

**T.C.  
ORDU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIRSAL TESİSLER İÇİN HİBRİT (RÜZGÂR + GÜNEŞ)  
SİSTEM TASARIMI VE ANALİZİ**

**HALİL ULUTAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ORDU 2015**

## TEZ ONAY

Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Halil ULUTAŞ tarafından hazırlanan ve Doç. Dr. Veli TÜRKMENOĞLU danışmanlığında yürütülen “Kırsal Tesisler İçin Hibrit (Rüzgâr + Güneş) Sistem Tasarımı ve Analizi” adlı bu tez, jürimiz tarafından 29/09/2015 tarihinde oy birliği ile Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Veli TÜRKMENOĞLU

Başkan : Doç. Dr. Veli TÜRKMENOĞLU  
Elektrik-Enerji, Ordu Üniversitesi

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Serkan KARATAŞ  
Matematik, Ordu Üniversitesi

İmza :

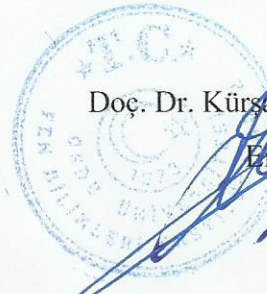
Üye : Yrd. Doç. Dr. Özcan OTKUN  
Otomasyon, Gümüşhane Üniversitesi

İmza :

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 09/10/2015 tarih ve 2015/419 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

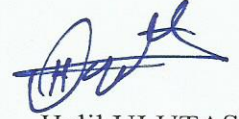
12.10.2015



Doç. Dr. Kürşat KORKMAZ  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.



Halil ULUTAŞ  
Teknik Öğretmen

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

# KIRSAL TESİSLER İÇİN HİBRİT (RÜZGÂR + GÜNEŞ) SİSTEM TASARIMI VE ANALİZİ

**Halil ULUTAŞ**

Ordu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, 2015  
Yüksek Lisans Tezi, 69s.

Danışman: Doç. Dr. Veli TÜRKMENÖĞLU

Bu tez çalışmasında; rüzgâr ve güneşten elektrik üretebilen hibrit enerji sistemi tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Hibrit sistemin Matlab/Simulink programında tasarımı gerçekleştirilmiş ve farklı senaryolara göre gerekli analizler gerçekleştirilmiştir.

Uygulaması gerçekleştirilen sistemde rüzgâr ve güneşten üretilen enerji akülerde depolanmakta ve gerektiğinde yüklere aktarılabilmektedir. Aküler dolduğunda üretilen enerji doğrudan yüklere gönderilmektedir.

Akülerde enerjinin olmadığı ve rüzgâr türbiniyle PV panellerin enerji üretmediği durumlarda yüklere gerekli enerji on-grid bağlantı ile şebekeden karşılanmaktadır. Bu şekilde yüklerin her zaman enerji ihtiyacı karşılanmış olmaktadır.

Hibrit sistemde kullanılan PV panellerin ve rüzgâr türbinin çıkışı akülerle birlikte şebeke gerilimi ve frekansını sağlayan hibrit invertere bağlanmış ve çıkışından yükler beslenmiştir.

Sistemi oluşturan PV panellerinin ve rüzgâr türbininin ürettiği enerji, akım ve güç değerleri anlık, günlük, haftalık ve aylık olarak, akü grubunun da anlık olarak doluluk durumu ve şarj olma durumu hibrit invertere kaydedilebilmektedir. Bu veriler alınarak hibrit sistemin verimleri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir Enerji, Hibrit Enerji, Matlab, Simulink

## ABSTRACT

### HYBRID (WIND + SUN ) SYSTEM DESIGN AND ANALYSIS FOR RURAL FACILITIES

Ordu University  
Institute for Graduate Studies in Science and Technology  
Department of Renewable Energy, 2015  
MSc. Thesis, 69p.

Supervisor: Assoc. Dr.Veli TÜRKMENOĞLU

In this thesis; a hybrid energy system which is able to produce electricity out of wind and sun was designed and its practice was implemented. Hybrid system's design was realised in Matlab/Simulink programme and different analyses which were needed according to different scenarios were implemented.

In the system which was transferred into practice, the energy produced out of wind and sun is stored in accumulators and it can be transferred to charges if it is needed. The energy produced when the accumulators are charged, is directly sent to the charges.

In case of no energy within the accumulators and when PV panels don't produce energy via wind turbines, the energy needed for the charges is supplied from network with on-grid connection. By way of this, energy need of the charges is met all the time.

Outlets of PV panels and wind turbine used in hybrid system are connected together with the accumulators to the hybrid inverter which supplies line voltage and frequency and the charges are fed from its outlet.

The energy, current and power rates produced from PV panels constituting the system, daily, weekly and monthly, and also the fullness and charge situation can be recorded into hybrid inverter instantly. Productivity of the hybrid system is analysed by way of taking this data.

**Key words:** Renewable Energy, Hybrid Energy, Matlab, Simulink

## TEŐEKKÖR

Tez alıőmamın seiminde, yűrűtűlmesinde, sonulandırılmasında ve sonularının deęerlendirilmesinde bilgi ve deneyimleriyle desteęini esirgemeyen deęerli hocam Do. Dr. Veli TÖRKMENÖĐLU'na teőekkűr ederim.

Tez alıőmam sűresince verdikleri destek, gűsterdikleri sabır ve anlayıőtan űtűrű deęerli eőim Hafize Nuray ve biricik kızım Eylűl Naz ile hayatım boyunca her konuda destek olan ve ideallerimi gerekleőtirmemi saęlayan ok deęerli annem ve babama yűrekten teőekkűrű bir bor bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	I
<b>ÖZET</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	IV
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	V
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	VII
<b>ÇİZELGELER LİSTESİ</b> .....	XI
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR</b> .....	XIII
<b>EK LİSTESİ</b> .....	XIV
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR ile GENEL BİLGİLER</b> .....	3
2.1 Önceki Çalışmalar .....	3
2.2. Genel Bilgiler .....	11
2.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Durumu .....	11
2.2.1.1. Dünya’da Güneş ve Rüzgâr Enerjisinin Durumu .....	13
- Güneş Enerjisinin Durumu .....	13
- Rüzgâr Enerjisinin Durumu .....	14
2.2.1.2. Türkiye’de Güneş ve Rüzgâr Enerjisinin Durumu .....	15
- Güneş Enerjisinin Durumu .....	15
- Rüzgâr Enerjisinin Durumu .....	16
2.2.1.3. Ordu İlinde Güneş ve Rüzgâr Enerjisinin Durumu .....	17
- Güneş Enerjisinin Durumu .....	17
- Rüzgâr Enerjisinin Durumu .....	18
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	20
3.1. Materyal .....	20
3.2. Yöntem .....	28

3.2.1.	Hibrit Güç Sisteminin Matlab/Simulink Benzetimi .....	28
3.2.1.1.	PV Panellerin Matlab/Simulink Benzetimi .....	29
3.2.1.2.	Rüzgâr Türbini Matlab/Simulink Benzetimi .....	32
3.2.1.3.	Kontrol Ünitesi Matlab/Simulink Benzetimi .....	37
3.2.1.4.	İnverterlerin Matlab/Simulink Benzetimi .....	39
3.2.1.5.	Akü Matlab/Simulink Benzetimi .....	40
3.2.2.	PV Panel-Rüzgâr Türbini Hibrit Sistemin Fiziksel Kurulumu .....	41
3.2.3.	HGÜS Maliyet Analizi .....	48
<b>4.</b>	<b>BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	<b>49</b>
4.1.	Bulgular .....	49
4.1.1.	Hibrit Güç Sisteminin Matlab/Simulink Analizi .....	49
4.1.1.1.	Rüzgâr Türbini Yük Senaryoları .....	49
-	Durum 1 .....	49
-	Durum 2 .....	50
-	Durum 3 .....	50
-	Durum 4 .....	51
4.1.1.2.	PV Panel Yük Senaryoları .....	51
-	Durum 1 .....	51
-	Durum 2 .....	52
-	Durum 3 .....	52
-	Durum 4 .....	53
4.1.2.	Hibrit Güç Sisteminin Deneysel Ölçümleri .....	53
4.2.	Tartışma .....	62
<b>5.</b>	<b>SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....	<b>64</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>66</b>
<b>EKLER</b>	.....	<b>70</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	.....	<b>74</b>



## ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1.	2004-2011 yılları arası yenilenebilir enerji kaynakları yatırımı .....	12
Şekil 2.2.	Ülkeler düzeyinde yenilenebilir enerji kaynakları yatırımı .....	12
Şekil 2.3.	Dünya geneli güneş enerji yatırımı .....	13
Şekil 2.4.	Güneş enerjisi işletme kapasitesine göre dünyadaki ilk 10 ülke .....	13
Şekil 2.5.	Dünya geneli rüzgâr enerjisi yatırımı .....	14
Şekil 2.6.	Türkiye geneli güneş enerjisi potansiyeli .....	15
Şekil 2.7.	Türkiye'nin ışıınım değerleri .....	16
Şekil 2.8.	Türkiye'nin güneşlenme süreleri .....	16
Şekil 2.9.	Ordu ili güneş enerjisi potansiyeli .....	17
Şekil 2.10.	Ordu ili ışıınım değerleri .....	17
Şekil 2.11.	Ordu ili güneşlenme süreleri .....	17
Şekil 2.12.	Kabadüz ışıınım değerleri .....	18
Şekil 2.13.	Kabadüz güneşlenme süreleri .....	18
Şekil 2.14.	Ordu ili rüzgâr hız dağılımı .....	18
Şekil 2.15.	Ordu ili kapasite faktörü dağılımı .....	18
Şekil 2.16.	Ordu ili RES kurulabilir alanlar .....	19
Şekil 3.1.	PV sistemdeki hücre, modül ve panel yapısı .....	20
Şekil 3.2.	Güneş paneli kesiti .....	21
Şekil 3.3.	PV hücrenin elektriksel eşdeğeri .....	21
Şekil 3.4.	Radyasyona bağlı I-V grafiği .....	22
Şekil 3.5.	Sıcaklığa bağlı I-V grafiği .....	22
Şekil 3.6.	RT temel parçaları .....	24
Şekil 3.7.	RT iç yapısı .....	24
Şekil 3.8.	Hibrit sistemin Matlab/Simulink modeli .....	29

<b>Şekil 3.9.</b>	PV panellerin Matlab/Simulink modeli .....	29
<b>Şekil 3.10.</b>	PV panelin Matlab/Simulink modeli .....	30
<b>Şekil 3.11.</b>	PV hücrelerin Matlab/Simulink modeli .....	30
<b>Şekil 3.12.</b>	Güneş radyasyon değerine göre PV sistemin P-V grafiği .....	31
<b>Şekil 3.13.</b>	Güneş radyasyon değerine göre PV sistemin I-V grafiği .....	31
<b>Şekil 3.14.</b>	PV panel sayısına göre PV sistemin P-V grafiği .....	32
<b>Şekil 3.15.</b>	PV panel sayısına göre PV sistemin I-V grafiği .....	32
<b>Şekil 3.16.</b>	Rüzgâr türbini Matlab/Simulink matematiksel modeli .....	33
<b>Şekil 3.17.</b>	Rüzgâr türbini Matlab/Simulink modeli .....	33
<b>Şekil 3.18.</b>	Rüzgâr türbini Matlab/Simulink modelinde blok parametreleri .....	34
<b>Şekil 3.19.</b>	Matlab/Simulink rüzgâr türbini generator çıkış değerleri .....	34
<b>Şekil 3.20.</b>	Rüzgâr türbini Gerilim-Akım (V-I) grafiği .....	35
<b>Şekil 3.21.</b>	Değişken rüzgâr hızına göre rüzgâr türbini Gerilim-Akım (V-I) grafiği ....	35
<b>Şekil 3.22.</b>	Değişken rüzgâr hızına göre rüzgâr türbini generator çıkış değerleri .....	36
<b>Şekil 3.23.</b>	Hibrit sistem kontrol ünitesi .....	37
<b>Şekil 3.24.</b>	Rüzgâr türbini kontrol ünitesi çıkışı .....	37
<b>Şekil 3.25.</b>	PV panel kontrol ünitesi çıkışı .....	38
<b>Şekil 3.26.</b>	Rüzgâr hızı azalmasıyla rüzgâr türbini kontrol ünitesi çıkışı .....	38
<b>Şekil 3.27.</b>	Radyasyon değeri azalmasıyla PV panel kontrol ünitesi çıkışı .....	39
<b>Şekil 3.28.</b>	Rüzgâr türbini inverteri Matlab/Simulink modeli .....	39
<b>Şekil 3.29.</b>	Rüzgâr türbini inverteri Matlab/Simulink modeli .....	39
<b>Şekil 3.30.</b>	Akü Matlab/Simulink modeli .....	40
<b>Şekil 3.31.</b>	Akü Matlab/Simulink eşdeğer devresi .....	40
<b>Şekil 3.32.</b>	Akü grubu Matlab/Simulink parametre ayarı .....	40
<b>Şekil 3.33.</b>	Kurulan hibrit sistemin blok şeması .....	41
<b>Şekil 3.34.</b>	PV panel ankraj ve betonlama işlemi .....	42

<b>Şekil 3.35.</b>	PV panellerin montajı .....	42
<b>Şekil 3.36.</b>	Rüzgâr türbini direği çukur açılması ve demirlerin döşenmesi .....	43
<b>Şekil 3.37.</b>	Rüzgâr türbini direği flanşının demirlere bağlanması .....	44
<b>Şekil 3.38.</b>	Rüzgâr türbini direği betonlama hazırlıkları .....	44
<b>Şekil 3.39.</b>	Rüzgâr türbini direği betonlamasının tamamlanması .....	45
<b>Şekil 3.40.</b>	Direk ve türbin montajının tamamlanması .....	46
<b>Şekil 3.41.</b>	Hibrit sistem diğer malzemeler ve gerekli bağlantılar .....	46
<b>Şekil 3.42.</b>	Hibrit sistemde kullanılan malzemeler ve cihazlar .....	47
<b>Şekil 4.1.</b>	Hibrit sistem yük bağlantısı .....	49
<b>Şekil 4.2.</b>	Rüzgâr Türbini invertere bağlı 3200W yük çıkış grafikleri .....	49
<b>Şekil 4.3.</b>	Rüzgâr Türbini invertere bağlı 2000W yük çıkış grafikleri .....	50
<b>Şekil 4.4.</b>	Rüzgâr Türbini invertere bağlı 1000W yük çıkış grafikleri .....	50
<b>Şekil 4.5.</b>	Rüzgâr Türbini invertere bağlı 320W yük çıkış grafikleri.....	51
<b>Şekil 4.6.</b>	PV Panel invertere bağlı 2000W yük çıkış grafikleri.....	51
<b>Şekil 4.7.</b>	PV Panel invertere bağlı 1000W yük çıkış grafikleri.....	52
<b>Şekil 4.8.</b>	PV Panel invertere bağlı 500W yük çıkış grafikleri.....	52
<b>Şekil 4.9.</b>	PV Panel invertere bağlı 200W yük çıkış grafikleri.....	53
<b>Şekil 4.10.</b>	PV panellerin toplam enerji üretimleri.....	54
<b>Şekil 4.11.</b>	Üretimin en fazla olduğu gün PV panellerin enerji üretimleri .....	54
<b>Şekil 4.12.</b>	Üretimin en az olduğu gün PV panellerin enerji üretimleri .....	55
<b>Şekil 4.13.</b>	Şebeke gerilimi anlık değerleri .....	56
<b>Şekil 4.14.</b>	PV panel anlık güç değerleri .....	56
<b>Şekil 4.15.</b>	Şebeke frekansı anlık değerleri .....	57
<b>Şekil 4.16.</b>	PV panel giriş voltajı anlık değerleri .....	57
<b>Şekil 4.17.</b>	Sistem yükü anlık güç değerleri .....	58
<b>Şekil 4.18.</b>	Yükün anlık güç tüketim değerleri .....	58

<b>Şekil 4.19.</b>	Akü gerilimi anlık değerleri .....	59
<b>Şekil 4.20.</b>	Akü şarj oranı anlık değerleri .....	59
<b>Şekil 4.21.</b>	Şarj akımı anlık değerleri .....	60
<b>Şekil 4.22.</b>	İnverter anlık sıcaklık değerleri .....	60
<b>Şekil 4.23.</b>	Rüzgâr türbini enerji üretim miktarları .....	61
<b>Şekil 4.24.</b>	Rüzgâr türbini saatlik enerji üretim miktarları .....	62

## ÇİZELGELER LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 2.1.</b>	Rüzgâr enerjisi kurulu gücüne göre dünyadaki ilk 10 ülke .....	14
<b>Çizelge 2.2.</b>	Ordu iline kurulabilecek RES güç kapasitesi .....	19
<b>Çizelge 3.1.</b>	PV panel teknik özellikleri .....	20
<b>Çizelge 3.2.</b>	Rüzgâr türbini teknik özellikleri .....	23
<b>Çizelge 3.3.</b>	Hibrit inverter teknik özellikleri .....	25
<b>Çizelge 3.4.</b>	Jel akünün teknik özellikleri .....	27
<b>Çizelge 3.5.</b>	Kanat açısı ve rüzgâr hızı değişimleri .....	36
<b>Çizelge 3.6.</b>	Hibrit sistem fiyat analizi .....	48

## SİMGELERVE KISALTMALAR

AA-DC	:	Alternatif Akım
AB	:	Avrupa Birliği
Ah	:	Amper-saat
ANFÇK	:	Adaptif Neuro-Fuzzy Çıkarım Kontrolör
DA-DC	:	Doğru Akım
GEPA	:	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GW	:	GigaWatt
HGÜS	:	Hibrit Güç Üretim Sistemi
HOMER	:	Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
I	:	Akım (Amper)
$I_{\text{şarj}}$	:	Akü şarj akımı
kW/h	:	Kilowatt saat
LED	:	Light Emitting Diode - Işık Yayan Diyot
LCL	:	Bobin-Kondansatör-Bobin
MW	:	Mega Watt
MPPT	:	Maksimum Güç Noktası Takibi
m/s	:	Metre/saniye
$\eta_{\text{inv}}$	:	İnverter verimi
$P_{\text{inv}}$	:	İnverter gücü
$P_{\text{yük}}$	:	Yükün toplam gücü
PV	:	Fotovoltaik
PID	:	Oransal-İntegral-Türevsel kontrolör
RES	:	Rüzgâr Enerji Santrali

REPA	:	Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
RT	:	Rüzgâr Türbini
W	:	Watt
WAsP	:	Wind Atlas Analysis and Application Program
T	:	Zaman (saniye)
V	:	Gerilim (Volt)
$V_{akü}$	:	Akü gerilimi
YBE	:	Yenilenebilir Enerji
YBEK	:	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YEGM	:	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YH	:	Yakıt Hücresi

## EK LİSTESİ

<b><u>EK No</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
<b>EK 1.</b>	Rüzgâr türbini teknik özellikleri.....	70
<b>EK 2.</b>	PV panel teknik özellikleri.....	71
<b>EK 3.</b>	Hibrit inverter teknik özellikleri.....	72
<b>EK 4.</b>	Akülerin teknik özellikleri.....	73



## 1. GİRİŞ

Enerji, iş üretme yeteneğidir. Sistem enerjisi; o sistemin ortaya çıkarabileceği maksimum iştir. Enerjinin düşük maliyetle elde edilmesi ve çevreye olumsuz etkilerinin düşük olması toplumların yaşam kalitesinin yükselmesinde ve refahlarının artmasında önemli etkiye sahiptir. Toplumların ekonomilerinin gelişimi için enerjinin temiz, uygun maliyetli, güvenilir ve kesintisiz üretilmesi önemli bir stratejidir.

Yenilenebilir enerji; enerji kaynağı hiç tükenmeyen veya kaynaktan alınan enerji miktarından daha hızlı kendini yenileyen ve doğada bulunan, güneş, rüzgâr, hidro, jeotermal, biyokütle, biyogaz, hidrojen, dalga enerjisi gibi enerji kaynaklarını ifade eder.

Dünyada hızlı kentleşme, nüfus artışı ve sanayileşme beraberinde evsel atıkların ve sanayi atıklarının artışı hızlandırmıştır. Bu hızlı artışlar kentlerin hatta ülkelerin sorunu olmaktan çıkarak dünyanın sorunu haline gelmiştir. Bu atıkların ortaya çıkardığı su ve hava kirliliği ile iklim değişiklikleri küresel sorunlar haline gelmiştir.

Bu sorunların en temel sebeplerinden bir tanesi de fosil yakıtların hiç tükenmeyecekmiş gibi bilinçsizce ve aşırı kullanımlarıdır. Çevre için büyük tehdit olan ve bilinçsiz kullanılan bu fosil yakıtlara alternatif çevre dostu ve tükenmeyen enerji kaynakları artık bir zorunluluk haline gelmiştir. Günümüzde tükenmekte olan ve dünyada sayılı ülkelerde yoğunlaşan petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların aksine güneş ve rüzgâr dünyanın her yerindedir.

Elektrik ihtiyacının yaklaşık yüzde 25'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayan Almanya'da güneş enerjisinin, enerji üretimindeki payı yüzde 5 oranındadır. Almanya'da yıllık güneş enerjisi potansiyeli 1000-1250 kW/h iken Türkiye'de bu değer 1750-3000 kW/h arasındadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları açısından Türkiye, Avrupa'dan çok daha şanslı olmasına rağmen onların çok gerisinde yer almaktadır. Bölge olarak Karadeniz bölgesi ise Türkiye'de çok daha gerilerdedir.

Karadeniz bölgesi, hidroelektrik kullanımı haricinde şartlar uygun olmasına rağmen özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinden yeterince faydalanmamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunduğu yerlere doğa koşulları, yerleşim yerleri ve küçük üretim tesisi kurulmasına imkân vermektedir. Bu yerleşim yerlerinde, yenilenebilir enerji kullanımına geçişler daha büyük ölçekli bir dönüşümden daha kolaydır. Türkiye’de yerel yönetimler ve ilgili birimler, yenilenebilir enerji konusunda kapasitelerini geliştirerek "iyi örnekler" ortaya çıkarmaya başlamışlardır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından hiçbiri, her türlü doğa olaylarında ve hava koşullarda tek başına enerji sağlayabilir durumda değildir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için birden fazla enerji üretim sistemlerini bir arada bulunduran hibrit sistemlere ihtiyaç vardır.

Hibrit enerji sistemleri yıl boyunca en yüksek performansa sahiptirler. PV (Fotovoltaik) Panel ve Rüzgâr Türbininden oluşan hibrit bir sistemin bileşenleri tek başlarına analiz edildiğinde, PV sistemler günlerin uzun ve güneşin bol olduğu yaz günlerinde en yüksek performansa sahipken, Rüzgâr Türbinlerinin oluşturduğu enerji sistemleri rüzgârın bol olduğu bahar ve kış aylarında en yüksek performansa sahiptirler.

Hareketli parça olmaması nedeniyle bakım ve arıza maliyeti en düşük sistemler PV sistemlerdir. Bundan dolayı PV sistemler için üretici firmalar yaklaşık 25 yıl kullanım ömrü verebilmektedir. Rüzgâr Türbinlerinde enerji üretimi hareketli parçalar ile yapıldığından bu parçalarda çok sık arızalar meydana gelmekte ve bu arızalarda sistemin işletme maliyetini arttırmaktadır. Ayrıca sürtünmeler nedeniyle sistemin kullanım ömrü azalmaktadır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR ve GENEL BİLGİLER

### 2.1. Önceki Çalışmalar

Hibrit sistemlerdeki amaç, enerji kaynaklarının birlikte kullanımını sağlayarak hem verimi arttırmak hem de kaynaklardan birinin olmaması veya azalması durumunda diğerlerinin sistemin enerji ihtiyacını karşılamasını sağlayabilmektir. Hibrit sistem bileşenleri iki veya daha fazla kaynağın bir araya getirilmesiyle oluşturulabilir. Örneğin güneş-rüzgâr-dizel, güneş-yakıt pili- rüzgâr, güneş-rüzgâr-hidrojen veya güneş-rüzgâr gibi enerji kaynaklarının bir araya getirildiği hibrit enerji sistemi uygulamaları mevcuttur.

Bu uygulamalarda sistemlerin kontrolü ve veriminin artırılması en çok islenen konular arasındadır. Bu amaçla sistem kurulumundan önce sistemlerle ilgili tasarım, modelleme, analiz ve optimizasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda kurulacak sistemin risk ve maliyet analizleri yapılmaktadır.

Koca (2006) çalışmasında, gelişen teknolojiyle birlikte PV panelleri ve rüzgâr türbinleri gibi enerji üretim sistemlerinin maliyetlerinin düştüğünü belirtmektedir. Yaptığı çalışmada sadece PV panel ile oluşturduğu sisteme rüzgâr türbini eklediğinde maliyetin 1,5 kat arttığını belirtmektedir. Buna karşılık sistemlerin enerji üretecekleri zaman periyotlarını dikkate aldığına hibrit sistemin daha verimli, ekonomik ve sürekliliğinin olduğunu belirtmektedir.

Oğuz (2007) çalışmasında, kırsal alanda bulunan yerleşim yerinin elektrik ihtiyacının karşılanması için gerekli güç üretim sistemini *Matlab/Simulink* programı ile modellemiştir. Sistemin çıkış enerjisini istenilen noktada tutmak için *Adaptif Neuro-Fuzzy Çıkarım Kontrolör (ANFÇK)* kullanmıştır. Bu kontrol, çıkış büyüklüklerinin istenilen performansta olması için klasik PID (Oransal-İntegral-Türevsel kontrolör) kontrolör ve ANFÇK ile rüzgâr türbini kanat eğim açısı denetimi yapılarak gerçekleştirilmektedir. Yaptığı simülasyon çalışmalarında kanat eğim açısındaki değişim ile birlikte gerilim, akım, frekans ve güç gibi değerlerin 1,5 saniye gibi kısa bir sürede ayarlanan değere oturduğunu belirtmektedir. Güç dönüşümleri sırasında meydana gelen gerilim harmoniklerini en aza indirebilmek için LCL filtre devresi kullanmıştır. Hibrit sistemde *Adaptif Neuro-Fuzzy Kontrolör*'ün kullanılmasıyla istenilen kalitede ve verimlilikte enerji edildiğini belirtmektedir.

Hocaoğlu ve ark. (2007), WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) yazılımını kullanarak rüzgâr hız ve yön verilerini elde ederek analizler yapmışlardır. Hibrit enerji sistemlerinden özellikle rüzgâr ve güneş enerjilerinin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle kurulumda önce bölge potansiyelinin çok iyi analiz edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu analizlerin yapılabilmesi için en az 1 yıllık verilere ihtiyaç duyulduğunu vurgulamaktadırlar. Rüzgâr verilerinin analizinde genellikle *Weibull* ve *Rayleigh* dağılımlarını kullandıklarını ve yaptıkları çalışmalarda elde ettikleri verilerin bu dağılımlara uygun olduğunu belirtmektedirler. Bu analizler ve ölçümler sonucunda rüzgâr türbini yer tespiti yapmışlardır.

Demirtaş (2008), güneş ve rüzgâr enerjisi ile bunlardan elde edilen enerjilerin depolandığı akülerden oluşan hibrit sistem oluşturmuştur. Akülerin dolu ve üretilen enerjinin yükün kullandığından fazla olması halinde bu fazla enerjiyi şebekeye aktarmıştır. Akülerin boş ve sistemde üretilen enerjinin yeterli olmaması halinde gerekli olan enerjiyi şebekeden sağlamaktadır. Hibrit sistem ile şebeke arasında devamlı bir güç akışı olmaktadır. Rüzgâr türbininden ve güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjilerini evirici yardımıyla yüke yönlendirilmesi için iki adet yükseltici konvertör kullanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu evirici ve konvertörün verimini % 95 olarak hesaplamıştır. Çıkış gücünü maksimum seviyede tutmak için “Maksimum Güç Noktası Takibi” (MPPT) sistemi ve “Güneş Takip Sistemi” tasarlamıştır. Yaptığı ölçümler sonucu güneş takip sistemi ile elde edilen enerjinin, sabit panelli sistemlere göre % 45 daha verimli olduğunu belirtmiştir.

Özcan (2009), kurulacak hibrit enerji sistemin ekonomik açıdan en uygununu belirleyen ve sistem üzerinde simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizleri yapılmasına olanak veren HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*) yazılımı ile çalışmıştır. Çalışmanın sonucunda, PV güneş panelleri ve rüzgâr türbininden oluşan şebekeye enerji satmayacak hibrit sistemin en ekonomik olabilmesi için rüzgâr hızının minimum 7.34 m/s, şebekeye enerji satacak sistemde ise minimum rüzgâr hızının 6.75 m/s olması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca PV güneş panellerine gelen güneş ışınım değerlerinin 4.03 – 5.00 kWh/m<sup>2</sup>/gün değeri arasında değişmesinin sistem konfigürasyonunu değiştirmedeğini belirtmiştir.

Salmanoğlu (2009), yerli yazılımların hazırlanması ve hayata geçirilmesinin önemi üzerine hazırladığı yazılım ile PV güneş, rüzgâr türbini ve hibrit (PV + rüzgâr) güç sistemleri tasarımları gerçekleştirmektedir. Hazırladığı yazılımda Türkiye'deki 81 il ve illerde bulunan 1200 noktanın güneş ve rüzgâr değerleri bulunmaktadır. Bu değerlerle birlikte kullanıcının program ara yüzünden yapacağı sistem tanımlamalarıyla birlikte istediğı sistemi tasarlamasını mümkün kılmıştır. Yazılımla rüzgâr, güneş ve bunların oluşturduğu hibrit sistemler için ayrı ayrı sistem boyutlandırması, maliyet analizi ve karşılaştırması yaparak istenen sonuçların optimum halini tablo şeklinde sunabilmektedir.

Dinçsoy (2010), şebeke bağlantılı hibrit sistemlerde dizel jeneratör kullanılmasının ilk yatırım maliyetleri ile geri ödeme süreleri ile ilgili analizleri yapmak için HOMER programını kullanmıştır. Yaptığı çalışmanın sonucunda rüzgâr ve güneşten oluşan hibrit sistemde şebeke bağlantısı yerine jeneratör kullanılması durumunda ilk yatırım maliyetinin 4-5 kat arttığını, geri ödeme süresinin 5-8 kat arttığını belirtmektedir. İlk yatırım maliyetinin yüksekliği ve geri dönüşüm süresinin uzunluğu sebebiyle, dizel jeneratör içeren sistemlerin uygulanmasının uygun olmadığını belirtmektedir.

Engin (2010) çalışmasında, seçilen pilot bölgede batarya destekli PV-rüzgâr hibrit sistemin kullanılabilirliğini incelemiştir. Sistemin tasarımı ve analizi için HOMER programından faydalanmıştır. Seçilen pilot bölgenin rüzgâr hızı, güneş ışınım değerleri ve sıcaklık değerlerini programa girerek yaptığı analizler sonucunda, PV-rüzgâr sisteminin enerji üretimi için uygun olmadığını belirtmiştir. Bunun nedeni olarak; üretilen enerjinin maliyetinin 0.85 \$/KWh olduğunu ve şebekeden satın alınanın ise 0.10 - 0.12 \$/KWh aralığında olmasını göstermiştir.

Köse (2010), rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşan hibrit sistemin elektrik üretimini teorik olarak incelemiştir. Çalışmasında, on adet şebekeden bağımsız ve 6 adet şebekeye bağılı sistem senaryosu oluşturarak araştırmalar yapmıştır. Gerçekleştirdiğı analizler sonucunda şebeke bağlantılı sistemlerin daha ekonomik olduğunu belirtmiştir.

Kıyak (2010), rüzgâr ve güneşten oluşan hibrit sistem ile LED'li armatür aydınlatma çalışması yapmıştır. Hibrit sistemde kullandığı rüzgâr türbini dik eksenlidir. Bu

türbini kullanmasının en önemli avantajları olarak; montajının kolay olmasını, yüksek kuleye ihtiyaç duymamasını, çalışma alanında diğer türbin çeşitlerine göre daha az tehlike oluşturmasını ve çalışma esnasında çok daha az titreşimle daha az ses çıkarttıkları şeklinde sıralamıştır. Ayrıca çalışmasında, floresan ile LED armatür aydınlatma maliyet analizi yaparak bunları karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda ilk kurulum maliyetinin LED armatürlerde daha fazla olduğunu, gelişen teknoloji ile birlikte LED armatür kartlarının seri üretimle uzun vadede avantaj sağlayacağını belirtmektedir.

Telli (2010) çalışmasında, seçilen bir bölgenin yenilenebilir enerji potansiyelini inceleyerek kurulacak şebeke bağlantı ve şebeke bağlantısız sistemin maliyet analizini gerçekleştirmiştir. Bu maliyet analizlerinde HOMER programı kullanmıştır. Yaptığı çalışmanın sonuçlarına göre; hibrit sistemlerde şebeke bağlantılı sistemlerin şebeke bağlantısız sistemlere göre maliyet açısından daha avantajlı olduğunu belirtmektedir. Modellemesini yaptığı sistemin yüksek maliyetle enerji ürettiğini belirmiş, malzeme maliyetlerinin azalması ve şebeke enerji fiyatlarının artması şeklinde uzun vadede gerçekleşecek durumlarla bu zararın kâra geçeceğini belirtmektedir.

Ayhan (2011), Türkiye’de pilot bölge seçerek güneş ve rüzgâr enerji potansiyelini incelemiştir. Mevcut potansiyelin ve kurulabilecek sistemlerin analizlerini *HOMER* yazılımını kullanarak yapmıştır. Ayrıca rüzgâr türbinleri için en iyi yerin belirlenmesi amacıyla *Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği* programından faydalanmıştır. Rüzgâr hızının, güneş ışınım değerlerinin değişimleri ve akü grubunun eklenmesiyle şebekeye olan bağımlılığın %45’lerden %24’lere düştüğünü ve hibrit sistemin enerji karşılanma oranlarının da %65’lerden %76’lara çıktığını belirtmektedir.

Başaran ve ark., (2011), hibrit güç sisteminin tasarımı yapılmışlardır. Sistemde kullanılan DA/DA dönüştürücü ve DA/AA dönüştürücü verimleri yaklaşık %93 ile %95 arasında olduğunu, sistemde üretilen gücün artmasıyla veriminde arttığını belirtmektedirler. Enerjinin etkin yönetimi için yapılan kontrol ünitelerinin %10 güç avantajı sağladığını, ununda sistemin amortisman süresini %10 azaltacağını ileri sürmüşlerdir.

Çubukçu (2011) çalışmasında, güneş ortak olmak üzere rüzgâr, hidrojen, yakıtlı jeneratör ile hem şebeke bağlantılı hem de şebekeden bağımsız hibrit sistemler üzerine analizler yapmıştır. Bu analizler sonucunda bölge koşullarına uygunluğu düşük sistemlerin hem verimlerinin düşük olduğu hem de maliyetlerinin yüksek olduğunu belirtmektedir. Ayrıca yerli üretim ürünlerde belirtilen üretim özelliklerinin sistemin çalışması esnasında sağlanamadığını belirtmektedir.

Nayir ve Pecen, (2011), ön lisans, lisans ve yüksek lisan öğrencilerine yenilenebilir enerji alanlarında eğitim ve araştırma olanakları sunarak kendilerini bu yönde geliştirmelerine destek olmak amacıyla çalışma yaptıklarını belirtmektedirler. Bu amaçla rüzgâr ve güneşten oluşan hibrit enerji sistemine kablosuz sensörler ve grafiksel programlama dili arabirimi *labview* gözlemlene düzeneğini tüm kullanıcılara sunduklarını belirtmektedirler. Öğrencilerin, gerçek zamanlı hem şebeke bağlantılı hem de şebeke bağlantısız enerji üretimini gözlemlediklerini belirtmektedirler.

Şipar (2011) çalışmasında, rüzgâr enerji sistemlerini ve güç elektroniğini incelenmiş ve sistemin matematiksel modelini çıkartmıştır. Bu model ve simülasyon programı ile gerekli verileri toplamak için toplama kartı oluşturmuştur. Gün içerisinde rüzgârın sürekli olarak hız ve yön değiştirmesiyle şebekeden bağımsız çalışan sistemlerde enerji kesintileri ve dalgalanmaları olduğunu belirtmektedir. Bu dalgalanmaların, sabit gerilim ve sabit frekansta çıkış veren *Çift Yönlü Dönüştürücüler* ile düzenlenebildiğini belirtmektedir. Hazırladığı sistemde, rüzgâr türbinine ait enerji hareketleri, sistemin dinamik davranışını yazılım içerisinde alarak mikro denetleyici kontrolüyle birlikte MPPT algoritması oluşturmuş ve maksimum verim için rüzgâr türbininin kanat açısını ayarlatmıştır.

Toprak ve Akkaya, (2011), güç elektroniği dönüştürücüleri, rüzgâr türbinlerinin ürettiği enerjinin tüketicilerin kullanabileceği şekle dönüştürülmesi için kullanıldığını belirtmektedirler. Rüzgâr türbinlerinde kullanılan şarj regülatörleri sayesinde kullanılmayan ve fazla üretilen enerjinin akülerde depolanması esnasında akülerin zarar görmesini engellediğini vurgulamaktadırlar. Akülerde depolanan DC gerilimin tüketicilere sunulurken şebekeye uyumlu frekans ve genlikte AC gerilime inverterler aracılığıyla dönüştürülmesiyle ilgili yaptığı çalışmalarda çeşitli inverter şemaları ve

kontrol teknikleri kullanmışlardır. Bu çalışmalarını *MATLAB/SIMULINK* programında modellemişlerdir. Yaptığı deneysel çalışmalardan elde ettiği sonuçlarla *simulink* modelden elde ettiği inverter dalga şekillerinin birbiriyle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Yasin ve ark. (2011) çalışmalarında rüzgâr, güneş ve akü grubundan oluşan hibrit sistemi *Matlab/Simulink/SimPowSys* ortamını kullanarak modelleyip performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri modelde farklı enerji kaynaklarından gerçekleşen DC enerji akışı için enerji akış stratejisi geliştirmişlerdir.

Ateş ve Çetin, (2012), çalışmasında rüzgâr enerjisinin verimli kullanılabilmesi için doğru ve hassas ölçüm yapılması gerektiğini belirtmektedir. Günümüzde birçok ölçüm sisteminin olduğunu ve genellikle dakikalık kayıtlar yaptığını belirtmektedir. Yaptığı çalışmada, saniyelik periyotlarla kayıt yaptığını ve bu kayıtlarında anında internet ortamına aktarıldığını ve istenildiği anda internet olan her yerden grafiklerle birlikte bu sonuçlara ulaşılabileceğini belirtmektedir.

Baran, (2012) çalışmasında, güneş ve rüzgâr hibrit sistem için maliyet optimizasyon çalışması yapılmıştır. Değişen hava koşullarına göre hibrit sistemin Matlab Simülasyonunu ve sistemin enerji üretememesi durumuna bağlı maliyet analizini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar sonucunda yükün güçsüz kalma olasılığına karşılık minimum olarak kullanılması gereken güneş paneli, rüzgâr türbini ve akü sayısını belirlemiştir.

Erdoğan (2012), hibrit sistem çalışmasında, hava koşullarına bağlı olarak sistemin ürettiği enerjinin, yapılan analizler ve hesaplamaların sonucundan farklı olmasının nedenleri ve çözüm önerisi üzerinde durmuştur. Bu çözüm önerilerinden bir tanesi olarak yedek bir güç ünitesiyle enerji depolama elemanları önerisi getirmiştir. Günümüzde uygulamalarda paralel batarya gruplarının kullanıldığını, bu bataryaların ömrünün kısa olması, boyutlarının büyük olması ve maliyetlerinin fazla olması nedeniyle bunların yerine, verimin yüksek olduğu, maliyetin ve çevreye olumsuz etkilerin düşük olduğu elektrolizör ünitesi yardımıyla yakıt hücresi sistemlerinin kullanılması çalışmalarının yapıldığını belirtmektedir. Yaptığı ölçümler sonucu rüzgâr hızının 1 saat içinde değişimleri ve 1 saat içindeki ortalama değeri ile yaptığı hesaplamaları karşılaştırmıştır. Bunun sonucunda saatlik veriyi, anlık veri ile



kıyasladığında çok farklı bir çıkış değerleri olduğunu ve bu durumunda bulanık mantık kontrolörünün çıkış değerlerini etkilediğini belirtmektedir. Anlık değerlerle RT çıkışındaki büyük değişimlerin YH (Yakıt Hücresi) ünitesi içeren hibrit enerji sistemlerinde uygulanan enerji yönetimi stratejisi ile etkin olarak değerlendirildiğini belirtmektedir.

Eren (2012) çalışmasında, RES kurulacak bölgede halk ile görüşerek onların tutum ve yaklaşımlarını incelemiştir. Katılımcıların büyük çoğunluğu enerji konusunda ki dışa bağımlılıktan kurtulmak adına YBEK'nın kullanımına ılımlı yaklaşmaktadır. Fakat doğal hayata etkileri, kuşlara ve yarasalara verebileceği zararlar ve radarları etkileyeceklerini düşünerek endişelendiklerini belirtmiştir. Araştırmanın sonucunda, bölge halkının çevresel sorunlara duyarız kalmadığı, gerekirse YBEK'dan herhangi birine daha fazla ödeme yapabilecekleri, kaynaklardan öncelikli olarak güneş panellerini tercih ettiklerini belirtmektedir.

Oguz (2012) çalışmasında, rüzgâr ve güneşten oluşan batarya destekli hibrit güç sistemi elemanlarının *Matlab/Simulink* programında bulunan *SimPowerSystem* kütüphanesi ile simülasyonunu gerçekleştirmiş ve bulanık mantık kontrolü ile enerji akışını yönlendirmiştir. Simülasyon sonuçları ile kurulu sistemin verilerinin birbirlerine çok yakın değerler olduğunu belirtmiştir. Kurulan sistemlerde üretilen enerjinin doğrudan bataryalara gönderildiğini ve bataryaların aşırı şarj-deşarj durumlarından ömürlerinin çok çabuk tükendiğini belirtmiştir. Bataryaların ömrünü kısaltmamak için üretilen gücün öncelikle tüketiciye gönderilmesi gerektiğini, kalan üretim fazlasını ise doluluk oranına göre bataryalarda depolanması gerektiğini vurgulamıştır.

Subrahmanyam ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, Yenilenebilir Enerji Sistemleri üzerinde durmuşlar ve rüzgâr-güneş hibrit sistemi incelemiştir. Sonuç olarak, hangi hibrit sistem kullanılırsa şebeke bağlantılı olmasının verimi arttıracakını belirtmişlerdir.

Şimşek (2012), Türkiye'nin birçok Avrupa ülkesine göre daha fazla kırsal alana ve YBE potansiyeline sahip olduğunu ve bunları değerlendiremediğini belirtmektedir. Yaptığı çalışmalarda, gün içerisindeki güneşlenme değerleri ile saatlik yapılan deney sonuçlarının örtüşmediğini ve gerçekçi olmadığını belirtmektedir. Bunun nedeni

olarak; yapılan güneş ölçümleri ile hesaplamalar arasındaki farkları göstermektedir. Bu farkların oluşma nedeni olarak da; takip sisteminin hassasiyeti, yalıtımlar, gün içinde oluşan hava değişimleriyle bulutlanmalar, yansıtıcı yüzeydeki kirlenmeler gibi tahmin edilemeyen kayıpları söylemektedir.

Başaran (2013), yaptığı rüzgâr ve güneş hibrit sistem çalışmasında üretilen enerjiyle öncelikle akülerin şarj edilmesini, daha sonra yüke ya da şebekeye enerji verilmesini sağlamıştır. Hibrit sistemden yeterince enerji alınamıyorsa akülerin şarj işlemini ulusal şebekeden sağlamıştır. Bu hazırlanan sistemden en yüksek verimi almak için kullanılan DA/DA ve DA/AA gerilim dönüştürücülerin kontrollerinde *bulanık mantık denetleyici* kullanmıştır. Bu sayede klasik yöntemle çalışma durumuna göre yüke yada ulusal şebekeye %7-%10 aralığında daha fazla enerji aktarıldığını, geliştirilen kontrol ünitesinin yatırım maliyetini etkilemeyecek düzeyde az olduğunu belirtmekte, böylece sistemin kendini amorti etme süresini %10 azaltacağını öne sürmektedir.

Kalvandi ve ark. (2013) çalışmalarında, katot korumalı rüzgâr-fotovoltaik hibrit sistem için bir kapasite optimizasyon yöntemi önerilmişlerdir. Kapasite optimizasyonunu, optimal sayıda güneş panelleri, rüzgâr türbin değeri ve batarya grubu kullanılması şeklinde tanımlamışlardır. Önerdikleri yaklaşımın *Matlab* analizini gerçekleştirmişlerdir. Tüketim ve üretim değerlerinin, maliyeti en düşük değere tolere edilmesi suretiyle, katot koruma kapasitesi elde edileceğini belirtmektedirler. Önerilen yöntemin, katot koruma istasyonunun rüzgâr-fotovoltaik hibrit sistem için optimal kapasite sağlayabileceğini ve aynı zamanda sistemin toplam maliyetini azaltacağını belirtmektedirler.

Kumar ve Garg (2013) çalışmalarında, güneş, rüzgâr ve yakıt pilinden oluşan hibrit sistemin *Matlab/Simulink* ile modelini oluşturmuşlardır. Bu modellemenin analizinde, yakıt pilleri yerine diğer depolama sistemlerinin kullanılmasını da incelemişlerdir. Batarya ve akü grubu yerine yakıt hücresi kullanılmasıyla hibrit sistemin daha verimli olduğunu belirtmektedirler.

Nowdeh ve Hajibeigy (2013) çalışmalarında, güneş, rüzgâr ve yakıt pilinden oluşan hibrit sistemin, işletme ve bakım giderleri dâhil maliyet analizini yapmışlardır. Bu analizlerde güneş radyasyon değerleri ile rüzgâr hız değişimlerini de analizlere dahil

etmişlerdir. Bu analiz sonucunda enerjinin ilk yatırım toplam maliyetini bulmuşlardır.

Pachori ve Suhane (2014), çalışmalarında rüzgâr, güneş, dizel jeneratör ve akü grubundan oluşan hibrit sistemin *Matlab/Simulink* programını kullanarak modellemesini ve oluşturulan blokların simülasyonu ile birlikte analizini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca bu sistemin, fosil yakıtlardan enerji üreten sistemlerle karşılaştırmasını da yaparak, diğer sistemlere göre fiyat açısından daha ekonomik olduğunu belirtmişlerdir.

Bu tez çalışmasına bu veriler irdelenerek başlanmıştır. Sistemin kurulacağı yer tespitinde rüzgâr haritasından faydalanılmıştır. Bu konum, Ordu ilinde bulunan rüzgâr koridorunda bulunmakta ve sürekli rüzgâr almaktadır. Ayrıca tepenin üzerinde olması sebebiyle de güneş ışınlarını etkileyecek bir durumda bulunmamaktadır. Verilen ışınım değerleri ile güneşlenme süreleri dikkate alınarak konağın ihtiyacı olan enerji miktarıyla birlikte kurulacak sistemin kapasitesi ve kullanılması gereken akülerin değerleri hesaplanmıştır.

Ayrıca üretilecek fazla enerjinin şebekeye satılarak sistem amortisman süresinin düşürülebileceğini dikkate alınarak sistem şebeke bağlantılı gerçekleştirilmiştir.

Kurulumu gerçekleştirilen sistemde fosil kaynaklı yakıtlara bağımlılığı ortadan kaldırmak için akü destekli bir sistem tercih edilmiştir.

Bu çalışmada Vali Konağı'nın seçilmesindeki amaç; yerel yönetim üzerinden halkın bilinçlendirilmesinin ve teşviklerinin daha etkili olacağını düşünülmesidir.

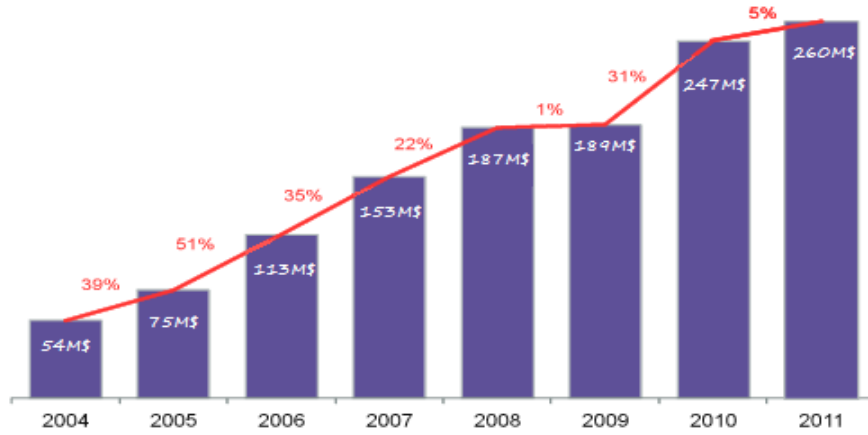
## **2.2. Genel Bilgiler**

### **2.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Durumu**

Günümüzde enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu fosil temelli kaynaklardan karşılanmaktadır. Bu da güvenilir, temiz ve sürdürülebilir enerji üretimi ihtiyacını öne çıkartmaktadır. Ayrıca fosil temelli kaynakların kullanılması çevre kirliliği, iklim değişikliği, rezervlerin tükenmesi nedeniyle fiyat istikrarsızlığı gibi sorunları da beraberinde getirmektedir.

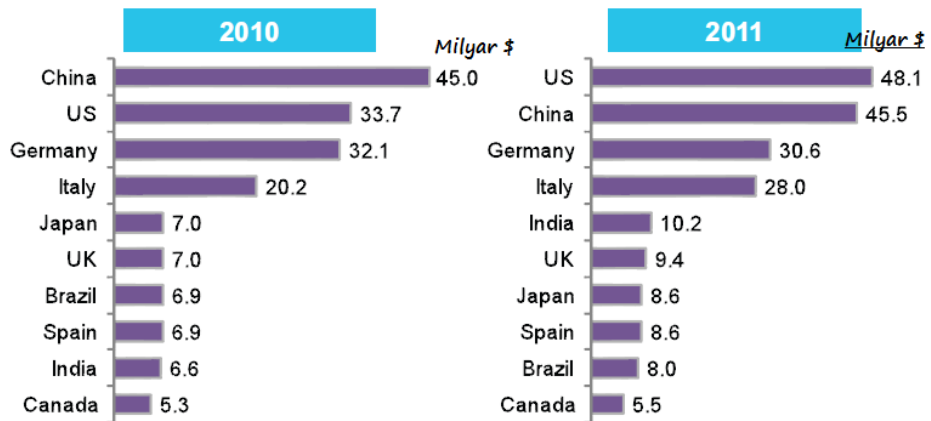
Enerji üretiminde bu sorunlarda dikkate alınarak fosil kaynakların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve teşviki büyük önem kazanmıştır. Çevreye duyarlı, gelişen teknolojiyle ilk yatırım maliyetlerinin düşürülmesiyle birlikte ülkenin dışa bağımlılığını azaltma, yakıt giderlerinin olmaması ve ucuz enerji üretimi nedeniyle yenilenebilir enerjiye talep her geçen gün daha da artmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından dünya genelinde enerji üretimi, Şekil 2.1'de görüldüğü üzere 2004-2011 yılları arasında %481'lik artışla 54 milyar \$ seviyesinden 260milyar \$ seviyelerine çıkmıştır (BNEF, 2012).



Şekil 2.1. 2004-2011 yılları arası yenilenebilir enerji kaynakları yatırımı

Şekil 2.2 incelendiğinde ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına ciddi yatırımlar yaptığı görülmektedir. Özellikle Çin, her alanda olduğu gibi yenilenebilir enerji üretim sistemleri konusunda ciddi çalışmalar içerisinde (BNEF, 2012).

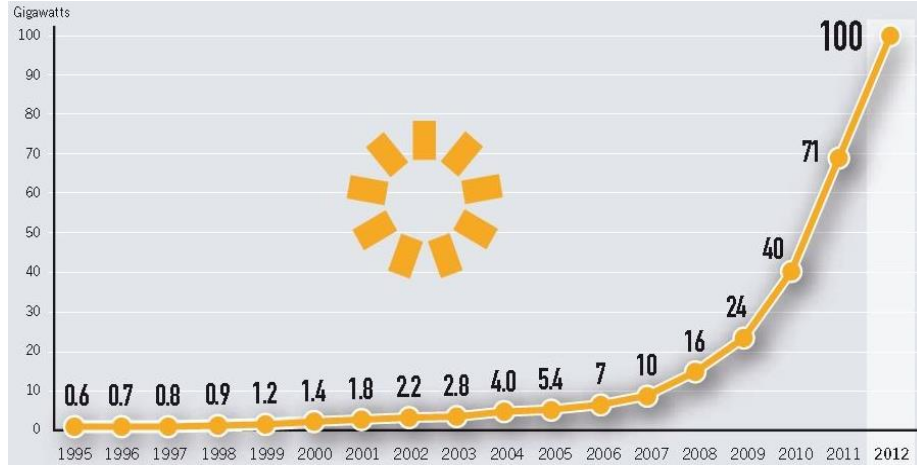


Şekil 2.2. Ülkeler düzeyinde yenilenebilir enerji kaynakları yatırımı

### 2.2.1.1. Dünya’da Güneş ve Rüzgâr Enerjisinin Durumu

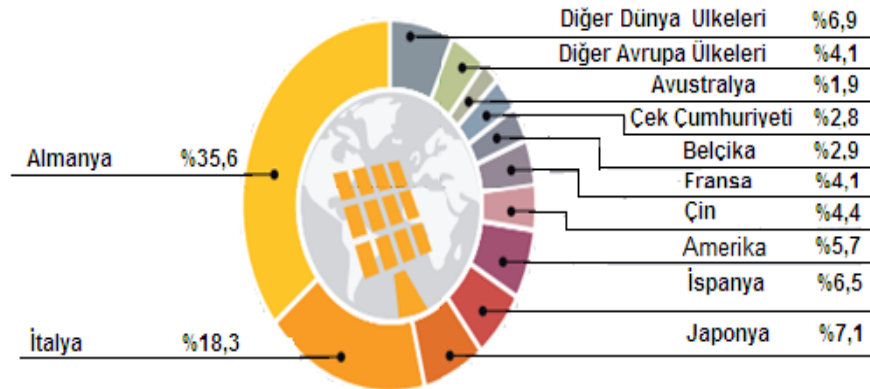
#### -Güneş Enerjisinin Durumu

Gelişen teknolojiyle birlikte dünya geneli güneş enerjisi yatırımları Şekil 2.3’te gösterildiği üzere 2011 yılında % 78 ve 2012 yılında % 42 oranında artarak ciddi rakamlara ulaşmıştır (REN21, 2012).



Şekil 2.3. Dünya geneli güneş enerji yatırımı

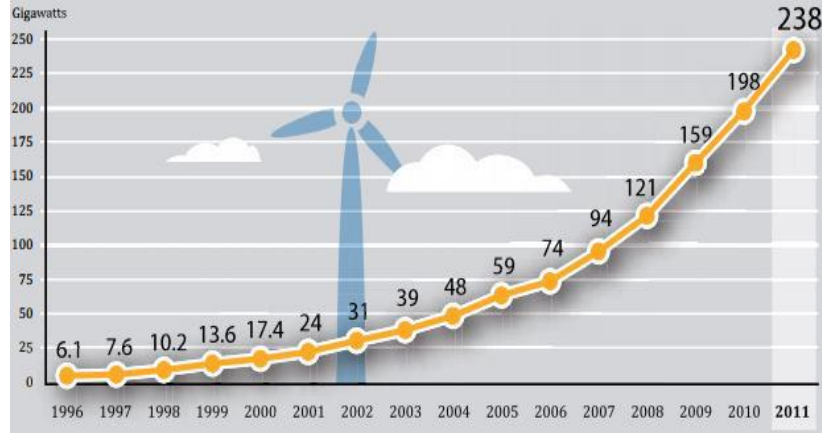
Şekil 2.4. ‘te dünyada güneş enerjisini kullanan ilk 10 ülke gösterilmiştir. Bu ülkeler incelendiğinde Avrupa Birliği ülkelerinin güneş enerjisinden faydalanma konusunda çok daha ileride olduğu görülmektedir (REN21, 2012).



Şekil 2.4. Güneş enerjisi işletme kapasitesine göre dünyadaki ilk 10 ülke

## -Rüzgâr Enerjisinin Durumu

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerji sistemleri diğerlerine göre daha hızlı büyümektedir. Şekil 2.5'te dünyada kurulu santrallerden elde edilen enerji artışları görülmektedir. Rüzgâr enerji sistemleri her yıl %20 ile % 40 arasında büyüme gerçekleştirmiştir (REN21, 2012).



Şekil 2.5. Dünya geneli rüzgâr enerjisi yatırımı

Rüzgâr enerji sistemleri en fazla büyümeyi gerçekleştirerek, yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin 2010 yılından 2035 yılına kadar iki kat artacağı düşünülmektedir (EIA, 2012). Çizelge.2.1' de kurulu güç olarak dünyanın ilk 10 ülkesi ve bu ülkelerin ürettikleri güçler gösterilmiştir (IRENA, 2012).

Çizelge 2.1. Rüzgâr enerjisi kurulu gücü göre dünyadaki ilk 10 ülke

Ülke	Kurulu Gücü (MW)	Oranı (%)
Çin	62.364	26.2
Amerika	46.917	19.7
Almanya	29.060	12.2
İspanya	21.674	9.1
Hindistan	16.084	6.8
Fransa	6.800	2.9
İtalya	6.737	2.8
İngiltere	6.540	2.7
Kanada	5.265	2.2
Portekiz	4.083	1.7
Diğer Ülkeler	32.143	13.7
<b>TOPLAM</b>	<b>237.667</b>	<b>100</b>

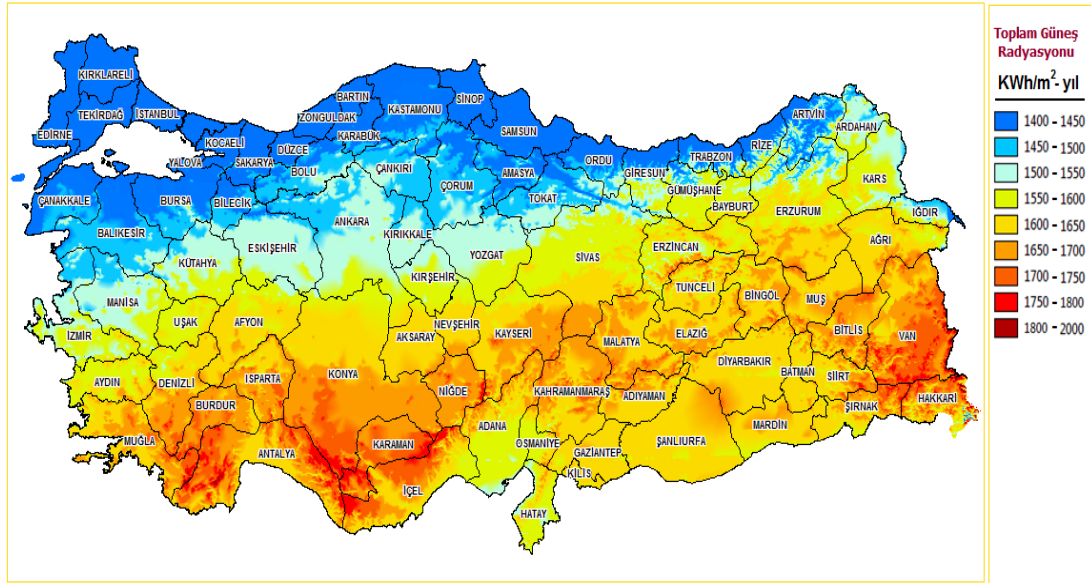
AB üyesi ülkelerin 2020 hedefleri arasında, “elektrik ihtiyacının %20’sini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamak” bulunmaktadır. Ayrıca tüm enerji ihtiyacının %12-14 civarındaki bölümünün de rüzgârdan karşılanması hedeflenmiştir (Sevim, 2008).

## 2.2.1.2. Türkiye’de Güneş ve Rüzgâr Enerjisinin Durumu

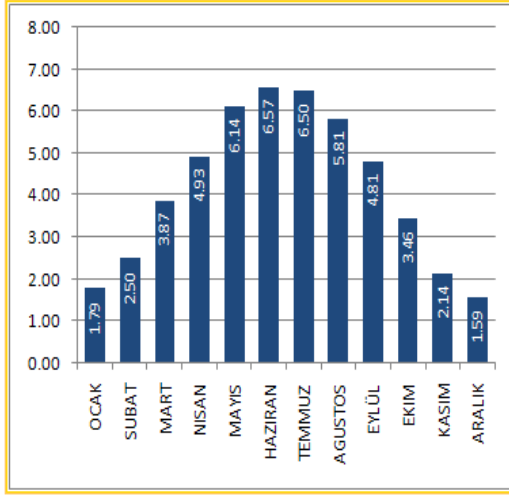
### -Güneş Enerjisinin Durumu

Türkiye’de güneş enerjisi, konutların sıcak su ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır. Türkiye’nin yıllık güneşlenme süresi 2.640 saat, yıllık toplam ışınımı 1.311 kWh/m<sup>2</sup>yıl, günlük ışınım şiddeti 3.66 kWh/m<sup>2</sup> ‘dir. Bu değerler sonucunda yıllık güneş enerji potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır (GEKA, 2011).

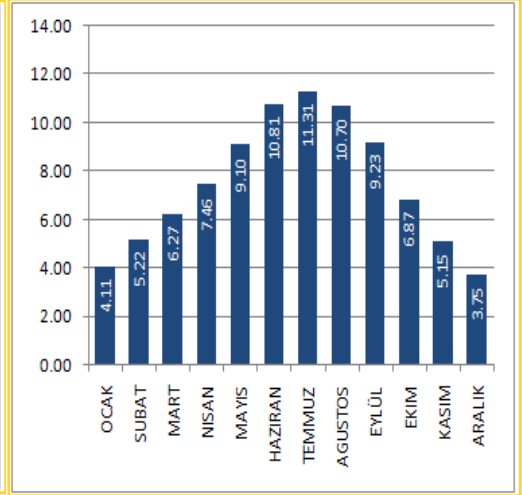
Türkiye’nin “Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)” Şekil 2.6’da, aylara göre ortalama güneşlenme değerleri Şekil 2.7’de ve güneşlenme süreleri Şekil 2.8’de verilmiştir (YEGM, 2014a).



Şekil 2.6. Türkiye geneli güneş enerjisi potansiyeli



Şekil 2.7. Türkiye'nin ışıınım değerleri



Şekil 2.8. Türkiye'nin güneşlenme süreleri

2010 yılı itibariyle Türkiye'nin şebeke bağlantısız PV kapasitesi 5.4 MW, şebeke bağlantılı PV kapasitesi 6 MW civarındadır. 2010 yılında yürürlüğe giren "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretiminde Kullanımı" yasası ile gerekli teşvik ve destekler sağlanmıştır. PV sistemlerle üretilen enerjinin 10 yıl boyunca kW başına 0.133\$'dan alım garantisi getirilmiştir (IEA, 2011).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2023 hedefleri arasında 3 GW kapasiteli PV santral kurulumu da bulunmaktadır.

### -Rüzgâr Enerjisinin Durumu

Rüzgâr potansiyeli bakımından Türkiye, Avrupa'ya kıyasla %30 civarı daha fazla potansiyele sahiptir ve ülkeler bazında Avrupa'da üçüncü sıradadır. Rüzgâr türbinleri Türkiye'de yıllık 3.000 saat çalışabilecek durumdayken Avrupa'da bu süre yalnızca 2.000-2.500 saat aralığındadır (Ataseven, 2014).

Türkiye'nin, 30-50-70 ve 100 metre yüksekliklerdeki yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük rüzgâr hız ortalamaları ile 50 ve 100 m yüksekliklerdeki yıllık, mevsimlik ve aylık rüzgâr güç yoğunlukları potansiyelini tespit edebilmek için "Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası" (REPA) hazırlanmıştır. "Türkiye RES Haritası" ile Türkiye'de kurulan ve kurulması planlanan rüzgâr türbinlerinin konumları gösterilmiştir (YEGM, 2014b).

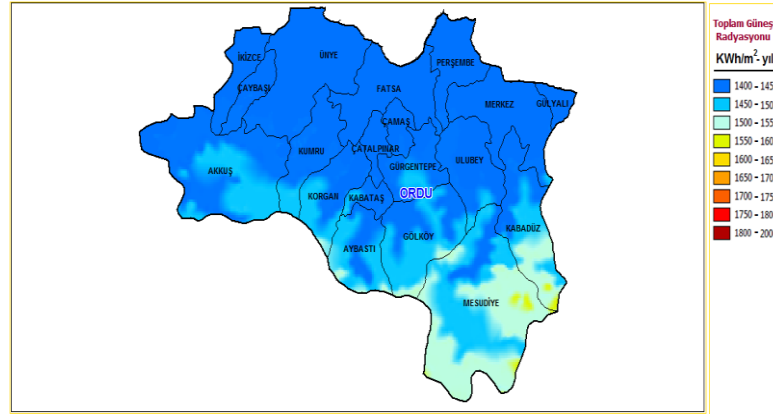


### 2.2.1.3. Ordu İlinde Güneş ve Rüzgâr Enerjisinin Durumu

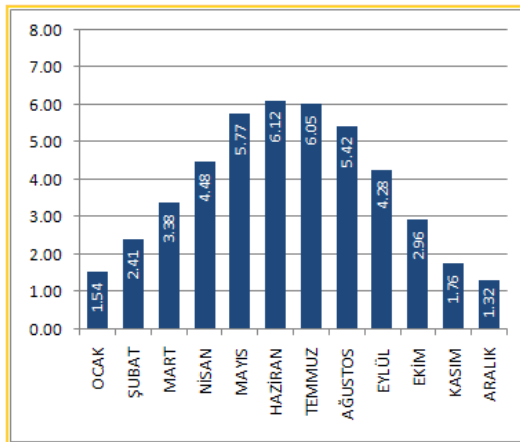
#### -Güneş Enerjisinin Durumu

Türkiye'nin güneş enerji atlası incelendiğinde Karadeniz Bölgesi'nin güneş radyasyon değerlerinin diğer bölgelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken çok önemli bir konu ortaya çıkmaktadır. Güneş panellerinin üretildiği maddelerin özelliğine bağlı olarak yaklaşık 50°C'nin üzerinde PV panellerin verimlerinde düşüşler meydana gelmektedir. Bunun önüne geçebilmek için ek yatırımlarla soğutma sistemi kurulması gerekmektedir. Özellikle Ordu ve civarları, olumsuz görünen bu durumdan fazlasıyla yararlanabilecek konumdadır.

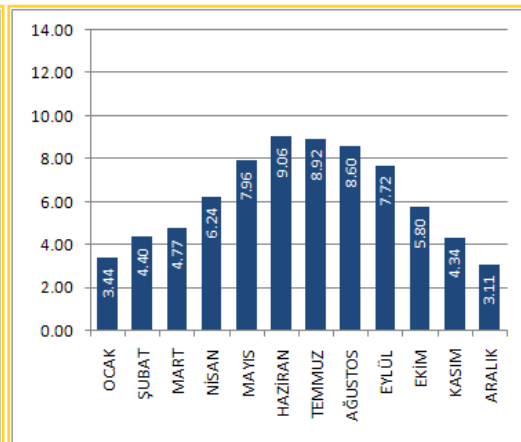
Ordu İline ait "Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)" Şekil 2.9'da, aylara göre ortalama güneşlenme değerleri Şekil 2.10'da ve güneşlenme süreleri Şekil 2.11'de verilmiştir (YEGM, 2014c).



Şekil 2.9. Ordu ili güneş enerjisi potansiyeli

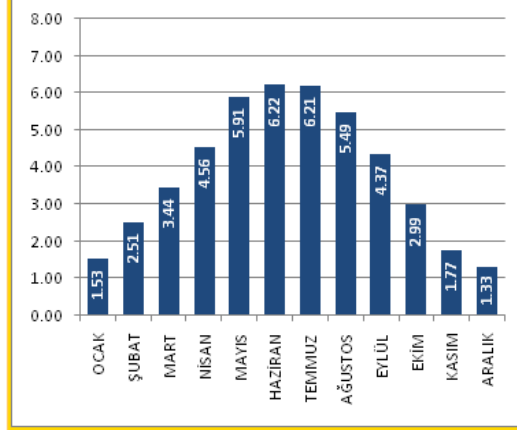


Şekil 2.10. Ordu ili ortalama güneşlenme değerleri

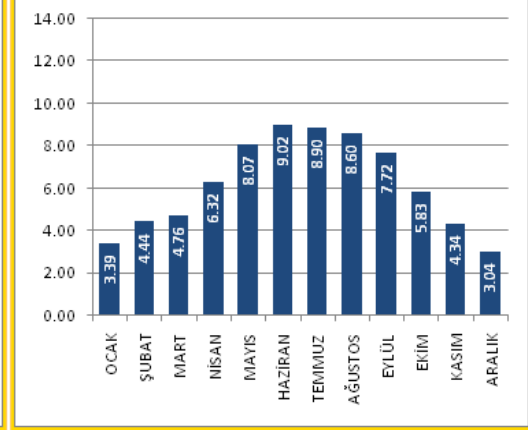


Şekil 2.11. Ordu ili güneşlenme süreleri

Ayrıca hibrit sistemin kurulacağı Kabadüz ilçesinin aylara göre ortalama güneşlenme değerleri Şekil 2.12’de ve güneşlenme süreleri Şekil 2.13’te verilmiştir (YEGM, 2014c).



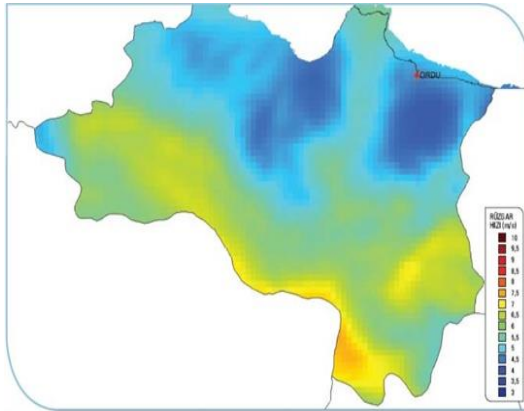
Şekil 2.12.Kabadüz ışınım değerleri



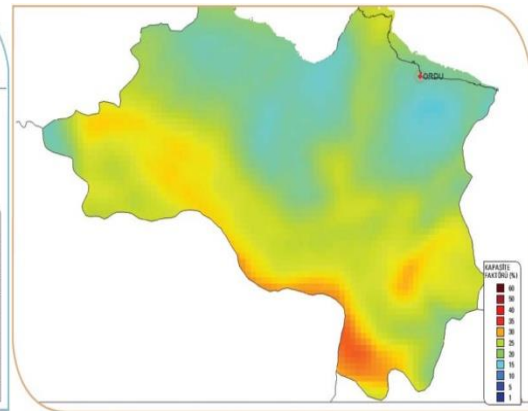
Şekil 2.13.Kabadüz güneşlenme süreleri

### -Rüzgâr Enerjisinin Durumu

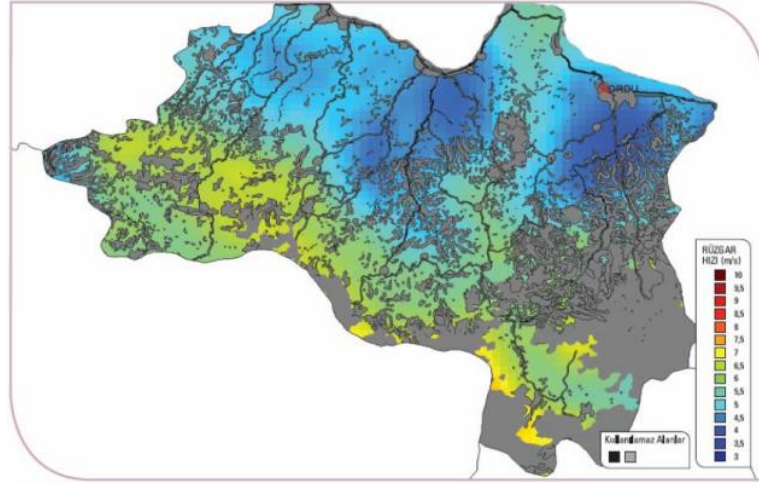
Şekil 2.14’te de görüldüğü üzere Ordu ilinin rüzgâr koridoru mevcuttur. YEGM’nin belirttiği üzere 50 m’de RES yatırımı için en az 7 m/s’lik rüzgâr hızına ihtiyaç vardır. Şekil 2.15’de “Kt2apasite Faktörü Dağılımı”, Şekil 2.16’da “RES Kurulabilir Alanlar”, Çizelge 2.2’de ise “Ordu İline Kurulabilecek RES Güç Kapasitesi” gösterilmiştir (YEGM, 2014d).



Şekil 2.14.Ordu ili rüzgâr hız dağılımı



Şekil 2.15.Ordu ili kapasite faktörü dağılımı



Şekil 2.16. Ordu ili RES kurulabilir alanlar

Çizelge 2.2. Ordu iline kurulabilecek RES güç kapasitesi

50 m'de Rüzgâr Gücü (W/m <sup>2</sup> )	50 m'de Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Alan (km <sup>2</sup> )	Toplam Kurulu Güç (MW)
300 – 400	6.8 – 7.5	237.87	1189.36
400 – 500	7.5 – 8.1	185.44	927.20
500 – 600	8.1 – 8.6	31.84	159.20
600 – 800	8.6 – 9.5	0.00	0.00
> 800	> 9.5	0.00	0.00
		<b>455.15</b>	<b>2275.76</b>

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

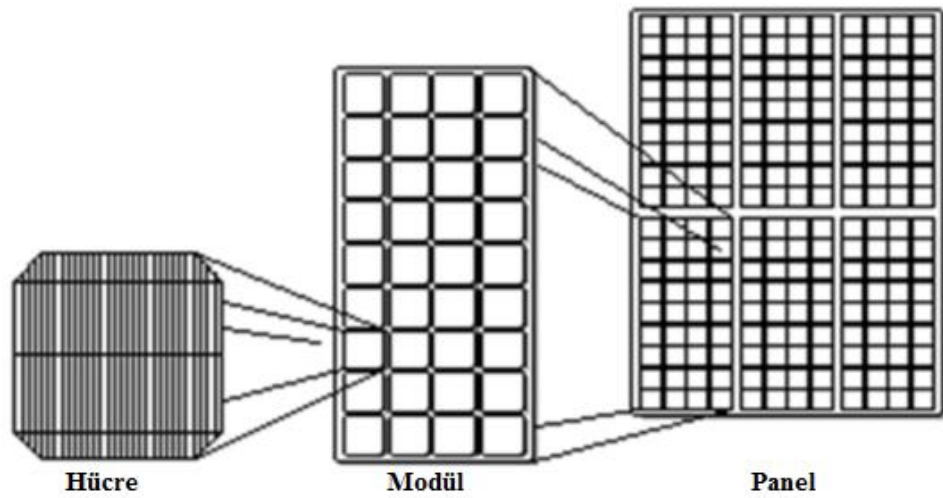
#### 3.1. Materyal

Kırsal Tesisler İçin Hibrit (Rüzgâr + Güneş) Sistem Tasarımı ve Analizi'nde, Çizelge 3.1'de teknik özellikleri verilen PV paneller kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. PV panel teknik özellikleri (Neo, 2014a)

PV Panel Teknik Özellikleri	
Azami Çıkış Gücü	200W
Azami Güç Gerilimi (V)	37.1V
Azami Güç Akımı (A)	5.4A
Açık Devre Gerilimi (V)	44.7V
Kısa Devre Akımı (A)	5.8A
Panel Ağırlığı	15.5kg
$I_m$ (Maksimum Akım)	5.40A
$V_m$ (Maksimum Gerilim)	37.10V
$I_{sc}$ (Kısa Devre Akımı)	5.70A
$V_{oc}$ (Açık Devre Gerilimi)	44.70V

Şekil 3.1'de modül ve hücre yapılarından oluşan standart bir panel gösterilmiştir. Standart bir PV hücresi 25-30 cm<sup>2</sup> alan kaplamakta ve 1 W'lık enerji üretmektedir (Erdinç, 2012).



Şekil 3.1. PV sistemdeki hücre, modül ve panel yapısı

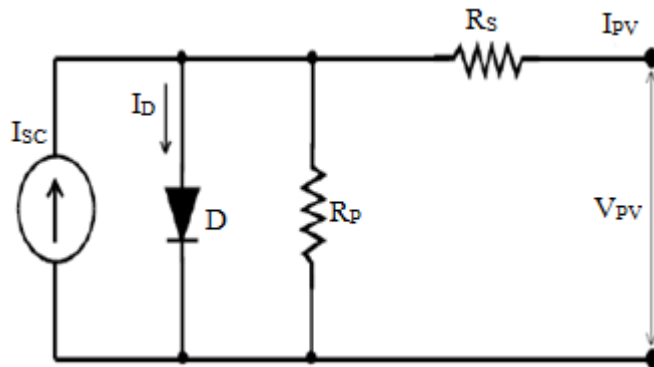
Güneş ışığından enerji üreten sistemlere fotovoltaik (PV) sistemler denir. PV panellerin üretiminde yarı iletken elemanlar kullanılmıştır. Yarı iletken malzeme ise; son yörüngesinde valans elektronları bulunan maddelerdir. PV panellerin üretiminde yaygın olarak silikon malzeme kullanılmaktadır. Doğada çok fazla bulunmasına karşın saf halde değildir (Kekezoğlu, 2007).

Yarı iletkenler, p ve n tipi ile bunların geçiş bölgesinin oluşturduğu üç alandan oluşur. Gün ışığına bağlı fotonlarla p-n tipi madde arasında elektron akışı başlar. Bu hareket PV panel hücrelerini çıkış uçlarında enerji oluşumunu sağlar. Bu süreç, Şekil 3.2'de kesiti verilen panel üzerinde gün ışığı olduğu sürece fotonların yüzeye yeniden çarpmasıyla aynı şekilde devam eder (Özcan, 2009).



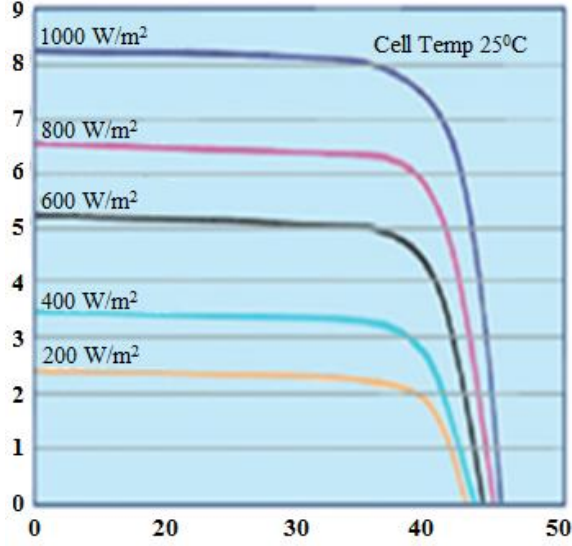
Şekil 3.2. Güneş paneli kesiti

PV hücrenin elektriksel eşdeğer devresi Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

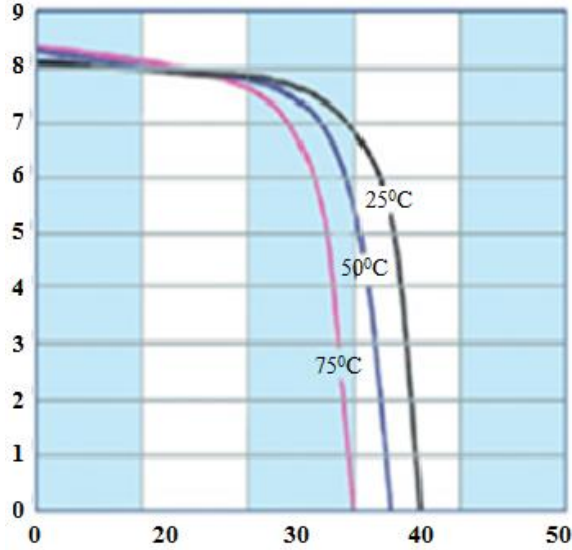


Şekil 3.3. PV hücrenin elektriksel eşdeğeri

PV hücrelerin birleşmesiyle oluşan panelin, çeşitli güneş ışınımları ve çeşitli sıcaklık değerlerine göre panelin akım, gerilim ve üretilen enerji değerlerine ait değişim grafiği Şekil 3.4'te ve Şekil 3.5'te gösterilmiştir (Fvgenenergy,2014).



Şekil 3.4. Radyasyona bağlı I-V grafiği



Şekil 3.5. Sıcaklığa bağlı I-V grafiği

Elektriksel eşdeğer modeli yukarıda verilen devrenin matematiksel formül ile karşılığı, denklem 3.1'de gösterilmektedir.

$$I_{PV} = I_{SC} - I_D \left[ e^{\left( \frac{e}{kT_{PV}} (V_{PV} + R_S I_{PV}) \right)} - 1 \right] - \frac{V_{PV} + R_S I_{PV}}{R_P} \quad (3.1)$$

Burada,

$I_{PV}$  : PV panelin çıkış akımı (A)

$I_{SC}$  : Kısa devre akımı (A)

$I_D$  : Diyotun ters doyum akımı (A)

$V_{PV}$  : PV panelin çıkış gerilimi (V)

$R_s$  : PV panelin seri direnç değeri ( $\Omega$ )

$R_p$  : PV panelin paralel direnç değeri ( $\Omega$ )

$E$  : Elektron yükü ( $1.6021917 \times 10^{-19}$  C)

$K$  : Boltzmann sabiti ( $1.380622 \times 10^{-23}$  J/ $^{\circ}$ K)

$T_{PV}$  : Referans çalışma sıcaklığı ( $^{\circ}$ K)

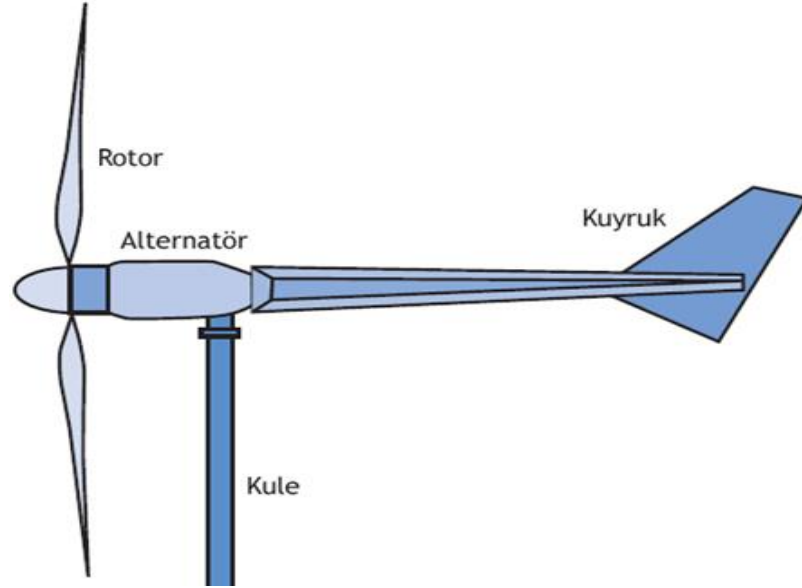
olarak verilmektedir.

Kırsal Tesisler İçin Hibrit (Rüzgâr + Güneş) Sistem Tasarımı ve Analizi'nde, Çizelge 3.2'de teknik özellikleri verilen *Whisper 500* rüzgâr türbini kullanılmıştır.

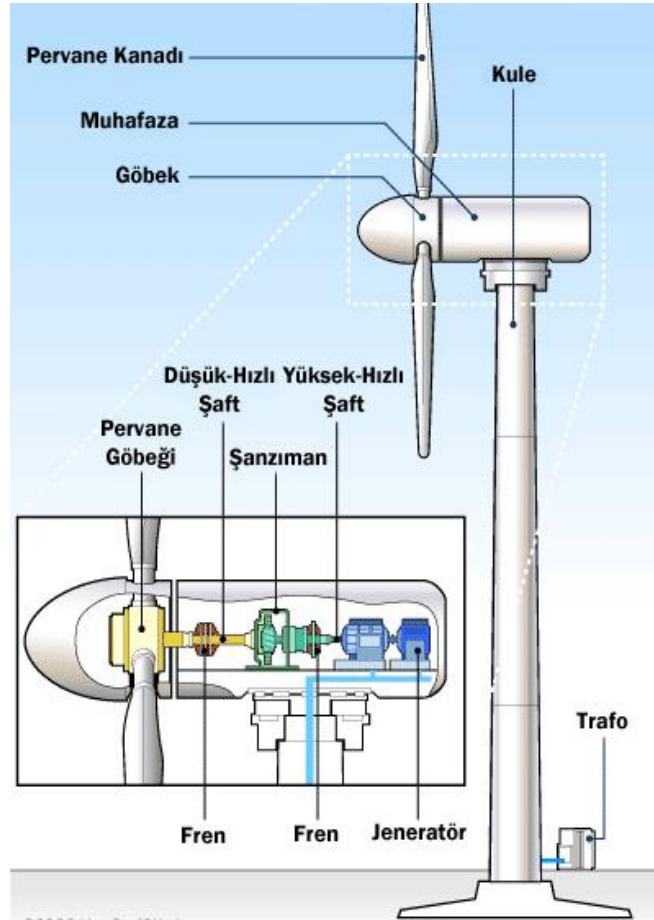
**Çizelge 3.2.** Rüzgâr türbini teknik özellikleri (Neo, 2014b)

<b>Rüzgâr Türbini Teknik Özellikleri</b>	
<b>Anma Gücü</b>	3.200W (12m/s)
<b>Başlangıç Rüzgâr Hızı</b>	3.1m/s
<b>Kanat Sayısı</b>	2Adet
<b>Rotor Çapı</b>	4.5m
<b>Kanat Dönüş Hızı</b>	800devir/dk
<b>Dayanabildiği Maksimum Rüzgâr</b>	55m/s
<b>Aylık Üretim</b>	538 kWh/ay (5.4m/s)
<b>Türbin Ağırlığı</b>	70kg
<b>Voltaaj</b>	24, 36, 48 VDC

Şekil 3.6’da rüzgâr türbininin basit yapısı, Şekil 3.7’de ise rüzgâr türbinini oluşturan elemanlar ve bunların yerleşimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6.RT temel parçaları (EİE, 2014)



Şekil 3.7.RT iç yapısı (Limitsizenerji, 2014)



Rüzgârda bulunan kinetik enerjiyi türbinler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere, RT Güç Sistemleri denilmektedir. Üretilen enerji rüzgârın hızına bağlı olarak değişmektedir.

Rüzgâr türbininin çalışmasında; hava akımı türbin kanatlarını harekete geçirir. Kanatlar, bağlı bulunduğu milin dönüşünü sağlar. Bu mil, bağlı bulunduğu dişli kutusu yardımıyla ya da doğrudan jeneratörü harekete geçirir. Jeneratörler kendilerine gelen bu hareketi elektrik enerjisine dönüştürürler. Güçlerine göre türbin çeşitleri bulunmaktadır. Düşük güçlülerde genellikle sabit mıknatıslı jeneratörler, yüksek güçlülerde asenkron yada senkron jeneratörler kullanılmaktadır (Oğuz, 2012).

Rüzgâr türbininin matematiksel formül ile karşılığı, denklem 3.2'de gösterilmektedir (Oğuz, 2012).

$$T_{wt} = 0.5 \cdot \pi \cdot \rho \cdot R^3 \cdot v^2 \cdot C_Q(\lambda, \beta) \quad (3.2)$$

Burada;

$T_{wt}$  : Aerodinamik tork  $\rho$  : Hava yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

R : Rüzgâr türbini kanat yarıçapı V : Rüzgâr hızı (m/sn)

$C_Q$  : Rüzgâr türbini tork verim katsayısı  $\beta$  : Kanat açısı

$\lambda$  : Kanat ucundaki lineer hızın serbest akıntılı rüzgâr hızına oranı

Kırsal Tesisler İçin Hibrit (Rüzgâr + Güneş) Sistem Tasarımı ve Analizi'nde, Çizelge 3.3'te teknik özellikleri verilen *Solar router hibrit inverter* kullanılmıştır.

**Çizelge 3.3.** Hibrit inverter teknik özellikleri (Neo, 2014c)

<b>Hibrit İnverter Teknik Özellikleri</b>	
<b>Nominal Gücü</b>	3kW
<b>Sınırlı Maksimum Güç</b>	3.2kW
<b>Dalga Tipi</b>	Gerçek sinüs çıkış dalgası
<b>Çıkış Gerilimi ve Frekansı</b>	208-240VAC - 50/60Hz
<b>Verim</b>	95.5% (şebeke) - 92% (akü)
<b>Ağırlığı</b>	21kg

İnverterler doğru akımı, alternatif akıma çevirmek için kullanılan cihazlardır. Harici inverterler 12V veya 24V'luk bir batarya deposundan veya başka sistemlerden aldıkları doğru akımı (DC) 220V alternatif akıma (AC) çevirerek her türlü elektrikli cihazı sorunsuz çalıştırırlar (Başaran ve ark., 2011).

Hibrit sisteme bağlı AC beslemeli yüklerin enerji ihtiyacını karşılamak için, DA batarya ve sistemin çıkışını, şebeke gerilimi, frekansı ve kalitesinde sağlayan elektronik cihazlardır.

Yüke göre tasarım yaparak inverteri maksimum verimle çalıştırmak gerekir. Sisteme yeni yükler bağlandığında yeni inverter tasarlanıp, her iki inverter paralel bağlanmalıdır.

PV panelleri ile rüzgâr türbininden üretilen enerjinin DA-AA çevirimleri için tek inverter kullanmak her açıdan avantajlıdır (Özsoy, 2011).

Basit inverter güç hesabı denklem 3.3'te gösterildiği şekilde yapılmaktadır.

$$P_{inv} = P_{yük} \div \eta_{inv} \quad (3.3)$$

Burada;

$$P_{inv} : \text{İnverter gücü} \quad P_{yük} : \text{Yükün toplam gücü} \quad \eta_{inv} : \text{İnverter verimi}$$

Olarak verilmektedir.

Hibrit sistem kurulu bir evde tüm elektrikli cihazların aynı anda çalıştığı ve 2kW'lık enerji çektiği düşünülürse, ayrıca inverterin verimi %90 olarak alınırsa;

$$P_{inv} = 2.000 \div 0,9 = 2,23kW \text{ 'lık bir inverterin kullanılması yeterli olacaktır.}$$

Şarj Kontrol Ünitesi; hibrit sistemin ürettiği enerjinin yüke ya da aküye akışını denetleyen ve düzenleyen elektronik sistemlerdir. Bu denetleme sayesinde akü, aşırı şarjdan ve tam deşarjdan korunur. Bu da akünün kullanım ömrünü uzatır.

Ayrıca bu kontrolör sayesinde üretilen enerjinin yük, akü ya da her ikisine birden yönlendirilmesi sağlanabilir (Özsoy, 2011).

Basit şarj kontrol akım hesabı denklem 3.4'te gösterildiği şekilde yapılmaktadır.

$$tI_{\text{şarj}} = P_{\text{inv}} \div V_{\text{akü}} \quad (3.4)$$

Burada;

$$P_{\text{inv}} : \text{İnverter gücü} \quad I_{\text{şarj}} : \text{Akülerin şarj akımı} \quad V_{\text{akü}} : \text{Akü gerilimi}$$

olarak verilmektedir.

Akü gerilimi 48V, inverter verimi %95 ve yük 2kW olarak alınır;

$$I_{\text{şarj}} = (2.000 \div 0,95) \div 48$$

$$I_{\text{şarj}} = 43,86A$$

olarak hesaplanmaktadır.

Kırsal Tesisler İçin Hibrit (Rüzgâr + Güneş) Sistem Tasarımı ve Analizi'nde Çizelge 3.4'te teknik özellikleri verilen jel aküler kullanılmıştır.

**Çizelge 3.4.** Jel akünün teknik özellikleri (Neo, 2014d)

<b>Akü Teknik Özellikleri</b>	
<b>Anma Gerilimi (V)</b>	12 V
<b>Kapasite (A)</b>	200Ah
<b>Azami Deşarj Akımı</b>	1.800A
<b>İç Direnci</b>	3.4mΩ
<b>Ağırlığı</b>	62kg

Uygulanan elektrik enerjisini kimyasal enerjiye çevirerek saklayan ve istenildiğinde bu kimyasal enerjiyi tekrar elektrik enerjisine çevirerek kullanıma hazır hale getiren sistemlerdir. Akülere uygulanan ve tekrar geri alınan gerilim DC gerilimdir (Başaran, 2013).

Akülerin çok çeşidi olmasına rağmen yapıları ve çalışma prensipleri birbirinin benzeridir. İçinde bulunan pozitif ve negatif plakalar (elektrotlar) aracılığıyla elektrokimyasal elektron akışı mantığıyla enerji yüklenmesi ve boşaltılması gerçekleşir.

Güneş ve rüzgârdan oluşan hibrit sistemlerinde akü kapasitesi belirlenirken; güneş veya rüzgârın yeterli ya da hiç olmaması ihtimali dikkate alınıp yüke en az üç gün enerji sağlanabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Burada amaç; arıza ya da bakım durumlarında enerji kesintisinin yaşanmamasıdır (Gustavsson ve Mtonga, 2005).

Yenilenebilir enerji sistemlerinin enerji depolama işlemlerinde genellikle jel akü kullanılır. Bunlar, yüksek akım (200Ah) kapasiteli, 12V verebilen akülerdir.

Denklem 3.5'te, hibrit sistemin rüzgâr ve güneşten oluşan iki modülünden elde edilecek enerji miktarının akü gerilimine oranı, akü değerini belirlemektedir.

$$P_{Ah} = P_{yük} \div V_{akü} \quad (3.5.)$$

$$tP_{Ah} = (3200 + 2000) \div 12$$

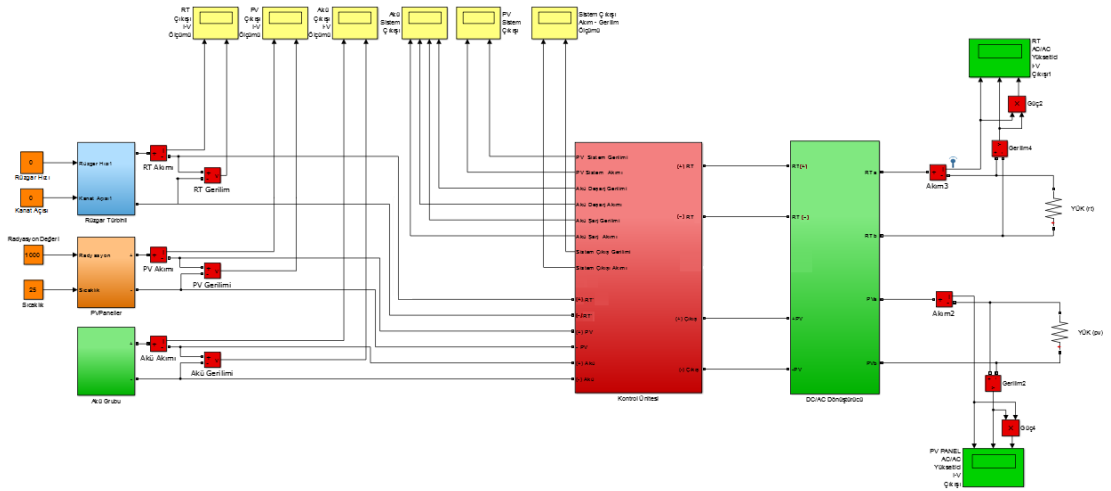
$$P_{Ah} = 433,33 \text{ Ah/gün}$$

## 3.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında; rüzgâr ve güneşten elektrik üretebilen hibrit enerji sistemin Matlab/Simulink programında simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Farklı senaryolara göre Matlab ortamında analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hibrit enerji sisteminin sahada kurulumu gerçekleştirilerek uygulanmıştır. Elde edilen veriler sayısal ve grafik ortama aktarılarak sistemin tepkisi ölçülmüştür.

### 3.2.1. Hibrit Güç Sisteminin Matlab/Simulink Benzetimi

Tez çalışmasının bu bölümünde, Şekil 3.8'de görüldüğü üzere PV panelleri, rüzgâr türbini, akü grubu, kontrol ünitesi ve inverterden oluşan hibrit sistemin Matlab/Simulink simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu oluşturulan modellerin testleri yapılarak grafikler oluşturulmuştur.

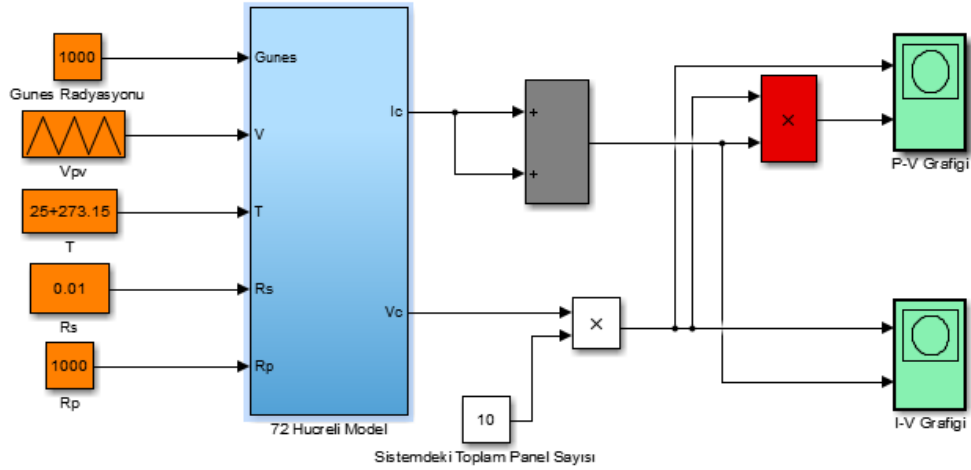


Şekil 3.8. Hibrit sistemin Matlab/Simulink modeli

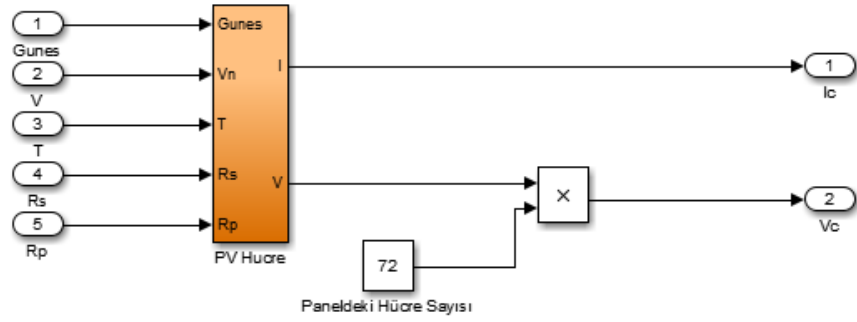
Bu sonuçlar ve grafikler, kurulacak hibrit sistem konusunda gerekli ön bilgileri vermiş olacaktır.

### 3.2.1.1. PV Panellerin Matlab/Simulink Benzetimi

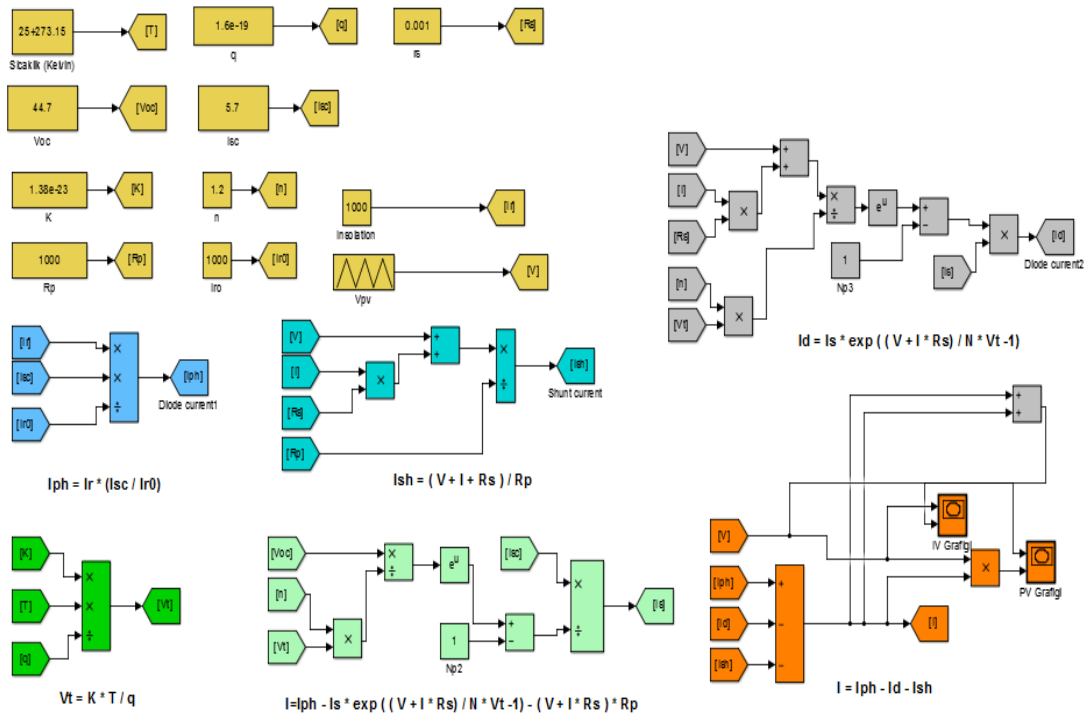
Hibrit sistemi oluşturan PV panellerle ilgili elektriksel eşdeğer devresi ve matematiksel formüllerle oluşturan hücre yapısı Şekil 3.9’da ve hücreleri oluşturan matematiksel modellerde Şekil 3.10’da verilmiştir. 10 adet PV panelden oluşan sistemin Matlab/Simulink modellemesi Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.9. PV panellerin Matlab/Simulink modeli



Şekil 3.10. PV panelin Matlab/Simulink modeli

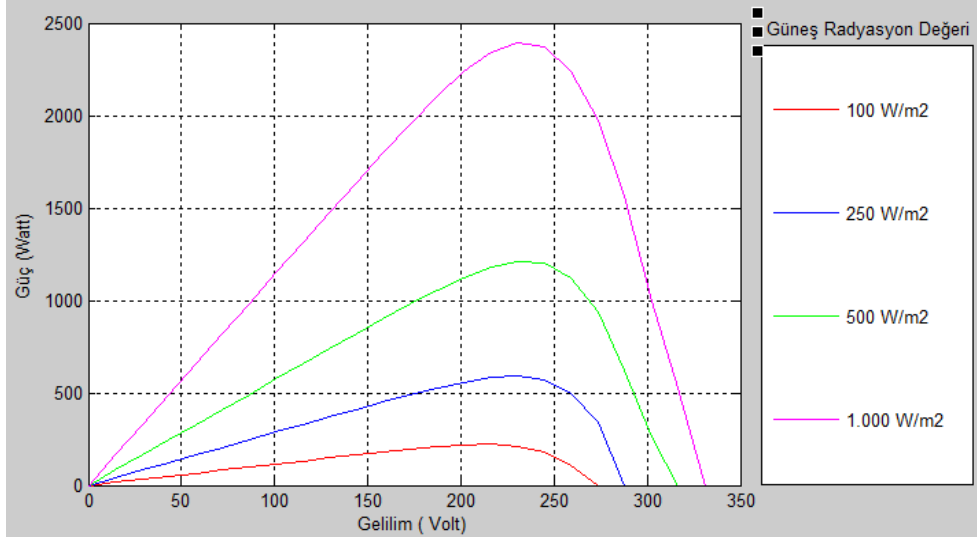


Şekil 3.11. PV hücrelerin Matlab/Simulink modeli

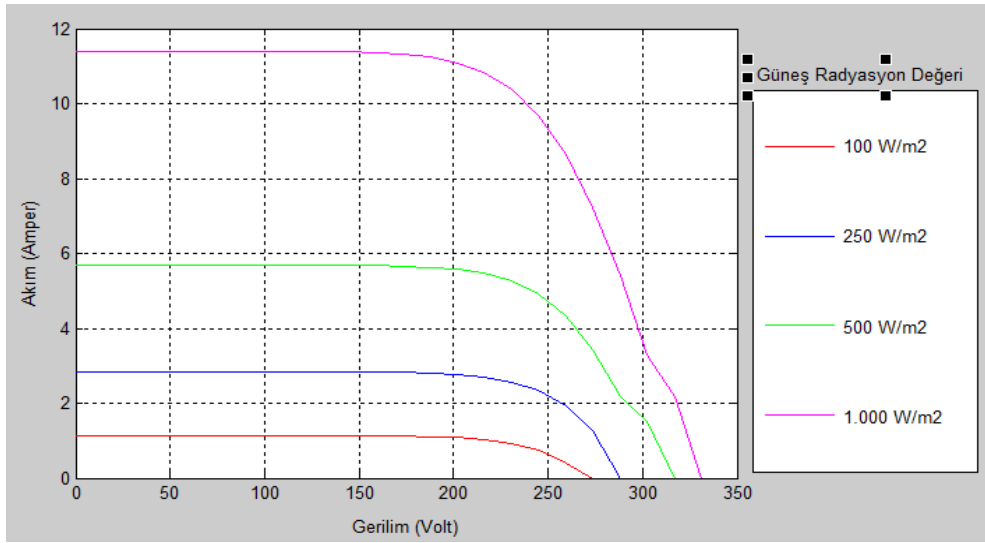
Yapılan simülasyon çalışmasında güneş radyasyon değerinin sistem değerleri üzerine etkileri incelenmiştir. Buna göre, güneş radyasyon değerini 100, 250, 500 ve 1000 W/m<sup>2</sup> arasında ki değerlerine bağlı olarak sistemin Güç-Gerilim (P-V) grafiği Şekil 3.12'de, Akım-Gerilim (I-V) grafiği Şekil 3.13'te verilmiştir.

Radyasyon değerinin yarı oranda düşürülmesiyle tüm değerler (P,V,I) azalmıştır. Bu düşüşler sonucunda, sistemin gücünde (P) %50 oranında, gerilim (V) değerinde %8 oranında, akım değerinde (A) %50 oranında gerçekleşmiştir.

Grafiklerden de görülebileceği gibi, PV hücre akımı güneş radyasyonuna sıkı bir şekilde bağlıdır.

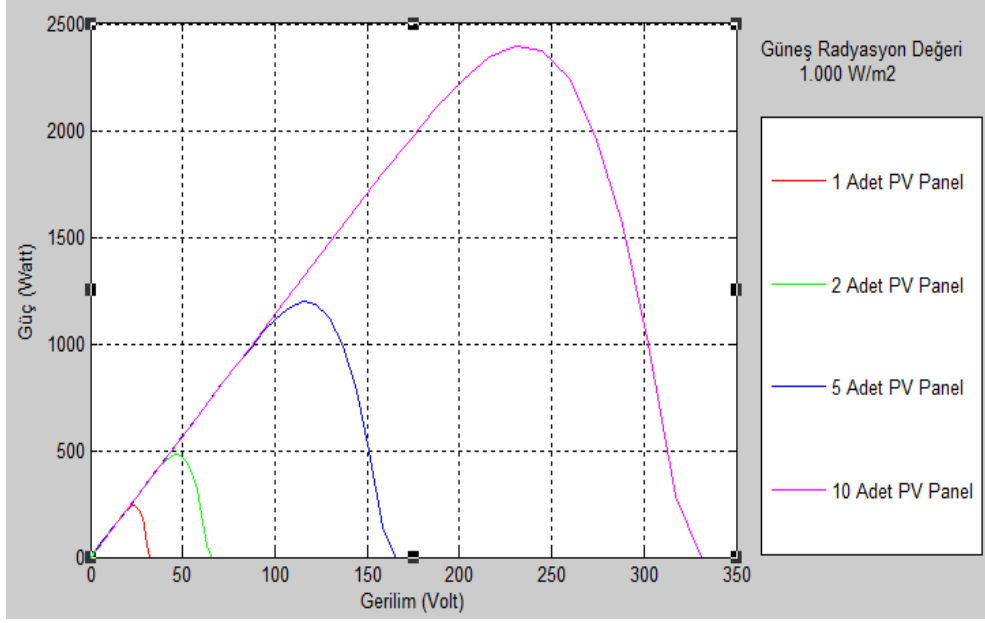


Şekil 3.12. Güneş radyasyon değerine göre PV sistemin P-V (Güç-Gerilim) grafiği

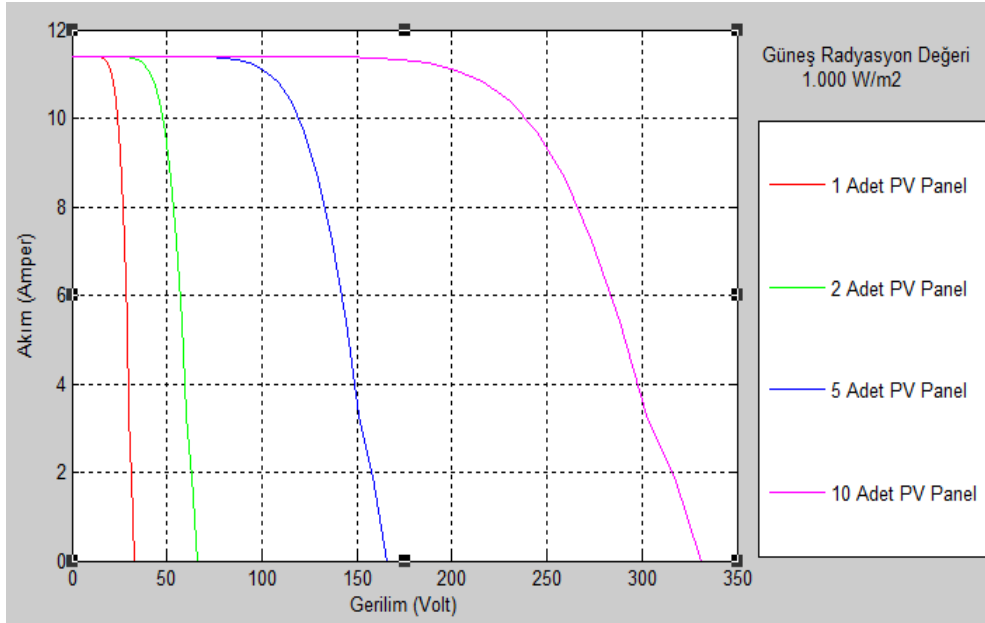


Şekil 3.13. Güneş radyasyon değerine göre PV sistemin I-V (Akım-Gerilim) grafiği

Hibrit sistemde kullanılan PV panellerinin sayısının 1, 2, 5 ve 10 adet kullanılması durumuna göre tüm değerler (P,V,I) Şekil 3.14. ve Şekil 3.15'te verilmiştir. Panel sayısının artırılmasıyla güç (P) ve gerilim (V) değerleri artarken panellerin seri bağlanması nedeniyle akım değerinde değişiklik gözlenmemiştir.



Şekil 3.14. PV panel sayısına göre PV sistemin P-V (Güç-Gerilim) grafiği

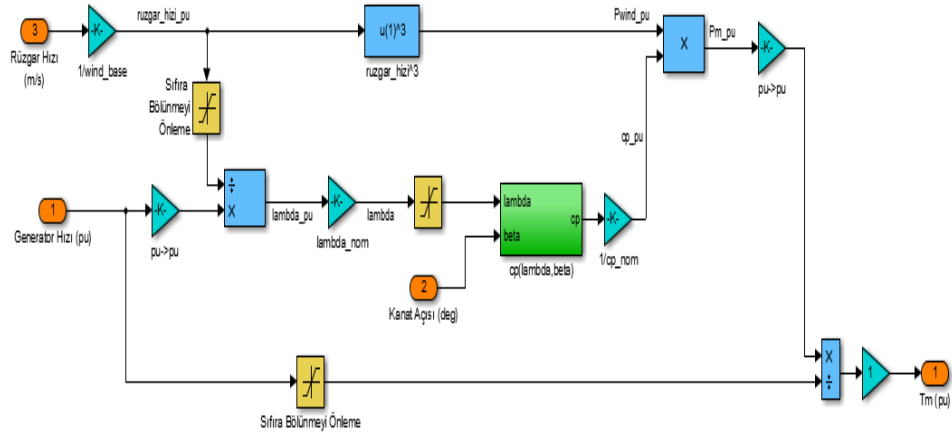


Şekil 3.15. PV panel sayısına göre PV sistemin I-V (Akım-Gerilim) grafiği

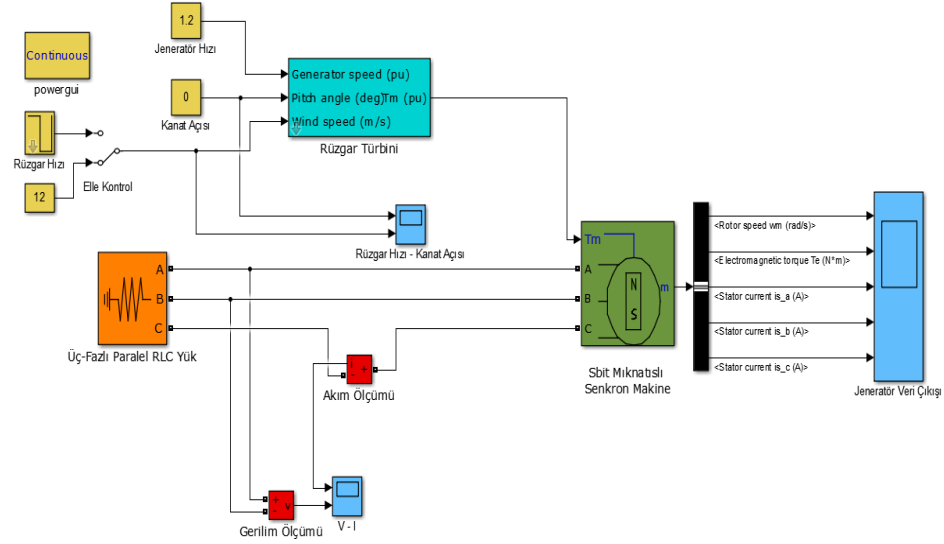
### 3.2.1.2. Rüzgâr Türbini Matlab/Simulink Benzetimi

Hibrit sistemi oluşturan rüzgâr türbini ile ilgili elektriksel eşdeğer devre, matematiksel formül ve ürün kataloğundan alınan bilgilerle oluşturulan sistemin Matlab/Simulink matematiksel modeli Şekil 3.16'da ve Matlab/Simulink modeli Şekil 3.17'de verilmiştir.





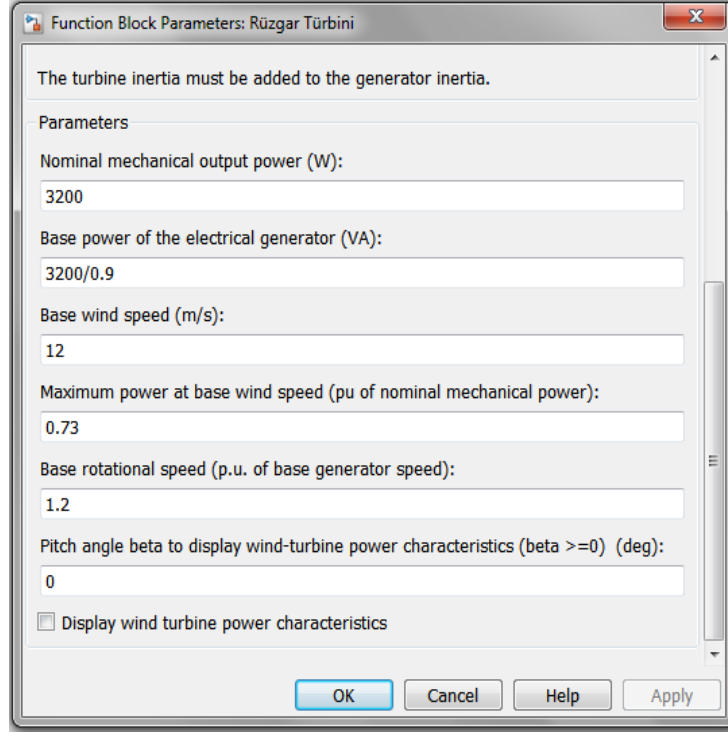
Şekil 3.16. Rüzgâr türbini Matlab/Simulink matematiksel modeli



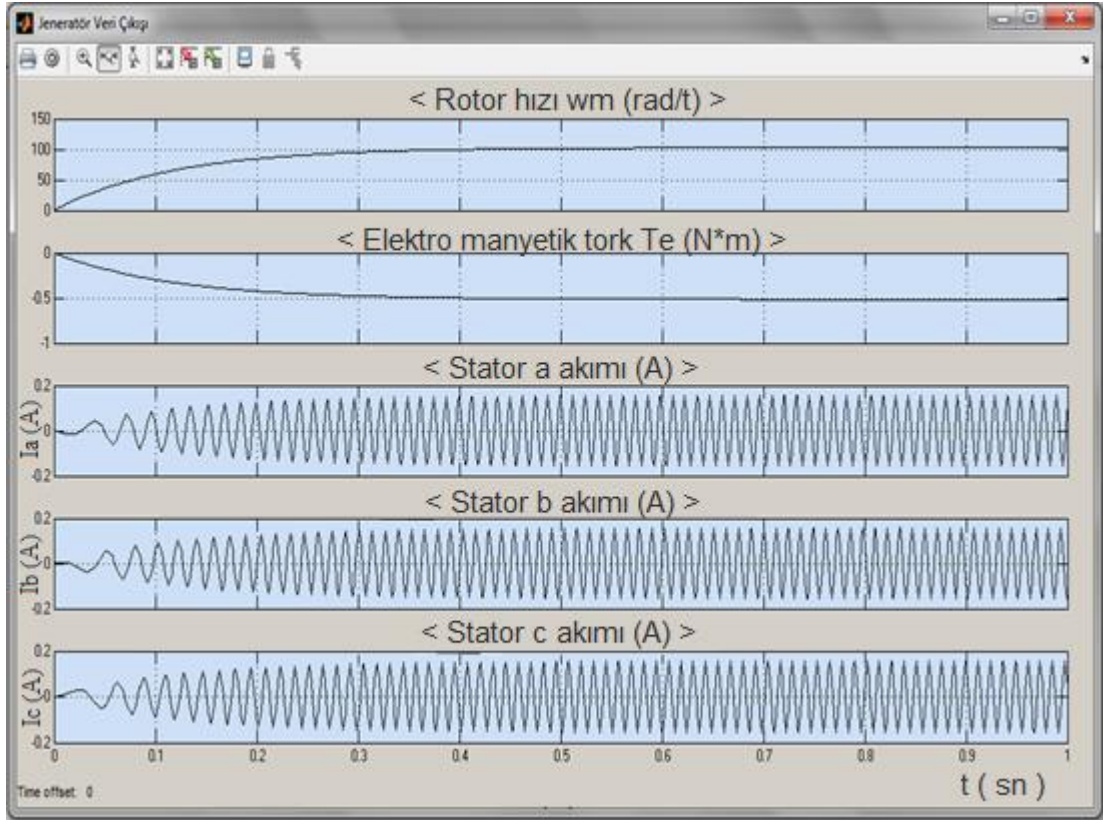
Şekil 3.17. Rüzgâr türbini Matlab/Simulink modeli

Boyutları küçük ve düşük güçte rüzgâr türbinlerinde dişli kutusu kullanılmadığından model oluşturulurken Gear Ratio (Dişli Oranı) ya 1 olarak alınır ya da modele eklenmez.

Modeli oluşturulan rüzgâr türbininin çıkış gücü, generator çıkış gücü, rüzgâr hızı, generator minimum hızı ve kanat açısı gibi parametreler Şekil 3.18’de gösterildiği gibi sisteme girilebilir. Bu değerlere bağlı rüzgâr türbininin rotor hızı, elektromanyetik tork ve stator akımı gibi generator çıkış grafikleri Şekil 3.19’de gösterilmiştir.

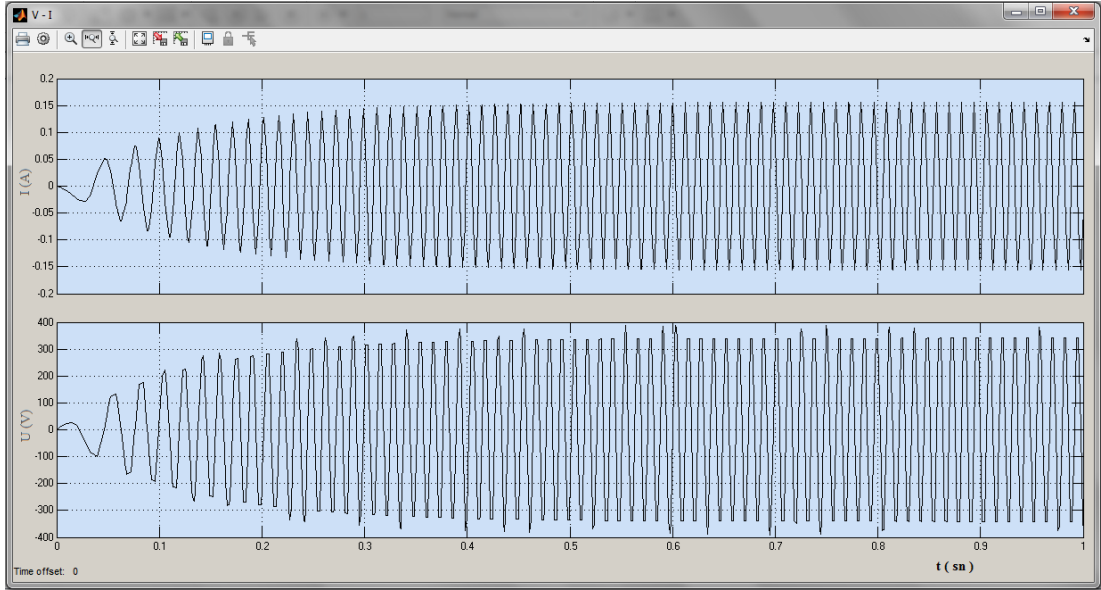


**Şekil 3.18.** Rüzgâr türbini Matlab/Simulink modelinde blok parametreleri



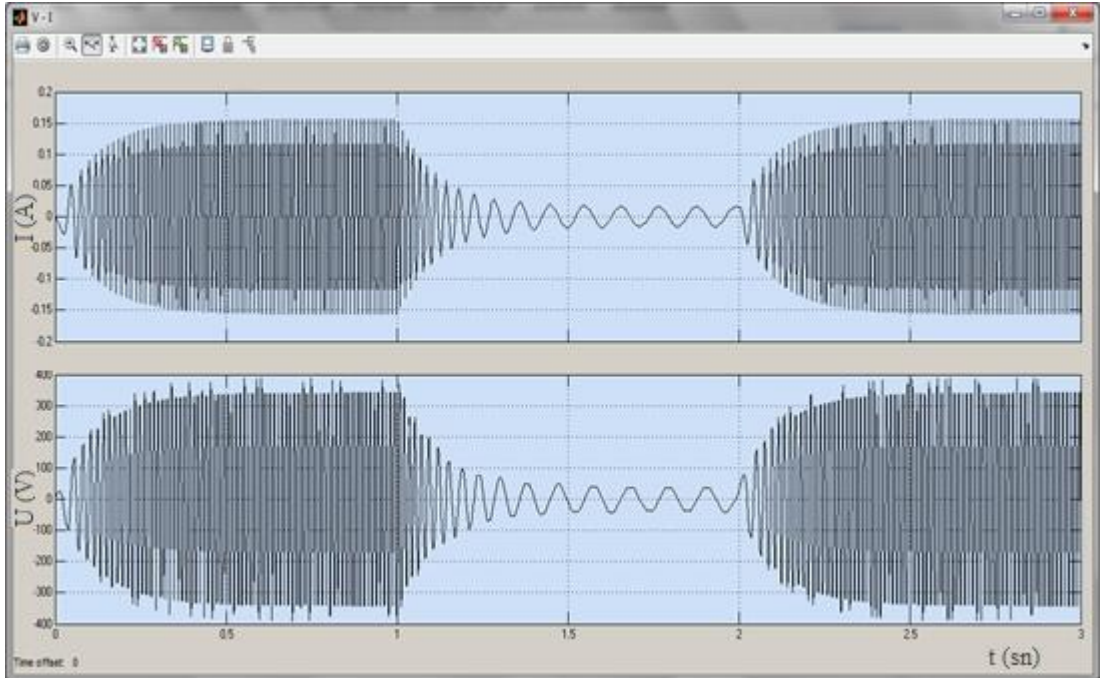
**Şekil 3.19.** Matlab/Simulink rüzgâr türbini generator çıkış değerleri

Kanat açısının  $0^\circ$  olduğu, rüzgâr hızının sabit 12 m/s olması durumunda oluşan akım-gerilim grafikleri Şekil 3.20’de gösterilmiştir.

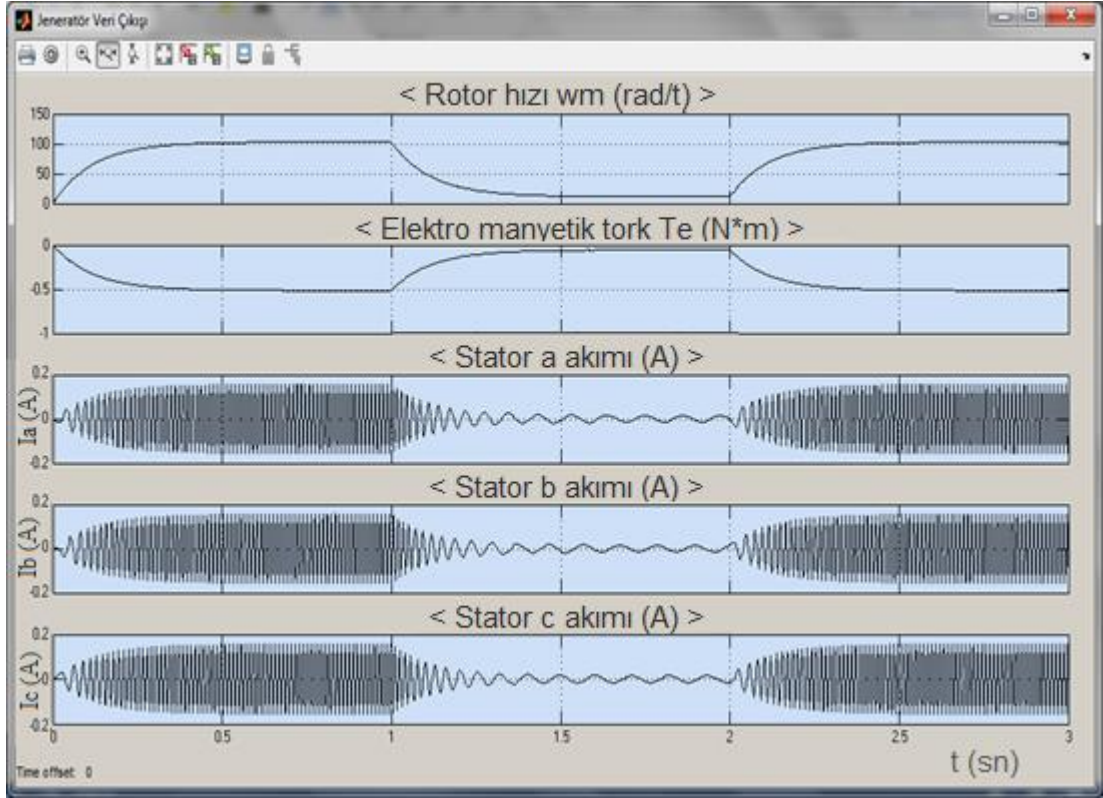


Şekil 3.20. Rüzgâr Türbini Gerilim-Akım (V-I) grafiği

Rüzgâr hızının 8 m/s ile 12 m/s aralığında değişimi sonucunda oluşan akım-gerilim grafiği Şekil 3.21’de, generator çıkış grafiği Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.21. Değişken rüzgâr hızına göre rüzgâr türbini Gerilim-Akım (V-I) grafiği



**Şekil 3.22.**Değişken rüzgâr hızına göre rüzgâr türbini generator çıkış değerleri

Matlab/Simulink'te hazırlanan ve analizi gerçekleştirilen rüzgâr türbininin kanat açısı ve rüzgâr hızı değişimlerine göre oluşan durumlar Çizelge 3.5'te verilmiştir.

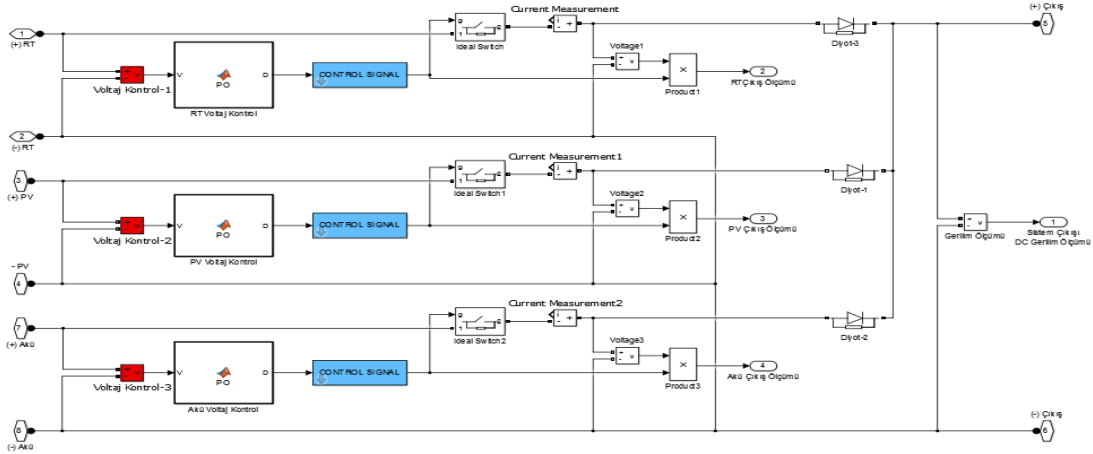
**Çizelge 3.5.** Kanat açısı ve rüzgâr hızı değişimleri

Kanat Açısı (°)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Gerilim (V)	Akım (A)
0	6	49	0.02
0	12	350	0.16
0	24	850	3.9
15	12	95	0.045

Çizelgede görüldüğü üzere rüzgâr hızındaki artışa bağlı olarak gerilim ve akım değerlerinde artış meydana gelmiştir. Fakat kanat açısında oluşacak değişim gerilim ve akım değerlerinde azalmaya neden olmaktadır. Bu özellikten faydalanılarak aşırı rüzgârlı havalarda kanat açısı değiştirilerek rüzgâr türbininin frenlemesi sağlanabilmektedir.

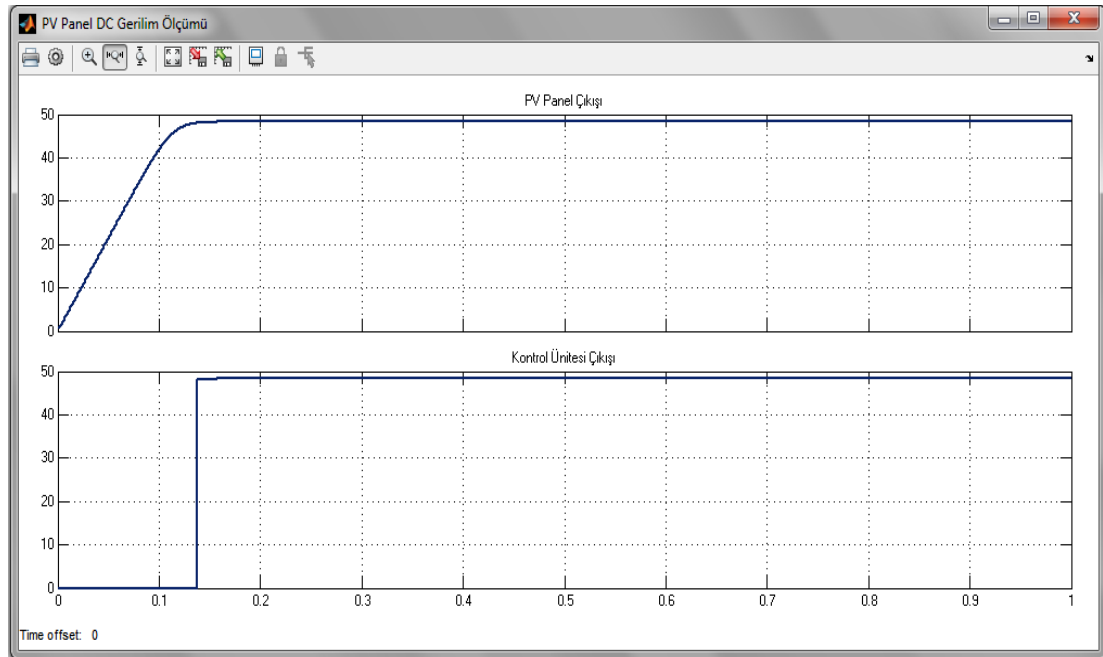
### 3.2.1.3. Kontrol Ünitesi Matlab/Simulink Benzetimi

Hibrit sistemi oluşturan rüzgâr türbini, PV paneller ve akü grubunun enerjileri 48V'un altına düştüğü anda devre dışı bırakan sistemin modellenmesi Şekil 3.23'te gösterilmiştir.

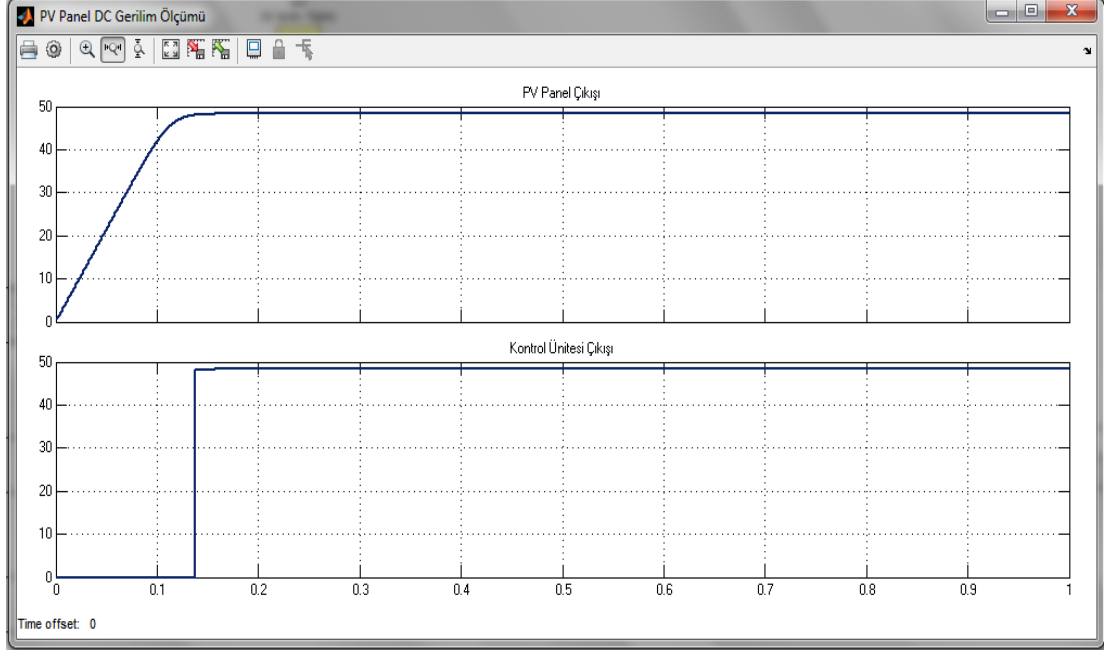


Şekil 3.23. Hibrit sistem kontrol ünitesi

Sistemin kurulu olduğu bölgede rüzgâr hızının 12 m/s ve radyasyon değerinin  $1000\text{W/m}^2$  olduğu düşünülerek sistemin Matlab/Simulink'te tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu koşullara bağlı olarak çıkış gerilim grafikleri Şekil 3.24'te ve Şekil 3.25'te gösterilmiştir.

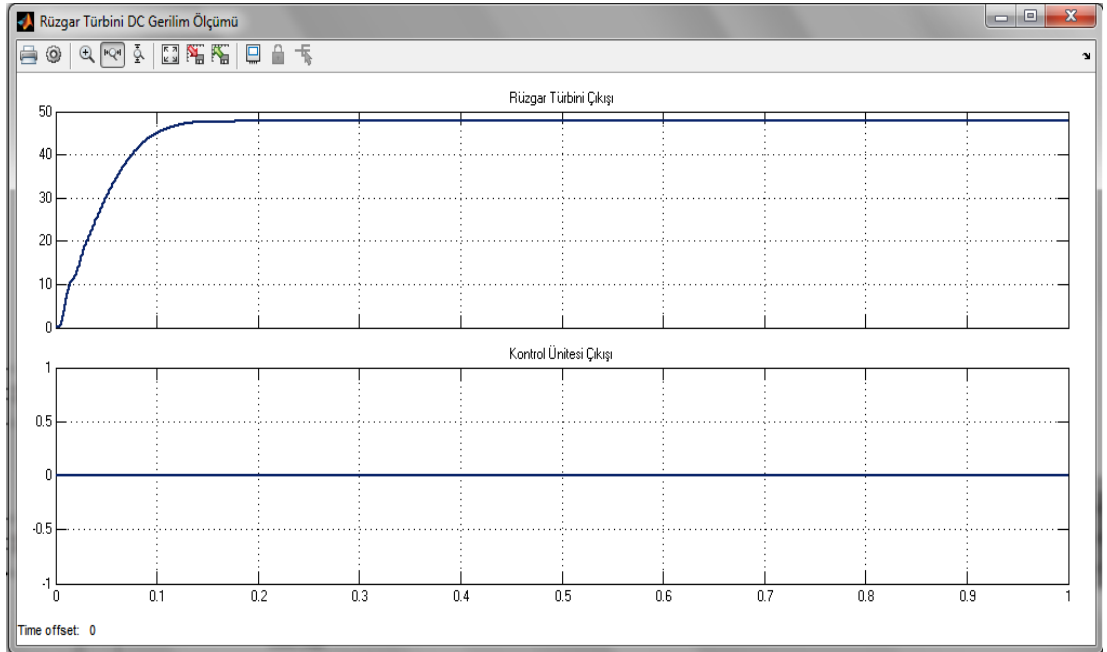


Şekil 3.24. Rüzgâr türbini kontrol ünitesi çıkışı

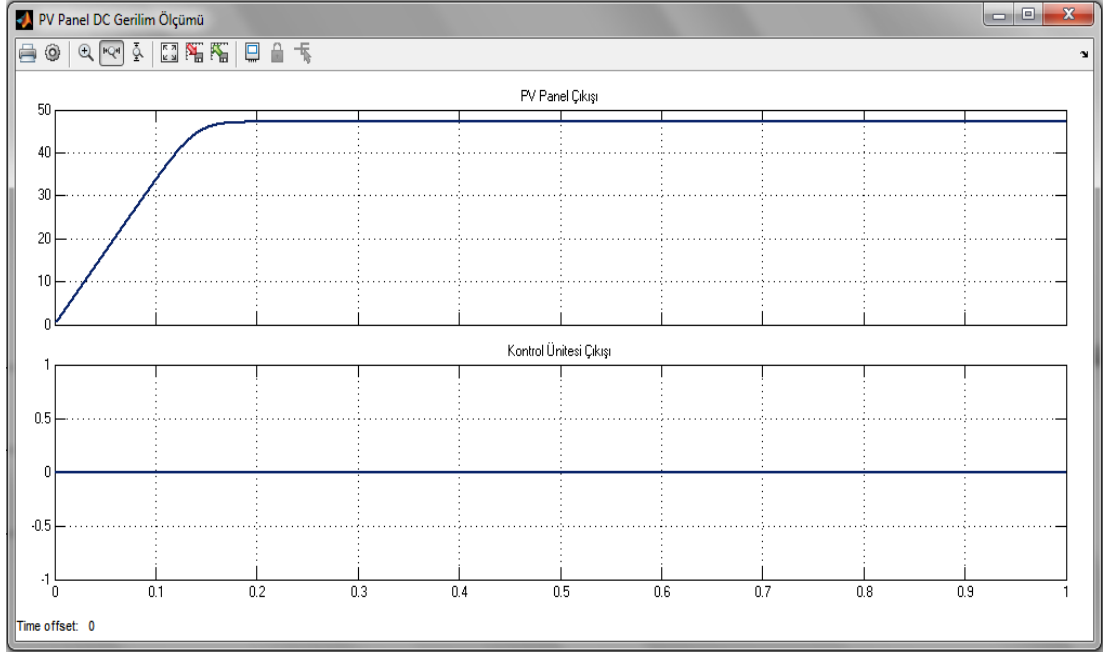


**Şekil 3.25.** PV panel kontrol ünitesi çıkışı

Bu değerlerin altına düşmesiyle kontrol ünitesi çıkışlarında oluşan değişimler ve durumların grafikleri Şekilde 3.26’da ve Şekil 3.27’de gösterilmiştir.



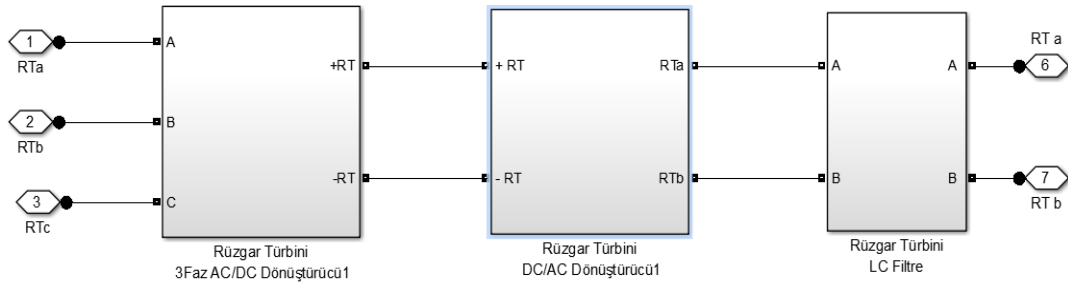
**Şekil 3.26.**Rüzgâr hızı azalmasıyla rüzgâr türbini kontrol ünitesi çıkışı



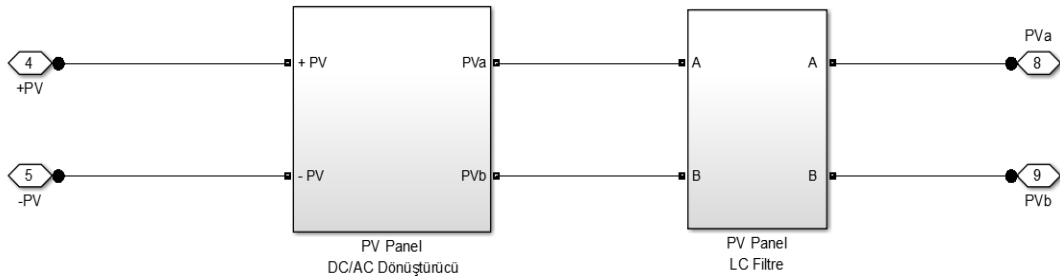
Şekil 3.27. Radyasyon değeri azalmasıyla PV panel kontrol ünitesi çıkışı

### 3.2.1.4. İnverterlerin Matlab/Simulink Benzetimi

Hibrit sistemde kullanılan PV panelleri ve rüzgâr türbini çıkış gerilimlerini gerekli şekilde yükseltip kullanıcının ihtiyacına cevap verebilecek inverter sistemin Matlab/Simulink modelleri Şekil 3.28 ve Şekil 3.29’da verilmiştir.



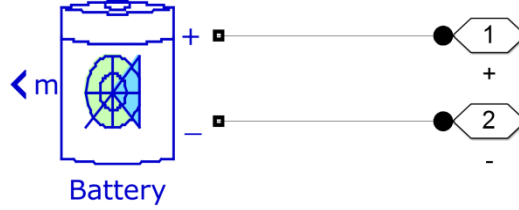
Şekil 3.28. Rüzgâr türbini inverteri Matlab/Simulink modeli



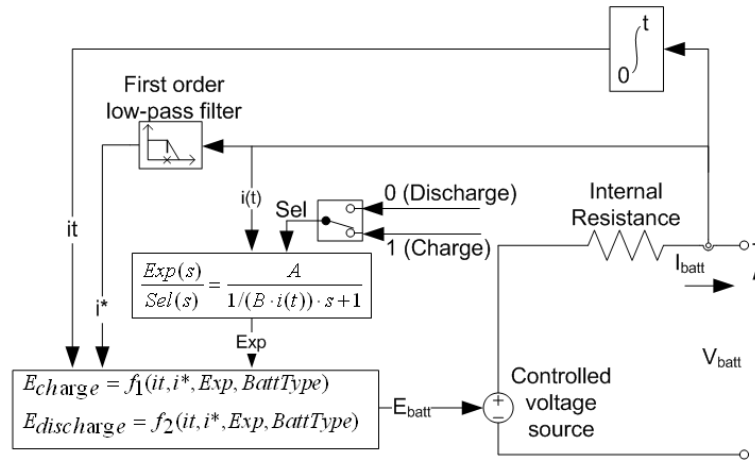
Şekil 3.29. PV panel inverteri Matlab/Simulink modeli

### 3.2.1.5. Akü Matlab/Simulink Benzetimi

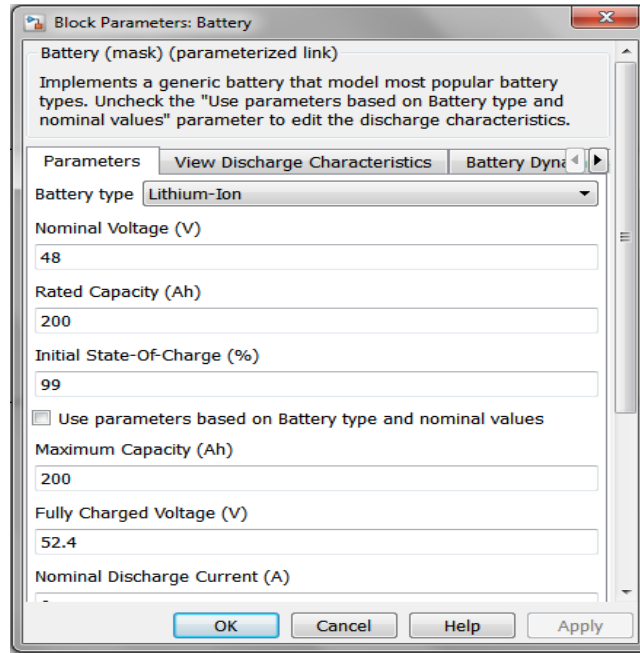
Sistemde kullanılan akü grubunun Matlab/Simulink modeli Şekil 3.30’da ve eşdeğer devresi Şekil 3.31’de gösterilmiştir. Ayrıca akü ile ilgili gerekli parametreler Şekil 3.32’de gösterildiği şekilde belirlenebilir.



Şekil 3.30. Akü Matlab/Simulink modeli



Şekil 3.31. Akü Matlab/Simulink eşdeğer devresi



Şekil 3.32. Akü grubu Matlab/Simulink parametre ayarı

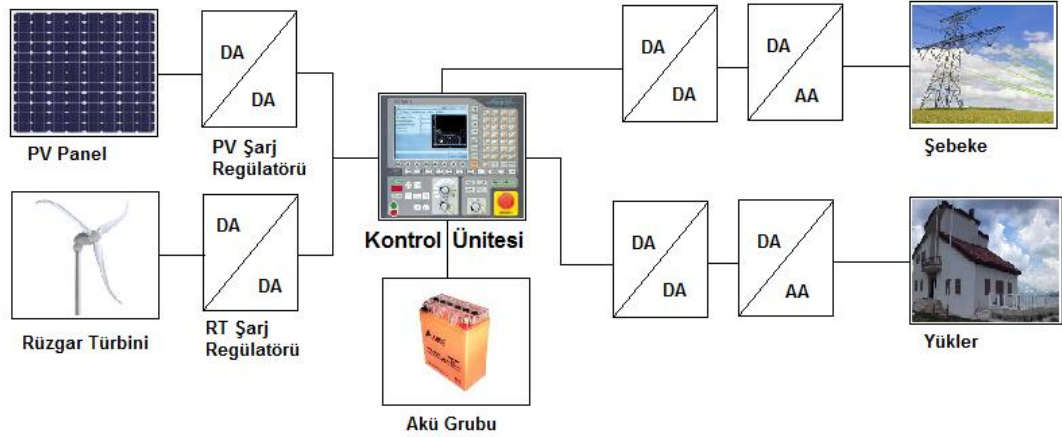


### 3.2.2. PV Panel-Rüzgâr Türbini Hibrit Sistemin Fiziksel Kurulumu

Tez çalışmasının bu kısmında, PV panellerinden ve rüzgâr türbininden oluşan şebeke bağlantılı hibrit enerji sisteminin uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Üretilen enerjinin saklanarak ihtiyaç halinde kullanılabilmesi amacıyla akü grubu kullanılmıştır. Ayrıca yüklerin enerjisinin sağlanması ve akülerin şarjlı olmasına bağlı olarak üretilen fazla enerji kullanıcının isteğine ve Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine ilişkin yönetmelik ile tebliğler uyarınca şebekeye satılarak ücret elde edilmesi ve sistemin amortisman süresinin kısaltılması mümkündür.

Gerçekleştirilen hibrit enerji sisteminde, PV paneller ile rüzgâr türbininin ürettiği değerler kayıt altına alınmaktadır. Kurulan PV-rüzgâr hibrit sistemin blok şeması Şekil 3.33 'te verilmiştir.



Şekil 3.33. Kurulan hibrit sistemin blok şeması

Sistemin kurulumu, Ordu Valiliği adına Kabadüz İlçesinde bulunan Vali Konağı'nda gerçekleştirilmiştir. Vali Konağı'nın seçilme nedeni, henüz Karadeniz Bölgesi'nde çok yeni olan yenilenebilir enerji kaynakları uygulamalarının Ordu Valiliği tarafından daha geniş çevrelere tanıtılmasını sağlamaktır.

Vali Konağı bahçesine kurulacak PV panellerin yer tespitinden sonra Şekil 3.34'te görüldüğü gibi gerekli ankraj ve betonlama çalışmaları tamamlanmıştır.



**Şekil 3.34.** PV panel ankraj ve betonlama işlemi

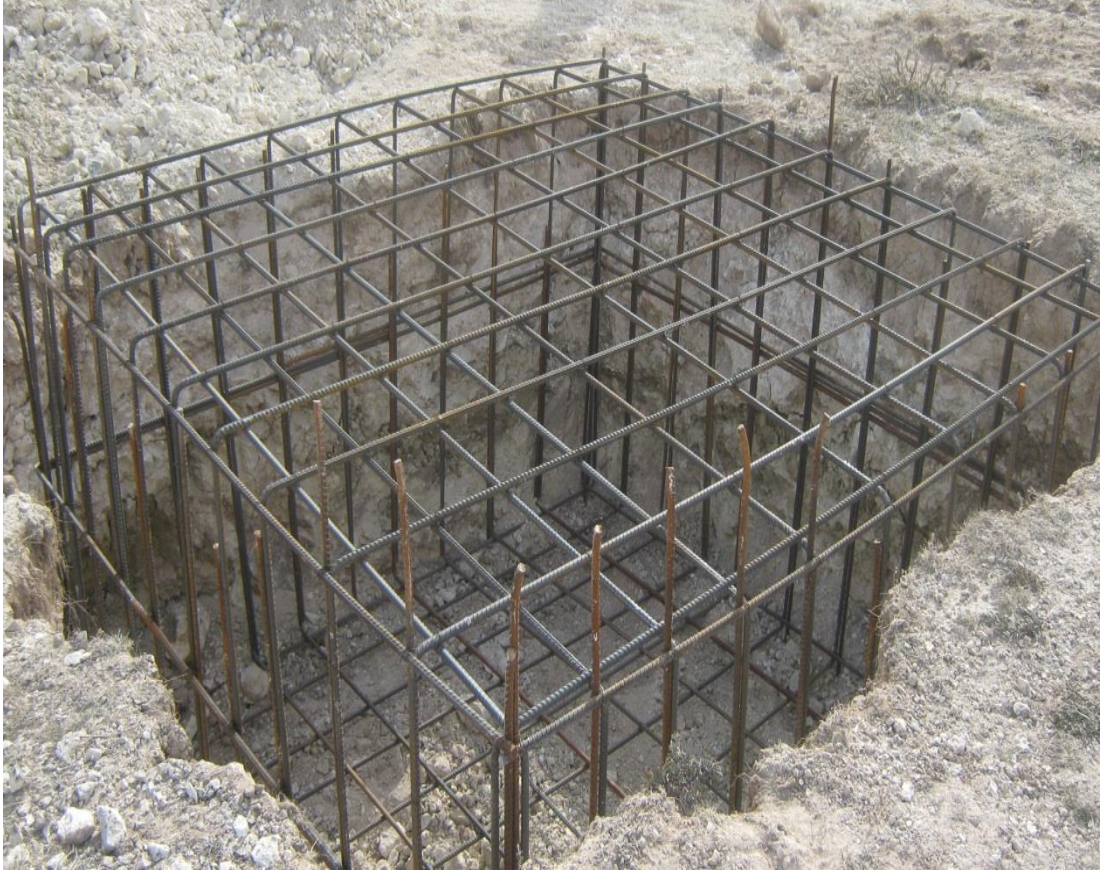
Betonlama işleminden sonra 200W gücünde 10 adet PV panel, Şekil 3.35'te görüldüğü gibi iki sıra halinde, birbirlerini engellemeyecek şekilde, kuzey-güney yönünde 30°'lik açı ile montajları tamamlanmıştır.



**Şekil 3.35.** PV panellerin montajı



Kurulacak rüzgâr türbininin zemin kazısı yapıldıktan sonra Şekil 3.36’da görüldüğü gibi betonun içinde kalacak demirlerin bağlantısı yapılarak su terazisi ile gerekli hizalamalar yapılmıştır.



**Şekil 3.36.** Rüzgâr türbini direği çukur açılması ve demirlerin döşenmesi

Bağlanan demirlerin tam merkezine gelecek şekilde türbin direğinin flanşı Şekil 3.37’de görüldüğü şekilde yerleştirilip ve su terazisi ile hizalaması yapılmıştır. Terazi ile hizalama yapılmasındaki amaç; zeminde oluşacak küçük bir açı değişimini önlemek ve 12 m uzunluğundaki direğin tam dik yerleşimini sağlayarak türbinden istenen en yüksek verimi almaktır.





**Şekil 3.37.** Rüzgâr türbini direği flanşının demirlere bağlanması

Şekil 3.38’de bağlantısı tamamlanan demirlerle birlikte direk flanşının betonla sabitlenmesi için demir seviyesinin üzerine gelecek şekilde beton kalıpları hazırlanmıştır.



**Şekil 3.38.** Rüzgâr türbini direği betonlama hazırlıkları

Kurulan sistemde rüzgâr türbini, 12 metre yüksekliğe sahip boru tipi, galvaniz kaplı, flanşlı ve tabandan menteşeli direğe monte edilmiştir. Direğin montajının yapılabilmesi için ihaleyi alan firmanın projesi doğrultusunda gerekli 2m x 2m x 2m ölçülerinde kazı yapılarak 8m<sup>3</sup> betonla birlikte Şekil 3.39’da gösterilen sabitleme ve ankraj işlemi tamamlanmıştır.



**Şekil 3.39.** Rüzgâr türbini direği betonlamasının tamamlanması

Betonunun kurumasından sonra rüzgâr türbininin montajı tamamlanarak direk, tabanındaki flanş yardımıyla yerine bağlanıp Şekil 3.40’da görüldüğü dikilmiştir.





**Şekil 3.40.** Direk ve türbin montajının tamamlanması

PV paneller ve rüzgâr türbininden oluşan hibrit sistemde kullanılan inverter ve akü grubu için en uygun yer tespiti yapılarak gerekli malzemeler yerleştirilmiş ve tüm bağlantılar Şekil 3.41’de gösterildiği şekilde tamamlanmıştır.

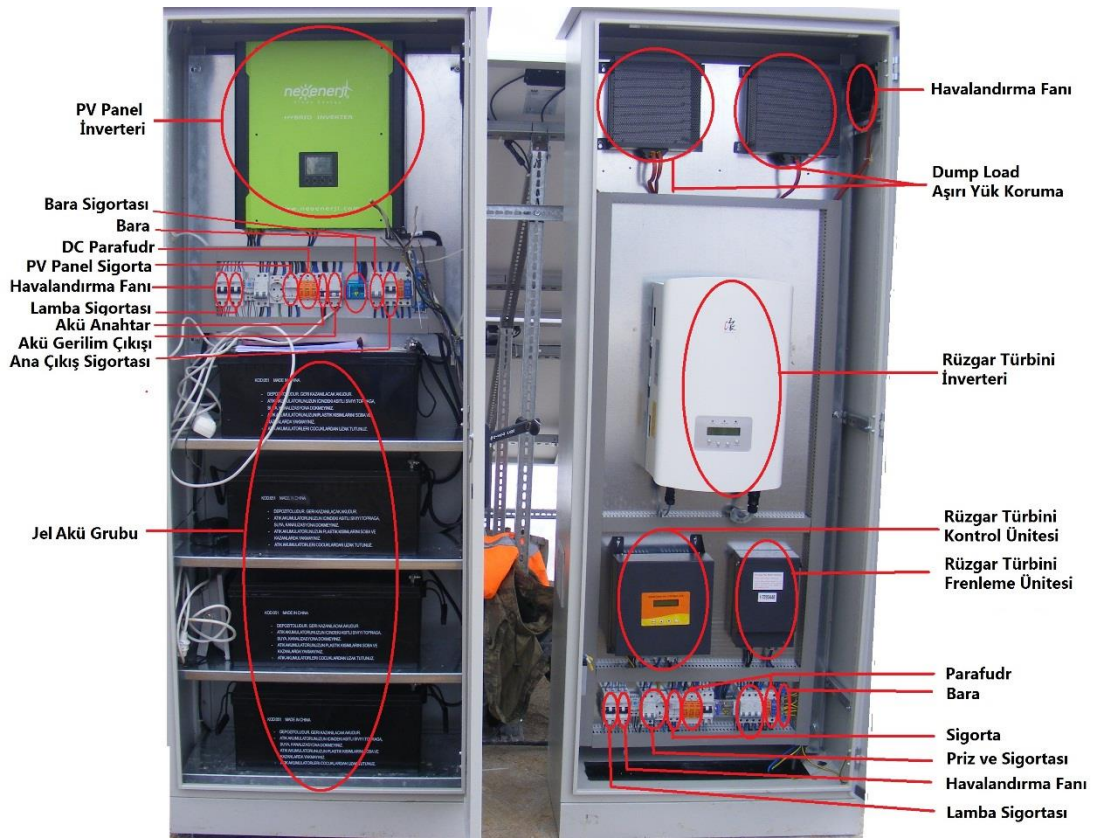


**Şekil 3.41.** Hibrit sistem diğer malzemeler ve gerekli bağlantılar

Kurulumu tamamlanan sistemde 10 adet PV panel, 4 adet birbirlerine seri bağılı 200Ah'lik akü grubu ile birlikte kontrol ünitesine bağlanmıştır.

Akü çıkışı, DA/DA ve DA/AA inverter aracılığıyla yüklere bağlanmıştır. Kontrol ünitesi aracılığıyla üretilen enerji isteğe bağlı öncelik sırasına göre aküleri şarj etmekte ya da yüke aktarılmaktadır. Akülerin şarjlarının tamam olması ve yükün enerji harcamaması durumuna göre üretilen enerji kontrol ünitesi aracılığıyla şebekeye aktarılmaktadır. Eğer akülerin şarjları tükenmiş ise ve hibrit sistem enerji üretmiyorsa gerekli enerji şebekeden sağlanmaktadır.

Kurulumu gerçekleştirilen sistemde kullanılan malzemeler ve bunların isimleri Şekil 3.42'de gösterilmiştir.



Şekil 3.42. Hibrit sistemde kullanılan malzemeler ve cihazlar

### 3.2.3. HGÜS Maliyet Analizi

Bu tez çalışması kapsamında kurulan hibrit sistemde bulunan PV paneller, rüzgâr türbini, aküler, rüzgâr türbin direği ve diğer malzeme ve cihazlara ait birim fiyatlar, tam fiyatlar ve bileşenlerin kullanım ömürleri Çizelge 3.6.'da gösterilmiştir. Ayrıca bu cihaz ve malzemelere ait detaylı bilgiler Ek-1, Ek-2, Ek-3 ve Ek-4'te bulunmaktadır.

**Çizelge 3.6.** Hibrit sistem fiyat analizi

<b>Bileşen</b>	<b>Birim Fiyat</b>	<b>Tam Fiyat</b>	<b>Kullanım Ömrü</b>
RT (3.2 Kw)	7.78 TL/W	24.896 TL	5
PV Panel (2 Kw)	5.96 TL/Wp	9.920 TL	10
Jel Akü (12V, 200Ah)	12.57 TL/Ah	10.056 TL	5
RT İnverteri	-	2.700 TL	10
PV Panel İnverteri	-	2.500 TL	10
Direk (12m)	-	3.100 TL	-
Pano	-	1.000 TL	-
Kurulum Maliyeti	-	3.828 TL	-
<b>TOPLAM</b>		<b>58.000 TL</b>	

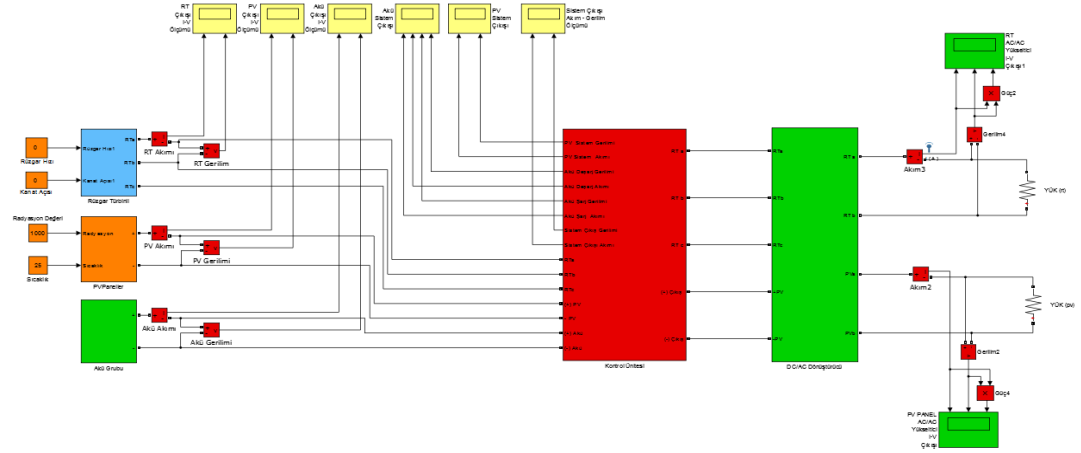


## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. Bulgular

#### 4.1.1. Hibrit Güç Sisteminin Matlab/Simulink Analizi

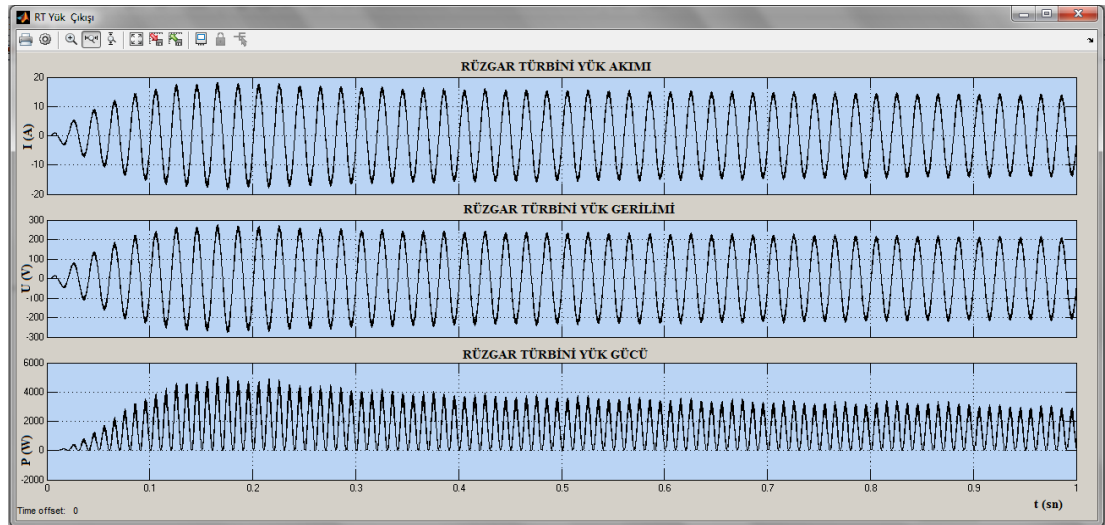
Matlab/Simulink'te tasarımı gerçekleştirilen Şekil 4.1'de verilen sistemin, ideal rüzgar hızına ve ideal radyasyon değerlerine sahip oldukları varsayılarak sisteme bağlanan yüklerin gücüne göre oluşan çıkış grafikleri aşağıda verilen senaryolarla ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Hibrit sistem yük bağlantısı

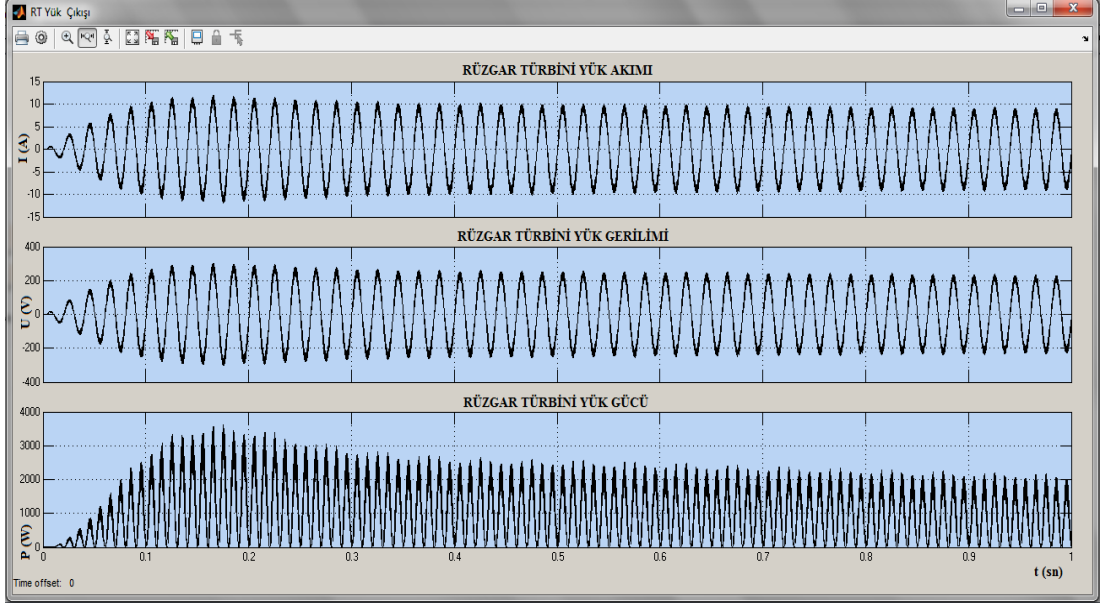
#### 4.1.1.1. Rüzgâr Türbini Yük Senaryoları

- **Durum 1:** RT inverter çıkışına 3200 W'lık yük bağlandığında sistem çıkışının akım, gerilim ve güç grafikleri Şekil 4.2'de verilmiştir.



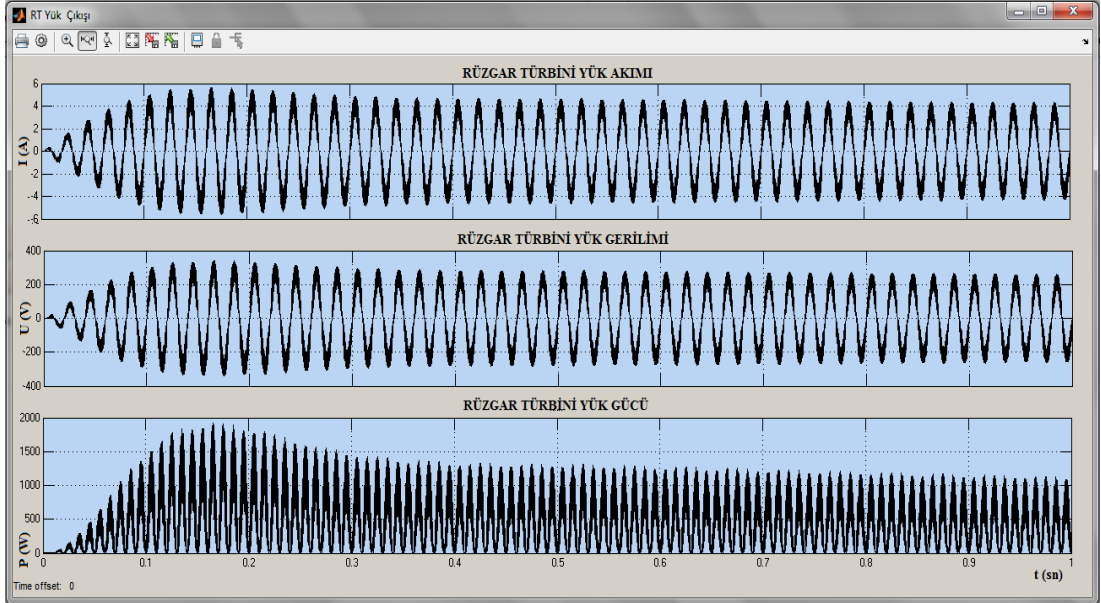
Şekil 4.2. Rüzgâr Türbini invertere bağlı 3200W yük çıkış grafikleri

- **Durum 2:** RT inverter çıkışına 2000 W'lık yük bağlandığında sistem çıkışının akım, gerilim ve güç grafikleri Şekil 4.3'te verilmiştir.



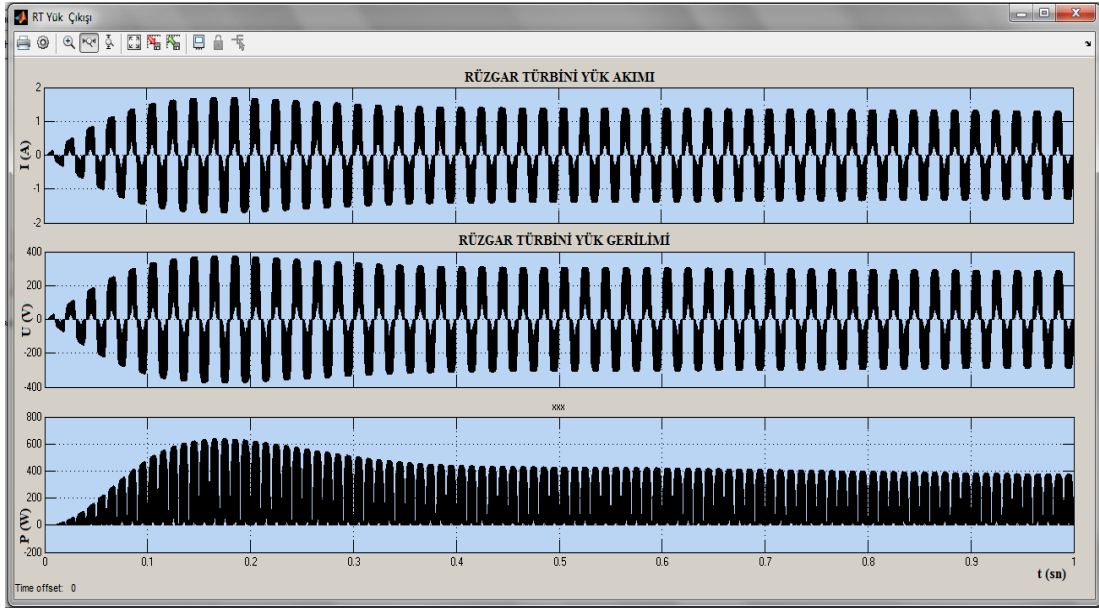
Şekil 4.3. Rüzgâr Türbini invertere bağlı 2000W yük çıkış grafikleri

- **Durum 3:** RT inverter çıkışına 1000 W'lık yük bağlandığında sistem çıkışının akım, gerilim ve güç grafikleri Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Rüzgâr Türbini invertere bağlı 1000W yük çıkış grafikleri

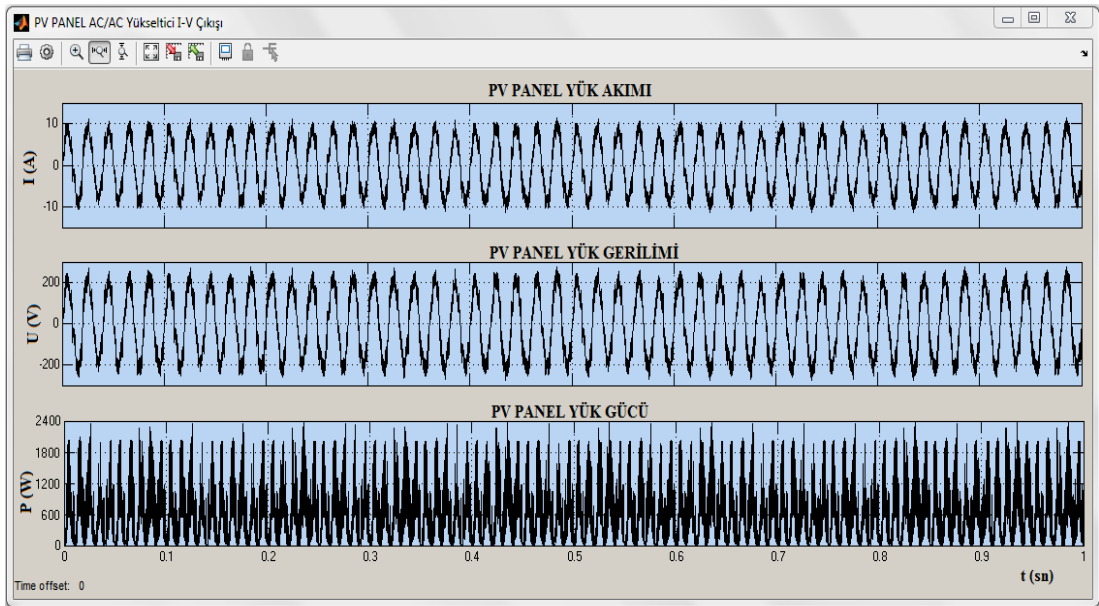
- **Durum 4:** RT inverter çıkışına 320 W'lık yük bağlandığında sistem çıkışının akım, gerilim ve güç grafikleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Rüzgâr Türbini invertere bağlı 320W yük çıkış grafikleri

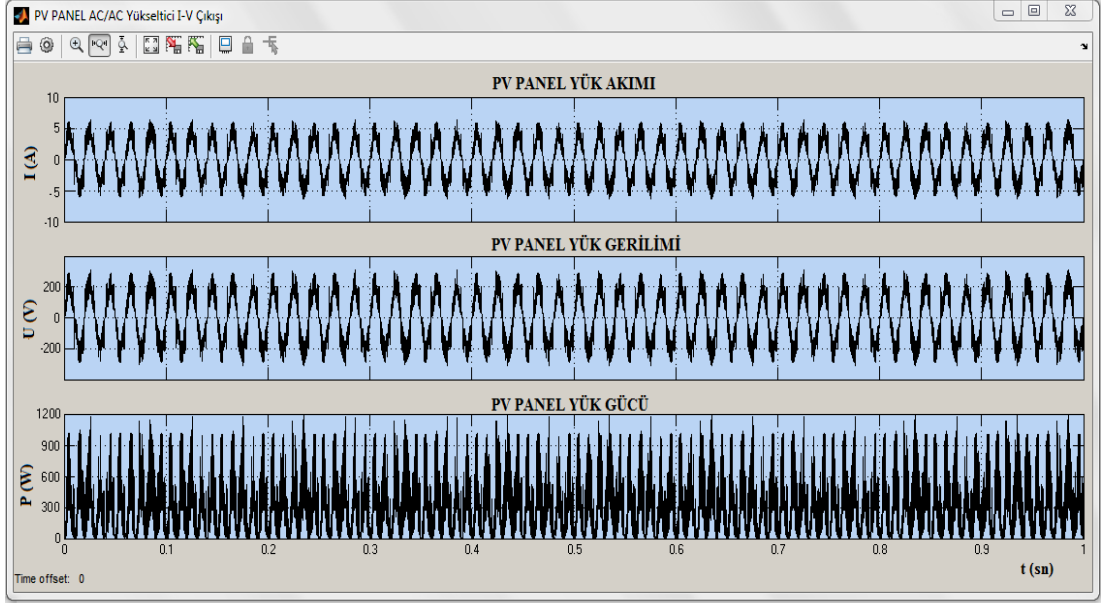
#### 4.1.1.2. PV Panel Yük Senaryoları

- **Durum 1:** PV Panel inverter çıkışına 2000 W'lık yük bağlandığında sistem çıkışının akım, gerilim ve güç grafikleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



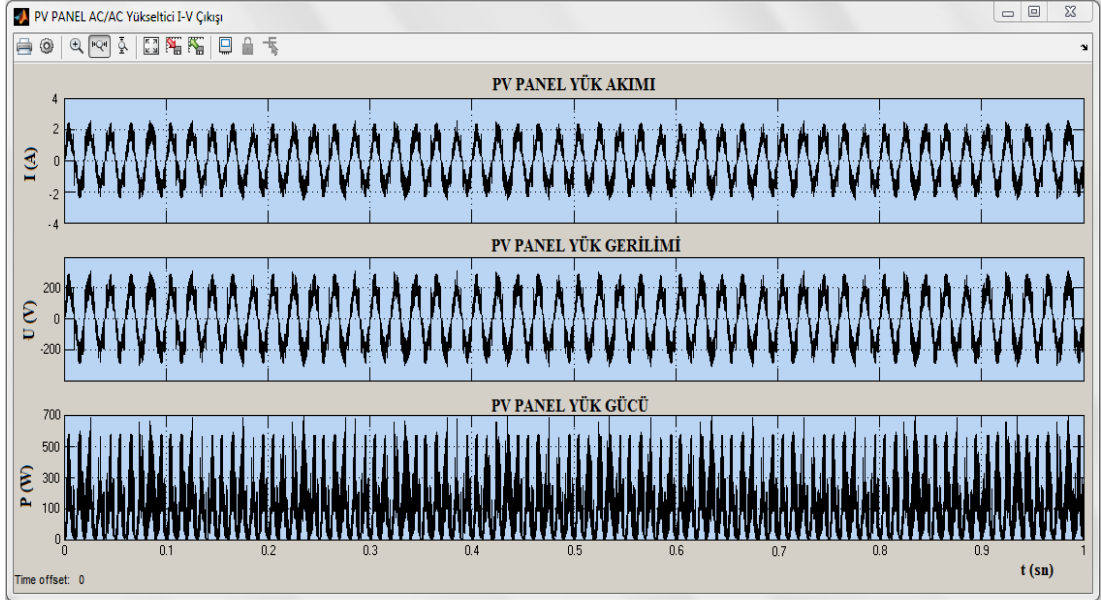
Şekil 4.6. PV Panel invertere bağlı 2000W yük çıkış grafikleri

- **Durum 2:** PV Panel inverter çıkışına 1000 W'lık yük bağlandığında sistem çıkışının akım, gerilim ve güç grafikleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



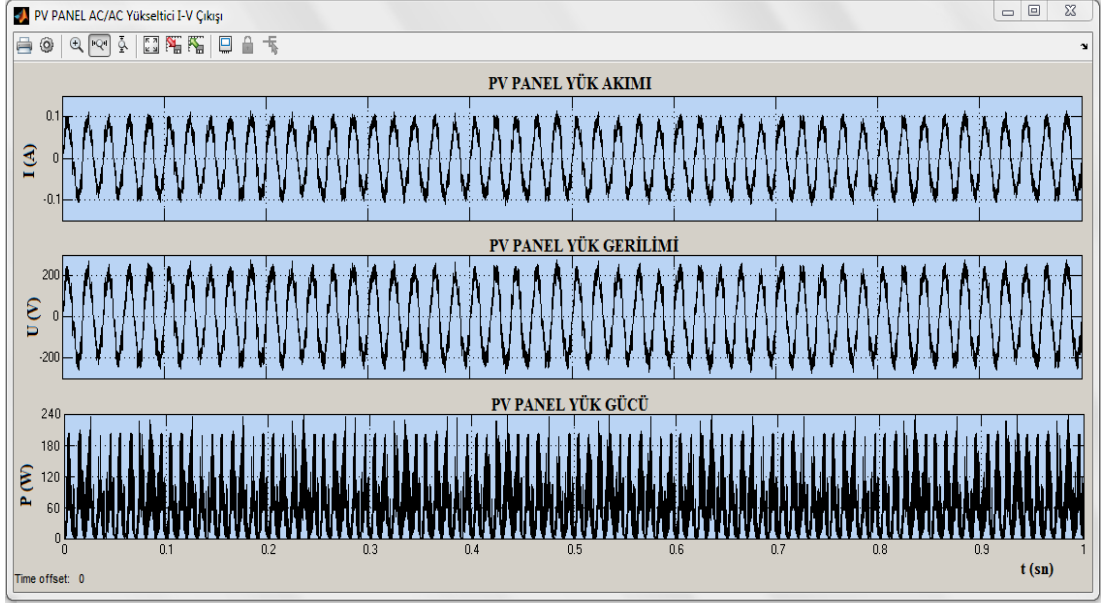
Şekil 4.7. PV Panel invertere bağlı 1000W yük çıkış grafikleri

- **Durum 3:** PV Panel inverter çıkışına 500 W'lık yük bağlandığında sistem çıkışının akım, gerilim ve güç grafikleri Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. PV Panel invertere bağlı 500W yük çıkış grafikleri

- **Durum 4:** PV Panel inverter çıkışına 200 W'lık yük bağlandığında sistem çıkışının akım, gerilim ve güç grafikleri Şekil 4.9'da verilmiştir.

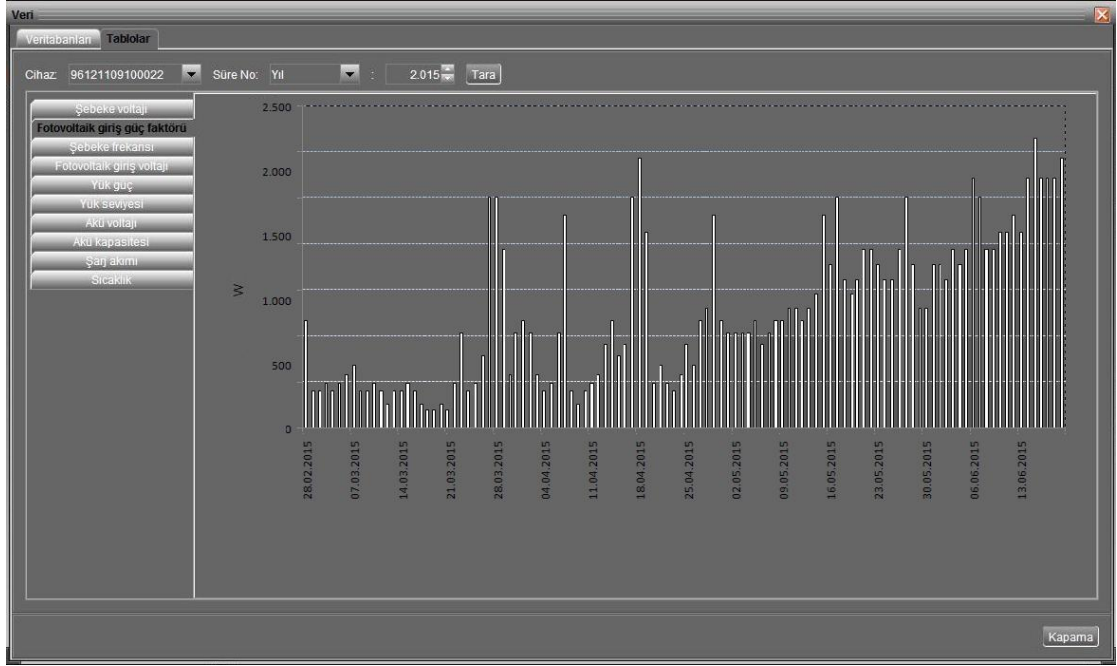


Şekil 4.9. PV Panel invertere bağlı 200W yük çıkış grafikleri

#### 4.1.2. Hibrit Güç Sisteminin Deneysel Ölçümleri

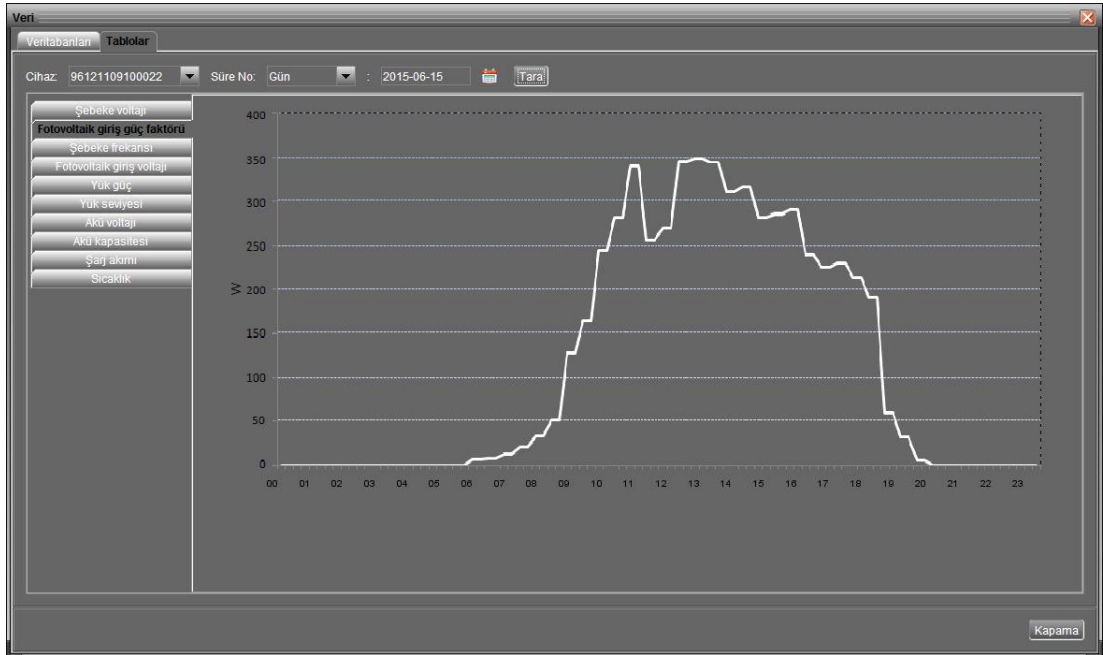
Kurulumu gerçekleştirilen hibrit (güneş + rüzgâr) enerji sisteminde, PV paneller ile rüzgâr türbininde üretilen enerji değerleri inverterler üzerinde kaydedilmiştir. Bu değerler inverterler üzerinden belirlenen zamanlarda bilgisayara aktarılmıştır. PV panellerde üretilen değerler *SolarPower*, rüzgâr türbininde üretilen değerler ise *PowerMonitor* programları aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır.

Hibrit sistem üzerinden alınan kayıtlar değerlendirildiğinde, PV panellerin 28 Şubat – 19 Haziran 2015 tarihleri arasındaki ürettiği toplam enerji miktarı 142,32 kWh 'tir. Bu enerji değerlerinin günlük üretimi *SolarPower* programından alınan ekran görüntüsüyle birlikte Şekil 4.10'da verilmiştir.



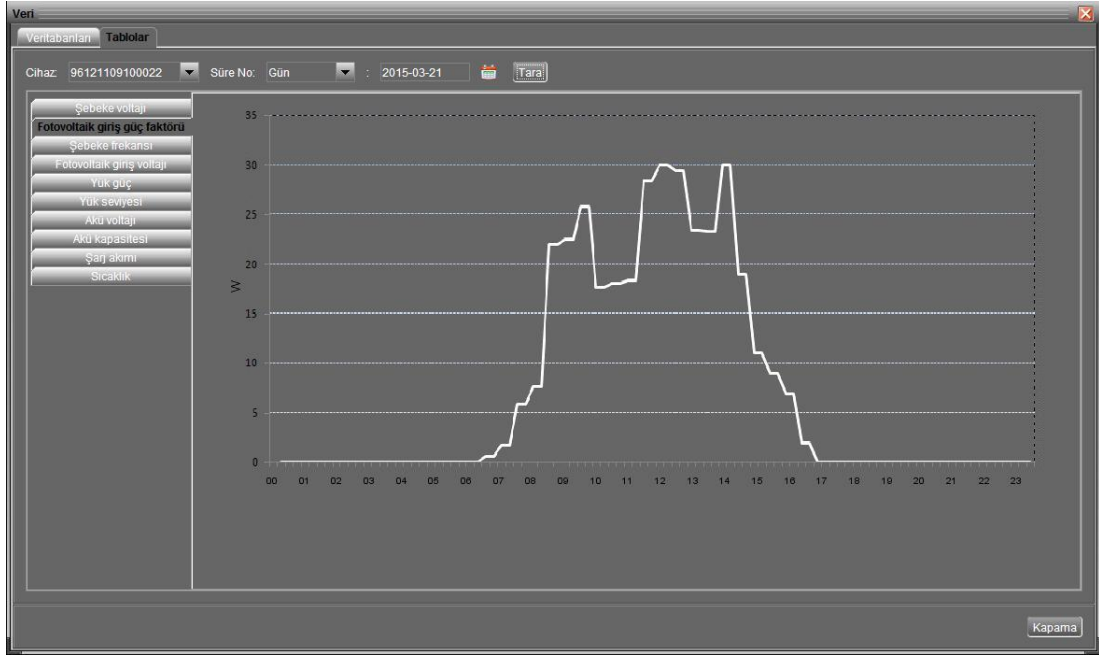
**Şekil 4.10.** PV panellerin toplam enerji üretimleri

Şekil 4.11’de verilen grafik sistemin aktif olduğu dönemde en çok enerjinin üretildiği 16.06.2015 tarihine ait bir gün içinde kaydedilen değerlerdir. Grafikten de anlaşılacağı üzere paneller enerji üretimine sabah 06:00’da başlamış ve akşam üzeri 20:00 civarları üretim tamamen sonlanmıştır. Gün içerisinde üretilen toplam enerji miktarı 3,15 kWh’tir.



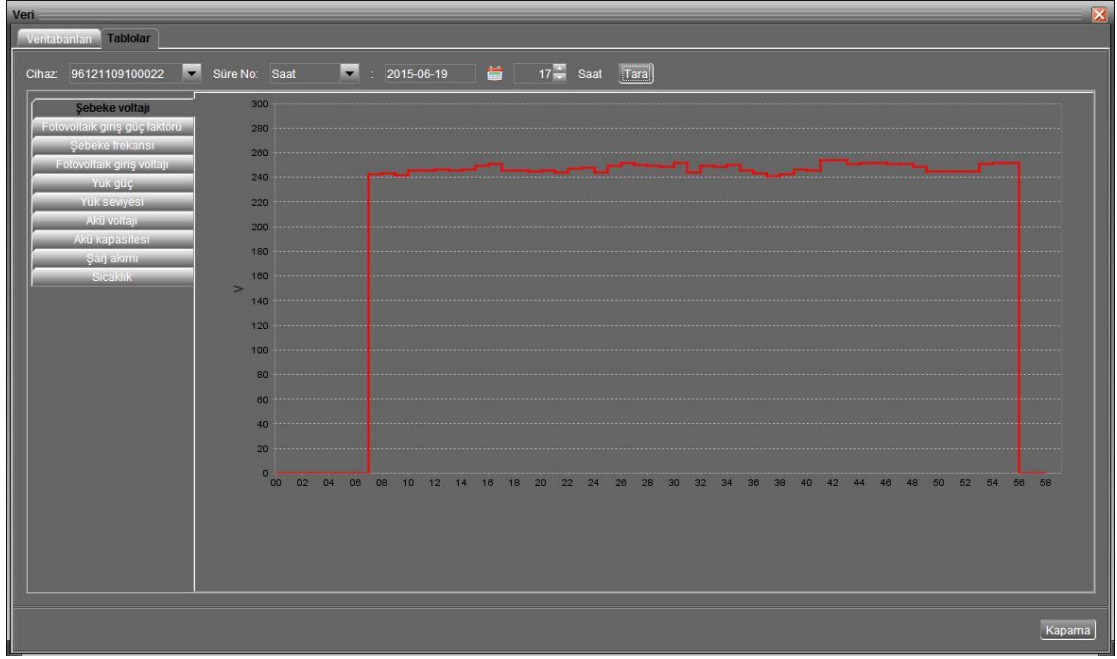
**Şekil 4.11.** Üretimin en fazla olduğu gün PV panellerin enerji üretimleri

PV panellerin gün içerisinde ürettiği enerji, hava durumuna ve mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Bunun nedeni; mevsimlere, gün içerisinde güneşin konumuna ve havada oluşacak yağış ile bulut durumuna göre panellerin alacağı ışınım değerlerinin değişmesidir. Üretimin en az olduğu 21.03.2015 tarihinde gün içerisinde üretilen enerji miktarı 0,197 kWh olarak gerçekleşmiştir. Gün içerisindeki üretim dağılımı Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



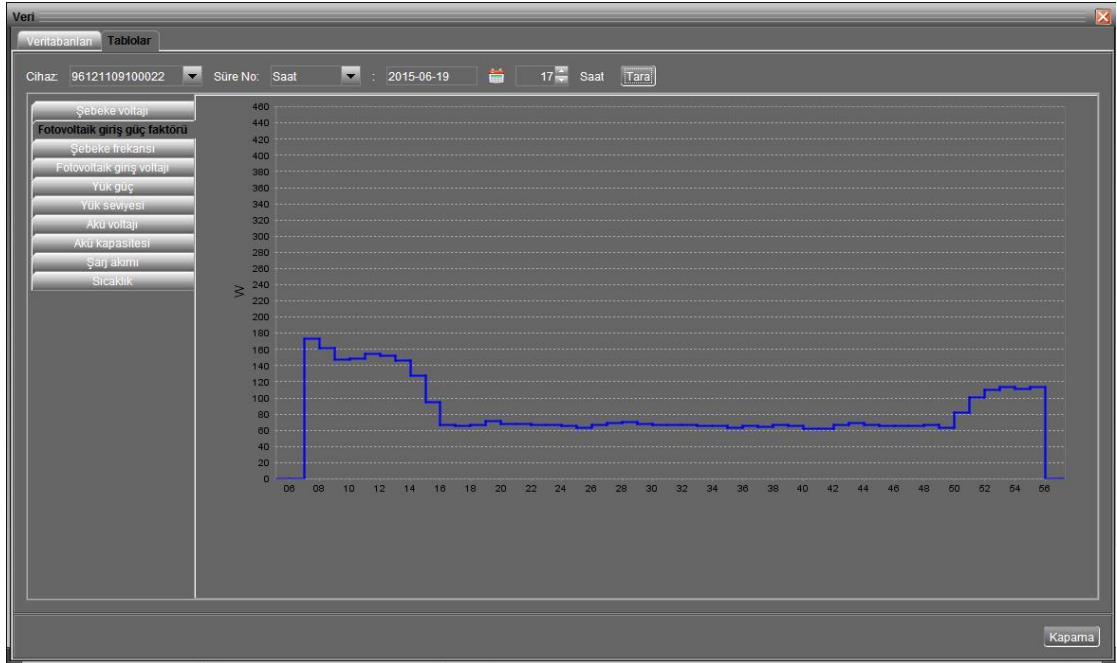
**Şekil 4.12.** Üretimin en az olduğu gün PV panellerin enerji üretimleri

Ayrıca sistemden verilerin alındığı 19 Haziran 2015 tarihinde 17:07 - 17:47 saatleri arasında sistem üzerinden aşağıda gösterilen anlık değerler ve grafikleri alınmıştır. Bu alınan değerler program üzerinden sırasıyla incelendiğinde Şekil 4.13’te şebeke gerilimi grafiği mevcuttur. Grafik incelendiğinde şebeke geriliminin olması gereken 220 V ‘tan çok fazla ve 240-260 V aralığında olduğu görülmektedir. Bu gerilim uzun süre devam ettiği takdirde inverterlere ciddi zararlar vermektedir.



Şekil 4.13. Şebeke gerilimi anlık değerleri

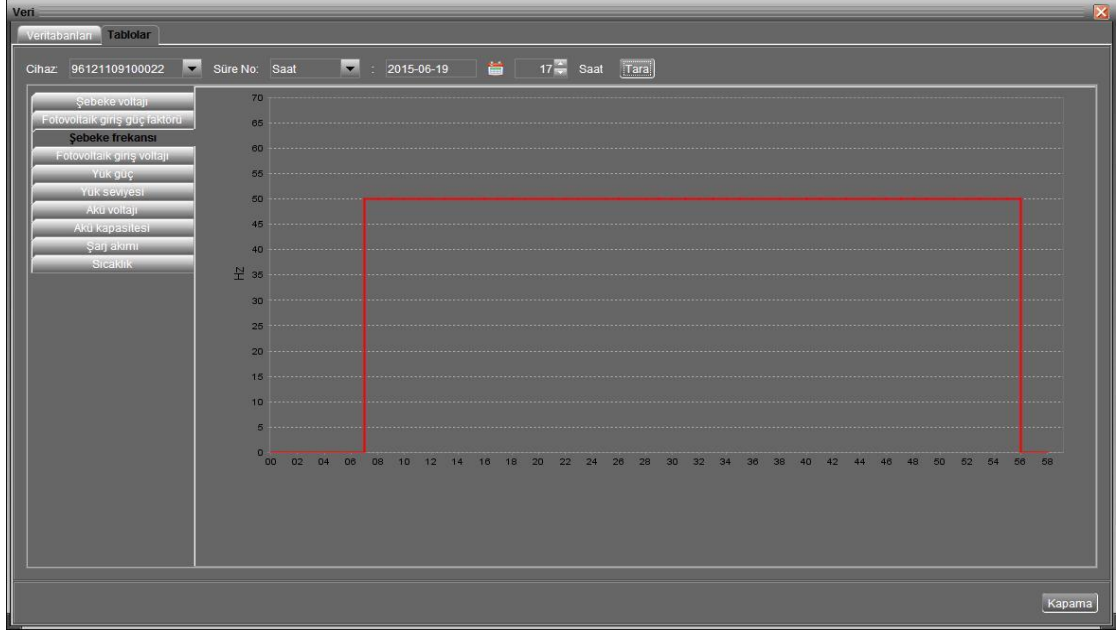
Şekil 4.14'te belirtilen tarih ve saatte PV panellerden üretilen anlık güç değerleri görülmektedir. Anlık güç değerleri 60-180 W aralığında hava durumuna bağlı değişmektedir.



Şekil 4.14. PV panel anlık güç değerleri

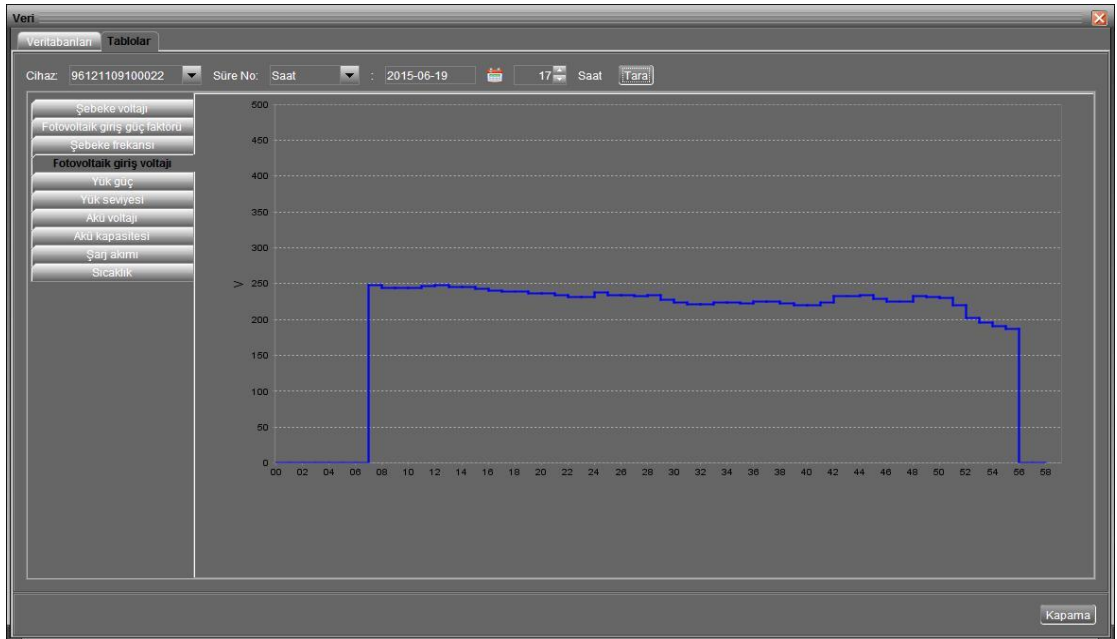


On-grid sistemi besleyen şebeke elektriğinin PV inverteri üzerinden alınan frekans kaydı incelendiğinde, şebeke frekansının 49,9-50 Hz aralığında ve ideal değerinde olduğu Şekil 4.15'te görülmektedir.



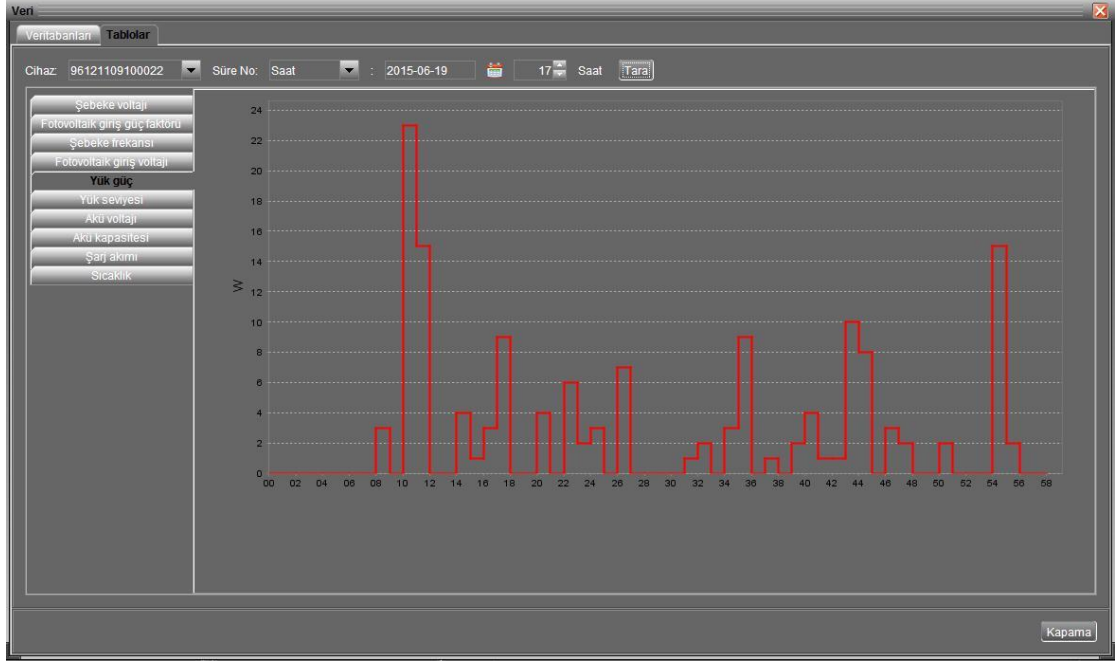
Şekil 4.15. Şebeke frekansı anlık değerleri

Şekil 4.16'da PV panellerde üretilen ve invertere gönderilen gerilimin belirtilen tarih ve saatteki anlık değeri görülmektedir. Bu değer, 180-250 V aralığındadır.

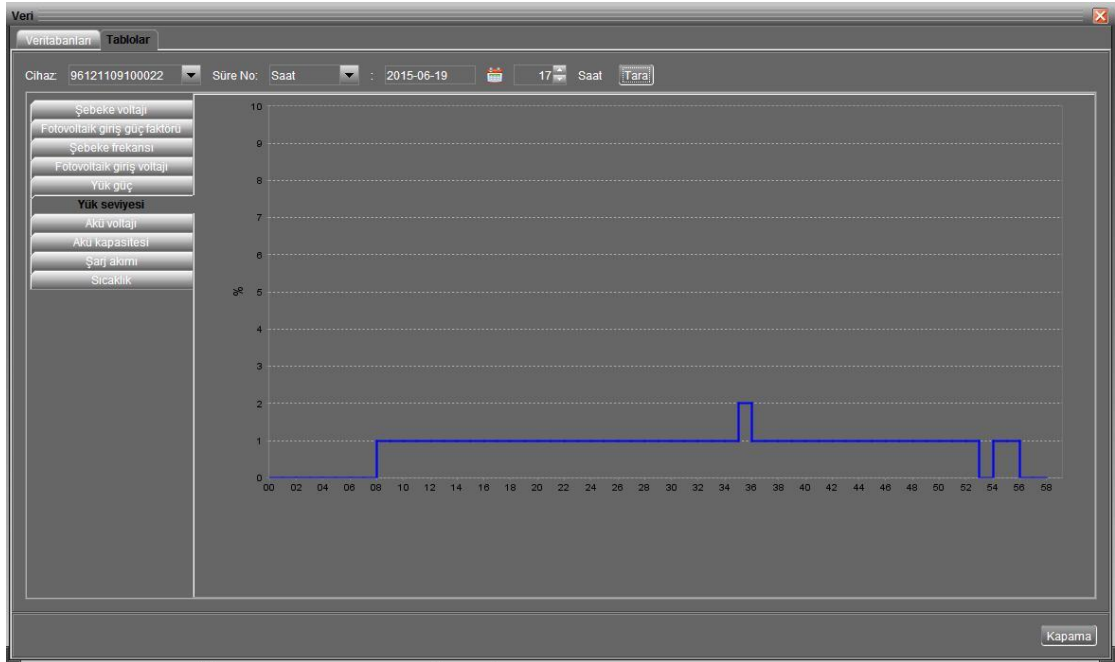


Şekil 4.16. PV panel giriş voltajı anlık değerleri

Şekil 4.17’de yükün sistem üzerinden çektiği güç değeri görülmektedir. Belirtilen saat aralığında konağın tüm lambalarının açılıp kapatılmasıyla değişik yük durumları oluşturulmuştur. Şekil 4.18’de ise sistemin yüke sağlayabileceği enerjinin ne ölçüde yük tarafından kullanıldığı yüzdelik olarak gösterilmiştir.

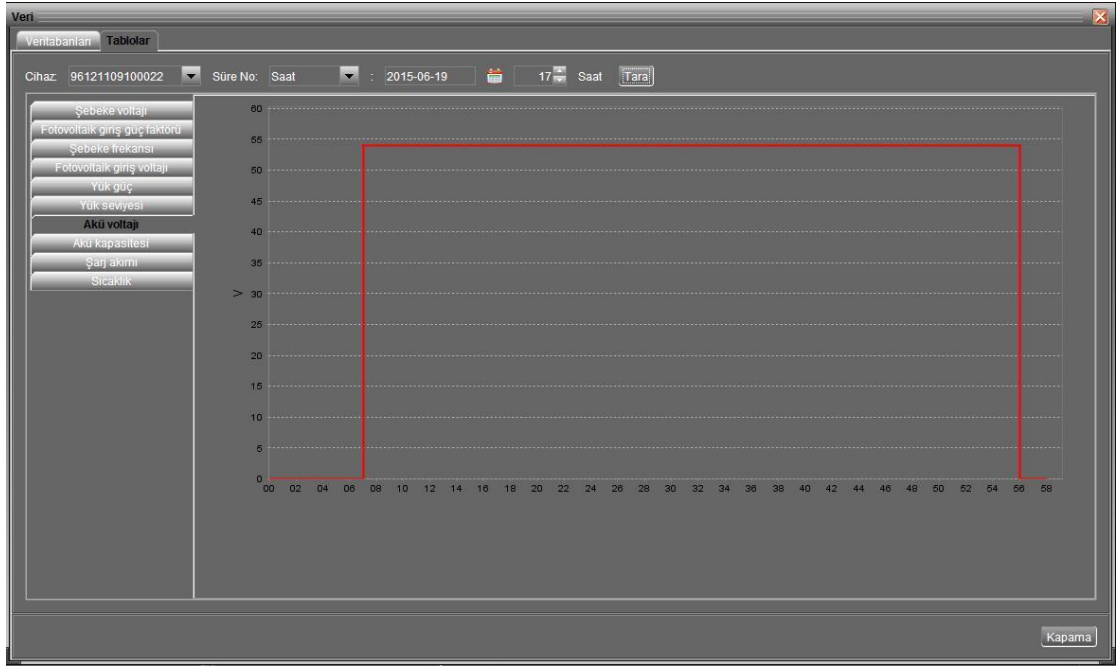


Şekil 4.17. Sistem yükü anlık güç değerleri

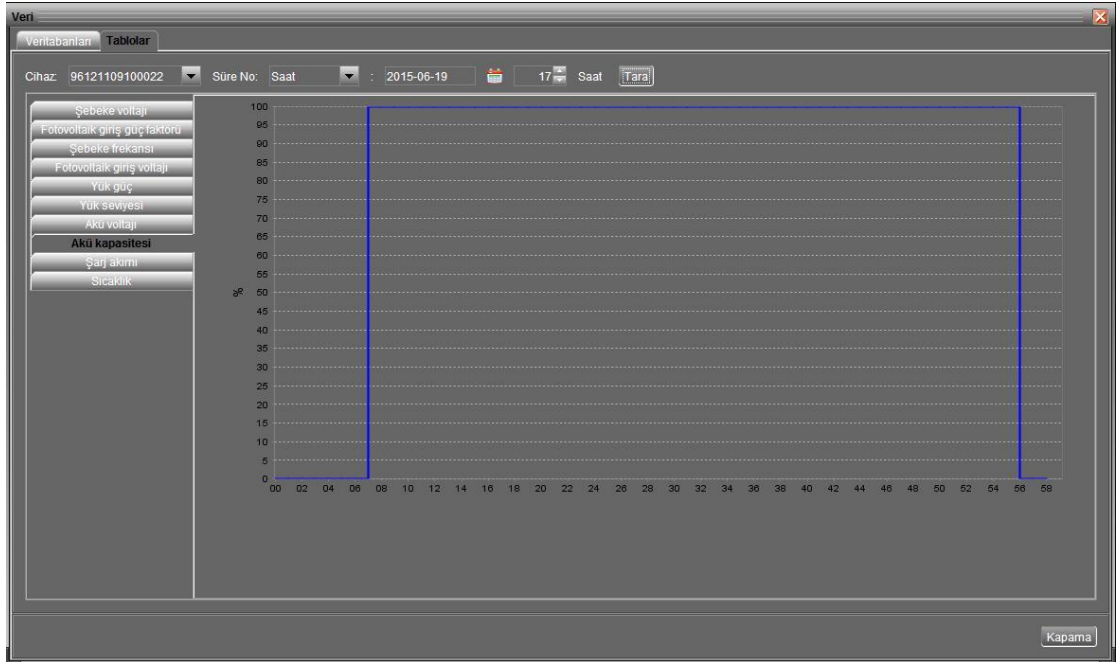


Şekil 4.18. Yükün anlık güç tüketim değerleri

Şekil 4.19’da akülerin anlık şarj voltajları, Şekil 4.20’de akülerin yüzdeler olarak anlık doluluk oranları görüntülenmektedir.

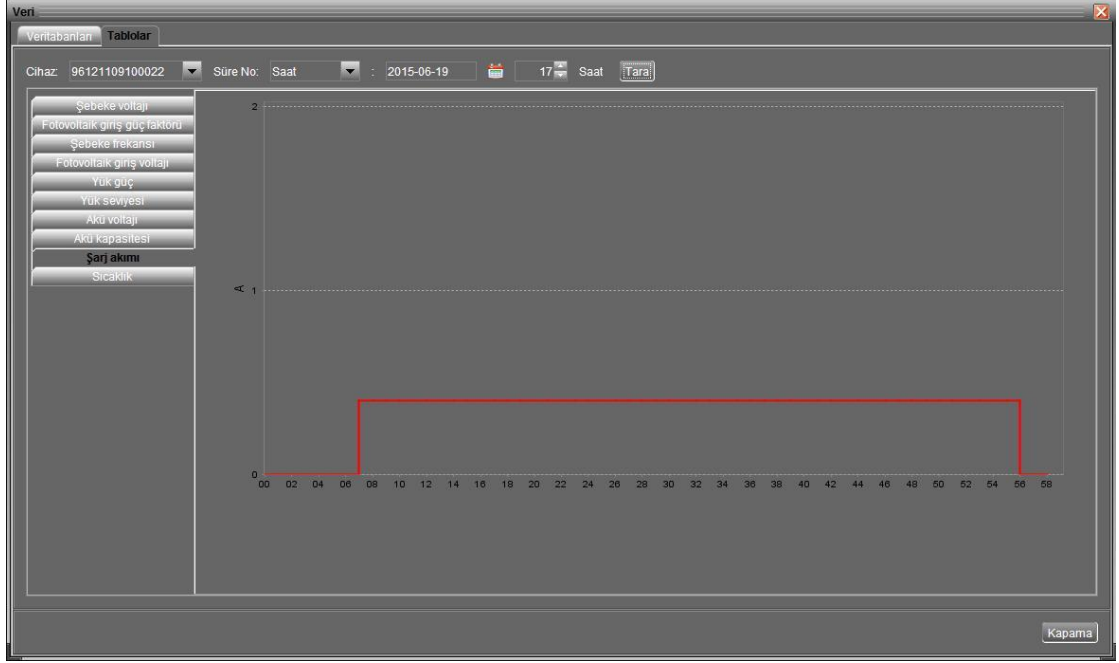


Şekil 4.19. Akü gerilimi anlık değerleri

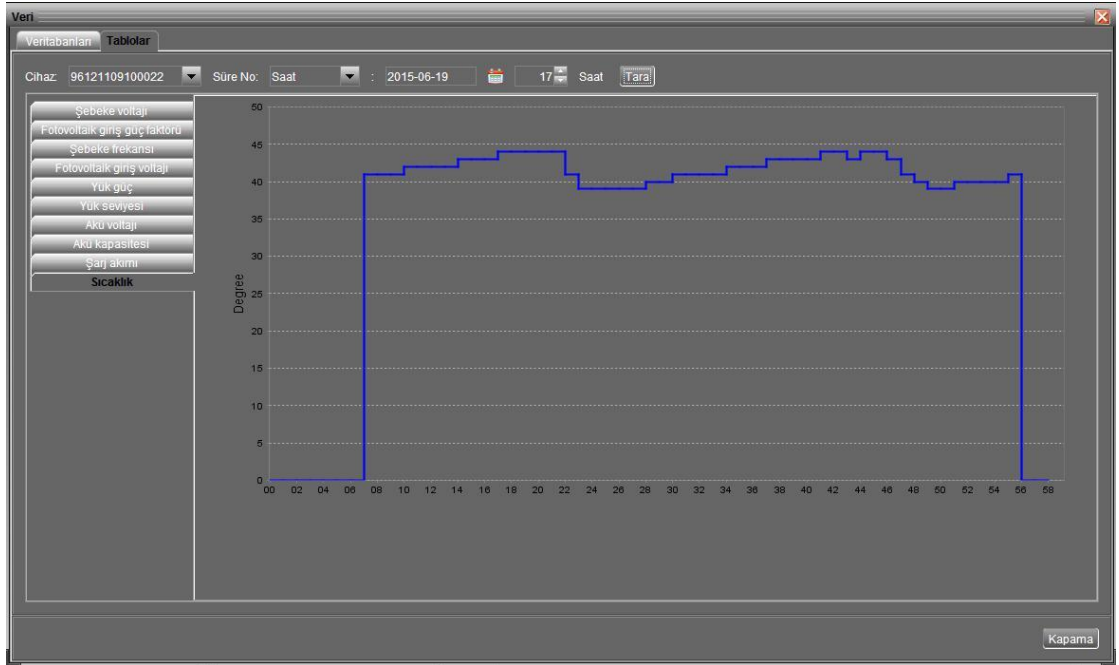


Şekil 4.20. Akü şarj oranı anlık değerleri

Şekil 4.21’de akülerin anlık şarj akımları görülmektedir. Akülerin dolu olması nedeniyle akülerin şarj akımı değeri düşük düzeydedir. Şekil 4.22 de ise PV inverterin anlık sıcaklık değerleri görülmektedir.



Şekil 4.21. Şarj akımı anlık değerleri

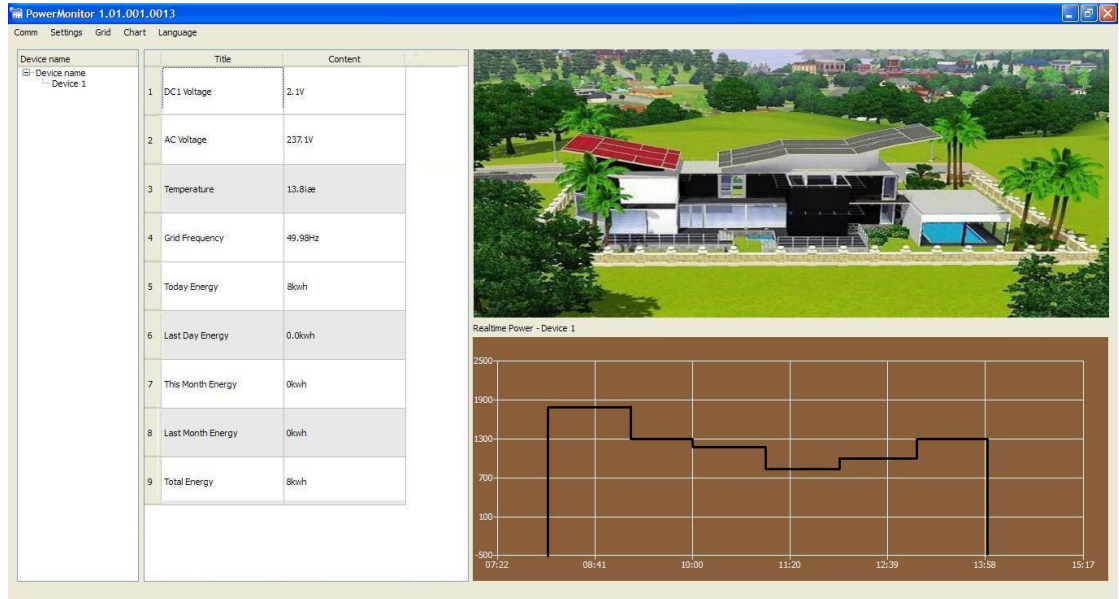


Şekil 4.22. İnverter anlık sıcaklık değerleri

Hibrit sistemde kullanılan PV paneller,  $W_p:200W$ ,  $V_m:37.10V$ ,  $V_{oc}:44.70V$ ,  $I_m:5.40A$ ,  $I_{sc}:5.70A$  değerlerine sahip İtalya üretimi monokristal hücrelerden imal edilmiştir.

Sistemde 10 adet panel seri bağlı olduğundan her birinin ürettiği gerilimlerin toplamı PV sistemin gerilimini verir. Sistemin akımı ise bir panelin akımına eşittir. Sistemin aktif olduğu 28 Şubat – 19 Haziran 2015 tarihleri arasında gün içerisinde üretilen maksimum güç  $3152 W$ 'tır. Her bir panelin ortalama gücü,  $3152/10=315 W$ 'tır.

Hibrit sistemde kullanılan  $3200 W_p$  gücüne sahip rüzgâr türbini, rüzgâr hızı  $3 m/s$ 'ye ulaştığında enerji üretimi başlamaktadır ve  $12 m/s$ 'yi aştığı anda türbin kendini frenlemekte ve enerji üretimi sonlandırılmaktadır. Rüzgâr türbininin enerji ürettiği 28.02.2015 tarihinde saat 08:00 – 14:00 saatleri arasında rüzgâr hızına bağlı her saat üretilen enerji miktarları Şekil 4.23'te ve Şekil 4.24'te gösterilmiştir. Üretilen toplam enerji miktarı  $8,8 kWh$  olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.23. Rüzgâr türbini enerji üretim miktarları



Şekil 4.24. Rüzgâr türbini saatlik enerji üretim miktarları

Hibrit sistemin kurulduğu bölgede gün içinde rüzgâr hızı anlık çok büyük değişiklikler göstermektedir. Bunun sonucunda rüzgâr türbinden elde edilen enerji değerleri çok fazla dalgalanma göstermektedir.

Kurulan hibrit sistemde, inverter çıkış değerleri kaydedilmektedir. Bu sayede kontrol ünitesi ile akülere, yüke ya da şebekeye aktarılan enerji miktarları kayıt altına alınabilmektedir.

#### 4.2. Tartışma

Koca, (2006), çalışmasında, sistem ilk kurulumunda PV panellere ilave rüzgâr türbinlerinin maliyete etkisini ortaya koymuştur. Hocaoğlu ve ark. (2007), hibrit sistemde özellikle rüzgâr türbini ilk kurulum maliyetinin yüksekliğini vurgulayarak kurulacak sistemin yer tespitinin iyi yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Salmanoğlu, (2009), hazırladığı yazılımla, hibrit (PV + rüzgâr) güç sistemi tasarımlarını gerçekleştirmiş ve maliyet analizi yapmıştır.

Özcan, (2009), Engin, (2010), Köse, (2010), Telli, (2010), Ayhan, (2011), ve Baran, (2012), yaptıkları çalışmalarda HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric*

*Renewables*) yazılımını kullanmışlardır. Bu yazılım ile kurulacak hibrit sistemin enerji maliyetlerini hesaplamışlardır. Çalışmalar sonucunda şebeke bağlantılı (on-grid) sistemlerin şebeke bağlantısız (off-grid) sistemlere göre daha avantajlı olduklarını belirtmişlerdir.

Bizde çalışmamıza bu verileri irdelleyerek başladık. Sistemi kuracağımız yer tespitinde Şekil 2.15, Şekil 2.16 ve Şekil 2.17’de verilen rüzgâr haritasından faydalandık. Sistemin kurulacağı konum Ordu ilinde bulunan rüzgâr koridorunda bulunmakta ve neredeyse 24 saat rüzgâr almaktadır. Ayrıca tepenin üzerinde olması sebebiyle de güneş ışınlarını etkileyecek bir durumda bulunmamaktadır. Şekil 2.10, Şekil 2.13 ve Şekil 4.14’te verilen ışınım değerleri ile güneşlenme süreleri dikkate alınarak konağın ihtiyacı olan enerji miktarıyla birlikte kurulacak sistemin kapasitesi ve kullanılması gereken akülerin değerleri hesapladık.

Ayrıca üretilecek fazla enerjinin şebekeye satılarak sistem amortisman süresinin düşürülebileceğini dikkate alarak sistemi şebeke bağlantılı gerçekleştirdik.

Dinçsoy, (2010), çalışmasında hibrit sistemde şebeke bağlantısı yerine jeneratör kullanılmasını, Çubukçu, (2011) ise güneş ortak olmak üzere rüzgâr, hidrojen, yakıtlı jeneratör ile hem şebeke bağlantılı hem de şebekeden bağımsız hibrit sistemler üzerine analizler yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmalarda şebeke bağlantısı ve rüzgâr kullanımı dışındaki durumlarda ilk yatırım maliyetinin ve geri ödeme süresinin arttığını belirtmektedir. Bizde gerçekleştirdiğimiz sistemde fosil kaynaklı yakıtlara bağımlılığımız ortadan kaldırmayı hedefledik. Bu nedenle şebeke bağlantılı ve akü destekli bir sistem kurmayı tercih ettik.

Eren, (2012), çalışmasında, RES kurulacak bölgede halk ile görüşerek onların tutum ve yaklaşımlarını incelemiştir. Katılımcıların büyük çoğunluğu enerji konusunda ki dışa bağımlılıktan kurtulmak adına YBEK’nın kullanımına ılımlı yaklaşıtlarını ortaya koymuştur. Bizimde bu çalışmamızda Vali Konağı için Ordu Valiliği adına proje yazmamızdaki amaç; yerel yönetim üzerinden halkın bilinçlendirilmesinin ve teşviklerinin daha etkili olacağı düşüncemizdi.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ordu İli, Kabadüz İlçesi, Çambaşı bölgesinde bulunan Ordu Valiliği'ne ait Vali Konağı'nın enerji ihtiyacını karşılayabilecek, PV panelleri ve rüzgâr türbininden oluşan hibrit sistem kurulumu gerçekleştirilmiştir. Sistem için gerekli bütçe, Valilik adına Doğu Karadeniz Kalkınma Ajansı (DOKA) Doğrudan Faaliyet Desteği (DFD) programına yazmış olduğumuz TR90-14-DFD-0066 numaralı projeden karşılanmıştır.

Tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilerek test ve ölçümleri yapılan “Kırsal Tesisler İçin Hibrit (Rüzgâr + Güneş) Sistem” aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- 10 adet 200Wp gücünde PV panel, 1 adet 3200W gücünde rüzgâr türbini ile jel akü grubundan oluşan hibrit sistem kurulumu gerçekleştirilmiştir.
- Kullanılan inverter; 500 VDC maksimum giriş voltajı, 20 A maksimum giriş akımı, 48 VDC batarya şarj gerilimi, 25 A batarya şarj akımı değerlerine sahiptir.
- 48 V (4 adet 12 V) ve 200 Ah akü gurubu inverter üzerinden sürekli şarj edilmektedir.
- Hibrit sistemi oluşturan birimlerin Matlab/Simulink programında tasarımı yapılarak farklı senaryolarla analizi gerçekleştirilmiştir.
- Kurulan hibrit sistemin güneş panellerinin konumlandırılmaları için yapılan çalışmalarda, Ordu-Kabadüz-Çambaşı mevki için güney-kuzey doğrultusunda ve güneş açısı 30° olarak belirlenmiştir. Panellerin montajı bu açı ile Valilik Konağı'nın bahçesinde, hem konaktan hem de rüzgâr türbininden etkilenmeyecek şekilde gerçekleştirilmiştir.
- Konağın bulunduğu yere yakın ve konak tarafından rüzgârın engellenmeyeceği konuma rüzgâr türbini yer tespiti gerçekleştirilmiştir. Yer tespitinden sonra firmadan alınan veriler doğrultusunda 2m x 2m x 2m boyutlarında çukur açılarak demir bağlantıları yapıp, direk flanş yerleştirilmiş ve betonlama işlemleri tamamlanmıştır. Beton zeminin tamamlanmasının ardından 12 m yüksekliğindeki direğe rüzgâr türbinin montajı tamamlanıp flanş yardımıyla yere sabitlemesi yapılmıştır.
- Kurulan hibrit sistem, hem şebeke bağlantılı (ongrid) hem de şebeke bağlantısız (offgrid) çalışabilmektedir.



- Güneş ve rüzgâr mevcut olduğunda, rüzgâr türbini aracılığıyla yük doğrudan beslenmekte, PV panelleri aracılığıyla hem yük beslenmekte hem de aküler şarj etmektedir.
- Rüzgâr ile güneş mevcut değilse ve akülerde enerji yoksa gerekli enerji şebekeden alınarak hem yüklerin enerjisi sağlanmakta hem de aküler şarj edilmektedir.
- Sistemde bulunan aküler, enerji devamlılığını sağlamak için kullanılmıştır.
- Bu hibrit sistemi benzerlerinden ayıran en önemli özelliği; 2 adet inverter kullanılarak DA/AA dönüşümü gerçekleştirilmektedir. Rüzgâr türbininin çıkışında kullanılan inverterin çıkışındaki enerji doğrudan evin enerji hattına bağlanmıştır. Şebeke enerjisinin kesilmesiyle beraber rüzgâr türbini enerji üretimini durdurmaktadır.
- PV panellerin ve akü grubunun çıkışlarına DA/AA inverter bağlanarak evin enerji hattına bağlantısı sağlanmıştır. Ayrı ek bir hat çekilerek şebekenin enerji kesilmesi ve panellerin enerji üretmemesi durumunda, akülerin sağlayacağı enerji ile evde bulunan acil öncelikli cihazların çalıştırılması sağlanmaktadır.
- Sistemde kullanılan inverterler üzerindeki panellerden, anlık, günlük, aylık ve yıllık üretilen gerilim, akülerin gerilimi ve şebeke enerjisi kayıt edilmektedir. Ayrıca akülerin elle devreye alma ve devreden çıkarma işlemleri yapılabilmektedir. Bunların yanı sıra eklenecek modüllerle üretilen enerji değerlerinin uzaktan takibine imkân vermektedir.
- Akü grubu şarj edildikten sonra enerji, şebekeye verilmektedir. Böylece, tasarlanan sistem kesintisiz güç kaynağı görevini de üstlenmektedir.
- Önemli bir diğer faydası ise; üretilen enerji aküleri şarj edip evin ihtiyacını da karşıladıktan sonra fazla olması halinde kullanılacak çift yönlü sayaç ile kullanıcının belirli bir dönem satıcı konumunda olabilmesi ve ödenecek fatura bedelini azaltarak ekonomik katkı sağlanabilmesidir.

## 6. KAYNAKLAR

- Ateş, A.M., Çetin N.S. 2012. Rüzgâr Parametreleri İzleme Sistemi Ve Uygulaması. Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu, Teknik Bilimler Dergisi, 1(17): 1-14.
- Ayhan, D. 2011. Bina Montajlı Güneş-Rüzgâr Hibrit Elektrik Güç Sistemlerinin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ataseven, M.S. 2014. “Rüzgârda Hedef Elektriğin Yüzde 20’sini Üretmek”, <http://www.hurriyet.com.tr/ankara/19188528.asp>-(Erişim Tarihi: 18.11.2014).
- Baran, B. 2012. Güneş - Rüzgâr Hibrit Sistemlerin Maliyet Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Başaran, K., Çetin, N.S., Çelik, H. 2011. Rüzgâr-Güneş Hibrit Güç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 114-119
- Başaran, K. 2013. Bulanık Mantık Kontrollü Otonom Ve Şebeke Bağlantılı Rüzgâr-Güneş Hibrit Güç Sisteminin Optimizasyonu Ve Adnan Menderes Üniversitesi Kampüs Alanında Uygulanması. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- BNEF, 2012. The Future of Energy 2012 Results Book, Bloomberg New Energy Finance, 19-21 March 2012, New York, 40s.
- Çubukçu, M. 2011. Türkiye’nin Farklı Konumlarında Farklı Topolojilerde Fotovoltaik-Rüzgâr-Yakıt Pili Hibrit Güç Sistemlerinin Modellenmesi, Karşılaştırmalı Simülasyonu Ve Uygulamalı Performans Analizi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Demirtaş, M. 2008. Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Kullanılarak Şebeke ile Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Dinçsoy, M.E. 2010. Orta Ölçekli Bir Otelin Elektrik Enerjisinin Hibrit Sistemler İle Modellenmesi Ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Limitsizenerji, 2014. “Bir Rüzgâr Türbininin Anatomisi”. <http://www.limitsizenerji.com/haberler/makaleler/933-bir-ruzgar-turbininin-anatomisi->(Erişim Tarihi: 30.10.2014).
- EİE, 2014. “Rüzgâr Türbinin Kullanımı Ve Gelişimi”, [http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar\\_turbin.html](http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_turbin.html)-(Erişim Tarihi: 30.10.2014).
- Engin, M., 2010, Bornova İçin Güneş - Rüzgâr Hibrit Enerji Üretim Sistemi Tasarımı, Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 2(13): 11-20.
- Erdoğan, O. 2012. Şebekeden Bağımsız Uygulamalar İçin Hibrit Bir Rüzgâr Türbini/Fotovoltaik/Yakıt Hücresi/Batarya Sisteminin Optimizasyonu, Tasarımı Ve Uygulaması. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- Eren, Z. 2012. Kırsal Alanda Yaşayan Bireylerin Rüzgâr Enerji Santralleri Hakkındaki Düşünceleri: Hatay İli Örneği.Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Fvgenergy, 2014. “Installation, Use And Maintenance Of Fvg Energy Photovoltaic Modules”. [http://www.fvgenergy.com/docs/installation\\_manual.pdf](http://www.fvgenergy.com/docs/installation_manual.pdf)-(Erişim Tarihi: 22.11.2014).
- GEKA, 2011.Güney Ege Bölgesi Yenilenebilir Enerji Çalışma Raporu, T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı, Denizli, 43s.
- GustavssonM., Mtonga D. 2005.Lead-AcidBatteryCapacity in Solar Home Systems—Field Testsand Experiences in Lundazi, Zambia, SolarEnergy, 79(5): 551-558.
- Hocaoğlu, F.O., Kurban, M. ve Filik, Ü.B. 2007.WAsP Yazılımı İle Rüzgâr Potansiyeli Analizi Ve Uygulama, *EMO-IV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Gaziantep.
- IEA, 2011.Trends in Photovoltaicapplications: Surveyreport of selected IEA countriesbetween 1992 and 2010, International EnergyAgency, Report IEA-PVPS pres, 17-18p.
- IRENA, 2012. Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series, International Renewable Energy Agency, 5/5(1):12-13.
- Kalvandi, M.,Moradi, M.H., Meyabadi, A.F. 2013. Wind-PhotovoltaicHybridSystemCapacityOptimizationForCathodeConservation Station. International ResearchJournal of Appliedand Basic SciencesVol, 7 (5): 259-266.
- Kekezoğlu, B. 2007. Şebekeden Bağımsız Çalışan Hibrid Enerji Sistemlerinde Risk Değerlendirmesi.Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kıyak, İ. 2010.Rüzgâr-Güneş Hibrid Güç Sistem Beslemeli Bir Mekanın Aydınlık Düzeyinin Led’li Armatürler Kullanılarak Kontrolü. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Kumar, S.,Garg, V. 2013.HybridSystem Of Pv Solar / Wind&Fuel Cell, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronicsand Instrumentation Engineering (An ISO 3297: 2007 CertifiedOrganization) August 2013 Vol. 2, Issue8 : 3666-3679.
- Koca, N., 2006, Konutlarda Hibrit Enerji Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- Köse, G. 2010. Hibrit (Güneş+Rüzgâr) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: KÜTAHYA Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya
- Mathworks, 2014a. “Wind Turbine Matlab/Simulink Model”, [http://www.mathworks.com/searchresults?utf8=%E2%9C%93&c\[\]=matlabcentral&q=wind+turbine+.mdl](http://www.mathworks.com/searchresults?utf8=%E2%9C%93&c[]=matlabcentral&q=wind+turbine+.mdl)-(Erişim Tarihi: 30.10.2014).

- Mathworks, 2014b. "Hybrid PV And Wind Power System", <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/46410-hpw-slx-> (Erişim Tarihi: 30.10.2014).
- Nayir, A.,Pecen, R. 2011. Yenilenebilir Enerji Sistemleri Gözleme ve Uygulama Laboratuvarı, Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu (FEEB 2011), Elazığ/ Türkiye:279-283.
- Neoenerji, 2014a. "FVG 72-125 PV Panel Teknik Özellikleri", <http://www.neoenerji.com/urunler/assets/files/1-gunes/gunes-paneli/Fvg/FVGENERGY-PV-modules-catalogue.pdf->(Erişim Tarihi: 22.11.2014).
- Neoenerji, 2014b. "Whisper500 Rüzgâr Türbini Teknik Özellikleri", [http://www.neoenerji.com/urunler/assets/files/2-ruzgar/Ruzgar\\_turbini/3.2kw/Teknik\\_ozellikler-Whisper500.pdf-](http://www.neoenerji.com/urunler/assets/files/2-ruzgar/Ruzgar_turbini/3.2kw/Teknik_ozellikler-Whisper500.pdf-)(Erişim Tarihi: 22.11.2014).
- Neoenerji, 2014c. "Solarrouter Hibrit İnverter Teknik Özellikleri", [http://www.neoenerji.com/urunler/assets/files/3-inverter/Hibrid\\_inverter/Diger\\_dokumanlar/Teknik\\_ozellikler.pdf-](http://www.neoenerji.com/urunler/assets/files/3-inverter/Hibrid_inverter/Diger_dokumanlar/Teknik_ozellikler.pdf-)(Erişim Tarihi: 22.11.2014).
- Neoenerji, 2014d. "EurostarEA\_serisi Akü Teknik Özellikleri", [http://www.neoenerji.com/urunler/assets/files/4-aku/Aku/Eurostar/EA\\_serisi/EA\\_12V\\_200Ah.pdf-](http://www.neoenerji.com/urunler/assets/files/4-aku/Aku/Eurostar/EA_serisi/EA_12V_200Ah.pdf-)(Erişim Tarihi: 22.11.2014).
- Nowdeh, S.A.,Hajibeigy, M., 2013, Economic Designing of PV/FC/Wind Hybrid System Considering Components Availability, I. J. Modern Education and Computer Science (September 2013):69-77.
- Oğuz, E. 2012. Bir Laboratuar Aydınlatma Sistemi İçin Batarya Desteklemeli Rüzgâr-Güneş Hibrit Güç Üretim Sisteminin Simülasyonu Ve Bulanık Mantık Kontrolör İle Enerji Akış Kontrolü.Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar
- Oğuz, Y. 2007. Hibrit Güç Üretim Sisteminin Modellemesi, Analizi Ve Neuro-Fuzzy Kontrolör Kullanılarak Sistem Performansının İyileştirilmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Özcan, H. 2009. Bir Hibrit Enerji Sisteminin Modellenmesi Ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Özsoy, M.F. 2011. Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sistemi İle Bir Elektrik Laboratuvarının Genel Aydınlatma Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar
- Pachori, A., Suhane, P. 2014. Modeling and Simulation of Photovoltaic / Wind / Diesel / Battery Hybrid Power Generation System. International Journal of Electrical, Electronics and Computer Engineering 3(1): 122-125.
- REN21, 2012. Renewable 2012 Global Status Report, Paris, 171p.
- REN21, 2013. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Renewables 2013 Global Status Report.
- Salmanoğlu, F. 2009. Rüzgâr – Fotovoltaik Otonom Hibrit Güç Sistemlerinin Algoritmik Bir Yaklaşımla Optimal Tasarımı.Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

- Sevim, C. 2008. Avrupa Birliği'nde ve Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Pazarındaki Gelişmeler, Enerji Dünyası.
- Subrahmanyam, J.B.V., Alluvada, P., Bandana, Bhanupriya, K., Shashidhar, C. 2012. Renewable Energy Systems: Development and Perspectives of a Hybrid Solar-Wind System. ETASR - Engineering, Technology&Applied Science Research, Vol. 2, No. 1: 177-181.
- Şimşek, Ö. 2012. Parabolik Güneş Kolektörü Tasarımı, İmalatı, Test Edilmesi Ve Kırsal Bölgelerde Isıtma Kullanım Alanı Fizibilitesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Şipar, E. 2011. Rüzgâr Enerjisi Türbin Sistemleri İçin Gerçek Zamanlı Dinamik Analiz Simülatörü Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Telli, A.Y. 2010. Şebeke Bağlantılı Ve Şebekeden Bağımsız Hibrit Güç Sistemleriyle Enerji Üretiminin Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul
- Toprak, A., Akkaya, R. 2011. Düşük Güçlü Bir Rüzgâr Enerji Sistemi İçin İnverter Uygulaması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(6): 275-278.
- Yasin, A., Napoli, G., Ferraro M., Antonucci, V. 2011. Modelling and Control of a Residential Wind/PV/Battery Hybrid Power System with Performance Analysis. Journal of Applied Sciences, 11: 3663-3676.
- YEGM, 2014a. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, "Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)", <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>-(Erişim Tarihi: 18.11.2014).
- YEGM, 2014b. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, "Türkiye RES Haritası", [http://www.yegm.gov.tr/images/res\\_haritasi.png](http://www.yegm.gov.tr/images/res_haritasi.png)-(Erişim Tarihi: 18.11.2014).
- YEGM, 2014c. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, " Ordu ili Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)", <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/52.aspx>-(Erişim Tarihi: 18.11.2014).
- YEGM, 2014d. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, " Ordu İli Rüzgâr Kaynak Bilgileri", <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/ORDU-REPA.pdf>-(Erişim Tarihi: 18.11.2014).

## EK LİSTESİ



### Technical Specifications

<b>Rotor Diameter</b>	15 feet (4.5 m)
<b>Weight</b>	155 lb (70 kg)
<b>Shipping Dimensions</b>	Box 1 (body): 36 x 25 x 32 in (914 x 635 x 812 mm) 295 lb (133.8 kg)
	Box 2 (blades): 88 x 12 x 6 in (2235 x 305 x 152 mm) 38 lb (17.2 kg)
	Box 3 (controller): 22 x 15 x 10 in (559 x 381 x 254 mm) 75 lb (35 kg)
<b>Mount</b>	5 in schedule 40 (12.7 cm) pipe
<b>Start-Up Wind Speed</b>	7.5 mph (3.4 m/s)
<b>Voltage</b>	24, 36, 48 VDC (high voltage avail)
<b>Rated Power</b>	3000 watts at 24 mph (10.5 m/s)
<b>Peak Power</b>	3200 watts at 27 mph (12 m/s)
<b>Turbine Controller</b>	Whisper Charge Controller (included)
<b>Body</b>	Welded steel; powder coated protection (not marine grade)
<b>Blades</b>	2-Carbon reinforced fiberglass
<b>Overspeed Protection</b>	Side-furling
<b>Kilowatt Hours/Month</b>	538 kWh/mo at 12 mph (5.4 m/s)
<b>Survival Wind Speed</b>	120 mph (55 m/s)
<b>Warranty</b>	5 year limited warranty

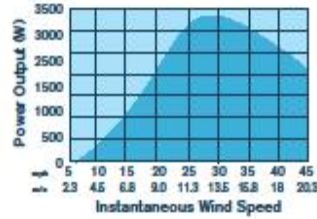
## WHISPER Whisper 500

### Serious Power from a Medium Sized Small Wind Turbine

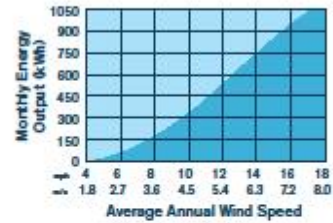
The Whisper 500 can produce enough energy to power an entire home. Assuming a 12 mph (5.4 m/s) wind, a Whisper 500 will produce as much as 500 kWh per month. That is enough energy to power the average California home.

- 5 year warranty
- Durable composite blades
- Powder coated steel body
- Includes Whisper Controller with diversion load and display
- Angle-governor protects blades and allows maximum output in any wind

#### POWER



#### MONTHLY ENERGY



**FIVE YEAR WARRANTY**

#### Southwest Windpower

1801 W. Route 66 928.779.9463  
Flagstaff, AZ 86001 USA www.windenergy.com

Makers of Skystream 3.7® / AIR / Whisper

♻️ Printed on recycled paper using vegetable inks.

Ek 1. Rüzgâr türbini teknik özellikleri

# FVG 72-125

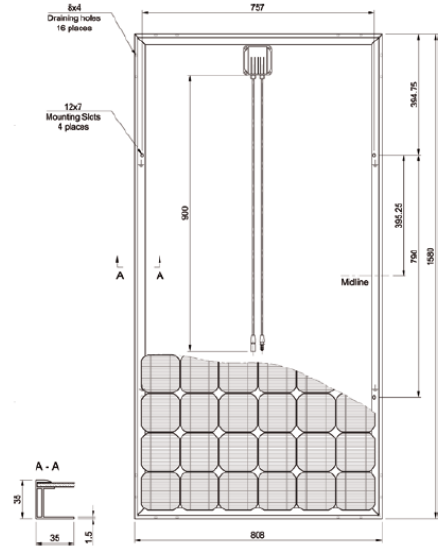
## 5" MONOCRYSTALLINE



### ELECTRICAL FEATURES

Type	Model	xxx Rated Power [W]				STC
		185	190	195	200	
FVG 72-125	FVG xxxM-MC*	185	190	195	200	
Module Efficiency	$\eta_m$ (%)	14.50	14.90	15.27	15.66	
Cell Efficiency	$\eta_c$ (%)	17.30	17.50	17.80	18.00	
Power Peak	Pm (W)	185	190	195	200	
Maximum Power Voltage	Vm (V)	36.40	36.60	36.80	37.10	
Maximum Power Current	Im (A)	5.10	5.20	5.30	5.40	
Open Circuit Voltage	Voc (V)	44.50	45.20	44.65	44.70	
Short Circuit Current	Isc (A)	5.53	5.62	5.72	5.80	
Maximum System Voltage	(VDC)	1000				
Power Output Tolerance	(W)	0 / + 5				
Max-Series Fuse	(A)	10				
Operating/Storage Temp.	(°C)	- 40 ~ + 85				
Dielectric Insulation Voltage	(VDC)	3000 max				
Code	MFM	50187	50188	50189	50190	

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, module temperature 25 °C, AM=1.5  
Power measurement tolerance: ± 3%



### NOCT

Typical Power at NOCT	Pm (W)	xxx Rated Power [W]			
		185	190	143	147
Maximum Power Voltage	Vm (V)	33.00	33.10	33.28	33.60
Maximum Power Current	Im (A)	4.11	4.20	4.30	4.38
Open Circuit Voltage	Voc (V)	41.20	41.30	41.45	41.60
Short Circuit Current	Isc (A)	4.48	4.56	4.66	4.75

NOCT: Irradiance 800 W/m<sup>2</sup>, ambient temperature 20 °C, wind speed 1 m/s  
Power measurement tolerance: ± 3%

### JUNCTION BOX

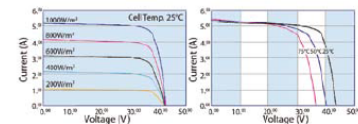


3 by-pass diodes  
CIXI REHNE PHOTOVOLTAIC  
PV -RH 0501B  
IP67 MC4 connectors  
900 mm cable length

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS - STC

NOCT - Nominal Operating Cell Temperature	(°C)	45 ± 2
Pm Temperature Coefficient	(%/°C)	- 0.45
Voc Temperature Coefficient	(%/°C)	- 0.34
Isc Temperature Coefficient	(%/°C)	0.05

### CURVE CURRENT - VOLTAGE



### MECHANICAL FEATURES

Cell Size	(mm)	125 x 125
Number of cells		72 cells - monocrystalline silicon
Module Dimensions	(mm)	1580 x 808 x 35
Module Weight	(kg)	15.50
Front Glass		3.2 mm tempered glass
Frame		anodized aluminum alloy
Junction box		3 by-pass diodes
Connectors		IP65 type MC4
Output Cables	(mm)	900

### PACKING FEATURES

Carton Dimensions	(mm)	1610 x 830 x h85
Pallet Dimensions	(mm)	1650 x 1100 x h1950
Pallet Weight	(kg)	850
1 Carton		2 modules
1 Pallet		25 cartons (50 modules)
Container Loading Capacity 20	(ft)	300 modules (6 pallets)
Container Loading Capacity 40	(ft)	700 modules (14 pallets)

\*xxx suffix indicates Rated Power [W]  
suffix B indicates a black sheet of Tedlar

## Ek 2. PV panel teknik özellikleri

<b>PV INPUT (DC)</b>	
Maximum DC Voltage	500VDC
MPP Voltage Range	250 VDC – 450VDC
DC Nominal Voltage	360VDC
Start-up Voltage / Initial Feeding Voltage	116 VDC / 150 VDC
Maximum Input Current	13 A / 3200Wmax
<b>GRID/UTILITY INPUT (AC)</b>	
Nominal AC Voltage	208-240 VAC
Acceptable Voltage Range	184 - 265 VAC
Maximum Input Current	20 A
<b>GRID OUTPUT (AC)</b>	
Nominal AC Voltage / Range	208-240 VAC
Output Voltage Range	184 - 265 VAC
Maximum Feeding Power	3000 W
AC Grid Frequency Range	47.5 ~ 60.5 Hz
Nominal Output Current	13.6 A
Power Factor	>0.99
<b>BATTERY MODE OUTPUT (AC)</b>	
Output Voltage	208-240VAC
Output Frequency	50/60 Hz
Output Waveform	Pure sine wave
Efficiency (DC to AC)	95.5% grid 92% battery
<b>BATTERY &amp; CHARGER</b>	
Nominal DC Voltage	48 VDC
Maximum Charging Current	25 A
<b>PHYSICAL</b>	
Dimension, D X W X H (mm)	420 x 415 x 170
Net Weight (kgs)	21kg
<b>INTERFACE</b>	
Communication Port	RS-485/RS-232
Intelligent Slot	Optional SNMP card or Modbus card available
<b>ENVIRONMENT</b>	
Humidity	0 ~ 90% RH (No condensing)
Operating Temperature	0 to 40°C
Altitude	0 ~ 1000 m*

**Ek 3.** Hibrit inverter teknik özellikleri





### THE RENEWABLE ENERGY BATTERY SPECIALIST



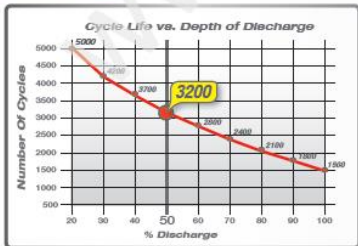
WAREHOUSE



TRANSPORT



PRODUCT RANGE



TECHNICAL PERFORMANCE

- All batteries from stock.
- Bulk AGM stock available.
- Large 2V cells in stock up to 3400Ah
- FREE DELIVERY (on orders over €6000 into EU Mainland)
- FAST DELIVERY (5-10 days into EU Mainland)
- No minimum order for delivery
- 4000 - Extensive Range (1280 cycles @ 50%)
- 4500 - Compact Flooded (2720 cycles @ 50%)
- 5000 - 2V Cells (3200 cycles @ 50%)
- AGM - 6V & 12V Cells (1250 cycles @ 50%)
- Best Warranty - upto 10 years
- Best Deep Cycle Rates
- Full Technical Assistance

#### Ek 4. Akülerin teknik özellikleri

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Halil ULUTAŞ  
**Doğum Yeri** : Samsun  
**Doğum Tarihi** : 01.03.1981  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-mail** : ulutas55@gmail.com  
**İletişim Bilgileri** : Altınordu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi  
Bilişim Teknolojileri Alanı

### Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/ Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Elektronik Öğretmenliği	Kocaeli Üniversitesi	2001 - 2005
Y. Lisans	Yenilenebilir Enerji	Ordu Üniversitesi	2013 - 2015

### İş Deneyimi:

Görev	Görev Yeri	Yıl
Öğretmen	İstanbul Bayrampaşa Nail Reşit İlköğretim Okulu	2005-2006
Öğretmen	Sivas İmranlı Atatürk İlköğretim Okulu	2006-2009
Teknik Öğretmen	Ordu Altınordu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	2009-...

### Yayımlar:

1. Türkmenoğlu, V., Atasorkun, M., Ulutaş, H. 2014. Economic Wind Direction and Speed Measurement System Design. 7th International Ege Energy Symposium, 19June 2014, Uşak University, Uşak.
2. Türkmenoğlu, V., Ulutaş, H., Atasorkun, M. 2014. Rüzgâr Hız ve Yön Ölçüm Sistemi Tasarımı ve SWOT Analizi. Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi, Cilt:1 Sayı:1 Yıl:2014.