

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEMİLERDE HİBRİT SİSTEMLERİNİN KULLANILMASI ve EKONOMİK
AÇIDAN İNCELENMESİ

Yusuf DÜZ

Danışman: Prof. Dr. Yunus AKALTUN

TEZ JÜRİ ÜYELERİ
Prof. Dr. Yunus AKALTUN
Prof. Dr. Emre GÜR
Dr. Öğr. Üyesi Yasin ALTUNBAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ERZİNCAN, 2025

© 2025 [Yusuf DÜZ]. Tüm hakları saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Prof. Dr. Yunus AKALTUN danışmanlığında, Yusuf DÜZ tarafından hazırlanan bu çalışma 03/07/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul oybirliği (3/3) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Emre GÜR İmza:

Üye : Prof. Dr. Yunus AKALTUN İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yasin ALTUNBAŞ İmza:

Yukarıdaki Yüksek Lisans/Doktora Tezi Enstitü Yönetim Kurulunun / / 20.... tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Kemal Volkan ÖZDOKUR
Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etięe Uygunluk Sayfası

“Gemilerde Hibrit Sistemlerin Kullanılması ve Ekonomik Açıdan İncelenmesi” isimli “Yüksek Lisans/ Doktora” tezim tarafımca intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiğı gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 03/07/2025

(İmza)

Yusuf DÜZ

ÖZET

GEMİLERDE HİBRİT SİSTEMLERİNİN KULLANILMASI ve EKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ

Yusuf DÜZ

**Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Yunus AKALTUN

2025, 49 sayfa

Yaşadığımız gezegende her geçen yıl insan sayısının artması, sanayi kuruluşlarının sayısı ve üretim miktarlarını arttırması sonucunda elektrik enerjisinin tüketim miktarında her yıl arttığı görülmektedir. Ortaya çıkan bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmının fosil temelli kaynaklardan olması ve fosil kaynakların miktarlarının sınırlı olması sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır. Özellikle günümüzde kullanılmakta olan gemiler enerji ve hareket ihtiyaçlarını karşılayabilmek adına fosil yakıtlara ihtiyaç duymaktadır. Bununla birlikte Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), 2053 yılının sonuna kadar doğaya salınan karbon salınımını sıfıra indirmek ve bu amaç doğrultusunda fosil temelli enerji kaynaklarının kullanımını da bu tarihe kadar sonlandırmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda gemilerde enerji ihtiyacının karşılanmasını sağlayan fosil temelli kaynakların kullanımının azaltılmasına yönelik çalışmaların oldukça büyük önem arz ettiği sonucuna varılmaktadır.

Yapılacak olan bu çalışmada İzmir ve Muğla illeri arasından çalışmakta olan yük gemisinin oniki ayda ortalama olarak tükettiği fosil yakıt miktarı sonucunda atmosfere salınım yaptığı sera gazı emisyon miktarlarıyla ilgili değerler paylaşılmıştır. İncelemeye esas teşkil eden geminin enerji ihtiyacının belirli bir kısmını sağlayacak hibrit sistemin modellenmesi yapılarak HOMER program aracılığıyla teknoekonomik açıdan analizi yapılması amaçlanmaktadır. Bu çalışma sonucunda geminin elektrik enerjisi ihtiyacı sadece dizel jeneratörler vasıtasıyla değil güneş ve rüzgar enerjisi vasıtasıyla da karşılanması sağlanmış olacaktır. Yapılan bu çalışma sonucunda daha az fosil yakıt kullanıldığından doğaya salınan emisyon miktarında büyük ölçüde azalma meydana geldiği ve dizel jeneratör bakım masraflarında önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Araştırmanın sonucunda hibrit enerji sisteminin enerji verimliliği açısından mühim avantajlar sağladığı sonucuna varılmaktadır. Bununla birlikte hibrit enerji

sistemlerinin enerji tüketimini en iyi hale getirme ve çevresel sürdürülebilirlik imkanı sağladığı görülmektedir. Yapılan çalışma sonucunda gemide kullanılması planlanan hibrit enerji sisteminin günümüzde kullanılmakta olan fosil temelli kaynaklara olan bağımlılığı ve maliyet kalemini de önemli ölçüde azaltacağı görülmektedir. Bu çalışma sonucunda ileri ki süreçte hibrit enerji sistemlerine sahip gemilerin kullanılmasına yönelik önemli bir emsal teşkil ettiği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Hibrit Enerji Sistemi, Homer, Emisyon

ABSTRACT

USE THE HYBRID SYSTEMS ON SHIPS AND ITS ECONOMIC INVESTIGATION

Yusuf DÜZ

**Master's Thesis, Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science and
Technology, Department of Electrical and Electronic Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Yunus AKALTUN

2025, 49 pages

On the planet we live in, human change is increasing every year, the number of industrial units and the amount of production are increasing. As a result, it is seen that the consumption of electrical energy is increasing every year. A large part of this emerging energy need is due to the abundance of fossils and the limitation of fossil diversity, resulting in increased energy expansion. Especially today's ships need fossil fuels to meet their energy and movement needs. In addition, the International Maritime Organization (IMO) continues to reduce carbon emissions to nature by 2053 and to end increase in fossil energy consumption at this target level by this date. For this purpose, tools to reduce the amount of fossil money that covers energy consumption on ships are of great importance.

In this study the values related to the amount of greenhouse gas emissions released into the atmosphere as a result of the average amount of fossil fuel consumed by a Cargo ship operating between İzmir and Muğla provinces in twelve month werw shared. It is aimed to model the hybrid system that will provide a certain part of the ship, which is the basis of investigation and analyze it from a technoeconomic perspective through the HOMER program. As a result of this work, the ship's electrical energy needs will be met not only through diesel generators but also through solar and wind energy. As a result of this study, it is seen that since lessfossil fuel is used, there is a significant decrease in the amount of emissions released into the nature and diesel generator maintenance costs are also significantly reduced.As a result of the research, it is concluded that the hybrid energy system provides significant advantages in terms of energy efficiency.However, ,t is seen that hybrid energy systems provide the opportunity to optimize energy consumption and environmental sustainability. As aresult of the study, it is seen that the hybrid energy system planned to be used on the ship will significantly reduce the dependence

and cost item on fossil-based resources used today. As a result of this study, it sets an important precedent for the use of ships with hybrid energy systems in the future

Keywords: Energy, Hybrid Energy System, HOMER, Emission.

TEŞEKKÜR

Yapılan bu alışmada denizcilik faaliyetleri esnasında ortaya çıkan enerji ihtiyaçlarının karşılanması ve ortaya çıkan sera gazı salınımının azaltılmasına yönelik alternatif enerji kaynakları ve bu kaynaklar sonucunda oluşan hibrit enerji sisteminin teknik, çevresel ve ekonomik analizinin yapılması amaçlanmaktadır.

Bu süre zarfında bilgi birikim, tecrübe ve değerli görüşlerinden istifade ettiğim tez danışmanım Prof. Dr. Yunus AKALTUN' a kıymetli nderlięi ve desteği için sonsuz teőekkürlerimi arz ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince her türlü destek ve motivasyon kaynağı olan kıymetli eşim Őeyma Nur KURT DÜZ' e, abim zgr DÜZ' e ve arkadaşım Enes ATEŐ' e teşekkür ederim.

Yusuf DÜZ

Haziran, 2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Araştırmanın Amacı	1
1.2. Araştırmanın Önemi	2
2.KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	3
2.1 Rüzgâr Enerjisi Potansiyel	3
2.1.1 Dünya’da rüzgâr enerji potansiyeli.....	3
2.1.2 Türkiye’de rüzgâr enerji potansiyeli.....	4
2.1.3 Muğla ilinin rüzgâr enerji potansiyeli	6
2.1.4 İzmir ilinin rüzgâr enerji potansiyeli	7
2.2. Güneş Enerjisi Üretim Potansiyeli	7
2.2.1 Dünya da güneş enerjisi potansiyeli	7
2.2.2 Muğla’nın güneş enerjisi potansiyeli.....	9
2.2.3 İzmir’in güneş enerjisi potansiyeli	10
2.3 Literatür Taraması	11
3. YÖNTEM	17
3.1. Gemi Sistemleri	17
3.1.1.Gemi makine sistemleri.....	17
3.1.1.1. Ana tahrik ve sevk makineleri	17
3.1.1.2. Yardımcı makineler	18
3.1.1.3. Güverte yardımcı makineleri.....	18
3.1.2 Gemi elektrik sistemleri.....	19
3.1.2.1 Gemi güç üretim sistemleri	19
3.1.2.2 Gemi güç koruma ve dağıtım sistemleri.....	24
3.1.2.2.1. Ana güç dağıtım sistemleri	24
3.1.2.2.2. Yardımcı güç dağıtım sistemleri.....	25

3.1.2.2.3. Acil durum güç dağıtım sistemleri	26
3.1.2.2.4. Güç koruma sistemleri.....	26
3.1.2.3. Gemi aydınlatma sistemleri	27
3.1.2.4. Gemi seyir ve navigasyon sistemleri	27
3.1.2.5. Gemi otomasyon, izleme ve emniyet sistemleri.....	28
3.1.2.6. Gemi bilgisayar sistemleri	29
3.1.3. Gemilerde kullanılan yakıt ve emisyon değerleri.....	30
3.1.4. Ekonomik ve çevresel parametreler	30
4. BULGULAR	31
4.1. Geminin Mevcut Sistemine Ait Bulgular	31
4.2. Gemide Güneş Enerjili Hibrit Sistem Oluşturulmasına Ait Bulgular	33
4.2.1. Gemide kullanılacak güneş paneline ilişkin bulgular.....	34
4.2.2. Gemide kullanılan güneş paneline ilişkin analiz sonuçları	35
4.3. Gemide Rüzgâr Enerjili Hibrit Sistem Oluşturulmasına Ait Bulgular	37
4.3.1. Gemide kullanılacak rüzgâr türbinine ilişkin bulgular	38
4.3.2. Gemide kullanılan rüzgâr türbinine ilişkin analiz sonuçları.....	39
4.4. Gemide Karma Enerjili Hibrit Sistem Oluşturulmasına Ait Bulgular.....	42
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	45
5.1. Sonuçlar ve Öneriler.....	45
KAYNAKÇA	47

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Bölgelere Ait Ortalama Rüzgâr Hızı ve Ortalama Rüzgâr Enerji Yoğunluğu...	5
Tablo 2. Dünyanın Farklı Bölgelerine Ait Güneş Radyasyon Verileri.....	8
Tablo 3. Jeneratör Bilgileri.....	21
Tablo 4. Geminin Günlük Yük Tüketimi.....	22
Tablo 5. Geminin Günlük Yakıt Tüketimi.....	23
Tablo 6. Gemiye Ait Emisyon Değerleri.....	30
Tablo 7. 350 W Enerji Kapasitesine Sahip Güneş Paneline Ait Bilgiler.....	35
Tablo 8. Rüzgâr Türbinine Ait Teknik Özellikler.....	39
Tablo 9. Analiz Sonuçlarına İlişkin Verileri.....	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil.1. Dünyada Rüzgâr Enerjisi Kurulum Kapasiteleri.....	4
Şekil 2. Türkiye’de Ortalama Rüzgâr Hızı Dağılımı.....	5
Şekil 3. Türkiye’de Ortalama Rüzgâr Güç Yoğunluğu Dağılımı.....	6
Şekil 4. Muğla iline Ait Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı Dağılımı	6
Şekil 5. İzmir İline Ait Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı Dağılımı	7
Şekil 6. Dünya Fotovoltaik Güç Potansiyeli.....	9
Şekil 7. Muğla İline Ait Toplam Güneş Radyasyon Dağılım Haritası	10
Şekil 8. İzmir İline Ait Toplam Güneş Radyasyon Dağılım Haritası.....	11
Şekil 9. Gemi Sevk ve Tahrik Sistemleri.....	17
Şekil 10. Gemi Vinç Sistemi.....	18
Şekil 11. Gemi Elektrik Güç Sistemi Mimarisi.....	19
Şekil 12. Gemi Elektriksel Enerji Yönetim Sistemi.....	20
Şekil 13. -Gemilerde Ana Güç Dağıtım Panosu.....	25
Şekil 14. Yardımcı Güç Dağıtım Sistemleri.....	25
Şekil 15. Gemide Güç Koruma Sistemleri.....	26
Şekil 16. Gemi Seyir Aydınlatma Sistemleri.....	27
Şekil 17. Gemi Otomasyon Sistemleri.....	29
Şekil 18. Gemi Hibrit Sistem Diyagramı.....	31
Şekil 19. Gemi Elektrik Sistemi Homer Analizi.....	32
Şekil 20. Gemi Yardımcı Makinaları Yük Miktarları.....	32
Şekil 21. Yardımcı Makinaların Kullanmış Olduğu Yakıt Miktarları.....	33
Şekil 22. Birinci Duruma İlişkin Emisyon Verileri.....	33
Şekil 23. Gemi Güneş Paneli Yerleşim Krokisi.....	34
Şekil 24. Gemide Kullanılan Güneş Paneli.....	34
Şekil 25. Güneş Enerjisi Hibrit Sistem Tek Hat Şeması	35
Şekil 26. Güneş Enerjisi ile Oluşturulan Hibrit Sisteme Ait Yük Dağılımı.....	36
Şekil 27. Güneş Enerjisi ile Oluşturulan Hibrit Sistemde Kullanılan Yakıt Miktarları.....	36
Şekil 28. Güneş Enerjisi ile Oluşturulan Hibrit Sisteme Ait Emisyon Verileri.....	37
Şekil 29. Gemide Kullanılan Rüzgâr Türbini Yerleşim Planı.....	38
Şekil 30. Gemide Kullanılan Rüzgâr Türbini.....	38
Şekil 31. Rüzgâr Enerjisi Hibrit Sistem Tek Hat Şeması.....	40
Şekil 32. Rüzgâr Enerjisi ile Oluşturulan Hibrit Sisteme Ait Yük Dağılımı.....	40

Şekil 33. Rüzgâr Enerjisi ile Oluşturulan Hibrit Sistemdeki Yakıt Miktarları.....	41
Şekil 34. Rüzgâr Enerjisi ile Oluşturulan Hibrit Sisteme Ait Emisyon Verileri.....	41
Şekil 35. Karma Hibrit Sistemi Tek Hat Şeması.....	42
Şekil 36. Karma Hibrit Sistemi ile Oluşturulan Sisteme Ait Yük Dağılımı.....	43
Şekil 37. Karma Hibrit Sistemi ile Oluşturulan Sisteme Ait Yakıt Tüketimi.....	43
Şekil 38. Karma Hibrit Sistemi ile Oluşturulan Sisteme Ait Emisyon Verileri.....	44
Şekil 39. Hibrit Sistem Oluşturulmasına İlişkin Maliyet Verisi.....	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Co	: Karbon Monoksit
Kg	:Kilogram
Kw	:Kilo Watt
Mw	:Mega Watt
HC	:Hidro Karbon
L	:Litre
SOX	:Kükürt Oksit
NOX	:Azot Oksit
V	:Volt
CO ₂	:Karbondioksit
H ₂ O	:Su
A	:Amper
Hz	:Elektrik Frekans Birimi
Watt/m ²	:Birim metre kare için güç birimi
F	:Frekans
%	:Yüzde

Kısaltmalar

AC	:Alternative Current (Alternatif Akım)
CII	: Carbon Indensity Indicator (Karbon Yoğunluk Göstergesi)
HOMER	: Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
IMO	: International Maritime Organization (Dünya Denizcilik Örgütü)
MDO	: Marine Diesel Oil
MGO	: Marine Gas Oil
NPV	: Net Present Value (Net Bugünkü Değer)
LNG	: Liquefied Naturel Gas (Sıvılaştırılmış Doğalgaz)
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
IMP	: Maksimum akım(Current at Maximum Power)
PMS	: Güç Yönetim Sistemi(Power Management System)
VMP	: Maksimum Gerilim(Voltage at Maximum Power)

REPA	: Rüzgar Enerji Potansiyeli Atlası
PV	: Photo Voltaic
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
PMS	:Power Management System
GPS	:Global Posioting System
ECDIS	:Electronic Chart Display and Information System
RADAR	: Radio Detection and Ranging
MDO	:Marine Dizel Oil

1.GİRİŞ

Gelinen gün itibariyle Türkiye ve dünya nüfus sayısının her geçen gün arttığı ve bu artışın doğal bir sonucu olarak enerji tüketiminin gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Nüfusun giderek artması sonucunda dünya ticaret hacmi de giderek büyümektedir, oluşan bu dünya ticaretinin büyük bir kısmı uluslararası gemi kullanım oranını da her geçen gün arttırmaktadır. Gemilerin ticaret, savunma, turizm ve diğer alanlarda kullanılmasının sonucunda fosil yakıtların kullanımı da gün geçtikçe yüksek oranlarda artış gözlemlenmektedir. Ortaya çıkan bu durum sonucunda yakıt tüketimlerinde de artışlar meydana gelmekte ve sonuç bu durum doğaya daha fazla sera gazı salınımına neden olmaktadır. Ortaya çıkan bu olumsuz sonucun giderebilmek adına özellikle enerji ihtiyacının karşılanması alanında fosil yakıt kullanımının azaltılması gerekmektedir.

Gemilerin doğaya salınım yaptığı sera gazı salınımının düşürebilmesi maksadıyla gemide bulunan güç sistemlerinde çeşitli yenilemelerin yapılması gerekmektedir. Bu konuda yapılabilecek en uygun çalışma tarzı hali hazırda kullanılmakta olan motorin, LNG vb. yakıtların yakılması sonucu elde edilmekte olan elektrik enerjisi yerine hibrit enerji sistemleri tasarlanmasının daha uygun olacağı değerlendirilmektedir. Bu şekilde tasarlanacak olan hibrit sistemlerin enerjinin verimli kullanılması bakımından da oldukça avantaj sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Tasarlanması planlanan hibrit sistemde fosil yakıtın yanında gemide güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak geminin enerji ihtiyacının belirli bir kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması gerçekleştirilmiş olacaktır. Bu tez çalışmasında hibrit bir enerji sisteminin modellenmesi yapılmıştır.

1.1. Araştırmanın Amacı

Dünya da hali hazırda mevcut elektrik sistemlerinin enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil kaynaklı yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtlar kaynak miktarı belirli miktarlarda olan kaynaklardır. Bunun yanın da fosil yakıtlar küresel gelişmelere bağlı olarak yaşanan fiyat artışları ve gelecek yüzyıllarda tükenme ihtimalinin oldukça yüksek olması da yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik ihtiyacı olan makine ve sistemlerde kullanılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye zarar vermemesi ve dünyanın ekolojik yapısına birçok fayda sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasıyla birlikte doğaya salınan sera gazı miktarında ciddi düşüşlerin olacağı değerlendirilmektedir. Bu sonuç hali hazırda küresel ısınma sorunuyla karşı karşıya kalan dünya ekolojik sistemi açısından büyük önem arz etmektedir. Gelişen ve sürekli olarak nüfusu artan dünyada zaman içerisinde fosil yakıtlar ihtiyacı karşılayamaz hale geldiğinden özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinin trenlerde, yük gemilerinde, savaş gemilerinde, yolcu gemilerinde ve diğer kara araçlarında enerji ihtiyacının karşılanabilmesi açısından rezerv bir enerji kaynağı olarak kullanılması sağlanmalıdır. Bu şekilde yapılacak olan hibrit enerji sistemleri sayesinde elektrik enerji ihtiyacının önemli bir kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması sağlanmış olacaktır.

1.2. Araştırmanın Önemi

Yapılacak olan bu çalışmada hali hazırda kullanılmakta olan bir geminin elektrik enerjisi ihtiyacı sadece fosil yakıtların kullanılmasıyla çalışan üç adet dizel jeneratör aracılığıyla karşılanmaktadır. Bu durum mevcut geminin tamamen fosil yakıtlara bağımlı olmasına, bakım maliyetlerinin giderek artmasına ve çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Mevcut durumun bir diğer olumsuz sonucu ise geminin elektrik enerjisinin karşılanması için çalışmakta olan dizel jeneratörlerin çok yüksek miktarda fosil yakıt yakmaları sonucunda oluşturdukları sera gazlarını doğaya salmalarındır. Belirtilen bu durumun üstesinden gelerek temiz bir enerji edilmesi amacıyla gemi de kullanılmakta olan üç dizel jeneratörün yanında güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi kullanımını sağlayarak bir hibrit sistem tasarlanması sağlanacaktır. Tasarlanan hibrit sistem modelinde gemi üzerine yerleştirilmesi planlanan rüzgâr tribünü ve güneş panelleri aracılığıyla elde edilecek enerjinin geminin elektrik ihtiyacının belirli bir kısmının karşılanması sağlanacaktır. Gemide tasarlanan hibrit sistemde ilk olarak güneş ve rüzgâr enerjisi ayrı bir şekilde tasarlanacak ve gemi ihtiyacını ne ölçüde karşıladığı görülecektir. Sonra ki kısımda ise modellenmesi yapılan bu hibrit sistemin tamamen birlikte çalıştırılması durumunda geminin elektrik enerjisi ihtiyacını hangi ölçüde ve oranda karşılayabileceği araştırılmıştır. Tasarlanan hibrit modellemenin simülasyon ve optimizasyon işlemleri HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric) programının kullanılması sonucunda elde edilecektir. Bu analiz sonucunda göre hali hazırda dünya de ve ülkemizde kullanılmakta olan gemilerin mevcut enerji tüketim sistemlerine göre en uygun enerji sistemi bulunmuş ve mevcut elektrik sistemlerine yön vermiş olacaktır.

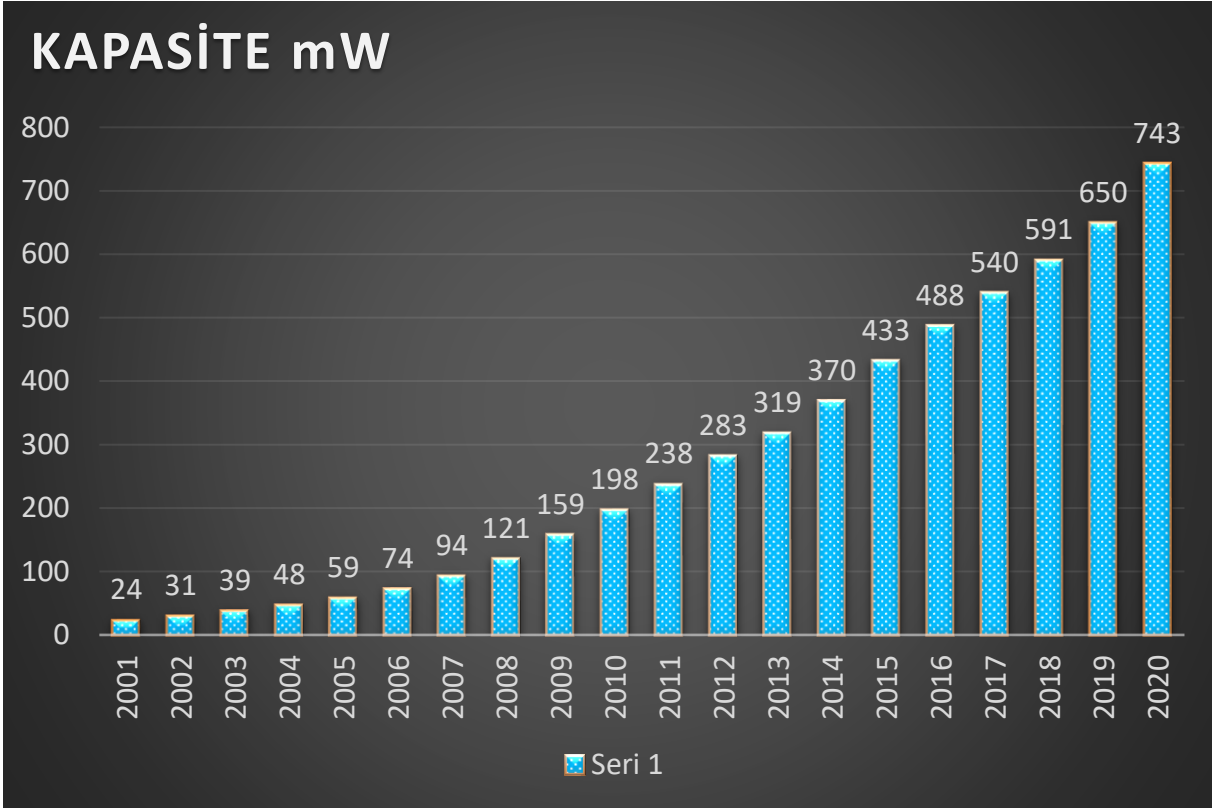
2.KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1 Rüzgâr Enerji Potansiyel

Dünyada hızla büyüme gösteren bir enerji kaynağı olan rüzgâr gücü yenilenebilir enerji kaynakları arasında em yaygın kullanılan enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak rüzgâr santrallerinin gücü de dünyada ivmeli bir şekilde artış göstermektedir. Bu artış hem karada hem de denizde oldukça net bir şekilde görülmektedir.

2.1.1 Dünya’da rüzgâr enerji potansiyeli

Son yıllarda, rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji geliştirme projeleri için dünyadaki tüm ülkelerde yaygın olarak üzerine çalışma yapılan alanların başında yer almaktadır. Rüzgâr enerjisinin geliştirme hızı oldukça hızlıdır. 1997’den 2004’e kadar rüzgâr enerjisinin küresel kurulu gücünün ortalama yıllık büyüme oranı %26,1’dir. Rüzgâr enerjisi teknolojisinin karadan denize doğru kademeli olarak genişlemesiyle, deniz rüzgâr enerjisi dünyanın yenilenebilir enerji gelişiminin odak noktası haline gelmiştir. Bu durum özellikle deniz ticareti ve ulaşımında kullanılmakta olan gemilerde rüzgâr enerjisi kullanılmasının zorunlu hale gelmesine neden olmaktadır. Dünyada ki deniz rüzgâr enerjisi temel olarak Avrupa’da 30’dan fazla ülkede inşa edilmiştir, kurulu kapasite 1000 MW’ın üzerindedir. Şekil 1 ‘de dünyada 2001 ile 2020 yılları arasında ki yirmi yıla ait rüzgâr enerjisi kurulu güç grafiği verilmiştir. Kara tabanlı rüzgâr gücü, deniz rüzgâr gücüne göre gelişimi daha yavaş olmaktadır. Küresel bağlamda rüzgâr gücü hali hazırda son teknolojik gelişmelerle birlikte hızlı bir gelişme göstermektedir. Denizdeki ortalama rüzgâr hızı karadakinden %25’in üzerinde daha hızlıdır. Deniz seviyesinin pürüzlülüğü de kara seviyesinden daha küçüktür. Bu durum deniz ortamlarında rüzgâr enerjisi kullanımının daha cazip hale gelmesine neden olmaktadır Bunun yanında deniz rüzgâr enerjisinin geliştirilmesi ve kullanımı gürültü, manzara, kuşlar ve elektromanyetik girişim açısından oldukça büyük avantajlar sağlamaktadır. Denizde rüzgâr enerjisinin kullanımı ve geliştirilmesi hava kirliliğine ve herhangi bir zararlı maddeye neden olmamaktadır. Bu durum sonucunda sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve çevre koruması için büyük bir değere sahip olmaktadır.



Şekil 1 Rüzgâr kurulum kapasiteleri

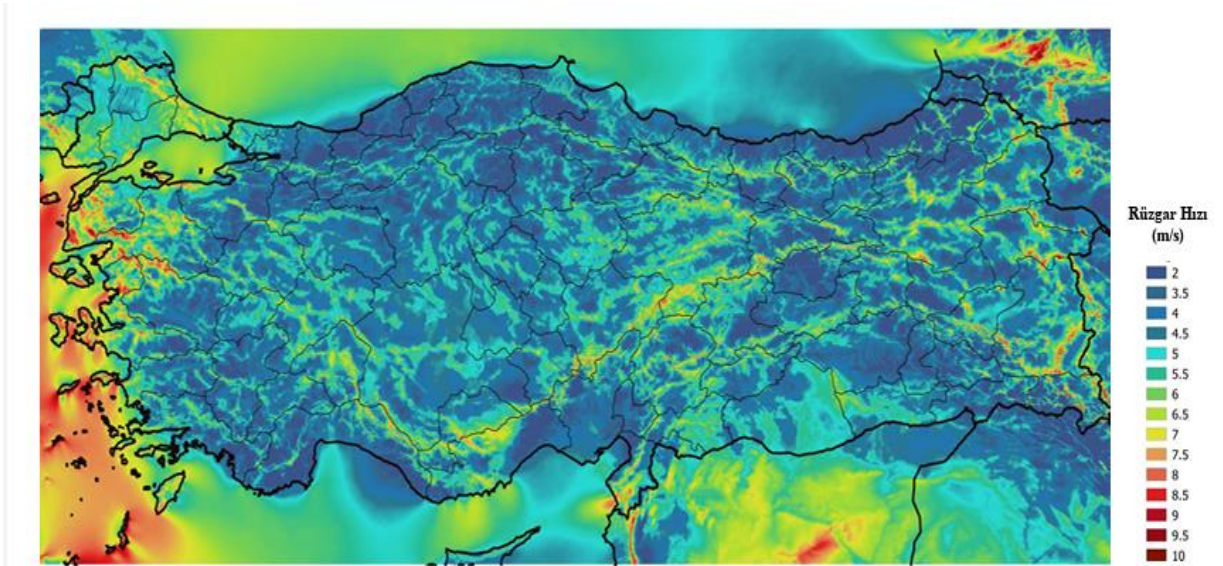
2.1.2 Türkiye’de rüzgâr enerji potansiyeli

Yapılan son araştırmalar neticesinde Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça yüksek verimliliğe sahip olduğu görülmektedir. Yenilenebilir Enerji Genel müdürlüğünün verileri doğrultusunda Hali hazırda Türkiye’de günlük ortalama 5,095.03 MW gücünde enerji üretimi yapılmaktadır. Yenilenebilir Enerji genel müdürlüğünün yayınlamış olduğu Türkiye’nin coğrafi bölgelerine ait ortalama rüzgâr hızı ve ortalama rüzgâr enerjisi yoğunluğu Tablo 1. de verilmiştir. Ortaya çıkan veriler doğrultusunda Türkiye’de rüzgâr enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu bölgelerden birinin de Ege bölgesi olduğu görülmektedir. Sonuç olarak Marmara ve Ege bölgeleri ve bu bölgeleri de içine alan deniz kısımlarında kurulacak olan rüzgâr türbinleri enerji üretimi açısından yüksek verimliliğe sahip olacaktır. Veriler doğrultusunda Ege bölgesinin rüzgâr enerjisi açısından denizde ve kara da oldukça yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar neticesinde Ege denizinde görev yapmakta olan gemilerde rüzgâr enerjisinin kullanılmasının yüksek verimliliğe sahip olacağı ve bu durumda emisyon salınımı üzerinde düşümlere neden olacağı sonucuna varılmaktadır.

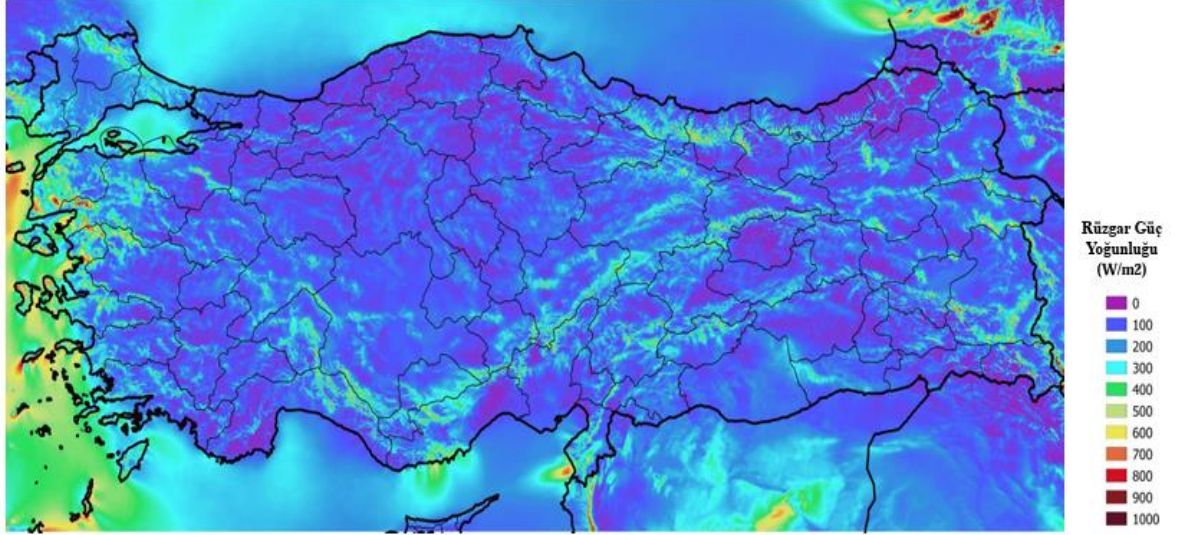
Tablo 1 Bölgelere ait ortalama rüzgâr hızı ve ortalama rüzgâr enerji yoğunluğu

Bölge Adı	Ortalama Rüzgâr Hızı(m/s)	Rüzgâr Güç Yoğunluğu (w/m ²)
Marmara Bölgesi	3.29	51.91
Ege Bölgesi	2.65	23.47
Akdeniz Bölgesi	2.45	21.36
İç Anadolu Bölgesi	2.46	20.14
Karadeniz Bölgesi	2.38	21.31
Doğu Anadolu Bölgesi	2.12	13.19
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	2.69	29.33
Toplam	2.58	25.82

Yukarıdaki tablo incelendiğinde ortalama rüzgâr hızı ve ortalama rüzgâr güç yoğunluğu açısından Marmara ve Ege bölgelerinin yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bu durum neticesinde hibrit sistem tasarlanması yapılan geminin Ege bölgesinde faaliyet gösteren bir gemi olması sebebiyle gemiye kurulacak olan rüzgâr türbinlerinin enerji verimliliğinin de yüksek olacağı görülmektedir. Ülkemiz de belirlenen bölgelere kurulan ölçüm istasyonlarına ait verilerin kullanılması sonucunda 100 metre yükseklikte ki rüzgâr hızı ve rüzgâr güç yoğunluğu değerlerini referans alacak şekilde REPA elde edilmiştir. REPA verileri sonucunda elde edilen 100 metre yükseklikteki Türkiye’de yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı Şekil 2 de, 100 metre yükseklikte Türkiye’de yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı Şekil 3 de verilmiştir.



Şekil 2. Türkiye’de yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı

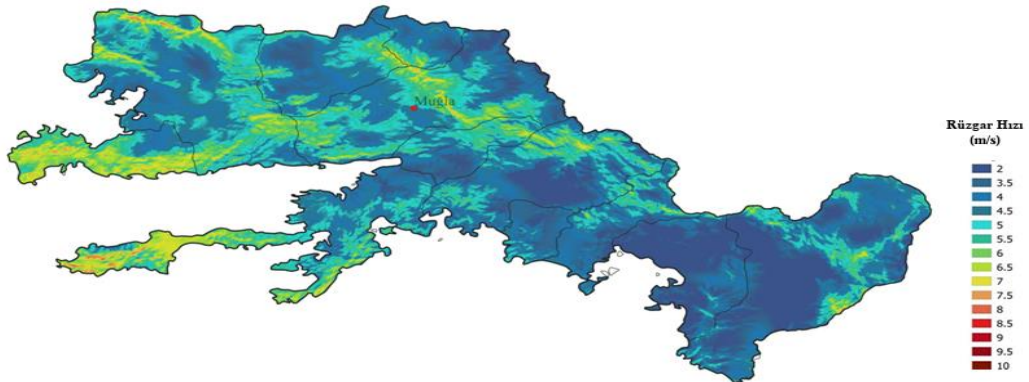


Şekil 3. Türkiye’de yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğu

2.1.3 Muğla ilinin rüzgâr enerji potansiyeli

Hali hazırda rüzgâr enerjisi kullanılması sağlanacak olan geminin Muğla ve İzmir illeri arasından çalışmakta olan bir gemi olması sebebiyle bahse konu bu iki ilin ve deniz sahasının da rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenmektedir. Enerji İşleri Genel Müdürlüğünden elde edilen veriler ışığında Muğla ‘da minimum rüzgâr hızının 1,46 m/s, ortalama rüzgâr hızının 4,42 m/s ve maksimum rüzgâr hızının ise 8,39 m/s olduğu görülmektedir. Muğla iline ait yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde özellikle kıyı kesimlerinin rüzgâr hızının oldukça yüksek olduğu ve geminin deniz üstünde ki hareketiyle birlikte rüzgâr hızının enerji üretme potansiyelinin daha yüksek seviyelere çıkaracağı görülmektedir.

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMI

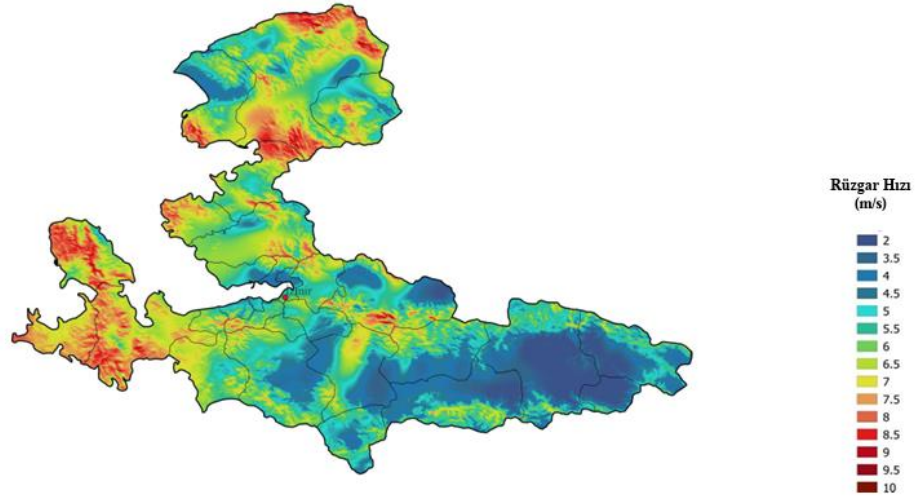


Şekil 4. Muğla iline ait yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı

2.1.4 İzmir ilinin rüzgâr enerji potansiyeli

Hali hazırda rüzgâr enerjisi kullanılması sağlanacak olan geminin Muğla ve İzmir illeri arasından çalışmakta olan bir gemi olması sebebiyle bahse konu bu iki ilin ve deniz sahasının da rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenmektedir. Enerji İşleri Genel Müdürlüğünden elde edilen veriler ışığında İzmir 'de minimum rüzgâr hızının 1,46 m/s, ortalama rüzgâr hızının 4,42 m/s ve maksimum rüzgâr hızının ise 8,39 m/s olduğu görülmektedir. İzmir iline ait yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde özellikle kıyı kesimlerinin rüzgâr hızının oldukça yüksek olduğu ve geminin deniz üstünde ki hareketiyle birlikte rüzgâr hızının enerji üretme potansiyelinin daha yüksek seviyelere çıkaracağı görülmektedir.

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMI



Şekil 5. İzmir iline ait yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı

2.2. Güneş Enerjisi Üretim Potansiyeli

Dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi sebebiyle gece ve gündüz döngüsü oluşmaktadır. Oluşan bu döngü neticesinde güneş enerjisi sadece gündüz vakitlerinde kullanılabilir. Güneş enerjisinin gün boyunca süreklilik arz etmemesi sebebiyle sistemlerin enerji beslemesinin de tek başına kullanılması durumunda çok verimli olmamaktadır. Bununla birlikte güneş enerjisi yeryüzüne farklı noktalar da değişik miktar ve oranlarda kullanılmaktadır.

2.2.1 Dünya da güneş enerjisi potansiyeli

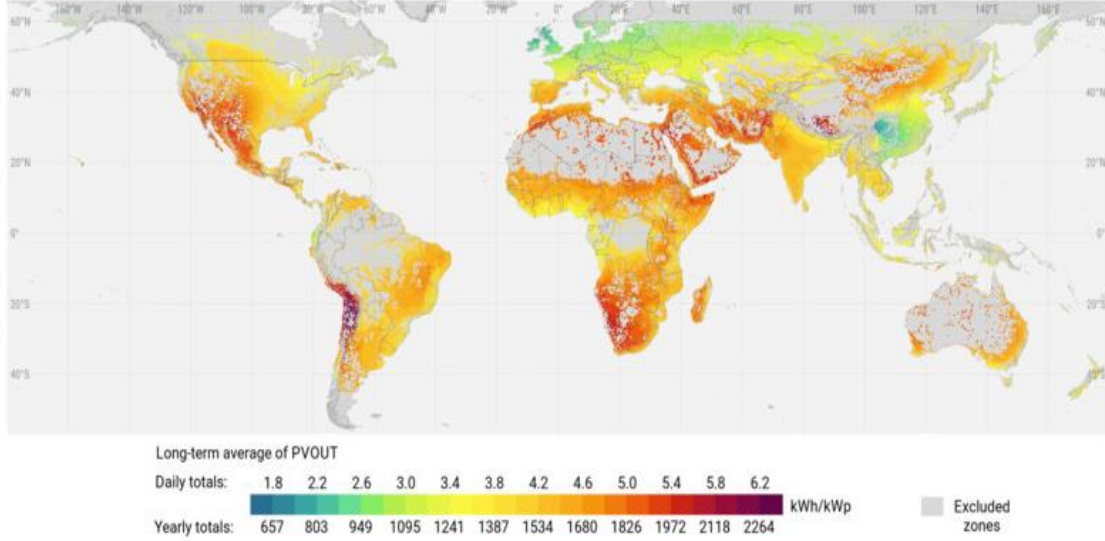
Dünyaya 160 km uzaklıkta bulunan atmosferin üst sınırında güneş ışınlarının gelişine dik bir yüzeye gelen ortalama güneş enerjisi yoğunluğu yani güneş sabiti yaklaşık 1,37 kW/m²'dir.

Gezegen üzerinde ki yıllık güneş radyasyonu ortalama olarak kurak olan bölgelerde 200-2500 kWh/ m², daha üst enlemlerde de 1000-1500kWh/m² arasına bulunmaktadır. Dünya Güneş Kuşağı olarak adlandırılan bölge, ekvatorun 35° kuzey ve güney enlemleri arasında yer almakta ve güneş enerjisinden en fazla fayda sağlayan alan olarak öne çıkmaktadır. Bu bölge yılda 2000-3500 saat güneş almakta olup, güneş enerjisi potansiyeli ise günlük 3.5-7 kWh/m² arasında değişmektedir. Dünyanın farklı bölgelerine ait güneş radyasyon verileri Tablo 2.'de gösterilmiştir. Belirtilen tabloda ki değerlere istinaden Türkiye'nin dünya da bulunduğu konum itibariyle ortalama güneş radyasyon miktarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum Türkiye açısından hem kara hem de deniz sınırlarında güneş enerjisi bakımından oldukça verimli olduğunu göstermektedir.

Tablo 2 Dünya Güneş Radyasyon Verileri

Bölge/Bölge Tipi	Ortalama Güneş Radyasyonu(kWh/m ² /yıl)
Çöl ve Kurak Bölgeler (Orta Doğu)	2000-2500
Tropikal Bölgeler(Endonezya)	1500-2200
Orta Enlemler (Avrupa, Türkiye)	1200-1700
Yüksek Enlemler(Kanada)	1000-1500
Ekvator Kuşağı (35°Kuzey & Güney)	1277-2555
Güneş Kuşağı Ülkeleri(Hindistan)	1800-2400

Hali hazırda dünyada sürekli olarak artan bir enerji ihtiyacı bulunmaktadır, ortaya çıkan bu enerji ihtiyacının karşılanması konusunda güneş enerjisi hem kara da hem de denizde bulunan enerji ihtiyacının karşılanmasında oldukça etkili olmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı 2021 yılında yaptığı açıklamaya göre, güneş enerjisinin küresel sistemdeki enerji payının %1 olduğu ve bu oranın 2050 yılında %20'ye yükseleceği öngörülmektedir. Bu durum güneş enerjisinin dünyanın enerji ihtiyacının karşılanması konusunda güneş enerjisinin önemine dikkat çekmektedir. Hali hazırda dünya çapındaki taşımacılık alanında kullanılmakta olan yük ve konteyner gemileri içinde güneş enerjisi büyük bir potansiyel olarak karşımıza çıkmaktadır.

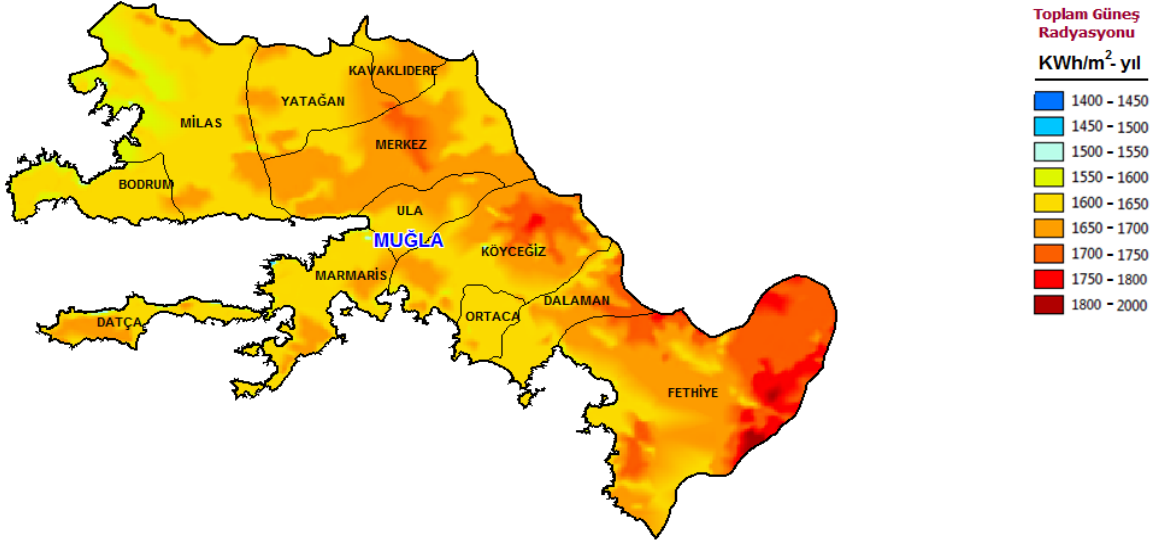


Şekil 6. Dünya fotovoltaik güç potansiyeli

Dünya fotovoltaik güç potansiyeline ait şekil 6. incelendiğinde Türkiye ve etrafını çevreleyen denizlerimizin bulunduğu alanların günlük ve yıllık güneş enerjisi potansiyellerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun doğal bir sonucu olarak Türkiye’de özellikle Ege ve Akdeniz de kullanılmakta olan gemilerin enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik olarak tasarlanacak olan güneş enerji sistemlerinin özellikle yük gemilerinde yüzey alanlarının daha geniş olacağı sebebiyle yüksek verimliliğe sahip olacağı görülmektedir.

2.2.2 Muğla’nın güneş enerjisi potansiyeli

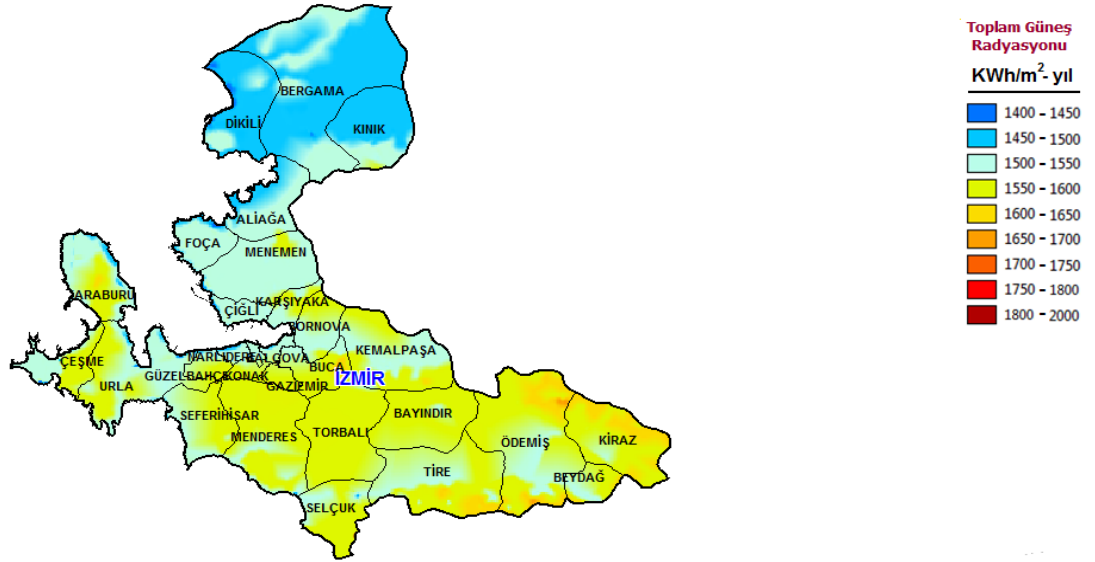
Hali hazırda güneş enerjisi sisteminin kurulması planlanan geminin ana faaliyet merkezlerinden biri Muğla’dır. Bahse konu sebepten dolayı Şekil 7 ‘de belirtilen Enerji İşleri Genel Müdürlüğünden elde edilen Muğla iline ait Güneş enerjisi Potansiyel atlasında bulunan toplam güneş radyasyonu verisi incelendiğinde Muğla ilinin toplam güneş radyasyonu yıllık ortalama 1650-1700 kWh/m² olduğu görülmektedir. Güneşten elektrik enerjisi üretmenin en temel kaynağı güneş radyasyon verisidir dolayısıyla Muğla iline ait bu veriler bahse konu geminin enerji üretimi açısından oldukça büyük bir avantaj sağlayacaktır. Güneş enerjisinden elde edilecek enerji miktarı yükseldikçe doğaya salınım yapılan sera gazı miktarının da ters orantılı olarak düşmesine neden olacaktır. Bu durumun özellikle gemiler için büyük öneme haiz olmasının sebebi gemilerde elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması için çok yüksek miktarlarda fosil yakıtlar kullanıldığı görülmektedir. Dünya Denizcilik Örgütünün 2050 yılına kadar emisyon miktarının %0 oranına düşürülmesini gerçekleştirmek açısından da güneş enerjisini tam kapasite de kullanmak gerekmektedir.



Şekil 7. Muğla iline ait toplam güneş radyasyon dağılım haritası

2.2.3 İzmir'in güneş enerjisi potansiyeli

Hali hazırda güneş enerjisi sisteminin kurulması planlanan geminin ana faaliyet merkezlerinden bir diğeri il ise İzmir'dir. Güneş enerji sisteminin hangi oranda enerji ihtiyacını karşıladığının hesaplanabilmesi adına İzmir iline ait verilerinde incelenmesi gerekmektedir. Şekil 8 'de belirtilen Enerji İşleri Genel Müdürlüğünden elde edilen İzmir iline ait Güneş enerjisi Potansiyel atlasında bulunan toplam güneş radyasyonu verisi incelendiğinde İzmir ilinin toplam güneş radyasyonu yıllık ortalama 1550-1600 kWh/m² olduğu görülmektedir. Güneşten elektrik enerjisi üretmenin en temel kaynağı güneş radyasyon verisidir dolayısıyla İzmir iline ait bu veriler bahse konu geminin enerji üretimi açısından oldukça büyük bir avantaj sağlayacaktır. Yük Gemileri aldıkları yükü hemen buldukları limana boşaltımını sağlayamadıkları zamanlar olabilmektedir. Böyle zamanlarda 30 gün ve daha fazla süreler boyunca buldukları illerde limandan açıkta belirlenen noktalarda alarga edilebilmektedir. Gemilerin alarga durumlarında bekleme noktaları yük boşaltımı yapacakları limana yakın noktalar olmaktadır. Bu durumda gemilerin alarga da bekleme durumunda buldukları ilin radyasyon verilerine önemli bir duruma taşımaktadır. Gemilerin elektrik enerjisi ihtiyacı alarga durumunda seyir durumuna göre daha düşük olmaktadır bu durumda, gemilerin alarga durumlarında geminin enerji ihtiyacını daha yüksek oranda güneş ve rüzgâr enerjisinden karşılanmasına neden olacaktır. Böylelikle geminin doğaya salınım yaptığı sera gazı miktarında da düşüşler meydana gelecektir.



Şekil 8. İzmir iline ait toplam güneş radyasyon dağılım haritası

2.3 Literatür Taraması

Belirtilen bu kısımda kara da ve denizde enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik olarak yapılmış olan rüzgâr ve fotovoltaik ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilen enerji kaynaklarına ilişkin literatürde yer alan çalışmaların özetleri verilmektedir.

Yupeng Y. (2023) tarafından yapılan çalışmada; yerleşik bir pil depolama sistemine sahip birleşik şebekeye bağlı bağımsız bir güneş sistemi tasarımı yapmıştır. Çalışma akıllı dağıtılmış bir kontrol algoritması benimseyen ve enerjinin optimum tahsisini ve planlamasını gerçekleştirmek için birden fazla enerji birimi (jeneratörler, enerji depolama ekipmanı, yenilenebilir enerji vb.) arasındaki iş birliğinden yararlanan dağıtılmış bir enerji yönetim strateji oluşturmasını sağlamıştır. Yapılan çalışmada kara güç sistemlerinden farklı olarak, gemi güç sistemine yeni bir enerji kaynağı oluşturulması sağlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda dizel jeneratör, fotovoltaik güç üretim sistemi ve enerji depolama sistemi dikkate alınarak yeni enerji hibrit gemi sistemi modelinin oluşturulmasını sağlamıştır. Bu çalışma sonucunda gemilerde güneş hibrit sistemlerinin kullanılması sonucunda teorik olarak yakıt tüketimi yılda %4,02 ve karbondioksit emisyonlarını yılda %9,55 oranında azaltılabileceği gösterilmiştir.

Rui Y. (2020) işletme sürecinde, nakliye işletmeleri uluslararası denizcilik toplumu tarafından uygulanan sera gaz azaltımının artan baskısı altında bulunmaktadır. Bu nedenle, fosil yakıt enerjisi kullanan geleneksel dizel yakıtlı gemiler tarafından kaçınılmaz ve önlenemez olan sorun, deniz kirleticilerinin emisyonunu etkili bir şekilde kontrol etmek ve azaltmak için acili yet arz ettiği belirtilmiştir. Enerji üretimi ve tüketimindeki devrimi kapsamlı bir şekilde teşvik

ederek ve temiz enerjinin kullanımının teşvik edilmesi yoluyla temiz, düşük karbonlu, güvenli ve verimli bir modern enerji sistemi inşa ederek, su taşımacılığı endüstrisinin enerji yapısı dönüşümü, enerji tasarrufu ve emisyon azaltma faydaları giderek daha belirgin hale geleceği belirtilmiştir. Yeni gemi enerji güç sisteminin temel teknolojisinin başarılı bir şekilde uygulanması durumunda ulaştırma endüstrisinde gemi enerji kullanım verimliliğinin teşvik edilmesinde, yakıt tüketiminin azaltılmasında ve gemi emisyon kontrol inşasının etkili bir şekilde desteklenmesinde önemli bir rol oynayacağına değinilmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımının artırılması iki ana nedenden ötürü gündeme geldi; yakıt fiyatlarındaki artıştan kaynaklanan ekonomik neden ve Uluslararası Denizcilik Örgütü(IMO) tarafından gemilerden kaynaklanan toksik emisyonların azaltılmasına yönelik getirilen kısıtlamalardan kaynaklanan çevresel nedendir. Bir diğer sebep ise ülkelerin bahriyelerinde bulunan savaş gemilerinde denizaltında ararken veya mayın tarlasına girerken sessiz çalışma modundan kaynaklanmaktadır. Güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının gemilerde kullanılırken bazı zorluklar yaşanmıştır. Bu zorlukların başında maliyet ve bulunabilirlik gelmektedir. Güneş enerjisi bazen ihtiyaç duyulduğu sırada mevcut olmamasıdır. Geleneksel enerji kaynakları her zaman mevcuttur ancak yenilenebilir enerjiden elde edilen çıkış gücü günden güne ve mevsimsel olarak değişir ve ayrıca gemi konumuna ve çevre koşullarına bağımlılık gösterir ve kontrol edilmesi gerekir. Yenilenebilir enerji, sağlam kontrol teknikleriyle kullanılabilmesi için çaba gerektirdiğinden bahsedilmektedir. Gemi yüzeyinde güneşe maruz kalan geniş alanlar, en ucuz yenilenebilir güç kaynağı olan güneş hücresinin kullanılmasına olanak tanır. Burada önerilen modelde bir PV modülü kullanılarak sisteme güneş enerjisi eklenerek değiştirildiğinden bahsedilmektedir.

Sibel D. (2016) tarafından yapılmış olan çalışmada, Kırklareli Üniversitesi Kayalı mevki yerleşkesinde bulunan Derslik'2 binasına ait enerji tüketiminin güneş ve rüzgâr gibi birden fazla yenilenebilir enerji kaynağı kullanarak karşılanabileceği üzerine analizler yapmıştır. Bu bağlamda, kullanıcıların ihtiyaçlarına göre tasarlanmış hibrit enerji sistemi uygulamasıyla rüzgâr, biyokütle ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla yük ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada biyokütle potansiyelini elde edebilmek için Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK) elde edilen büyük ve küçükbaş verileri sonucu değerler elde edilmiştir. Yapılması planlanan sistemlere ait bugüne ait parasal miktara göre sıralama yapabilen ve her bir enerji kaynağının birbiriyle olan maliyet analizini yapılabilmesi adına HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric) programından faydalanılmıştır. Yapılan bu analiz sonucunda Sibel D.'nin tasarlamış olduğu hibrit sistemlerin

yapım ve inşa maliyetlerinin yüksek olmasına karşın sistemin ekonomik kabul edilebileceğini öngörmektedir. Yapmış olduğu çalışmanın son kısmında ise rüzgâr, güneş ve biyokütle enerji kaynakları kullanılarak tasarlanması yapılan hibrit enerji sisteminin birbirleriyle olan karşılıklı analiz sonuçlarına ilişkin verilerden oluşan sonuçların irdelenmesi yapılmıştır.

Eromosele O. (2023) tarafından yapılan çalışmada Nijerya’da artan enerji talebinin temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelik güçlü bir yönlendirmeyi teşvik ettiğini, bu durumda güneş ve rüzgâr temelli hibrit enerji sistemlerinin entegrasyonuna yönelik önemli çalışmalar yapılmasına neden olduğundan bahsedilmiştir. Bu tez çalışması sonucunda Nijerya’ya ait enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik olarak güneş ve rüzgâr temelli hibrit enerji sistemlerine ilişkin önemli sonuçlar ortaya çıkartılmıştır. Oluşturulan bu hibrit sistemin şebekeye bağlanması üzerine tartışmalar yapılmıştır. Oluşturulan sisteme ait enerji üretimini ve verimliliğini en yüksek kapasiteye ulaştırabilmek amacıyla rüzgâr türbini ve fotovoltaik gibi enerji verimliliği yüksek olan sistemlerin önemli olduğundan bahsetmiştir. Oluşturulan hibrit enerji sisteminin doğruluk, kontrol ve duyarlılığına ilişkin değerlendirilmeleri yapabilmek adına MATLAB programından yararlanılmıştır. Bağlantılı ve bağımsız hibrit sistem için şebekeye ait hat kayıplarının analiz edildiğinden de bahsedilmektedir. Yapmış olduğu çalışmanın son kısmında ise Nijerya’nın mevcutta bulunan elektrik şebekesine yapılması planlanan hibrit sistemin entegrasyonuna ilişkin zorluklar ve bu zorluklara ilişkin çözümlerden bahsedilmiştir.

Elnur A. (2023) tarafından yapılan çalışmada rüzgâr ve güneş enerji kaynakları kullanılarak bir hibrit sistem tasarımı yapılmış ve sonrasında bu hibrit sistemin gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Hibrit sistemin iki veya daha fazla enerji kaynağı kullanılarak oluşturulan sistemler olduğundan bahsedilmiştir. Hibrit sistemlerin kullanılmasının enerji verimliliğini maksimum seviyeye çıkartarak, fosil kaynakların kullanım miktarının kullanımını azaltacak ve bu durum sera gazı salınımını düşüreceğinden bahsetmiştir. Tasarlanan hibrit sistemin analiz ve gerçekleştirilmesi HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric) programının aracılığıyla yapılmıştır. Üretilen enerjinin pillerde depolanması sağlanarak ihtiyaç durumunda kullanılması sağlanmıştır. Güneş panelleri ve rüzgâr türbinin enerji üretimi yapamaması durumunda ise yük ihtiyacı on-grid bağlantısından karşılanacağından bahsedilmiştir. Son kısımda ise tasarlanan hibrit sistemin performans değerlendirmesi yapılarak optimizasyonu yapılmıştır.

Muhammad M. (2022) tarafından yapılan çalışmada dünyada artan çevre kirliliğinin önlenmesi adına deniz taşımacılığı için tamamen elektrikli gemi tahrik teknolojisi

kullanılmasını hedeflemektedir. Hibrit sistemlerin gemiler için oldukça büyük enerji potansiyeline sahip olduğundan bahsetmiştir. Bahse konu durumun gerçekleştirilebilmesi adına güneş panelleri, proton değişim membranı yakıt hücresi ve su elektrolizöründen oluşan sıfır emisyonlu bir geminin gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Gündüzleri güneş panelleri enerji kaynağı olarak kullanılmakta akşamları ise yakıt hücresi enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Yük üretim dengesini sağlamak, sistem verimliliğini ve güvenliğini arttırmak için bir enerji yönetim şeması uygulanmıştır. Enerji kaynaklarının içsel doğrusal olmaması nedeniyle, sistemin her koşulda enerji yönetim şemasına göre çalışmasını sağlamak için doğrusal olmayan bir kontrol stratejisi kullanılmıştır. Son olarak, sistem MATLAB/Simulink'te simüle ve analiz edilmiştir.

Gülay K (2010) tarafından yapılan çalışmada dünyada artan küresel ısınma ve fosil yakıtların kullanılması neticesinde doğaya salınan sera gazı miktarının arttığı ve ortaya çıkan bu artışın önüne geçebilmek adına yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminden bahsetmektedir. Kütahya ilinde bulunan üniversitenin merkez kampüsünün enerji ihtiyacının rüzgâr ve güneş enerji sistemi kullanılarak tasarlanan bir hibrit sistemden karşılanması incelenmektedir. Şebekeden bağımsız ve şebekeye bağımlı olmak üzere iki durum içinde analizler yapılmıştır. Son kısımda ise tasarlanan bu hibrit sistemin tekno ekonomik analizi yapılmıştır.

Ferhat U. (2023) tarafından yapılan çalışmada ticari gemilerin yardımcı güç sistemlerinde hibrit depolama enerji sistemlerinin kullanılarak gemiler sebebiyle ortaya çıkan emisyon miktarının azaltılması ve enerjinin hibrit sistemden karşılanması amaçlanmıştır. Örnekleme yapılan geminin iki yıllık yakıt tüketim ve emisyon analizleri ortaya çıkartılmıştır. Sonra ki aşamada yapılan çalışmada yardımcı makinelerin hibrit sistemle entegrasyonu sonucu ortaya çıkan durum analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda tasarlanan hibrit sistemin gemi tarafından açığa çıkarılan emisyon miktarında ciddi miktarda düşüşler meydana geldiği görülmüştür. Son kısımda ise tasarımı yapılan hibrit sistemin avantaj ve dezavantajları üzerinde karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bengisu K. (2020) tarafından yapılan çalışmada dünyada her geçen gün artan nüfus artışı sonucunda ortaya çıkan enerji ihtiyacının da her geçen gün giderek artacağı sonucu ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu enerji ihtiyacının sadece fosil yakıtlardan karşılanması durumunda sera gazı salınımının dünyaya büyük zarar vereceği sonucunun ortaya çıktığından bahsedilmiştir. Bu problemin önüne geçebilmek adına yenilenebilir enerji kaynaklarının daha efektif bir şekilde kullanılması gerektiğinden bahsedilmektedir. Bu sonuç doğrultusunda bir hanenin enerji ihtiyacının güneş ve rüzgâr enerjisi tasarlanarak karşılanması üzerine analiz

yapılmıştır. Son kısımda ise tasarlanan bu hibrit sistemin teknik ve ekonomik analizi yapılmıştır.

Jayasinghe S. (2019) kirlilik ve deniz yakıtlarının ekosistem üzerindeki etkilerinin denizcilik sektöründe gün geçtikçe artan bir problem olarak ortaya çıktığını belirtmiştir. Bahse konu bu problemin çözülebilmesi adına en önemli aşamanın doğaya salınan emisyon miktarının azaltılması olduğundan bahsetmiştir. Emisyon miktarının azaltılması için dizel elektrik jeneratörleri ile birlikte gemilerde pil enerji depolama sistemleriyle birleştirilmesinin gemi güç sistemleri için kullanılabileceğine değinilmiştir. Fakat yapılacak olan bu hibrit enerji sisteminin daha çok küçük feribotlarda kullanılabilir olduğu büyük güç ihtiyacı olan gemilerde çok efektif olamayacağı sonucuna varılmıştır. Tasarımı yapılan feribotta yakıt miktarının azaldığı ve doğaya salınan emisyon miktarında %8 lik azalma meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

Mohab G. (2019) tarafından yapılan çalışmada, özellikle son yüzyılda fosil yakıtların bitme tehlikesiyle karşı karşıya olması ve doğaya verdikleri zararlar neticesinde elektrikle çalışan gemilerin tasarlanması ve yapılmasını zorunlu hale getirdiğinden bahsetmiştir. Gemi yüklerinin ihtiyaç duyduğu elektrik gücü ile IMO arasındaki uyum sonucunda hibrit sistem yakıt hücreleri, yenilenebilir enerji kaynakları depolama sistemleri ve içten yanmalı dizel makinalardan oluştuğu belirtilmiştir. Yenilenebilir enerjinin, rüzgâr ve güneş enerjisinin ağır donanma gemilerinde de kullanılabileceği üzerinde durulmuştur. Özellikle rüzgâr enerjisinin yakıt tasarrufu sağlamak ve zehirli gaz emisyonlarını azaltmak için denizde oldukça kullanışlı olduğunu belirtmiştir. Güneş enerjisinin ise gemilerde elektrik üretiminde kullanılabileceği fakat elde edilecek elektrik enerjisinin ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinden düşük olacağından bahsedilmiştir. Fotovoltaik modüllerin kullanılması sonucunda elde edilen güç, her bir konum için güneş ışınımına, güneş hücrelerinin verimliliğine ve PV panellerini kurmak için kullanılan donanma gemilerindeki sonlu kompakt alana bağlı olduğu belirtilmiştir. Donanma gemilerinin kavisli kısmında kullanılmak üzere hafif esnek PV modüllerinin kullanılabileceğinden bahsedilmiştir. Sonuç kısmında ise bu şekilde hibrit gemilerin tasarlanmasının fosil yakıt tüketimini ve emisyon miktarını büyük bir oranda düşürebileceğinden bahsedilmektedir.

Bayan H. (2020) tarafından yapılan çalışmada, yakıt fiyatlarındaki artıştan kaynaklanan ekonomik nedenler ve uluslararası denizcilik örgütü (IMO) tarafından gemilerden kaynaklanan toksik emisyonların azaltılmasına yönelik getirilen kısıtlamalardan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının gemilerde kullanılması gerektiğinden bahsedilmektedir. Ülkelerin Deniz Kuvvetlerinde bulunan savaş gemilerinde mayın tarlasına girerken ve denizaltı ararken sessiz

çalışma modun da çalışabilmesi içinde yenilenebilir enerji kaynakları oldukça önem arz etmektedir. Burada yenilenebilir enerji kaynaklarının gemilerde kullanılması sırasında geminin konumunun sürekli olarak değişmesi ve çevre koşullarına bağlı olması sebebiyle dezavantajlardan da bahsedilmektedir. Tüm elektrikli gemilerin entegre güç sistemleri ve akıllı şebeke teknikleri kullanılarak tüm sistem seviyelerinde yüksek düzeyde kontrol teknolojileri kullanılarak çalıştırılması gerektiğine değinilmiştir. Sonuç kısmında ise yenilenebilir enerji kaynaklarının gemi tahrik sistemlerinin kullanmasında çok efektif olmayacağı fakat diğer enerji ihtiyaçlarında kullanılabileceğinden bahsedilmektedir. Böylelikle doğaya salınan emisyon miktarının da düşmesini sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Jingyi Y. (2024) tarafından yapılan çalışmada Saf Elektrikli Gemilerin tanıtımı, nakliye sektöründe kullanılmakta olan gemilerin enerji tasarrufu ve emisyonun azaltılmasından bahsedilmektedir. Farklı sayıda saf elektrikli geminin devreye alınmasından sonra bir liman şebekesinin yenilenebilir enerji tüketim kapasitesini değerlendirmek üzere bir havza üzerinde bulunan şarj yükünü, liman şebekesinin toplam yükünün tahmin sonucunu elde etmek için olasılıklı modellemeye tabi tutulması sağlanmaktadır. Sonrasında ise rüzgâr enerjisi ve fotovoltaik enerji santrali için olasılık dağılım modeli oluşturulmasından bahsedilmektedir. Oluşturulması sağlanan bu model sayesinde yük eğrisi ve geleneksel birim çıktısı, yenilenebilir enerji tüketim olasılığı alanını elde etmek için birleştirilir ve nihayetinde yenilenebilir enerji tüketim oranını elde etmek için bir olasılık işleminin gerçekleştirilmesi sağlanabileceğinden bahsedilmektedir. Sonuç kısmında ise sayısal bir örneğe dayanarak, devreye alınan gemi sayısı ile liman şebekesinin yenilenebilir enerji tüketim oranı arasındaki ilişki tahmin edilmektedir. Bu çalışmada önerilen yöntemin uygulanabilirliğini doğrulanması ve yenilenebilir enerji üretim istasyonlarının inşaat ölçeğini belirlenmesinde yardımcı olmaktadır.

Gert R. (2022) Uluslararası Denizcilik Örgütü(IMO) tarafından yapılan araştırma sonucuna göre deniz araçlarının yılda 940 milyon ton CO₂ salınımı yapılmasına neden olarak küresel sera gazı emisyonunun %2,5'ine sebep olduğundan bahsetmektedir. Bahse konu problemin çözülmesi maksadıyla bir yakıt hücresi ve pillerin kullanılması AC dağıtımlı yeşil bir geminin modellenmesinin yapılmasını sağlayarak emisyon miktarının büyük ölçüde düşürülmesinden bahsedilmektedir. Bir fotovoltaik sistem ve pil enerji depolama sistemi yapılması sağlanarak geminin elektrik enerjisini karşılayan dizel jeneratörün daha az çalıştırılması sağlanmış ve daha az yakıt tüketildiği görülmüştür. Bahse konu çalışmanın MATLAB-SİMULİNK ortamından

simülasyonu yapılmıştır. Sonuç kısmında ise yapılan bu hibrit sistem sonucunda yakıt tüketiminin azalmakta ve atmosfere salınan sera gazı miktarında düşüş olduğundan bahsetmektedir.

3. YÖNTEM

3.1. Gemi Sistemleri

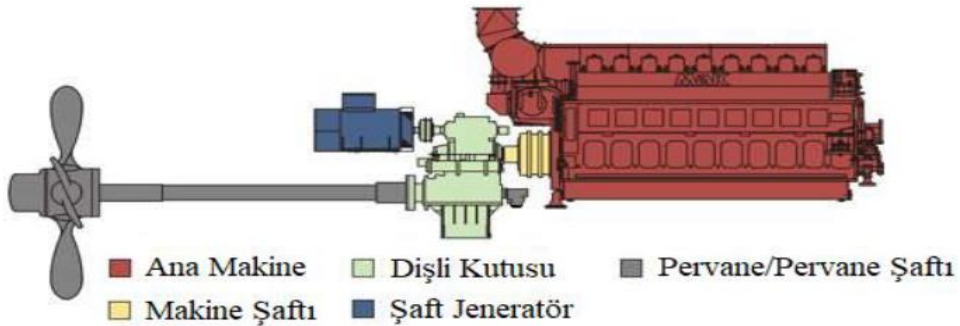
Hali hazırda denizlerde görev yapmakta olan gemilerde elektrik sistemleri ve makine sistemleri olmak üzere iki ana sistem bulunmaktadır.

3.1.1. Gemi makine sistemleri

Gemilerde ihtiyaç duyulan hareket kabiliyetinin gerçekleştirilmesi için ihtiyaç duyulan sistemler bütünüdür. Gemi makine sistemleri; ana tahrik ve sevk makineleri, yardımcı makineler, güverte yardımcı makineleri, seyir ve manevra yardımcı makinelerini kapsamaktadır.

3.1.1.1. Ana tahrik ve sevk makineleri

Gemi makine sistemlerinin en önemli bileşeni de gemi sevk sistemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Gemi sevk sistemlerinin görevi ise geminin hareketini sağlayarak hem ileri yönde hız kazanmasını hem de durma, geri gitme ve yön değiştirme gibi manevralar için ihtiyaç duyulan gücün elde edilmesini sağlamaktadır. Gemi makine sistemleri geminin ana makinasından elde edilen gücü makinanın şaft ve dişli kutusundan geçerek geminin kıç kısmında bulunan pervanelerin dönme hareketini sağlar ve bu sayede geminin ileri ya da geri yönde hareket etmesi sağlanmış olur. Şekil 9'da gemi sevk sistemleri ve bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 9. Gemi sevk sistemi ve bileşenleri[URL-1]

3.1.1.2. Yardımcı makineler

Gemi makinaları arasında, tahrik ve sevk görevini yerine getiren ana makine dışında kalan ekipmanlar yardımcı makine olarak adlandırılmaktadır. Bu yardımcı makineler; enerji üretimi, ısı transferleri, iletim ve dağıtım, iklimlendirme, filtreleme ve atık yönetimi gibi çeşitli alt sistemlerde görev yapmaktadır.

3.1.1.3. Güverte yardımcı makineleri

Gemilerde, doğrudan tahrik sistemleri ile bağlantısı olmayan ancak geminin yükleme, boşaltma, manevra ve genel operasyonlarını destekleyen birçok yardımcı makine ve donanım bulunmaktadır. Bu makineler, gemi güvertesinde görev yapan ve operasyonel işlevleri yerine getiren sistemler oldukları için güverte yardımcı makineleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıfa giren makinelerin başında, yükleme ve boşaltma işlemlerinde kullanılan vinçler gelmektedir. Şekil 10'da gemilerde bulunan vinç sistemi gösterilmiştir. Yük vinçleri ve kreynler, konteyner, dökme yük veya genel kargo gibi farklı yüklerin güvenli ve verimli şekilde taşınmasını sağlamaktadır. Demir ve halat ırgatları ise geminin yanaşması, demirleme ve bağlama işlemlerinde kullanılmaktadır. Irgat sistemleri, zincirlerin ve halatların kontrollü bir şekilde boşaltılıp toplanmasını sağlamaktadır. Bu sistemler, Elektro-hidrolik veya elektromekanik olarak tasarlanabilmektedir. Güverte ve yardımcı makinelerden bir diğeri ise dümen makineleri ve dümen donanımlarıdır. Dümen makineleri ve dümen donanımları geminin yönlendirilmesini sağlayan sistemlerdir. Köprü üstünde verilen komutlara göre dümeni hareket ettirir ve bu sayede geminin rotasının değiştirilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 10 Gemi vinç sistemi (URL-2)

3.1.2 Gemi elektrik sistemleri

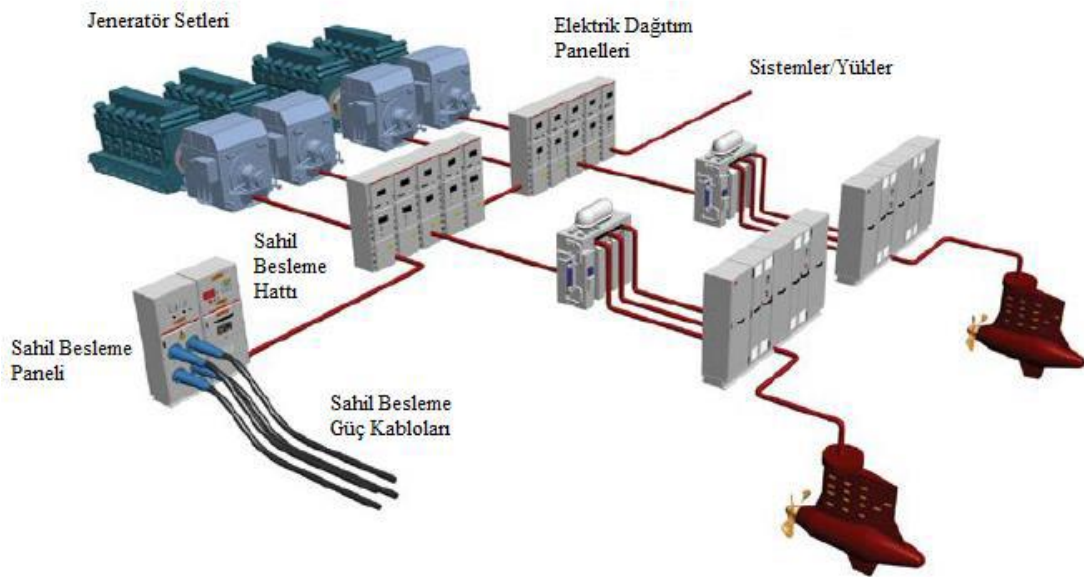
Bu bölümde gemilerde ki elektrik sistemlerine ait sistem ve cihazlar ele alınmaktadır.

Gemilerde bulunan elektrik sistemleri;

- 1.Güç üretim sistemleri
- 2.Güç koruma ve dağıtım
- 3.Aydınlatma Sistemi
- 4.Seyir ve navigasyon sistemleri
- 5.Otomasyon, izleme ve gemi emniyet sistemleri
- 6.Bilgisayar sistemleri
- 7.Silah Elektronik Sistemleri (Savaş Gemilerinde)

3.1.2.1 Gemi güç üretim sistemleri

Gemilerde bulunan elektrik güç sistemleri; gemi üzerindeki tüm elektrikli yüklerin ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlamak amacıyla, elektrik enerjisi üretimi, dönüşümü, depolanması ve kontrollü dağıtımını gerçekleştiren entegre bir sistemler bütünüdür. Bu sistem; jeneratör setleri, alternatörler, enerji depolama birimleri, dönüştürücüler, ana ve tali dağıtım panoları, otomatik güç yönetim sistemleri(PMS) ve koruma/izleme gibi alt bileşenleri içermektedir. Gemi elektrik güç sistemlerinin temel amacı, tüm elektrik yüklerin talep ettiği gücü istenen gerilim seviyesinde, uygun frekansta, kesintisiz, kararlı ve güvenli bir şekilde temin etmektir. Şekil 11'de gemi elektrik güç sistemlerine ait mimarinin resmi verilmiştir.



Şekil 11. Gemi elektrik güç sistemi mimarisi [ABB Marine]

Güç yönetim sistemi, gemi üzerindeki tüm elektrikli ekipmanların ve enerji kaynaklarının tüketim ve üretim verilerini izleyen, analiz eden ve gerektiğinde kontrol edebilen entegre bir kontrol sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistem aracılığıyla; tahrik sistemlerini besleyen elektrik motorları, elektrik üretimini sağlayan jeneratörler, enerji depolama üniteleri(bataryalar), ana ve yardımcı dağıtım panoları ile gemide yer alan kritik ve özel sistemlerin beslendiği panellerin çalışma durumları gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. PMS, yalnızca izleme değil aynı zamanda aktif yönetim işlevi de görmektedir. Sistem üzerinde meydana gelebilecek herhangi bir arıza, kesinti veya dengesizlik durumunda operatörler tarafından hem yerel hem de uzaktan müdahale gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede enerji sürekliliği, sistem güvenliği ve operasyon el verimlilik en üst düzeyde sağlanmaktadır. Güç yönetim sistemi aynı zamanda yük paylaşımı, yük önceliklendirmesi, otomatik senkronizasyon ve sistem optimizasyonu gibi ileri seviye kontrol algoritmaları ile donatılarak, gemideki enerji yönetiminin etkinliğinin artırılmasını sağlamaktadır. Şekil 12’de Gemi elektrikselsel güç sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 12 Gemi elektrikselsel enerji yönetim sistemi [URL-3 Alewijnse]

Güç yönetim sistemi;

- 1.Yüke bağımlı olarak jeneratör start/stop
- 2.Tüm şalterlerin senkron edilebilmesi
- 3.Yük paylaşımı
- 4.Kararma durumunda çıkma
- 5.Öncelikli jeneratör seçimi
- 6.Sahil şalterine senkron operasyonu
- 7.Alarm durumunda diğer jeneratörleri çalıştırma ve yük aktarımı
- 8.Aşırı yük durumunda öneme haiz olmayan yüklerin devreden çıkartılması
- 9.Rezerve güç sağlama ve benzeri fonksiyonların yerine getirilmesi işlevini sağlamaktadır.

Hali hazırda referans olarak alınan gemi incelendiğinde gemide bulunan jeneratörlere ilişkin bilgiler Tablo 3’de verilmiştir. Gemide iki adet ana jeneratör ve acil durumlar için ise bir adet emercensi acil durum jeneratörü bulunmaktadır. Gemide bulunan üç jeneratörün toplam gücü toplamda 460 kW’tır. Geminin seyir durumundayken ki yük ihtiyacı ile geminin avara edilmesi durumunda ve aborda olması durumundaki yük ihtiyacı birbirinden farklılık göstermektedir. Güç yönetim sistemi sayesinde gemi yük ihtiyacı durumuna göre gemide bulunan jeneratörlerin devreye alınması ve devreden çıkarılması işlemleri gerçekleştirilmektedir. Gemide bulunan tüm sistemlerin çalıştırılması durumunda ihtiyaç duyulan enerji miktarı 738,51 kW’ dır. Ancak gemide bulunan tüm sistemlerin aynı anda çalıştırılması durumu söz konusu olmaması sebebiyle belirtilen yük ihtiyacı olmayacaktır. Gemide bir gün içerisinde kullanılan saatlik ortalama yük miktarına ilişkin veriler Tablo 4’te verilmiştir. Yardımcı makinaların çalışma süresi boyunca gemi elektrik enerjisi ihtiyacını motorin yakıtı kullanarak elde etmektedir. Geminin enerji tüketimine bağlı olarak yardımcı makinaların tükettiği yakıt miktarı Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 3. Jeneratör Bilgileri

Jeneratör Adı	Frekans(Hz)	Gerilim(V)	Güç(kW)
Yardımcı Makine 1	50	380	190
Yardımcı Makine 2	50	380	190
Emercensi Makine	50	380	80
Toplam			460

Geminin 24 saatlik bir sefer yapması durumunda, gemide seyir sırasında çalışan sistemlere ait tüketilen ortalama güç miktarları Tablo 4 de verilmektedir. Aşağıda belirtilen Tablo 4 incelendiğinden; gemiye ait sistemlerin bir günlük zaman dilimi içerisinde tükettikleri ortalama güç miktarının 79,83 kW olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Geminin Günlük Yük Tüketimi

ZAMAN(Saat)	TÜKETİLEN GÜÇ(kW)
1	40.000
2	43.000
3	43.000
4	46.000
5	42.000
6	48.000
7	50.000
8	50.000
9	70.000
10	67.000
11	200.000
12	80.000
13	83.000
14	77.000
15	75.000
16	82.000
17	70.000
18	81.000
19	157.000
20	186.000
21	74.000
22	88.000
23	86.000
24	78.000

Hali hazırda kullanılmakta olan geminin bir günlük zaman içerisinde saatlik olarak tükettiği yakıt miktarına ait veriler Tablo 5’de verilmektedir. Tablo 5 incelendiğinde günlük ortalama yakıt miktarının 28,4 litre olduğu tespit edilmektedir.

Tablo 5. Geminin Günlük Yakıt Tüketimi

ZAMAN(Saat)	TÜKETİLEN YAKIT(Litre)
1	14.000
2	15.050
3	15.050
4	16.100
5	14.700
6	16.800
7	17.500
8	17.500
9	24.500
10	23.450
11	70.000
12	28.000
13	29.050
14	26.950
15	26.250
16	28.700
17	24.500
18	28.350
19	54.950
20	65.100
21	25.900
22	35.800
23	30.100
24	27.300

3.1.2.2 Gemi güç koruma ve dağıtım sistemleri

Hali hazırda kullanılmakta olan su üstü ve su altı deniz platformlarında, gemilerin operasyonel kabiliyetlerini sürdürülebilir ve emniyetli bir şekilde gerçekleştirebilmeleri, güçlü ve esnek bir elektrik güç sistemine sahip olmalarını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, gemi güç dağıtım ve koruma sistemleri, geminin tüm elektriksel yüklerini doğru, güvenilir ve kontrollü bir biçimde beslenmesini sağlayan sistemlerin bütünü olarak karşımıza çıkmaktadır. Gemilerde enerji dağıtım sistemi ve ekipmanların sürekli, güvenilir ve doğru bir şekilde çalışması için oldukça büyük önem arz etmektedir. Çünkü gemide bulunan sistem ve elemanlar farklı gerilim ve frekans seviyelerinde çalışabilmektedir bahse konu istenen gerilim ve kademe seviyelerinin sağlanması güç dağıtım sistemleri aracılığıyla yapılmaktadır. Bununla birlikte geminin herhangi bir lokasyon bölgesinde meydana gelebilecek elektriksel arızaların tüm sistem ve ekipmanları etkilememesi ve arızanın diğer dağıtım bölgelerinde enerji kesintisine sebep olmaması için dağıtım sistemleri büyük öneme sahip olmaktadır. Gemide bulunan güç dağıtım sistemleri de kendi arasında dört ayrı gruba ayrılmaktadır.

3.1.2.2.1. Ana güç dağıtım sistemleri

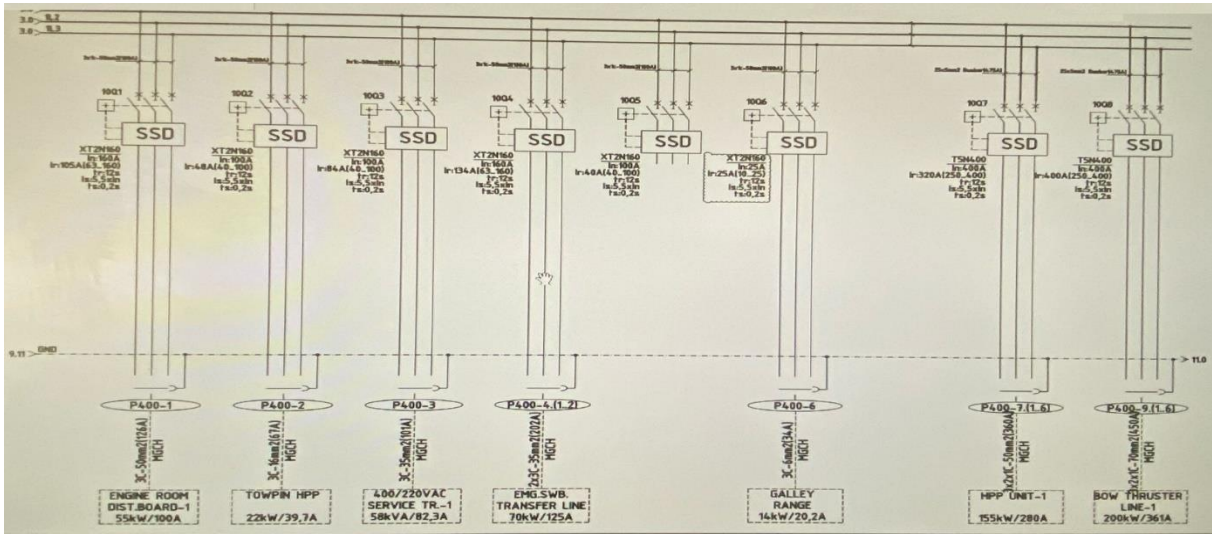
Ana güç dağıtım sistemi, gemiden bulunan jeneratörlerden çıkan yüksek güçteki enerjinin ana yük merkezine aktarılmasını sağlamaktadır. Ana güç dağıtım sistemi içerisinde; ana dağıtım panosu, ana besleme kablolama hatları, yük dengeleme ve senkronizasyon üniteleri bulunmaktadır. Gemi elektrik sisteminin doğru ve sürekli olarak işletilmesi güç dağıtım sistemleri aracılığıyla gerçekleşmektedir. Ana güç dağıtım sistemleri yardımcı güç dağıtım sistemlerinden gelebilecek olan arızaları diğer sistem ve ekipmanları etkilemeyecek şekilde tasarlanmaktadır. Şekil 13'de gemilerde bulunan ana güç dağıtım panosu gösterilmiştir.



Şekil 13 Gemi ana güç dağıtım panosu

3.1.2.2.2. Yardımcı güç dağıtım sistemleri

Ana sistemden beslenen yardımcı panolar aracılığıyla geminin daha düşük ve yerel yüklerle enerji sağlayan panolardır. Jeneratörler aracılığıyla üretilen elektrik enerjisi ana dağıtım panolarına iletimi sağlanmaktadır. Şekil 14’te yardımcı güç dağıtım sistemlerine ait şekil verilmiştir. Ana besleme panosuna gelen elektrik enerjisi geminin çeşitli bölgelerinde bulunan yardımcı güç dağıtım panolarına aktarılması sağlanır. Bu şekilde geminin herhangi bir enerji bölgesinde meydana gelen elektrik arızası diğer enerji bölgelerini de etkilemesinin önüne geçilmiş olmasını sağlamaktadır. Aydınlatma, prizler havalandırma sistemleri gibi ekipmanların enerji ihtiyacını karşılayan sistemlerdir.



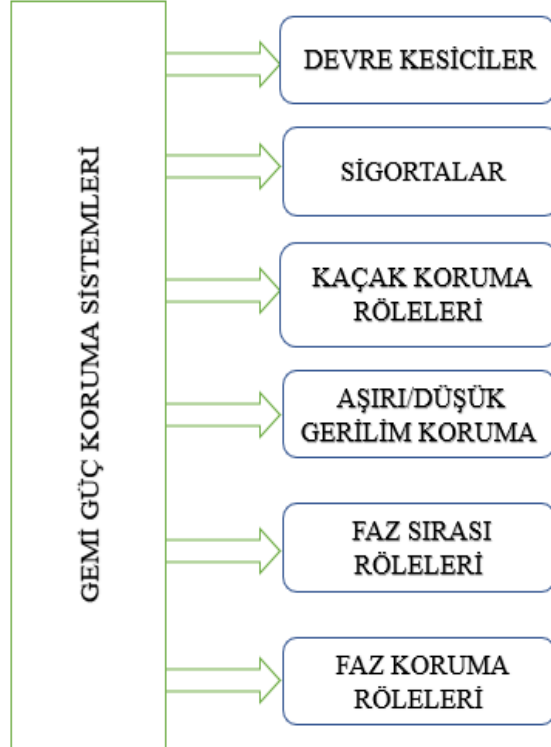
Şekil 14 Yardımcı güç dağıtım sistemleri

3.1.2.2.3. Acil durum güç dağıtım sistemleri

Gemide bulunan ana sistemin arızalanması durumunda geminin hareketi için hayati öneme sahip sistem ve devre elemanlarının enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik kurulan dağıtım sistemidir. Acil durum jeneratörleri, acil durum dağıtım panosu ve kritik yük devreleri (yangın pompaları, navigasyon ve haberleşme) bu sistem dahilinde olan sistemlerdir. Sistem, uluslararası denizcilik kurallarına göre en az üç saat çalışabilecek kapasitede olmak zorundadır

3.1.2.2.4. Güç koruma sistemleri

Gemilerde elektrik güç koruma sistemleri geminin teknik ve operasyonel manada idame edilebilmesi için oldukça büyük önem arz etmektedir. Çünkü gemide bulunan ana tahrik motorları, yardımcı makineler, seyir ve iletişim sistemleri ile yaşam destek üniteleri gibi kritik yüklerin güvenli ve kesintisiz bir şekilde beslenmesi bu sistemlerin doğru çalışması sayesinde gerçekleşmektedir. Gemide oluşabilecek aşırı akım, kısa devre, toprak arızası, frekans ve gerilim dalgalanması gibi durumların oluşmaması için güç koruma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır Gemilerde bulunan güç koruma sistemleri elemanları şekil 15’te gösterilmiştir.



Şekil 15. Gemide güç koruma sistemleri

3.1.2.3. Gemi aydınlatma sistemleri

Gemi aydınlatma sistemleri, denizlerde görev yapmakta olan deniz araçları için işlevselliğin ve emniyetin sağlanması açısından büyük önem arz etmektedir. Gemilerde bulunan iç ve dış mekân aydınlatmaları seyir güvenliğinin sağlanması içinde kullanılmaktadır. Harici olarak, uluslararası güvenlik ve performans standartların uygunluk, sistemlerin dayanıklılık ve bakım kolaylığı içinde gemi aydınlatma sistemleri belirleyici bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Gemilerde bulunan aydınlatma sistemleri; iç aydınlatma, dış aydınlatma, seyir aydınlatmaları, acil durum aydınlatma ve özel görev aydınlatma sistemlerinden oluşmaktadır. Şekil 16'da gemide bulunan seyir aydınlatma sistemleri gösterilmektedir.



Şekil 16 Gemi seyir aydınlatma sistemleri (URL 4)

3.1.2.4. Gemi seyir ve navigasyon sistemleri

Denizlerde görev yapmakta olan ticari ve askeri gemilerde bulunan seyir ve navigasyon sistemleri, modern denizcilikte hem güvenli hem de verimli bir seyir için en temel bileşenler içinde yer almaktadır. Gemide bulunan bu sistemler, manuel yöntemlerin ötesine geçerek dijitalleşmiş, entegre ve otomatik hale gelmiş, insan hatasını azaltarak seyir emniyetinin oluşturulmasında büyük ölçüde artmasına neden olmuştur. Seyir ve navigasyon sistemleri sayesinde denizlerde görev yapmakta olan sivil ve askeri gemiler uluslararası sularda güvenle hareket edebilmektedir. Seyir ve navigasyon sistemleri geminin seyir güzergahından, diğer

gemilerle olan iletişiminden, geminin seyir planlamasından, geminin hangi kara sularda ne kadarlık bir hızla seyir yapması gerektiğine kadar tüm durumların planlanmasını ve koordinasyonunun sağlanmasında büyük görev almaktadır. Gemide bulunan seyir ve navigasyon sistemleri;

- GPS (Global Positioning System): Uydular aracılığıyla elde veriler doğrultusunda geminin konumunun belirlenmesini sağlayan cihazlardır.
- Radar (Radio Detection and Ranging): Elektromanyetik dalgalar kullanılarak çevredeki cisimlerin algılanmasını sağlar ve üç boyutlu olarak gözetilmesini sağlayan ekipmanlardır.
- ECDIS (Electronic Chart Display and Information System): Denizciliğin ilk zamanlarında kullanılmakta olan geleneksel kâğıt haritaların yerine geçen dijital seyir sistemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.
- AIS (Automatic Identification System): Denizlerde görev yapmakta olan sivil ve askeri gemilerin kimlik, konum, hız ve yön bilgilerinin diğer gemilere ve kara da bulunan deniz gözetleme istasyonlarına iletilmesini sağlayan seyir sistemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Gyrokompas ve Manyetik Pusula: Hali hazırda denizlerde görev yapmakta olan sivil ve askeri gemilerde gemi yönünün belirlenmesi için kullanılan sistemlerdir bu cihaz, dünyanın dönme eksenine göre yön tayini yaparken manyetik pusula ve manyetik kuzeyi referans almaktadır.
- Echo Sounder (Ekoltot): Deniz tabanında derinliği ölçen ekipmanlardır Denizlerde görev yapmakta olan sivil ve askeri gemilerden özellikle sığ sularda seyir yapan gemiler için kritik önem arz eden sistemdir.
- Anometre ve Hava Durumu Sistemi: Denizlerde görev yapmakta olan sivil ve askeri gemiler için rüzgârın yönünü ve hava durumunu tahmin ederek seyir planlamasına yardımcı olan sistemlerdir.

3.1.2.5. Gemi otomasyon, izleme ve emniyet sistemleri

Gemi seyir ve liman durumundayken gemiye ait tüm verilerin toplandığı ve geminin emniyetli bir şekilde idame edilebilmesi için ihtiyacı olan tüm verileri ve donanımları içeren sistemler gemi otomasyon, izleme ve emniyet sistemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Gemi otomasyon sistemlerinde tüm verilerin toplanıp ilgili birimlere aktarılmasını sağlayan sistem entegre köprüüstü sistemidir (IBS-Integrated bridge system). Şekil 17’de gösterilen bu sistem GPS, radar, ECDIS, derinlikölçer, hızölçer, anometre gibi seyir yardımcı olan tüm sistem ve elemanları bütünleştiren bir ünite olarak karşımıza çıkmaktadır. Gemi üzerindeki tüm

sensörlerden elde edilen veriler entegre köprü üstü sistemi tarafından toplanarak işlenir ve farklı kullanıcı ara yüzleri üzerinden görüntülenmesini sağlamaktadır. Bu sayede seyir görevlisinin, gemi çevresinde su üstü ve su altındaki potansiyel tehlikeleri, bunların özelliklerini ve gemiye göre konumlarını anlık olarak takip edilmesini sağlayarak geminin tam ve doğru olarak idame edilmesini sağlamış olmaktadır. Bu sistemler gelişen teknolojiyle birlikte yapay zekâ, otonom navigasyon ve siber koruma çözümleriyle de entegre olacak şekilde evrilmesi ileriki zamanlarda planlanmaktadır.



Şekil 17 Gemi otomasyon sistemleri(URL-5)

3.1.2.6.Gemi bilgisayar sistemleri

Günümüzde kullanılmakta olan askeri ve sivil gemilerde sistem güvenliğinin sağlanması zamanında hızlı ve güvenilir seyir sistemleri oluşturabilmek adına gemide bulunan tüm sistemlerde bilgisayar sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler gemide bulunan diğer sistem ve ekipmanlar arasındaki koordinasyon ve ver akışının oluşmasını sağlamaktadır. Böylelikle sistemde oluşabilecek arıza ve olaylara daha hızlı ve efektif bir tepki uygulanması sağlanmış olacaktır.

3.1.3. Gemiler de kullanılan yakıt ve emisyon değerleri

Hali hazırda denizlerde kullanılmakta olan gemilerin hareket etmesini sağlayan ana makineler ve gemilerin enerji ihtiyacını karşılayan yardımcı makineler fosil yakıtlar aracılığıyla çalışmaktadır. Bu durum doğaya salınan emisyon gazı miktarını arttırmaktadır. Gemide kullanılmakta olan dizelin yanması sonucunda karbon monoksit(CO), kükürt oksit(SO_x), hidrokarbon(HC) ve karbon dioksit (CO₂) ve partikül maddeler gibi kirletici olan sera gazları açığa çıkartırlar. Tablo 6’da gemide motorin kullanılması sonucundan oluşan emisyon değerlerini gösteren tablo verilmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonucunda hibrit enerji sistemlerinin kullanılmasını sağlayarak kullanılan fosil yakıt miktarının azaltılmasının sağlanması ve böylelikle doğaya salınan zararlı gaz miktarının da azaltılması hedeflenmektedir.

Tablo 6 gemiye ait emisyon değerleri

Yakıt	Kirletici	Emisyon Faktörü(kg/mT)
MDO(Marine Dizel Oil)	CO ₂	3206
	NO _x	54,88
	SO _x	2,15
	PM	0,95
	CH ₄	0,05

3.1.4 Ekonomik ve çevresel parametreler

Gemide tasarımı yapılan sistemin maliyet ve emisyon hesaplarının yapılabilmesi adına NPV (Net Bugünkü Değer), çevresel parametre içinde CII (Yıllık Operasyonel Karbon Yoğunluk Göstergesi) kullanılacaktır.

NPV, belirli bir zaman diliminde bir proje ya da yatırımın potansiyel karını ifade etmektedir. Elde edilecek getirinin, yatırımı yapmak için ortaya konulan sermayeye değip değmeyeceği konusunda bize bilgi vermektedir. Bu nedenle, fizibilite çalışmalarında NPV önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Denklem 1 ‘de NPV’ nin matematiksel ifadesi verilmiştir.

$$NPV_i = \frac{OPEX_i + CAPEX_i}{(1 + dr)^t}$$

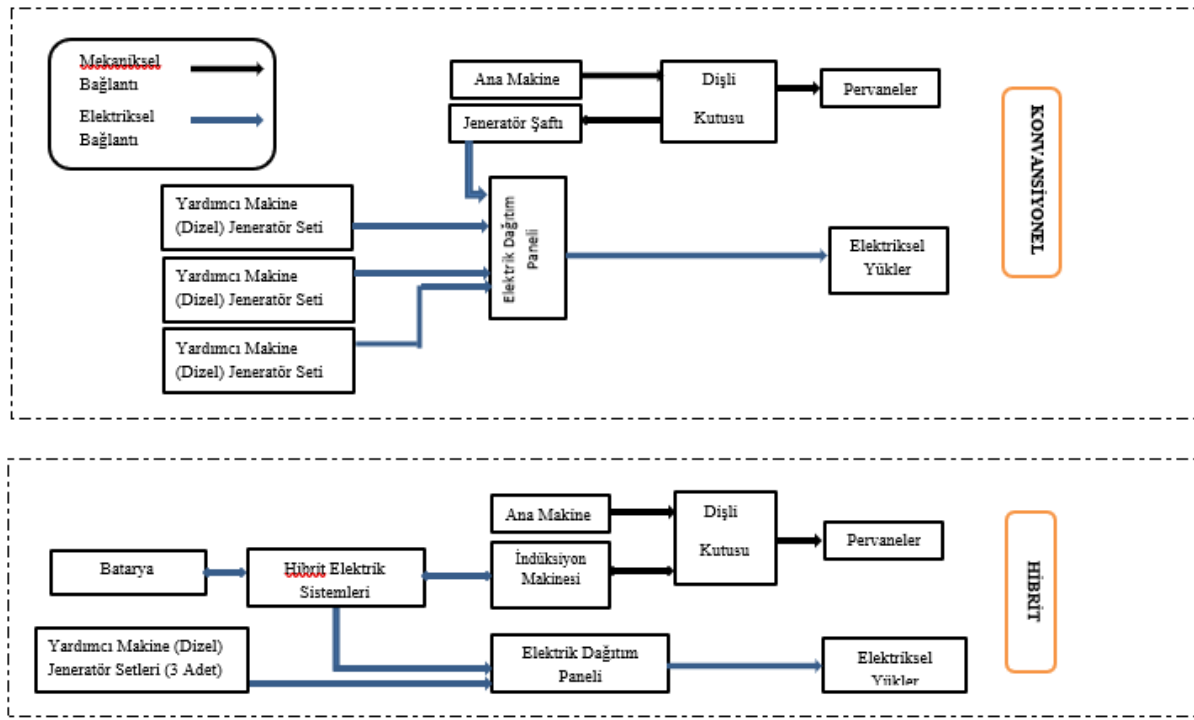
Burada belirtilen; OPEX operasyonel yani bakım ve işletme giderlerini, CAPEX ilk yatırım harcamalarını, dr yıllık iskonto oranını ve t ise proje ömrünü belirtmektedir. IMO’nun aldığı kararlar doğrultusunda 1 Ocak 2023 tarihinden itibaren tüm gemiler için

CII’ nın hesaplanması ve raporlanması zorunlu hale getirilmiştir. CII’ nin nasıl hesaplandığı ise denklem 2’ de gösterilmiştir.

$$CII_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_{en}} FC_{i,j} X^{EF}_{CO_2,j}}{dwt \times d} \left[\frac{kgco}{tnm} \right]$$

4. BULGULAR

Bu çalışmada Muğla ile İzmir arasında yük taşımacılığı yapan bir yük gemisinin elektrik ve yakıt tüketim değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda geminin mevcutta bulunan elektrik besleme şebekesine rüzgâr ve güneş enerji sistemleri entegrasyonu yapılarak gemi enerjisinin bir kısmının karşılanması sağlanmış ve bu şekilde fosil yakıt kullanımı azaltılarak geminin çevreye yaymış olduğu emisyon miktarının azaltılması sağlanmıştır. Bu kısımda her bir durum için yapılan çalışmalar analiz edilerek ortaya çıkan sonuçlar ele alınmıştır. Gemiye ait yapılan hibrit çalışma diyagramı şekil 18’ de gösterilmiştir.

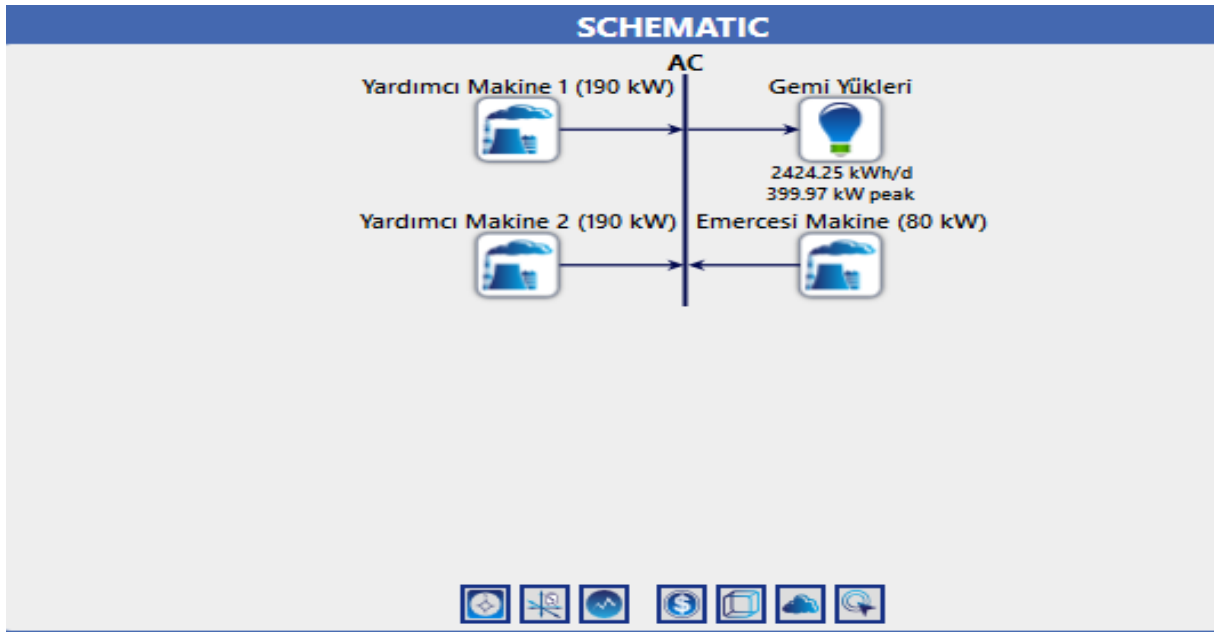


Şekil 18 Gemi hibrit sistem diyagramı

4.1. Geminin Mevcut Sistemine Ait Bulgular

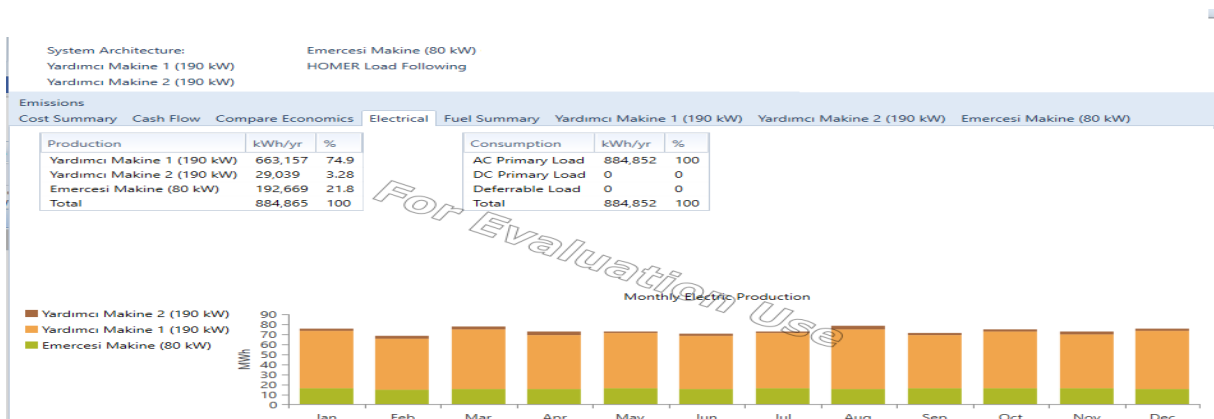
Öncelikli olarak hali hazırda gemide iki adet ana jeneratör ve acil durumlar için ise bir adet emercensi acil durum jeneratörü bulunmaktadır. Gemide bulunan üç jeneratörün toplam gücü toplamda 460 kW'dır. Geminin seyir durumundayken ki yük ihtiyacı ile geminin avara edilmesi durumunda ve aborda olması durumundaki yük ihtiyacı birbirinden farklılık göstermektedir.

Şekil 19’da gemide bulunan mevcut elektrik sisteminin HOMER programındaki şeması verilmiştir.



Şekil 19 Gemi elektrik sistemi HOMER analizi tek hat şeması

Yukarıda belirtilen durumda geminin mevcut durumu verilmiştir, öncelikli olarak HOMER programı kullanılarak geminin mevcut elektrik şebekesi oluşturulmuştur. Bahse konu gemiye ait yirmi dört saatlik zaman dilimi içerisinde saatlik olarak tüketilen Tablo 4’de verilen yük değerleri HOMER programına girilmiştir. HOMER programına girilen değerler neticesinde her bir yardımcı makineye ait yük karşılama miktarını içeren analiz sonuçlarına ilişkin veriler Şekil 20’de belirtilmiştir.



Şekil 20 Gemi yardımcı makinaları yük miktarları

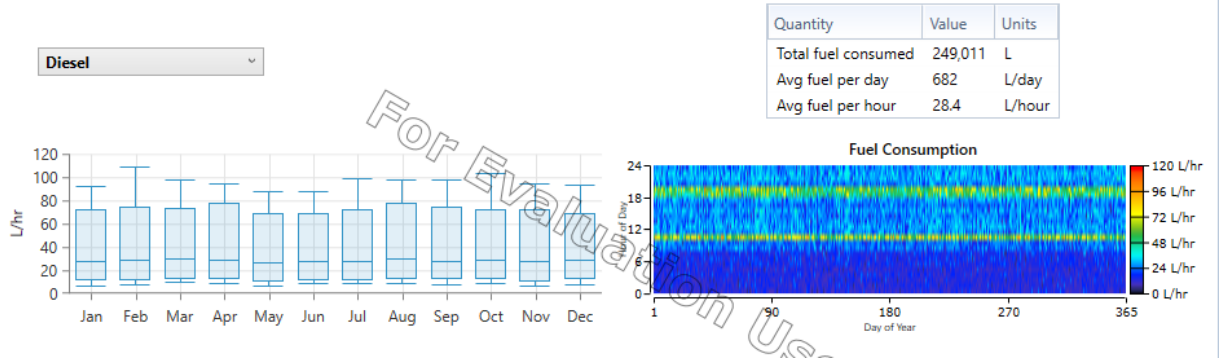
Gemide bulunan mevcut sisteme ait yapılan analiz sonucunda geminin yardımcı makinalarının kullandığı yakıt miktarına ait veriler Şekil 21’de, yardımcı makinaların kullanmış olduğu yakıt sonucunda doğaya salınımı yapılan sera gazlarına ilişkin veriler ise Şekil 22’de verilmiştir.

Simulation Results

System Architecture: Emercesi Makine (80 kW)
Yardımcı Makine 1 (190 kW) HOMER Load Following
Yardımcı Makine 2 (190 kW)

Emissions

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Yardımcı Makine 1 (190 kW) Yardımcı Makine 2 (190 kW) Emercesi Makine (80 kW)



Şekil 21 Yardımcı makinaların kullanmış olduğu yakıt miktarları

System Architecture: Emercesi Makine (80 kW)
Yardımcı Makine 1 (190 kW) HOMER Load Following
Yardımcı Makine 2 (190 kW)

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Yardımcı Makine 1 (190 kW) Yardımcı Makine 2 (190 kW) Emercesi Makine (80 kW)

Emissions

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	657,230	kg/yr
Carbon Monoxide	986	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	21.4	kg/yr
Particulate Matter	50.7	kg/yr
Sulfur Dioxide	1,633	kg/yr
Nitrogen Oxides	5,114	kg/yr

For Evaluation Use

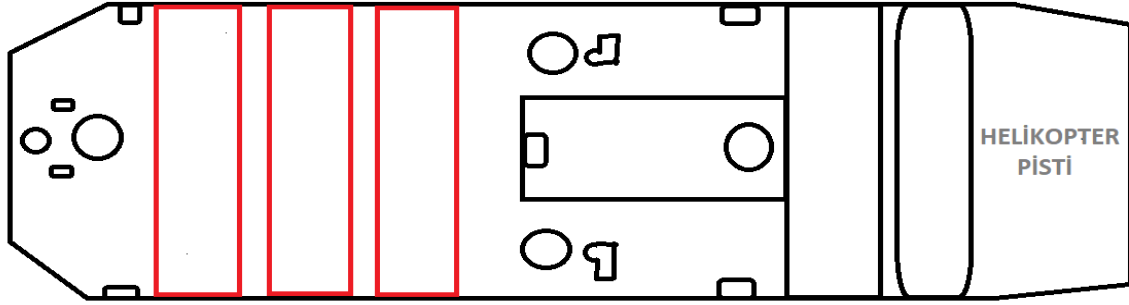
Şekil 22 Birinci duruma ilişkin emisyon verileri

4.2. Gemide Güneş Enerjili Hibrit Sistem Oluşturulmasına Ait Bulgular

Gemide ikinci durum olarak incelemesi yapılacak durum, HOMER programı üzerinde gemiye güneş enerji sistemi kurulması ve analiz işlemlerinin gerçekleştirilmesidir. Bu kısımda gemide kullanılacak olan güneş panelinin ve diğer ekipmanların tanıtılması ve gemi üzerindeki konumlandırılmasından bahsedilecektir. Öncelikli olarak gemilerde alan kısıtlı olması sebebiyle güneş ışınlarından maksimum verimde fayda sağlanabilecek alan güneş panellerinin konumlandırılması yapılmıştır. Gemilerde alanların kısıtlı olması sebebiyle güneş paneli konumlandırma işlemleri yapılırken aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

- 1.Geminin günlük işleyişini aksatmayacak güzergahlar tercih edilmeli.
- 2.Geminin idame edilmesini sağlayan gemi kaptanının görüş alanına engel teşkil etmemeli.
- 3.Güneş ışınlarından en iyi şekilde faydalanılacak yerler tercih edilmeli.
- 4.Konumlandırılması yapılacak güneş panelleri birbirine engel teşkil etmeyecek şekilde olmalı.

Yukarıda belirtilen maddelerin de göz önüne alınarak yapılan çalışma sonucunda Şekil 23 de belirtilen kırmızı alanlar güneş paneli için uygun alanlar olduğu belirlenmiştir.



Şekil 23 Gemi güneş paneli yerleşim krokisi

4.2.1. Gemide kullanılacak güneş paneline ilişkin bulgular

Şekil 4.5'te belirtilen gemi krokisinde güneş enerji panellerinin konuşlandırılması planlanan alan 1320 m² olarak hesaplanmıştır. Gemide güneş enerjisi konuşması planlanan alana Şekil 24'de belirtilen ve tablo 7'de teknik özellikleri verilen 350 W gücünde güneş panellerinden toplamda 771 adet güneş paneli konuşlabileceği hesaplanmıştır.



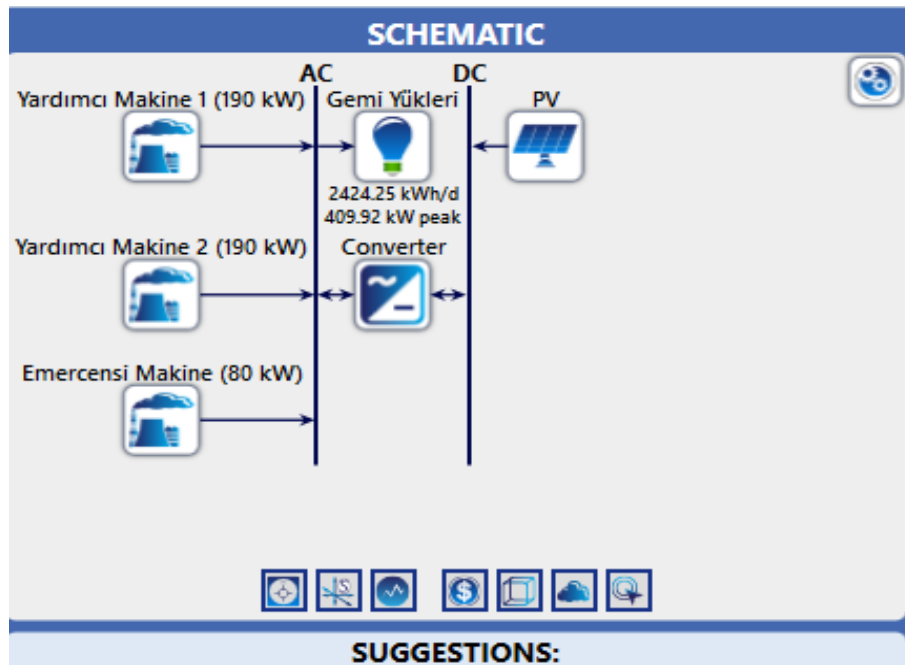
Şekil 24 Gemide kullanılan güneş paneli [URL-6]

Tablo 7. 350 w enerji kapasitesine sahip güneş paneline ait bilgiler

Güç	350W
Marka	LG Solar
Açık Devre Voltajı (VOC)	38,8V
Maksimum Gerilim (VMP)	33V
Kısa devre akımı (ISC)	10,61A
Maksimum Akım (IMP)	9,92A
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40°C ile +90°C
Çerçeve	Alüminyum
Garanti	10 yıl %90 verim 25 yıl %80 verim
Boyut	1686 x 1016 x:40 mm

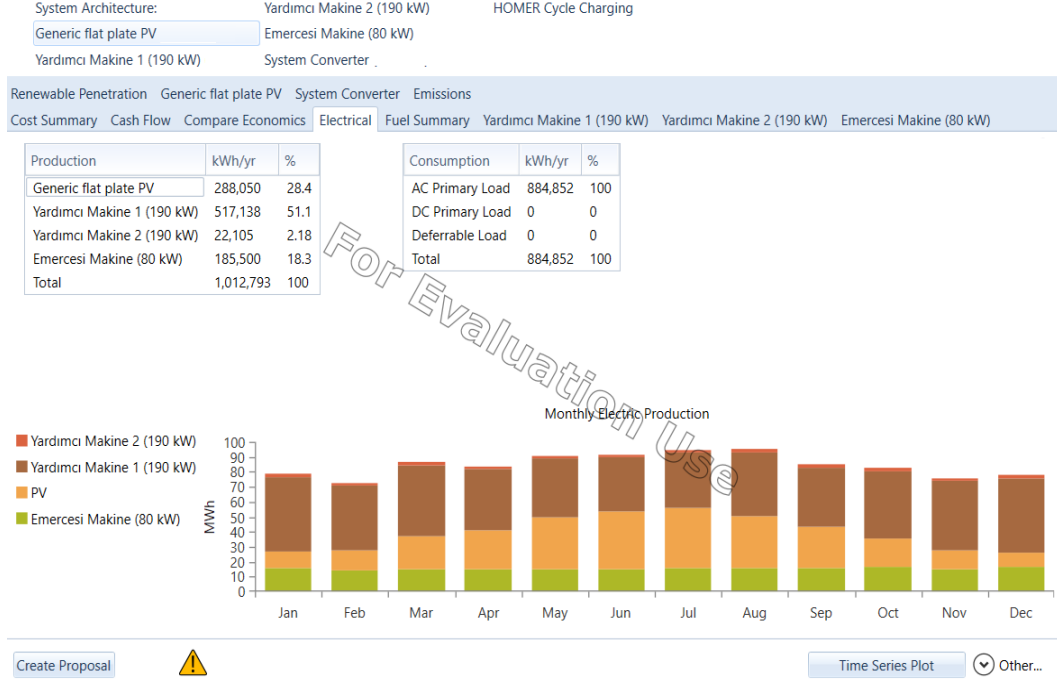
4.2.2. Gemide kullanılan güneş paneline ilişkin analiz sonuçları

Bahse konu gemiye ait yirmi dört saatlik zaman dilimi içerisinde saatlik olarak tüketilen Tablo 4'te verilen yük değerleri HOMER programına girilmiştir. Gemiye ait mevcut elektrik sistemine güneş enerjisi sistemlerinin de eklenmesiyle oluşturulan hibrit sisteme ilişkin elektrik tek hat şeması Şekil 25 de gösterilmiştir.

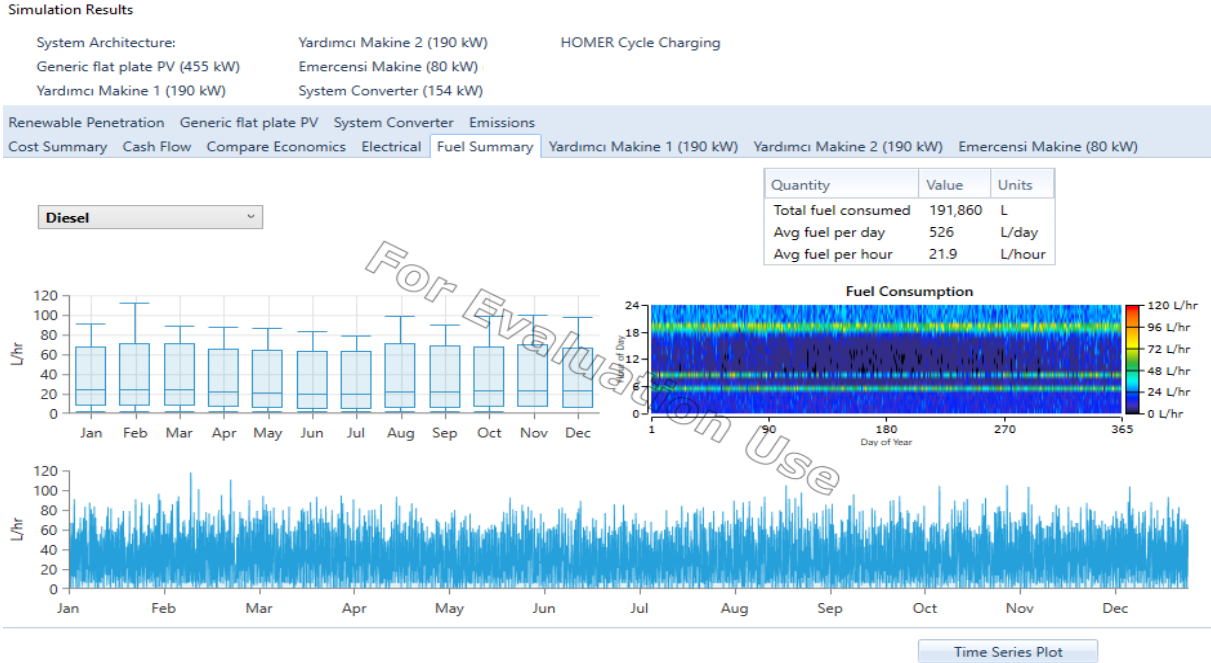


Şekil 25 Güneş enerjisi hibrit sistem tek hat şeması

Gemide güneş enerjisi sistemiyle oluşturulan hibrit sistemi ait yük dağılımı şekil 26’da, oluşturulan sistem sonucunda yardımcı makinalara ait yakıt tüketim değerleri Şekil 27’de ve oluşturulan hibrit sistem sonucunda ortaya çıkan sera gazlarının miktarını gösteren şekil ise şekil 28’de gösterilmiştir.



Şekil 26 Güneş enerjisi ile oluşturulan hibrit sisteme ait yük dağılımı



Şekil 27 Güneş enerjisi ile oluşturulan hibrit sistemde kullanılan yakıt miktarları

Simulation Results

System Architecture: Yardımcı Makine 2 (190 kW) HOMER Cycle Charging
Generic flat plate PV (455 kW) Emercensi Makine (80 kW)
Yardımcı Makine 1 (190 kW) System Converter (154 kW)

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Yardımcı Makine 1 (190 kW) Yardımcı Makine 2 (190 kW) Emercensi Makine (80 kW)
Renewable Penetration Generic flat plate PV System Converter Emissions

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	506,492	kg/yr
Carbon Monoxide	696	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	15.1	kg/yr
Particulate Matter	35.8	kg/yr
Sulfur Dioxide	1,258	kg/yr
Nitrogen Oxides	3,609	kg/yr

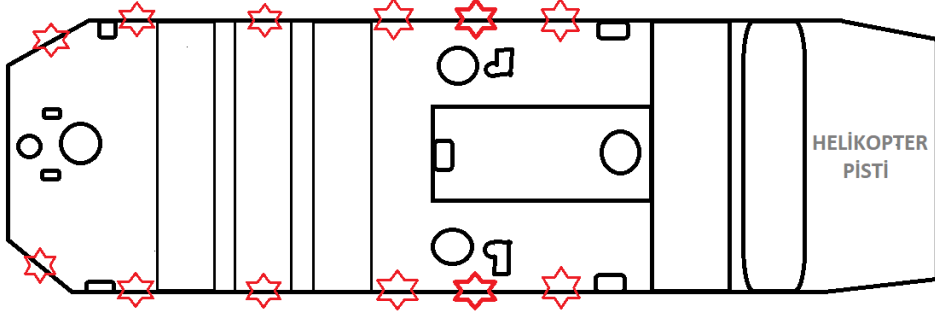
Şekil 28 Güneş enerjisi ile oluşturulan hibrit sisteme ait emisyon verileri

4.3. Gemide Rüzgâr Enerjili Hibrit Sistem Oluşturulmasına Ait Bulgular

Bölüm 4.2.1 kısmında güneş enerjisi ile oluşturulan hibrit sistemi ve bu sistem sonucunda elde edilen verilerin analizi yapılmıştır. Güneş enerjisinin en büyük dezavantajlarından biri sadece güneşin olduğu vakitlerde enerji üretimi yapılabilmesidir. Bahse konu sebepten dolayı geceleri güneş enerjisinden enerji üretimi yapılamayacaktır. Bu problemin ortadan kaldırılması için sisteme harici olarak rüzgâr enerjisi ile entegrasyon sağlayarak sistemin yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma süresi ve miktarının artırılmasını sağlamıştır. Bu kısımda sistemin sadece rüzgâr enerji sistemi entegrasyonu yapılarak oluşturulan hibrit sisteme ilişkin analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. Gemide yerleştirilen rüzgâr türbinlerinin yeri belirlenirken aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmiştir. (Carlson ve Nilson 2014)

- 1.Gemiye ait statik yapıyı bozmamalı
- 2.Geminin günlük işlerini aksatmayan güzergahlar seçilmeli.
- 3.Geminin aborda, avara ve alarga durumlarını engellemeyecek alanlar seçilmeli.
- 4.Gemi katanının görüş alanını bozmayan alanlarda olmalı
- 5.Rüzgâr enerjisinden maksimum fayda sağlanabilecek noktalar seçilmeli

Yukarıda belirtilen hususlar göz önünde bulundurularak yapılan çalışma sonucunda gemide 12 adet kırmızı renk ile Şekil 29'da belirtilen alanlara Homer programında yerleştirilmesi uygun bulunan rüzgâr tribünleri seçilmiştir.



Şekil 29. Rüzgâr türbini yerleşim planı

4.3.1. Gemide kullanılacak rüzgâr türbinine ilişkin bulgular

Hali hazırda kullanılmakta olan gemilerin çoğunda kullanım alanı oldukça kısıtlı bulunmaktadır. Bahse konu sebepten dolayı gemilerde ki alanlardan oldukça yüksek verimde faydalanılması gerekmektedir. Gemide oluşturulacak hibrit enerji sisteminden maksimum oranda faydalanabilmek için maksimum oranda rüzgâr türbini yerleştirilebilecek alanlar belirlenmesi gerekmektedir. Günümüzde dikey ve yatay olmak üzere iki çeşit rüzgâr türbini kullanılmaktadır. Gemilerde yerleşim alanlarınının kısıtlı olması sebebiyle yatay rüzgâr türbini yerine daha az alan kaplayan dikey rüzgâr türbinleri tercih edilmiştir. Bu kapsamda Tablo 8’de teknik özellikleri belirtilen ve şekil 30’da belirtilen rüzgâr türbinlerinden toplamda 12 adet bahse konu gemi de kullanılmıştır.



Şekil 30 Gemide kullanılan rüzgâr türbini çeşidi

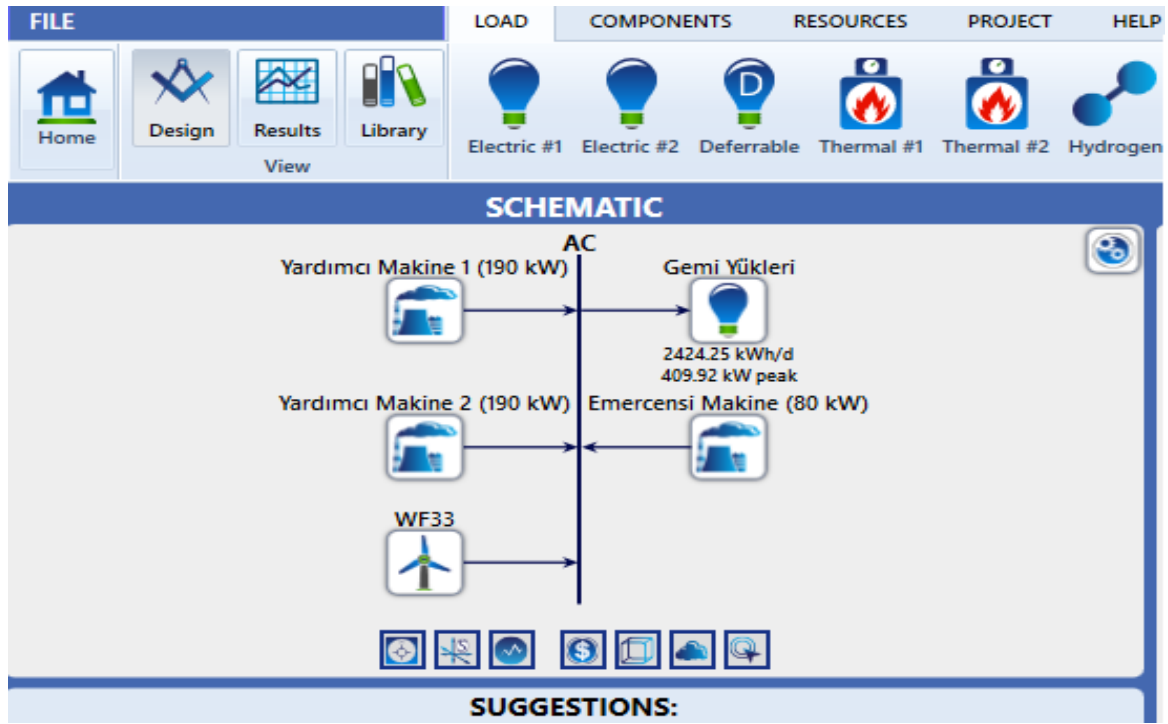
Gemide kullanılan rüzgâr türbinlerine ait teknik özellikler Tablo 8 de belirtilmiştir. Teknik özellikleri verilen rüzgâr türbininin sistem üzerinden seçilerek analiz işlemlerine geçilmiştir.

Tablo 8 Dikey eksenli rüzgâr türbinine ait bilgiler

Menşei	Çin
Marka	Zhan feng
Rüzgâr Türbini Çap	3,6 m
Azami Rüzgâr Hız direnci	35 m/s
Gücü (watt)	5 kW
Maksimum Güç	5,5 kW
Nominal Voltaj	48V/96V/220V AC
Başlangıç Rüzgâr Hızı	2,5 m/sn
Nominal Rüzgar Hızı (m/s)	12 m/s
Emniyet Rüzgâr hızı	35 m/s
Net Ağırlığı	500 kg
Kanat Sayısı	3 adet/5 adet
Kanat Yüksekliği	4,2 m
Kanat Materyali	Alüminyum alaşım/ Takviyeli fiberglas
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 ile 80 Derece
Kule Formatı	Kablo/Bağımsız Kule
Koruma Sınıfı	IP54

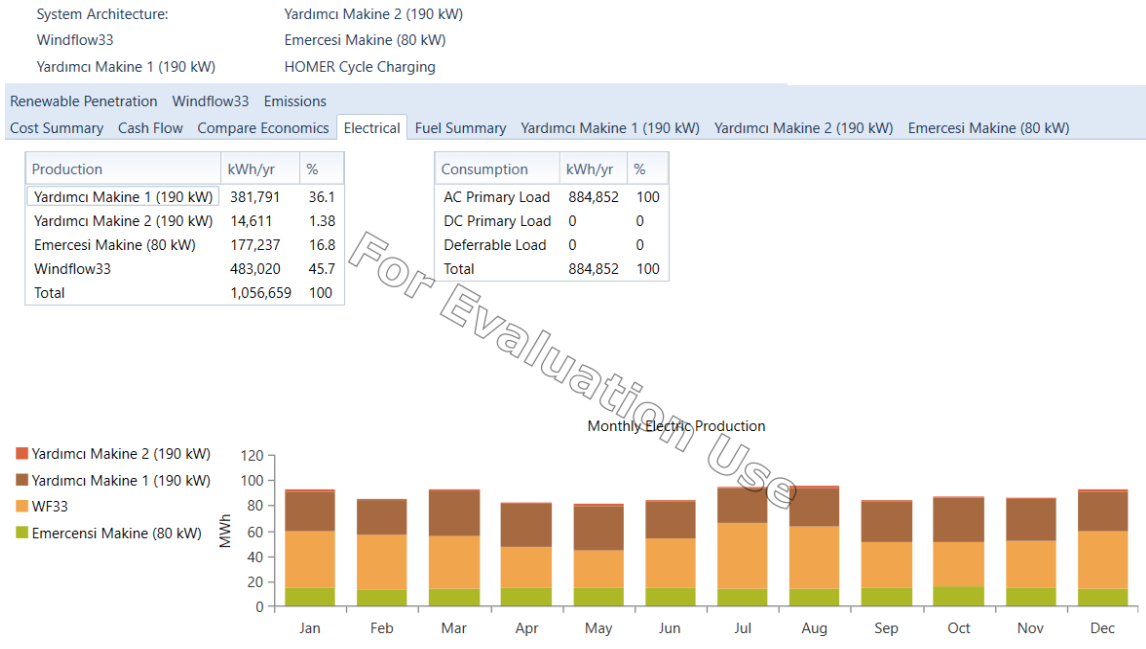
4.3.2. Gemide kullanılan rüzgâr türbinine ilişkin analiz sonuçları

Bahse konu gemiye ait yirmi dört saatlik zaman dilimi içerisinde saatlik olarak tüketilen Tablo 4'te verilen yük değerleri HOMER programına girilmiştir. Gemiye ait mevcut elektrik sistemine rüzgâr enerjisi sistemlerinin de eklenmesiyle oluşturulan hibrit sisteme ilişkin elektrik tek hat şeması Şekil 31'de gösterilmiştir.



Şekil 31 Rüzgâr enerjisi hibrit sistem tek hat şeması

Gemide rüzgâr enerjisi sistemiyle oluşturulan hibrit sistemi ait yük dağılımı şekil 32’de, oluşturulan sistem sonucunda yardımcı makinalara ait yakıt tüketim değerleri Şekil 33’te ve oluşturulan hibrit sistem sonucunda ortaya çıkan sera gazlarının miktarını gösteren şekil ise şekil 34’de gösterilmiştir.



Şekil 32 Rüzgâr enerjisi ile oluşturulan hibrit sisteme ait yük dağılımı

Simulation Results

System Architecture: Yardımcı Makine 2 (190 kW)

Windflow 33 Emercesı Makine (80 kW)

Yardımcı Makine 1 (190 kW) HOMER Cycle Charging

Renewable Penetration Windflow 33 Emissions

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Yardımcı Makine 1 (190 kW) Yardımcı Makine 2 (190 kW) Emercesı Makine (80 kW)

Quantity	Value	Units
Total fuel consumed	162,695	L
Avg fuel per day	446	L/day
Avg fuel per hour	18.6	L/hour

Şekil 33 Rüzgâr enerjisi ile oluşturulan hibrit sistemde kullanılan yakıt miktarları

Simulation Results

System Architecture: Yardımcı Makine 2 (190 kW)

Windflow 33 Emercesı Makine (80 kW)

Yardımcı Makine 1 (190 kW) HOMER Cycle Charging

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Yardımcı Makine 1 (190 kW) Yardımcı Makine 2 (190 kW) Emercesı Makine (80 kW)

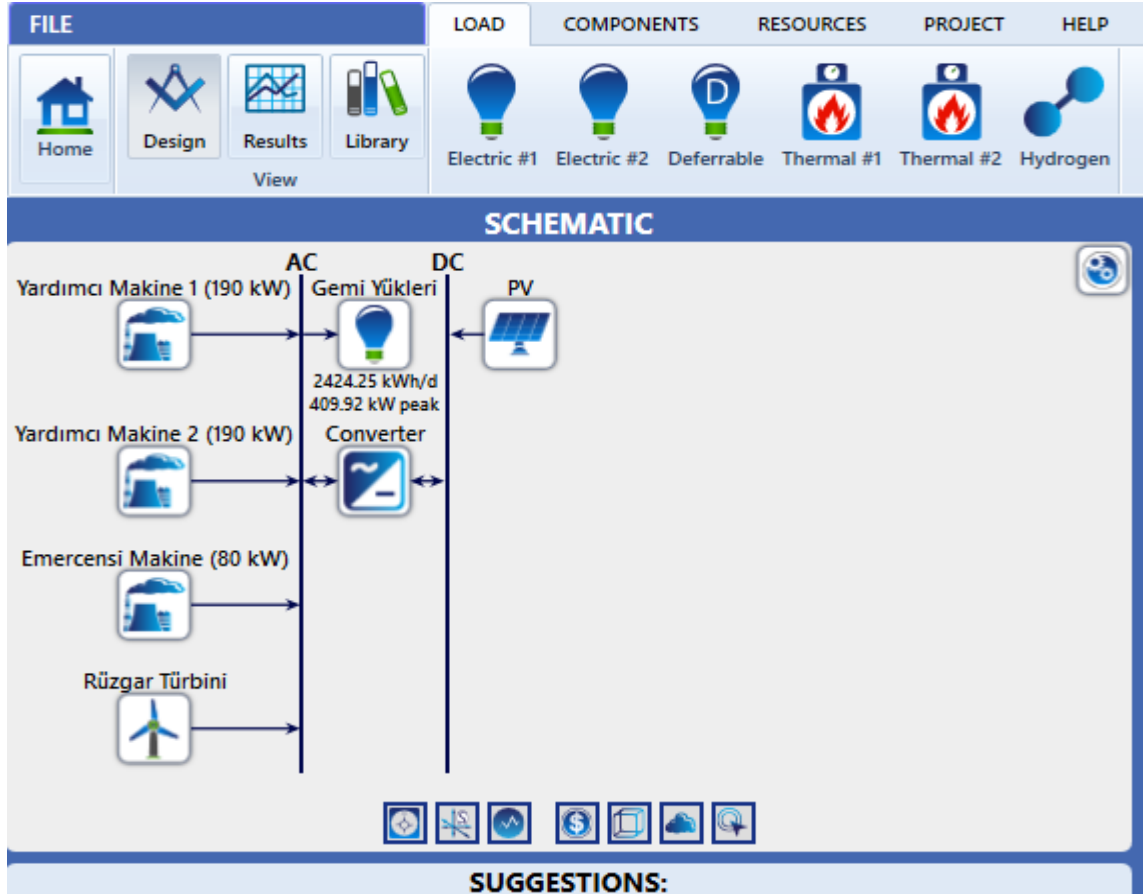
Renewable Penetration Windflow 33 Emissions

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	429,524	kg/yr
Carbon Monoxide	575	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	12.5	kg/yr
Particulate Matter	29.6	kg/yr
Sulfur Dioxide	1,067	kg/yr
Nitrogen Oxides	2,983	kg/yr

Şekil 34 Rüzgâr enerjisi ile oluşturulan hibrit sisteme ait emisyon verileri

4.4. Gemide Karma Enerjili Hibrit Sistem Oluşturulmasına Ait Bulgular

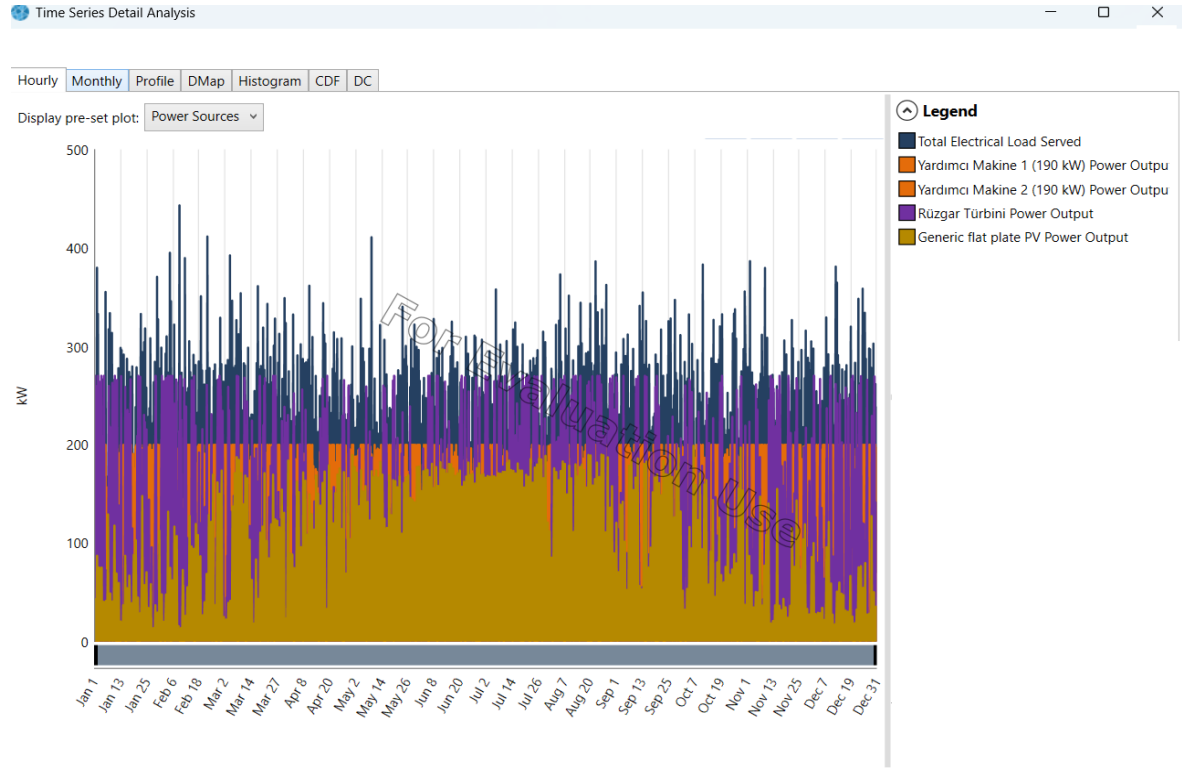
Yapmış olduğum çalışmanın son kısmında ise önceki kısımlarda ayrı ayrı olarak HOMER programında analizleri yapılan hibrit elektrik sistemlerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan karma hibrit sistemidir. Bu kısımda güneş panelleri, rüzgâr türbini ve geminin yardımcı makinalarından oluşan hibrit bir sistemin tasarımı Şekil 35’ de verilmiştir.



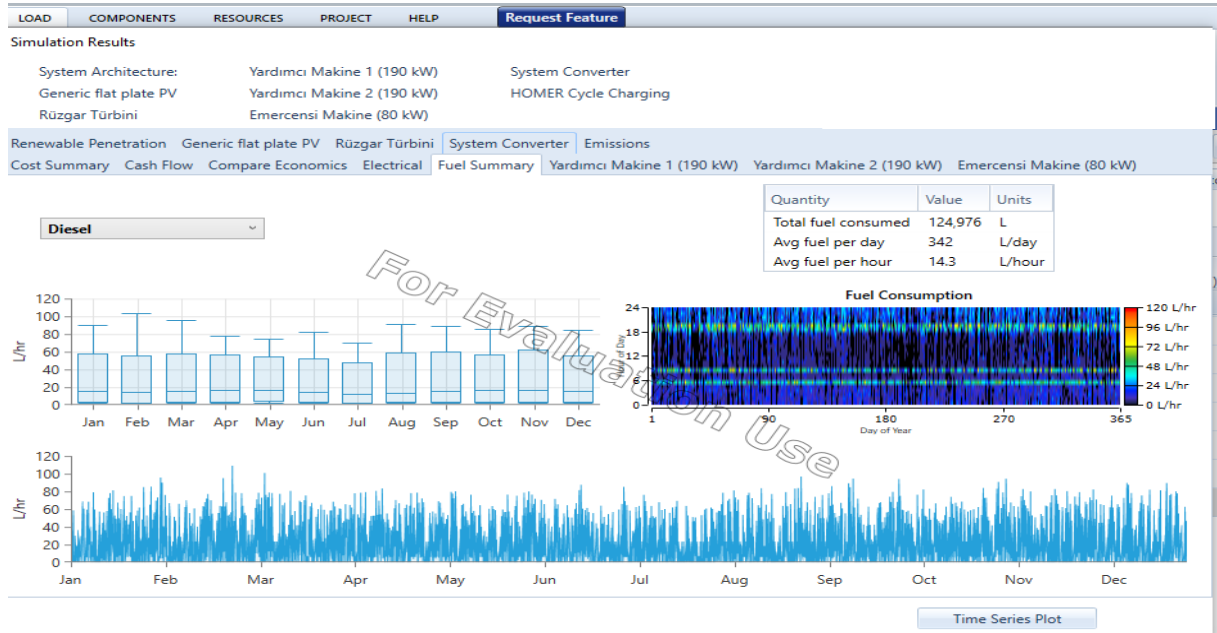
Şekil 35 Karma hibrit sistemi tek hat şeması

Yukarıda analizi yapılan karama elektrik hibrit sistemi sonucunda geminin yardımcı makinalarından yapılan elektrik üretimine ilave olarak güneş panellerinden ve rüzgâr türbininden elde edilen enerji kaynakları da gemide kullanılmakta olan cihaz ve ekipmanlar için birer enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Böylelikle geminin ihtiyaç duyduğu enerji sadece gemi dahilinde olan yardımcı makinalardan değil yenilenebilir enerji kaynakları olan iki ayrı kaynaktan da karşılanmış olmaktadır. Özellikle günümüzde çok büyük bir problem olarak karşımıza çıkmakta olan küresel ısınma probleminin bir sebebi olan zararlı sera gazlarının da doğaya salınım miktarında azalmaya sebep olmuştur. Çalışmanın bu kısmı oldukça büyük öneme haiz olmaktadır.

Tasarımı yapılan hibrit sistem sonucunda ortaya çıkan yük çıkış değerlerine ilişkin veriler şekil 36'da tüketilen yakıt miktarına ilişkin veriler de şekil 37'de verilmektedir

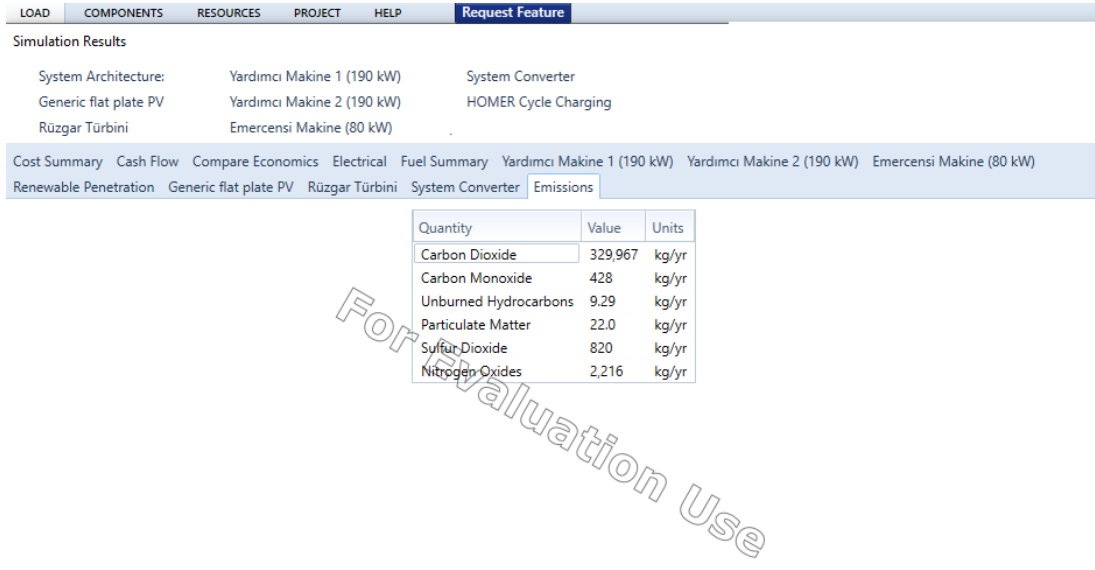


Şekil 36 Karma hibrit sistemi ile oluşturulan sisteme ait yük dağılımı



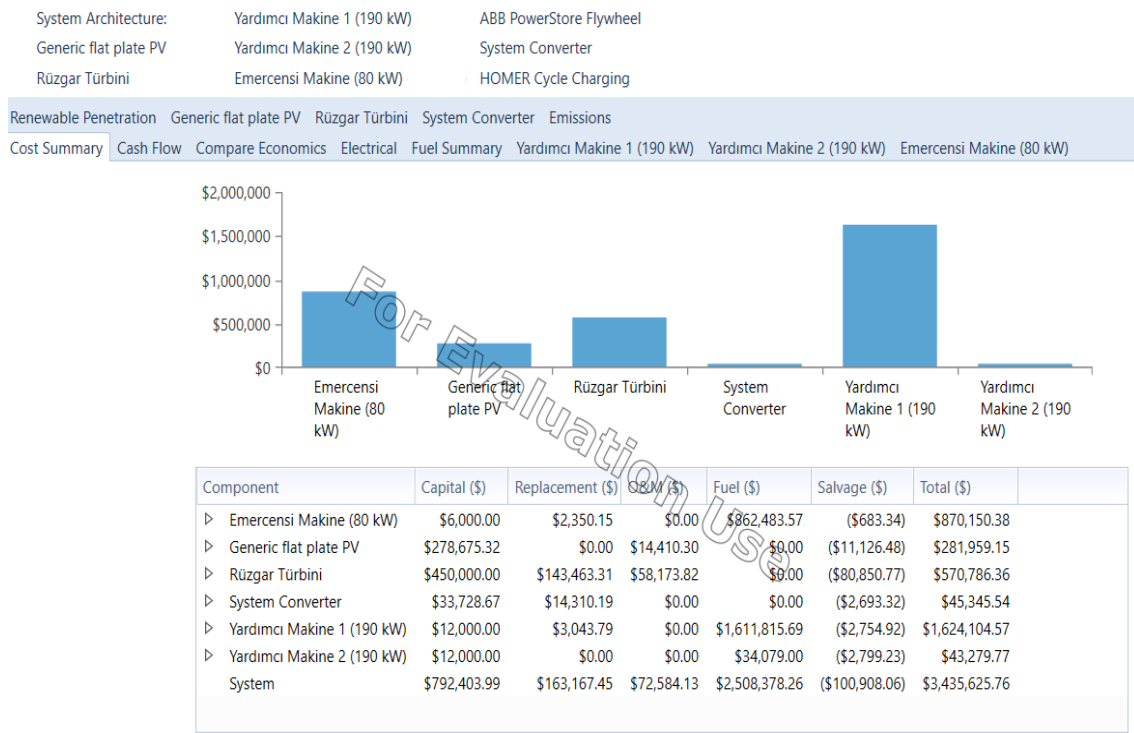
Şekil 37 Karma hibrit sistemi ile oluşturulan sisteme ait yakıt tüketimi

Yukarıda yakıt tüketim ve yük değerleri verilen hibrit sistem sonucunda ortaya çıkan emisyon miktarı şekil 38’ de verilmiştir.



Şekil 38 Karma hibrit sistemi ile oluşturulan sisteme ait emisyon verileri

Mevcut sistemin yanında rüzgâr ve güneş enerji sistemleri ile oluşturulan hibrit sistemin maliyet verilerini içeren veriler şekil 39’ da verilmiştir.



Şekil 39 Hibrit sistem oluşturulmasına ilişkin maliyet verisi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1 Sonuçlar ve Öneriler

Bu tez çalışmasında HOMER yazılım programının tercih edilme nedeni; çevresel ve ekonomik parametrelere ilişkin hesaplamaları kendi bünyesinde gerçekleştirebilmesi sayesinde önemli ölçüde kolaylık sağlaması ve olası hesaplama hatalarının önüne geçmesidir. Analiz edilecek sistemlerin modellenmesi sürecinde, HOMER yazılımı içerisinde yer alan kütüphanelerden hibrit enerji sistemlerine ait bileşenler seçilmiştir. Bu bileşenlere ait veriler yazılımda önceden tanımlı olarak yer almakta olup, kullanıcılar bu parametreler üzerinde değişiklik yapabilme esnekliğine de sahiptir. Çalışmanın analiz aşamasında, dört farklı senaryo için sistemler ayrı ayrı modellenerek değerlendirmeler yapılmıştır. Gemide analizi yapılan sistemlerin modellenmesi yapılırken teknik veriler, çevresel parametreler (emisyon çıktıları) ve maliyet bilgileri HOMER programının ilgili yerlerine yerleştirilmiştir.

Tablo 5.1 Analiz Sonuçlarına İlişkin Veriler

Durumlar	PARAMETRELER	
	CII (kg.CO ₂ /t.nm)	NPV (Bin Dolar)
1	0.657±0.0004(±2.38%)	2517,53±0.25(±5.39%)
2	0.506±0.0004(±2.38%)	327,30 ±0.25(±5.39%)
3	0.429±0.0004(±2.38%)	570,78 ±0.25(±5.39%)
4	0.329±0.0004(±2.38%)	3415,62±0.25(±5.39%)

Yukarıda verilen tablo ve analiz sonuçları incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır.

- Mevcut durum da sistemin doğaya salınım yaptığı emisyon miktarı 0.657(kg.CO₂/t.nm) iken güneş enerjisi ile oluşturulan hibrit sistem sonucunda 0.506(kg.CO₂/t.nm)'ya düştüğü ,
- Mevcutta bulunan enerji sistemine rüzgâr enerjisi ile oluşturulan hibrit sistem entegre edildiğinde emisyon miktarının 0429(kg.CO₂/t. nm)'e düştüğü
- Mevcutta bulunan enerji sistemine hem rüzgâr hemde güneş enerjisi ilave edilerek oluşturulan hibrit sistemde ise emisyon miktarının 0.329(kg.CO₂/t. nm)'a kadar düştüğü görülmektedir

Bu veriler ışığından geminin yıllık emisyon miktarının neredeyse yarı yarıya miktarında azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu durumun Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)'nun küresel deniz taşımacılığında sera gazı emisyonlarının azaltılarak 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşılması konusunda oldukça önemli bir sonuç alındığını göstermektedir.

Bununla birlikte geminin elektrik enerjisi elde edebilmek için yıllık olarak tükettiği yakıt miktarı 249011 litre iken güneş ve rüzgâr enerjisi ile oluşturulan hibrit sistemde 124976 litre yakıt tüketimi yapacağı görölmektedir.

Bugünkü yakıt miktarı 1,307 \$ olarak referans alındığında güneş ve rüzgâr enerjisi ile oluşturulan karma hibrit sistemin kendini 5,53 yılda amortisman sağlayabildiği görölmektedir.

KAYNAKÇA

ABB Marine/Energy Efficiency(2024) The other alternative fuel (Katalog)

Adilov E. (2023) *Kırsal yerleşim için yenilenebilir hibrit enerji üretim sisteminin analiz ve tasarımı* (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.

Alahakoon S., Suryawanshi U., Sheik A., Jayasinghe S. G. (2019) *Fuel saving with a hybrid power system for an electric ferry*, 14. Endüstriyel ve Bilgi Sistemleri Konferansı Kandy, Sri Lanka

Alewinjinse Power Management System(Üren Katoloğu) (2024)

Ammar,N.R., Almaz, M.A.& Nahas, Q.H.(2023). *Overview of the Main Benefits and Challenges of Different Ship Propulsion Systems. International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, 314-320

Bengisu K. (2020). *Aydın ili didim ilçesi kırsal bölgede yer alan bir konutun elektrik ihtiyacının hibrit güneş-rüzgâr enerjisi istemi ile karşılanmasının analizi* (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.

By Timothy J. McCoy (2015) *Electric ships past, present and future*. IEEE Elektrifikasyon Dergisi Yayınları

Carlson O., Chalmers P. A. N. (2014), *Development and demonstration of new technology for the use of wind turbines on ships*, Swedish energy agency, chalmers, Gothenburg

Cheng L., Gao N., Lin Y., Lin Y. J., Wu S.,Ye H. (2024) *Research on renewable energy consumption evaluation method considering the charging load of pure electric ship*, 2024 7. Uluslararası Enerji, Elektrik ve Güç Mühendisliği Konferansı Yangzhou, Çin

Chun K, Kim Y., Lee J., Lee H. S., Park K. (2018) *Anakysis of battery/generator hybrid container ship for CO₂ reduction,International electric electronic engineering*

Dursun S. (2016). *Biyokütle-rüzgâr-güneş hibrit güç üretim sistemi kullanılarak Kırklareli üniversitesi kayalı yerleşkesinin tekno-ekonomik açıdan değerlendirilmesi*, (Yayımlanmış Yüksek Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.

Eldabah M.,El banna S., Gaber M., Hamad B. (2019) *Model and control of naval ship power system by the concept of all electric ships based on renewable energy*, 21.Uluslararası Orta Doğu Güç Sistemleri Konferansı, Kahire, Mısır

- Eldabah M., El banna S., Gaber M., Hamad B. (2020) *Performance enhancement of ship hybrid power system using photovoltaic arrays*, 2020 IEEE PES/IAS Power Africa, Nairobi, Kenya
- Gazı S., Venugopal P., Rietveld G. (2022) *Comprehensive study of a hybrid electric ship for optimum onboard fuel consumption*. 16. Uluslararası uyumluluk, Güç Elektroniği ve Güç Mühendisliği Konferansı (CPE-POWERENG)
- Halid M., Maaruf M. (2022) *Hybrid solar/pem fuel cell and water electrolyzer energy system for all-electric ship*, IEEE Kansas Güç ve Enerji Konferansı., Manhattan ABD
- Ihongbe O.E. (2023) *Solar and wind based hybrid energy system in Nigeria*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Köse G. (2010) *Hibrit (Güneş + Rüzgâr) Enerji Sisteminden Enerji Üretimi Kütahya Örneği* (Yayımlanmış Yüksek Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Luo X., Wang J., Wang X., Xu L. (2023) *Optimal scheduling of the new energy hybrid shipp system via improved grey wolf optimization algorithm*, 6.. Uluslararası Akıllı Otonom Sistemler Konferansı, Qinhuağdao, Çin
- Mohab G., M. S. Hamad, M. Eldabah, S. H. El-Banna. (2020) *Performance Enhacement of Ship Hybrid Power System Using Photovoltaic Arrays*. IEEE PES/IAS Power Africa Nairobi, Kenya
- Ulutaş F. (2023) *The use of hybrid energy storage systems in commercial vessels and potential contributo to emission reduction in turkish straits*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yüksek Öğretim Kurulu ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- URL-1 <https://www.merchantnavydecoded.com/ship-propulsion-system-types-of-propulsion-system-in-ship>. (22.02.2025).
- URL-2 <https://www.gemyap.com> (23.03.2025)
- URL-3 <https://www.alewijnse.com/solutions/electrical-power-distribution/power-management> (24.04.2025)
- URL-4 <https://www.webtekno.com> (22.02.2025)
- URL-5 <https://www.ecrmarine.com> (25.02.2025)
- URL-6 <https://www.lg.com> (28.02.2025)
- URL 7 <https://www.arex.armadayazilim.com> (30.04.2025)
- URL-8 <https://www.zhanfengwt.com> (02.05.2025)

- Yang R., Jiang L. (2020), *Technology research and experimental simulation of energy management system for diesel electric hybrid ship.*, 2020 IEEE 5. Bilişim Teknolojileri ve Mekatronik Mühendisliği Konferansı, Chongging, Çin
- Zhang X., Wang X., Wang L., Wei J. (2009), *The development of offshore wind power technology in the world*, 2009 Dünya Şebeke Bağlantısız Rüzgâr Gücü ve Enerji Konferansı, Nanjing, Çin
- Yang Y., Ye H., Zhu W., Zhi P., Wang W., Qi Y. (2020), *Coordinated control strategy for ship wind power hybrid energy storage*, 2020 IEEE 18. Uluslararası Endüstriyel Bilişim Konferansı, Warwick, Birleşik Krallık