

T.C.
MİLLİ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
BARBAROS DENİZ BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ENSTİTÜSÜ
GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI

AÇIK KAYNAK KODLU GEMİ ENERJİ SİSTEM
ANALİZİ ARACI GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SALİH KORHAN ZORLU

18100401

TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. EGEMEN SULUKAN

İSTANBUL
HAZİRAN 2020

T.C.
MİLLİ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
BARBAROS DENİZ BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ENSTİTÜSÜ
GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI

AÇIK KAYNAK KODLU GEMİ ENERJİ SİSTEM
ANALİZİ ARACI GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SALİH KORHAN ZORLU

18100401

TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. EGEMEN SULUKAN

İSTANBUL
HAZİRAN 2020

T.C.
MİLLİ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
BARBAROS DENİZ BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ENSTİTÜSÜ
GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI

AÇIK KAYNAK KODLU GEMİ ENERJİ SİSTEM
ANALİZİ ARACI GELİŞTİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

SALİH KORHAN ZORLU
18100401

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 08 Mayıs 2020

Tezin Savunulduğu Tarih: 22 Haziran 2020

Tez Oy birliği / Oy çokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Egemen SULUKAN

Jüri Üyeleri : Doç.Dr.Uğur Buğra ÇELEBİ

Doç.Dr. Egemen SULUKAN

Dr. Öğr. Üyesi Doğuş ÖZKAN

İSTANBUL
HAZİRAN 2020

ÖZGÜNLÜK RAPORU

Tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve ç) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 40 sayfalık kısmına ilişkin, 05/Mayıs/2020 tarihinde şahsım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Millî Savunma Üniversitesi Barbaros Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Özgünlük Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Usul ve Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Salih Korhan ZORLU

ETİK BEYAN

Millî Savunma Üniversitesi Enstitüleri Lisansüstü Tez Hazırlama Kılavuzu'nda yer alan kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir; aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bu tezdeki düşünce, görüş, varsayım, sav veya tezler bana aittir; Millî Savunma Bakanlığı, Türk Silahlı Kuvvetleri, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Millî Savunma Üniversitesi ve Barbaros Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

Salih Korhan ZORLU

Sevgili aileme ve ablama

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Yaptığı paha biçilemez bilgi ve tecrübe aktarımı ile ufkumu açarak bugüne ulaşmamı sağlayan ve motivasyon kaynağım olan değerli hocam Doç.Dr.Egemen SULUKAN'a, yüksek lisans eğitimim boyunca değerli zamanımı, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Dr.Öğr.Üyesi Doğuş ÖZKAN'a, hem mesleği olan fizik öğretmenliği, hem de son aşamalarında olduğu Teorik Fizik Doktora Eğitiminin yoğunluğuna karşın yüksek lisans çalışmasına başlamak konusunda beni sürekli motive eden ve bu aşamaya gelmemde en büyük katkısı bulunan iki kişiden birisi olan sevgili ablam Özden ZORLU'ya, ayrıca özellikle bu tezin hazırlanması aşamasında geçirdiğim zor zamanlarda manevi destekleri ile moralimi ve enerjimi yükselten ailemizin profesörü annem Yasemin ZORLU'ya ve babama teşekkürü borç bilirim.

İstanbul, Mayıs 2020

Salih Korhan ZORLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZGÜNLÜK RAPORU	
ETİK BEYANI	
İTHAF	
TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SEMBOLLER LİSTESİ	xi
KISALTMALAR	xii
TÜRKÇE ÖZ	xiii
İNGİLİZCE ÖZ (ABSTRACT)	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Tezin Önemi.....	4
1.3. Tezin Yöntemi	4
1.4. Tez Konusuyla İlgili Yurtiçi ve Yurtdışında Yapılan Çalışmalar	5
2. DENİZCİLİK ENDÜSTRİSİNİN ZORLU GÜNDEMİ - EMİSYON AZALTIMI	12
2.1 Taşımacılık Sektörü.....	12
2.2 Deniz Taşımacılığı Sektörü	14
2.3 Gemilerde Enerji Verimliliği ve Gemiler Tarafından Oluşturulan Hava Kirliliğine Yönelik Uluslararası Denizcilik Örgütü Tarafından Getirilen Düzenlemeler	15
2.3.1 MARPOL Ek 6	16
2.3.2 Nitroksit (NOx) Salımına İlişkin Düzenlemeler.....	17
2.3.3 SOx Salımına İlişkin Düzenlemeler	18
2.3.4 Sera Gazı Salımlarına İlişkin Düzenlemeler	19

3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ KONUSUNDA HALİHAZIRDA SIKLIKLA KULLANILAN KARAR-DESTEK YAZILIMLARININ GENEL OLARAK İNCELENMESİ	21
3.1 EnergyPLAN	22
3.2 ENPEP-BALANCE (Energy and Power Evaluation Program)	22
3.3 HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources)	23
3.4 LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System)	23
3.5 MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact)	23
3.6 MARKAL (MARKet ALlocation)	24
3.7 MOVES	24
3.8 OSeMOSYS (Open Source energy MODELing SYStem)	24
4. AÇIK KAYNAK KODLU PROGRAMLAMA VE PYTHON PROGRAMLAMA DİLİ	25
5. YAZILIMIN GELİŞTİRİLME SÜRECİ	26
5.1 İhtiyaçların ve Yazılımın Sahip Olması Gereken Özelliklerin Belirlenmesi.....	26
5.2 Derleyici Platformun Seçilmesi	27
5.3 Yazılım Mimarisinin Belirlenmesi	27
5.4 Modüllerin Kodlanması	28
5.4.1 Web Arayüz Modülü	28
5.4.2 Veri Tabanı Modülü	29
5.4.3 SANKEY Analiz Modülü	33
5.4.4 EEOI (Operasyonel Enerji Verimliği Göstergesi) Analiz Modülü	33
6. SONUÇ	35

KAYNAKÇA

ÖZGEÇMİŞ

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1: Gemilerin Enerji Verimliliğini Artıracak Önlemler.....	9
Tablo 2.1: NO _x Salım Sınırlandırmaları	17
Tablo 2.2: Yakıttaki Sülfür Sınırlandırmaları	19
Tablo 2.3: IMO Tarafından Benimsenen Sera Gazı Salımlarının Düşürülmesine Yönelik Stratejinin Önemli Aşamaları	21
Tablo 6.1: Yakıt Tipine Göre C _F Boyutsuz Parametresi Tablosu	37

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1:	Hali hazırdaki Durumda Birleşik Krallık Limanlarında Yıllara Göre Enerji Talebi Tahmini.....	8
Şekil 1.2:	Etkili Bir Karbondan Arındırma ve Gemilerin Elektrik Taleplerinin Artması Durumunda Yıllara Göre Birleşik Krallık Limanlarında Enerji Talebi Tahmini.....	8
Şekil 1.3:	Yardımcı Tahrik Sistemi Olarak Rüzgar Enerjisi Kullanımı	11
Şekil 2.1:	2016 EIA Raporuna Göre Taşımacılık Sektöründe Yakıt Tüketimi.....	13
Şekil 2.2:	JRC-EDGAR 2018 Raporuna Göre Deniz Taşımacılığı Kaynaklı CO ₂ Salımları (1970-2017).....	13
Şekil 2.3:	Gemi tipine göre Yakıt Tüketimleri (2012)	14
Şekil 2.4:	Gemi tipine göre CO ₂ Salımları (2012).....	15
Şekil 2.5:	MARPOL Ek 6 NO _x Salım Sınırlandırmaları.....	18
Şekil 2.6:	MARPOL Ek 6 Yakıt Sülfürü Limitleri.....	19
Şekil 2.7:	MARPOL Ek 6 CO ₂ Gazı salımı Sınırlandırma Hedefleri.....	20
Şekil 5.1:	Gemi Tanımlama Modülü Arayüz Görüntüsü.....	30
Şekil 5.2:	Birincil Enerji Taşıyıcı Tanımlama Modülü Arayüz Görüntüsü.....	31
Şekil 5.3:	Çevrim Teknolojileri Tanımlama Modülü Arayüz Görüntüsü.....	32
Şekil 5.4:	Son Kullanıcı Teknolojileri Tanımlama Modülü Arayüz Görüntüsü.....	33
Şekil 5.5:	Sankey Modül Tasarımı.....	34
Şekil 5.6:	EEOI Modül Tasarımı.....	34
Şekil 6.1:	Farazi MV Hasan Paşa Gemisi Enerji Sisteminin Sankey Diyagramı Çıktısı.....	38
Şekil 6.2:	Farazi MV Hasan Paşa Gemisi EEOI Hesaplama Modülü Örneklemesi Çıktısı.....	39

SEMBOL LİSTESİ

C_f	: Yakıttaki Karbon Kütlesi Oranı Çevrim Katsayısı
CH₄	: Metan
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
HC	: Hidro Karbon
N₂O	: Nitroz Oksit
NO_x	: Nitrojen Oksit
SO_x	: Sülfür Oksit
SO₂	: Sülfür Dioksit



KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
API	: Uygulama Programlama Arayüzü
BAU	: Business as Usual
BM	: Birleşmiş Milletler
BoA	: Beam Over All
EEDI	: Enerji Verimliliği Tasarım Endeksi
EIA	: US Energy Information Administration
EMS	: Enerji Yönetim Sistemleri
ENPEP	: Energy and Power Evaluation Program
GHG	: Sera Gazı
GSYH	: Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
HFC	: Hidroflorür karbonlar
HFO	: Heavy Fuel Oil
HOMER	: Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü
JRC-EDGAR	: European Comission Joint Research Centre, Emissions Database for Global Atmospheric Research
LEAP	: Long-range Energy Alternatives Planning System
LFO	: Light Fuel Oil
LoA	: Length Over All
LP	: Linear Programming
MARKAL	: Market Allocation
MARPOL	: Maritime Pollution
MEPC	: Uluslararası Denizcilik Örgütü Deniz Çevre Koruma Komitesi
MESSAGE	: Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact
OSeMOSYS	: Open Source energy MODeling SYStem
PFC	: Perfloro karbonlar
SEEMP	: Ship Energy Efficiency Management Plan

ÖZ

Açık Kaynak Kodlu Gemi Enerji Sistem Analizi Aracı Geliştirilmesi

Salih Korhan ZORLU

Milli Savunma Üniversitesi, Barbaros Deniz Bilimleri Mühendisliği
Enstitüsü

İstanbul, Mayıs 2020

Gemiler sahip oldukları enerji taşıyıcıları, dönüşüm ve son kullanıcı teknolojileri ile gaz salınımları sebebiyle kendine has enerji sistemleridir. Bu nedenle gemi enerji sistemlerinin özel olarak ele alınıp incelenmeleri, gemi operatörlerine, filo yöneticilerine, gemi inşaatı mühendislerine ve diğer sektör paydaşlarına rehberlik ve öngörü sağlaması açısından önem taşımaktadır. Mühendislik dallarının ana gayesinin sistemleri optimize etmek olması sebebiyle, karar vericilere rehberlik etmek için analiz ve optimizasyon desteği sağlayan çeşitli yazılım araçlarının kullanımı son yıllarda çok yaygınlaşmıştır. Ancak sürekli gelişim halinde olan denizcilik endüstrisinde üretilen ve toplanan yüksek miktarda verinin işlenmesi ve analizi için kullanılacak bu araçların da hedefe yönelik, esnek ve kullanıcı dostu olması gerekmektedir.

Bu çalışmada, halihazırdaki düzenlemeleri ele alarak gemilerdeki enerji verimliliği ve emisyon kontrolüne katkı sağlayabilecek, esnek, özgün ve yerli bir yazılım aracı oluşturulması hedeflenmiştir. Tasarlanan bu yazılımı bilgisayar teknolojilerindeki ve gemicilik endüstrisindeki süregelen değişimlere karşı esnek kılmak amacıyla açık kaynak kod ve özellikle Python programlama dili kullanılmıştır. Böylelikle aracın gelecekteki çalışmalarda kullanılması ve geliştirilmesi açısından da fayda sağlanacağı düşünülmüştür. Python programlama dilinin sahip olduğu geniş kapsamlı ve ücretsiz kütüphaneleri sayesinde bu çalışmada tasarlanan araca gemilerin enerji sistemlerindeki anomalileri belirleyen ve aksaklıkları gidermek için öneriler sunan modüller gibi geliştirmeler yapılabileceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, gelecek çalışmalarla yetenekleri artırılabilir bu aracın, mühendislerin ve diğer sektör paydaşlarının istifade edebileceği daha gelişmiş ve kapsamlı bir aracın ilk adımı olması hedeflenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Gemi Enerji Sistemleri, Veri Bilimi, Açık Kaynak, Python, Enerji Analizi.

Bilim Kodu : 92616

Sayfa : 43

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Egemen SULUKAN

ABSTRACT

Developing an Open Source Tool for Emission and Energy Analysis of a Generic Ship

Salih Korhan ZORLU

National Defence University, Barbaros Naval Science and
Engineering Institute
Istanbul, May 2020

Ships embodying a wide range of energy carriers, conversion/end-use technologies and emissions, can be considered as whole energy systems and require focused analyses to provide foresight for naval engineers, ship operators, fleet managers and other relevant stakeholders throughout the shipping industry. Considering the emerging technologies and the regulations for the shipping industry benefitting the superpowers of computing technologies became vital in order to let the stakeholders keep their profits up while fulfilling the regulations and restrictions. Since optimizing a system is the focus of engineering, software tools aiming to provide guidance have been widely used for the last decades. But as the amount of the data produced by the shipping industry raises, analysing tools also require to be resilient and adaptable. This study initially aims to define the current requirements and the regulations with regards to the energy efficiency and the emissions of ships and develop a comprehensive and resilient tool which will be able to provide analysis support. Open source and specifically Python programming language has been chosen to keep the tool resilient due to the continuous developments both in computer science and shipping industry. Considering the wide range of Python libraries available especially on data science, aforementioned tool can be integrated with new modules such as the ones able to detect anomalies, find out possible reasons and provide recommendations in order to eliminate the factor affecting the energy system of a ship with the future studies.. In this regard, this study anticipates to bring a comprehensive and open ended solution for the stakeholders and the researchers of the shipping industry and to be the first step for a sophisticated open source software tool which will shape with the help of future researchers.

Key Words : Ship Energy System, Data Science, Open Source, Python, Energy Analysis.

Science Code : 92616

Pages : 43

Supervisors : Assoc.Prof.Dr. Egemen SULUKAN

1. GİRİŞ

Deniz taşımacılığı uluslararası taşımacılığın en temel unsurlarından biri olarak öne çıkarken, sektörün çevre kirliliği ve ekonomi pastalarında da en büyük paya sahip olan sektörlerden biri olacağını söylemek yanlış olmayacaktır. Mühendisler, çevre bilimciler, daha birçok bilim insanı ve hatta ekonomistler dahi gemilerin enerji verimliliği ve gemilerden kaynaklı kirlilik bağlamında sektördeki operasyonel faaliyetleri ve kullanılan teknolojileri mercek altına almıştır. Halen daha fazla bilimsel çalışma ile doğrulanmasına ihtiyaç duyulsa da tüm dünyanın içinden geçtiği bu zorlu süreçte COVID-19 salgını sebebiyle seyahatler ve taşımacılık faaliyetlerinden kaynaklı olarak dünyanın bir çok şehrinde hava kirliliği oranlarının hatırı sayılır bir şekilde azaldığı konusunda raporlar ve açıklamalar* gelmektedir. Ancak söz konusu raporlar yine de bu durumun geçici olacağını öngördüğünü vurgulamaktadırlar. Bu kapsamda en son Birleşmiş Milletler bünyesinde faaliyet gösteren Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından söz konusu azalmanın geçici olduğu ve bu durumun iklim değişikliğine önemli bir etkisi bulunmayacağı ifade edilmiştir. Bu raporların yeteri kadar bilimsel çalışma ile desteklenmesi durumunda taşımacılık sektörünün ve bu bağlamda deniz taşımacılığının hava kirliliğine etkisi bir kez daha kanıtlanmış olacaktır. Bu durum gerçekleşse de gerçekleşmese de salgının sona ermesini müteakip dünya ‘‘yeni normal’’ düzene geçerken taşımacılık ve özellikle deniz taşımacılığı sektörünün de enerji verimliliği ve çevre kirliliği bağlamında bir çok değişikliğe gebe olması muhtemeldir ve COVID-19 salgının getirdiği değişiklikler gemi tasarımcıları ve gemi inşacılarından gemi işletmecilerine kadar geniş bir yelpaze içerisinde bulunan deniz taşımacılığı sektörü paydaşlarını yeni duruma kısa süre içerisinde uyum sağlamaya ve piyasada kalmaya devam edebilmek için yeni önlemler almaya itecektir. Diğer yandan alanda daha önce yapılmış çalışmalar deniz taşımacılığına yönelik talebin gelecekte artarak devam edeceğini öngörmekte ve sektörden kaynaklı zararlı gaz salımlarının hava kirliliğine etkilerinin yakından takip edilmesi gerektiğini göz önüne koymaktadır.

* <https://www.upv.es/noticias-upv/noticia-11938-castellon-alic-es.html>,<https://www.isglobal.org/en/healthisglobal/-/custom-blog-portlet/-sea-relevante-para-nuestra-salud-la-disminucion-de-la-contaminacion-atmosferica-durante-la-epidemia-de-la-covid-19-/5083982/11101>

Bu bağlamda yine Birleşmiş Milletler bünyesinde faaliyet gösteren Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) artan endişelere cevap verebilmek amacıyla son bir kaç on yıldır gemilerin enerji verimliliği ve gemilerden kaynaklı zararlı gaz salımlarının kontrolü amacıyla birçok düzenlemeyi uygulamaya koymuştur. Diğer kurumlar ve yönetimler tarafından bu paralelde alınan tedbirler ve yürürlüğe sokulan kısıtlamalar sektördeki paydaşları ivedi önlem almaya ve yeni gelişecek durumlara çözümler üretebilmek amacıyla tetikte kalmaya mecbur bırakmaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Deniz taşımacılığının halihazırda taşımacılık sektörünün çok büyük bir kısmını oluşturduğu ve bu konudaki ağırlığını her geçen yıl biraz daha artırdığı bir çok kurum ve kuruluşun raporları ile belgelenmiş bir gerçektir. Hal böyle iken, deniz taşımacılığının iskeletini oluşturan gemilerin enerji verimlilikleri ve bu gemilerden kaynaklı zararlı gaz salımlarının ülke ekonomileri ve çevre kirliliği üzerindeki olumsuz etkilerinin de artacağı çok da zor olmayan bir tahmin olarak ortaya çıkmaktadır.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) bu tahminden ve bu konuda yapılan birçok bilimsel çalışmadan yola çıkarak; 1978 tarihli ‘Gemilerden Kaynaklı Çevre Kirliliğinin Önlenmesi’ konulu uluslararası sözleşmeye yönelik, 1997 yılında ‘Gemilerden Kaynaklı Hava Kirliliğine İlişkin Düzenlemeler’ konulu yeni bir ek (EK-6) yayımlayarak kısa, orta ve uzun vadelere alınacak önlemlere ilişkin düzenlemeleri belirlemiştir. Söz konusu düzenlemeler sektörden ve anlaşmaya imza koyan ülkelerden alınan veriler ile her yıl yeniden gözden geçirilmekte ve konuya ilişkin Uluslararası Denizcilik Örgütü stratejisi güncellenmektedir. Söz konusu düzenlemeler ve güncellenen strateji imza sahibi 167 asil üye ve 3 yedek üye ülke, bu ülkelere bağlı hizmet veren deniz ulaştırma şirketleri, gemi inşa firmaları, gemi işletmecileri gibi sektörün birçok unsurunu düzenlemeler ile getirilen kısıtlamalarla uyumlu çalışmak ve belirtilen zaman dahilinde gerekli önlemleri almak zorunluluğu ile yüz yüze bırakmıştır. Bu bağlamda sektördeki birçok paydaş gerekli kriterleri sağlamak için işletme modelleri ve teknolojileri konusunda kapsamlı değişikliklere gitmek zorunda kalacak ve bu süreçte yeni bilimsel karar-destek çalışmalarına ihtiyaç duyacaktır. Sürekli gelişen ve artan kapasitesi ve sunduğu olanaklarla hayatımızın her alanına giren bilişim teknolojileri son birkaç yılda olduğu gibi karar vericilerin en büyük yardımcısı olmaya devam etmektedir. Halihazırda enerji konularında analiz ve karar-

destek hizmeti vermeyi amaçlayan ve Bölüm-3'te genel bir çerçevede incelenecek olan birçok yazılım bulunmakla beraber, söz konusu yazılımların çoğunluğu ticari ve sadece geliştiricisi tarafından düzenlenmeye açık olarak hizmete sunulmuştur.

Yukarıda belirtilen hususlardan yola çıkılarak bu tezin amacı;

- ❖ Gemilerden kaynaklı zararlı gaz salımı ve enerji verimliliği konusunda Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından getirilen düzenlemelerin incelenmesi,
- ❖ Mühendisler, gemi işletmecileri, gemi taşımacılığı firmaları ve yerel/genel yönetimler dahil olmak üzere deniz taşımacılığı sektörü paydaşları tarafından söz konusu IMO düzenlemelerini karşılamak amacıyla yapılan hazırlık ve çalışmaların genel bir incelemesini ortaya koyulması,
- ❖ Halihazırda enerji verimliliği ve zararlı gaz salımının asgariye indirilmesi için kullanılan yazılımların genel olarak incelenmesi,
- ❖ Deniz taşımacılığında kullanılan bir geminin referans enerji sistemini oluşturarak verilen geminin IMO Enerji Verimliliği ve Zararlı Gaz salımı konularındaki düzenlemelere uygun olup olmadığı ve enerji verimliliği gibi konularda karar vericilere ışık tutacak, esnek yapıda ve geliştirilmeye uygun, açık kaynak kodlu bir yazılım aracı geliştirmek olarak belirlenmiştir.

Çalışmaya başlanmadan önce aşağıdaki sorular cevap bulunması gereken hususlar olarak önceliklendirilmiştir.

- ❖ Gemi enerji sistemi üzerinde analiz yapabilmek için ne tür verilere ihtiyaç duyulur?
- ❖ Analizin sağlıklı sonuç vermesi için gerçek zamanlı olarak toplanan veriler mi, sistem/cihazların teknik belgelerinde bulunan veriler mi kullanılmalı?
- ❖ Geliştirilecek yazılım ile mevcut diğer yazılımlar arasındaki belirleyici farklar neler olmalı?

1.2. Tezin Önemi

Deniz taşımacılığı sektörünün ekonomi ve çevre kirliliği üzerindeki olumsuz etkileri ve bu etkileri azaltmak için başta Uluslararası Denizcilik Örgütü olmak üzere birçok kurum ve kuruluş tarafından getirilen zorlayıcı kısıtlamalar gün geçtikçe artmaktadır. Sektördeki operasyonların ekonomiye olumlu katkı sağlayacak etkinlikte sürdürülmesi sağlanmaya çalışılırken aynı zamanda çevre kirliliğini ve dolayısıyla insan sağlığını etkileyecek zararlı gaz salımlarını da kontrol altında tutmak gibi sağlanması güç bir dengeyi kurmak ise temel hedefi sistemlerin optimizasyonu olan mühendislerin karşısına çözülmesi gereken bir sorun sahası olarak çıkmaktadır. Bu zorlu süreçte bilgi ve bilişim teknolojileri son birkaç on yılda olduğu gibi mühendislerin en büyük destekçisi olacaktır. Karmaşık bilgisayar programlarına aşina olan mühendislere ilave olarak deniz taşımacılığı sektörü de dahil olmak üzere birçok sektördeki diğer paydaşlar da bilgi teknolojilerinden istifade etmektedir. Ancak mühendisler dışındaki bu grup doğası gereği daha kullanıcı dostu ve daha çok kendi başına çalışabilir yazılımları kullanmaya yatkındır. Bu doğrultuda kullanıcı dostu bir arayüze sahip şekilde geliştirilebilecek bir yazılım aracı marifetiyle sağlanacak karar-destek hizmeti, mikro seviyeden makro seviyeye kadar ekonomi ve çevre kirliliği üzerinde olumlu etkiler yaratılabilecektir. Bu nedenle söz konusu yazılım geliştirilirken gemi inşaatı ve makineleri mühendisliği, makina mühendisliği, gemi işletmeciliği ve son olarak bilgisayar mühendisliği alanındaki tecrübelerin harmanlanması ile ihtiyacı karşılayacak bir çözümün ortaya çıkmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca yukarıda belirtilen alanlarda kullanılan ve sürekli değişen ve gelişen teknolojiler ve durumlar göz önüne alındığında yazılım aracının kapsayıcılığı, esnekliği, geliştirilmeye açık olması gibi özellikleri sağlanması gerektiği veya en azından müteakip benzer çalışmalara ışık tutacak özelliklere sahip olması gerekeceği aşikardır.

1.3. Tezin Yöntemi

Bu çalışmada ilk aşama olarak, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından yayımlanan ve gemilerden kaynaklı zararlı gaz salımları ve enerji verimliliği konusundaki yasal mevzuat* incelenmiştir.

* International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL), Air Pollution from Ships (Annex VI)

Müteakiben bir geminin referans enerji sisteminin ortaya koyularak üzerinde analiz yapılabilmesi ve zararlı gaz salımlarının kontrol altına alınması için ne tür verilere ihtiyaç duyulduğu üzerine yoğunlaşmıştır.

Konuya ilişkin olarak yurt dışı ve yurt içinde yapılan çalışmaların incelenmesi sonrasında halihazırda erişimde bulunan ve enerji sistemi analizlerinde kullanılan yazılım araçlarının genel bir incelemesi yapılmıştır.

Gemilerden kaynaklı zararlı gaz salımları ve gemilerin enerji verimliliği konusunda deniz taşımacılığı sektörü paydaşlarının istifadesine yönelik görselleştirme ve analiz yapma kabiliyetine sahip bir yazılım aracı geliştirmek için gereksinimler incelenerek çalışmanın açık kaynak kodlu bir programlama dili olan Python programlama dili üzerinden yürütülmesine karar verilmiştir.

Son olarak ise; geliştirilen aracın test edilmesi maksadıyla pazarda mevcut ve gemilerde kullanılan bazı sistem/cihazlar üretici internet sitelerinden alınan teknik veriler ile yazılım aracının veri tabanında ilgili bölümlere (birincil enerji taşıyıcıları, çevrim teknolojileri, son kullanıcı teknolojileri vb.) kaydedilmiştir. Müteakiben gemi veri tabanı modülünde temsili bir gemi tanımlanmış ve tanımlanan gemiye daha önceden veri tabanına girişi yapılan sistem/cihazlardan seçim yapılarak eklenmiş ve yazılım aracının verdiği sonuçlar incelenmiştir.

1.4. Tez Konusuyla İlgili Yurtiçi ve Yurtdışında Yapılan Çalışmalar

Uluslararası ticaretin artması ile paralel olarak deniz taşımacılığına olan talep de her geçen yıl katlanarak artmaktadır. Bu durum çevre duyarlılığı bağlamında muhtelif ulusal ve uluslararası kuruluşları gemiler kaynaklı zararlı gaz salımlarının kontrol altında tutulması konusunda, tasarım mühendisleri ve gemi sahipleri ile gemi işletmecilerini ise ekonomik açıdan gemilerinin enerji verimliliği ve getirilen düzenlemelere uyum sağlamak açısından gaz salımlarının kontrolü konusunda tedbirler almaya itmiş ve özellikle son 10 yılda bu alanda yapılan bilimsel çalışmaların sayısında artış olmuştur.

Bu çalışmaya başlanmadan incelenen alan çalışmalar ve bunların ulaştığı önemli çıkarımlar aşağıda sunulmuştur.

Dolf Gielen, Gabriel Castellanos, Carlos Ruiz, Roland Roesch, ve Sean Ratka, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) için 2019 yılında hazırladıkları

'Yenilenebilir Bir Geleceğe Sefer: Gemicilik Sektörünü Karbondan Arındırma' konulu ve deniz taşımacılığı sektör analizi, mevzuat incelemesi ve alternatif yakıt türleri incelemesi yaptığı raporda, 2000-2017 yılları arasında deniz taşımacılığı sektörü kaynaklı CO₂ gazı salımlarının yıllık ortalama yüzde 1,87 oranında artış gösterdiğini, deniz taşımacılığı sektörünün yıllık küresel karbon gazı salımının yüzde 3'lük payına sahip olduğu, gemilerin karbon izini azaltmak için gereken yöntemlerin gemilerin daha verimli çalışacak şekilde tasarlanması, alternatif yakıtlara geçilmesi ve liman periyotlarında çoğunlukla sahil güç kaynaklarının kullanılması gerektiği çıkarımlarına ulaşmıştır. Raporda ayrıca Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından belirlenen kriterleri sağlamanın en geçerli yolunun alternatif yakıt türlerine geçiş olduğu ancak bu geçişin de önünde aşağıda sunulan engellerin bulunduğu belirtilmiştir.

IRENA raporuna göre alternatif yakıtlara geçiş için aşılması gereken engeller;

- Küresel kapasitenin yüzde 80'ine tekabül eden en az 100 limandaki yakıt doldurma altyapısının değiştirilmesi,
- Halen kullanımda olan en az 25.000 geminin hizmet dışına çıkarılması veya tadilat yapılması,
- Alternatif yakıt olarak amonyak seçilmesi durumunda sektör tarafından talep edilecek amonyak miktarının şu anki küresel amonyak üretiminin iki katını bulacağı şeklinde tanımlanmış ancak yine de IMO hedeflerine ulaşmak için alternatif yakıtlara geçişin şart olduğu belirtilmiştir.

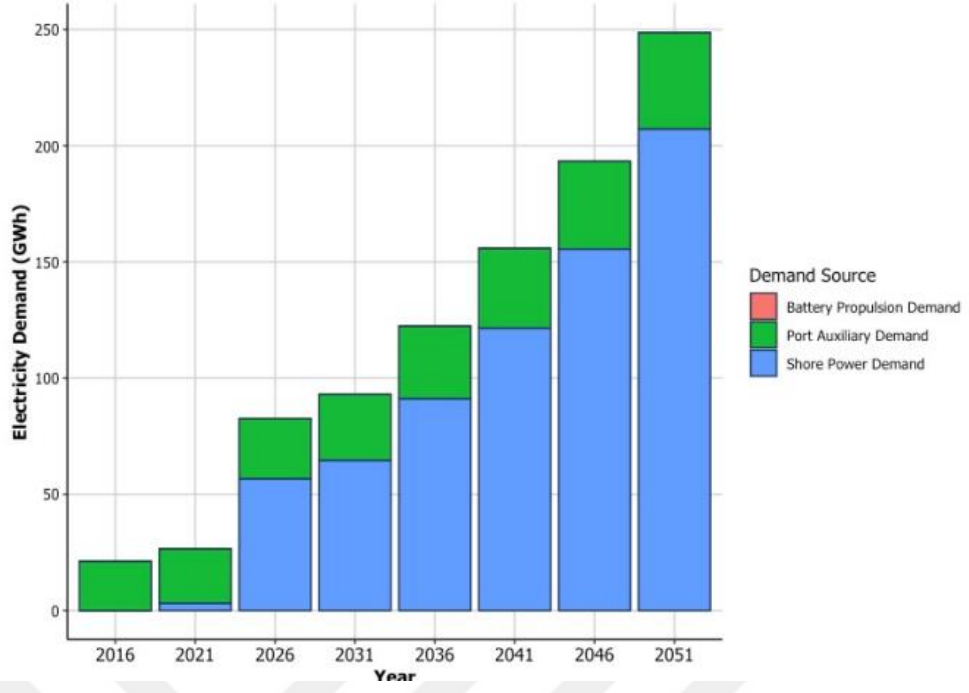
İlave olarak; elektrik tahrikli gemilerin halihazırdaki teknoloji ile sadece kısa mesafede çalışabileceği, rüzgar ve güneş enerjisinden faydalanma gibi alternatiflerin de var olduğu ancak net bir kazanan bulunmadığı belirtilmiştir. (Gielen D. ve diğ., 2019)

Tristan Smith, Chester Lewis, Jasper Faber, Cavin Wilson, Kat Deyes ve Alison Pridmore, Birleşik Krallık Ulaştırma Bakanlığı'na sundukları Deniz Taşımacılığı Sektörünün İklim Değişikliği ve Hava Kirliliğine Etkisini Azaltma Seçenekleri konulu raporlarında, gemiler kaynaklı sera gazı salımların azaltılması amacıyla kullanılacak mevcut teknolojiler ve yakın gelecekte erişilebilir olması beklenen teknolojileri inceleyerek politika yapıcılar için üst seviye tavsiyeler üretmeyi hedeflemiştir. İnceleme kapsamında gemilerden kaynaklı sera gazı salımlarını indirgemek için alınabilecek önlemleri, enerji verimliliğini artıran teknolojiler, enerji

verimliliğini artıran operasyonel ve davranışsal değişiklikler, zararlı gaz salımlarını filtreleme teknolojileri, alternatif yakıt türleri ve enerji kaynakları olarak dört başlık altında incelemiştir. Smith ve diğ. tarafından incelenen çözümler arasında akü ve rüzgar jeneratörü dışında diğer çözümlerin uygulanmasında bir mani olmadığı, bataryaların taşıyabildiği düşük yoğunluklu enerji sebebiyle, rüzgar jeneratörlerinin ise çoğu geminin güvertesinde yeterli alan bulunmaması sebebiyle mevcut teknolojilerle uygulanmasının çok mümkün olmadığını belirtmiş ve sonuç olarak Birleşik Krallık'ta 2050 yılında sıfır sera gazı salımı hedefine ulaşılabilmesi için en geç 2030 yılına kadar fosil yakıt kullanımı terk edilerek alternatif yakıtlara geçilmesinin gerekli olduğunu belirtmiştir. (Smith T. ve diğ., 2019)

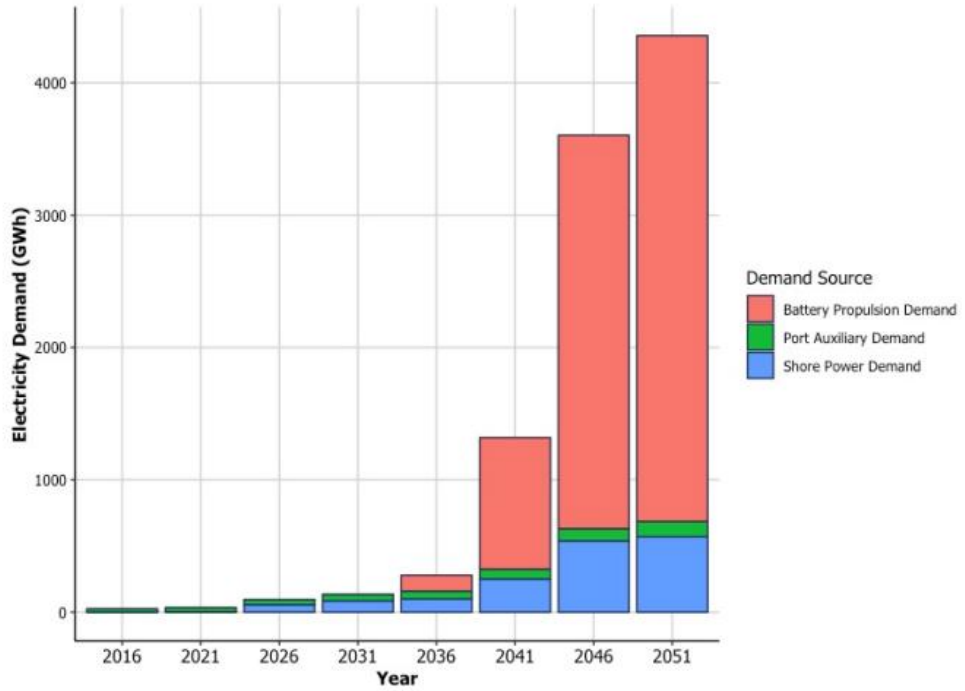
Francesco Baldi, Gemi Enerji Sistemlerinin Modellenmesi, Analizi ve İyileştirilmesi konulu çalışmasında enerji analizinin yöntemlerini veriye dayalı analiz ve modelleme ile analiz olarak tanımlamış ve biri kimyasal tanker diğeri yolcu gemisi iki ayrı gemiden topladığı verilerle enerji analizi yapmıştır. Francesco Baldi gemilerde kurulu makina gücünün çoğunlukla dizayn güç değerlerinin altında devirlerde kullanıldığını ve bunun ana tahrik verimliliğini düşürdüğünü ve hatta gemi enerji sistemi genelinde en büyük kaybın buradan kaynaklandığını belirtmiştir. Sonuç olarak ise; shaft jeneratörü, atık ısı dönüştürücü vb. ilave teknolojilerin kullanılmasının genel olarak sistem verimliliğini artırabileceği çıkarımına varmıştır. (Baldi F., 2016)

Carlo Raucci, Kat Deyes ve Tristan Smith, Birleşik Krallık Ulaştırma Bakanlığı'na sundukları Birleşik Krallık Enerji Sisteminden Liman ve Gemi Aydınlatması Maksatlı Potansiyel Enerji Talebi konulu raporlarında, Birleşik Krallık'ta bulunan ve yoğunluk açısından sektör kapasitesinin yüzde 70'ini oluşturan 10 büyük limanını inceleyerek, elektrik tahrikli gemilerin artması durumunda bu limanlarda oluşacak tahmini enerji talebini ve enerji talebinin tepe noktasının tahmini üzerinde çalışmıştır. Yapılan analizler sonucunda halihazırdaki teknolojiler hesaba katılarak yapılan enerji talep tahmini Şekil 1.1'de ve etkin bir karbon azaltma politikası ve gemilerin çoğunluğunun elektrik tahrikli olması ve dolayısıyla limanda bataryalarını şarj etme ihtiyacı duyması durumundaki enerji talep tahmini Şekil 1.2'de gösterilmiştir. (Raucci C., Deyes K. ve Smith T., 2019)



Şekil 1.1: Halihazırdaki Durumda Birleşik Krallık Limanlarında Yıllara Göre Enerji Talebi Tahmini.

(Raucci C., Deyes K. ve Smith T., 2019)



Şekil 1.2: Etkili Bir Karbondan Arındırma ve Gemilerin Elektrik Taleplerinin Artması Durumunda Yıllara Göre Birleşik Krallık Limanlarında Enerji Talebi Tahmini.

(Raucci C., Deyes K. ve Smith T., 2019)

Fredrik Ahlgren Veri Öğrenmesi ile Gemilerin Enerji Tüketiminin ve Zararlı Gaz Salımlarının Azaltılması konulu çalışmasında; Baltık Denizi'nde çalışan bir yolcu gemisini incelemiş, enerji analizlerinde Python programa dili kütüphanelerinden faydalanarak yakıt tüketim tahminleri yapmış, enerji transferlerini Sankey diyagramı ile görselleştirmiş ve son olarak gemi üzerinde uygulanabilecek bir atık ısı dönüştürücü sistemi üzerinde çalışmıştır. Yaptığı çıkarımlardan çalışmamızla ilgili olabilecek en önemli husus, gemide gerçek zamanlı toplanan verilerle yapılacak analizlerin daha sağlıklı sonuçlar vereceği ve makina öğrenmesi sayesinde çok faydalı analizler yapılacağı değerlendirilmiştir. (Ahlgren F., 2018)

Rob Winkel, Arno van den Bos ve Ulf Weddige tarafından Avrupa Birliği için 2015 yılında hazırlanan Gemilerde Enerji Verimliliği: Envanter ve Teknoloji Transferi konulu raporda; mevcut teknolojinin gemilerde enerji verimliliğinde büyük kazanımlar sağlamaya elverişli olduğunu, birkaç ufak geliştirme yatırımı ile yüzde 35 seviyesinde yakıt tasarrufu yapılmasının mümkün olduğunu, pahalı yatırımlar olan aksi dönüşlü pervaneler (contra rotating) ve rüzgar enerjisi yatırımlarının yüzde 13 ile 20 arasında kazanım sağlayacağı ve konu hakkında farkındalığın artırılması için seminerler düzenlenmesi ve bilgi paylaşımı yapılan çevrimiçi platformlar oluşturulması gerektiği belirtilmiştir. (Winkel R., Bos A. ve Weddige U., 2015)

Tablo 1.1: Gemilerin Enerji Verimliliğini Artıracak Önlemler.

Ana Kategori	Önlem	Ortalama Şartlarda Verim	Kurulum Kolaylığı	Amortisman Süresi	Yatırım Maliyeti
Tekne	Balb Optimizasyonu	10%	Tüm Gemiler	Kısa (<3 yıl)	Orta
Ana Motorlar	Rüzgâr Gücü	20%	Sadece Belirli Gemiler	Uzun (>15 yıl)	Yüksek
Pervane ve Dümen Yelpazeleri	Kanallı Pervaneler	10%	Feribot ve Yolcu Gemileri Hariç Tüm Gemiler	Orta (4-15 yıl)	Orta
Pervane ve Dümen Yelpazeleri	Ters Dönüşlü Pervaneler	13%	Sadece Belirli Gemiler	Uzun (>15 yıl)	Yüksek
Pervane ve Dümen Yelpazeleri	Çarklar	10%	Feribot ve Yolcu Gemileri Hariç Tüm Gemiler	Kısa (<3 yıl)	Orta

Tablo 1.1 - devam.

Kontrol Sistemleri	Atık Isı Geri Dönüşümü	8%	Sadece Yeni Yapım Gemiler	Orta (4-15 yıl)	Orta
Pervane ve Dümen Yelpazeleri	Dümen Yelpazesi Balbı	4%	Feribot ve Yolcu Gemileri Hariç Tüm Gemiler	Orta (4-15 yıl)	Düşük
Pervane ve Dümen Yelpazeleri	Yelpaze Üzeri Kanatçıkları	4%	Feribot ve Yolcu Gemileri Hariç Tüm Gemiler	Kısa (<3 yıl)	Düşük
Tekne	Tekne Kaplaması	5%	Tüm Gemiler	Kısa (<3 yıl)	Düşük
Tekne	Hava Yağlaması	9%	Sadece Yeni Yapım Gemiler	Orta (4-15 yıl)	Orta

(Winkel R., Bos A. ve Weddige U., 2015'ten uyarlanmıştır.)

Egemen Sulukan, Doğuş Özkan, ve Alperen Sari tarafından yapılan çalışmada; bir geminin enerji tüketim karakteristiği ve enerji talepleri basitleştirilmiş bir ağ üzerinde gösterilmesi yani referans enerji sisteminin oluşturulması üzerine çalışmış, oluşturulan sistem üzerine gerçek verilerin işlenmesi ve mevzuat limitlerinin uygulanması ile kapsamlı bir analiz yapılabileceği belirtilmiştir. (Sulukan E., Özkan D. ve Sari A., 2018)

Nikoletta L. Trivyza, Athanasios Rentizelas ve Gerasimos Theotokatos tarafından yapılan Enerji Verimliliği Dizayn Göstergesi (Energy Efficiency Design Index - EEDI) ile Gerçek Zamanlı Karbon Salımları Arasında Karşılaştırmalı Analiz konulu çalışmada; gemilerin karbon izinin azaltılması amacıyla yeni inşa edilen gemilerde uygulanmak üzere Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından tanıtılan EEDI değerinin sektörde bir takım eleştirilere maruz kaldığını belirterek deniz aşırı bir tanker gemisi ve bir yolcu gemisini ele alarak EEDI hesaplaması sonucunun etkinliğini araştırmıştır. Sonuç olarak EEDI kavramının karbon azaltımı amacıyla uygulanabilir bazı teknolojileri görmezden geldiği, EEDI hesaplamasının geminin gerçek verileri ile uyuşmadığı, geminin karbon izini azaltmak için alternatif teknolojiler kullanmak yerine düşük güçlü kaynakların/makinelerin kullanılmasını özendirmediği, bu durumun ise geminin seyir emniyetinde zaafiyet oluşturabileceği değerlendirilmesinde bulunmuştur. (Trivyza N., Rentizelas A. and Theotokatos G., 2020)

Mphatso Nsanjama Nyanya & Vu Ba Huy tarafından Gemilerde Rüzgar Enerjisinin Yardımcı Tahrik Olarak Kullanılması ve Güneş Enerjisi ile Entegre Edilmesi konulu çalışmada; yardımcı tahrik gücü olarak kullanılacak bir paraşütün optimizasyonu ile gemi güvertesinin daha çok fotovoltaik panel barındırabilmesi amacıyla optimizasyonu üzerine çalışmış ve analizler sonucunda karbon salımında yüzde 27.5 seviyesinde düşüş elde edildiğini savunmuştur. Ayrıca bu teknolojilerin operasyonel maliyetleri de düşüreceği için çok faydalı iyileştirmeler olacağını belirtmiştir. (Nyanya M. ve Huy V., 2019)



Sekil 1.3: Yardımcı Tahrik Sistemi Olarak Rüzgar Enerjisi Kullanımı.

(Nyanya M. ve Huy V., 2019)

Zihui Zheng ve Xiaohu Zhou tarafından yapılan Veri Analizine Dayalı Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Sistemi Tasarım ve Simülasyonu konulu çalışmada; seçtikleri bir tanker gemisinden anlık toplanan veriler ile EEDI ve Operasyonel Enerji Verimliliği Göstergesi (Energy Efficiency Operational Index - EEOI) değerlerini hesaplayan ve bu değerleri geminin yük ve draft durumuna göre analiz eden bir model oluşturulmuş ve kurdukları modelin gemi enerji verimliliği yönetim planı için faydalı sonuçlar ortaya koyduğunu belirtmiştir. (Zheng Z. ve Zhou X., 2019)

Yupeng Yuan, Tianding Zhang, Boyang Shen, Xinpeng Yan ve Teng Long, Fotovoltaik Dizel ve Batarya Destekli Hibrid Bir Gemi İçin Fuzzy Logic

Algoritmasına Dayalı Enerji Yönetim Stratejisi konulu çalışmalarında; 5000 araç taşıma kapasitesine sahip solar destekli hibrid bir yolcu gemisini incelemiş, Fuzzy Logic algoritması ile solar enerji kaynağı da dahil olmak üzere geminin güç üretimi ve batarya çıkış güçlerini de hesaba katarak iyileştirme çalışması yapmış ve modelin ortaya koyduğu sonuçların gerçek durumla karşılaştırılmasıyla yakıt tüketiminde hatırı sayılır bir kazanım sağlandığını ve karbon salımının da azaldığını belirtmiştir. (Yuan Y. ve diğ., 2018)

2. DENİZCİLİK ENDÜSTRİSİNİN ZORLU GÜNDEMİ: EMİSYON AZALTIMI

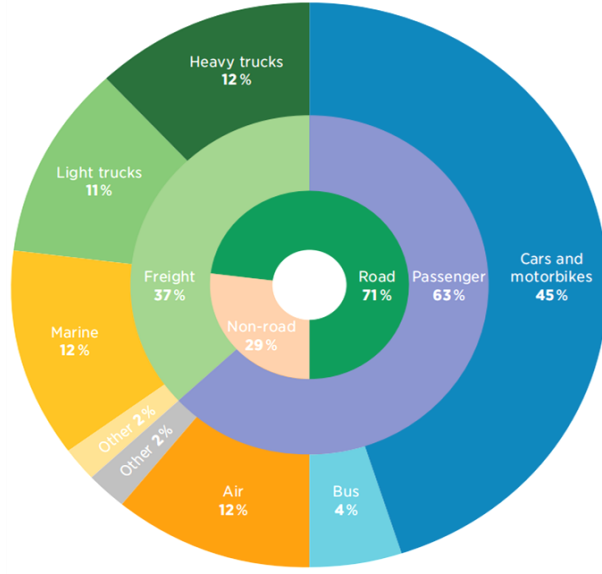
Deniz taşımacılığı halihazırda uluslararası ticaretin yüzde 80-90'lık bir bölümünü oluşturmaktadır. 2024 yılına kadar yüzde 3,6 oranında artması öngörülen küresel GSYH ile birlikte küresel ticaret hacminin de müteakip 5 yıllık süre içinde yıllık yüzde 3,8 gibi bir oranla artmaya devam etmesi beklenmektedir. Eğer gerekli tedbirler alınmaz ise fosil yakıtlara olana talep ve böylelikle buna bağlantılı karbon salımları aynı derecede artacaktır. (Gielen D. ve diğ., 2019)

2.1 Taşımacılık Sektörü

Küresel fosil yakıt tüketiminin yaklaşık yarısı taşımacılık sektörü tarafından yapılmaktadır. Yine küresel düzeyde 2.523 milyon ton yakıt eşiti enerji tüketimi ile küresel enerji tüketiminin yaklaşık yüzde 30'u taşımacılık sektörü tarafından yapılmaktadır.

Başka bir analiz ise taşımacılık sektöründeki enerji tüketiminin yüzde 12'lik payının deniz taşımacılığına ait olduğunu göstermektedir.

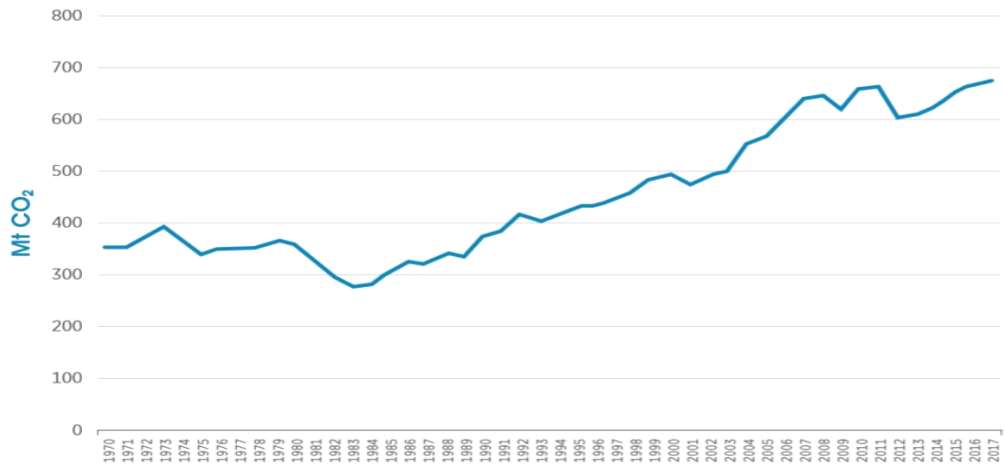
Karayolu taşımacılığı için harcanan enerji, deniz taşımacılığının iki misli kadar olsa da özellikle uluslararası ticaret deniz taşımacılığı ile yapılmakta ve küresel CO₂ gaz salımlarının yüzde 9,3'ü taşımacılık sektörü tarafından ortaya çıkmaktadır. 2015 yılında 3'üncü IMO Sera Gazı Çalışması ile de belirtildiği üzere deniz taşımacılığı 2007-2012 yılları arasında gerçekleşen CO₂ bazlı sera gazı salımlarının yüzde 2,8'lik kısmını oluşturmuştur. (Gielen D. ve diğ., 2019)



Şekil 2.1: 2016 EIA Raporuna Göre Taşımacılık Sektöründe Yakıt Tüketimi.
(Gielen D. ve diğ., 2019)

İlave olarak; HFO (Heavy Fuel Oil)'nun deniz taşımacılığında yaygın olarak kullanıldığı da göz önünde bulundurulduğunda sektörün ilave olarak küresel Nitrojen Oksit salımının yüzde 15'i, küresel Sülfür Oksit salımının yüzde 13'ünden sorumlu olduğu bilinmektedir.

Avrupa Birliği Birleşik Araştırma Merkezi'nin (JRC-EDGAR) 2018 tarihli raporuna göre; 2000 ila 2017 yılları arasında CO₂ gazı salımı yıllık yüzde 1,87 oranında artış göstermiş ve sadece 2017 yılında deniz taşımacılığı sektörü 677.25 Mt CO₂ salımına sebep olmuştur. (Gielen D. ve diğ., 2019)



Şekil 2.2: JRC-EDGAR 2018 Raporuna Göre Deniz Taşımacılığı Kaynaklı CO₂ Salımları (1970-2017).

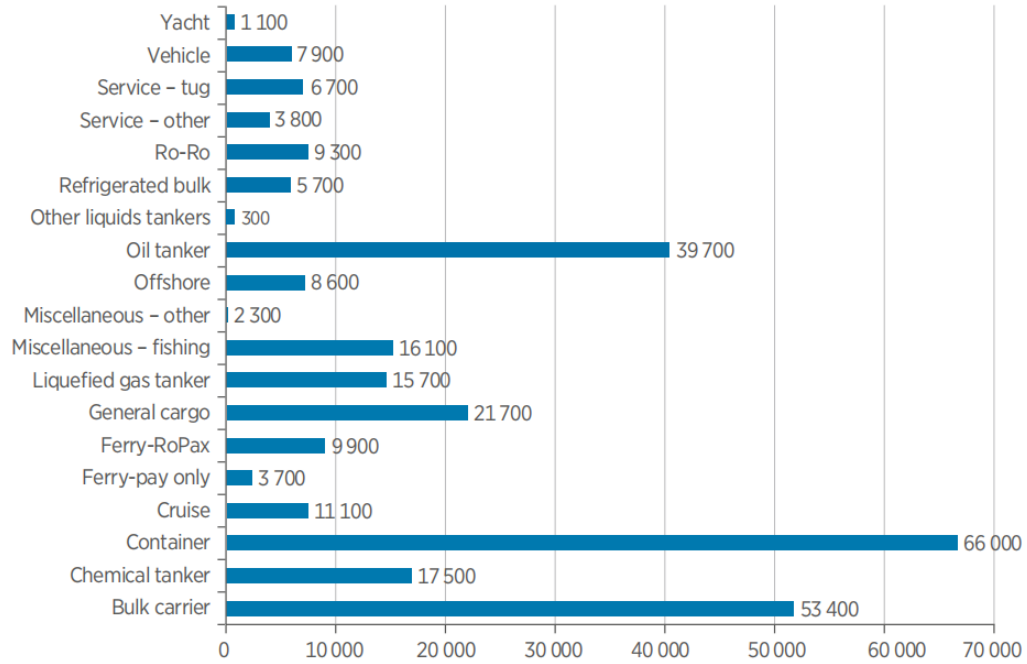
(Gielen D. ve diğ., 2019)

2.2 Deniz Taşımacılığı Sektörü

Deniz taşımacılığı sektörünün küresel CO₂ ve diğer zehirli gazların salımındaki payının büyüklüğü önceki bölümlerde açıklanmıştı ancak konuya deniz taşımacılığı sektörü özelinde biraz daha yakından bakacak olursak; sektörde kullanılan gemilerin genellikle tip, boyut ve yaş kriterlerine göre sınıflandırmak yanlış olmayacaktır.

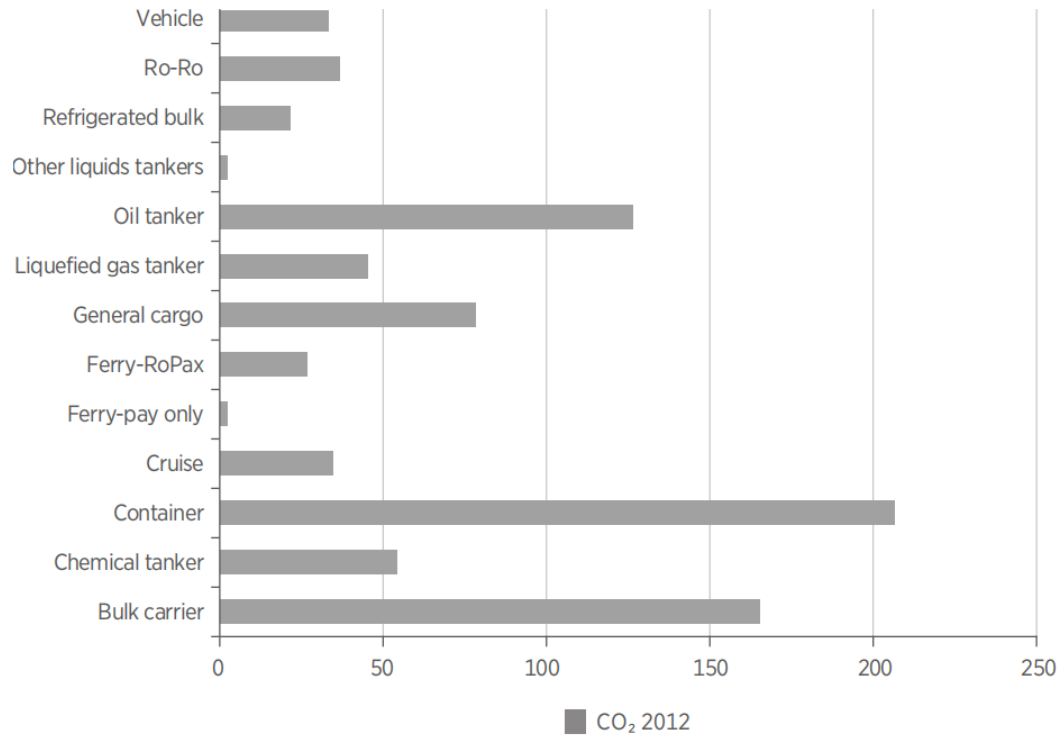
Halihazırda çoğunluğu orta boyutta olmak üzere dünya genelinde yaklaşık 90.715 geminin faaliyette olduğu tahmin edilmektedir. Orta boyut olarak tanımlanan bu sınıf gemiler toplam sayının 39.141 adedini yani yaklaşık yüzde 43'ünü oluşturmaktadır. Daha derine inilecek olursa orta boyutlu gemilerin yüzde 30'u genel kargo gemileri, yüzde 18'i yakıt tankerleri ve kimyasal tankerler ve yüzde 13,6'sını açık deniz vasıtaları oluşturmaktadır. Yüzde 52'si Pilot botları, yüzde 13'ü genel kargo ve yüzde 12'si yolcu gemilerinden oluşan küçük boyutlu gemiler ise toplamda 33.752'yi bulmaktadır. Büyük gemi sınıfındaki gemilerin sayısı da yaklaşık olarak 18.000'i bulmaktadır. (Gielen D. ve diğ., 2019)

Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün 2012 yılında yayımladığı verilere göre yakıt tüketimi ve dolayısıyla CO₂ ve diğer zehirli gazların atmosfere salımında dökme yük gemileri (bulk carrier), konteyner gemileri ve yakıt gemilerinin başı çektiği görülmektedir.



Şekil 2.3: Gemi Tipine Göre Yakıt Tüketimleri (2012) (kt).

(Gielen D. ve diğ., 2019)



Şekil 2.4: Gemi tipine göre CO₂ Salımları (2012) (Mt).

(Gielen D. ve diğ., 2019)

2.3 Gemilerde Enerji Verimliliği ve Gemiler Tarafından Oluşturulan Hava Kirliliğine Yönelik Uluslararası Denizcilik Örgütü Tarafından Getirilen Düzenlemeler

Taşımacılık sektörü kaynaklı kirlenmede yüzde 11'lik paya sahip olan deniz taşımacılığı sektörü kaynaklı sera gazı ve zehirli gaz salımları sektörün baş edilmesi güç bir durumla karşı karşıya kalmasına sebebiyet vermiştir. Zararlı gaz salımlarının azaltılması gerekliliği sürerken sektöre yönelik talepler her geçen yıl katlanarak artmaktadır.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) 1958 yılında imzalanarak yürürlüğe giren sözleşme ile deniz güvenliği alanında rehberlik sunmayı amaçlayan bir Birleşmiş Milletler alt kuruluşudur. Halihazırda 167 ülke asil üye, 3 ülke ise yedek üye konumundadır.

IMO 1978 yılında 'Gemilerden Kaynaklı Kirliliğin Önlenmesi', bilinen adıyla MARPOL 73/78 sözleşmesini yürürlüğe koymuş ve gemilerden kaynaklı kirlenmeye dair düzenlemeleri belirlemiştir. Müteakiben 1997 yılında söz konusu sözleşmeye Gemilerden Kaynaklı Hava Kirliliğine Dair Düzenleme (Ek 6) ilave edilmiştir.

MARPOL Ek 6, sözleşmeye imza koyan ülkelerin egemenliğindeki deniz aşırı terminallere seyahatler gerçekleştiren 400 gros ton ve üzeri gemilerden kaynaklı

Nitroksit (NOx) ve Sülfüroksit(SOx) ile Ozona zarar veren diğer gazların salım limitlerini belirlemektedir.

İlave olarak, Uluslararası Denizcilik Örgütü zararlı gaz salımlarının en aza indirgenmesi stratejisi kapsamında Ocak 2020'den başlayarak daha belirgin düzenlemeleri yürürlüğe sokmuştur. MARPOL Ek 6 Düzenleme 14'te belirtildiği üzere, Emisyon Kontrol Bölgeleri dışında çalışan ve fueloil tüketen tüm gemilerden kaynaklı Sülfüroksitin, sülfür kütlesi/yakıt kütlesi oranının yüzde 3,5 ile sınırlandırılmasına, ilerleyen zamanda bu sınırlandırmanın yüzde 0,50 seviyesine çekilmesine karar verilmiştir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü sülfüroksit konusundaki söz konusu düzenlemelere uyum sağlanması adına;

- Düşük oranda Sülfür içeren yakıtların kullanılması,
- Eğer yakıt içerisindeki sülfür oranı yüzde 0,50'yi aşıyorsa egzoz sülfür yıkayıcısı (scrubber) ve benzeri teknolojilerin kullanılması,
- LNG ve metanol gibi alternatif yakıtlara geçilmesi,
- Liman periyotlarında sahilde bulunan güç kaynaklarından istifade edilmesi gibi önlemlerin* alınmasını tavsiye etmektedir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü gemilerden kaynaklı CO₂ gazı salımlarına dair de bir takım düzenlemeleri yürürlüğe koymuş ve tavsiyeler getirmiştir. Mevcut durum ve teknolojileri kapsayıcılığı açısından sektördeki paydaşların uyması gereken anayasa niteliğindeki düzenlemeleri içeren MARPOL Ek 6 müteakip maddelerde açıklanmıştır.

2.3.1 MARPOL Ek 6

MARPOL Ek 6 yakıt kalitesi ve zararlı gaz salımlarına yönelik olarak getirdiği düzenlemeleri genel olarak iki başlık altında sınıflandırmıştır.

- Genel düzenlemeleri ifade eden 'Küresel Limitler',
- Belirli sahaları ilgilendiren ve özel sınırlandırmalara tabi Emisyon Kontrol Bölgeleri (ECA).

Halihazırda belirlenmiş bulunan Emisyon Kontrol Bölgeleri aşağıda verilmiştir.

- Baltık Denizi (*SOx kısıtlaması: kabul tarihi 1997 / yürürlüğe giriş 2005; NOx: kabul tarihi 2016/yürürlüğe giriş 2021*)

* <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>

- Kuzey Denizi (*SOx kısıtlaması: kabul tarihi 2005/yürürlüğe giriş 2006; NOx: kabul tarihi 2016/yürürlüğe giriş 2021*)
- Kuzey Amerika, Kanada kıyılarının çoğu ve Birleşik Devletler tümü (*NOx & SOx kısıtlaması: kabul tarihi 2010/yürürlüğe giriş 2012*).
- Birleşik Devletler, Karayipler, Puerto Rico ve ABD Virgin Adaları (*NOx & SOx kısıtlaması: kabul tarihi 2011/yürürlüğe giriş 2014*)

Ek 6 aşağıdaki düzenlemeler ile hem söz konusu Emisyon Kontrol Bölgelerindeki hem de küresel düzeydeki NOx ve SOx salımlarını kontrol altına almayı hedeflemektedir.

2.3.2 Nitroksit (NOx) salımına İlişkin Düzenlemeler

NOx limitleri gemilerdeki dizel makinelerin maksimum işletme devirlerine göre ve üç aşamalı olarak Tablo-2.1 ve Şekil 2.5'te görüldüğü şekilde sınıflandırılmıştır.

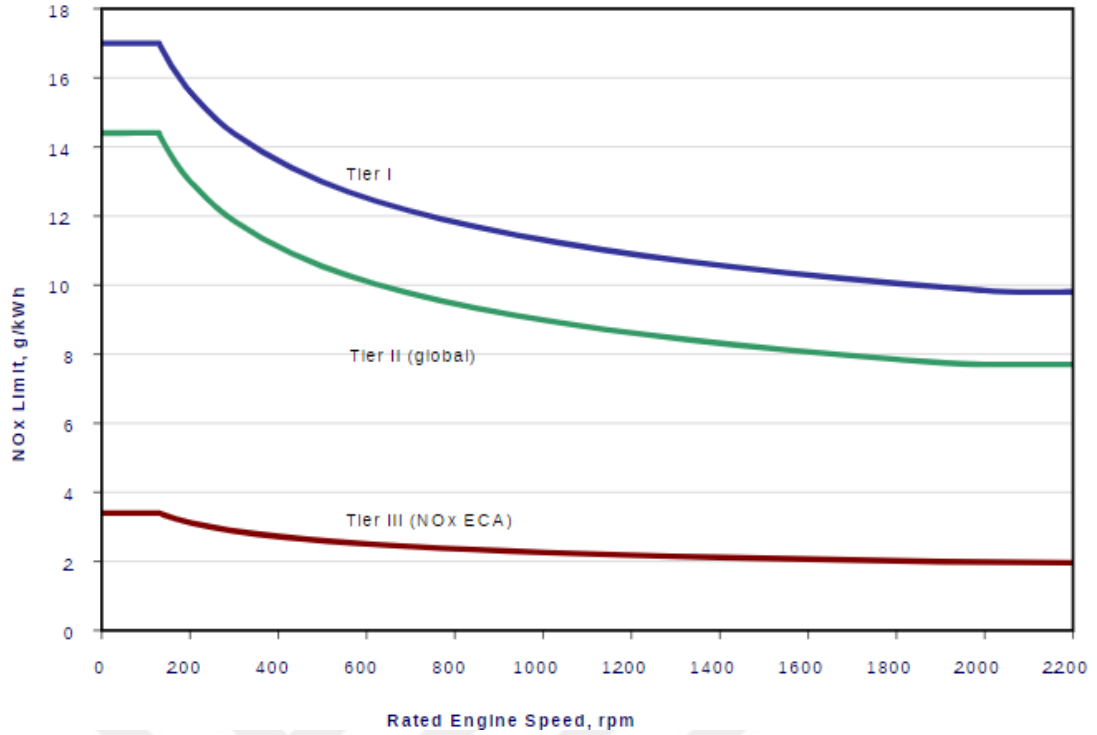
Tablo 2.1: NOx Salım Sınırlandırmaları.

Aşama	Tarih	NOx Sınırı, g/kWh		
		N<130	130<n<2000	N>2000
Aşama I	2000	17	$45.n^{-0.2}$	9.8
Aşama II	2011	14.4	$44.n^{-0.23}$	7.7
Aşama III	2016	3.4	$9.n^{-0.2}$	1.96

(MARPOL Ek 6'dan uyarlanmıştır.)

Aşama I ve II'deki sınırlandırmalar sözleşmeye imza koyan tüm ülkelerin egemen denizlerini kapsayan küresel düzenlemeler iken, Aşama III değerleri Emisyon Kontrol Bölgelerindeki limitleri düzenlemektedir.

Sadece bayrak ülkesinin kendi sularında çalışan gemiler ve acil durum dizeli olarak kullanılanlar hariç, gemilerde bulunan ve 130 kW ve fazlası güce sahip tüm dizel makineler MARPOL Ek 6 Düzenleme 13 ile belirtilen bu sınırlandırmaları sağlamak zorundadır.



Şekil 2.5: MARPOL Ek 6 NO_x Salım Sınırlandırmaları.

(Gielen D. ve diğ., 2019)

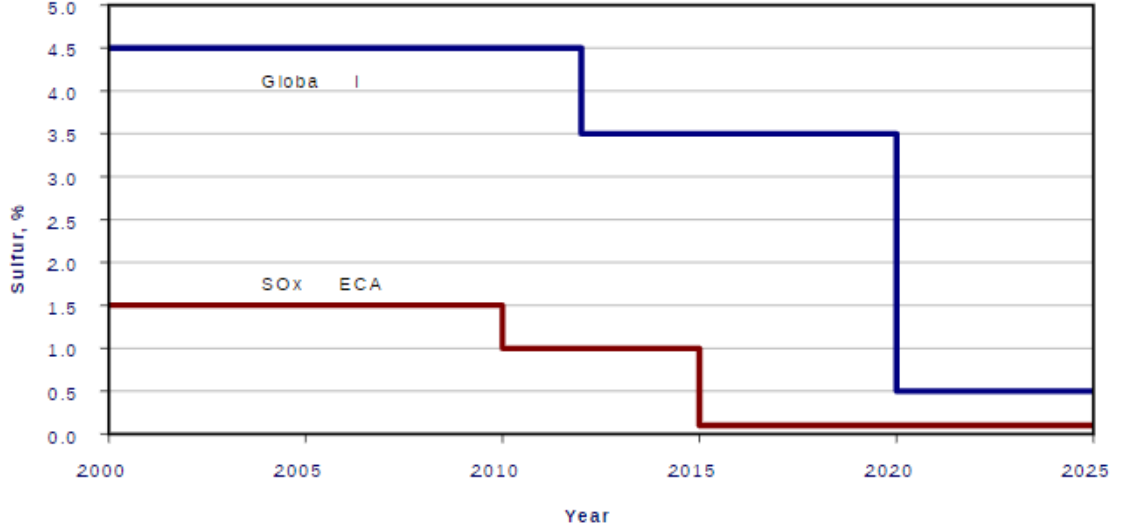
2.3.3 SO_x salımına ilişkin düzenlemeler

MARPOL Ek 6, gemilerden kaynaklı sülfüroksit salımının kontrolünü sağlamak amacıyla, kullanılan yakıt içindeki sülfür oranını sınırlandıran düzenlemeler de getirmiştir. Belirlenen sülfür limitleri Tablo 2.2 ve Şekil 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.2: Yakıttaki Sülfür Sınırlandırmaları.

Tarih	Yakıt İçindeki Sülfür Limitleri (% m/m)	
	SO _x ECA	Küresel
2000	% 1.5	% 4.5
2010	% 1.0	
2012		% 0.1
2015	% 0.5	
2020		

(MARPOL Ek 6'dan uyarlanmıştır)



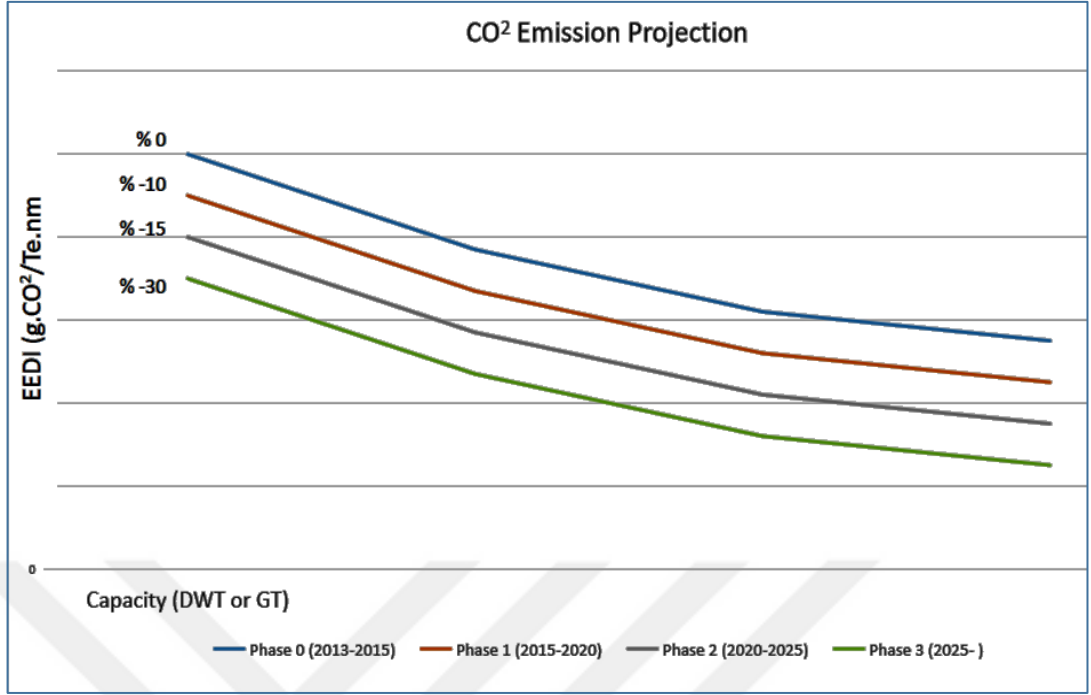
Şekil 2.6: MARPOL Ek 6 Yakıt Sülfürü Limitleri.

(Gielen D. ve diğ., 2019)

2.3.4 Sera Gazı Salımlarına İlişkin Düzenlemeler

Karbondiyoksit (CO₂), Metan (CH₄), Hidroflorür karbonlar (HFCs), Perfloro karbonlar (PFCs) gibi atmosferde kızılötesi ışınları tutarak atmosferin ısınmasına neden olan gazlara ya da bileşiklere sera gazı adı verilir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü Deniz Çevre Koruma Komitesi (MEPC), deniz taşımacılığı sektörünün küresel CO₂ gazı salımlarına katkısını göz önünde bulundurarak gemilerden kaynaklı CO₂ gaz salımının 2050 yılına kadar dört aşama halinde mevcut halinden yüzde 50 oranında aşağı çekilmesini hedeflemektedir.



Şekil 2.7: MARPOL Ek 6 CO₂ Gazı Salımı Sınırlandırma Hedefleri.

(Gielen D. ve diğ., 2019)

MARPOL Ek 6 Bölüm 4, bu hedefe ulaşmak için ikisi zorunlu biri kullanımı isteğe bağlı uygulamayı başlatmıştır.

- Yeni gemiler için zorunlu Enerji Verimliliği Dizayn Göstergesi (EEDI),
- Tüm gemiler için zorunlu Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (Ship Energy Efficiency Management System - SEEMP)
- Gönüllü kullanıma esas Operasyonel Enerji Verimliliği Göstergesi (EEOI)

Uluslararası Denizcilik Örgütü tanımlanan bu sistemlerin gemi inşaatı mühendisleri, gemi sahipleri ve gemi işletmecileri dahil sektörün tüm paydaşlarına düzenlemelerle getirilen sınırlandırmalara uyum sağlamada destek sağlayacağını ummakta ve bu kapsamdaki stratejisini imza sahibi ülkelere bağlı faaliyet gösteren tüm paydaşlardan toplanan verilerle güncel tutma gayretini sürdürmektedir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından belirlenen stratejinin önemli basamakları Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3: IMO Tarafından Benimsenen Sera Gazı Salımlarının Düşürülmesine Yönelik Stratejinin Önemli Aşamaları.

Bahar 2018 (MEPC 72)	Başlangıç stratejisinin belirlenmesi, kısa, orta ve uzun vade önlemleri ve zaman çizelgesinin yayımlanması <i>(Tamamlandı)</i>
Ocak 2019	Aşama-1: Gemilerden veri toplamaya başlanması <i>(Tamamlandı)</i>
Bahar 2019 (MEPC 74)	2012 ve 2018 yılları arasında toplanan veriler ile dördüncü sera gazı salımları çalışmasının tamamlanması <i>(Komite toplantısı gerçekleştirilmiş ancak rapor henüz yayımlanmamıştır)</i>
Yaz 2020	2019 verilerinin IMO'ya rapor edilmesi
Sonbahar 2020	Aşama-2: MEPC 76'ıncı toplantısında değerlendirilmek üzere dördüncü sera gazı salımları çalışması raporunun yayımlanması
Bahar 2021 (MEPC 77)	Sekreterlik raporunun yayımlanması ve veri toplama sisteminden istifade ile stratejinin güncellenmesi çalışmasının başlaması
Yaz 2021	2020 verilerinin IMO'ya rapor edilmesi
Bahar 2022	Aşama-3: 2020 yılına ilişkin rapor üzerine karar aşaması
Yaz 2022	2021 verilerinin IMO'ya rapor edilmesi
Bahar 2023 (MEPC 80)	Revize edilmiş strateji ve yeni kısa, orta, uzun vade planlarını içerecek şekilde hazırlanacak 2021 yılı raporunun yayımlanması

(IMO Resolution MEPC.304(72), 2018'den uyarlanmıştır)

3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ KONUSUNDA HALİHAZIRDA SIKLIKLA KULLANILAN KARAR-DESTEK ARAÇLARININ GENEL OLARAK İNCELENMESİ

Bilgi ve bilişim teknolojilerinde son yıllarda baş döndürücü derecede hızlı şekilde yaşanan gelişmelerle birlikte veri toplama ve toplanan veriden istifade ile analizler yaparak karar süreçlerini yönetmek hemen hemen her türden şirket, kurum, kuruluş ve hatta ülkelerin kaynak yönetim ve planlamaları için vazgeçilemez hale gelmiştir.

Yukarıdaki bölümlerde açıklanan ve IMO gibi otoriteler tarafından uygulamaya getirilen sıkı düzenlemeler deniz taşımacılığı sektörü paydaşlarını baskı altında

tutarken, bilgisayar teknolojileri ve yazılım araçlarının karar verme süreçlerinde kullanılması mühendislerin ve işletmecilerin kurtarıcısı haline gelmektedir.

Bu bölümde, çoğunluğu ticari yazılımlar olmasına karşın enerji analizleri maksadıyla sıklıkla kullanılan yazılım araçları incelenmiştir. Bu çalışmanın ana amaçlarından biri, alanda açık kaynak kodlu yazılımların kullanılmasının teşvik edilmesi ve bu yönde karar vericilere yardımcı olacak açık kaynak kodlu bir yazılım aracı geliştirilmesi olduğundan, halihazırda erişimde bulunan yazılım araçları arasında yüzeysel bir inceleme yapılmış ve özellikle akademik çalışmalarda sıklıkla kullanıldığı görülen sekiz yazılımın kısa tanıtımı müteakip maddelerde verilmiştir.

3.1 EnergyPLAN

EnergyPLAN aracı, ulusal elektrik, ısıtma, soğutma, endüstri ve taşımacılık sektörlerindeki operasyonları saatlik olarak simüle etme kabiliyetine sahip bir yazılımdır. Şehirlerin enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji konusunda yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. (EnergyPlan-FIN The Role of Energy Storage Solutions in A 100% Renewable Finnish Energy System Michael Child , Christian Breyer) Teknoloji, coğrafya ve ekonomi bağlamında enerji planlamasını mercek altına alan yazılım, AAalborg Üniversitesi/Danimarka Sürdürülebilir Enerji Araştırma Grubu tarafından PlanEnergy ve EMD adlı şirketlerle sürdürülen ortak çalışma ile geliştirilmiştir. (<https://www.energyplan.eu/>)

3.2 ENPEP-BALANCE (Energy and Power Evaluation Program)

ENPEP-BALANCE mevcut teknoloji ve kaynaklarla enerji sektöründe arz-talep dengesi oluşturmada karar desteği sağlamayı amaçlayan bir yazılımdır. Pazar odaklı yapısı enerji fiyatlarındaki değişimler ve arz-talep dengesine uzanan enerji sektörü sorularına cevap vermeye uygundur. Yazılım birden fazla hususa odaklı karar-destek modeli ile enerji sağlayıcıları ve enerji kullanıcılarının isteklerine göre çalışabilmektedir. Kullanılan temel parametre girdileri enerji sistemi alt yapısı, tüketim verileri, fiyatlandırmalar, öngörülen talep artışı ile teknik ve politik etkenlerdir. Yazılım ABD Enerji Bakanlığı için çalışan Argon Ulusal Laboratuvarlarında geliştirilmiştir.

(<https://ceesa.es.anl.gov/projects/Enpepwin.html#balance>)

3.3 HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources)

HOMER, küçük bir kasabadan, bir adaya, bir askeri üs veya bir kampüse yönelik mikro şebeke tasarımları için kullanılan bir yazılım olarak ön plana çıkmaktadır. İlk olarak ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarlarında geliştirilen yazılım HOMER Energy tarafından piyasaya sürülmüştür. HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources-Enerji Kaynakları İçin Melez İyileştirme Modeli), mühendislerin ve ekonomistlerin birlikte çalışmasını sağlayan simülasyon, iyileştirme ve hassasiyet analizleri yapma yetisine sahip üç ayrı aracı bünyesinde barındıran bir yazılımdır. (<https://www.homerenergy.com/>)

3.4 LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System)

LEAP enerji tüketimleri, üretimler ve kaynak çıkarımları gibi ekonominin tüm sektörlerinde kullanılabilen senaryo tabanlı bir yazılım aracıdır. Enerji sektörü ve bu sektör dışındaki sektörlerle ilişkin sera gazı salımlarını hesaplamak amacıyla kullanılabilir. Geliştiricisi tarafından sera gazı salımlarına ilave olarak yerel ve bölgesel kirleticiler üzerinde analiz yapabilen aracın iklim ve hava kirliliği çalışmalarında kullanıma uygun olduğu ifade edilmektedir.

Stockholm Çevre Enstitüsü tarafından geliştirilen yazılım enerji politikası analizleri ve iklim değişikliği alanlarında kullanılmak üzere ticari olarak hizmete sunulmuş olup geliştirici tarafından eğitim amaçlı akademik çalışmalarda kısıtlı kullanımına müsaade edilmektedir. (<https://www.energycommunity.org/>)

3.5 MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact)

MESSAGE küresel veya bölgesel düzeyde orta veya uzun vadeli enerji planlamaları yapmaya, iklim değişikliği politikaları üzerinde analizler yapmaya ve senaryolar geliştirmeye olanak sağlayan bir iyileştirme aracıdır. Araç, 5 veya 10 yıllık aralıklarla 120 yıllık bir süreye kadar modelleme yapabilmektedir. Karbon uzaklaştırma da dahil olmak üzere üretim, yenilenebilir enerjiler, depolama ve çevirme teknolojileri ile taşıma teknolojileri araç ile modellenilmektedir. Arz tarafındaki veri girdi gereksinimleri fazla olmasına rağmen, talep tarafında ihtiyaç duyulan girdiler göreceli daha azdır. (<https://iiasa.ac.at/>)

3.6 MARKAL (MARKet ALlocation)

MARKAL belirli bir enerji-çevre sisteminin 20 ila 50 yıllık bir süre içindeki evrimini simüle etmeyi sağlayan ve veri girişine dayalı genel bir model ile çalışan bir yazılım aracıdır. Kaynak çıkarımı, enerji çevrimi, son kullanıcı teknolojileri ve talep hizmetleri gibi enerji akışlarını görselleştiren bir ağ modeli oluşturmaktadır. Bu yapısı itibariyle bu çalışma ile geliştirilmesi hedeflenen aracın temel özellikleri ve amacıyla benzeşmektedir. kapsayan MARKAL tarafından oluşturulan her bir bağıntı kapasite, verim, zararlı gaz salımı ve ekonomik parametreler gibi teknik parametrelerle tanımlanmıştır. (<http://www.iea-etsap.org/web/tools.asp>)

Egemen Sulukan, Mustafa Sağlam, Tanay Sıdkı Uyar ve Melih Kırılıdoğ geniş kapsamlı enerji analizleri maksadıyla 1980'li yıllardan itibaren 40 ülkede 80'den fazla kurum tarafından kullanılan MARKAL aracının Kyoto Protokolü gibi uluslararası anlaşmalarla getirilen düzenlemelere paralel çalışabilmesi açısından öne çıkan bir araç olduğunu belirtmişlerdir. (Sulukan E. ve diğ., 2010)

3.7 MOVES

MOVES ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından kullanılan motorlu araç gaz salım simülatör uygulamasıdır. Ülke çapındaki ulaşım araçları dışındakiler de dahil olmak üzere tüm motorlu araçların zararlı gaz salım kataloglarını oluşturmak için kullanılmaktadır. Yazılımın amacı kullanıcı tanımlı ve geniş kapsamlı durumlara göre mevcut motorlu araçların zararlı gaz salımlarına dair tutarlı tahminler üretmektir.

Kullanıcının, modelleme aşamasında kullanacak araç tipi, zaman aralığı, coğrafi bölge, kirleticiler, işletme karakteristikleri ve yol tiplerini belirlemesi beklenmektedir. Veri girişi sonrasında yazılım araca dair çalışma, muhafaza edilme ve yapılan iş başına salınan zararlı gaz oranlarını ortaya çıkan bir dizi hesaplama yapar. (<https://www3.epa.gov/otaq/models/moves/>)

3.8 OSeMOSYS (Open Source energy MODELing SYStem)

OSeMOSYS doğrusal programlama temelli basit ancak güçlü bir açık kaynak kodlu enerji modelleme aracıdır. İsveç Kraliyet Teknoloji Enstitüsü, Birleşik Krallık Araştırma Merkezi ve diğer birkaç kuruluştan oluşan bir konsorsiyum tarafından ilk olarak GNU Doğrusal Programlama Kiti (GLPK) adı verilen matematiksel bir açık kaynak kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiş ve son dönemde Python programlama diline aktarılmıştır. (<http://www.osemosys.org/>)

Halihazırda erişimde yazılım şirketleri, kurum ve kuruluşlar, üniversiteler, topluluklar ve hatta bireyler tarafından geliştirilen birçok enerji karar destek yazılım aracı bulunmasın rağmen, bu yazılımların birçoğunun ticari olması ancak sadece bir tanesinin açık kaynak kodlu ve ücretsiz kullanıma açık olması (OSeMOSYS), bu aracın da gemi enerji sistemleri ve gaz salımları özelinde bir çalışmayı içermemesi bu çalışmanın en büyük motivasyon kaynaklarından biri olarak ortaya çıkmıştır.

4. AÇIK KAYNAK KODLU PROGRAMLAMA VE PYTHON PROGRAMLAMA DİLİ

Programlar, makinalara yani bilgisayar işlemcilerine hangi veriyi nasıl şekilde işleyeceklerini açıklayan "kaynak kodu" satırlarından oluşmaktadır. Kullanıcı için fazlasıyla karışık görünebilecek bu kodlar, bir kullanıcı arayüzü vasıtasıyla çalıştırılabilir bir uygulama dosyası olarak derlenir. Derleme işleminden sonra gömülü kaynak koduna ihtiyaç duyulmaz. Dolayısıyla kullandığımız bir yazılımı çalıştırırken kaynak kodunu göremez, sadece makine ile etkileşimimizi sağlayan arayüzü görürüz. Açık kaynak kodlu yazılımlar ise kaynak kodlarıyla beraber belirli platformlarda yayımlanırlar. Geliştirici, bazen kodları derleyip, kaynak kodlarının yanında bir uygulama dosyası da sunabilir.

Açık kaynak kodlu yazılımlar adından da anlaşılacağı üzere, herhangi bir ücret ödmeden herkesin kullanabileceği ve hatta isterse geliştirilmesine katkı sağlayabileceği çalışmalardır. Kaynak kodunun şeffaflığı son kullanıcının güvenlik ve kişisel gizlilik hususlarına dair endişelerini de ortadan kaldırmaktadır. Benzer şekilde Linux tabanlı açık kaynak koduyla geliştirilen ve çoğu mobil telefonda kullanılan işletim sistemlerinin şeffaflığı sebebiyle kötü niyetli kişilerce bu işletim sistemini çalıştıran cihazlara yapılacak saldırılar da anlamsız kalmakta ve böylelikle açık kaynak kodlu programlama bütünsel elektronik güvenliğe katkı sağlamaktadır.

Güvenlik açısından olumlu katkılarının yanında bu çalışmada da hedeflendiği üzere, açık kaynak kodlu programlama, hazırlanan programa sonsuz geliştirilebilirlik ve entegre çalışabilme yetisi kazandırmaktadır. Bu sayede açık kaynak kodlu olarak yürütülen bir proje, ticari kaygılar olmadan ve her kesimden konuya ilgili bilgisayar programcılarının kolektif çalışması ile alanındaki diğer çalışmalara nazaran çok daha hızlı gelişebilmekte ve ulaşmak istediği hedefe kısa sürede varmakta hatta bazı durumlarda ötesine geçebilmektedir.

Böylece sınırsız erişim ve geliştirmeye açık olma prensibi ile yola çıkılan bu çalışmada açık kaynak kodlu programlamadan istifade edilmesine karar verilmiştir.

Python programlama dili ilk olarak 1989 yılında Guido Van Rossum adlı bir bilgisayar programcısı tarafından yaratılmış bir açık kaynak kodlu programlama dili örneğidir. Bu programlama dili nesne tabanlı, yönetsel ve fonksiyonel programlamayı desteklemektedir. Ayrıca Python koduyla yazılan bir programın her tür işletim sistemi üzerinde rahatça çalışabilir olması yani hedef işletim sistemi ve cihazların neredeyse sınırsız olması diğer açık kaynak programlama dillerine göre bir adım ötede yer almasını sağlamaktadır. (Summerfield, 2010)

İlave olarak, birçok kaynakta Python programlama dilinin açık kaynak kodlu programlama dilleri arasında en hızlı büyüyen dil olduğu ifade edilmektedir. Yazılım dünyasının devlerinden bir şirkete ait bir platform olan ve açık kaynak programcılarının rağbet gösterdiği GitHub platformu tarafından yayımlanan bir rapora göre (<https://octoverse.github.com>, 2019) çoğunlukla yapay zekâ ve veri bilimi gibi uygulamalarda kullanılan Python programlama dilinin 2019 yılında tüm açık kaynak programlama dilleri arasında ikinci sıraya yerleştiği ifade edilmiştir. Yapay zekâ, veri analizi gibi konular tüm sektörlerde olduğu gibi enerji sektöründe de karar-destek süreçlerinde sıklıkla istifade edilen ve gelişmeye açık alanlardır. Bu nedenle bu çalışmada Python programlama dilinin kullanılmasına karar verilmiştir.

5. YAZILIMIN GELİŞTİRİLME SÜRECİ

5.1 İhtiyaçların ve Yazılımın Sahip Olması Gereken Özelliklerin Belirlenmesi

Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere, deniz taşımacılığı ve gemiler kaynaklı zararlı gaz salımları ile gemilerin enerji verimliliği bugün dünyada çevre kirliliği ve ekonomi alanlarında hatırı sayılır etkisi olan bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle geliştirilmesi planlanan yazılımın bir veya daha fazla geminin enerji verimliliği yönetimine katkı sağlaması ve aynı zamanda zararlı gaz salımlarının belirlenen limitler dahilinde tutulması konusunda rehberlik edebilecek yetilere sahip bütünleşik bir gemi enerji sistemi modeline sahip olması hedeflenmiştir. Tüm mühendislik dallarında karşılaşıldığı üzere bir analize yapılan parametre girişi ne kadar detaylandırılır ise analizin sonucu o kadar sağlıklı olacaktır. Ancak genel kullanıma hitap edecek, yalnızca mesleklerinin doğası gereği karmaşık programları kullanmaya alışık mühendisler tarafından değil, sektörün bu bağlamda en son kullanıcısı olan gemi

işletmecileri tarafından dahi zorluk çekmeden kullanılabilir bir yazılım aracı hedeflendiğinden, giriş parametrelerinin mümkün olduğunca dar kapsamlı tutulmasının aracın kullanıcı dostu olması ve çok sayıda kullanıcıya hizmet verebilmesi hedefine katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir. Özetle, gemideki bir makine teknisyeni tarafından dahi elindeki imkanlar ve mesleki birikimi doğrultusunda programa veri girişi yapılarak sonuç alınabilecek bir arayüz oluşturulması hedeflenmiştir.

5.2 Derleyici Platformun Seçilmesi

Python programlama dili için kullanılabilen ve ücretsiz birçok derleyici bulunmaktadır. İlk aşamada bu derleyicilerden bazıları (PyCharm, Spyder, Pydev, Idle Wing, Eric Python ve Rodeo) deneme maksadıyla basit programlar oluşturulmak suretiyle kullanılmıştır. Müteakiben sağlayıcı firmanın programlama dillerindeki birikimi göz önünde bulundurularak, Microsoft firması tarafından ücretsiz olarak kullanıma sunulan ve birçok programlama dilinin derleyicisini bünyesinde bulunduran Microsoft Visual Studio derleyicisinin (<https://visualstudio.microsoft.com/vs/>) denenmesine karar verilmiştir. Bahsedilen derleyicilerin denenmesi ile elde edilen tecrübeler ışığında, ilk altı derleyicinin de gayet kullanıcı dostu olduğu ancak Microsoft Visual Studio derleyicisinin programlama aşamasında Python programlama dilinin bazı prosedürlerini çok daha hızlı yerine getirmek için kısa yollara sahip olması sebebiyle kullanım kolaylığı ve zaman kazandırma özelliğı olarak diğer derleyicilerden bir adım öne çıktığı görülmüş ve kullanılmasına karar verilmiştir.

5.3 Yazılım Mimarisinin Belirlenmesi

Tasarım aşamasının ilk amacı bir geminin üzerinde bulunan tüm enerji taşıyıcı ve cihazların özelliklerine göre sırasıyla birincil enerji taşıyıcıları, dönüşüm teknolojileri cihazları, ikincil enerji taşıyıcıları ve son kullanıcı yani talep teknolojileri cihazları sınıflarından birine yerleştirilmesine olanak vererek, gemi referans enerji sisteminin oluşturulmasını sağlayacak bir veri giriş arayüzü hazırlanması olarak belirlenmiştir.

Bu bağlamda kullanıcının gemi adı, IMO numarası, tipi, tonajı, çalıştığı deniz vb. parametreleri girerek evvela geminin genel tanımının oluşturulmasını sağlayan bir veri tabanı arayüzü oluşturulması müteakiben gemiden bağımsız olarak ancak sonradan gemi ile ilişkilendirilebilecek şekilde enerji taşıyıcılar, dönüşüm teknolojileri ve son

kullanıcı teknolojilerinin tanımlanabileceği bir veri tabanı tablosu oluşturulması düşünülmüştür.

Yeni gemi ve cihazların tanımlanmasını ve ilişkilendirilmesini müteakip yazılıma, oluşturulan referans gemi referans enerji sisteminin görselleştirilmesi maksadıyla enerji sistem analizinde sıklıkla kullanılan Sankey diyagramı ile görselleştirilmesi ve yine EEOI hesaplama modülü ile Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından kullanılması tavsiye edilen, gemi seyir kayıtlarından kolaylıkla elde edilebilecek bilgilerle hesaplanabilen ve gemi enerji verimliliği konusunda çok faydalı ipuçları veren EEOI parametresinin hesaplanması ve müteakiben farklı dönemlerde elde edilen EEOI indekslerinden yola çıkarak anomali tespiti yapma ve sorunu gidermeye yönelik tavsiyeler oluşturma kabiliyeti kazandırılması hedeflenmiştir.

IMO tarafından tanıtılan ve yeni tasarlanan bir geminin enerji verimliliğini artırmak ve gaz salımlarını azaltmak için oluşturulan Enerji Verimliliği Tasarım Göstergesi (EEDI) kavramı, karar vericiyi yenilikçi ilave teknolojiler kullanmak yerine örneğin gaz salımını düşürmek adına makina dizayn gücünü azaltarak gemi emniyetini sıkıntıya sokabilecek veya geminin kapasitesini düşürebilecek tedbirleri almaya yönelttiği eleştirisine maruz kalmış (Trivyza N., Rentizelas A. ve Theotokatos G., 2020) olması ve sadece geminin tasarımında görev alan mühendislere hitap etmesi sebebiyle aracın sunduğu özellikler arasına dahil edilmemesine karar verilmiştir.

5.4 Modüllerin Kodlanması

Tasarlanan modüllerin hayata geçirilmesi kimi zaman Python programa dili için geliştirilmiş muhtelif kütüphanelerin kullanımı, kimi zaman ise yeni kod yazımı ile müteakip maddelerde sunulduğu şekilde tamamlanmıştır.

5.4.1 Web Arayüz Modülü

Günümüzde internet kullanımının bir lüks olmaktan çıkarak bir ihtiyaç haline gelmesi ve erişiminin kolaylaşması sebebiyle uygulamanın web tarayıcı üzerinde çalışmasının işletim sistemi uyumu ve kurulum ihtiyaçlarını ortadan kaldıracağı, ayrıca araca mobil cihazlardan da erişim olanağı sağlayacağı değerlendirilmiş ve veri tabanları ile kolayca etkileşime girebilecek şekilde Web kodlaması yapmak üzere tasarlanmış bir Python kütüphanesi (<https://www.djangoproject.com/>) kullanılmıştır. Bu kütüphane ve içinde gömülü modüller sayesinde kolaylıkla bir web sayfası oluşturulabilmekte, sayfa

üzerinden girişi yapılan veri işlenebilmekte ve işlemin sonucu yine sayfada gösterilebilmektedir.

5.4.2 Veri Tabanı Modülü

Veri tabanı modülünün ilk ayağı olan gemi tanımlama modülü birden fazla geminin tanımlanmasına izin vermektedir. Bu özellik, proje üzerinde müteakip dönemlerde çalışacak muhtemel programcıların programa farklı gemilerin referans enerjilerini karşılaştırma ve hatta bir gemi üzerinde değişik enerji senaryoları uygulayarak karar desteği sağlama yetisi kazandıracak bir modül tasarlamaya karar vermesi durumunda kolaylık sağlayacağı değerlendirilmiştir.

Yeni gemi oluşturma bağlantısı üzerine tıklanmasını müteakip, kullanıcıdan aşağıdaki parametreleri girmesi beklenmektedir.

- Gemi Adı: Kullanıcı tarafından belirlenecek tanımlayıcı ad
- IMO Numarası: İlerleyen dönemlerde kullanılacak ve IMO tarafından gemiye verilen özel tanımlayıcı numara
- Gemi Tipi: Analizlerde kullanılmak üzere MARPOL Ek 6 Düzenleme 2 ile tanımlanmış gemi tipleri listesinden herhangi biri.
- Çalışma Bölgesi: IMO tarafından belirlenmiş Emisyon Kontrol Bölgelerini (ECA) de içerecek şekilde bölge tanımları listesinden herhangi biri.
- Hizmete Giriş Yılı: Birçok MARPOL Ek 6 düzenlemesinde geminin inşa ve hizmete giriş yılına göre sınıflandırma yapılmaktadır.
- LoA, BoA ve Deplasman: Gemi tonajı birçok MARPOL Ek 6 düzenlemesinde parametre olarak kullanılmaktadır.
- Birincil Enerji Taşıyıcı Adı: Gemiye tanımlanacak birincil enerji taşıyıcısının gemi özelindeki etiketi. Örn. İskele yakıt tankı.
- Birincil Enerji Taşıyıcı Cihazı: Birincil enerji taşıyıcıları modülü üzerinden detaylı olarak tanımlanacak cihazların listelendiği form. Örn. 30 tonluk yakıt tankı.
- Birincil Enerji Taşıyıcı Çıkış Cihazı: Referans enerji sistemini oluşturmak üzere sistem/cihazlar arasındaki enerji transferini gösterecek bağlantı. Örn. İskele Yakıt Tankı Çıkış Cihazı-İskele Ana Makine.
- Çevrim Teknolojisi Adı: Gemiye tanımlanacak çevrim teknolojisinin gemi özelindeki etiketi. Örn. İskele Ana Makina.
- Çevrim Teknolojisi Cihazı: Çevrim Teknolojileri modülü üzerinden detaylı olarak tanımlanacak cihazların listelendiği form. Örn. MTU XX model dizel makina.

- Çevrim Teknolojisi Çıkış Cihazı: Referans enerji sistemini oluşturmak üzere sistem/cihazlar arasındaki enerji transferini gösterecek bağlantı. Birincil enerji taşıyıcıları için sadece çevrim teknolojileri listelenirken bu noktada sistemin doğası gereği hem çevrim teknolojileri hem de son kullanıcı teknolojileri listelenmektedir. Örn. İskele Ana Makine Çıkış Cihazı: Pervane veya şaft jeneratörü olabilir.
- Son Kullanıcı Teknolojisi Adı: Gemiye tanımlanacak son kullanıcı teknolojisinin gemi özelindeki etiketi. Örn. Vasat İklimlendirme Cihazı.
- Son Kullanıcı Teknolojisi Cihazı: Son Kullanıcı Teknolojileri modülü üzerinden detaylı olarak tanımlanacak cihazların listelendiği form. Örn. XX model 250.000 BTU iklimlendirme cihazı.

| Ships | Primary Energy Carriers | Conversion Technologies | Enduse Technologies

✖ **GEMI 1**

✖ **GEMI 2**

Ship Name:

IMO Number:

Ship Type:

Area of Operation:

Date of Commission:

LoA:

BoA:

Displacement:

Primary Energy Carrier-1 Label:

Primary Energy Carrier-1 Device:

Primary energy carrier1 outputconnection 1:

Primary energy carrier1 outputconnection 2:

Primary energy carrier1 outputconnection 3:

Primary energy carrier1 outputconnection 4:

Primary energy carrier1 outputconnection 5:

Primary Energy Carrier-2 Label:

Şekil 5.1: Gemi Tanımlama Modülü Arayüz Görüntüsü.

Birincil Enerji Taşıyıcıları modülünde ise gemi modülünde ilişkilendirilecek birincil enerji taşıyıcının özelliklerini belirlemek amacıyla kullanıcıdan aşağıdaki parametreleri girmesi istenmektedir.

Enerji Taşıyıcı Adı: Örn. 30 tonluk yakıt tankı.

Enerji: Depolanan enerji türü. Örn. Yakıt.

Verim: Depolama esnasında kayıp olması ihtimaline karşı verim tanımlanması.

Teknik Detaylar: İlave olarak belirtilmek istenen teknik özellikler.

| Ships | Primary Energy Carriers | Conversion Technologies | Enduse Technologies

Yakıt Tankı PrimaryEnergyCarrier Name:

Solar Panel Energy: Electric

Efficiency: 40

Technical Details: None

Şekil 5.2: Birincil Enerji Taşıyıcı Tanımlama Modülü Arayüz Görüntüsü.

Çevrim Teknolojileri Tanımlama Modülünde kullanıcıdan aşağıdaki parametreleri sağlaması beklenir.

Çevrim Teknolojisi Etiket: Örn. MTU XX model dizel makine

Girdi: Çevrim cihazına girdi (enerji) türü. Örn. Dizel motorin.

Çıktı: Çevrim cihazından çıktı (enerji) türü. Örn. Kinetik.

Verim: Referans enerji sistemi oluşturulması ve analizlerde kullanılmak üzere üretici tarafından sağlanmış verim değeri.

Güç: Hesaplamalarda kullanılmak üzere var ise cihaz tarafından üretilen güç.

Devrede Kalma Yüzdesi: Analizlerde kullanılmak üzere geminin 1 saatlik operasyonu süresince söz konusu cihazın çalışır vaziyette olma süresini belirten yüzdelik oran.

SO_x, NO_x ve CO_x Salımları: Üretici tarafından veya sonradan belirlenmiş salım değerleri var ise belirtilir.

| Ships | Primary Energy Carriers | Conversion Technologies | Enduse Technologies

Back

GM 8-268
 GM 4-72
 Tevzi Panosu
 Trafo
 Shaft Generator

Save

Conversion Label:	GM 8-268
Source Energy:	Diesel/Gas Oil ▼
Energy Consumption Per Hour:	100
Output Energy:	Kinetic ▼
Efficiency:	40
Power:	1
OnTime Percentage:	1
Technical Details:	None
SOx Emission:	1
NOx Emission:	1
COx Emission:	1
Input 1:	----- ▼

Şekil 5.3: Çevrim Teknolojileri Tanımlama Modülü Arayüz Görüntüsü.

Son kullanıcı teknolojileri modülünde ise kullanıcıdan aşağıdaki parametreleri tanımlaması beklenir.

Son Kullanıcı Etiketi: Cihazın adı. Örn. XX Marka 250.000 BTU iklimlendirme cihazı

Son Kullanıcı Tipi: Cihazın bağlı olduğu sistem.

Alt Sistem: Cihazın bağlı olduğu alt sistem.

Girdi: Cihazın çalışması için gerekli girdi (enerji) türü.

Çıktı: Var ise cihazın ürettiği çıktı (enerji) türü. Örn. ısıtıcı için ısı enerjisi.

Verim: Hesaplamalarda kullanılmak üzere üretici tarafından belirlenen verim değeri.

Güç: Cihazın çıkış gücü.

Devrede Kalma Oranı: Analizlerde kullanılmak üzere geminin 1 saatlik operasyonu süresince söz konusu cihazın çalışır vaziyette olma süresini belirten yüzdelik oran.

SO_x, NO_x ve CO_x salım Değerleri: Var ise önceden belirlenmiş gaz salım değerleri.

| Ships | Primary Energy Carriers | Conversion Technologies | Enduse Technologies

AC
 Pompa
 Pervane

Enduse Label:

Enduse Type:

Sub System:

Source Energy:

Output Energy 1:

Output Energy 2:

Efficiency:

Power:

OnTime Percentage:

SOx Emission:

NOx Emission:

CO2 Emission:

Technical Details:

Şekil 5.4: Son Kullanıcı Teknolojileri Tanımlama Modülü Arayüz Görüntüsü.

5.4.3 SANKEY Analiz Modülü

Adını İrlandalı bir denizci olan Matthew Henry Phineas Riall Sankey'den alan Sankey diyagramı ilk kez 1898 yılında bir buhar makinasının enerji verimliliğini göstermek için kullanılmış ve halen enerji sistemleri içerisindeki enerji transferlerini görselleştirme imkânı sunarak analizlere katkı sağlayan bir diyagramdır. Bu modüle Python programlama dili için oluşturulmuş Pyplot ve Pandas kütüphaneleri kullanılarak daha önceden veri tabanı üzerinde oluşturulan gemimize ait referans enerji sistemi içerisindeki enerji akışlarının görselleştirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmanın bir geminin Uluslararası Denizcilik Örgütü MARPOL Sözleşmesi Ek VI kapsamında gemilerden kaynaklı zararlı gaz salımları konusundaki düzenlemelere odaklanmış olması sebebiyle modüle sadece halihazırda enerji sistemi içindeki bağıntıları görselleştirme kabiliyeti kazandırılmıştır.

5.4.4 EEOI (Operasyonel Enerji Verimliği Göstergesi) Analiz Modülü

Her ne kadar Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından kullanımı gönüllülük esasına bağlanmış olsa da geminin bir operasyon için kat ettiği mesafe, taşıdığı yük,

yaktığı yakıt miktarı, yaktığı yakıtlara dair daha önceden belirlenmiş boyutsuz bir parametre ile hesaplanan EEOI gemi işletmecilerine gemilerinin enerji verimliliğinin analizi açısından büyük ipuçları vermektedir.

Bu kapsamda daha önceden tanımlanan gemi sekmesi üzerinden ulaşılan EEOI modülü sayesinde kullanıcı her bir seyir için EEOI değerini hesaplayabilmektedir. Bu sayede işletmeci ortalama EEOI değerini de elde edebilmektedir.

Modül ilave olarak, benzer parametrelere sahip ancak farklı EEOI değerlerine ulaşılan seyirlerdeki anomalileri tespit ederek, sorunu gidermek üzere tavsiyeler üretebilme kabiliyetine sahiptir.



Şekil 5.5: Sankey Modül Tasarımı.

| Ships | Primary Energy Carriers | Conversion Technologies | Enduse Technologies

GEMİ 1 Voyages

Voyage Name:	
Voyage Date:	
Cargo:	
Distance:	
Fuel1:	Diesel/Gas Oil
Fuel1 consumption:	
Fuel2:	Diesel/Gas Oil
Fuel2 consumption:	
Fuel3:	Diesel/Gas Oil
Fuel3 consumption:	

Submit

Voyage Name	Date	Distance(NM)	Cargo Carried	Fuel1	Fuel1 Consumed(MT)	Fuel2	Fuel2 Consumed(MT)	Fuel3	Fuel3 Consumed(MT)	EEOI
Aksaz	2020-02-09 00:00:00+00:00	5000	320	Diesel/Gas Oil	150	Light Fuel Oil (LFO)	100	Diesel/Gas Oil	0	0.0004975025
dfdsfee	2020-02-09 00:00:00+00:00	4000	500	Diesel/Gas Oil	200	Diesel/Gas Oil	0	Heavy Fuel Oil (HFO)	0	0.00032060000000000004

Şekil 5.6: EEOI Modül Tasarımı.

6. SONUÇ

Bu çalışmada ilk aşama olarak, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından yayımlanan ve gemilerden kaynaklı zararlı gaz salımları ve enerji verimliliği konusundaki yasal mevzuat (Uluslararası Gemi Kaynaklı Kirliliği Engelleme Konvansiyonu-MARPOL, Gemiler Kaynaklı Hava Kirliliği Konulu Ek 6) incelenmiştir.

Devamında bir geminin referans enerji sisteminin ortaya koyularak üzerinde analiz yapılabilmesi ve zararlı gaz salımlarının kontrol altına alınması için ne tür verilere ihtiyaç duyulduğu üzerine yoğunlaşmıştır.

Konuya ilişkin olarak yurt dışı ve yurt içinde yapılan çalışmaların incelenmesi sonrasında halihazırda erişimde bulunan ve enerji sistemi analizlerinde kullanılan yazılım araçlarının genel bir incelemesi yapılmıştır.

Mevcut yazılım araçları incelendiğinde;

- Bu araçların çoğunluğunun ticari maksatlı hazırlandığı,
- Kaynak kodlarının kapalı olduğu ve bu sebeple sadece geliştiricisi tarafından düzenleme ve iyileştirme yapılmasının mümkün olduğu,
- İncelenen araçlardan sadece bir tanesinin açık kaynak kodlu bir yazılım aracı olduğu ve bu araçla şu ana kadar gemi enerji sistemleri üzerine yapılmış bir çalışma bulunmadığı,
- Doğrudan bir gemi enerji sisteminin analizinin yapılabilmesi için tüm teknik detaylara sahip ve Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından uygulamaya koyulan düzenlemeler ve ortaya koyulan kavramlar doğrultusunda çalışan sektöre özel bir yazılım aracı bulunmadığı kanaatine varılmıştır.

Yukarıda belirtilen tespitlerden yola çıkılarak çalışmanın amacı;

- Bir veya daha fazla geminin referans enerji sistemini görselleştirerek enerji sistem analizlerinde katkı sağlayabilecek,
- Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından yayımlanan MARPOL Sözleşmesi Ek VI ile belirtilen düzenlemelerden yola çıkılarak tanımlanan gemiye ait EEOI değerini hesaplayarak, mühendislere ve gemi işletmecilerine gemilerinin enerji verimliliği ve gaz salımlarının kontrol altına alınması konusunda önemli ipuçları veren ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması da dahil olmak üzere alternatif

teknolojilerin kullanılması yönünde tavsiyeler üretebilen, esnek ve geliştirilmeye müsait açık kaynak kodlu bir yazılım aracı geliştirilmesi olarak belirlenmiştir.

Açık kaynak kodlu programlama dilleri ve bunların derleyicileri konusunda yapılan incelemeler neticesinde yüksek işlem gücü, veri bilimi (data science) ve yapay zekâ alanları da dahil olmak üzere sayısız kütüphanesiyle çalışma amacına uygun olacağı değerlendirilen Python programlama dilinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bahsedilen kütüphanelerden, Django kütüphanesinden veri tabanı ve Web arayüzü işlemleri, Pyplot ve Pandas kütüphanelerinden referans enerji sisteminin görselleştirilmesinin sağlandığı Sankey Diyagramı modülü kodlamasında istifade edilmiştir. EEOI modülü ise Uluslararası Denizcilik Örgütü Deniz Çevre Kirliliği Komitesi tarafından yayımlanan rehber dokümanlar ve bireysel kodlama ile geliştirilmiştir.

EEOI değeri hesaplatılırken, yazılımın gemiye ait makine ile bunların üretici tarafından verilen yakıt tüketim verilerine sahip olmasına ve süresi belirli bir seyir/görev için tüketilen yakıt değerini hesaplama kabiliyeti olmasına rağmen, malzeme yıpranması, mükemmel çalışma koşullarının her zaman tam olarak sağlanamaması vb. sebeplerle seyir/görev boyunca tüketilen yakıt miktarının gemi kayıtlarından alınarak girilmesinin daha sağlıklı sonuç vereceği değerlendirilmiştir. Bu nedenle EEOI hesaplama modülünde bir seyir/görev için harcanan yakıt miktarı, kat edilen mesafe ve taşınan yükün kullanıcı tarafından gerçek gemi kayıtlarından alınarak girilmesi istenmiştir.

Denklem (6.1) ile yapılan hesaplamada, ihtiyaç duyulan ve yakıt türüne ait C_F boyutsuz parametresi aşağıda olduğu şekilde IMO MEPC.1/Circ.684 dokümanından alınan haliyle yazılıma gömülü olarak tanımlanmıştır. Denklem (6.1)'de bulunan diğer parametrelerden, FC : Tüketilen yakıt miktarı, m_{kargo} : Taşınan Kargo Kütlesi, D : kat edilen mesafeyi belirtmektedir.

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{F_j}}{m_{kargo} \times D} \quad (6.1)$$

* Karbon Kütlesi Oranı Çevrim Katsayısı (C_F); ölçülen yakıt tüketiminin kütlesi ile yakıt içerisindeki karbon kütlesinin oranının gösteren boyutsuz bir parametredir.

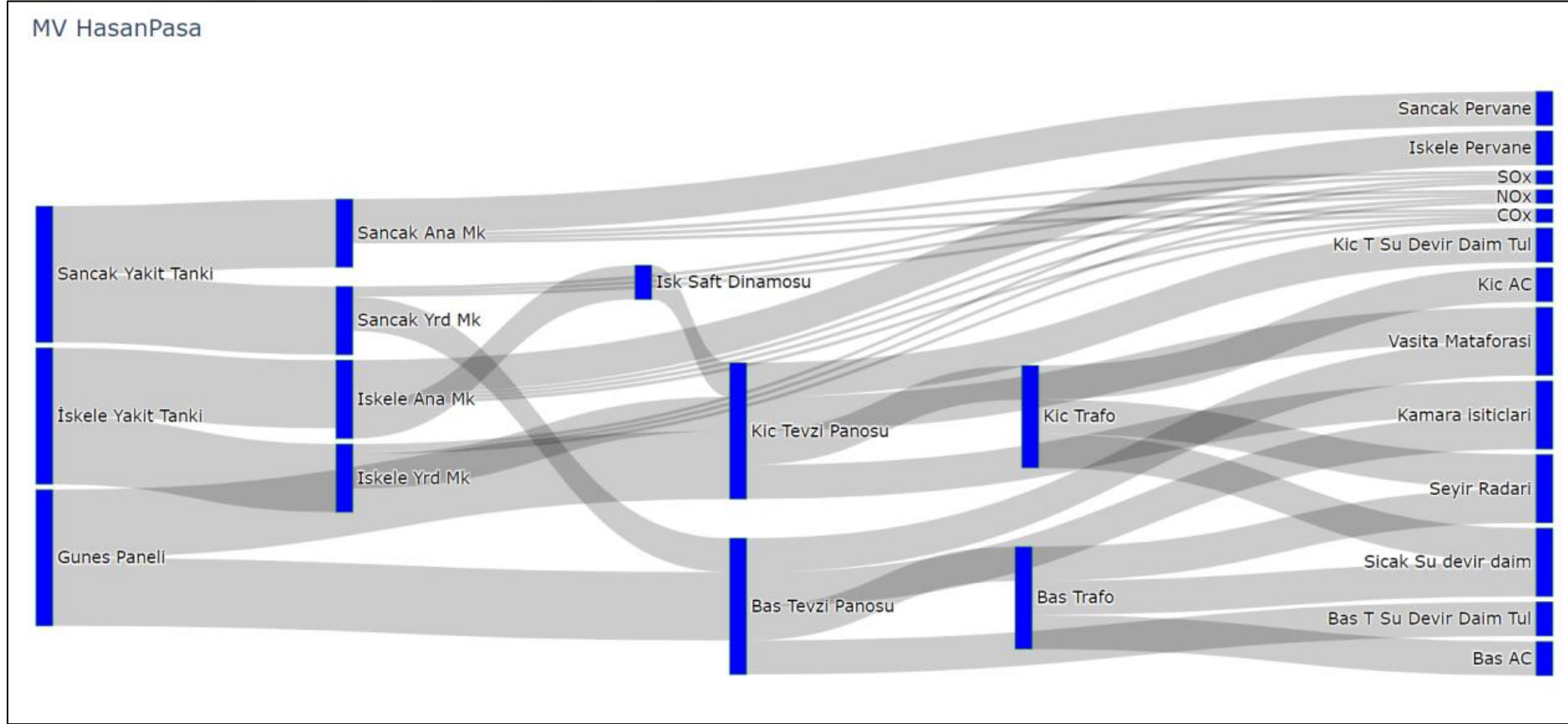
Tablo 6.1: Yakıt Tipine Göre C_F Boyutsuz Parametresi Tablosu.

Yakıt Cinsi	Referans	Karbon İçeriği	C _F (t-CO ₂) / (t-Yakıt)
Dizel/Motorin	ISO 8217 DMX-DMC arası	0,875	3,206000
Hafif Fueloil (LFO)	ISO 8217 RMA-RMD arası	0,86	3,151040
Ağır Fueloil (HFO)	ISO 8217 RME-RMK arası	0,85	3,114400
Sıvı Petrol Gazı (LPG)	Propan/Bütan	0,819 0,827	3,000000 3,030000
Sıvı Doğal Gaz (LNG)		0,75	2,750000

(IMO Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator, 2009'dan uyarlanmıştır.)

Geliştirilen aracın test edilmesi amacıyla pazarda mevcut ve gemilerde kullanılan bazı sistem/cihazlar üretici internet sitelerinden alınan teknik veriler ile yazılım aracının veri tabanında ilgili bölümlere (birincil enerji taşıyıcıları, çevrim teknolojileri, son kullanıcı teknolojileri vb.) kaydedilerek farazi bir ticari kargo gemisi (MV Hasan Paşa) oluşturulmuştur. Müteakiben gemi veri tabanı modülünde temsili bir gemi tanımlanmış ve tanımlanan gemiye daha önceden veri tabanına girişi yapılan sistem/cihazlardan seçim yapılarak eklenmiştir. Bilgisayara hitap edecek şekilde gemi veri tabanında eklenen sistem/cihazların enerji alış-veriş bağlantılarının yapılması ile referans enerji sisteminin yazılım tarafından tanınması sağlanmıştır. Müteakiben ilgili sekmeden Sankey diyagramı modülü çalıştırıldığında, gemiye tanımlanan tüm sistem/cihazların enerji bağıntılarının yazılım tarafından başarılı bir şekilde görselleştirildiği görülmüştür. Tanımlanan sistem/cihaz sayısı artırıldıkça ortaya çıkan diyagram karmaşık gibi görünse de diyagram interaktif şekilde tasarlandığından imleç ile üzerine gelinen bağlantı aktif hale geçmekte ve bağlantıya ilişkin temel bilgiler (tool tip text) ekranda belirlemektedir. Ayrıca bağlantı noktalarından tutularak hareket ettirildiğinde yerleri belirli sınırlar çerçevesinde değiştirilebilmektedir. Bu özellikler görselin daha rahat bir şekilde anlaşılmasına olanak sağlamaktadır.

Müteakiben EEOI modülü sekmesi tıklanarak, 3 adet sefere dair kat edilen mesafe, taşınan yük, tüketilen yakıt türü ve miktarı girilerek EEOI değerlerinin doğru şekilde hesaplandığı görülmüştür.



Şekil 6.1: Farazi MV Hasan Paşa Gemisi Enerji Sisteminin Sankey Diyagramı Çıktısı.

| Ships | Primary Energy Carriers | Conversion Technologies | Enduse Technologies

MV HasanPasa Voyages

Voyage Name:	Libya KKTC
Voyage Date:	2020-02-19
Cargo:	100
Distance:	900
Fuel1:	Diesel/Gas Oil ▼
Fuel1 consumption:	411
Fuel1:	Diesel/Gas Oil ▼
Fuel2 consumption:	0
Fuel1:	Diesel/Gas Oil ▼
Fuel3 consumption:	0

Submit

Voyage Name	Date	Distance(NM)	Cargo Carried	Fuel1	Fuel1 Consumed(MT)	Fuel2	Fuel2 Consumed(MT)	Fuel3	Fuel3 Consumed(MT)	EEOI
Canakkale Mersin	2020-02-09 00:00:00+00:00	400	530	Diesel/Gas Oil	120	Diesel/Gas Oil	0	Diesel/Gas Oil	0	0.0018147169811320754
Mersin Libya	2020-02-14 00:00:00+00:00	400	1200	Diesel/Gas Oil	615	Diesel/Gas Oil	0	Diesel/Gas Oil	0	0.0041076875
Libya KKTC	2020-02-19 00:00:00+00:00	100	900	Diesel/Gas Oil	411	Diesel/Gas Oil	0	Diesel/Gas Oil	0	0.014640733333333333

Şekil 6.2: Farazi MV Hasan Paşa Gemisi EEOI Hesaplama Modülü Örneklem Çıktısı.

Sonuç olarak geliştirilen yazılım aracı vasıtasıyla;

- Gemi referans enerji sisteminin veri tabanı üzerinde oluşturulabildiği,
- Oluşturulan ancak görsellik kazanmamış referans enerji sisteminin Sankey diyagramı vasıtasıyla görselleştirmesi ve EEOI hesaplamasının gerek mühendisler gerekse gemi işletmecileri için gemilerinin enerji verimliliği ve zararlı gaz salımları konusunda yapacakları çalışmalara katkı sağlayacağı,
- Gemi üzerindeki sistemlerde veya gemi ile icra edilen bir operasyondaki aksayan noktaları görmelerine olanak sağlayacağı,
- Açık kaynak kodun tercih edilmesi ve veri tabanı oluşturulurken gelecek çalışmalarda kullanılacak bir takım parametrelerin şimdiden tanımlanması sayesinde esnek ve geliştirilebilir özelliğini koruyan aracın alanda çalışan gelecek araştırmacıların da katkısıyla deniz taşımacılığı sektörünün tüm paydaşları tarafından istifade edilebilecek bir hale gelebileceği değerlendirilmektedir.

Bu kapsamda yapılacak gelecek çalışmalar ile aracın;

- Şimdiden veri tabanında oluşturulan cihaz verimleri, çalışma yüzdeleri vb. verilerin gerçekçi şekilde tanımlanarak sisteme eklenmesi ile oluşturulan referans enerji sistemi üzerindeki kayıplar da dahil olmak üzere tüm enerji transferlerini detaylı bir şekilde analiz etme,
- Zamana dayalı (belirli bir periyot belirtilerek) enerji analizi yapma ve gelecek enerji tüketimine dair tahminlerde bulunma,
- Şimdiden kazandırılan birden fazla gemi tanımlama kabiliyetinden de istifade ile farklı ya da ikiz gemilerin referans enerji sistemlerinin karşılaştırılması,
- Senaryoya dayalı (Örn. gemiye fotovoltaik panel eklenerek elektrik üretimine sağlanacak katkının analizi) analizler yapılabilmesi,
- EEOI değerleri üzerinden yapılacak veri analizi ile, anomali tespiti ve anomaliye sebep olan kusurun giderilmesi için tavsiyeler (Örn. Benzer parametrelere sahip iki seferden elde edilen EEOI değerleri arasında fark olması durumunda, makina valf ayarı yapılması, liman periyotlarında sahil güç kaynaklarının tercih edilmesi, düşük karbon oranlı yakıtı geçilmesi vb.) üretilmesi,
- Bölüm 5.3'te açıklanan sebeplerden dolayı bu çalışmaya dahil edilmese de tasarım mühendislerinin istifadesine yönelik olarak EEDI hesaplatılması gibi yetenekler kazandırılabilmesi ve aracın arayüzünün Web üzerinde çalışmasından istifade ile mevzuata ilişkin faydalı linkler ve bilgilerin oluşturulacak ilave sayfalarda paylaşılarak bu çalışmanın daha ileri bir aşamaya getirilebileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

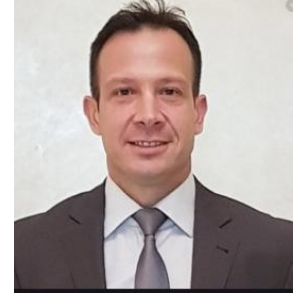
- Ahlgren F. (2018). *Reducing Ships' Fuel Consumption And Emissions By Learning From Data* (Doktora Tezi). Kalmar Maritime Academy, Linnaeus University, Kalmar, Sweden.
- Baldi, F. (2016). *Modelling, Analysis and Optimisation of Ship Energy Systems* (Doktora Tezi). Chalmers University of Technology, Department of Shipping and Marine Technology. Gothenburg, Sweden.
- Bos A., Weddige U ve Winkel R. (2015). *Study on Energy Efficiency Technologies for Ships (Rapor)*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Castellanos G., Gielen D., Ratka S., Roesch R. Ve Ruiz C. (2019). *Navigating To A Renewable Future: Solutions for Decarbonising Shipping, Preliminary Findings* (Rapor). International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IMO Resolution MEPC.304(72) (2018) *Initial IMO Strategy On Reduction Of GHG Emissions From Ships* MEPC 72/17/Add.1 Annex 11, Page 10
- International Maritime Organisation (2009). *Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)*. International Maritime Organisation, MEPC.1/Circ.684, London, UK.
- International Organization for Standardization (2017). *Requirements for Marine Distillate Fuels*. International Organization for Standardization, ISO 8217 2017, Geneva, Switzerland.
- JRC-EDGAR (2018), *Fossil CO2 emissions of all world countries* (Rapor), EUR 29433 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97240-9.
- Nyany M. ve Huy V. (2019). *Wind Propulsion Optimisation and Its Integration with Solar Power* (Yüksek Lisans Tezi). World Maritime University Dissertations. 1183., Malmö, Sweden.
- Raucci C., Deyes K., ve Tristan S. (2019). *Potential Demands on the UK Energy System from Port and Shipping Electrification* (Rapor). UK Department for Transport, Queen's Printer and Controller of Her Majesty's Stationery Office. London, UK.
- Sulukan E., Sağlam M., Uyar T. ve Kırıldıoğ M. (2010). *A Preliminary Study for Post-Kyoto Period for Turkey by MARKAL Model* (Makale). Pamukkale University, Denizli, Turkey.

- Sulukhan E., Özkan D. ve Sari A. (2018). *Reference Energy System Analysis of A Generic Ship* (Makale). Journal of Clean Energy Technologies, Vol. 6, No.5, September 2018.
- Summerfield, M. (2010). *Python 3* (Kitap). Výukový kurz. Computer Press a. s., Brno, 2010. ISBN 970-80-251-2737-7
- Tristan S., Lewis C., Faber J., Wilson C., Deyes K., ve Pridmore A. (2019). *Maritime Emission Reduction Options* (Rapor). UK Department for Transport, Queen's Printer and Controller of Her Majesty's Stationery Office. London, UK.
- Trivyza N., Rentizelas A. ve Theotokatos G. (2020). *A Comparative Analysis of EEDI Versus Lifetime CO₂ Emissions* (Makale). Journal of Marine Science and Engineering. 2020, 8, 61; doi:10.3390/jmse8010061
- Yuan Y., Zhang T., Shen B., Yan X. ve Long T. (2018). *A Fuzzy Logic Energy Management Strategy for a Photovoltaic/Diesel/Battery Hybrid Ship Based on Experimental Database* (Makale). www.mdpi.com/journal/energies 2018, doi:10.3390/en11092211
- Zheng Z. ve Zhou X. (2019). *Design and Simulation of Ship Energy Efficiency Management System Based on Data Analysis* (Makale). School of Economics and Management Nanjing University of Science and Technology Nanjing 210094, China

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : Zorlu, Salih Korhan
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 16.06.1979, İstanbul
Telefon : 905071356571, 44(0)7553101695
e-posta : korhanz1979@gmail.com



Eğitim

Derece	Üniversite ve Bölüm	Mezuniyet tarihi
Lisans	Deniz Harp Okulu Komutanlığı Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği	30.08.2001

Meslekî Deneyim

Yıl	Yer	Görev
2001-2003	Aksaz/Muğla	TCG Seddülbahir II.Ç
2004-2007	Çeşme/İzmir	TCSG 61 B.Ç.
2007-2009	Tuzla/İstanbul	TCG S.M.Paşa YS Sb.
2010-2014	Tuzla/İstanbul	TCG C.G.Hasanpaşa II.Ç.
2014-2016	Pendik/İstanbul	İstanbul Tersanesi K.lığı
2016-2019	Bakanlıklar/Ankara	Genelkurmay Başkanlığı
2019-devam	Londra/İngiltere	NATO Müttefik Deniz K.lığı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınları/Sunumları

Sulukan E., Önaçan K., Zorlu K., (2019). Elektrik Enerjisi Sektöründe Kullanılan Veri Madenciliği Uygulamalarına Genel Bakış (General Overview of Data Mining Applications on Electric Power Industry). *Uluslararası Enerji Ekonomi ve Güvenlik Kongresi Bildiri Kitabı*, 226.

Sulukan E., Özkan D., Uyar T., Zorlu K., (2019). A Residential Energy Simulation Tool Design. *Uluslararası %100 Yenilenebilir Enerji Konferansı 2019 Bildiri Kitabı*.

Tezden Türetilen Yayınları/Sunumları -