
TPC (Yaz): 35,90 T / cm	

Şekil 17. Charlie (C) Grubu Gemilerin Özellikleri

Şekil 17'de Charlie grubunda bulunan 1445 TEU'luk konteyner gemileri 168,77 m boy, 27,30 m genişlik, 8,615 m draft, 44,90 m rüzgar draft, 19325Ts dedveyt, 25243 Ts deplasman tonaj gibi özelliklere sahiptir. Makine özelliklerine bakıldığında maksimum çıkış gücü 119 RPM'de 9561 kW olan dizel makinesi, 7 silindir ve silindir çapı 500mm, piston çapı 1910 mm gibi özellikler göze çarpmaktadır. Pervane özelliklerine bakıldığında ise çapı 5680 mm olan 4 kanatlı sabit adımlı pervaneye sahip gemiler olduğu görülmektedir.

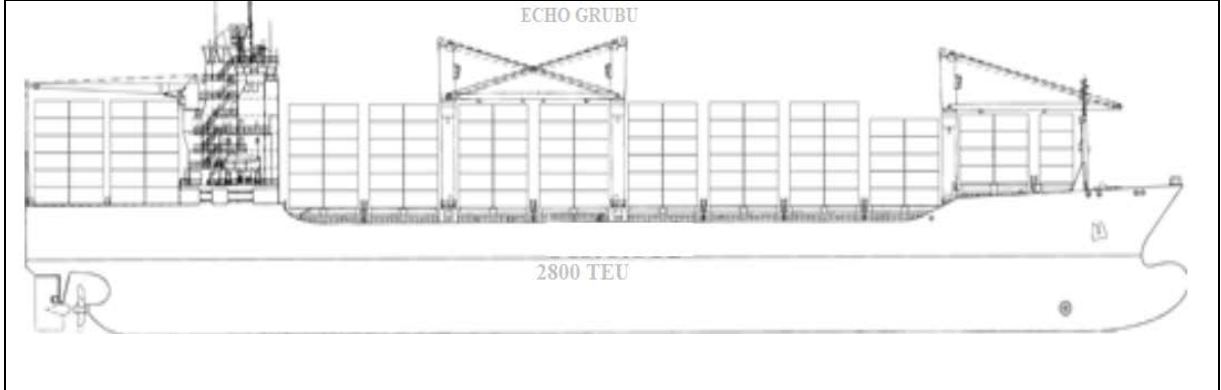
Delta grubundaki üç adet geminin profil resmi ve gemi boyutları, makine ve pervane özellikleri gibi detayları aşağıda belirtilmektedir.

DELTA GRUBU	
	
1200 TEU	
GEMİ ÖZELLİKLERİ	MAKİNE ÖZELLİKLERİ
Gemi Tipi: Konteyner	Adet: 1
İnşa Yılı: 1993	Üretici Firma: MaK
Tam Boy: 149,0 m	Tip: 8 M 601C
Dikmelerarası Boy: 136,80 m	Maks. Çıkış Gücü: 425RPM'de 10000 kW
Genişlik: 22,70 m	Devir: 425 Rev/dk
Ana Güverte Derinliği: 11,30 m	Silindir Sayısı: 8 silindir
Yaz Draftı: 7,70 m	Silindir Çapı: 580 mm
Rüzgar Draftı: 46,0 m	Piston Çapı: 600 mm
Deplasman: 17.347 Ts	PERVANE ÖZELLİKLERİ
Dedveyt: 12.184 Ts	Üretici Firma: Ka-Me-Wa
Konteyner Kapasitesi: 1189 TEU	Sistem: Değişken Adımlı
Grostonaj: 10546 GT	Kanat Sayısı: 4
Net Tonaj: 4868	Çap: 5600 mm
Boş Deplasman: 5163 Ts	
TPC (Yaz): 23,66 T / cm	

Şekil 18. Delta (D) Grubu Gemilerin Özellikleri

Şekil 18'de Delta grubunda bulunan 1189 TEU'luk konteyner gemileri 136,80 m boy, 22,70 m genişlik, 7,70 m draft, 46,0 m rüzgar draft, 12184 Ts dedveyt, 17347 Ts deplasman tonajı gibi özelliklere sahiptir. Makine özelliklerine bakıldığında maksimum çıkış gücü 425 RPM'de 10000 kW olan dizel makinesi, 8 silindir ve silindir çapı 580mm, piston çapı 600 mm gibi özellikler göze çarpmaktadır. Pervane özelliklerine bakıldığında ise çapı 5600 mm olan 4 kanatlı değişken adımlı pervaneye sahip gemiler olduğu görülmektedir.

Echo (E) grubundaki iki adet geminin profil resmi ve gemi boyutları, makine ve pervane özellikleri gibi detayları aşağıda belirtilmektedir.



GEMİ ÖZELLİKLERİ	MAKİNE ÖZELLİKLERİ
Gemi Tipi: Konteyner	Adet: 1
İnşa Yılı: 2002	Üretici Firma: HCP MAN B&W
Tam Boy: 207,95 m	Tip: 8 S 70MC-C
Dikmelerarası Boy: 195,48 m	Maks. Çıkış Gücü: 91RPM'de 24.840kW
Genişlik: 32,24 m	Devir: 91 Rev/dk
Ana Güverte Derinliği: 16,80 m	Silindir Sayısı: 8 silindir
Yaz Draftı: 11,518 m	Silindir Çapı: 700 mm
Rüzgar Draftı: 53,0 m	Piston Çapı: 2800 mm
Deplasman: 48.631,4 Ts	PERVANE ÖZELLİKLERİ
Dedveyt: 35.766 Ts	Üretici Firma: ALSTOM POWER
Konteyner Kapasitesi: 2578 TEU	Sistem: FPP
Grostonaj: 30047 GT	Kanat Sayısı: 5
Net Tonaj: 12671	Çap: 7600 mm
Boş Deplasman: 12864,6 Ts	
TPC (Yaz): 57,08 T / cm	

Şekil 19. Echo (E) Grubu Gemilerin Özellikleri

Şekil 19'da Echo grubunda bulunan 2578 TEU'luk konteyner gemileri 207,95 m boy, 32,24 m genişlik, 11,518m draft, 53,0 m rüzgar draft, 35766 Ts dedveyt, 48631,4 Ts deplasman tonajı gibi özelliklere sahiptir. Makine özelliklerine bakıldığında maksimum çıkış gücü 91 RPM'de 24840 kW olan dizel makinesi, 8 silindir ve silindir çapı 700mm, piston çapı 2800 mm gibi özellikler göze çarpmaktadır. Pervane özelliklerine bakıldığında ise çapı 7600 mm olan 5 kanatlı sabit adımlı pervaneye sahip gemiler olduğu görülmektedir.

2.1.2. Çalışmada Kullanılacak Gemilerin Sefer Bölgeleri

Çalışmada kullanılacak gemilerin sefer alanları çalışmamız açısından doğru bilgilerin sağlanması noktasında önem arz etmektedir. Örneğin sürekli olarak nehir vb. dar su yollarında çalışan gemilerde tekne, makine ve pervane kondüsyonları diğer gemilere kıyasla daha farklı süreçlere maruz kalabilmekte ve bu doğrultuda yıpranmalar görülebilmektedir. Bu açıdan inceleme yapılan gemilerin hemen hemen aynı deniz alanında ve/veya açık deniz koşulları altında çalışması önemlidir. Çalışmamıza konu olan 19 adet konteyner tipi gemilerin sefer bölgeleri benzer deniz sahalarında olup bölgesel olarak birbirlerinden farklılık göstermektedir.

Alfa grubu gemilerinin sefer bölgeleri Şekil 20’ de gösterilmektedir.

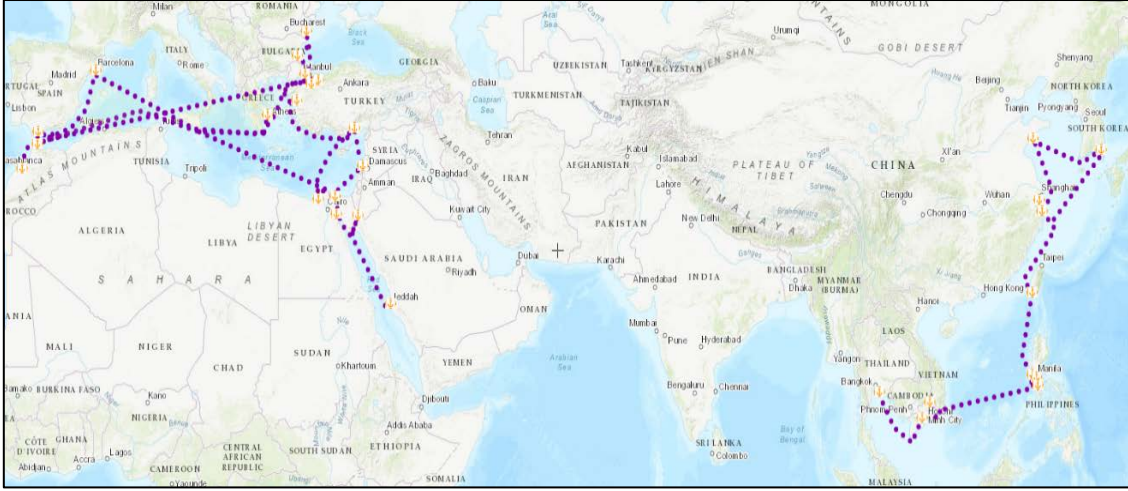


Not: Şekil www.scribblemaps.com sitesi üzerinden tasarlanmıştır.

Şekil 20. Alfa Grubu Gemilerin Sefer Bölgeleri

Alfa grubundaki 6 adet geminin sefer bölgeleri ve uğrak limanları başlıca iki alanda yoğunlaşmıştır. 1. alan genel olarak Ambarlı-Poti-Samsun-Burgas-Varna-Gemlik limanları uğraklı Marmara-Karadeniz eksenli sefer bölgesidir. Genel olarak 2. alan ise Salerno-LaSpezia-Genoa-Algeciras-Casablanca-Leixoes-Setubal-Tarragona limanları uğraklı sefer Akdeniz-Batı Avrupa-Batı Afrika eksenli bölgesidir.

Bravo grubu gemilerin sefer bölgeleri şekil 21’ de gösterilmektedir.



Not: Şekil www.scribblemaps.com sitesi üzerinden tasarlanmıştır.

Şekil 21. Bravo Grubu Gemilerin Sefer Bölgeleri

Bravo grubundaki 4 adet geminin sefer bölgeleri ve uğrak limanları başlıca iki alanda yoğunlaşmıştır. 1. alan genel olarak Burgas-Constanza-Ambarlı-Gemlik-Tangier-Casablanca-Algeciras-Barcelona-Pireaus-Yarımca-Aliğa-Mersin-Alexandria-Port Said-Beyrut-Aqaba-Jeddah-Sokhna limanları uğraklı Akdeniz-Karadeniz-Marmara-Kızıldeniz eksenli sefer bölgesidir. 2. alan ise Vietnam-Tayvan-Filipinler-Güney Kore-Çin ülkeleri limanları uğraklı Uzakdoğu eksenli sefer bölgesidir.

Charlie grubu gemilerinin sefer bölgeleri Şekil 22’de gösterilmektedir.



Not: Şekil www.scribblemaps.com sitesi üzerinden tasarlanmıştır.

Şekil 22. Charlie Grubu Gemilerin Sefer Bölgeleri

Charlie grubundaki 4 adet geminin sefer bölgeleri ve uğrak limanları iki alanda yoğunlaşmıştır. 1. sefer alanı Pire-Selanik-Ambarlı-Odessa-Novorossiysk-Gemlik-Poti-

Constanza-Burgas limanları, Ege-Karadeniz-Marmara sefer bölgesidir. 2. sefer alanı Salerno-Laspezia-Genoa-Algeciras-Casablanca-Leixoes-Setubal-Tarragona-Marsilya-Pire-Mersin-Beyrut-Alexandria limanları, Akdeniz-Batı Avrupa-Karadeniz sefer bölgesidir.

Delta grubundaki üç adet geminin sefer bölgeleri Şekil 23’de gösterilmektedir.



Not: Şekil www.scribblemaps.com sitesi üzerinden tasarlanmıştır.

Şekil 23. Delta Grubu Gemilerin Sefer Bölgeleri

Delta grubundaki 3 adet geminin sefer bölgeleri ve uğrak limanları genel olarak Gemlik-Ambarlı-Arzew-Constanza limanları, Akdeniz-Marmara-Batı Karadeniz sefer bölgesidir.

Echo grubu gemilerinin sefer bölgeleri Şekil 24’de gösterilmektedir.



Not: Şekil www.scribblemaps.com sitesi üzerinden tasarlanmıştır.

Şekil 24. Echo Grubu Gemilerin Sefer Bölgeleri

Echo grubundaki 2 adet geminin sefer bölgeleri ve uğrak limanları tek alanda yoğunlaşmıştır. Bunlar genel olarak Yarımcı-Gemlik-Ambarlı-Aliğa-Mersin-Alexandria-Port Said-Beyrut limanları uğraklı Akdeniz-Marmara eksenli sefer bölgesidir

Sonuç olarak gemilerin tamamı ekseriyetle açık deniz olarak adlandırılan su yollarında faaliyet göstermektedir. Herhangi bir geminin sürekli bir şekilde dar su yollarında çalıştığı

gözlenmemektedir. Alfa grubu gemileri Batı Avrupa, Batı Afrika limanları uğraklı Akdeniz-Karadeniz suları yoğunlukta faaliyet göstermiştir. Bravo grubu gemiler Akdeniz, Karadeniz, Kızıldeniz ve Uzakdoğu dolaylarında çalışırken, Charlie grubu gemiler Akdeniz ve Karadeniz sularının yanında Batı Avrupa ve Batı Afrika limanlarına da uğrak yapmıştır. Delta grubu gemiler Akdeniz ve Batı Karadeniz sularında sefer yaparken, Echo grubu gemilerin ise Akdeniz limanları başta olmak üzere Marmara Denizi sularında sefer yaptığı gözlemlenmektedir.

2.1.3. Çalışmada Kullanılacak Gemilerin Sefer Değişkenleri

Çalışmada 19 adet geminin sefer verileri, gemi kaptanı tarafından bildirilen sefer başlangıcından (COSP) sefer bitişi ilanına kadar (EOSP) geçen sefer süresi içerisindeki değişkenlerdir. Bu değişkenler, geminin limana bağlı bulunduğu durumların ve limandaki manevra operasyonlarının dahil edilmediği durumlardan oluşmaktadır. Sefer sırasındaki girilen özel emisyon alanlar için belirlenen limitlere uymak adına makinenin farklı kondüsyonlarda çalışması, farklı yakıt seçimi gibi durumlarda oluşan değişkenler elenmiştir. Kiracı ya da armatör talimatıyla yapılan gün içerisindeki hız değişimleri, anlık olarak değerlendirilmiş, bu konuda farklı RPM ve Pitch değerleri ile yapılan sefer söz konusu olmuş ve şayet saat bilgileri de bulunmamişsa veriler çalışmaya dahil edilmemiştir. Çalışmadaki 19 adet konteyner gemisinin çoğunlukla 2 yıllık sefer verileri incelenerek 4015 adet bildirimden 20075 farklı veri analiz edilmiştir. Beş farklı gruba ayrılan gemilerin sefer değişkenlerinin ortalama periyotları şu şekildedir:

Tablo 8. Sefer Değişkenleri Periyotları

Gemi Grubu	Sefer Periyodu	Sefer Bildirim Sayısı
Alfa	01.01.2017-01.04.2019 ~ 27 Ay (810 Gün)	1045
Bravo	01.01.2017-01.01.2019 ~ 24 Ay (720 Gün)	1140
Charlie	01.01.2018-01.02.2019 ~ 13 Ay (390 Gün)	529
Delta	01.01.2017-01.01.2019 ~ 24 Ay (720 Gün)	637
Echo	01.01.2017-01.01.2019 ~ 24 Ay (720 Gün)	664

Tablo 8’de gruplandırılmış gemilere ait verilerin zamanları verilmektedir. Buna göre Alfa grubundaki 6 adet gemiden elde edilen veriler yaklaşık 810 günlük ve 1045 adet sefer bildirim raporlarından oluşmaktadır.

Çalışmada kullanılan sefer değişkenleri, gemilerin sabah ya da öğle raporları, geminin yanaşma veya demirleme gibi farklı manevra durumu, aylık olarak hazırlanan sefer özetleri formları ve liman özeti dosyaları incelenerek elde edilmiştir. Sabah ya da öğle raporları gemilerde günlük olarak hazırlanmakta olup armatör ve kiracıya günün belirli saatlerinde 24 saat esasına göre gönderilmektedir. Farklı manevra durumları olduğunda hazırlanan raporlar ise manevranın olduğu tarih ve saat esas alınarak hazırlanmaktadır. Gemi tarafından şirkete sabah raporu olarak gönderilen mesaj örneği aşağıdaki gibidir:

Fm : M/V Alfa

Ref : d-2431 23/12 SEM36W17

good day,

date and time (gmt): 23.12.17 04:30

position (lat – long): 36 23n-020 52e

course: 086

rob ifo/mgo(hs-ls): 735.33/0-34.94

running hours from last report: 24 nm

running dist. from last report: 350,3 nm

average spd fm last report: 14.60 kts

ifo / mgo consumption fm last report: 33.28mt

daily average ifo/mgo) consumption fm last report: 33.28mt

rpm: 70 rpm

dist. to go next port (pilot station) or reference point: 1298,8 nm

last port: trizm

next port or reference point: maptm

eta to next port or reference point (gmt): 26.12.17 18:00

wind direction / force beaufort scale / sea state: ne 7/6

vessel time zone: +3

Best Regards,

Capt.

Günlük olarak hazırlanan mesaj örneğindeki bilgiler; gemi ismi, gemi mesaj referans numarası, tarih ve saat, gemi pozisyonu, mevcut yakıt miktarı, bir önceki rapordan müteakip katedilen

mesafe, geçen süre, ortalama hız, yakıt sarfıyatı makine çalışma devri, bir sonraki limanın pilot alım noktasına olan varış mesafesi ve tahmini varış zamanı (ETA), rüzgar yönü, şiddeti ve deniz durumu, geçmiş liman ve gidilecek liman bilgisi, geminin anlık pozisyonunda içinde bulunduğu zaman dilimidir.

Alınan verilerce oluşturulan sefer özeti örnek formları ise şu şekildedir:

Tablo 9. Aylık Sefer Özeti Formu Örneği

Ship (2017-2018)	Hava Etki	Hava Şiddet	Hava Bileşke	Sefer Saati	Günlük Hız	Baş Draft	Kıç Draft	Vasat Draft	Trim	RPM	Pitch	Seferlik Yakıt	Saatlik Yakıt
Alfa	-1,00	3,00	-3,00	13,00	12,02	7,30	8,80	8,05	1,50	127,00	65	13,70	1,05
Alfa	1,00	6,00	6,00	1,17	15,26	7,30	8,80	8,05	1,50	127,00	66	1,60	1,37
Alfa	1,00	2,00	2,00	11,00	15,00	7,25	8,60	7,93	1,35	127,00	73	15,03	1,37
Alfa	-1,00	3,00	-3,00	7,25	14,21	7,25	8,60	7,93	1,35	127,00	66	9,85	1,36
Alfa	-1,00	3,00	-3,00	14,17	13,68	6,60	7,80	7,20	1,20	127,00	67	18,90	1,33
Alfa	-1,00	2,00	-2,00	4,33	11,31	6,60	7,80	7,20	1,20	127,00	56	3,81	0,88
Alfa	1,00	4,00	4,00	24,00	11,24	6,60	7,80	7,20	1,20	127,00	57	22,00	0,92
Alfa	-1,00	4,00	-4,00	24,00	11,41	6,60	7,80	7,20	1,20	127,00	56	20,94	0,87
Alfa	-1,00	3,00	-3,00	24,00	11,45	6,60	7,80	7,20	1,20	127,00	58	24,14	1,01
Alfa	-1,00	6,00	-6,00	24,00	11,21	6,60	7,80	7,20	1,20	127,00	59	27,54	1,15
Alfa	-1,00	5,00	-5,00	3,00	11,10	8,30	9,30	8,80	1,00	127,00	53	2,70	0,90
Alfa	-1,00	8,00	-8,00	4,33	11,54	8,30	9,30	8,80	1,00	127,00	53	2,70	0,62
Alfa	-1,00	7,00	-7,00	0,17	13,20	8,70	9,30	9,00	0,60	127,00	53	0,19	1,12
Alfa	-1,00	4,00	-4,00	22,67	15,02	8,20	8,95	8,58	0,75	127,00	73	33,22	1,47
Alfa	-1,00	5,00	-5,00	15,00	10,78	8,20	8,95	8,58	0,75	127,00	54	12,91	0,86
Alfa	-1,00	4,00	-4,00	23,25	10,62	8,20	8,95	8,58	0,75	127,00	53	21,42	0,92
Alfa	-1,00	3,00	-3,00	23,00	10,39	8,50	9,40	8,95	0,90	127,00	53	19,82	0,86
Alfa	-1,00	3,00	-3,00	14,67	12,01	8,50	9,40	8,95	0,90	127,00	60	15,14	1,03
Alfa	-1,00	7,00	-7,00	24,00	11,33	8,10	8,90	8,50	0,80	127,00	60	21,37	0,89

Tablo 9’da aylık olarak hazırlanan sefer özeti formunda bulunan bilgiler geminin maruz kaldığı ortalama rüzgar yön, şiddet ve bileşkesi, sefer süresi, ortalama hız, baş, kıç ve vasat draft, trim, RPM, Pitch, seferlik ve saatlik (birim) yakıt sarfıyatlarıdır. Örneğin Alfa grubu bir gemi için verilen bilgilerin ilk satırının hava etki bölümüne bakıldığında “-1” olarak ifade edilen etki baştan gelen rüzgarı ifade etmektedir. Bu değer hava şiddeti ile çarpımı ise hava bileşke değerinin “-3” olması anlamına gelmektedir. Baş draft değeri ve kıç draft değeri sırasıyla 7,30 m ve 8,80 m’dir. Bu değerlerin toplamının yarısı yeni oluşturulan vasat draft değerini vermektedir. Trim değeri ise (1,50m) kıç draft (8,80m) ve baş draft (7,30m) değerlerinin sırası ile birbirlerinden farkını ifade etmektedir. RPM değeri 127 olarak gözükmektedir. Alfa gemi grubu değişken adımlı pervaneye sahip olduğundan en fazla kullanılan tek bir RPM değeri seçmiştir. Pitch sütununda ise 65 değeri bulunmakta olup geminin günlük rapordaki pervane açısını ifade etmektedir. Seferlik yakıt bilgisi (13,70t) sefer saati olan 13 saatlik süreçteki yakıt

sarfıyatıdır. Bu değer 13'e bölünerek saatlik yakıt sarfıyatı olmak üzere yeni bir değişken tanımlanmıştır.

Günlük raporlar çerçevesinde oluşturulan aylık sefer özeti raporları, köprüüstü ve makine bölümünden alınan bilgiler doğrultusunda oluşturulmaktadır. Hava durumuna ilişkin bilgiler hava şiddeti ve yönü olarak, geminin köprüüstü vardiyacısı tarafından anemometre yardımı ile belirlenmektedir. Geminin pruva değeri esas alınarak anemometre tarafından alınan rüzgar yönü ve hızı değeri gerekli düzeltmeler (gemi hız ve yönü) yapıldıktan sonra kayıt altına alınmakta, gemi jurnali ve söz konusu sabah-öğle seyir mesajlarına yazılmaktadır. Çalışmamızda hava değerinin, bu gözlemler sonucu elde edilen beaufort değeri tam olarak alınmıştır. Ancak rüzgar yaklaşık 0° ve 180° nispi kerterizden gelmemesi durumunda etkisi farklı bileşelerde olacağından 0° (baş) ve 180° (kıç) nispi yönde olan rüzgar değerleri 0° (-), 180° (+) olarak tanımlanmıştır. Rüzgar yönünün belirtilmeden rüzgar şiddetinin tek başına alınması ya da rüzgar yönünün rüzgar şiddeti hesaba katılmayarak alınması geminin yakıt tüketimindeki etkisini doğru bir şekilde ifade edemeyeceği düşünülmektedir. Bu bağlamda hava durumunun hesabında rüzgar nispi yön ile rüzgar şiddeti birlikte hesaba katılarak yeni bir veri oluşturulmuştur (Örnek: Nispi 180° 'den gelen rüzgarın şiddeti 4 beaufort ise bu +4 olarak ifade edilmiştir). Bu hesap yapılırken rüzgar yönü -1(baş) ve +1(kıç) ve beaufort şiddeti 0 ile 8 arasındaki verilerden oluşturulmuştur.

Sefer saati sefer başlangıcı saatinden sefer bitiş saatine kadar olan zaman dilimidir. Burada liman, demir, dar kanal vb. manevralar hesaba katılmamıştır.

Geminin baş, kıç ve vasat draft ve trim değerleri, geminin liman kalkışı öncesinde I. Zabit tarafından okunan gerçek değerlerdir. Bu değerler raporlara bire bir yazılmakta olup ayrıca liman özeti bilgileri dosyasına (port summary file) gemi yükleme (load master) programından da referans alınarak da aktarılmaktadır. Bu doğrultuda alınan değerlerden trim değeride hesaplanmaktadır. Trim değerleri kıça trim olup 0-3,6 m arasındadır.

Raporlarda yer alan RPM, Pitch ve yakıt sarfıyatı değerleri makine dairesinde tutulan makine jurnalinden ve diğer kayıt defterlerinden alınmaktadır. Burada sabit adımlı pervaneye sahip gemiler için farklı RPM değerlerinin yazılması, değişken adımlı pervaneye sahip gemiler için ise RPM değerinin sabit olduğu ancak pitch değerinin farklı olduğu durumların yazılması önemlidir. Bu bilgiler farklı makine verilerinin de olduğu bir dosyada tutulur ve raporları oluşturan köprüüstü vardiya zabiti tarafından rapora aktarılır. Yakıt sarfıyatı değerleri ise başmühendis tarafından hesaplanmakta ve kayıt altına alınmaktadır.

2.2. Yakıt Sarfiyatı Tahmin Modellerin Kurulması

2.2.1. Çoklu Doğrusal Regresyon Modelinin Kurulması

Çalışmada konteyner gemilerinden elde edilen sefer verileri çerçevesinde IBM SPSS 22 Paket Programı kullanılarak analizler yapılmıştır. Günlük ve aylık olarak oluşturulan gemi raporlarından, liman özet dosyalarından elde edilen verilerden regresyon analizine tabi tutulacak veriler aşağıdaki gibidir:

Bağımsız Değişken

- i) Havanın durumu (hava nispi yön ve beufort ölçeği bileşkesi)
- ii) Vasat draft değeri
- iii) Trim değeri
- vi) RPM ya da Pitch değeri (sabit adımlıda RPM, değişken adımlıda belirlenen RPM'de Pitch)

Bağımlı Değişken

- i) Birim (saat) yakıt sarfiyatı

Yukarıdaki sefer verileri toplam 5 farklı tipteki 19 adet konteyner gemilerinin sefer verilerini içermektedir. Bu verilerden gemilerin seyir yaptıkları yani bir başka ifade ile gemi hızının sıfırdan farklı olduğu durumlar ele alınmıştır. Öncelikle 19 geminin sefer verileri tek tek incelenmiş olup veri seti hatalı ve eksik verilerden arındırılmıştır. Ardından, kardeş gemiler tek bir gemi gibi ele alınıp 5 farklı grup oluşturularak sefer verileri bir araya getirilmiştir.

Değişkenler arasında ilişki olduğu tespit edildikten sonra, özelliklerden birine bakarak diğeri tahmin edilebilir ya da diğeri bağımsız değişkenlerin birlikte ele alındığı bir hipotez de kurulabilir ki bu çoklu regresyonla açıklanabilmektedir. Bu hipotez de şu şekilde kurulmalıdır: “RPM, trim, vasat draft, hava değerlerindeki değişim yakıt sarfiyatını etkilemektedir.”

Gemilerin yakıt sarfiyatları belirlenen 4 farklı bağımsız değişken ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Analiz için gerekli olan varsayımlara uyumluluk durumları açıklanmıştır. Değişkenlerin tamamı dahil edilerek (enter metodu) kurulan modelin tanımlayıcı istatistik değerleri incelenmiştir. Kurulan modelin uyumluluğu konusunda bilgi veren model özet tabloları değerlendirilmiştir. Modelin anlamlılığını bildiren Anova tablosu da açıklanmıştır. Ayrıca bağımsız değişkenlerinin çoklu doğrusallık durumu incelenmiş, katsayıların anlamları test edilmiş ve Durbin Watson test sonuçlarına da bakılmıştır. Regresyon analizinde regresyon hata değeri p-p plotlaması, regresyon modeli artık değerler saçılım grafiği de verilerek model denklemini oluşturulmuştur.

2.2.2. Yapay Sinir Ağları Modelinin Kurulması

Çalışmada konteyner gemilerinden elde edilen sefer verileri çerçevesinde MATLAB 2018 9.5 Sürümü Programı kullanılarak analizler yapılmıştır. Günlük ve aylık olarak oluşturulan gemi raporlarından, liman özet dosyalarından elde edilen verilerden yapay sinir ağları tahmin analizine tabi tutulacak veriler aşağıdaki gibidir:

Girdiler

- i) Havanın durumu (Hava nispi yön ve beufort ölçeği bileşkesi)
- ii) Vasat draft değeri
- iii) Trim değeri
- vi) RPM ya da Pitch değeri (Sabit adımlı pervanede RPM, Değişken adımlı pervanelerde belirlenen RPM'de Pitch)


Çıktı

- i) Birim (Saatlik) yakıt sarfiyatı

Yukarıdaki girdiler ve çıktılar toplam 5 farklı tipteki 19 adet konteyner gemilerinin sefer verilerini içermektedir. Söz konusu veriler geminin GPS cihazından alınan süratinin sıfırdan farklı olduğu durumları içermektedir. Öncelikle 19 adet konteyner gemisinin sefer verileri tek tek incelenmiş ve veri setinde eksik ya da hatalı görülen sefer bildirimleri elenmiştir. Örneklemin büyümesi amacıyla aynı tip olarak ifade edilen kardeş gemiler saptanmış ve bunlar tek bir grup halinde olacak şekilde oluşturulan 5 farklı gruba dahil edilmiştir.

Çoklu doğrusal regresyon analizine tabi tutulan verilerin aynısı MATLAB programı için de girilmiştir. Çoklu doğrusal regresyon analizindeki bağımlı değişken verileri burada girdi katmanı olarak belirlenmiş ve eksiksiz bir şekilde ağa dahil edilmiştir. Yine aynı şekilde çoklu doğrusal regresyon analizindeki yakıt sarfiyatı bağımlı değişkeni bu programda çıktı katmanı olarak belirlenmiştir.

Matlab programında tahminleme yapmak için birden fazla fonksiyonlar kullanılabilir. Ancak programın ağ tavsiyesi ve kurulacak ağın mimarisi şekil 25'de gösterilmektedir (MATLAB 9.5 Programı, 2018):



Welcome to the Neural Network Fitting app.

Solve an input-output fitting problem with a two-layer feed-forward neural network.

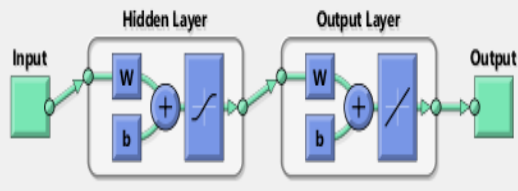
Introduction

In fitting problems, you want a neural network to map between a data set of numeric inputs and a set of numeric targets.

Examples of this type of problem include estimating engine emission levels based on measurements of fuel consumption and speed (*engine_dataset*) or predicting a patient's bodyfat level based on body measurements (*bodyfat_dataset*).

The Neural Fitting app will help you select data, create and train a network, and evaluate its performance using mean square error and regression analysis.

Neural Network



A two-layer feed-forward network with sigmoid hidden neurons and linear output neurons (*fitnet*), can fit multi-dimensional mapping problems arbitrarily well, given consistent data and enough neurons in its hidden layer.

The network will be trained with Levenberg-Marquardt backpropagation algorithm (*trainlm*), unless there is not enough memory, in which case scaled conjugate gradient backpropagation (*trainscg*) will be used.

Şekil 25. Neural Network Fitting Tools

Buna göre Neural Fitting (NF) uygulaması girdi ve çıktı katmanları için numerik veriler istemektedir. Söz konusu fonksiyon yakıt tüketimi ve hız ölçümlerine dayalı makine emisyon seviyelerinin tahmin edilmesi veya vücut ölçümlerine göre hastanın vücut yağ seviyesinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Neural Fitting uygulaması, verileri seçmeye, bir ağ oluşturmaya ve eğitmeye, regresyon analizini kullanarak performansını değerlendirmeye yardımcı olmaktadır.

Oluşturulan ağ modeli dört girdi değişkeni ve bir çıktı değişkenine sahiptir. MATLAB NF Tools ağı, ileri beslemeli geri yayımlı sigmoid fonksiyonuyla çalışan bir ağ modelidir. Bu fonksiyonun seçiminin sebebi ise tahminlerdeki uyumluluk oranının en yüksek görüldüğü fonksiyon olmasından kaynaklıdır. Ayrıca çalışmada öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt (LM) kullanılarak ve kısa denemelerle sonuca ulaşılmıştır. Yapay sinir ağlarında en iyi topolojik yapıya ulaşmak için geliştirilmiş herhangi bir kural bulunmadığından, bu aşamada deneme-yanılma yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak uygulama örneklerindeki hesaplamalar, oluşturulan ağ çerçevesinde yakıt sarfiyatı değişkeni tahmini dikkate alınarak yapılmıştır.

2.3. Çalışmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları

Çalışmada, tez amacı ve tez içeriği hakkında bilgilere yer verilen, çalışmanın konusunun belirlenme sebebini vurgulayan bir bölümle baştan bir çerçeve çizilmiye çalışılmıştır. Daha sonra tezin odak noktası olan enerji verimliliği kavramı öncelikle sürdürülebilirlik bakış açısı altında değerlendirilmiştir. Enerji verimliliğini ilişkin hususlar vurgulanmış ve çevre kirliliği açısından önemine değinilmiştir. Çalışmanın alanının denizcilik olmasından hareketle denizyolu taşımacılığına ilişkin ayrıntılı bilgiler verilerek deniz taşımacılığının çevre kirliliği üzerindeki etkilerine yer verilmiştir. Özellikle araştırmanın konteyner gemileri olmasından dolayı denizyolu taşımacılığı konteyner taşımacılığı üzerinde de değerlendirilmiştir. Daha sonra denizcilik piyasalarının, gemilerden kaynaklı çevre kirliliğini azaltmak ve sefer maliyetlerini düşürmek amacıyla gemiler üzerinde uyguladığı enerji verimliliği önlemleri hakkında bilgiler aktarılmıştır. Genel bilgiler bölümümün son kısmında enerji verimliliği uygulamaları engellerine dikkat çekilmiştir.

Çalışmada 19 adet 5 farklı grupta değerlendirilen konteyner tipi gemiler araştırılmıştır. Araştırmanın sınırlılığı incelenen gemi tiplerinin belirli özellikteki konteyner tipindeki gemiler olmasıdır. Çalışmada tekne, pervane, makine gibi alanlarda uygulanan enerji verimliliği arttırıcı gibi uygulamalardan bahsedilmiş ancak gemilerin yakıt sarfiyatı tahminlemelerinde sadece sefer değişkenleri dahil edilmiştir. Bu yüzden, çalışma kapsamında tekne-pervane temizliği gibi önlemler içermeden yapılan yakıt sarfiyatı tahminleri çalışmanın sınırlılığı olarak değerlendirilebilir. Bu noktada şu özellikle belirtilmelidir ki; incelenen gemilerin tekne pervane temizlik zamanları çoğunlukla aynı dönemlerde yapılmıştır. Birbirlerinden farklı sularda, özellikle iç sularda, dar su yollarında sefer gerçekleştirilmediğinden, yakıt tahminlerini etkileyebilecek karina temizliği gibi unsurlar hakkında düşüncemiz; gemilerin hemen hemen aynı kirlilik durumlarında seferlerini icra ettikleri, bu doğrultuda kirlilik durumlarında paralel olacağı ve böylece gruplar içindeki gemilerin sefer verilerinin uyumlu olacağı şeklindedir.

Çalışmada, yakıt sarfiyatına etki eden değişkenler belirlenip bu değişkenler çerçevesinde oluşan gemi yakıt sarfiyatı tahminleri ortaya konulmuştur. Bu tahminler literatürde de kullanılan çoklu doğrusal regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemi ile yapılmıştır. Her iki yöntemin uygulanması ile birlikte ilgili kişilere, yöntemlerin birbirleri arasındaki üstünlük durumunun değerlendirilerek seçme olanağı sunulmuştur. Verilen modellerin performans değerleri de kullanıcıya yöneme karar verme konusunda bir yol göstermektedir. Ayrıca yapay sinir ağları yönteminde, yakıt sarfiyatı tahmininde bulunmak isteyen gemi kaptanına ya da ilgili

kişilere basit bir şekilde hesaplama yöntemi sunmak olanaksızdır. Oluşturulan ağın kullanıcıya da sunulması gerekmektedir. Ancak çoklu doğrusal regresyonla yapılan tahminlerde verilen denklemler yoluyla ilgili kişilere hesap yapma imkanı tanınmaktadır.

Çalışma, denizcilik alanındaki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmasını sağlayan tartışma bölümü ve son olarak enerji verimliliğinin denizcilik endüstrisi ve akademi çevresine sağlayacağı katkıları ve ileri çalışma önerilerini belirten sonuç bölümü ile tamamlanmıştır.



3. BULGULAR

3.1. Çoklu Regresyon Analizi Bulguları

Bu bölümde, elde edilen verilerde bağımlı değişken olarak belirlenen saatlik yakıt sarfiyatı ve bağımsız değişkenler olarak belirlenen RPM ya da Pitch, vasat draft, hava bileşke ve trim değeri esas alınarak uygulanan çoklu regresyon analizi bulguları her gemi grubu için verilmektedir.

3.1.1. Alfa Grubu Gemilerin Çoklu Regresyon Analizi Bulguları

3.1.1.1. Regresyon Analizi Varsayımlarının Sınanması

a) Varsayımlarının Normallik Dağılımın Sınanması

Çalışmadaki veri setinde yer alan değişkenlerin normal dağılım durumları analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda değişkenlerin normallik durumunu ifade eden tablo aşağıda verilmektedir:

Tablo 10. Alfa Grubu Normallik Dağılımı Tablosu

Değişken	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk		Skewness	Kurtosis
	Statistic	P	Statistic	P	Statistic	Statistic
Birim Yakıt Sarfiyatı	0,114	0,000	0,935	0,000	0,616	-0,633

Tablo 10'a göre birim yakıt sarfiyatı bağımlı değişkeninin Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk P (olasılık) değerleri 0'dır. Yani bu değerlere göre birim yakıt sarfiyatı bağımlı değişkeninin normal dağılmadığı söylenebilmektedir. Ancak bu değerler her zaman normalliği ifade etmede kullanılmamaktadır. Bunun yerine skewness ve kurtosis değerlerine bakılmaktadır. Bu açıdan skewness ve kurtosis değerlerinin $-2/+2$ arasında yer aldığı görülmektedir. birim yakıt sarfiyatı bağımlı değişkeninin normal bir dağılım gösterdiği söylenebilir.

b) Çoklu Doğrusallığın Sınanması

Kurulacak bir regresyon modelinde çoklu doğrusallık sorunu tespitinde VIF ve tolerance değerlerine bakılmaktadır. Modelin çoklu doğrusallık varsayım sınama tablosu şu şekildedir:

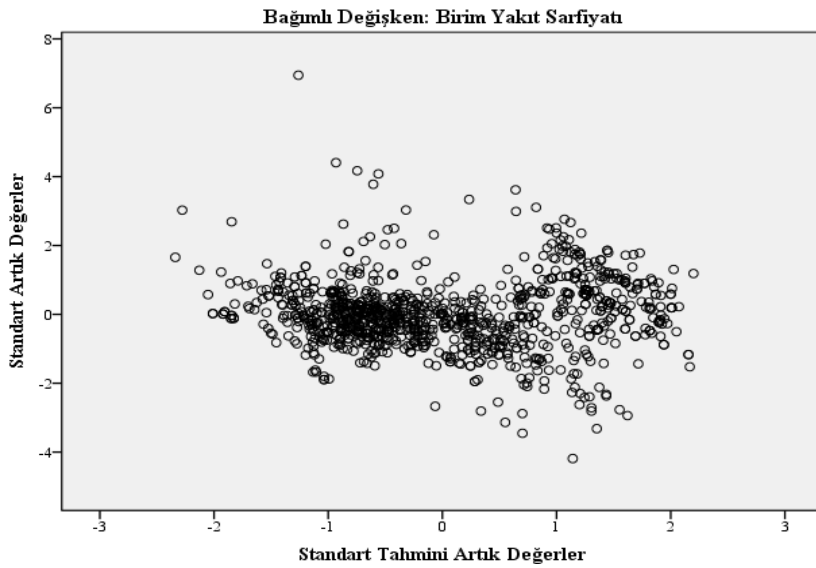
Tablo 11. Alfa Grubu Çoklu Doğrusallık Testi Tablosu

Değişken	VIF	Tolerance
Hava Durumu	1,005	0,995
Vasat Draft	1,793	0,558
Trim	1,790	0,559
Pitch	1,016	0,984

Buna göre VIF değerleri 5'in altında olup Tolerance değerleri de 0,2'den büyüktür. Bu açıdan modeldeki değişkenlerde çoklu doğrusallık sorununun olmadığı görülmektedir. Modele değişkenlerin tamamı dahil edilecektir.

c) Otokorelasyon, Eşit Varyans ve Sıfır Ortalamaları Sınanması

Regresyon modelinde hata terimleri arasında ilişki olmamalıdır. Herhangi bir gözleme ait hata terimi diğer bir gözlemdeki hata terimini etkiliyorsa varsayımdan sapma söz konusu olup modelde otokorelasyon sorunu vardır. Regresyon analizindeki hata terimlerinin otokorelasyon, eşit varyans ve sıfır ortalamaları varsayımları durumu gösteren saçılım grafiği aşağıdaki gibidir:



Şekil 26. Alfa Grubu Regresyon Modeli Artıklar Saçılım Grafiği

Şekil 26'ya göre, hata terimleri çok belirgin bir şekil ve desen oluşturmamaktadır. Aynı zamanda hata veya artık değerlerin sıfır değerinin her iki yanına rastgele şekilde dağılmış olduğu görülmektedir. Hata terimlerinin çok küçük bir kısmı hariç, ortalama değerler içinde (+2/-2) yer aldığı ifade edilebilir. Bu değerler yardımı ile hata terimleri için normalite, eşit varyans ve sıfır ortalama sınamaları büyük oranda kabul edilmiştir. Yine önemli bir sınamaya olan otokorelasyon için de saçılım şeklinin belirgin deseni izlemediği görülmüştür. Bazı regresyon çalışmalarında kullanıldığı tespit edilen, her bir örneklem için 1 değerinin altında olması beklenen Cook değeri de varsayımlar için sınanmış, tüm değerlerin belirtilen eşikten düşük olduğu gözlenmiştir.

3.1.1.2. Regresyon Analizi ve Regresyon Modeli

Alfa grubundaki 6 adet konteyner gemisinin ortalama 810 günlük sefer verilerinden elde edilen regresyon analizi bulguları tanımlayıcı istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Tablo 12. Alfa Grubu Tanımlayıcı İstatistikler Tablosu

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma	Veri Sayısı
Birim Yakıt Sarfıyatı	1,3831	0,42683	1045
Hava Durumu	-1,4402	3,10813	1045
Vasat Draft	7,4612	0,96992	1045
Trim	1,2020	0,76233	1045
Pitch	70,2000	12,29628	1045

Tablo 12'de 1045 adet gemi günlük bildirim raporlarından alınan 5225 adet beş farklı değişken grubunun ortalama değerleri ve standart sapmaları verilmektedir. Alfa grubu gemilerin ortalama yakıt sarfiyatlarının 1,38 ton olduğu, trim değerlerinin 1,20 m, vasat draft değerlerinin 7,46m, ve pitch değerlerinin de 70,2 dolaylarında olduğu gözükmektedir.

Alfa grubu gemilerin değişkenler ilişki tablosu ise şu şekildedir:

Tablo 13. Alfa Grubu Korelasyon Tablosu

		Birim Yakıt Sarfıyatı	Hava Durumu	Vasat Draft	Trim	Pitch
Pearson Korelasyon	Birim Yakıt Sarfıyatı	1,000	-0,064	0,173	-0,114	0,866
	Hava Durumu	-0,064	1,000	0,052	-0,020	-0,036
	VasatDraft	0,173	0,052	1,000	-0,663	0,108
	Trim	-0,114	-0,020	-0,663	1,000	-0,112
	Pitch	0,866	-0,036	0,108	-0,112	1,000
Sig. (1-tailed)	Birim Yakıt Sarfıyatı	-	0,019	0,000	0,000	0,000
	Hava Durumu	0,019	-	0,045	0,264	0,120
	VasatDraft	0,000	0,045	-	0,000	0,000
	Trim	0,000	0,264	0,000	-	0,000
	Pitch	0,000	0,120	0,000	0,000	-

Buna göre tek yönlü kurulacak olan bir hipotez için anlamlılık durumunu ifade eden p değerleri 0,05'den küçüktür. Tüm bağımsız değişkenlerin ayrı ayrı bağımlı değişken üzerinde anlamlı olduğu görülmektedir. Değişkenler arası ilişkiyi ifade eden pearson correlation değerlerinde ise Pitch değerinin 0,866 ile yakıt sarfıyatıyla pozitif yönde çok yüksek bir ilişkide olduğu ancak trimin negatif yönde düşük bir ilişkide olduğu görülmektedir.

Alfa grubu gemilerin çoklu regresyon analizinde öncelikle “enter” metodu kullanılmış ve belirlenen tüm bağımsız değişkenler olduğu gibi modele dahil edilmiştir. Enter metodu ile elde edilen modelin özet ve anova tablosu aşağıda verilmektedir:

Tablo 14. Alfa Grubu Model Özet ve Anova Tablosu

Model Özet Bulguları	Model Anova Bulguları
R= 0,872	Sigma (P)= 0,000
R ² = 0,760	
Düzeltilmiş R ² = 0,759	
Durbin-Watson= 1,282	

Bağımsız Değişkenler: (Sabit terim), pitch, vasat draft, hava durumu, trim

Bağımlı Değişken: birim yakıt sarfıyatı

Oluşturulan modelin özet tablosuna göre R değeri (çoklu korelasyon katsayısı) 0,872 olarak gözükmektedir. Gözlenen yakıt sarfıyatı değeri ile tahmin edilen yakıt sarfıyatı değeri arasında ilişki düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir. R² değeri (çoklu belirtme katsayısı)

0,760'lük bir değer almıştır. Modelde kullanılan bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama durumunu ifade etmektedir. Başka bir deyişle değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Düzeltmiş R^2 değeri ise 0,759 olarak görülmektedir. Oluşturulan modelin ana kütleyle olan uyumu %75,9 oranında olduğunu ifade etmektedir. Öte yandan modelin otokorelasyon varsayımında zaman zaman başvuru ancak güçlü bir gösterge olmayan Durbin Watson katsayısına bakıldığında değer 1,282 (0'dan uzak) olup otokorelasyonun olmadığını, modelde önemli bir değişkenin unutulmadığını göstermektedir.

Regresyon modelinin bir bütün olarak anlamlılığını gösteren Anova bulgularında ise model anlamlı bulunmuştur (Anova Sig. (p) < 0,01). Bağımsız değişkenler olarak belirlenen değerler modelin önemli bir açıklayıcısıdır. Başka bir ifade ile yakıt sarfiyatının açıklanması için belirlenen bağımsız değişkenlerin (sabit terim, pitch, vasat draft, hava durumu, trim) en az birine ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Alfa grubu gemilerin regresyon analizi katsayı korelasyon tablosu aşağıdaki gibidir:

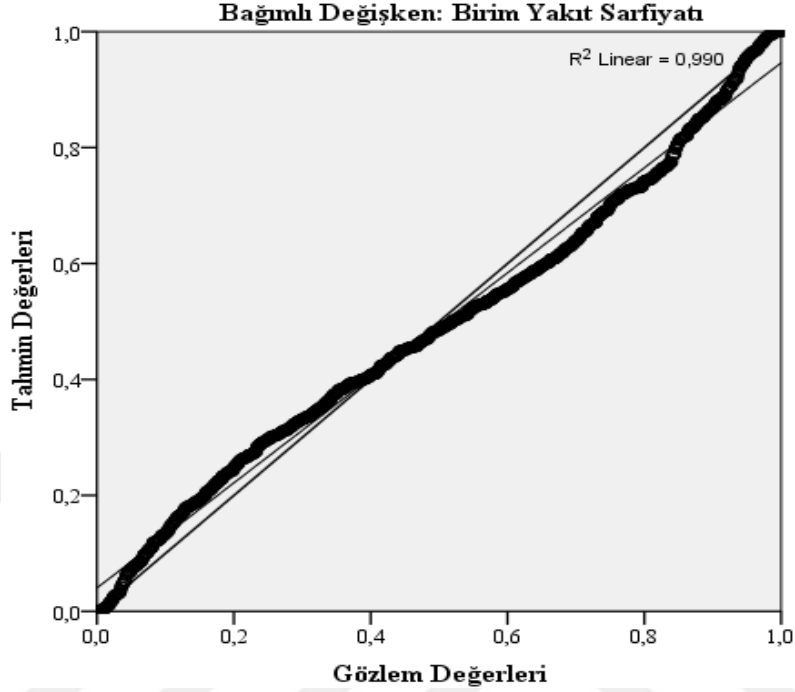
Tablo 15. Alfa Grubu Regresyon Katsayı Korelasyonu Tablosu

Model (1)		Pitch	Hava Durumu	Vasat Draft	Trim
Korelasyon	Pitch	1,000	0,041	0,053	-0,048
	Hava Durumu	0,041	1,000	-0,018	-0,055
	Vasat Draft	0,053	-0,018	1,000	0,659
	Trim	-0,048	-0,055	0,659	1,000
Kovaryans	Pitch	0,000	0,000	0,000	0,000
	Hava Durumu	0,000	0,003	0,000	0,000
	Vasat Draft	0,000	0,000	0,000	0,000
	Trim	0,000	-0,001	0,000	0,000

Bağımlı Değişken: Birim Yakıt Sarfiyatı

Tablo 15'e göre değişkenlerin birbirleri arasındaki ilişkiye bakıldığında, pitch değişkeni ile diğer bağımsız değişkenler arasındaki bir ilişkiden söz etmek mümkün değildir. Burada örneğin vasat draft ile pitch arasında bir korelasyonun olmadığı (0,053) net olarak gözükmemektedir. Korelasyon satırındaki değerlerden modelin çoklu doğrusallık probleminin olmadığı söylenebilir. Öte yandan tabloda verilen değişkenlerin ikili olarak ne kadar değiştiğini gösteren kovaryans satırına göre Pitch değişkeni ile diğer değişkenlerin ilişkisinin olmadığı 0,000 katsayısı ile açık bir şekilde görülebilmektedir.

Alfa grubu gemilerin regresyon analizi normal P-P Plotlama grafiği aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 27. Alfa Grubu Regresyon Hata Değeri P-P Plotlaması

Şekil 27' de yakıt sarfıyatı normallik değerinin kabul edilebilir düzeyde, tahmin değerleri ile gözlem değerleri hata değerleri (0,990) arasındaki farkın iyi olduğu görülmektedir.

Son olarak Alfa grubu gemilerin regresyon analizi katsayı tablosu aşağıdaki gibidir.

Tablo 16. Alfa Grubu Regresyon Katsayı Tablosu

Model (1)	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	Sig. (P)	Korelasyon		
	B	Std. Hata	Beta		Zero-order	Partial	Part
(Constant)	-1,170	0,084	-	0,000	-	-	-
Hava Durumu	-0,005	0,002	-0,038	0,012	-0,064	-0,078	-0,038
Vasat Draft	0,055	0,009	0,125	0,000	0,173	0,188	0,094
Trim	0,036	0,011	0,064	0,002	-0,114	0,098	0,048
Pitch	0,030	0,001	0,858	0,000	0,866	0,867	0,851

Bağımlı Değişken: Birim Yakıt Sarfıyatı

Tablo 16’ da verilen bağımlı değişken için modelin tahmin ettiği değerler bölümüne bakıldığında (standardize edilmemiş katsayılar bölümü), bağımsız değişkenlerin katsayıları (B) görülmektedir. Buna göre 1 birimlik pitch artışı 0,030 birimlik yakıt sarfiyatı artışına sebep olmaktadır. Aynı şekilde tahmin edilen değerlerin standardize edilmiş katsayılar bölümüne bakıldığında (Beta), en büyük katsayıya (0,858) sahip olan en önemli değişkenin pitch değişkeni olduğu görülmektedir. Pitch değişkeninde 1 birimlik standart sapma değişimi saatlik yakıt sarfiyatı üzerinde 0,858 birimlik standart sapma değişimi meydana getirdiği anlaşılmaktadır. Öte yandan modelin bağımsız değişkenlerinin anlamlılığını ifade eden Sig.(P) sütununa göre tüm değişkenlerin katsayıları 0,05’den küçüktür. Bu yüzden denklem oluşturulurken tüm değişkenlerin hesaba katılmasına gerek olacaktır. Bu bağlamda yakıt sarfiyatı üzerinde tüm değişkenlerin etkili olduğu tespit edilmektedir.

Regresyon analizinde katsayı tablosunda önemli olan bir diğer husus ise Korelasyon bölümüdür. Bu bölüm zero-order, partial (kısmi) ve part (yarı kısmi) olmak üzere 3 farklı sütunda verilmektedir. Buna göre zero-order bölümü her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken ile Pearson korelasyonunu açıklamaktadır (Bknz. Tablo-12 pearson korelasyonu). Ancak regresyon modelindeki amaçlardan bir diğeri de kısmi ve yarı kısmi ilişkiyi de açıklamaktır. Kısmi korelasyon diğer tüm bağımsız değişkenlerin belirlenen bağımsız değişken ve bağımlı değişken üzerindeki etkisinin arıtıldığından sonraki bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki korelasyon katsayısıdır. Buna göre Pitch değeri ile yakıt sarfiyatı arasında (0,867) pozitif yönde yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmektedir. Yarı kısmi korelasyon sütunu ise diğer tüm bağımsız değişkenlerin belirlenen bağımsız değişken üzerindeki etkisini arıttıktan sonra bağımlı değişken ile arasındaki korelasyon katsayısını göstermektedir. Buna göre Pitch değeri ile yakıt sarfiyatı arasında (0,851) pozitif yönde yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmektedir.

Regresyon katsayı tablosu değerleri doğrultusunda oluşturulan modelin yakıt sarfiyatı regresyon denklemi aşağıdaki gibidir:

$$YS = -1,170 - 0,005(HD) + 0,055(VD) + 0,036(T) + 0,030 (P) \quad (5)$$

YS: Birim Yakıt Sarfiyatı

HD: Hava Durumu

VD: Vasat Draft

T: Trim

P: Pitch

3.1.2. Bravo Grubu Gemilerin Çoklu Regresyon Analizi

3.1.2.1. Regresyon Modeli Varsayımlarının Sınanması

a) Varsayımlarının Normallik Dağılımın Sınanması

Çalışmadaki veri setinde yer alan değişkenlerin normal dağılım durumları analiz edilmeye çalışılmıştır. Değişkenlerin normallik durumu tablosu aşağıda verilmektedir:

Tablo 17. Bravo Grubu Normallik Dağılımı Tablosu

Değişken	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk		Skewness	Kurtosis
	Statistic	P	Statistic	P	Statistic	Statistic
BirimYakıt Sarfıyatı	0,094	0,000	0,932	0,000	0,942	0,733

Tablo 17'ye göre değişkenlerimizin Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testine göre p değeri "0" olup bu değerlere göre değişkenler normal dağılmadığı söylenebilmektedir. Ancak skewness ve kurtosis değerlerinin -2/+2 arasında yer aldığı görülmektedir. Buna göre veriler normal bir dağılım göstermiştir.

b) Çoklu Doğrusallığın Sınanması

Kurulacak bir regresyon modelinde çoklu doğrusallık sorununun olup olmadığını test etmekte VIF ve tolerance değerlerine bakılmaktadır. Oluşturulan modelin çoklu doğrusallık varsayım sınaması tablosu aşağıda verilmektedir:

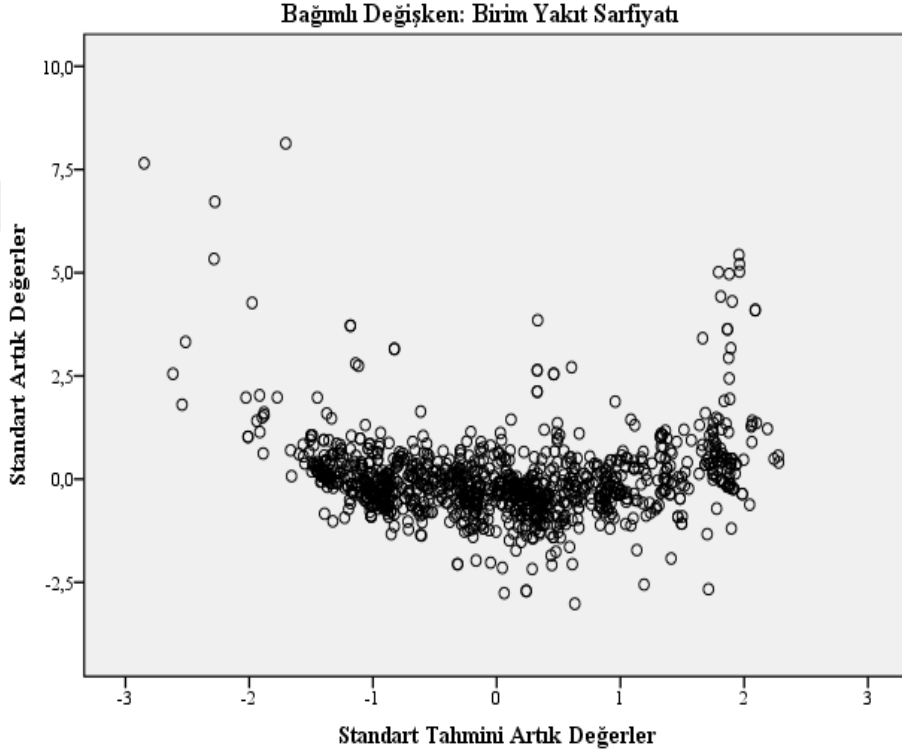
Tablo 18. Bravo Grubu Çoklu Doğrusallık Testi Tablosu

Değişken	VIF	Tolerance
Hava Durumu	1,008	0,992
Vasat Draft	1,244	0,804
Trim	1,238	0,808
RPM	1,016	0,985

Buna göre VIF değerleri 5'in altında olup Tolerance değerleri de 0,2'den büyüktür. Bu açıdan modeldeki değişkenlerde çoklu doğrusallık sorununun olmadığı görülmektedir. Modele değişkenlerin tamamı dahil edilecektir.

c) Otokorelasyon, Eşit Varyans ve Sıfır Ortalamaları Sınanması

Regresyon modelinin temel varsayımlarından biri hata terimleri arasında ilişkinin olmamasıdır. Herhangi bir gözleme ait hata terimi diğer bir gözlemdeki hata terimini etkiliyorsa varsayımdan sapma söz konusu olup modelde otokorelasyon sorunu vardır. Regresyon analizindeki hata terimlerinin otokorelasyon, eşit varyans ve sıfır ortalamaları varsayımları durumu gösteren saçılım grafiği aşağıdaki gibidir:



Şekil 28. Bravo Grubu Regresyon Modeli Artıklar Saçılım Grafiği

Şekil 28'e göre, hata terimleri çok belirgin bir şekil ve desen oluşturmamaktadır. Aynı zamanda hata veya artık değerlerinin rastgele dağıldığı görülmektedir. Genel olarak hata terimlerinin sıfır değerinin her iki yanına rastgele şekilde dağılmış olduğu görülmektedir. Hata terimlerinin büyük ölçüde ortalama değerler içindedir (+2/-2). Bu değerler yardımı ile hata terimleri için normalite, eşit varyans ve sıfır ortalama sınamaları büyük oranda kabul edilmiştir. Yine önemli bir sınaama olan otokorelasyon için de saçılım şeklinin belirgin deseni izlemediği görülmüştür. Bazı regresyon çalışmalarında kullanıldığı tespit edilen, her bir örneklem için 1 değerinin altında olması beklenen Cook değeri de varsayımlar için sınanmış, tüm değerlerin belirtilen eşikten düşük olduğu gözlenmiştir.

3.1.2.2. Regresyon Analizi Sonuçları ve Kurulan Regresyon Modeli

Bravo grubundaki 4 adet konteyner gemisinin ortalama 720 günlük sefer verilerinden elde edilen regresyon analizi bulguları tanımlayıcı istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Tablo 19. Bravo Grubu Tanımlayıcı İstatistikler Tablosu

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma	Veri Sayısı
Birim Yakıt Sarfiyatı	0,8506	0,81332	1140
Hava Durumu	-2,0974	2,97313	1140
Vasat Draft	9,3733	1,29312	1140
Trim	0,9367	0,73287	1140
RPM	67,3544	12,63212	1140

Tablo 19’ da 1140 adet bildirim raporlarından alınan 5700 adet beş farklı değişken grubunun ortalama değerleri ve standart sapmaları verilmektedir. Buna göre gemilerin ortalama yakıt sarfiyatları 0,85t, vasat draftları 9,37m, trim değerleri 0,93m ve RPM değerleri ise 67 civarındadır.

Bravo grubu gemilerin değişkenler ilişki tablosu aşağıda verilmektedir.

Tablo 20. Bravo Grubu Korelasyon Tablosu

		Birim Yakıt Sarfiyatı	Hava Durumu	Vasat Draft	Trim	RPM
Pearson Korelasyon	Birim Yakıt Sarfiyatı	1,000	-0,103	0,064	0,072	0,913
	Hava Durumu	-0,103	1,000	0,017	-0,032	-0,085
	Vasat Draft	0,064	0,017	1,000	-0,436	0,074
	Trim	0,072	-0,032	-0,436	1,000	-0,013
	RPM	0,913	-0,085	0,074	-0,013	1,000
Sig. (1-tailed)	Birim Yakıt Sarfiyatı	-	0,002	0,015	0,007	0,000
	Hava Durumu	0,000	-	0,283	0,139	0,002
	VasatDraft	0,015	0,283	-	0,000	0,006
	Trim	0,007	0,139	0,000	-	0,333
	RPM	0,000	0,002	0,006	0,333	-

Buna göre tek yönlü kurulacak olan bir hipotez için anlamlılık durumunu ifade eden p değerleri 0,05'den küçüktür. Tüm bağımsız değişkenlerin ayrı ayrı bir şekilde bağımlı değişken üzerinde anlamlı olduğu görülmektedir. Yakıt sarfiyatının RPM değeri ile (Pearson Correlation:0,913) pozitif yönde çok yüksek düzeyde ilişkide olduğu görülmektedir.

Bravo grubu gemilerin çoklu regresyon analizi enter metodu ile elde edilen modelinin özet ve anova tablosu aşağıda verilmektedir:

Tablo 21. Bravo Grubu Model Özet ve Anova Tablosu

Model Özet Bulguları	Model Anova Bulguları
R= 0,915	Sigma (P)= 0,000
R ² = 0,838	
Düzeltilmiş R ² = 0,837	
Durbin-Watson= 1,848	

Bağımsız Değişkenler: (Sabit terim), RPM, vasat draft, hava durumu,trim
Bağımlı Değişken: birim yakıt sarfiyatı

Oluşturulan modelin özet tablosuna göre R değeri 0,915 olarak gözükmektedir. Gözlenen yakıt sarfiyatı değeri ile tahmin edilen yakıt sarfiyatı değeri arasında ilişki düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir. R² değeri 0,838'lik bir değer almıştır. Modelde değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Düzeltilmiş R² değeri ise 0,837 olarak görülmektedir. Oluşturulan modelin ana kütleyle olan uyumu %83,7 oranında olduğunu ifade etmektedir. Durbin Watson katsayısı değeri 1,848 (0'dan uzak) olup otokorelasyonun olmadığını, modelde önemli bir değişkenin unutulmadığını göstermektedir.

Regresyon modelinin bir bütün olarak anlamlılığını gösteren Anova bulgularında ise model anlamlı bulunmuştur (Anova Sig. (p) < 0,01). Modeldeki bağımsız değişkenler olarak belirlenen RPM, vasat draft, trim ve hava durumu değerleri yakıt tahmini için oluşturulan modelin bağımlı değişkeni olarak belirlenen birim yakıt sarfiyatının önemli bir açıklayıcısı durumundadır.

Bravo grubu gemilerin regresyon analizi katsayı korelasyon tablosu aşağıdaki gibidir:

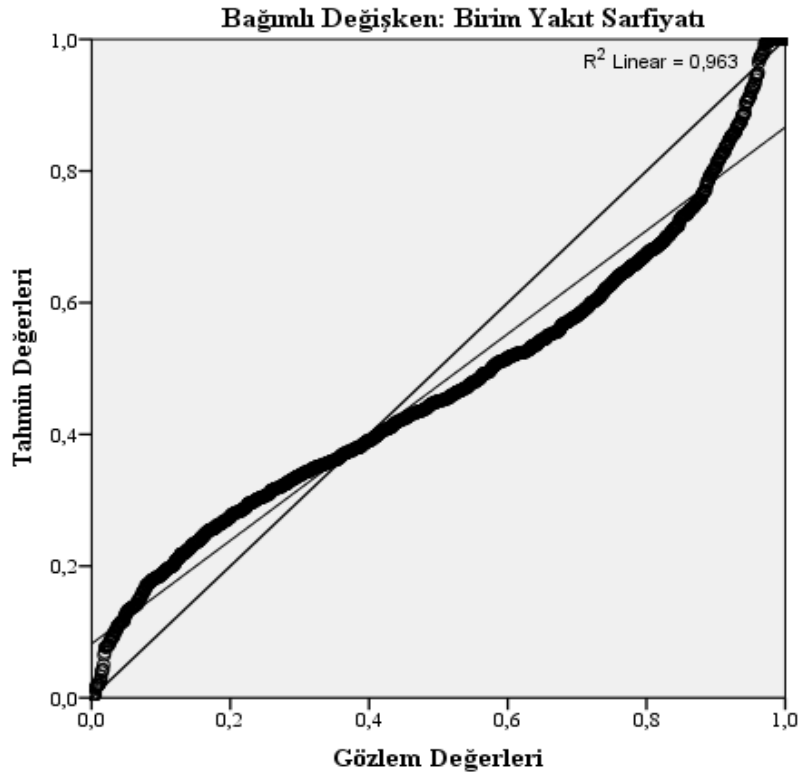
Tablo 22. Bravo Grubu Regresyon Katsayı Korelasyonu Tablosu

Model (1)		RPM	Trim	Hava Durumu	Vasat Draft
Korelasyon	RPM	1,000	-0,048	0,086	-0,090
	Trim	-0,048	1,000	0,023	0,438
	Hava Durumu	0,086	0,023	1,000	-0,011
	Vasat Draft	-0,090	0,438	-0,011	1,000
Kovaryans	RPM	0,000	0,000	0,000	0,000
	Trim	0,000	0,000	0,000	0,000
	Hava Durumu	0,000	0,000	0,000	0,000
	Vasat Draft	0,000	0,000	0,000	0,000

Bağımlı Değişken: Birim Yakıt Sarfıyatı

Tablo 22'ye göre değişkenlerin birbirleri arasındaki ilişkiye bakıldığında bir korelasyonun olmadığı gözükmemektedir. Korelasyon satırındaki değerlerden modelin çoklu doğrusallık probleminin olmadığı söylenebilir. Kovaryans satırına göre RPM değişkeni ile diğer değişkenlerin (trim, hava durumu, vasat draft) ilişkisinin olmadığı görülebilmektedir.

Bravo grubu gemilerin normal P-P Plotlama grafiği şu şekildedir:



Şekil 29. Bravo Grubu Regresyon Hata Değeri P-P Plotlaması

Şekil 29'a göre birim yakıt sarfiyatı normallik değerinin kabul edilebilir bir durumda olduğu görülmektedir. Tahmin değerleri ile gözlem değerleri hata değerlerinin 0,963 olduğu böylece aradaki farkın iyi durumda olduğu görülmektedir.

Son olarak Bravo grubu gemilerin regresyon analizi katsayı tablosu şu şekildedir:

Tablo 23. Bravo Grubu Regresyon Katsayı Tablosu

Model (1)	Standardize Edilmemiş		Standardize Edilmiş	Sig. (P)	Korelasyon		
	Katsayılar		Katsayılar		Zero-order	Partial	Part
	B	Std. Hata	Beta				
(Constant)	-2,343	0,097	-	0,000	-	-	-
Hava Durumu	-0,007	0,003	-0,024	0,045	-0,103	-0,059	-0,024
Vasat Draft	0,018	0,008	0,029	0,032	0,064	0,064	0,026
Trim	0,080	0,015	0,073	0,000	0,072	0,160	0,065
RPM	0,058	0,001	0,908	0,000	0,913	0,913	0,901

Bağımlı Değişken: Birim Yakıt Sarfiyatı

Tablo 23'e göre 1 birimlik RPM artışı 0,058 birimlik yakıt sarfiyatı artışına sebep olmaktadır. En büyük Beta katsayısına (0,908) sahip olan en önemli değişkenin RPM değişkeni olduğu görülmektedir. Öte yandan modelin bağımsız değişkenlerinin anlamlılığını ifade eden Sig.(P) sütununa göre tüm değişkenlerin katsayıları 0,05'den küçüktür. Bu yüzden denklem oluşturulurken tüm değişkenlerin hesaba katılmasına gerek olacaktır. Bu bağlamda yakıt sarfiyatı üzerinde tüm değişkenlerin etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Korelasyon sütunu zero-order bölümüne göre her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken ile Pearson korelasyonunu açıklamaktadır (Bknz. Tablo-19 pearson korelasyonu). Ancak regresyon modelindeki amaçlardan bir diğeri de kısmi ve yarı kısmi ilişkiyi de açıklamaktır. Kısmi korelasyon diğer tüm bağımsız değişkenlerin belirlenen bağımsız değişken ve bağımlı değişken üzerindeki etkisinin arıtıldığından sonraki bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki korelasyon katsayısıdır. Buna göre RPM değeri ile yakıt sarfiyatı arasında (0,913) pozitif yönde çok yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmektedir. Yarı kısmi korelasyon sütunu ise diğer tüm bağımsız değişkenlerin belirlenen bağımsız değişken üzerindeki etkisini arıttıktan sonra bağımlı değişken ile arasındaki korelasyon katsayısını göstermektedir. Buna göre RPM değeri ile saatlik yakıt sarfiyatı arasında (0,901) pozitif yönde yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmektedir.

Oluşturulan modelin saatlik yakıt sarfiyatı regresyon denklemi aşağıdaki gibidir:

$$YS = -2,343 - 0,007(HD) + 0,018(VD) + 0,080(T) + 0,058 (RPM) \quad (6)$$

YS: Birim Yakıt Sarfiyatı

HD: Hava Durumu

VD: Vasat Draft

T: Trim

RPM: Pervanenin bir dakikadaki tur sayısı

3.1.3. Charlie Grubu Gemilerin Çoklu Regresyon Analizi

3.1.3.1. Regresyon Modeli Varsayımlarının Sınanması

a) Varsayımlarının Normallik Dağılımın Sınanması

Çalışmadaki veri setinde yer alan değişkenlerin normal dağılım durumları analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda değişkenlerin normallik durumunu ifade eden tablo aşağıda verilmektedir:

Tablo 24. Charlie Grubu Normallik Dağılımı Tablosu

Değişken	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk		Skewness	Kurtosis
	Statistic	P	Statistic	P	Statistic	Statistic
Birim Yakıt Sarfiyatı	0,110	0,000	0,950	0,000	-0,359	-0,966

Tablo 24'e göre değişkenlerimizin Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testine göre p değeri "0" olup bu değerlere göre değişkenler normal dağılmadığı söylenebilmektedir. Ancak skewness ve kurtosis değerlerinin -2/+2 arasında yer aldığı görülmektedir. Buna göre veriler normal bir dağılım göstermiştir.

b) Çoklu Doğrusallığın Sınanması

Kurulacak bir regresyon modelinde çoklu doğrusallık sorununun olup olmadığını test etmekte VIF ve tolerance değerlerine bakılmaktadır. Oluşturulan modelin çoklu doğrusallık varsayım sınaması tablosu şu şekildedir:

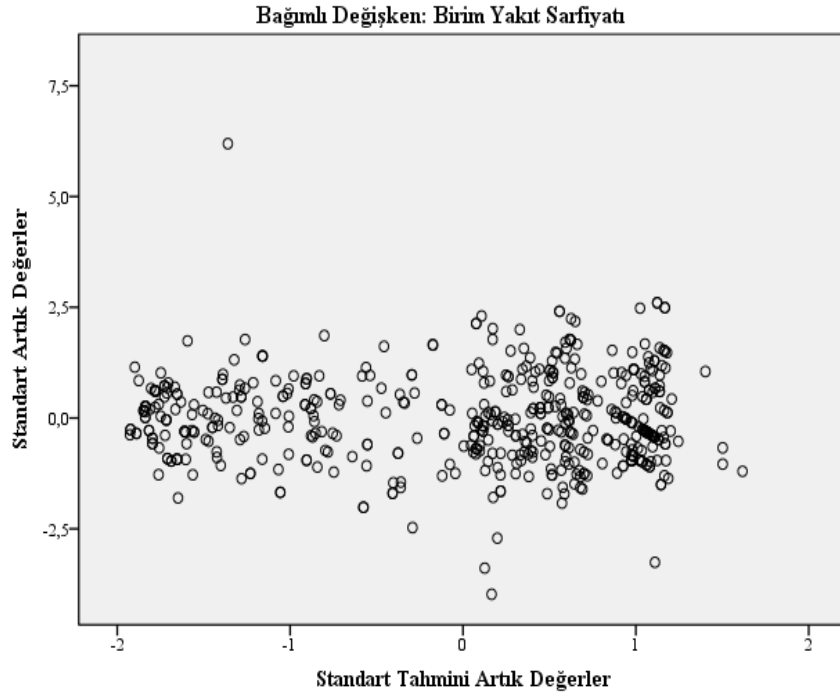
Tablo 25. Charlie Grubu Çoklu Doğrusallık Testi Tablosu

Değişken	VIF	Tolerance
Hava Durumu	1,017	0,983
Vasat Draft	1,368	0,731
Trim	1,353	0,739
RPM	1,030	0,971

Buna göre VIF değerleri 5'in altında olup tolerance değerleri de 0,2'den büyüktür. Bu açıdan modeldeki değişkenlerde çoklu doğrusallık sorununun olmadığı görülmektedir. Modele değişkenlerin tamamı dahil edilecektir.

c) Otokorelasyon, Eşit Varyans ve Sıfır Ortalamaları Sınanması

Regresyon modelinin temel varsayımlarında biri hata terimleri arasında ilişkinin olmamasıdır. Herhangi bir gözleme ait hata terimi diğer bir gözlemdeki hata terimini etkiliyorsa varsayımdan sapma söz konusu olup modelde otokorelasyon sorunu vardır. Regresyon analizindeki hata terimlerinin otokorelasyon, eşit varyans ve sıfır ortalamaları varsayımları durumu gösteren saçılım grafiği aşağıdaki gibidir:



Şekil 30. Charlie Grubu Regresyon Modeli Artıklar Saçılım Grafiği

Şekil 30'a göre, hata veya artık değerlerinin rastgele dağıldığı görülmektedir. Genel olarak hata terimlerinin sıfır değerinin her iki yanına rastgele şekilde dağılmış olduğu görülmektedir. Hata terimlerinin büyük ölçüde ortalama değerler içindedir (+2/-2). Bu değerler yardımı ile hata terimleri için normalite, eşit varyans ve sıfır ortalama sınamaları büyük oranda kabul edilmiştir. Yine önemli bir sınama olan otokorelasyon için de saçılım şeklinin belirgin deseni izlemediği görülmüştür. Bazı regresyon çalışmalarında kullanıldığı tespit edilen, her bir örneklem için 1 değerinin altında olması beklenen Cook değeri de varsayımlar için sınınmış, tüm değerlerin belirtilen eşikten düşük olduğu gözlenmiştir.

3.1.3.2. Regresyon Analizi Sonuçları ve Kurulan Regresyon Modeli

Charlie grubundaki 4 adet konteyner gemisinin ortalama 390 günlük sefer verilerinden elde edilen regresyon analizi bulguları tanımlayıcı istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Tablo 26. Charlie Grubu Tanımlayıcı İstatistikler Tablosu

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma	Veri Sayısı
Birim Yakıt Sarfıyatı	0,7907	0,21806	529
Hava Durumu	-2,4064	2,62910	529
Vasat Draft	7,1663	0,85189	529
Trim	1,0976	0,75657	529
RPM	88,7297	10,66593	529

Tablo 26'da 529 adet bildirim raporlarından alınan 2645 adet beş farklı değişken grubunun ortalama değerleri ve standart sapmaları verilmektedir. Charlie grubu gemilerin ortalama yakıt sarfiyatlarının 0,79 ton civarında olduğu gözükmektedir. Bunun yanında gemilerin ortalama vasat draft değerlerinin 7,16m, ortalama trim değerlerinin 1,10m ve ortalama RPM değerlerinin ise 89 dolaylarında olduğu görülmektedir.

Charlie grubu gemilerin değişkenler ilişki tablosu şu şekildedir.

Tablo 27. Charlie Grubu Korelasyon Tablosu

		Birim Yakıt Sarfıyatı	Hava Durumu	Vasat Draft	Trim	RPM
Pearson Korelasyon	BirimYakıt Sarfıyatı	1,000	-0,164	0,091	-0,074	0,925
	Hava Durumu	-0,164	1,000	-0,041	0,057	-0,120
	Vasat Draft	0,091	-0,041	1,000	-0,509	0,123
	Trim	-0,074	0,057	-0,509	1,000	-0,050
	RPM	0,925	-0,120	0,123	-0,050	1,000
Sig. (1-tailed)	Birim Yakıt Sarfıyatı	-	0,000	0,019	0,044	0,000
	Hava Durumu	0,000	-	0,174	0,094	0,003
	VasatDraft	0,019	0,174	-	0,000	0,002
	Trim	0,044	0,094	0,000	-	0,127
	RPM	0,000	0,003	0,002	0,127	-

Buna göre tek yönlü kurulacak olan bir hipotez için anlamlılık durumunu ifade eden p değerleri tüm değişkenler için 0,05'den küçüktür. Tüm değişkenlerin ayrı ayrı bir şekilde bağımlı değişken üzerinde anlamlı olduğu görülmektedir. İlaveten değişkenler arası ilişkiyi ifade eden pearson correlation değerlerine bakıldığında ise yakıt sarfiyatının RPM değeri ile (0,925) pozitif yönde çok yüksek olduğu görülmektedir.

Charlie grubu gemilerin çoklu regresyon analizinde “enter” metodu seçilmiş ve belirlenen tüm bağımsız değişkenler olduğu gibi modele dahil edilmiştir. Enter metodu ile elde edilen modelin özet ve anova tablosu aşağıda verilmektedir:

Tablo 28. Charlie Grubu Model Özet ve Anova Tablosu

Model Özet Bulguları	Model Anova Bulguları
R= 0,928	Sigma (P)= 0,000
R ² = 0,861	
Düzeltilmiş R ² = 0,860	
Durbin-Watson= 1,443	

Bağımsız Değişkenler: (Sabit terim), RPM, vasat draft, hava durumu,trim

Bağımlı Değişken: birim yakıt sarfiyatı

Oluşturulan modelin özet tablosuna göre R değeri 0,928 olarak gözükmektedir. Gözlenen yakıt sarfiyatı değeri ile tahmin edilen yakıt sarfiyatı değeri arasında ilişki düzeyinin yüksek

olduğunu göstermektedir. R^2 değeri 0,861'lik bir değer almıştır. Değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Düzeltmiş R^2 değeri ise 0,86 olarak görülmektedir. Oluşturulan modelin ana kütleyle olan uyumu %86 oranında olduğunu ifade etmektedir. Öte yandan modelin Durbin Watson katsayısı değeri 1,443 (0'dan uzak) olup otokorelasyonun olmadığı gözlemlenmektedir.

Regresyon modelinin Anova bulgularında ise model anlamlı bulunmuştur (Anova Sig. (p) < 0,01). Birim yakıt sarfiyatının açıklanması için belirlenen bağımsız değişkenlerin en az birine ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Charlie grubu gemilerin regresyon analizi katsayı korelasyon tablosu aşağıdaki gibidir.

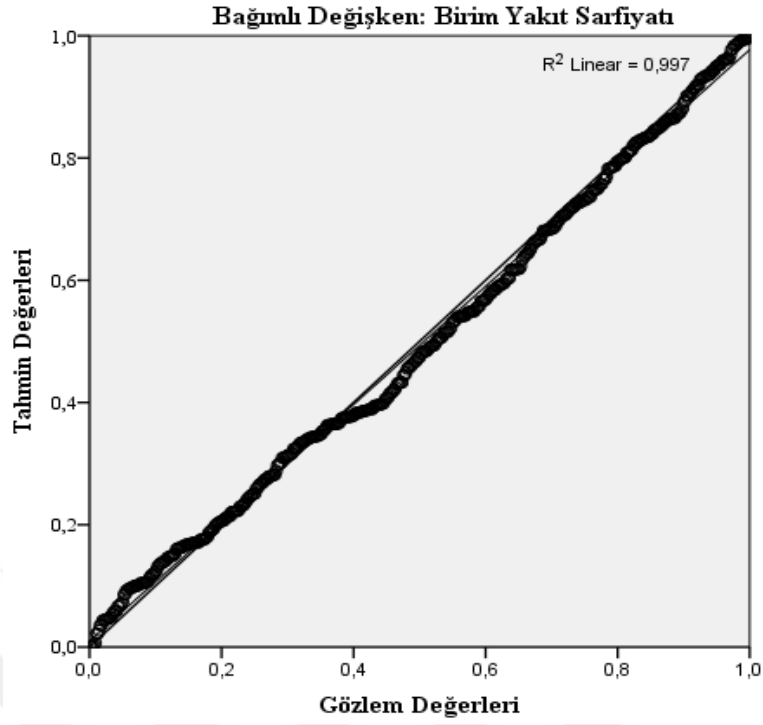
Tablo 29. Charlie Grubu Regresyon Katsayı Korelasyonu Tablosu

Model (1)		RPM	Hava Durumu	Vasat Draft	Trim
Korelasyon	RPM	1,000	-0,020	0,117	-0,113
	Hava Durumu	-0,020	1,000	-0,045	0,507
	Vasat Draft	0,117	-0,045	1,000	0,000
	Trim	-0,113	0,507	0,000	1,000
Kovaryans	RPM	0,000	0,000	0,000	0,000
	Hava Durumu	0,000	0,000	0,000	0,000
	Vasat Draft	0,000	0,000	0,000	0,000
	Trim	0,000	0,000	0,000	0,000

Bağımlı Değişken: Birim Yakıt Sarfiyatı

Tablo 29'a göre değişkenler arası ilişkinin olmadığı görülmektedir. Korelasyon satırındaki değerlerden modelin çoklu doğrusallık probleminin olmadığı söylenebilir. Kovaryans satırına göre de RPM değişkeni ile diğer değişkenlerin ilişkisinin olmadığı görülebilmektedir.

Charlie grubu gemilerin normal P-P Plotlama grafiği şu şekilde gösterilmektedir:



Şekil 31. Charlie Grubu Regresyon Hata Değeri P-P Plotlaması.

Şekil 31'e göre yakıt sarfıyatı normallik değerinin kabul edilebilir olduğu, tahmin değerleri ile gözlem değerleri hata değerlerinin çok iyi durumda olduğu görülmektedir.

Son olarak Charlie grubu gemilerin regresyon analizi katsayı tablosu aşağıdaki gibidir.

Tablo 30. Charlie Grubu Regresyon Katsayı Tablosu

Model (1)	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	Sig. (P)	Korelasyon		
	B	Std. Hata	Beta		Zero-order	Partial	Part
(Constant)	-0,783	0,046	-	0,000	-	-	-
Hava Durumu	-0,004	0,001	-0,052	0,002	-0,164	-0,138	-0,052
Vasat Draft	0,013	0,005	0,051	0,007	0,091	0,117	0,044
Trim	-0,015	0,005	-0,051	0,007	-0,074	-0,118	-0,044
RPM	0,019	0,000	0,923	0,000	0,925	0,925	0,909

Bağımlı Değişken: Birim Yakıt Sarfıyatı

Tablo 30'a göre oluşturulan modelde, 1 birimlik RPM artışı 0,019 birimlik yakıt sarfıyatı artışına sebep olmaktadır. En büyük Beta katsayısına (0,923) sahip olan en önemli değişkenin

RPM değişkeni olduğu görülmektedir. Modelin Sig.(P) sütununa göre değişkenlerin katsayıları 0,05'den küçüktür. Yakıt sarfiyatı üzerinde tüm değişkenlerin etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Regresyon analizinde katsayı tablosunda önemli olan bir diğer husus ise Korelasyon bölümüdür. Zero-order bölümüne göre her bir bağımsız değişkeşinin bağımlı değişken ile Pearson korelasyonunu açıklamaktadır (Bkz. Tablo 26 pearson korelasyonu). Ancak regresyon modelindeki amaçlardan bir diğeri de kısmi ve yarı kısmi ilişkiyi de açıklamaktır. Kısmi korelasyon diğeri tüm bağımsız değişkenlerin belirlenen bağımsız değişken ve bağımlı değişken üzerindeki etkisinin arıtıldığından sonraki bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki korelasyon katsayısıdır. Buna göre RPM değeri ile yakıt sarfiyatı arasında (0,925) pozitif yönde çok yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmektedir. Yarı kısmi korelasyon sütunu ise diğeri tüm bağımsız değişkenlerin belirlenen bağımsız değişken üzerindeki etkisini arıttıktan sonra bağımlı değişken ile arasındaki korelasyon katsayısını göstermektedir. Buna göre RPM değeri ile yakıt sarfiyatı arasında (0,909) pozitif yönde yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmektedir.

Modelin yakıt sarfiyatı regresyon denklemi aşağıdaki gibidir:

$$YS = -0,783 - 0,004(HD) + 0,013(VD) - 0,015(T) + 0,019(RPM) \quad (7)$$

YS: Birim Yakıt Sarfiyatı

HD: Hava Durumu

VD: Vasat Draft

T: Trim

RPM: Pervanenin dakikadaki tur sayısı

3.1.4. Delta Grubu Gemilerinin Çoklu Regresyon Analizi

3.1.4.1. Regresyon Modeli Varsayımlarının Sınanması

a) Varsayımlarının Normallik Dağılımın Sınanması

Çalışmadaki veri setinde yer alan değişkenlerin normal dağılım durumları analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda değişkenlerin normallik durumu şu şekildedir:

Tablo 31. Delta Grubu Normallik Dağılımı Tablosu

Değişken	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk		Skewness	Kurtosis
	Statistic	P	Statistic	P	Statistic	Statistic
Birim Yakıt Sarfiyatı	0,061	0,000	0,993	0,004	0,026	-0,320

Tablo 31'e göre değişkenlerimizin Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testine göre p değeri "0" olup bu değerlere göre değişkenler normal dağılmadığı söylenebilmektedir. Ancak skewness ve kurtosis değerlerinin -2/+2 arasında yer aldığı görülmektedir. Buna göre veriler normal bir dağılım göstermiştir.

b) Çoklu Doğrusallığın Sınanması

Regresyon modelinin çoklu doğrusallık varsayım sınaması tablosu aşağıda verilmektedir:

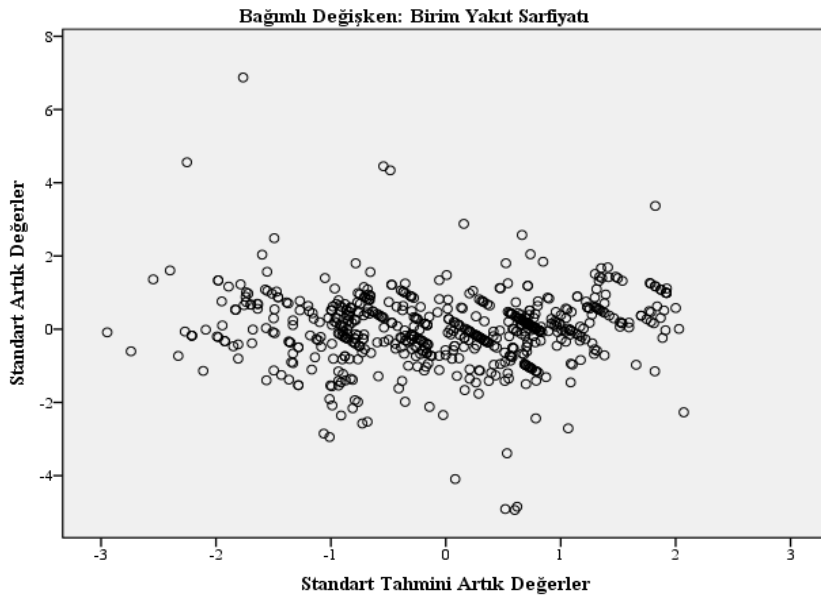
Tablo 32. Delta Grubu Çoklu Doğrusallık Testi Tablosu

Değişken	VIF	Tolerance
Hava Durumu	1,002	0,998
Vasat Draft	1,246	0,802
Trim	1,235	0,810
Pitch	1,027	0,974

Buna göre VIF değerleri 5'in altında olup Tolerance değerleri de 0,2'den büyüktür. Bu açıdan modeldeki değişkenlerde çoklu doğrusallık sorununun olmadığı görülmektedir. Modele değişkenlerin tamamı dahil edilecektir.

c) Otokorelasyon, Eşit Varyans ve Sıfır Ortalamaları Sınanması

Regresyon modelinde bir gözleme ait hata terimi diğer bir gözlemdeki hata terimini etkiliyorsa varsayımdan sapma söz konusu olup otokorelasyon sorunu vardır. Hata terimlerinin otokorelasyon, eşit varyans ve sıfır ortalamaları varsayımları durumu aşağıdaki gibidir:



Şekil 32. Delta Grubu Regresyon Modeli Artıklar Saçılım Grafiği

Şekil 32'ye göre, hata terimleri çok belirgin bir şekil ve desen oluşturmamaktadır. Aynı zamanda hata veya artık değerlerinin rastgele dağıldığı görülmektedir. Genel olarak hata terimlerinin sıfır değerinin her iki yanına rastgele şekilde dağılmış olduğu görülmektedir. Hata terimlerinin büyük ölçüde ortalama değerler içindedir (+2/-2). Bu değerler yardımı ile hata terimleri için normalite, eşit varyans ve sıfır ortalama sınamaları büyük oranda kabul edilmiştir. Yine önemli bir sınama olan otokorelasyon için de saçılım şeklinin belirgin deseni izlemediği görülmüştür. Bazı regresyon çalışmalarında kullanıldığı tespit edilen, her bir örneklem için 1 değerinin altında olması beklenen Cook değeri de varsayımlar için sınanmış, tüm değerlerin belirtilen eşikten düşük olduğu gözlenmiştir.

3.1.4.2. Regresyon Analizi Sonuçları ve Kurulan Regresyon Modeli

Delta grubunda bulunan 3 adet konteyner gemisinin ortalama 720 günlük sefer verilerinden elde edilen regresyon analizi bulguları tanımlayıcı istatistik tablosu şu şekildedir :

Tablo 33. Delta Grubu Tanımlayıcı İstatistikler Tablosu

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma	Veri Sayısı
Birim Yakıt Sarfıyatı	0,9747	0,16445	637
Hava Durumu	-1,5086	3,01495	637
Vasat Draft	6,8041	0,73400	637
Trim	1,4257	0,61426	637
Pitch	68,1994	9,46175	637

Tablo 33'de 637 adet bildirim raporlarından alınan 3185 adet beş farklı değişken grubunun ortalama değerleri ve standart sapmaları verilmektedir. Delta grubu gemilerin ortalama yakıt sarfıyatlarının 0,97 ton civarında olduğu gözükmektedir. Ayrıca söz konusu gemilerin ortalama vasat draft değerinin 6,80m, trim değerinin 1,42m ve pitch değerinin 68 civarında olduğu görülmektedir.

Delta grubu gemilerin değişkenler ilişki tablosu şu şekilde verilmektedir.

Tablo 34. Delta Grubu Korelasyon Tablosu

		Birim Yakıt Sarfıyatı	Hava Durumu	Vasat Draft	Trim	Pitch
Pearson Korelasyon	Birim Yakıt Sarfıyatı	1,000	-0,083	0,191	-0,163	0,879
	Hava Durumu	-0,083	1,000	-0,019	-0,008	-0,035
	Vasat Draft	0,191	-0,019	1,000	-0,433	0,147
	Trim	-0,163	0,008	-0,433	1,000	-0,114
	Pitch	0,879	-0,035	0,147	-0,114	1,000
Sig. (1-tailed)	Birim Yakıt Sarfıyatı	-	0,019	0,000	0,000	0,000
	Hava Durumu	0,018	-	0,314	0,420	0,190
	VasatDraft	0,000	0,314	-	0,000	0,000
	Trim	0,000	0,420	0,000	-	0,002
	Pitch	0,000	0,190	0,000	0,002	-

Buna göre tek yönlü kurulacak olan bir hipotez için anlamlılık durumunu ifade eden p değerleri tüm değişkenler için 0,05'den küçüktür. Tüm değişkenlerinin ayrı ayrı bir şekilde anlamlı olduğu görülmektedir. İlaveten değişkenler arası ilişkiyi ifade eden pearson correlation değerlerine bakıldığında ise yakıt sarfıyatının pitch değeri ile (0,879) pozitif yönde çok yüksek düzeyde bir ilişkisinin olduğu görülmektedir.

Delta grubu gemilerin çoklu regresyon analizinde “enter” metodu seçilmiş ve belirlenen tüm bağımsız değişkenler olduğu gibi modele dahil edilmiştir. Enter metodu ile elde edilen modelin özet ve anova tablosu aşağıda verilmektedir:

Tablo 35. Delta Grubu Model Özet ve Anova Tablosu

Model Özet Bulguları	Model Anova Bulguları
R= 0,883	Sigma (P)= 0,000
R ² = 0,780	
Düzeltilmiş R ² = 0,779	
Durbin-Watson= 1,239	

Bağımsız Değişkenler: (Sabit terim), pitch, vasat draft, hava durumu, trim
Bağımlı Değişken: birim yakıt sarfıyatı

Oluşturulan modelin özet tablosuna göre, düzeltilmiş R² değeri 0,779, modelin ana kütleyle olan uyumunun %77,9 oranında olduğunu ifade etmektedir. Öte yandan Durbin Watson katsayısı değeri 1,239 olup otokorelasyonun olmadığını göstermektedir.

Regresyon modelinin Anova bulgularına göre model anlamlı bulunmuştur (Anova Sig. (p) < 0,01). Bu sonuca göre yakıt sarfiyatının açıklanması için bağımsız değişkenlerin en az birine ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Delta grubu gemilerin regresyon analizi katsayı korelasyon tablosu aşağıdaki gibidir.

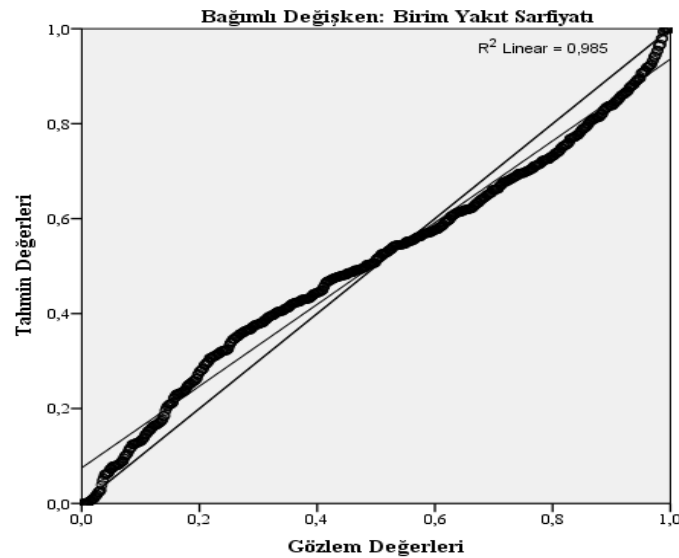
Tablo 36. Delta Grubu Regresyon Katsayı Korelasyonu Tablosu

Model (1)		Pitch	Hava Durumu	Trim	Vasat Draft
Korelasyon	Pitch	1,000	0,034	0,057	-0,109
	Hava Durumu	0,034	1,000	0,020	0,021
	Trim	0,057	0,020	1,000	0,424
	Vasat Draft	-0,109	0,021	0,424	1,000
Kovaryans	Pitch	0,000	0,000	0,000	0,000
	Hava Durumu	0,000	0,000	0,000	0,000
	Trim	0,000	0,000	0,000	0,000
	Vasat Draft	0,000	0,000	0,000	0,000

Bağımlı Değişken: Birim Yakıt Sarfiyatı

Tablo 36'ya göre değişkenlerin birbirleri arasındaki ilişkiye bakıldığında bağımsız değişkenler arasında bir korelasyonun olmadığı net olarak gözükmemektedir. Korelasyon değerlerinden modelin çoklu doğrusallık probleminin olmadığı söylenebilir Kovaryans satırına göre pitch değişkeni ile diğer değişkenlerin ilişkisinin olmadığı görülebilmektedir.

Delta grubu gemilerin normal P-P Plotlama grafiği ise şu şekildedir:



Şekil 33. Delta Grubu Regresyon Hata Değeri P-P Plotlaması

Şekil 33'e göre yakıt sarfiyatı normallik değerinin kabul edilebilir olduğu, tahmin değerleri ile gözlem değerleri hata değerlerinin çok iyi durumda olduğu görülmektedir.

Son olarak Delta grubu gemilerin regresyon analizi katsayı tablosu aşağıdaki gibidir.

Tablo 37. Delta Grubu Regresyon Katsayı Tablosu

Model (1)	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	Sig. (P)	Korelasyon		
	B	Std. Hata	Beta		Zero-order	Partial	Part
(Constant)	-0,101	0,949	-	0,013	-	-	-
Hava Durumu	-0,003	0,024	-0,053	0,005	-0,083	-0,112	-0,053
Vasat Draft	0,009	0,112	0,042	0,045	0,191	0,080	0,037
Trim	-0,013	0,133	-0,047	0,024	-0,163	-0,090	-0,042
Pitch	0,015	0,008	0,865	0,000	0,879	0,877	0,854

Bağımlı Değişken: BirimYakıt Sarfiyatı

Tablo'ya göre, 1 birimlik pitch artışı 0,015 birimlik yakıt sarfiyatı artışına sebep olmaktadır. En büyük Beta katsayısına (0,865) sahip olan değişkenin pitch değişkeni olduğu görülmektedir. Modelin bağımsız değişkenlerinin anlamlılığını gösteren Sig.(P) değerleri 0,05'den küçüktür. Yakıt sarfiyatı üzerinde tüm değişkenlerin etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Regresyon analizinde katsayı tablosunda önemli olan bir diğer husus ise korelasyon bölümüdür. Zero-order bölümüne göre her bir bağımsız değişkeşinin bağımlı değişken ile Pearson korelasyonunu açıklamaktadır (Bknz. Tablo-33 pearson korelasyonu). Kısmi korelasyon sütununa göre Pitch değeri ile yakıt sarfiyatı arasında (0,877) pozitif yönde çok yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmektedir. Yarı kısmi korelasyon sütununa göre Pitch değeri ile yakıt sarfiyatı arasında (0,854) pozitif yönde yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmektedir.

Regresyon katsayı tablosu değerleri doğrultusunda oluşturulan modelin yakıt sarfiyatı regresyon denklemi aşağıdaki gibidir:

$$YS = -0,101 - 0,003(HD) + 0,009(VD) - 0,013(T) + 0,015(P) \quad (8)$$

YS: Birim Yakıt Sarfiyatı

HD: Hava Durumu

VD: Vasat Draft

T: Trim

P: Pitch

3.1.5. Echo Grubu Gemilerin Çoklu Regresyon Analizi

3.1.5.1. Regresyon Modeli Varsayımlarının Sınanması

a) Varsayımlarının Normallik Dağılımın Sınanması

Çalışmadaki veri setinde yer alan değişkenlerin normal dağılım durumları analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda değişkenlerin normallik durumunu ifade eden tablo aşağıda verilmektedir:

Tablo 38. Echo Grubu Normallik Dağılımı Tablosu

Değişken	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk		Skewness	Kurtosis
	Statistic	P	Statistic	P	Statistic	Statistic
Birim Yakıt Sarfiyatı	0,128	0,000	0,950	0,000	0,203	-0,941

Tablo 38'e göre değişkenlerimizin Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testine göre p değeri "0" olarak gözükse de skewness ve kurtosis değerlerinin -2/+2 arasında yer aldığı görülmektedir. Buna göre veriler normal bir dağılım göstermiştir.

b) Çoklu Doğrusallığın Sınanması

Kurulan regresyon modelinde çoklu doğrusallık varsayım sınaması tablosu aşağıda verilmektedir:

Tablo 39. Echo Grubu Çoklu Doğrusallık Testi Tablosu

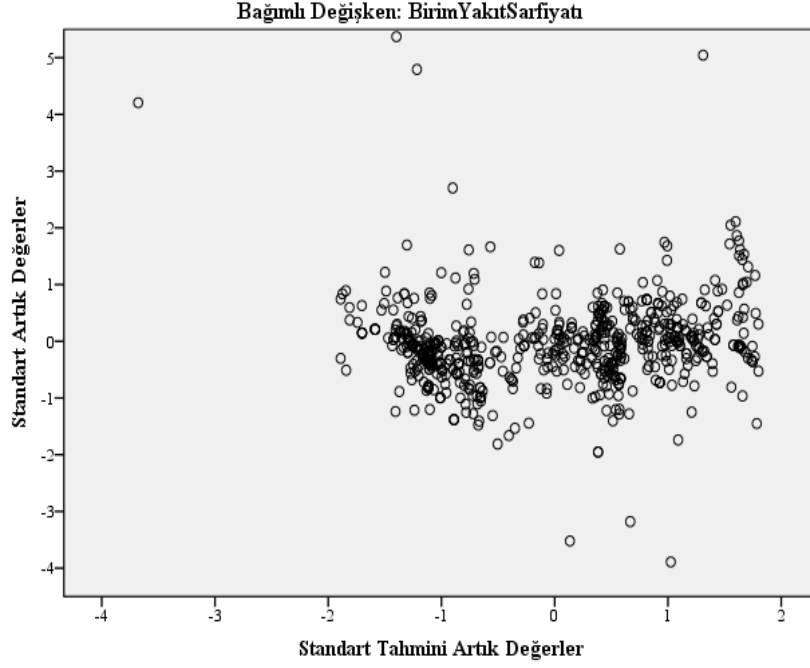
Değişken	VIF	Tolerance
Hava Durumu	1,019	0,981
Vasat Draft	1,299	0,770
Trim	1,290	0,775
RPM	1,013	0,987

Buna göre değişkenlerin VIF değerlerinin tamamının 1,019-1,299-1,290 ve 1,013 değerleri ile birlikte 5'in altında olduğu görülmektedir. Ayrıca değişkenlerin tolerance değerleri de 0,981-0,770-0,775-0,987 değerlerini almış ve 0,2'den büyük olduğu gözükmektedir. Bu

açından modeldeki hava durumu, vasat draft, trim ve RPM bağımsız değişkenlerinde çoklu doğrusallık sorununun olmadığı görülmektedir.

c) Otokorelasyon, Eşit Varyans ve Sıfır Ortalamaları Sınanması

Regresyon analizindeki hata terimlerinin otokorelasyon, eşit varyans ve sıfır ortalamaları varsayımları durumu gösteren saçılım grafiği aşağıdaki gibidir:



Şekil 34. Echo Grubu Regresyon Modeli Artıklar Saçılım Grafiği

Şekil 34'e göre, hata terimleri çok belirgin bir şekil oluşturmamaktadır. Aynı zamanda hata veya artık değerlerinin çoğunlukla rastgele dağıldığı görülmektedir. Genel olarak hata terimlerinin sıfır değerinin her iki yanına rastgele şekilde dağılmış olduğu görülmektedir. Hata terimlerinin büyük ölçüde ortalama değerler içindedir (+2/-2). Bu değerler yardımı ile hata terimleri için normalite, eşit varyans ve sıfır ortalama sınamaları büyük oranda kabul edilmiştir. Yine önemli bir sınamaya olan otokorelasyon için de saçılım şeklinin belirgin deseni izlemediği görülmüştür. Bazı regresyon çalışmalarında kullanıldığı tespit edilen, her bir örneklem için 1 değerinin altında olması beklenen Cook değeri de varsayımlar için sınanmış, tüm değerlerin belirtilen eşikten düşük olduğu gözlenmiştir.

3.1.5.2. Regresyon Analizi Sonuçları ve Kurulan Regresyon Modeli

Echo grubundaki 2 adet konteyner gemisinin ortalama 720 günlük sefer verilerinden elde edilen regresyon analizi bulguları tanımlayıcı istatistikleri aşağıdaki gibidir:

Tablo 40. Echo Grubu Tanımlayıcı İstatistikler Tablosu

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma	Veri Sayısı
Birim Yakıt Sarfıyatı	1,9010	0,61128	664
Hava Durumu	-1,7756	3,14112	664
Vasat Draft	9,2994	1,07168	664
Trim	1,0291	0,56660	664
RPM	61,4096	8,26727	664

Tablo 40'a göre 664 adet bildirim raporlarından alınan 3320 adet beş farklı değişken grubunun ortalama değerleri ve standart sapmaları verilmektedir. India grubu gemilerin ortalama yakıt sarfıyatlarının 1,90 ton civarında olduğu gözükmektedir.

Echo grubu gemilerin değişkenler ilişki tablosu şu şekildedir:

Tablo 41. Echo Grubu Korelasyon Tablosu

		Birim Yakıt Sarfıyatı	Hava Durumu	Vasat Draft	Trim	Pitch
Pearson Korelasyon	Birim Yakıt Sarfıyatı	1,000	-0,073	0,105	-0,096	0,924
	Hava Durumu	-0,073	1,000	0,126	-0,041	-0,043
	Vasat Draft	0,105	0,126	1,000	-0,467	0,051
	Trim	-0,096	-0,041	-0,467	1,000	-0,102
	RPM	0,924	-0,043	0,051	-0,102	1,000
Sig. (1-tailed)	BirimYakıt Sarfıyatı	-	0,030	0,003	0,007	0,000
	Hava Durumu	0,030	-	0,001	0,146	0,132
	VasatDraft	0,004	0,001	-	0,000	0,097
	Trim	0,007	0,146	0,000	-	0,004
	RPM	0,000	0,132	0,097	0,004	-

Buna göre tek yönlü kurulacak olan bir hipotez için anlamlılık durumunu ifade eden p değerleri tüm değişkenler için 0,05'den küçüktür. İlaveten değişkenler arası ilişkiyi ifade eden

pearson correlation değerlerine bakıldığında ise yakıt sarfiyatının RPM değeri ile (0,924) pozitif yönde çok yüksek düzeyde bir ilişkisinin olduğu görülmektedir.

Echo grubu gemileri “enter” metodlu modelin özet ve anova tablosu şu şekildedir:

Tablo 42. Echo Grubu Model Özet ve Anova Tablosu

Model Özet Bulguları	Model Anova Bulguları
R= 0,927	Sigma (P)= 0,000
R ² = 0,860	
Düzeltilmiş R ² = 0,859	
Durbin-Watson= 1,493	

Bağımsız Değişkenler: (Sabit terim), RPM, vasat draft, hava durumu, trim
Bağımlı Değişken: birim yakıt sarfiyatı

Oluşturulan modelin özet tablosuna göre R değeri (çoklu korelasyon katsayısı) 0,927 olarak gözükmemektedir. Gözlenen yakıt sarfiyatı değeri ile tahmin edilen yakıt sarfiyatı değeri arasında ilişki düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir. R² 0,860’lık değeri, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama durumunu ifade etmektedir. Düzeltilmiş R² değeri 0,859, modelin ana kütleyle olan uyumu %85,9 oranında olduğunu ifade etmektedir. Öte yandan modelin Durbin Watson katsayısı değeri 1,494 (0’dan uzak), otokorelasyonun olmadığını, modelde önemli bir değişkenin unutulmadığını göstermektedir. Regresyon analizinin Anova bulgularına göre model anlamlıdır (p<0,01).

Echo grubu gemilerin regresyon analizi katsayı korelasyon tablosu aşağıdaki gibidir:

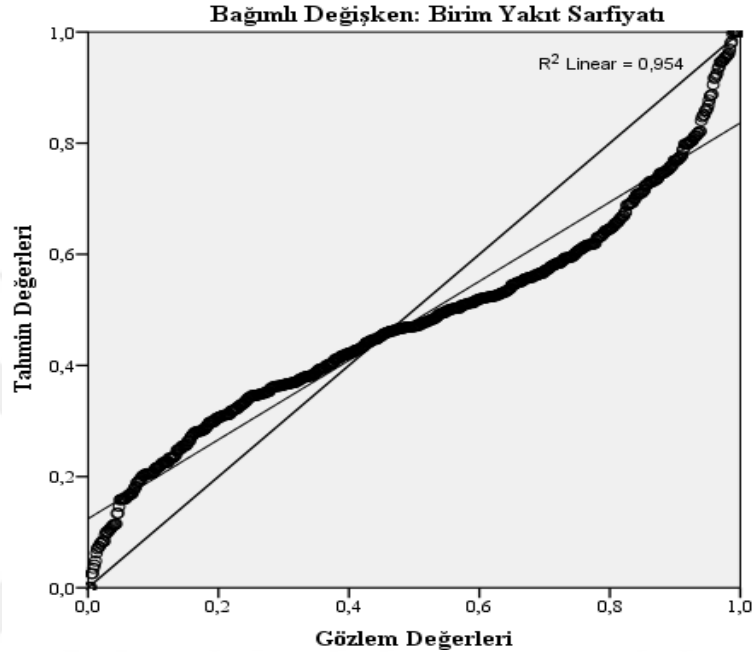
Tablo 43. Echo Grubu Regresyon Katsayı Korelasyonu Tablosu

Model (1)		RPM	Hava Durumu	Vasat Draft	Trim
Korelasyon	RPM	1,000	0,049	0,088	-0,009
	Hava Durumu	0,049	1,000	-0,016	-0,122
	Trim	0,088	-0,016	1,000	0,464
	Vasat Draft	-0,009	-0,122	0,464	1,000
Kovaryans	RPM	0,000	0,000	0,000	0,000
	Hava Durumu	0,000	0,000	0,000	0,000
	Trim	0,000	0,000	0,000	0,000
	Vasat Draft	0,000	0,000	0,000	0,000

Bağımlı Değişken: Birim Yakıt Sarfiyatı

Tablo 43'e göre değişkenlerin korelasyon değerlerinden modelin çoklu doğrusallık probleminin olmadığı söylenebilir. Kovaryansa göre RPM değişkeni ile diğer değişkenlerin ilişkisinin olmadığı görülebilmektedir.

Echo grubu gemilerin normal P-P Plotlama grafiği aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 35. Echo Grubu Regresyon Hata Değeri P-P Plotlaması.

Şekil 35'e göre yakıt sarfıyatı normallik değerinin kabul edilebilir olduğu, tahmin değerleri ile gözlem değerleri hata değerlerinin iyi durumda olduğu görülmektedir.

Son olarak Echo grubu gemilerin regresyon analizi katsayı tablosu aşağıdaki gibidir.

Tablo 44. Echo Grubu Regresyon Katsayı Tablosu

Model (1)	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	Sig. (P)	Korelasyon		
	B	Std. Hata	Beta		Zero-order	Partial	Part
(Constant)	-2,757	0,120	-	0,000	-	-	-
Hava Durumu	-0,008	0,003	-0,042	0,005	-0,073	-0,110	-0,041
Vasat Draft	0,045	0,009	0,079	0,000	0,105	0,183	0,070
Trim	0,036	0,018	0,033	0,044	-0,096	0,078	0,029
RPM	0,068	0,001	0,922	0,000	0,924	0,926	0,916

Bağımlı Değişken: Birim Yakıt Sarfıyatı

Tablo 44'e göre 1 birimlik RPM artışı 0,068 birimlik yakıt sarfiyatı artışına sebep olmaktadır. En büyük Beta katsayısına (0,922) sahip olan değişkenin RPM değişkeni olduğu görülmektedir. Modelin bağımsız değişkenlerinin anlamlılığını gösteren Sig.(P) sütununa göre değişkenlerin katsayıları 0,05'den küçüktür. Bu bağlamda yakıt sarfiyatı üzerinde tüm değişkenlerin etkili olduğu anlaşılmaktadır. Korelasyon bölümü zero-order bölümüne göre her bir bağımsız değişkeninin bağımlı değişken ile Pearson korelasyonunu açıklamaktadır (Bknz. Tablo-40 pearson korelasyonu). Kısmi korelasyon sütununa göre RPM değeri ile yakıt sarfiyatı arasında (0,926) pozitif yönde çok yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmektedir. Yarı kısmi korelasyon sütunu göre RPM değeri ile yakıt sarfiyatı arasında (0,916) pozitif yönde yüksek düzeyde ilişki olduğu görülmektedir.

Regresyon katsayı tablosu değerleri doğrultusunda oluşturulan modelin yakıt sarfiyatı regresyon denklemi aşağıdaki gibidir:

$$YS = -2,757 - 0,008 (HD) + 0,045(VD) - 0,036(T) + 0,068(RPM) \quad (9)$$

YS: Birim Yakıt Sarfiyatı

HD: Hava Durumu

VD: Vasat Draft

T: Trim

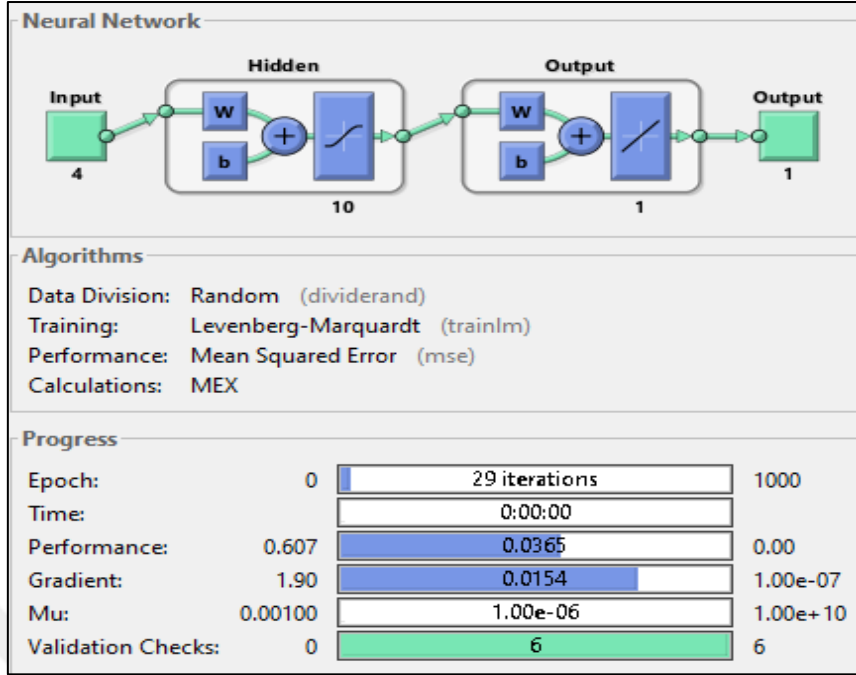
RPM: Pervanenin dakikadaki tur sayısı

3.2. Yapay Sinir Ağları Bulguları

Bu bölümde, elde edilen verilerde çıktı olarak belirlenen saatlik yakıt sarfiyatı ve girdi olarak belirlenen RPM ya da Pitch, vasat draft, hava bileşke ve trim değeri esas alınarak oluşturulan yapay sinir ağları bulguları her bir gemi grubu için verilmektedir.

3.2.1. Alfa Grubu Gemilerin Yapay Sinir Ağları Bulguları

Alfa grubu veri seti hava bileşke, vasat draft, trim, pitch ve saatlik yakıt sarfiyatı değerleri olmak üzere, 1045 adet veri setinden oluşmaktadır. Çalışmada, verilerden rassal olarak %80 kadarı eğitim, %10 doğrulama %10' da test verisi olarak ayrılmıştır. Dört girdi değişkeni ve bir çıktı değişkenine sahip ağ modeli için iki ara katmana sahip NF tools fonksiyonu kullanılarak yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Ağın yapısı şu şekildedir:



Şekil 36. Alfa Grubu YSA Model Yapısı

Şekilde Alfa grubu gemilerinin YSA yapısında 4 değişkenli 1 adet girdi katmanı, 10 nöronlu 1 adet gizli katman ve 1 adet çıktı katmanı bulunmaktadır. Ayrıca öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt ve iterasyon sayısı ise 29 olarak sonuca ulaşılmıştır.

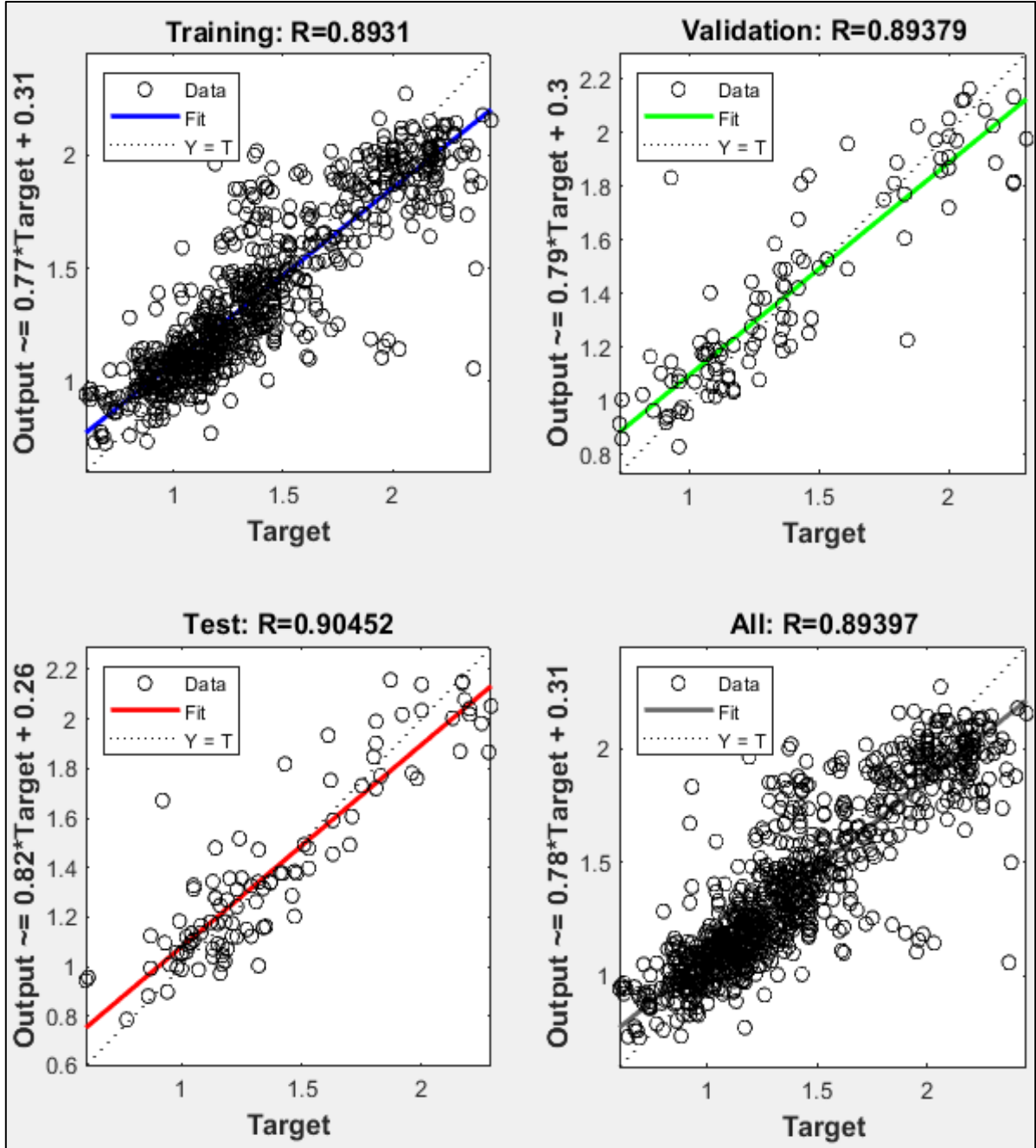
Eğitim (training), doğrulama (validation) ve test (testing) verileri için korelasyon ve hata değerleri (MSE) Şekil 37’de verilmektedir:

	Samples	MSE	R
Training:	835	3.76864e-2	8.93099e-1
Validation:	105	3.49958e-2	8.93786e-1
Testing:	105	3.00740e-2	9.04519e-1

Şekil 37. Alfa Grubu YSA Modeli Korelasyon ve Hata Değerleri

Eğitim verisindeki hata değeri 0,0377, doğrulama verisindeki hata değeri 0,035 ve test verisindeki hata değeri 0,030 bulunmakta ve hata değerlerinin küçük olduğu görülmektedir. R değerleri ise sırasıyla 0,893, 0,894 ve 0,904 dolaylarındadır.

Son olarak eğitim, doğrulama, test ve tüm verilerin gerçek değer-tahmin değeri arasındaki ilişkisi şu şekildedir:

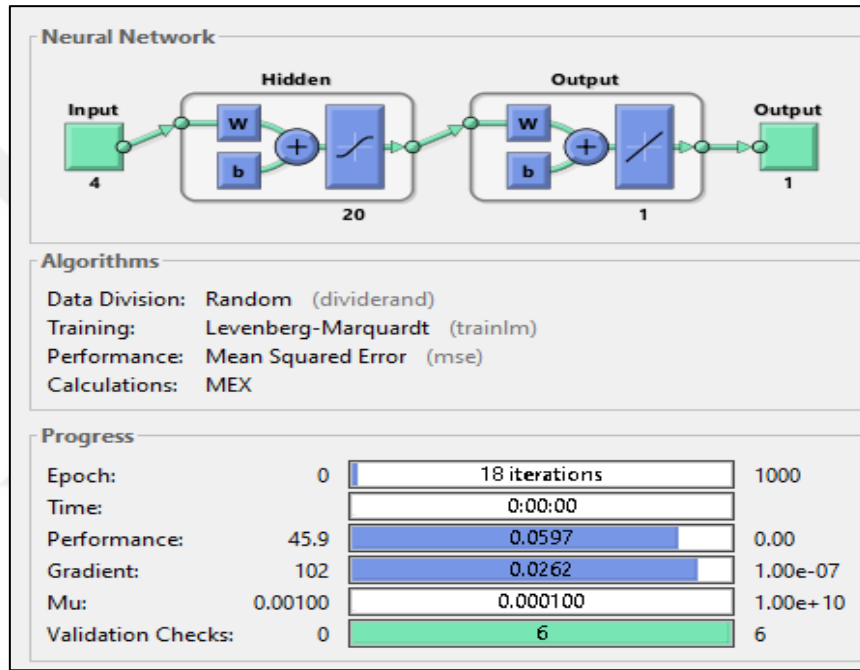


Şekil 38. Alfa Grubu YSA Regresyon Grafikleri

Şekilde Alfa grubu eğitim verilerinin R^2 değeri yaklaşık 0,80 ($0,8931^2$), doğrulama verilerinin R^2 değeri yaklaşık 0,80 ($0,89379^2$), test verilerinin R^2 değeri yaklaşık 0,82 ($0,90452^2$) ve tüm verilerin R^2 değeri yaklaşık 0,80 ($0,89397^2$) olarak hesaplanmaktadır. Alfa grubu gemilerin tüm verilerinde gerçek değerler ile tahmin değerleri arasındaki ilişkinin çok yüksek derecede olduğu söylenebilir. Alfa grubu gemilerin yakıt sarfiyatı tahmini için kurulan ağ modelinde %80 dolaylarında bir uyumluluk elde edilmiştir.

3.2.2. Bravo Grubu Gemilerin Yapay Sinir Ağları Bulguları

Bravo grubundaki dört adet kardeş konteyner gemisinin veri seti, hava bileşke, vasat draft, trim, RPM ve saatlik yakıt sarfiyatı değerleri olmak üzere, toplamda 1140 adet veriden oluşmaktadır. 1140 adet veriden rassal olarak; %80 kadarı eğitim, %10 doğrulama, %10 test verisi olarak ayrılmıştır. Dört girdi değişkeni ve bir çıktı değişkenine, iki ara katmana sahip NF tools fonksiyonu kullanılarak oluşturulan YSA modelinin yapısı şu şekildedir:



Şekil 39. Bravo Grubu YSA Model Yapısı

Şekilde Bravo grubu gemilerinin YSA yapısında 4 değişkenli 1 adet girdi katmanı, 20 nöronlu 1 adet gizli katman ve 1 adet çıktı katmanı bulunmaktadır. Ayrıca öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt ve iterasyon sayısı ise 18 olarak sonuca ulaşılmıştır.

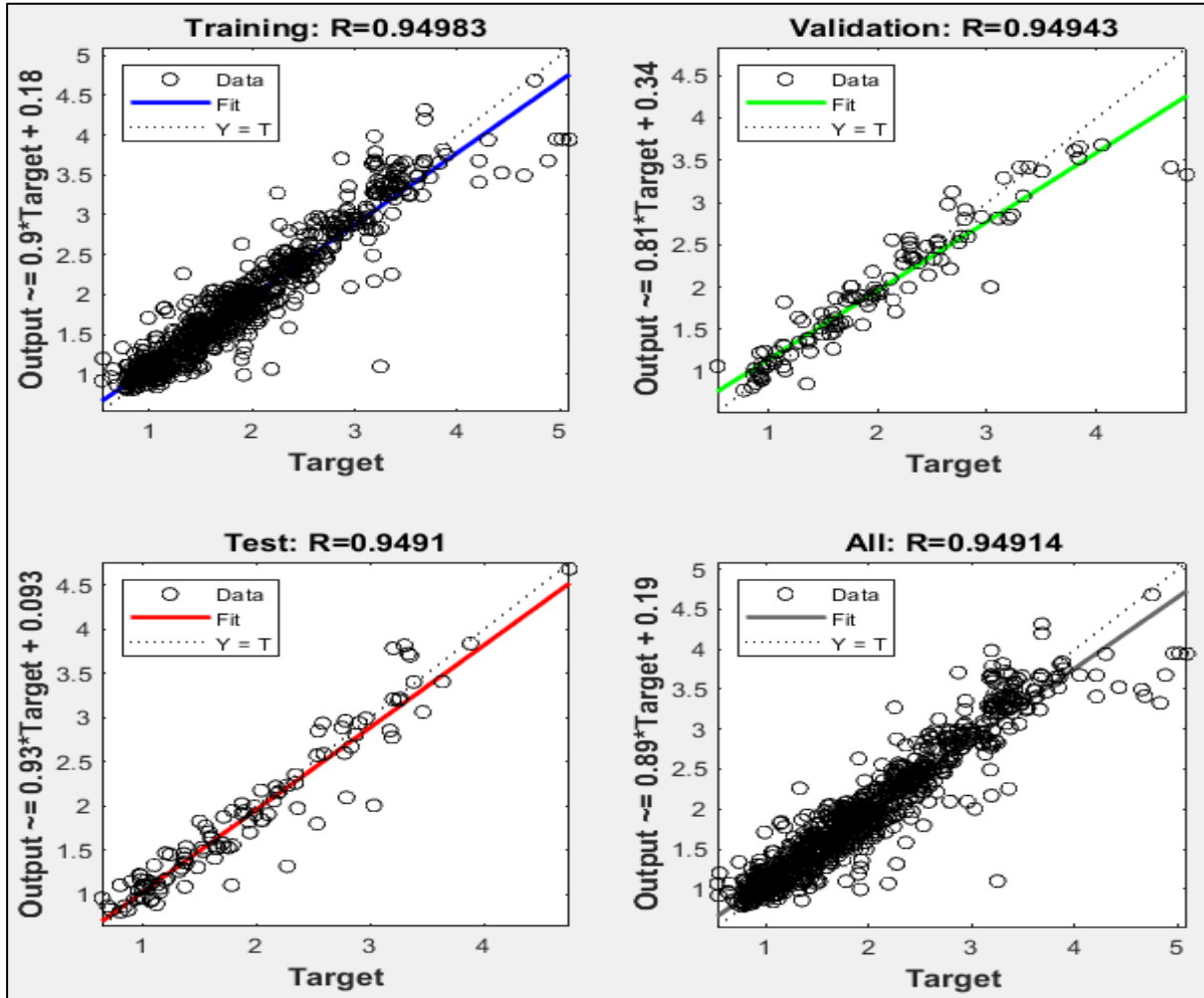
Eğitim, doğrulama ve test verileri için korelasyon ve hata değerleri şu şekildedir:

Results			
	Samples	MSE	R
Training:	912	6.20276e-2	9.49833e-1
Validation:	114	8.61068e-2	9.49432e-1
Testing:	114	7.40572e-2	9.49103e-1

Şekil 40. Bravo Grubu YSA Modeli Korelasyon ve Hata Değerleri

Eğitim verisindeki hata değeri 0,062, doğrulama verisindeki hata değeri 0,086 ve test verisindeki hata değeri 0,074 bulunmaktadır. R değerleri ise sırasıyla 0,950, 0,949 ve 0,949 dolaylarındadır.

Son olarak eğitim, doğrulama, test ve tüm verilerin geręek değer-tahmin değeri arasındaki ilişkisi şu şekildedir:

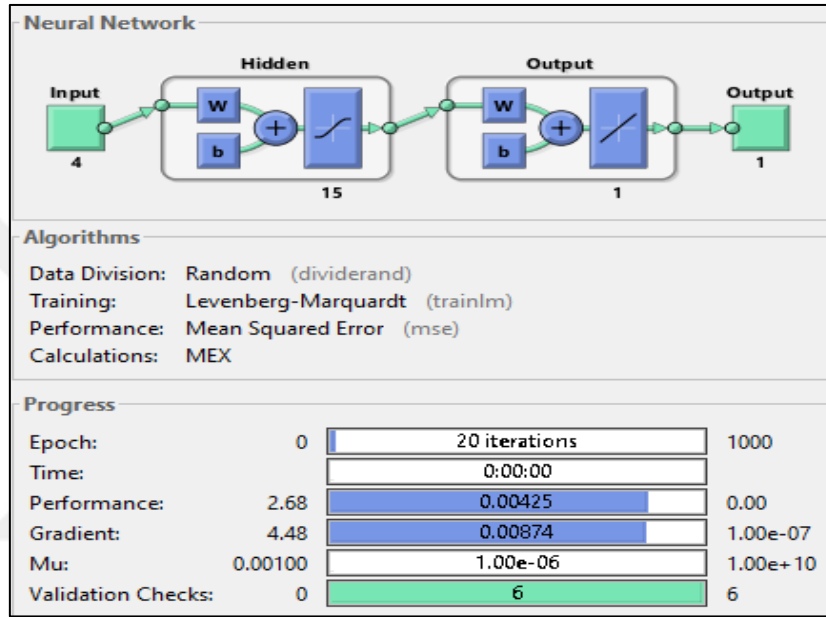


şekil 41. Bravo Grubu YSA Regresyon Grafikleri

řekil 41’de Bravo grubu eđitim verilerinin R^2 deęeri yaklařık 0,90 ($0,94983^2$), doęrulama verilerinin R^2 deęeri yaklařık 0,90 ($0,94943^2$), test verilerinin R^2 deęeri yaklařık 0,90 ($0,9491^2$) ve tüm verilerin R^2 deęeri yaklařık 0,90 ($0,95885^2$) olarak bulunmaktadır. Bravo grubu gemilerinin tüm verilerinde geręek deęerler ile tahmin deęerleri arasındaki iliřkinin řok yůksek derecede olduęu sůylenbilir. Bravo grubu gemilerinin yakıt sarfiyatı tahmini için kurulan ađ modelinde %90 dolaylarında uyumluluk elde edilmiřtir.

3.2.3. Charlie Grubu Gemilerin Yapay Sinir Ağları Bulguları

Charlie grubundaki dört adet kardeş konteyner gemisinin verileri toplamda 529 adet veri setinden oluşmaktadır. Çalışmada, 529 adet veriden rassal olarak; %80'i eğitim, %10'u doğrulama, %10'u test verisi olarak ayrılmıştır. Dört girdi ve bir çıktı değişkenine sahip iki ara katmana sahip NF tools fonksiyonlu yapay sinir ağı yapısı şu şekildedir:



Şekil 42. Charlie Grubu YSA Model Yapısı

Şekilde Charlie grubu gemilerinin YSA yapısında 4 değişkenli 1 adet girdi katmanı, 15 nöronlu 1 adet gizli katman ve 1 adet çıktı katmanı bulunmaktadır. Ayrıca öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt ve iterasyon sayısı ise 20 olarak sonuca ulaşılmıştır.

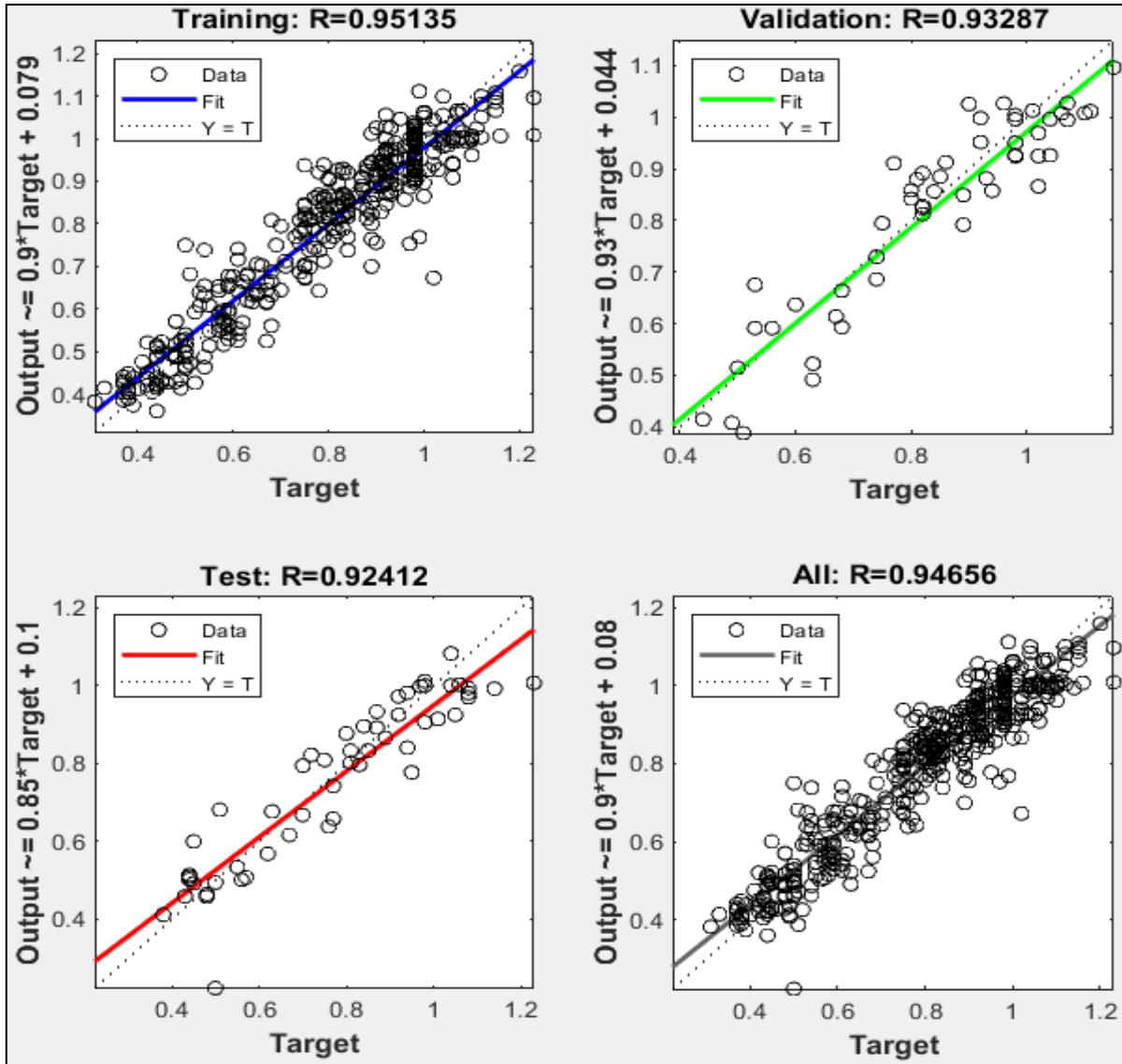
Eğitim (Training), doğrulama (Validation) ve test (Testing) verileri için korelasyon (R) ve hata değerleri Şekil 43’de gösterilmektedir:

Results			
	Samples	MSE	R
Training:	423	4.56079e-3	9.51353e-1
Validation:	53	5.15948e-3	9.32874e-1
Testing:	53	7.80236e-3	9.24120e-1

Şekil 43. Charlie Grubu YSA Modeli Korelasyon ve Hata Değerleri

Hata değerleri eğitim verisi için 0,0046, doğrulama verisi için 0,0052 ve test verisi için 0,0078 olduğu görülmektedir. R değerleri ise sırasıyla 0,951, 0,933 ve 0,924 dolaylarındadır.

Eğitim, doğrulama, test ve tüm verilerin gerçek ve-tahmin değer ilişkisi şu şekildedir:

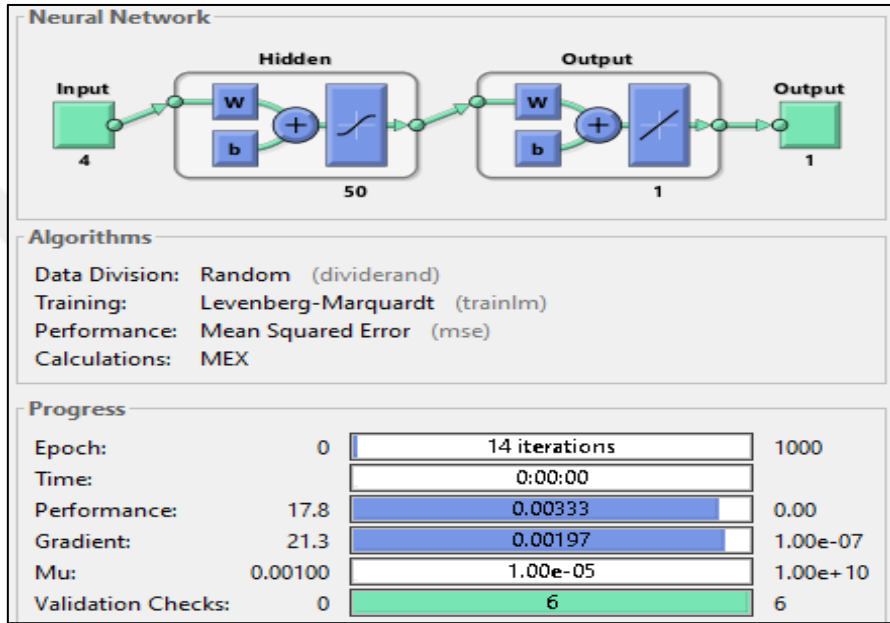


Şekil 44. Charlie Grubu YSA Regresyon Grafikleri

Şekil 44’de Charlie grubu eğitim verilerinin R^2 değeri yaklaşık 0,905 ($0,95135^2$), doğrulama verilerinin R^2 değeri yaklaşık 0,87 ($0,93287^2$), test verilerinin R^2 değeri yaklaşık 0,85 ($0,92412^2$) ve tüm verilerin R^2 değeri yaklaşık 0,90 ($0,94656^2$) olarak hesaplanmaktadır. Charlie grubu gemilerin tüm verilerinde gerçek değerler ile tahmin değerleri arasındaki ilişkinin çok yüksek derecede olduğu söylenebilir. Charlie grubu gemilerin yakıt sarfiyatı tahmini için kurulan ağ modelinde %90 dolaylarında bir uyumluluk elde edilmiştir.

3.2.4. Delta Grubu Gemilerin Yapay Sinir Ağları Bulguları

Delta grubundaki üç adet kardeş konteyner gemisinin verileri toplamda 637 adet veri setinden oluşmaktadır. 637 adet veriden rassal olarak; %80'i eğitim, %10'u doğrulama, %10'u test verisi olarak ayrılmıştır. Dört girdi değişkeni ve bir çıktı değişkenine sahip iki ara katmana sahip NF tools fonksiyonlu yapay sinir ağı yapısı şu şekildedir:



Şekil 45. Delta Grubu YSA Model Yapısı

Şekilde Delta grubu gemilerinin YSA yapısında 4 değişkenli 1 adet girdi katmanı, 50 nöronlu 1 adet gizli katman ve 1 adet çıktı katmanı bulunmaktadır. Ayrıca öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt ve iterasyon sayısı ise 14 olarak sonuca ulaşılmıştır.

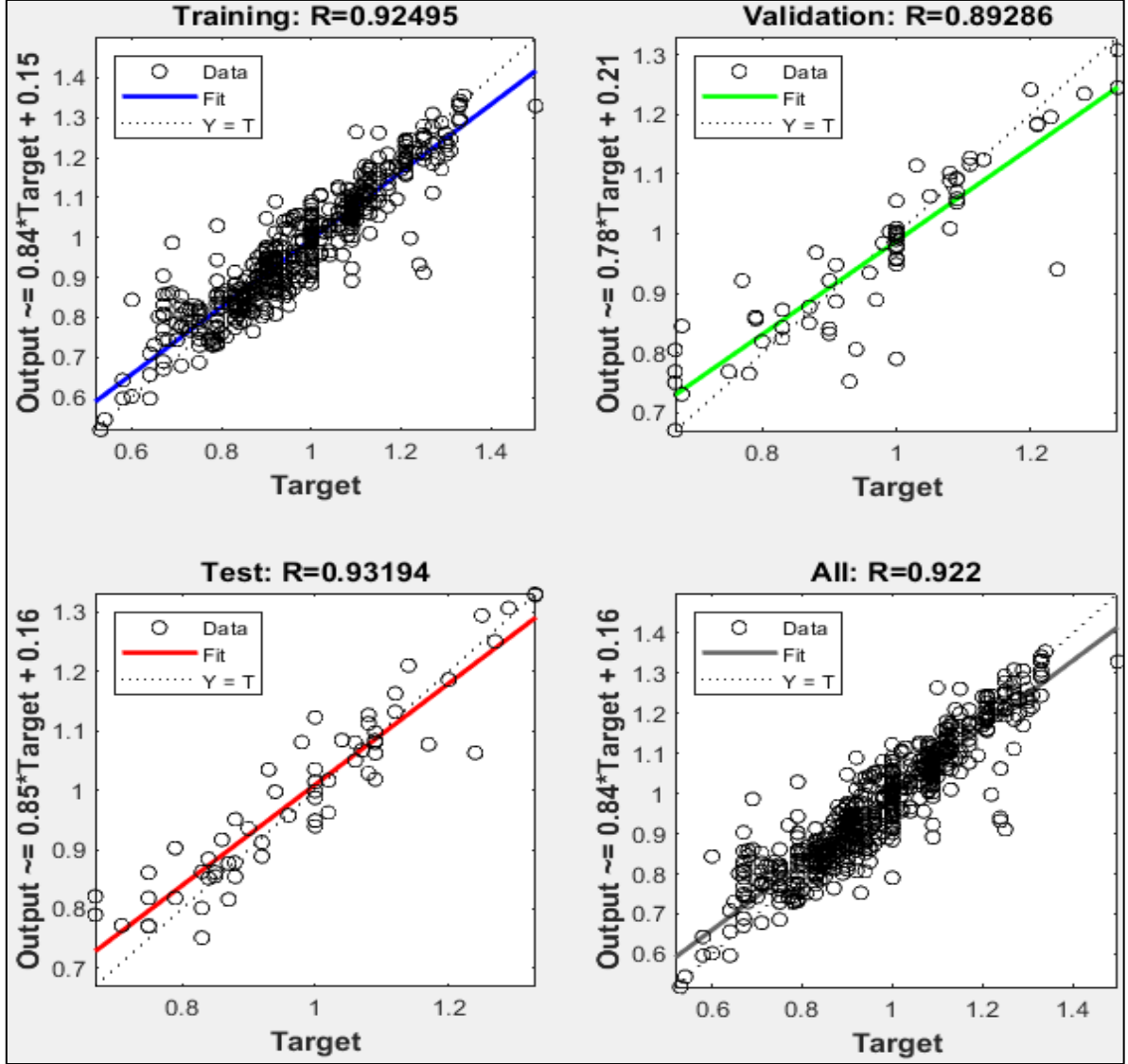
Eğitim (Training), doğrulama (Validation) ve test (Testing) verileri için korelasyon ve hata değerleri Şekil 46'da gösterilmektedir:

Results			
	Samples	MSE	R
Training:	509	3.92790e-3	9.24945e-1
Validation:	64	5.48949e-3	8.92855e-1
Testing:	64	3.59982e-3	9.31936e-1

Şekil 46. Delta Grubu YSA Modeli Korelasyon ve Hata Değerleri

Hata değerleri eğitim verisi için 0,0039, doğrulama verisi için 0,0055 ve test verisi için 0,0036 olduğu görülmektedir. R değerleri ise sırasıyla 0,925, 0,893 ve 0,931 dolaylarındadır.

Eğitim, doğrulama, test ve tüm verilerin gerçek ve tahmin değer ilişkisi şu şekildedir:

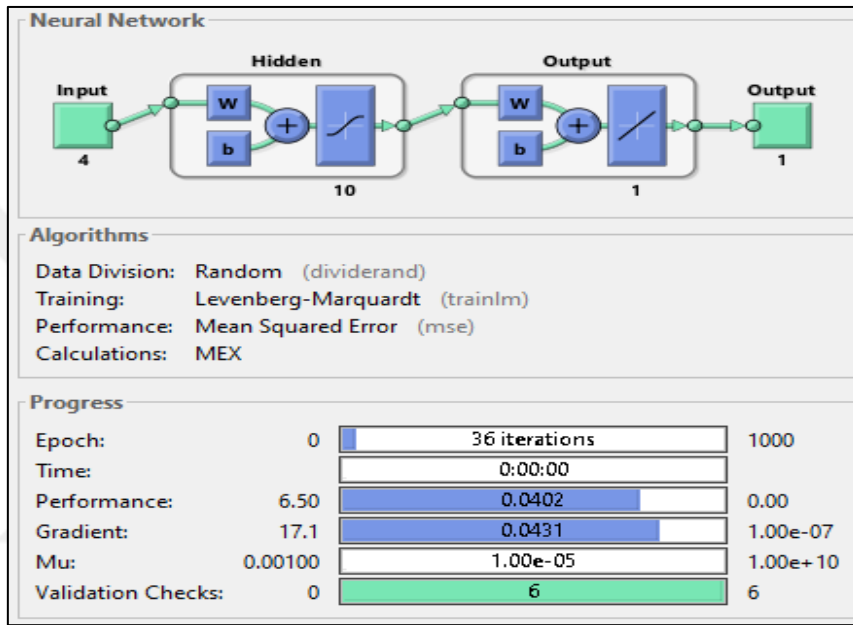


Şekil 47. Delta Grubu YSA Regresyon Grafikleri

Şekil 47’de Delta grubu eğitim verilerinin R^2 değeri yaklaşık 0,85 ($0,92495^2$), doğrulama verilerinin R^2 değeri yaklaşık 0,80 ($0,89286^2$), test verilerinin R^2 değeri yaklaşık 0,87 ($0,93194^2$) ve tüm verilerin R^2 değeri yaklaşık 0,85 ($0,922^2$) olarak hesaplanmaktadır. Delta grubu gemilerin tüm verilerinde gerçek değerler ile tahmin değerleri arasındaki ilişkinin çok yüksek derecede olduğu söylenebilir. Delta grubu gemilerin yakıt sarfiyatı tahmini için kurulan ağ modelinde %85 dolaylarında bir uyumluluk elde edilmiştir.

3.2.5. Echo Grubu Gemilerin Yapay Sinir Ağları Bulguları

Echo grubundaki iki adet kardeş konteyner gemisinin verileri toplamda 664 adet veri setinden oluşmaktadır. Çalışmada, 664 adet veriden rassal olarak; %80 kadarı eğitim verisi, %10 doğrulama verisi, %10 da test verisi olarak ayrılmıştır. Dört girdi değişkeni ve bir çıktı değişkeni, iki ara katmana sahip NF tools fonksiyonlu ağı yapısı şu şekildedir:



Şekil 48. Echo Grubu YSA Model Yapısı

Şekil 48’de Echo grubu gemilerinin YSA yapısında 4 değişkenli 1 adet girdi katmanı, 10 nöronlu 1 adet gizli katman ve 1 adet çıktı katmanı bulunmaktadır. Ayrıca öğrenme algoritması Levenberg–Marquardt ve iterasyon sayısı ise 36 olarak sonuca ulaşılmıştır.

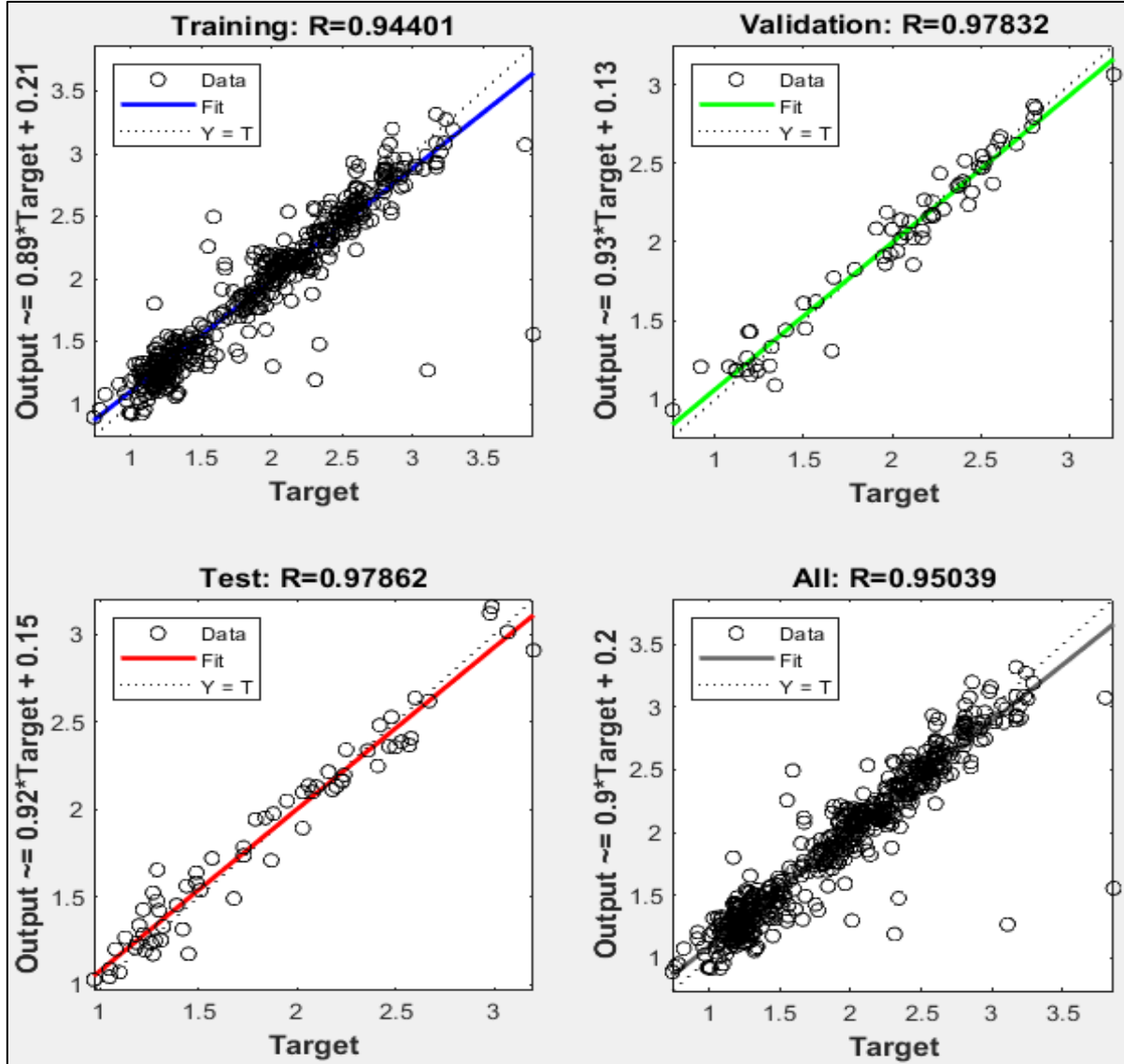
Eğitim (Training), doğrulama (Validation) ve test (Testing) verileri için korelasyon ve hata değerleri Şekil 49’da gösterilmektedir:

Results			
	Samples	MSE	R
Training:	532	4.14097e-2	9.44010e-1
Validation:	66	1.41783e-2	9.78315e-1
Testing:	66	1.54059e-2	9.78621e-1

Şekil 49. Echo Grubu YSA Modeli Korelasyon ve Hata Değerleri

Hata değerleri eğitim verisi için 0,041, doğrulama verisi için 0,014 ve test verisi için 0,015 olduğu görülmektedir. R değerleri ise sırasıyla 0,944, 0,978 ve 0,979 dolaylarındadır.

Eğitim, doğrulama, test ve tüm verilerin gerçek ve-tahmin değer ilişkisi şu şekildedir:



Şekil 50. Echo Grubu YSA Regresyon Grafikleri

Şekil 50' de Echo grubu eğitim verilerinin R^2 değeri yaklaşık 0,89 ($0,94401^2$), doğrulama verilerinin R^2 değeri yaklaşık 0,96 ($0,97832^2$), test verilerinin R^2 değeri yaklaşık 0,96 ($0,97862^2$) ve tüm verilerin R^2 değeri yaklaşık 0,90 ($0,95039^2$) olarak hesaplanmaktadır. Echo grubu gemilerin tüm verilerinde gerçek değerler ile tahmin değerleri arasındaki ilişkinin çok yüksek derecede olduğu söylenebilir. Echo grubu gemilerin yakıt sarfiyatı tahmini için kurulan ağ modelinde %90 dolaylarında bir uyumluluk elde edilmiştir.

3.3. Tahmin Modellerinin Performans Değerlendirmesi

Çalışmamızda 19 adet 5 farklı gruba alınan konteyner gemilerinin yakıt sarfiyatı tahmin modellemelerini yapmak için hem çoklu doğrusal regresyon hem de yapay sinir ağları yöntemleri kullanılmıştır. Bu yollarla kurulan modellerin performans değerlendirmesini yapmak amacıyla rastgele seçilen geręek veriler ile her iki tahmin yöntemi ile geliştirilen modeller kullanılarak yapılan tahmini yakıt sarfiyatı değerleri karşılaştırılmaktadır. Rastgele seçilen sefer bildirimleri aşağıdaki gibidir:

Tablo 45. Rastgele Seçilen Geręek Sefer Verileri Bilgileri

Veri No	Hava	Vasat Draft	Trim	RPM/Pitch	Yakıt Sarfiyatı
Alfa-1	-3	8,75	0,1	90	2,0
Alfa-2	+3	6,45	2,7	70	1,29
Alfa-3	2	9	0,6	60	1,26
Bravo-1	-3	8,05	0,90	90	3,19
Bravo-2	-4	9,95	0,70	70	1,88
Bravo-3	4	11,30	0	60	1,36
Charlie-1	-4	6,50	0,50	100	1,12
Charlie-2	+2	5,98	2,35	85	0,83
Charlie-3	-2	6,90	0,60	75	0,61
Delta-1	-3	7,20	1	80	1,12
Delta-2	-1	7,70	0,6	70	1,00
Delta-3	-2	7,60	1,40	60	0,85
Echo-1	+2	10,10	1,0	75	2,81
Echo-2	+1	8,40	1,20	60	1,73
Echo-3	-4	10,73	0,55	50	1,17

Tablo 45’de Alfa, Bravo, Charlie, Delta ve Echo gruplarından rastgele seçilen 3’er örnekteki geręek sefer verileri aktarılmaktadır. Alfa grubu birinci örneği, Alfa-1 baştan 3 beaufort kuvvetle gelen hava koşullarında, 8,75m’lik vasat deaftı ile, 0,1m kıça trimli olarak 90 pitchde sefer icra etmiş ve yakıt sarfiyatı saatlik 2,0 t olmuştur. Aynı şekilde Echo grubu gemilerinin birinci örneğinde 2 kuvvetinde kıçtan gelen hava, 10,73 m’ lik vasat draft, 0,55 m’lik trim, 50 RPM koşullarında yakıt sarfiyatı saatte 1,17 ton olarak geręekleřmiştir.

Örnek sefer bildirimi verileri ile hesaplanan performans bilgileri şu şekildedir:

Tablo 46. Yakıt Tahmin Modelleri Performans Değerlendirmesi

Veri No	Gerçek Değer	ÇDRA Tahmin Değeri	YSA Tahmin Değeri	ÇDRA Mutlak Fark	YSA Mutlak Fark	ÇDRA Tahmin Hatası	YSA Tahmin Hatası
Alfa-1	2,00	2,03	2,02	0,03	0,02	% 1,5	% 1
Alfa-2	1,29	1,37	1,38	0,08	0,09	% 6,2	% 7
Alfa-3	1,13	1,14	1,14	0,01	0,01	% 0,9	% 0,9
Bravo-1	3,19	3,11	3,29	0,08	0,1	% 3	% 3
Bravo-2	1,88	1,98	1,87	0,1	0,01	% 5	% 0,5
Bravo-3	1,36	1,31	1,35	0,05	0,01	% 3,5	% 0,7
Charlie-1	1,12	1,21	1,05	0,09	0,07	% 8	% 6
Charlie-2	0,83	0,87	0,82	0,04	0,03	% 5	% 3,6
Charlie-3	0,61	0,73	0,55	0,12	0,06	% 19	% 9,8
Delta-1	1,12	1,16	1,18	0,04	0,06	% 3,5	% 5
Delta-2	1,00	1,01	1,00	0,01	0,00	% 1	% 0
Delta-3	0,85	0,85	0,82	0,00	0,03	% 0	% 3,5
Echo-1	2,81	2,75	2,88	0,06	0,07	% 2,1	% 2,4
Echo-2	1,73	1,65	1,65	0,08	0,08	% 4,6	% 4,6
Echo-3	1,17	1,14	1,17	0,03	0,00	% 2,5	% 0

YSA: Yapay Sinir Ağları, ÇDRA: Çoklu Doğusal Regresyon Analizi

Buna göre YSA modelinin ÇDRA modeline göre daha az hata değerleri ile tahminleme yaptığı görülebilmektedir. Örneğin Alfa grubu gemileri için YSA ve ÇDRA modellerinin tahmin performansı ortalama yaklaşık %3 hata payı ile yapılmaktadır. Bravo grubu gemileri için ÇDRA modelinin ortalama yaklaşık %3, YSA modelinde % 1,4 hata payındadır. Ancak Charlie grubu ÇDRA modeli ortalama yaklaşık %11 hata verirken YSA modeli ise % 6,5 oranında bir hata payı barındırmaktadır. Delta grubunda ÇDRA modeli % 1,5, YSA modeli ise ortalama % 2,8 hata payındadır. Echo grubunda ÇDRA modelinde ortalama yaklaşık %3, YSA modeli ise % 2,3 hata payındadır. Özetle YSA modeli kullanılarak yapılan yakıt sarfiyatı tahminleri ÇDRA modeli tahminlerine kıyasla daha doğru sonuçlar vermektedir.

3.4. Tahmin Modelleri ile Yeşil Gemi Uygulamaları Optimizasyonu Örneği

3.4.1. YSA Tahmin Modeli Örneği

Alfa grubundaki bir gemi için örnek sefer verilerinde YSA modeli kullanılarak yakıt sarfiyatı tahmini yapılacaktır. Yakıt fiyatı metrik ton başına 500US\$ ve CO₂ için salınım faktörü 3,114 g CO₂/g olarak ele alınmıştır (URL-25, 2020; ICCT, 2017). Örnek seferler şu şekildedir:

(i) Pitch optimizasyonu örneği için, vasat draft 8,0m, trim 1,0m kıç ve hava baştan 3 beaufort şiddetinde, 70 ve 90 Pitch olmak üzere iki farklı şekilde,

(ii) Trim optimizasyonu örneği için, Pitch 70, vasat draft 8,0 m ve hava baştan 3 beaufort şiddetinde, 0,1m ve 2,0m kıç trim olmak üzere iki farklı şekilde,

(iii) Ballast optimizasyonu örneği için, Pitch 80, ballastsız vasat draft 7,0 m, trim kıç 1,0m ve hava baştan 3 beaufort şiddetinde, 1000t ve 5000t balast alınmak üzere iki farklı şekilde (vasat draftta 1000t ve 5000t balast alımında sırayla 30 cm ve 152cm artış, TPC = 32,80t/cm),

(iv) Hava Rotalama optimizasyonu örneği için, Pitch 65, vasat draft 6,0 m, trim 0,50 kıç ve hava kıçtan ve baştan 4 beaufort şiddetinde olmak üzere iki farklı şekildedir.

Alfa grubu yakıt sarfiyatı, maliyet, CO₂ emisyon ve verimlilik tahminleri şu şekildedir:

Tablo 47. Alfa Grubu Gemileri Enerji Verimliliği Uygulaması

Optimizasyon	Veriler	Yakıt Sarfiyat-t	Maliyet-US\$	CO ₂ Emisyon-t	Verimlilik
(i) Pitch	70	1,35	675	4,20	%32
	90	1,99	995	6,20	
(ii) Trim	0,1m kıç	1,29	645	4,02	%6,5
	2,0m kıç	1,38	690	4,30	
(iii) Balast	1000t	1,67	835	5,20	%8
	5000t	1,82	910	5,67	
(iv) Hava Rot.	4 (kıç)	0,98	490	3,05	%12
	4 (baş)	1,12	560	3,49	

Alfa grubu gemilerinde YSA modeli kullanılarak yapılan RPM optimizasyonu %32, trim optimizasyonu %6,5, balast optimizasyonu %8 ve hava rotalama optimizasyonu ise %12 oranında verimlilik sağlamaktadır.

3.4.2. ÇDRA Tahmin Modeli Örneği

Bravo grubundaki bir gemi için örnek sefer verilerinde ÇDRA modeli kullanılarak yakıt sarfiyatı tahmini yapılacaktır. Yakıt fiyatı metrik ton başına 500US\$ ve CO₂ için salınım faktörü 3,114 g CO₂/g fuel olarak ele alınmıştır (URL-25, 2020; ICCT, 2017).

Örnek seferler şu şekilde tasarlanmıştır:

- (i) RPM optimizasyonu örneği için, vasat draft 10,0m, trim 1,0m kıça ve hava baştan 3 beaufort şiddetinde, 70 ve 90 RPM olmak üzere iki farklı şekilde,
- (ii) Trim optimizasyonu örneği için, RPM 70, vasat draft 8,0 m ve hava baştan 3 beaufort şiddetinde, trim 0m ve 2m kıça olmak üzere iki farklı şekilde,
- (iii) Ballast optimizasyonu örneği için, RPM 50, ballastsız vasat draft 6,80 m, trim 0m ve hava baştan 5 beaufort şiddetinde, 1000t ve 10000t balast alınmak üzere iki farklı şekilde (vasat draftta 1000t ve 10000t balast alımı için sırayla 17 cm ve 175cm artış, TPC = 57,08 t/cm)
- (iv) Hava Rotalama optimizasyonu örneği için, RPM 55, vasat draft 8,0 m, trim 0m ve hava kıçtan ve baştan 5 beaufort şiddetinde olmak üzere iki farklı şekildedir.

Bu bilgiler doğrultusunda Bravo grubu saatlik yakıt sarfiyatı, maliyet, CO₂ emisyon ve verimlilik oranı tahminleri şu şekildedir:

Tablo 48. Bravo Grubu Gemileri Enerji Verimliliği Uygulaması

Optimizasyon	Sefer Değişkenleri	Yakıt Sarfiyatı (t)	Maliyet (US\$)	CO ₂ Emisyonu (t)	Verimlilik Oranı
(i) RPM	70	2,0	1000	6,23	%37
	90	3,16	1580	9,84	
(ii) Trim	0m	1,88	940	5,85	%8
	2m kıç	2,04	1020	6,35	
(iii) Balast	1000t	0,64	320	1,99	% 6
	10000t	0,68	340	2,12	
(iv) Hava Rot.	5 (kıç)	0,96	480	2,99	%7
	5 (baş)	1,03	515	3,21	

Buna göre Bravo grubuna RPM optimizasyonu %37, trim optimizasyonu %8, balast optimizasyonu %6 ve hava rotalama optimizasyonu %7 oranında verimlilik sağlamaktadır.

4. TARTIŞMA

Dünya üzerinde sürdürülebilir yönetim özellikle çevre kirliliği noktasında günümüzde dikkat çeken bir anlayış olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu anlayışın temel bileşenleri, şüphesiz ki çevre kirliliğinin önlenmesi ya da azaltılması çabalarının yanında bu çabalar sonucu elde edilen verimlilik durumudur. Verimlilik genel itibari ile enerji verimliliği kavramı çerçevesinde değerlendirilmektedir. Deniz taşımacılığında enerji verimliliği ve dolayısıyla kirliliğin önlenmesine yönelik çalışmalar MARPOL sözleşmesi kapsamında ele alınmaktadır. İlgili sözleşmenin Ek-VI'sı deniz taşımacılığında rol alan gemiler kaynaklı hava kirliliği düzenlemelerini içermektedir. Deniz taşımacılığında çevre kurallarına ilişkin temel sözleşme olan MARPOL'e 2005 yılında bu bölümün eklenmesi ile gemilerden kaynaklanan karbondioksit, sülfür oksit, azot oksit, uçucu organik bileşikler, ağır metaller gibi maddelerin salınımını azaltmaya yönelik bağlayıcı hükümler getirilmiştir. 400 GRT ve daha büyük tonajda uluslararası sefer yapan tüm gemileri, sabit ve yüzer sondaj üniteleri ile diğer platformları kapsayan bu düzenlemeler, gemi yakıtındaki kükürt ve sülfür oranlarına bir sınırlama koymuş, gemilerin kurallara uyması noktasında gemi bacalarının SO_x emisyonunu sınırlandırmaya imkân veren sistemler ile donatılması zorunlu hale getirmiş, 1 Ocak 2000 ve daha sonra inşa edilen gemilere takılmış olan 130 kW ve üstü güce sahip olan tüm yeni gemi dizel motorlarının NO_x emisyonu bakımından gerekliliklere uygun olmasını şart koşmuştur. Bu bağlamda ilgili gemiler için "Uluslararası Hava Kirliliğini Önleme Sertifikası (IAPP)" nın düzenlenmesi zorunlu hale getirilmiştir. Ayrıca SO_x , NO_x ve partiküllerin salınımlarının daha sıkı bir şekilde sınırlandırıldığı özel emisyon kontrol sahaları belirlenmiştir.

Ek kapsamında gemilere yönelik enerji verimliliği dizayn göstergesi, enerji verimliliği operasyonel göstergesi ve gemi enerji verimliliği yöntemi planı sunulmuştur. Bu yönetim planında gemilerin enerji verimliliğinin artırılması için uygulanabilecek enerji verimliliği uygulamalarına yer verilerek deniz ticaretinde rol alan armatör firmalara bu önlemlerin uygulanması noktasında tavsiyelerde bulunulmuştur. Enerji verimliliği uygulamaları genel olarak tekne, makine, sevk ve manevra sistemi bölümleri, sefer yönetimi ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılması başlıkları altında değerlendirilebilmektedir. Bahse konu tüm uygulamaların temel amacı gemilerin verimlilik düzeylerini yukarıya çekmek ve bu doğrultuda gemi kaynaklı hava kirliliği oluşumunu indirgeyip, yakıt kaynaklı işletme masraflarını asgari düzeyde tutabilmektir.

Bu çalışmada, sürdürülebilir bir yönetim tarzına katkı sunan, çevre hassasiyetinin azami düzeyde tutan ve sefer maliyetlerini azaltan enerji verimliliği uygulamalarının yapıldığı gemiler “yeşil gemi” kavramıyla ifade edilmektedir. Yeşil gemi uygulamalarının sefer yönetimi açısından değerlendirilmesinde gemi kaptanının/ operatörünün kullanımına yönelik yakıt sarfiyatlarının tahmin edilmesi için iki farklı yöntem oluşturulmuştur. Bu yöntemler 5 farklı grupta değerlendirilen 19 adet geminin ortalama 2 yıllık sefer verileri sonucu ortaya konulmuştur. Gemilerin gruplara ayrılmasında kardeş gemiler olmasına dikkat edilmiştir. Alfa, Bravo, Charlie, Delta, Echo isimli gruplara ayrılan gemiler sırasıyla 1600 TEU, 2800 TEU, 1400 TEU, 1200 TEU ve 2800 TEU yük kapasitesine sahip konteyner gemileridir. Yapılan literatür incelemesi sonucunda gemilerin yakıt tahminini yapmak için birçok çalışmada başvurulan yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Böylece kullanılan yöntemlerin sonuç farklarının da tespiti mümkün kılınmıştır. Çalışmada yöntemlerin uygulanması ile elde edilen sonuçlar sefer yönetiminde gemi kaptanı/operatörü tarafından yapılabilecek enerji verimliliği uygulamaları çerçevesinde ortaya konulmuştur. Bu uygulamalar RPM optimizasyonu, trim optimizasyonu, balast optimizasyonu ve hava rotalama optimizasyonu uygulamaları olarak adlandırılmıştır. Bu optimizasyon çalışmalarında gemilerden alınan sefer bildirimleri kullanılmış ve bildirimlerdeki veriler, hava durumu, vasat draft değeri, trim değeri, RPM ya da Pitch değeri ve bu değerlerin etkisinin bulunduğu gemi saatlik yakıt sarfiyatı değeri olarak ele alınmıştır.

ICCT (2013) gemilerde enerji verimliliği konusu çalışmasında, gemilerde çeşitli verimlilik uygulamalarıyla birlikte yakıt sarfiyatı ve dolayısıyla CO₂ salınımının azalacağı potansiyeline dikkat çekmiştir. Çalışma sefer yönetimi enerji verimliliği uygulaması olarak adlandırılan hız optimizasyonu ile %10 ve %30 arasında bir verimliliğin ortaya çıktığını ifade etmektedir. Aynı şekilde hava rotalama optimizasyonunun %4, gemi aerodinamik yapısındaki uygulamalarının %15 oranına kadar, makine verimliliğine ilişkin uygulamaların %30’a kadar ve gemi hidrodinamiğine ilişkin uygulamaların ise %10’a kadar tasarruf sağlama potansiyelinde olduğunu belirtmektedir. Denizcilikte önemli bir klas kuruluşu olan ABS (2012) çalışmasında, enerji verimliliği uygulamalarının yakıt sarfiyatı üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Özellikle bu konuda sefer yönetimi olarak değerlendirilen uygulamalardan hız optimizasyonu konusunda %10 luk bir hız azaltmanın %20 oranında yakıt tasarrufu sağlayacağı söylenmektedir. Hava rotalamanın ve trim değişiminin bu uygulamalar içinde değerlendirilmesi gerektiğine dikkat çekilmektedir. Diğer bir gemi klas kuruluşu olan DNVGL (2016), gemilerde enerji verimliliği konusunda kapsamlı bir proje yapmıştır. IMO destekli

projede 25 adet denizcilik firmasının 900 adet farklı tiplerdeki gemileri araştırılmış, EEDI ve EEOI göstergelerindeki değişim hesaplanmıştır. Araştırma sonucunda gemilerde uygulanan enerji verimliliği uygulamalarından yavaş steam (düşük RPM) ile %30' a kadar verimlilik sağlandığı belirtilmektedir. Trim optimizasyonu ile %10, hava rotalama optimizasyonu ile %10 ve %30 arasında verimlilik sağlandığı aktarılmaktadır. Denizcilik ve enerji piyasalarında güç kaynağı üreticisi olan Wartsila (2009) çalışmasında, gemi uygulamalarında enerji sarfiyatını indirmek ve dolayısıyla işletme maliyetlerini ve emisyonları azaltmak için olası enerji verimliliği uygulamaları örneklerine değinmektedir. Çalışma, aynı stabilite koşullarındaki gemiden yaklaşık 3000 ton ağırlığında balastın kalıcı bir şekilde azaltılması, pervanenin üretmesi gereken güç. talebinin %8,5 oranında düşüreceğini belirtmektedir. Hız optimizasyonu konusunda da 0,5 knot hız azaltmanın %7, 1 knot hız azaltmanın %11, 2 knot hız azaltmanın %17 ve 3,0 knot hız azaltmanın ise %23 oranında tasarruf sağladığı vurgulanmıştır. Enerji verimliliği uygulamalarından trim optimizasyonun da %5, hava rotalama optimizasyonun ise %10 kadar verimliliğe sebep olduğu aktarılmaktadır. Gemilerde enerji verimliliği çalışmaları konusunda “Green Ship of the Future” adlı bir yapı oluşturulmuştur (GSF, 2009). Bu yapının katılımcıları gemi sahipleri ve işletmecileri, üretim sektörü ve tedarikçileri, sınıflandırma toplumları, sanayi kuruluşları ve kamu otoriteleri, araştırma ve eğitim kurumları ve diğer ilgili (denizcilik) organizasyonlar ve bireyleri olmak üzere 51 adettir. Yapıda A.P. Moller - Maersk, Aarhus Denizcilik ve Teknik Okulu, Bureau Veritas, Class NK, Kpenhag Denizcilik Okulu, Danimarka Denizcilik Otoritesi, Danimarka denizcilik firmaları, DNVGL, Force Teknoloji Şirketi, Lloyd Klas Kuruluşu, Maersk Tanker, Man Enerji Şirketi, Ultragas/UltraBulk, Wartsila şirketleri gibi kuruluşlar bulunmaktadır. Kuruluşlar güçlerini birleştirerek birden fazla çalışmaya nokta koymuştur. Bu çalışmalardan birisi proje olarak 8500 TEU taşıma kapasitesine sahip bir konteyner gemisinde yapılmıştır. Konteyner gemisi çalışmasında, yakıt sisteminde su (WIF), egzoz gazı geri besleme sistemi (EGR), atık ısı geri kazanım sistemi (WHR), güç ve buhar türbini teknolojisi, egzoz gazı yıkayıcıları teknolojilerine odaklanılmıştır. Yaklaşık olarak 10 milyon dolar ek bir maliyet getirecek önlemlere ilişkin %11-14 oranında CO₂, %80-90 oranında NO_x ve SO_x gazı salınımı düşüşü elde edilmiştir. Çalışma sonucunda optimize edilmiş sefer yönetimi uygulamalarıyla (yavaş steam, hava rotalama vb.) birlikte CO₂ salınımının daha fazla azalacağı belirtilmektedir. Bu tür kuruluşlarca yapılan çalışmalar genel olarak gemilerin sefer verilerinden elde edilerek ortaya konulan ve bir vaka çalışması şeklindeki araştırmalardır. Çalışmalar, araştırmamızda olduğu gibi belirli bir periyotta elde edilen verilerin izlenmesi ve buna müteakip birbirleri ile karşılaştırılması sonucu gemilerin enerji verimliliği

uygulamalarının avantajlarını ortaya koymaktadır. Ancak çalışmalar sonucunda herhangi bir şekilde, gemi operatörüne gemisine özgü kullanılması için bir araç sunulduğu görülmemekte olup operatöre belirtilen optimizasyonlar ile sağlayabileceği yakıt tasarrufuna ve dolayısıyla sera gazı salınımının indirgenmesine ilişkin bir yol göstermektedir. Denizcilik sektörünün önde gelen kuruluşlarınca yapılan çalışmalarda, sefer yönetimi çerçevesinde gemi kaptanı/operatörünün yapabileceği optimizasyon uygulamalarında hız optimizasyonu ya da RPM optimizasyonu olarak ifade edilen enerji verimliliği uygulaması %30 oranı ile en çok enerji verimliliğine sağlayan uygulama olarak belirtilmektedir. Ayrıca trim optimizasyonu ile %10'a kadar, hava rotalama ile %30'a kadar, balast optimizasyonu ile %8,5'e kadar varan tasarruf ortaya çıktığı vurgulanmaktadır. Çalışmamızda ise sırasıyla ÇDRA ve YSA modellerine ilişkin sonuçlarda RPM optimizasyonu %37 ve %32, trim optimizasyonu %8 ve %6,5, hava rotalama %7 ve %12, balast optimizasyonu ise %6 ve 8 oranlarında tasarruf sağlamıştır. ÇDRA ve YSA modelleri bu çalışmalar ile uyumlu sonuçlar göstermektedir.

Lokukaluge vd. (2015) çalışmasında çeşitli sefer parametreleri altında gemi performansını gözlemlemiştir. Bu parametreler gemi GPS hızı, gemi parakete hızı, rota, ana ve yardımcı makine gücü, RPM, sefer süresi, rüzgar koşulları ve yakıt tüketimi şeklindedir. Çalışmada 72562 DW tonajında, 105 rpm hızında 7564 kw güç üreten iki zamanlı ana makineye sahip 4 kanatlı pervanesi olan dökme yük gemisi verileri kullanılmıştır. Çalışma, hava koşullarının artması nedeniyle gemi hızının güçlü bir şekilde azaldığını ifade etmektedir. Bazı durumlarda ise ilgili yükleme koşullarında uygun trim değerlerinin seçilerek yakıt sarfiyatının azalacağı vurgulanmaktadır. Örneğin 11-12 m draft değerlerinde gemi trim değerini 1m'den 2m'ye çıkarmanın yakıt sarfiyatını düşürdüğünü ifade edilmektedir. Erto vd., (2015), gemilerin yakıt sarfiyatı tahmininde bulunmak için çoklu doğrusal regresyon yöntemini kullanmıştır. Elde edilen model Grimaldi Gruba bağlı bir geminin 1 yıllık 370 adet seferlerinden tersane süreçleri dahil edilmeden oluşturulmuştur. Veriler seyir verisi olarak; rota, hız, baş-kıç ve vasat draft, rüzgar hızı ve yönü (baş-kıç) ve makine verisi olarak; RPM, sevk gücü, jeneratörlerdeki elektrik gücü, baca gazı sıcaklığı, hava basıncı ve sıcaklığı şeklindedir. Geminin yapısal farklılıklarından birisi olan dengeleyici kanatçıkların kullanımı modele dahil edilmiştir. Ayrıca yakıt sarfiyatı katedilen mesafedeki yakıt harcaması (ton/mil) olarak alınmıştır. Çalışma sonucunda, kötü hava koşullarının deniz durumu etkisi de göz önünde bulundurularak, yakıt sarfiyatında artışa, havanın sakinleşmesinin de sarfiyatta azalmaya sebep olacağı belirtilmiştir. Yolcu gemisi üzerinde yapılan çoklu doğrusal regresyon modelinin %93,8 uyumluluk oranı ile kullanılabilir bir yakıt sarfiyatı tahmin modeli olduğu ortaya konulmuştur. Solaymani vd.

(2018) çalışmasında, gemi yakıt sarfiyatı tahmini modelinde, İran Petrol Şirketine ait 452 adet farklı tipteki gemiden elde edilen verilerinden gemi boyu-eni-draftı (batık hacim), hız, makine gücü, saatlik yakıt tüketimi değerleri incelenmiştir. Oluşturulan doğrusal model, Dünya Gıda ve Tarım Örgütü formülü ile karşılaştırılmış ve %50 den fazla oranda farklılık bulunmuştur. Belirlenen tüm değişkenlerin (hız, deplasman hacmi, makine gücü) yakıt sarfiyatı üzerindeki etkisi denklemde doğrusal bir ilişki ile açıklanmıştır. Çalışmada doğrusal modelin gerçek değerlere yaklaştığı ve %84 oranında bir uyumluluğu olduğu vurgulanmıştır. Bialystocki ve Konovesis (2016) geminin draft değişimi, hava şiddeti ve yönü, gövde ve pervane pürüzlülüğü gibi onu etkileyen ana faktörler temelinde doğru bir yakıt tüketimi ve hız eğrisi elde etmek için operasyonel bir yaklaşım önermektedir. Baştan gelen daha güçlü rüzgarın yakıt tüketimini arttırdığı tespit edilmiştir. 1 adet Ro-Ro tipi gemiden alınan 418 adet sefer bildirim verileri ile oluşturulan model %75 oranında bir uyumluluğa sahiptir İstatistiksel olarak yapılan hız optimizasyonu için, belirli hava koşullarında hız 20 knottan 15 knota düşüldüğünde %32,1 oranında tasarruf sağladığı, aynı hız değerinde rüzgarın baştan 2 birim azalmasının ise %8,7 oranında tasarruf sağladığı ortaya konulmuştur. Safei vd. (2019), dört adet VLCC tipi gemide, öğlen raporuna ve AIS sistemi verilerine dayalı yakıt tüketimi tahmin modeli oluşturmuştur. Geminin yakıt tüketiminin, ortalama günlük hız, gemi deplasmanı, yük, balast suyu ve yakıt, trim ve deniz koşulları (rüzgar, dalga ve akıntı) gibi birçok parametreden karmaşık bir şekilde etkilendiğini belirtmektedir. Yakıt tüketimini etkileyen parametreler dikkate alınarak çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmış ve bağımsız ve bağımlı değişkenler arasında yüksek bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Model yakıt sarfiyatı ile deplasman, gemi hızı, rüzgar ve dalga şiddetinin ilişkisi olduğunu belirtmektedir. Buna göre yakıt sarfiyatı ile diğer değişkenler arasında pozitif yönde ilişki bulunmaktadır. Yakıt sarfiyatı denklemi katsayılarına göre en yüksek etkinin hız değişkeni tarafından olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, üretilen denklem %75 uyumlulukla yakıt sarfiyatı tahmini ortaya koymaktadır. Modelin performansının da %97 oranından fazla olduğu gösterilmiştir. Soner vd. (2019), gemilerin operasyonel performans izleme probleminin istatistiksel olarak modellenmesine yönelik çalışmasında Ridge ve Lasso yöntemlerini kullanmıştır. Modeldeki değişkenler bir yolcu gemisinin 2 aylık sefer periyodundaki 2 saatlik seferlerinden yakıt sarfiyatı, hız, trim, draft, meyil açısı, baştan gelen rüzgar vb. veriler olarak alınmıştır. Çalışma bulguları pitch, trim ve rüzgar etkisinin önemine dikkat çekmektedir. Baştan gelen rüzgarların ve omuzluk rüzgarlarının, trim açısı ve trim seçeneklerinin ve pitch değerlerinin yakıt tüketimi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtilmektedir. Aynı şekilde baştan gelen rüzgarların gemi hızını olumsuz etkilediği, başa

trimin dirençleri arttıracığından hızı düşürebileceği vurgulanmaktadır. Çalışmalar farklı gemi tiplerinde yapılacak yakıt sarfiyatı tahmin modellerinin çoklu doğrusal regresyon yöntemi kullanılarak ve istatistiksel çalışmalar yapılarak oluşturulabileceğini ortaya koymaktadır. Çalışmalar sonucunda yapılan optimizasyon uygulamalarında hız optimizasyonu ile %32,1, hava rotalama optimizasyonu %8,7 oranında verimlilik sağlandığı belirtilmekte ve draft değişiminin de verimliliğe etkisi olacağı savunulmaktadır. Çalışmamızda ise ÇDRA yöntemiyle yapılan RPM optimizasyonu ile %37, hava rotalama optimizasyonu ile %7 oranlarında tasarruf sağlandığı ve bu sonuçların incelenen çalışmalar ile uyumlu sonuçlar olduğu görülmektedir. Ayrıca söz konusu çalışmalar diğer optimizasyon uygulamalarının yakıt sarfiyatı tasarrufuna etki edeceğini belirtmiş ancak buna yönelik bir tahmin ortaya koymamışlardır. Çalışmamızda ise trim ve balast optimizasyonu da değerlendirilerek diğer çalışmaların görüşleri doğrultusunda verimlilik sağlanmış ve bu verimlilik çalışmalarına da yer verilmiştir. Öte yandan yakıt sarfiyatı tahmini için oluşturulan modellerin bazılarında gemi kaptanının/operatörünün kullanımına yönelik basit bir hesaplama yöntemi de sunduğu gözlemlenmektedir. Ancak modellerde farklı gemilerin farklı verileri ile tahminlerin yapıldığı, bazı gemi değişkenlerinin modele dahil edilmediği de görülmektedir. Çalışmamızda ise konteyner tipi gemileri için bu çalışmalardaki gibi farklı veriler kullanılarak bir yakıt tahmin modeli ortaya konulmuştur. Modellerin ise uyumluluk durumu ÇDRA modellerinde %76-86 arasında ve YSA modellerinde ise %80-90 arasındadır. Bu durum, incelenen çoklu doğrusal regresyon modeli çalışmalarına kıyasla YSA modelinin yakıt tahmini konusunda zaman zaman daha iyi uyumlu modeller ürettiğini ortaya koymaktadır.

Gemilerde enerji verimliliği konusunda yakıt sarfiyatı tahmini yolu ile yapılan verimlilik çalışmalarında ÇDRA yöntemi ile birlikte karşılaştırma amacıyla ve ayrı olarak YSA yöntemlerine de sık sık başvurulduğu saptanmaktadır. Kee vd. (2018) çalışmasında, Rejang Nehri, Malacca ve Malezya Boğazları boyunca işletilen hizmet içi römorkörlerin yakıt verimliliği profilini oluşturmak için Levenberg-Marquardt öğrenme metodu ile geri yayımlı yapay bir sinir ağı modeli kullanılmıştır. Modelde iki adet geminin günlük sefer bildirimleri ele alınmıştır. Sefer uzunlukları, sefer saatleri, gemi hızı, deadweight tonaj, rüzgar hızı parametreleriyle yakıt sarfiyatı değeri incelenmiştir. Elde edilen YSA model performansı çoklu doğrusal regresyon modeli ile karşılaştırılmış ve bir vaka çalışması ile örneklendirilmiştir. YSA modelinin, gemi performansının karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkisini öngörmede ÇDRA modelinden daha iyi uyumlu ve daha doğru sonuçlar ürettiği sonucuna varılmıştır. ÇDRA modeli %91 ve YSA modeli %92 oranında uyumluluğa sahiptir. ÇDRA modelinde %22,7

tahmin hatası, YSA modelinde ise %19 oranında tahmin hatası ortaya çıkmıştır. Vaka çalışmasında YSA modeline göre hız değişiminin %37,2 oranında verimlilik sağladığı belirtilmiştir. ÇDRA modelinde ise aynı hızlarda (5 knot), draft değişiminin (dolu ve boş gemi) yaklaşık %20 oranında (28lt/nm-22,5lt/nm) verimlilik sağladığı saptanmıştır. Gkerekos vd. (2019) “Entegre Gemi Enerji ve Bakım Yönetim Sistemi” kuruluşu destekli çalışmasında, öğlen raporları ve otomatik veri kaydı ve izleme sistemleri kullanarak iki farklı gemi verilerinden gemi yakıt sarfiyatını tahmin etmek için çoklu regresyon yöntemlerinin karşılaştırmasını sunmaktadır. Bunun için farklı yapıdaki karar destek sistemleri kullanılmıştır. Türetilmiş modellerin, farklı yük koşulları, hava koşulları, hız, mesafe ve draft altında seyreden gemilerin gemi yakıt sarfiyatını doğru olarak tahmin edebildiğini vurgulamaktadır. Günlük yakıt sarfiyatı hatası ÇDRA modelinde 6,108t, YSA modelinde ise 4,869t olarak saptanmıştır. Yakıt sarfiyatı üzerinde etkili olduğu belirlenen parametrelerden en yüksek ilişki RPM değerinin olduğu vurgulanmış ve diğer değişkenlerinde ilişkisi olduğu ortaya konulmuştur. Modellerin tamamında %85 ve fazlası oranında uyumluluk elde edilmiş ve ÇDRA yönteminde bu oran %86,79 iken YSA modelinde %89,47 olarak bulunmuştur. Pedersen ve Larsen (2009) FORCE Teknoloji firması destekli çalışmasında, dört farklı yükleme koşulunda sevk gücü, gemi hızı, rüzgar hızı ve yönü, deniz ve hava sıcaklığının tam ölçekli ölçümleri, sevk gücünün tahmini için yapay sinir ağı modeli önermektedir. Draft ve trim değerleri değişiminin dahil edilmediği çalışmada YSA modelinde farklı veriler için %0,8 ile %2,7 arasında, doğrusal modelde ise %3-%11 arası yakıt sarfiyatı tahmin hatası belirtilmiştir. Uyanık vd. (2019) sefer sırasında geminin harcadığı yakıtı tahmin etmek için yapay zeka yöntemlerini kullanmıştır. Ticari bir gemiden gemi öğlen raporları alınmış, rapordaki veriler analiz edilmiş ve yakıt sarfiyatının tahmin edilmesi istenmiştir. Makine öğrenme yöntemi ile yapılan tahminlerde giriş olarak RPM, shaft gücü, rüzgar hızı, dalga yüksekliği ve akıntı sürati belirlenmiştir. Rastgele 12 gün olarak seçilen yakıt sarfiyatlarında ortalama tahmin hatası oranı 1,61 olarak bulunmuştur. Beşikçi (2015) ve Beşikçi vd. (2016) çalışmasında gemilerin yakıt sarfiyatları tahmininde YSA modeli ve hız tahmininde de ÇDRA modeli kullanmıştır. Yakıt sarfiyatını tahmin modelinde 27 adet 6 farklı tipteki tanker gemilerinden alınan sefer bildirimleri kullanılmıştır. Gemilerin yakıt sarfiyatı saatlik olarak değerlendirilmiş ve buna etkiyen faktörlerinde RPM, vasat draft, trim, rüzgar şiddeti ve yönü olarak belirlenmiştir. Ayrıca çalışmanın korelasyon analizinde yakıt sarfiyatı değerinde en yüksek etkide olan değişkenin RPM olduğu belirtilmiştir. Vasat draft, rüzgar ve trim değişiminin ise etkisinin genel olarak düşük düzeyde olduğu saptanmıştır. Oluşturulan Network Toolbox fonksiyonlu YSA tabanlı tahmin modelinde eğitim ya da test verileri ile

mevcut yakıt tüketimi tahmin değerleri arasında %78 oranının üzerinde bir uyumluluk elde etmiştir. Kurulan altı farklı modeldeki gerçek yakıt tüketimi ve YSA tahmini arasındaki hata değerleri en fazla, 0,50t luk gerçek yakıt tüketimini 0,64 ton olarak tahmin etmesiyle, % 28 oranında bulunmuştur. Diğer modellerde bu oranın %1' kadar indiği belirtilmiştir. Elde edilen verilerle gemi kaptanına/operatörüne yakıt sarfiyatı tahmini yapmak için bir karar destek sistemi sunulmuş ve örnek senaryolarla enerji verimliliği hususunda çıkarımlar ortaya konulmuştur. Buna göre oluşturulan senaryoda hız optimizasyonu yapıldığında %33,5 oranında verimlilik ortaya çıktığı hesaplanmıştır. Çalışmalar YSA tabanlı yakıt sarfiyatı tahminlerinin yanında kimi zaman kıyas yapabilmeye amaçlı çoklu doğrusal regresyon yöntemine de başvurmuştur. Çalışmamızda olduğu gibi ortak sonuçlar göstermektedir ki her iki yöntem gemilerin yakıt sarfiyatını tahmin etmede verimli bir şekilde kullanılabilir. Aynı şekilde çalışmamızla paralel bir şekilde yapay sinir ağları yöntemi genel olarak çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemine göre daha az hata payı ile tahmin yapmakta ve daha çok uyumluluğa sahip olmaktadır. Çalışmalarda zaman zaman model uyumunun %90'ın üzerinde olduğu ve hata payının ise %1'lere kadar indiği görülebilmekte olup bu durumun da çalışmamızla uyduğu saptanabilmektedir. Modeller ile yapılan tahminlerde hız optimizasyonunun %37 oranlarında, draft optimizasyonunun %20 oranlarına varana kadar bir verimlilik sağladığı anlaşılmaktadır. Çalışmamızda ise YSA tabanlı modellerde RPM optimizasyonu ile %32, draft optimizasyonu ile %8 oranında verimlilik elde edilmiştir. Ayrıca incelen çalışmalarda yakıt sarfiyatına etki eden en büyük parametrenin de RPM ya da hız değişimi olduğu, bu sonucunda da çalışmamız sonucuyla aynı olduğu görülebilmektedir. Çalışmalar farklı gemi tiplerinde ve farklı sayıdaki gemilerde yakıt tahminini ortaya koyarken farklı verilerle bunu açıklamaya çalışmaktadır. Bu verileri genel olarak makine gücü, gemi ağırlığı, gemi hızı, çevresel faktörler olarak gruplandırmak mümkündür. Verilerin elde edilmesindeki zorlukların modellerdeki veri seçimini etkilediği düşünülmektedir. Aynı zamanda çalışmalarda modelin kullanılma potansiyeline yönelik bilgiler verilirken yapılacak enerji verimliliği uygulamalarının gemi enerji verimliliğine etkisi tamamında belirtilmemiştir. Enerji verimliliği etkisinin belirlenmeye çalışıldığı çalışmalarda kısıtlı bir şekilde tahminlemeler gerçekleştirilmiş ve sadece hız ve draft optimizasyonunun sağladığı verimlilik durumu ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çalışmamızda ise bu optimizasyon uygulamalarının yanında trim ve hava rotalama optimizasyon uygulaması çerçevesinde de enerji verimliliği oranları hesaplanmıştır. Ayrıca incelen çalışmaların modellerinin hata oranları %28'lere kadar çıkarken çalışmamızda ise bu hata oranının %9,7 lere olduğu ve böylece çalışmamızda kurulan

YSA tabanlı yakıt sarfiyatı tahmin modelleri performanslarının daha az hata oranı ile daha üstün performansa ulaştığı görülmektedir.

Şüphesiz ki gemiler gerçekleştirdikleri seferler açısından birçok optimizasyon yöntemlerinin uygulanması için oldukça elverişli ortamları barındırmaktadır. Bu açıdan çalışmamız farklı sefer verileri kullanılarak oluşturulan ÇDRA ve YSA tabanlı yakıt sarfiyatı tahmini ile gemi kaptanına/operatörüne bir karar destek sistemi sunmaktadır. Örnek uygulamalar ile saatlik yakıt sarfiyatı değerlerinde YSA tabanlı modele RPM optimizasyonu ile %32 oranında, trim optimizasyonu ile %6,5 oranında, balast optimizasyonu ile %8 oranında ve hava rotalama optimizasyonu ile %12 oranında verimlilik sağlandığı ortaya konulmuştur. ÇDRA modeline göre ise RPM optimizasyonu ile %37 oranında, trim optimizasyonunda %8 oranında, balast optimizasyonu %6 oranında ve hava rotalama optimizasyonu ile %7 oranında verimlilik sağlandığı saptanmıştır. Ayrıca oluşturulan modellerin uyumluluğu konusunda tatmin edici değerlere ulaşılmıştır. ÇDRA tabanlı modellerde Alfa grubu gemileri yakıt sarfiyatı tahmin modeli için %76, Bravo grubu gemileri yakıt sarfiyatı tahmin modeli için %84, Charlie grubu gemileri yakıt sarfiyatı tahmin modeli için %86, Delta grubu gemileri yakıt sarfiyatı tahmin modeli için %78, Echo grubu gemileri yakıt sarfiyatı tahmin modeli için %86 oranında uyumluluk elde edilmiştir. Bunun yanında YSA tabanlı modellerde ise Alfa grubu gemileri yakıt sarfiyatı tahmin modeli için %80, Bravo grubu gemileri yakıt sarfiyatı tahmin modeli için %90, Charlie grubu gemileri yakıt sarfiyatı tahmin modeli için %90, Delta grubu gemileri yakıt sarfiyatı tahmin modeli için %85, Echo grubu gemileri yakıt sarfiyatı tahmin modeli için %90 oranında uyumluluk elde edilmiştir. Modellerin performans değerlendirmesinde de uygun sonuçlar ortaya çıkmıştır. ÇDRA modeli kullanılarak yapılan örnek tahminlemelerde, gerçek yakıt değeri ile tahmini yakıt sarfiyatı değeri arasında en fazla %19 oranında hata payı saptanmakta ve bu hata zaman zaman sıfırlanıp tam doğru tahmine ulaşılmaktadır. Öte yandan YSA modeli kullanılarak yapılan örnek tahminlemelerde, gerçek yakıt değeri ile tahmini yakıt sarfiyatı değeri arasında en fazla %9,7 oranında hata payı bulunmakta ve bu hata zaman zaman sıfırlanıp tam doğru tahmine ulaşılmaktadır. Sonuç olarak her iki yöntem oluşturularak kurulan modeller tatmin edici seviyelerdedir. Ancak genel olarak YSA tabanlı yakıt sarfiyatı tahmin modellemesi kullanılarak yapılacak tahminler daha fazla uyumluluk oranı ve daha az hata değerleri barındırmasıyla diğer yöntemlere göre daha üstün durumdadır. Gemi kaptanının/operatörünün enerji verimliliği uygulamalarının sonucuna bakacağı çalışmalarda YSA tabanlı modelin daha sağlıklı sonuçlar üreteceği düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Enerji verimliliği ya da tasarrufu, çevre korunması ve iklim değişikliğine karşı mücadelenin yanında tüm bu mücadeleler ile birlikte ürün ya da hizmetlerin sağlanması noktasında gerekli enerji miktarının azaltılması dolayısıyla enerji elde edilmesindeki maliyetlerin düşürülmesi adımlarının ortaya koyduğu bir anlayış olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kavram birçok işletmenin faaliyetlerinde, yeşil, çevreci, sürdürülebilirlik ve verimlilik terimleri çerçevesinde bir slogan haline gelmiştir. Uluslararası Denizcilik Örgütü “Önce Emniyet” temasından zamanla “Temiz Denizlerde Emniyetli Denizcilik” ve sonrasında 2020 yılı için “Sürdürülebilir Bir Gezegen için Sürdürülebilir Denizcilik” sloganlarını bir denizcilik teması olarak belirlemiştir. Bu durum IMO’ nun son yıllarda denizcilik piyasaları paydaşlarının faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde emniyetin kavramının yanında sürdürülebilirlik kavramını da bir ilke olarak seçtiğine işaret etmektedir. Bu bağlamda denizcilik sektöründe deniz kirliliğinin önlenmesinde esas dayanak olan MARPOL sözleşmesini deniz ticaretinde rol oynayan gemiler için yürürlüğe koymuştur. Bu sözleşme, gemilerden kaynaklanan petrol kirliliğinin önlenmesi, dökme olarak taşınan zararlı sıvı maddelerle kirlenmenin kontrol altına alınması, deniz yolu ile ambalajlı olarak, konteynerler, portatif tanklar veya karayolu ve demiryolu tank vagonları içerisinde taşınan zararlı maddelerle kirlenmenin önlenmesi, gemilerden kaynaklanan pis sular ile kirlenmenin önlenmesi, gemilerden kaynaklanan çöplerle kirlenmesinin önlenmesi ve son olarak gemilerden kaynaklanan hava kirliliğinin önlenmesi kurallarını getirmiştir. Öte yandan gemilere hizmet veren limanlar ise ISO 9001, 14001 ve OHSAS 18001 kalite sistemlerine sahip olmak şartıyla gönüllük esası ile çevre kirliliğinin azaltılması/önlenmesi çerçevesinde yeşil liman ünvanı adıyla bu çalışmalara katkı sunmaktadır. Gemiler çerçevesinde ise denizcilik kuruluşları MARPOL standartlarının üzerinde gemi inşa, gemi makine, alternatif enerji kaynakları, sevk gücü, sefer yönetimi vb. alanlarda birtakım enerji verimliliği uygulamaları geliştirerek yeşil gemi anlayışı adında, çevre hassasiyetlerini azami düzeyde tutan ve maliyetleri asgari noktada belirleyen yeni bir akımın öncüsü olma gayretine girmişlerdir.

Çalışmada konteyner taşımacılığında yeşil gemi uygulamalarının değerlendirilmesi, öncelikle sürdürülebilirlik, enerji verimliliği, enerji verimliliğine ilişkin düzenlemeler hakkında bilgiler verilmesi şeklinde başlamaktadır. Daha sonra ise denizyolu taşımacılığında enerji verimliliği kavramının yeri denizyolu taşımacılığı ve konteyner taşımacılığının geldiği

nokta ile denizyolu taşımacılığının ve bu taşımacılığın bir kolu olan konteyner taşımacılığının hava kirliliğine etkisi ortaya koyulmaktadır. Bu bağlamda denizyolu taşımacılığı kaynaklı hava kirliliğinin önlenmesi enerji verimliliği çerçevesinde değerlendirilip, denizyolu taşımacılığında enerji verimliliği kuralları hakkında detaylı bilgiler sunulmaktadır. Enerji verimliliği kurallarının getirdiği standartların daha verimli noktalara getirilmesi için kullanılan yeşil gemi uygulamalarından tekne yapısı ve bakımı, sevk ve manevra sistemleri, makine teknolojisi, alternatif enerji kaynakları, sefer yönetimi kapsamındaki uygulamalar aktarılmaktadır. Çalışmanın araştırma bölümünün sefer yönetimi üzerinde yapılması nedeniyle özellikle sefer yönetimde uygulanan enerji verimliliği önlemleri sefer planı, hız, draft, ballast, trim, oto-pilot ve rota kontrol sistemleri ve son olarak yük işlemleri optimizasyonu şeklinde detaylandırılmaktadır. Ayrıca enerji verimliliğinin uygulamalarının karşısındaki engeller de ortaya koyulmuştur.

Çalışmanın modelinin oluşturulmasında yararlanılan sefer bildirimlerinin elde edildiği gemilerin özellikleri, sefer bölgeleri ve gemilerin sefer değişkenleri ayrıntılı olarak aktarılmaktadır. Kullanılacak yöntemlerden çoklu doğrusal regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemleri açıklanmakta ve yöntemlerin kurulması aşamaları hakkında bilgilere yer verilmektedir. Ayrıca çalışmanın örnekleme ve kullanılan verilerin kapsamı gereği oluşan çalışma kapsam ve sınırlılıkları da belirtilmektedir. Belirlenen yöntemlerin ortaya koyduğu çalışma bulguları çoklu regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemi açısından 5 farklı grupta değerlendirilen gemiler için ayrı ayrı açıklanmaktadır. Kullanılan yöntemlerin uygulanabilirliği hakkında yol gösterici model performans değerlendirmesi de verilmektedir. Son olarak ortaya koyulan yöntemlerin uygulama potansiyelinin belirtilmesi sonucunda, modellerin belirli gruptaki gemilerin sefer verilerine entegre edilmesi ile sefer yönetimi yeşil gemi uygulaması ile elde edilecek enerji tasarrufu belirtilmektedir.

Çalışmada yeşil gemi uygulamaları ismini verdiğimiz enerji verimliliği çalışmaları özellikle gemi kaptanı/operatörünün herhangi bir dış faktöre bağımlı kalmadan gemi bünyesinde uygulayabileceği sefer yönetimi önlemleri kapsamında karar destek sistemi ortaya koyulmaktadır. Bu karar destek sistemi, bir geminin işletme masraflarının büyük çoğunluğuna sebep olan gemilerin sarf ettiği yakıt çerçevesinde değerlendirilmektedir. Gemilerin yakıt sarfiyatları kaynaklı oluşacak çevre kirliliğinin azaltılması için gaz yıkayıcı ya da farklı tipteki yakıtların kullanılarak günümüzde emisyon seviyelerini indirgenmesi sağlanmaktadır. Ancak bu azaltılmış emisyonun da daha alt noktalara getirilmesi çalışmamız çerçevesinde yapılan sefer yönetimi optimizasyonu ile de geliştirileceği görülmektedir. Aynı zamanda gemilerin

seferlerinin gerçekleşmesi için gerekli enerji miktarının azaltılması noktasında, hangi çeşit enerji kaynağı kullanılırsa kullanılsın işletme maliyetlerinin düşürülmesi için çalışma sonucunda ortaya konulan modellerin kullanılma potansiyelinin her daim mevcut olacağı öngörülmektedir. Bu noktada işletme maliyetlerinin asgari düzeye getirilmesi ve çevre kirliliğinin de azaltılması avantajları çerçevesinde çalışmanın denizcilik sektörüne önemli katkıları olacağı düşünülmektedir. Bu açıdan gelecekte yapılacak bilimsel çalışmalara yönelik öneriler şu şekildedir:

- Farklı özellikteki konteyner gemilerinde ve farklı tipteki gemiler için ortaya konulacak modellerin yer alacağı enerji verimliliği çalışmaları yapılmalıdır.
- Gemi kaynaklı hava kirliliğinin azaltılması noktasında daha fazla sayıda geminin incelendiği araştırmalar ortaya konulmalıdır.
- Özellikle yeşil gemi uygulamaları olarak tanımlanan diğer uygulamaların da modeller içerisinde değerlendirilmesi, örneğin tekne, pervane, makine ve sevk sistemleri verimliliği odaklı yapılacak çalışmalarla birlikte bu tarzda karar destek sistemleri çalışmalarının pekiştirilmesi gerekmektedir.
- Belirlenen ÇDRA ve YSA modelleri haricinde farklı yöntemlerle yapılacak çalışmalar ile karşılaştırma sağlayacak araştırmaların da yapılmasının gerekliliği düşünülmektedir.
- Çalışma verilerinin sağlanması için kaynak olarak kullanılan gemi bildirimlerinin yanında AIS (Otomatik Gemi Tanımlama Sistemi) ve farklı meteoroloji gözlem kuruluşlarından da alınacak verilerle farklı çalışmalar yapılmalıdır.
- Çalışma gemilerin sefer yönetimi alanında yapılmıştır. İlaveten gemilerin liman operasyonları çerçevesinde farklı enerji verimliliği çalışmaları da ortaya konulmalıdır.

Denizcilik endüstrisine yönelik tavsiyeler ise aşağıdaki gibidir:

- IMO çatısı altında, bayrak devletlerinin gemi faaliyetlerine yönelik veri havuzu hazırlanmalı, böylece enerji verimliliği hususu daha kapsayıcı şekilde ele alınmalıdır.
- Denizcilik piyasalarındaki karar verici otoriteler, yeşil gemi uygulamalarının yapılmasını teşvik etmelidir.
- Özellikle uluslararası düzeyde oluşturulan yeşil gemi kuruluşlarına katılım konusu daha geniş bir tabana yayılmalıdır.
- Bayrak devletleri, MARPOL EK-VI kapsamına uyumu hızlandırmak ve standartüstü bir denizcilik faaliyeti gerçekleştirmek amaçlı bayrak bünyesinde bulunan gemilere enerji verimliliği konusunda tavsiyelerde bulunmalı ve bir takım zorunluluklar getirmelidir.

- Bayrak devletleri çerçevesinde gemi enerji verimliliği yönetim planı şeklinde “bayrak devleti enerji verimliliği yönetim planları ve bayrak devletleri enerji verimliliği performans kriterleri” konulu düzenlemeler yapılmalıdır.
- Liman devletleri, gemi denetimlerine yönelik hususlarda enerji verimliliği konusunda belirleyici standart kurallarını geliştirmelidir.
- Denizcilik kuruluşlarının, yeşil gemi uygulamalarının sağladığı çevre kirliliği önleme ve maliyet avantajı konusundaki farkındalığı arttırılmalıdır.
- Gemi işletmeleri/ armatör kuruluşları enerji verimliliği uygulamalarından özellikle tekne ve pervane bakım-tutumu konularına daha fazla önem vermelidir. Periyodik su altı sörveyleri beklenilmeden, optimizasyon çalışmaları ile birlikte tekne ve pervane bakım-tutum masraflarını göz önünde tutarak, sörvey işlemlerini daha sık bir şekilde gerçekleştirmelidir.
- Makine ve diğer konularda teknolojinin getirdiği yenilikler yakından takip edilmeli ve bu yeniliklerin gemi makine, sevk vb. sistemlere entegrasyonu düşünülmelidir.
- Tam zamanında varış ilkelerine göre seferler planlanmalıdır.
- Sefer planı optimizasyon uygulamaları (sanal varış, draft-trim optimizasyon vb.) daha fazla geliştirilerek kullanıcılara sunulmalı ve gemilere bu konuda zorunluluklar getirilmelidir.
- Alternatif enerji kaynakları kullanımı desteklenmeli, petrol türevi yakıtlar yerine yeni nesil enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilmelidir.
- Enerji verimliliği uygulamaları önündeki personel kaynaklı engelleri aşma noktasında enerji durum farkındalığı eğitimleri verilmeli ve bu husus gemilerde belirli periyotlarda düzenlenen emniyet, çevre ve güvenlik konulu toplantılara eklenmelidir.
- Liman operasyon süreçleri asgari düzeyde tutulmalı ve gemi yük operasyon planları buna göre tasarlanmalıdır. Aynı zamanda liman operasyonlarında dış kaynaklı, uygun maliyetli enerji kaynakları (kıyı elektrik bağlantısı vb.) kullanımı sağlanmalıdır.
- Denizyolu taşımacılığı çerçevesinde eğitim veren kuruluşların müfredatlarında enerji verimliliği konusu zorunlu olarak eklenmeli, özellikle lisansüstü programlara konuya ilişkin dersler konulmalıdır.
- Yakıt sarfiyatının tahminine yönelik oluşturulan karar destek sistemleri, uzman yazılım firmalarının katkısı ile gemi bünyesine entegre edilip gemi kaptanına/operatörüne bir program aracılığı ile sunulmalıdır.

Sonuç olarak gemilere özgü sefer yönetiminde enerji verimliliği konusunun üniversite-sanayi işbirliği destekleri ile yapılacak çalışmaların ortaya konulması ile güvenilirlik düzeyi yüksek ve daha fazla kapsayıcı sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abouelfadl, A., H. ve Abdelraouf, E., E., Y., 2016. The Impact of Optimizing Trim on Reducing Fuel Consumption, J Shipp Ocean Eng, 6, 179-184.
- ABS, 2012. Ship Energy Efficiency Measures, American Bureau of Shipping.
- Acciaro, M., Hoffmann, P., N. ve Eide, M., S., 2012. Identifying and Overcoming Barriers to The Implement. of Emiss. Reduct. Measures in Ship., DNV Report No. 2010-1800.
- Acciaro, M., Hoffmann, P., N., ve Eide, M., S, 2013. The Energy Efficiency Gap in Maritime Transport, Journal of Shipping and Ocean Engineering, 3, 1-10.
- Acomi N. ve Acomi O., C., 2014. Improving the Voyage Energy Efficiency by Using EEOI, The 9th International Conference on Traffic & Transportation Studies (ICTTS'2014) Procedia - Social and Behavioral Sciences, 138, 531-536.
- Akgül, Y., 2016. Doğrusal Regresyon, Bulanık Doğrusal Regresyon ve Bulanık Hedef Programlama Yöntemleri ile Türk Sigorta Sektöründe Mali Yeterlilik Tahmin Analizi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Akpınar, M., 2014. Gemilerde Enerji Verimliliği Planının Kabotaj Hattında Çalışan Türk Bayraklı Yüksek Hızlı Yolcu Gemisine Uygulanması ve Değerlendirilmesi, Denizcilik Uzmanlık Tezi, Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Alpha Marine, 2014. Ship Energy Efficiency Management Personnel Awareness and Training Seminar, Alpha Marine Consulting Ltd. Ship Energy Efficiency Management.
- Anderson, D. ve McNeill, G, 1992. Artificial Neural Networks Technology - A DACS State of the Art Report, Kaman Sciences Corporation, Utica, New York.
- Arı, A. ve Berberler, M., E., 2017. Yapay Sinir Ağları ile Tahmin ve Sınıflandırma Problemlerinin Çözümü için Arayüz Tasarımı, Acta Infologica ,1, 2.
- Armstrong, V., N., 2013. Vessel Optimisation for Low Carbon Shipping, Ocean Engineering, 73, 195-207.
- Armstrong, V., N. ve Banks, C., 2015. Integrated Approach to Vessel Energy Efficiency, Ocean Engineering, 110 (B),39-48.
- Arslan, A. ve İnce, R., 1996. The Neural Network Approximation to the Size Effect in Fracture of Cementitious Materials, Engineering Fracture Mechanics, 54, 2, 249-261.
- Asheim, G., ve Brekke, K., A., 2002. Sustainability when Capital Management has Stochastic Consequences, Social Choice and Welfare, 19, 921-940.

- Ayhan, D., 2010., Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Bağlamında Küresel İklim Değişikliği Sorunsalı ve Kyoto Protokolü: Türkiye Analizi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Baird, A. J., 2002. Privatization Trends at the World's Top-100 Container Ports, Maritime Policy & Management, 29, 3, 271-284.
- Banks, C., Turan, O., İncecik, A., Theotokatos, G. Izkan, S., Shewell, C ve Tian X., 2013. Understanding Ship Operating Profiles with an Aim to Improve Energy Efficient Ship Operations, Low Carbon Shipping Conference, Londra.
- Batar, H., 2005. EEG İşaretlerinin Dalgacık Analiz Yöntemleri Kullanılarak Yapay Sinir Ağları ile Sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Bayrak, M., R., 2012. Sürdürülebilir Kalkınma için Türkiye’de Düşük Karbon Ekonomisi ve Kyoto Protokolü’nün Finansman Kaynakları, Journal of History Culture and Art Research, 1, 4, 266-279.
- Bazari, Z. ve Longva, T., 2011. Assessment of IMO Mandated Energy Efficiency Measures for International Shipping, MEPC 63/INF.2 International Maritime Organization, Londra.
- BÇM, 2015. A’dan Z’ye İklim Değişikliği Başucu Rehberi, Bölgesel Çevre Merkezi - REC Türkiye, ISBN: 978-975-6180-43-3.
- Berglund, C., 2013. Methanol- A Good Alternative for Ferries and Short Sea Shipping Main Messages, Stena RoRo, Green Ship Technolgy Conference 2013.
- Beşikçi Bal, E. 2015. Gemi Sefer Yönetiminde Enerji Verimliliğinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Beşikçi Bal, E., Arslan, Ö., Turan, O. ve Ölçer, A., I., 2016. An Artificial Neural Network Based Decision Support System for Energy Efficient Ship Operations, Computers & Operations Research, 66, 393-401.
- Bialystocki, N. ve Konovesis, D., 2016. On the Estimation of Ship’s Fuel Consumption and Speed Curve: A Stat. Approach, Journal of Ocean Eng. And Sci., 1, 2, 157-166.
- Bila, S., Harkouss, Y., ve Ibrahim, M, 1999. An Accurate Wavelet Neural-Networkbased Model for Electromagnetic Optimization of Microwave Circuits, Int. Journal of RF and Microwave CAE, 9, 297-306.
- BMİDÇS, 1992. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/webmenu12421_1.pdf. 11 Ocak 2020.
- Bodansky, D., 2011. Multilateral Climate Efforts Beyond the UNFCCC, Center for Climate and Energy Solutions, Sandra Day O’Connor College of Law, Arizona State Uni.

- Borkowski, T. ve Tarnapowicz, D., 2012. "Shore to Ship" System – An Alternative Electric Power Supply In Port, Journal of KONES Powertrain and Transport, 19, 3, 49-58.
- Boyd, G., A. ve Pang, J., X., 2000. Estimating the Linkage Between Energy Efficiency and Productivity, Energy Policy, 28, 5, 289-296.
- Bouman, A., Lindstad E., Rialland E., A., I., ve Strømman A., H., 2017. State of the Art Technologies, Measures, and Potential for Reducing GHG Emissions from Shipping-A Review, Transportation Research Part D: Trans. and Environ.,52, 408-421.
- Breheny, M., 1990. Strategic Planning and Urban Sustainability, Proceedings of the 1990 Town and Country Planning Association Annual Conference, Londra.
- Bronmo, G., Nygreen, B. ve Lysgaard, J., 2010. Column Generation App. to Ship Scheduling with Flexible Cargo Sizes, Euro. Journal. of Operational Resource, 200, 1, 139-150.
- Buhaug, O., Corbett, J.,J., Endresen, O., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D.S., Lee, D., Lindstad, H., Markowska, A.,Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Palsson, C., Wanqing, W., Winebrake, J.J. ve Yoshida, K., 2009. Prevention of Air Pollution From Ships, Second IMO GHG Study MEPC 59/INF.10, Londra.
- CCIWA, 1999. The Kyoto Protocol and Greenhouse Gas Emissions, The Chamber Of Commerce And Industry of Western Australia.
- CEFIC ve ECTA, 2011. Guidelines for Measuring and Managing CO2 Emissions from Transport Operations, Brüksel.
- Corbett, J., J., Wang, H. ve Winebrake J.J., 2009. The Effectiveness and Costs of Speed Reduction on Emissions from International Shipping, Transportation Research Part D, 14, 8, 593-598.
- Costanza, R., 1991. Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability, Columbia University Press, New York.
- Crapanzer, G., A. ve Grossberg, S., 1991. ART 3: Hierarchical Search Using Chemical Transmitters in Self-Organizing Pattern Recognition Architectures, Neural Networks, 3, 2, 129-152.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, 1998. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne Yönelik Kyoto Protokolü. 1-62.
- Daly, H., E., 1991. Steady State Economics, Island press, Washington D.C
- De Marco, A., Mancini, S., Pensa, C., Calise, G. ve De Luca, F. ,2016. Flettner Rotor Concept for Marine Applications: A Systematic Study, International Journal of Rotating Machinery, 12.

- Demirlioğlu, H., 2002. Türkiye Denizyolu Konteyner Taşımacılığının Kombine Taşımacılık ile Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enst., İstanbul.
- Deniz, C. ve Zincir, B., 2016. Environmental and Economical Assessment of Alternative Marine Fuels, Journal of Cleaner Production, 113, 438-449.
- Devabhaktuni, V., Yagoub, MCE., ve Fang, Y., 2001. Neural Networks For Microwave Modeling: Model Development Issues and Nonlinear Modeling Techniques, Int Journal of RF Microwave CAE, 11, 4-21.
- Dewan, M., H., Omar, Y. ve Aini, S., 2018. Barriers for Adoption of Energy Efficiency Operational Measures in Shipping Industry, WMU J. Maritime Affairs, 17, 169-193.
- DNVGL, 2013. DNVGL ECO Assistant 4.1. <https://www.dnvgl.com/services/eco-assistant-effective-trim-optimisation-1422>.
- DNVGL, 2015 . Maritime Energy Efficient Operation - What Matters, Energy Management Study -NOR-Shipping 2015, Oslo.
- DNVGL, 2016. Ee Appraisal Tool For Imo Project Report International Maritime Organization Report No.: 2015-0823, Rev. 0 Document No.: 1O34HAR-5.
- DNVGL, 2019. Sulphur Limit in-ECAS-Increased Risk of PSC Deficiencies and Detentions, Technical And Regulatory, Hamburg.
- DTO, 2019. Denizcilik Sektör Raporu, İMEAK Deniz Ticaret Odası. İstanbul 2019
- Dursun, Y. ve Kocagöz, E., 2010. Yapısal Eşitlik Modellemesi ve Regresyon: Karşılaştırmalı Bir Analiz, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 35, 1-17.
- Dursun, O. F., Kaya, N., ve Firat, M., 2012. Estimating Discharge Coefficient of Semi-Elliptical Side Weir Using ANFIS. Journal of Hydrology, 426, 55-62.
- EDGAR, 2019. Fossil CO2 and GHG Emissions of All World Countries, EU JRC Science for Policy Report 2019.
- Efe, Ö. ve Kaynak, O., 2000. Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi Basım, İstanbul.
- Eide, M., S., Longva, T., Hoffmann, P., Endresen, Ø. ve Dalsøren, S.B., 2011. Future Cost Scenarios for Reduct. of Ship CO2 Emis., Maritime Policy and Management, 38, 11-37.
- Eide, M., S., Chryssakis C. ve Endresen, Ø., 2013. CO2 Abatement Potential Towards 2050 for Shipping Including Alternative Fuels, Journal Carbon Management, 4(3), 275-289.

- Elge, M., 2018. Çanakkale Boğazı Ege Denizi ve Marmara Denizi Çıkışlarında Oluşan Akıntıların Yapay Sinir Ağları Metodu Kullanılarak Tahmin Edilmesine Yönelik Sistem Geliştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.
- Elmas, Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama) - 1. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- EMSA, 2015. Study on the Use of Ethyl and Methyl Alcohol as Alternative Fuels in Shipping Final Report Version 20151204.5, European Maritime Safety Agency.
- Endresen, O., Sorgard, E., Sundet, J., K., Dalsoren, S., B, Isaksen, I., S., A., Berglen, T., F. ve Gravir, G., 2003. Emission from International Sea Transportation and Environmental Impact, Journal of Geophysical Research, 108, D17.
- ENVI, 2015. Environment, Public Health and Food Safety Committee of European Parliament, Emission Reduction Targets for International Aviation and Shipping Study November 2015, IP/A/ENVI/2015-1, PE 569.964.
- Ergezer, H., Dikmen, M. ve Özdemir E., 2003. Yapay Sinir Ağları ve Tanıma Sistemleri, Pivolka, 2, 6, 14-17.
- Erto, P., Antonio, L., Palumbo, B., ve Vitiello, L., 2015. A Procedure for Predicting and Controlling the Ship Fuel Consumption: Its Implementation and Test, Qualiability Reliability Engineering Int., 31, 1177–1184.
- Eyüboğlu, E., Yıldız, S., Uğurlu, Ö., Yıldırım, U., Demirel, F., B., 2017. Increasing Energy Efficiency of Commercial Vessels: By Using LED Lighting Technology, Proceedings of 12th Int. Conf. On Marine Navigation and Safety Sea Transportation, Gdynia, Polonya.
- Fahey, 2006. C. Artificial Neural Networks. http://www.colin.fahey.com/2003apr20_neuron/2003apr20_neuron.htm, 22 Ocak.2020.
- Fernandez, S., J., L., Formoso, G., S., R., F., Gregorio, I. G. ve Couce, C., L., 2010. Alternative Sources of Energy in Shipping, The Journal of Navigation, 63, 435-448.
- George, D. ve Mallery, M., 2010. SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference, 17.0 update (10a ed.), Boston: Pearson.
- Gilbert, P., Walsh, C., Traut, M., Kesieme, U., Pazouki, K. ve Murphy, A., 2018. Asses. of Full Life-Cycle Air Emiss. of Alter. Shipp. fuels, Jou. of Cleaner Production, 172, 855-866.
- Girard, C., 2010. Exploring a Decision Framework for Evaluating Cost-Effectiveness and Utility of CO2 Abatement Measures in Shipping: A Methodology Applied to the Cast Fleet of Grieg Shipping Group, Yüksek Lisans Tezi, Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, Trondheim.

- Gkerekos, C., Lazakis, I. ve Theotokatos, G., 2019. Machine Learning Models for Predicting Shipmain Engine Fuel Oil Consumption: A Comparative Study, Ocean Engineering, 188, 106282.
- Golias, M., M., Saharidis, G., K., Boile, M., Theofanis, S. ve Ierapetritou, M., G., 2009. The Berth Allocation Problem: Optimizing Vessel Arrival Time. Maritime Economics and Logistics, 11, 358-377.
- Goss, R., O., 2002. An Early History of Maritime Economics, International Journal of Maritime Economics, 4, 4, 390-404.
- Green, E., H., Winebrake, J., J. ve Corbett, J., J., 2008. Opportunities for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Ships. Energy and Environmental Research Associates, New York.
- GSF, 2009. Green Ship of the Future 8500 TEU Container Vessel Study, <https://greenship.org/major-studies/8500-teu-container-study/>. 01 Şubat 2020
- Gujarati, D., N., 2004. Basic Econometrics 4th Edit., The McGraw-Hill Companies, New York.
- Gülseven, H., Z., 2008. Zeki Modeller Kullanılarak Enerji Projeksiyonu ve Çevresel (Sera) Etkilerinin Belirlenmesi ve Ekonomik Göstergelerle İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hackmann, B., 2012. Analysis of the Governance Architecture to Regulate GHG Emissions from International Shipping, International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, 12, 1, 85-103.
- Harmsen, H., 2018. Effectiveness of UNFCCC in Addressing Climate Change, Peace and Environmental Studies, Nairobi Üniversitesi, Wangari Maathai Enstitüsü.
- Hartman, E., J., Keeler, J., D. ve Kowalski, J., M., 1990. Layered Neural Networks with Gaussian Hidden Units as Universal Approx., Neural Computation, 2, 2, 210-215.
- Haykin, S., 1999. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Prent. Hall Inc., New Jersey
- Hsu C., I. ve Hsieh, Y., P., 2007. Routing, Ship Size, and Sailing Frequency Decision-Making for a Maritime Hub-and-Spoke Container Network, Mathematical and Computer Modelling, 45, 7, 899-916.
- ICCT, 2013. Long-Term Potential for Increased Shipping Efficiency Through the Adoption of Industry-Leading Practices, International Council on Clean Transportation White Paper.
- ICCT, 2017. Greenhouse Gas Emissions From Global Shipping, 2013–2015, International Council on Clean Transportation.
- IEA, 2013. A Report from the IEA Advanced Motor Fuels Implementing Agreement, Alternative Fuels for Marine Applications, Annex 41, International Energy Agency.

- IMO, 2019. Circ.Letter No.3971. International Maritime Organisation, Terms Of Reference Of The Fourth Imo Ghg Study, Circular Letter No.3971.
- IMO GHG, 2014. Third IMO Greenhouse Gas Study 2014 Executive Summary and Final Report, International Maritime Organization, London.
- IMO MEPC, 2013. Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan, The Marine Environment Protection Committee Resolution 63.
- IMO Res., 2008. Resolution MEPC.177(58) as amended by resolution MEPC.251.(66)). Nitrogen Oxides (NOx) - Regulation 1.
- IMO Res., 2011. MARPOL Annex VI-19, Resolution MEPC 203(62).
- IMO SEEMP, 2016. Study On The Optimization of Energy Consumption as Part of Implementation of A Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP).
- IMO, 2009. Guidelines for the voluntary use of the ship energy efficiency operational indicator (EEOI), MEPC.1Circ.684.
- INTERTANKO, 2011. Virtual Arrival Optimising Voyage Management and Reducing Vessel Emissions - an Emissions Management Framework, Second Edition International Association of Independent Tanker Owners.
- IPCC Reports,1990. Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, The Intergovernmental Panel on Climate Change Report.
- IPCC Reports, 1995. Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, The Intergovernmental Panel on Climate Change Report.
- IPCC Reports, 2001. Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, The Intergovernmental Panel on Climate Change Report.
- IPCC Reports, 2007. Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, The Intergovernmental Panel on Climate Change Report.
- IPCC Reports, 2014. Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, The Intergovernmental Panel on Climate Change Report.
- IPCC, 2019. Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, The Intergovernmental Panel on Climate Change Report.
- Irwin, G., W., Warwick, K., ve Hunt, K., J. 1995. Neural Network Applications in Control., Institution of Electrical Engineers, Stevenage, 309 S. ISBN 0 85296 852 3.
- Islam, H. ve Soares, C.,G., 2019. Effect of Trim on Container Ship Resistance at Different Ship Speeds and Drafts, Ocean Engineering, 183, 106-115.

- Jackson, P., ve Mccann, M., 2013. SEASPAN, Projects and Technology, SEEMP : Beyond the Certificate. In Green Ship Technolgy Conference 2013.
- Jaferzadeh, S. ve Utne, I., G., 2014. A Framework to Bridge The Energy Efficiency Gap in Shipping, Energy, 69, 603-612.
- Jaffe, A., B. ve Stavins, R., N., 1994. The Energy-Efficiency Gap-What Does It Mean?, Energy Policy, 22, 10, 804-810.
- Jepsen, M., K., Løfstedt, B., Plum, C., E., M., Pisinger, D., ve Sigurd, M., 2011. A Path Based Model for a Green Liner Shipping Network Design Problem., Proceedings of The International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists, 2, 1379-1384.
- Johnson, H., Johansson, M. ve Andersson, K., 2014. Barriers to Improving Energy Eff. in Short Sea Ship.: An Action Res. Case Study, Journal of Cleaner Production, 66, 317-327.
- Johnson, H. ve Anderson, K., 2016. Barriers to Energy Efficiency in Shipping, WMU Journal of Maritime Affairs, 15, 1, 79-96.
- Karakaya, E. ve Sofuoğlu, E., 2015. İklim Değişikliği Müzakerelerine Bir Bakış: 2015 Paris İklim Zirvesi, International Symposium on Eurasia Energy Issues, İzmir, Turkey.
- Karakuş, N., 2010 . Yutak Alanların İklim Değişikliği Üzerine Etkilerinin Türkiye Örneğinde Araştırılması, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kaya, A., Y. ve Erginer, K., E., 2017. Gemilerde Enerji Verimliliğini Sağlama ve Sera Gazı Salımlarını Azaltmaya Yönelik Uygulamalar: Bir Odak Grup Çalışması, Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, 9, 2, 212-233.
- Kee, K., Simon B., L., ve Renco, K. Y., 2018. Artificial Neural Network Back-Propagation Based Decision Support System for Ship Fuel Consumption Prediction, 5th IET International Conference on Clean Energy and Technology.
- Kılıç, E., Özbacı, Ü., ve Özçalık, H., R., 2012. Lineer Olmayan Dinamik Sistemlerin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesinde MLP ve RBF Yapılarının Karşılaştırılması, ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyum Bildirler Kitabı, 1, 1, Bursa.
- Kıvılcım, İ., 2013. 2020'ye Doğru Kyoto-Tipi İklim Değişikliği Müzakereleri: Avrupa Birliği'nin Yeterliliği ve Türkiye'nin Konumu. İstanbul: İktisadi Kalkınma Vakfı Yayınları, 268, 1-92.
- Korkmaz, M., E., 2018. Gemi Yanaşma Manevralarının Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Gerçeklenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Köpke, M., Papanikolaou, A., Harries, S., Nikolopoulos, L. ve Samesa, P., 2014. CONTIOPT-Holistic Optimisation of a High Efficiency and Low Emission Containership, Transport Research Arena, Paris.
- Köse, İ., 2018. İklim Değişikliği Müzakereleri: Türkiye'nin Paris Anlaşması'nı İmza Süreci, Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, 9, 1, 55-81.
- Le, M., D. ve Nguyen, S. H., 2000. Online Estimation of Ship Steering Dynamics and Its Application in Designing an Optimal Autopilot. IEEE International Symposium on Communications and Information Technology, ISCIT, 925-929.
- Lin, Y.,H., Fang, M.,C. ve Yeung, R.,W., 2013. The Optimization of Ship Weather-Routing Algorithm Based on the Composite Influence of Multi-Dynamic Elements. Applied Ocean Research, 43, 184–194.
- Lind, M., Richard, T., Ward, R, Bergmann, M., Andersen, N., B., Rosemann, M., Haraldson, S., Andersen, T., 2018. Digital Data Sharing: The Ignored Opportunity for Making Global Maritime Transport Chains More Efficient, UNCTAD Transport and Trade Facilitation Newsletter, 79, 22.
- Lirn, T., C., Lin, H., W., ve Shang, K., C., 2013. Green Shipping Management Capability and Firm Perfor. in The Cont. Shipping Industry, Marit. Policy & Manag., 41, 2, 159-175.
- Lokukaluge, P., Brage, M. , Jønvik, P., C., Kristjánsson, L., A. ve Svardal, J., O., 2015. Evaluations on Ship Performance Under Varying Operational Conditions, Proceedings of the 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2015, St. John's, Kanada
- Lokukaluge, P., ve Brage, M., 2016. Emission Control Based Energy Efficiency Measures in Ship Operations, Applied Ocean Research, 60, 29-46.
- Lu, R., Turan, O., Boulougouris, E., Banks, C. ve İncecik, A., 2015. A Semi-Empirical Ship Operational Performance Prediction Model for Voyage Optimization Towards Energy Efficient Shipping, Ocean Engineering, 110, 18-28.
- Maddox Consulting, 2012. Analysis of Market Barriers to Cost Effective GHG Emission Reductions in The Maritime Transport Sector, Final Report.
- Mallidis, I., Despoudi, S., Dekker, R., Lakovou, R. ve Vlachos D.,2018. The Impact of Sulphur Limit Fuel Regulations on Maritime Supply Chain Network Design, Annals of Operations Research, S.I BALCOR-2017.
- Masters, T., 1993. Practical Neural Network Recipes in C++, Academic Pres, USA.
- McKenzie, S., 2004. Social Sustainability: Towards Some Definitions, Hawke Research Institute Working Paper Series No 27, Hawke Araştırma Enstitüsü, Güney Avustralya Üniversitesi, Magill, Fünay Avustralya.

- MEPC.1/Circ 681, 2009, Interim Guidelines on The Method of Calculation of The Energy Efficiency Design Index for New Ships.
- MEPC.282 (70), 2016. MEPC 70/18/Add.1, Annex 10 Resolution Mepc.282(70), Guidelines for The Develop. of a Ship Energy Efficiency Management Plan.
- MEPC.63/23, 2012. Annex 24 Resolution MEPC.219(63) Adopted On 2 March 2012, Guidelines for The Implementation of Marpol Annex V.
- Mizzi, K., Demirel, Y., K., Banks, C., Turan, O., Kaklis, P. ve Atlar, M., 2017. Design Optimisation of Propeller Boss Cap Fins for Enhanced Propeller Performance, Applied Ocean Research, 62, 210-222.
- Mokhtar, K., Z., ve Saleh, J., M., 2013. An Oil Fraction Neural Sensor Developed Using Electrical Capacitance Tomography Sensor Data, Sensors 2013, 13, 11385-11406.
- Moller, A., P., 2012. APM Terminals Sustainability Report 2012, Hague, Hollanda 34-40, <https://www.apmterminals.com/-/media/corporate/sustainability-reports/APM-Terminals-New1.pdf>. 17 Ocak 2020.
- Montgomery, D., C., ve Runger, G. C., 2003. Applied Statistics and Probability for Engineers Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, ISBN 0-471-20454-4.
- Montreal Protokolü, 1987. Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü, www.iklim.cob.gov.tr/iklim/montrealprotokolu.aspx?sflang=tr. 11 Kasım 2019.
- Nguyen, T., H., Nguyen K., B., Nguyen T., M., H., Cut, X., T. ve Nguyen, V., P., 2004. Study on An Effective Adaptive Autopilot for Ships, IEEE International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), Sapporo, Japan.
- Norstad, I., Fagerholta, K. ve Laporte, G., Tramp Ship Routing and Scheduling with Speed Optimization, Transportation Research Part C: Emerg. Technologies, 19, 5, 853-865.
- Notteboom, T., E., 2006. The Time Factor in Liner Shipping Services. Maritime Economics and Logistics, 8, 19-39.
- OSTI, 2005. Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Working Group III, Geneva, Switzerland.
- Özer, B., 2012. Türkiye Elektrik Sektöründe Co2 Emisyonu Azaltma Potansiyeli Üzerine Senaryo Analizler, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özkaya Özlüer, I., 2015. Paris Anlaşması ve Ortak Değerlerin İnşası Sürecinde Hukuk. Paris Anlaşması: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin 21. Taraflar Konferansı-COP 21, Ankara: Ekoloji Kolektifi Derneği, 1-28.

- Özoğuz, B., 2016. Taşıt Yol Yüklerinin Yapay Sinir Ağları Uygulamaları ile Modellenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Öztemel, E., 2006. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık Eğitim, Türkiye.
- Öztürk, M. ve Öztürk, A., 2019. Bmidçs'den Paris Anlaşması'na: Birleşmiş Milletler'in İklim Değişikliğiyle Mücadele Çabaları, Ömer Halis Demir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 12, 4, 527-541.
- Papanikolaou, A., Zaraphonitis, G., Bitner, G., E., Shigunov, V., Elmoctar, O., Guedesoares, C., Reddy, D.N., ve Sprenger, F., 2016. Energy Efficient Safe Ship Operation (SHOPERA), Transportation Research Procedia, 14, 820-829.
- Paris Agreement, 2015. United Nations Paris Agreement English Version 2015, https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf. 14 Şubat 2020.
- Park, H., S., Seo, D., W., Han, K., M., Kim, D., H. ve Ha, T., B., 2015. A Study on Resistance Performance for Various Trim Conditions and Bulb Shapes on a Container Ship Under Slow Steaming, 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2015-41782, V007T06A012, 8.
- Patterson, M., G., 1996. What is Energy Efficiency? Concepts, Indicators and Methodological Issues, Energy Policy, 24, 5, 377-390.
- Pearce, D., W. ve Atkinson, G., D., 1993. Capital Theory and The Measurement of Sustainable Develop.: An Indicat. of "Weak" Sustainability, Ecological Economics, 8, 2, 103-108.
- Pedersen, B., P. ve Larsen, J. 2009. Modeling of Ship Propulsion Performance, World Maritime Technology Conf, PhD study at FORCE Tech. and the Tech. Uni. of Denmark.
- Pezzey, J., 1989. Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development, Environment Department Working Paper No. 15, The World Bank, Washington, DC.
- Pınarcıoğlu, N., Ş., 2018. İklim Değişikliği Müzakerelerinde Geline Nokta: Paris Anlaşması ve Sonrası, Turkish Studies Current Debates in Social Sciences, 13, 23, 211-224.
- Poulsen, R., T. ve Friese, H., S., 2015. Achieving Energy Efficient Ship Operations Under Third Party Management: How do Ship Management Models Influence Energy Efficiency? Research in Transportation Business & Management, 17, 41-52.
- Poulsen, R., T. ve Johnson, H., 2016. The Logic of Business vs. The Logic of Energy Management Practice: Understanding The Choices and Effects of Energy Consumption Monitoring Systems in Shipping Companies, Journal of Cleaner Production, 112, 5, 3785-3797.

- Psaraftis, H., N. ve Kontovas, C., A., 2013. Speed Models for Energy-Efficient Maritime Transportation: A Taxonomy and Survey, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 26, 331-351.
- Psaraftis, H., N. ve Kontovas, C., A., 2014. Ship Speed Optimization: Concepts, Models and Combined Speed-Routing Scenarios, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 44, 52-69.
- Pujol, J., C., F. ve Pinto, J., M., A., 2011. A Neural Network Approach to Fatigue Life Prediction, International Journal of Fatigue, 33, 313-322.
- Qi, X., 2011. The Rise of Basic in UN Climate Change Negotiations, South African Journal of International Affairs, 18, 3, 295-318.
- Rafiq, M., Y., Bugmann, G. ve Easterbrook, D., J., 2001. Neural Network Design for Engineering Applications, Computers and Structures, 79, 1541-1552.
- Rajasekhar, D., Manoharan, D. ve Poongavanam, S., 2016. Green Ship Management: Competence of Research Ships, International Journal of Innovative Research in Engineering & Management (IJIREM), 3, 4, 299-306.
- Ramsey, F., L., ve Schafer, D., W., 2002. The Statistical Sleuth 2. Edition, Duxbury, The Thomson Learning, ISBN: 0-534-38670-9.
- Rasmussen, H., B., Lützen, M., Jensen, S., 2018. Energy Efficiency at Sea: Knowledge, Communication, and Situational Awareness at Offshore Oil Supply and Wind Turbine Vessels, Energy Research & Social Science, 44, 50-60.
- Rehmatulla, N. ve Smith, T., 2015. Barriers to Energy Efficiency in Shipping: A Triangulated Approach to Investigate The Principal Agent Problem, Energy Policy, 84, 44-57.
- Rehmatulla, N., Calleya, J. ve Smith, T., 2017. The Implementation of Technical Energy Eff. and CO2 Emiss. Reduct. Measures in Shipping, Ocean Engineering, 139, 184-197.
- Reichel, M., Minchev, A. ve Larsen, N., L., 2014. Trim Optimisation - Theory and Practice, The Int.Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transp., 8, 3, 387-392.
- Ringle, C., M., Wende, S. ve Becker, J. M., 2015. A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (SmartPLS) 3. Bönningstedt, <http://www.smartpls.com>. 15 Ocak 2020.
- Ripple, W., J., Wolf, C., Galetti, M., Newsome, T., M., Alamgir, M., Crist, E., Mah-moud, M., I., ve Laurance, W., F., 2017. World Scientists' Warning to Humanity:A Second Notice, BioScience, 67, 12, 1026- 1028.

- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F., S., Lambin, E., Lenton, T., M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H., J., Nykvist, B., de Wit, C., A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P., K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R., W., Fabry, V., J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., ve Foley, J., 2009. Planetary boundaries: Exploring the Safe Operating Space For Humanity, Ecology and Society, 14, 2, 32.
- Ronen, D., 2011. The Effect of Oil Price on Containership Speed and Fleet Size. Journal of the Operational Research Society, 62, 1, 211-216.
- Safei, A., A., Ghassemi, H. ve Ghiasi, M., 2019. VLCC's Fuel Consumption Prediction Modeling Based on Noon Report and Automatic Identification System, Cogent Engineering, 6, Art. No.159529213, 1-12.
- Saraç, T., 2004. Yapay Sinir Ağları, Seminer Projesi, Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Schipper, L., 2006. Conceptual History of Adaptation in the UNFCCC Process, Review of European Community & International Environmental Law, 15, 1, 82-92.
- Schnapp, R., 2012. Energy Statistics for Energy Efficiency Indicators, Joint Rosstat- IEA Energy Statistics Workshop Moscow (IEA 2012).
- Sherbaz, S. ve Duan, W., 2012. Operational Options for Green Ships, Journal of Marine Science Application, 11, 335-340.
- Sherbaz, S. ve Duan, W., 2014. Ship Trim Optimization: Assessment of Influence of Trim on Resistance of MOERI Container Ship, Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal, 2014, 603695, 6.
- Shi, H., Peng, S., Liu, Y. ve Zhong, P., 2008. Barriers to The Implementation of Cleaner Production in Chinese SMEs: Government, Industry and Expert Stakeholders Perspectives, Journal of Cleaner Production, 16, 7, 842-852.
- Shivachev, E., Mahdi, K. ve Alexander, H., D., 2017. Trim Influence On Kriso Container Ship (KCS); An Experimental and Numerical Study, Proceedings of the ASME 2017 35th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2017, Trondheim, Norveç.
- SKD, 2015. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 21. Taraflar Konferansı (COP 21) Raporu, Paris.
- Smith, T., W., P., Prakash, V., Aldous, L. ve Krammer, P., 2015. The Existing Shipping Fleet's CO2 Efficiency- Further Tech. and Operat. Measures for Enhancing The Energy Effic. of Int. Shipping, International Maritime Organization (IMO), London, UK.

- Solaymani, A., Sharifi, S., M., H., Edalat, P., Sharifi, S., M., M., ve Zadeh, S., K., 2018. Linear Modeling of Marine Vessels Fuel Consumption for Ration of Subsidized Fuel, International Journal of Maritime Technology, 10, 7-13.
- Soner, O., Akyüz, E., Celik, M., 2019. Statistical modelling of ship operational performance monitoring problem, Journal of Marine Science and Technology, 24, 543-552.
- Sorrell S., O'Malley, E., Schleich, J. ve Scott, S., 2004. The Economics of Energy Efficiency: Barriers to Cost-Effective Investment, Policy Research Series Number 47, Cheltenham.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S., E., Fetzer, I., Bennett, E., M., Biggs, R., Carpenter, S., R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Reyers, V., R., B., ve Sörlin, S., (2015). Planetary boundaries: Guiding Human Development on A Changing Planet, Science, 348, 6223,1217–1217.
- Stopford, M., 2009. Maritime Economics (Second Ed.), Routledge, London. ISBN 0-203-75090-X (Adobe eReader Format). 22 Aralık 2019.
- Sudhakar, R. ve Painuly, J., P., 2004. Diffusion of Renewable Energy Technologies- Barriers and Stakeholders Perspectives, Renewable Energy, 29 , 1431-1447.
- Şentürk, H., 2016. Çevresel Kuznet Eğrisi: Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Thollander, P. ve Ottosson, M., 2008. An Energy-efficient Swedish pulp and paper industry- Exploring Barriers to and Driving Forces for Cost-Effective Energy Efficiency Investments, Energy Efficiency, 1, 1, 21-34.
- Trianni, A., Cagno, E., Worrell, E. ve Pugliese, G., 2012. Empirical Investigation of Energy Efficiency Barriers in Italian Manufacturing SMEs, Energy, 49, 444-458.
- Türkeş, M., Sümer, U., M. ve Çetiner, G., 2000. Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları, Tesisat Dergisi, 52, 84-100. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- UN, 2012. Agenda item 10 Outcome of the Conference, The future we want, Rio de Janeiro, Brazil.
- UN, 2015. United Nations Development Program Sustainable Development Goals, 2015. <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>.
- UNCC, 2019. About the United Nations Climate Change Conference - December 2019, <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/un-climate-conference-december-2019/un-climate-change-conference-december-2019>. 13 Ocak 2020.
- UNCTAD, 2018. United Nations Conf. on Trade and Develop., Review of Maritime Transport 2018, https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf. 10 Ocak 2020.

- UNCTAD, 2019. United Nations Conf. on Trade and Develop., Review of Maritime Transport, 2019, https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019_en.pdf. 05 Şubat 2020.
- UNCTADDC, 2019. United Nations Conf. on Trade and Development Data Center Statistics, <https://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/.aspx>. 20 Şubat 2020.
- UNEP-CCS, 1998. The Kyoto Protocol to the Convention on Climate Change, Geneva, UNEP/IUC and Climate Change Secretariat.
- UNFCCC, 2004, The First Communication of Malta to the United Nations Framework Convention on Climate Change, https://unfccc.int/resource/natc/mlt_nc01.pdf.
- Van Hock, R., I. ve Erasmus. (2000). From Reversed Logistics to Green Supply Chains, Logistics Solutions, 2, 28-33.
- Vettor, R. ve Soares, C., G., 2016. Development of A Ship Weather Routing System, Ocean Engineering, 123, 1-14.
- VPO Global, 2018. Vessel Performance Optimization, The Importance of Weather Routing in Fuel-Efficient Shipping, <https://vpoglobal.com/2018/09/14/the-importance-of-weather-routing-in-fuel-efficient-shipping/>. 14 Kasım 2020.
- Wang, H., Wang, S., ve Meng, Q., 2014. Simultaneous Optimization of Schedule Coordination and Cargo Allocation for Liner Container Shipping Networks, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 70, 261-273.
- Wartsila, 2009. Boosting Energy Efficiency, Energy Efficiency Catalogue, 3 February 2009, <https://www.wartsila.com/energy/operate-and-maintain/Lifecycle-upgrades>.
- WCED, 1987. Our Common Future, World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford/ İngiltere.
- Yıkılmaz, N., 2003. Yeni Dünya Düzeni ve Çevre I. Baskı, Sosyal Araştırmalar Vakfı, İstanbul.
- Yılmaz, C., 2013. Türk Bayraklı Gemilerin Enerji Verimliliğinin İncelenmesi , Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yuen, K., F., Wang, X., Wong, Y.D. ve Zhou, Q., 2017. Antecedents and Outcomes of Sustainable Shipping Practices: The Integration of Stakeholder and Behavioural Theories, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 108, 18-35.
- Yurtoğlu, H., 2005. Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler için Türkiye Örneği, Uzmanlık Tezi, DPT Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Ankara.

Ziylan, K. ve Nas, S., 2016. A Study on The Effects of Trim Optimisation on Ship Resistance of a Sub-Panamax Type Container Vessel, II. Global Conf. on Innovation in Marine Tech. and The Future of Maritime Transportation, 24-25 Kasım 2016, Bodrum/Muğla.

URL-1, www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/AirPollution.aspx. 30 Ağustos 2019.

URL-2, <https://greenship.org/partners/>. 30 Ağustos2019.

URL-3, <http://www.mfa.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi.tr.mfa>. 9 Eylül 2019.

URL-4, <http://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa>. 9 Eylül 2019.

URL-5, <https://iklim.csb.gov.tr/kyoto-protokolu-i-4363>. 23 Eylül 2019.

URL-6, <https://iklim.csb.gov.tr/muzakerelerdeki-mevcut-durum-i-4377>. 23 Eylül 2019.

URL-7, <http://www.cevremuhendisligi.org/index.php/cevre-aktuel/cevre-hukuku/312-turkiye-ve-kyoto-protokolu>. 30 Eylül 2019.

URL-8, www.karbonkayit.cob.gov.tr/Karbon/AnaSayfa/flexiblemechanisms.aspx?sflang=tr. 30 Eylül 2019.

URL-9, www.cmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=84078&tipi=67&sube. 30 Eylül 2019.

URL-10, <http://www.ncsa-turkey.cevreorman.gov.tr/rio-sozlesmeleri.aspx>. 10 Ekim 2019.

URL-11, <https://iklim.csb.gov.tr/birlesmis-milletler-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-4362>. 10 Ekim 2019.

URL-12, <https://iklim.csb.gov.tr/bmidcs-ve-turkiye-i-4376>. 10 Ekim 2019.

URL-13, http://www.mfa.gov.tr/21_-yuzyilda-enerji-kullanimi-ve-iklim-decisiklici.tr.mfa. 13 Ekim 2019.

URL-14, www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/Uluslararası%C4%B1%20Kurulu%C5%9Far/IPCC%20TR.pdf. 20 Ekim 2019.

URL-15, <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587>. 20 Ekim 2019.

URL-16, <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>. 30 Ekim 2019.

URL-17, <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>. 16 Kasım 2019.

URL-18, <https://stimarine.wordpress.com/sox-scrubber-for-marine-diesel-engines/>. 14 Aralık 2019.

URL-19, <https://www.e-ports.com/news/5c21f28f4c027b090084cfda>. 25 Aralık 2019.

URL-20, <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Historic%20Background%20GHG.aspx>. 13 Ocak 2020.

URL-21, <https://greenship.org/major-studies/>, 18 Ocak 2020.

URL-22, <https://www.meteogroup.com/weather-routing-essential-modern-shipping#>. 25 Ocak 2020.

URL-23, <https://green-framework.com/greenshipefficiencysoftware>. 8 Mart 2020.

URL-24, <https://glomeep.imo.org/technology/trim-and-draft-optimization/>. 25 Ocak 2020.

URL-25, <https://shipandbunker.com/prices/emea/medabs/tr-ist-istanbul>. 27 Şubat 2020.



ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Uşak'ta doğdu. Lise eğitimini İzmir Bornova Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Karadeniz Teknik Üniversitesi Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği bölümünden 2010 yılında mezun oldu. Yazar uzakyol I. Zabit olup 2010-2014 yılları arasında farklı tonajdaki ticaret gemilerinde görev yaptı. 2015 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı Denizde Emniyet Güvenlik ve Çevre Yönetimi programında yüksek lisans eğitimini tamamladı. Recep Tayyip ERDOĞAN Üniversitesi Turgut KIRAN Denizcilik Yüksekokulu Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümünde öğretim görevlisi olarak 2015 yılında göreve başladı ve halen görevine devam etmektedir. Yazarın SCI, SSCI, hakemli dergiler kapsamında makaleleri, ulusal/uluslararası kongre ve sempozyumlarda yayınları bulunmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.