

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GEMİNİN TAŞIDIĞI YÜK MİKTARINA GÖRE EN UYGUN GEMİ HIZININ VE  
YAKIT TÜKETİMİNİN BELİRLENMESİ: RO-RO GEMİLERİ ÜZERİNE BİR  
UYGULAMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Selim BAŞTÜRK**

**HAZİRAN 2017**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GEMİNİN TAŞIDIĞI YÜK MİKTARINA GÖRE EN UYGUN GEMİ HIZININ VE YAKIT  
TÜKETİMİNİN BELİRLENMESİ: RO-RO GEMİLERİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

**Selim BAŞTÜRK**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"YÜKSEK LİSANS (DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ)"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 / 05 / 2017**

**Tezin Savunma Tarihi : 07 / 06 / 2017**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sercan EROL**

**Trabzon 2017**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Selim BAŞTÜRK Tarafından Hazırlanan**

**GEMİNİN TAŞIDIĞI YÜK MİKTARINA GÖRE EN UYGUN GEMİ HIZININ VE YAKIT  
TÜKETİMİNİN BELİRLENMESİ: RO-RO GEMİLERİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

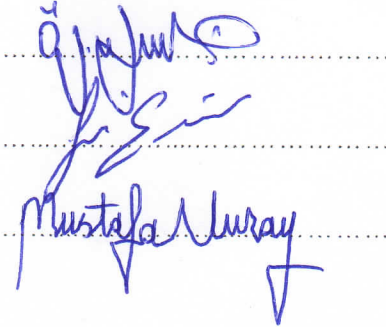
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 16 / 05 / 2017 gün ve 1702 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Doç. Dr. Özkan UĞURLU**

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Sercan EROL**

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa NURAN**



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Gemi yakıtlarının çevresel ve ekonomik olarak denizcilik sektöründe önemli etkileri vardır. Ekonomik olarak incelendiğinde, gemi yakıt giderleri gemi operasyon maliyetleri içinde en fazla paya sahiptir. Çevresel açıdan ise Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) getirdiği gemilerden kaynaklı emisyonları kısıtlamayla ilgili düzenlemeleri, denizcilik sektörünü gemi yakıtları ile ilgili yeni planlar oluşturmaya sevk etmiştir. Gemi hızı, yakıt giderlerini etkileyen teknik faktörlerden en önemlisidir. Dolayısıyla gemiler için seyirde geminin taşıdığı yük miktarına göre yakıt tüketimini en aza indirmeyi amaçlayan en uygun hızın (optimum hız) bulunması büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, optimum hız sayesinde yakıt tüketimi azaltılarak gemilerden kaynaklı emisyonlar da azalmış olacaktır. Bu çalışmada, bir roll-on/roll-off (Ro-Ro) denizcilik firmasına ait iki kardeş (sister) geminin 2015 yılı verileri kullanılmıştır. Çalışmadaki veriler yapay zeka optimizasyon tekniklerinden Genetik Algoritmalar kullanılarak geminin taşıdığı yük miktarına ve hava şartlarına bağlı olarak optimum hızların belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak bulunan optimum hızlar irdelenerek, gemiler üzerinde pratik olarak uygulanabilirliği yönünde yorumlar yapılmıştır.

Tez çalışması süresince bilgisi ve desteği ile daima bana yardımcı olan; üniversite hocam, tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Sercan EROL'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca, çalışma süresince yardım ve desteğinden dolayı Sayın Mengü DEMİR'e ve Sayın Burak LÖK'e çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını maddi ve manevi desteğiyle her zaman yanımda olan anneme, babama ve değerli eşim Rabia BAŞTÜRK'e ithaf ediyorum.

Selim BAŞTÜRK  
Trabzon 2017

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Geminin Taşıdığı Yük Miktarına Göre En Uygun Gemi Hızının ve Yakıt Tüketiminin Belirlenmesi: Ro-Ro Gemileri Üzerine Bir Uygulama” adlı bu çalışmayı başından sonuna kadar danışman hocam Yrd. Doç. Dr.Sercan EROL’un sorumluluğunda tamamladığımı, çalışmada kullanılan verileri kendim topladığımı, analizleri kendim yaptığımı beyan ederim. Ayrıca başka kaynaklardan kullandığım bilgileri gerek metinde gerekse kaynakçada eksiksiz olarak belirttiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

07.06.2017

Selim BAŞTÜRK

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
YÜKSEK LİSANS TEZİ .....	VII
ÖZET .....	VII
MASTER THESIS .....	VIII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Taşımacılık Kavramı ve Denizyolu Taşımacılığı.....	4
1.3. Denizyolu Taşımacılığı .....	6
1.4. Denizyolu Taşımacılığı Çeşitleri.....	8
1.5. Ro-Ro Taşımacılığı .....	9
1.6. Ro-Ro Gemi Tipleri.....	12
1.7. Dünyada Ro-Ro Taşımacılığı .....	15
1.8. Türkiye’de Ro-Ro Taşımacılığı.....	17
1.9. Denizyolu Taşımacılığında Maliyetler .....	21
1.9.1. Denizyolu Taşımacılığında Dışsal Maliyetler .....	21
1.9.2. Denizyolu Taşımacılığında İçsel Maliyetler .....	26
1.9.2.1. Yakıt Giderleri.....	27
1.10. Gemi Yakıt Tüketimini Etkileyen Faktörler .....	28
1.10.1. Gemi Hızına Etki Eden Faktörler .....	30
1.10.1.1. Gemi Deplasmanı ve Yükleme Durumu .....	32
1.10.1.2. Balast Durumu.....	31
1.10.1.3. Tekne Direnci .....	35
1.10.1.4. Gemi Hızına Etki Eden Diğer Faktörler .....	35

1.11.	Literatürdeki Çalışmalar .....	35
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	39
2.1.	Çalışmanın Kapsamı.....	39
2.2.	Araştırmada Kullanılan Metot.....	41
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	46
3.1.	Genetik Algortimalar Tekniği Sonucunda Elde Edilen Bulgular.....	46
3.2.	Elde Edilen Optimum Hızların Zararlı Gaz Emisyonlarına Etkisi.....	54
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER .....	59
5.	KAYNAKLAR.....	63
6.	EKLER .....	72
	ÖZGEÇMİŞ .....	82

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

GEMİNİN TAŞIDIĞI YÜK MİKTARINA GÖRE EN UYGUN GEMİ HIZININ VE  
YAKIT TÜKETİMİNİN BELİRLENMESİ: RO-RO GEMİLERİ ÜZERİNE BİR  
UYGULAMA

Selim BAŞTÜRK

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr.Sercan EROL  
2017, 71 Sayfa, 11 Ek Sayfalar

Gemilerin yakıt tüketimi, ticari gemileri ekonomik ve çevresel boyutta etkilemektedir. Operasyon maliyetlerinin yarısından fazlasını oluşturan yakıt giderlerinin azaltılması gemi işletmecileri için büyük önem arz etmektedir. Çevresel açıdan bakıldığında ise, günümüzde ticari gemilerin büyük bir çoğunluğu gemi sevkinde ağır yakıt (HFO) kullanmaktadır. Dolayısıyla gemi yakıtlarından kaynaklı emisyon değerlerinin çevreye verdiği zararlar da fazladır. Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) gemi yakıtlarından kaynaklı emisyonlar için yaptığı düzenlemeler de küresel denizcilik sektöründe dikkat edilmesi gereken bir konudur. Bu düzenlemelere uyulmaması durumunda da gemi işletmecilerini ciddi para cezaları beklemektedir. Gemi yakıtlarının ekonomik ve çevresel handikaplarını ortadan kaldırmak için, yakıt tüketimine etki eden en önemli faktör olan gemi hızının optimum seviyede tutulması gerekmektedir. Bu çalışmada, düzenli denizyolu taşımacılığı yapan bir denizcilik şirketine ait iki kardeş (sister) Ro-Ro gemisinin 2015 yılı günlük sefer verileri incelenmiştir. Toplamda 236 adet olan bu veriler; geminin günlük hızı, yakıt tüketimi, balast miktarı, taşıdığı yük miktarı, deniz ve hava şiddetleri gibi hıza etki eden parametreleri içermektedir. Bu veriler incelenerek yapay zeka optimizasyon tekniklerinden Genetik Algoritmalar tekniği vasıtasıyla, geminin taşıdığı yük miktarına göre optimum hızlar bulunmuştur. Bulunan hız değerleri incelenerek, gemi üzerinde uygulanabilirliği yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler** :Ro-Ro gemileri, Yakıt tüketimi, Genetik Algoritmalar, Gemi optimum hızı



Master Thesis  
SUMMARY

DETERMINING OPTIMAL SHIP SPEED AND FUEL CONSUMPTION DEPENDING  
ON SHIP'S CARGO AMOUNT: AN APPLICATION ON RO-RO SHIPS

Selim BAŞTÜRK

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Maritime Transportation and Management Engineering  
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Sercan EROL  
2017, 71 Pages, 11 Pages Appendix

Fuel consumption affects merchant ships both economically and environmentally. As known, fuel cost contributes more than half of seaway transport costs. Therefore, reducing fuel cost is the very essence of shipping companies. On the other hand, due to ships' fuel consumption there are serious environmental consequences to handle by shipping companies. Nowadays, most of merchant ships use heavy fuel oil (HFO) as propulsion fuel which causes greenhouse emissions due to its high carbon content. For this reason, International Maritime Organization (IMO) has issued some strict regulations to mitigate harmful gas emissions taken its source from merchant ships. In case of not to comply with these regulations, shipping companies have to face serious monetary penalties by authorities. At the present time ship speed is the main affecting factor of fuel consumption. Consequently, in order to eliminate both environmental and economic disadvantages of fuel consumption, shipping companies should perform optimal speed onboard. In this study; two sister ships voyage data, belonged to the year of 2015, was used. These ships are Ro-Ro cargo ships and belong to a liner shipping company. Firstly, total 236 days voyage data, including ship daily speed, daily fuel consumption amount, ballast water amount, total ship cargo amount, sea state and wind state, were examined. An optimization method, named Genetic Algorithm (GA), was used to determine variety optimal speeds depending on current ship load and wind-sea states. In conclusion, those optimal speed values were evaluated and interpreted on applicability on model ships.

**Key Words** : Ro-Ro ships, Fuel consumption, Genetic Algorithm, Ship optimal speed

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1. Tır dorsesinin yükleyici ile gemiye yüklenmesi .....	10
Şekil 2. Ağır bir makinenin gemiye götürülmesi .....	10
Şekil 3. Ro-Ro yolcu gemisi .....	12
Şekil 4. Konvansiyonel Ro-Ro gemisi .....	13
Şekil 5. Kombine Ro-Ro gemisi .....	13
Şekil 6. Araç taşıyıcı gemisi .....	14
Şekil 7. Raylı feribotun kapalı güvertesi .....	14
Şekil 8. 2010-2015 yıllarında arası Ro-Ro gemilerinin günlük kiralama bedelleri.....	17
Şekil 9. Türkiye'deki Ro-Ro hatları .....	19
Şekil 10. 2015 yılı bölgeler itibariyle Ro-Ro ile taşınan araç yüzdesi .....	20
Şekil 11. Dünya üzerinde ECA bölgeleri .....	23
Şekil 12. Denizyolu taşımacılığına bağlı küresel CO <sub>2</sub> salınımı .....	25
Şekil 13. Model gemilerin taşıma hatları .....	40
Şekil 14. Genetik algortimallar şeması .....	41
Şekil 15. Yapılan çalışmanın genetik algortimallar şeması .....	44
Şekil 16. 1.Durumda farklı yükleme durumunda bulunan optimum hızların grafiği .....	46
Şekil 17. 1.Durumda belli başlı yükleme durumlarına göre optimum yakıt tüketim değerleri .....	47
Şekil 18. 2.Durumda farklı yükleme durumunda bulunan optimum hızların grafiği .....	48
Şekil 19. 2.Durumda belli başlı yükleme durumlarına göre optimum yakıt tüketim değerleri .....	49
Şekil 20. 3.Durumda farklı yükleme durumunda optimum hızların grafiği .....	50
Şekil 21. 3.Durumda belli başlı yükleme durumlarına göre optimum yakıt tüketim değerleri .....	51

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Taşıma türlerinin karşılaştırılması .....	5
Tablo 2. Yıllara göre dünya ticaretinde taşımacılık verileri .....	7
Tablo 3. Yollar itibariyle Türkiye'nin dış ticaret taşımacılık miktar yüzdesi .....	8
Tablo 4. 2012-2016 yılları arası 300 GT ve üstü gemi istatistikleri .....	15
Tablo 5. Türk deniz ticaret filosunun gemi tiplerine göre dağılımı .....	18
Tablo 6. IMO SO <sub>x</sub> ve PM limitleri .....	24
Tablo 7. IMO NO <sub>x</sub> limitleri .....	25
Tablo 8. Servisteki bir geminin taşıma hizmet maliyet unsurları .....	27
Tablo 9. Panamax dökme gemisi hız-yakıt tüketim tablosu .....	29
Tablo 10. Rüzgâr şiddetine bağlı hız kaybı .....	34
Tablo 11. Model gemilerin teknik verileri .....	39
Tablo 12. 1.Durumda yükleme durumuna bağlı ortalama hız ve yakıt tüketimleri .....	47
Tablo 13. 2.Durumda yükleme durumuna bağlı ortalama hız ve yakıt tüketimleri .....	49
Tablo 14. 3.Durumda yükleme durumuna bağlı ortalama hız ve yakıt tüketimleri .....	51
Tablo 15. Hava şartları ve yük durumuna bağlı optimum hızlar ve ortalama yakıt tüketimi .....	52
Tablo 16. Hız optimizasyonu sonucu elde edilen değerler ile veri setindeki değerlerin karşılaştırılması .....	54
Tablo 17. Hız optimizasyonu sonucu yakıt tüketimi ve zararlı gaz emisyonları değişimi .....	57
Ek Tablo 1. Çalışma kapsamında incelenen model gemilerin sefer verileri .....	70

## SEMBOLLER DİZİNİ

AOGR	: Amerikan Petrol Haberleri Sitesi (American Oil and Gas Reporter)
BAP	: Rıhtım Yerleşim Problemi (Berth Allocation Problem)
BRS	: Gemi Komisyoncuları Derneği (Barry Rogliano Salles)
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
Con-Ro	: Konteynır Ro-Ro Gemisi (container roll-on roll-off)
CPP	: Değişken Adımlı Pervane (Controllable Pitch Propeller)
CSC	: Hırvatistan Gemi İnşacılar Birliği (Croatian Shipbuilding Corporation)
DDK	: Devlet Denetleme Kurulu
DNV	: Norveç Sınıflandırma Kuruluşu (Det Norske Veritas)
DRF	: Danimarkalı Armatörler Derneği (Danish Shipowners' Association)
DTGM	: Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü
DTO	: Deniz Ticaret Odası
DVM	: Destek Vektör Makineleri
DWT	: Dedveyt ton (Deadweight Tons)
ECA	: Emisyon Kontrol Alanları (Emission Control Areas)
EMSA	: Avrupa Deniz Emniyeti Ajansı (European Maritime Safety Agency)
ESPO	: Avrupa Deniz ve Limanlar Organizasyonu (European Sea Ports Organization)
g	: Gram
GA	: Genetik Algoritmalar
GHG	: Sera Gazı Emisyonu (Greenhouse Gas)
GL	: Alman Sınıflandırma Kuruluşu (Germanischer Lloyd)
GM	: Metasantr Yüksekliği
GT	: Grostonilato (Gross Tonnage)
h	: Saat (Hour)
HFO	: Ağır Yakıt (Heavy Fuel Oil)
IFO	: Orta Yakıt (Intermediate Fuel Oil)
IMEAK	: İstanbul ve Marmara, Ege, Akdeniz ve Karadeniz Bölgeleri
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization)
ISL	: Uluslararası Denizcilik Ekonomisi ve Lojistik Enstitüsü

	(Institute of Shipping Economics and Logistics)
KPI	: Gemi performans göstergesi (Key Performance Indicator)
km	: Kilometre
kn	: Deniz mili/saat (Knott)
kw	: Kilovat
LM	: Araç metre (Lane Meter)
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğalgaz (Liquefied Natural Gas)
MARPOL	: Denizlerin Gemilerden Kirlenmesinin Önlemesi Uluslararası Sözleşmesi (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships)
MATLAB	: Çok Paradigmalı Sayısal Hesaplama Yazılımı (Matrix Laboratory)
MEB	: Milli Eğitim Bakanlığı
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MINLP	: Karışık Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama Yöntemi (Mixed Integer Nonlinear Programming)
MIP	: Karışık Tamsayı Programlama Yöntemi (Mixed Integer Programming)
MT	: Metrik Ton
NO <sub>x</sub>	: Azot Oksitler (Nitrogen Oxides)
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development)
OSHA	: Amerika Birleşik Devletleri Çalışma Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu (Occupational Safety and Health Administration)
PCC	: Araba Taşıyıcı Gemisi (Pure Car Carrier)
PCTC	: Araba ve Kamyon Taşıyıcı Gemisi (Pure Car Truck Carrier)
PEN	: Pendik
PM	: Partikül Madde (Particulate Matter)
RMT	: Denizyolu Taşımacılığı Araştırma Dergisi (Review of Maritime Transport)
Ro-Ro	: Ro-Ro Gemisi (roll-on roll-off)
Ro-pax	: Ro-Ro Yolcu Gemisi (roll-on roll-off passenger)
RPM	: Dakikadaki Dönüş Sayısı (Revolutions per Minute)
SO <sub>x</sub>	: Kükürt Oksitler (Sulfur Oxide)
TDK	: Türk Dil Kurumu
TEU	: 20 Fit Konteynır Eşdeğer Birimi (Twenty Foot Equivalent Unit)
TOU	: Toulon
TRI	: Trieste

- TSRSPSO : Düzensiz Taşımacılık Hız ve Rota Optimizasyonu (Tramp Ship Routing and Scheduling Problem with Speed Optimization)
- UBAK : Ulaştırma Bakanlığı
- UDBH : Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı
- UNCTAD : Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (United Nations Conference on Trade and Development)
- URL : Standart Kaynak Bulucu (Uniform Resource Locator)
- ÜTİKAD : Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Hizmet Üretenleri Derneği



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

İnsanlık tarihi kadar eski olan taşımacılık; günümüzde karayolu, havayolu, demiryolu, boru hattı ve denizyolu taşımacılığı olarak sınıflandırılmaktadır. Gerek ekonomik olması gerekse çok büyük hacim ve ağırlıktaki yükleri tek seferde taşıma kabiliyetine sahip olmasından ötürü denizyolu taşımacılığı en çok tercih edilen taşımacılık türüdür (DDK, 2008; Köseoğlu, 2010). Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı'nın (UNCTAD) 2016 Ocak ayı verilerine göre; dünya ticaret hacminin yüzde %80'lik bölümü denizyolu taşımacılığı ile gerçekleştirilmektedir (UNCTAD RMT, 2016). Ayrıca 2016 yılı İstanbul, Marmara, Ege, Akdeniz ve Karadeniz Deniz Ticaret Odası (IMEAK DTO) verilerine göre; Türkiye dış ticaretinin %87,7'lik kısmı denizyolu taşımacılığı ile yapılmıştır (IMEAK DTO, 2016).

Denizyolu taşımacılığı, zaman, mesafe, istikrar, gemi ve yük türü gibi faktörler dikkate alınarak çeşitli açılardan sınıflandırılmaktadır. En yaygın kullanılan sınıflandırmalardan birinde deniz yolu taşımacılığı; düzenli ve düzensiz denizyolu taşımacılığı olarak ikiye ayrılmaktadır. Düzensiz denizyolu taşımacılığında, gemilerin belli bir rotası ve sefer planı yoktur. Gemi işletmecileri, taşınacak yükü bularak yüke bağlı sefer planlaması yaparlar (Branchini vd., 2015). Düzenli denizyolu taşımacılığında ise belli bir taşıma hattı mevcuttur. Geminin uğrak yapacağı, yükleme-tahliye işlemlerini gerçekleştireceği limanlar ile kalkış-varış günleri ve saatleri bellidir. Düzenli denizyolu taşımacılığında en çok kullanılan gemi tipleri Ro-Ro ve konteyner gemilerdir (Sjostrom, 2004).

Öte yandan, dünya ticaretinde ağırlıklı olarak denizyolu taşımacılığının tercih edilmesi aynı zamanda bu taşımacılık türünü küresel çaptaki finansal, politik ve ekonomik dalgalanmalara karşı hassas duruma düşürmektedir. Diğer bir ifade ile söz konusu dalgalanmalar navlun fiyatlarına, gemi fiyatlarının sürekli değişmesine, taşıma hizmet üretim maliyetlerinin dalgalanmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu durum firmalar açısından yönetsel risklerin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Eğer bu riskler iyi yönetilemez ve kontrol altına alınamazsa denizyolu taşıma işletmelerinin sürekliliği açısından olumsuz sonuçlar doğurabilecek etkilere sahiptirler (Erol, 2013). Söz konusu bu

risklere karşılık, gemi sahipleri sürdürülebilirlik açısından maliyet odaklı bir yönetim anlayışı benimsemelidir. Maliyet liderliği olarak da adlandırılan bu anlayış, ekonomik, sosyal ve teknolojik değişim ile ortaya çıkan küresel rekabet ortamının başlıca stratejisidir (Karcıoğlu, 2000).

Bu itibarla denizyolu taşımacılığında taşıma maliyetlerinin %47 ile %53'lük kısmını yakıt giderleri oluşturmaktadır (Alizadeh ve Nomikos, 2004). Yakıt giderleri, geminin seyirde ve limanda harcadığı yakıtların ve yağın parasal karşılığıdır (Bialystocki ve Konovessis, 2016; Wang ve Xu, 2015). Dolayısıyla taşıma maliyetleri içerisinde bu denli büyük paya sahip olan yakıt giderlerinin azaltılması maliyet liderliği stratejisi açısından önemli bir konu haline gelmiştir. Ayrıca, maliyet yapısında önemli bir paya sahip olan yakıt giderleri yanında gemi işletmecilerinin dikkate alması gereken hususlardan biri de yakıt türüne göre oluşan zararlı gaz emisyonlarıdır. Gemiler kullandıkları yakıtı ne kadar verimli kullanırlarsa, çevreye verilen zararlar da bir o kadar azalmış olur. Dışsal maliyet türü olarak adlandırılan bu zararlar hâlihazırda, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)'nün gemi yakıtlarından kaynaklı zararlı gaz emisyonları için yapmış olduğu düzenlemelerle kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır.

Sonuç olarak gerek ekonomik gerekse çevresel faktörlerden dolayı profesyonel gemi yönetimi gemilerin yakıt tüketimini minimum düzeyde tutmak zorundadırlar. Bu açıdan yakıt tüketimini etkileyen en önemli parametre gemi hızıdır (Wang vd., 2013).

Literatürde optimum hızın belirlenmesine dönük çalışmalar yapılmıştır ve halen sözkonusu literatür genişlemektedir. Yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak düzensiz deniz yolu taşımacılığına dönük olup bunların bazıları ile ilgili yapılan çalışmalar şu şekildedir.

Mao vd. 2016, "Statistical Models for the Speed Prediction of a Container Ship" adlı çalışmasında 2800 adet 20 fit konteyner (TEU) taşıma kapasitesine sahip bir konteyner gemisinin bir senelik verilerini incelemiştir. İnceleme sonucunda hava durumunun ve ana makine devir sayısının optimum gemi hızına etkisini araştırmıştır. Ayrıca, Wijayaningrum ve Mahmudy (2016), düzensiz denizyolu taşımacılığı yapan bir şirkete ait 3 geminin 21 farklı liman arasındaki rota optimizasyonunu yapmıştır. Böylece yakıt tüketimini asgari düzeyde tutmak hedeflenmiştir. Öte yandan düzensiz denizyolu taşımacılığı yapan gemiler üzerinde optimum hız, optimum rota, optimum yakıt alımı ve rihim optimizasyonu konularında yapılan çalışmalar da mevcuttur (Kim vd., 2014; Norstad vd., 2011; Yao vd., 2012; Kim vd., 2012; Du vd., 2011).



Fakat düzenli deniz yolu taşımacılığında hız optimizasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmalara Aydın vd. (2016), Kontovas ve Psaraftis (2011), Qi ve Song (2012), Gelareh ve Meng (2010) ve Wang ve Meng (2012) örnek olarak gösterilebilir. Bu çalışmalar ağırlıklı olarak konteyner gemileri üzerinde yapılmıştır. Bununla beraber geminin optimum hızının belirlenmesinde rota, filo sefer programı ve yakıt alım optimizasyonları ağırlıklı kullanılmıştır. Fakat geminin taşıdığı farklı yük miktarlarındaki gemi için en uygun hız üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. Kontovas ve Psaraftis (2011), “Reduction of Emissions Along the Maritime Intermodal Container Chain: Models and Policies” adlı çalışmalarında; düzenli denizyolu taşımacılığı yapan konteyner gemilerin yakıt harcamasını asgari düzeyde tutmak için optimum hızın belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada yakıt fiyatları, zararlı gaz emisyonları, liman operasyon süreleri gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Talebin yani yükün az olduğu ve filodaki gemi sayısının çok olduğu durumlarda, belirlenen düşük hızlarda seyir yapmanın gerekliliği vurgulanmıştır.

Bu çalışmada amaç, düzenli denizyolu taşımacılığı ile özdeşleşmiş Ro-Ro taşımacılığında model olarak alınan Ro-Ro kargo gemilerinin geçmiş seyir verileri dikkate alınarak yükleme durumuna ve seferden düşmeyecek şekilde hız limitlerine göre en uygun yakıt tüketimini bulmaktır. Böylece yakıt tüketimine bağlı hem ekonomik hem de çevresel açıdan oluşan etkilerin en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. Yükleme durumuna göre en uygun gemi hızı bulunurken Genetik Algoritmalar modeli kullanılmıştır. Bu model açısından kullanılan parametreler ise geminin bir senelik sefer ve stabilite raporlarında yer alan balast miktarı, rüzgâr-deniz şiddeti, geminin hızı, geminin yakıt tüketimi ve geminin taşıdığı yük miktarıdır.

Çalışma, amaç ve hedefin ortaya konulabilmesi için dört bölümde ele alınmıştır. Birinci bölümde; genel bilgiler ana başlığı altında Ro-Ro taşımacılığı, denizyolu taşımacılığında maliyetler ve gemi yakıt tüketimine etki eden faktörler konularına değinilmiştir. İkinci bölümde; yapılan çalışmalar ana başlığı altında çalışmanın kapsamı ve kullanılan metottan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde; bulgular ve irdeleme başlığı adı altında kullanılan farklı parametrelere ait sonuçlar elde edilerek yorumlanmıştır. Sonuç ve öneriler kısmında genel bir değerlendirme yapılarak konuya ilişkin sonuçlar ve konunun nasıl geliştirilebileceği ile bu çalışmadan kimlerin fayda sağlayabileceği belirtilerek çalışma tamamlanmıştır.

## 1.2. Taşımacılık Kavramı ve Denizyolu Taşımacılığı

Eski çağlardan günümüze kadar insanoğlunun toplumdaki ihtiyaçlarına bağlı olarak taşımacılık hızlı bir biçimde gelişmiştir. Günlük yaşamda toplumların önemli bir olgusu haline gelen taşımacılık kavramının çeşitli tanımları vardır.

En yalın ifadeyle; bir nesnenin bir yerden başka bir yere nakline taşımacılık denir. Bu tanım taşımacılık kavramının dar anlamıdır. Taşımacılık kavramının geniş anlamı ise üretilen malların müşterinin ihtiyaç duyduğu uygun bölge ve merkezlere zamanında ulaştırılmasıdır (Goldsby vd., 2014).

Öte yandan Türk Dil Kurumu (TDK) taşımacılık kelimesinin anlamını; “insan, eşya vb.nin çeşitli araçlarla bir yerden başka bir yere nakliye etme işi” olarak tanımlamaktadır.

Başlangıcı tarih öncesi çağlardan beri yapılan taşımacılık zamanla gelişen teknolojiye bağlı olarak çeşitli kollara ayrılmıştır. Özellikle sanayi devrimiyle ve sonrasında buharlı makinelerin kullanılmaya başlanmasıyla taşımacılık, toplumların yaşantısında vazgeçilmez bir şekilde yoğunlaşmıştır. Söz konusu yoğunluk, buharın makine ile birleşmesinden sonra iyice artmıştır. Günümüzde teknolojik gelişmeler ve ülkelerin coğrafi yapıları göz önüne alındığında taşımacılık türleri; karayolu, havayolu, demiryolu, boru hattı ve denizyolu taşımacılığı olarak beş gruba ayrılmaktadır (Dursun ve Erol, 2012). Söz konusu taşımacılık türleri hakkında aşağıda kısaca bilgiler verilmiştir.

Karayolu taşımacılığı; taşımacılık türlerinde en yaygın olarak kullanılan taşımacılık türüdür. Esnek yapısından ve sevk sürelerinin maliyet açısından daha kısa olmasından dolayı karayolu taşımacılığı, denizyolu taşımacılığından sonra en çok tercih edilen taşıma türüdür. Havayolu taşımacılığı en hızlı taşımacılık türü olup aynı zamanda güvenli bir taşımacılık sağlar. Bunun yanında maliyet açısından bakıldığında havayolu taşımacılığının en büyük dezavantajı, birim başına denk gelen taşıma maliyetinin diğer taşımacılık türlerine kıyasla çok yüksek olmasıdır (Köğmen, 2014). Trenlerle yapılan demiryolu taşımacılığında, genel olarak karayoluyla taşınamayan yüksek tonajlı yükler taşınmaktadır. Demiryolu taşımacılığının en bariz dezavantajı, yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Dolayısıyla demiryolları genellikle devlet elinden işletilmektedir. Bunun yanında kurulum sonrasında demiryolu taşımacılığının işletim maliyeti düşük seviyededir. Boru hattı taşımacılığında, daha çok petrol türevleri ve suyun taşınmasında kullanılan taşımacılık türüdür. Kullanım alanı daha çok, uzun vadeli ve yüksek kapasiteli yapılacak devletlerarası

enerji taşımacılığıdır (Kögmen, 2014). Her bir taşımacılık türünün avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Tablo 1’de taşımacılık türleri arasında kıyaslama yapılmıştır.

Tablo 1. Taşıma türlerinin karşılaştırılması (Adıgüzel, 2005).

Taşıma türü	Maliyet	Hız	Hizmet alanı	Mal çeşitliliği
<b>Karayolu</b>	Yüksek	Hızlı	Çok geniş	Yüksek
<b>Denizyolu</b>	Çok düşük	Yavaş	Sınırlı	Çok yüksek
<b>Havayolu</b>	Çok yüksek	Çok hızlı	Geniş	Sınırlı
<b>Demiryolu</b>	Düşük	Yavaş	Sınırlı	Yüksek
<b>Boru Hattı</b>	Düşük	Yavaş	Çok sınırlı	Çok sınırlı

Tablo 1’de görüldüğü üzere en düşük maliyete sahip taşımacılık türü denizyolu taşımacılığı olup, en yüksek maliyete havayolu taşımacılığı sahiptir. Taşıma hızında ise durum tersine işlemektedir. En hızlı taşımacılık havayolu taşımacılığı ile yapılırken, en yavaş taşımacılık denizyolu, demiryolu ve boru hattı taşımacılığı ile yapılmaktadır. Karayolu taşımacılığı hizmet alanı en fazla olan taşımacılıktır. Boru hattı taşımacılığında ise hizmet alanı çok sınırlıdır. Taşınan malların çeşitliliği açısından bakıldığında da boru hattı taşımacılığının durumu çok sınırlıdır. Taşımacılık türlerinde en yüksek mal çeşitliliğine sahip taşımacılık türü ise denizyolu taşımacılığıdır.

Taşımacılık türlerinin kendilerine özgün avantajları ve dezavantajları vardır. Taşımacılık türlerinin dezavantajlı durumlarını en aza indirmek için farklı bir tür olan karma taşımacılık ortaya çıkmıştır. Karma taşımacılık farklı taşımacılık türlerinin birleşmesinden doğmaktadır. Her ne kadar ayrı duran taşımacılıklar gibi görünse de aslında temel olarak bütünleşmiş bir sistemdir (Vural vd., 2014). Karma taşımacılıktaki amaç; tek başına dezavantajlı durumlara sahip taşımacılık türlerinin farklı taşıma türleriyle birleşerek, söz konusu dezavantajlı durumların ortadan kalkmasıdır. Örneğin, birim taşıma maliyeti temel alındığında en uygun taşımacılığın denizyolu taşımacılığı olduğu söylenebilir, fakat taşımacılık hızına bakılacak olursa bu kez denizyolu taşımacılığı en dezavantajlı durumdadır (Çancı ve Erdal, 2009). Denizyolu taşımacılığı sonrasında yüklerin karayolu ve demiryolu ile taşınması ile taşıma hızını artırmaktadır. Böylece taşımacılıktaki dezavantajlı durumlar minimize edilmektedir. Karma taşımacılık genel olarak üç gruba ayrılır. Bunlar; çok türlü taşımacılık (multi-modal), türler arası taşımacılık (inter-modal) ve

kombine taşımacılıktır. Tekerlek donanımına sahip her türlü yükü taşıyabilen Ro-Rogemiler, kombine taşımacılığa en güzel örnektir. Türkiye’de tırlar Avrupa’ya gidiş gelişlerde sınır kapılarında bürokratik sorunlar yaşamaktadır bu nedenle Ro-Ro taşımacılığı Türkiye’de tercih edilen ve giderek gelişen bir taşımacılık türüdür (UBAK, 2016).

Taşımacılık türlerinde gerek birim maliyet açısından gerekse çok büyük hacim ve ağırlıkların taşınması açısından dünya üzerinde en çok denizyolu taşımacılığı kullanılmaktadır. Hatta denizyolu taşımacılığı bu alanda alternatifsiz taşımacılık türüdür (Stopford, 2009). Dolayısıyla, çalışmanın bundan sonraki kısmında denizyolu taşımacılığı, türleri ve özellikleri hakkında bilgi verilecektir.

### **1.3. Denizyolu Taşımacılığı**

Deniz araçları vasıtasıyla her türlü yük ve yolcu taşınmasını sağlayan denizyolu taşımacılığı 5000 yıllık bir geçmişe sahiptir. Küresel ekonominin merkezinde duran bir yapı olan denizyolu taşımacılığı, eskiden beri kullanılan en önemli taşımacılık türüdür (Stopford, 2009). Denizyolu taşımacılığı, hava ve karayolu taşımacılığı gibi diğer taşımacılık türlerine kıyasla çok önemli bir yere sahiptir. Dünya ticaretinin hacim olarak %80’i, parasal değer olarak ise %75’lik kısmı denizyolu taşımacılığı tarafından yapılmaktadır (UNCTAD RMT, 2016). Denizlerde ve iç sularda başta büyük hacim ve ağırlıktaki malların taşınmasında denizyolu taşımacılığı yıllardır var olan ve kendini devamlı yenileyen bir ulaşım türüdür. Sanayi hammaddelerini oluşturan çok büyük hacim ve ağırlıktaki yüklerin bir defada taşınması için ideal ve alternatifsiz olması, denizyolu taşımacılığının önemli bir avantajıdır (DDK, 2008; Köseoğlu, 2010). Bunun yanında, denizyolu taşımacılığında yük hasar ve kayıplarının minimum seviyede olması bu taşımacılık türünün bir diğer avantajıdır. Ekonomik açıdan incelendiğinde; deniz yolu taşımacılığı diğer taşımacılık türlerinden hava yolu taşımacılığına göre 14 kat, kara yolu taşımacılığına göre 7 kat ve demir yolu taşımacılığına göre ise 3,5 kat oranında daha ucuzdur. Bahsedilen avantajlardan ötürü deniz yolu taşımacılığı dünya genelinde en çok tercih edilen taşımacılık türüdür (DDK, 2008; Köseoğlu, 2010).

Denizyolu taşımacılığında dünyadaki ticari gemi filosu verilerine bakıldığında; 1 Ocak 2016 itibariye dünyada 300 gros ton (GT) ve üzeri 51.404 adet gemi bulunmaktadır. Bu gemilerin toplam tonajı 1,72 milyar dedveyt tondur (DWT) (IMEAK DTO, 2016).

Türkiye’de ise 1 Ocak 2016 itibariyle toplam 1203 adet ticari gemi vardır ve bu gemilerin toplam tonajı 8.532.207 DWT’dir (DTGM, 2016). Dünya ticari gemi filosunun adet olarak %2,3’ünü Türkiye oluşturmaktadır. Dünya taşımacılığında aynı dönem verilerine göre taşınan yük miktarı 12,94 milyar tondur. Bu miktarın taşımacılık türlerine göre dağılımı Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Yıllara göre dünya ticaretinde taşımacılık verileri (IMEAK DTO, 2016).

Yıllar	Dünya taşımacılığı (tüm yollar) (milyar ton)	Dünya taşımacılığı değişim (%)	Dünya denizyolu taşımacılığı (milyar ton)	Dünya Taşımacılığında denizyolunun payı (%)
2008	10,86	-	8,61	79
2009	9,56	-12	8,29	87
2010	10,82	13	9,07	84
2011	11,54	7	9,47	82
2012	11,83	3	9,88	84
2013	12,19	3	10,21	84
2014	12,56	3	10,54	84
2015 (*)	12,94	3	10,77	83
2016 (**)	13,44	4	11,03	82
(*) yaklaşık (**) öngörülen				

Tablo 2’ye göre dünya üzerinde denizyolu taşımacılığında taşınan yük miktarı 2008 yılından itibaren devamlı artmıştır. Sadece 2009 yılında küresel ekonomik krize bağlı olarak denizyolu taşımacılığında düşüş görülmüştür. Taşınan yük miktarı 2008 yılında 8,61 milyar ton ile en düşük değerde olup, 2016 yılı başında 10,77 milyar tona ulaşmıştır. En yüksek değer 2016 yılsonu tahmini değeri ile 11,03 milyar tondur. Bu değer toplam taşımacılığın %83’lük kısmına denk gelmektedir.

Türkiye’de aynı döneme ait toplam 0,416 milyar ton yük taşımacılığı yapılmıştır (IMEAK DTO, 2016). Denizyolu taşımacılığının Türkiye’deki kullanım oranı, dünya taşımacılığıyla eşdeğer gözükmektedir. Türkiye’nin dış ticaret taşımaları ile ilgili oransal veriler Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Yollar itibariyle Türkiye'nin dış ticaret taşımaları miktar yüzdesi (%) (IMEAK DTO, 2016).

Yıllar	Denizyolu	Demiryolu	Karayolu	Havayolu	Boru hattı ve diğer
2006	87,4	1,1	10,4	0,1	1,0
2007	87,4	1,1	10,0	0,6	0,9
2008	86,5	1,1	10,7	0,7	1,0
2009	85,0	0,8	12,6	0,8	0,8
2010	85,6	0,8	12,5	0,3	0,8
2011	85,8	0,8	11,8	0,4	1,2
2012	87,0	0,6	10,7	0,4	1,4
2013	86,4	0,5	11,4	0,4	1,3
2014	86,2	0,4	11,2	0,5	1,7
2015	87,7	0,5	10,7	0,4	0,7

Tablo 3'te 2006-2015 yılları arasında Türkiye'de yapılan dış ticaret taşımacılığının taşıma türleri itibariyle oranları verilmiştir. Tıpkı dünya taşımacılığında olduğu gibi Türkiye'de de taşımacılıkta en büyük paya denizyolu taşımacılığı sahiptir. Küresel ekonomik krizin etkin olduğu 2009 yılı haricindeki diğer tüm yıllarda denizyolu ile taşınan yük miktarının yüzdesi artmıştır. 2016 yılı başı baz alındığında, denizyolu taşımacılığı toplam dış ticaret taşımacılığının %87,7'lik kısmını oluşturmaktadır. Denizyolu taşımacılığından sonra en çok kullanılan taşımacılık türü ise %10,7'lik paya sahip karayolu taşımacılığıdır. Diğer taşımacılık türlerinden olan demiryolu, havayolu ve boru hattı taşımacılığının taşımacılık oranları ise %1'in altındadır.

#### 1.4. Denizyolu Taşımacılığı Çeşitleri

Denizyolu taşımacılığı yükün taşınma biçimi, taşımanın yapıldığı gemi türü, sefer düzeni ve taşıma hızı gibi ölçütler ışığında sınıflandırılmaktadır. Buna göre denizyolu taşımacılığı genel olarak; düzensiz (tramp) denizyolu taşımacılığı ve düzenli (liner) denizyolu taşımacılığı olarak iki grupta incelenmektedir (Branchini vd., 2015). Bu türlerin kendine özgü özellikleri, avantajları ve dezavantajları mevcuttur.

Düzensiz denizyolu taşımacılığında, gemi işletmecisinin yük taşıma amacıyla belli bir rotası ve programı yoktur. İşletmeci, taşınacak kargoyu kendi arayarak bulur ve limandan limana taşıma görevini gerçekleştirir (Malliappi vd., 2011). Düzensiz denizyolu taşımacılığında esas nokta uygun zaman ve yer bulunarak taşımacılık işlemi sonunda

kazanç durumunu mümkün olduğunca azami düzeye çıkarmaktır. Düzensiz denizyolu taşımacılığında taşınan yükler genelde tahıl, kömür, maden cevheri, kereste, petrol ve türevleri gibi dökme ürünlerdir. Genel olarak dökme gemiler ve tankerler bu taşımacılıkta kullanılan gemi tipleridir. Bu taşımacılık türünde, küresel bir rekabet söz konusu olup maliyetler taşımacılıkta etkin rol oynamaktadır. Bununla beraber, navlun piyasası değişken yapıdadır (Erol, 2013).

Düzenli denizyolu taşımacılığında ise planlı bir taşıma hattı mevcuttur. Bu hatta geminin kalkış-varış günleri ve saatleri, hangi limanlar arası taşımacılığın yapılacağı gibi bilgiler önceden belirlenmiştir (Sjostrom, 2004). Düzenli denizyolu taşımacılığında kullanılan ana gemi tipleri; konteyner, Ro-Ro, genel kargo ve çok amaçlı kullanılan (multipurposeship) gemilerdir. Bu taşımacılık türünde taşınan yüklere ise genel kargo adı verilmektedir (Clarkson, 2016). Düzenli denizyolu taşımacılığında, düzensiz denizyolu taşımacılığında olduğu gibi etkin rekabet yoktur. Maliyetler, taşımacılık kararlarında etkin değildir. Bunun yanında navlun piyasasında istikrar söz konusudur, dolayısıyla navlun fiyatları günlük olarak değişmemektedir (Erol, 2013). Konteyner taşımacılığı ve Ro-Ro taşımacılığı, düzenli denizyolu taşımacılığının önemli kollarıdır.

### **1.5. Ro-Ro Taşımacılığı**

Denizyolu taşımacılığında, her yük türü için farklı bir gemi türü inşa edilmekte ya da gemiler yüke göre dizayn edilmektedir. Bu açıdan bakıldığında sanayi üretimi sonucu elde edilen, elektronik, hazır giyim, hazır gıda, beyaz eşya, jeneratör, otomobil, iş makineleri, kamyon, tır gibi ürünler genel kargo olarak adlandırılmakta ve bu yükler genellikle Ro-Ro ve konteyner gemileri ile taşınmaktadır.

Ro-Ro, İngilizce roll-on/roll-off kelimelerinin kısaltmalarından oluşmaktadır. Yüklerin tekerlekler vasıtasıyla gemiye yüklenip yine aynı şekilde tahliye edilen ve bu operasyonların hızlı bir şekilde gerçekleştiği gemiler Ro-Ro gemileridir (Başar vd., 2015). Tekerlekli yük taşıma sistemi üzerine taşımacılık yapan Ro-Ro gemilerinin taşıdığı yükler şunlardır (Hülagü, 2007);

- Şasili treylerler (çekicili, çekicisiz)
- Treyler ve semi-treylerler
- Her türlü tekerlek donanımına sahip yükler (kamyon, araba, otobüs vb.)

- Forklift vb. vasıtalarla yüklenip boşaltılabilen yüklükler (konteyner)
- Birleştirilmiş paletli yükler (kereste gibi)
- Uzun ve geniş parçalar

Şekil 1’de Ro-Ro gemilerinin taşıdığı yüklerden biri olan dorselerin gemiye yüklenmesi gösterilmiştir.



Şekil 1. Tır dorsesinin yükleyici ile gemiye yüklenmesi (URL1, 2016).

Şekil 1’de görüldüğü üzere Ro-Ro gemilerinin standart yüklerinden olan tır dorsesi gemiye yüklenmektedir. Dorse, geminin kış kapağından mafı adı verilen çekici araç ile içeriye alınarak yüklemenin yapılacağı ilgili güverteye götürülmektedir.

Şekil 2’de ise hacim ve kütle olarak büyük olan bir sanayi makinesinin, roll-treyler adı verilen tekerlekli taşıyıcı üzerinde durduğu görülmektedir. Bu yük gemiye yüklenmek üzere roll-treyler ile taşınmaktadır.





Şekil 2. Ağır bir makinenin gemiye götürülmesi (URL2, 2016).

Ro-Ro taşımacılıkta, gemideki yüklerin emniyetli bir biçimde özel olarak bağlanması gerekmektedir. Bu bağlama işlemine lashing adı verilmektedir. Pratik bir biçimde bağlanan ve sökülen lashing işlemleri, yükleme tahliye operasyonlarındaki süreyi minimuma indirmektedir. Diğer gemi türlerinden farklı olarak Ro-Ro gemilerinin yük hacmi tasarımıdaki ortak noktalar şunlardır;

- Ro-Ro gemilerinde her biri enine perdelerle donatılmış açık güverteler bulunur. Bu güverteler araçların ve yüklerin taşınmasına uygun yüksekliğe sahiptirler.
- Hızlı ve etkin yükleme tahliye operasyonları için baş, kış ve bordada geniş rampalar ve kapaklar mevcuttur. Bu kapakların bulunduğu yerler ve adetleri Ro-Ro gemi tipleri arasında değişiklik gösterir.
- Tekerlekli taşıma işlemine bağlı olarak, gemi güverteleri bu yükleri taşıyacak mukavemete göre tasarlanır.
- Gemi güverteleri taşıyıcıların rahat hareket etmesi için yeterli alanda manevra sahasına sahiptir.
- Gemi içinde rahat yük hareketleri için rampa veya asansör sistemleri mevcuttur.
- Ro-Ro gemilerinde yük operasyonları sırasında gemi stabilitesini korumak ve oluşan ani meyilleri söndürmek için genellikle dip ambar (tank top) seviyesinde meyil önleyici sistem (heeling sistem) bulunur (Odabaşı, 2016).

Hızlı ve etkin taşımacılık yapan, bununla birlikte liman operasyon süreleri diğer tip gemilere nazaran daha az olan Ro-Ro gemilerinin dezavantajlı olduğu durumlar da vardır. Şöyleki, Ro-Ro gemilerinin diğer gemilere göre su üstündeki hacmi su altında kalan hacimden daha fazladır.. Bu nedenle Ro-Ro gemilerinde stabilite problemi diğer gemilere kıyasla daha fazladır. Yalnızca üst güvertelere yükleme yapıldığı durumda, geminin dengesi kritik değerlere ulaşabilmektedir. Bu dezavantajlı durumu ortadan kaldırmak için balast (safra) suyunun doğru biçimde kullanımı Ro-Ro gemilerinde önemli bir olgudur (Akten, 1995).

### 1.6. Ro-Ro Gemi Tipleri

Genel kargo gemi sınıfı adı altında anılan Ro-Ro gemileri, kendi içinde taşıdığı yüklerin cinsine göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadır. Ro-Ro gemileri; Ro-Ro yolcu gemileri, konvansiyonel Ro-Ro gemileri, kombine Ro-Ro gemileri, araba taşıyıcıları ve raylı feribotlar olarak sınıflandırılmaktadır. Aşağıda söz konusu gemi türleri hakkında kısa bilgiler verilecektir.

Ro-Ro yolcu gemileri (Ro-Pax), yolcu ve yük taşıyan gemilerdir. Standart bir Ro-Ro gemisi uluslararası düzenlemelere göre en fazla 12 adet yolcu taşıyabilir. Ro-Ro yolcu gemileri ise, yolcu veya sürücü sayısı 12'den fazla olan gemilerdir. Bu gemiler ulaşım amaçlı veya turistik amaçlı kullanılabilir. Genellikle yakın mesafede pek çok araç ve sürücü taşımada, orta ve uzun mesafede ise turistik amaçlı kullanılır (Yeşilbağ, 1999). Türkiye'de feribot olarak ta adlandırılan Ro-Ro yolcu gemisi Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Ro-Ro yolcu gemisi (Ro-Pax) (URL3, 2016).

Konvansiyonel Ro-Ro gemiler ise tır, kamyon, araba ve çekilmeye ihtiyaç duyan treyler gibi aks donanımına sahip araçları taşıyan gemi tipidir. Tekerlek donanımına sahip konteyner yükler de konvansiyonel Ro-Ro gemileri ile taşınabilmektedir. Konvansiyonel Ro-Ro gemilerinin seferleri uzun veya kısa olabilir. Özellikle kombine Ro-Ro gemilerinin Ro-Ro taşımacılıkta çekiciliği giderek artsa da, konvansiyonel Ro-Ro tipi gemiler değerlerini hala korumaktadırlar (Yeşilbağ, 1999). Şekil 4'te konvansiyonel Ro-Ro gemisi görülmektedir.



Şekil 4. Konvansiyonel Ro-Ro gemisi (URL4, 2016).

Kombine Ro-Ro gemileri, kış kapak donanımı ile tekerlekli araç tahliye-yükleme işlemini kolaylıkla yapabilmektedir. Aynı zamanda konteyner yükleri de taşıyabilen kombine Ro-Ro gemileri kısaca Con-Ro olarak adlandırılmaktadır. Bu gemiler, yükleri kendi imkânlarıyla yükleme ve tahliye etme avantajına sahiptirler. Öte yandan hızlı operasyon ve yük çeşitliliğinin sağladığı avantajlarından dolayı, kombine Ro-Ro gemiler taşıyıcılar tarafından çok rağbet görmektedirler. Bu tip gemilerde tekerlekli araçlar alt güverteye, konteyner yükleri ise üst güverteye yüklenmektedirler (OSHA, 2010).

Şekil 5'te kombine Ro-Ro gemisinin konteyner terminalinde yapmış olduğu yükleme-tahliye işlemi görülmektedir.



Şekil 5. Kombine Ro-Ro gemisi (URL5, 2016).

Araba taşıyıcıları, yeni üretilen arabaların ihracat veya ithalatında taşınabilmesi için kullanılır. İngilizce terim olarak sıklıkla pure car carrier (PCC) ve pure car truck carrier (PCTC) diye de adlandırılırlar. Bu tip gemiler baş, kış ve vasat kısımlarında aynı anda açılabilen hidrolik kapaklara sahiptir ve bu sayede gemilerin tahliye-yükleme işlemleri hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Araba taşıyıcıların güverteleri ağır yüklere karşı dirençli olmakla beraber taşınacak araçlara bağlı olarak gemi güvertelerinin yüksekliği ayarlanabilir pozisyondadır (Grieg vd., 2013). Binlerce aracın uzak mesafeler arasında taşınmasını sağlayan araba taşıyıcı gemisinin tahliye işlemi Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 6. Araç taşıyıcı gemisi (URL6, 2016).

Raylı feribotlar, demiryolu araçlarının taşınmasında kullanılan, tren ferisi olarak da adlandırılan Ro-Ro gemi tipidir. Ro-Ro gemi tipleri arasında en yaşlı filoya sahip olan raylı feribotlar, özellikle demiryolu ağları gelişmiş ülkelerde etkin şekilde kullanılırlar (Hülagü, 2007). Şekil 7’de raylı feribotun kapalı güvertesi görülmektedir.



Şekil 7. Raylı feribotun kapalı güvertesi (URL7, 2016).

Ro-Ro gemi tiplerinden bahsettikten sonra, çalışmanın bundan sonraki kısmında Ro-Ro taşımacılığın denizyolu taşımacılığındaki yeri ve gemi istatistikleri hakkında bilgi verilmiştir.

### 1.7. Dünyada Ro-Ro Taşımacılığı

Farklı gemi tipleriyle dünya ticaret filosunda etkin olarak kullanılan Ro-Ro gemilerinin 300 GT ve üzeri istatistikî bilgileri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. 2012-2016 yılları arası 300 GT ve üstü gemi istatistikleri (ISL, 2016).

Gemi tipi	Gemi adedi	Tonaj (mil. DWT)	Ort.Büyüme (%) 2012-2016	
			Adet	DWT
<b>Tanker</b>	14039	600,1	2,2	2,9
<b>Dökme/OBO</b>	10919	752,9	3,8	5,8
<b>Konteyner</b>	5239	244,2	0,8	5,6
<b>Genel Kargo</b>	<u>16892</u>	<u>112,3</u>	<u>-0,3</u>	<u>2,1</u>
<i>Konvansiyonel kargo gemileri</i>	12285	51,6	-0,9	-0,7
<i>Özel kargo gemileri</i>	1522	36,4	4,8	8,6
<i>Araba taşııcıları</i>	785	12,4	2,3	2,8
<i>Reefer gemileri</i>	781	4,4	-3,7	-4,1
<i>Kargo Ro-Ro gemileri</i>	1519	7,5	1,0	-1,1
<b>Yolcu</b>	4316	6,5	2,2	1,8
<b>Toplam</b>	<b>51405</b>	<b>1716,1</b>	<b>1,5</b>	<b>4,4</b>

Tablo 4’te görüldüğü üzere dünya deniz ticaret filosunda toplamda 51.405 adet gemi olup, bu sayı tonaj olarak ise yaklaşık 1,72 milyar DWT’e tekabül etmektedir. Ayrıca, Dünya deniz ticaret filosunda 16892 adet gemi ile en fazla bulunan gemi tipi genel kargo gemileridir. Genel kargo gemilerini sırasıyla 14039 adet ile tanker gemileri, 10919 adet ile dökme gemiler takip etmektedir. Tonaj olarak bakıldığında ise 752,9 milyon DWT ile en fazla tonaja sahip gemi tipi dökme gemilerdir. Dökme gemileri 600,1 milyon DWT ile tanker gemileri, 244,2 milyon DWT ile konteyner gemileri takip etmektedir. Dünya deniz ticaret filosunda Ro-Ro gemilerinin tonaj kapasitesi 1519 gemi ile 7,5 milyon DWT’tir. Ayrıca 2012-2016 yılları arasında dünya ticaret filosu adet olarak %1,5, tonaj olarak %4,4

büyümüş iken, Ro-Ro kargo gemileri adet olarak %1,0 oranında artarken, DWT tonaj olarak ise %1,1 oranında azalmıştır.

Yeni inşa gemi siparişleri incelendiğinde ise; 1 Nisan 2016 tarihi itibariyle toplam 5877 adet gemi siparişi vardır. Toplam gemi siparişleri içerisinde Ro-Ro gemilerin payı ise 124 adet sipariş ile %2,1'dir (DRF, 2016).

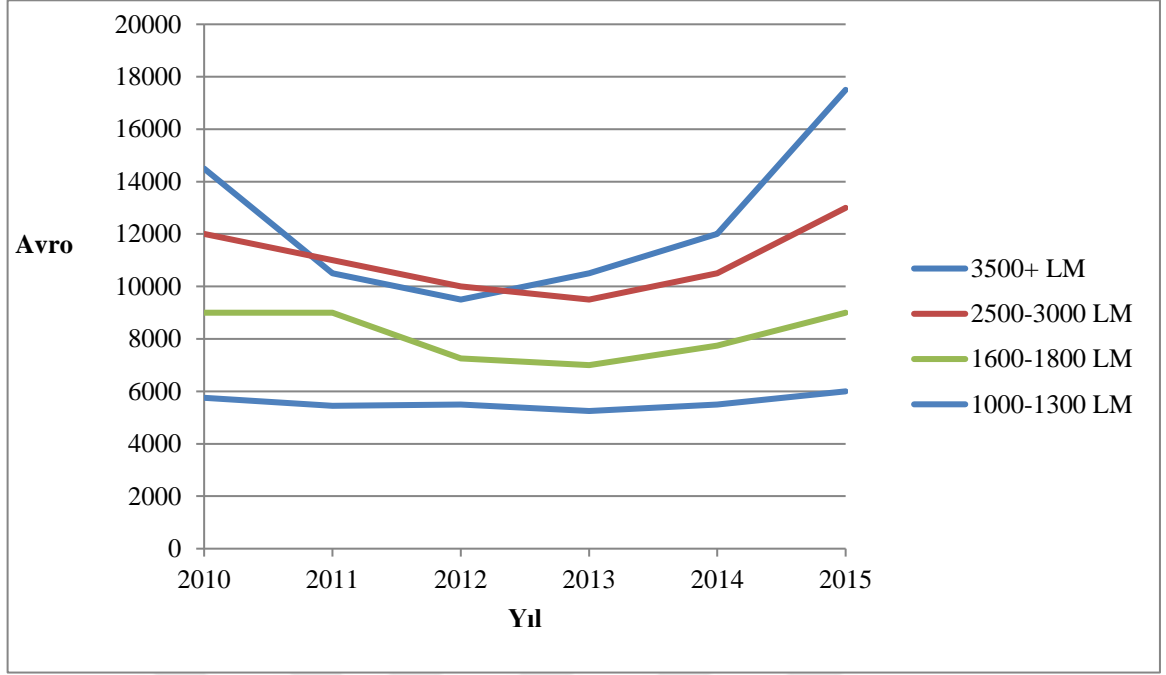
Dünyada Ro-Ro taşımacılığının en yoğun olduğu bölge Avrupa Birliği'dir. Bunu sırasıyla Asya, Ortadoğu ve Afrika kıtaları ile Avrupa Birliği dışı ülkeler ve Japonya takip etmektedir. Avrupa Birliği odaklı Ro-Ro taşımacılıkta en yoğun kullanılan ülke Birleşik Krallık'tır. Birleşik Krallık'ı sırasıyla İtalya, İsveç, Almanya ve Fransa izlemektedir (ESPO, 2016). Konu liman bazında ele alındığında ise Avrupa Bölgesi'nde Ro-Ro taşımacılık açısından en aktif liman Belçika'nın Zeebrugge Limanı'dır. Zeebrugge Limanı'nı sırasıyla Rotterdam Limanı ve Londra Limanı takip etmektedir (IHS, 2011).

Öte yandan, dünyadaki en büyük yirmi Ro-Ro operatörleri incelendiğinde Grimaldi şirketi 47 gemi ve yaklaşık 180.000 araç metre (lanemeter<sup>1</sup>-LM) taşıma kapasitesi ile listenin başındadır. İkinci sırada ise 19 gemi ve yaklaşık 60.000 LM kapasite ile DFDS şirketi yer almaktadır. Messina şirketi ise 11 gemi ve yaklaşık 53.000 LM kapasite ile üçüncü sıradadır.

Listedeki Türkiye'de faaliyet gösteren UN Ro-Ro operatörü, filosundaki 12 adet Türk bayraklı gemi ile listenin 5. sırasındadır. UN Ro-Ro şirketine bağlı gemilerin taşıma kapasiteleri 3214 LM ile 4094 LM arasında değişmektedir. Filonun toplam taşıma kapasitesi ise 43.616 LM'dir (BRS, 2015). Ro-Ro gemilerin günlük kiralama bedelleri ise Şekil 8'de verilmiştir. Listeye dâhil olan gemiler, kısa mesafeli deniz taşımacılığı yapan ve aynı zamanda gemi kış tarafında dik pozisyonda açılabilen kış kapağına sahip Ro-Ro gemileridir.

---

<sup>1</sup>Araç metre (LM): 1 metre uzunluğunda ve 2 metre genişliğindeki bir alanı belirterek Ro-Ro gemilerinin araç kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan birimi ifade eder (URL14, 2016). Ro-Ro taşıma kapasitesi bu birim üzerinden hesaplanmaktadır.



Şekil 8. 2010-2015 yıllarında Ro-Ro gemilerinin günlük kiralama bedelleri (BRS, 2015).

Şekil 8’de görüldüğü üzere 3500 LM ve üzeri Ro-Ro gemilerinde 2010 yılında günlük 14.500 Avro olan günlük kiralama bedeli, 2011-2013 yılları arasında günlük 10.000 Avro bandına inmiştir. Ancak daha sonraki yıllarda günlük kiralama bedeli artış yönünde ivmelenerek 2015 sonunda 15.000-20.000 Avro bandında seyretmiştir. Diğer kapasite türlerindeki Ro-Ro gemilerinde de yıllara bağlı olarak inişli çıkışlı grafikler görülmektedir. 2011 küresel ekonomik krizi, 2011-2012 yılları arasındaki kiralama bedellerindeki temel düşüşün nedeni olarak görülmektedir. Öte yandan 1000-1300 LM taşıma kapasiteli Ro-Ro gemilerinin günlük kira bedellerinde fazla bir değişimin olmadığı gözlenmektedir. Beş yıllık süreçte kiralama bedelleri 5250-6000 Avro civarında gezinmiştir.

### 1.8. Türkiye’de Ro-Ro Taşımacılığı

Türk ticari gemi filosu istatistiklerine bakıldığında; 1 Ocak 2016 tarihi itibarıyla Türkiye’nin 1000 GT ve üzeri tonaja sahip toplam 1535 adet gemisi mevcuttur. Bu gemilerin 593’ü Türk bayraklı 942’si ise yabancı bayraklıdır. Türk bayraklı gemilerin gemi tipine göre dağılımı ise Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Türk deniz ticaret filosunun gemi tiplerine göre dağılımı (IMEAK DTO, 2016).

Gemi Tipleri	Adet	Tonaj (DWT)	Ağırlıklı (DWT)	Tonaj (GT)	Ağırlıklı (GT)	Yaş Ort.
Kuru Yük Gemisi	207	1.176.313	24	770.597	23	24
Dökme Yük Gemisi	85	4.060.264	10	2.325.735	11	13
Konteyner	57	964.212	12	763.100	12	13
Kuru Yük Konteyner	17	123.311	14	87.253	14	15
Kimyevi Madde Tankeri	58	427.283	12	277.682	12	14
LPG tankeri	7	39.389	17	37.227	17	21
Asfalt Tankeri	3	42.706	4	33.248	3	12
Ro-Ro Gemisi	23	232.089	12	554.159	11	14
Ro-Ro Ferry/Yolcu	10	18.471	38	39.998	31	24
Feribot	28	21.756	21	62.045	16	18
Tren Ferisi	6	1.660	49	9.835	43	42
Yolcu/Yolcu Yük Gemisi	12	13.503	41	135.545	47	31
Balıkçı Gemileri	1	569	42	1.407	42	42
Bilimsel Araştırma/İnceleme Gemisi	4	5.990	12	20.173	24	20
Şehir Hatları	1	0	0	1.043	64	64
Şehir Hatları Arabalı	11	6.732	32	13.421	26	27
Römorkör	3	2.028	40	4.142	37	37
Hizmet Gemileri	34	28.099	35	302.956	44	35
Diğer	1	0	0	1.333	35	35
Petrol Tankeri	24	1.165.601	10	616.524	10	16
Tren Ferry/Ro-Ro	1	6.266	37	15.195	37	37
<b>Toplam</b>	<b>593</b>	<b>8.336.242</b>	<b>22</b>	<b>6.072.618</b>	<b>26,62</b>	<b>26,38</b>

Tablo 5'te görüldüğü üzere Türk deniz ticaret filosunda toplamda 593 adet gemi olup, bu sayı tonaj olarak ise yaklaşık 8,33 milyon DWT'e tekabül etmektedir. Ayrıca, Türk deniz ticaret filosunda 207 adet gemi ile en fazla bulunan gemi tipi kuruyük gemileridir. Kuruyük gemilerini sırasıyla 85 adet ile dökme yük gemileri, 58 adet ile kimyevi madde tanker gemileri takip etmektedir. Tonaj olarak bakıldığında ise 4,06 milyon DWT ile en fazla tonaja sahip gemi tipi dökme gemilerdir. Dökme gemileri 1,17 milyon DWT ile kuruyük gemileri, 1,16 milyon DWT ile petrol tanker gemileri takip etmektedir. Türk deniz ticaret filosundaki Ro-Ro kargo gemilerinin tonaj kapasitesi 23 gemi ile 0,23 milyon DWT'tir. Öte yandan Türkiye'de yurtdışı bağlantılı birçok Ro-Ro hattı mevcuttur. Söz konusu hatlar harita üzerinde Şekil 9 'da gösterilmiştir.





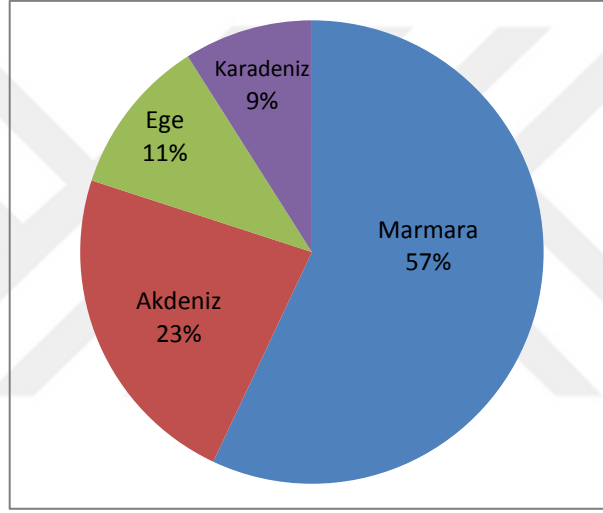
Şekil 9. Türkiye’deki Ro-Ro hatları (UDBH, 2017).

Şekil 9’da görüldüğü üzere 2016 yılı itibariyle Türkiye’de yurt dışı bağlantılı 18 Ro-Ro hattı aktif olarak çalışmaktadır. Ayrıca Avrupa bağlantılı hatların Marmara Bölgesi üzerinden yapıldığı görülmektedir. Marmara bölgesi dışında Samsun, Zonguldak ve Trabzon’dan Rusya ve Ukrayna hatlarına düzenli olarak karşılıklı Ro-Ro taşımacılığı yapılmaktadır. Ancak 2014 Sochi kış olimpiyatları nedeniyle Trabzon-Sochi hattı Ro-Ro trafiğine kapatılmıştır (Başar vd., 2015). Olimpiyatlardan sonra açılan ve halen aktif olan bu hatta çok sınırlı düzeyde taşımacılık faaliyeti gerçekleştirilmektedir. Karadeniz hattında yük taşımacılığının yanı sıra yolcu taşımacılığı da aktif haldedir. Bu kapsamda Samsun-Kavkaz Ro-Ro hattında demiryolu feribotları ile Rusya ve Türkiye arasında vagon taşımacılığı yapılmaktadır. Diğer taraftan, Mersin ve Gazimagosa arasındaki taşımacılığın büyük bir ticari hacmi olamamakla beraber daha çok araç-yolcu taşımacılığı ön plandadır (IMEAK DTO, 2016).

Yukarıda ifade edilen Ro-Ro hatlarında 2015 yılında taşınan araç sayısı, 2008 yılına göre yaklaşık 140.000 adet artarak %42’lik büyüme göstermiştir. 2015 yılında Marmara Bölgesi odaklı Ro-Ro taşımacılığıyla toplam 269.924 araç taşınmıştır. Bu bölgenin lokomotif hattı olan Pendik/Haydarpaşa-Trieste hattında taşınan araç sayısı ise 188.378 adettir. Ayrıca, Akdeniz Bölgesi odaklı Ro-Ro taşımacılığında toplam 106.920 adet araç

taşınmış olup, bu bölgenin ticari hacim olarak en önemli hattı olan Mersin-Trieste hattında ise 37.538 araç taşınmıştır. Ege Bölgesi odaklı Ro-Ro taşımacılığında 2008-2015 yılları arasında sadece Çeşme-Trieste hattı kullanılmış olup, bu hatta 2015 yılında taşınan araç sayısı 50.825 adettir. 2015 yılında Karadeniz Bölgesi odaklı Ro-Ro taşımacılığında ise 41.621 adet araç taşınmıştır. Bu bölgenin en yoğun hattı olan Samsun-Gelincik hattında 13.853 adet araç taşınmıştır (IMEAK DTO, 2016).

Taşınan araç miktarları baz alındığında Ro-Ro taşımacılığının Türkiye’de bölgelere göre dağılımı Şekil 10’da gösterilmektedir.



Şekil 10. 2015 yılı bölgeler itibariyle Ro-Ro ile taşınan araç yüzdesi (IMEAK DTO, 2016).

Şekil 10’da görüldüğü üzere; Türkiye odaklı Ro-Ro taşımacılığında en büyük pay %57 ile Marmara Bölgesi’ne aittir. Marmara Bölgesi’nin gelişmiş sanayiye ve altyapıya sahip olmasından ötürü bu bölgede ithalat ve ihracat kaynaklı Ro-Ro taşımacılığı gelişmiştir. Marmara Bölgesi’ni sırasıyla %23 ile Akdeniz Bölgesi, %11 ile Ege Bölgesi takip etmektedir. Ro-Ro taşımacılığında %9’luk pay ile Türkiye odaklı en az paya sahip bölge ise Karadeniz Bölgesi’dir.

Öte yandan, Türkiye’de küçük ve orta çapta faaliyet gösteren birçok Ro-Ro firması bulunmasına rağmen, ticari hacmi yüksek ve yurt dışı bağlantılı olan yalnızca üç tane Ro-Ro firması mevcuttur. 12 adet gemi ve 126.535 DWT tonaj ile Dünya sıralamasında 5. sırada olan UN Ro-Ro İşletmeleri A.Ş. doğal olarak Türkiye’de lider konumdadır (URL8, 2016). UN Ro-Ro İşletmeleri A.Ş.’yi 4 gemi ve 37.440 DWT tonaj kapasitesi ile Ulusoy

Ro-Ro Denizyolu İşletmeciliği A.Ş.,4 gemi ve 39.932 DWT tonaj kapasitesi ile Ekol Lojistik A.Ş. takip (URL9, 2016; URL10, 2016).

Dünya ve Türkiye’de Ro-Ro taşımacılıkla ilgili gemi, tonaj, liman ve firma bilgileri ile ilgili istatistikler verildikten sonra, çalışmanın bundan sonraki kısımlarında taşımacılık hizmet üretim maliyetleri üzerinde durulacaktır. Taşıma hizmet üretim maliyetleri sınıflandırılıp, bu maliyetlere etki eden faktörler ortaya koyulacak ve en önemli maliyet kalemi ile bu kalemi etkileyen faktörler ifade edilmeye çalışılacaktır.

### **1.9. Denizyolu Taşımacılığında Maliyetler**

Genel anlamıyla maliyet, *“amaçlanan bir sonuca ulaşmak için katlanılması gereken esirgenmezliklerin, genellikle parayla ölçülen toplamı”* olarak ifade edilmektedir (Büyükmirza, 1999). Maliyet kavramı diğer tüm sektörlerde olduğu gibi taşımacılık sektöründe de; dışsal maliyetler ve içsel maliyetler olmak üzere öncelikle ikiye ayrılmaktadır. Dolayısıyla çalışmanın bu kısmında denizyolu taşımacılığında dışsal ve içsel maliyet ve bileşenlerinin neler olduğu ve bu maliyetlere etki eden faktörler üzerinde durulacaktır.

#### **1.9.1. Denizyolu Taşımacılığında Dışsal Maliyetler**

Dışsal maliyetler; üretim veya tüketim faaliyeti sonucunda oluşan ve çevreye etki eden olumsuzluklardır (Saatçioğlu ve Saygılı, 2013). Bu etmenler diğer birimleri etkileyerek toplam maliyetin üzerine eklenir. Dışsal maliyetler, kişilerin veya firmaların önbilgisi olmadan ve istekleri dışında ortaya çıkmaktadır (Karakuzu, 2010). Denizyolu taşımacılığında ise dışsal maliyetler; gemi kazaları, hava ve çevre kirliliği, gürültü ve iklim değişikliğinden doğan zararların maliyetleridir (Türkel, 2010).

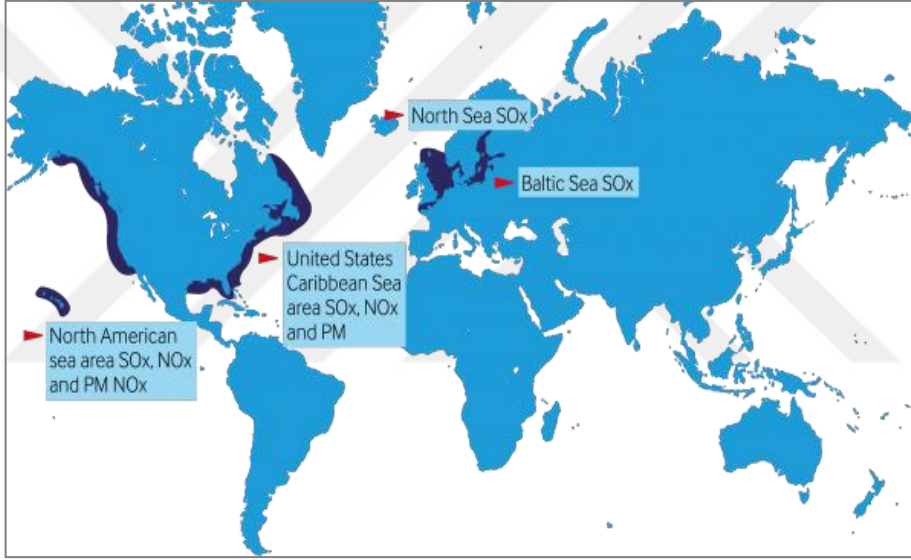
Dışsal maliyet kalemlerinden biri olan gemi kazaları ile ilgili dünyada ve Türkiye’deki istatistikler şu şekildedir. Avrupa Deniz Güvenliği Ajansı (European Maritime Safety Agency-EMSA) tarafından kayıt altına alınmış 1 Ocak 2016 itibariyle dünyada 3669 geminin karıştığı 3296 adet gemi kazası meydana gelmiştir. Bu kazaların 91 adedi ciddi kazalar olup, 115 ölü, 976 yaralı ve 36 gemi kaybıyla sonuçlanmıştır. Oluşan

kazaların neredeyse yarısı genel kargo gemileri tarafından meydana gelmiştir (EMSA<sup>2</sup>, 2016). Türkiye’de ise 2016 yılında toplamda 504 kaza meydana gelmiş olup bu kazalar 183 ölü ve 96 yaralı ile sonuçlanmıştır (URL11, 2016). Türkiye’deki kazalarda ölü sayısının çok olmasının birinci nedeni yasadışı göç faaliyetlerindeki tekne batmalarıdır. Türk makamları bu faaliyetleri de gemi kazası sınıfına sokmaktadır. Öte yandan Türk Boğazları kaza riski açısından tehlike arz etmektedir. Türk Boğazları ile ilgili yapılan çalışmada Türk boğazlarında yaşanan gemi kazalarının %89’luk oranda ekonomik kayıpla sonuçlandığını, aynı kazaların %11’lik kısmının ise insan kaybı/yaralanma ile sonuçlandığı belirtilmiştir (Uğurlu vd., 2016).

Denizyolu taşımacılığında dışsal maliyetlerde bir diğer önemli kalem çevre kirliliğidir. Özellikle ağır yakıt kullanan gemilerden kaynaklı baca gazı salınımları ciddi boyutta çevre kirliliğine yol açabilmektedir. Dünya deniz ticaret filosundaki gemiler 2014 yılı verilerine göre; yılda toplam 330 milyon ton yakıt harcamaktadırlar. Bu miktarın %80-85’lik bölümünü yüksek sülfür yüzdesine sahip, ağır fuel oil (HFO) olarak adlandırılan yakıt türü oluşturmaktadır. Geri kalan kısmını ise IMO’nun yakıtın çevresel etkilerini azaltmaya yönelik yaptığı düzenlemelere uygun olan damıtılmış yakıtlar oluşturmaktadır (DNV GL, 2014). Yüksek sülfür içeriğine sahip yakıtların kullanılması çevreye tehlikeli boyutlarda zararlı gaz salınımına mahal vermektedir. Gemi yakıtlarından kaynaklı başlıca zararlı emisyonlar sülfür oksit (SO<sub>x</sub>), nitrojen oksit (NO<sub>x</sub>), partikül madde (PM) ve karbondioksitten (CO<sub>2</sub>) oluşmaktadır. Bu gaz salınımlarının 2007 yılına kıyasla 2030 yılında %50, 2050’de ise %100 oranında artacağı tahmin edilmektedir (Saatçioğlu ve Saygılı, 2013). Bununla beraber, gemilerden kaynaklı bahsedilen zararlı gaz emisyonlarının yaklaşık %70’lik bir bölümü karadan 400 km uzaklığa kadar yayılmaktadır (Corbett vd., 2007). Literatürde yapılan farklı çalışmalar; küresel ticari gemi filosunun yıllık 55,2-68 milyon ton emisyon salınımı ile yeryüzündeki toplam emisyon miktarlarının %6-12’lik kısmını oluşturduğunu ve yeryüzündeki SO<sub>x</sub> salınımının %5-10’luk kısmının yine küresel denizyolu taşımacılığından kaynaklandığını belirtmektedir (Wang vd.,2007; OECD, 2016). Yapılan bir diğer araştırmada ise 2012 yılında gemilerden kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımı toplamda 800 milyon ton olup bu miktarın 29 milyon tonu sadece Ro-Ro kargo gemilerinden oluşmaktadır (IMO GHG Study, 2014). Sadece Avrupa kıtasında küresel denizyolu taşımacılığı sonucu oluşan emisyonlar yılda 50 bin prematüre ölümüyle ve yaklaşık 58 milyar avro maddi zararla sonuçlanmaktadır (Pawlak, 2016).

<sup>2</sup>EMSA sadece kayıt altına almış olduğu deniz kazalarını ilan ettiği için bu rakam dahada yüksek olabilir.

Gemilerden kaynaklı zararlı gaz emisyonlarının gerek insan sağlığı boyutunda gerekse maddi boyutta verdiği ciddi zararlar IMO'yu çeşitli düzenlemeler yapmaya sevk etmiştir. 2009 yılında IMO, çevresel endişeler nedeniyle "Regulation-14" adında sülfür düzenlemesi yayınlamıştır. Bu düzenlemedeki amaç gemi yakıtlarının içeriğinde bulunan SO<sub>x</sub> ve PM içeriklerinin limitlerinin belirlenmesidir. Yönetmeliğe göre dünya üzerinde Emisyon Kontrol Alanları (ECA) tespit edilerek, bu bölgelerdeki SO<sub>x</sub> ve PM limitleri belirlenmiştir. Gemi üzerindeki ana makineler, dizel jeneratörler ve kazanlar IMO yönetmeliğinin belirlediği SO<sub>x</sub> ve PM limitlerine uyan yakıtlar kullanmak zorundadırlar (IMO, 2016). Şekil 11'de dünyadaki ECA bölgeleri harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 11. Dünya üzerindeki ECA bölgeleri (Shipowners, 2016).

Şekil 11'de görüldüğü üzere dünyadaki ECA bölgeleri;

- Baltık Denizi Bölgesi – Denizlerin Gemiler Tarafından Kirletilmesinin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL) Ek-I 'de belirtildiği gibi (sadece SO<sub>x</sub> emisyonları)
- Kuzey Denizi Bölgesi – Marpol Ek-V'te belirtildiği gibi (sadece SO<sub>x</sub> emisyonları)
- Kuzey Amerika Bölgesi (1 Ağustos 2012'de yürürlüğe girdi.) – MARPOL Ek-VI' da belirtildiği gibi (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve PM)

- Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Karayip Denizi (1 Ocak 2014'te yürürlüğe girdi) – MARPOL Ek-VI' da belirtildiği gibi (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve PM) olarak belirlenmiştir.

IMO'nun ECA bölgelerinde ve ECA bölgeleri dışında belirlemiş olduğu SO<sub>x</sub> ve PM limitleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. IMO SO<sub>x</sub> ve PM limitleri (Erol ve Baştürk, 2015).

<b>ECA Bölgesi Dışındaki SO<sub>x</sub> ve PM Limitleri</b>	<b>ECA Bölgesi İçindeki SO<sub>x</sub> ve PM Limitleri</b>
%4,50 m/m (1 Ocak 2012 öncesi)	%1,50 m/m (1 Temmuz 2010 öncesi)
%3,50 m/m (1 Ocak 2012 ve sonrası)	%1,00 m/m (1 Temmuz 2010 ve sonrası)
%0,50 m/m (1 Ocak 2020 <sup>3</sup> ve sonrası)	%0,10 m/m (1 Ocak 2015 ve sonrası)

Tablo 6'ya göre çeşitli yıllara göre IMO'nun sınırlama getirdiği SO<sub>x</sub> ve PM değerleri verilmiştir. Gemi üzerindeki yakıtların SO<sub>x</sub> ve PM değerlerinin ECA bölgeleri içinde ve dışında olmak üzere tabloda belirtilen sınırlar içerisinde olması zorunludur. 2016 yılı itibari ile ECA bölgelerindeki gemilerin kullandıkları yakıtlardaki SO<sub>x</sub> ve PM içerikleri en fazla %0,10 m/m olmalıdır. ECA bölgelerindeki dışında ise, yakıt içeriğindeki SO<sub>x</sub> ve PM değerleri en fazla %3,50 m/m olmalıdır.

Gemi yakıtlarının çevresel zararlarından bahsedildiğinde, IMO sadece SO<sub>x</sub> ve PM emisyonları ile alakalı düzenleme yapmamıştır. Bunun yanında, IMO 2008 yılında "Regulation-13" adı altında bir başka düzenleme yayınlayarak "NO<sub>x</sub> Teknik Kodu" yürürlüğe koymuştur. Teknik Kod'a göre gemiler yapım yılları ve makinelerinin devir sayılarına göre farklı seviyeler (tier) içinde sınıflandırılmıştır. Tablo 7'de IMO'nun çeşitli seviyeler için belirlemiş olduğu NO<sub>x</sub> limitleri gösterilmektedir.

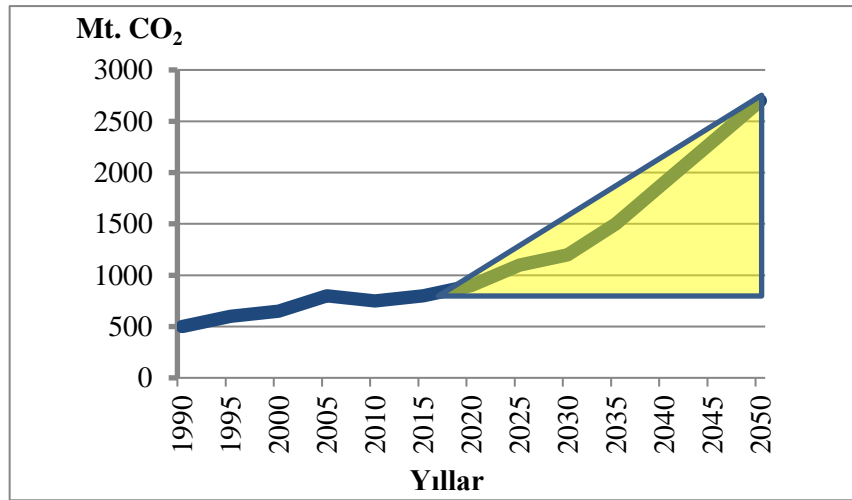
<sup>3</sup>2018 yılında yapılacak değerlendirme ile gemilerin düzenlemeye adaptasyonuna ve yakıt piyasasında düşük sülfürlü yakıtların yeterli olup olmadıklarına göre bu tarih 1 Ocak 2025 tarihine ertelenebilir.

Tablo 7. IMO NO<sub>x</sub> limitleri (Erol ve Baştürk, 2016).

Seviye	Tarih	NO <sub>x</sub> Limitleri (g/kWh)		
		n < 130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Seviye I	1 Ocak 2000	17,0	45.n <sup>-0,2</sup>	9,8
Seviye II	1 Ocak 2011	14,4	44.n <sup>-0,23</sup>	7,7
Seviye III	1 Ocak 2016 <sup>4</sup>	3,4	9.n <sup>-0,2</sup>	1,96

Tablo 7’de görüldüğü üzere; Seviye III değerleri sadece ECA bölgelerinde geçerli olacaktır. ECA bölgeleri dışında ise Seviye II değerleri geçerli olacaktır. Gemi yapım yılı 1 Ocak 2016 ve sonrasında olan gemilerde Seviye III değerleri geçerli olacaktır. Örneğin; ana makinesinin dakikadaki devri (rpm) 720 olan bir geminin inşa yıllarına göre NO<sub>x</sub> değerleri “Seviye I” için 12,1 g/kWh, “Seviye II” için 9,7 g/kWh ve “Seviye III” için 2,4 g/kWh’tir.

Gemi yakıtlarından kaynaklı zararlı SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve PM salınımları dışında CO<sub>2</sub> gazından da bahsetmek gerekmektedir. Küresel sera gazlarının (GHG) oluşmasında denizyolu taşımacılığının dikkate değer bir etkisi vardır. Küresel CO<sub>2</sub> gazı salınımının %3’lük bölümü denizyolu taşımacılığında meydana gelmektedir (Eide vd., 2011). Yıllara göre küresel deniz taşımacılığında kaynaklanan CO<sub>2</sub> salınımları ile ilgili grafik Şekil 12’de verilmiştir.



<sup>4</sup>ECA bölgelerinde uygulanacak. ECA bölgeleri dışında ise Seviye II değerleri geçerlidir.

Şekil 12. Denizyolu taşımacılığına bağlı küresel CO<sub>2</sub> salınımı (AAGR, 2016).

Şekil 12’de görüldüğü üzere; 1990’ lı yıllardan itibaren CO<sub>2</sub> salınımı denizyolu taşımacılığının artmasıyla hızla artmıştır. Sadece küresel ekonomik krizlerin var olduğu 2008 ve 2011 yılları arasında bir düşüş meydana gelmiştir. Dünyadaki ticaret gemileri var olan yakıt tüketimlerini devam ettirirlerse, 2050 yılında gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımı yılda 2750 m/t seviyelerine ulaşacaktır.

Küresel denizyolu taşımacılığı bir yandan en önemli taşıma maliyeti kalemi olan yakıt giderlerini azaltmayı hedeflerken, bir yandan da yakıtın çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltarak IMO düzenlemelerine uymak zorundadır. Bunun için gemi işletmeleri türlü seçenekleri değerlendirmektedir. Sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) gibi daha az karbon içeriğine sahip yakıtlar kullanmak, var olan HFO yakıt sistemlerini modifiye etmek bu seçeneklerden bazılarıdır (Erol ve Baştürk, 2016). Öte yandan, gemi işletmeleri açısından yakıt verimliliğini göz önünde bulundurarak en uygun gemi hızını bulmak ta önem arz etmektedir. Böylece, gemi yakıt tüketiminden doğan ekonomik ve çevresel dezavantajları bertaraf etmek daha kolay olacaktır.

### 1.9.2. Denizyolu Taşımacılığında İçsel Maliyetler

Genel anlamda içsel maliyetler, talep edilen mal ve hizmetler için yapılan işlemlerin parasal karşılığıdır (Türkel, 2010). Denizyolu taşımacılığında içsel maliyetler ise, taşıyanın taşıma hizmetlerini sağlamak için yaptığı servisin parasal karşılığıdır (Rodrigue vd., 2006). Çalışmanın bu kısmında içsel maliyetler olan taşıma hizmet üretim maliyetleri üzerinde durulacaktır. Bu çerçevede denizyolu taşımacılığında maliyet yapısı incelendiğinde literatürde farklı sınıflandırmalar mevcuttur.

Denizyolu taşımacılığında, maliyet yapısı ile ilgili en yoğun kullanılan maliyet sınıflandırmasını Stopford (2009) ortaya koymuştur. Bu maliyet sınıflandırması Tablo 8’de gösterilmektedir.



Tablo 8. Servisteki bir geminin taşıma hizmet maliyet unsurları (Stopford, 2009).

<b>Operasyon Maliyetleri</b>	<b>Sefer Maliyetleri</b>	<b>Sermaye Maliyetleri</b>
-Personel Giderleri	-Yakıt Giderleri	-Faiz Giderleri
-Malzeme Giderleri	-Kılavuz Kaptan Giderleri	-Amortisman
-Sigorta Giderleri	-Liman Ücretleri	-Dosya Giderleri
-Teknik ve Yönetim Giderleri	-Yükleme-Boşaltma Maliyetleri	-Komisyonlar
-Bakım-Onarım Giderleri	-Pilotaj Giderleri	-Harçlar
-Genel Giderler	-Römorkör Giderleri	-Diğer
-Diğer	-Yola Elverişlilik Belgesi	
	-Diğer Giderler	

Tablo 8'e göre; taşıma maliyetleri genel olarak üç ana bölümde incelenmektedir. Bunlar; operasyon maliyetleri, sefer maliyetleri ve sermaye maliyetleridir. Operasyon maliyetleri geminin işletimde kalabilmesi için devamlı yapılması gereken masrafların toplamını ifade etmektedir. Özellikle bakım-onarım, malzeme ve personel giderleri operasyon maliyetinin önemli kalemlerini oluşturmaktadır (Arslan ve Gürel, 2008). Sefer maliyetleri ise geminin taşıma işleminin önemli faktörlerinden biri olup seyir ve liman operasyonlarını meydana getirmek için ihtiyaç duyulan maliyetlerdir. Bir diğer maliyet başlığı olan sermaye maliyetleri ise, gemi işletmesinin yatırımlarını ve faaliyetlerini sergileyebilmek için yaptığı maliyetlerdir (Polo, 2012).

Literatürde denizyolu taşıma maliyetleri üzerine yapılan çalışmalarda, yukarıda belirtilen maliyet grupları içerisinde en önemli paya sahip gider kaleminin yakıt giderleri olduğu ortaya konulmuştur (Pocuca, 2006; Alizadeh ve Nomikos, 2004). Ortalama bir Ro-Ro kargo gemisi günde 17-48 ton yakıt tüketmektedir. Bu tüketim doğal olarak gemi büyüklüğüne ve diğer şartlara bağlı olarak günlük 100 tonu aşabilmektedir (CSC, 2016). Dolayısıyla profesyonel gemi yönetiminin taşıma hizmet üretim maliyetlerini düşürebilmesi için öncelikle yakıt giderlerine odaklanması daha doğru yaklaşım olacaktır.

### **1.9.2.1. Yakıt Giderleri**

Geminin seyirde ve limanda harcadığı toplam yağ ve yakıt miktarının parasal karşılığı yakıt giderlerini oluşturmaktadır. Servisteki bir geminin taşıma maliyetleri içerisinde, %47 ile %53'lük kısmını yakıt giderleri oluşturmaktadır (Bialystocki ve Konovessis, 2016; Alizadeh ve Nomikos, 2004; Wang ve Xu, 2015). Gemi sefere çıkmadığı zaman yakıt giderleri asgari düzeyde olur fakat yakıt giderleri hiçbir zaman sıfır

olmaz (Saban ve Güğerçin, 2009). Bunun nedeni, limanlarda da fuel oilin ısıtılması amacıyla gemi kazanının devamlı olarak kullanılması ve gemi dizel jeneratörünün elektrik enerjisi sağlama açısından devamlı çalışmasıdır. Dolayısıyla, bahsedilen yardımcı makinelerin kullanımından ötürü gemiler limanda iken motorin tüketmek zorundadır.

Yakıt giderleri, yakıt fiyatları ve yakıt tüketimine bağlı olarak değişmektedir. Ancak gemi işletmeleri açısından yakıt fiyatları işletmeler tarafından kontrol edilebilen bir olgu değildir. Serbest piyasa düzeninde yakıt fiyatları arz ve talebe göre oluşmaktadır. Bu nedenle dünya üzerinde yakıt fiyatları yakıtın türüne ve alındığı bölgeye göre değişmektedir. Örneğin, 2017 Nisan ayında ortalama olarak orta ağırlıkta fuel oil (IFO 380) gemi yakıtının fiyatı Rotterdam limanında 279 dolar/ton iken aynı yakıt türü Busan limanında ise 335 dolar/ton'dur (Bunker Index, 2017).

Yakıt giderlerini etkileyen diğer temel faktör ise yakıt tüketimidir. Yakıt fiyatlarının aksine gemi işletmeleri yakıt tüketimini kontrol edebilirler. Teknik olarak bir geminin yakıt tüketimi gemi teknesi ve gemi ana makinesiyle bağlantılıdır. Seyirde sabit hızla gidildiğinde yakıt tüketimi, gemi tonajına ve gidilecek mesafeye bağlı olarak değişmektedir. Böylece geminin taşıdığı yüke bağlı olarak uygun gemi hızı ile yakıt tüketimi düşürülebilir. Limanlarda ise yardımcı makinelerden doğan yakıt tüketimi dışında yanaşma ve kalkış manevraları, yakıt tüketimine etki eden en önemli faktörlerdir. Bu manevraların süresi ve liman iskele mendirek uzunluğu arttıkça, yakıt tüketimi de doğal olarak artmaktadır. Bundan ötürü geminin yakıt tüketimi limandan limana değişiklik göstermektedir (Hsu ve Hsieh, 2005). Limandaki yakıt tüketimine nazaran seyirdeki yakıt tüketimini kontrol etmek daha kolay olduğundan çalışmada ağırlıklı olarak seyir yakıt tüketimini etkileyen faktörler üzerinde durulmuştur.

### **1.10. Gemi Yakıt Tüketimini Etkileyen Faktörler**

Gemi yakıt tüketimini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunların başında; geminin hızı, deplasman olarak ta ifade edilen geminin toplam ağırlığı, geminin taşıdığı balast miktarı gelmektedir (Meng vd., 2016). Öte yandan yapılan çalışmalarda; gemi teknesi, geminin ana makine gücü, geminin trimi, pervane piçi ve tekne dirençleri gibi faktörlerin de gemi yakıt tüketimini etkilediği sonuçlarına ulaşılmıştır (Ballou vd., 2008).

Sözü edilen faktörlerden yakıt tüketimine etki eden faktörlerden en önemlisi gemi hızıdır (Corbett vd., 2009). Gemi hızında meydana gelen en ufak değişikliklerin bile enerji

verimliliği üzerinde etkisi vardır (Smith vd., 2011). Gemi hızındaki %10'luk bir azalma, yakıt tüketiminde %27'lik bir tasarrufa neden olmaktadır (Beşikçi vd., 2016a). Bu tasarruftan dolayı günümüzde gemiler bazen “slow steaming” adı verilen belirlenen servis hızının altında da seyir yapmaktadır. Bu durumun birincil nedeni artan petrol fiyatlarına bağlı olarak operasyon giderlerini asgari düzeyde tutmak olup diğer önemli neden ise IMO'nun getirdiği gemi yakıtları ile ilgili çevresel düzenlemelere uymaktır (Smith vd., 2011). Bu yöntemi gemiler 2007 yılından beri kullanmaktadır. Yapılan araştırmaya göre; bir gemi yüksek hızda seyir yapıp liman sahasında bekleme yerine, düşük hızda seyir yapıp limana vaktinde girdiğinde %10 daha az yakıt tüketir (Beşikçi vd., 2016a). Düşük hızda seyir yapmanın dezavantajlı durumları da vardır. Bunların başında, seyir süresinin dolayısıyla kargo teslimat süresinin uzaması sorunu gelmektedir (Wang, 2016). Bundan ötürü, zaman ve yakıt tüketimine göre geminin optimum hızı daha önceki seyir verileri ve geminin ticari faaliyet verileri göz önünde bulundurularak hesaplanır. Böylece bir sonraki sefer için en uygun yakıt tüketim değerleri bulunması hedeflenir. Başka bir deyişle, yakıt tüketiminin minimum düzeye indirilmesi amaçlanır.

Yakıt tüketimi ile gemi hızı arasında doğrusal olmayan kübik bir bağlantı vardır. Başka bir ifadeyle bir geminin günlük yakıt tüketimi gemi hızının kübik fonksiyonundan oluşmaktadır (Psaraftis ve Kontovas, 2014; Kowalski, 2013). Bununla beraber Panamax tipi dökme gemisinin hıza bağlı yakıt tüketimi üzerine yapılan bir çalışmada; hız ile yakıt tüketimi arasında doğrusal bir fonksiyon olmadığı gözlemlenmiştir (Pocuca, 2006). Tablo 9'da bu geminin değişik hızlardaki günlük toplam yakıt tüketimi gösterilmiştir.

Tablo 9. Panamax dökme gemisi hız-yakıt tüketim tablosu (Stopford, 1997).

Gemi Hızı (kn)	Yakıt Tüketimi (ton/gün)
16	44
15	36
14	30
13	24
12	19
11	14

Tablo 9'dan anlaşılacağı üzere hız ile yakıt tüketimi arasında doğrusal olmayan bir bağlantı vardır. Gemi hızı 16 knot (kn) iken günlük yakıt tüketimi 44 tondur. Gemi hızı 11

kn'a düştüğünde ise günlük yakıt tüketimi 14 tona düşmektedir. Başka bir deyişle, hız 1,5 kat arttığında yakıt tüketimi 3 kattan daha fazla artmaktadır.

Yakıt tüketimini etkileyen en önemli faktör olan gemi hızını da etkileyen bazı teknik, fiziki, ekonomik ve stratejik nedenler vardır. Aşağıda hızı etkileyen bu faktörler üzerinde durulmuştur.

### **1.10.1. Gemi Hızına Etki Eden Faktörler**

#### **1.10.1.1. Gemi Deplasmanı ve Yükleme Durumu**

Bir geminin toplam ağırlığı olarak adlandırılan deplasman, geminin boş ağırlığı ile geminin içindeki ağırlıkların toplamıdır. Geminin içindeki ağırlıklar; yük, yakıt, yağlama yağı, balast, su ve konstant adı verilen bilinmeyen ağırlıklardan oluşmaktadır. Başka bir ifadeyle geminin terazi üzerine koyulup tartıldığı farzedildiğinde ortaya çıkan ağırlığa deplasman denir (Akın, 2000). Gemi deplasmanını oluşturan geminin boş ağırlığı değişmeyen bir etmendir. Ayrıca, düzenli denizyolu taşımacılığı yapan gemilerde her seferde yakıt tanklarında var olan yakıt miktarı neredeyse aynı değerdedir. Yakıt miktarı gibi gemide bulunan yağlama yağı ve kullanma suyu da her zaman belli seviyede tutulmalıdır. Bu nedenle gemi hızına etki eden birincil parametre geminin taşıdığı yük miktarıdır (Meng vd., 2016).

Yükleme durumu, geminin taşıdığı yük miktarını belirtir. Geminin direnci ve belli bir hızdaki yakıt tüketimi geminin yük durumuyla diğer bir deyişle taşıdığı yük miktarı ile doğrudan alakalıdır. Geminin tam yüklü, yarım yüklü veya az yüklü olduğu durumlar yakıt tüketimini ve doğal olarak gemi hızını artırıp azaltabilir. Gemi tam yüklüyken ana makineye etkiyen yük artacaktır, bu nedenden dolayı gemi hızını sabit tutmak için daha fazla yakıt tüketimine ihtiyaç duyulacaktır. Balast durumu, gemiye etki eden dirençler, deniz derinliği vb. gibi faktörler sabit kaldığında aynı makine yükünde bir geminin hızı gemideki yük miktarına bağlı olarak ters orantılı olarak değişir. Bu nedenle gemi optimum hızını belirlerken geminin yük durumu öncelikle göz önüne alınmalıdır (Psaraftis ve Kontovas, 2014).

Düzensiz denizyolu taşımacılığında; düzenli bir sefer planı olmadığından gemi boşken gemi hızını artırarak, geminin daha çok sefer yapma şansı artar. Bu durumda

optimum hız değişkenlik göstermektedir. Fakat düzenli denizyolu taşımacılığı yapan gemilerde gemide hiç yük yokken veya gemi az yüklüken gemi hızında önemli derecede değişiklik görülmez. Düzenli denizyolu taşımacılığında sefer yeri ve süresi belli olduğundan geminin seferden düşmemesi için veya filodaki diğer gemilerin sefer programlarının değişmemesi için gemi hızının belli seviyede tutulması gerekmektedir.

#### **1.10.1.2.Balast Durumu**

Gemi stabilitesini sağlamak ve gemi pervanesinin suda bulunduğu konumu ayarlama vasıtasıyla sevk sisteminden alınan verimi artırmak için kullanılan ilave ağırlıklara balast suyu denir (Vural ve Yonsel, 2015). Gemiler, tam yüklü olmadığı durumlarda ilave ağırlıklarla yüklenmek durumundadır. Böylece ilave ağırlıklar ile geminin yüzerliliği artarak pervanesinin suya tamamen batması sağlanır. Öte yandan gemi teknesine etki eden stresler ile geminin baş-kıç ve iskele-sancak doğrultularındaki eğimler de balast vasıtasıyla bertaraf edilmektedir. Balast suyu olarak tanklara alınan ve boşaltılan madde deniz suyudur. Geminin tam yüklü olması durumunda bile balast suyu kullanılmaktadır. Balast vasıtasıyla eşit ağırlıkta dağılmamış olan yükler, kötü hava şartları ve sığ su geçişleri gibi durumlarda dengelenebilmektedir. Balastın gemi stabilitesindeki görevi metasentir yüksekliğinin (GM) pozitif olarak kalmasını sağlamaktır. Geminin ağırlık merkezi ile geminin meyilli durumundaki kuvvet çizgisinin geminin merkez hattını kestiği nokta arasındaki mesafeye GM denir. Geminin dış kuvvetlerden dolayı belli açıda meyil ettikten sonra, kuvvet ortadan kalktığında tekrar eski haline yani dik durumuna dönmesi için GM değerinin pozitif olması gerekmektedir (MEB, 2012).

Gemi stabilitesi için hayati derecede gerekli olan balast işlemleri Ro-Ro, konteyner ve yolcu gemilerinde diğer tip gemilere nazaran daha da önemlidir. Özellikle Ro-Ro ve yolcu gemilerinde kargo ve yolcu kısımları su hattından yüksekte olup yük dağılımları eşit dağılmayabilir. Böylece, GM değerleri bu gemiler için çok hassastır (IMO, 1997). Bu gemilerde balast sisteminden ayrı olarak anti-heeling adı verilen eğim önleyici sistem de mevcuttur. Eğim önleyici sistem özellikle limanda kargo operasyonları sırasında geminin iskele-sancak doğrultusunda gemi dengesindeki değişimleri algılayarak gemiyi otomatik olarak düzeltir (Herdzik, 2016).

Gemi işletmeleri açısından gemilerin azami düzeyde yük ve asgari düzeyde balast ile seyir yapması ekonomik açıdan en uygun durum olsa da gemi stabilitesi için geminin boş,

yarım yüklü ve hatta tam yüklü durumlarında bile balast suyunun kullanılması gerekir. Gemideki balast durumunun diğer bir deyişle gemideki balast miktarının gemi hızına ve dolayısıyla yakıt tüketimine de etkisi vardır. Perakis ve Papadakis (1987a, 1987b) gemiler için optimum hızın belirlenmesine yönelik yaptıkları çalışmada iki tip hız belirlemişlerdir. İki liman arasında belirlenen seyirde ilk hız, gemi tam yüklü iken limandan kalkış hızıdır. İkinci hız ise geminin boş iken balastlı olarak limana döndüğü balast hızıdır (Wang ve Xu, 2015). Gemi stabilitesi sağlandıktan sonra gemiye alınan balast gemi için ekstra ağırlık meydana getireceğinden, gemi yükleme durumunda anlatıldığı gibi gemi hızını da düşürecektir. Bu nedenle geminin seyir boyunca taşıdığı balast miktarı, optimum hızın belirlenmesinde önem arz etmektedir.

### **1.10.1.3. Tekne Direnci**

Gemi teknesine birçok direnç etki etmektedir. Bu dirençler gemi hızına direkt etki ederek gemi hızını düşürmektedir. Geminin tersane periyodundan bir yıl sonra teknesine etki eden dirençler %12 artmaktadır, beşinci yılsonunda ise bu değer %40'a kadar çıkmaktadır (The Naval Architect, 2016). Geminin teknesi etki eden başlıca dirençler aşağıda verilmiştir.

- Durgun su direnci
- Gemiye etki eden dikey kuvvetlere bağlı dirençler
- Karinanın kirlenmesine bağlı direnç
- Rüzgâr ve dalga direnci

Durgun su yükleri geminin kendi ağırlığından, yüklerin ağırlığından ve geminin batmazlık özelliğinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, geminin taşıdığı yük miktarına bağlı olarak değişmektedir. Durgun su yükleri, seyir boyunca gemi hızına etki eder ve yakıt tüketiminde küçük de olsa değişikliğe sebep olur. Özellikle uzunluğu fazla olan, baş ve kış tanklarda yakıt taşıyan tankerlerde durgun su yüklerinin gemi hızına etkisi daha fazladır (Soares ve Moan, 1988).

Gemi karinasının kirlenmesi gemi direncini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Aşırı kirlenme, gemi hızını önemli derecede etkilemektedir. Yapılan bir araştırmaya göre; Avrupa-Basra Körfezi hattında çalışan 200.000 DWT'lik bir tankerde tersane periyodundan iki sene sonra geminin direncinin kirlenmeye bağlı olarak %47'den %52

seviyesine çıktığı görülmüştür. Bu durumda yakıt tasarrufu için düşük yolda gidilme kararı verilip gemi hızı 16 kn'tan 13 kn'a düşürülmüştür. Fakat durum beklenen gibi olmamıştır. Çünkü düşük hızda gemi ana makinesi kirlenme yüzünden %30 oranda daha çok yüklenerek yakıt tüketimi artmıştır. Bu nedenle gemi karinasının kirlenmesi hız hesaplarında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir faktördür (Journee ve Meijers, 1980). Yapılan bir başka çalışmada ise gemi karinasında kirlenme önleyici sistemler kullanıldığında, yakıt tüketiminde %40 oranına kadar düşme gözlenmiştir (Beşikçi vd., 2016b).

Rüzgâr ve deniz şiddetleri, gemilerin performansını ciddi derecede azaltan etkenlerdendir. Dolayısıyla; gemi üzerinde kaptanlar, karada ise gemi işletmeleri performans kaybını azaltacak önlemler almak zorundadır. Seyirdeki hava planlaması uygun biçimde yapılarak optimum hızlar bulunmalıdır. Böylece yakıt tüketimi en aza indirilir, kötü hava şartlarına bağlı olarak geminin hasar almasının önüne geçilir ve gemi personelinin güvenli seyir yapmasına olanak sağlanır. Ticari gemilerde hava şartlarına bağlı sefer optimizasyonu yapıldığında yakıt tüketiminde %3'e varan bir düşüş görülmüştür (Armstrong, 2013). Gemi hızıyla dalga yönü ve dalga yüksekliği arasında tıpkı gemi hızı-rüzgâr arasındaki gibi bir ilişki vardır. Baş taraftan gelen dalgalar gemi hızını azaltırken, kıçtan gelen dalgalar hızda bir artış meydana getirmektedir. Dolayısıyla, hava şiddetinin fazla olduğu denizlerde gemi performansını tahmin etmek ve uygun hızı belirlemek oldukça zordur (Kosmas ve Vlachos, 2012). Deniz ve rüzgâr şiddetlerinin fazla olduğu durumlarda gemi pervanesi zor şartlarda çalışmaktadır. Pervanenin bazen boşa çıkmasıyla meydana gelen havalandırma ile pervaneye ek yükler etki eder. Eğer pervane su yüzeyine çok yakın yerde çalışırsa, pervane kanatlarının oluşturduğu düşük basınç su altında hava oluşturur ve havalandırma etkileri meydana gelir. Bu durumda gemi teknesine etki eden dirençler artarak gemi hızında düşüşler olmaktadır (Orsic ve Faltinsen, 2012).

Bofor çizelgesi diye bilinen rüzgâr şiddetlerinin durumuna bakıldığında 5 ve üzeri rüzgâr şiddetlerinin gemi için önemli derecede kuvvet oluşturduğu gözlenmiştir. Bu durumda hızı 21 kn ve üzeri olan sert rüzgârlar oluşmaktadır. Aynı şekilde deniz şiddetlerinde de 5 şiddeti ve üzeri durumlarda orta seviyede dalgalar oluşarak geminin tekne direnci artmaktadır (MGM, 2016).

Tablo 10'da rüzgâr şiddetinin gemi hızına olan etkisi üzerine yapılan bir çalışmanın sonuçları belirtilmiştir.

Tablo 10. Rüzgâr şiddetine bağlı hız kaybı (Bassam vd., 2015).

Bofor	Hız Kaybı (%)	Simülasyon Sonucu (%)
5	6,1	6,091
6	11,9	11,91
7	20,5	20,55
8	34,4	34,36

Tablo 10’da görüldüğü üzere; uzunluğu 200 metre olan bir konteyner gemisinin hızının rüzgar şiddetine bağlı olarak gerçek değişim değerleri ve simülasyon programı sonuçlarına bağlı değişimleri araştırılmıştır. Buna göre, gemi hızının rüzgâr bofor şiddeti 5 durumunda %6,1 ve bofor şiddeti 8 durumunda ise %34,4 oranında azaldığı görülmektedir.

#### 1.10.1.4. Gemi Hızına Etki Eden Diğer Faktörler

Gemi hızına etki eden diğer etmenler; gemi pervaneleri ve deniz derinliğidir. Gemi pervaneleri gemiye etki eden dirençlerle direkt olarak karşılaşmaktadır. Bu nedenle pervaneler ana makine yük değişimlerinde ve dolayısıyla gemi hızının değişiminde önemli bir yere sahiptir. Pervaneler kanatlarının işleyişi bakımından sabit adımlı ve değişken adımlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sabit adımlı pervanelerde gemi hızı pervanenin devir sayısı ile değişmektedir. Değişken adımlı pervanelerde ise pervane kanatları hidrolik basınç ile değiştirilerek gemi hızı kontrol edilir. Değişken adımlı pervanelerde (CPP) pervane piç açısı bir dişli kutusu gibi çalışarak gemi hızını, gemi ana makinesinin devrine (rpm) göre kontrol eder. Tersane periyodunda yapılan optimum piç/rpm ayarlaması ile pervane kanat açılarının makine kontrol odası ve köprü üstü kumanda kolları ile senkron hareket etmesi sağlanmaktadır. Böylece, kumanda kollarından yüzde cinsinden verilen pervane kanat açılarının gerçekte aynı oranda açması amaçlanmaktadır. Optimum pervane/piç optimizasyonu ile yakıt tüketimini azaltmak mümkündür (Hellstrom, 2004; Kowalski, 2013).

Gemi hızına etki eden bir diğer etmen ise seyir yapılan denizin derinliğidir. Gemi hızını etkileyen diğer faktörler aynı kaldığında, sığ sularda yapılan seyirlerde gemi hızının, derin sularda yapılan seyirlere göre düştüğü gözlenmiştir (Hellstrom, 2004). Bu durum literatürde çökme etkisi (squat effect) ile açıklanmaktadır. Çökme etkisi, sığ sularda tekne ile deniz tabanı arasındaki hidrodinamik etkiler yüzünden teknenin draftının artmasıdır.



Gemi sığ suda ilerlerken pervanenin çekebildiği su miktarı azalır ve buna bağlı olarak karşı direnç artar. Böylece artan dirence bağlı olarak gemi hızında düşüş meydana gelir (Svetak, 2001).

### 1.11. Literatürdeki Çalışmalar

Literatürde gemi optimum hızı ile doğrudan ve dolaylı olarak yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda, çeşitli optimizasyon algoritmaları ve matematiksel modeller kullanılmıştır. Düzenli taşımacılık yapan gemilerin hız optimizasyonu çalışmaları literatürde mevcut olsa da ağırlıklı olarak düzensiz taşımacılık yapan gemilerin rota optimizasyonları üzerine çalışmalar mevcuttur.

Wang ve Meng (2012), düzenli hatta çalışan bir konteyner firmasına ait gemilerin geçmişteki yakıt tüketimi-hız verilerini kullanarak kalibrasyon çalışması yapmıştır. Firmaya ait üç farklı taşıma kapasitesindeki gemilerin, geçmişte 5 farklı rotada kaydedilen toplam 100 adet veri kullanılmıştır. Bu veriler, sefer planları açısından incelenerek hız optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan çalışmada, hız artışının gemi makine gücüne bağlı kübik fonksiyonunun hızı belirlemede önemli faktör olduğu belirtilmiştir. Bu fonksiyonla beraber geminin çalıştığı sefer hattının hızı belirleme regresyonunda önemli bir yer tutmaktadır (Wang ve Meng, 2012).

Kim vd. (2014), bir konteyner gemisinin belli rotalardaki hız optimizasyonu yapmıştır. Zaman penceresi yöntemiyle bir çözüm algoritması belirlenmiştir. Geminin sefer yaptığı 16 farklı rotadaki gemi hızı, toplam yakıt tüketimi, limanda kalınan asgari ve azami süreler gibi parametreler göz önünde bulundurularak toplam yakıt giderleri çıkarılmıştır. Sonuç olarak, bilgisayar programı algoritması ile gemi hızının ayarlanarak yakıt tüketimi ve emisyonların azaltılmasının sağlandığı belirtilmiştir (Kim vd., 2014).

Norstad vd. (2011), düzensiz hatta çalışan gemilerin sefer, rota ve hız optimizasyonu çalışmasını yapmıştır. Yapılan çalışmada en uygun sonucun alınması için bazı parametreler belirlenmiştir. Bunlar; taşınacak en uygun yükün belirlenmesi, yüklerin uygun biçimde filodaki gemilere bölünmesi, optimum hızın ve rotaların belirlenmesidir. En iyi sonucu almak için bu parametreler birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Düzensiz taşımacılık hız ve rota optimizasyonu (TSRSPSO) formülü kullanılarak rota ve hız optimizasyonu yapılmıştır (Norstad vd., 2011).

Gelareh ve Meng (2010), düzenli taşımacılık yapan şirket filosundaki gemilerin optimum rotalarının hesaplanmasını yapmıştır. Gemilerin kendileri için en uygun rotada ve en uygun sefer planına göre çalışarak maliyetlerin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada gemilerin yüklü olduğu durumlar ile sadece balastlı olduğu durumlardaki gemi hızı aynı kabul edilmiştir. Çalışmada karışık tamsayı programlama yöntemi (MIP) kullanılarak gemilerin üç farklı sefer planındaki rota optimizasyonları belirlenmiştir (Gelareh ve Meng, 2010).

Wijayaningrum ve Mahmudy (2016), bir şirkete ait 3 geminin 21 farklı liman arasındaki rota optimizasyonunu yapmıştır. Gemi hızı, emisyon değerleri, yakıt ikmali ve yakıt tüketimi ile ilgili parametrelerden söz edilmemiştir. Genetik algoritma yöntemiyle yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar rastgele yapılan seçimlerden çok daha başarılı olmuştur (Wijayaningrum ve Mahmudy, 2016).

Qi ve Song (2012), düzenli denizyolu taşımacılığı yapan gemilerde sefer programı üzerine optimizasyon çalışması yapmıştır. Firmaya ait gemilerin 8 farklı liman arasındaki seyir planları incelenmiştir. Asgari ve azami gemi hız limitleri belirlenerek, en uygun sefer planları çıkarılmıştır. Bu çalışmada, gemilerin erkenden limana gelmesinin geminin limanda kalış süresini etkilemediği farz edilmiştir. Limana geç gelen gemilere ise gecikme cezası uygulanmıştır. Bu çalışmada stokastik yaklaşım modeli kullanılmıştır (Qi ve Song, 2012).

Yao vd. (2012), öncelikle bir konteyner firmasına ait farklı büyüklükteki gemileri inceleyerek gemi hızı ve yakıt tüketimi arasındaki bağıntıyı kurmuştur. Sonra, yakıt alım yönetimi stratejisi üzerine yoğunlaşmıştır. Yakıt alımına bağlı olarak belirlenen parametreler göz önünde bulundurularak optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu parametreler yakıt ikmali yapılacak limanın belirlenmesi, alınacak yakıt miktarı, yakıt alım yerine yapılacak seyirde belirlenecek gemi hızı ve yakıt alım limanlarındaki yakıt fiyatları olarak belirlenmiştir. Konteyner firmasına ait gemilerin verileri kullanılarak, deneysel model yapılmıştır (Yao vd., 2012).

Mao vd. 2016, 2800 TEU'luk bir konteyner gemisine ait bir senelik verileri incelemiştir. Optimum gemi hızının belirlenmesinde hava durumunun ve ana makine devir sayısının etkisini araştırmıştır. Doğrusal regresyon analizi ile bulunan sonuçlara göre, hava durumuna bakılmaksızın sadece ana makine devir sayısına bağlı hız tahmini çok zayıf sonuçlar vermektedir. Çünkü geminin gideceği limanlar değişmekte dolayısıyla rotalar

sabit kalmamaktadır. Bu yüzden, hızın belirlenmesi sürecinde hava durumunun önemli bir etkisi vardır (Mao vd., 2016).

Kim vd. (2012), yine aynı şekilde yakıt ikmal optimizasyonu üzerinde çalışma yapmıştır. Çalışmada bir konteyner gemisinin sekiz farklı liman arasındaki seferleri esas alınmıştır. Geminin azami ve asgari hızları belirlenmiştir. Ayrıca, yakıt ikmal limanına gidiş süresi ve ikmal süresince kaybedilen zaman ve buna bağlı maliyetler hesaplanmıştır. Ayrıca seferlerdeki gemiden kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonları ve bu emisyonlardan dolayı ödenecek ceza maliyetleri de hesaba katılmıştır. Epsilon optimal algoritma kullanılan çalışmada, sonuçlara bağlı olarak en uygun yakıt ikmal limanı belirlenmiştir (Kim vd., 2012).

Kontovas ve Psaraftis (2011), konteyner gemilerinde hız keserek seyir yapmanın yakıt tüketimi ve emisyonlar üzerindeki etkisini araştırmıştır. Ana makine güç değişimlerinin yakıt tüketimine ve emisyonlar üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca limanda bekleme sürelerinin düşük yol ile seyir neticesinde kısaldığı da belirtilmiştir. Regresyon analizi yapılarak hız kesmenin yakıt tüketiminde ve emisyon azaltmadaki etkisi formüle dökülmüştür. Çalışmanın sonucunda; yüksek yakıt fiyatları ve düşük yük talebinin olduğu zamanlarda hız keserek seyir yapmanın en avantajlı yol olduğu görülmüştür (Kontovas ve Psaraftis, 2011).

Du vd. (2011), düşük hızda seyir ve rıhtım yerleşim problemi (BAP) üzerine optimizasyon çalışması yapmıştır. Böylece, seyirde ve limanda manevra esnasındaki yakıt tüketiminin ekonomik ve çevresel etkileri belirlenmiştir. Gemiden kaynaklı CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> emisyonları birim zamandaki yakıt harcamasının emisyon katsayıları ile çarpımından bulunmuştur. Karışık tamsayı doğrusal olmayan programlama yöntemi (MINLP) çalışmada kullanılmıştır. Çalışma sonucuna göre; doğru rıhtım yerleşim planı ile emisyonlarda ve yakıt tüketiminde azalma olacağı belirtilmiştir (Du vd., 2011).

Aydın vd. (2016), düzenli taşımacılık yapan bir şirketin gemilerinin verilerini incelemiştir. Gemiler 8, 11 ve 16 farklı liman uğraklı üç farklı rotada seyir yapmaktadırlar. Daha önceki çalışmalar gibi gemilerin limanda bekleme süresi ve seyir hızları güncel yakıt fiyatlarına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Öyle ki geminin limanda yardımcı makinelerden kaynaklı harcadığı yakıt ile sefer boyunca harcadığı yakıt giderleri, yakıt fiyatındaki değişime bağlı olarak farklı olmaktadır. Dinamik programlama modeli ile kurulan çalışmadaki esas nokta, geminin limandaki gecikmeye bağlı ödediği para cezasının gemi hızı üzerindeki etkisidir. Bazı durumlarda gemi hızının artması ödenilecek cezaya

bağlı olarak avantaj sağlamaktadır. Ayrıca yakıt ikmalinin seçileceği zaman ve ikmalin yapılacağı liman ve alınacak yakıt miktarı da önem arz etmektedir. Uzun süreli yakıt alımlarının, geminin bir sonraki limanda gecikme cezasına dönüşme ihtimali de düşünölmelidir (Aydın vd., 2016).

Göröldüğü üzere literatürde gemilerin optimum hızın belirlenmesine dönük birçok çalışma yapılmış olup literatür halen genişlemektedir. Fakat yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak düzensiz denizyolu taşımacılığında optimum hızın belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalardır. Ayrıca düzenli denizyolu taşımacılığında geminin taşıdığı yük miktarlarına göre optimum hızın belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu kapsamda bu konu üzerinde durularak ve hızı etkileyen faktörler değerlendirilerek farklı yük miktarlarına göre optimum hızların belirlenmesine yönelik çalışma ortaya koyulmuştur.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Çalışmanın Kapsamı

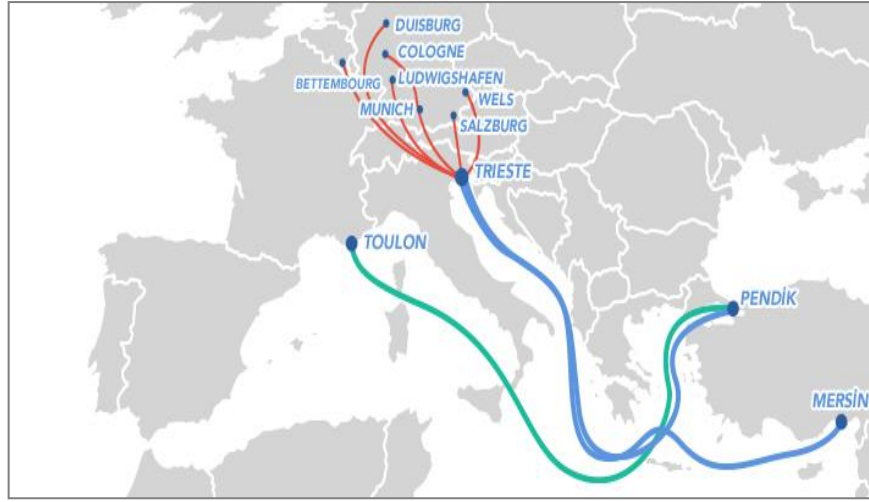
Bu çalışmada; yük miktarına göre en uygun gemi hızının belirlenmesi için iki adet kardeş (sister) gemi, model gemi olarak kullanılmıştır. Model olarak kullanılan gemilerin teknik özellikleri Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Model gemilerin teknik bilgileri (URL12, 2016).

	Model Gemi 1	Model Gemi 2
<b>Ana Makine Tipi</b>	MAK 9M43C	MAK 9M43C
<b>Ana Makine Gücü</b>	2 x 8400 KW	2 x 8400 KW
<b>Ana Makine Devri (Tam yük)</b>	500 rpm	500 rpm
<b>Gemi Tam Boyu</b>	193 metre	193 metre
<b>Araç Metre (lanemeter)</b>	3735 LM	3735 LM
<b>Treyler Kapasitesi</b>	240 adet	240 adet
<b>Gemi Maksimum Hızı</b>	21,5 kn	21,5 kn
<b>Bayrak</b>	TC	TC
<b>İnşaa Tarihi</b>	2008	2009

Tablo 11’de görüldüğü üzere; kardeş gemilerin biri 2008 yılında, diğer gemi ise 2009 yılında inşa edilmiştir. Ayrıca bu gemilerin her biri toplamda 16800 KW güce sahip iki ana makineye sahiptir. Gemilerin azami hızları 21,5 kn’tır. Taşıma kapasiteleri de aynı olan bu gemilerin her biri toplamda 3735 LM taşıma alanına sahip olup, 240 adet treyler taşıyabilmektedir.

Diğer taraftan, model gemilerin taşımacılık yaptığı hatlar Şekil 13’te gösterilmiştir.



Şekil 13. Model gemilerin taşıma hatları (URL13, 2016).

Şekil 13'te görüldüğü üzere bu gemiler ağırlıklı olarak Pendik-Trieste ve Pendik-Toulon arasında çalışmakta iken bazı durumlarda Mersin-Trieste hatlarında sefer yapabilmektedirler. Bu hatların uzunluğu şirketten alınan “Monthly Fuel Oil Statement (FOS) Reports” evrakına göre şöyledir; Pendik-Toulon gidiş hattının uzunluğu 1370 deniz mili, Toulon-Pendik dönüş hattının uzunluğu ise 1369 deniz milidir. Pendik-Trieste gidiş hattının uzunluğu 1181 deniz mili, Trieste-Pendik dönüş hattının uzunluğu ise 1191 deniz milidir. Model gemilerin geçmiş kayıtları incelendiğinde; ortalama 19,15 kn hız ve 2,37 ton/saat yakıt tüketimi ile Pendik-Trieste-Pendik seferini 123,86 saatte tamamlarken, Pendik-Toulon-Pendik seferini ise 143,02 saatte tamamlamaktadırlar.

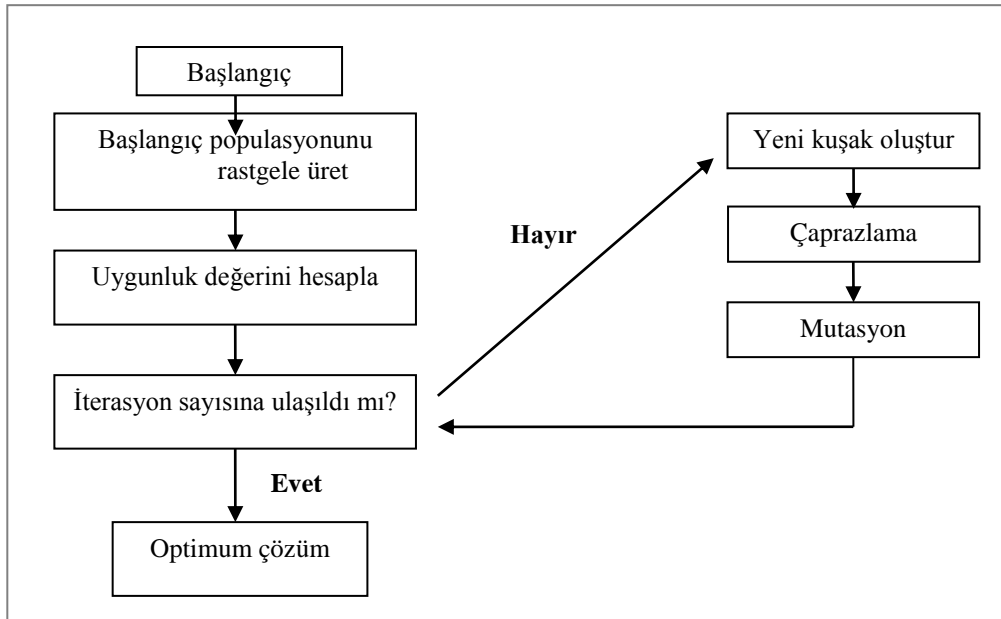
Çalışmada veri seti olarak model gemilerin yukarıda belirtilen hatlardaki 2015 yılı sefer verileri kullanılmıştır. Bu veriler; geminin o günkü ortalama hızı, ana makine toplam yakıt tüketimi, gemiye etki eden dirençlerin kuvveti (rüzgâr ve deniz şiddeti) gemideki balast miktarı ve geminin taşıdığı yük miktarlarından oluşmaktadır. Veriler gemilerin her ay sonu düzenlenen ve şirkete gönderilen evraklardan elde edilmiştir. Bu evraklar; geminin yakıt tüketimi, hızı ve gemiye etki eden dirençlerin kaydedildiği yakıt beyan evrakı (fuel oil statement) ve geminin taşıdığı yükü-balastı gösteren gemi stabilite raporlarından (ship stability report) oluşmaktadır. İlk aşamada bu verilerden Microsoft Excel tabanlı bir ham veri seti yapısı oluşturulmuştur. Bu yapıda hız, yakıt harcamı, rüzgâr-deniz şiddeti, balast miktarı ve taşınan yük miktarından oluşan 6 parametre günlük olarak kayıt edilmiştir. Bu kayıtlar üzerinde yapılan detaylı incelemeler sonucunda eksik ve/veya yanlış yazılan ve dolayısıyla çalışmanın sonucunu olumsuz etkileyebilecek veriler, veri tabanından

çıkarılmıştır. İrdeleme sonucu eksiksiz bulunan toplam 236 adet veri kullanılmak üzere ayrılmıştır.

## 2.2. Araştırmada Kullanılan Metot

Bu çalışmada yapay zekâya dayalı genetik algoritmalar (GA) metodu kullanılmıştır. Genetik algoritma evrim teorisini kullanarak bir problemin çözümünü bulmada kullanılır. Ancak, paralel arama özelliği olarak da bilinen bu metotla en iyi sonuç alınması kesin değildir, fakat kabul edilebilir bir çözüm alınması kesindir (Dündar ve Şahin, 2013; Al-Hamad vd., 2012).

Genetik algoritmalarla optimizasyon işlemi, biyolojik evrimin taklit edilmesiyle oluşur. Optimizasyonda problemin çözümünü sağlayacak genlerden oluşan kümeye kromozom denir. Kromozomlar, bireyler veya çözümler olarak düşünülebilir. Popülasyon ise çok sayıda kromozomdan oluşan kümeye denir. Genetik algoritmaların uygulama alanının sınırsız olması ve modelden bağımsız olması gibi önemli avantajları vardır. Öte yandan, çözüme ulaşma süresinin genel olarak uzun olması ve problem kodlamaya bağlı başarı göstermesi gibi handikaplı yönleri de mevcuttur (Kruse vd., 2013). Bu kapsamda genetik algoritmaların şematik gösterimi Şekil 14’te gösterilmiştir.



Şekil 14. Genetik algoritmalar şeması (Kunjur ve Krishnamurty, 2016).

Şekil 14'te görüldüğü üzere; öncelikle problem çözümü için gerekli bütün çözümler dizi halinde kodlanır. Başlangıç popülasyonu rastgele seçilerek oluşturulur. Daha sonra, başlangıç popülasyonunun uygunluk değerleri güncellenerek her bir dizi için uygunluk değeri hesaplanır. Bulunan uygunluk değerleri çözümün kalitesini belirler. Eğer çözüm kalitesi iyiye yani uygunluk değeri gerekli iterasyon (tekrarlama) sayısına ulaştıysa optimum çözüme ulaşır. Fakat gerekli iterasyon sayısına ulaşılmadıysa önce yeni kuşak oluşturulur, sonra sırasıyla çaprazlama ve mutasyon işlemleri uygulanır. İterasyon işlemi amaçlanan popülasyon (kuşak) sayısına ulaşıldığında sona erdirilir. Böylece en uygun dizi seçilerek optimum çözüme ulaşılma evresine geçilir (Emel ve Taşkın, 2002).

Çalışmada kullanılan verilerin uygunluk fonksiyonunun sağlanmasında ise destek vektör makineleri (DVM) algoritması kullanılmıştır. Destek vektör makineleri kullanılan verilerden iyi bir genelleme düzeyi oluşturmak ve riski en aza indirmek için tüme varım prensibini uygulayan bir öğrenme makinesidir (Başer ve Apaydın, 2015). Verilerden anlamlı bilginin çıkarılması, doğru bilgiye ulaşılması gibi önem arz eden olgular algoritmanın genellemesinin başarısına bağlıdır. Başka bir ifadeyle, kullanılan verilerden çıkacak sonuçların ne kadar gerçekçi olduğu algoritmanın genelleme performansının ne kadar iyi olduğuna bağlıdır. Bunu sağlayan ise destek vektör makineleridir (Ayhan ve Erdoğan, 2014).

Bu çalışmada yukarıda ifade edilen yöntem ışığında geminin günlük yakıt tüketimi, günlük ortalama hızı, rüzgar ve deniz şiddetleri ve taşıdığı yük miktarları gibi parametreler girdi verisi olarak kullanılarak, farklı yük miktarlarına bağlı olarak optimum gemi hızların belirlenmesi sağlanmıştır.

Bu kapsamda veri setindeki rüzgâr-deniz şiddetleri değerleri incelenerek 3 farklı hava durumu belirlenmiştir. Belirlenen hava durumları şu şekildedir;

1. Durum<sup>5</sup> (deniz şiddeti: 2, rüzgâr şiddeti: 3); hava şartlarının tekne direncini az derecede etkilediği durumdur. 2. Durum<sup>6</sup> ise (deniz şiddeti: 5, rüzgâr şiddeti: 5); hava şartlarının tekne direncini orta derecede etkilediği durumdur. 3. Durum<sup>7</sup> (deniz şiddeti: 7, rüzgâr şiddeti: 8); hava şartlarının tekne direncini üst derecede etkilediği durumdur.

Yük miktarına bağlı olarak minimum yakıt tüketimini sağlayan optimum hız belirlenirken geminin taşıyabileceği maksimum yük miktarı stabilite maneline göre

<sup>5</sup> 1. Durumun bu şekilde belirlenmesinin gerekçesi veri setindeki hava şartları incelendiğinde gemilerin 1 yıllık süre zarfında karşılaştıkları deniz ve rüzgâr şiddetlerinin ortalama değeri sırasıyla 2 ve 3 olmasıdır.

<sup>6</sup> Bu durumda orta dalgalar daha belirgin bir şekilde gelişmektedir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2016).

<sup>7</sup> 3. Durumun bu şekilde belirlenmesinin gerekçesi ise Veri setinde gemilerin seyir yaptığı zamanlarda çoğunlukla karşılaştığı şiddet değeri en fazla olan değerlerin sırasıyla 7 ve 8 olmasıdır.



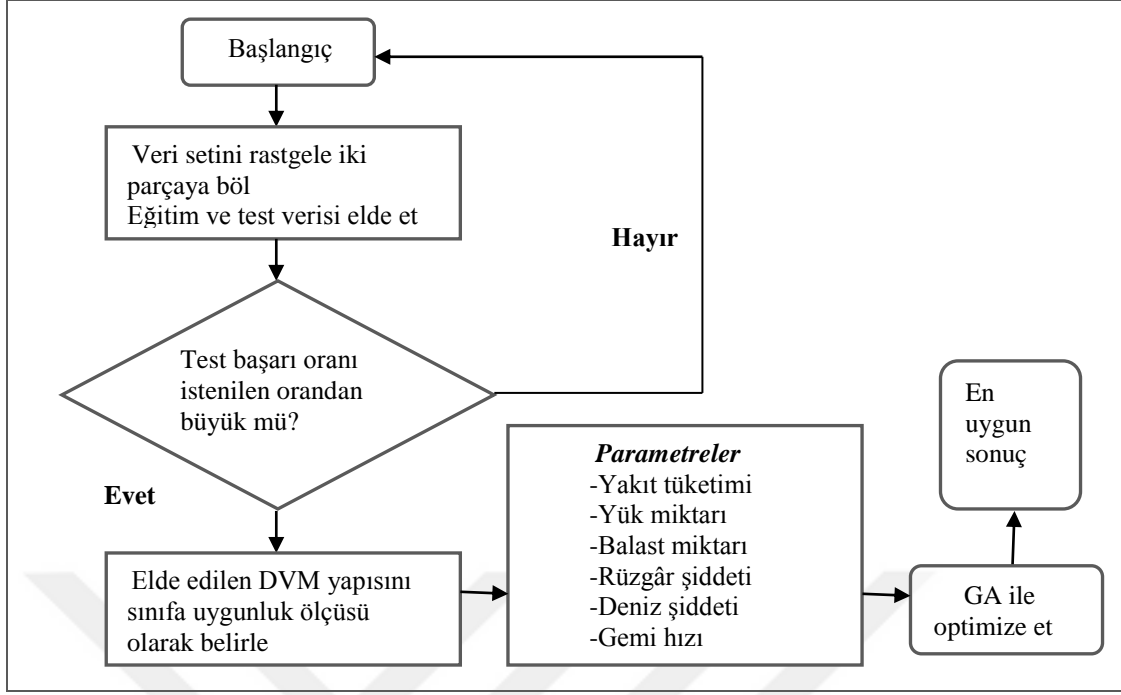
7114,5 tondur. Veri setinde model gemilerin sıklıkla karşılaşılan yük miktarlarına ve yüzdelerine göre; gemilerin yük miktarları %33 altı yüklü (1000 ton), %33 yüklü (2372 ton), %66 yüklü (4743 ton), %66 üstü yüklü (5900 ton) ve %100 yüklü (7114,5 ton) olarak tanımlanmıştır.

Optimizasyon çalışması yapılırken, geminin düzenli sefer yapan gemi olmasından dolayı asgari ve azami hız limitleri belirlenmiştir. Bu kapsamda geminin hız aralığı optimizasyon modeli oluşturulurken 16,5-21,5 kn arasında tutulmuştur. Bunun nedeni düzenli hatta çalışan gemilerin servisten düşmemesi için belirlenen hız limitlerini koruması gerektiğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca veri setinde gemilerin ana makine arızası, kötü hava şartları ve limanın müsait olmaması gibi olağan dışı durumlarda tek ana makine ile düşük hızda seyir yaptığı zamanlar da olmuştur. Tek ana makineyle seyir yapıldığında geminin hızı 13-14 kn arasında değişmektedir. Bu kapsamda tek ana makine ile seyir yapılan günlerde yakıt tüketimine ilişkin verilerin normal dağılım göstermemesi açısından bu değerler veri setinden çıkarılmıştır.

Gemi hızını etkileyen bir diğer faktör de balast miktarıdır. Dolayısıyla Model gemilerin emniyetli seyir yapması için alması gereken balast miktarları yonteme dahil edilmiştir. Bu kapsamda seyir esnasında geminin yük miktarına bağlı olarak stabilitesi için gerekli olan balast miktarı, minimum ve maksimum olmak üzere sırasıyla 1056,0 ve 4053,4 ton kabul edilmiştir.

Öte yandan gemiye yüklenen farklı yük miktarlarına optimum hızlar belirlenirken belli nedenlerden dolayı hıza etki eden durgun su etkisi, karina kirlenmesi, piç/pervane optimizasyonu, deniz derinliği gibi parametreler kullanılmamıştır. Çünkü durgun su ve gemiye etki eden dikey kuvvetlerin oluşturduğu dirençler daha çok sert hava şartlarında oluşmaktadır. Ayrıca, veri seti bir yıllık olduğu için karina kirlenmesinin optimum hız üzerindeki etkisi dikkate alınmamıştır. Aynı şekilde çalışmada kullanılan model gemilerde son bir yıl içerisinde pervane piç optimizasyon çalışması yapılmadığından bu faktör de optimum hızın belirlenmesine dahil edilmemiştir. Son olarak gemi hızına etki eden bir başka faktör su derinliği model gemilerin düzenli denizyolu taşımacılık yapması ve dolayısıyla seyir yapılan rotanın neredeyse tamamının aynı rotada ve aynı derinlikte olması nedeniyle yonteme katılmamıştır.

Yukarıda yapılan açıklamalar ve çalışmada kullanılan parametreler ışığında oluşturulan metotun şeması Şekil 15'te gösterilmektedir.



Şekil 15. Yapılan çalışmanın genetik algoritmalar şeması

Şekil 15’te görüldüğü üzere veri seti öncelikle eğitim ve test verisi olarak rastgele iki gruba ayrılmaktadır. Bu kapsamda eğitim kümesi, veri setinin %50’sinden, test kümesi de %50’sinden oluşmuştur. Eğer test başarı oranı istenilen değerde değilse eğitim ve test verileri en baştan bir daha rastgele seçilerek ilk adımdan itibaren GA tekrar uygulanır. Test başarı oranı istenilen değere ulaşmış ise başka bir deyişle elde edilen sonuçlar gerçek verilerle uyuyorsa uygunluk fonksiyonunu sağlayan DVM yapısı onaylanır. Sonrasında verilerden alınan gemi hızı, yakıt tüketimi, yük miktarı, balast miktarı, rüzgâr-deniz şiddeti gibi parametreler GA ile optimize edilerek en uygun sonuç bulunur.

Genetik algortimalar vasıtasıyla oluşturulan model özetlenecek olursa;

- İlk aşamada ham veri setinden eksik ve hatalı bilgiler çıkarılarak, gerçek anlamda kullanılacak veri seti oluşturulur.
- Optimum hızın bulunmasında etki eden 6 adet faktör, girdi verisi olarak belirlenir. Bu faktörler; rüzgâr-deniz şiddeti, balast ve yük miktarı, gemi hızı ve günlük yakıt tüketiminden oluşmaktadır.
- Model gemilerin geçmiş verileri ışığında; gemilere sıklıkla etki eden hava şartları göz önüne alınarak 3 farklı hava durumu oluşturulur.
  - 1.Durum (deniz şiddeti: 2, rüzgâr şiddeti: 3)
  - 2.Durum (deniz şiddeti: 5, rüzgâr şiddeti: 5)

-3.Durum (deniz şiddeti: 7, rüzgâr şiddeti: 8)

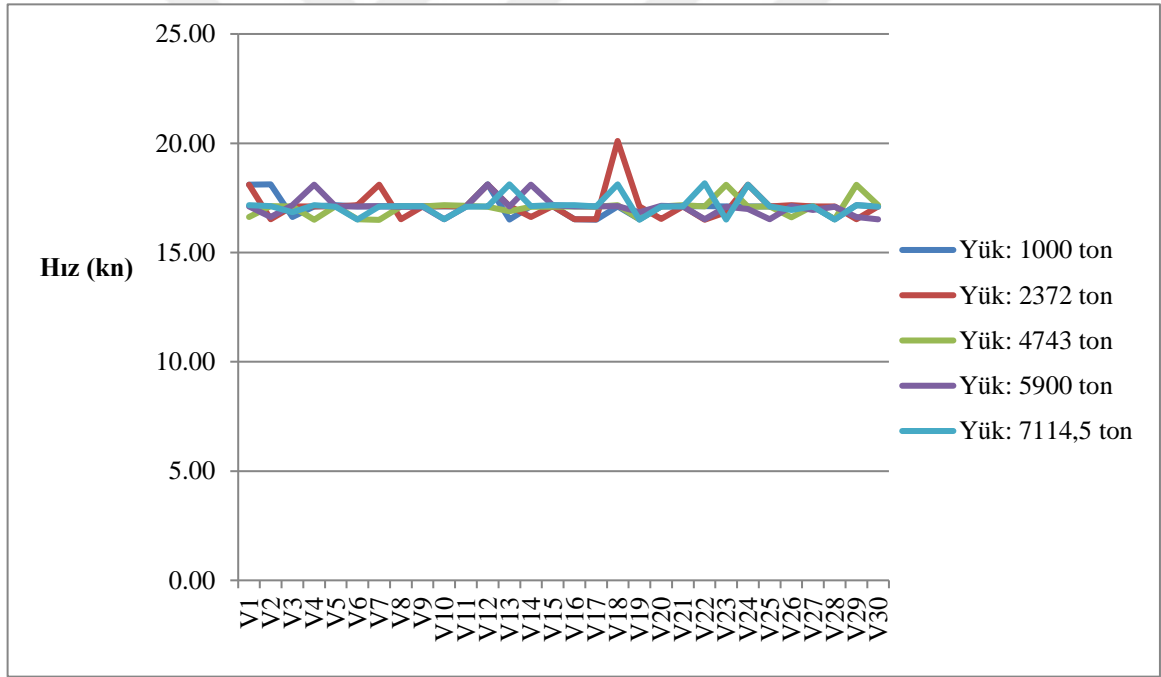
- Çalışmada amaçlanan hedefe yönelik olarak veri setinde model gemilerin yük durumları incelenerek 5 farklı yük durumu belirlenmiştir.
  - Yükleme durumu <%33 (1000 ton)
  - Yükleme durumu %33 (2372 ton)
  - Yükleme durumu %66 (4743 ton)
  - Yükleme durumu >%66 (5900 ton)
  - Yükleme durumu %100 (7114,5 ton)
- Oluşturulan genetik algortima modeli, MATLAB üzerinde her yükleme durumu için belirlenen 3 hava durumunda da koşturulmuştur.
- Sonuç çıktısı olarak hava şartlarına ve yükleme durumuna göre en düşük yakıt tüketimini veren optimum hızlar çıktı olarak karşımıza çıkmaktadır.

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

#### 3.1. Genetik Algoritmalar Tekniği Sonucunda Elde Edilen Bulgular

Çalışmada; hedeflenen amaca yönelik olarak göre belirlenen 3 farklı hava durumu için geminin yük durumuna göre en düşük yakıt tüketimini veren hız değerleri genetik algoritmalar vasıtasıyla bulunmuştur. Daha etkin dağılım olmasını sağlamak açısından tek bir hız değerinden ziyade 30 adet hız değerini üzerinden irdeleme yapılmıştır. Bu kapsamda;

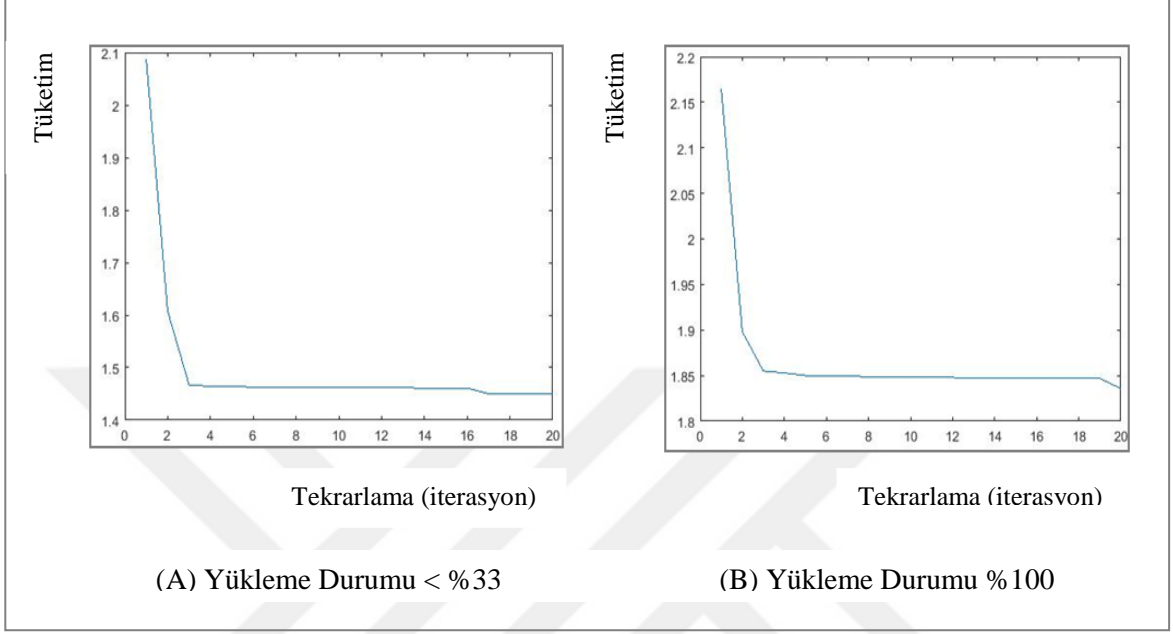
1.durumda (deniz şiddeti: 2, rüzgâr şiddeti: 3) farklı yük miktarları için elde edilen hız sonuçları şekil 16'da gösterilmektedir.



şekil 16. 1.Durumda farklı yükleme durumlarında bulunan optimum hızların grafiği

şekil 16'da görüldüğü üzere farklı yük miktarlarındaki elde edilen 30 adet hız değerleri birbirine çok yakın olmakla beraber, genel olarak hız değerleri 15,00-17,00 kn arasında değişmektedir. Sadece yükleme durumu %33 iken (2372 ton) olduğu zaman hız 20,00 kn değerine ulaşmaktadır. Söz konusu hız değerlerine göre optimum yakıt tüketimini bulabilmek için çalışmada oluşturulan method MATLAB programında koşturulmuştur. Bu

kapsamda 1. duruma göre (deniz şiddeti: 2, rüzgâr şiddeti: 3) MATLAB sonuçları aşağıda Şekil 17/A ve 17/B’de görülmektedir.



Şekil 17. 1.Durumda belli başlı yükleme durumlarına göre optimum yakıt tüketim değerleri

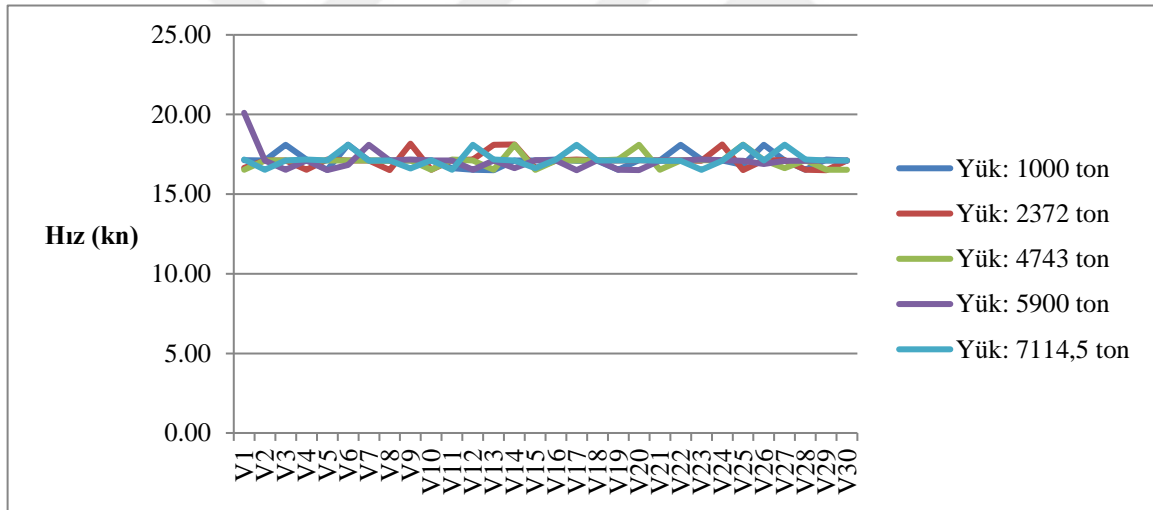
Şekil 17/A’da yakıt tüketimi 3. iterasyondan sonra 2,1 ton/saat değerinden 1,48 ton/saat seviyesine düşmektedir. Şekil 17/B’de ise yine 3. iterasyondan sonra yakıt tüketimi 2,2 ton/saat değerinden düşerek 1,87 ton/saat seviyelerine geldiği görülmektedir. Buna ek olarak 1. duruma göre (deniz şiddeti: 2, rüzgâr şiddeti: 3) yükleme durumuna göre ortaya çıkan ortalama hız ve yakıt tüketimlerinin değerleri Tablo 12’de gösterilmektedir.

Tablo 12. 1.Durumda yükleme durumuna bağlı ortalama hız ve yakıt tüketimleri

Yükleme Durumu (%)	Yük miktarı (ton)	Ortalama hız (kn)	Ortalama yakıt tüketimi (ton/saat)
<33	1000	17,10	1,48
33	2372	17,18	1,55
66	4743	17,04	1,70
>66	5900	17,00	1,77
100	7114,5	17,00	1,87

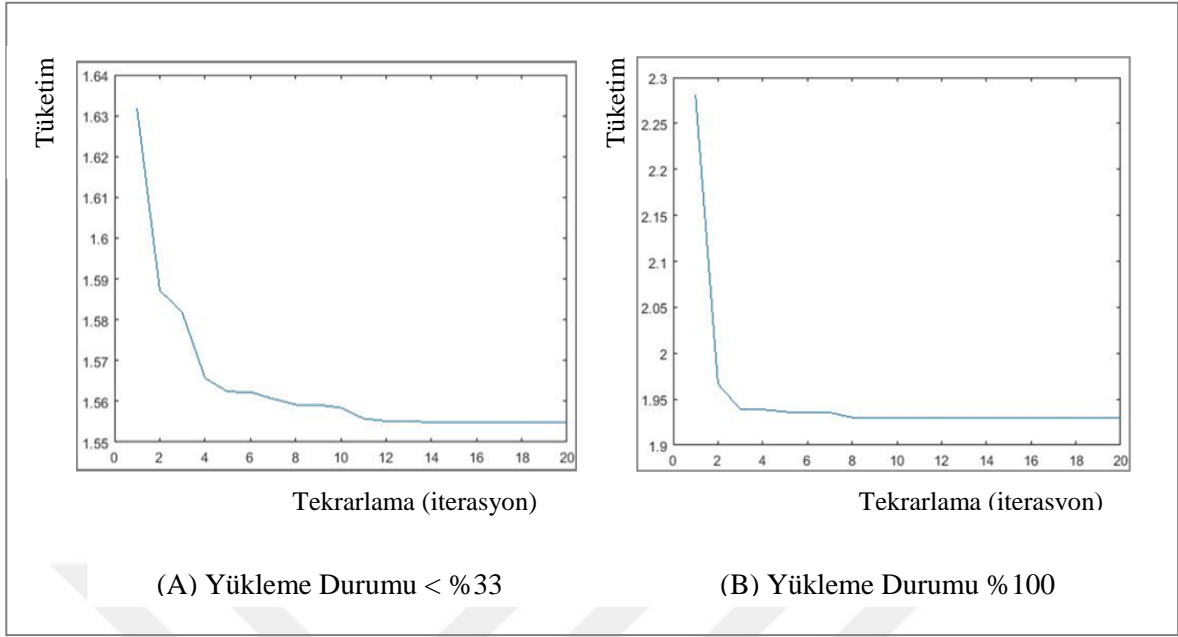
Tablo 12’de görüldüğü üzere farklı yükleme durumlarına bağlı elde edilen 30 farklı optimum hızın ortalaması 17,00 ile 17,18 kn arasında değişmektedir. En yüksek hız değeri yükleme durumu % 33 (yük miktarı 2372 ton) olduğunda durumda 17,18 kn iken en düşük hız değeri ise yükleme durumu % 66 ve üzerinde olduğu durumda ise 17,00 kn’tır. Dahası Tablo 12’de yükleme durumuna göre hız değerlerinin neredeyse değişmediği dörülmemektedir. Ancak, yükleme durumuna göre ortalama gemi hızı neredeyse değişmemiş olmasına rağmen ortalama yakıt tüketimi artmıştır. Yükleme durumu <%33 (1000 ton) altında olduğu durumda ortalama yakıt tüketimi 1,48 ton/saat iken bu değer yükleme durumuna bağlı olarak artmakta olup yükleme durumu %100’e ulaştığında 1,87 ton/saat olarak gerçekleşmiştir.

2. Duruma (deniz şiddeti: 5, rüzgâr şiddeti: 5) göre farklı yük miktarlarına bağlı elde edilen optimum hız grafiği ise Şekil 19’da gösterilmektedir.



Şekil 18. 2.Durumda farklı yükleme durumlarında bulunan optimum hızların grafiği

Şekil 18’de görüldüğü üzere farklı yük miktarlarında elde edilen 30 adet hız değeri birbirine yakın olmakla beraber 15,0-20,0 kn bandında değişmektedir. Yalnızca yükleme durumunun %66 (5900 ton) olduğu durumda hız değeri 20,00 kn seviyesine çıkmaktadır. Söz konusu hız değerlerine göre optimum yakıt tüketimini bulabilmek için çalışmada oluşturulan method MATLAB programında koşturulmuştur. Bu kapsamda 2. duruma göre (deniz şiddeti: 5, rüzgâr şiddeti: 5) MATLAB sonuçları aşağıda Şekil 19/A ve 19/B’de gösterilmektedir.



Şekil 19. 2.Durumda belli başlı yükleme durumlarına göre optimal yakıt tüketim değerleri

Şekil 19/A'da yakıt tüketimi 10. iterasyondan sonra 1,64 ton/saat değerinden 1,56 ton/saat seviyesine düşmektedir. Şekil 19/B'de ise 3. iterasyondan sonra yakıt tüketimi 2,3 ton/saat değerinden düşerek 1,95 ton/saat seviyelerine geldiği görülmektedir. Buna ek olarak 2. duruma göre (deniz şiddeti: 5, rüzgâr şiddeti: 5) yükleme durumuna göre ortaya çıkan ortalama hız ve yakıt tüketimlerinin değerleri Tablo 13'te gösterilmektedir.

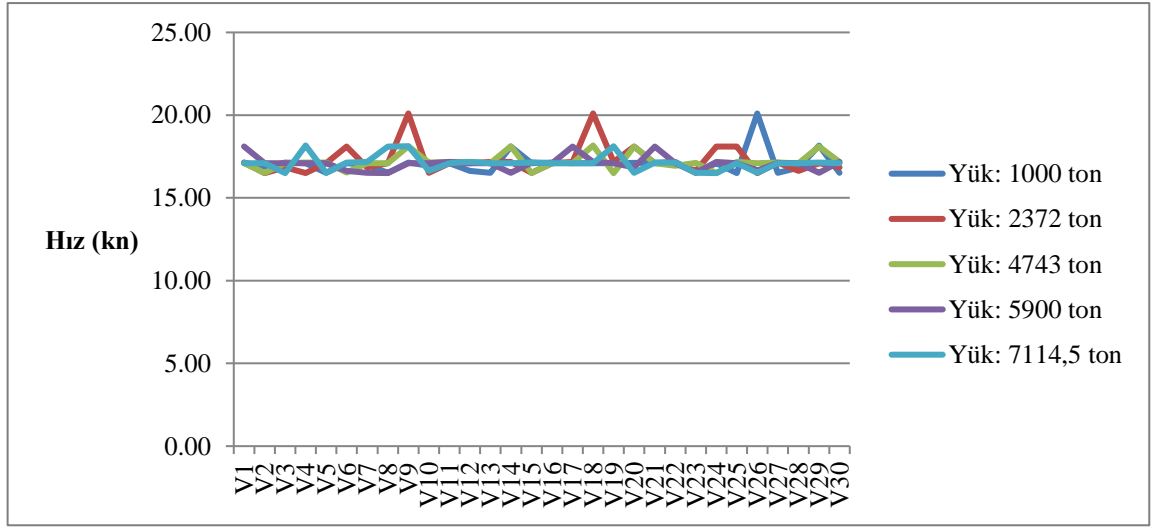
Tablo 13. 2.Durumda yükleme durumuna bağlı ortalama hız ve yakıt tüketimleri

<b>Yükleme Durumu (%)</b>	<b>Yük miktarı (ton)</b>	<b>Ortalama hız (kn)</b>	<b>Ortalama yakıt tüketimi (ton/saat)</b>
<33	1000	17,13	1,56
33	2372	16,59	1,66
66	4743	17,06	1,78
>66	5900	17,09	1,85
100	7114,5	17,19	1,96

Tablo 13'te görüldüğü üzere farklı yük miktarlarına bağlı elde edilen 30 farklı optimum hızın ortalaması 16,59 ile 17,19 kn arasında değişmektedir. En yüksek hız değeri yükleme durumu % 100 (yük miktarı 7114,5 ton) olduğunda 17,19 kn iken en düşük hız değeri ise yükleme durumu % 33 olduğu durumda 16,59 kn'tır. Ayrıca Tablo 13'e

bakıldığında yükleme durumuna göre hız değerlerinin neredeyse değişmediği görülmektedir. Ancak, yükleme durumuna göre yük miktarı arttıkça yakıt tüketimi artmıştır. Yükleme durumu < %33 (1000 ton) altında olduğu durumda ortalama yakıt tüketimi 1,56 ton/saat iken bu değer yükleme durumuna bağlı olarak artmakta olup yükleme durumu %100'e ulaştığında 1,96 ton/saat olarak gerçekleşmiştir.

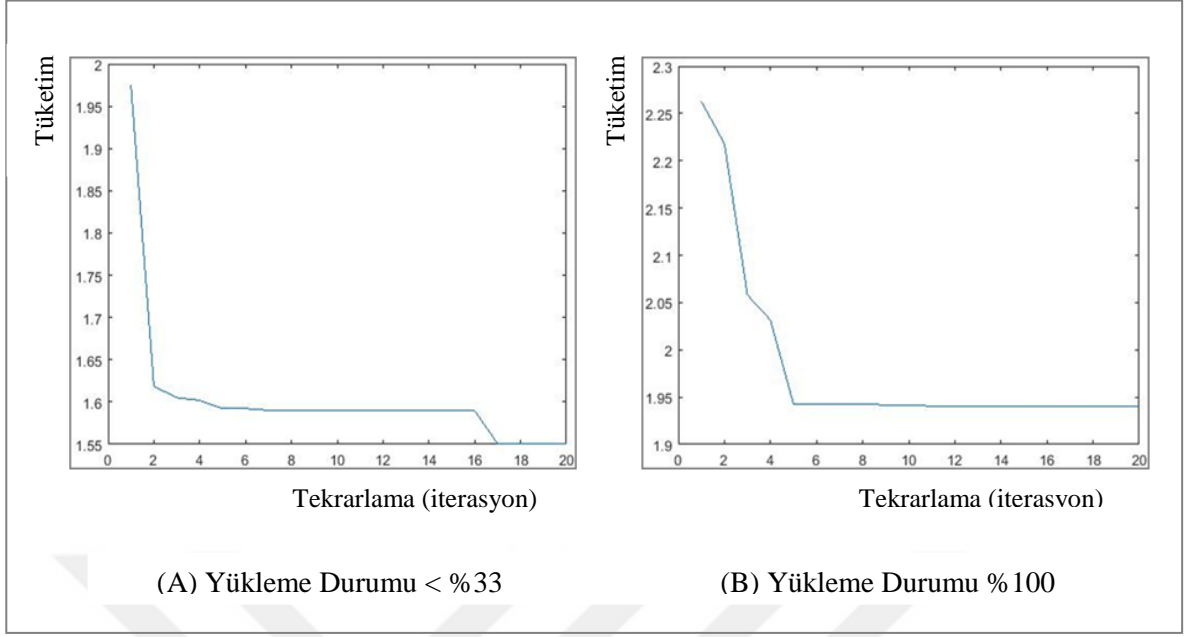
3. Durumda (deniz şiddeti: 7, rüzgâr şiddeti: 8) farklı yük miktarlarına bağlı elde edilen optimum hız grafiği ise Şekil 20'de gösterilmektedir.



Şekil 20. 3.Durumda farklı yükleme durumunda bulunan optimum hızların grafiği

Şekil 20'de görüldüğü üzere 1. ve 2. Durumlarında olduğu gibi elde edilen 30 adet hız değerleri birbirine çok yakındır ve hız değerleri 15,00-20,00 kn arasında değişmektedir. Söz konusu hız değerlerine göre optimum yakıt tüketimini bulabilmek için çalışmada oluşturulan methotun 3. duruma göre (deniz şiddeti: 7, rüzgâr şiddeti: 8) MATLAB programındaki yakıt tüketim grafikleri Şekil 21/A ve 21/B'de gösterilmektedir.





Şekil 21. 3.Durumda belli başlı yükleme durumlarına göre optimal yakıt tüketim değerleri

Şekil 21/A'da yakıt tüketimi 17. iterasyondan sonra 2,00 ton/saat değerinden 1,55 ton/saat seviyesine düşmektedir. Şekil 21/B'de ise 5. iterasyondan sonra yakıt tüketimi 2,25 ton/saat değerinden düşerek 1,95 ton/saat seviyelerine geldiği görülmektedir. Buna ek olarak 3. durumda (deniz şiddeti: 7, rüzgâr şiddeti: 8) yükleme durumuna göre ortaya çıkan ortalama hız ve yakıt tüketimlerinin değerleri Tablo 14'te gösterilmektedir.

Tablo 14. 3.Durumda yükleme durumuna bağlı ortalama hız ve yakıt tüketimleri

Yükleme Durumu (%)	Yük miktarı (ton)	Ortalama hız (kn)	Ortalama yakıt tüketimi (ton/saat)
<33	1000	17,10	1,59
33	2372	17,29	1,65
66	4743	17,18	1,79
>66	5900	17,00	1,87
100	7114,5	17,00	1,95

Tablo 14'te görüldüğü üzere sonuç olarak elde edilen 30 adet optimum hızın ortalaması 17,00 ile 17,29 kn değerleri arasındadır. Yükleme durumu %66 ve üstü (5900 ton) ve %100 (7114,5 ton) olduğu durumda optimum hız en düşük değer olan 17,00 kn'tır. En yüksek hız değeri olan 17,29 kn ise yükleme durumu %33 (2372 ton) olduğunda ortaya

çıkılmaktadır. Yakıt tüketim değerlerine bakıldığında ise 1. ve 2.durumlarda görülen, yani yük miktarının artmasına bağlı olarak yakıt tüketiminin arttığı durum gözlenmektedir. Yük miktarı 1000 ton olduğunda yakıt tüketimi 1,59 ton/saat olmaktadır ve bu değer gemi tam yüklü durumda (7114,5 ton) 1,95 ton/saat değerine ulaşmaktadır.

Optimum hız değerlerinde yükleme durumuna bağlı olarak neredeyse bir değişiklik gözlenmemektedir. Öte yandan elde edilen bulgularda yakıt tüketimi ile yükleme durumu arasında bir ilişki olduğu gözlenmektedir. Yakıt tüketimi yük miktarı arttıkça artmaktadır. Halihazırda geminin yük miktarı arttıkça yakıt tüketiminin de arttığı bilinmektedir (Meng vd., 2016; Psaraftis ve Kontovas, 2014).

Farklı rüzgâr ve deniz şiddetlerini içeren tüm durumlarda elde edilen ortalama yakıt tüketim değerleri, detaylı karşılaştırılma ve irdeleme yapılabilmesi açısından Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15. Hava şartları ve yük durumuna bağlı optimum hızlar ve ortalama yakıt tüketimleri

Yükleme koşulları		1.Durum <i>Deniz şiddeti: 2 Rüzgâr şiddeti: 3</i>		2.Durum <i>Deniz şiddeti: 5 Rüzgâr şiddeti: 5</i>		3.Durum <i>Deniz şiddeti: 7 Rüzgâr şiddeti: 8</i>	
Yükleme durumu (%)	Yük miktarı (ton)	Hız (kn)	Yakıt tüketimi (ton/saat)	Hız (kn)	Yakıt tüketimi (ton/saat)	Hız (kn)	Yakıt tüketimi (ton/saat)
<33	1000	17,10	1,48	17,13	1,56	17,10	1,59
33	2372	17,18	1,55	16,59	1,66	17,29	1,65
66	4743	17,04	1,70	17,06	1,78	17,18	1,79
>66	5900	17,00	1,77	17,09	1,85	17,00	1,87
100	7114,5	17,00	1,87	17,19	1,96	17,00	1,95

Tablo 15'ten anlaşılacağı üzere en düşük yakıt tüketimi 1.durumda yükleme durumunun %33 altı (1000 ton) olduğu zamandır. En yüksek yakıt tüketimi ise 2.durumda yükleme durumunun %100 (7114,5 ton) olduğu durumdur. Öte yandan belirlenen optimum hızlardaki yakıt tüketiminin yük miktarı arttıkça yükseldiği görülmektedir. Örneğin, 1.durumda yük miktarı 1000 ton olduğunda ortalama yakıt tüketimi 1,48 ton/saat iken, yük miktarı arttıkça bu değer artarak 1,87 ton/saat değerine ulaşmaktadır. Bununla beraber hava şartları kötüleştikçe başka bir deyişle rüzgâr-deniz şiddetleri arttıkça ortalama yakıt tüketimi genel olarak artmaktadır. Yük miktarı 1000 ton iken 1.durumda 1,48 ton/saat olan yakıt tüketimi, 2.durumda 1,56 ton/saat, 3.durumda ise 1,59 ton/saat olmaktadır. Öte

yandan deniz-rüzgâr şiddetlerinin artmasıyla ortalama yakıt tüketiminin yükselmesinde istisnai durumlar da mevcuttur. Yük miktarının 2372 ton ve 7114,5 ton olduğu zamanlarda 2.durumdaki yakıt tüketim değerleri 3.durumdaki değerlerden 0,01 ton/saat daha düşüktür.

Çalışmadaki bulgular hava şartlarında 1.durumdan 2.duruma geçildiğinde yakıt tüketiminin arttığı, ancak 2.durumdan 3.duruma geçildiğinde ise yakıt tüketiminde bir değişiklik olmadığını göstermektedir. 2.Durumdan 3.duruma geçişte elde edilen bulgular, literatürde rüzgâr-deniz şiddetlerinin artmasının gemi hızını olumsuz yönde etkilediği ve dolayısıyla yakıt tüketimini de arttırdığını belirten çalışmalarla aynı görüşü savunmamaktadır (Armstrong, 2013; Kosmas ve Vlachos, 2012; Orsic ve Faltinsen, 2012). Bu sonuçlardaki temel neden veri setinde 2.durum ile 3.durumda oluşan yakıt tüketimlerinin birbirlerine yakın değerlerde olmasından oluşabilmektedir.

Optimum hızın belirlenmesinde gemi hızına etki eden faktörlerden birinin de gemiye alınan balast olduğu bilinmektedir (Wang ve Xu, 2015). Bu kapsamda minimum yakıt tüketimini sağlamak amacıyla değişik yük miktarlarındaki optimum hızların bulunması amacıyla yapılan çalışmada gemiye alınacak balast miktarları da belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda gerek optimum hızlarının bulunmasında gerekse gemi stabilitesi açısından gemiye alınması gereken balast miktarının 1118,00 ton ile 1354,00 ton arasında değişmektedir. Bu değerler geminin yük durumlarına göre değişmekle beraber elde edilen sonuçlardaki balast miktarları birbirine yakın değerlerdedir.

Görüldüğü üzere 3 farklı hava durumunda geminin taşıdığı yük miktarlarına göre gemi hızında kayda değer bir değişiklik olmamaktadır. Bunun nedeni gemilerin düzenli denizyolu taşımacılığı yapmasından kaynaklanmaktadır. Model olarak kullanılan gemiler servisten düşmemek için kendi hızını korumak durumundadır. Diğer bir deyişle yük miktarı artsada azalasıda geminin düzenli hatta kalkış ve varış zamanları daha önceden açıklanan çizelgelede belli olduğu için, gemi zaman kısıtı açısından hızını korumak zorundadır. Dolayısıyla yükleme durumuna göre hızını değiştirememektedir. Ancak yük miktarı arttıkça geminin hızını koruyabilmesi için makine gücünü artırması gerekmektedir, ayrıca artan yük miktarı sürtünmeyi de artıracığından bu koşulların etkisiyle yakıt tüketimi de artacaktır. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalar elde edilen bu bulguyu destekler niteliktedir (Gelareh ve Meng, 2010; Kontovas ve Psaraftis, 2011; Norstad vd., 2011; Wang ve Meng, 2012; Meng vd., 2016).

### 3.2. Elde Edilen Optimum Hızların Zararlı Gaz Emisyonlarına Etkisi

Hız optimizasyonu sayesinde gemilerin en düşük yakıt tüketimleri ortaya çıkmıştır. Böylece gemilerden kaynaklı zararlı gaz emisyonları da azalmaktadır. Halihazırda, gemi yakıtlarından dolayı oluşan zararlı gaz emisyonlarının miktarı; tüketilen yakıt miktarı ve ilgili gazın emisyon faktörlerinin çarpımından oluştuğu bilinmektedir (Gusti ve Semin, 2016; Saputra vd., 2015; Pitana vd., 2010).

Çalışmada belirlenen yük miktarları ve hava şartları veri setinde tam olarak aynı değerde bulunduğu zamanlar nadirdir. Dolayısıyla optimum hızların bulunmasıyla çevreye salınacak zararlı gaz emisyonlarınsaki azalma etkisi spesifik yük ve hava şartlarından ziyade genel bir perspektifte irdelenmiştir. Bu kapsamda öncelikle model gemilerin tüm yük- hava şartlarında var olan ortalama yakıt tüketimleri ve ortalama hızları ile iki farklı sefer noktasında oluşan toplam yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Daha sonra ise yapılan çalışma sonucu elde edilen optimum hızların ortalaması ve buna bağlı ortalama yakıt tüketimleri sonucunda iki farklı sefer noktası için elde edilen toplam yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Model gemilerin çalıştığı iki farklı sefer noktası baz alınarak oluşturulan toplam yakıt tüketimleri Tablo 16’da gösterilmiştir.

Tablo 16. Hız optimizasyonu sonucu elde edilen değerler ile veri setindeki değerlerin karşılaştırılması

Sefer Noktaları	Optimizasyon Sonucu Elde Edilen Değerler				Veri Setindeki Değerler			
	Ort. Hız (kn)	Ortalama Tüketim (ton/saat)	Toplam Tüketim (ton)	Süre (saat)	Ort. Hız (kn)	Ortalama Tüketim (ton/saat)	Toplam Tüketim (ton)	Süre (saat)
<b>Pendik-Trieste-Pendik (2372 mil)</b>	17,06	1,73	240,52	139,03	19,15	2,37	293,54	123,86
<b>Pendik-Toulon-Pendik (2739 mil)</b>	17,06	1,73	277,75	160,55	19,15	2,37	338,95	143,02

Tablo 16’da model gemilerin çalıştığı iki farklı sefer hattına optimizasyon sonucu elde edilen sonuçlar ile veri setindeki değerlerin karşılaştırılması görülmektedir. Pendik-Trieste-Pendik (PEN-TRI-PEN) hattı toplam 2372 mil uzunluğunda olup Pendik Toulon-Pendik (PEN-TOU-PEN) hattı ise toplam 2739 mil uzunluğundadır. Bu iki hat uzunluğuna göre elde edilen optimum hızların ve veri setindeki ortalama hızlar karşılaştırılmış olup sefer süreleri ve toplam yakıt tüketimleri çıkarılmıştır. Boğaz geçişleri ve manevra süreleri

iki durum için de dikkate alınmamış olup yakıt tüketimine ve sefer süresine eklenmemiştir. Elde edilen optimum hızların ortalaması iki sefer noktası için 17,06 kn iken verilerdeki hızların ortalaması 19,15 kn'tır. PEN-TRI-PEN hattı için elde edilen ortalama optimum hızlar sonucunda oluşan saatlik 1,73 ton'luk harcam toplam sefer süresince 240,52 ton harcam oluşturmaktadır. Bu değer eski hız ortalamasına bağlı yakıt tüketimine (293,54 ton) göre 53,02 ton daha azdır. PEN-TOU-PEN hattında ise optimum hızlara bağlı yakıt tüketimi sonucunda sefer boyunca toplamda 277,75 ton yakıt harcamı oluşurken, optimum hız bulunmadan önceki aynı yakıt harcamı 338,95 ton'dur. Dolayısıyla PEN-TOU-PEN optimum hızın bulunmasından ötürü yakıt harcamı ortalama olarak 61,20 ton azalmaktadır.

Optimum hızlar bulunmadan önceki ve sonraki durumlarda iki sefer noktası için oluşan toplam yakıt tüketim farkları kullanılarak, optimum hızlar ile daha az miktarda oluşan zararlı gaz emisyonları bulunabilir. Sefer süresince meydana gelen toplam yakıt tüketimine bağlı olarak oluşan zararlı gaz emisyonlarının miktarı tüketilen yakıt miktarı ve ilgili gaz emisyon faktörüne bağlı olarak oluşmaktadır (Gusti ve Semin, 2016; Saputra vd., 2015; Pitana vd., 2010). Bu kapsamda;

$$Et = Fc \times Ef \quad (1)$$

formülü kullanılmaktadır. Bu formüldeki semboller şu şekildedir;

*Et*: Oluşan emisyon miktarı

*Fc*: Toplam yakıt tüketimi

*Ef*: Emisyon faktörü

Optimum hız sonucunda PEN-TRI-PEN seferi için 53,02 ton, PEN-TOU-PEN seferi için ise 61,20 ton daha az yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. Bu yakıt tüketim farklarında oluşacak emisyon miktarları şu şekildedir;

#### 1) CO<sub>2</sub> emisyonu;

Model gemilerde kullanılan yakıt HFO olduğu için CO<sub>2</sub> için emisyon faktörü (*Ef*) 3,11440 ton CO<sub>2</sub>/ton fuel'dir(IMO GHG Study, 2014; Shipping KPI, 2016a).Yakıt tüketimi (*Fc*) için ise PEN-TRI-PEN seferi için 53,02 ton, PEN-TOU-PEN seferi için ise 61,20 ton değerleri kullanılır. Formülde ilgili değerler yerine koyulduğunda;

PEN-TRI-PEN seferi için optimum hızın bulunması ile çevreye daha az salınan CO<sub>2</sub> miktarı;

$$Et = 53,02 \times 3,11440 = 165,12 \text{ ton CO}_2$$

PEN-TOU-PEN seferi için optimum hızın bulunması ile çevreye daha az salınan CO<sub>2</sub> miktarı;

$$Et = 61,20 \times 3,11440 = 190,60 \text{ ton CO}_2 \text{ 'dir.}$$

### 2) NO<sub>x</sub> emisyonu;

NO<sub>x</sub> emisyon miktarının hesaplanmasında NO<sub>x</sub> faktörü ana makine devrine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Model gemilerdeki ana makinelerin devri 500 rpm'dir. Ana makine devri 200-1000 rpm olan gemiler ton başına yaklaşık 70 kg NO<sub>x</sub> açığa çıkarmaktadır (MARPOL, 2013; Shipping KPI, 2016b). Dolayısıyla formül üzerinde NO<sub>x</sub> için emisyon faktörü (*Ef*) 70 kg/ton fuel'dir

PEN-TRI-PEN seferi için optimum hızın bulunması ile çevreye daha az salınan NO<sub>x</sub> miktarı;

$$Et = 53,02 \times 70 = 3711,40 \text{ kg NO}_x$$

PEN-TOU-PEN seferi için optimum hızın bulunması ile çevreye daha az salınan NO<sub>x</sub> miktarı;

$$Et = 61,20 \times 70 = 4284,00 \text{ kg NO}_x \text{ 'tir.}$$

### 3) SO<sub>x</sub> emisyonu;

Model gemilerde seyir boyunca kullanılan HFO yakıtın sülfür oranı %3,5'tir. Sülfür oranı ile katsayının (20) çarpımı ile ülfür emisyon faktörü bulunmaktadır (IMO GHG Study, 2014; Shipping KPI, 2016c). Formülde ilgili değerler yerine koyulduğunda SO<sub>x</sub> emisyon faktörü;

$$Ef = 3,5 (\%) \times 20 \text{ kg/ton} = 70 \text{ kg/ton}$$

olarak bulunur.

PEN-TRI-PEN seferi için optimum hızın bulunması ile çevreye daha az salınan SO<sub>x</sub> miktarı;

$$Et = 53,02 \times 70 = 3711,40 \text{ kg SO}_x$$

PEN-TOU-PEN seferi için optimum hızın bulunması ile çevreye daha az salınan SO<sub>x</sub> miktarı;

$$Et = 61,20 \times 70 = 4284,00 \text{ kg SO}_x \text{ 'tir.}$$

Optimum hızların bulunması neticesinde yakıt tüketimine bağlı olarak hesaplanan zararlı gaz emisyon miktarları Tablo 17’de gösterilmektedir.

Tablo 17. Hız optimizasyonu sonucu yakıt tüketimi ve zararlı gaz emisyonları değişimi

Pendik-Trieste-Pendik hattı			Pendik-Toulon-Pendik hattı		
Yakıt tüketimi değişimi (ton)	Emisyon miktarı değişimi (ton)		Yakıt tüketim değişimi (ton)	Emisyon miktarı değişimi (ton)	
-53,02	CO <sub>2</sub>	-165,12	-61,20	CO <sub>2</sub>	-190,60
	NO <sub>x</sub>	-3,7114		NO <sub>x</sub>	-4,284
	SO <sub>x</sub>	-3,7114		SO <sub>x</sub>	-4,284

Tablo 17’de görüldüğü üzere hız optimizasyonu sonucu Pendik-Trieste-Pendik hattında sefer bazlı yakıt tüketiminde 53,02 ton azalma görülürken, bu değer Pendik-Toulon-Pendik hattında 61,20 tondur. Hız optimizasyonu sonucunda Pendik-Trieste-Pendik hattında bir sefer boyunca CO<sub>2</sub> emisyonunda 165,12 ton, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> emisyonlarında ise 3,7114’şer ton azalma meydana gelmektedir. Pendik-Toulon-Pendik hattında ise hız optimizasyonuna bağlı olarak bir seferde CO<sub>2</sub> emisyonu 190,60 ton, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> emisyonları ise 4,284’er ton azalmaktadır.

Elde edilen sonuçlara göre seferlik yakıt harcamı baz alındığında hız optimizasyonuna bağlı olarak yakıt tüketimi düşmekte ve dolayısıyla çevreye salınan zararlı gaz emisyonlarının miktarları da azalmaktadır. Halihazırda hız optimizasyonu ile zararlı gaz emisyonların miktarındaki azalma ile ilgili çalışmalar literatürde mevcuttur (Du vd., 2011; Kim vd., 2012). Bu çerçevede çalışmadaki bulgular literatürde yapılan çalışmaları destekler niteliktedir.





#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda büyük gelişmeler gösteren denizyolu taşımacılığı, dünya ticaretinin hacim olarak %80'ini, Türkiye dış ticaretinin ise %87,7'lik kısmını oluşturmaktadır (UNCTAD RMT, 2016; İMEAK DTO, 2016). Denizyolu taşımacılığında belli yük ve sefer programına göre hareket etme prensibiyle yapılan düzenli denizyolu taşımacılığı çeşitlerinden biri olan Ro-Ro taşımacılığına talep giderek artmaktadır. Bir yandan Ro-Ro kargo gemilerinin günlük kiralama bedelleri artarken, diğer yandan 2016 yılı yeni inşa gemi siparişlerinde Ro-Ro kargo gemilerinin payı %2'yi aşmaktadır (DRF, 2016; BRS, 2015). Diğer denizyolu taşımacılık türlerinde olduğu gibi Ro-Ro taşımacılığında da gerek sefer maliyetlerinin gerekse gemi yakıtlarının çevresel etkilerinden doğan dışsal maliyetlerin azaltılmasında birincil yol yakıt giderlerini azaltmaktır. Bunun temel nedeni geminin taşıma maliyetleri içerisinde en büyük gider kalemini yakıt giderlerinin oluşturmasıdır (Bialystocki ve Konovessis, 2016; Alizadeh ve Nomikos, 2004; Wang ve Xu, 2015).

Yakıt fiyatları gemi işletmeleri tarafından kontrol edilebilen bir olgu değildir fakat yakıt tüketimi kontrol edilebilir. Dolayısıyla gemi işletmeleri yakıt tüketimini minimum düzeyde tutmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla yakıt tüketimini etkileyen faktörlerden en önemlisi olan gemi hızının seyir boyunca en uygun değerde tutulması gerekmektedir (Corbett vd., 2009). Uygun gemi hızının bulunması ekonomik ve çevresel olarak denizyolu taşımacılığının geleceği için büyük önem arz etmektedir.

Çalışmada düzenli denizyolu taşımacılığı yapan bir denizcilik şirketine ait iki kardeş (sister) Ro-Ro kargo gemisinin sefer verileri incelenmiştir. İncelenen verilerde gemi hızına etki eden parametrelerden; geminin taşıdığı yük miktarı, gemideki balast miktarı, geminin günlük ortalama hızı, günlük yakıt tüketimi ve rüzgâr-deniz şiddetleri yer almaktadır. Oluşturulan veri setinde eksik yazılan ve verilerin dağılımını etkileyen değerler çıkarılarak toplamda 236 adet veri elde edilmiştir.

Bu çalışmada literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak düzenli denizyolu taşımacılığı yapan Ro-Ro kargo gemisinin taşıdığı yük miktarına göre en düşük yakıt tüketimini veren en uygun gemi hızının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda geminin taşıyabileceği azami yük miktarı üzerinden belli yük aralıkları belirlenmiştir. Bu yük değerleri geminin taşıyabileceği toplam yük kapasitesine göre; %33 altı (1000 ton), %33

(2372 ton), %66 (4743 ton), %66 üstü (5900 ton) ve %100 yüklü (7114,5 ton) olarak belirlenmiştir. Gemi hızına etki eden bir diğer faktör olan tekne dirençlerinden rüzgâr-deniz şiddetleri de 3 farklı durumda ele alınmıştır. Model gemilerin veri setindeki ortalama rüzgâr-deniz şiddetleri olan 3 ve 2 kuvvetleri 1.durum olarak ifade edilmiştir. Orta dalgaların daha belirgin bir şekilde geliştiği ve rüzgâr ve deniz şiddetlerinin ikisinin de 5 kuvvetinde olduğu durum 2.durum olarak belirlenmiştir. Veri setinde gemilerin karşılaştığı en yüksek hava şartlarından olan 3.durumda ise rüzgâr şiddeti 8, deniz şiddeti 7 kuvvetinde olmuştur. Oluşturulan rüzgâr-deniz durumlarına bağlı olarak, farklı yük miktarlarındaki en uygun hızlar genetik algoritma metoduyla elde edilmiştir. Daha sonra bulunan optimum hızların ortalaması veri setindeki hızların ortalaması ile karşılaştırılarak dışsal maliyetlerden biri olan zararlı gaz emisyonlarındaki azalma miktarı hesaplanmıştır.

Rüzgâr şiddetinin 3, deniz şiddetinin 2 olduğu 1.durumda elde edilen optimum hızlar yük miktarlarına göre 17,00-17,18 kn arasında değişmektedir. Hız değerlerinde fazla bir değişiklik görülmemektedir. Fakat hıza bağlı yakıt tüketimleri ise yük miktarı arttıkça artmaktadır. Yük miktarı 1000 ton olduğunda var olan yakıt tüketimi yük miktarı 2372 ton olunca %4,7 oranında artmaktadır. Yük miktarı 4743 ton iken yakıt tüketimibir önceki tüketim değerine göre %9,6 oranında artarken, gemi 5900 ton yüklenince yakıt tüketim değeri %4,1 oranında artmaktadır. Gemi, 5900 tondan tam yüklü (7114,5 ton) duruma geçtiğinde ise yakıt tüketiminde %5,6 oranında bir artış gözlenmektedir. Rüzgâr şiddetinin 5, deniz şiddetinin 5 olduğu 2.durumdaise elde edilen sonuçlar 1.duruma göre paralellik göstermektedir. Bu durumda belirlenen yük miktarlarındaki optimum hız değerleri 16,59-17,19 kn arasındadır. 1. Duruma benzer şekilde yakıt tüketim değerleri yük miktarı ile doğru orantılı şekilde artmaktadır. Yükün 7114,5 ton olduğu durumda oluşan yakıt tüketim değeri (1,96 ton/saat) yükün 1000 ton olduğu durumda oluşan yakıt tüketim değerine (1,56 ton/saat) göre %25,6 oranında daha fazladır. Optimum hızlarda pek bir farklılık gözükmeyen fakat yakıt tüketiminde yük miktarına bağlı artış gözlenen sonuçlar 1. ve 2. durumda olduğu gibi 3.durumda da meydana gelmiştir. Elde edilen optimum hızların aralığı 3.durum için 17,00-17,29 kn arasındadır. 3.durumda belirlenen yük miktarları için elde edilen yakıt tüketim değerleri saatte 1,59, 1,65, 1,79, 1,87 ve 1,95 ton değerlerindedir. Elde edilen yakıt tüketim değerleri ve belirlenen optimum hızlar veri setindeki gerçek değerler ile kıyaslandığında ortalama olarak daha düşüktür. Optimum hızlar gerçek değerlere göre ortalama %12,3, yakıt tüketim değerleri ise ortalama olarak %37 daha düşük değerlerdedir. Bununla beraber, belirlenen her hava durumunda geminin taşıdığı yük

miktarı arttıkça yakıt tüketiminin de arttığı gözlenmiştir. Bu bağlamda geminin taşıdığı yük miktarının gemi hızı ve dolayısıyla yakıt tüketimi üzerindeki etkinliği açısından elde edilen sonuçlar literatürle paralellik göstermektedir (Meng vd., 2016; Psaraftis ve Kontovas, 2014).

Hava şartlarının yakıt tüketimine etkisinin sonuçları ise şu şekildedir; yük miktarı sabit kaldığında 2.durumdaki yakıt tüketimi 1.durumdaki yakıt tüketimine göre %4,5-7,0 daha fazladır. Fakat sabit yük miktarında 2.durum ile 3.durum arasında oluşan yakıt tüketimi arasında pek bir fark oluşmamaktadır. Sadece yük miktarı 1000 ton olduğunda yakıt tüketimi 1.durumdan 2.duruma geçildiğinde %1,9 oranında artmaktadır. Diğer yük koşullarında ise tüketim değerleri neredeyse birbiriyle aynı olmakla beraber, bazı yük miktarlarında yakıt tüketiminde %0,5-0,6 arasında düşüş meydana gelmektedir. Rüzgâr ve deniz şiddetlerinin gemi hızına ve dolayısıyla yakıt tüketimine negatif etkisi olduğu bilinmektedir (Armstrong, 2013; Kosmas ve Vlachos, 2012; Orsic ve Faltinsen, 2012). Elde edilen sonuçlara göre 1.durumdan 2.duruma geçişte literatüre uygunluk söz konusu iken, 2.durumdan 3.duruma geçişte oluşan durum ise literatürle paralellik göstermemektedir.

Genetik algoritmalar ile elde edilen yük miktarlarına bağlı olarak gemiye alınması gereken balast miktarı ise 1118,00 ton ile 1354,00 ton arasında değişmektedir. Gemiler için balast miktarı, en uygun hızın belirlenmesinde dikkate alınması gereken önemli bir olgudur. Özellikle düzensiz denizyolu taşımacılığında gemide yük olmadığı zamanlarda geminin balastlı olarak seyir yapmasından ötürü balast miktarı optimum hız üzerinde etkin rol oynamaktadır (Wang ve Xu, 2015). Çalışmada bulunan balast miktarı değerlerinin ışığında; seferden düşmemek amacıyla hızını korumayı sağlayan düzenli denizyolu taşımacılığında balast miktarının optimum hız üzerinde etkisi, düzensiz denizyolu taşımacılığı yapan gemilere göre daha azdır. Dışsal maliyetlerin önemli bileşenlerinden olan gemiden kaynaklı zararlı gaz emisyonlarının tüketilen yakıt miktarı ile bağlantılı olduğu bilinmektedir (Gusti ve Semin, 2016; Saputra vd., 2015; Pitana vd., 2010). Optimum hızların bulunması ve dolayısıyla seferlik yakıt harcamasının düşmesi sonucu gemiden kaynaklı zararlı gaz emisyonları da azalmıştır.

Yakıt maliyetleri ve çevresel endişelerden dolayı yakıt tüketiminin azaltılması gemi işletmeleri için her geçen gün daha da önem kazanan bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu kapsamda gemilerin taşıdığı yük miktarına göre optimum gemi hızı ile seyir yapması yakıttan kaynaklı içsel ve dışsal maliyetleri azaltmada büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada düzenli denizyolu taşımacılığı yapan Ro-Ro kargo gemilerinin

yük miktarlarına bağılı en düşük yakıt tüketimini veren ve geminin seferden düşmemesini sağlayan optimum hızlar belirlenmiştir. Elde edilen optimum hız sonuçlarına göre; iki farklı sefer noktasında toplam seyir süresi artarken toplam yakıt tüketimi azalmaktadır. Bu çalışma Ro-Ro firmasının tüm gemilerini kapsayacak şekilde filo sefer planı yapılarak genişletilebilir. Böylece, düzenli denizyolu taşımacılık yapan filo gemilerinin sefer programı aksamdan düşük yakıt tüketiminde seyir yapmaları sağlanarak filo bazında yakıt tüketimi ve dolayısıyla yakıt giderleri azaltılabilir. Ayrıca filo bazında pitch/rpm ayarları, karina temizliği, liman yakıt tüketim değerleri gibi hıza etki eden diğer parametreler filo veri havuzu içinde değerlendirilerek bu çalışma ilerletilip geliştirilebilir. Diğer yandan, zararlı gaz emisyonları ile ilgili olarak daha sağlıklı sonuç alınması amacıyla emisyon ölçümlerinin optimum hız öncesinde ve sonrasında bizzat gemi üzerinden yapılması da çalışmanın geliştirilebilmesi açısından önemlidir.

## 5. KAYNAKLAR

- Adıgüzel, B., 2005. Bilişim Sistemlerinin Lojistik Yönetiminde Etkin Kullanımı ve Buna İlişkin Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, T.C. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, İstanbul.
- Akın, T., 2000. Yük-İstif, Mart Matbaacılık, İstanbul.
- Akten, N., 1995. Taşımacılık Kılavuzu, Can Matbaa, İstanbul.
- Al-Hamad, K., Al-İbrahim, M. ve Al-Enezy, E., 2012. A Genetic Algorithm for Ship Routing and Scheduling Problem with Time Window, American Journal of Operations Research, 2, 417-429.
- Alizadeh, A. H. ve Nomikos, N. K., 2004. The Efficiency of The Forward Bunker Market, International Journal of Logistics: Research and Applications, 7, 3, 281-296.
- AOGR, American Oil and Gas Reporter, <http://www.aogr.com/web-exclusives/exclusive-story/lng-emerging-as-fuel-of-choice-for-vessels-ferries>. 22 Kasım 2016.
- Armstrong, V.N., 2013. Vessel Optimisation For Low Carbon Shipping, Ocean Engineering, 73, 195-207.
- Arslan, Ö. ve Gürel, O., 2008. Farklı Tip ve Boyutta Gemilerin Seçiminin Bulanık Mantık Yöntemiyle İncelenmesi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 3, 4, 55-60.
- Aydın, N., Lee, H. ve Mansouri, S.A., 2017. Speed Optimization and Bunkering in Liner Shipping in the Presence of Uncertain Service Times and Time Windows at Ports, European Journal of Operational Research, 259, 1, 143-154.
- Ayhan, S. ve Erdoğan, Ş., 2014. Destek Vektör Makineleriyle Sınıflandırma Problemlerinin Çözümü İçin Çekirdek Fonksiyonu Seçimi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi, 9, 1, 175-198.
- Ballou, P., Chen, H. ve Horner, J.D., 2008. Advanced Methods of Optimizing Ship Operations to Reduce Emissions Detrimental to Climate Change, Oceans 08 Conference, September 2008, Quebec City, Quebec, MTS/IEEE Proceedings, 1-12.
- Bassam, A.M., Philips, A.B., Turnock, S.R. ve Wilson, P.A., 2015. Ship Voyage Energy Efficiency Assessment Using Ship Simulators, VI International Conference on Computational Methods in Marine Engineering MARINE 2015, June 2015, Rome, CIMNE Publication, 591-604.
- Başar, E., Erol, S. ve Yılmaz, H., 2015. Karadeniz Limanlarında Ro-Ro Taşımacılığı ve Gelişimi, Türk Deniz Ticareti Sempozyumu-VII, 2015, Ordu, Bildiriler Kitabı, 71-82.

- Başer, F. ve Apaydın, A., 2015. Sınıflandırma Amaçlı Destek Vektör Makinelerinin Lojistik Regresyon ile Karşılaştırılması, Anadolu Üniv. Bilim ve Tek. Der. - B - Teorik Bilimler, 3, 2, 53-65.
- Beşikçi, E.B., Arslan, O., Turan, O. ve Ölçer, A.I., 2016b. An Artificial Neural Network Based Decision Support System for Energy Efficient Ship Operations, Computers & Operations Research, 66, 393-401.
- Beşikçi, E.B., Kececi, T., Arslan, O. ve Turan, O., 2016a. An Application of Fuzzy-AHP to Ship Operational Energy Efficiency Measures, Ocean Engineering, 121, 392-402.
- Bialystocki, N. ve Konovessis, D., 2016. On the Estimation of Ship's Fuel Consumption and Speed Curve, Journal of Ocean Engineering and Science, 1, 2, 157-166.
- Branchini, R.M., Armentano, V.A. ve Morabito, R., 2015. Routing and Fleet Deployment in Liner Shipping with Spot Voyages, Transportation Research Part C, 57, 188-205.
- BRS, 2015. The Ro-Ro Market from a Broker's Perspective, Aland.
- Bunker Index, <http://www.bunkerindex.com>. 15 Nisan 2017.
- Büyükmirza, K., 1999. Maliyet ve Yönetim Muhasebesi, Barış Yayım Evi, Ankara.
- Clarkson, [https://www.clarksons.com/media/1041279/annual\\_report\\_2014\\_-\\_final.pdf](https://www.clarksons.com/media/1041279/annual_report_2014_-_final.pdf). Annual Report 2014. 17 Kasım 2016.
- 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.
- Corbett, J.J., Winebrake, J.J., Green, E.H., Kasibhatla, P., Eyring, V. ve Lauer, A., 2007. Mortality From Ship Emissions: A Global Assessment, Environ. Sci. Technol., 41, 24, 8512-8518.
- CSC, Croatian Shipbuilding Corporation, <https://hb.hr/wp-content/uploads/2014/12/ferries.pdf>. 06 Nisan 2017.
- Çancı M. ve Erdal M., 2009. Uluslararası Taşımacılık Yönetimi, Genişletilmiş 3. Baskı, UTİKAD, İstanbul.
- DDK, 2008. Tersanecilik Sektörü ile İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Tuzla Tersaneler Bölgesinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi Hakkında, Yayın No: 2008/1, Ankara.
- DNV GL, 2014. Alternative Fuels for Shipping, Yayın No: 17-2014, Hovik.
- DRF, 2016. Danish Shipping Statistics, Copenhagen, 2016.

- DTGM, Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, [https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/istatistik\\_filo.aspx](https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/istatistik_filo.aspx). Filo İstatistikleri. 25 Kasım 2016.
- Du, Y., Chen, Q., Quan, X., Long, Lei. ve Fung, R.Y.K., 2011. Berth Allocation Considering Fuel Consumption and Vessel Emissions, Transportation Research Part E, 47, 1021-1037.
- Dursun, A. ve Erol, S., 2012. Denizyolu Yük Taşımacılığı Sektöründe Faaliyet Gösteren Firmaların Finansal Yapı Analizi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 16, 3, 367-382.
- Dündar, S. ve Şahin, İ., 2013. Train Re-scheduling with Genetic Algorithms and Artificial Neural Networks for Single-Track Railways, Transportation Research Part E, 27, 1-15.
- Eide, M.S., Longva, T., Hoffman, P., Endresen, O. ve Dalsoren, S., 2011. Future Cost Scenarios for Reduction of Ship CO<sub>2</sub> Emissions, Marit. Pol. Mgmt., 38, 1, 11-37.
- Emel, G.G. ve Taşkın, Ç., 2002. Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, U.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21, 1, 129-152.
- EMSA, European Maritime Safety Agency, <http://www.emsa.europa.eu/news-a-press-centre/external-news/item/2903-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2016.html>. Annual Overview of Maritime Casualties and Incidents 2016. 20 Aralık 2016.
- Erol S. ve Baştürk S., 2015. Latterly Marine Fuel Problem, "Cat Fines", Innovative Challenges of Maritime Industry, 2015, Batum, Conference Proceedings Book, 107-118.
- Erol S. ve Baştürk S., 2016. The Economic and Cost Analysis of Ro-Ro Ships Used LNG as Propulsion Fuel", The Second Global Conference on Innovation in Marine Technology and the Future of Maritime Transportation, 2016, Muğla, Conference Proceedings Book, 259-267.
- Erol, S., 2013. Denizyolu Taşıma Maliyetlerinin Finansmanında Türev Ürünlerin Kullanımına Yönelik Bir Uygulama, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Erzurum.
- ESPO, European Sea Ports Organization, <http://www.espo.be/media/Annual%20Report%202015-2016-final.pdf>. Annual Report 2015-2016. 29 Kasım 2016.
- Gelareh, S. ve Meng, Q., 2010. A Novel Modeling Approach for the Fleet Deployment Problem within a Short-Term Planning Horizon, Transportation Research Part E, 46, 79-89.
- Goldsby, T.J., Iyengar, D. ve Rao, S., 2014. The Definitive Guide to Transportation, First Edition, Pearson Education, New Jersey.

- Grieg, T.W., Pedersen, O.H.F. ve Ronholt, J., 2013. Simulation and Rescheduling of Operation for a RoRo-fleet, Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Marine Technology, Trondheim.
- Gusti, P.A. 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.
- Hellstrom, T., 2004. Optimal Pitch, Speed and Fuel Control at Sea, Journal of Marine Science and Technology, 12, 2, 71-77.
- Herdzik, J., 2016. Utilization of Anti-Heeling Systems on Vessels and Chosen Malfunctions During Their Exploitation, Journal of KONES Powertrain and Transport, 23, 3, 177-184.
- Hsu, C.I. ve Hsieh, Y.P., 2005. Shipping Economic Analysis For Ultra Large Containership, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, 936 -951.
- Hülagü, S.E., 2007. Ro-Ro Taşımacılığı ve Türkiye'deki Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- IHS, Information Handling Services, [http://www.verifavia-shipping.com/bases/resource\\_pdf/35/ships-visiting-en.pdf](http://www.verifavia-shipping.com/bases/resource_pdf/35/ships-visiting-en.pdf). Ship Visiting European Ports. 29 Aralık 2016.
- IMO, International Maritime Organization, <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Regulations/Documents/RORO.pdf>. IMO and Ro-Ro Safety. 21 Kasım 2016.
- IMO, International Maritime, Organization, [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx). Sulphur Oxides-Regulation 14. 22 Kasım 2016.
- IMO, 2015. Third IMO GHG Study 2014 Executive Summary and Final Report, London.
- ISL, Institute of Shipping Economics and Logistics, [https://www.isl.org/sites/default/files/sites/news/news/2016-04-14-01/Web-Short-Comment\\_SSMR\\_60-1-2.pdf](https://www.isl.org/sites/default/files/sites/news/news/2016-04-14-01/Web-Short-Comment_SSMR_60-1-2.pdf). Shipping Statistics and Market Review 2016. 21 Kasım 2016.
- İMEAK DTO, 2016. 2015 Deniz Sektör Raporu, İstanbul.
- Journee, J.M.J. ve Meijers, J.H.C., 1980. Ship Routeing for Optimum Performance, Transactions IME, 1-21.
- Karakuzu, S., 2010. Türkiye'de Çevre Politikalarının Gelişimi ve Çevre Vergilerinin Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Maliye Anabilim Dalı, Edirne.
- Karcıoğlu, R., 2000. Stratejik Maliyet Yönetimi, Aktif Yayınevi, Erzurum.



- Kim, H.J., Chang, Y.T., Kim, T.K. ve Kim, K.T., 2012. An Epsilon-Optimal Algorithm Considering Greenhouse Gas Emissions for The Management of a Ship's Bunker Fuel, Transportation Research Part D, 17, 97-103.
- Kim, J.G., Kim, H.J. ve Lee, T.W., 2014. Optimizing Ship Speed to Minimize Fuel Consumption, Transportation Letters, 6, 3, 109-117.
- Kontovas, C. ve Psaraftis, H., 2011. Reduction of Emissions Along the Maritime Intermodal Container Chain: Operational Models and Policies, Marit. Pol. Mgmt., 38, 4, 451-469.
- Kosmas, O.T. ve Vlachos, D.S., 2012. Simulated Annealing for Optimal Ship Routing, Computers & Operations Research, 39, 3, 576-581.
- Kowalski, A., 2013. Cost Optimization of Marine Fuels Consumption as Important Factor of Control Ship's Sulfur and Nitrogen Oxides Emissions, Scientific Journals Maritime University of Szczecin, 36, 108, 94-99.
- Kögmen, Z., 2014. Karayolu Taşımacılığının Diğer Taşımacılık Modlarıyla Karşılaştırılması ve Sağladığı Avantajlar, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHB), Ankara.
- Köseoğlu, S., 2010. Uluslararası Denizyolu Taşımacılığı Sektöründe Risklerin Analizi ve Gemi Yatırım Kararlarını Etkileyen Faktörlerin Araştırılması, Doktora Tezi, T.C. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Finans Bilim Dalı, İstanbul.
- Kruse, R., Borgelt, C., Klawonn, C., Moewes, C., Steinbrecher, M. ve Held, P., 2013. Computational Intelligence, First Edition, Springer-Verlag, London.
- Kunjur, A. ve Krishnamurty, S., <http://www.ecs.umass.edu/mie/labs/mda/mechanism/papers/genetic.html>. Genetic Algorithms in Mechanism Synthesis. 25 Kasım 2016.
- Malliappi, F., Bennell, J.A. ve Potts, C.N., 2011. A Variable Neighborhood Search Heuristic for Tramp Ship Scheduling, Computational Logistics, 6971, 273-285.
- Mao, W., Rychlik, I., Wallin, J. ve Storhaug, G., 2016. Statistical Models for the Speed Prediction of a Container Ship, Ocean Engineering, 126, 152-162.
- MARPOL, International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, [http://www.imo.org/en/Publications/Documents/Supplements%20and%20CDs/English/QB664E\\_092015.pdf](http://www.imo.org/en/Publications/Documents/Supplements%20and%20CDs/English/QB664E_092015.pdf). MARPOL Annex VI. 26 Aralık 2016.
- MEB, 2012. Gemi Denge Hesapları, Ankara.
- Meng, Q., Du, Y. ve Wang, Y., 2016. Shipping Log Data Based Containership Fuel Efficiency Modeling, Transportation Research Part B, 83, 207-229.

- MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <http://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/sss/beaufort.pdf>. Bofor Rüzgâr Skalası. 09 Aralık 2016.
- Norstad, I., Fagerholt, K. ve Laporte, G., 2011. Tramp Ship Routing and Scheduling with Speed Optimization, Transportation Research Part C, 19, 853-865.
- Odabaşı, Y. [www.akademi.itu.edu.tr/helvaci/DosyaGetir/51785/gmg-dersnotu.pdf](http://www.akademi.itu.edu.tr/helvaci/DosyaGetir/51785/gmg-dersnotu.pdf). Ders Notları. 21 Kasım 2016.
- OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development, <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/5j1wvz8mqq9s-en.pdf?expires=1495478271&id=id&accname=guest&checksum=9A164E4E29F33797B5ACE852B6200BA6>. Reducing Sulphur Emissions From Ships. 25 Aralık 2016.
- Orsic, J.P. 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.
- OSHA, 2010. Roll-On Roll-Off (Ro-Ro) Ship and Dock Safety, Washington DC.
- Pawlak, M., 2016. Evaluation of Applied Provisions and Technologies on Ship Emission and Air Quality, Journal of KONES Powertrain and Transport, 23, 4, 381-388.
- Perakis, A.N. ve Papadakis, N.A., 1987a. Fleet Deployment Optimization Models. Part 1, Marit. Pol. Mangt, 14, 127-144.
- Perakis, A.N. ve Papadakis, N.A., 1987b. Fleet Deployment Optimization Models. Part 2, Marit. Pol. Mangt, 14, 145-155.
- Pitana, T., Kobayashi, E. ve Wakabyashi, N., 2010. Estimation of Exhaust Emissions of Marine Traffic Using Automatic Identification System Data (Case Study: Madura Strait Area, Indonesia), Oceans 2010 IEEE, 2010, Sydney, Conference Publication, 1-6.
- Pocuca, M., 2006. Methodology of Day-to-Day Ship Cost Assesment, Promet-Traffic&Transportation, 18, 5, 337-345.
- Polo, G., 2012. On Maritime Transport Costs, Evolution, and Forecast, Ship Science & Technology, 5, 10, 19-31.
- Psaraftis, H.N. ve Kontovas, C.A., 2014. Ship Speed Optimization: Concepts, Models and Combined Speed-Routing Scenarios, Transportation Research Part C, 44, 52-69.
- Qi, X. ve Song, D.P., 2012. Minimizing Fuel Emissions by Optimizing Vessel Schedules in Liner Shipping with Uncertain Port Times, Transportation Research Part E, 48, 863-880.
- Rodrigue, P. J., Comtois, C. ve Slack, B., 2006. The Geography of Transport Systems, Routledge Taylor & Francis Group, London and New York.

- Saatçioğlu, C. ve Saygılı, M.S., 2013. Intermodal Taşımacılıkta Denizyolu-Demiryolu Entegrasyonunun Ekonomik ve Çevresel Açıdan Değerlendirilmesi, Journal of ETA Maritime Science, 1, 2, 19-26.
- Saban, M. ve Güğerçin, G., 2009. Deniz Taşımacılığı İşletmelerinde Maliyetleri Etkileyen Faktörler ve Sefer Maliyetleri, DEU Denizcilik Dergisi, 1, 1, 1-18.
- Saputra, H., Muvariz, M.F., Satoto, S.W. ve Koto, J., 2015. Estimation of Exhaust Ship Emission from Marine Traffic in the Straits of Singapore and Batom Waterways Using Automatic Identification System (AIS) Data, Jurnal Teknologi, 77, 23, 47-53.
- Shipowners, <https://www.shipownersclub.com/louise-hall-sulphur-requirements-imo-emmission-control-areas/>. 22 Kasım 2016.
- Shipping KPI, Key Performance Indicator, <https://www.shipping-kpi.org/book/definition/PI007>. Emitted Mass of CO<sub>2</sub>. 29 Aralık 2016a.
- Shipping KPI, Key Performance Indicator, <https://www.shipping-kpi.org/book/definition/PI008>. Emitted Mass of NO<sub>x</sub>. 29 Aralık 2016b.
- Shipping KPI, Key Performance Indicator, <https://www.shipping-kpi.org/book/definition/PI009>. Emitted Mass of SO<sub>x</sub>. 29 Aralık 2016c.
- Sjostrom, W., 2004. Ocean Shipping Cartels: A Survey, Review of Network Economics, 3, 2, 107-134.
- Smith, T., Barrett, M., O’Keeffe, E., Parker, S., ve Rehmatulla, N., 2011. On The Speed of Ships, International Conference on Technologies, Operations, Logistics and Modelling for Low Carbon Shipping (LCS) 2011, June 2011, Glasgow, Conference Book, 177-187.
- Soares, C.G. ve Moan. T., 1988. Statistical Analysis of Stillwater Load Effects in Ship Structures, SNAME Transactions, 96, 129-156.
- Stopford, M., 2009. Maritime Economics, 3rd Edition, Routledge, New York.
- Stopford, M., 1997. Maritime Economics, Routledge, London.
- Svetak, J., 2001. Ship Squat, Promet-Traffic-Traffico, 13, 4, 247-251.
- The Naval Architect, [https://www.academia.edu/29791325/Statistical\\_analysis\\_software\\_and\\_speed\\_loss\\_evaluation?auto=download](https://www.academia.edu/29791325/Statistical_analysis_software_and_speed_loss_evaluation?auto=download). 09 Aralık 2016.
- Türkel, M.A., 2010. Ulaştırma Sektöründe Dışsal Maliyetler ve Türkiye’de Trafik Kazalarının Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Antalya.

- UBAK, Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, [http://www.ubak.gov.tr/BLSM\\_WIYS/UBAK/tr/Ana\\_Plan\\_Stratejisi/3-Rapor/20100518\\_171015\\_204\\_1\\_64.pdf](http://www.ubak.gov.tr/BLSM_WIYS/UBAK/tr/Ana_Plan_Stratejisi/3-Rapor/20100518_171015_204_1_64.pdf). Kombine Taşımacılık. 17 Kasım 2016.
- UDBH, Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, <http://www.udhb.gov.tr/images/faaliyet/b77aacc22cbfc6d.pdf>. Yurt dışı Bağlantılı Ro-Ro Hatları. 25 Şubat 2017.
- Uğurlu, Ö., Erol, S. ve Başar, E., 2016. The Analysis of Life Safety and Economic Loss in Marine Accidents Occurring in the Turkish Straits, Maritime Policy & Management, 43, 3, 356-370.
- UNCTAD, 2016. Review of Maritime Transport, Yayın No: 112904, Geneva.
- URL1. <http://www.unroro.com.tr/pendik-trieste-pendik-sefer-bilgilendirmesi/tr/1394>. 21 Kasım 2016.
- URL2. <http://www.unroro.com.tr/un-ro-ro-agir-ve-proje-yukleri-roll-treyler-uzerinde-tasidi/tr/949>. 21 Kasım 2016.
- URL3. <http://worldmaritimeneews.com/archives/57626/attica-group-takes-over-new-built-ro-pax-vessel-blue-star-patmos-south-korea/>. 28 Kasım 2016.
- URL4. <http://nextnavy.com/wp-content/uploads/2014/06/Point-Class-Strategic-RORO-at-Mare-Harbour-Falkland-Islands-02.jpg>. 28 Kasım 2016.
- URL5. <http://www.allthatfloats.com/eye/07barceolona2.html>. 28 Kasım 2016.
- URL6. <http://automotivelogistics.media/finished-vehicle-logistics/waiting-to-ride-the-chinese-waves>. 28 Kasım 2016.
- URL7. <https://www.flickr.com/photos/124981163@N03/15998897735>. 28 Kasım 2016.
- URL8. <http://www.unroro.com.tr/sirket-profil/tr/665/filo/48>. 21 Aralık 2016.
- URL9. <http://www.ulusoyselines.com/filo/roro/>. 21 Aralık 2016.
- URL10. <http://alternative.com.tr/filo/>. 21 Aralık 2016.
- URL11. [https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/files/DIGER\\_ISTATISTIKLER/DENIZ\\_KAZALARI\\_ISTATISTIKLERI/2016/2016\\_YILI\\_DENIZ\\_KAZA\\_VE\\_OLAYLARINI\\_ICMAL\\_TABLOSU.doc](https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/files/DIGER_ISTATISTIKLER/DENIZ_KAZALARI_ISTATISTIKLERI/2016/2016_YILI_DENIZ_KAZA_VE_OLAYLARINI_ICMAL_TABLOSU.doc). 20 Aralık 2016.
- URL12. <http://www.unroro.com.tr/sirket-profil/tr/665/filo/48>. 21 Kasım 2016.
- URL13. <http://www.unroro.com.tr/images/unroro-map.jpg>. 22 Kasım 2016.
- URL14. <http://www.lojistiksozluk.com/arac-metre.html>. 24 Kasım 2016.

- Vural, D., Gencer, C. ve Karadoğan, D., 2014. Ulaştırma Uygulamalarına Yönelik Çok Modlu Model Önerisi, Savunma Bilimleri Dergisi, 13, 1, 75-105.
- Vural, G. ve Yonsel, F., 2015. Balast Suyu Arıtım Sistemlerinde Mevcut Durum, GİDB Dergi, 4, 3-24.
- Wang, C. ve Xu, C., 2015. Sailing Speed Optimization in Voyage Chartering Ship Considering Different Carbon Emissions Taxation, Computers & Industrial Engineering, 89, 108-115.
- Wang, C., Corbett, J.J. ve Winebrake, J.J., 2007. Cost-Effectiveness of Reducing Sulfur Emissions from Ships, Environ. Sci. Technol., 41, 8233-8239.
- Wang, S. ve Meng, Q., 2012. Sailing Speed Optimization for Container Ships in a Liner Shipping Network, Transportation Research Part E, 48, 701-714.
- Wang, S., 2016. Fundamental Properties and Pseudo-Polynomial Time Algorithm for Network Containership Sailing Speed Optimization, European Journal of Operational Research, 250, 46-55.
- Wang, S., Meng, Q. ve Liu, Z., 2013. Bunker Consumption Optimization Methods in Shipping: A Critical Review and Extensions, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 53, 49-62.
- Wijayaningrum, V.N. ve Mahmudy, W.F., 2016. Optimization of Ship's Route Scheduling Using Genetic Algortihm, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2, 1, 180-186.
- Yao, Z., Ng, H.S. ve Lee, L.H., 2012. A Study on Bunker Fuel Management for the Shipping Liner Services, Computers & Operations Research, 39, 1160-1172.
- Yeşilbağ, L., 1999. Ro-Ro Taşımacılığının Ülkemiz Deniz Ulaştırma Sektöründeki Yeri, Gemi İnşaatı ve Deniz Teknoloğisi Teknik Kongresi, 1999, İstanbul, Bildiri Kitabı, 411-418.

## 6. EKLER

Ek Tablo 1. Çalışma kapsamında incelenen model gemilerin sefer verileri

Sefer tarihi	Gemi hızı (kn)	Yakıt harcaması (ton/saat)	Rüzgâr şiddeti	Deniz şiddeti	Yük miktarı (ton)	Balast miktarı (ton)
11.01.2015	19,03	2,03	7,00	5,00	5487,90	2704,50
12.01.2015	18,50	2,35	8,00	7,00	5487,90	2704,50
13.01.2015	17,71	2,46	2,00	1,00	5487,90	2704,50
14.01.2015	20,46	2,54	3,00	2,00	5487,90	2704,50
15.01.2015	20,20	2,29	3,00	2,00	3869,20	2588,90
16.01.2015	20,42	2,28	3,00	2,00	3869,20	2588,90
17.01.2015	19,00	2,20	3,00	2,00	3869,20	2588,90
18.01.2015	19,06	2,23	3,00	2,00	5390,90	2415,40
19.01.2015	18,54	2,20	6,00	5,00	5390,90	2415,40
20.01.2015	18,63	2,25	6,00	5,00	5390,90	2415,40
21.01.2015	19,14	2,33	4,00	3,00	5390,90	2415,40
25.01.2015	16,21	1,45	3,00	2,00	5330,00	2838,30
26.01.2015	19,21	2,24	3,00	2,00	5330,00	2838,30
27.01.2015	19,17	2,28	5,00	4,00	5330,00	2838,30
28.01.2015	19,42	2,44	4,00	3,00	5330,00	2838,30
29.01.2015	19,58	2,37	8,00	5,00	5667,80	2803,40
30.01.2015	19,29	2,34	8,00	6,00	5667,80	2803,40
31.01.2015	19,25	2,32	9,00	7,00	5667,80	2803,40
14.02.2015	18,84	2,34	3,00	1,00	6096,30	2922,30
15.02.2015	18,96	2,29	2,00	1,00	6096,30	2922,30
16.02.2015	17,90	2,24	6,00	5,00	6096,30	2922,30

Ek Tablo 1'in devamı

18.02.2015	18,95	2,01	8,00	6,00	4005,40	2575,50
19.02.2015	19,83	2,28	4,00	3,00	4005,40	2575,50
20.02.2015	19,38	2,41	3,00	2,00	4005,40	2575,50
21.02.2015	19,09	2,17	3,00	2,00	6130,10	2817,50
22.02.2015	17,71	2,35	9,00	8,00	6130,10	2817,50
23.02.2015	17,83	2,20	5,00	4,00	6130,10	2817,50
04.03.2015	18,57	2,03	4,00	3,00	5494,40	2671,60
05.03.2015	20,17	2,67	7,00	7,00	5494,40	2671,60
06.03.2015	18,74	2,44	6,00	5,00	5494,40	2671,60
14.03.2015	16,69	2,22	3,00	2,00	6189,90	2895,80
15.03.2015	20,46	2,36	3,00	2,00	6189,90	2895,80
16.03.2015	18,09	2,29	5,00	4,00	6189,90	2895,80
18.03.2015	19,30	2,03	7,00	5,00	3423,70	2518,20
19.03.2015	19,75	2,30	3,00	2,00	3423,70	2518,20
20.03.2015	19,50	2,38	0,00	0,00	3423,70	2518,20
21.03.2015	19,01	2,21	6,00	4,00	6277,10	2612,20
22.03.2015	18,42	2,31	6,00	5,00	6277,10	2612,20
23.03.2015	18,40	2,25	3,00	2,00	6277,10	2612,20
25.03.2015	19,46	2,04	5,00	4,00	3629,90	2444,40
26.03.2015	19,58	2,29	3,00	2,00	3629,90	2444,40
27.03.2015	18,01	2,11	4,00	3,00	3629,90	2444,40
14.04.2015	17,32	2,12	0,00	0,00	6143,60	2876,30
15.04.2015	19,50	2,58	3,00	2,00	6143,60	2876,30
16.04.2015	18,88	2,56	2,00	1,00	6143,60	2876,30
21.04.2015	19,42	2,24	5,00	3,00	4845,60	1972,90
22.04.2015	19,96	2,51	0,00	0,00	4845,60	1972,90

Ek Tablo 1'in devamı

23.04.2015	18,66	2,35	2,00	1,00	4845,60	1972,90
24.04.2015	19,08	2,32	5,00	4,00	5291,50	2366,40
25.04.2015	19,83	2,69	0,00	0,00	5291,50	2366,40
26.04.2015	19,48	2,46	0,00	0,00	5291,50	2366,40
27.04.2015	18,98	2,59	6,00	4,00	5612,90	2736,10
28.04.2015	19,38	2,70	4,00	3,00	5612,90	2736,10
29.04.2015	19,71	2,70	0,00	0,00	5612,90	2736,10
01.05.2015	17,69	1,54	2,00	1,00	5942,40	2946,30
02.05.2015	18,33	2,33	4,00	2,00	5942,40	2946,30
03.05.2015	18,58	2,31	3,00	2,00	5942,40	2946,30
04.05.2015	18,99	2,30	0,00	0,00	5942,40	2946,30
21.05.2015	19,26	2,00	2,00	1,00	1289,20	2572,40
22.05.2015	19,96	2,32	4,00	3,00	1289,20	2572,40
23.05.2015	19,91	2,40	4,00	3,00	1289,20	2572,40
24.05.2015	18,87	2,26	3,00	2,00	6351,60	2776,40
25.05.2015	18,96	2,31	4,00	3,00	6351,60	2776,40
26.05.2015	18,42	2,26	3,00	2,00	6351,60	2776,40
24.08.2015	20,04	2,37	3,00	2,00	5086,60	2779,30
25.08.2015	19,50	2,62	3,00	2,00	5086,60	2779,30
26.08.2015	19,81	2,78	4,00	3,00	5086,60	2779,30
27.08.2015	20,00	2,25	2,00	1,00	3806,40	2730,20
28.08.2015	19,04	2,32	3,00	2,00	3806,40	2730,20
29.08.2015	18,67	2,38	6,00	5,00	3806,40	2730,20
30.08.2015	22,15	1,41	2,00	1,00	5160,80	2856,10
31.08.2015	18,45	2,08	2,00	1,00	5160,80	2856,10
01.09.2015	19,59	2,62	2,00	1,00	5160,80	2856,10



Ek Tablo 1'in devamı

02.09.2015	19,51	2,47	6,00	5,00	5160,80	2856,10
03.09.2015	20,60	2,24	2,00	1,00	3867,50	2840,10
04.09.2015	19,35	2,28	3,00	2,00	3867,50	2840,10
05.09.2015	19,14	2,29	2,00	1,00	3867,50	2840,10
10.09.2015	20,50	2,36	3,00	2,00	2826,20	2805,90
11.09.2015	20,50	2,36	3,00	2,00	2826,20	2805,90
12.09.2015	20,17	2,37	3,00	2,00	2826,20	2805,90
14.09.2015	19,71	2,32	5,00	5,00	4983,20	2876,00
15.09.2015	19,38	2,39	3,00	2,00	4983,20	2876,00
16.09.2015	19,42	2,30	3,00	2,00	4983,20	2876,00
17.09.2015	20,96	2,71	5,00	4,00	2606,60	2641,50
18.09.2015	20,54	2,53	0,00	0,00	2606,60	2641,50
19.09.2015	20,42	2,54	0,00	0,00	2606,60	2641,50
21.09.2015	20,00	2,47	0,00	0,00	5078,00	2728,40
22.09.2015	19,50	2,54	3,00	2,00	5078,00	2728,40
23.09.2015	19,52	2,42	6,00	4,00	5078,00	2728,40
24.09.2015	20,75	2,56	3,00	2,00	3087,10	2986,20
25.09.2015	20,71	2,69	4,00	3,00	3087,10	2986,20
26.09.2015	20,67	2,69	2,00	1,00	3087,10	2986,20
27.09.2015	20,65	2,08	2,00	1,00	623,40	3047,30
28.09.2015	20,00	2,35	3,00	2,00	623,40	3047,30
29.09.2015	13,96	1,50	4,00	3,00	623,40	3047,30
30.09.2015	17,18	1,94	6,00	5,00	623,40	3047,30
01.10.2015	20,26	2,58	3,00	2,00	3851,20	2827,00
02.10.2015	20,71	2,78	5,00	4,00	3851,20	2827,00
03.10.2015	20,25	2,59	2,00	1,00	3851,20	2827,00

Ek Tablo 1'in devamı

05.10.2015	20,09	2,70	4,00	3,00	5666,90	2973,70
06.10.2015	19,92	2,75	3,00	2,00	5666,90	2973,70
07.10.2015	20,28	2,76	3,00	2,00	5666,90	2973,70
08.10.2015	20,59	2,45	3,00	2,00	3538,70	2883,20
09.10.2015	20,88	2,52	3,00	2,00	3538,70	2883,20
10.10.2015	20,58	2,60	3,00	2,00	3538,70	2883,20
11.10.2015	20,00	1,82	0,00	0,00	5232,10	2836,00
12.10.2015	19,79	2,29	5,00	4,00	5232,10	2836,00
13.10.2015	19,00	2,36	2,00	1,00	5232,10	2836,00
14.10.2015	18,52	2,13	3,00	2,00	5232,10	2836,00
15.10.2015	20,32	2,51	6,00	5,00	2835,60	2708,30
16.10.2015	20,33	2,55	4,00	5,00	2835,60	2708,30
17.10.2015	20,42	2,46	2,00	1,00	2835,60	2708,30
19.10.2015	20,04	2,41	4,00	3,00	5571,80	2958,20
20.10.2015	19,54	2,43	3,00	2,00	5571,80	2958,20
21.10.2015	19,12	2,31	3,00	2,00	5571,80	2958,20
22.10.2015	19,26	2,13	4,00	3,00	3706,60	2831,10
23.10.2015	19,96	2,42	5,00	4,00	3706,60	2831,10
24.10.2015	19,08	2,36	4,00	3,00	3706,60	2831,10
26.10.2015	13,86	1,57	3,00	2,00	5437,60	2896,10
27.10.2015	19,79	2,26	2,00	1,00	5437,60	2896,10
28.10.2015	19,96	2,42	3,00	2,00	5437,60	2896,10
29.10.2015	20,00	2,19	3,00	2,00	5428,70	3032,00
30.10.2015	19,42	2,34	7,00	6,00	5428,70	3032,00
31.10.2015	18,38	2,38	8,00	7,00	5428,70	3032,00
05.11.2015	19,54	2,22	3,00	2,00	5194,90	3064,80

Ek Tablo 1'in devamı

06.11.2015	19,79	2,21	2,00	1,00	5194,90	3064,80
07.11.2015	18,46	2,18	5,00	4,00	5194,90	3064,80
13.12.2015	19,19	2,29	3,00	2,00	5648,70	2763,60
14.12.2015	19,58	2,38	5,00	4,00	5648,70	2763,60
15.12.2015	19,42	2,56	0,00	0,00	5648,70	2763,60
06.04.2015	18,70	1,96	8,00	6,00	4198,80	2735,40
07.04.2015	18,75	2,50	7,00	6,00	4198,80	2735,40
08.04.2015	18,92	2,57	5,00	4,00	4198,80	2735,40
20.04.2015	19,19	2,15	5,00	4,00	4272,10	2802,90
21.04.2015	19,25	2,63	6,00	5,00	4272,10	2802,90
22.04.2015	19,00	2,60	2,00	1,00	4272,10	2802,90
24.04.2015	18,84	2,70	4,00	3,00	5682,00	3000,80
25.04.2015	18,88	2,58	3,00	2,00	5682,00	3000,80
26.04.2015	18,35	2,53	3,00	2,00	5682,00	3000,80
01.05.2015	19,48	2,58	5,00	4,00	4231,00	2667,30
02.05.2015	19,71	2,59	2,00	1,00	4231,00	2667,30
03.05.2015	18,50	2,20	4,00	3,00	4231,00	2667,30
02.09.2015	17,61	1,81	3,00	2,00	4668,60	2267,90
03.09.2015	18,96	2,30	2,00	1,00	4668,60	2267,90
04.09.2015	18,96	2,25	2,00	1,00	4668,60	2267,90
05.09.2015	20,20	2,08	3,00	2,00	5632,60	2575,00
06.09.2015	18,67	2,44	3,00	2,00	5632,60	2575,00
07.09.2015	18,67	2,37	5,00	4,00	5632,60	2575,00
09.09.2015	19,00	2,04	3,00	2,00	2756,50	1423,10
10.09.2015	19,79	2,18	6,00	5,00	2756,50	1423,10
11.09.2015	19,20	2,24	2,00	1,00	2756,50	1423,10

Ek Tablo 1'in devamı

16.09.2015	18,91	2,23	3,00	2,00	3583,70	2197,10
17.09.2015	19,67	2,52	6,00	5,00	3583,70	2197,10
18.09.2015	18,90	2,42	2,00	1,00	3583,70	2197,10
19.09.2015	19,39	2,48	3,00	2,00	6053,50	2577,00
20.09.2015	19,13	2,55	2,00	1,00	6053,50	2577,00
21.09.2015	19,04	2,35	2,00	1,00	6053,50	2577,00
26.09.2015	18,63	2,44	4,00	3,00	6091,00	2511,00
27.09.2015	19,54	2,55	2,00	1,00	6091,00	2511,00
30.09.2015	18,60	1,92	6,00	5,00	2833,00	2721,00
01.10.2015	20,04	2,46	5,00	4,00	2833,00	2721,00
02.10.2015	20,28	2,65	2,00	1,00	2833,00	2721,00
03.10.2015	18,87	2,72	5,00	4,00	5946,50	3380,60
04.10.2015	19,21	2,77	2,00	1,00	5946,50	3380,60
05.10.2015	18,63	2,62	2,00	1,00	5946,50	3380,60
06.10.2015	18,83	2,41	3,00	2,00	5522,70	2653,90
07.10.2015	19,43	2,69	3,00	2,00	5522,70	2653,90
08.10.2015	19,27	2,66	2,00	1,00	5522,70	2653,90
09.10.2015	19,21	2,52	5,00	4,00	6140,90	2655,70
10.10.2015	18,13	2,28	7,00	5,00	6140,90	2655,70
11.10.2015	20,41	2,13	6,00	5,00	6140,90	2655,70
13.10.2015	18,84	2,26	4,00	3,00	5311,00	2697,50
14.10.2015	19,03	2,45	5,00	4,00	5311,00	2697,50
15.10.2015	18,86	2,39	2,00	1,00	5311,00	2697,50
17.10.2015	19,39	2,62	2,00	1,00	5618,70	2802,90
18.10.2015	19,54	2,68	4,00	3,00	5618,70	2802,90
19.10.2015	18,71	2,67	6,00	5,00	5618,70	2802,90

Ek Tablo 1'in devamı

20.10.2015	18,83	2,01	4,00	3,00	1634,60	2387,70
21.10.2015	19,02	2,35	5,00	4,00	1634,60	2387,70
22.10.2015	19,37	2,50	2,00	1,00	1634,60	2387,70
23.10.2015	19,03	2,56	8,00	6,00	5424,70	3198,70
24.10.2015	19,23	2,69	5,00	4,00	5424,70	3198,70
25.10.2015	19,57	2,45	6,00	5,00	5424,70	3198,70
26.10.2015	19,55	2,64	5,00	4,00	5529,70	3235,10
27.10.2015	18,88	2,44	3,00	2,00	5529,70	3235,10
28.10.2015	19,40	2,60	3,00	2,00	5529,70	3235,10
30.10.2015	19,56	2,50	4,00	3,00	3692,60	2678,60
31.10.2015	18,92	2,56	8,00	7,00	3692,60	2678,60
02.11.2015	18,31	2,15	6,00	5,00	4462,60	3549,00
03.11.2015	18,88	2,18	5,00	4,00	4462,60	3549,00
04.11.2015	13,75	1,45	2,00	1,00	4462,60	3549,00
06.11.2015	20,00	2,55	4,00	3,00	4969,90	2580,80
07.11.2015	19,33	2,68	3,00	2,00	4969,90	2580,80
08.11.2015	19,23	2,68	4,00	3,00	4969,90	2580,80
09.11.2015	17,41	2,05	5,00	4,00	4662,50	2123,30
10.11.2015	19,67	2,61	5,00	4,00	4662,50	2123,30
11.11.2015	19,29	2,63	4,00	3,00	4662,50	2123,30
13.11.2015	19,52	2,54	3,00	2,00	5210,00	2621,50
16.11.2015	18,85	2,33	6,00	5,00	4446,40	2722,60
17.11.2015	19,67	2,77	5,00	4,00	4446,40	2722,60
18.11.2015	12,50	1,25	3,00	2,00	4446,40	2722,60
19.11.2015	13,37	1,49	3,00	2,00	4446,40	2722,60
20.11.2015	20,00	2,55	4,00	3,00	4994,70	2739,50

Ek Tablo 1'in devamı

22.11.2015	19,04	2,48	7,00	6,00	4994,70	2739,50
24.11.2015	18,01	2,32	5,00	4,00	5859,90	2626,20
25.11.2015	19,13	2,55	7,00	6,00	5859,90	2626,20
26.11.2015	18,83	2,60	7,00	6,00	5859,90	2626,20
28.11.2015	19,10	2,52	4,00	3,00	5869,50	2738,50
29.11.2015	19,67	2,71	2,00	1,00	5869,50	2738,50
30.11.2015	18,38	2,58	2,00	1,00	5869,50	2738,50
02.12.2015	18,17	2,26	5,00	4,00	5390,00	2884,00
03.12.2015	19,42	2,67	2,00	1,00	5390,00	2884,00
04.12.2015	19,17	2,67	3,00	2,00	5390,00	2884,00
05.12.2015	19,32	2,55	4,00	3,00	6029,70	3188,50
06.12.2015	19,42	2,63	2,00	1,00	6029,70	3188,50
07.12.2015	18,50	2,56	2,00	1,00	6029,70	3188,50
09.12.2015	19,06	2,20	6,00	5,00	4276,80	2690,60
10.12.2015	19,67	2,59	2,00	1,00	4276,80	2690,60
11.12.2015	18,29	2,57	3,00	2,00	4276,80	2690,60
13.12.2015	19,33	2,59	5,00	4,00	6318,20	2705,80
14.12.2015	18,50	2,40	2,00	1,00	6318,20	2705,80
19.12.2015	19,28	2,57	4,00	3,00	6026,50	2886,70
20.12.2015	19,46	2,67	5,00	4,00	6026,50	2886,70
21.12.2015	18,96	2,54	2,00	1,00	6026,50	2886,70
23.12.2015	19,30	2,23	4,00	3,00	1926,80	2619,20
24.12.2015	20,46	2,66	4,00	3,00	1926,80	2619,20
25.12.2015	20,18	2,73	2,00	1,00	1926,80	2619,20
26.12.2015	19,32	2,58	4,00	3,00	5738,80	2879,90
27.12.2015	19,67	2,69	5,00	4,00	5738,80	2879,90

Ek Tablo 1'in devamı

28.12.2015	18,27	2,59	2,00	1,00	5738,80	2879,90
30.12.2015	19,13	2,23	5,00	4,00	3773,80	2694,50
31.12.2015	19,44	2,31	6,00	5,00	3773,80	2694,50
01.01.2015	18,98	2,32	2,00	1,00	3773,80	2694,50
02.01.2015	19,41	2,41	4,00	3,00	1982,80	2804,50
03.01.2015	19,52	2,19	7,00	6,00	1982,80	2804,50
04.01.2015	19,28	2,19	2,00	1,00	1982,80	2804,50

## ÖZGEÇMİŞ

Selim BAŞTÜRK, 01.07.1984 tarihinde Trabzon'un Araklı ilçesinde dünyaya gelmiştir. İlköğrenimini Trabzon 24 Şubat İlkokulu'nda ve Trabzon Cumhuriyet Ortaokulu'nda okumuş olup orta öğrenimini Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2009 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Yaklaşık 6 senelik deniz hizmetinden sonra Uzakyol 2. Mühendisi ehliyetini almıştır. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2015 yılında ise Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü'ne öğretim görevlisi olarak atanan yazar iyi düzeyde İngilizce bilmektedir.