



**GEMİLERDE GÜNEŞ VE RÜZGÂR ENERJİ
SİSTEMLERİNİN FİZİKSEL KISIT ALTINDA
BOYUTLANDIRILMASI VE
İNTERNET TABANLI İZLENİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf TUNÇ

Danışman

Doç. Dr. Fatih ONUR HOCAOĞLU

**İNTERNET VE BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ
YÖNETİMİ ANABİLİM DALI**

Haziran 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEMİLERDE GÜNEŞ VE RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİNİN
FİZİKSEL KISIT ALTINDA BOYUTLANDIRILMASI
VE İNTERNET TABANLI İZLENİLMESİ

Yusuf TUNÇ

Danışman

Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

İNTERNET VE BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ
YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Yusuf TUNÇ tarafından hazırlanan “Gemilerde Güneş ve Rüzgar Enerji Sistemlerinin Fiziksel Kısıt Altında Boyutlandırılması ve İnternet Tabanlı İzlenilmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 21/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnternet ve Bilişim Teknolojileri Yönetimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

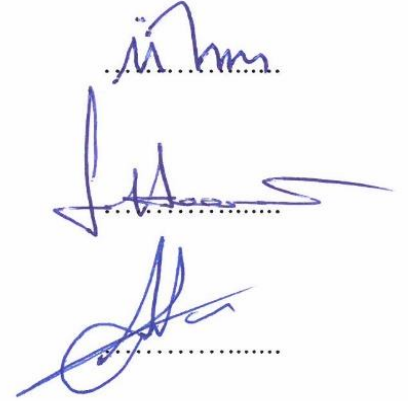
Danışman : Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Başkan : Doç. Dr. Ümmühan BAŞARAN FİLİK
Eskişehir Teknik Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Emre AKARSLAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

İmza



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

21/06/2019


Yusuf TUNÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GEMİLERDE GÜNEŞ VE RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİNİN FİZİKSEL KISIT ALTINDA BOYUTLANDIRILMASI VE İNTERNET TABANLI İZLENMESİ

Yusuf TUNÇ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnternet ve Bilişim Teknolojileri Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Günümüzde fosil yakıtlarının rezervlerinin sınırlı olması, çevreyi kirletmesi, küresel ısınmaya yol açması ve enerjiye olan talebin sürekli olarak artması gibi nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş ve rüzgar enerjisinin gemilerde de kullanılabilir olması çok önemlidir. Güneş ve rüzgar enerjisinin gemilerde kullanılması ile ilgili bilgileri içeren bu çalışmada örnek bir gemi seçilerek bu gemiye güneş panelleri ve rüzgar türbinleri yerleştirilerek fiziksel kısıt altında bir sistem kurulumu planlanmış ve bu sistem ile geminin enerji ihtiyacı azami ölçüde karşılanmaya çalışılmıştır. Kurulacak olan sistemin geminin tüm enerji tüketimini karşılayamamasından dolayı üretilen enerjiye denk bir tüketici seçimi yapılmıştır. Kurulacak olan sistemin enerji hesabı yapılmış ve üretilen fazla enerji, enerjisiz kalınacak zamanlar için depolanmıştır. İnternet aracılığı ile uzaktan takibi yapılacak şekilde tasarımı yapılan bu sistemin, dizel yakıt ile çalışan gemideki maliyet hesabı yapılarak ve kurulan sistemin yedi yıl sonra masrafını telâfi edebileceği ön görülmüştür. En önemlisi ise kurulacak olan bu sistem sayesinde atmosfere salınan karbondioksit miktarında bir yılsonunda yaklaşık olarak 143 ton civarında azalma sağlanacağı hesaplanmıştır.

2019, ix + 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi, Gemilerde Güneş Enerjisi, Gemilerde Rüzgar Enerjisi

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

SIZE OPTIMIZATION OF SOLAR AND WIND ENERGY SYSTEMS UNDER PHISICAL CONSTRAINTS and INTERNET BASED MONITORING

Yusuf TUNÇ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Management of Internet and Information Technologies

Supervisor: Assoc. Prof. Fatih Onur HOCAOĞLU

Nowadays, it is very important that solar and wind energy, which is one of the renewable energy sources, can also be used in ships due to the reasons such as limited fossil fuel reserves, polluting the environment, causing global warming, and increasing demand for energy. In this study, which includes information about the use of solar and wind energy in ships, a sample ship was selected and solar panels and wind turbines were placed on this ship and a system under physical constraint was planned and the energy demand of the ship was tried to be met to the maximum extent. Due to the fact that the system to be installed does not meet the energy consumption of the ship, a consumer choice has been made which is equivalent to the energy produced. The energy of the system to be installed has been calculated and the excess energy produced is stored for the times when it will be de-energized. This system, which is designed to be monitored remotely via the Internet, cost calculation has been made on the vessel which works with diesel fuel and after seven years the established system could compensates itself cost. Most important one is, the amount of carbon dioxide released into the atmosphere will be reduced by approximately 143 tons at the end of the year.

2016, ix + 66 pages

Keywords: Solar Energy, Wind Energy, Solar Energy on the Ship, Wind Energy on the Ship

TEŐEKKÖR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolay tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOğLU, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen eşime, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teőekkr ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolay aileme teőekkr ederim.

Yusuf TUNÇ
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Güneş ve Rüzgar Enerjisinin Kullanımı	2
1.2 Çalışmanın Kapsamı	4
2. ÖRNEK GEMİ ÇALIŞMALARI	6
2.1 Aquarius MRE.....	6
2.2 Solaris Global Cruiser	7
2.3 Soelcat-12 Katarman	8
2.4 MS Tûranor Planet Solar	9
2.5 Vindskip	10
3. UYGUN GEMİ SEÇİMİ	12
3.1 Seçilen Geminin Elektrik Sistemi	13
3.2 Seçilen Geminin Ana Tablosu.....	14
3.3 Seçilen Geminin Enerji Tüketimi ve Yıllık Masrafı	15
4. GÜNEŞ VE RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMİNİN FİZİKSEL KISIT ALTINDA BOYUTLANDIRILMASI.....	17
4.1 Sistemin Enerji Planının Hazırlanması	17
4.2 Güneş Enerji Sisteminin Kurulumu.....	18
4.2.1 Güneş Paneli Sayısının Belirlenmesi	18
4.2.2 Güneş Işınlardan Elde Edilecek Enerjinin Hesaplanması	21
4.3 Rüzgar Enerji Sisteminin Kurulumu	25
4.3.1 Rüzgar Türbini Seçimi	26
4.3.2 Rüzgar Türbin Sayısının Belirlenmesi	28

4.3.3 Rüzgar Türbinlerinden Elde Edilecek Enerjinin Hesaplanması.....	30
4.4 Tüketici Sisteminin Belirlenmesi	36
4.5 Batarya Hesabı.....	38
4.5.1 Bataryaların Belirlenmesi.....	43
4.5.2 Batarya Sayısının Belirlenmesi	44
4.6 Şarj Kontrol Cihazı.....	45
4.7 İnvörtör Seçimi	47
4.8 Sistemin Kurulumu ve Maliyet Hesabı	48
4.9 Cihazların Yerleşimi ve Kontrol Panosu	52
4.10 Geminin Enerji Takibinin İnternet Tabanlı Yapılması.....	53
4.10.1 Sistemdeki Cihazların Haberleşmesi.....	54
4.10.2 PLC Uzak Bağlantı Yazılımının Yapılması	56
5. SONUÇ	59
6. KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Amper
Hz	Elektrik Frekans birimi
mb	Barometre Basınç Birimi
w	Watt, elektrik güç birimi
V	Voltaj, elektrik gerilim birimi
Watt/m ²	Birim metre kare için güç birimi

Kısaltmalar

AC	Alternatif Akım (Alternating Current)
ACS	Erişim Kontrol Sunucusu (Access Control Server)
ADJ	Acil Durum Jeneratör
AMS	Alarm izleme Sistemi (Alarm Monitoring System)
DC	Doğru Akım (Direct Current)
DG	Dizel Jeneratör
IMP	Maximum Akım (Current at Maximum Power)
IoT	Nesnelerin İnterneti (Internet of things)
ISA	Uluslararası Standart Atmosfer (International Standard Atmosphere)
ISC	Kısa devre akımı (Short-circuit current)
LLP	Yük kaybı olasılığı (Loss of load probability)
LNG	Sıvılaştırılmış doğal gaz (Liquified Natural Gas)
Modbus RTU	Haberleşme protolü (Modbus, Remote Terminal Unit)
PLC	Programlanabilir akıllı kontrol cihazı (Programmable Logic Controller)
PMS	Güç Yönetim Sistemi (Power Management System)
RS 485	Seri haberleşme veri yolu (Balanced Data Transmission)
SB	Sahil Bağlantısı
VMP	Maksimum Gerilim (Voltage at maximum power)
VOC	Açık Devre Voltajı (Open-circuit voltage)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Dünya'daki enerji tüketiminin yıllara göre değişimi	1
Şekil 1.2 Sektörlere göre enerji tüketim miktarı	2
Şekil 3.1 Seçilen geminin güzergâhı	12
Şekil 3.2 690 V AC Geminin Ana Tablo Resmi	14
Şekil 4.1 Seçilen gemi için güneş paneli yerleşim krikosu	18
Şekil 4.2 Tatvan bölgesin 2017 yılı güneş ışınım verilerinin saatlik değişimi (ws/m^2) .	21
Şekil 4.3 Panellerden üretilecek enerjinin saatlik değişimi.....	25
Şekil 4.4 Sistemin enerjisiz kaldığı sürelerin analizi	26
Şekil 4.5 Rüzgar türbinlerin uygun yerleşim planı	28
Şekil 4.6 Gemi üzerindeki rüzgar türbini kurulabilecek noktalar	29
Şekil 4.7 Hellmann Üstel kuralı ile hesaplanmış rüzgar hızlarının değişimi grafiği	33
Şekil 4.8 Seçilen geminin güzergâh uzunluğu	33
Şekil 4.9 Rüzgar türbininden elde edilen enerjinin saatlik değişimi.....	35
Şekil 4.10 21 Haziran ve 21 Aralık tarihindeki saatlik küresel güneş radyasyonu.....	37
Şekil 4.11 21 Haziran ve 21 Aralık tarihinde aydınlatma sisteminin tüketim grafiği....	38
Şekil 4.13 Batarya boyutunun tespiti için tasarlanan algoritma.....	40
Şekil 4.14 100 W'lık güneş panellerinin kullanılması durumunda enerjisiz kalınan saatlerin batarya miktarına göre değişimi.....	41
Şekil 4.15 320 W'lık güneş panellerinin kullanılması durumunda enerjisiz kalınan saatlerin batarya miktarına göre değişimi.....	42
Şekil 4.16 Rüzgar türbini ve güneş panel bağlantısı	49
Şekil 4.17 Güneş panellerinin solar kontrol cihazına Bağlantısı.....	51
Şekil 4.18 Batarya ve invertör bağlantısı	51
Şekil 4.19 Kontrol cihazlarının panodaki yerleşimi.....	52
Şekil 4.20 Kontrol pano odasının gemideki yeri.....	53
Şekil 4.21 PLC üzerindeki veri yolları.....	54
Şekil 4.22 Seçilen gemide kurulacak olan sistemin seri haberleşme bağlantısı.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

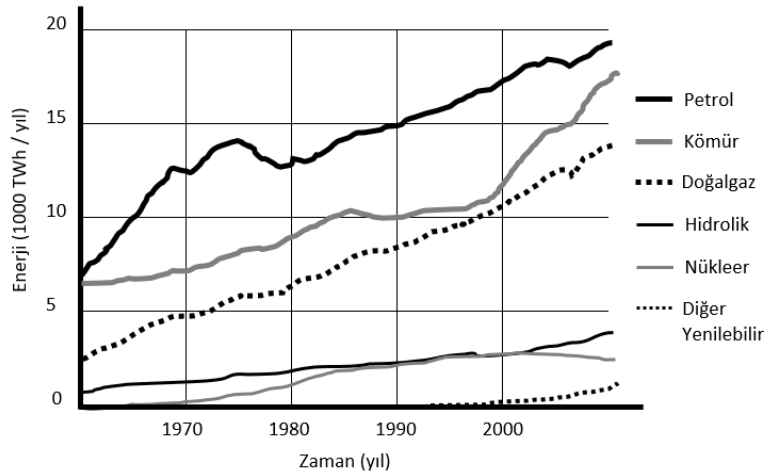
	Sayfa
Çizelge 3.1 Seçilen geminin çalışma saatleri	13
Çizelge 3.2 Seçilen gemideki sistemlerin enerji tüketim miktarları	16
Çizelge 4.1 100W Enerji üretebilen güneş paneline ait bilgiler.....	20
Çizelge 4.2 320 W Enerji üretebilen güneş paneline ait bilgiler.....	21
Çizelge 4.3 Dikey eksenli rüzgar türbinine ait teknik bilgiler	27
Çizelge 4.4 Hellman Üstel kuralı sürtünme katsayısının arazi tipleri için değerleri.....	32
Çizelge 4.5 Aydınlatma sisteminin enerji tüketim bilgileri	36
Çizelge 4.6 Sistemde kullanılacak olan akünün özellikleri.....	44
Çizelge 4.7 Rüzgar türbin kontrol cihazı özellikleri	46
Çizelge 4.8 Güneş paneli kontrol cihazı özellikleri	47
Çizelge 4.9 Sistemde kullanılacak olan invertörün özellikleri.....	48
Çizelge 4.10 Kurulacak olan sistemin maliyetleri.....	52
Çizelge 4.11 Sistemdeki cihazların seri haberleşme parametre bilgileri.....	55

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 JAMDA firması tarafından yapılan yelkenli bir gemi	4
Resim 2.1 Aquarius MRE - gemilerde rüzgar ve güneş enerjisinin kullanımı	7
Resim 2.2 Solaris Global Cruiser yatı.....	8
Resim 2.3 Soalcat-12 Katamaran.....	9
Resim 2.4 PlanetSolar şirketinin simgesi olan MS Tûranor PlanetSolar gemisi	10
Resim 2.5 Lade AS firması tarafından üretilen Vindskip Gemisi	11
Resim 4.1 100W Enerji üretebilen güneş paneline ait bir görünüm	19
Resim 4.2 LG Neon siyah 320W güneş paneline ait bir görünüm	20
Resim 4.3 5kw dikey eksenli rüzgar türbini.....	27
Resim 4.4 Sistemde kullanılacak olan jel akü.....	43
Resim 4.5 Rüzgar türbin kontrol cihazı	45
Resim 4.6 Rüzgar türbin şarj kontrol cihazının elektrik bağlantı noktaları	46
Resim 4.7 Güneş panel kontrol cihazı.....	47
Resim 4.8 Sistemde kullanılacak olan invertör.....	48
Resim 4.9 Seçilen PLC yazılım için donanım ayarları	56
Resim 4.10 PLC üzerindeki Modbus slave cihazların ayarları	57
Resim 4.11 Sistemin internet tabanlı izlenilebilmesi için PLC üzerinde yapılan web sayfası.....	58

1. GİRİŞ

Hem dünyada hem de ülkemizde sürekli artan nüfus sayısı artışı ile paralel bir şekilde tüketiminde artması ile enerji tüketimi de her geçen gün artmaktadır. Yıllara göre enerji gereksiniminin artması ile birlikte enerji kaynaklarının da tüketimi Şekil 1.1’de gösterilmiş olduğu gibi artmaktadır. Artan enerji talebiyle beraber fosil yakıtları hızla tükenmektedir. 2050’li yıllara gelindiğinde petrolün tükenme noktasına geleceği varsayılmaktadır. Doğalgaz için 2070, kömür için ise 2150 yılına kadar ömür biçilmektedir (Karaca 2012).

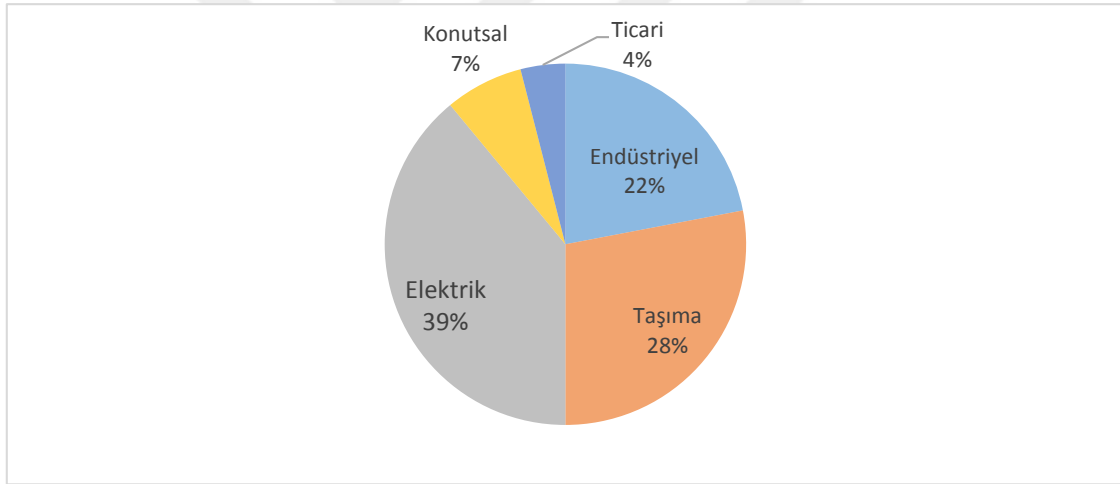


Şekil 1.1 Dünya’daki enerji tüketiminin yıllara göre değişimi

Dünyadaki temel enerji ihtiyaçlarının dörtte üçünü karşılayan fosil yakıtlar hem sera gazları ile küresel ısınmaya sebep olmakta hem de hızla tükenmektedir. Enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik araştırmalar, yakıt maliyetlerinin artması ve egzoz gazı salınımlarına, geri dönüşü olmayan iklimsel değişikliklere yol açmasından dolayı son zamanlarda sıklıkla gündeme gelmektedir. Bununla birlikte küresel ısınma, çevre kirliliği ve enerji konuları uluslararası araştırmalarda ana başlıkları oluşturmaktadır (Wu *et al.* 2011). Güneş ve rüzgar enerjisinin elektrik üretimi için önemli bir kaynak olması ayrıca ülkemizin Horizon 2020 teşviklerinden yararlanılması için yenilebilir enerji kaynağı olarak kullanılması çok önemlidir (Hocaoğlu ve Akarlan 2018). Buna rağmen ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı %1 civarındadır ki bu oran oldukça düşüktür (Gençoğlu 2002). Güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji

kaynaklardan güç elde edilerek, verimli şekilde kullanılması, enerji verimliliğinin sağlanması konusunda öncelikli konudur.

Dünya taşımacılığı, toplam enerjinin %95'ini karşılayan ve şu anda dünyanın enerji ile ilgili egzoz gazı salınımlarının neredeyse dörtte birinden sorumlu olan petrole dayanmaktadır (Rolland and Mehmet 2013). Son on yılda, ulaşım egzoz gazı salınımları diğer enerji sektörlerinden daha hızlı bir oranda artmıştır. Ulaşım faaliyetleri, ekonomik büyüme, nüfus artışı gibi etkenlerle sürekli gelişmektedir. Şekil 1.2'de belirtilmiş olduğu gibi enerji tüketiminin %28'ini taşıma sektörü ve uluslararası taşımacılığının %90'ını deniz yolu taşımacılığı oluşturmaktadır. Gemilerde enerji verimliliğinin sağlanması, yakıt maliyetlerinin düşürülmesine ve çevresel boyutta faydalar sağlanmasına neden olmaktadır (Çelikkaya 2012).



Şekil 1.2 Sektörlere göre enerji tüketim miktarı

1.1 Güneş ve Rüzgar Enerjisinin Kullanımı

Gelecekte yenilenebilir olmayan enerjilerin toplumun ihtiyaçlarını karşılamayacak duruma geldiğinde, rüzgar ve güneş enerjisi ulaşımdaki enerji sorununu çözebilmek için özellikle arabalara, otobüslere ve gemilere güç sağlamak için büyük bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Son zamanlarda yapılan güneş enerjisi ile çalışan araçlar; üzerlerine monte edilmiş güneş panelleri ile güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirerek güç elde etmektedirler (Sasaki *et al.* 1997). Güneş enerjisi ile çalışan araçlar ulaşım için pratik bir seçenek değildir; çünkü güneş sistemini araçlara uygulamak pahalı ve zordur. Ancak

araçlarda güneş ve rüzgar enerjisi sistemi birleşimi başarılı olabilir. Binlerce yıldır rüzgar enerjisi ulaşımda kullanılmıştır. Araştırmacılara göre yelkenlerin M.Ö. 5000’li yıllarda dahi kullanıldığı anlaşılmaktadır (Giggal and de Vries 1988). Son zamanlarda çok sayıda modern nakliye şirketleri rüzgar enerjisini gemilerde kullanmaya başlamıştır. Büyük yelkenler uygun koşullarda yaklaşık yakıt tüketiminin %30’a kadar tasarruf edilmesini sağlamıştır. Rüzgar enerjisinin gemilerde kullanılması, egzoz gazı salınımlarının azalması ile hem çevre dostu hem de nakliye firmaları için ekonomik açıdan avantajlı bir çözüm kaynağıdır.

Rüzgar enerjisinin kaynağını güneşten alır. Güneşin günlük hareketlerinin ve kendi eksenini etrafındaki dönüşünün bir sonucu olarak gün içerisinde toprakta ve suda ısı farklılıkları oluşmaktadır. Bu ısınma ve soğuma değişimleri gün boyunca dünyanın çevresinde devam eder. Ekvatorda ısınan hava yükselerek kutuplara doğru gider, soğuyan hava ise ağırlaşarak geri döner. Bunun sonucunda rüzgar enerjisi ortaya çıkar. Güneş ve Dünya var olduğu sürece rüzgar enerjisinden yenilenebilir enerji kaynağı olarak faydalanmak mümkündür. Özellikle güneş enerjisi rüzgar enerjisinden daha önemlidir. Çünkü yaklaşık olarak yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin %2’sinin rüzgarın kinetik enerjisine dönüştüğü tahmin edilmektedir. Bu miktarın, tüketilen enerjinin yüzlerce katı olduğu düşünülürse güneş ve rüzgar enerjisinin önemi çok daha iyi anlaşılmış olur (Kurban *et al.* 2007).

İnsanoğlunun, rüzgarın gücünü keşfedip onun gücünden yararlanmaya başlaması çok eski dönemlere dayanır. Rüzgar enerjisi son zamanlarda tür olarak, yararlı bir enerji kaynağı olarak benimsenmemiştir. Ancak, 1970’lerde ortaya çıkan petrol krizi, rüzgar enerjisine gösterilen ilgiyi yeniden canlandırmıştır (Baran 2012). Örneğin Japonya’da 1970’li yıllarda petrol fiyatlarındaki artış nedeniyle 1980 yılında yakıt tüketimini en aza indirmek için yelkenli gemiler tekrar kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bir süre sonra petrol fiyatlarının tekrar düşmesi ile yelkenli gemiler yine önemini kaybetmiştir. Japonya Makine Geliştirme Birliğinin (JAMDA) yelkenlerin gemilerde kullanılması ile gemilerde yakıt tüketimini %10 ile %30 arasında azaltmışlardır. Yelkenli gemiler çoğunlukla küçük ve orta büyüklükte gemilerde başarılı çalışmalar olmasına rağmen büyük gemilerde birçok operasyonel zorluk nedeniyle şuana kadar başarılı çalışmalar elde edilememiştir.

JAMDA firması tarafından yapılan yelkenli bir gemi çalışması Resim 1.1'de gösterilmiştir (Ouchi *et al.* 2011).



Resim 1.1 JAMDA firması tarafından yapılan yelkenli bir gemi

Güneş enerjisinin elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları gerçek anlamda 1970 yılındaki petrol bunalımdan sonra olmuştur. Üniversitelerin yanı sıra büyük firmaların güneş enerjisi ile ilgili yapmış oldukları çalışmalar güneş pillerinin gelişimine büyük katkı sağlamıştır. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir (Baran 2012). Yakın zamanlara kadar sıradan elektrik enerji üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen güneş enerji sistemleri artık güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Güneş enerjisinin kullanımı, gemilerde yakıt tüketimini azaltmanın bir başka yoludur. Modern güneş panelleri küçük feribotlar, tekneler ve gemiler için düşük maliyetli bir yakıt azaltma çözümü olsa da güneşin günün her saati olmaması nedeniyle tam bir çözüm olamamıştır (O'Rourke 2006).

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu tez çalışması birinci bölüm giriş bölümü olmak üzere toplam dört ana bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, öncelikle bu konu üzerine yapılmış başarılı örnek gemi çalışmalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, güneş ve rüzgar enerjisi sisteminin hali hazırda bir gemiye uygulanabilirliğini tespit etmek amacıyla seçilen bir geminin rotası boyunca harcamış olduğu enerji incelenmiştir. Üzerine kurulabilecek bir sistem ile güneş

ve rüzgar enerjisinden azami şekilde faydalanabilmek için kurulabilecek güneş paneli alanı ve yerleştirilebilecek rüzgar türbini sayısı ve büyüklükleri belirlenmiştir. Son olarak kurulacak olan bu sistemden üretilen enerjinin ne kadar yeterli olacağı ve maliyet tartışması yapılmıştır.



2. ÖRNEK GEMİ ÇALIŞMALARI

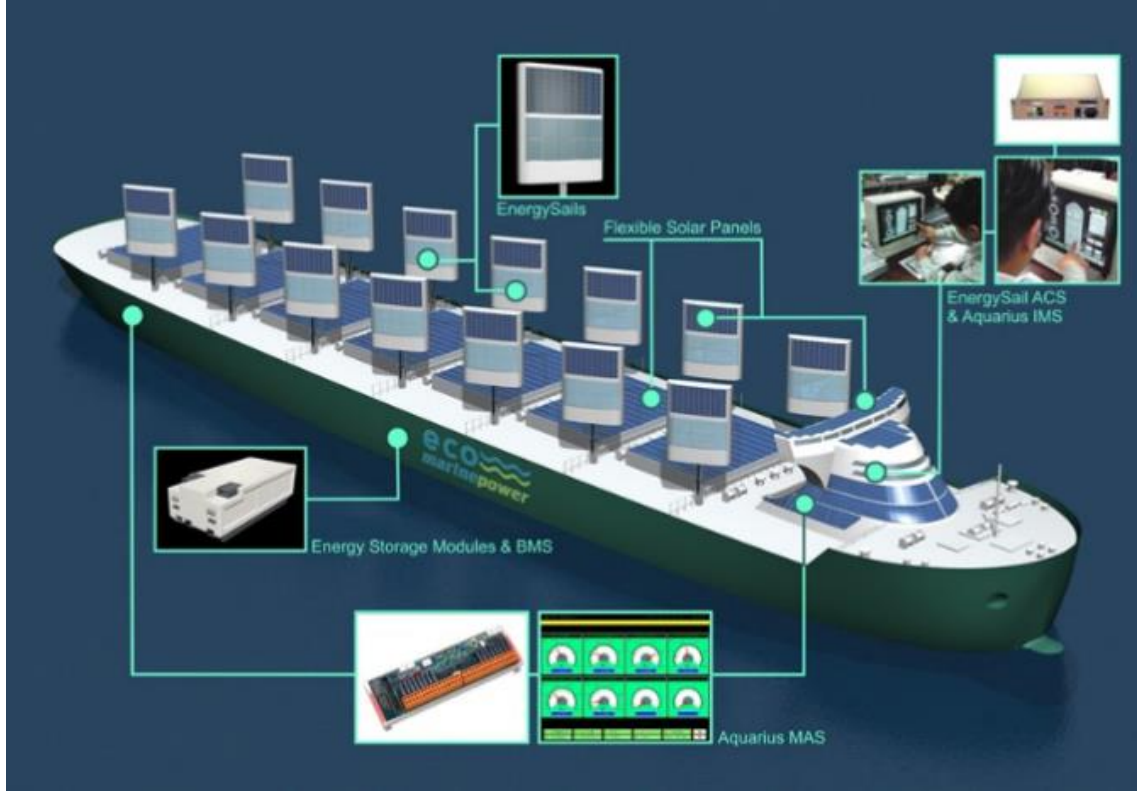
Her piyasada olduğu gibi deniz piyasasında enerjiden tasarruf etmenin yanı sıra çevre duyarlılığı nedeniyle birçok çalışma yapılmıştır. Bu konuyla ilgili uzmanlar, gelişen teknolojinin desteği ile gemilerde kullanılan enerjinin daha ekonomik ve daha çevreci olarak üretilmesi konusuna çalışmaktadırlar. Yenilebilir enerjinin özellikle nakliye sektöründe kullanılması çok önemli bir gelişmedir (Mathiesen *et al.* 2008). Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla donatılmış gemilerin tasarlanması bu anlamdaki önemli adımlardandır. Bu doğrultuda Aquarius MRE, Solaris Global Cruiser, Soelcat-12 Katarman, MS Tûranor Planet Solar ve Vindskip gibi başarılı gemi çalışmaları yapılmıştır.

2.1 Aquarius MRE

Eco Marine Power şirketi tarafından gemilerde hem rüzgar enerjisini hem de güneş enerjisini kullanabilecek bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde gemilerdeki rüzgar ve güneş panellerinin kullanımı pratik hale getirilmiştir. Hatta üzerinde yenilenebilir enerji sistemi olmayan gemilere de bu sistem sonradan eklenebilmektedir. Hem rüzgar hem de güneş enerjisi, bu gemilerde hibrit bir şekilde kullanılarak bu gemilerin motor gücüne katkı sağlanmıştır. Böylece daha az yakıt tüketimi, daha az maliyet ve daha az çevreye zarar verme gerçekleşmiştir. Büyük bir gemide Aquarius MRE ile her yıl 1 000 ton veya daha fazla yakıt tüketimi tasarruf edilebilecektir. Ayrıca, karbondioksit salınımları yılda yaklaşık 3 000 ton azaltılabilecektir (İnt.Kyn.1).

Aquarius MRE tarafından patentli olan ve Resim 2.1'de gösterilmiş olan yelken şeklindeki güneş panelleri sayesinde hem rüzgar gücünden hem de güneş ışınlarından enerji üretebilmektedir. Gemi isteğe göre rüzgar enerjisi için yelken şeklinde güneş paneli veya sadece güneş paneli güverteye yatay bir şekilde kurulumu yapılabilmektedir. Buradan elde edilecek enerji, tasarıma göre doğrudan geminin doğru akım veya alternatif akım şebekesini desteklemektedir Acil durumlar veya yedek güç durumu için bataryalarda sisteme dâhil edilmiştir (İnt.Kyn.1).

EnergySail olarak adlandırılan bu patentli sistem için aynı zamanda diğer yenilebilir enerjileri hibrit olarak kullanacak şekilde bir yazılım geliştirmişlerdir. Erişim Kontrol Sunucusu (ACS) olarak adlandırılan bu bilgisayar kontrol sistemi, panellerin konumunu otomatik olarak ayarlamak için kullanılmıştır. Buna ek olarak, ACS bir yönetim ara yüzü bir veri kayıt özelliği de içermektedir. Böylece güzergâh ile ilgili kayıtları tutabilmekte ve iklim ile ilgili tahminleri yapabilmektedir (İnt.Kyn.1).



Resim 2.1 Aquarius MRE - gemilerde rüzgar ve güneş enerjisinin kullanımı

2.2 Solaris Global Cruiser

Duffy Londra tarafından yapılan, Resim 2.2’de gösterilmiş olan ve ismi Solaris Global Cruiser olan lüks yat sadece güneş enerjisi ile çalışmaktadır. Kendi tatlı suyunu üretecek ve atıklarını dönüştürecek şekilde tam bir çevre dostu olan bu tekne tamamen kapalı bir şekilde tasarlanmıştır. Güneş enerjisi ile ilgili teknolojik gelişmelere açık olan bu gemi güneş enerjisini verimli kullanmak için özel bir yazılıma sahiptir. Her türlü rüzgar ve hava koşullarında seyir yapabilecek bir tasarıma sahip olan bu gemi yüksek hızlarda bile sessizce yol alabilmektedir. Bu yat, yakıt ikmali yapmayacak şekilde en son teknolojik güneş enerji sistemi ile donatılmıştır. Bu sisteme uygun bir şekilde yatın malzemeleri

hafif ve özel materyaller kullanılmıştır. Uzunluğu 44 metre ve genişliği 8,7 metre olan bu yata toplam tüketimi 3 738 kW altı tane elektrikli motor ve yatın daha hızlı manevra yapabilmesi için istenildiğinde ayrıca alkolden de elektrik üretilerek sistemin desteklemesi planlanmıştır. Normalde diğer lüks yatlar kısa bir mesafe kat ettikten sonra yakıt ikmali yapmak zorundadırlar ve bu yatlar çevre dostu değildir; ancak bu yatın yakıt ikmaline ihtiyacı yoktur. Böylece gidilecek olan mesafeye daha hızlı gidilebileceğini şirket iddia etmektedir. Sistemin enerjisiz kalmaması için en son batarya teknolojisinden yararlanmayı hedeflemektedirler (İnt.Kyn.2).



Resim 2.2 Solaris Global Cruiser yatı

2.3 Soelcat-12 Katarman

SoelYatch firması tarafından SoelCat 12 adını verilerek, Resim 2.3'te gösterilmiş olduğu gibi tamamen güneş enerjisiyle çalışan ve tatil yörelerindeki tesisler için bir tekne olacak şekilde tasarlanarak üretilmiştir. Özellikle teknenin yapımında hafif malzemeler kullanılarak hızlı kalkış yapabilmesi, seri hareket edebilmesi ve böylece tasarruf yapması sağlanmıştır. Üzeri tamamen 8,6 kW Güneş panelleri ile kaplanmıştır. İki tane 30 kW'lık motor ve iki tane 60 kW'lık batarya kullanılmıştır. Ayrıca tekne daha sonra şebekeye geri beslenebilen veya şebeke bulunmayan yerlerde güç sağlayabilen bir mobil güç istasyonu olacak şekilde donatılmıştır. SoelCat 12'nin ticari olarak kullanımı, günlük 200 litrelik

yakıt tüketimi ile geleneksel itmeli bir tekneye kıyasla, yılda 142 ton CO₂ tasarruf edebilmektedir (İnt.Kyn.3).



Resim 2.3 Soalcacat-12 Katamaran

2.4 MS Tûranor Planet Solar

PlanetSolar şirketli, şirketlerinin simgesi olması için Resim 2.4'te gösterilen MS Tûranor PlanetSolar gemisini yapmışlardır. MS Tûranor PlanetSolar gemisi tamamıyla güneş enerjisini kullanarak Dünya turunu yapmayı başaran ilk gemidir. Uzunluğu 31 metre olan teknenin üzeri 537 m² güneş panelleri ile kapılanılarak 93kW enerji elde edilmiştir. Her gövde için birer tane olmak üzere iki adet elektrik motoru bağlanmıştır. Sistemin sonradan enerjisiz kalmaması için gövdesinin içerisine 8,5 tonluk lityum iyon pil kullanılmıştır. Şu anda Cenevre Üniversitesi tarafından yüzen bir deniz araştırma laboratuvarı olarak kullanılmaktadır (İnt.Kyn.4).



Resim 2.4 PlanetSolar şirketinin simgesi olan MS Tûranor PlanetSolar gemisi

2.5 Vindskip

Norveçli yeşil enerji teknoloji firması Lade AS şirketi tarafından üretilen ve Resim 2.5'te gösterilmiş olan Vindskip ismi verilen gemi, denizcilik alanında yeşil enerjiye dönüş için örnek bir proje olarak göstermiştir. Gemi rüzgar enerjisi ve doğal gaz enerjisini hibrit olarak kullanmaktadır. Rüzgar enerjisini kullanmadığını zamanlar sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) kullanılmakta ve böylece potansiyel yakıt tasarrufu % 60 kadar ulaşırken, salınım oranlarını da % 80'e kadar azaltmaktadır (İnt.Kyn.5).

Geminin bilgisayar yazılımları Almanya'daki Fraunhofer Denizcilik ve Lojistik Merkezi'nde geliştirilmektedir. Yazılım sayesinde meteoroloji bilgilerini kullanarak en iyi rüzgar gücü, rota ve hız bileşimleri hesaplanmaktadır ve böylece geminin hızı belli bir seviyeye ulaştıktan sonra özel üretilmiş yelkenlerin devreye girmesiyle rüzgardan enerji üretilmektedir (İnt.Kyn.5).

Geminin ilk rüzgar testleri ve aerodinamik seyir kapasite testleri İngiltere Cranfield Üniversitesi rüzgar tüneline gerçekleştirilmiştir. Ancak yeterli seviyeye gelemediği için

hala üzerindeki çalışmalar devam etmektedir. Firmanın planına göre gemi 2019'da tamamlanacaktır (İnt.Kyn.5).



Resim 2.5 Lade AS firması tarafından üretilen Vindskip Gemisi

3. UYGUN GEMİ SEÇİMİ

Tez çalışması için armatörler ve uzman kişilerle yapılan görüşmeler sonucunda yeni yapılan bir gemi ile bu çalışmanın yapılmasının zor olması nedeniyle hali hazırda çalışan bir gemi üzerine bir çalışma yapılmasının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Gemilerde güneş ve rüzgar enerjisinin kullanımı ile ilgili bilgi elde etmek için örnek bir gemi çalışması yapılarak bu konuyla ilgili bir sonuca ulaşmaya çalışılmıştır. Özellikle seçim yapılırken güneş paneli ve rüzgar türbinin daha kolay yerleştirilebilmesi için üzerinde uygun alanın bulunduğu bir gemi seçilmesi daha uygun bulunmuştur. Bu doğrultuda Van Gölü'nün de İran ile Türkiye arasında ticari malzeme taşımacılığı yapan, trenleri Van Gölü boyunca taşıyan bir feribot seçilmiştir. Güzergâhı Şekil 3.1'de gösterilen geminin her seyrini yaklaşık on saatte tamamlamaktadır. Tatvan limanından hareket eden ve Van'da yaklaşık bir saat kadar diğer tren ve yolcular için bekledikten sonra aynı gün Tatvan'a geri dönmektedir.



Şekil 3.1 Seçilen geminin güzergâhı

Tren taşımacılığının yanı sıra yolcudaki taşımacılığı da yapan bu gemi büyük bir feribot gemisidir. Bu feribotun 2017 yılına ait haftalık çalışma saatleri aşağıdaki Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Çalışma saatlerini incelendiğinde bu geminin gün içerisinde güneşten en fazla verim alınan saatler olduğunu görülmektedir. Devlet kurumuna ait olan bu gemi yılın resmi tatiller dışındaki tüm günler görev yapmaktadır.

Çizelge 3.1 Seçilen geminin çalışma saatleri

Günler	Tatvan Saati	Kalkış	Van'a Saati	Ulaşma	Van Saati	Kalkış	Tatvan'a Ulaşma Saati
Pazartesi	08.30		13.00		14.00		18.30
Salı	08.30		13.00		14.00		18.30
Çarşamba	08.30		13.00		14.00		18.30
Perşembe	08.30		13.00		14.00		18.30
Cuma	08.30		13.00		14.00		18.30

3.1 Seçilen Geminin Elektrik Sistemi

Araştırma konusu için seçilen geminin ana tahrik sistemi dizel yakıt ile çalışan diğer gemilerden farklı olarak elektrik ile çalışan motorlardan oluşmaktadır. Gemide dört adet Shottel marka pervane bulunmakta ve bu dört pervane dört adet elektrikli motor sayesinde hareket ettirilmektedir. Her pervane kendi eksenini etrafında üç yüz altmış derece dönebilmektedir ve böylece gemi ile çok yüksek kapasiteli manevra hareketleri yapabilmektedir. Bir dizel motorunun olmaması ve gemideki diğer tüm sistemlerin elektrik enerjisi ile çalışıyor olması bu geminin tamamen yenilebilir enerji ile çalışabilen bir gemiye dönüştürülmesini kolaylaştırmaktadır. Bu gemi dizel motor ile çalışan bir gemi olsaydı dizel motorun çalışması için ayrıca bir çalışma yapılması gerekecekti. Dört adet pervanesi bulunan bu gemide dört adet jeneratör bulunmaktadır. Bu jeneratörlerinin her biri tam kapasite ile çalıştığında, toplam 4 800 kW elektrik üretmektedir. Jeneratörlerden üretilen enerjiler ana baraya aktarılmaktadır. Ana barada biriken enerji geminin hareket etmesi için öncelikle dört frekans konvertörüne gönderilmektedir. Frekans konvertörleri sayesinde istenilen dönme hızına ulaşabilen motorlar sayesinde pervaneler kaptanın kontrolünde gemiye yol aldırılmaktadırlar. Geminin seyir esnasında dört jeneratörü de aktif olarak kullanılmaktadır. Dört jeneratörün birlikte çalışmaması durumunda geminin AMS (Alarm Monitoring System)'i bu dört pervanenin elde edilen enerjiye göre elektrik motorlarının güç tüketimini kısıtlamaktadır. Geminin ana barasında 690 V AC 60 Hz elektrik enerjisi kullanılmaktadır.

3.2 Seçilen Geminin Ana Tablosu

Seçilen gemide dört adet dizel jeneratör bulunmaktadır. Geminin ana tahrik sistemi dâhil olmak üzere gemideki tüm sistemlerin enerjisi bu dört dizel jeneratör ile beslenmektedir. Bu dört jeneratörün dışında genel olarak diğer gemilerde bulunduğu gibi bir adet acil durum jeneratörü (ADJ) de bulunmaktadır. Şekil 3.2’de gösterilmiş olduğu gibi gemide bulunan dört jeneratör için dört adet güç yönetim sistem (PMS) paneli bulunmaktadır. PMS paneller jeneratörün kontrolünden sorumlu olan cihazlardır. Bu cihazlar, jeneratörlerin eş zamanlı çalışmaları için programlanmıştır. Birçok görevi olan bu PMS panellerinin en önemli görevi geminin enerji sisteminde oluşabilecek hatalara karşı sistemleri korumak ve enerji paylaşımını otomatik olarak yapmaktır.



Şekil 3.2 690 V AC Geminin Ana Tablo Resmi

Jeneratörler sırasıyla ikinci, üçüncü, beşinci ve altıncı panoların içerisindeki kesiciler aracılığı ile pano içerisindeki baraya bağlıdır. Jeneratörden gelen enerjiler PMS cihazlarının kontrolü ile kesiciler üzerinden ana baraya bağlanmaktadır.

Ana tablo tüketicileri gerilimlerine göre 690 V AC, 400 V AC ve 24 V DC tüketicileri olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Geminin ana tahrik sistemi elektrikli motorlardan oluşmaktadır. Bu motorlar frekans konvertörleri aracılığı ile kullanılmaktadır. Her bir frekans konvertörü 690 VAC elektrik ile çalıştığı için bu dört büyük tüketici 690 VAC grubuna bağlıdır. 690 V AC elektrik enerjisi 400 V AC elektrik enerjisine dönüştürülmek için transformatörlere ve buradan da istenilen gerekli gerilime indirgenerek ilgili tüketicilere aktarılmaktadır.

3.3 Seçilen Geminin Enerji Tüketimi ve Yıllık Masrafı

Seçilen gemide bulunan her bir jeneratörün kapasitesi 1 600 kW'tır. Jeneratörlerin her biri tam yükte 1 600 kW enerji üretirken yaklaşık 350 litre yakıt harcamaktadır. Seyirde yapılan denemelerde maksimum hızda geminin her bir jeneratörü tam yükte çalışırken, tüm seyir boyu 7,5 ton yakıt kullanılarak seyri üç saat otuz dakikada tamamlamıştır. Geminin daha az yakıt harcaması için motorlar %55 verim ile çalıştırılarak bu yakıt oranını olabildiğince düşürülmüş; ancak seyir bitirme süresi bir saat uzamış ve gemi, yaklaşık 6,2 ton yakıt harcamıştır. Çizelge 3.2'de gösterilen tüketim miktarları toplandığında geminin tüm sistemlerinin harcayabileceği enerjinin toplam maksimum 1 014 806 W olduğu görülmektedir. Seyir esnasında jeneratörler her an farklı bir tüketicinin enerji ihtiyacını karşılamak durumundadır; ancak Çizelge 3.2'ye göre tüm sistemler aynı anda çalışmayacağı için her saat sonunda harcanan tüketim Çizelge 3.2'de belirtilen toplam tüketim miktarı kadar asla olmayacaktır. Feribot seyri toplam on saatte, yaklaşık 27 000 kW enerji harcayarak bitirmektedir. Her seyirde bir saat gemi, yolcular ve tren yüklemeleri için beklemektedir. Bu bekleme esnasında hareket halindeki göre çok daha az enerji tüketmektedir. Seyir esnasında her saat için yaklaşık 3 000 kW enerji tüketmektedir. Feribotun bekleme esnasında ise her saat ortalama yaklaşık 100 kW enerji tüketmektedir.

Günlük yapılan seyir ve geminin kıyıda bekleyerek harcamış olduğu enerji miktarı yaklaşık olarak toplam 32 000 kW civarındadır. Jeneratörlerin 1 600 kW enerji için 350 litre yakıt tüketim bilgisini kullanarak kabaca bir hesap yapıldığında geminin günlük yaklaşık olarak yedi ton dizel yakıt tükettiği bulunmuş olur. Dizel yakıtın litre fiyatının 0,65 \$¹ olduğu varsayıldığında ve jeneratörlerin normal rutin kullanımlardaki bakım giderleri ile yakıt giderleri toplandığında toplam maliyet yıllık yaklaşık olarak iki milyon Doları bulmaktadır.

¹ Geminin resmi bir kuruma ait olması nedeniyle yakıt maliyetine ÖTV dâhil değildir.

Çizelge 3.2 Seçilen gemideki sistemlerin enerji tüketim miktarları

Göl Suyu Soğutma Pompaları	4	18 500	74 000
Pompalar (Yangın Söndürme, Sintine, soğutma suyu...)	27	22 900	366 400
Asansör Kontrol Sistemi	1	37 000	37 000
Atölye	1	1 570	1 570
Aydınlatma Sistemleri	7	8 098	56 686
Havalandırma ve İklimlendirme	6	33 791	202 750
Makine Dairesi Havalandırma ve iklimlendirme	2	29 500	59 000
Mutfak Sistemleri	2	18 500	37 000
Ana Tahrik Sistemi	4	45 100	180 400
Toplam			1 014 806

4. GÜNEŞ VE RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMİNİN FİZİKSEL KISIT ALTINDA BOYUTLANDIRILMASI

Sistem kurulumuna geçilmeden önce öncelikle gemide sistemin boyutlandırması gerekmektedir. Gemide karadaki gibi yeterli alan olmayacağından dolayı hem güneş hem rüzgar enerjisinden azami ölçüde yararlanmak için gemiye yerleştirilebilecek güneş panellerinin ve rüzgar türbinlerinin maksimum sayısının bulunması gerekmektedir. Gemide kullanılacak güneş paneli ve rüzgar türbin sayısı belirlendikten sonra sistemin üreteceği enerji yaklaşık olarak hesaplanmalıdır (Fauci III 2015). Bunun için geminin rotası boyunca güneş panellerinin kurulu olduğu noktalarda güneş ölçümü ve rüzgar türbinlerinin yüksekliklerinde rüzgar ölçümü yapılmalıdır. Bu ölçüm bilgileri geminin rotasına en yakın noktalarda, bir yıl boyunca her saat hem güneş hem de rüzgar verilerini analiz edilmedi. Bunun için gerekli olan saatlik küresel güneş radyasyonu (ws/m^2) ve saatlik ortalama rüzgar hızı (m/s) resmi kurumlardan temin edilmiştir².

Sistem kurulumu için; sistemde kullanılacak güneş ve rüzgar türbinlerini azami sayıda kullanarak elde edilen enerjiye göre batarya hesabı yapılmalı ve bu hesaba göre sistemde kullanılacak batarya sayısı ve büyüklüğü bulunmalıdır. Sistemde kullanılacak olan güneş panelleri için solar kontrol cihazı ve rüzgar türbinleri için de türbin kontrol cihazları belirlenerek bunlar sisteme dâhil edilmelidir (Aktacir *et al.* 2008).

4.1 Sistemin Enerji Planın Hazırlanması

Enerji planı yapılırken tüketilen ve üretilmesi gereken enerji planlanacak şekilde yapılmalıdır. Ancak gemilerde alan sınırlı olması nedeniyle gemideki alana göre plan yapılmalıdır. Öncelikle geminin enerji sistemini incelenmeli ardından güneş paneli ve rüzgar türbinleri için alanlar belirlenmelidir. Güneş panelleri ve rüzgar türbinlerinin yerleşim yerleri ve sayıları belirlendikten sonra bu sistemlerden elde edilebilecek enerji hesaplanmalıdır. Üretilen enerji belirlendikten sonra bu üretilen enerjinin fazlasını depolayacak batarya ile ilgili bir çalışma yapılmalıdır. Üretilen enerji ve depolanan enerjinin büyüklüğüne göre, üretilen enerjinin geminin tamamında veya enerjinin büyüklüğüne göre geminin belirli sistemlerinde kullanılmalıdır (Boxwell 2010).

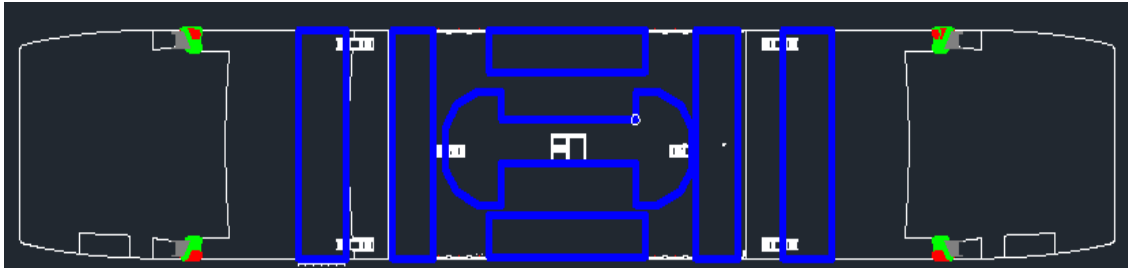
² <https://mevbis.mgm.gov.tr>

4.2 Güneş Enerji Sisteminin Kurulumu

Büyük tonajlı gemilerde güneş enerjisinde elde edilecek olan enerji tüketilen enerjiye oranla düşük olacağı için güneş enerji sistemleri büyük geminin hareket ettirilmesi için genel olarak kullanılmamaktadır. Bu nedenle büyük gemilerde güneş enerjisi yardımcı donanımın enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Karada kurulacak bir güneş paneli için belki alan sınırı olmayabilir ancak gemide çok kısıtlı bir alan olması nedeniyle öncelikle güneş panellerinin konulabileceği yerlerin tespit edilmesi gerekir. Güneş Panellerinin yerleri tespit edilirken aşağıdaki maddeler dikkate alınmalıdır (Carlton *et al.* 2013).

1. Güneş ışınlarını alabilecek en iyi yer olmalı.
2. Güneş panellerinin biri diğerine engel olmayacak şekilde yerleştirilmeli ve buna uygun alanlar olmalı.
3. Geminin statik yapısını bozmayacak şekilde yerleştirilmeli ve buna uygun alanlar seçilmeli.
4. Gemideki işleri aksatmayan alanlar seçilmeli
5. Geminin manevra kabiliyetini engellemeyecek alan seçilmeli.
6. Kaptanın ve mürettebatın görüş alanlarına engel olmayan yerler olmalı.

Yukarıdaki maddeleri dikkate alınarak yapılan çalışma sonucunda Şekil 4.1’de mavi renkler ile gösterilmiş olan alanların güneş panellerinin yerleştirilmesi için uygun alanlar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.1 Seçilen gemi için güneş paneli yerleşim krikosu

4.2.1 Güneş Paneli Sayısının Belirlenmesi

Güneş panellerinin gemiye yerleştirilmesi için öncelikle güneş panellerinin ölçülerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Piyasada bulunan güneş panellerinin ölçüleri, verimlilikleri, gerilimleri, akımları ve fiyatları gibi parametrelerinin farklılık göstermektedir. Gemideki kısıtlı alan nedeniyle güneş panellerinin hem maliyetleri hem de üretecekleri enerji karşılaştırılarak gemi için uygun güneş paneli bulunabilecektir. Bunun için iki farklı güneş paneli seçimi yapılmış ve bunların ölçülerine göre gemideki yerleşimleri yapılmıştır.

Gemideki Şekil 4.1’de gösterilen 917 m² alana Çizelge 4.1’de ölçüleri verilen günümüz piyasasına göre fiyatı uygun olan güneş panelleri bu alanlara yerleştirildiğinde bin dört yüz kırk iki adet güneş panelinin kullanılması gerektiği hesaplanmıştır.

Seçilen gemide güneş panelleri için tespit edilen uygun alanlara Resim 4.1 ve Resim 4.2’de gösterilmiş olan güneş panellerini kullanılarak bir karşılaştırma yapılması düşünülmüştür.



Resim 4.1 100W Enerji üretebilen güneş paneline ait bir görünüm

Resim 4.1’de gösterilen fiyat olarak Resim 4.2’deki güneş panelinden maliyet olarak daha uygun olan güneş paneline ait detaylı bilgiler aşağıdaki Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 100W Enerji üretebilen güneş paneline ait bilgiler

Güç	100W
Marka	Eco-Worthy
Açık Devre Voltajı (VOC)	21,6V
Maksimum Gerilim (VMP)	18V
Kısa devre akımı (ISC)	6.11A
Maximum Akım (IMP)	5,55A
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40°C ile +80°C
Çerçeve	Ağır alüminyum
Garanti	10 yıl % 90 verim 25 yıl % 80 verim
Boyut	957 x 665 x:35 mm

Gemideki Şekil 4.1’de gösterilen 917 m² alana Çizelge 4.2’de ölçüleri verilen günümüz piyasasına göre fiyatı yüksek olan ancak enerji üretim verimi daha yüksek olan güneş panelleri bu alanlara yerleştirildiğinde beş yüz otuz beş adet güneş panelinin kullanılması gerektiği hesaplanmıştır.



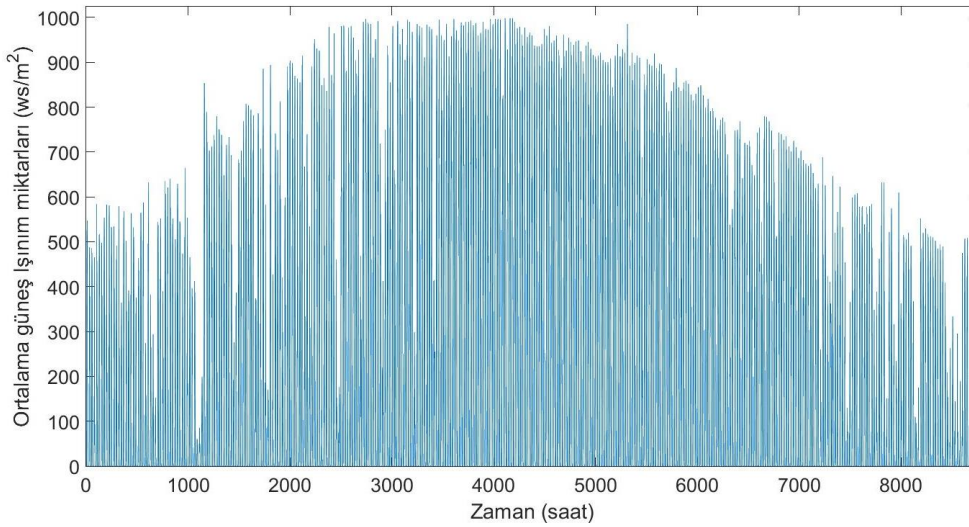
Resim 4.2 LG Neon siyah 320W güneş paneline ait bir görünüm

Resim 4.2’de gösterilen enerji olarak Resim 4.1’deki güneş panelden daha fazla verimli olan güneş paneline ait detaylı bilgiler Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 320 W Enerji üretebilen güneş paneline ait bilgiler

Güç	320W
Marka	LG Solar
Açık Devre Voltajı (VOC)	40,8 V
Maksimum Gerilim (VMP)	33,3 V
Kısa devre akımı (ISC)	10,19A
Maximum Akım (IMP)	9,62 A
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40°C ile +90°C
Çerçeve	Alüminyum
Garanti	10 yıl % 90 verim 25 yıl % 80 verim
Boyut	1686 x 1016 x:39.8 mm

Tatvan meteoroloji istasyonu 2017 yılına ait küresel güneş radyasyonu (watt/m^2) 8 760 saat ölçüm verisinin kayıtları ile elde edilen grafik aşağıda Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Tatvan bölgesin 2017 yılı güneş ışınım verilerinin saatlik değişimi (ws/m^2)

4.2.2 Güneş Işınlardan Elde Edilecek Enerjinin Hesaplanması

Güneş enerjisinden elde edilecek enerjinin hesaplanabilmesi için birçok formül vardır. Bu formüllerin bazılarının kullanılması ile oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Bharathi *et al.* 2015). Seçilmiş olan gemide kurulacak olan sistemde güneş panellerinden

elde edilecek yaklaşık enerji hesabı için (4.1)'de belirtilen denklem kullanılabilir.

$$G_E = A \cdot r \cdot H \cdot PR \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)'deki değişkenler aşağıda açıklanmıştır.

- G_E : Güneş enerjisi.
 A : Toplam güneş panellerinin alanı.
 R : Güneş panelinin verimi.
 H : Ortalama güneş ışınımı.
 PR : Performans oranı, kayıp katsayısı.

Ortalama Güneş Işınım Verisi (H): Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen Tatvan istasyonu ait 2017 yılı küresel güneş radyasyonu (watt/m^2) 8 760 saat ölçüm verileridir.

Güneş Panellerinin Toplam Alanı (A): Kullanılacak olan toplam güneş panellerinin hesabını m^2 olarak yapılmalıdır. Resim 4.1'de gösterilen gemide kullanılacak olan güneş panelinin ölçülerini ve kullanılacak adet sayısı kullanılarak alan hesabı yapılabilir. 100 W enerji üretimi yapabilen güneş panelleri kullanılması durumunda alan hesabının sonucu eşitlik (4.2)'de ifade edilmiştir.

$$A = (957 \times 665) \times 1442$$

$$A = 917,69601 \text{ m}^2 \quad (4.2)$$

320 W enerji üretimi yapabilen güneş panelleri kullanılması durumunda alan hesabının sonucu eşitlik (4.3)'te ifade edilmiştir.

$$A = (1686 \times 1016) \times 535$$

$$A = 916,44216 \text{ m}^2 \quad (4.3)$$

Güneş Panellerinin Verimi (r): Kullanacak olan güneş panellerinin veriminin hesaplamak için Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'deki gemide kullanılacak olan güneş panelinden elde edilen maksimum güç ile panelin alanına oranlandığında güneş panellerinin veriminin sonucu bulunabilir (Rajput and Sudhakar 2013).

$$r = \frac{\text{Üretmiş olduğu Enerji (kW)}}{\text{Panelin alanı}} 100$$

100 W enerji üretimi yapabilen güneş paelinin verimi eşitlik (4.4)'te ifade edilmiştir.

$$r = \frac{100 \text{ watt}}{957 \text{ mm} \times 657 \text{ mm}} 100 = \frac{0,1 \text{ kW}}{0,636405} 100$$

$$r = \%15.7 \quad (4.4)$$

100 W enerji üretimi yapabilen güneş paelinin verimi eşitlik (4.5)'te ifade edilmiştir.

$$r = \frac{320 \text{ watt}}{1686 \text{ mm} \times 1016 \text{ mm}} 100 = \frac{0,32 \text{ kW}}{1,712976} 100$$

$$r = \%18.6 \quad (4.5)$$

Performans oranı, kayıp katsayısı (PR): Bu katsayı 0,5 ile 0,9 arasında bir değer almaktadır ve genel olarak varsayılan değer 0,75 olarak kullanılmaktadır (YALÇIN 2010). Bu nedenle yapılan hesapta PR değeri 0,75 olarak alınmıştır.

Denklem (4.1)'de kullanılacak değerler denklemde yerine yazıldığında, bir yıl boyunca her t saat için bu hesabın denklemi (4.6)'da ki gibi ifade edilebilir.

$$\forall t \in N \ 0 \leq t \leq 8760 \text{ saat olmak üzere}$$

$$G(t)_E = A . r . H(t) . PR \quad (4.6)$$

(4.6)'da ifade edilen denklem hesabı yapıldığında, sonuçta bulunan güneş enerjisinden elde edilecek yıllık toplam enerji miktarı 100 W enerji üretebilen güneş panel için eşitlik (4.7)'de ve 320 W enerji üretebilen güneş enerji paneli için eşitlik (4.7a)'de ifade edilmiştir.

$$\sum_{t=1}^{8760} G(t)_E = 338\,152 \text{ kW} \quad (4.7)$$

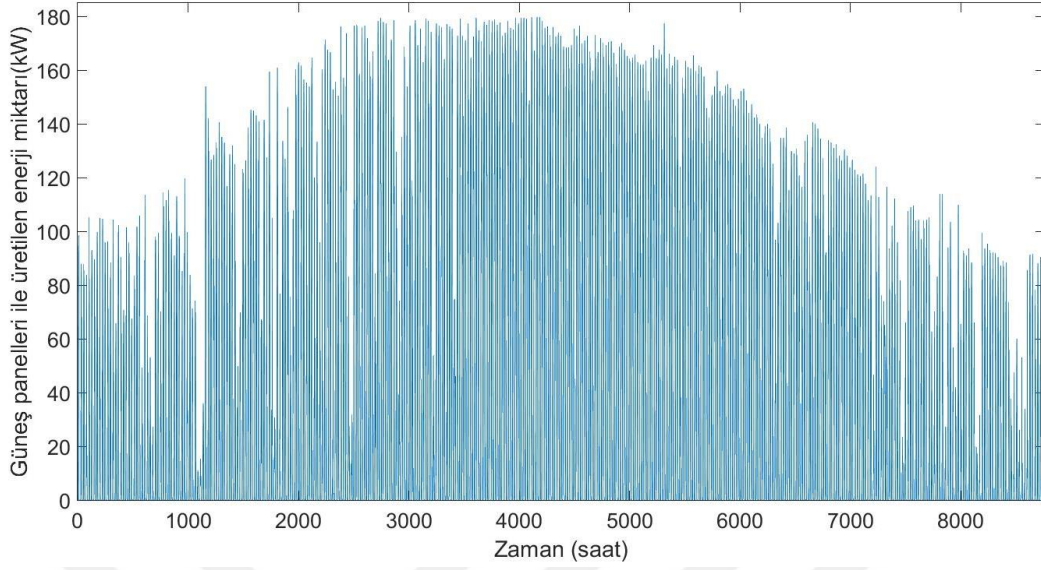
$$\sum_{t=1}^{8760} G(t)_E = 400,107 \text{ kW} \quad (4.7a)$$

Yapılan bu hesap sonucunda güneş enerjisinden elde edilecek yıllık enerjinin ortalaması 100 W enerji üretimi yapabilen güneş paneli için eşitlik (4.8)'da ve 320 W enerji üretimi yapabilen güneş paneli için eşitlik (4.8a)'da ifade edilmiştir.

$$G(t)_o = \frac{\sum_{t=1}^{8760} G(t)_E}{8760} = 38,601 \text{ kW} \quad (4.8)$$

$$G(t)_o = \frac{\sum_{t=1}^{8760} G(t)_E}{8760} = 45,6744 \text{ kW} \quad (4.8a)$$

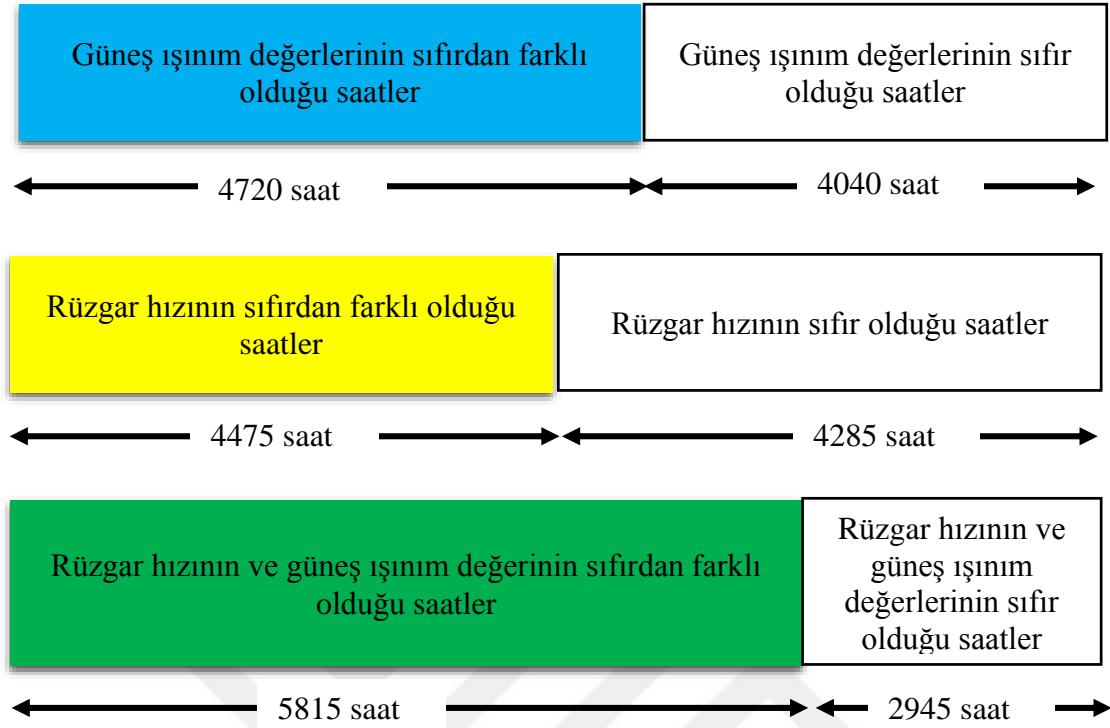
Bir yıl boyunca 8 760 saat güneş enerjisinden elde edilen enerjinin grafiği Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Panellerden üretilecek enerjinin saatlik değişimi

4.3 Rüzgar Enerji Sisteminin Kurulumu

Bölüm 4.2’de belirtildiği gibi seçilen geminin tüm enerjisinin güneş enerjisi ile şu anki teknoloji ile karşılamak mümkün görünmemektedir. Bu nedenle bir başka temiz enerji kaynaklarından olan rüzgar gücünden yararlanılması sistemin enerjisiz kalma süresini olumlu yönde etkileyecektir (Carlson and Nilsson 2014). Meteorolojiden alınan veriler incelendiğinde Şekil 4.4’te görüldüğü gibi rüzgarın olmadığı birçok saatte güneş ışınlarının ve aynı şekilde güneş ışınlarının olmadığı birçok saatte rüzgarın olduğu görülmektedir. İki yenilebilir enerjinin bir birlerini desteklediği Şekil 4.4’te açıkça görülmektedir. Rüzgar gücünün sistemde kullanılması durumunda sistemin enerjisiz kalma süresini 4 040 saatten 2 945 saate düşmektedir.



Şekil 4.4 Sistemin enerjisiz kaldığı sürelerin analizi

Rüzgar türbinlerinin kurulumu için öncelikle rüzgar türbinleri için gemide uygun alanlar bulmalı ve bu alanlar için uygun rüzgar türbini seçimi yapılmalıdır (Carlson and Nilsson 2014).

4.3.1 Rüzgar Türbini Seçimi

Gemideki sistem kurulumu için gemi alanın kısıtlı olması nedeniyle ve gemide tüketilen enerjinin üretilen enerjiden çok daha az olması nedeniyle rüzgar türbin sayısı olabildiğince fazla tutulması sistemin enerjisiz kalacağı süreyi azaltacağı ön görülmüştür. Günümüz piyasasında dikey ve yatay olmak üzere iki çeşit rüzgar türbini sıkça kullanılmaktadır. Dikey rüzgar türbinlerinin kaplamış olduğu alanlar yatay rüzgar türbinlerine oranla daha az yer kaplamalarından dolayı sistemde dikey eksenli rüzgar türbinin kullanılması daha uygun olacaktır (Emniyetli 2007). Gemide kullanılacak olan dikey eksenli rüzgar türbinine ait resim Resim 4.3'te gösterilmiştir.



Resim 4.3 5kw dikey eksenli rüzgar türbini

Resim 4.3'te gösterilen dikey eksenli rüzgar türbinine ait parametre bilgileri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

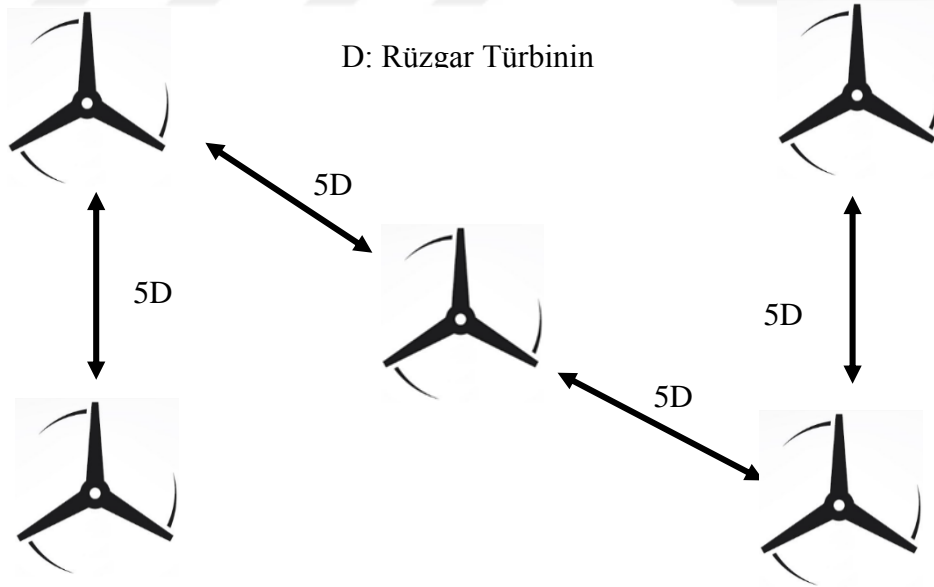
Çizelge 4.3 Dikey eksenli rüzgar türbinine ait teknik bilgiler

Menşei	Çin
Marka	Feng Teng
Rüzgar Türbini Çap	3,6 m
Azami Rüzgar Hız direnci	35 m/s
Gücü (Watt)	5 kW
Maximum Güç	5,5 kW
Nominal Voltaj (Volt)	220V AC
Başlangıç Rüzgar Hızı	2 m/s
Nominal Rüzgar Hızı (m/s)	10
Kanat Sayısı	5
Kanat Yüksekliği	4 m
Kanat Materyali	Alüminyum alaşım
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 ile 80 Derece

4.3.2 Rüzgar Türbin Sayısının Belirlenmesi

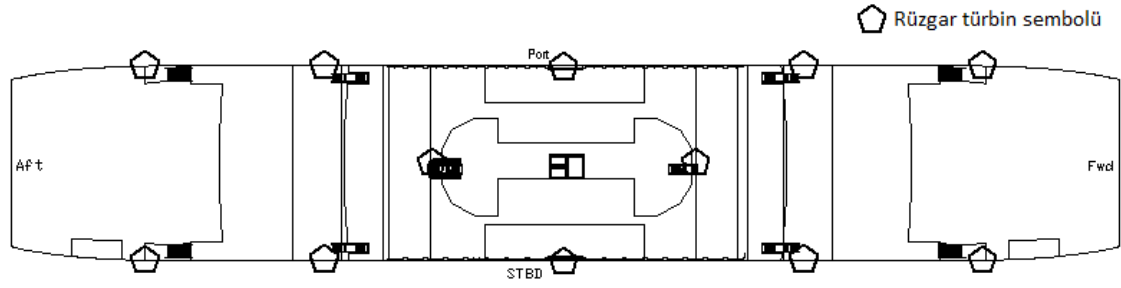
Gemi üzerinde rüzgar türbinlerinin yerleri tespit edilirken aşağıdaki maddelere dikkate alınmalıdır. (Carlson and Nilsson 2014).

1. Rüzgar gücünden faydalanabilecek en iyi alan olmalı.
2. Geminin statik yapısını bozmayacak alanlar olmalı.
3. Gemideki yapılan işleri aksatmayan alanlar seçilmeli.
4. Geminin manevra kabiliyetini engellemeyecek bir alan seçilmemeli
5. Kaptanın ve mürettebatın görüş alanına engel olmamalı
6. Kullanılacak olan rüzgar türbinin büyüklüğü dikkate alınarak rüzgar türbini yerleşimi belirlenmelidir. Rüzgar türbinlerinin yerleşimi yapılırken rüzgar gücünden azami şekilde yararlanılacak şekilde yerleştirilmelidir. Bunun için birçok araştırma mevcuttur ve bu araştırmalar sonucunda gemimize en uygun yerleşim biçimi Şekil 4.5'te gösterildiği gibi iki rüzgar türbini arası uzaklık en az türbin çapının beş katı kadar olmalıdır (İnt.Kyn.6).



Şekil 4.5 Rüzgar türbinlerinin uygun yerleşim planı

Yukarıdaki maddeler ve rüzgar türbinlerinin ölçüleri dikkate alınarak yapılan çalışma sonucunda sistemde kullanılacak olan rüzgar türbinlerinin gemiye yerleştirilmesi için Şekil 4.6'de belirtilen on iki alanın uygun olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.6 Gemi üzerindeki rüzgar türbini kurulabilecek noktalar

Gemideki yerleşim yerinin kısıtlı olması ve dikey rüzgar türbinlerinin çaplarının yatay rüzgar türbinlerine göre daha az yer kaplaması nedeniyle dikey rüzgar türbinlerini sistemde kullanılması tercih edilmiştir. Şekil 4.6'de belirtilen on iki alana Resim 4.3'te gösterilen dikey rüzgar türbinlerinin yerleştirilmesi planlanmıştır.

4.3.3 Rüzgar Türbinlerinden Elde Edilecek Enerjinin Hesaplanması

Bir kinetik enerji türü olan rüzgar gücü rüzgar türbinin döndürülmesi sonucunda elektrik enerjisine dönüşür. Üretilecek olan elektrik enerjisi aşağıdaki dört maddeye bağlıdır (Neammanee *et al.* 2007).

- ✓ Rüzgar türbinin bulunduğu yerdeki rüzgarın hızı
- ✓ Rüzgar türbinin süpürme alanı
- ✓ Rüzgar türbinin bulunduğu yerdeki hava yoğunluğu
- ✓ Rüzgar türbinin verimliliği

Teorik olarak rüzgar gücünden elde edilecek enerjiyi hesaplamak için aşağıdaki denklem (4.9) kullanılabilir (Schoenmaker 2014).

$$R = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad (4.9)$$

Denklem (4.11)'de kullanılan değişkenler için kullanılacak değerler aşağıda açıklanmıştır.

- ρ : Havanın yoğunluğu (kg / m^3)
 A : Rüzgar türbinin süpürme alanı (m^2)
 v : Rüzgar hızı (m / s)
 C_p : Rüzgar türbini performans katsayısı

Hava yoğunluğu ρ (kg / m^3): Uluslararası Standart Atmosfer (ISA) şartlarında (deniz seviyesinde, +15 °C sıcaklıkta ve 1013,25 mb atmosfer basıncında) havanın yoğunluğu 1,225 kg/m^3 'tür. Deniz seviyesinde yükseldikçe hem atmosfer basıncı hem de havanın yoğunluğu azalır ancak rüzgar gücü hesaplamalarında, hava yoğunluğun etkisi önemsenmeyecek kadar küçüktür (Umut 2008). Bu nedenle hava yoğunluğu aşağıdaki eşitlik (4.10)'da ifade edildiği gibi alınabilir.

$$\rho = 1,225 \quad (4.10)$$

Rüzgar türbinin süpürme alanı A (m^2): Dikey rüzgar türbinlerinin süpürdükleri alan bir dikdörtgen bölge olduğu için, süpürme alanları silindirik yanal alanlarının yarısıdır bu nedenle, yanal alan formülü (4.11)'de kullanarak süpürme alanı bulunabilir.

$$A = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot h}{2} \quad (4.11)$$

Çizelge 4.3'de belirtilen rüzgar türbinin çapı=3,6 m ve yüksekliği 4 m olarak alınmalıdır.

$$A = \pi \cdot r \cdot h = 3,14 \times 1,8 \times 4$$

Bu değerler denklem (4.11)'de yerine yazılarak yapılan hesap sonucunda, rüzgar türbinin süpürme alanı eşitlik (4.12)'de ifade edildiği gibi bulunmuş olur.

$$A = 22,608 \text{ m}^2 \quad (4.12)$$

Rüzgar hızı v (m / s): Tatvan ilçesinde bulunan meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait 17205'nolu istasyondan alınan rüzgar ölçüm bilgilerini hesaplama işleminde kullanmadan önce rüzgar hız verilerinin sistemin kurulacağı yükseklikteki hızları farklı olacaktır (Bañuelos-Ruedas *et al.* 2011). Bu nedenle rüzgar hızlarının farklı yükseklikteki hesabının yapılabilmesi için Hellmann Üstel kuralı kullanılabilir. Bu kural kullanılarak sistemde kullanılacak rüzgar türbin yüksekliğine göre saatlik rüzgar hızları hesaplanabilir. Bu doğrultuda rüzgar hızları tekrar hesaplanmıştır.

Meteorolojiden alınan veriler ve yükseklik bilgileri kullanılarak Hellmann Üstel kuralı (4.13)'te yerine yazılarak hesabı yapılmıştır.

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha \quad (4.13)$$

(4.13)'te ifade edilen Hellmann Üstel kuralında kullanılacak değişkenlerin açıklaması aşağıdaki gibidir.

- H : Geminin bulunduğu yüksekliği.
 H_0 : Rüzgar verisinin ölçüldüğü noktanın yüksekliği
 v : Geminin bulunduğu yükseklikteki rüzgar hızı
 v_0 : Rüzgar verisinin ölçüldüğü noktadaki rüzgar hızı
 α : Hellmann katsayısı

Çizelge 4.4 Hellman Üstel kuralı sürtünme katsayısının arazi tipleri için değerleri

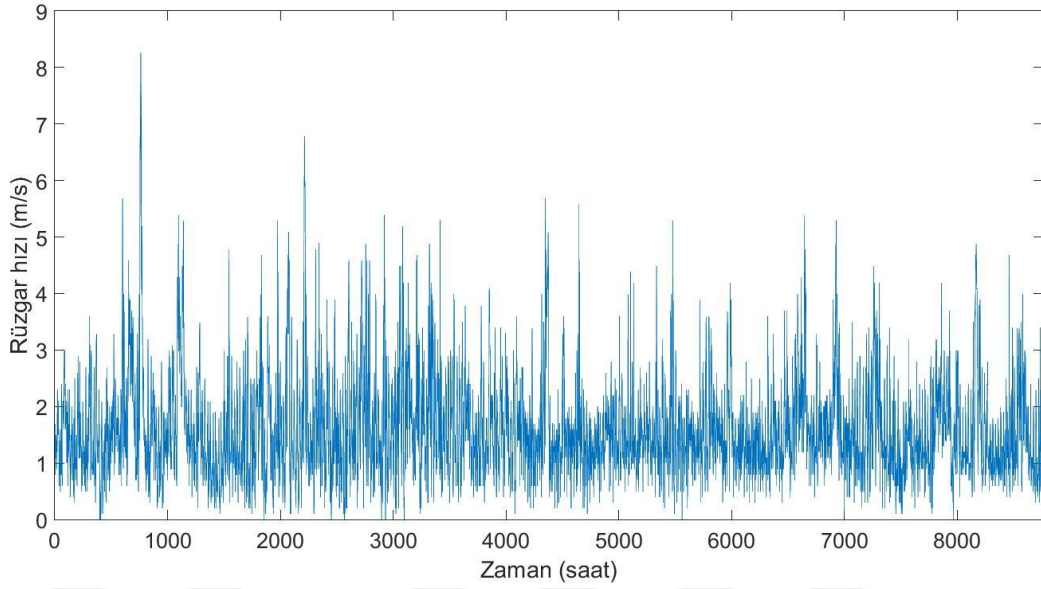
Arazi Tipleri	Sürtünme Katsayısı α
Göl, okyanus ve pürüzsüz sert zeminli araziler	0,10
Çimli araziler (Zemin seviyesi)	0,15
Uzun çayırlı araziler	0,20
Ormanlık araziler	0,25
Ağaçlı yerleşim arazileri	0,30
Yüksek binalı şehirler	0,40

Çizelge 4.4'te gösterilen α Hellman katsayısı geminin bulunduğu alanın göl olması nedeniyle $\alpha = 0,10$ olarak alınabilir. Van gölünün yüzeyinin deniz seviyesi yüksekliği 1 646 m, geminin ve rüzgar türbinlerinin yüksekliği de dikkate alındığında toplam yükseklik 1 660 m'yi bulmaktadır.

$\forall t \in N \ 0 \leq t \leq 8\ 760$ ve $\alpha = 0,10$ olmak üzere denklem (4.13) kullanılarak ve gemi yüksekliğindeki rüzgar hızlarının $v(t)$ ile gösterilmesi durumunda gemi yüksekliğindeki rüzgar hızı (4.14)'te ki gibi ifade edilebilir.

$$v(t) = \left(\frac{H}{H_0}\right)^{0,10} v(t)_0 \quad (4.14)$$

Denklem (4.14)'de gösterilen ifade bir bilgisayar programı yardımı ile hesaplandığında 8 760 saatlik ortalama rüzgar hızı elde edilmiş olur ve bu verinin grafiği aşağıdaki Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Hellmann Üstel kuralı ile hesaplanmış rüzgar hızlarının değişimi grafiği

Geminin yüksekliğine indirgenen rüzgar hız verisini kullanarak rüzgardan elde edilen enerji hesaplanabilir ancak bu hesap yapılırken geminin hareket halinde ortalama rüzgar hızı dikkate alınmalıdır. Geminin hareket halindeki saatlerde geminin ortalama hızı m/s olarak hesaplanarak Hellman Üstel kuralına göre hesaplanan rüzgar verisine eklenerek hesabının yapılması gerekir (Carlson and Nilsson 2014). Gemi Tatvan'dan Van'a dört saat otuz dakikada gitmektedir. Şekil 4.8'da gösterilmiş olduğu gibi geminin rotasının uzunluğu yaklaşık olarak 92 km'dir. Buradan geminin hızını m/s olarak hesaplandığında yaklaşık olarak 5,6 m/s olarak bulunur.



Şekil 4.8 Seçilen geminin güzergâh uzunluğu

Rüzgar türbini performans katsayısı C_p : Betz limiti adı verilen bu değer rüzgar türbininin maksimum %59,26 verimlilikle çalışacağı anlamına gelir. Bu katsayı rüzgar türbinden elde edilebilecek net gücün, rüzgardan elde edilebilecek brüt güce bölünmesi ile belirlenir ve denklem (4.15) ile hesaplanır (İLHAN *et al.* 2014).

$$C_p = \frac{P_{Çıkış}}{\frac{1}{2}\rho Av^3} \quad (4.15)$$

Denklem (4.15a) hesabı yapıldığında C_p değeri eşitlik (4.15a)'da belirtildiği gibi bulunur.

$$C_p = 0,3610 \quad (4.15a)$$

Rüzgar gücünden elde edilecek enerji hesabında kullanılan denklem (4.11) için gerekli değişkenleri bulunduktan sonra bir yıl her saat için rüzgar gücünden elde edilecek enerji denklemi (4.16)'da ki gibi ifade edilebilir.

$$\forall t \in N, 0 \leq t \leq 8760 \text{ olmak üzere}$$

$$R(t) = \frac{1}{2}\rho Av(t)^3 C_p \quad (4.16)$$

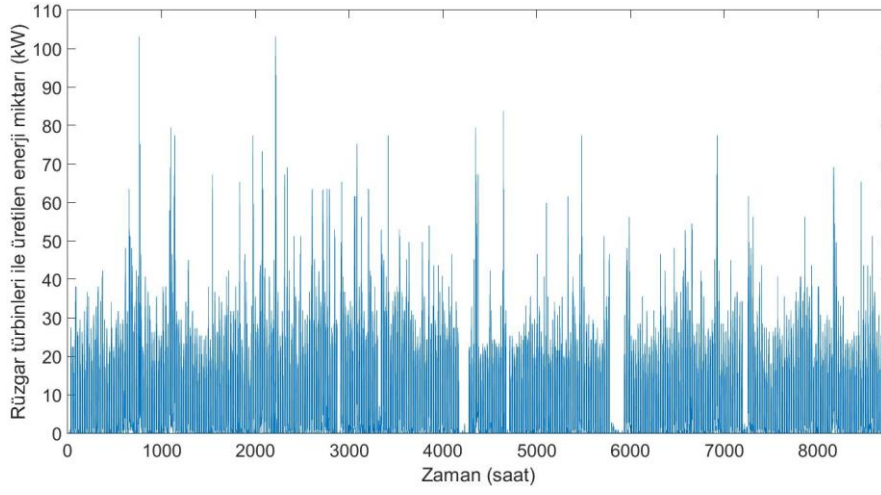
Denklem (4.16) hesabı yapılmadan önce rüzgar türbinlerinin parametreleri dikkat alınmalıdır. Çizelge 4.3'teki rüzgar türbin bilgilerine göre; rüzgar hızının 2 m/s den daha fazla olduğu durumda enerji üretilmeye başlamakta ve rüzgar hızının 10 m/s den daha fazla olduğu durumlarda ise rüzgar türbinin zarar görmemesi için frenleme yapılmasından dolayı enerji üretimi azalmaktadır. Çizelge 4.3'teki rüzgar türbini bilgileri dikkate alınarak bir bilgisayar programı yardımı ile hesap yapıldığında, rüzgar enerjisinden elde edilen yıllık toplam enerji miktarı eşitlik (4.17)'de gösterilmiştir.

$$R_E = \sum_{t=1}^{8760} R(t) = 919\,795 \text{ kW} \quad (4.17)$$

Rüzgar enerjisinden elde edilen yıllık toplam enerji miktarının ortalaması eşitlik (4.18)'de gösterilmiştir.

$$R_o = \frac{\sum_{t=1}^{8760} R(t)}{8760} = 10,49 \text{ kW} \quad (4.18)$$

Bir bilgisayar programının yardımı ile yapılan hesap sonucunda rüzgar enerjisinden üretilen saatlik enerjilerin grafiği Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Rüzgar türbininden elde edilen enerjinin saatlik değişimi

4.4 Tüketici Sisteminin Belirlenmesi

Güneş ve rüzgar enerji sisteminden üretilen enerjinin saatlik ortalamasına bakıldığında gemide tüketilen saatlik ortalama enerjinin %4'üne bile karşılık gelmediği görülür. Güneş ve rüzgar enerjisi ile üretilen enerjinin geminin tüm ihtiyacını karşılayamadığı açıkça görülmektedir. Bunun için geminin tüketicilerinden ortalama tüketimleri, kurulacak olan bu sistemin saatlik ortalama üretmiş olduğu tüketimden daha az olan bir tüketici seçilmelidir. Bu doğrultuda Çizelge 3.2'de gösterilen geminin tüketicileri incelendiğinde geminin aydınlatılmasında kullanılan enerjinin üretilen enerji tarafından karşılanabileceği görülmektedir. Çizelge 4.5'te aydınlatma sisteminde kullanılan lambaların enerji tüketim bilgileri gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Aydınlatma sisteminin enerji tüketim bilgileri

Tüketici Adı	Adet	Ortalama Tüketim (W)	Toplam Tüketim (W)
Projektör Aydınlatma Lambaları	54	500 W	27 000 W
İç ve Dış Aydınlatma Lambaları	659	18 W	11 862 W
Makine Dairesinde kullanılan lambalar	226	36 W	8 136 W

Gemide aydınlatmada kullanılan bu lambaları kullanım zamanlarına göre iki gruba ayırarak incelendiğinde bu lambaların bir kısmı sadece gece çalışırken makine dairesi ve ışık almayan güvertelerde kullanılan lambalar ise günün her saati kullanılmaktadır.

Bir gün için gece tüketilen saatlik ortalama enerji miktarı (4.19)'da ifade edilmiştir.

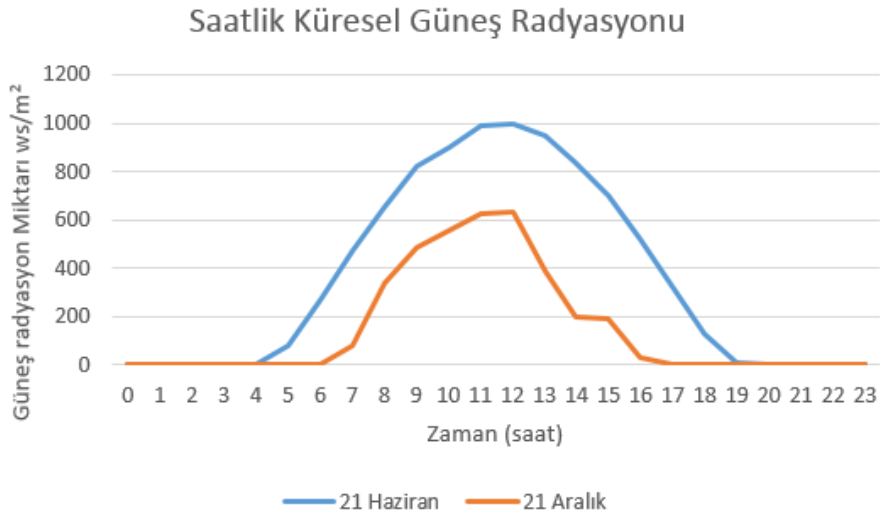
$$E_{Gece} = 27\ 000\ W + 11\ 862\ W + 8\ 136\ W$$

$$E_{Gece} = 46\ 998\ W \quad (4.19)$$

Bir gün için gece tüketilen saatlik ortalama enerji miktarı (4.20)'de ifade edilmiştir.

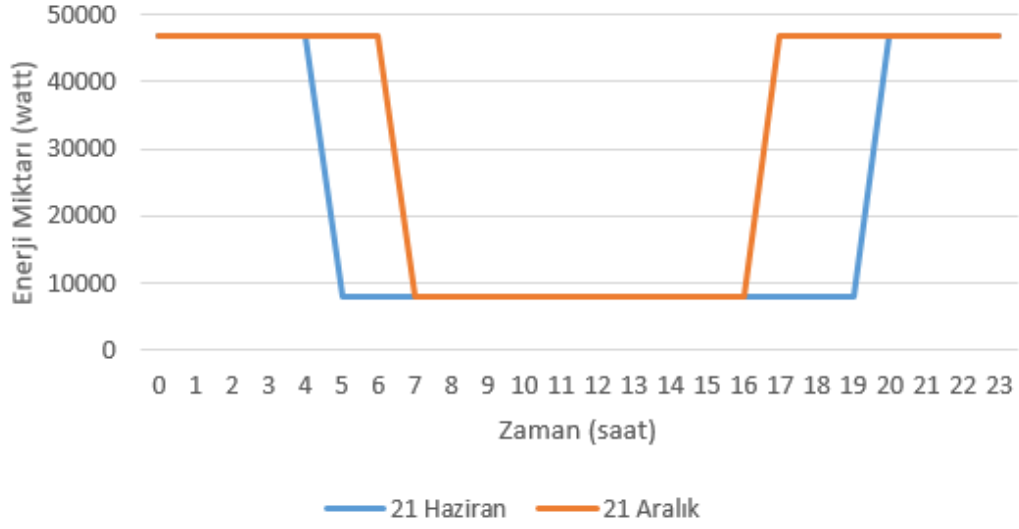
$$E_{Gündüz} = 8\ 136\ W \quad (4.20)$$

Bir gün için toplamda tüketilen enerji miktarı o günün gündüz ve gece uzunluğuna göre değişecektir. Bunun için her gün ayrı ayrı hesap yapılmalıdır. Gemideki bu lambaların her gün güneş ışığı ile birlikte kapatıldığını ve güneş ışığının kaybolması ile birlikte açıldığını varsayarak her gün için ayrı ayrı tüketim hesabını yapılabilir. Bunun için meteorolojiden temin edilen güneş ışınım verilerini kullanılabilir. Örnek olarak 21 Aralık ve 21 Haziran tarihinde güneş ışınlarından elde edilecek olan enerji miktarının değişimi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 21 Haziran ve 21 Aralık tarihindeki saatlik küresel güneş radyasyonu

Bu iki gün için güneş ışınım verilerine göre gece ve gündüz üretim miktarları hesapladığında 24 saatlik enerji tüketim grafiği Şekil 4.11'deki gibi olur. Kurulacak olan sistemin üreteceği enerji miktarına bakıldığında her iki panelin kullanılması durumunda aydınlatma sisteminin enerji ihtiyacını karşıladığı görülmektedir.



Şekil 4.11 21 Haziran ve 21 Aralık tarihinde aydınlatma sisteminin tüketim grafiği

Burada dikkat edilirse üretilen enerji aydınlatma sisteminin enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir ancak gece saatlerinde ortalamanın üzerinde enerji harcanmaktadır.

Aydınlatma sisteminin tüketmiş olduğu enerji hesabı yapılırken, sadece gece açık olması gereken lambaların gün ışığı ile birlikte kapandığı ve hem gündüz hem de gece açık olması gereken lambaların daima açık olduğu varsayılmıştır.

4.5 Batarya Hesabı

Batarya hesabı yapılırken sistemin en az süre ile enerjisiz kalacağı süre dikkate alınarak yapılmalıdır (Başaran *et al.* 2011). Öncelikle sistemin enerjisiz kalacağı süre hesaplanmalıdır. Bunun için her saat yani toplamda 8 760 saat için üretilen enerjiden tüketilen enerjinin çıkarılması durumunda ve sistemde batarya kullanılmadığı varsayıldığında tüketilemeyen enerji miktarı (4.21)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\forall t \in N, 0 \leq t \leq 8\ 760$$

$U(t)$: t saatindeki üretilen enerji miktarı

$T(t)$: t saatindeki tüketilen enerji miktarı

olmak üzere

$$F(t) = U(t) - T(t) \quad (4.21)$$

Bu durumda, sistemin enerjisiz kalma durumu eşitlik (4.22)'deki gibi tanımlanabilir.

$$N(F) = \begin{cases} N = N + 1, & F < 0 \\ N, & F \geq 0 \end{cases} \quad (4.22)$$

Bir yıl boyunca toplam sekiz bin yedi yüz altmış defa (4.22)'deki denklem bir bilgisayar programı yardımı ile hesaplandığında sistemin enerjisiz kalacağı saat her iki güneş paneli içinde 5 040 olarak bulunmaktadır. Sisteme batarya eklenilmesi durumunda enerjisiz kalınan süreler incelenerek batarya boyutlandırması yapılabilir. Bunun için batarya kapasitesini en küçük miktardan başlayarak en ideal boyuta ulaşana kadar bu hesap tekrar edilerek en ideal batarya boyutu bulunabilir.

Sistem boyutlandırması yapılırken güneş paneli ve rüzgar türbinlerinin sayısı gemideki alanın sınırlı olması ve elde edilebilecek maksimum enerji gereksinimi nedeniyle sabit tutulmuştur. Sabit sayıdaki güneş paneli ve rüzgar türbini sayısına karşılık sistemde kullanılacak bataryaların boyutu, sistemin enerjisiz kalma süresi için önemlidir. Bu doğrultuda sistemde kullanılacak batarya büyüklüğünün bulunması için Şekil 4.12'te gösterilmiş olan algoritma kullanılmıştır.

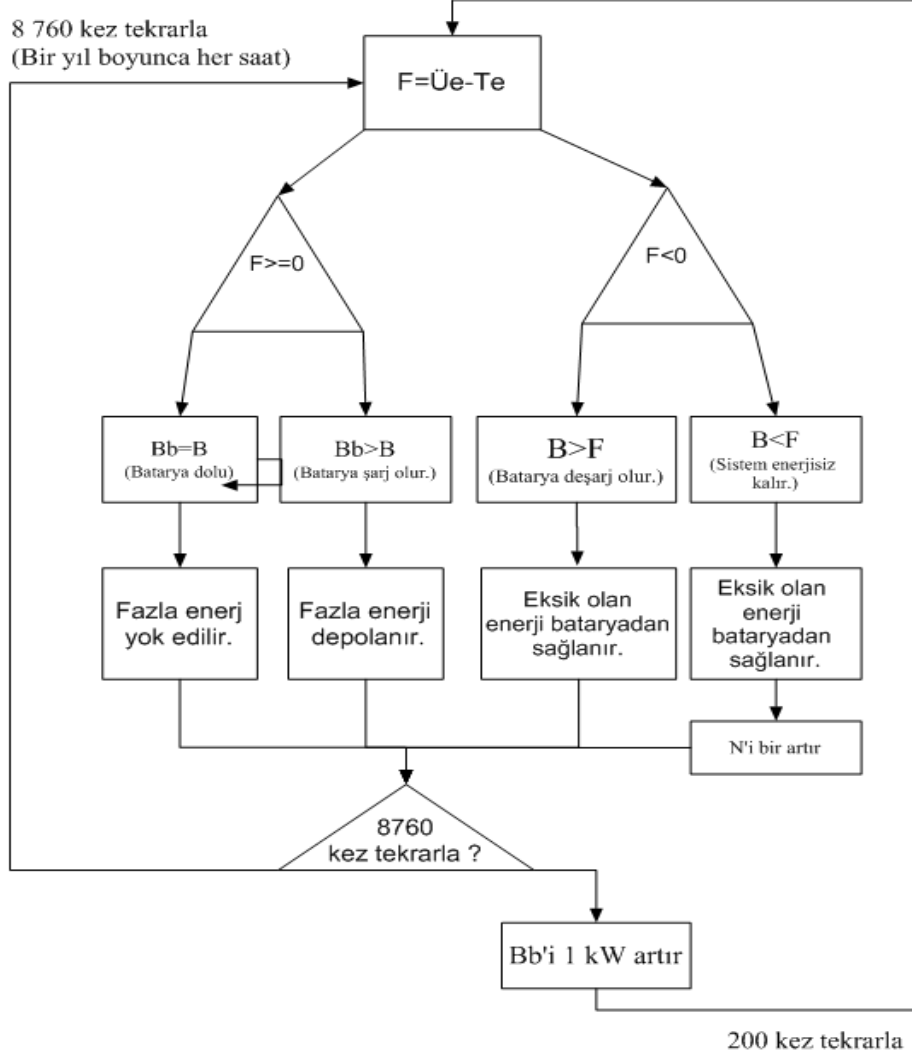
Bb = Batarya boyutu

Te = Aydınlatma sistemi tarafından tüketilen enerji

B = Bataryadaki mevcut enerji

Üe = Sistem tarafından üretilen enerji

N = Enerjisiz kalman saat sayısı



Şekil 4.12 Batarya boyutunun tespiti için tasarlanan algoritma

Bataryanın ilk başta 1 kW enerji depolayacağı varsayılarak bir döngü kurularak sistemin enerjisiz kalacağı saatlerin sayısı bulunabilir. Her hesap sonucunda batarya boyutu 1 kW artırılarak bu hesap iki yüz defa tekrarlandığında ve yapılan her hesap için enerjisiz kalınan saat sayısı K_j ile ifade edildiğinde K_j fonksiyonu (4.23)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\forall j \in N, 1 \leq j \leq 200 \text{ olmak üzere}$$

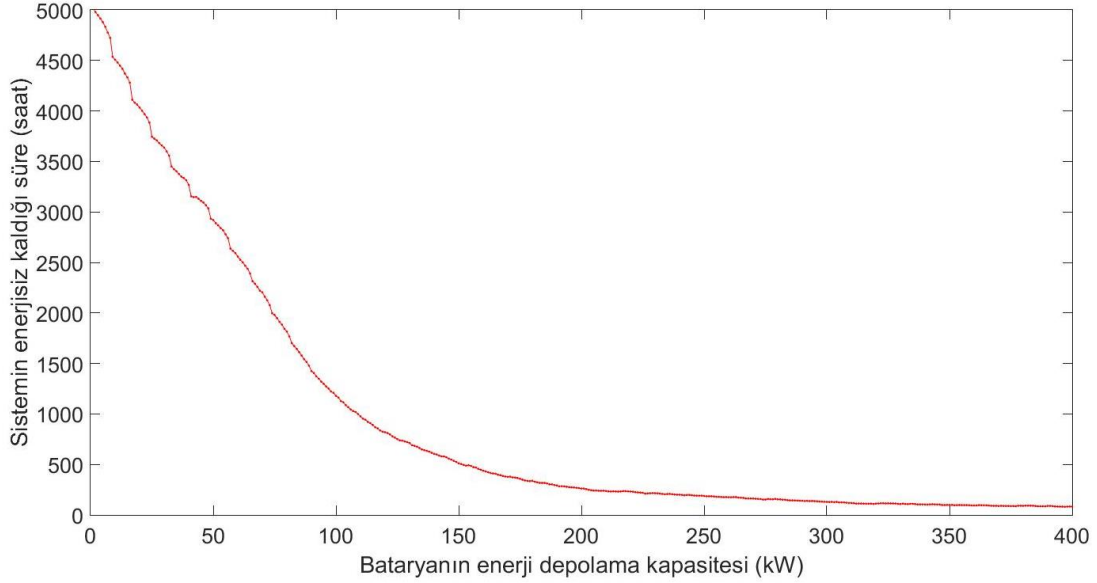
$$\text{batarya kapasitesi, } Bk_j = j \text{ kW}$$

bataryada depolanan enerji, $B_j = Bk_j$

$$\forall t \in N, 0 \leq t \leq 8760$$

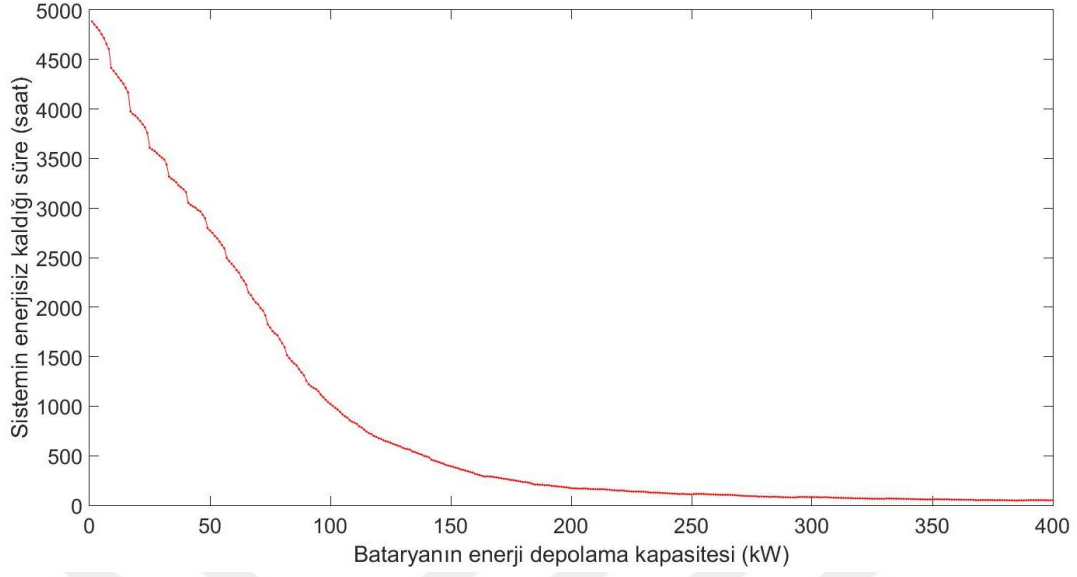
$$K_j(F_j(t)) = \begin{cases} B_j(t) - F_j(t), & F_j(t) < 0 \text{ ve } B_j(t) - F_j(t) \geq 0 \\ K_j(t) = K_j(t) + 1, & F_j(t) < 0 \text{ ve } B_j(t) - F_j(t) < 0 \\ B_j(t) + F_j(t), & F_j(t) > 0 \text{ ve } B_j(t) - F_j(t) \leq Bk_j(t) \\ B_j(t) = Bk_j(t), & F_j(t) > 0 \text{ ve } B_j(t) - F_j(t) > Bk_j(t) \end{cases} \quad (4.23)$$

Bir bilgisayar programı yardımı ile $K_j(F_j)$ fonksiyonunun bir yıl boyunca toplam 8 760 saat için iki yüz defa tekrarlanacak şekilde uygulandığında 100 W enerji üretebilen güneş panellerin kullanılması durumunda $K_j(F_j)$ fonksiyonunun grafiği Şekil 4.13'deki gibi olur.



Şekil 4.13 100 W'lık güneş panellerinin kullanılması durumunda enerjisiz kalınan saatlerin batarya miktarına göre değişimi

Sistemde 320 W enerji üretebilen güneş panellerin kullanılması durumunda $K_j(F_j)$ fonksiyonunun grafiği Şekil 4.14'deki gibi olur.



Şekil 4.14 320 W'lık güneş panellerinin kullanılması durumunda enerjisiz kalınan saatlerin batarya miktarına göre değişimi

Sistemin enerjisiz kalma sürelerinin grafiğini gösteren Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'deki grafikler incelendiğinde enerjisiz kalınan saatlerin batarya miktarına göre değişim grafikleri bir birlerine yakın oldukları görülmektedir. Grafikler incelendiğinde her batarya boyutu için sistemin mutlaka enerjisiz kalacağı görülmektedir. Kurulacak olan sistemin güvenilirliği sistemin enerjisiz kalma süresi ile ölçülür ve yük kaybı olasılığı (LLP) olarak adlandırılan bu eşitlik (4.24)'deki gibi hesaplanabilir (Engin ve Çolak 2002).

$$LLP = \frac{\text{Sistemin Enerjisiz kaldığı süre}}{\text{Sistemin Enerjilendiği süre}} \quad (4.24)$$

LLP değeri aydınlatma uygulamalarında en büyük 0.01 değerini alabilir (Markvart, 1994). Kurulacak olan sistemin LLP değerinin 0.009 olduğunu varsayarak bir hesap yaptığımızda hem 100 W hem de 320 W enerji üretebilen güneş panelleri için 200 kW civarında bir batarya seçilmelidir. Sistemde 200 kW kapasiteli aküler kullanıldığında 100 W güneş paneli kullanılması durumunda seksen beş saat 320 W güneş panellerinin kullanılması durumunda ise seksen iki saat enerjisiz kaldığı hesaplanmıştır. Tüketici sistemin enerjisiz kalacağı saatlerde, enerji ihtiyacı geminin şebekesinden sağlanacak şekilde plan yapılmıştır.

4.5.1 Bataryaların Belirlenmesi

Hem güneş hem de rüzgar enerjisinin kesintisiz olmaması nedeniyle sistemin tarafından üretilen enerjinin kesildiği saatlerde tüketici sistemi enerjisiz kalacaktır. Sistemin enerjisiz kalma süresini en aza indirmek için fazla üretilen enerjinin depolanması gerekmektedir (Yavuz 2011).

Gemiye kurulacak olan sistem için toplamda depolanması gereken enerji miktarı 200 kW olacak şekilde batarya seçilmelidir. Sistemde kullanılacak olan bataryanın elektrik gerilimi sistemde kullanılacak olan şarj kontrol cihazına uygun olmalıdır. Şarj kontrol cihazının şarj gerilimi 12 V DC olduğu Resim 4.6'de görülmektedir. Bu doğrultuda sistemde Resim 4.4'de gösterilen jel aküden kullanılması planlanmıştır.



Resim 4.4 Sistemde kullanılacak olan jel akü

Çizelge 4.6 Sistemde kullanılacak olan akünün özellikleri

Menşei	Türkiye
Ürün Kodu	JLP1010
Marka	Jelpower Battery
Ölçüleri	515 X 275 X 240mm
Ağırlığı	64 kğ
Voltaj	12V
Ömür Beklentisi	10 Yıl
Şarj Kapasitesi	240 Amper / Saat

4.5.2 Batarya Sayısının Belirlenmesi

Sistemin enerjisiz kalmaması için gereken en ideal enerji miktarı ve seçilen akünün özelliklerini dikkate alarak sistemde kaç adet akünün kullanılması gerektiğini elektrik enerji formülü (4.25) kullanılarak bulunabilir. Bataryalarda depolanacak olan enerji miktarı 200 W ve akülerin gerilimi 12 V olmak üzere denklem (4.26) kullanılarak depolanacak akım miktarı bulunabilir

$$P = I \cdot R \quad (4.25)$$

$$200\ 000\ w = \text{Akım} \times 12V$$

$$\text{Akım} = \frac{200\ 000\ w}{12V} = 16.666, \bar{6} \quad (4.26)$$

(4.26)'deki ifadenin hesabı yapıldığında sistemde kullanılacak olan akülerin saatlik akım değerinin yaklaşık olarak on yedi ampere denk geldiği bulunmaktadır. Toplamda üretilecek enerji miktarı akülerin kapasitesine bölüldüğünde sistemde kullanılması planlanan akü sayısı (4.27)'deki gibi bulunmuş olur.

$$\text{Akü sayısı} = \frac{16\ 666\ \text{amper}}{240\ \text{amper}} = 69, \bar{4} \quad (4.27)$$

(4.27)'de ifade edilen denklem hesabı yapıldığında yaklaşık yetmiş adet akü kullanarak fazladan üretilecek enerjinin en ideal düzeyde depolanması sağlanabilir.

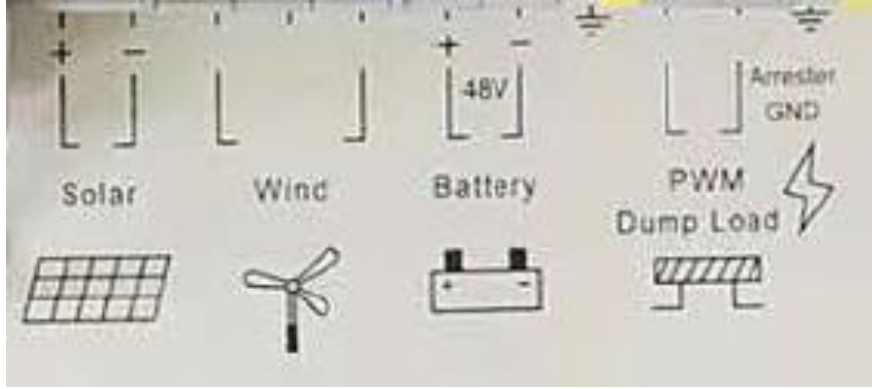
4.6 Şarj Kontrol Cihazı

Şarj kontrol cihazı güneş ve rüzgar enerjisinden elde edilen elektrik enerjisini kontrollü olarak aküleri doldurması için kullanılan cihazlardır. Şarj kontrol cihazı seçerken en önemli husus üretimden elde edilecek enerji kapasitesine uygun olmalıdır. Bataryaların şarj seviyeleri üzerindeki bir ekranları aracılığı ile görüntülenebilmektedir. Aynı zamanda cihazla ilgili bilgiler bir haberleşme yolu ile istenilen cihazlara da iletilebilmektedir. Bu doğrultuda rüzgar türbinlerinin kontrolü için Resim 4.5'te gösterilen ve özellikleri Çizelge 4.7'da belirtilen şarj kontrol cihazının kullanılması planlanmıştır.



Resim 4.5 Rüzgar türbin kontrol cihazı

Sistemde kullanılacak olan şarj kontrol cihazının güneş paneli, rüzgar türbini, batarya ve yük atma cihazı (dump loader) bağlantı şeması Resim 4.6'te gösterilmiştir.



Resim 4.6 Rüzgar türbin şarj kontrol cihazının elektrik bağlantı noktaları

Çizelge 4.7 Rüzgar türbin kontrol cihazı özellikleri

Menşei	Çin
Ürün Kodu	FKJ-B (PWM)
Marka	Deming
Ölçüleri	700 X 450 X 530 mm
Ağırlığı	24 kg
Tribünü Gücü	5 kW
Solar Gücü	1,5 kW
Rüzgar türbini giriş Voltaj	220 V AC 3 faz
Güneş Paneli giriş Voltaj	48 V DC
Batarya şarj çıkış Voltaj	48 V DC

Hem rüzgar türbinlerinin hem de güneş panellerinin bağlantısının yapabileceği bu cihaza bağlayabilecek güneş paneli sayısı sistemdeki tüm güneş panelleri için yeterli değildir. Güneş panellerinden elde edilen saatlik enerji miktarı Şekil 4.3'e göre maksimum 180 kW civarındadır. Buna göre Resim 4.5'te gösterilen hibrit şarj kontrollerinden on iki adet kullandığımız durumda rüzgar enerjisinden gelen tüm enerjinin kontrolü sağlanacaktır ancak güneş panellerinden üretilen enerjinin sadece 18 kW kadarını karşılanabilecektir. Geriye kalan 168 kW enerji için ayrıca solar kontrol cihazı kullanılmalıdır. Bunun için Resim 4.7'da gösterilen solar kontrol cihazının da sisteme dâhil edilmesi planlanmıştır.



Resim 4.7 Güneş panel kontrol cihazı

Çizelge 4.8 Güneş paneli kontrol cihazı özellikleri

Menşei	Çin
Ürün Kodu	PV3500
Marka	MUST-SOLAR
Ölçüleri	884 x 618 x 443 mm
Ağırlığı	96 kg
Kapasitesi	12 kW
Güneş Paneli giriş Voltaj	48 V DC 2 faz
Batarya şarj çıkış Voltaj	48 V DC

4.7 İnvörtör Seçimi

Depolanan enerjinin doğru akım olarak depolanması ve aydınlatma sisteminde tüketilecek olan elektrik enerjinin alternatif akım olması nedeniyle, depolanan enerjinin alternatif akıma çevrilmesi gerekmektedir. Bu nedenle kurulacak olan sistemde invertör kullanılmalıdır. İnvörtör seçimi yapılırken sistemin gerilimine ve tüketimine uygun bir invertör seçilmelidir (Toprak 2011). Bu doğrultuda aşağıda Resim 4.8’de gösterilen 50 kW gücündeki invertörün sistemde kullanılması planlanmıştır. Sistemde kullanılması planlanan invertörün özellikleri Çizelge 4.9’de belirtilmiştir.



Resim 4.8 Sistemde kullanılacak olan invertör

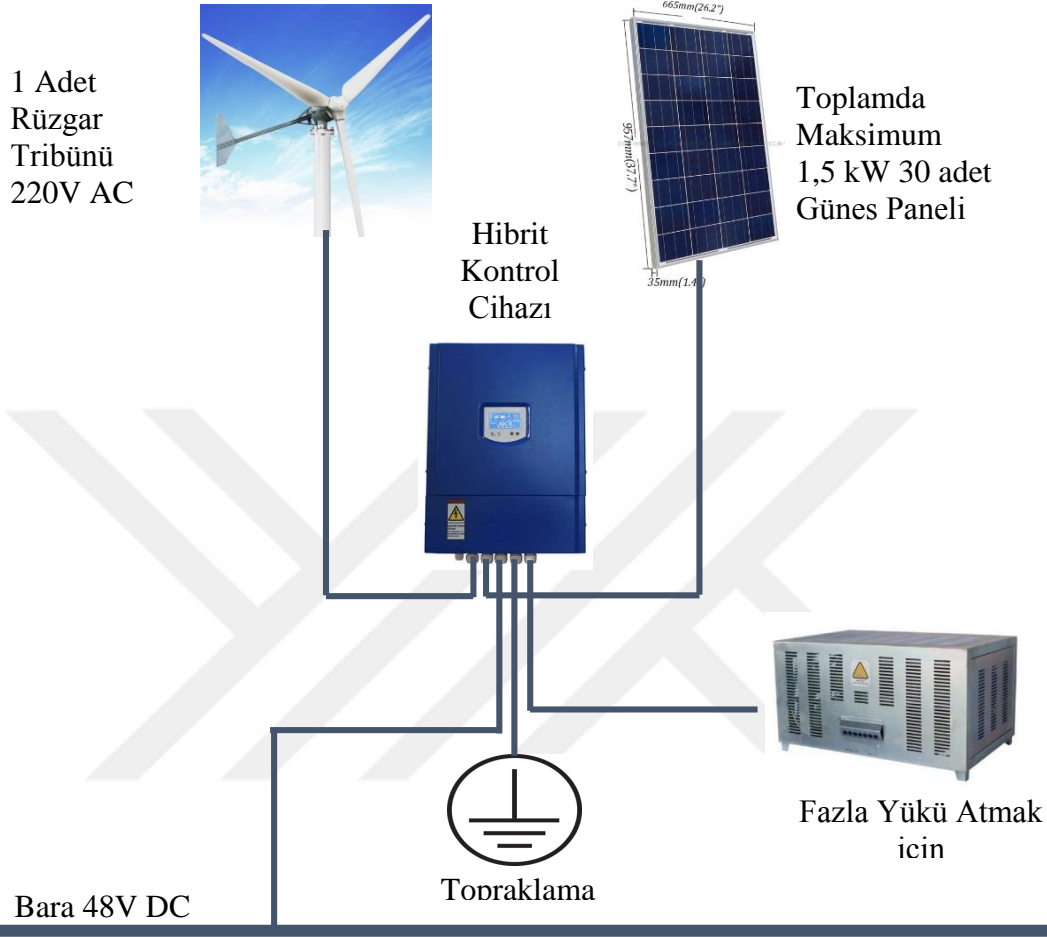
Çizelge 4.9 Sistemde kullanılacak olan invertörün özellikleri

Menşei	Çin
Ürün Kodu	FSI-102M30
Marka	Onesolar
Ölçüleri	285 x 255 x 120 mm
Ağırlığı	7.2 kg
Çıkış Voltaj	220V AC
Giriş Voltaj	12-48V DC
Maksimum Çıkış Gücü	50 kW

4.8 Sistemin Kurulumu ve Maliyet Hesabı

Sistemin kurulumu için sistemde kullanılacak cihazların teknik özelliklerini dikkate alarak bağlantılarının yapılması gerekmektedir. Özellikle enerji giriş ve çıkışlarına dikkat etmek gerekmektedir. Bu bağlantılarından önce seçilen cihazların kullanım kılavuzları ve teknik bilgi içeren dokümanları dikkatlice incelenmelidir. Kullanacak cihazların doğru bir şekilde seçimi yapıldıktan sonra bunların doğru bir şekilde bağlantıları yapılmalıdır. Bu doğrultuda sistemde kullanılacak bir rüzgar türbinin bağlantısı Şekil 4.15'te gösterilmiş olduğu gibi yapılabilir. 100 W enerji üretebilen güneş panelleri 320 W enerji üretimi yapabilen güneş panellerinin sisteminin gereksinimlerine yanıt vermesi ve

maliyet açısından daha uygun olması nedeniyle 100 W enerji üretebilen güneş panellerinin kullanılması daha uygun bulunmuştur.



Şekil 4.15 Rüzgar türbini ve güneş panel bağlantısı

Sistemde on iki adet rüzgar türbini vardır bu nedenle sistemde on iki adet rüzgar kontrol cihazı kullanılmalıdır. Sistemde kullanılacak olan rüzgar kontrol cihazları hibrit özellikli cihazlar oldukları için güneş paneli ve rüzgar türbinleri Şekil 4.15'te gösterildiği gibi bağlanabilir. Rüzgar türbinlerinin tamamı ve güneş panellerinin toplamda maksimum 1,5 kW olacak şekilde şarj kontrol cihazına bağlanması planlanmıştır. Şarj kontrol cihazları ve bataryalar için bir bara sistemi oluşturularak enerjinin ortak kullanılması düşünülmüştür. Rüzgar kontrol cihazlarının hibrit olması nedeniyle güneş panellerinin bir kısmı da bu cihazlara bağlanılarak tasarruf edilebilir. Bunun için öncelikle rüzgar kontrol cihazına bağlanılabilecek güneş paneli sayısı bulunmalıdır. Sistemde kullanılacak olan güneş paneller maksimum 100 watt enerji üretebildiği için ve rüzgar kontrol cihazlarının

güneş paneli desteği 1.5 kW olduğu için kullanılacak güneş paneli sayısı (4.28)'deki eşitlikle hesaplanabilir.

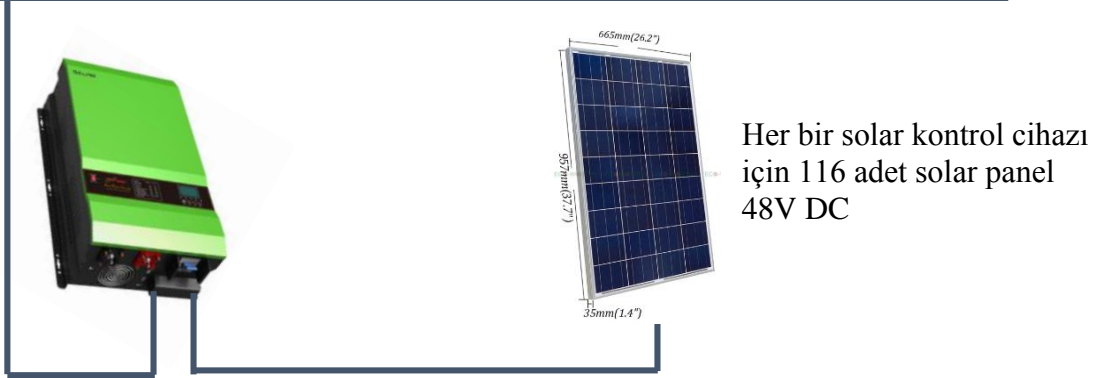
$$\frac{1,5 \text{ kW}}{100 \text{ w}} = \frac{1500 \text{ w}}{100 \text{ w}} = 15 \quad (4.28)$$

On iki adet rüzgar kontrol cihazı için toplamda (12 x 15=180) yüz seksen adet solar panel kullanılmış olacaktır. Geriye kalan bin iki yüz altmış iki adet solar paneli için Resim 4.7'da gösterilen solar kontrol cihazı kullanılacaktır. Bağlantıların solar kontrol cihazlarına eşit bir şekilde paylaşım için solar kontrol cihazlarına bağlanabilecek maksimum sayıdaki solar panel sayısı bulunmalıdır. Solar kontrol cihazlarının desteklemiş olduğu maksimum enerji miktarı solar panellerinin üreteceği maksimum enerji miktarına bölünerek türbin kontrol cihazlarına bağlanabilecek solar panel sayısı bulunabilir.

$$\frac{12 \text{ kW}}{100 \text{ w}} = \frac{12000 \text{ w}}{100 \text{ w}} = 120$$

Yukarıdaki yapılan hesap sonucunda her solar kontrol cihazına yüz yirmi adet güneş panelinin bağlanabileceği bulunmuştur. Rüzgar kontrol cihazlarına bağlanması düşünülen güneş panellerinde geriye bin iki yüz altmış iki adet solar paneli kalmıştır. Geriye kalan güneş panelleri yüz yirmiye bölündüğünde sistemde toplam on bir adet solar kontrol cihazı kullanılmalıdır. Her solar kontrol cihazına eşit ve en ideal sayıda solar panel bağlanabilmesi için geriye kalan güneş panel sayısı, on bir'e bölündüğünde her solar kontrol cihazına yüz on altı adet güneş panelinin bağlanabileceği bulunmuş olur. Solar kontrol cihazı ve güneş panellerinin bağlantıları Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

Bara 48V DC



Şekil 4.16 Güneş panellerinin solar kontrol cihazına Bağlantısı

Sistemde üretilen enerjinin gerilimi 48V DC olacak şekilde Şekil 4.17’de gösterildiği bir barada toplanması planlanmıştır. Böylece, bataryalarda depolanan ve yine baraya bağlanan bir adet invertör ile dönüştürülen enerji bir kontrol panosu üzerinden aydınlatma sistemine dağıtılmış olacaktır.

Bara, 48V DC



Şekil 4.17 Batarya ve invertör bağlantısı

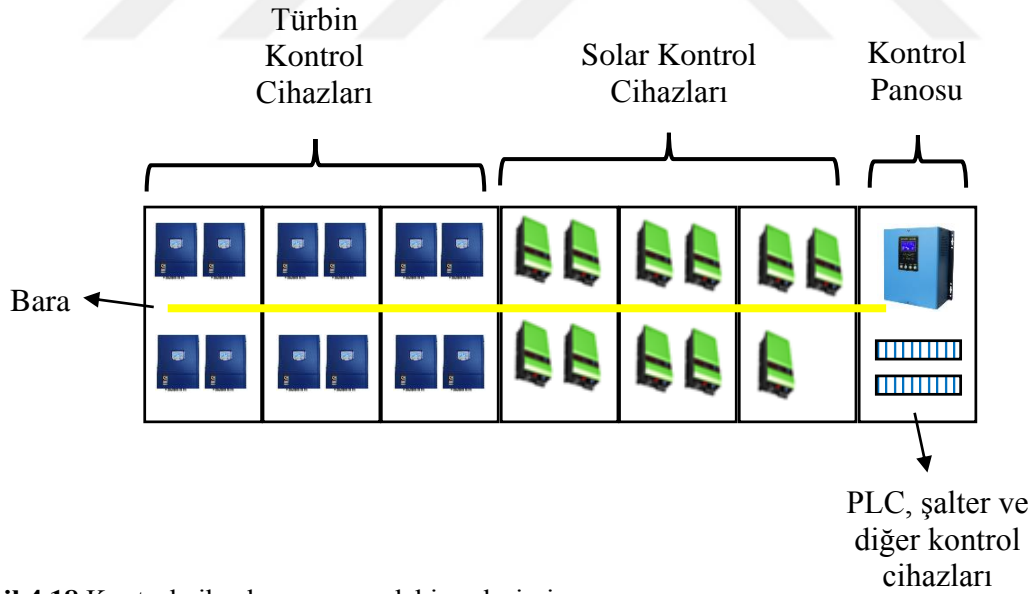
Kurulacak olan sisteme ait maliyetlerin bilgisinin verilmiş olduğu Çizelge 4.10’da iki farklı güneş panellerinin maliyeti verilmiştir. Sistem için uygun olan güneş paneline göre toplam maliyet çıkarılacaktır.

Çizelge 4.10 Kurulacak olan sistemin maliyetleri

Cihaz Adı	Adet
Güneş Paneli	1 442
Güneş Paneli	535
Rüzgar Türbini	12
Rüzgar Türbini Kontrol Cihazı	12
Solar Kontrol Cihazı	11
Çevirici (İnvertör)	1
Panolar, diğer Malzemeler ve işçilik	1

4.9 Cihazların Yerleşimi ve Kontrol Panosu

Üretilen enerjinin tüketiciye doğru bir şekilde ulaşması için bir kontrol aşamasından geçmesi gerekmektedir. Bunun için bir adet lojik kontrollere içeren bir pano ile üretilen ve tüketilen enerjilerin izlenerek gerektiğinde tüketicinin enerjisinin otomatik olarak geminin enerji sisteminden alması sağlanmalıdır. Bu doğrultuda sistemde kullanılacak cihazların yerleşimi Şekil 4.18’de gösterildiği gibi yedi adet pano tasarlanmıştır.

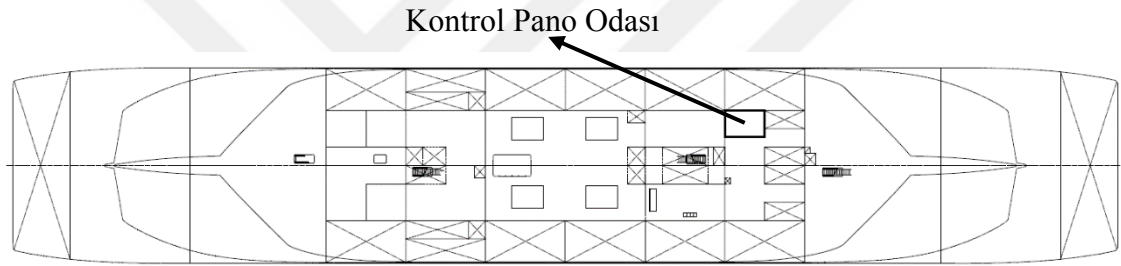


Şekil 4.18 Kontrol cihazlarının panodaki yerleşimi

Şekil 4.18’de gösterilmiş olduğu gibi rüzgar kontrol cihazları, solar kontrol cihazları, invertör, PLC, elektrik kontrol ekipmanları ve bu panolar arasında ortak enerji dağılımı için bir bara yerleştirilmesi planlanmıştır. Kontrol panosunda bulunan PLC, kesicileri ile

tüketicinin enerjisini gerektiğinde geminin enerjisinden veya sistemden almasını sağlamak için sisteme dâhil edilmiştir.

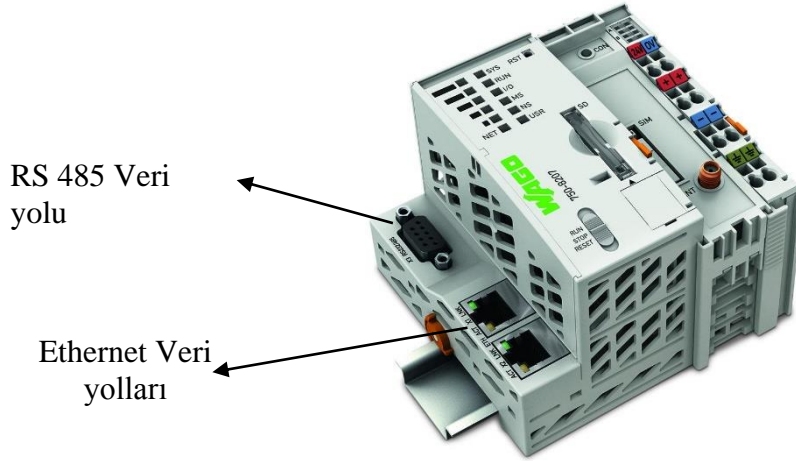
Sistemin kurulum planı tamamen hazırlandıktan sonra bu cihazların gemiye yerleşim için uygun bir alan bulunmalıdır. Bu alan seçimi yapılırken üretici ve tüketici sistemlerin yerleşim planları dikkate alınarak yapılmalıdır. Gemide sınırlı alan olması ve kabloların bağlantılarının kolayca yapılabilmesine olanak sağlayan bir alan bulmak gemilerde genellikle zordur ancak seçilen geminin elektrik kontrol odasının yanında bu panoların yerleşimi için uygun bir alan mevcuttur. Kurulumun yapılabileceği yerleşim alanı Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Bu alana Şekil 4.18’de gösterilen panoların ve sistemde kullanılacak bataryaların yerleştirilmesi planlanmıştır.



Şekil 4.19 Kontrol pano odasının gemideki yeri

4.10 Geminin Enerji Takibinin İnternet Tabanlı Yapılması

Gelişen teknoloji ile birlikte yüksek teknolojili cihazlar modern toplumların vaz geçilmezleri arasındadır. Son zamanlarda nesnelerin interneti (IOT) teknolojisi ile birlikte günlük hayatta kullandığımız tüm cihazlar birbiri ile haberleşerek insanların ihtiyaçlarını giderme doğrultusunda gelişmeye devam etmektedir (Akkuş 2016). Gemide kurulacak olan sistemin uzaktan takibinin yapılabilmesi için internet bağlantısının olması gerekmektedir. Uzaktan takibinin yapılması istenilen cihazlara ait veriler PLC üzerinde toplanılarak geminin hali hazırda mevcut olan internet alt yapısının kullanılarak erişime açılması planlanmıştır. Bu doğrultuda Şekil 4.21’de gösterilmiş olduğu gibi uzaktan takibi yapılacak olan cihazlar ile haberleşebilecek bir PLC seçimi yapılmıştır.



Şekil 4.20 PLC üzerindeki veri yolları

4.10.1 Sistemdeki Cihazların Haberleşmesi

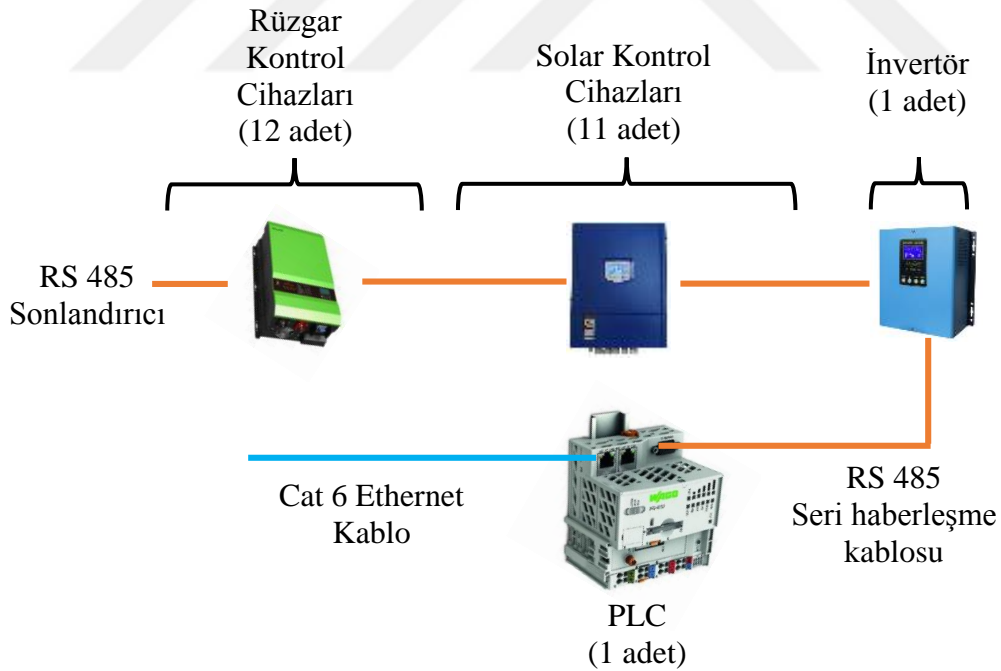
Günümüzdeki birçok cihaz seri veri iletişim özeliğine sahip olacak şekilde üretilmektedir. Bu cihazların birbirleri ile iletişime geçmesi yani haberleşebilmesi için endüstriyel alandaki standartlara sahip olması gerekmektedir. RS 232 ve RS 485 günümüzde yaygın olarak kullanılan haberleşme standartlarıdır (Güven ve Uzun 2007). Bu doğrultuda sistemde kullanılacak olan rüzgar türbin kontrol cihazı, solar kontrol cihazı, invertör ve PLC RS 485 seri haberleşme standardına sahip olacak şekilde seçilmiştir. Sistemde kullanılması planlanan cihazların RS 485 seri haberleşme bağlantısı Şekil 4.21’de gösterilmiştir.

Sistemde kullanılması düşünülen Modbus RTU haberleşme protokolüne göre sistemde en az bir master ve bir veya birden fazla slave cihaz bulunmalıdır. Bu nedenle kurulacak olan bu sistemde bir adet master cihaz bulunmalıdır. Sistemde kullanılacak cihazlardan PLC master ve diğer cihazlar slave olacak şekilde ayarlanmalıdır (Akkaya 2015). Modbus RTU’ya göre cihazların benzersiz bir sayısal adresi bulunmalıdır ve slave cihazlar master cihazın yapmış olduğu sorguya cevap vererek haberleşmektedirler (Işık 2007). Sistemdeki cihazların seri olarak haberleşmesi için kullanılacak parametreler Çizelge 4.11’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.11 Sistemdeki cihazların seri haberleşme parametre bilgileri

Parametre Adı	Parametre Değeri
Bağlantı Tipi	RS 485
Baud rate	9 600
Data bits	8 bit
Parity	None
Stop bits	1

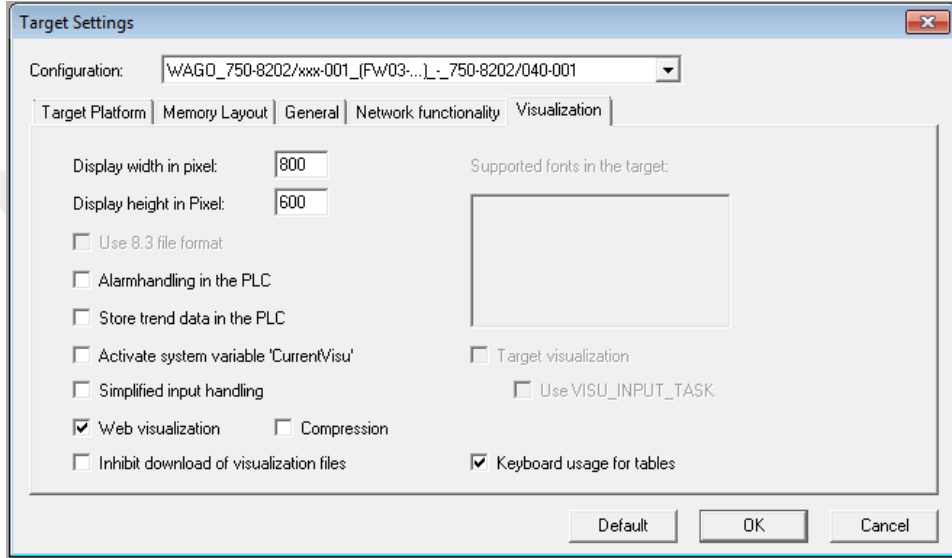
Modbus RTU haberleşme protokolü ve RS 485 seri haberleşme ile sistemdeki cihazlardan elde edilen bilgiler sistemde mevcut olan PLC'ye iletilmektedir. Sistemdeki değerlere uzak bağlantı yapılarak ulaşabilmek için geminin internet alt yapısının kullanılması planlanmıştır. Böylece PLC üzerinde hali hazırda bulunan web-server özelliği sayesinde istenilen sisteme ait bilgiler dünyanın her hangi bir yerinden uzak bağlantı yapılarak ulaşılabilir olacaktır. Şekil 4.20'de gösterilmiş olduğu gibi PLC üzerinde iki adet Ethernet portu ve bir adet RS 485 seri haberleşme portu mevcuttur.



Şekil 4.21 Seçilen gemide kurulacak olan sistemin seri haberleşme bağlantısı

4.10.2 PLC Uzak Bağlantı Yazılımının Yapılması

PLC yazılımları yapılırken öncelikle donanım seçiminin yapılması gerekmektedir. Codesys 2.3 programı kullanılarak yapılan yazılımın donanım seçimi Resim 4.9’da gösterilmiş olduğu gibi yapılmıştır. PLC’ye uzak bağlantının yapılabilmesi için web görüntüleme (web visualization) özelliğinin aktif edilmesi gerekmektedir.



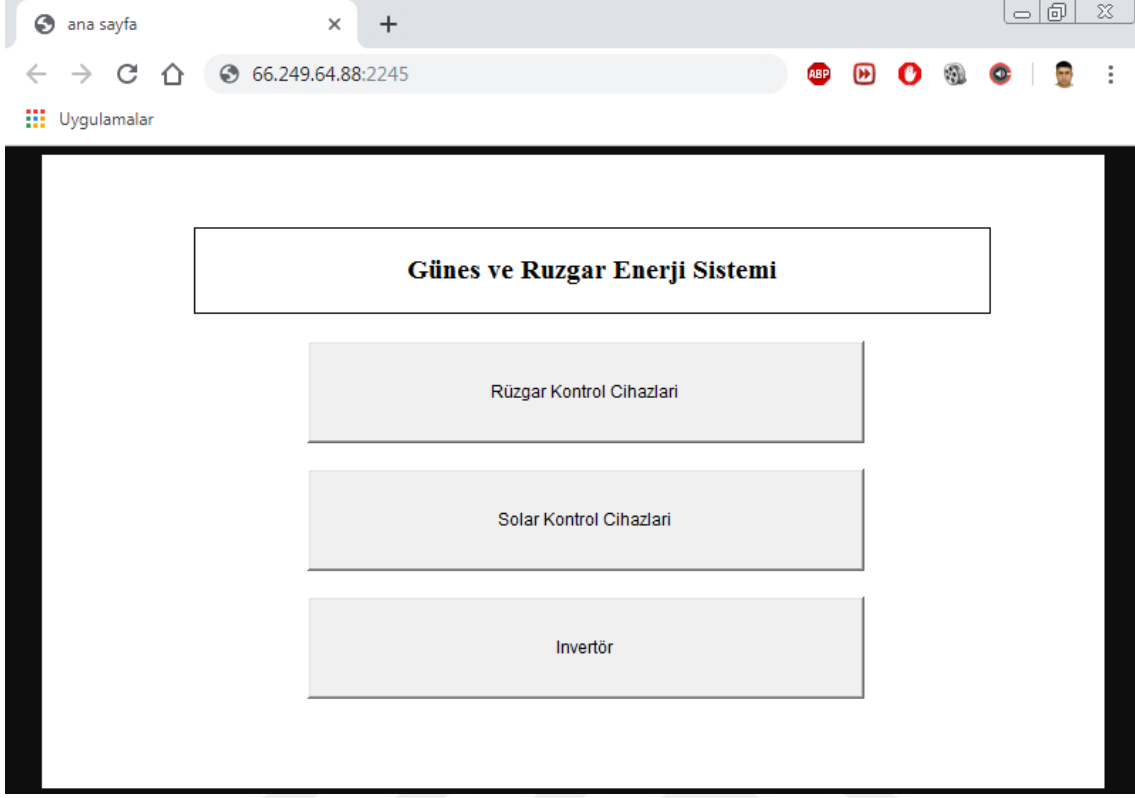
Resim 4.9 Seçilen PLC yazılım için donanım ayarları

PLC ile sistemde kullanılan cihazların Modbus RTU haberleştirilebilmesi için Çizelge 4.11’de belirtilen haberleşme parametreleri kontrol edilmeli, haberleşme parametreleri farklı olan cihazların parametreleri düzeltilmelidir. Resim 4.10’da gösterilmiş olduğu gibi slave cihazlara ait Modbus RTU parametreleri PLC’ye işlenmiştir.

MODBUS network				
Network	Type	IEC address	Access	Communication
MODBUS master	0750-8202/0025...			
Interface (COM2)				Baud: 9600, stop bits: 1, data bits: 8
ModbusSlave1	generic			MODBUS unit ID: 1
ModbusSlave2	generic			MODBUS unit ID: 2
ModbusSlave3	generic			MODBUS unit ID: 3
ModbusSlave4	generic			MODBUS unit ID: 4
ModbusSlave5	generic			MODBUS unit ID: 5
ModbusSlave6	generic			MODBUS unit ID: 6
ModbusSlave7	generic			MODBUS unit ID: 7
ModbusSlave8	generic			MODBUS unit ID: 8
ModbusSlave9	generic			MODBUS unit ID: 9
ModbusSlave10	generic			MODBUS unit ID: 10
ModbusSlave11	generic			MODBUS unit ID: 11
ModbusSlave12	generic			MODBUS unit ID: 12
ModbusSlave13	generic			MODBUS unit ID: 13
ModbusSlave14	generic			MODBUS unit ID: 14
ModbusSlave15	generic			MODBUS unit ID: 15
ModbusSlave16	generic			MODBUS unit ID: 16
ModbusSlave17	generic			MODBUS unit ID: 17
ModbusSlave18	generic			MODBUS unit ID: 18
ModbusSlave19	generic			MODBUS unit ID: 19
ModbusSlave20	generic			MODBUS unit ID: 20
ModbusSlave21	generic			MODBUS unit ID: 21
ModbusSlave22	generic			MODBUS unit ID: 22
ModbusSlave23	generic			MODBUS unit ID: 23
ModbusSlave24	generic			MODBUS unit ID: 24

Resim 4.10 PLC üzerindeki Modbus slave cihazların ayarları

Modbus RTU haberleşme protokolü sayesinde, internet tabanlı takibinin yapılması istenilen cihazlara ait bilgiler PLC üzerinde toplanmıştır. Gemideki internet aracılığı ile PLC'nin uzak bağlantısının yapılabilmesi için, PLC'nin bağlantısının yapıldığı modemde PLC için bir port açılmalıdır. Bu port sayesinde gemi dışındaki uzak bir istemciden geminin Resim 4.11'de gösterilmiş olduğu gibi modem IP'si ve portu yazılarak PLC üzerinde oluşturulan web sayfasına erişim mümkün olacaktır.



Resim 4.11 Sistemin internet tabanlı izlenilebilmesi için PLC üzerinde yapılan web sayfası

5. SONUÇ

Gemiye kurulacak olan güneş ve rüzgar enerji sistemi geminin çok fazla enerjiye ihtiyaç duyması nedeniyle geminin tüm enerji ihtiyacını karşılayamayacaktır. Bu çalışma örnek bir çalışmadır ve günümüz teknolojisi ile güneş ve rüzgar enerjisi ile elde edilecek enerjinin geminin tüm enerji ihtiyacını karşılayamayacağı sonucu ortaya çıkmaktadır. Ancak gelişen teknoloji ile birlikte gelecekte belki de geminin tüm enerji ihtiyacı yenilebilir enerji kaynakları ile karşılanabilecektir. Seçilen gemiye kurulacak olan bu sistemin ancak geminin aydınlatma sisteminin enerji ihtiyacını karşılayabileceği görülmüştür. Bu sistemin kurulumunun haricinde aydınlatma sistemde led teolojisine sahip lambaların kullanımı ile birlikte enerji ihtiyacı azaltılabilir ve böylelikle sistemden elde edilen fazla enerji diğer sistemlere aktarılabilir veya sistemin boyutlandırması tekrardan yapılarak sistemin maliyetine katkıda bulunabilir.

Kurulacak olan sistemin maliyet hesabı ile aydınlatma sisteminin maliyet hesabını karşılaştırmak için jeneratörlerin 1 600 kW enerji için 350 litre yakıt tüketim bilgisi kullanılarak karşılaştırma kabaca yapılabilir. Aydınlatma sistemi yıllık toplam 254 700 kW enerji tükettiğine göre, yaklaşık olarak 55 715 litre yakıtın tüketildiği bilgisi elde edilmiş olur. Güneş panellerinden 100 W enerji üreten güneş panelinin maliyet olarak 320 W enerji üreten güneş panelinden ucuz olması ve sistemin enerjisiz kalınan süreyi değiştirmemesi yani LLP değerini yeteri kadar değiştirememesinden dolayı 100 W enerji üreten güneş panellerinin sistemde kullanılması maliyet açısından daha doğru bir karar olacaktır. Bu doğrultuda Çizelge 4.10'a göre kurulacak olan sistemin maliyet hesabı yapıldığında yaklaşık olarak 216 431,96 \$ olmaktadır. Dizel yakıtın litre fiyatı 0,65 \$'dan hesaplandığında tüketici sisteminin yıllık yaklaşık olarak 36 214,75 \$ yakıt masrafı olduğunu bulunmuş olunur. Sistemin kurulum gideri tüketicinin harcamış olduğu yakıt maliyetine bölündüğünde yaklaşık olarak 72 ay sonra kurulacak olan sistemin maliyet hesabına denk geldiği görülür ki bu kurulacak olan sistemin altı yıl içerisinde kendisini amorti edeceği ve sonrasında ise kurulacak olan sistemim kâra geçeceği görülmektedir.

Dünya genelindeki birçok kuruluşlar iklim değişimlerine dikkat çekmek için çeşitli faaliyetlerde bulunarak karbondioksit salınımının azaltılması gerektiğini belirtmektedirler.

Fosil yakıtlarla kıyaslandığında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin çevreye yaymış olduğu karbondioksit salınımı çok daha düşük seviyelerdedir. Dolayısıyla Türkiye'nin yenilenebilir enerji teknolojilerine daha fazla yatırım yapması ve yenilenebilir enerji teknolojilerin geliştirilmesine yönelik programlar yetkili kuruluşlar tarafından desteklenmelidir (Çoban ve Kılıç 2015). Seçimi yapılan geminin devlet kurumuna ait bir gemi olması açısından sistemin bu gemide kurulması ve hayata geçirilmesi ülkemizdeki gemi sektörü için öncül bir gelişime olabilir.

Sistemin kurulumu ile birlikte her yıl yaklaşık olarak 55 ton dizel yakıt tasarrufu sağlanacaktır. "Bir litre dizel yakarsanız, bu 2,6391 kg karbondioksit üretecektir." (7). Bu doğrultuda bir ton dizel yakıtın yanmasıyla yaklaşık olarak 2,6 ton karbondioksit gazın atmosfere salındığı düşünüldüğünde kurulacak olan bu sistem sayesinde yaklaşık olarak 143 ton karbondioksit atmosfere salınmayacaktır. Buda kurulacak olan bu sistemin çevre için çok daha temiz bir enerji kaynağı olacağını göstermektedir.

Bu araştırma sonucunda, gemilerde güneş ve rüzgar enerjisinin kullanımı ile birlikte hem çevre için hem de ekonomi için çok daha avantajlı olacağı sonucunu ortaya çıkmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Akkaya, Ş. (2015). FPGA Tabanlı Modbus Ağ Geçidi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Akkuş, S. (2016). Nesnelerin interneti teknolojisinde güvenli veri iletişimi-programlanabilir fiziksel platformlar arasında wep algoritması ile kriptolu veri haberleşmesi uygulaması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, **3**: 100-111.
- Aktacir, M. A., Yeşilata, B., ve Işıker, Y. (2008). Fotovoltaik-rüzgar hibrid güç sistemi uygulaması. *Yeni Enerji. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri*, **3**: 56-62.
- Bañuelos-Ruedas, F., Angeles-Camacho, C., and Rios-Marcuello, S. (2011). Methodologies used in the extrapolation of wind speed data at different heights and its impact in the wind energy resource assessment in a region Wind Farm- Technical Regulations, *Potential Estimation and Siting Assessment: IntechOpen*.
- Baran, B. (2012). Çevre-dostu enerji üretimi: Güneş ve rüzgar. *Malatya ÇBS E-Akademi E-Çevre No*.
- Başaran, K., Çetin, N., ve Çelik, H. (2011). Rüzgar-güneş hibrit güç sistemi tasarımı ve uygulaması. Paper presented at the 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11).
- Bharathi, V. P., Pandurangadu, V., and Deepthi, V. N. (2015). Car runs by solar energy. *Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res*:2278-0149.
- Boxwell, M. (2010). Solar Electricity Handbook: A simple, practical guide to solar energy-designing and installing photovoltaic solar electric systems. Greenstream Publishing.

- Carlson, O., and Nilsson, P. A. (2014). Development and demonstration of new technology for the use of wind turbines on ships. *Chalmers University of Technology*.
- Carlton, J., Aldwinkle, J., and Anderson, J. (2013). Future ship powering options: exploring alternative methods of ship propulsion. *London: Royal Academy of Engineering*.
- Çelikkaya, A. (2012). Türkiye’de deniz taşımacılığına sağlanan vergi teşvikleri üzerine bir inceleme. *Maliye Dergisi*, **162**: 73-102.
- Çoban, O., ve Şahbaz Kılıç, N. (2015). Yenilenebilir Enerji Tüketimi Karbon ve Emisyonu İlişkisi: TR Örneği. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, **1**(38):195-208.
- Engin, M., ve Çolak, M. (2005). Güneş-rüzgar hibrid enerji üretim sisteminin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **11**(2): 225-230.
- Emniyetli, G. (2007). Evsel elektrik ihtiyacının karşılanması için rüzgar türbini tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Fauci III, R. T. (2015). Power management system design for solar-powered UAS. *Naval Postgraduate School Monterey CA*.
- Gençoğlu, M. T. (2002). Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından önemi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **14**(2): 57-64.
- Giggall, K., and de Vries, C. (1988). Classic sailing ships. *WW Norton & Company*.
- Güven, B., ve Uzun, T. (2007). Kontrol sistemlerinde kullanılan veri haberleşmesi teknolojileri. *Haberleşme Teknolojileri Ve Uygulamaları Sempozyumu*.

- Hocaoğlu, F. O., ve Akarslan, E. (2018). Bir fotovoltaik güç sisteminin üretiminin çok boyutlu tahmin filtreleri ile modellenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*.
- İlhan, A., Bilgili, M., ve Şahin, B. (2014). Efficiency analysis of an installed wind farm. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **30**(1): 133-140.
- Işık, O. (2007). Elektrik enerjisi sayacının uzaktan kontrolü ve ilgili işletmeciliğin otomasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Karaca, C. (2012). Güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi sistemi tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi
- Kurban, M., Kantar, Y. M., ve Hocaoğlu F. O. (2007). Weibull Dağılımı kullanılarak rüzgar hız ve güç yoğunluklarının istatistiksel analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **7**(2):205-218.
- Mathiesen, B. V., Lund, H., Nørgaard, P. (2008). Integrated transport and renewable energy systems. *Utilities Policy*, **16**(2): 107-116.
- Markvart, T. (1996). Sizing of hybrid photovoltaic-wind energy systems. *Solar Energy*, **57**(4): 277-281.
- Neammanee, B., Sirisumrannukul, and S., Chatratana, S. (2007). Development of a wind turbine simulator for wind generator testing. *International Energy Journal*, **8**(1).
- O'Rourke, R. (2006). Navy Ship Propulsion Technologies: *Options for reducing oil Use-background for congress*.

- Ouchi, K., Uzawa, K., and Kanai, A. (2011). Huge hard wing sails for the propulsor of next generation sailing vessel. Paper presented at the Second International Symposium on Marine Propulsion.
- Rajput, D. S., and Sudhakar, K. (2013). Effect of dust on the performance of solar PV panel. *International Journal of ChemTech Research*, **5**(2): 1083-1086.
- Rolland, L., and Mehmet, M. (2013). Ship design classification for wind and solar energy capture. Paper presented at the The 3rd Climate Change Technology Conference (CCTC 2013), Paper.
- Sasaki, K., Yokota, M., Nagayoshi, H., and Kamisako, K. (1997). Evaluation of electric motor and gasoline engine hybrid car using solar cells. *Solar energy materials and solar cells*, **47**(1-4): 259-263.
- Schoenmaker, R. (2014). Developing a Smart Grid Simulation model from an end-users perspective. Master Thesis, University of Groningen, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
- Toprak, A. (2011). Elektrik üretimi için düşük güçlü rüzgar enerji sistemi tasarımı. Yüksek Lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Umut, İ. (2008). Yenilenebilir enerji kaynaklarını elektrik enerjisine dönüştürmede kullanılan yöntemler ve örnek uygulamalar. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Endüstrisi
- Wu, S., Cheng, Y. T., and Ma, Q. (2011). Discussion on ship energy-saving in low carbon economy. *Procedia Engineering*, **15**: 5259-5262.

YALÇIN, L. (2010). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma Ve Uygulama Çiftliği'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi Ve Güneş Enerjisinden Yararlanabilme Olanakları. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yavuz, B. (2011). Enerji depolama sistemlerinin modellenmesi ve analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

İnternet Kaynakları

- 1) <http://www.ecomarinepower.com/en/wind-and-solar-power-for-ships>, 27.09.2017
- 2) <https://duffy-london.com/product/future-concepts/solaris-global-cruiser>, 27.09.2017
- 3) <http://soelyachts.com/soelcat12-solar-electric-catamaran>, 27.09.2017
- 4) <http://www.planetsolar.org>, 27.09.2017
- 5) <http://www.ladeas.no>, 27.09.2017
- 6) http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/00-01/hybrid_wind/files/texts/layout.html, 11.03.2019
- 7) <https://comcar.co.uk/emissions/co2litre/?clk=1&fueltype=diesel>, 12.3.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yusuf TUNÇ
Doğum Yeri ve Tarihi : 05.08.1981
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : +90 541 763 21 07

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Osmaniye Sağlık Meslek Lisesi, (1996-2000)
Lisans : Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Matematik Mühendisliği Bölümü, (2002-2007)
Yüksek Lisans : Maltepe Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Orta Öğretim Matematik Öğretmenliği Anabilim Dalı, (2008-2009)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

Geta Marin Elektrik (Otomasyon/Yazılım) 2017
Elta Gemi Elektrik (Otomasyon/Yazılım) 2016-2017
EGS Mühendislik (Otomasyon/Yazılım) 2015-2016
Özel Zümrütevler Etüt Eğitim Merkezi(Matematik Öğretmenliği) 2013-2015
Özel Gülsuyu Etüt Eğitim Merkezi (Matematik Öğretmenliği) 2010-2013