

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ YAŞAM DÖNGÜSÜNDE OPERASYONEL GAZ EMİSYONLARININ  
MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMİYLE TAHMİNİ

LEVENT BİLGİLİ

DOKTORA TEZİ  
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ PROGRAMI

DANIŞMAN  
DOÇ. DR. UĞUR BUĞRA ÇELEBİ

İSTANBUL, 2018

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEMİ YAŞAM DÖNGÜSÜNDE OPERASYONEL GAZ EMİSYONLARININ**  
**MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMİYLE TAHMİNİ**

Levent BİLGİLİ tarafından hazırlanan tez çalışması 04.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nurten VARDAR  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Tanzer SATIR  
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Serkan EKİNCİ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Alper KILIÇ  
Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi

## ÖNSÖZ

---

Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimim boyunca öğrencisi olduğum ve bütün bu süreç boyunca henüz başında bulunduğum akademik hayat konusunda değerli katkılarını benden esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ'ye; öğrencisi olmaktan gurur duyduğum, tez izleme sürecinde kilit önerileriyle tezin içeriğini daha güçlü hale getiren Sayın Prof. Dr. Nurten VARDAR'a; tez izleme sürecinde görüşleriyle tezimde olumlu yönde düzeltmeler öneren Sayın Doç. Dr. Tanzer SATIR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yaptığımız proje ve yayınlarda birlikte emek ve mesai harcadığımız, her konudaki bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Sayın Arş. Gör. Dr. Tolga MERT'e ve Sayın Prof. Dr. Serkan EKİNCİ'ye teşekkür ederim.

Bütün akademik hayatım boyunca her türlü konuda bana destek olup çok çeşitli alanlarda görüş alışverişi yaptığımız Arş. Gör. Volkan ŞAHİN'e; tezimin son sürecinde oda arkadaşlarım olarak bana moral ve çalışma azmi aşıl原因an Arş. Gör. Ersin Fırat AKGÜL ve Arş. Gör. Şeyma BAYAZIT'a, tezimle ilgili her türlü konularda bana değerli çalışma saatlerinden ayırıp sorularımı cevaplayan Arş. Gör. Can AYGÜN ve Arş. Gör. Dr. Mert BAL'a ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak, tez hazırlama sürecinin tüm zorluklarında bana sabır gösteren nişanlım Emine YAŞAR'a, bütün hayatım boyunca bana sonsuz bir güven ve sınırsız bir sevgi ve saygı ile yaklaşan, hayatımda elde ettiğim başarıların temelini atan, bütün zor zamanlarımda içten ve gerçek desteklerini her zaman derinden hissettiğim; annem Emine Nuray BİLGİLİ'ye, babam Metin BİLGİLİ'ye, ablam Gökçe EKİM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2018

Levent BİLGİLİ

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iii
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ.....	1
1.1    Literatür Özeti.....	1
1.2    Tezin Amacı.....	4
1.3    Hipotez.....	5
<b>BÖLÜM 2</b>	
GEMİ YAŞAM DÖNGÜSÜ'NDE GEMİ KÖKENLİ BACA GAZI EMİSYONLARI.....	6
2.1 Yaşam Döngüsü Analizi ve Gemi Yaşam Döngüsü Analizi.....	6
2.2.1 Yaşam Döngüsü Analizi (LCA).....	6
2.2.2 Gemi Yaşam Döngüsü Analizi (S-LCA).....	7
2.2 Gemi Kökenli Baca Gazı Emisyonları.....	9
2.3 Gemi Emisyonları ile ilgili Uluslararası Mevzuat.....	11
2.4 Gemi Emisyonları Azaltma Tedbirleri.....	13
<b>BÖLÜM 3</b>	
MATEMATİKSEL VE META SEZGİSEL YÖNTEMLERLE GEMİ EMİSYONLARININ TAHMİN EDİLMESİ.....	18
3.1 Gemi Kökenli Baca Gazı Emisyonu Hesaplama Metodolojisi.....	18
3.2 Matematiksel Yöntemlerle Gemi Emisyonları için Tahmin Formülleri Geliştirilmesi.....	21
3.3 Meta-Sezgisel Yöntemlerle Gemi Emisyonları Tahmini.....	27
3.3.1 Yapay Sinir Ağları.....	28

3.3.2 YSA Modelinde Kullanılan Fonksiyonlar, Açıklamaları ve Örnek Kullanımları .....	32
3.3.2.1 Ağ Tipleri .....	32
3.3.2.2 Aktivasyon Fonksiyonları.....	33
3.3.2.3 Eğitim Fonksiyonları .....	34
3.3.2.4 Öğrenme Fonksiyonları .....	37
3.3.2.5 Performans ve Hata Fonksiyonları .....	38
3.3.3 Yapay Sinir Ağları ve Denizcilik Sektöründeki Uygulamaları.....	38
3.4 YSA Modeli Sonuçları .....	41
3.5 Rota Optimizasyonu .....	45
<b>BÖLÜM 4</b>	
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>57</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>61</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>67</b>



## SİMGE LİSTESİ

---

NO <sub>x</sub>	Azot oksitler
SO <sub>x</sub>	Kükürt oksitler
SO <sub>2</sub>	Kükürt dioksit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
CO	Karbonmonoksit
SO <sub>4</sub>	Sülfat
C <sub>B</sub>	Blok katsayısı
NO	Azot oksit
CH <sub>4</sub>	Metan
O <sub>3</sub>	Ozon

## KISALTMA LİSTESİ

AIS	Automatic Identification System (Otomatik Tanımlama Sistemi)
BC	Black Carbon (Siyah Karbon)
CFB	Cascade-forward Backpropagation
CFC	Chlorofluorocarbon (Kloroflorokarbon)
DWT	Deadweight Ton (Dedveyt Ton)
ECA	Emission Control Area (Emisyon Kontrol Alanı)
FFB	Feed-forward Backpropagation
HC	Hydrocarbons (Hidrokarbonlar)
HCFC	Hydrochlorofluorocarbon (Hidrokloroflorokarbon)
HFO	Heavy Fuel Oil (Ağır Yakıt)
IMO	International Maritime Organization (Uluslararası Denizcilik Örgütü)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
LCA	Life Cycle Assessment (Yaşam Döngüsü Analizi)
LEARNGD	Gradient Descent Weight Bias Learning Function
LEARNGDM	Gradient Descent with Momentum Weight and Bias Learning Function
LOGSIG	Log-sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (1978 Protokolü ile Değişik, 1973 Tarihli Denizlerin Gemiler Tarafından Kirletilmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşme)
MEPC	Marine Environment Protection Committee (Deniz Çevresini Koruma Komitesi)
MGO	Marine Gas Oil (Deniz tipi gaz yakıt)
MSE	Mean Squared Normalized Error Performance Function
ODS	Ozone depleting substances (Ozon tüketen moleküller)
PM	Parçacıklı Madde
PURELIN	Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu
RMSE	Root Mean Square Error (Kök Ortalama Kare Hatası)
RPM	Revolutions per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
S-LCA	Ship Life Cycle Assessment (Gemi Yaşam Döngüsü Analizi)
SRES	Special Report on Emission Scenarios (Emisyon Senaryoları Üzerine Özel Rapor)
SSE	Sum Squared Error Performance Function
STEAM	Ship Traffic Emissions Assessment Model (Gemi Trafiği Emisyonları Değerlendirme Modeli)

TANSIG	Tan-sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu
TEAMS	Total Energy & Emissions for Marine Systems (Gemi Sistemleri için Toplam Enerji ve Emisyonlar)
TRAINBFG	BFGS quasi-Newton Backpropagation
TRAINBR	Bayesian Regularization Backpropagation
TRAINCGB	Conjugate Gradient Backpropagation with Powell-Beale Restarts
TRAINCGF	Conjugate Gradient Backpropagation with Fletcher-Reeves Restarts
TRAINCGP	Conjugate Gradient Backpropagation with Polak-Ribière Restarts
TRAINGD	Gradient Descent Backpropagation
TRAINGDM	Gradient Descent with Momentum Backpropagation
TRAINGDA	Gradient Descent with Adaptive Learning Rate Backpropagation
TRAINGDX	Gradient Descent with Momentum and Adaptive Learning Rate Backpropagation
TRAINLM	Levenberg-Marquardt Backpropagation
TRAINOSS	One-step Secant Backpropagation
TRAINR	Random Order Incremental Training with Learning Functions
TRAINSCG	Scaled Conjugate Gradient Backpropagation
UNEP	United Nations Environment Program (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
VOC	Volatile Organic Compounds (Uçucu Organik Bileşikler)
YSA	Yapay Sinir Ağları



## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Gemi tiplerine göre CO <sub>2</sub> emisyon dağılımları (a) Konteyner, (b) Tanker, (c) RoPax, (d) Kruvaziyer, (e) Balıkçı, (f) Diğer.....	3
Şekil 2.1	S-LCA aşamaları.....	7
Şekil 2.2	Gemi üretimi LCA yapılanması.....	8
Şekil 2.3	Gemi operasyonu LCA yapılanması.....	8
Şekil 2.4	Gemi sökümü LCA yapılanması.....	8
Şekil 2.5	Küresel (a) O <sub>3</sub> , (b) CO, (c) NO <sub>x</sub> dağılımları (Ocak-Temmuz) .....	10
Şekil 3.1	Dokuz geminin üç yıllık toplam emisyon miktarları.....	21
Şekil 3.2	Yakıt tüketimi yöntemi için (Emisyon/DWT)/C <sub>B</sub> grafikleri .....	23
Şekil 3.3	Makine gücü yöntemi için (Emisyon/DWT)/C <sub>B</sub> grafikleri.....	24
Şekil 3.4	Enerji yöntemi için (Emisyon/DWT)/C <sub>B</sub> grafikleri .....	25
Şekil 3.5	İnsan sinir hücresinin yapısı .....	29
Şekil 3.6	İnsan sinir hücresi ile yapay sinir ağı hücresinin karşılaştırması.....	29
Şekil 3.7	Yapay sinir ağı çalışma prensibi .....	30
Şekil 3.8	Karmaşık YSA modeli.....	30
Şekil 3.9	Feed-forward backpropagation ağ tipinin şematik gösterimi .....	32
Şekil 3.10	Cascade-forward backpropagation ağ tipinin şematik gösterimi.....	33
Şekil 3.11	LOGSIG fonksiyonu şematik gösterimi .....	33
Şekil 3.12	TANSIG fonksiyonu şematik gösterimi .....	34
Şekil 3.13	PURELIN fonksiyonu şematik gösterimi.....	34
Şekil 3.14	Hesaplamalar için oluşturulan YSA modeli .....	40
Şekil 3.15	YSA model başlıkları.....	42
Şekil 3.16	A YSA modeline ait performans grafiği.....	43
Şekil 3.17	A YSA modeline ait regresyon grafiği.....	44
Şekil 3.18	Gemilere ait emisyon tahmin değerlerinin karşılaştırılması.....	45
Şekil 3.19	Atlantik Okyanusu için ocak ayındaki kuzey ve güney rotaları.....	50
Şekil 3.20	Atlantik Okyanusu için haziran ayındaki kuzey ve güney rotaları .....	50
Şekil 3.21	Pasifik Okyanusu için ocak ayındaki kuzey ve güney rotaları .....	51
Şekil 3.22	Pasifik Okyanusu için haziran ayındaki kuzey ve güney rotaları.....	51
Şekil 3.23	Karar destek sistemi akış diyagramı .....	55

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	2050 yılına ait emisyon öngörülerini..... 10
Çizelge 2.2	MARPOL ek açıklamaları ..... 11
Çizelge 2.3	NO <sub>x</sub> limitleri ..... 12
Çizelge 2.4	Yakıt kükürt içeriği limitleri ..... 12
Çizelge 2.5	EK VI'ya dair MEPC önerileri ..... 13
Çizelge 2.6	PM emisyonu azaltım yöntemleri ve başarı oranları ..... 15
Çizelge 2.7	NO <sub>x</sub> emisyonu azaltım yöntemleri ve başarı oranları ..... 15
Çizelge 2.8	SO <sub>x</sub> emisyonu azaltım yöntemleri ve başarı oranları ..... 16
Çizelge 3.1	Ana makine için emisyon faktörleri ..... 20
Çizelge 3.2	Yardımcı makine için emisyon faktörleri..... 20
Çizelge 3.3	Dokuz geminin üç yıllık süreçte ürettiği kirletici miktarları ..... 21
Çizelge 3.4	Gemilere ait DWT ve C <sub>B</sub> değerleri ..... 22
Çizelge 3.5	Emisyon tahmin formülleri ..... 26
Çizelge 3.6	YSA modellemesinde kullanılan girdi, çıktı ve fonksiyonlar..... 28
Çizelge 3.7	Modellemede kullanılan veri setinin gerçek ve normalize değerleri..... 40
Çizelge 3.8	YSA modelinde kullanılan farklı yöntemler ..... 41
Çizelge 3.9	Model başlıkları için en iyi sonuçlar ..... 43
Çizelge 3.10	A YSA modeline ait ağırlık ve sapma sonuçları ..... 44
Çizelge 3.11	Bofor Ölçeği ..... 48
Çizelge 3.12	Belirlenen rotalardaki seyir bilgileri..... 49
Çizelge 3.13	Rota modelleme sonuçları ..... 52
Çizelge 3.14	Rotalar için ağırlık ve sapma değerleri..... 52
Çizelge 3.15	Emisyon/mesafe değerleri..... 53
Çizelge 3.16	Rota bazında yakıt maliyet hesabı ..... 54

## GEMİ YAŞAM DÖNGÜSÜNDE OPERASYONEL GAZ EMİSYONLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMİYLE TAHMİNİ

Levent BİLGİLİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ

Denizcilik sektörü, insanlık tarihinin en eski zamanlarından beri insan uygarlığının gelişmesinde en temel taşlardan birisi olmuştur. Uzun bir süre boyunca sevk sistemi olarak doğal güçlerden yararlanan gemiler, Sanayi Devrimi ile birlikte önce kömür, sonra da petrol ve türevlerini yakıt olarak kullanmaya başlamıştır. Fosil yakıtlar olarak adlandırılan bu yakıt türleri, çok yüksek oranda karbon içerir. Modern makine sistemlerindeki içten yanma sürecinde yakılarak enerji üretimini ve dolayısıyla gemi sevkini sağlayan bu yakıtların yanması sonucu, karbondioksit, karbon monoksit, metan, kükürt oksitler, azot oksitler, nitröz oksit, parçacıklı madde, siyah karbon ve metan olmayan uçucu organik bileşikler başta olmak üzere çok çeşitli sayıda emisyon üretilir. Yanma sürecinde bu gazların yanında ağır metallerin de ayrıca duman formunda olduğu bilinmektedir. Sayılan bütün bu gaz emisyonlar, insan sağlığına ve çevreye çok ciddi zararları olan atıklardır. Çevreye olan zararlar arasında küresel ısınma, asit yağmurları ve yer seviyesi ozonu sayılabilirken insan sağlığına olan zararları da dolaşım ve solunum sistemine olan olumsuz yöndeki etkileri şeklinde özetlenebilir. Bu nedenlerden ötürü gemi emisyonlarının tahmini, azaltılması ve kontrol altına alınması son derece önemlidir.

Bu çalışmada öncelikle dokuz kuru yük gemisinin günlük raporlarından elde edilen verilerle toplam emisyon miktarları hesaplanmış, ardından bu veriler regresyon analizine sokularak verilerin gemi ana karakteristik özelliklerinden dedveyt ton ve blok katsayısı ile ilişkisine ulaşılmış ve gemi ön dizayn aşamasındayken potansiyel emisyonlarını tahmin edebilmek için dedveyt ton ve blok katsayısı değerlerine bağlı formüller geliştirilmiştir.

Bu formüller sadece iki sabit değere dayandığı için regresyon analizinin güvenilirliği yeterli bulunmadığından ikinci kısımda gemilerin günlük raporlarından alınan sefer süresi, makine çalışma devri, gemi hızı, deplasman, hava durumu, deniz durumu ve ortalama draft verileri girdi; emisyon verisi ise çıktı olarak kullanılarak yapay sinir ağlarında modelleme yapılmış ve en iyi sonucu veren yapay sinir ağı yöntemi tespit edilmiştir. Yapay sinir ağları, bu aşamada dinamik operasyon koşullarının emisyon üzerine olan etkilerini inceleyebilmek için başarılı bir model olarak görülmüştür. Elde edilen emisyon değerleri ile gerçek değerler arasındaki ortalama fark % 1,57 seviyelerindedir. Üçüncü kısımda ise elde edilen en iyi yapay sinir ağı yöntemi Atlantik ve Pasifik Okyanusları'nda kuzey ve güney olmak üzere iki farklı rotaya ocak ve haziran ayları için uygulanmış ve böylece her iki okyanus ve zaman dilimi için de farklı sürelerle farklı deniz ve hava koşullarına sahip bu rotalarda oluşan emisyon miktarları tahmin edilmiştir. Ardından bu emisyon miktarları yoluyla toplam yakıt harcamasına ulaşılmış ve bir yakıt maliyet analizi yapılmıştır. Sonuçlara göre her iki okyanusun farklı rotalarında hem ocak hem de haziran aylarında daha yumuşak iklim şartlarına sahip olan güney rotasında daha az emisyon oluştuğu görülmüştür. Bu bağlamda, hava ve deniz koşullarının emisyonlar üzerinde doğrudan etkisinin olduğu açıkça görülmüştür. Atlantik rotalarındaki mesafe farkı az olduğundan güney rotası hem çevresel hem de ekonomik performans açılarından daha uygun sonuçlar üretmiştir. Pasifik rotalarındaki mesafe farkının fazlalığı nedeniyle güney rotasındaki mesafe başına emisyon daha az olmasına rağmen bütüncül olarak yaklaşıldığında kuzey rotası daha iyi sonuçlar vermektedir.

Geliştirilen karar destek sistemi, gemiler henüz ön dizayn aşamasındayken tahmini rotalar üzerine uygulandığında oluşabilecek toplam emisyon miktarının tahmin edilmesini sağlayacaktır. Bu sayede gemiler, rotaları ve ana karakteristik özellikleri belli olduğunda emisyon, yakıt harcamı ve yakıt maliyeti bilgileri gemi yaşam döngüsünün erken aşamalarında bile öngörülebilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Gemi emisyonları, regresyon analizi, yapay sinir ağları, MATLAB, IMO

---

**ESTIMATION of OPERATIONAL GASEOUS EMISSIONS in SHIP LIFE CYCLE  
with MACHINE LEARNING METHOD**

Levent BİLGİLİ

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

Ph.D. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ

The maritime industry has been one of the most important landmarks in the development of human civilization since the beginning of human history. The vessels have been using the natural forces such as the referral system for a long time; at first, they have begun to use coal with the industrial revolution and later on the petroleum and its derivatives as the technology develops. These types of fuels, called fossil fuels, contain very high levels of carbon. The burning of these fuels by the internal combustion process of modern engine systems which provide energy production and therefore the propulsion of the ship; result in carbon dioxide, carbon monoxide, methane, sulfur oxides, nitrogen oxides and nitrous oxide, particulate matter and black carbon and non-methane volatile organic compounds. It is known that there are also a wide variety of heavy metal fumes in the combustion process in addition to aforementioned gases. All these gaseous emissions are wastes with very deleterious impacts to human health and the environment. The damage to the environment can be summarized as global warming, acid rain and ground-level ozone whereas the harm to human health can be summarized as circulatory and respiratory system disorders. For these reasons, it is extremely important to estimate, reduce and control ship emissions.

In this study, firstly total emission amounts were calculated from the daily noon report of nine bulk carriers, and then these data were put into regression analysis. The relationship between the main characteristics of the ship, which are the deadweight tonnage and the block coefficient, was assessed and formulas based on the deadweight tonnage and blok coefficient values were developed in order to estimate future potential emissions during the ship's pre-design phase.

For these formulas are based upon only two constants, the results are not accepted as reliable. Thus, in the second phase, by using voyage time, engine revolutions per minute, speed, displacement, weather condition, sea condition and average draft data as input and total emission data as output, it was aimed to find out which neural network model predicts the emission amount closer to the real data. Neural networks is accepted as a reliable method, which can be used to calculate the impacts of dynamic operation conditions on emissions. The difference between the real and calculated data is approximately 1.57 %. In the third phase, the best result was applied to two different routes, north and south, during january and june in Atlantic and Pacific Oceans, in order to estimate the emission amounts. The routes have different voyage time, sea and weather conditions. Then, the total fuel consumption data was calculated by using the emission amount and a fuel cost analysis was realized. In this context, it was clearly seen that there is a correlation between weather and sea conditions and emission amounts. It is concluded that less emission is occurred in the south route, which is calmer weather and sea conditions, in both january and june. For the distance between North and South Atlantic routes is small, South Atlantic route provided more eligible results in terms of both environmental and economic performances. The distance between North and South Pacific routes is very much, thus, although the emission per distance is lesser in south route, north route provided better results in a holistic perspective.

Decision support system will help to estimate the total emission amounts on estimated routes while the ships are still in the preliminary design phase. Thus, once the routes and main characteristics of the ship are determined, the emission amounts, fuel consumption and fuel costs can be predicted at an early stage of a ship's life cycle.

**Keywords:** Shipping emissions, regression analysis, artificial neural networks, MATLAB, IMO

### GİRİŞ

Denizcilik sektörü, bütün yüzer taşıtların tasarımı, üretimi, operasyonu ve sökümünü kapsayan, yapısı ve dinamikleri çok karmaşık bir sektör koludur. Gemiler, çok çeşitli tiplerdeki yük gemilerinden lüks yatlarla, değişik görevlerde faaliyet gösteren askeri gemilerden özel maksatlı gemilere ve çeşitli kapasitelerdeki yolcu gemilerine kadar çok çeşitli bir amaç yelpazesinde insanlara hizmet vermektedir. İlk çağlardan beri kullanılan gemiler, bütün bu yararlarının yanında önemli emisyon ve atık kaynağıdır. Gerek üretimleri gerekse operasyonları dinamik ortamlarda gerçekleşen gemilerin yaşam döngüsü incelendiğinde üretim, operasyon, bakım/onarım ve söküm aşamalarında katı, sıvı ve gaz formunda çok çeşitli tip ve miktarlarda emisyon ve atık meydana geldiği görülür. Bunlardan bir kısmı zararsız ve doğada çözünebilir nitelikte olmasına rağmen daha büyük bir kısmı insan sağlığına ve çevreye ciddi zararlar verir. Bu kapsamda, bu emisyon ve atıkların miktar ve çevre/insan hasar düzeyi tahminlerinin iyi yapılması, buna bağlı olarak da emisyon ve atık azaltıcı tedbirlerin yaşam döngüsü analizi çerçevesinde bütünsel bir bakış açısıyla uygulanması gerekmektedir.

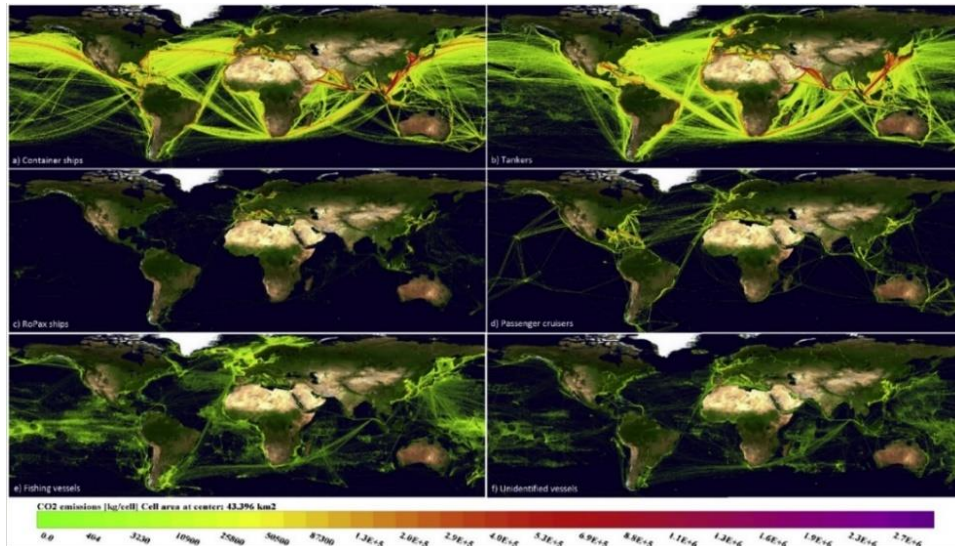
#### 1.1 Literatür Özeti

Gemi kökenli hava emisyonları, fosil yakıtların kullanıma girmesinin ardından insan sağlığı ve çevre için bir tehdit oluşturmaya başlamıştır ancak bu tehdidin tanınması ve incelenmesi 20. yüzyılın sonlarına doğru önem ve ivme kazanmıştır. Gemi emisyonları üzerine özellikle son yirmi yılda çok sayıda kapsamlı çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar genel olarak operasyon ve limanda bekleme sırasında oluşan emisyonların tahminine, emisyonların tahmini için emisyon faktörü geliştirilmesine ve rota optimizasyonuna odaklanmıştır. Çalışmaların odak noktası genel anlamıyla, gemi emisyonlarının tahmini yoluyla bu konunun küresel ölçekte insan sağlığı ve çevreyle olan ilişkisinin incelenmesi için bir ön veri toplama süreci üzerinedir.

Konuyla ilgili ilk küresel çalışmalar Corbett vd., (1999) [1] tarafından yapılmıştır. Bu çalışma, gemi kökenli azot oksit ( $NO_x$ ) ve kükürt oksit ( $SO_x$ ) miktarlarını küresel ölçekte inceleyen ilk çalışmalardan birisidir. Çalışmada 1993 yılındaki gemi faaliyetleri baz alınarak, küresel ölçekte gemi kökenli  $NO_x$  ve  $SO_x$  miktarının azot ve kükürt cinsinden 3,08 ve 4,24 Tg seviyelerinde olduğu hesaplanmış, gemi emisyonlarının dünyadaki toplam emisyon üretimi içindeki payları ve yoğunlaştıkları enlemlerde incelenmiştir. Vardar ve Kesgin, (2001) [2] gemi emisyonlarının bölgesel olarak ölçülmesi konusunda ilk çalışmalardan birisini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada İstanbul ve Çanakkale Boğazları'ndaki toplam gemi emisyonu miktarının ölçülmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla yıllık gemi geçiş sayısı ve bu gemilerin yakıt tüketim miktarı verilerine dayanılarak toplam emisyon değeri elde edilmiştir. Sonuç olarak Türk Boğazlar Sistemi'ndeki yıllık gemi emisyonu miktarı toplam 700.836 ton olarak tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca gemilerin İstanbul'da oluşan toplam  $NO_x$  miktarının % 10 kadarından sorumlu olduğu da hesaplanmıştır. Endresen vd., (2003) [3] tarafından yapılan çalışmada küresel ölçekte gemi emisyonları ve bunların çevresel etkileri incelenmiştir. Gemi emisyonlarının hesabı için dünyadaki toplam yakıt tüketimi bilgisi kullanılmıştır. Ayrıca dünya denizlerindeki gemi kökenli emisyon dağılımlarının haritası da çıkarılarak çeşitli enlem ve boylamlara göre emisyon göstergeleri de belirlenmiştir. Corbett ve Koehler, (2003) [4], yaptıkları çalışmayla küresel ölçekteki gemi emisyon envanterini güncellemişlerdir. Bu çalışmada gemilerin makine güçleri ve makine çalışma saatleri hesaba katılmış ve sonuç olarak gemi kökenli  $NO_x$  emisyonlarının 6,87 Tg değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Eyring vd., (2005) [5] Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin yayınladığı Emisyon Senaryoları Üzerine Özel Rapor (SRES) kitapçığındaki bilgilere dayanarak 2020 ve 2050 yıllarındaki gemi emisyonlarını tahmini yakıt tüketimine bağlı olarak dört farklı senaryo için hesaplamışlardır. Buna göre baz yıl olarak kabul edilen 2001 yılındaki toplam yakıt tüketimi 280 t seviyelerindeyken bu değer en iyi senaryoda bile 2020 yılında 382 t, 2050 yılında ise 536 t seviyesine ulaşacağı öngörülmüştür. Endresen vd., (2007) [6] yaptıkları çalışmada 1925-2002 yılları arasındaki kükürt dioksit ( $SO_2$ ) ve karbondioksit ( $CO_2$ ) miktarlarının tarihsel gelişimini incelemişlerdir. Buna göre 2002 yılındaki  $SO_2$  ve  $CO_2$  değerleri 1925 yılına göre 3,4 ve 2,8 kat artış göstermiştir. IMO, (2014) [7] çalışmasında uluslararası denizcilik faaliyetlerinden kaynaklanan baca gazı emisyonları 2007-2012 yılları için farklı yöntemlerle hesaplanmıştır. Ayrıca 2012-2050 yılları için de öngöründe bulunulmuştur. Bu çalışmada da çeşitli kirletici türleri için güncel emisyon faktörleri geliştirilmiştir.



Gemi emisyonlarının geleneksel yöntemlerle çeşitli şekillerde hesaplanmasının yanısıra son on yıl içinde çeşitli güncel ve yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmeye başlanmıştır. Jalkanen vd., (2012) [8] tarafından geliştirilen ve Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS) üzerinden elde edilen veriler üzerine kurulmuş olan, Ship Traffic Emissions Assessment Model (STEAM2) sistemi, geminin rotası doğru tespit edildiği takdirde gemi hızı, makine yükü, yakıt kükürt içeriği, azaltım yöntemleri ve dalga etkisini de hesaba katarak emisyon tahmin hesabı yapabilmektedir. Bal Beşikçi vd., (2016) [9], bir gemiye ait 233 adet günlük rapordan elde edilen gemi hızı, makine devri, ortalama draft, trim, kargo miktarı, rüzgar etkisi ve deniz etkisini girdi olarak; yakıt tüketimini de çıktı olarak alarak bu verileri yapay sinir ağlarında işlemiş ve elde edilen yakıt tüketim tahminini iki senaryoda denemiştir. Johansson vd., (2017) [10] yaptıkları çalışmada 2015 yılına ait küresel gemi emisyonlarının bir özetini çıkarmışlardır. Çalışmanın özet hali Şekil 1.1’de verilmiştir. Elde edilen verilere göre konteyner gemilerinin küresel dağılımı oldukça yaygın olmakla beraber özellikle Doğu Asya’da ciddi bir yoğunlaşma göze çarpmaktadır. Kuzey Atlantik ve Kuzey Pasifik rotaları da çokça tercih edilen rotalardır. Tankerler için ise Doğu Asya ve Arap Yarımadası çevresinde yoğun bir trafik gözlenmektedir. Bu iki gemi tipinin oluşturduğu yoğunluk, diğer gemi tiplerine göre çok daha yüksek olup yoğun trafiğin meydana geldiği bu bölgelerde gemi kökenli emisyonlara bağlı mevcut ve potansiyel tahribat ayrıntılı olarak incelenmektedir.



Şekil 1.1 Gemi tiplerine göre CO<sub>2</sub> emisyon dağılımları (a) Konteyner, (b) Tanker, (c) RoPax, (d) Kruvaziyer, (e) Balıkçı, (f) Diğer

Bilgili vd., (2014) [11] belli bir rota üzerinde seyreden bir kuru yük gemisinin seyir, limanda bekleme ve manevra sırasında oluşturduğu emisyonları hesaplamış ve bu rotalar arasından

deniz mili başına emisyon miktarı en yüksek olan rotayı belirlemişlerdir. Buna göre en çok emisyon çıkan rota Türkiye-Gine arasında olmasına rağmen en emisyon-yoğun rota Cebelitarık-Türkiye arasındadır. Buna sebep olarak emisyon-yoğun rotalardaki coğrafi oluşumlar nedeniyle gemilerin sürekli hız değişikliği yapması verilmiştir. Bilgili ve Çelebi, (2015) [12] üç adet kuru yük gemisinin yıllık rota bilgilerinden yola çıkarak emisyonların boy/genişlik, dedveyt ton (DWT) ve blok katsayısı ( $C_B$ ) değerlerine oranını bularak bu emisyonların gemi ön dizayn aşamasındayken tahmin edilmesini sağlayabilecek formüller geliştirmişlerdir. Bilgili ve Çelebi, (2018) [13] bir diğer çalışmada ise kapsamlı bir literatür çalışmasının ardından dokuz kuru yük gemisinin üç yıllık verilerini regresyon analizi ile işleyerek emisyonların DWT ve  $C_B$  cinsinden bulunmasına yönelik formüller üretmişlerdir. Williams vd., (2009) [14] 2006 yılına ait Texas hava kalitesi çalışmasında Meksika Körfezi'nde ağustos ve eylül aylarında faaliyet gösteren 200 ticari gemiyi incelenmiş ve sonuç olarak  $NO_x$  emisyon faktörü dökme yük gemileri için ~87 g/ton yakıt, tankerler için ~79 g/ton yakıt ve konteyner gemileri, yolcu gemileri ve romörkörler için ~60 g/ton yakıt olarak bulunmuştur. Bu değerler, literatürde var olan değerlerden yaklaşık % 10-15 daha düşüktür.  $SO_2$  emisyon faktörleri yolcu gemileri ve romörkörler için 6-7 g/kg yakıt ve daha büyük yük gemileri için 20-30 g/kg yakıt olarak belirlenmiştir. CO emisyon faktörü 7-16 g/kg yakıt olarak bulunmuştur ve bu değer literatürde var olan değerlerden yaklaşık % 10 daha fazladır.

## 1.2 Tezin Amacı

Gelişen uluslararası kurallar çerçevesinde ve yaşam döngüsü perspektifinde gemi emisyonlarının dizayn spiralinin bir parçası olarak değerlendirmeye alınması yakın gelecekte zorunlu hale gelebilecek bir konudur. Önümüzdeki beş yıl içinde, ön dizayn hesaplamalarında dizayn emisyonu kavramı uluslararası bir kural olarak içinde karşımıza çıkabilecektir. Bu amaçla gemilerin imal edilmeden önce, henüz ön dizayn aşamasındayken emisyon tahminlerinin yapılgp önleyici mühendislik çalışmalarının buna göre gerçekleştirilmesi son derece önemlidir. Bu bağlamda, tezin ilk amacı bir gemi ailesine ait operasyon verilerinden yola çıkarak gemi ana karakteristik özelliklerine bağlı emisyon hesabı yapmak ve bu özelliklere bağlı formüller geliştirerek emisyonları ön dizayn aşamasında tespit edebilmektir. Bunun ardından ikinci amaç olarak operasyon verilerindeki olası belirsizlikleri ortadan kaldırmak için günümüzde sıklıkla kullanılmaya başlanan meta sezgisel yöntemlerden yapay sinir ağları ile bir tahmin modellemesi yapılması belirlenmiştir. Son olarak ise geliştirilen modelleme yönteminin,

Atlantik ve Pasifik Okyanusları'ndaki ikişer farklı rotada kullanılması ve modelin uygulanabilirliğinin test edilmesi hedeflenmiştir. Nihai amaç olarak ise gemi özellikleri ve rota bilgileri belli olduğunda emisyon miktarlarının tahmin edilmesi için bir karar destek sistemi geliştirilmesi belirlenmiştir.

### **1.3 Hipotez**

Bu çalışmada, gemi kökenli baca gazı emisyonlarının tahmini konusuna yeni bir yaklaşımla yaşam döngüsü analizi perspektifinde, gerçeğe en yakın sonuç veren yapay sinir ağı modeli belirlenerek daha önce uygulanmamış bir yöntemle yakıt emisyon miktarları yakıt harcamından bağımsız olarak tespit edilebilir.

Gemi emisyonlarının, artan ticaret hacmi ve gemi sayısına bağlı olarak gelecekte ciddi bir çevresel sorun oluşturacağı tahmin edilmektedir ve bu öngörü çeşitli çalışmalar tarafından kuvvetle desteklenmiştir. Bu sorunun çözümü için çok çeşitli yöntemler önerilmiş ve uygulanmıştır. Özellikle içinde bulunduğumuz yüzyılda ciddi bir sorun olarak tanımlanan bu konunun çözüme kavuşturulabilmesi için yenilikçi çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tezin amacı, meta sezgisel yöntemlerden birisi olan yapay sinir ağları kullanılarak gemi ön dizayn aşamasındayken ve sadece geminin ve makinenin ana karakteristik özellikleri belliyken, gemi rotalarının öngörülmesi halinde gemi tarafından üretilecek emisyonların tahmin edilebilmesini sağlamaktır. Bu çözüm önerisi, gemi emisyonlarının, yakıt harcamından bağımsız olarak herhangi bir operasyonel veriye ihtiyaç duyulmadan tahmin edilmesini sağlayacaktır.

### **GEMİ YAŞAM DÖNGÜSÜ'NDE GEMİ KÖKENLİ BACA GAZI EMİSYONLARI**

Bu bölümde öncelikle yaşam döngüsü analizinden ve bu analiz yönteminin gemilere uygulanmasından bahsedilmiştir. Sonrasında gemi baca gazı emisyonlarının bu yaşam döngüsündeki yeri tespit edilmiştir. Ardından bu gazların oluşum süreçleri ve çevresel zararlarından bahsedilerek emisyonlar üzerine yapılan çalışmalar karşılaştırmalı şekilde incelenmiştir. Ayrıca konuyla ilgili uluslararası mevzuat hakkında bilgi verilmiş ve emisyonların azaltım yöntemleriyle bu yöntemlerin maliyet-yarar ilişkileri açıklanmıştır.

#### **2.1 Yaşam Döngüsü Analizi ve Gemi Yaşam Döngüsü Analizi**

##### **2.2.1 Yaşam Döngüsü Analizi (LCA)**

Yaşam Döngüsü Analizi (LCA), herhangi bir ürünün hammadde aşamasından geri dönüşüm aşamasına kadar olan bütün süreçlerindeki enerji harcamalarını ve atıkları azaltmayı hedefleyen ve geleneksel yöntemlere alternatif olarak geliştirilen bütüncül bir atık ve enerji yönetimi yaklaşımıdır. LCA, bütün ürün ve hizmetlere uyarlanıp uygulanabilen bir yöntem olup denizcilik sektöründeki LCA uygulamalarına özellikle son on yılda rastlanmaya başlanmıştır.

LCA, herhangi bir ürünün çevresel etkilerini bilimsellik esaslı ve karşılaştırmaya dayalı bir analiz ve değerlendirme sürecine verilen genel bir addır. LCA yöntemi geleneksel yöntemlerden “beşikten mezara” ve “fonksiyonel birim” terimleriyle ayrılır. LCA kavramında kullanılan yaşam döngüsü tabiri ürünün piyasadaki yaşam döngüsünden çok fiziksel ömrünü ifade eder. Fonksiyonel birim ise aynı veya benzer fonksiyonlar tarafından tarif edilen ürün sistemlerinin kıyaslanabilirliğinin temel unsurudur ki fonksiyonel birim kantitatif olarak ifade edilebilir olmalıdır [15]. ISO 14040 standardında LCA, bir ürün sisteminin, kendi yaşam döngüsü boyunca

oluşturacağı potansiyel çevresel etkilerin ve bu sistemin girdi ve çıktılarının bir derlemesi ve değerlendirilmesi olarak tanımlanmıştır. Bu tanıma göre LCA, kaynak temininden ürün ya da hizmetin üretiminden yeniden kullanım, geri dönüşüm ya da bertaraf süreçleriyle işlemden geçirilmesine kadar olan tüm aşamalardaki çevresel performansları inceler [16]. LCA kavramında hedef ve kapsam tanımı (ISO 14040), envanter analizi (ISO 14041), etki değerlendirmesi (ISO 14042) ve yorum (ISO 14043) olmak üzere dört kavram söz konusudur ve LCA yönteminin sağlıklı bir şekilde işletilmesi ve uygulanması için bu kavramların her biridiğerleriyle sürekli ilişki ve iletişim halinde olmak zorundadır. Hedef ve kapsam, ürün, süreç ya da aktiviteyi tanımlayarak açıklar. LCA değerlendirmesinin ve çevresel etkilerin hangi sistem sınırları dahilinde gerçekleştirileceği bu aşamada belirlenir. Envanter analizi kısmında kullanılan enerji ve materyaller ile çevresel etkiye neden olabilecek boşaltımlar incelenir. Etki değerlendirmesi sürecinde enerji ve materyal kullanımının insan sağlığına ve çevreye yaptığı etkiler araştırılmakta olup yorum kısmında bu üç kavramın kendi içlerindeki ve birbirleriyle olan etkileri yorumlanır [17].

### 2.2.2 Gemi Yaşam Döngüsü Analizi (S-LCA)

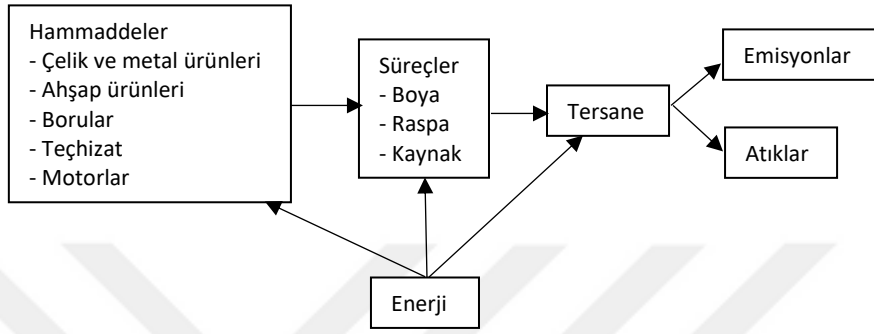
Gemiler, dizayn aşamasından söküm sürecine kadar çok büyük miktarlarda atık ve emisyon çıkaran ürünlerdir. Gemilerin tüm süreçlerinin bütüncül bir şekilde LCA kapsamında incelenmesi, enerji tüketiminin, kullanılan malzeme miktarının ve üretilen atık ve emisyonların minimize edilmesini sağlayacaktır. Gemi Yaşam Döngüsü Analizi (S-LCA) süreçleri Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



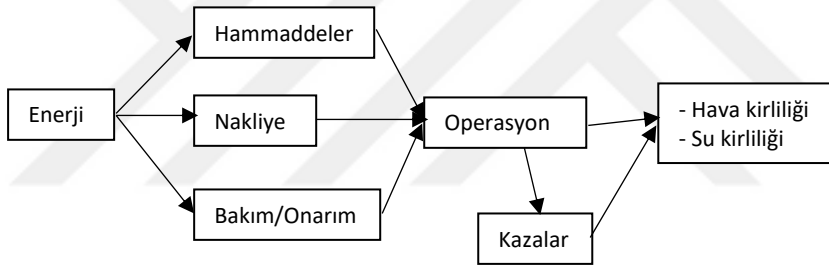
Şekil 2.1 S-LCA aşamaları

Şekil 2.1’de gösterilen tüm süreçler LCA kapsamında birbirleriyle ilişki içinde olmalarına rağmen en önemli sürecin dizayn ve üretim olduğunun söylenmesi mümkündür. Gemi, LCA konseptine uygun olarak dizayn edildiği takdirde tüm süreçlerde tüketilen enerji ve malzeme miktarı, dolayısıyla atık ve emisyon miktarları da minimize edilecektir.

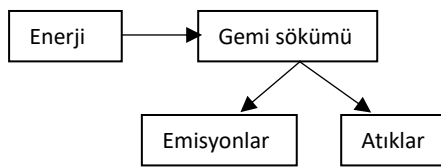
Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4, sırasıyla gemi üretimi, gemi operasyonu ve gemi sökümü süreçlerindeki LCA yapılanmasını açıklamaktadır.



Şekil 2.2 Gemi üretimi LCA yapılanması



Şekil 2.3 Gemi operasyonu LCA yapılanması



Şekil 2.4 Gemi sökümü LCA yapılanması

Denizcilik sektörü üzerine yapılan LCA çalışmaları özellikle son on yılda ağırlık kazanmıştır. Konu üzerine önemli sayıda çalışma yapılmış olsa da LCA'nın denizcilik sektöründeki uygulamaları hala çok temel düzeydedir. Winebrake vd., (2007) [18] Total Energy & Emissions Analysis for Marine Systems (TEAMS) adını verdikleri bir LCA yöntemiyle gemilerde kullanılan yakıtların yaşam döngüsünü ve açığa çıkardıkları emisyonları hesaplamayı hedeflemişlerdir. Bu amaçla birer konteyner gemisi, tanker ve yolcu feribotu incelenerek farklı yakıt türleri için toplam enerji ve emisyon miktarları hesaplanmıştır. Chatzinikolaou ve Ventikos, (2015) [19]

bir geminin tüm yaşam döngüsü boyunca açığa çıkardığı emisyonları hesaplamışlardır. Çalışmada emisyonları hesaplanan aşamalar üretim, operasyon, bakım ve söküm olarak belirtilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, SO<sub>2</sub> ve CO en fazla operasyon sırasında üretilirken metan (CH<sub>4</sub>) en fazla üretim sırasında üretilmektedir. Bilgili vd., (2017) [20] bir geminin boya ve operasyon süreçlerinde ürettiği emisyonları LCA perspektifine göre hesaplamışlardır. Buna göre oluşan toplam emisyonun % 99,82'lik kısmı operasyon sırasında oluşurken geri kalan kısım yeni inşa ve bakım süreçlerinde oluşmaktadır.

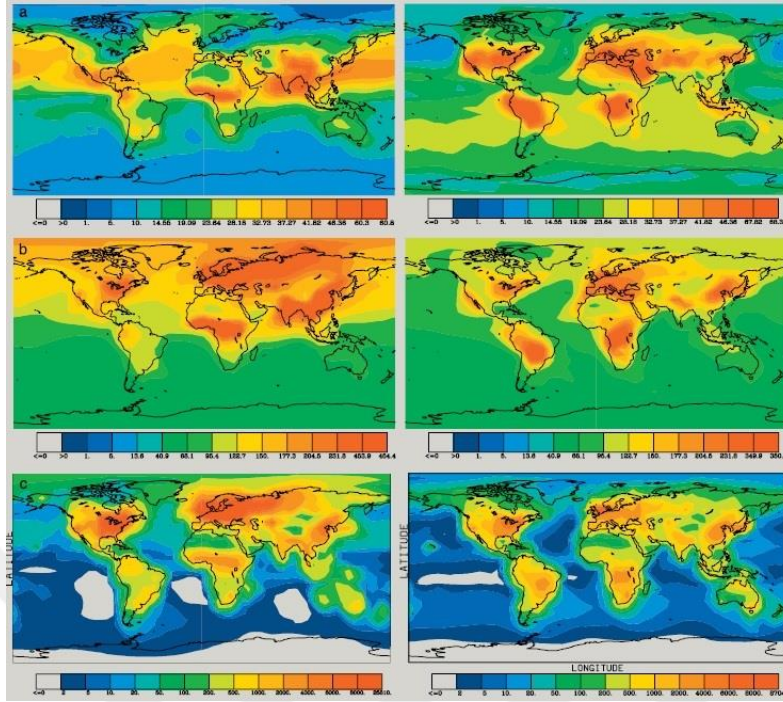
Gemi baca gazı emisyonları S-LCA'da çok önemli bir yer tutan operasyon aşamasında meydana gelir ve yapılan çalışmalara göre en çok miktarda üretilen gemi atıklarıdır. Bu açıdan bakıldığında bu gazlara S-LCA perspektifinden bakmak son derece önemli olup konuyla ilgili ayrıntılı çalışmalar aşağıdaki bölümde sunulmuştur.

## **2.2 Gemi Kökenli Baca Gazı Emisyonları**

Tespit edilmiş gemi baca gazı emisyonlarının sayısı 450 civarındadır [21]. Bununla beraber bu emisyonların çok az bir kısmı insan sağlığı ve çevre konularında risk teşkil edebilecek düzeylerde oluşmaktadır. Bunlar arasında CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, PM ve siyah karbon (BC) sayılabilir. Gaz formunda oluşan bu bileşiklerin yanında gemi emisyonlarının ağır metalleri de içerdiği bilinmektedir. Gemi emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri iyi ve ayrıntılı araştırılmış konulardır. Emisyonların bu çevresel boyutlarının incelenmesi, emisyon tahmin yöntemlerinin, azaltım tedbirlerinin ve daha sert sınırlayıcı kuralların geliştirilmesi ve uygulanması açısından bir temel teşkil etmektedir.

Endresen vd., (2003) [3] yaptıkları çalışmada gemi emisyonlarının küresel ve bölgesel alanlarda nasıl biriktiğini ve çevreye olan etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla öncelikle NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ve uçucu organik bileşik (VOC) emisyonları için tümevarım yöntemiyle gemi tipine bağlı makine emisyonu modellemesi, petrol taşınımında açığa çıkan VOC buharı modellemesi, alternatif küresel dağılım yöntemleri ve gemi operasyon verilerinin birlikte işlendiği yenilikçi bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Buna göre ozon (O<sub>3</sub>), CH<sub>4</sub>, sülfat (SO<sub>4</sub>) ve azot içerikli bileşiklerin küresel dağılımı üç boyutlu bir şekilde çıkarılabilmektedir. Çalışmanın sonucunda ozon dağılımının yaz aylarında 12 ppbv oranıyla en çok Kuzey Atlantik ve Kuzey Pasifik'te yoğunlaştığı sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra gemi emisyonlarının belli kıyı kesimlerindeki asitliği % 3-10

arasında arttırdığı da tespit edilmiştir. Bu çalışmaya göre gemi kökenli O<sub>3</sub>, CO ve NO<sub>x</sub> gazlarının ocak ve temmuz aylarındaki küresel dağılımları Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Küresel (a) O<sub>3</sub>, (b) CO, (c) NO<sub>x</sub> dağılımları (Ocak-Temmuz)

Eyring vd., (2010) [22] yaptıkları çalışmada gaz ve parçacık formundaki gemi emisyonlarının küresel ölçekte antropojenik emisyonlara olan katkısını ve bu emisyonların insan sağlığı ve küresel iklim üzerindeki zararlı etkilerini incelemişlerdir. Gemi emisyonlarının % 70'inin kıyıya 400 km olan mesafede gerçekleştiğini belirten çalışmada emisyonların yer seviyesi ozonu, kükürt ve PM salınımı yoluyla hava kalitesine olumsuz etki ettiği tespit edilmiştir. Kıyıya yakın yerlerdeki gemi trafiğinin bu denli yoğun olması, liman şehirlerinin varlığına ve gemicilik faaliyetlerinin okyanuslardan çok Akdeniz gibi yarı kapalı havzalarda sıkışmasına bağlanmıştır. Çalışmaya göre yapılan gelecek öngörüler için oluşturulan dört senaryoda baz yıl olarak 2001 seçilmiştir. Buna göre kirletici türleri için 2050 yılına ait öngörüler Çizelge 2.1'de sunulmuştur.

Çizelge 2.1 2050 yılına ait emisyon öngörülerini

Kirletici Türü	2001	2050	
		En İyi Senaryo	En Kötü Senaryo
NO <sub>x</sub> (Tg NO <sub>2</sub> /yıl)	21,4	3	38,8
CO <sub>2</sub> (Tg CO <sub>2</sub> /yıl)	813	1108	2001
SO <sub>x</sub> (Tg SO <sub>2</sub> /yıl)	12	3,6	38,8
CO (Tg CO/yıl)	1,31	1,5	3,39
HC (Tg HC/yıl)	3,92	3,65	6,53
PM (Tg PM/yıl)	1,67	1,45	3,92



### 2.3 Gemi Emisyonları ile ilgili Uluslararası Mevzuat

Çevresel sorunların incelenmesi ve düzenlenmesi için küresel ölçekte gerçekleştirilen ilk uygulama Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)'nin 1972'de yürürlüğe alınmasıyla başlamıştır. UNEP, özellikle iklim değişikliği kavramının tanınması ve bu tehdidin önlenmesi için çalışmalar yürütmüştür. Birleşmiş Milletler, 1988 yılında UNEP bünyesinde IPCC'yi oluşturmuştur. IPCC, kurulduğu günden bu yana beş değerlendirme raporu ve on bir özel rapor yayımlamıştır. Bu özel raporlar arasından SRES raporu, gelecekteki emisyon tahminleri açısından önemli veriler içermekte olup denizcilik sektörü için yapılan gelecek öngörülerini açısından da bir dayanak noktası kabul edilmiş ve emisyon tahminlerinin yapılması için kullanılmıştır. Küresel ölçekte sera gazlarının azaltılmasına yönelik yapılan en önemli çalışma 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü olarak kabul edilse de bu protokol denizcilik kökenli sera gazları üzerinde bağlayıcı değildir. Bu konuda uluslararası düzeyde yetkili olan kurum IMO olarak belirlenmiştir. Gemi emisyonlarının takibi ve düzenlenmesi, IMO tarafından gerçekleştirilmektedir. IMO, çeşitli yasal düzenlemeler vasıtasıyla gemi emisyonlarına sınırlamalar getirmekte ve üye devletlerin onayına sunmaktadır. Bu amaçla, MARPOL 73/78 sözleşmesi hazırlanmış ve hayata geçirilmiştir. MARPOL 73/78, 2 Ekim 1983'te yürürlüğe girmiştir. MARPOL, altı ek kısımdan meydana gelmektedir. Bu ekler, yürürlüğe giriş tarihleri ve ilgilendikleri konular Çizelge 2.2'de sunulmuştur.

Çizelge 2.2 MARPOL ek açıklamaları

Ek	Yürürlüğe Giriş Tarihi	Konusu
EK-I	02.10.1983	Petrol kirliliğinin önlenmesi
EK-II	02.10.1983	Dökme halde taşınan zehirli sıvı maddelerden kaynaklanan kirliliğin önlenmesi
EK-III	01.07.1992	Paketli halde taşınan zararlı maddelerden kaynaklanan kirliliğin önlenmesi
EK-IV	27.09.2003	Pis su kirliliğinin önlenmesi
EK-V	31.12.1988	Çöp kirliliğinin önlenmesi
EK-VI	19.09.2005	Hava kirliliğinin önlenmesi

Ek-VI, gemi kökenli hava kirliliğiyle doğrudan ilgilendiği için bu çalışmanın kapsamı dahilindedir. Ek-VI, kendi içinde çeşitli gaz türleri için alt düzenlemelere sahiptir. Bunlardan Düzenleme-12 ozon tüketen moleküller (ODS), Düzenleme-13 NO<sub>x</sub>, Düzenleme-14 SO<sub>x</sub> ve PM, Düzenleme-15 VOC, Düzenleme-16 gemide yakım işlemleri ve Düzenleme-17 yakıt uygunluğu ve kalitesiyle ilgilidir.

Düzenleme-12'ye göre kloroflorokarbon (CFC) veya halon içeren sistemlerin gemilerde kullanımı 19 Mayıs 2005 itibariyle tümüyle yasaklanmış ve yine aynı tarihten itibaren bu sistemlerin yeni gemilerde kullanılması da durdurulmuştur. Benzer şekilde 1 Ocak 2020 itibariyle de hidrofloroklorokarbon (HCFC) içeren sistemlerin kullanımı yasaklanacaktır. Düzenleme-13 NO<sub>x</sub> ile ilgili olan kısımdır ve 130 kW ve üstünde güç üreten motorları kapsar. IMO bu düzenlemeyle belli kW aralıklarındaki gemiler için belli yıllara yayılmış olarak NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasını hedeflemektedir. Çizelge 2.3, yıllara ve motor gücüne göre NO<sub>x</sub> limitlerini göstermektedir.

Çizelge 2.3 NO<sub>x</sub> limitleri

Düzenleme	NO <sub>x</sub> Limit	RPM (n)
Tier I	17 g kWh <sup>-1</sup>	n<130
1 Ocak 2001 ile 1 Ocak 2011 arasında yerleştirilen dizel motorlar (> 130 KW)	45 x n-0,2 g kWh <sup>-1</sup> 9.8 g kWh <sup>-1</sup>	130<n<2000 n>2000
Tier II	14,4 g kWh <sup>-1</sup>	n<130
1 Ocak 2011'den sonra yerleştirilen dizel motorlar (> 130 KW)	44 x n-0,23 g kWh <sup>-1</sup> 7,7 g kWh <sup>-1</sup>	130<n<2000 n>2000
Tier III	3,4 g kWh <sup>-1</sup>	n<130
1 Ocak 2016'dan sonra yerleştirilen dizel motorlar (> 130 KW)	9 x n-0,2 g kWh <sup>-1</sup> 3 g kWh <sup>-1</sup>	130<n<2000 n>2000

Düzenleme-14, SO<sub>x</sub> ve PM emisyonlarından sorumludur. Bu düzenlemeye göre oluşturulan ECA bölgelerinden Baltık Denizi ve Kuzey Denizi sadece SO<sub>x</sub>, Kuzey Amerika ve ABD Karayip Bölgesi SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve PM emisyonlarının belli limitlerde tutulmaya çalışıldığı bölgelerdir. Düzenleme-14'e göre yıllara ve bölgelere göre yakıt içeriğindeki kükürt kütlesinin toplam yakıt kütlesine oranı için olması gereken seviyeler Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 Yakıt kükürt içeriği limitleri

ECA Bölgesi Haricinde SO <sub>x</sub> ve PM Emisyonları	ECA Bölgesi Dahilinde SO <sub>x</sub> ve PM Emisyonları
1 Ocak 2012'den önce % 4,5	1 Ocak 2010'dan önce % 1,5
1 Ocak 2012'den sonra % 3,5	1 Ocak 2010'dan sonra % 1
1 Ocak 2020'den sonra % 0,5	1 Ocak 2015'ten sonra % 0,1

IMO'ya bağlı bir alt komite olan Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC), Ek-VI kapsamında öneriler yayımlayarak EK-VI'da değinilmeyen ya da eksik kalan kısımları açıklığa kavuşturmayı amaçlamıştır. Bu bağlamda MEPC tarafından EK-VI kapsamında yayımlanan önerilerin tamamı Çizelge 2.5'te açıklamalarıyla birlikte sunulmuştur. Bu öneriler, IMO tarafından kabul edildikten sonra IMO'ya üye olan tüm devletlerin uygulaması zorunlu olan kurallar içermektedir.

Çizelge 2.5 EK VI'ya dair MEPC önerileri

MEPC Önerisi	Yayımlandığı Tarih	Açıklama
MEPC.96(47)	08.03.2002	Yakıtlardan numune alınması için bir yöntem geliştirmek
MEPC.128(53)	22.07.2005	Sörvey yönergelerinde değişiklikler
MEPC.129(53)	22.07.2005	Ek-VI kapsamında liman devletlerinin kontrollerine dair yönergeler
MEPC.176(58)	10.10.2008	Ek-VI revizyonu
MEPC.180(59)	17.07.2009	Ek-VI revizyonu için sörvey yönergelerinde değişiklikler
MEPC.181(59)	17.07.2009	Ek-VI revizyonu için liman devletlerinin kontrollerine dair yönergeler
MEPC.182(59)	17.07.2009	Ek-VI revizyonu için yakıttan numune almaya dair yönergeler
MEPC.199(62)	15.07.2011	Liman kabul tesislerine dair yönergeler
MEPC.203(62)	15.07.2011	Ek-VI için enerji verimliliği ek düzenlemeleri
MEPC.230(65)	17.05.2013	Tier-III şartlarına dair yönerge
MEPC.242(66)	04.04.2014	Sertifikasyon yöntemi hakkındaki bilgilere dair yönerge
MEPC.270(69)	Sertifikasyon	Ek-II'ye dair değişiklikler
MEPC.271(69)	Sertifikasyon	Ek-VI Düzenleme-13'e dair değişiklikler
MEPC.272(69)	Sertifikasyon	NO <sub>x</sub> Teknik Kodu 2008'e dair değişiklikler
MEPC.273(69)	Sertifikasyon	Ortalama kükürt oranının dünya çapında izlenmesine dair değişiklikler
MEPC.274(69)	Sertifikasyon	Ek-VI'ya dair değişiklikler (Baltık Denizi özel alanı)
MEPC.277(70)	Sertifikasyon	Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI)'ne dair yönerge değişiklikleri
MEPC.278(70)	Sertifikasyon	Ek-VI'ya dair değişiklikler
MEPC.280(70)	28.10.2016	Yakıt standardı uygulama tarihi
MEPC.281(70)	28.10.2016	Yeni gemiler için EEDI hesaplama yöntemine dair değişiklikler
MEPC.281(70)	28.10.2016	Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP)'na dair yönergeler

IMO tarafından yapılan bu düzenlemeler, çeşitli çalışmalar tarafından da incelenmiştir. Agarwal, (2009) [23], genel olarak Kyoto Protokolü sonrasında gemi yakıtları üzerinde yapılan hükümetlerarası görüşmeler ve IMO'nun çalışmaları ele almıştır. Çalışmanın sonucuna göre IMO çalışmalarının üye devletler arasında tam bir görüş birliği sağlayamadığı ve bundan dolayı IMO'nun getirdiği kısıtların gemi emisyonlarının istenilen seviyeye düşmesi konusunda tam olarak etkili olamayacağı belirtilmektedir. Cullinane ve Cullinane, (2013) [24] benzer şekilde gemi emisyonları konusundaki IMO kısıtlamalarını ve üye devletlerin bu kısıtlarla yaşadıkları fikir çatışmaları üzerine odaklanmışlardır. Çalışmanın sonucunda IMO'nun, üye devletlerin hassasiyetlerini ve görüşlerini daha fazla dikkate alması gerektiği belirtilmiştir.

## 2.4 Gemi Emisyonları Azaltma Tedbirleri

Gemi emisyonlarının günümüzde çok ciddiye alınan ve üzerinde kapsamlı çalışmalar yapılan bir konu olduğu yukarıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bu bölümde ise emisyonların azaltılması için ne gibi çalışmalar yapıldığı, bu çalışmalardan elde edilen bulgular ve emisyon azaltıcı önlemlerin maliyetleri analiz edilmiştir. Azaltma tedbirlerinin önceliği her zaman için kirliliğin azaltılması ve çevresel performansın artırılması olsa da mühendislik disiplini içeriğinde bir maliyet-yarar optimizasyonu, uzun vadeli yarar-zarar ilişkileri hesabı ve kullanım kolaylığı gibi özellikler de dikkate alınmalıdır.

Prpić-Oršić ve Faltinsen, (2012) [25] Kuzey Atlantik'te bir rota belirleyerek bu rotada seyreden bir konteyner gemisi üzerinden hız azaltmanın CO<sub>2</sub> üzerindeki etkilerini aynı tip bir geminin daha sakin sularda seyrettiği durumlara göre kıyaslayarak incelemiştir. Elde ettikleri sonuca göre kuzeyde seyreden gemi sakin denizlerde seyreden gemiye göre % 14,9 oranında daha fazla CO<sub>2</sub> salınımı gerçekleştirmektedir. Yazarlar buradan yola çıkarak hız azaltma yönteminin sadece uygun deniz ve hava şartları altında gerçekçi sonuçlar verebileceğine dikkat çekmişlerdir. Thomson vd., (2015) [26] doğalgazın bir gemi yakıtı olarak kullanımı durumundaki potansiyel emisyon azalmasını incelemiştir. Çalışmada doğalgazın gemi yakıtı olarak kullanılmasının SO<sub>x</sub> ve PM emisyonlarını kayda değer şekilde düşürdüğünü ancak doğalgazın üretim tesisinden limana gönderilmesi ve gemiye yüklenmesi sırasında oluşabilecek CH<sub>4</sub> sızıntılarının önüne geçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Di Natale ve Carotenuto, (2015) [27] gemi kökenli PM emisyonlarının azaltılması ve kontrol teknolojileri üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada PM emisyonlarının azaltılması için dört ana başlık önerilmiştir. Bu dört ana başlığın alt başlıklarında uygulanan yöntemlerle PM emisyonlarında ne kadarlık bir azalma sağlandığı Çizelge 2.6'da verilmektedir. Benzer şekilde NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltma yöntemleri ve bu yöntemlerin yüzde cinsinden başarısı sırasıyla Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8 [28]'de sunulmuştur.

Çizelge 2.6 PM emisyonu azaltım yöntemleri ve başarı oranları

Yöntem	Strateji	Azalma Oranı (%)
Enerji verimliliği operasyonları	Hız düşürme	15-40
	Hava koşullarına göre rota optimizasyonu	20-30
	Optimum yük elleçlemesi	1-5
Gemi dizaynı iyileştirmeleri	Balast ve trim optimizasyonu	1-5
	Pervane iyileştirmesi	0,5-3
	Pervane ve dümenin tümüyle yenilenmesi	2-6
	Ağırlık azaltımı	<5
	Hava yastığı sistemi	~8
	Aerodinamik	3-4
	Tekne kaplaması	0,5-9
	Tekne temizliği	1-10
	Optimum tekne dizaynı	5-20
	İleri otopilot	0,5-3
	Hibrit sistemler	<30
	Atık ısı geri kullanımı	5-15
	Güneş enerjisi	2-10
	Paraşüt kullanımı	2-32
Flettner rotoru kullanımı	3,5-12,5	
Makine modifikasyonları	Sürgülü valfler	10-50
	Sabit basınçlı püskürtme sistemi	0,1-1,3
	İleri dişli sistemi	8-15
Egzoz gazı temizleme yöntemleri	Islak yıkayıcılar	<85
	Difüzör yıkayıcılar	>90
	Dokuma filtreler	>90
	Dizel parçacık filtreleri	<95
	Dizel oksidasyon katalizörleri	<95
	Elektrostatik çökeltme	>90
	Islak elektrostatik yıkayıcılar	<85

Çizelge 2.7 NO<sub>x</sub> emisyonu azaltım yöntemleri ve başarı oranları

Önlem	Yöntem	Azalma Oranı (%)
Birincil Yöntemler	Enjeksiyon geciktirme	30
	Sıkıştırma oranı modifikasyonu	35
	Enjektör modifikasyonu	30
	Enjektör sayısında değişim	30
	Besleme havası soğutması	40
	Besleme havası basınç artışı	10-40
	Su püskürtme	50-60
	Su püskürtme + Egzoz gazı yeniden kullanımı	70
	Egzoz gazı yeniden kullanımı	35
	Yaş hava motoru	80
İkincil Yöntemler	Seçkili katalitik indirgeme	90-95
	Seçkili katalitik olmayan indirgeme	50
	Plazma azaltma sistemleri	97

Çizelge 2.8 SO<sub>x</sub> emisyonu azaltım yöntemleri ve başarı oranları

Önlem	Azalma Oranı (%)
Yanma modifikasyonları	50-60
Yakıt kükürt içeriği değişimi (2.7 %-1.5 %)	44
Yakıt kükürt içeriği değişimi (2.7 %-0.5 %)	81
Deniz suyu yıkayıcıları	95
Tatlı su yıkayıcıları	90

Leloup vd., (2016) [29] paraşüt kullanımının gemi yakıt tüketimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Elde ettikleri bulgulara göre 50.000 DWT'lik bir tankerde 320 m<sup>2</sup> alana sahip bir paraşütün yardımcı sevk sistemi olarak kullanılması durumunda Bofor 5 seviyesindeki hava koşulunda % 10'luk; Bofor 7 seviyesindeki hava koşulunda ise % 50'lik bir yakıt sarfiyatı elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Schembari vd., (2012) [30] Akdeniz limanları için AB'nin getirdiği kısıtlamaların emisyonlar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. AB'nin 1 Ocak 2010'da yürürlüğe giren ve yakıt kükürt içeriğinin % 0,1 seviyesine çekilmesi gerektiğini belirten yönergesinin sonuçlarını inceleyebilmek için bazı Avrupa limanlarında 2009-2010 yıllarını kapsayacak şekilde ölçümler yapılmıştır. Sonuç olarak limanlardaki günlük ortalama SO<sub>2</sub> emisyonunda % 66 oranında bir azalma gözlenmiştir. Buna rağmen bu yönergenin bağlayıcı olmadığı Tunus limanında herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Yönergenin kısıtlayıcılığı, NO<sub>x</sub> ve BC emisyonları üzerinde bir etki oluşturmamıştır. Bütün bu olumlu sonuç veren çalışmalara rağmen Luo, (2013) [31] emisyon azaltma tedbirlerinin olumsuz ikincil sonuçlarının da olduğuna ve bu gizli etkilerin de hesaba katılması gerektiğine dikkat çekmiştir. Buna bir destek olarak Lindstad vd., (2015) [32] gemilerin düşük kükürtlü yakıt kullanımına zorlanmasının emisyonların azaltılması yönünde olumlu sonuçlar vermesine rağmen işin mali boyutunun da mutlaka iyi incelenmesi gerektiğini savunmuşlardır.

Sadece çevresel sorunlara öncelik verilerek işin ekonomik boyutu göz önüne alınmazsa sürdürülebilir olmayan bir tabloyla karşılaşılacağından çevresel risklerin azaltılması kadar uygun maliyetli yöntemlerin tercih edilmesi de son derece önemlidir. Corbett vd., (2009) [33] hız azaltımının verimliliği ve maliyeti üzerine çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre hızın yarı yarıya azaltılması CO<sub>2</sub> emisyonlarını % 70 oranında azaltırken % 20 oranında bir CO<sub>2</sub> azalım hedefi için ton CO<sub>2</sub> azaltımı başına konteyner gemileri için 30-200 \$ civarında bir maliyet oluşmaktadır. Ballini ve Cariou, (2011) [34] hız azaltmanın maliyetlerini de göz önünde bulundurarak bu yöntemin emisyon azaltıcı bir tedbir olarak sürdürülebilir olup olmadığı konusu üzerinde durmuştur. Çalışmanın bulgularına göre 2008-2010 yılları arasında hız

düşürme yöntemi sayesinde emisyonlarda % 11 civarında azalma gözlenmişse de bu yöntemin sadece konteyner gemileri için yakıt fiyatlarının 350-400 \$ civarında seyrettiği sürece uzun vadede sürdürülebilir olduğuna dikkat çekilmiştir.



## MATEMATİKSEL VE META SEZGİSEL YÖNTEMLERLE GEMİ EMİSYONLARININ TAHMİN EDİLMESİ

### 3.1 Gemi Kökenli Baca Gazı Emisyonu Hesaplama Metodolojisi

Gemi emisyonlarının tahmini için çok sayıda yöntem kullanılmış olup temel olarak yakıt tüketimi, makine gücü ve enerji olmak üzere üç yöntem geliştirilmiştir. Yakıt tüketimi ve makine gücü yöntemleri için kullanılan formüller Trozzi, (2010) [35] tarafından aşağıdaki şekilde önerilmiştir. Bunlara ek olarak bir de yakıtların barındırdığı ısı değerine bağlı olarak üretilen enerji üzerinden emisyon hesabı yapmak da mümkündür.

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_p (FC_{j,m,p} \times EF_{i,j,m,p}) \quad (3.1)$$

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_p [T_p \sum_e (P_e \times LF_e \times EF_{e,i,j,m,p})] \quad (3.2)$$

$$E_{Trip,i,j,m,p} = \sum_p (FC_{j,m,p} \times CV_m \times EF_{i,j,m,p}) \quad (3.3)$$

Bu formüllerde;

$E_{Trip}$ : Bütün yolculuk boyunca oluşan toplam emisyon (t)

FC: Yakıt tüketimi (t)

EF: Emisyon faktörü (g/t yakıt ve g/kWh)

i: Kirletici tipi

j: Makine tipi

m: Yakıt tipi

p: Yolculuk aşamaları



- T: Süre (h)
- LF: Makine yük faktörü (%)
- P: Makine gücü (kW)
- e: Makine kategorisi
- CV: Isıl değer (kJ/kg)
- EF: Emisyon faktörü (Gg/TJ)

olarak verilmektedir.

3.1 formülü emisyon hesabını yakıt tüketim verileri üzerinde gerçekleştirmek için geliştirilen bir formüldür. Bu formülün çalıştırılabilmesi için gemi yakıt tüketim verilerinin günlük raporlarda düzenli bir şekilde kayıt altına alınmış olması gerekmektedir. Bu verilere ulaşmanın zorluğu nedeniyle genellikle makine gücü yöntemi olarak adlandırılan ve 3.2 formülünde açıklanan veriler kullanılır. Bu yöntemdeki veri sayısı daha fazla olmasına rağmen bu verilerin temin edilmesi görece daha kolaydır. Yakıt tüketimi verilerinin gemi bazında tek gerçek kaynağı günlük raporlar olmasına rağmen makine gücü yöntemindeki verilerden geminin çalışma süresi AIS üzerinden, makine gücü makine üreticisinden temin edilebilirken makine çalışma yükü çeşitli çalışmalardaki varsayımlar üzerinden elde edilebilir. 3.3 formülünde açıklanan enerji yöntemi ise yakıt tüketimi yöntemine bağlı olup yakıtın içerdiği enerji değeri üzerinden emisyonların hesaplanmasına dayanır.

Emisyon değerlerini hesaplayabilmek için öncelikle emisyon faktörlerine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada kullanılan emisyon faktörleri Cooper ve Gustafsson, (2004) [36] çalışmasından elde edilmiş olup ana makine için Çizelge 3.1'de yardımcı makine için ise Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 Ana makine için emisyon faktörleri

Yakıt Türü	Kirletici Türü	Yakıt Tüketimi Yöntemi*	Makine Gücü Yöntemi**	Enerji Yöntemi***
HFO	NO <sub>x</sub>	87.136	18,1	0,00213
	SO <sub>x</sub>	46.000	9	0,0011
	CO <sub>2</sub>	3.179.000	620	0,078
	CH <sub>4</sub>	30,8	0,006	0,00000075
	N <sub>2</sub> O	159	0,031	0,000004
	CO	2545	0,5	0,000062
	PM <sub>2,5</sub>	6667	1,3	0,00016
MGO	NO <sub>x</sub>	91.561	17	0,00214
	SO <sub>x</sub>	8000	1,5	0,00019
	CO <sub>2</sub>	3.179.000	588	0,074
	CH <sub>4</sub>	32,4	0,006	0,00000076
	N <sub>2</sub> O	168	0,031	0,000004
	CO	2703	0,5	0,000063
	PM <sub>2,5</sub>	1081	0,2	0,000025

Çizelge 3.2 Yardımcı makine için emisyon faktörleri

Yakıt Türü	Kirletici Türü	Yakıt Tüketimi Yöntemi*	Makine Gücü Yöntemi**	Enerji Yöntemi***
HFO	NO <sub>x</sub>	61.278	14	0,00151
	SO <sub>x</sub>	46.000	10,4	0,0011
	CO <sub>2</sub>	3.179.000	722	0,078
	CH <sub>4</sub>	17,6	0,004	0,00000045
	N <sub>2</sub> O	137	0,031	0,000004
	CO	3924	0,9	0,00012
	PM <sub>2,5</sub>	2203	0,5	0,000057
MGO	NO <sub>x</sub>	62.440	13,5	0,00148
	SO <sub>x</sub>	8000	1,7	0,00019
	CO <sub>2</sub>	3.179.000	690	0,074
	CH <sub>4</sub>	18,4	0,004	0,00000046
	N <sub>2</sub> O	143	0,031	0,000004
	CO	4127	0,9	0,00013
	PM <sub>2,5</sub>	922	0,2	0,000023

\* g/ton yakıt

\*\* g/kWh

\*\*\* Gg/TJ

Hesaplamalar için yapılan kabuller aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

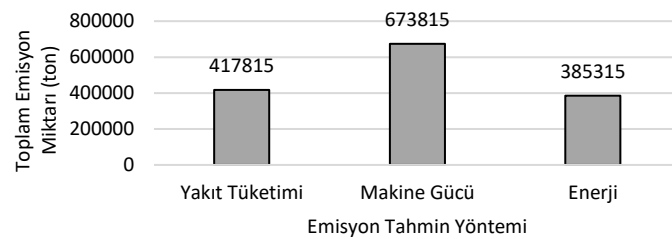
- Gemiler sadece HFO ve deniz tipi gaz yakıt (MGO) yakıtlarını kullanmış olup ana makine yalnızca HFO kullanmıştır. Yardımcı makine ise hem HFO hem de MGO kullanmıştır. Toplam tüketilen HFO miktarının % 88'i ana makine tarafından kullanılırken % 12'si yardımcı makine tarafından kullanılmıştır.
- Makinelerin makine yükleri konusunda herhangi bir kesin bilgi bulunmadığından ENTEC, 2005 [37] tarafından kabul edilen değerler makine yükleri olarak kullanılmıştır. Bu değerler ana makinenin seyir ve liman süreçleri için sırasıyla 0,8 ve 0,2 iken, yardımcı makine için seyir ve liman değerleri 0,3 ve 0,4 olarak kabul edilmiştir.

- Enerji yöntemi için kullanılan ısı değerleri ise Wild, (2005) [38] tarafından MGO ve HFO için sırasıyla 42.700 kJ/kg yakıt ve 40.000 kJ/kg yakıt olarak önerilen değerlerdir.

### 3.2 Matematiksel Yöntemlerle Gemi Emisyonları için Tahmin Formülleri Geliştirilmesi

Bu bölümde sık kullanılan matematiksel yöntemlerden olan regresyon analizi yardımıyla bir önceki bölümde hesaplanmış olan emisyon miktarları gemi ana karakteristik özelliklerinden ikisi olan DWT ve  $C_B$  değerleri üzerinden her bir kirletici tipi ve emisyon hesap yöntemi için emisyon tahmin formülleri geliştirilmiştir. Bu sayede gemi henüz ön dizayn aşamasındayken yani henüz sadece DWT ve  $C_B$  gibi çok temel veriler varken geminin seyir süresince oluşturacağı emisyonların tahmin edilebilmesi amaçlanmaktadır.

Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'deki emisyon faktörü verilerine ve belirtilen kabullere göre hesaplanan dokuz geminin üç yıllık toplam emisyon miktarları Şekil 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.1 Dokuz geminin üç yıllık toplam emisyon miktarları

Bu toplam emisyon miktarlarının kirletici türüne göre düzenlenmiş ayrıntılı hali Çizelge 3.3'te sunulmuştur. Kirletici miktarları ton cinsinden verilmiştir. Aşağıdaki emisyon tipleri, emisyon faktörü mevcut olan kirletici tipleri arasından en çok üretilen emisyonlar olup  $CO_2$ ,  $CH_4$  ve  $N_2O$ , Kyoto Protokolü tarafından sera gazı olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 3.3 Dokuz geminin üç yıllık süreçte ürettiği kirletici miktarları

	Yakıt Tüketimi	Makine Gücü	Enerji
$CO_2$	392188,94	645270,08	385273,5
$NO_x$	10016,96	18048,03	9947,64
$SO_x$	5354,86	8378,32	5118,88
$PM_{2,5}$	681,51	1204,79	680,71
CO	355,92	561,22	367,46
$N_2O$	19,03	31,85	19,83
$CH_4$	3,42	5,93	3,43

Yakıt tüketimi ve makine gücü yöntemlerine göre hesaplanan toplam emisyon miktarları arasındaki belirsizlik % 61 seviyesinde çıkmıştır ve bu değer ihmal edilebilir seviyenin çok

üzerindedir. Yine de her üç yöntem de farklı durumlarda kullanım alanı bulacağı için farklı verilerin temin edilmesi durumunda doğru kabul edilebilir.

Regresyon analizi, en temel anlamıyla iki değişken arasındaki ilişkinin bir matematiksel formül yardımıyla açıklanmasıdır. Bu amaçla Y ile sembolize edilen bir bağımlı değişken ve X ile sembolize edilen bir bağımsız değişken tespit edilir [39]. Regresyon analizinin temel matematiksel çıkarımı Ye vd., (2017) [40] tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + e \quad (3.2)$$

Burada;

$\beta_0$ : Sabit katsayı

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ : Lineer, kuadratik ve kübik katsayılar

e: Hata terimi

olarak açıklanmıştır. Regresyon analizinde kurulan bu tip denklemlerin temel amacı bir değişkeni diğer değişken ya da değişkenler vasıtasıyla açıklayabilmektir. Regresyon analizi,  $\beta$  ile ifade edilen katsayıları bularak bağımlı ya da bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonu ya da ilişkiyi tespit edebilmek için geliştirilmiş bir yöntemdir [41].

Çizelge 3.4'te dokuz kuru yük gemisine ait ve regresyon analizinde kullanılacak olan DWT ve  $C_B$  değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 3.4 Gemilere ait DWT ve  $C_B$  değerleri

	Gemi A	Gemi B	Gemi C	Gemi D	Gemi E	Gemi F	Gemi G	Gemi H	Gemi I
DWT	79.100	56.600	38.250	79.150	56.700	38.900	38.250	176.700	29.350
$C_B$	0,86	0,79	0,88	0,91	0,79	0,82	0,87	0,94	0,79

$C_B$  değerleri her gemi için Katsoulis formülüne göre elde edilmiştir. Bu formülde gemi boyu (L), gemi genişliği (B), draft (T) ve hız (V) kullanılarak ampirik olarak  $C_B$  değerine ulaşılır. Eşitlik aşağıda verildiği gibidir [43].

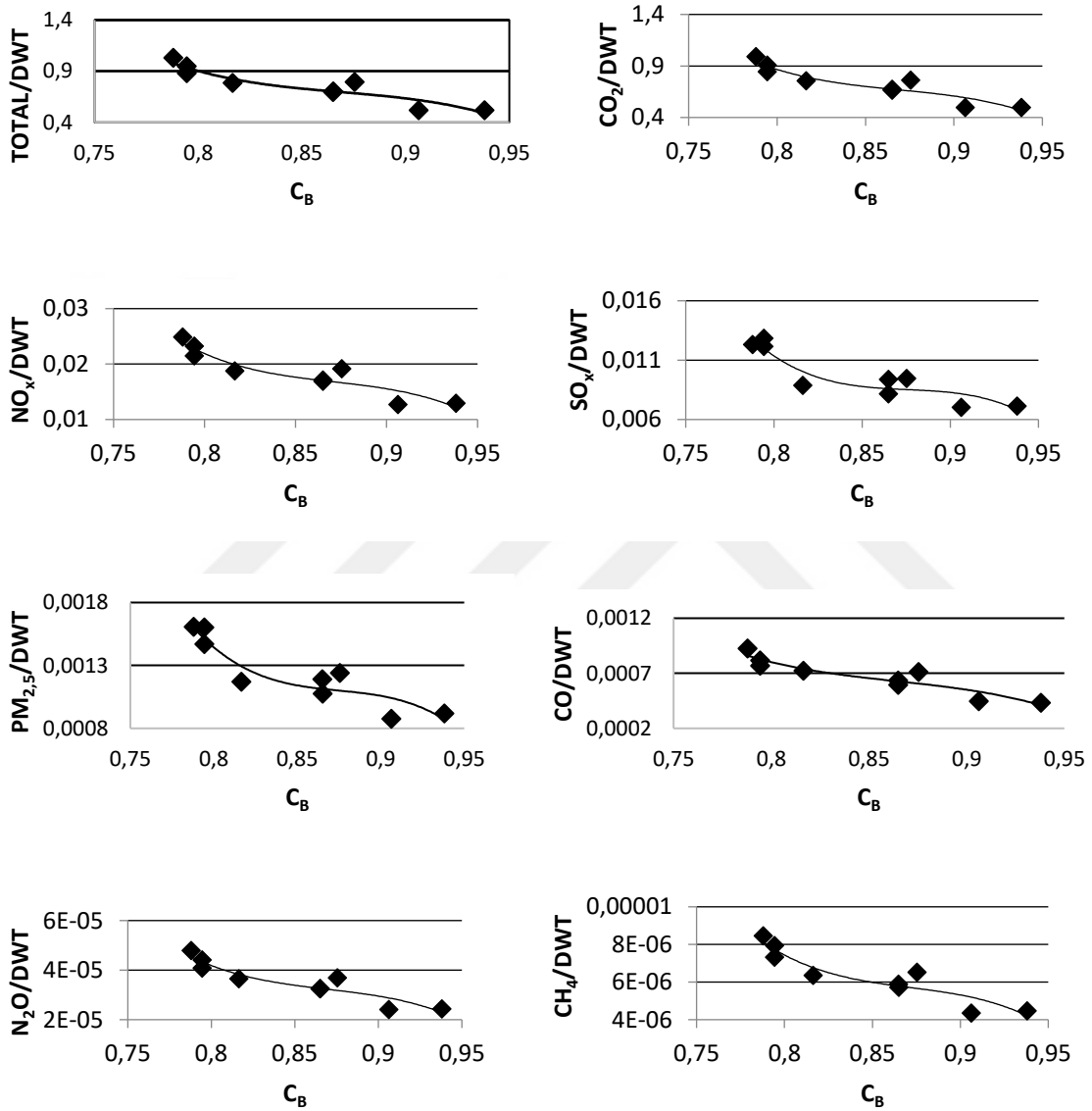
$$C_B = k \times f \times L^a \times B^b \times T^c \times V^d \quad (3.4)$$

Burada;

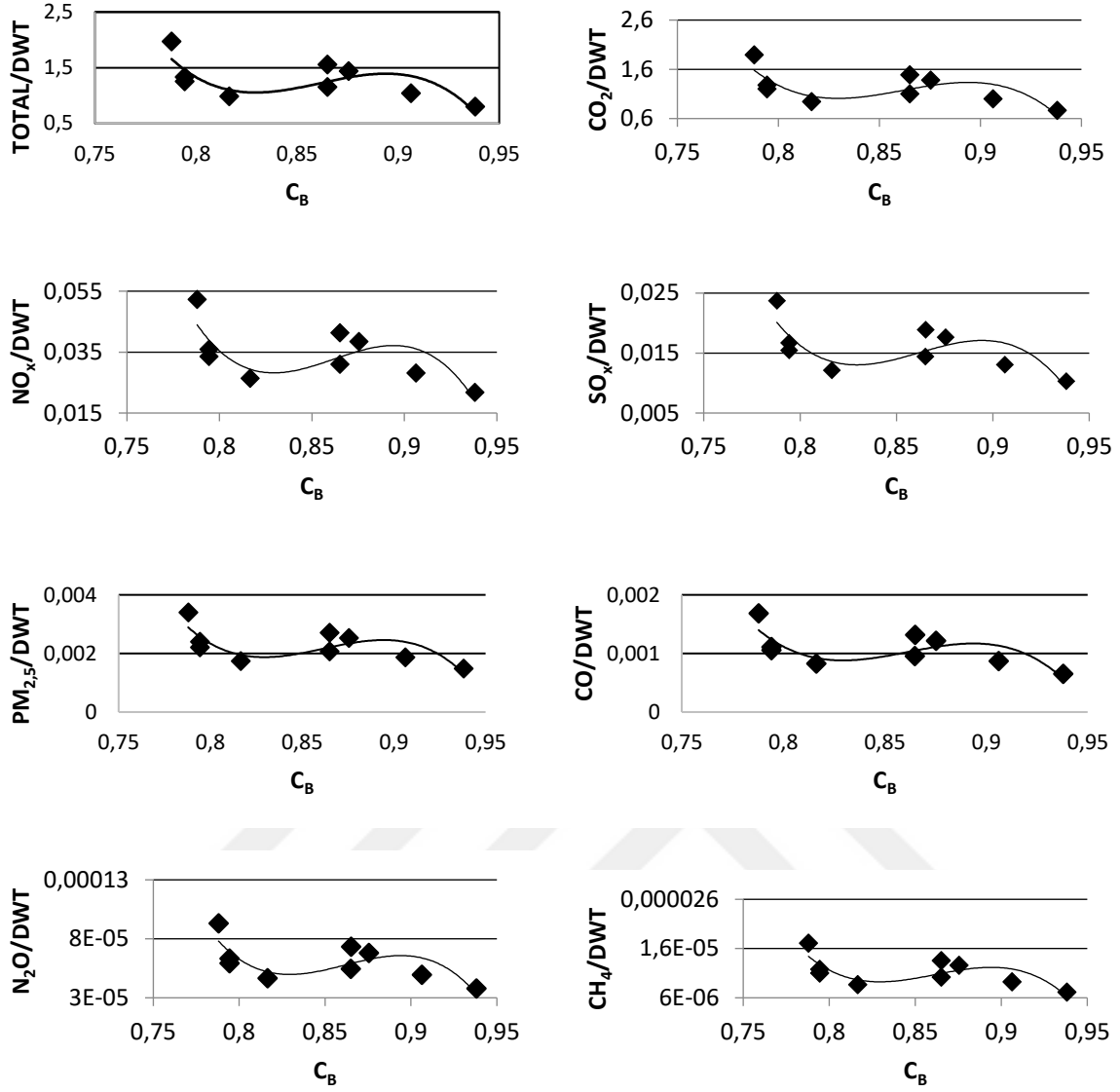
k: 0,8127 f: 0,99 a: 0,42 b: -0,3072 c: 0,1721 d: -0,6135

olarak verilir. L, B, T ve V değerleri her gemi için farklıdır.

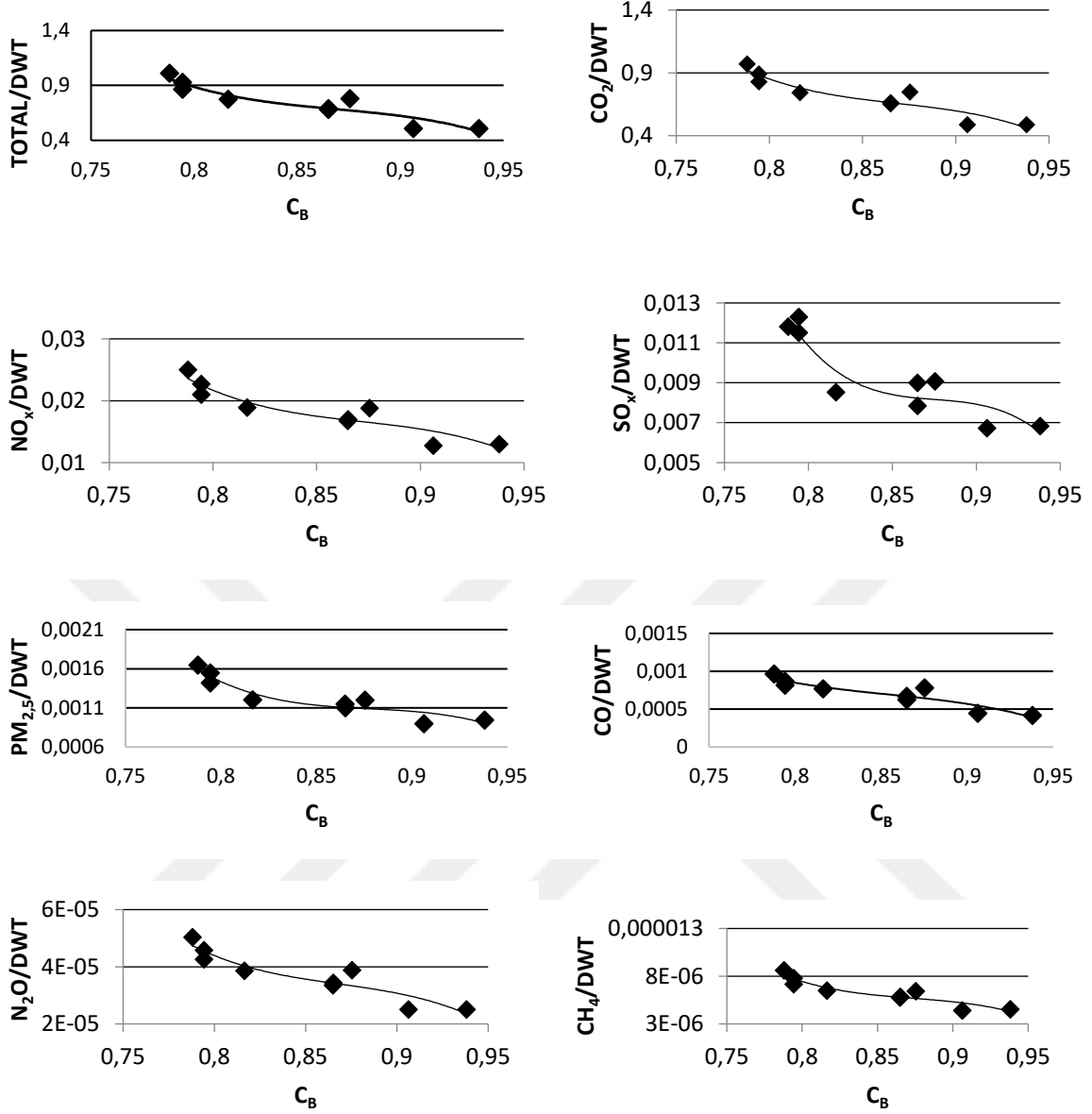
Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4, sırasıyla yakıt tüketimi, makine gücü ve enerji yöntemleri için elde edilen grafikleri göstermektedir. Grafikleri elde etmek için öncelikle her bir gemi için emisyon oranları DWT değerlerine bölünmüştür. Grafiklerdeki değerler regresyon analizine sokulmuş ve sonuç olarak Emisyon/DWT değeri  $f(x)$ ,  $C_B$  değeri ise  $x$  olacak şekilde fonksiyonlar bulunmuştur [13].



Şekil 3.2 Yakıt tüketimi yöntemi için (Emisyon/DWT)/ $C_B$  grafikleri



Şekil 3.3 Makine gücü yöntemi için (Emisyon/DWT)/ $C_B$  grafikleri



Şekil 3.4 Enerji yöntemi için (Emisyon/DWT)/ $C_B$  grafikleri

Bu grafiklerden regresyon analizi yoluyla elde edilen formüller Çizelge 3.5'te verilmiştir [13]. Regresyon analizi sonucunda bilinen değerler ile bilinmeyen değerler arasındaki korelasyonu sağlayan bir polinom elde edilir. Bu polinom, istenilen dereceden olabileceği gibi polinom derecesini arttırmak her zaman daha iyi sonuç vermez. Bununla birlikte aralarında lineer bir korelasyon olmayan değerler arasında belli ölçüde yüksek dereceden polinomlar elde etmek iyi sonuç verecektir. Bu formüllerde bilinen değer olarak  $C_B$  kullanıldığında Emisyon/DWT oranına ulaşabilmek mümkündür. Emisyon/DWT oranında ise DWT bilinen bir değer olduğundan emisyon miktarını tahmin edebilmek mümkün olacaktır.

Çizelge 3.5 Emisyon tahmin formülleri

Tahmin Yöntemi	Kirletici Tipi	Formül	R <sup>2</sup>
Yakıt Tüketimi	NO <sub>x</sub>	Emisyon/DWT= $-6,8792C_B^3 + 17,972C_B^2 - 15,687C_B + 4,5921$	0,88
	SO <sub>x</sub>	Emisyon/DWT= $-5,3907C_B^3 + 14,162C_B^2 - 12,409C_B + 3,6347$	0,86
	CO <sub>2</sub>	Emisyon/DWT= $-252,79C_B^3 + 659C_B^2 - 574,34C_B + 168$	0,88
	CH <sub>4</sub>	Emisyon/DWT= $-0,0024C_B^3 + 0,0063C_B^2 - 0,0055C_B + 0,0016$	0,87
	N <sub>2</sub> O	Emisyon/DWT= $-0,0124C_B^3 + 0,0322C_B^2 - 0,0281C_B + 0,0082$	0,88
	CO	Emisyon/DWT= $-0,1942C_B^3 + 0,5036C_B^2 - 0,4372C_B + 0,1277$	0,87
	PM <sub>2,5</sub>	Emisyon/DWT= $-0,5851C_B^3 + 1,536C_B^2 - 1,3453C_B + 0,3942$	0,86
	TOPLAM	Emisyon/DWT= $-265,98C_B^3 + 693,54C_B^2 - 604,54C_B + 176,84$	0,88
Makine Gücü	NO <sub>x</sub>	Emisyon/DWT= $-66,225C_B^3 + 171,21C_B^2 - 147,34C_B + 42,237$	0,60
	SO <sub>x</sub>	Emisyon/DWT= $-29,631C_B^3 + 76,618C_B^2 - 65,945C_B + 18,908$	0,60
	CO <sub>2</sub>	Emisyon/DWT= $-2418,2C_B^3 + 6251,3C_B^2 - 5379,1C_B + 1541,9$	0,60
	CH <sub>4</sub>	Emisyon/DWT= $-0,0216C_B^3 + 0,0559C_B^2 - 0,0481C_B + 0,0138$	0,60
	N <sub>2</sub> O	Emisyon/DWT= $-0,1186C_B^3 + 0,3066C_B^2 - 0,2638C_B + 0,0756$	0,60
	CO	Emisyon/DWT= $-2,1763C_B^3 + 5,6249C_B^2 - 4,8394C_B + 1,387$	0,59
	PM <sub>2,5</sub>	Emisyon/DWT= $-4,25C_B^3 + 10,99C_B^2 - 9,4589C_B + 2,7121$	0,60
	TOPLAM	Emisyon/DWT= $-2521,8C_B^3 + 6519C_B^2 - 5609,4C_B + 1607,9$	0,60
Enerji	NO <sub>x</sub>	Emisyon/DWT= $-6,4143C_B^3 + 16,781C_B^2 - 14,671C_B + 4,3029$	0,88
	SO <sub>x</sub>	Emisyon/DWT= $-5,1295C_B^3 + 13,472C_B^2 - 11,801C_B + 3,4556$	0,87
	CO <sub>2</sub>	Emisyon/DWT= $-246,85C_B^3 + 643,43C_B^2 - 560,7C_B + 164,01$	0,88
	CH <sub>4</sub>	Emisyon/DWT= $-0,0022C_B^3 + 0,0058C_B^2 - 0,005C_B + 0,0015$	0,88
	N <sub>2</sub> O	Emisyon/DWT= $-0,0123C_B^3 + 0,0319C_B^2 - 0,0278C_B + 0,0081$	0,87
	CO	Emisyon/DWT= $-0,187C_B^3 + 0,4792C_B^2 - 0,4117C_B + 0,1192$	0,85
	PM <sub>2,5</sub>	Emisyon/DWT= $-0,5273C_B^3 + 1,3893C_B^2 - 1,2214C_B + 0,3594$	0,89
	TOPLAM	Emisyon/DWT= $-259,24C_B^3 + 675,89C_B^2 - 589,1C_B + 172,33$	0,88

Bu formüllerin geliştirilmesindeki esas amaç gemi henüz ön dizayn aşamasındayken, yani daha ortada gemiye dair belki çizim bile yokken geminin üretebileceği potansiyel emisyonların çok erken bir aşamada hesaplanmasını sağlamaktır. Böylece geminin tahmini rotaları üzerinde bulunabilecek ECA gibi özel kurallara tabi bölgelere girip giremeyeceği önceden belirlenebilecek, küresel ve bölgesel ölçekte toplam gemi emisyonları daha hızlı ve kolay bir şekilde hesaplanabilecektir. Bu çalışma, mevcut ve gelecekteki toplam emisyon miktarlarının hesaplanmasını sağlayacağından emisyonların sınırlandırılması anlamında da bir ön çalışma olarak kabul edilebilir. Gemi kökenli emisyonların azaltılması yönünde uygulanan kısıtların emisyon miktarları üzerinden de geliştirilmesinin mümkün olabileceği göz önüne alınarak hazırlanan bu formüller, geleceğe dair toplam emisyon miktarlarının hesaplanmasında kolaylık sağlayacağından kısıtların geliştirilmesine de katkı sağlayacaktır.

Öte yandan, bu bölümde elde edilen sonuçlar her ne kadar gemi emisyonlarının hesaplanması için yenilikçi bir yöntem olarak kabul edilse de regresyon analizinin kısıtları nedeniyle emisyon tahminler için yeni yöntemlere de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu analizde geliştirilen formüller, geminin dinamik koşullar altında gerçekleştirdiği değişken yolculuk bilgilerinden bağımsız olarak yalnızca emisyon tahmin yöntemleri yoluyla elde edilen tek bir veriye bağlı olduğundan



yeterli güvenilirlik düzeyine ulaşamamaktadır. Emisyon tahmin yöntemleri ile elde edilen emisyon miktarları arasındaki fark % 61,  $R^2$  değerleri arasındaki fark ise % 41 seviyelerinde bulunmuştur ki bu da regresyon analizinden elde edilen sonuçların güvenilirliğini düşürmektedir. Bu amaçla, bu bölümde gemi sayısı ona çıkarılarak hesap yöntemi değiştirilmiştir.

### **3.3 Meta-Sezgisel Yöntemlerle Gemi Emisyonları Tahmini**

Geleneksel matematiksel yöntemlere ek olarak son yıllarda sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler de gemi inşaatı uygulamalarında hesaplama ve tahmin yöntemleri olarak uygulama alanı bulmaktadır. Bu yöntemler, matematiksel altyapıya dayansalar da geleneksel yöntemlerden farklı olarak ampirik temeller üzerine kurulmuşlardır. Sezgisel ve meta-sezgisel yöntemleri geleneksel yöntemlerden ayıran en temel özellik, sonuçların ya da optimum çözümün güvenilirliğini kesin olarak garanti edememeleridir. Bununla birlikte bu yöntemler, aralarında kesin bir korelasyon tespit edilemeyen, bağlantıları matematiksel formüllerle açıklanamayan ve çözülmesi zor problemlerde iyi sonuçlar verecek şekilde eğitilebilmektedir. Bu sistemler için genel olarak yapay zeka tanımlaması yapılır ve sisteme verilen ön bilgilerden sonra sistemin kendi iç zekası ile kendi kendini eğitmesi ve sonuca ulaşması hedeflenir. Bir diğer meta-sezgisel yöntem olan makine öğrenmesi ise yapay zekanın daha güncel bir uygulaması olup makinelerin veriye ulaşmalarını ve kendi içlerine öğrenmelerinin yolunu açan bir sistemler bütünüdür.

Bu kısımda Mathworks® MATLAB Neural Network Toolbox paket programındaki yapay sinir ağları aracı kullanılarak, gemilerin üç yıl boyunca kayıt altına alınan günlük verilerinden sefer süresi (dakika), makine çalışma devri (devir/dakika), gemi hızı (knots), deplasman (ton), hava durumu (Bofor ölçeği), deniz durumu (Bofor ölçeği) ve ortalama draft (metre) verilerinden girdi; emisyon miktarı verisinden ise çıktı olarak faydalanılmıştır. Hesaplamalar için Mathworks® MATLAB Neural Network Toolbox içinde hazır halde bulunan TRAINBFG, TRAINBR, TRAINCGB, TRAINCGF, TRAINCGP, TRAINGD, TRAINGDM, TRAINGDA, TRAINGDX, TRAINLM, TRAINOSS, TRAINR, TRAINRP ve TRAINSCG eğitim fonksiyonları; LEARNGD ve LEARNGDM öğrenme fonksiyonları; ortalama karesel hata (MSE) ve kareleri alınmış hatalar toplamı (SSE) performans ve hata fonksiyonları 8, 10, 12 nöron sayılarıyla cascade-forward backpropagation (CFB) ve feed-forward backpropagation (FFB) ağ tiplerinde girdilerde log-

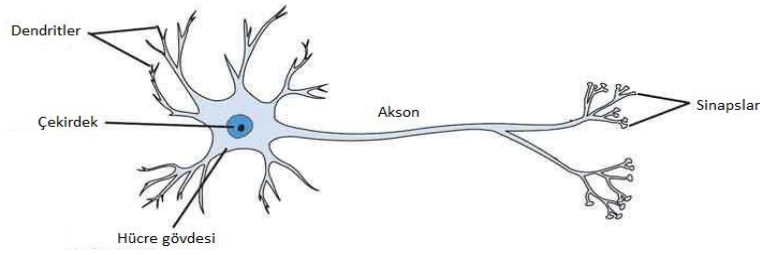
sigmoid (LOGSIG) ve tan-sigmoid veya hiperbolik tanjant (TANSIG); çıktıda ise LOGSIG, TANSIG ve doğrusal (PURELIN) aktivasyon fonksiyonlarına göre çalıştırılmıştır. YSA girdi ve çıktıları ile kullanılan fonksiyonların şematik gösterimi Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 YSA modellemesinde kullanılan girdi, çıktı ve fonksiyonlar

Girdiler	-Sefer süresi -Makine çalışma devri -Gemi hızı -Deplasman -Hava durumu -Deniz durumu -Ortalama draft
Ağ Tipleri	-Feed-forward backpropagation -Cascade-forward backpropagation
Eğitim Fonksiyonları	-TRAINBFG -TRAINBR -TRAINCGB -TRAINCGF -TRAINCGP -TRAINGD -TRAINGDM -TRAINGDA -TRAINGDX -TRAINLM -TRAINOSS -TRAINR -TRAINRP -TRAINSOG
Öğrenme Fonksiyonları	-LEARNGD -LEARNGDM
Performans ve Hata Fonksiyonları	-MSE -SSE
Nöron Sayıları	-8 -10 -12
Aktivasyon Fonksiyonları	-LOGSIG -TANSIG -PURELIN
Çıktı	-Emisyon miktarı

### 3.3.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), en temel tanımıyla öğrenme sürecinde insan beynini taklit eden yapay öğrenme sistemleridir. İnsan beyni, bir kavramı öğrenmeye başladığında öncelikle bu kavramın geçmişteki bilgi ve deneyimleriyle uyuşup uyuşmadığına bakar. Eğer yeni kavram eskilerle uyuşuyorsa beyin, bu yeni kavramı eski kavramların bulunduğu bilgi paketine göndererek bir sınıflama yapar. İnsan beyninin esas öğrenme yöntemi bilgileri sınıflandırarak bilgi paketleri haline getirmektir. Eğer yeni kavram eski kavramlarla uyumsuz ise bu sefer beyin yeni bir kavram paketi oluşturur. Bu açılarından bakıldığında insanın öğrenme sistemi önemli ölçüde geçmiş deneyimlere bağlıdır. YSA'nın şematik yapısı insan sinir hücrelerini taklit ettiği için öncelikle insan sinir hücrelerini açıklamak gerekir. Şekil 3.5 insan sinir hücrelerinin yapısını göstermektedir.

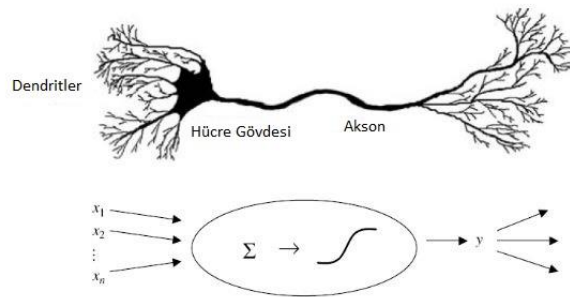


Şekil 3.5 İnsan sinir hücresinin yapısı

Dendritler hücreye gelen bilgileri toplayan; aksonlar bu bilgileri diğer sinir hücrelerine ileten; sinapslar ise bilgileri ağırlıklandırıp bir sonraki sinir hücresinin dendritlerine ileten elemanlardır. Bütün bu sistem nöron olarak adlandırılır ve öğrenmenin kalitesi, sürekliliği ve hızı nöronların birbirleriyle sağlıklı ve güçlü iletişim kurmalarına bağlıdır. Birbirleriyle sürekli iletişim halinde bulunan nöronlar, dış dünyadan gelen bilgiyi birbirlerine aktararak öğrenme sürecini gerçekleştirirler ve bu verileri girdi olarak kullanıp sonuçta öğrenme işlemini çıktı olarak elde ederler. Elmas, (2011) [43] insan öğrenmesinin üç şekilde olduğunu ifade etmiştir. Bunlar

- Yeni aksonlar üreterek
- Aksonları uyararak
- Mevcut aksonların güçlerini değiştirerek

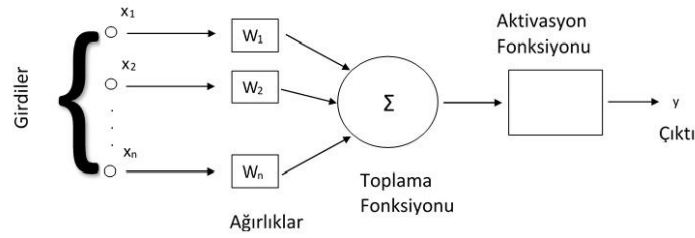
Yapay sinir ağları da bu sinir hücresi yapısını ve öğrenme yöntemini taklit eden yapılardır. İnsan sinir hücresi ile yapay sinir ağı hücresi arasındaki benzerlik Şekil 3.6’da gösterilmektedir [44].



Şekil 3.6 İnsan sinir hücresi ile yapay sinir ağı hücresinin karşılaştırması

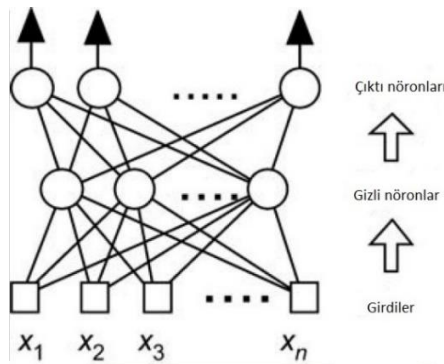
İnsan sinir sistemindeki sinir sistemi, sinir, sinaps, dendrit, hücre gövdesi ve akson yapay sinir ağlarında sırasıyla sinirsel hesaplama sistemi, düğüm, ağırlıklar, toplama fonksiyonu,

aktivasyon fonksiyonu ve sinir çıkışına tekabül etmektedir [43]. Yapay sinir ağının genel yapısı Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Yapay sinir ağı çalışma prensibi

Girdiler, sinir ağını eğitmek için kullanılacak olan ve çok sayıda farklı bilgi kaynağından gelip lineer bir korelasyon içinde olmayan verileri içerir. YSA'nın diğer geleneksel sistemlere kıyasla üstün olduğu tarafların başında da bu özelliği gelir. YSA sayesinde lineer olmayan ve aralarında gözle görülür bir korelasyon bulunmayan veri setleri işlenerek sonuca ulaşmak mümkün olabilmektedir. Bu bağlamda YSA, insan beynini taklit etmektedir. Ağırlıklar, her bir girdinin sisteme olan etkisini ifade eder. Bazı girdiler çıktılar üzerinde daha fazla etkiye sahip olurken bazıları daha az etkiye sahiptir. Toplama fonksiyonu girdilerin ağırlıklarıyla olan etkileşimlerini işleyerek sistemi aktivasyon fonksiyonuna hazır hale getirir. Bu şekilde aktivasyon fonksiyonuna gelen veriler bu fonksiyon tarafından işlenerek verilerin çıktıları belirlenir. YSA her zaman yukarıda görüldüğü gibi tek katmanlı olarak çalışmaz. Girdiler ile çıktılar arasında bazen birden fazla gizli katman da bulunabilir. Şekil 3.8 [45], daha karmaşık bir YSA modeline temel bir örnek olarak görülmektedir.



Şekil 3.8 Karmaşık YSA modeli

Yapay sinir ağlarının temeli sayılabilecek nörobiyolojik çalışmalar ilk olarak 1900'lerin başında çalışılmaya başlanmış bir konudur. Tekil bir nöron için ilk matematik model McCulloch ve Pitts tarafından 1943 yılında yapılmıştır. Hebb, 1949'da geliştirdiği öğrenme kuralında birbirine

bağlı iki düğümün aynı anda açık veya kapalı olup olmadığının incelenerek bağlantı ağırlıklılıklarını kademeli olarak modifiye eden bir sistem geliştirmiştir ve bu sistem halen kullanımdadır. 1958 yılında Rosenblatt perceptron modelini geliştirmiştir. Bu modelde nöronların ağırlıklarının sisteme olan etkilerine göre ödüllendirilip cezalandırıldıkları “dereceli azalma” yöntemi kullanılmıştır. Bu temel çalışmaların ardından YSA sistemleri yaygınlaşmış ve hemen her alanda kullanılmaya başlanmıştır [46]. 1959’da Bernard Widrow ve Marcian Hoff, telefon hatlarındaki yankıları yok eden uyarlanabilir bir sistem olarak kullanılmış olup gerçek dünya sorunlarına çözüm arayan ilk yapay sinir ağı olmuştur. 1969’da Minsky ve Papert, perceptron yönteminin yetersiz olduğunu düşünerek daha karmaşık problemlerin çözümü için iki katmanlı ileri beslemeli ağların kullanılması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Bu öneride eksik olan ve gizli katman ağırlıklarının nasıl değiştirilmesi gerektiğine dair sorun ise Rumelhart ve arkadaşları tarafından geri yayılım yöntemi ile çözülmüştür. John Hopfield, 1982 yılında yapay sinir ağlarının insan beyninin basit bir kopyası olması mantığına son vererek ilgili matematiksel yöntemleri geliştirmiştir. 1984’te ise Kohonen tarafından danışmansız öğrenme ağları geliştirilmiştir. YSA modellerinin diğer modellere göre en önemli üstünlüğü ve aynı zamanda zayıflığı öğrenme sürecidir. YSA modeli, çeşitli sistemlere uyarlanabilir sistemler olup iyi bir öğrenme süreci altında eğitilirse gerçeğe çok yakın sonuçlar çıkarabilecekleri gibi öğrenme sürecindeki başarısızlık, güvenilir sonuçların elde edilememesine yol açar. Bazı durumlarda ise sistem analiz etmeye uygun olmayabilir. Bu gibi durumlarda sistemin değiştirilmesi gerekebilir. Yapay sinir ağlarının bir diğer sakıncası ise öğrenme sürecindeki ezberleme tehlikesidir. Sistem, verileri öğrenirken ezberlese yeni bir bilginin girişine izin vermez ve sonuçlar gerçekten uzaklaşarak sabit hale gelebilir. YSA modellerinin kullandığı bazı öğrenme kuralları vardır. Hebb kuralı 1949’da Donald Hebb tarafından geliştirilmiş olup kurala göre bir sinir başka bir sinirden giriş alırsa ve her ikisi de matematiksel olarak aynı işarete sahipse sinirler arası boyut kuvvetlendirilir. Bir diğer kural olan Hopfield kuralına göre girdi ve çıktılarının her ikisi de aktif veya durgun ise bağlantı boyutları öğrenme oranı kadar arttırılır, aksi durumda ise aynı oranda azaltılır. Delta kuralı, Hebb kuralının geliştirilmiş hali olup çıktılarının gerçeğe yakınsaması için girdi bağlantı güçlerini sürekli olarak arttırmaya dayanır. Hata, bir önceki katmana göre geri çoğaltılır ve bu işlem ilk katmana ulaşıncaya kadar sürer. Eğimli iniş kuralında ise transfer fonksiyonunun türevi bağlantı ağırlıklarına uygulanmadan önce delta hatasını düzeltmek için kullanılır [43].

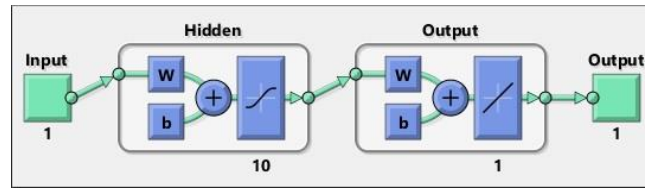
Yapay sinir ağlarının kullanım alanları çok geniş olabilir ve YSA modeli birbiriyle hiç ilgisi olmayan değişkenler arasında bir korelasyon geliştirebilir. Bununla birlikte burada dikkat edilmesi gereken husus, girdi ve çıktılar arasında mantıklı bir bağlantı kurulabilmesidir.

### 3.3.2 YSA Modelinde Kullanılan Fonksiyonlar, Açıklamaları ve Örnek Kullanımları

Bu kısımda YSA modelinde kullanılan ağ tipleri (cascade-forward backpropagation ve feed-forward backpropagation); aktivasyon fonksiyonları (LOGSIG, TANSIG ve PURELIN); eğitim fonksiyonları (TRAINBFG, TRAINBR, TRAINCGB, TRAINCGF, TRAINCGP, TRAINGD, TRAINGDM, TRAINGDA, TRAINGDX, TRAINLM, TRAINOSS, TRAINR, TRAINRP ve TRAINSCG); öğrenme fonksiyonları (LEARNGD ve LEARNGDM); performans ve hata fonksiyonları (MSE ve SSE) tanımlanmıştır.

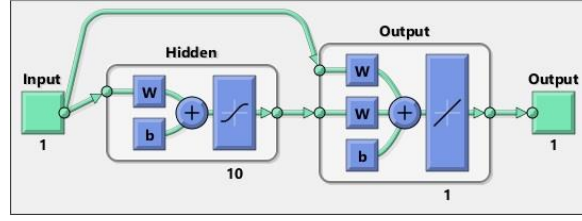
#### 3.3.2.1 Ağ Tipleri

FFB algoritmaları bir katmanlar serisinden meydana gelir. İlk katman girdilerle ilişkiliyken son katman çıktı ile ilişkilidir. Girdilerden gelen veriler katmanlar aracılığıyla çıktılara iletilir. İlk katman, dış ortamdaki aldığı veriyi değiştirmeden bir sonraki katmana iletir ve öğrenme bu şekilde ilerledikçe bulunan hatalar geriye doğru yayılarak sistem, mümkün olduğunca doğru bir öğrenme algoritması oluşturmaya çalışır. Şekil 3.9'da bu ağ tipinin şeması gösterilmektedir [47]. FFB algoritmaları sadece ileri doğrultuda ilerleyen yani gizli nöronlar arasında döngüsel bir bağlantısı olmayan ve çok yaygın olarak kullanılan algoritmalarıdır. Bu algoritmalar, karmaşık doğrusal olmayan ağ ilişkilerini öğrenmekte kullanılabilir [48].



Şekil 3.9 Feed-forward backpropagation ağ tipinin şematik gösterimi

CFB algoritmaları FFB algoritmalarıyla büyük ölçüde benzerlik taşır. Tek fark, girdilerden ve katmanlardan bir sonraki katmana doğrudan bağlantı içermeleridir. Şekil 3.10'da bu ağ tipinin şeması gösterilmektedir [49]. CFB algoritmalarındaki fark, her katmanın nöronları önceki katmanlardaki nöronlarla bağlantı içinde olmasıdır. Bu algoritmalarda öğrenme süreci bir nöronla başlar ve sistem eğitim sırasında otomatik olarak yeni nöronlar üretir [50].



Şekil 3.10 Cascade-forward backpropagation ağı tipinin şematik gösterimi

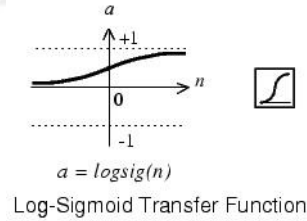
### 3.3.2.2 Aktivasyon Fonksiyonları

Aktivasyon fonksiyonları, toplama fonksiyonundan gelen bilgiyi işleyerek çıktı katmanına iletir. YSA modelleri için çok çeşitli aktivasyon fonksiyonları kullanılsa da bu çalışmada ve pek çok diğer çalışmada üç temel aktivasyon fonksiyonu kullanılır. En sık kullanılan bu üç aktivasyon fonksiyonu LOGSIG, TANSIG ve PURELIN fonksiyonlarıdır.

LOGSIG fonksiyonunun dinamik değişim aralığı [0 1] arasındadır ve bu fonksiyona ait formülasyon aşağıdaki şekilde verilir [51, 52].

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3.5)$$

LOGSIG fonksiyonuna ait şematik gösterim de Şekil 3.11’de gösterilmektedir [53].

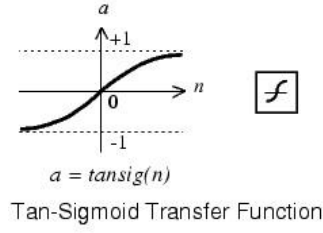


Şekil 3.11 LOGSIG fonksiyonu şematik gösterimi

TANSIG fonksiyonunun dinamik değişim aralığı [-1 1] arasındadır ve bu fonksiyona ait formülasyon aşağıdaki şekildedir [51, 52].

$$f(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1 \quad (3.6)$$

TANSIG fonksiyonuna ait şematik gösterim de Şekil 3.12’de verilmektedir [53].

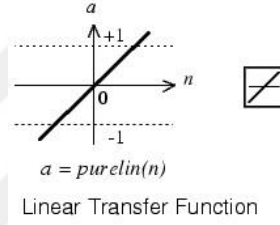


Şekil 3.12 TANSIG fonksiyonu şematik gösterimi

PURELIN fonksiyonunun dinamik değişim aralığı da  $[-1, 1]$  arasındadır ve bu fonksiyona ait formülasyon aşağıdaki gibi verilir [51, 52].

$$f(x) = x \quad (3.7)$$

PURELIN fonksiyonuna ait şematik gösterim Şekil 3.13'te sunulmaktadır [53].



Şekil 3.13 PURELIN fonksiyonu şematik gösterimi

Mathworks® MATLAB Neural Network Toolbox içerisinde LOGSIG ve TANSIG fonksiyonları gizli katmanda, PURELIN ve TANSIG fonksiyonları ise çıkış katmanında kullanılmıştır. LOGSIG fonksiyonu çıkış katmanı için de denenmiş olup anlamlı sonuçlar alınamamıştır. PURELIN fonksiyonu ise paket program içinde gizli katmanda tanımlı değildir.

LOGSIG ve TANSIG fonksiyonlarının kullanılabilmesi için verilerin normalize edilmesi gerekmektedir. Eşitlik 3.8 [52, 54] ve 3.9 [51] sırasıyla LOGSIG ve TANSIG fonksiyonları için normalize formüllerini vermektedir.

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3.8)$$

$$x_{norm} = 2 \times \left( \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \right) - 1 \quad (3.9)$$

### 3.3.2.3 Eğitim Fonksiyonları

Eğitim fonksiyonları, girdileri belli bir kurala göre kullanarak sistemi eğitip çıktıları ulaştırmak amacıyla kullanılır. Başka bir deyişle eğitim fonksiyonları girdilerden çıktıya ulaşmak için bir



harita görevi görür. Bu çalışmada Mathworks® MATLAB Neural Network Toolbox paket programında bulunan TRAINBFG, TRAINBR, TRAINCGB, TRAINCGF, TRAINCGP, TRAINGD, TRAINGDM, TRAINGDA, TRAINGDX, TRAINLM, TRAINOSS, TRAINR, TRAINRP ve TRAINSCG eğitim fonksiyonları kullanılmıştır.

TRAINBFG (BSGS quasi-Newton backpropagation),

$$x_{k+1} = x_k - A_k^{-1} g_k \quad (3.10)$$

formülüne dayanır. Burada  $A_k^{-1}$  Hessian Matrisi olarak adlandırılır. Hessian Matrisi, skaler bir fonksiyonun ya da skaler bir alanın ikinci dereceden kısmi türevlerinin kare matrisidir. Hessian Matrisi, çok sayıda değişkene ait bir fonksiyonun yerel eğrilik derecesini tanımlar. Quasi-Newton (Newton benzeri) olarak adlandırılan yöntemlerde ikinci türevleri hesaplama kısmına gerek duyulmadan gerekli ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli kurulabilir. BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno) bu yöntemlerden en bilineni ve en başarılı olanıdır. Küçük ağlarda etkili bir yöntem olarak kullanılır [55]. TRAINBR (Bayesian regularization backpropagation), sinir ağı içindeki ağırlık ve sapmaları Levenberg-Marquardt optimizasyonuna göre düzenler. Önce hata ve ağırlık kombinasyonlarını minimize ederek uygun kombinasyona ulaşmaya çalışır. Bu yöntem, ağırlıklar, net girdiler ve transfer fonksiyonları türev fonksiyonlarına sahip tüm ağlarda uygulanabilir [56]. TRAINCGB (Conjugate gradient backpropagation with Powell-Beale restarts),

$$|g_{k-1}^T g_k| \geq 0,2 \|g_k\|^2 \quad (3.11)$$

formülüne dayanır. Normalde iterasyon sayısı ağ parametrelerinin (ağırlık ve sapma) sayısına eşit olduğu durumlarda standart bir ilk durum oluşur. Tanımlanan eşitsizliğe göre ise güncel gradyan ile önceki gradyan arasındaki ortogonal fark çok az olduğu durumlarda sistem bir ilk durum atar [57]. [58]'deki bilgilere göre TRAINCGF (Conjugate gradient backpropagation with Fletcher-Reeves updates), büyük veri setleriyle çalışıldığında daha iyi sonuç vermektedir. Eşlenik gradyan algoritması, ilk iterasyonda en dik iniş algoritmasını araştırmakla başlar.

$$(p_0 = -g_0) \quad (3.12)$$

Sonra, mevcut araştırma yönündeki optimal mesafeyi bulabilmek için satır araştırması yapılır.

$$(x_{k+1} = x_k + \alpha_k p_k) \quad (3.13)$$

Sonra ise önceki araştırma yönleriyle eşlenik olan bir sonraki araştırma yönüne karar verilir.

$$(p_k = -g_k + \beta_k p_{k-1}) \quad (3.14)$$

TRAINCGP (Conjugate gradient backpropagation with Polak-Ribière updates), yönteminde de her bir iterasyon

$$p_k = -g_k + \beta_k p_{k-1} \quad (3.15)$$

formülüyle bulunur. Polak-Ribière güncellemesinde

$$\beta_k = \frac{\Delta g_{k-1}^T g_k}{g_{k-1}^T g_{k-1}} \quad (3.16)$$

olarak verilmiştir [59]. TRAINGD (Gradient descent backpropagation) yönteminde ağırlıklar, net girdileri ve transfer fonksiyonları türevlenebilir fonksiyonlarsa bütün ağırlar eğitilebilir.  $x$  değişkeninin ağırlık ve sapmalarına bağlı olarak performans türevleri geri yayılım yöntemiyle hesaplanır [60]. TRAINGDM (Gradient descent with momentum backpropagation) yönteminde ağırlıklar, net girdileri ve transfer fonksiyonları türevlenebilir fonksiyonlarsa bütün ağırlar eğitilebilir.  $x$  değişkeninin ağırlık ve sapmalarına bağlı olarak performans türevleri geri yayılım yöntemiyle hesaplanır. Hesaplamalarda bir de gradyan inişin momentumu kullanılır [61]. TRAINGDA (Gradient descent with adaptive learning rate backpropagation) yönteminde ağırlıklar, net girdileri ve transfer fonksiyonları türevlenebilir fonksiyonlarsa bütün ağırlar eğitilebilir.  $x$  değişkeninin ağırlık ve sapmalarına bağlı olarak performans türevleri geri yayılım yöntemiyle hesaplanır. Var olan iterasyonun ağırlık ve sapmaları kullanılarak yeni iterasyonların ağırlık ve sapmaları hesaplanır [62]. TRAINGDX (Gradient descent with momentum and adaptive learning rate backpropagation) yönteminde ağırlıklar, net girdileri ve transfer fonksiyonları türevlenebilir fonksiyonlarsa bütün ağırlar eğitilebilir.  $x$  değişkeninin ağırlık ve sapmalarına bağlı olarak performans türevleri geri yayılım yöntemiyle hesaplanır. Hesaplamalarda bir de gradyan inişin momentumu ve uyarlanabilir öğrenme oranı kullanılır [63]. TRAINLM (Levenberg-Marquardt backpropagation) yönteminde ağırlık ve sapmalar Levenberg-Marquardt optimizasyon yöntemine göre güncellenir. Quasi-Newton yöntemi gibi bu yöntemde de Hessian Matrisi kullanılır. Hessian Matrisi

$$H = J^T J \quad (3.17)$$

ile hesaplanır. Gradyan ise

$$g = J^T e \quad (3.18)$$

ile hesaplanır. Burada J, ağırlık ve sapmalara dayalı olarak ağ hatalarının ilk türevlerini içeren Jacobian Matrisi'dir. e ise ağ hatalarının vektörüdür. Levenberg-Marquardt algoritması Hessian Matrisi için

$$x_{k+1} = x_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (3.19)$$

güncellemesini kullanır [64]. TRAINOSS (One-step secant backpropagation) yöntemi eşlenik gradyan algoritmalarıyla quasi-Newton algoritmaları arasında bir köprü vazifesi görür ve daha küçük veri setleriyle çalışmaya uygundur. Bütün Hessian Matrisi'ni içermez ve her iterasyonda bir önceki iterasyondaki Hessian Matrisi'ni temel alır [65]. TRAINR (Random order incremental training with learning functions) yönteminde her iterasyonda bütün eğitim vektörleri farklı bir rastgele sıralamaya sokulur [66]. TRAINRP (Resilient backpropagation) yönteminin temel amacı hesaplamalarda yer alan kısmi türevlerin zararlı etkilerini yok etmektir [67]. TRAINSCG (Scaled conjugate gradient backpropagation) yönteminde ağırlıklar, net girdileri ve transfer fonksiyonları türevlenebilir fonksiyonlarsa bütün ağlar eğitilebilir. x değişkeninin ağırlık ve sapmalarına bağlı olarak performans türevleri geri yayılım yöntemiyle hesaplanır [68].

#### 3.3.2.4 Öğrenme Fonksiyonları

Öğrenme fonksiyonları eğitim fonksiyonlarından farklı olarak tekil ağırlıklara odaklanarak bu ağırlıkların nasıl işleneceğiyle ilgilenir. Bu çalışmada Mathworks® MATLAB Neural Network Toolbox paket programında bulunan LEARNGD ve LEARNGDM öğrenme fonksiyonları kullanılmıştır.

LEARNGD (Gradient descent weight and bias learning function) yönteminde

$$dW = lr \times gW \quad (3.20)$$

formülü kullanılır. dW, nörondaki değişim, lr öğrenme hızı ve gW gradyan iniş olarak tanımlanır. Gradyan inişine göre nörondaki girdi ve hata ile ağırlık (veya sapma) ağırlık değişimini hesaplamakta kullanılır [69]. LEARNGDM (Gradient descent with momentum weight and bias learning function) yönteminde

$$dW = mc \times dW_{prev} + (1 - mc) \times lr \times gW \quad (3.21)$$

formülü kullanılır. Burada 3.20 formülünden farklı olarak mc momentum sabiti de işleme dahil olur. Gradyan inişine göre nörondaki girdi ve hata, ağırlık (veya sapma) ile sabit momentum ağırlık değişimini hesaplamakta kullanılır [70].

### 3.3.2.5 Performans ve Hata Fonksiyonları

Performans ve hata fonksiyonları ağ yapısının öğrenme sonuçlarını karşılaştırır ve sistemin eğitimi sırasında oluşan hataları bu kıyaslama üzerinden belirler. Bu çalışmada Mathworks® MATLAB Neural Network Toolbox paket programında bulunan MSE ve SSE performans ve hata fonksiyonları kullanılmıştır.

MSE (Mean squared normalized error performance function) yönteminde hataların veya sapmaların karelerinin ortalaması ölçülür. Değerler her zaman pozitif çıkar ve değer sıfıra yakınsadığı ölçüde hatanın düştüğü anlaşılır [71]. SSE (Sum squared error performance function) yönteminde artık değerlerin (verilerin ampirik değerlerine bağlı öngörülen sapmalar) kareleri toplanır. Bu sayede veri seti ile tahmin yöntemi arasındaki uyumsuzluk incelenir [72].

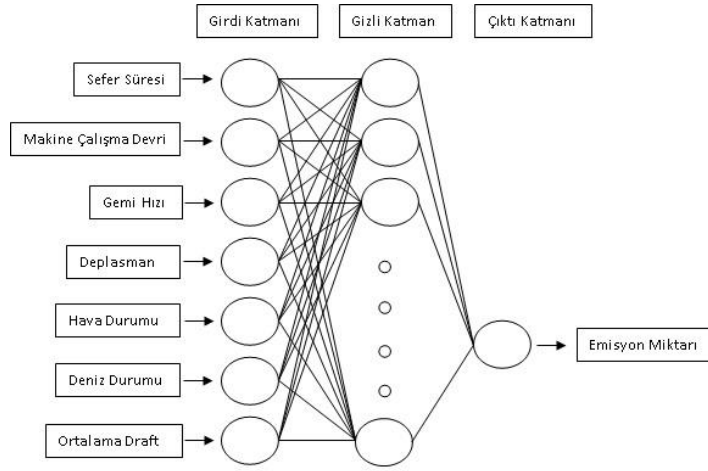
### 3.3.3 Yapay Sinir Ağları ve Denizcilik Sektöründeki Uygulamaları

Gemilerin sefer süresinin artışı, emisyon miktarlarında meydana gelen artışların da doğal bir nedenidir. Çok temel bir mantıkla daha uzun süre çalışan makinenin diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda daha çok yakıt yakacağı sonucuna ulaşılabilir. Dolayısıyla bu konu üzerinde özel bir çalışma yapılmamıştır.

Çelebi, (2008) [73] tersane süreçlerinden olan boya prosesi sonucunda açığa çıkan emisyonları hesaplamak için YSA modellerini kullanmıştır. Çalışmaya göre, YSA modelinin geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Arapatsakos vd., (2011) [74] farklı makine yüklerinde çalışan dört stroklu tek silindirli ve benzinle çalışan bir motorun makine devri (RPM) değerlerinin egzoz emisyonu oluşum hızına etkisini incelemiştir. Sonuç olarak değişik yüklerde çalışan motorun egzoz emisyonu oluşum hızlarına dair RPM'e bağlı ampirik formüller elde etmiştir. Deng vd., (2018) [75] saf benzin ve sulu etanol benzin yakıtlarının kullanımında egzoz gürültüsü, motor performansı ve emisyon karakteristiklerini incelemiştir. Deneyler, 1500-5000 RPM aralığında gerçekleştirilmiştir. E20W tipi sulu etanol benzin, yüksek devirlerde daha düşük hidrokarbon (HC) ve NO<sub>x</sub> emisyonu açığa çıkarırken CO emisyonunu arttırmıştır. Gemi hızının yakıt tüketimi üzerine olan etkileri [25, 29, 32, 34] çalışmalarında ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu çalışmaların ortak sonucu gemi hızının azaltılması durumunda yakıt harcamasının da azalacağı yönündedir. Gusti ve Semin, (2016) [76] da bu çalışmalara benzer olarak gemi hızının yakıt tüketimi ve oluşan emisyon miktarı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yazarlar, deney amaçlı kullandıkları bir geminin hızı

arttıkça sefer süresi düşse bile yakıt harcamasının arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Geminin DWT miktarı ve ortalama draft bilgileri birbirine bağlı veriler olup bu verilerin yakıt harcamı üzerindeki etkileri üzerine doğrudan bir araştırma yapılmamıştır. DWT'nin artmasıyla ortalama draftın artacağı, bu artışla birlikte de geminin daha büyük bir kısmının su altında kalmasından dolayı gemiye uygulanan direncinin artması beklenmektedir. Bunun sonucunda da geminin aynı koşullarda daha fazla yakıt harcaması beklenebilir. [30] çalışmasında draft ve trim verilerinin yakıt harcamı üzerindeki etkilerini de incelemiştir. Çalışmanın sonucuna göre en yüksek yakıt harcamı gemi başa doğru 1-1,5 m trimli ve 11-12 m draftta olduğunda günde ortalama yaklaşık olarak 35 t olarak gerçekleşmiştir. Gemilerin yakıt harcamalarının hava ve deniz durumlarına göre olan değişimleri de fazla incelenmiş konular değildir. Daha sert hava ve deniz koşulları daha fazla hava ve su direnci oluşturacağından daha fazla yakıt harcamı gerçekleşmesi beklenir. Bununla birlikte yakıt harcamı pek çok değişkene bağlı olduğundan bu beklenti kesin bir şekilde doğrulanamaz. [26] çalışmasında dalga yüksekliğinin ve buna bağlı olarak gemi hızının CO<sub>2</sub> emisyonlarına olan etkisi üzerine çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre oluşan CO<sub>2</sub> emisyonları dalga yüksekliğinin artması ve hızın azalmasına bağlı olarak gözle görülür şekilde artmaktadır. Çalışmaya göre hızın sabit kalması durumunda dalga yüksekliği 1 metreden 3 metreye artsa bile CO<sub>2</sub> emisyonları hemen hemen sabit kalmaktadır.

On geminin üç yıl boyunca tüm seyir aşamalarında kayıt altına alınan günlük raporlarından elde edilen sefer süresi, makine çalışma devri, gemi hızı, deplasman, hava durumu, deniz durumu ve ortalama draft verileri girdi, emisyon miktarı ise çıktı olarak kullanılmış olup bu veriler bir gizli katman ile YSA modelinde işlenmiştir. Şekil 3.14, ilgili işlemlere ait YSA modelini göstermektedir. Bu aşamada kullanılan örnek bir set ise Çizelge 3.7'de sunulmaktadır.



Şekil 3.14 Hesaplamalar için oluşturulan YSA modeli

Çizelge 3.7 Modellemede kullanılan veri setinin gerçek ve normalize değerleri

	Sefer süresi	RPM	Hız	Deplasman	Hava durumu	Deniz durumu	Ortalama draft	Emisyon miktarı
GERÇEK VERİ	810	79	13,7	59676,3	5	4	11,3	47,13
	1440	79	13,2	59650,0	5	4	11,3	86,63
	1440	79	13,2	59623,7	4	3	11,3	86,63
	1440	79	14,2	59597,6	5	4	11,3	85,96
	1440	79	13,5	59571,5	4	3	11,3	85,96
LOGSIG NORMALİZE VERİ	0,62	0,66	0,13	0,32	0,60	0,63	0,37	0,71
	0,08	0,66	0,16	0,32	0,60	0,63	0,37	0,44
	0,08	0,66	0,16	0,32	0,75	0,75	0,37	0,44
	0,08	0,66	0,09	0,32	0,60	0,63	0,37	0,44
	0,08	0,66	0,14	0,32	0,70	0,75	0,37	0,44
TANSIG NORMALİZE VERİ	0,25	0,33	-0,75	-0,35	0,20	0,25	-0,25	0,43
	-0,84	0,33	-0,67	-0,35	0,20	0,25	-0,25	-0,13
	-0,84	0,33	-0,67	-0,35	0,40	0,50	-0,25	-0,13
	-0,84	0,33	-0,82	-0,35	0,20	0,25	-0,25	-0,12
	-0,84	0,33	-0,72	-0,35	0,40	0,50	-0,25	-0,12

YSA mantığında Şekil 3.14'te görüldüğü gibi girdi katmanında girdiler olarak kullanılan veriler, gizli katmanda işlenerek çıktı katmanına iletilmektedir. Bu çalışmada yedi girdi, 8, 10 ve 12 nöron kullanılarak çıktı katmanına bağlanmıştır. Şekil 3.14'te nöron sayıları şematik olarak verilmiş olup tüm girdilerin tüm nöronlara bağlanarak çıktıya ulaştığı belirtilmiştir. Nöron sayıları için Mathworks® MATLAB Neural Network Toolbox paket programı 10 nöron sayısını başlangıç değeri olarak vermektedir. Dolayısıyla ilk olarak bu değer kullanılmıştır. Ardından [9] çalışmasında önerilen değer olan 12 nöron sayısı ile çalışma tekrarlanmıştır. Ayrıca 8 nöron ile de hesaplamalar yeniden yapılmıştır.

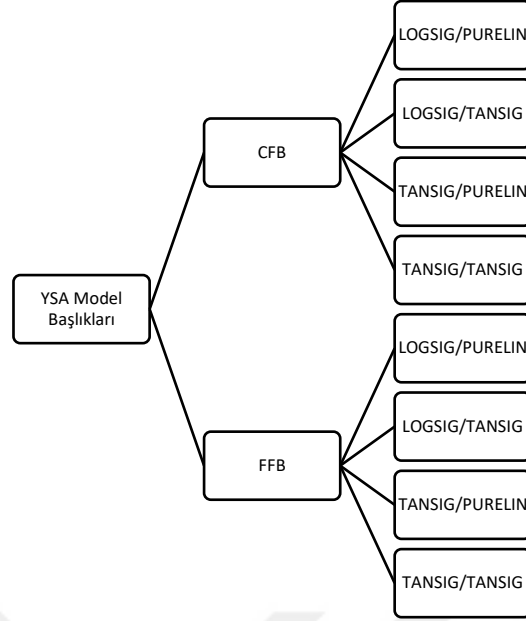
### 3.4 YSA Modeli Sonuçları

Hesaplamalar için kurulan YSA modelinde sefer süresi, makine devri, hız, deplasman, hava durumu, deniz durumu ve ortalama draft girdi olarak kullanılmıştır. Günlük raporlardan elde edilen yakıt harcamalarının Çizelge 3.1’de verilen emisyon faktörleriyle çarpılması sonucu CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM, N<sub>2</sub>O ve CH<sub>4</sub> kirletici türleri için günlük emisyon miktarlarına ulaşılmış ve bu değerlerin toplamı yukarıda tanımlanan girdilerin çıktısı olarak alınmıştır. Bu sayede gemi emisyonlarının yakıt harcamından bağımsız olarak hesaplanması amaçlanmıştır. Toplam 2141 x 7 matrisini oluşturan veri YSA modelinde işlenmiştir. Bu matrisin YSA ile işlenmesiyle en iyi sonuç veren YSA kombinasyonuna ulaşılmaya çalışılmıştır. Tanımlanan bu girdi ve çıktılar, 2 ağ tipi, 3 aktivasyon fonksiyonu, 14 eğitim fonksiyonu, 2 öğrenme fonksiyonu, 2 performans ve hata fonksiyonu ile 3 farklı nöron sayısının bütün kombinasyonlarının oluşturduğu farklı YSA modellerinde denenmiş olup kombinasyonlar özet olarak Çizelge 3.8’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.8 YSA modelinde kullanılan farklı yöntemler

Ağ Tipi	Eğitim Fonksiyonu	Öğrenme Fonksiyonu	Performans ve Hata Fonksiyonu	Nöron Sayısı
FFB/CFB	TRAINBFG	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINBR	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINCGB	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINCGF	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINCGP	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINGD	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINGDM	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINGDA	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINGDY	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINLM	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINOSS	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINR	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINRP	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12
FFB/CFB	TRAINSOG	LEARNGD/LEARNGDM	MSE/SSE	8/10/12

Çizelge 3.6’da sunulan bütün yöntemlerde LOGSIG ve TANSIG aktivasyon fonksiyonları gizli katmanda kullanılırken TANSIG ve PURELIN fonksiyonları çıktı katmanında kullanılmıştır. LOGSIG çıktı katmanında denenmiş ancak anlamlı sonuçlar alınamadığından işlemlere devam edilmemiştir. Bu durumda sonuç olarak FFB ve CFB ağ tipleri için LOGSIG-PURELIN, LOGSIG-TANSIG, TANSIG-PURELIN ve TANSIG-TANSIG kombinasyonları denenmiştir. Hesaplamalar, bu tanımlamalar dahilinde sekiz ana başlıkta toplanmıştır. Bu başlıklar Şekil 3.15’te gösterilmektedir.



Şekil 3.15 YSA model başlıkları

Buna göre her başlıkta 10'ar tane olmak üzere en iyi sonuç veren yani gerçek verilere en yakın sonuçlar sağlayan toplam 80 adet yöntem belirlenmiş olup bu yöntemlerden de en iyilerinin açıklamaları Çizelge 3.9'da sunulmaktadır. En iyi yöntemler belirlenirken kök ortalama kare hatası (RMSE) yöntemi kullanılmıştır. RMSE, özellikle yapay sinir ağlarında sıklıkla tercih edilen bir hata tespiti yöntemi olup gerçek değerler ile modelden elde edilen değerlerin arasındaki hata oranını belirlemek için kullanılır. Bulunan değerın sıfıra yakınsaması hatanın az ve modelin gerçeğe yakın olduğu anlamını taşır. Değer sıfırsa model mükemmeldir.

RMSE yönteminde gerçek ve elde edilen değerler farkının karesinin toplam değer sayısına bölümünün karekökü alınarak bir hata analizi gerçekleştirilir. RMSE yöntemi diğer hata analizi yöntemlerine göre özellikle normal dağılımlı modellerde daha iyi sonuç vermektedir. RMSE için önerilen formül aşağıdaki gibidir [77].

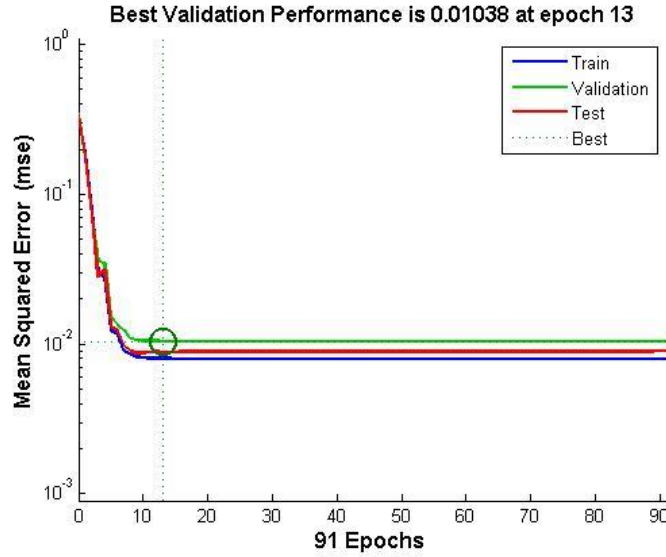
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (3.10)$$



Çizelge 3.9 Model başlıkları için en iyi sonuçlar

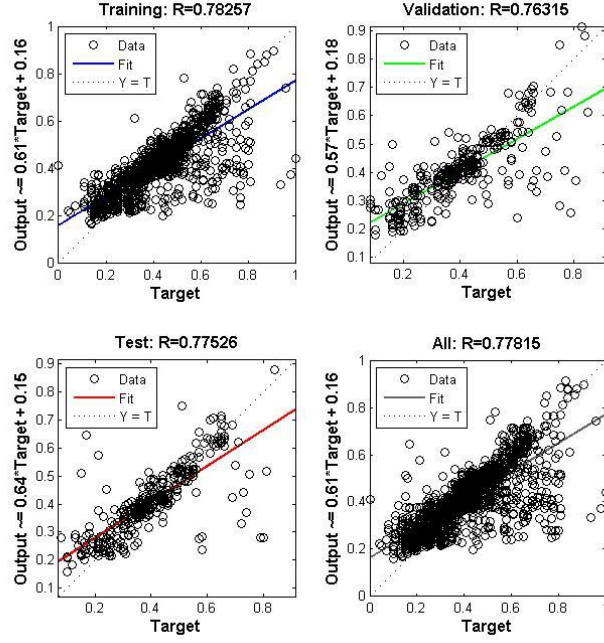
Kod	Ağ Tipi	Aktivasyon Fonksiyonu	Eğitim Fonksiyonu	Öğrenme Fonksiyonu	Performans ve Hata Fonksiyonu	Nöron Sayısı	RMSE
A	CFB	LOGSIG-TANSIG	TRAINBR	LEARNGDM	MSE	12	0,2467
B	FFB	LOGSIG-TANSIG	TRAINCGB	LEARNGD	MSE	8	0,2474
C	FFB	LOGSIG-PURELIN	TRAINCGB	LEARNGDM	MSE	8	0,2479
D	FFB	TANSIG-PURELIN	TRAINBR	LEARNGDM	MSE	10	0,2502
E	FFB	TANSIG-PURELIN	TRAINRP	LEARNGDM	MSE	12	0,2504
F	CFB	LOGSIG-PURELIN	TRAINCGB	LEARNGD	MSE	8	0,2511
G	CFB	TANSIG-TANSIG	TRAINLM	LEARNGDM	SSE	8	0,2514
H	FFB	LOGSIG-TANSIG	TRAINCGB	LEARNGD	SSE	8	0,2525

Bu veriyle yapılan işlemlerden sonra A koduyla ifade edilen, CFB ağ tipinde gizli katmanda LOGSIG, çıktı katmanında TANSIG aktivasyon fonksiyonuyla çalıştırılan, TRAINBR eğitim fonksiyonu ve 12 nöronla eğitilen, öğrenme fonksiyonu olarak LEARNGDM fonksiyonunu, performans ve hata fonksiyonu olarak ise MSE fonksiyonunu kullanan model, en iyi YSA modeli olarak elde edilmiş olup bu model için elde edilen performans ve regresyon grafikleri sırasıyla Şekil 3.16, Şekil 3.17'de gösterilmektedir.



Şekil 3.16 A YSA modeline ait performans grafiği

Buradan görülebildiği gibi sistem en iyi sonuca 13. iterasyonda ulaştığına karar vermiş ancak hesaplamaları 91. iterasyona kadar sürdürmüştür. Bu aşamadan itibaren sistem, verileri tümüyle öğrenmiş olduğunu kabul ederek iterasyonları durdurmuştur.



Şekil 3.17 A YSA modeline ait regresyon grafiği

Bu şekle göre sistem eğitim sürecinde 0,78257; validasyon sürecinde 0,76315 ve test sürecinde 0,77526  $R^2$  değerlerine ulaşmıştır. Şekil 3.18’de görüldüğü üzere ortalama  $R^2$  değeri 0,77815 olarak elde edilmektedir. Ortalama RMSE değeri ise 0,2467 olarak hesap edilmiştir. A koduyla tanımlanan YSA modeline ait ağırlık ve sapmalar Çizelge 3.10’da sunulmaktadır.

Çizelge 3.10 A YSA modeline ait ağırlık ve sapma sonuçları

Nöron	$C_{1i}$	$C_{2i}$	$C_{3i}$	$C_{4i}$	$C_{5i}$	$C_{6i}$	$C_{7i}$	$b_1$
1	1,645	2,3895	0,9342	1,0183	1,0943	1,3133	1,6427	-3,9933
2	2,4013	-0,086539	1,5252	-1,0823	1,5071	-1,4492	-1,5177	-3,2672
3	-1,7487	1,4077	1,1398	2,1106	-1,05	0,027926	2,0124	2,5412
4	2,0932	-1,8134	-0,54572	-2,3574	0,90995	1,0081	-0,75963	-1,8151
5	0,93364	-0,55188	1,0967	-0,43209	1,094	2,7574	-2,1402	-1,0891
6	-1,7497	1,8074	-1,4295	-0,51492	-1,4668	1,9967	-1,0821	0,36302
7	-1,3843	1,8262	1,2877	1,6594	-2,3811	0,29508	0,72524	-0,36302
8	0,23203	2,2742	-2,3171	1,461	-0,0080969	-1,7886	-0,1322	1,0891
9	2,127	0,72406	-1,0371	-1,4558	2,1374	-1,6305	-0,68966	1,8151
10	2,0359	-2,0332	-1,9874	-0,044824	-0,69899	-1,0619	1,4488	2,5412
11	-1,8692	1,906	-2,1994	-0,29707	0,46551	1,8601	0,46549	-3,2672
12	2,2873	2,1094	1,5722	0,71116	-1,3424	-1,1943	0,24168	3,9933

Çizelge 3.10’da verilen ağırlık ve sapmaların YSA matematiksel açısından matematiksel ifadesi aşağıdaki eşitlikte verilmiştir [9].

$$u_i = \sum_{j=1}^n W_{ij}X_j + b_i \quad (3.11)$$

Burada;

$u_i$ : i. nörondaki aktivite

$W_{ij}$ : i. katmandaki j. ağırlık değeri

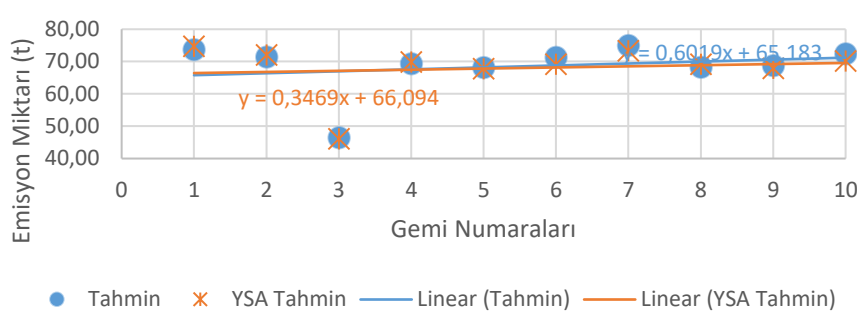
$X_j$ : j. katmandaki çıktı değeri

$b_i$ : i. katmandaki sapma

olarak verilmektedir. Bu verilere göre YSA çözümlemesi sonucu ulaşılan değer aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$u_i = C_{1i} \times \text{Sefer süresi} + C_{2i} \times \text{RPM} + C_{3i} \times \text{Hız} + C_{4i} \times \text{Deplasman} + C_{5i} \times \text{Hava durumu} + C_{6i} \times \text{Deniz durumu} + C_{7i} \times \text{Ortalama draft} + b_i \quad (3.12)$$

10 geminin her biri için ortalama tahmini ve YSA ile tahmin edilen emisyon değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.18’de sunulmuştur.



Şekil 3.18 Gemilere ait emisyon tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Bu verilere göre ortalama hata ortalaması % 1,57 olarak bulunmuştur.

### 3.5 Rota Optimizasyonu

Bu bölümde, bir önceki bölümden elde edilen en iyi YSA kombinasyonu Atlantik ve Pasifik Okyanusları’ndaki ikişer farklı rotaya uygulanmıştır. Rotalardan birisi kuzey enlemlerden geçmekte olup daha kısa sürmekte, diğer ise güney enlemlerden geçmekte olup daha uzun sürmektedir. Kuzey rotaları daha kısa sürmelerine rağmen gemi bu rotada daha sert hava ve deniz koşullarına maruz kalacağından ortalama yakıt harcamasının artacağı düşünülmüştür. Çalışmanın bu bölümünde bu potansiyel artışın gerçekte karşılık bulup bulmadığı hesaplanmıştır. Rota optimizasyonu adı verilen bu olguyla ilgili geçmiş yıllarda çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Prpić-Oršić ve Faltinsen, (2012) [25] deniz durumunun ve özellikle karakteristik dalga yüksekliğinin gemi hızındaki kayba ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> azalımına olan etkilerini incelemişlerdir.

Çalışma sonucuna göre 23 knot hızında seyretmekte olan bir geminin dalga yüksekliğine bağlı hız kaybı geleneksel yöntemlerde 4 m yüksekliğindeki dalgalarla karşılaşmasından sonra azalmaya başlamakta ve 7 m yüksekliğindeki dalgalara denk gelindiğinde hız 19 knot seviyelerine kadar düşmektedir. Yeni yaklaşımlarda hava etkisi de göz önüne alındığında gemi hızının 15 knot seviyesine indiği görülmektedir. Hızdaki en büyük düşüşün dalgaların baştan geldiği durumda gerçekleştiği gözlenmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, İskoçya'nın kuzeyinden başlayıp İzlanda'nın güneyinden devam ederek Kanada kıyılarına ulaşan Kuzey Atlantik Kuzey Rotası'nın kullanıldığı durumda gemi batıdan doğuya giderken sakin sularda seyretme durumuna göre ortalama % 11,5; doğudan batıya giderken ise ortalama % 18,2 daha fazla CO<sub>2</sub> üretmektedir. Fang ve Lin, (2015) [78] tahmini varış zamanı ve yakıt ön planda tutularak ve çeşitli kısıtlar -kara sınırları, karakteristik dalga yüksekliği, RPM ve yalpa verileri- da göz önünde bulundurularak en güvenli ve verimli rotayı belirlemeye çalışmışlardır. Kosmas ve Vlachos, (2012) [79] seyir süresi ve yolculuk konforu verilerine bağlı bir maliyet fonksiyonu üzerinden rota optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Maliyet fonksiyonu rüzgar hızı, rüzgar yönü, dalga yüksekliği ve yönü değişkenlerine bağlı olarak geliştirilmiştir. Lu vd., (2015) [80] yaptıkları çalışmada ana makine yakıt tüketiminin nakliye işine oranını çeşitli deniz koşullarında tahmin etmeye çalışan bir model geliştirmişlerdir. Bu model, yakıt tüketimini Suezmax tipi gemiler için % 5,12; Aframax tipi gemiler için ise % 7,15 hata oranıyla tahmin etmeyi başarmıştır. Lu vd., (2017) [81] Güney Yarımküre'de seyreden bir geminin çeşitli hava koşullarına göre nasıl tepki verdiğini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucuna göre gemi güçlü rüzgarlarla karşılaştığında hızı azalmakta, geminin baş-kıç vurma ve yalpa hareketinde bariz bir artış gözlenmekte ve RPM değerleri düşüş göstermektedir. Buna rağmen, yakıt harcamı, diğer verilere nazaran kullanılan makine gücüne daha çok bağlılık göstermektedir. Sen ve Padhy, (2015) [82] Kuzey Hint Okyanusu'nda sert hava koşullarını tespit ederek geminin yüksek dalgalara sahip sularda seyretmesinden kaçınmasını sağlayan bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritma, rüzgar verisi alamadığı durumlarda bile fırtınayı tespit ederek fırtınanın olduğu bölgeden uzaklaşabilmektedir. Veneti vd., (2017) [83] güvenlik ve yakıt harcamı konularını ele alarak bu konularda en iyi sonucu veren bir rota optimizasyonu modeli geliştirmişlerdir. Kontovas, (2014) [84] daha verimli ve çevre dostu bir rota optimizasyonu hakkındaki görüşlerini paylaşmış, önemli bir bilgi olarak mesafeyi azaltmanın süreyi azaltmak, yakıt maliyetlerini ya da emisyonlarını azaltmanın da yakıt harcamasını azaltmak anlamına gelmeyebileceğini ifade etmiştir.

Bu çalışmada Atlantik Okyanusu için Almanya'nın Hamburg ve ABD'nin Delaware limanları; Pasifik Okyanusu için ise Kanada'nın Vancouver ve Güney Kore'nin Busan limanları jenerik olarak seçilmiştir. Bu rotaların seçilme amacı her iki rotanın da kuzey ve güney olarak ikiye ayrılmasındaki elverişliliklerdir. Atlantik rotasında Hamburg'dan kalkan bir gemi kuzey rotasını tercih ettiğinde İskoçya'nın kuzeyinden dolaşmalı, Pasifik rotasında da benzer şekilde kuzey rotasını tercih eden gemi Japonya'nın kuzeyinden dolaşmalıdır. Güney rotalarının tercih edildiği durumlarda ise gemiler Atlantik rotasında İngiltere'nin, Pasifik rotasında ise Japonya'nın güneyinden dolaşmalıdır. Belirlenen kuzey rotaları daha kısa süreli bir operasyona olanak tanıyacak daha kısa enlemler üzerinden ilerlerken güney rotaları daha uzun enlemler üzerinden ilerleyeceği için daha uzun bir operasyon söz konusu olacaktır. Bununla birlikte güney rotaları üzerinde belirlenen güzergahtaki yıllık ortalama hava ve deniz şartları daha yumuşak olacağından beklenen yakıt harcamı da kuzey rotalarına göre daha düşük olacaktır. Ayrıca deniz koşullarının sertliğinin emisyonlar üzerindeki etkisinin daha sağlıklı incelenebilmesi için her iki rotanın da ocak ve haziran aylarındaki ortalama durumlarına göre hesaplar ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Bu açıdan bakıldığında YSA modeliyle yapılan bu çalışmanın rota optimizasyonuna yeni bir bakış açısı getireceği düşünülmektedir. Çalışmanın bu bölümü için bir önceki bölümde A koduyla tanımlanan YSA modelinin ayıklanmış hali kullanılmıştır. Bu bölümde 3059 x 7 matrisinden oluşan veri setinin tümü eğitim için ayrılmış olup sonuçlara ulaşmak için dört farklı rota için belirlenen yeni değerler kullanılmıştır. Sadece en iyi YSA modeline göre yeniden işlem yapıldığından veri seti LOGSIG fonksiyonuna göre normalize edilmiştir. Karakteristik dalga yüksekliği verisinin seçilmesinin nedeni, bu veri üzerinden Bofor Ölçeği'ne uygun olarak deniz ve hava durumlarını tespit edebilmektir. Bofor Ölçeği'ne ait bilgiler Çizelge 3.11'de verilmektedir.

Çizelge 3.11 Bofor Ölçeği

Bofor Değeri	Tanım	Dalga Yüksekliği (m)	Deniz Durumu
0	Sakin	0	Deniz dümdüz
1	Esinti	0,1	Dalga tepesi olmayan küçük dalgacıklar
2	Hafif rüzgar	0,2	Dalga tepesi kırılmayan küçük dalgacıklar
3	Tatlı rüzgar	0,6	Dalga tepesi kırılan büyük dalgacıklar
4	Orta rüzgar	1	Küçük dalgalar
5	Şiddetli rüzgar	2	Daha uzun dalgalar, denizde köpük oluşumu
6	Güçlü rüzgar	3	Dalga tepesi köpüklenmiş büyük dalgalar
7	Hafif fırtına	4	Köpükler rüzgar doğrultusunda uçuşur
8	Sert fırtına	5,5	Orta yükseklikte dalgalar
9	Güçlü fırtına	7	Yüksek dalgalar, dalga tepeleri yuvarlanır
10	Tam fırtına	9	Çok yüksek dalgalar, deniz köpükten beyaz görünür
11	Sert fırtına	11,5	Olağandışı yüksek dalgalar,
12	Kasırğa	14	Devasa dalgalar, görüş mesafesi azalır

Bu verilere ve geminin rota bilgilerine göre, geminin seyir bilgileri yaklaşık olarak tespit edilmiş olup ilgili bilgiler Çizelge 3.12’de sunulmuştur. Tespit edilen rotalara göre Atlantik Okyanusu’nun kuzey rotası 3727 deniz mili uzunluğundayken güney rotası 3810 deniz mili uzunluğundadır. Benzer şekilde Pasifik Okyanusu’nun kuzey ve güney rotaları sırasıyla 5270 ve 6748 deniz mili uzunluğundadır. Günlük raporlardan elde edilen verilere dayanarak gemilerin saatlik ortalama hızı 12,1 deniz milidir. Buna göre Atlantik Okyanusu’nun kuzey ve güney rotalarındaki bir seyir sırasıyla 12,8 ve 13,1 gündür. Pasifik Okyanusu’ndaki kuzey ve güney rotalarındaki bir seyir de benzer bir hesaplama sırasıyla 18,2 ve 23,2 gün sürmektedir. Çalışmada her rotanın ortalama 15 gün sürdüğü ve geminin bir yıl boyunca aralıksız olarak çalıştığı varsayılmıştır. Limanda bekleme süreleri göz ardı edilmiştir. Buna varsayıma göre gemi, her rotada 24 sefer gerçekleştirmektedir ve Atlantik kuzey-güney ve Pasifik kuzey-güney rotalarında gemi sırasıyla 24 sefer için 308, 315, 436 ve 559 gün operasyonda geçirmektedir. Gün sayıları YSA modelinde numune olarak kullanılacak veri setinin satır sayısı olarak kullanılmıştır.

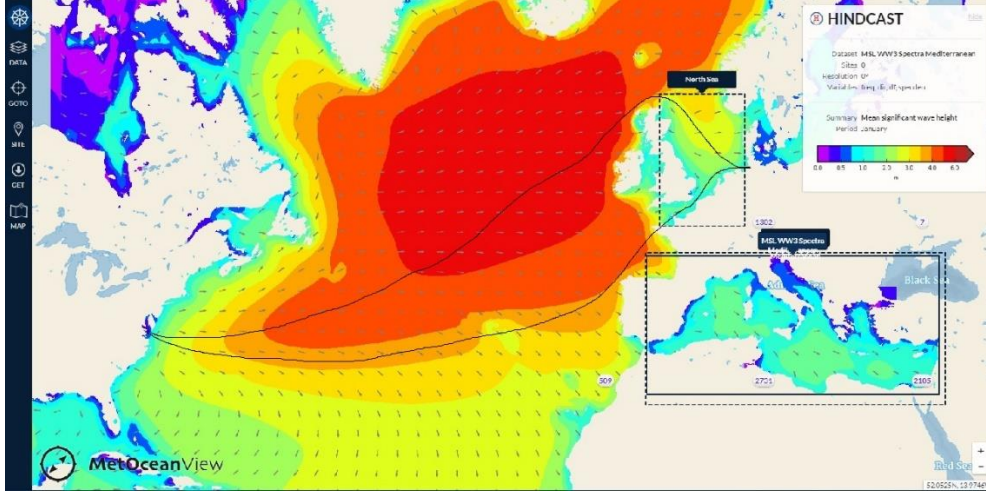
Çizelge 3.12 Belirlenen rotalardaki seyir bilgileri

		Rota Bölgeleri	Mesafe (Deniz Mili)	Ortalama Karakteristik Dalga Yüksekliği (m)	Seyirdeki Gün Sayısı	Deniz Durumu	Hava Durumu
Atlantik-Kuzey	OCAK	1	545	2	45	4	5
		2	2314	5	191	7	8
		3	867	2,5	72	5	6
	HAZİRAN	1	992	2	82	4	5
		2	795	3	66	5	6
		3	1939	2	160	4	5
Atlantik-Güney	OCAK	1	625	2	52	4	5
		2	2358	4	195	6	7
		3	825	2	68	4	5
	HAZİRAN	1	670	1	55	3	4
		2	2569	2	213	4	5
		3	570	1	47	3	4
Pasifik-Kuzey	OCAK	1	1485	4	124	6	7
		2	2121	5,5	175	7	8
		3	1663	3	137	5	6
	HAZİRAN	1	4401	3	364	5	6
		2	595	2	49	4	5
		3	273	1	23	3	4
Pasifik Güney	OCAK	1	5890	4	488	6	7
		2	513	3	42	5	6
		3	345	1	29	3	4
	HAZİRAN	1	901	3	75	5	6
		2	5380	2	445	4	5
		3	466	1	39	3	4

MetOceans verilerinden alınan harita bilgilerine uyarlanan Bofor Ölçeği'ne göre her iki okyanus için de kuzey rotası üç, güney rotası ise iki bölgeye ayrılmıştır. YSA modelinde kullanılan sefer süresi, devir sayısı, hız, deplasman ve ortalama draft verileri gerçek olmaları nedeniyle eğitim verileriyle aynı alınmış olup hava ve deniz verileri belirlenen rotalara göre yeniden düzenlenmiştir.

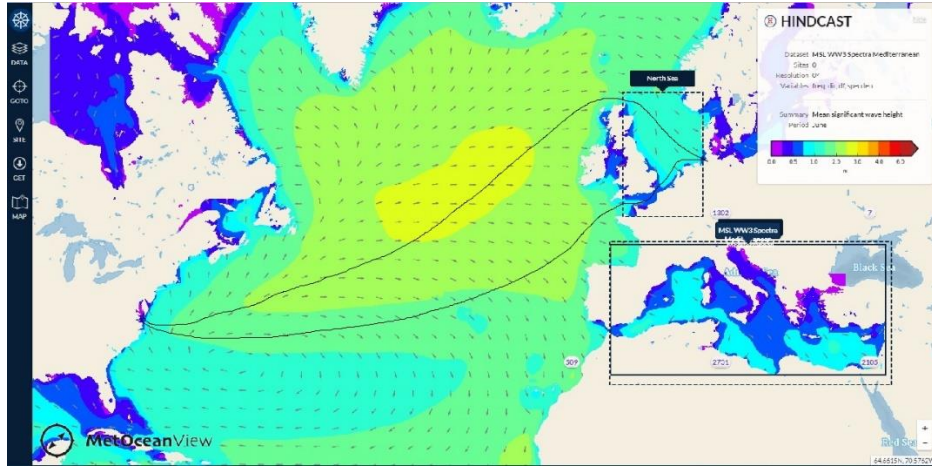
Bu rotalara ait bilgiler, aşağıdaki şekillerde verilmektedir [85].

Atlantik Okyanusu'nun ocak ayındaki kuzey ve güney rotaları Şekil 3.19'da sunulmuştur.



Şekil 3.19 Atlantik Okyanusu için ocak ayındaki kuzey ve güney rotaları

Şekil 3.19'daki kuzey rotası, dalga yüksekliklerinin ortalama 4,5 metre civarında seyrettiği çok sert bir bölgeden geçmektedir. Ayrıca önemli bir süre de dalga yüksekliklerinin ortalama 4 metre civarında olduğu bölgelerde harcanmaktadır. Güney rotası ise görece daha yumuşak suları kapsamaktadır. Dünyanın yuvarlaklığından dolayı rotalar arası mesafenin daha fazla olması beklenmekteyken kuzey rotasına ulaşılması için Britanya adasının çevresinden dolaşılması nedeniyle rotalar arasındaki mesafe farkı azalmıştır. Atlantik Okyanusu'nun haziran ayındaki kuzey ve güney rotaları ise Şekil 3.20'de verilmektedir.

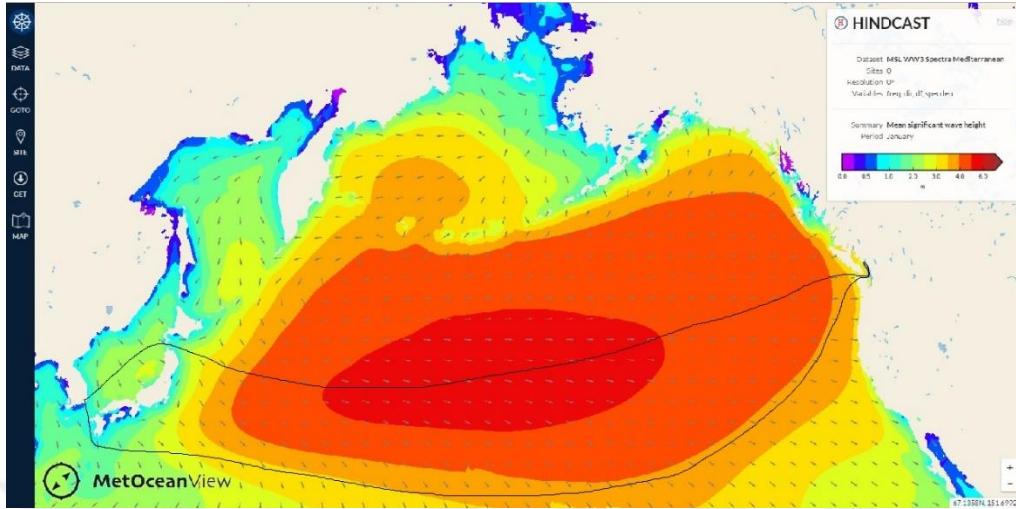


Şekil 3.20 Atlantik Okyanusu için haziran ayındaki kuzey ve güney rotaları

Şekil 3.20'de Atlantik Okyanusu için haziran ayındaki deniz durumu görülmektedir. İrlanda açıklarındaki bölgede dalga yüksekliklerinin yaklaşık 2,5 metre seviyelerinde olmasına rağmen kuzey rotası, çoğunlukla dalga yüksekliklerinin maksimum 2 metre olduğu bölgelerden geçmektedir. Güney rotasının takip ettiği yolda ise dalga yükseklikleri ortalama 1-1,5 metre

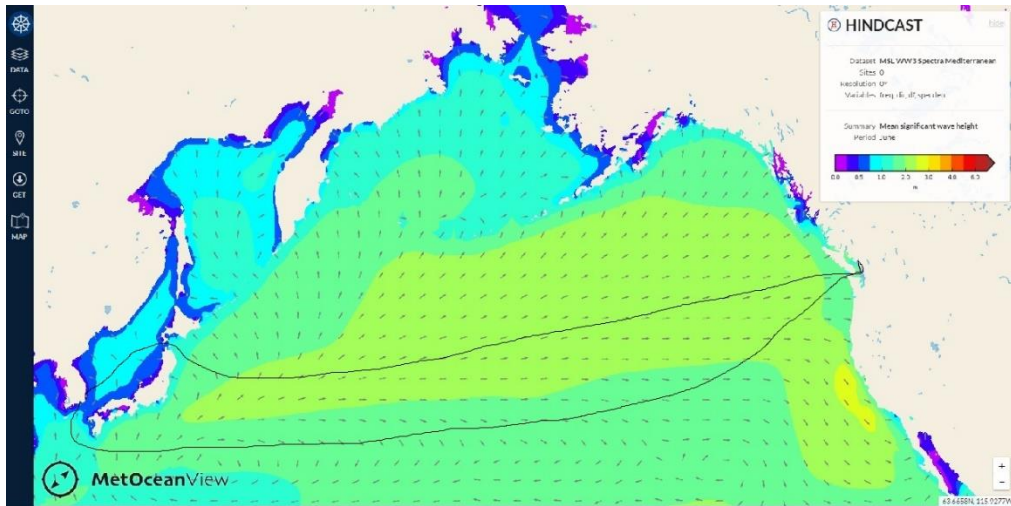


civarındadır. Pasifik Okyanusu'nun ocak ayındaki kuzey ve güney rotaları Şekil 3.21'de gösterilmektedir.



Şekil 3.21 Pasifik Okyanusu için ocak ayındaki kuzey ve güney rotaları

Pasifik Okyanusu'nun kuzey rotası okyanusun tam ortasındaki sert deniz bölgesinden geçmektedir ve bu bölgedeki dalga yüksekliği ortalaması 4,5 metre civarındadır. Bu orta bölgenin çevresinde de dalga yüksekliklerinin ortalama 4 metre olduğu çok geniş bir alan bulunmaktadır ve kuzey rotasını takip eden bir gemi, bütün bu alandan geçmek zorundadır. Güney rotasında ise dalga yükseklikleri maksimum 3,5 metreye ulaşmaktadır. Pasifik Okyanusu'nun haziran ayındaki kuzey ve güney rotaları Şekil 3.22'de belirtilmektedir.



Şekil 3.22 Pasifik Okyanusu için haziran ayındaki kuzey ve güney rotaları

Pasifik Okyanusu'nun haziran ayındaki durumu oldukça stabil görünmektedir. Kuzey rotasını takip eden bir gemi maksimum 2,5 metre yüksekliğindeki dalgalarla karşılaşacak, güney rotasında ise bu ortalama 2 metre civarında olacaktır.

Buna göre oluşturulan veri seti en iyi YSA modelinde modellenmiş ve numune verilerden elde edilen ortalama emisyon değerleri Çizelge 3.13'te sunulmuştur.

Çizelge 3.13 Rota modelleme sonuçları

Rota	Günlük Ortalama Emisyon Değeri (ton)
Kuzey Atlantik-Ocak	86,9
Kuzey Atlantik-Haziran	80,7
Güney Atlantik-Ocak	83,1
Güney Atlantik-Haziran	79,6
Kuzey Pasifik-Ocak	87,0
Kuzey Pasifik-Haziran	82,3
Güney Pasifik-Ocak	86,3
Güney Pasifik-Haziran	81,9

Rotalara uygulanan A kodlu YSA modeline ait ağırlık ve sapma değerleri sırasıyla Çizelge 3.14'te verilmektedir.

Çizelge 3.14 Rotalar için ağırlık ve sapma değerleri

Nöron	C <sub>1i</sub>	C <sub>2i</sub>	C <sub>3i</sub>	C <sub>4i</sub>	C <sub>5i</sub>	C <sub>6i</sub>	C <sub>7i</sub>	b <sub>1</sub>
1	0,089593	0,10477	-0,045435	0,041672	0,094143	-0,030987	-0,02316	0,035502
2	1,0512	-0,33385	0,4712	-0,61127	-0,20555	-1,3478	-1,0222	-0,57774
3	0,84044	1,8998	-1,2185	-0,2073	0,68825	0,99193	0,69549	-1,3192
4	1,0058	1,3637	-1,1749	0,0066323	0,90991	-0,10951	-1,7621	0,22284
5	0,089591	0,10477	-0,045433	0,041671	0,094141	-0,030986	-0,02316	0,035501
6	0,13607	2,2865	-0,93751	0,1686	0,17062	-1,9319	-0,76792	-1,1192
7	0,22794	0,26744	0,66531	2,4091	0,11183	0,3375	0,31169	2,01
8	0,089583	0,10476	-0,045429	0,041669	0,094133	-0,030983	-0,023159	0,035495
9	2,024	-0,92402	0,019623	-1,9055	1,1183	-1,5656	-1,2796	-1,1293
10	-0,54154	-1,5031	-1,387	0,089034	-0,81391	-0,36619	-0,57156	0,15832
11	-2,5185	0,54882	-0,044201	-1,874	-0,79881	0,089916	0,16416	0,1227
12	0,089596	0,10477	-0,045436	0,041673	0,094147	-0,030988	-0,02316	0,035504

Çizelge 3.14'teki verilerin işlenebilmesi için 3.11 ve 3.12 numaralı eşitlikler kullanılabilir.

Bu hesapların ardından emisyon tahminlerinin daha sağlıklı olabilmesi açısından YSA modeliyle hesaplanan emisyon miktarları geminin gittiği toplam mesafeye bölünmüş ve bir emisyon karar destek sistemi oluşturulmuştur. Buradan elde edilen verileri Çizelge 3.15'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.15 Emisyon/mesafe değerleri

Rota	Günlük Ortalama Emisyon Değeri (ton)	Mesafe (nm)	Emisyon/Mesafe (ton/nm)	Toplam Emisyon (t)
Kuzey Atlantik-Ocak	86,9	3727	0,0233	26765,2
Kuzey Atlantik-Haziran	80,7	3727	0,0217	24855,6
Güney Atlantik-Ocak	83,1	3810	0,0218	26176,5
Güney Atlantik-Haziran	79,6	3810	0,0209	25074,0
Kuzey Pasifik-Ocak	87,0	5270	0,0165	37932,0
Kuzey Pasifik-Haziran	82,3	5270	0,0156	35882,8
Güney Pasifik-Ocak	86,3	6748	0,0128	48241,7
Güney Pasifik-Haziran	81,9	6748	0,0121	45782,1

Bu değerlerden yola çıkılarak aynı aylarda aynı okyanusta güney rotalarında deniz mili başına oluşan emisyon miktarlarının kuzey rotalarına göre daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca her rota tipi için haziran ayında ocak ayına göre deniz mili başına daha az emisyon çıktığı görülmektedir. Bu iki sonuç, birbirini destekler nitelikte olup daha sakin hava ve deniz koşullarında daha az emisyon oluştuğu anlaşılmaktadır. Okyanusların güney ve kuzey rotalarında aylara göre toplam emisyon hesabı yapıldığında ocak ayında Kuzey Atlantik rotasının tercih edilmesi durumunda Güney Atlantik rotasına göre 83 deniz mili daha az yol gidilmesine rağmen 600 ton civarında daha fazla emisyon üretilmektedir. Aynı rotalarda haziran ayında yolculuk yapıldığında ise Güney Atlantik rotasına daha fazla emisyon çıktığı görülmektedir. Pasifik'te ise kuzey-güney rotaları arasındaki mesafe farkı 1500 deniz miline yaklaşmaktadır. Buna göre hem ocak hem de haziran aylarında rotalar arasındaki emisyon üretimi farkı 10.000 ton civarındadır. Pasifik rotalarında aradaki büyük mesafe farkı nedeniyle deniz durumunun emisyonlar üzerine bir etkisi olamamıştır. Bununla birlikte mil başına ton emisyon değerlerinin güney rotalarında daha iyi olduğu da görülmektedir. Sonuç olarak özellikle Atlantik Okyanusu'nda daha uzun olmasına rağmen daha az emisyon üretimi gerçekleştirilen güney rotasının tercihi çevresel performans açısından daha uygun görünmektedir.

Rota optimizasyonunun çevresel performansının yanında ekonomik boyutunun da incelenmesi gerekmektedir. Özellikle Kuzey ve Güney Pasifik rotaları arasındaki mesafe farkının göz ardı edilemeyecek bir seviyede olması, rotaların düzenlenmesinde hesaba katılması gereken bir etkidir.

Maliyet analizinin yapılabilmesi için öncelikle YSA modeliyle tahmin edilen günlük emisyon miktarları emisyon faktörüne bölünerek toplam harcanan yakıt miktarına ulaşılır. Yakıt miktarının da ton yakıt fiyatıyla çarpılması sonucu toplam yakıt maliyeti elde edilir. Dünya

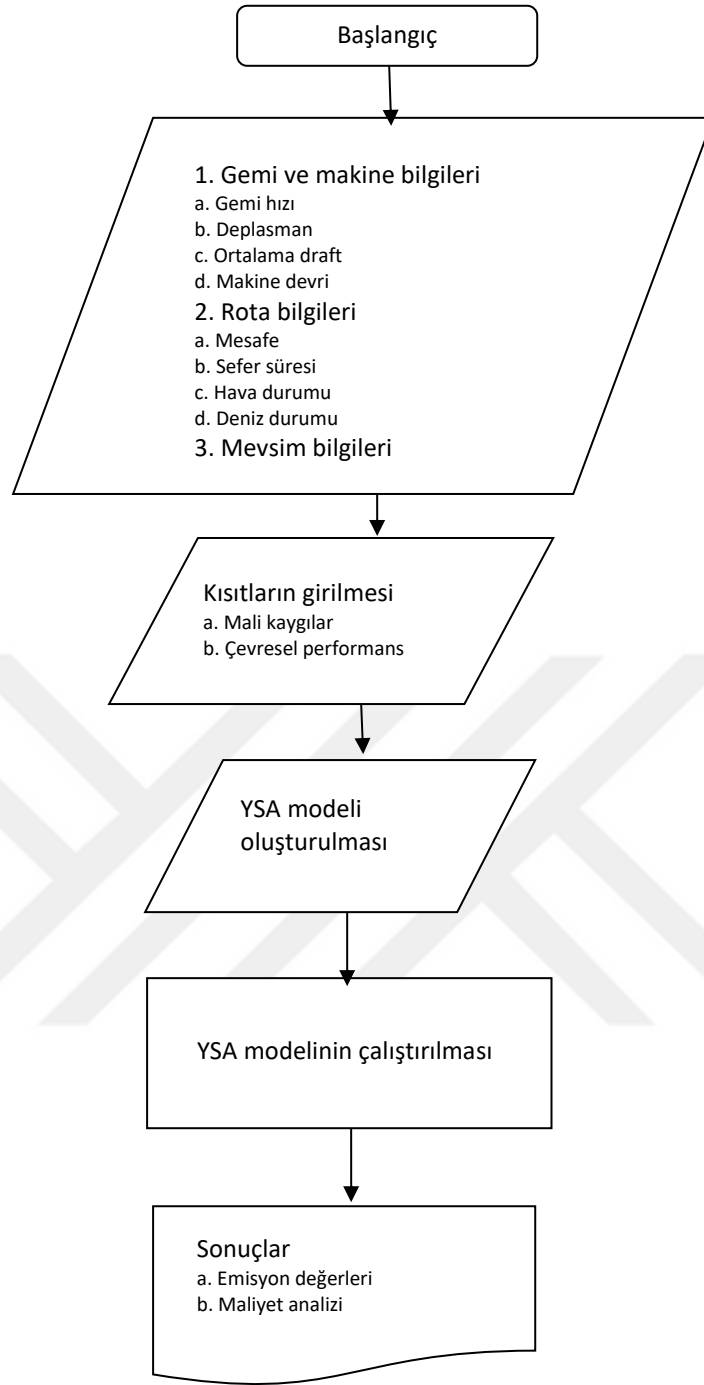
çapındaki limanlarda satılan HFO tipi yakıtın ortalama fiyatı 390 \$/t olarak bulunmuştur [86]. Toplam emisyon faktörü de 3,319 t/t yakıt olarak kabul edilmiştir [36]. Buna göre Çizelge 3.15'te verilen rota bazında günlük ortalama emisyon miktarlarından faydalanılarak her bir rota için yakıt maliyetleri hesaplanmış ve elde edilen değerleri Çizelge 3.16'da sunulmuştur.

Çizelge 3.16 Rota bazında yakıt maliyet hesabı

Rota	Toplam Emisyon (t)	Emisyon Faktörü (t/t yakıt)	Yakıt Harcamı (t)	Yakıt Maliyeti (\$)
Kuzey Atlantik-Ocak	26765,2	3,319	8064,24	3.145.052,12
Kuzey Atlantik-Haziran	24855,6		7488,88	2.920.664,06
Güney Atlantik-Ocak	26176,5		7886,86	3.075.876,77
Güney Atlantik-Haziran	25074,0		7554,69	2.946.327,21
Kuzey Pasifik-Ocak	37932,0		11.428,70	4.457.210,00
Kuzey Pasifik-Haziran	35882,8		10.811,30	4.216.418,20
Güney Pasifik-Ocak	48241,7		14.535,00	5.668.654,11
Güney Pasifik-Haziran	45782,1		13.793,9	5.379.638,14

Buradan elde edilen verilere dayanarak hem ocak hem de haziran aylarında Atlantik Okyanusu'nda kuzey yerine güney rotasının tercih edilmesinin çevresel ve ekonomik açılarından yarar sağlayacağı sonucuna ulaşılabilir. Pasifik'te ise mesafenin çok olmasından ötürü kuzey rotasının çevresel ve ekonomik performans açısından daha tercih edilebilir olduğu görülmektedir.

Rotaların belirlenip emisyon, yakıt harcamı ve yakıt maliyet analizi için bir karar destek sistemi oluşturulması için geliştirilen akış diyagramı Şekil 3.23'te verilmektedir.



Şekil 3.23 Karar destek sistemi akış diyagramı

Buna göre istenen sonuçlara ulaşabilmek için öncelikle gemi ana karakteristik özellikleri belirlenmelidir. Bunlar deplasman, makine devir sayısı, hız ve ortalama draft olarak tespit edilmiştir. Bunun ardından geminin seyredeceği rotalar belirlenir. Rotaların belirlenmesiyle beraber geminin sefer süresi, hava durumu ve deniz durumları da belirlenebilir. Bu veriler alındıktan sonra artık Şekil 3.14'teki gibi bir YSA modeli kurulabilir. Modelin kurulmasını ve girdi-çıktıların belirlenmesini takiben bu verilerin modelde işlenebilecek hale gelmesi için değerler uygun fonksiyona göre normalize edilir. YSA hesaplamalarının yapılmasının ardından

ise tahmini emisyon değerlerine ulaşılır. Bu aşamadan sonra istenildiği takdirde emisyon değerleri yoluyla yakıt harcamı ve buradan da yakıt maliyetine ulaşılabilir.



### SONUÇ VE ÖNERİLER

Denizcilik endüstrisi, bütün süreçlerinde katı, sıvı ve gaz formlarında çok çeşitli atık ve emisyonların üretildiği, katma değeri ve çevresel etkileri çok yüksek, önemli oranda insan gücüne bağımlı ve yenilikçi teknolojilerle sürekli olarak bağlantı içerisinde olan çok önemli bir endüstri koludur. Bu sektörde üretilen atık türleri arasında çevresel etkileri en yüksek düzeyde olanlar, özellikle operasyon sürecinde oluşan baca gazı emisyonlarıdır. Ana ve yardımcı makinelerde fosil yakıtların içten yanma prosesi ile yakılması sonucu elde edilen sevk enerjisinin bir bedeli olarak açığa çıkan bu emisyonların oluşum ve dağılım süreçleri, insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri, azaltma tedbirleri ve gelecek öngörülerini çok sayıda araştırmacı tarafından özellikle son yirmi yılda çok kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Yapılan çalışmaların bir kısmı geleneksel yöntemlere dayanırken son on yılda yenilikçi yaklaşımlar da ortaya çıkmaya başlamıştır. Bütün bu çalışmaların ortaya koyduğu sonuçlar, gemi kökenli baca gazı emisyonlarının mevcut durumda kayda değer bir problem oldukları ve gerekli önlemlerin alınmaması durumunda gelecekte de ciddi sorunlara yol açacakları noktasında birleşmektedir. Bu bağlamda, gemi kökenli baca gazı emisyonlarının özellikle yaşam döngüsü analizi kapsamında tespit edilmesi, ölçülmesi, izlenmesi ve azaltılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle daha önce yapılmış olan geleneksel ve yenilikçi çalışmalar kapsamlı olarak taranarak konunun genel kapsamı ve mevcut durumu analiz edilmiştir. Bu çalışmaların değindiği ve tespit etmekte eksik kaldığı düşünülen noktalar belirlenerek tez konusu bu eksiklikler üzerine yoğunlaştırılmıştır. İlk aşamada, dokuz adet kuru yük gemisi için üç yıllık toplam emisyon miktarları hesaplanmış, ardından bu hesaplar gemilerin DWT değerlerine bölünmüş ve bu değerler de gemilerin  $C_B$  değerlerine bölünerek parametrik bir çalışma

gerçekleştirilmiştir. Elde edilen dokuz farklı değer, farklı emisyon tahmin yöntemleriyle (yakıt tüketimi, makine gücü ve enerji yöntemleri) regresyon analizine sokulmuş ve tüm değerler için ortalama 0,782 R<sup>2</sup> değerine ulaşılarak bağımsız değişken olarak C<sub>B</sub> değerinin, bağımlı değişken olarak ise Emisyon/DWT değerinin alındığı formüller geliştirilmiştir. Bu formüllerin geliştirilmesindeki amaç, gemi henüz dizayn halinde bile değilken, sadece bir fikir olarak ana karakteristik özellikleri genel hatlarıyla belirlenmişken geminin üretebileceği potansiyel emisyonların hesaplanabilmesidir. Bu sayede geminin, ilerleyen yıllarda emisyon miktarına bağlı olarak geliştirilmesi muhtemel kuralların sınırlarında kalıp kalamayacağı tespit edilebilecektir. Bununla birlikte bu formüller geminin yıllık emisyon değerlerini tahmin etmekte kısmen başarılı olabilecektir. Bunun nedeni, formüllerin sabit DWT ve C<sub>B</sub> değerlerine bağlı olmasıdır. Gemi, operasyonunu, sürekli değişken operasyon koşullarında gerçekleştirmektedir. Geminin emisyon değerleri yakıt harcamasına ve kullanılan gerçek makine gücü değerlerine doğrudan bağlıdır ve bu değerler de değişken operasyon koşullarından doğrudan etkilenmektedir. Bu yüzden geminin emisyon tahmini için sabit değerlerden faydalanmak ancak kısmi bir gerçeklik sağlayabilir. Geliştirilen formüller gemi emisyon tahmini için hızlı ve pratik bir çözüm üretebilir nitelikte olsa da regresyon analizinin başarıya ulaşabilmesi için daha fazla sayıda geminin daha uzun süreler boyunca tutulmuş kayıtlarının incelenmesi gerekmektedir. Regresyon analizinin bu kısıtları yüzünden daha gerçekçi sonuçlara ulaşmak için yapay sinir ağları modellemesi tercih edilmiştir.

Yapay sinir ağı modellemesi için günlük raporlardan alınan seyir süresi, makine devir sayısı, hız, deplasman, hava durumu, deniz durumu ve ortalama draft verileri girdi olarak kullanılmış; toplam emisyon miktarı ise çıktı olarak değerlendirilmiştir. Burada esas hedef, yakıt tüketim verisinden bağımsız olarak emisyon miktarlarını tahmin edebilen bir sistem geliştirmektir. Bu amaçla Mathworks® MATLAB Neural Network Toolbox paket programı kullanılmıştır. Veri seti, program içinde mevcut olan TRAINBFG, TRAINBR, TRAINCGB, TRAINCGF, TRAINCGP, TRAINGD, TRAINGDM, TRAINGDA, TRAINGDX, TRAINLM, TRAINOSS, TRAINR, TRAINRP ve TRAINSCG eğitim fonksiyonları; LEARNGD ve LEARNGDM öğrenme fonksiyonları; MSE ve SSE performans fonksiyonları 8, 10, 12 nöron sayılarıyla cascade-forward backpropagation (CFB) ve feed-forward backpropagation (FFB) ağ tiplerinde girdilerde LOGSIG ve TANSIG; çıktıda ise LOGSIG, TANSIG ve PURELIN aktivasyon fonksiyonlarına göre çalıştırılmıştır. Yapay sinir ağı modelinde 2141 x 7 matrisini oluşturan veri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en iyi değerleri veren



yapay sinir ağı modeli, CFB ağ tipinde gizli katmanda LOGSIG, çıktı katmanında TANSIG aktivasyon fonksiyonu kullanılan, TRAINBR eğitim fonksiyonu ve 12 nöronla eğitilen, LEARNGDM öğrenme fonksiyonundan faydalanılan, MSE performans ve hata fonksiyonuyla değerlendirilen modeldir. Bu modelde elde edilen RMSE değeri ortalama olarak 0,2467 değerine ulaşmaktadır. Bu veri setinin eğitim, test ve validasyon için ortalama  $R^2$  değeri 0,77815 olarak belirlenmiştir.

Tezin son aşamasında, elde edilen en iyi yapay sinir ağı modeli, Atlantik ve Pasifik Okyanusları'nda kuzey ve güney olmak üzere iki farklı rotada ocak ve haziran aylarında seyreden bir gemi için toplam sekiz farklı senaryoda uygulanmış ve hava ve deniz şartlarının gemi emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Kuzey rotaları daha kısa olup gemi daha sert deniz ve hava durumuyla karşılaşmaktadır. Buna rağmen güney rotaları daha uzun olup seyir süresince daha yumuşak deniz ve hava durumuyla karşılaşacakları varsayılmıştır. Hava ve deniz durumları rotalardaki karakteristik dalga yüksekliği verilerine dayalı ve Bofor Ölçeği'ne bağlı olarak elde edilmiştir. Bu hesaplamada 3059 x 7 matrisinden oluşan veriseti eğitim verisi olarak kullanılmış olup ve Kuzey-Güney Atlantik ve Kuzey-Güney Pasifik için sırasıyla 308 x 7, 315 x 7, 436 x 7 ve 559 x 7 matrislerinden oluşan veriler kullanılmıştır. Bu verilerin işlenmesi sonucunda Kuzey Atlantik'te ocak ve haziran ayları için günlük ortalama 86,9 ve 80,7 t emisyon oluştuğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde Güney Atlantik'te ocak ve haziran ayları için sırasıyla 83,1 ve 79,6 t emisyon oluşmaktadır. Kuzey Pasifik ve Güney Pasifik'te sırasıyla ocak ve haziran ayları için elde edilen emisyon değerleri ise 87,0, 82,3, 86,3 ve 81,9 t olarak tespit edilmiştir. Emisyon miktarlarından yakıt harcamı verilerine ulaşıldığında da benzer şekilde haziran ayında ve güney rotalarında birim mesafe başına daha az yakıt harcadığı görülmektedir. Buna bağlı olarak da yakıt maliyetleri bu güney rotalarında ve haziran ayında daha az olmaktadır. Bu sonuçlara göre deniz ve hava durumlarının gemi emisyonları üzerine doğrudan etkisi bulunmaktadır. Daha sert iklime sahip bölgelerde birim mesafe başına daha fazla emisyon oluşmakta, yakıt harcanmakta ve maliyet artmaktadır. Özellikle Atlantik Okyanusu'nda güney rotasının tercih edilmesi gemilerin çevresel ve ekonomik performansları açısından daha tercih edilebilir bir seçenek olmaktadır. Pasifik Okyanusu'nda güney rotasında çevresel ve ekonomik performansın birim mesafe başına daha iyi olmasına rağmen rotalar arasındaki mesafe farkının çok olması nedeniyle toplamda kuzey rotası daha iyi bir seçenek olarak kabul edilebilir. Öte yandan, bu çalışmada maliyet hesaplarına yalnızca yakıt maliyetleri boyutundan bakılmış olup

bütün maliyetlerin yaşam döngüsü maliyet hesabı kapsamında incelenmesi mümkündür. Operasyon süreci, gemi yaşam döngüsünün en önemli parçası olarak kabul edilir ve hem çevresel hem de ekonomik açıdan en büyük maliyetler de bu süreçte ortaya çıkar. Bu yüzden operasyon sürecine ayrıca odaklanılmalıdır.

Çalışmanın sonucunda ulaşılan ve emisyon tahmini için kullanılabilir olan en iyi yapay sinir ağı yöntemi, geminin ana karakteristik ve makine özellikleri ile rota bilgisinin bilinmesi durumunda, gemi henüz fikir aşamasındayken belirli rotalara ve zaman dilimlerine bağlı olarak geminin açığa çıkaracağı emisyon miktarının yakıt tüketiminden bağımsız olarak tahmin edilmesini sağlayacaktır. Buna ek olarak tahmin edilen emisyon miktarı üzerinden tahmini yakıt harcamı verisine ve yakıt maliyetine de ulaşmak mümkün olabilecektir. Bu sayede geminin, gelecekte doğrudan emisyon miktarlarına bağlı olarak oluşturulması öngörülen yeni IMO kurallarına uygunluğu önceden tespit edilebilecektir. Çalışmada yapay sinir ağı modellemesinin kullanılmasının en önemli etkisi, emisyon değerlerinin yakıt tüketimi ve günlük rapor gibi düzenli olarak kayıt altına alınması gereken ve bu kayıtlarda sıklıkla eksiklikler görülen verilerden bağımsız olarak hesaplanabilmesinin yolunu açmasıdır. Bu şekilde yapılan örnek rota optimizasyonu hesaplamalarında da görüldüğü gibi geliştirilen emisyon karar destek sistemi, geminin rota optimizasyonunu % 2'nin altında bir hata payıyla gerçeğe çok uygun olarak gerçekleştirebilmekte ve hem gemi sahibi hem de üreticiye rota ve ana karakteristik özellikler üzerinde gerekli müdahalelerin çok erken safhalarda yapılabilmesini sağlamaktadır. Bu sayede çevresel ve ekonomik performansı daha yüksek gemiler inşa edilebileceği gibi her açıdan en optimal rotanın belirlenmesi de kolaylaşacaktır.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Corbett, J.J., Fischbeck, P.S. ve Pandis, S.N., (1999). "Global Nitrogen and Sulfur Inventories for Oceangoing Ships", *Journal of Geophysical Research*, 104 D3:3457-3470.
- [2] Kesgin, U. ve Vardar, N., (2001). "A Study on Exhaust Gas Emissions from Ships in Turkish Straits", *Atmospheric Environment*, 35:1863-1870.
- [3] Endresen, Ø., Sørsgård, E., Sundet, J.K., Dalsøren, 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.
- [4] Corbett, J.J. ve Koehler, H.W., (2003). "Updated Emissions from Ocean Shipping", *Journal of Geophysical Research*, 108:D20.
- [5] Eyring, V., Köhler, H.W., Lauer, A. ve Lemper, B., (2005). "Emissions from International Shipping: 2. Impact of Future Technologies on Scenarios Until 2050", *Journal of Geophysical Research*, 110:D17306.
- [6] Endresen, Ø., Sørsgård, E., Behrens, H.L., Brett, P.O. ve Isaksen, I.S.A., (2007). "A Historical Reconstruction of Ships' Fuel Consumption and Emissions", *Journal of Geophysical Research*, 112:D12301.
- [7] IMO, (2014). "Third IMO Greenhouse Gas Study", Executive Summary and Final Report.
- [8] Jalkanen, J.P., Johansson, L., Kukkonen, J., Brink, A., Kalli, J. ve Stipa, T., (2012). "Extension of an Assessment Model of Ship Traffic Exhaust Emissions for Particulate Matter and Carbon Monoxide", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12:2641-2659.
- [9] Bal Beşikçi, E., Arslan, O., Turan, O. ve Ölçer, A.İ., (2016). "An Artificial Neural Network Based Decision Support System for Energy Efficient Ship Operations" *Computers & Operations Research*, 66:393-401.
- [10] Johansson, L., Jalkanen, J.P. ve Kukkonen, J., (2017). "Global Assessment of Shipping Emissions in 2015 on a High Spatial and Temporal Resolution", *Atmospheric Environment*, 167:403-415.
- [11] Bilgili, L., Çelebi, U.B., Bilen Alkan, G., Çağlak, S.B. ve Koraltürk, G., (2014). "Comparison of Different Ship Emission Estimation Methodologies for Annual Footprint and Reduction Techniques of a Bulk Carrier", *Fresenius Environmental Bulletin*, 23 (7):1497-1509.

- [12] Bilgili, L. ve Çelebi, U.B., (2015). "Emission Estimation of Cargo Ships According to Ship Main Dimensions and Annual Emission Footprint Calculation", *Fresenius Environmental Bulletin*, 24 (3b):1054-1062.
- [13] Bilgili, L. ve Çelebi, U.B., (2018). "Developing a New Green Ship Approach for Flue Gas Emission Estimation of Bulk Carriers", *Measurement*, 120:121-127.
- [14] Williams, E.J., Lerner, B.M., Murphy, P.C., Herndon, S.C. ve Zahniser, M.S., (2009). "Emissions of NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, And HCHO from Commercial Marine Shipping during Texas Air Quality Study (Texaq) 2006, *Journal of Geophysical Research*, 114:D21306.
- [15] *Background and Future Prospects in Life Cycle Assessment*, (2014). Editör: Walter Klöpffer, Springer, ISSN: 2214-3505, ISBN: 978-94-017-8697-3.
- [16] *Handbook on Life Cycle Assessment*, (2004). Editör: Jeroen B. Guinée, Kluwer Academic Publishers, ISBN: 1-4020-0228-9.
- [17] Curran, M.A., (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*, Scientific Applications International Corporation (SAIC), EPA/600/R-06/060.
- [18] Winebrake, J.J., Corbett, J.J. ve Meyer, P.E., (2007). "Energy Use and Emissions from Marine Vessels: A Total Fuel Life Cycle Approach", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 57 (1):102-110.
- [19] Chatzinikolaou, S.D. ve Ventikos, N.P., (2015). "Holistic Framework for Studying Ship Air Emissions in a Life Cycle Perspective", *Ocean Engineering*, 110:113-122.
- [20] Bilgili, L., Çelebi, U.B., Chatzinikolaou, S.D. ve Ventikos, N.P., (2017). "Painting and Operation Emission Estimation of a Ship From a Life Cycle Perspective", *Fresenius Environmental Bulletin*, 26 (1):183-187.
- [21] Andreoni, V., Miola, A. ve Peujo, A., (2008). *Cost Effectiveness Analysis of the Emission Abatement in the Shipping Sector Emissions*, European Commission Joint Research Center, Institute for Environment and Sustainability, ISBN: 978-92-79-11280-5, ISSN: 1018-5593.
- [22] Eyring, V., Isaksen, I.S.A., Bernsten, T., Collins, W.J., Corbett, J.J., Endresen, O., Grainger, R.G., Moldanova, J., Schlager, H. ve Stevenson, D.S., (2010). "Transport Impacts on Atmosphere and Climate: Shipping", *Atmospheric Environment*, 44:4735-4771.
- [23] Agarwal, S.K., (2009). "Mitigating Greenhouse Gas (GHG) Emissions from International Shipping in Post-Kyoto Climate Policy: Legal Issues and Challenges", *Maritime Affairs*, 5 (1):73-96.
- [24] Cullinane, K. ve Cullinane, S., (2013). "Atmospheric Emissions from Shipping: The Need for Regulation and Approaches to Compliance", *Transport Reviews*, 33 (4):377-401.
- [25] Prpić-Oršić, J. ve Faltinsen, O.M., (2012). "Estimation of Ship Speed Loss and Associated CO<sub>2</sub> Emissions in a Seaway", *Ocean Engineering*, 44:1-10.
- [26] Thomson, H., Corbett, J.J. ve Winebrake, J.J., (2015). "Natural Gas as a Marine Fuel", *Energy Policy*, 87:153-167.

- [27] Di Natale, F. ve Carotenuto, C., (2015). "Particulate Matter in Marine Diesel Engines Exhaust: Emissions and Control Strategies", *Transportation Research Part D*, 40:166-191.
- [28] Bilgili, L., (2013). Kuru Yük Gemileri İçin Yaşam Döngüsü Analizinde (LCA), Yıllık Emisyon Ayakizi Hesabı Ve Ana Parametrelere Bağlı Emisyon Tahmini Yaklaşımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı Ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Hazırlanan Yüksek Lisans Tezi.
- [29] Leloup, R., Roncin, K., Behrel, M., Bles, G., Leroux, J.B., Jochum, C. ve Parlier, Y., (2016). "A Continuous and Analytical Modeling for Kites as Auxiliary Propulsion Devoted to Merchant Ships, Including Fuel Saving Estimation", *Renewable Energy*, 86:483-496.
- [30] Schembari, C., Cavalli, F., Cuccia, E., Hjorth, J., Calzolari, G., Pérez, N., Pey, J., Prati, P. ve Raes, F., (2012). "Impact of a European Directive on Ship Emissions on Air Quality in Mediterranean Harbours", *Atmospheric Environment*, 61:661-669.
- [31] Luo, M., (2013). "Emission Reduction in International Shipping-The Hidden Side Effects", *Maritime Policy & Management*, 40 (7):694-708.
- [32] Lindstad, H., Eskeland, G.S., Psaraftis, H., Sandaas, I. ve Strømman, A.H., (2015). "Maritime Shipping and Emissions: A Three-Layered, Damage-Based Approach", *Ocean Engineering*, 110:94-101.
- [33] Corbett, J.J., Wang, H. ve Winebrake, J.J., (2009). "The Effectiveness and Costs of Speed Reductions on Emissions from International Shipping", *Transportation Research Part D*, 14:593-598.
- [34] Cariou, P., (2011). "Is Slow Steaming a Sustainable Means of Reducing CO<sub>2</sub> Emissions from Container Ships?", *Transportation Research Part D*, 16:260-264.
- [35] Trozzi, C., (2010). "Emission Estimate Methodology for Maritime Navigation", 19<sup>th</sup> International Emission Inventory Conference, 27-30 September, San Antonio, ABD.
- [36] Cooper D. ve Gustafsson, T., (2004). Methodology for Calculating Emissions from Ships: 1. Update of Emission Factors, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, ISSN: 1652-4179.
- [37] ENTEC, (2005). Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-Based Instruments, Task 2-General Report. Final Report, European Commission Directorate General Environment.
- [38] Wild, Y., (2005). Determination of Energy Cost of Electrical Energy on Board Sea-Going Vessels, Expert Opinion.
- [39] Rawlings, J.O., Pantula, S.G. ve Dickey, D.A., (1998). *Applied Regression Analysis: A Research Tool*, Second Edition, Springer-Verlag, ISBN: 0-387-98454-2.
- [40] Ye, X., Kang, Y., Zuo, B. ve Zhong, K., (2017). "Study of Factors Affecting Warm Air Spreading Distance in Impinging Jet Ventilation Rooms Using Multiple Regression Analysis", *Building and Environment*, 120, 1-12.
- [41] Evans, J. ve Marlow, P., (1990). *Quantitative Methods in Maritime Economics*, 2<sup>nd</sup> Edition, Fairplay Publications, ISBN: 1870093-31-3

- [42] Sarıöz, K. ve Sarıöz, E., (2006). Gemi Tekne Formlarının Geometrik Dizayını, Deniz Ticaret Odası Yayınları, Yayın No. 70, ISBN: 9944-60-057-1.
- [43] Elmas, Ç., (2011). Yapay Zeka Uygulamaları (Yapay Sinir Ağları-Bulanık Mantık-Sinirsel Bulanık Mantık-Genetik Algoritma), Seçkin Yayıncılık, 2. Baskı, ISBN: 978-975-02-1696-1.
- [44] <http://kod5.org/yapay-sinir-aglari-ysa-nedir/> (Erişim Tarihi: 12.03.2018)
- [45] Dreyfus, G., (2005). Neural Networks-Methodology and Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN-10: 3-540-22980-9, ISBN-13: 978-3-540-22980-3.
- [46] Mehrotra, K., Mohan, C.K. ve Ranka, S., (1996). Elements of Artificial Neural Networks, Bradford Books, Complex Adaptive Series, ISBN: 0-262-13328-8.
- [47] <https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/feedforwardnet.html> (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [48] Yang, J. ve Ma, J., (2016). "A Structure Optimization Framework for Feed-Forward Neural Networks Using Sparse Representation", Knowledge-Based Systems, 109:61-70.
- [49] <https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/cascadeforwardnet.html> (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [50] Gaikwad, D.P. ve Thool, R.R., (2014). "Intrusion Detection System Using Cascade Forward Neural Network with Genetic Algorithm Based Feature Selection", International Journal on Advanced Computer Engineering and Communication Technology, 3 (3):13-19.
- [51] Tahani, M., Vakili, M. ve Khosrojerdi, S., (2016). "Experimental Evaluation and ANN Modeling of Thermal Conductivity of Graphene Oxide Nanoplatelets/Deionized Water Nanofluid", International Communications in Heat and Mass Transfer, 76:358-365.
- [52] Chiteka, K. ve Enweremadu, C.C., (2016). "Prediction of Global Horizontal Solar Irradiance in Zimbabwe Using Artificial Neural Networks", Journal of Cleaner Production, 135:701-711.
- [53] Hosseini, S.A., (2016). "Neutron Spectrum Unfolding Using Artificial Neural Network and Modified Least Square Method", Radiation Physics and Chemistry, 126:75-84.
- [54] Deo, R.C., Wen, X. ve Qi, F., (2016). "A Wavelet-Coupled Support Vector Machine Model for Forecasting Global Incident Solar Radiation Using Limited Meteorological Dataset", Applied Energy, 168:568-593.
- [55] <https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainbfg.html> (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [56] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainbr.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainbr.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [57] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traincgb.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traincgb.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [58] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traincgf.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traincgf.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)

- [59] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traincgp.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traincgp.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [60] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traingd.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traingd.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [61] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traingdm.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traingdm.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [62] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traingda.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traingda.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [63] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traingdx.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/traingdx.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [64] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainlm.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainlm.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [65] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainoss.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainoss.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [66] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainr.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainr.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [67] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainrp.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainrp.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [68] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainscg.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/trainscg.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [69] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/learngd.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/learngd.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [70] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/learngdm.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/learngdm.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [71] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/mse.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/mse.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [72] [https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/sse.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://ch.mathworks.com/help/nnet/ref/sse.html?s_tid=doc_ta) (Erişim Tarihi: 19.03.2018)
- [73] Çelebi, U.B., (2008). Gemi İnşaatında Atıklar ve Boya Emisyon Tahmini, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı Ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Hazırlanan Doktora Tezi.
- [74] Arapatsakos, C., Karkanis, A. ve Pantokratoras, I., (2011). "Relation between the Otto Engine RPM and the Exhaust Gas Speed", 10<sup>th</sup> WSEAS International Conference On Circuits, Systems, Electronics, Control & Signal Processing, CSECS-11, 29-31 Aralık, 13-19, ISBN: 978-1-61804-062-6.
- [75] Deng, X., Chen, Z., Wang, X., Zhen, H. ve Xie, R., (2018). "Exhaust Noise, Performance and Emission Characteristics of Spark Ignition Engine Fuelled with Pure Gasoline and Hydrous Ethanol Gasoline Blends", Case Studies in Thermal Engineering.

- [76] Gusti, A.P. ve Semin, (2016). "The Effect of Vessel Speed on Fuel Consumption and Exhaust Gas Emissions", American Journal of Engineering and Applied Sciences, 9 (4):1046-1053.
- [77] Chai, T. ve Draxler, R.R., (2014). "Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Square Absolute Error (MAE)?-Arguments against Avoiding RMSE in the Literature", Geoscience Model Development Discussions, 7:1247-1250.
- [78] Fang, M.C. ve Lin, Y.H., (2015). "The Optimization of Ship Weather-Routing Algorithm Based on the Composite Influence of Multi-Dynamic Elements (II): Optimized Routings", Applied Ocean Research, 50:130-140.
- [79] Kosmas, O.T. ve Vlachos, D.S., (2012). "Simulated Annealing for Optimal Ship Routing", Computers & Operations Research, 39:576-581.
- [80] Lu, R., Turan, O., Boulougouris, E., Banks, C. ve Incecik, A., (2015). "A Semi-Empirical Ship Operational Performance Prediction Model for Voyage Optimization towards Energy Efficient Shipping", Ocean Engineering, 110:18-28.
- [81] Lu, L.F., Sasa, K., Sasaki, W., Terada, D., Kano, T. ve Mizojiri, T., (2017). "Rough Wave Simulation and Validation Using Onboard Ship Motion Data in the Southern Hemisphere to Enhance Ship Weather Routing", Ocean Engineering, 144:61-77.
- [82] Sen, D. ve Padhy, C.P., (2015). "An Approach for Development of a Ship Routing Algorithm for Application in the North Indian Ocean Region", Applied Ocean Research, 50:173-191.
- [83] Veneti, A., Makrygiorgos, A., Konstantopoulos, C., Pantziou, G. ve Vetsikas, I.A., (2017). "Minimizing the Fuel Consumption and the Risk in Maritime Transportation: A Bi-Objective Weather Routing Approach", Computers and Operations Research, 88:220-236.
- [84] Kontovas, C.A., (2014). "The Green Ship Routing and Scheduling Problem (GSRSP): A Conceptual Approach", Transportation Research Part D, 31:61-69.
- [85] <https://app.metoceanview.com/hindcast/> (Erişim Tarihi: 26.03.2018)
- [86] <https://shipandbunker.com/prices/av/global/av-g20-global-20-ports-average> (Erişim Tarihi: 03.04.2018)



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Levent BİLGİLİ  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 04.12.1987, Bursa  
**Yabancı Dili** : İNGİLİZCE  
**E-posta** : leventbilgili1661@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lisans	Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Sayısal	Bursa Anadolu Lisesi	2006

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2017-halen	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2012-2017	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2011-2012	Balıkesir Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

## YAYINLARI

### Makale

1. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Güler Bilen Alkan, Sibel Bayar Çağlak, Gülsüm Koraltürk, **2014**. "Comparison of Different Ship Emission Estimation Methodologies for Annual Emission Footprint and Reduction Techniques of a Bulk Carrier", Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 23(7):1497-1509.
2. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2015**. "Emission Estimation of Cargo Ships According to Ship Main Dimensions and Annual Emission Footprint Calculation", Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 24 (3b):1054-1062.
3. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Tolga Mert, **2015**. "Estimation of Ship Exhaust Gas Emissions", Academic Journal of Science, Vol. 4 (1):107-114.
4. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Stefanos Chatzinikolaou, Nikolaos Ventikos, **2017**. "Painting and Operation Emission Estimation of a Ship from a Life Cycle Perspective", Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 26 (1):183-187.
5. Tolga Mert, **Levent Bilgili**, Kutsi Mert Şenöz, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, **2017**. "Hazardous Fume Emissions in MMA Welding of AH-36 Steel with Different Electrodes and Analysis with Taguchi and ANOVA", Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 26 (1):318-322.
6. Uğur Buğra Çelebi, Tolga Mert, **Levent Bilgili**, Kutsi Mert Şenöz, Serkan Ekinci, **2017**. "Characterization of Sub-micrometer Fume Particles in MMA Welding of Shipbuilding Steel with Different Types of Electrodes", Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 26 (1):140-145.
7. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2017**. "An Investigation of the Effect of Ship Capacity to Shipping Emissions", Environment and Ecology Research, Vol. 5(2):112-116.
8. Tolga Mert, Kutsi Mert Şenöz, **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, **2017**. "Investigation of Fume Formation Rate in Shielded Metal Arc Welding (SMAW) of 316L Stainless Steel with Different Electrodes Using Taguchi and ANOVA", El-Cezeri Journal of Science and Engineering, Vol. 4(2):291-296.
9. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2018**. "Developing a New Green Ship Approach for Flue Gas Emission Estimation of Bulk Carriers", Measurement, Vol. 120:121-127.

### Bildiri

1. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Gülsüm Aydın, Güler Bilen Alkan, **2011**. "A New Approach and Concept on Reducing the Environmental Impacts of Shipping: Green Ship", 16<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2011, 24-27 September, Ioannina-Greece.
2. **Levent Bilgili**, Mehmet Tefik Aydın, Hakan Demirel, Tayfun Kemer, Orhun Orhan, Uğur Buğra Çelebi, **2012**. "An Investigation on Emissions of Intermodal Freight Transportation", 2<sup>nd</sup> International 100 % Renewable Energy Conference and Exhibition, IRENEC-2012, 28-30 June, Proceedings: 217-223, Istanbul, Turkey.
3. **Levent Bilgili**, Kaan Ünlügençoğlu, Uğur Buğra Çelebi, **2012**. "An Investigation on Effective Ballast Water Treatment System Management to Prevent Marine Pollution Caused by Shipping", 12<sup>nd</sup> Global Conference on Global Warming, GCGW-12, 8-12 July, Proceedings:868-872, Istanbul-Turkey.

4. **Levent Bilgili**, Taner Coşgun, Uğur Buğra Çelebi, **2012**. “An Investigation on Waste Management Model of Ships with Life Cycle Assessment”, 12<sup>nd</sup> Global Conference on Global Warming, GCGW-12, 8-12 July, Proceedings:873-877, Istanbul-Turkey.
5. **Levent Bilgili**, Taner Coşgun, GökhanÖzdamar, Uğur BuğraÇelebi, **2012**. “Emission Reduction Methods for Environmentally Friendly Ships”, 12<sup>nd</sup> Global Conference on Global Warming, GCGW-12, 8-12 July, Proceedings:1014-1018, Istanbul-Turkey.
6. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2012**. “Gemi Yaşam Döngüsü Analizinde Atık Yönetimi Modeli”, Gemi İnşaati ve Denizcilik Teknik Kongresi, 13-14 Aralık, BildirilerKitabı:525-533, İstanbul-Türkiye.
7. **Levent Bilgili**, Damla Deli, Uğur BuğraÇelebi, **2013**. “An Innovative Six Sigma and Lean Manufacturing Approach for Environmental Friendly Shipyard”, Sustainable Intelligent Manufacturing, SIM-2013, 26-29 June, Proceedings:263-268, Lisbon-Portugal.
8. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2013**. “Life Cycle Assessment Approach of Waste Management for Ship Operation”, Sustainable Intelligent Manufacturing, SIM-2013, 26-29 June, Proceedings:269-271, Lisbon-Portugal.
9. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2013**. “An Innovative Method Establishment for a Green Shipyard Concept”, Sustainable Intelligent Manufacturing, SIM-2013, 26-29 June, Proceedings:273-276, Lisbon-Portugal.
10. **Levent Bilgili**, Mustafa Alvar, HüseyinElçiçek, Zafer Aydın, AytekinDuranay, GökhanKaraman, Hakan Saral, Uğur Buğra Çelebi, **2013**. “An Investigation and Comparison on Energy Efficiency Design Index (EEDI) and Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) of Some Ships”, 17<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2013, 28 September-1 October, Istanbul-Turkey.
11. **Levent Bilgili**, Abdullah Çay, Bilkutay Yılmaz, Kutsi Mert Şenöz, Erhan Aslantaş, Emre Öztürk, Uğur Buğra Çelebi, **2013**. “Annual Carbon Footprint Estimation of a Ship and the Comparison of the Emission Amounts with Different Transportation Modes”, 17<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2013, 28 September-1 October, Istanbul-Turkey.
12. **Levent Bilgili**, İbrahim Bitikçioğlu, Abdülkadir Sarı, SertaçGümüştekin, Hasan Baykal, Uğur Buğra Çelebi, **2013**. “Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) Calculation of Some Ships and a Life Cycle Assessment (LCA) Model to Reduce the Environmental Impacts”, 17<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2013, 28 September-1 October, Istanbul-Turkey.
13. Tolga Mert, Levent Kuzu, Uğur Buğra Çelebi, **Levent Bilgili**, **2013**. “Investigation of Pollution from Welding Fume and Worker Exposure in Turkish Shipyards”, 17<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2013, 28 September-1 October, Istanbul-Turkey.
14. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2014**. “Establishment of an Emission Estimation Approach for Bulk Carriers Related to Block Coefficient ( $C_B$ )”, 2<sup>nd</sup> International Conference on Maritime Technology and Engineering, MARTECH-2014, 15-17 October, Proceedings:813-817,Lisbon-Portugal.
15. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2014**. “Annual Emission Estimation Comparison of Two Methods for a Ship”, 2<sup>nd</sup> International Conference on Maritime Technology and Engineering, MARTECH-2014, 15-17 October, Proceedings:807-811, Lisbon-Portugal.
16. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2015**. “Determination of Minimum Emission Route in Maritime Transportation”, 15<sup>th</sup>Global Conference on Global Warming, GCGW-15, 24-27 May, Athens, Greece.

17. Stefanos Chatzinikolaou, Nikolaos Ventikos, **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2015**. “Ship Life Cycle Greenhouse Gas Emissions”, 15<sup>th</sup> Global Conference on Global Warming, GCGW-15, 24-27 May, Athens, Greece.

18. Tolga Mert, **Levent Bilgili**, Kutsi Mert Şenöz, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, **2015**. “The Effect of Parameter Selection on Fume Formation Rate in SMAW of AH36 Shipbuilding Steel and Analysis with ANOVA Method”, 15<sup>th</sup> Global Conference on Global Warming, GCGW-15, 24-27 May, Athens, Greece.

19. Kutsi Mert Şenöz, **Levent Bilgili**, Tolga Mert, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, **2015**. “Detrimental Welding Fume in Shipbuilding and Ship Exhaust Gases in Ship Life Cycle”, 8<sup>th</sup> International Scientific Conference on Naval, Mechanical and Industrial Engineering, TEHNONAV-2015, 2-4 July, Constanta, Romania.

20. Kutsi Mert Şenöz, **Levent Bilgili**, Tolga Mert, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, Nurten Vardar, **2015**. “Fume Formation Rate of Shielded Metal Arc Welding of Stainless Steel Used in Chemical Tankers in Shipbuilding”, 8<sup>th</sup> International Scientific Conference on Naval, Mechanical and Industrial Engineering, TEHNONAV-2015, 2-4 July, Constanta, Romania.

21. Tolga Mert, **Levent Bilgili**, Kutsi Mert Şenöz, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, **2015**. “Characterization of Sub-Micrometer Fume Particles in MMA Welding of Shipbuilding Steel with Different Types of Electrodes”, 18<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2015, 26-30 September, Crete, Greece.

22. Tolga Mert, **Levent Bilgili**, Kutsi Mert Şenöz, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, **2015**. “Hazardous Fume Emissions in MMA Welding of AH-36 Steel with Different Electrodes and Analysis with Taguchi and ANOVA”, 18<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2015, 26-30 September, Crete, Greece.

23. Uğur Buğra Çelebi, **Levent Bilgili**, Tolga Mert, Kutsi Mert Şenöz, Serkan Ekinci, **2015**. “Risk-Based Management of Occupational Safety and Health for Welding in Shipyards”, 18<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2015, 26-30 September, Crete, Greece.

24. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Kutsi Mert Şenöz, Tolga Mert, Serkan Ekinci, Nurten Vardar, **2015**. “Occupational Safety and Health Risk Analysis Model for Painting, Blasting and Welding Processes in Shipyards”, 18<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2015, 26-30 September, Crete, Greece.

25. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Stefanos Chatzinikolaou, Nikolaos Ventikos, **2015**. “An Investigation on Impact of Painting and Operation Emissions in a Ship’s Life Cycle to the Environment”, 18<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2015, 26-30 September, Crete, Greece.

26. **Levent Bilgili**, Kutsi Mert Şenöz, Veysel Alankaya, Uğur Buğra Çelebi, **2015**. “Experimentally Investigation for Environmentally Blasting Process of AL 5083-H116 Plates”, 18<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2015, 26-30 September, Crete, Greece.

27. Ekrem Tamer, **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2016**. “Waste Management with Life Cycle Analysis Method for Military Ship Machine Systems”, 3<sup>rd</sup> Eurasia Waste Management Symposium, EWMS-2016, 2-4 May, Proceedings:598-603, Istanbul, Turkey.

28. Nazlı Gülüm Mutlu, **Levent Bilgili**, Serkan Altuntaş, Uğur Buğra Çelebi, **2016**. “Application of FMEA to Welding Process in Shipyards: A Case Study”, 8<sup>th</sup> International

Conference on Occupational Safety & Health, TIOSH-2016, 8-11 May, Proceedings:895-900, Istanbul, Turkey.

29. Emre Kahramanoğlu, İbrahim Özsarı, **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2016**. “Shipping Emissions and Sample Annual Emission Estimation”, 2<sup>nd</sup> International Conference on Advances in Mechanical Engineering, ICAME-2016, 10-13 May, Istanbul, Turkey.

30. Tolga Mert, Kutsi Mert Şenöz, **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, **2016**. “The Effect of Heat Input on Fume Formation in Shielded Metal Arc Welding of Low Carbon Steel with a High Efficiency Rutile Electrode”, 2<sup>nd</sup> International Conference on Advances in Mechanical Engineering, ICAME-2016, 10-13 May, Istanbul, Turkey.

31. Tolga Mert, Kutsi Mert Şenöz, **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, **2016**. “Investigation of Fume Formation Rate in Shielded Metal Arc Welding (SMAW) of 316L Stainless Steel with Different Electrodes Using Taguchi and ANOVA”, 4<sup>th</sup> International Conference on Welding Technologies and Exhibition, ICWET-2016, 11-13 May, Proceedings:607-613, Gaziantep, Turkey.

32. Tolga Mert, Kutsi Mert Şenöz, **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, **2016**. “Occupational Safety and Health Risk Analysis Model for Welding Process in Shipyards”, 4<sup>th</sup> International Conference on Welding Technologies and Exhibition, ICWET-2016, 11-13 May, Proceedings:599-606, Gaziantep, Turkey.

33. Kutsi Mert Şenöz, Uğur Buğra Çelebi, Tolga Mert, **Levent Bilgili**, Serkan Ekinci, **2016**. “Integrated Management System (IMS) for Efficient Welding Process in Shipyards”, International MacroTrend Conference on Medicine, Science and Technology, 20-21 June, Proceedings:36, Nice, France.

34. Uğur Buğra Çelebi, Kutsi Mert Şenöz, Tolga Mert, **Levent Bilgili**, Serkan Ekinci, **2016**. “Occupational Safety and Health Welding Risk in Shipyard”, International MacroTrend Conference on Medicine, Science and Technology, 20-21 June, Proceedings:35, Nice, France.

35. Yağız Yetkin Azizler, **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2016**. “Marmara Denizi’nde Sefer Yapan Bir Yolcu Gemisinin Bakım/Onarım Aşamasında Yeşil Gemi Konsepti Perspektifinde Atık Yönetimi İncelemesi”, 1. Uluslararası Gemi ve Deniz Teknolojisi Kongresi, SHIPMAR-2016, 8-9 Aralık, İstanbul, Türkiye.

36. Mustafa Sarı, Alper Kılıç, **Levent Bilgili**, **2016**. “Midye Hasadı ve Midye Hasat Gemileri Üzerine Bir Araştırma”, 1. Uluslararası Gemi ve Deniz Teknolojisi Kongresi, SHIPMAR-2016, 8-9 Aralık, İstanbul, Türkiye.

37. Yakup Kocaman, **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Kaan Ünlügençoğlu, **2016**. “Çanakkale ve İstanbul Boğazları’ndan Geçen Türk Bayraklı Kimyasal Tankerlerin Emisyon Ölçümü”, 1. Uluslararası Gemi ve Deniz Teknolojisi Kongresi, SHIPMAR-2016, 8-9 Aralık, İstanbul, Türkiye.

38. Tolga Mert, **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, **2017**. Experimental “Investigation of the Effects of Wire Feed Rate and Shielding Gas Mixtures on CO2 Emission during GMAW of Structural Steel with Metal Cored Wire and Estimation of Its Share in Global Warming”, 7<sup>th</sup> International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition, APMAS 2017, 22-26 April, Oludeniz, Turkey.

39. Levent Kuzu, Tolga Mert, **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, **2017**. “Dispersion Modeling of Welding Originated Shipyard Emissions”, 19<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2017, 4-6 October, Book of Abstracts:227, Rome, Italy.

40. **Levent Bilgili**, Yağız Yetkin Azizler, Uğur Buğra Çelebi, **2017**. “Operation and Repair/Maintenance Emission and Waste Estimation of a Ferry from Life Cycle Perspective”,

19<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2017, 4-6 October, Book of Abstracts:225,Rome, Italy.

41. Uğur Buğra Çelebi, **Levent Bilgili**, Tolga Mert, Serkan Ekinci, Yağız Yetkin Azizler, **2017**. “Shipyard Welding Emission Estimation for Different Electrode Types”, 19<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2017, 4-6 October, Book of Abstracts:226, Rome, Italy.

42. **Levent Bilgili**, Şahika Koyun Yılmaz, Kaan Ünlügençoğlu, Tolga Mert, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, Yağız Yetkin Azizler, **2017**. “Risk-Based Ship Waste and Emission Management System”, 19<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2017, 4-6 October, Book of Abstracts:345, Rome, Italy.

43. Utku Cem Karabulut, **Levent Bilgili**, Alper Kılıç, **2017**. “Gemi Kaynaklı Azot Oksitleri Emisyonunun Ölçümü”, International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology, IMESET-2017, 27-29 October, Proceedings:480-489, Bitlis, Turkey.

44. Utku Cem Karabulut, **Levent Bilgili**, Alper Kılıç, **2017**. “Güneş Enerjili Duba Türü Gezinti Teknesi Tasarımı”, International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology, IMESET-2017, 27-29 October, Proceedings:703-708, Bitlis, Turkey.

### Kitap

1. **Levent Bilgili**, Kaan Ünlügençoğlu, Uğur Buğra Çelebi, **2013**. “Effective Ship Ballast Water Treatment System Management”, Part II, Chapter 52 of Causes, Impacts and Solutions to Global Warming, Editors: İbrahim Dinçer, Özgür Can Çolpan, Fethi Kadioğlu, Springer, Print ISBN 978-1-4614-7587-3, Online ISBN 978-1-4614-7588-0, 975-984.

2. Tolga Mert, **Levent Bilgili**, Kutsi Mert Şenöz, Uğur Buğra Çelebi, Serkan Ekinci, **2016**. “The Effect of Parameter Selection on Fume Formation Rate in SMAW of AH36 Shipbuilding Steel and Analysis with ANOVA Method”, Part XIV, Chapter 59 of Energy, Transportation and Global Warming, Editor: Panagiotis Grammelis, Springer, Print ISBN 978-3-319-30126-6, Online ISBN 978-3-319-30127-3, 795-802.

3. **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2016**. “Emission Routing in Maritime Transportation”, Part XV, Chapter 62 of Energy, Transportation and Global Warming, Editor: Panagiotis Grammelis, Springer, Print ISBN 978-3-319-30126-6, Online ISBN 978-3-319-30127-3, 837-849.

4. Stefanos Chatzinikolaou, Nikolaos Ventikos, **Levent Bilgili**, Uğur Buğra Çelebi, **2016**. “Ship Life Cycle Greenhouse Gas Emissions”, Part XV, Chapter 65 of Energy, Transportation and Global Warming, Editor: Panagiotis Grammelis, Springer, Print ISBN 978-3-319-30126-6, Online ISBN 978-3-319-30127-3, 883-895.

### Proje

1. Kaynaklı İmalatta Ortaya Çıkan Zararlı Duman Miktarı Ölçümü için Kaynak Dumanı Kabini Tasarımı, İmalatı ve Emisyon Katsayısı Geliştirilmesi. Proje Yürütücüsü: Ar. Gör. Dr. Tolga Mert, Proje Ekibi: Doç. Dr. Uğur Buğra Çelebi, **Ar. Gör. Levent Bilgili**, Ar. Gör. Kutsi Mert Şenöz, Proje Numarası: 2013-06-01-GEP01, Genç Araştırmacı Destek Projesi (GEP), **Başlangıç Tarihi: 14.06.2013, Bitiş Tarihi: 13.07.2016** (Üniversite Destekli Proje)

2. Çevreci Tersanelere İlk Adım: Gemi İmalatı Sırasında Ortaya Çıkan, Çevreye ve İnsana Zararlı Kaynak Gazlarının Ölçümü, Duman İçeriğindeki Solunabilir Partiküllerin Analizlerinin Gerçekleştirilmesi ve İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. Proje Yürütücüsü: Doç. Dr. Uğur Buğra Çelebi, Proje Ekibi: Ar. Gör. Dr. Tolga Mert, **Ar. Gör. Levent Bilgili**, Doç.

Dr. Serkan Ekinci, Utku Özenir, Proje Numarası: 2013-10-01-KAP05, Kapsamlı Araştırma Projesi (KAP), **Başlangıç Tarihi: 21.10.2013, Bitiş Tarihi: 13.07.2017** (Üniversite Destekli Proje)

