



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

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YENİLENEBİLİR MİKROGRİD SİSTEMİN META-SEZGİSEL BİR  
YÖNTEM İLE OPTİMAL GÜÇ PLANLAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖZAY CAN**

**OCAK 2016**

**DÜZCE**

## **KABUL VE ONAY BELGESİ**

Özay CAN tarafından hazırlanan “Yenilenebilir Mikrogrid Sistemin Meta-Sezgisel Bir Yöntem ile Optimal Güç Planlaması” isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 28.12.2015 tarih ve 2015/1125 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Üye  
(Tez Danışmanı)  
Prof. Dr. Nedim TUTKUN  
Düzce Üniversitesi

Üye  
Doç. Dr. Numan ÇELEBİ  
Sakarya Üniversitesi

Üye  
Yrd. Doç. Dr. Selman KULAÇ  
Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih : 07.01.2016

### **ONAY**

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Özay CAN’ın Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

17 Aralık 2015

Özay CAN



*Dua şemsiyeleriyle beni daima koruyan  
anneme ve babama...*

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca gerek ders döneminde gerekse tez danışmanlığımı üstlenerek tez konumun belirlenmesinde, tezimin hazırlanmasında ve sunumunda benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nedim TUTKUN'a desteklerinden ötürü saygılarımı sunarım.

Yaşamımın her anında, bazen bedenen ayrı kalsak da hep yanımda olan, sevinçlerimi ve üzüntülerimi paylaşan, her tökezlediğimde ayağa kalkmamdaki en büyük neden olan, bugüne kadar almış olduğum diplomaları benden çok hak eden babam Nuri CAN'a ve annem Ayşe CAN'a her ne kadar haklarını ödeyemeyeceğimi bilsem de emekleri için teşekkür eder, ellerinden öperim.

Kardeşleri olmaktan her zaman mutluluk duyduğum, ileride yaşlı birer dede ve nine olunca bile bir araya geldiğimizde birlikte çocuklaşmaktan bıkmayacağım ablalarım Nurten ERDURAN'a, Ayten KAYIR'a ve Esra ÇAVDAR'a sonsuz teşekkürler...

Hayatımıza sonradan katılan, ablalarımın hayat arkadaşları, enişterim Barbaros ERDURAN'a, Ercan KAYIR'a ve Ramazan ÇAVDAR'a saygılarımı sunarım.

Efecan, Elif İkra, Elif Azra ve aramıza katılmaları için gün saydığımız biricik yeğenlerime hayatlarında başarı, sağlık ve mutluluklar dilerim.

Hayatımda az da olsa bir şeyler başarabildiysem bunda emeği olan tüm akrabalarım, öğretmenlerime ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

**17 Aralık 2015**

**Özay CAN**

<b>TEŞEKKÜR SAYFASI .....</b>	<b>i</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>ii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ .....</b>	<b>v</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ .....</b>	<b>viii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....</b>	<b>ix</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>EXTENDED ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.1. Rüzgar Enerjisi .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.2. Güneş Enerjisi .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.3. Hidroelektrik Enerjisi .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.4. Jeotermal Enerji .....</b>	<b>13</b>
<b>2. YENİLENEBİLİR MİKROGRİD SİSTEM .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. RÜZGAR ENERJİSİ SİSTEMLERİ .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.1. Rüzgar Türbinlerinde Üretilen Güç .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2. Weibull Dağılım Fonksiyonu .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.3. Rüzgar Türbinlerinin Yapısı .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.3.1. Kule .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.3.2. Rotor .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.3.3. Dişli Kutusu .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.3.4. Generatör .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.3.5. Yaw (Sapma) Mekanizması .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.3.6. Kontrol Merkezi .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.3.7. Diğer Bileşenler .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.4. Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.4.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT) .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.4.2. Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT) .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER .....</b>	<b>27</b>

2.2.1. FV Hücresinin Çalışma Prensibi .....	29
2.2.2. FV Hücresinin Devre Modeli .....	32
2.2.3. Güneş ve Dünya Arasındaki Hareket .....	34
2.2.4. FV Sistem Bileşenleri .....	36
2.2.5. FV Hücre Yapımında Kullanılan Malzemeler .....	37
2.2.5.1. Tek Kristalli Silikon .....	37
2.2.5.2. Çok Kristalli Silikon .....	38
2.2.5.3. Amorf Silikon .....	38
2.2.5.4. İnce Film .....	38
2.3. DİZEL JENERATÖR .....	38
2.3.1. Dizel Jeneratörlerin Temel Yapısı .....	39
2.3.1.1. Motor .....	39
2.3.1.2. Alternatörler .....	40
2.3.1.3. Yakıt Sistemi .....	40
2.3.1.4. Gerilim Regülatörü .....	40
2.3.1.5. Soğutma ve Egzoz Sistemi .....	40
2.3.1.6. Yağlama Sistemi .....	40
2.3.1.7. Kontrol Paneli .....	40
<b>3. YENİLENEBİLİR MİKROGRİD SİSTEMİN META-SEZGİSEL BİR YÖNTEM İLE OPTİMAL GÜÇ PLANLAMASI .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1. GERÇEK KODLU GENETİK ALGORİTMALAR (GKGA) .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2. GKGA’LARIN TEMEL OPERATÖRLERİ .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.1. Seçim .....</b>	<b>43</b>
3.2.1.1. Rulet Çemberi Yöntemi .....	43
3.2.1.2. Sıralama Yöntemi .....	44
3.2.1.3. Turnuva Yöntemi .....	44
<b>3.2.2. Çaprazlama .....</b>	<b>45</b>
3.2.2.1. Tek Noktalı Çaprazlama .....	45
3.2.2.2. İki Noktalı Çaprazlama .....	45
3.2.2.3. Üniform Çaprazlama .....	45
<b>3.2.3. Mutasyon .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3. GKGA’LARIN ADIMLARI .....</b>	<b>46</b>
<b>3.4. OPTİMAL GÜÇ PLANLAMA .....</b>	<b>46</b>
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>51</b>
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>65</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>68</b>

**ÖZGEÇMİŞ .....72**





## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Mikrogrid Sistem	6
Şekil 1.2. Rüzgar/FV Hibrit Sistem	6
Şekil 1.3. Türkiye Rüzgar Atlası	10
Şekil 1.4. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası	11
Şekil 2.1. Rüzgar Türbini İşletiminde Farklı Hız Bantlarının Gösterimi	16
Şekil 2.2. Bir Rüzgar Türbinine Doğru Hareket Eden Hava Kütlesi	18
Şekil 2.3. Weibull Eğrisi	21
Şekil 2.4. Rüzgar Türbininin Genel Yapısı	21
Şekil 2.5. Üç Kanatlı YERT	24
Şekil 2.6. YERT'lerin Kanat Sayısına Göre Sınıflandırılması	25
Şekil 2.7. YERT'lerin Rüzgar Alma Yönüne Göre Sınıflandırılması	25
Şekil 2.8. Darrieus Rüzgar Türbini	26
Şekil 2.9. Savonius Rüzgar Türbini	27
Şekil 2.10. Musgrove Rüzgar Türbini	27
Şekil 2.11. FV Hücresinin Yapısı	28
Şekil 2.12. FV Hücre, Modül ve Panel	29
Şekil 2.13. p-n Birleşimi	29
Şekil 2.14. Yarıiletken Malzemenin Yapısı	30
Şekil 2.15. FV Etkisiyle Elektrik Akımı Oluşumu	30
Şekil 2.16. İleri Yönde Kutuplama	31
Şekil 2.17. Sıcaklığın Akım ve Gerilim Üzerindeki Etkisi	31
Şekil 2.18. Güneş Radyasyonunun Akım ve Gerilime Etkisi	32
Şekil 2.19. FV Hücrenin Tek Diyotlu Elektriksel Eşdeğer Devresi	32
Şekil 2.20. Dünya'nın Güneş Etrafındaki Hareketi ve Yılın Farklı Zamanlarındaki Deklinasyon Açılıarı	34
Şekil 2.21. Deklinasyon Açısı	35
Şekil 2.22. Zenit Açısı ve Yükseklik Açısı	36
Şekil 2.23. FV Sistem Bileşenleri	37
Şekil 2.24. Dizel Jeneratörün Temel Bileşenleri	39
Şekil 3.1. GKGA Akış Diyagramı	42
Şekil 3.2. Rulet Çemberi Seçim Yöntemi	44
Şekil 3.3. Mutasyon İşlemi	45

Şekil 3.4.	Tipik Bir Yenilenebilir Off-Grid Sistem	46
Şekil 3.5.	Üretilen Gücün Saatlik Bazda Değişimi	48
Şekil 3.6.	Elektrikli Cihazların Kurulu Güç Üzerindeki Dağılımı	49
Şekil 3.7.	Fazla Güç Durumu	49
Şekil 3.8.	Deşarj Edilen Güç Durumu	50
Şekil 3.9.	Eksik Güç Durumu	50
Şekil 4.1.	Birinci Durum İçin Saatlik Bazda Yük Değişimi	51
Şekil 4.2.	Birinci Durum İçin Saatlik Bazda Şarj-Deşarj Değişimi	52
Şekil 4.3.	Birinci Durum İçin Saatlik Bazda Fazla Güç Değişimi	52
Şekil 4.4.	Birinci Durum İçin Saatlik Bazda Dizel Jeneratör Güç Değişimi	53
Şekil 4.5.	İkinci Durum İçin Saatlik Bazda Yük Değişimi	53
Şekil 4.6.	İkinci Durum İçin Saatlik Bazda Şarj-Deşarj Değişimi	54
Şekil 4.7.	İkinci Durum İçin Saatlik Bazda Fazla Güç Değişimi	54
Şekil 4.8.	İkinci Durum İçin Saatlik Bazda Dizel Jeneratör Güç Değişimi	55
Şekil 4.9.	Üçüncü Durum İçin Saatlik Bazda Yük Değişimi	55
Şekil 4.10.	Üçüncü Durum İçin Saatlik Bazda Şarj-Deşarj Değişimi	56
Şekil 4.11.	Üçüncü Durum İçin Saatlik Bazda Fazla Güç Değişimi	56
Şekil 4.12.	Üçüncü Durum İçin Saatlik Bazda Dizel Jeneratör Güç Değişimi	57
Şekil 4.13.	Dördüncü Durum İçin Saatlik Bazda Yük Değişimi	57
Şekil 4.14.	Dördüncü Durum İçin Saatlik Bazda Şarj-Deşarj Değişimi	58
Şekil 4.15.	Dördüncü Durum İçin Saatlik Bazda Fazla Güç Değişimi	58
Şekil 4.16.	Dördüncü Durum İçin Saatlik Bazda Dizel Jeneratör Güç Değişimi	59
Şekil 4.17.	Beşinci Durum İçin Saatlik Bazda Yük Değişimi	59
Şekil 4.18.	Beşinci Durum İçin Saatlik Bazda Şarj-Deşarj Değişimi	60
Şekil 4.19.	Beşinci Durum İçin Saatlik Bazda Fazla Güç Değişimi	60
Şekil 4.20.	Beşinci Durum İçin Saatlik Bazda Dizel Jeneratör Güç Değişimi	61
Şekil 4.21.	Altıncı Durum İçin Saatlik Bazda Yük Değişimi	61
Şekil 4.22.	Altıncı Durum İçin Saatlik Bazda Şarj-Deşarj Değişimi	62
Şekil 4.23.	Altıncı Durum İçin Saatlik Bazda Fazla Güç Değişimi	62
Şekil 4.24.	Altıncı Durum İçin Saatlik Bazda Dizel Jeneratör Güç Değişimi	63

Şekil 4.25. Altı Durum Senaryosu İçin Günlük Ortalama Maliyet	63
Şekil 4.26. Altı Durum Senaryosu İçin Günlük Maksimum Maliyet	64
Şekil 4.27. Altı Durum Senaryosu İçin Günlük Minimum Maliyet	64



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa No

Çizelge 1.1.	Türkiye'nin farklı bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyeli	9
Çizelge 1.2.	Türkiye rüzgar enerjisinin kurulu gücünün yıllara göre dağılımı	10
Çizelge 1.3.	Türkiye'deki işletmedeki bazı rüzgar santralleri ve kurulu güçleri	11
Çizelge 1.4.	Türkiye'deki Aylık Güneş Enerjisi Potansiyeli	12
Çizelge 1.5.	Türkiye'deki HES ve Baraj Durumu	13
Çizelge 1.6.	Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi Yapılan Bölgeler	14
Çizelge 2.1.	FV Sistemin Avantajları ve Dezavantajları	28
Çizelge 3.1.	Evde Kullanılan Elektriksel Cihazlar	48
Çizelge 4.1.	Optimal Güç Planlaması Gerçekleştirilen Durum Senaryoları	51

## SİMGELER VE KISALTMALAR

DERT	Düşey Eksenli Rüzgar Türbini
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	Devlet Su İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
FV	Fotovoltaik
GA	Genetik Algoritma
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GKGA	Gerçek Kodlu Genetik Algoritma
HES	Hidroelektrik Santral
MTA	Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü
TUREB	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
TÜRSAT	Türkiye Rüzgar Atlası
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YERT	Yatay Eksenli Rüzgar Türbini
$E$	Hava Akımının Kinetik Enerjisi
$m$	Kütle
$A$	Rüzgar Türbininin Kesit Alanı
$\rho$	Havanın Yoğunluğu
$v$	Rotor Hava Kütlesinin Hacmi
$p$	Basınç
$V_G$	Gaz Hacmi
$n$	Gazın Kilo Mol Sayısı
$T$	Sıcaklık
$R$	Evrensel Gaz Sabiti
$Z$	Yükseklik
$C_p$	Rüzgar Türbini Güç Katsayısı
$I$	Çıkış Akımı
$I_L$	Işık Tarafından Üretilen Akım
$I_D$	Diyot Akımı
$I_p$	Paralel Sızıntı Akımı
$R_s$	Seri Direnç

$R_p$	Paralel Direnç
$V_{oc}$	Açık Devre Gerilimi
$I_o$	Diyotun Ters Doyma Akımı
$Q$	Elektron Yüğü
$A$	Diyot İdealite Faktörü
$k$	Boltzmann Sabiti
$P_{FV}$	Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücü
$\eta_g$	Fotovoltaik Sistemin Verimi
$N$	Modül Sayısı
$A_m$	Sistemde Kullanılan Tekli Modülün Alanı
$G_T$	Modül Yüzeyindeki Güneş Radyasyonu
$\theta$	Enlem
$\phi$	Meridyen
$\theta_Z$	Zenit Açısı
$\delta$	Deklinasyon Açısı
$\omega$	Saat Açısı
$\alpha_A$	Yükseklik Açısı
$\gamma$	Azimet Açısı

## ÖZET

### YENİLENEBİLİR MİKROGRİD SİSTEMİN META-SEZGİSEL BİR YÖNTEM İLE OPTİMAL GÜÇ PLANLAMASI

Özay CAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Nedim TUTKUN

Ocak 2016, 72 sayfa

Güç sistemlerinin enerji yönetiminde üretim birimlerinin tekno-ekonomik planlaması önemli bir problemdir. Yük ve üretilen güç arasındaki dengeyi sağlamak bütün güç sistemlerinde arzu edilen bir durumdur. Çok değişkenli ve birçok kısıt içeren güç planlama probleminde üretilen güçle tüketilen güç arasındaki denge lineer programlama ile yapılabilir. Mikrogrid sistemdeki işletme maliyetinin minimum olması için tüketilen güç ile üretilen gücün eşit olması gerekir ve bu da kullanılan mikrogrid sistemi daha cazip hale getirir. Bu dengeyi çok küçük zaman dilimlerinde gerçekleştirmek karmaşık bir optimizasyon probleminin çözümü ile mümkün olur, ancak bu problemin çözümünü sıradan deterministik yöntemlerle yapmak çoğunlukla mümkün olmaz. Bu bakımdan, böyle bir çözüm için meta-sezgisel yöntem kullanmak daha doğru bir yaklaşım olabilir. Bu çalışmanın amacı küçük güçlü rüzgar türbinleri, güneş panelleri ve dizel jeneratörden oluşmuş mikrogrid sistemdeki minimum işletme maliyetini genetik algoritmalar ile optimal güç planlaması gerçekleştirerek bulmaktır. Elde edilen sonuçlar planlama yapılmamış durumla karşılaştırıldığında mikrogrid sistemin işletme maliyetinin önemli ölçüde azaldığını göstermektedir.

**Anahtar sözcükler:** Optimal güç planlaması, mikrogrid sistem, meta-sezgisel yöntem

## ABSTRACT

### OPTIMAL POWER SCHEDULING OF A RENEWABLE MICROGRID SYSTEM USING A META-HEURISTIC METHOD

Özay CAN

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical-Electronics  
Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Nedim TUTKUN

January 2016, 72 pages

Techno-economic design of production units is a significant problem in power systems management. In all the power systems, it is an essential case to maintain the balance between load and generated power. This may be done by optimal power scheduling containing multivariate and several constraints through linear programming methods. It is necessary that power generation should equalize to power consumption in a typical microgrid systems in order to obtain minimum operation cost and this may make microgrid system more attractive. To achieve this balance in very small time intervals may be possible by a solution of a complex optimization problem, however deterministic methods are incapable of doing that. Therefore, use of a meta-heuristic technic may be one alternative to solve this type of minimization problem. The objective of this study is to find minimum operation cost in a microgrid system composed of low power wind turbines, solar panels and a diesel generator through optimal power scheduling by the genetic algorithms. The results have shown that the operation cost of microgrid system is significantly minimized compared to unscheduled power demand.

**Keywords:** Optimal power scheduling, microgrid system, meta-heuristic method



# **EXTENDED ABSTRACT**

## **OPTIMAL POWER SCHEDULING OF A RENEWABLE MICROGRID SYSTEM USING A META-HEURISTIC METHOD**

Özay CAN

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical-Electronics  
Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Nedim TUTKUN

January 2016, 72 pages

### **1. INTRODUCTION:**

Turkey's energy demand has considerably increased due to population growth and recent developments. This affects electricity prices on market as well as other factors such as an increase in oil and natural gas prices. Almost the half of Turkey's electricity is generated from natural gas and %95 of natural gas is imported from other countries. Therefore, renewable energy sources are becoming more important every day. Turkey has an important potential in generating energy from renewable energy sources such as wind and solar thanks to its location. Wide range of population has access to electricity in Turkey, but access to grid is unavailable in some regions. Based on wind-solar renewable microgrid systems can be installed to provide energy in these regions. This microgrid system is designed to meet constantly loads at home. Because power generated by wind turbines and solar panels are irregular during day, supplying power may not continuously be possible. In this case, a diesel generator can be used to system in order to supply power for loads. Adding a generator increases investment cost considerably as well as operating cost. Thus, optimal power scheduling on hourly basis is required to reduce operating cost of system.

### **2. MATERIAL AND METHODS:**

The main objective of optimal power scheduling is to establish a balance between generated power and consumed power as much as possible. Power scheduling in a microgrid system is carried out by solution of an equation determined as minimization function, taking into account all constraints. Minimization function used in this study has six types of powers. These are called wind, photovoltaic, diesel generator, charging,

discharging and excess. Each of these powers has positive or negative cost effect to the total cost. It is aimed to reduce the value of total cost using genetic algorithms.

### **3. RESULTS AND DISCUSSIONS:**

In this thesis, six case scenarios were discussed and the case with lowest cost was found by making power scheduling for each case. In addition, daily load on hourly basis, daily charge-discharge on hourly basis, daily excess power on hourly basis and daily diesel generator power on hourly basis curves were plotted and also daily average cost, daily maximum cost and daily minimum cost were obtained for these case scenarios.

### **4. CONCLUSION AND OUTLOOK:**

In this study, optimal power scheduling in a microgrid system consisting of wind turbines, photovoltaic panels and a diesel generator was carried out for six different case scenarios using genetic algorithms. It is shown that the proposed approach can be successfully applied to obtain optimal power scheduling and minimizes significantly operation unit cost of each scenario when compared to values without scheduling.

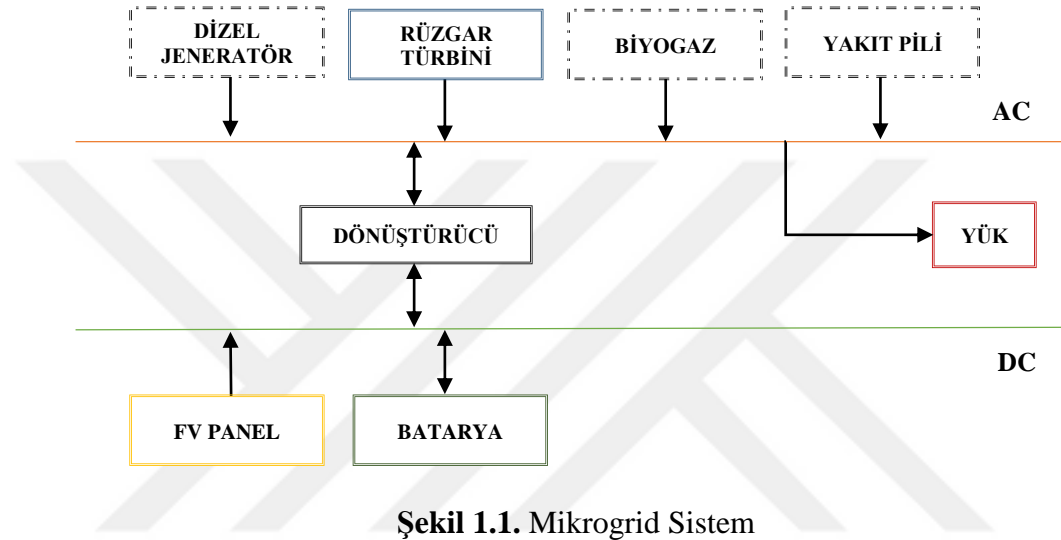
# 1. GİRİŞ

Enerji insan yaşamındaki en temel gereksinimlerden biridir. Küreselleşme sonucu son yıllarda ülkemizde meydana gelen sanayileşme, teknolojik gelişmeler ve şehir nüfusunun artması kısmen elektrik enerjisi olmak üzere enerji ihtiyacında eşi görülmemiş bir artışa neden olmuştur. Bunun sonucu olarak ise güç sektöründe çok büyük bir kaynak-talep açığı meydana gelmiştir. Farklı enerji üretim araçları kullanılmaya başlanmadıkça bu kaynak-talep açığının artmaya devam edeceği tahmin edilmektedir. Günümüzde enerji ihtiyacının büyük kısmı doğalgaz, kömür ve petrol gibi geleneksel fosil yakıtların doğrudan veya dolaylı kullanımından karşılanmasına rağmen geleneksel araçlar ile enerji üretiminin politik, teknik, ekonomik ve çevresel zararları nedeniyle bu tür yakıtlara olan ihtiyacı azaltmak için ciddi bir girişim vardır. Aynı zamanda hem gelişmiş ülkeler hem de gelişmekte olan ülkeler tarafından bu durum için önemli tanıtımlar yapılmaktadır. Bu nedenle sınırlı güç ihtiyacının karşılanmasında alternatif kaynaklara yönelim düşünülenenden daha hızlı bir şekilde artmaktadır [1].

Geleneksel enerji kaynaklarına göre işletme maliyetlerinin düşük olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikle nükleer ve fosil enerji kaynaklarına devlet desteğinin azaltılması durumunda önemli bir alternatif enerji kaynağı haline geleceği öngörülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları gelişmekte olan ülkelere enerji hizmeti sağlama ve gelişmişlik hedeflerine ulaşma konusunda büyük faydalar sağlamaktadır. Aynı zamanda enerji kaynağı pazarındaki çeşitliliği ve uzun süreli sürdürülebilir enerji kaynağı güvenliğini arttırırken, yerel ve küresel atmosferik salınımları azaltır. Sürdürülebilirlik (tükenmezlik), her yerde bulunma, temiz ve çevre dostu olması gibi avantajlarının yanı sıra değişkenlik, düşük yoğunluk ve yüksek başlangıç maliyeti gibi dezavantajları da bulunmaktadır [2,3,4].

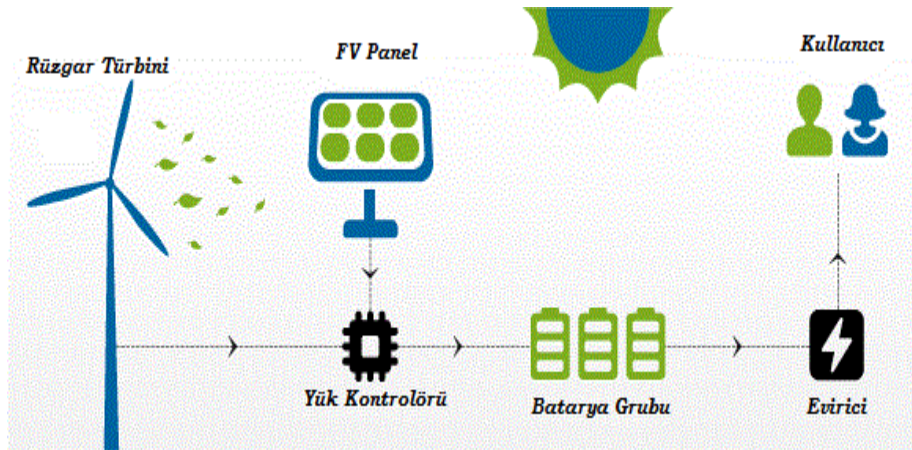
Türkiye 36°-42° kuzey enlemleri ile 26°-45° doğu meridyenleri arasında ve Akdeniz, Ege, Karadeniz çevresinde bulunması nedeniyle özellikle rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretme konusunda zengin bir potansiyele sahiptir. Türkiye nüfusunun büyük bir kısmı elektrik enerjisine erişim imkanına sahiptir. Ancak şebekenin ulaşamadığı yerlerde elektrik enerjisini temin etmek için rüzgar ve güneş temelli yenilenebilir mikrogrid enerji sistemlerini kurmak mümkündür [6].

Mikrogrid sistemler enerji depolamada daha iyi denge, kararlılık ve verimlilik sağlamak amacıyla birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının veya en azından bir yenilenebilir enerji kaynağının geleneksel enerji kaynağı ile birlikte kullanılmasıyla meydana gelmektedir. Mikrogrid enerji sistemi özellikle yenilenebilir enerji olmak üzere farklı enerji kaynaklarının kullanımını kolaylaştırarak bu tür kaynaklardan sabit güç sağlar ve mevsimlik değişimlerde dış enerji bağımlılığını azaltır. Bu tür sistemlerin en büyük avantajı tek bir enerji kaynağı kullanılması durumunda elde edilen verimden daha yüksek bir verim elde edilmesidir.



Şekil 1.1. Mikrogrid Sistem

Şekil 1.1’de bir mikrogrid sistem gösterilmiştir. Mikrogrid sistemler genel olarak rüzgar türbinleri, fotovoltaik (FV) paneller, yakıt pilleri, dizel jeneratörler, biyogaz, bataryalar ve yüklerden meydana gelmektedir. Ancak bu şekilde çok bileşenli bir sistemin enerji üretim maliyetinin fazla olması nedeniyle rüzgar türbinleri, güneş panelleri ve akülerden meydana gelen sistemler tercih edilir. Şekil 1.2’de buna benzer bir sistem verilmiştir.



Şekil 1.2. Rüzgar/FV Hibrit Sistem

Bu sistem elektrik enerjisinin bulunmadığı bir yerdeki evin yük ihtiyaçlarını kesintisiz olarak ve minimum maliyette karşılayacak şekilde tasarlanır. Ancak rüzgar ve güneş enerjisinin gün içerisinde değişiklik göstermesi nedeniyle sürekli enerji mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda yükleri kesintisiz olarak beslemek amacıyla sisteme yakıt pilleri veya dizel jeneratör gibi ilave bir üretim kaynağı entegre edilebilir. Bu ilave kaynak hem yatırım hem de işletme maliyetini arttıracığından dolayı maliyeti düşürmek için yüklerin günlük saatlik periyotlarla planlamasının yapılmasına ihtiyaç duyulur [6]. Optimal güç planlaması konusunda yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Tutkun ve San [5] yaptıkları çalışmada, bir evin ısıtma ve ışıklandırma ihtiyacının minimum maliyetle karşılanması amacıyla rüzgar türbini ve FV panellerden oluşan şebeke bağlantısız bir enerji sisteminin binari kodlu genetik algoritmalar (BKGA) yardımıyla güç planlamasını gerçekleştirmişlerdir. Tutkun [6] gerçekleştirdiği başka bir çalışmada ise bir önceki çalışmasından farklı olarak bir saatlik zaman dilimleri yerine 15 dakikalık zaman dilimlerini kullanarak rüzgar türbini ve FV panellerden meydana gelen sistemin işletme maliyetini minimuma indirmeyi hedeflemiştir.

Derin ve Ferrante bir evde bulunan elektrikli arabanın şarjı, bulaşık yıkama ve çamaşır yıkama gibi üç aktivitenin birim enerji maliyetlerine bağlı olarak planlamasını yapmışlardır [7]. Yapılan başka bir çalışmada Zhang ve diğ. [8] biri 10, diğeri 50 adet akıllı evden oluşan iki örnekte doğrusal binari katsayılı lineer programlama yöntemi kullanarak maliyeti en aza indirmek amacıyla bu evlerde bulunan elektrikli cihazların optimal planlamasına yönelik çalışmalar yürütmüşlerdir.

Bansal ve diğ. [9] MATLAB® üzerinde lineer programlama yöntemini kullanarak FV paneller, rüzgar türbinleri, dizel jeneratör ve bataryadan oluşan mikrogrid sistemin günlük planlamasını gerçekleştirmişlerdir.

Kadar [10] Budapeşte/Macaristan'da gerçekleştirdiği çalışmada, rüzgar türbinleri, güneş panelleri, yakıt hücresi ve bataryadan oluşan mikrogrid sistemin lineer programlama yöntemini kullanarak optimal güç planlamasını gerçekleştirmiştir. Benzer şekilde, Morais ve diğ. [11] GAMS (General Algebraic Modeling Systems) programı üzerinde doğrusal katsayılı lineer programlama aracılığıyla mikrogrid sistemin güç planlamasını gerçekleştirmişlerdir. Mikrogrid sistem rüzgar türbinleri, güneş panelleri, yakıt hücresi ve bataryadan oluşmaktadır.

Hong ve diğ. [12] küçük ve orta büyüklükteki ticari binalara enerji sağlayan küçük ölçekli bir mikrogrid sistemin karmaşık tamsayı programlama yöntemini kullanarak güç planlamasını gerçekleştirmiştir. Sistem geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynakları, depolama üniteleri ve yüklerden meydana gelmektedir. Güç planlama konusundaki diğer bir çalışma Lu tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada şebeke bağlantılı FV/batarya sisteminde işletme maliyetini düşürmek ve yüklerin sürekli olarak beslenmesini sağlamak için sistemin yük planlaması hedeflenmiştir [13].

Wu [14] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise rüzgar türbini, FV paneller, yakıt pili, atık ısı kazanı, doğalgaz kazanı, batarya ve yüklerden meydana gelen bir sistemin Parçacık Sürü Optimizasyonu methodu kullanılarak ekonomik planlanması amaçlanmıştır.

Dai [15] güneş panelleri, dizel jeneratör ve bataryadan meydana gelen bir sistemin üç adet akıllı evdeki yükleri minimum işletme maliyetiyle karşılamasını sağlamak amacıyla yük planlamasını gerçekleştirmiştir.

Bu tez çalışmasında bir evin günlük yük ihtiyaçlarının rüzgar türbinleri, güneş panelleri ve dizel jeneratörden meydana gelen şebekeden bağımsız bir mikrogrid sistem tarafından minimum maliyetle karşılanması amacıyla MATLAB® ortamında gerçek kodlu genetik algoritmalar (GKGA) yardımıyla optimal güç planlaması gerçekleştirilmiştir.

Tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde rüzgar, güneş, hidroelektrik ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerjiler ve bu enerjilerin Türkiye'deki durumu ile ilgili bilgiler sunulmuştur. İkinci bölümde optimal güç planlaması yapılması amaçlanan mikrogrid sistemi oluşturan rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri, FV sistemler ve dizel jeneratörler tanıtılmıştır. Tezin üçüncü bölümünde güç planlamasında kullanılan meta-sezgisel yöntem hakkında bilgiler sunulduktan sonra, optimal güç planlamasının uygulanışı anlatılmıştır. Dördüncü bölümde elde edilen bulgular verilmiştir ve son bölümde tezden elde edilen sonuçlar ile öneriler sunulmuştur.

## **1.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI**

Türkiye'nin başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik enerjisi ve jeotermal enerji hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir.

### 1.1.1. Rüzgar Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarının içerisinde en yaygın olanı ve teknolojisi en hızlı gelişeni rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisinin bu kadar hızlı gelişmesinin nedeni doğada serbest ve bol olarak bulunması, enerji kaynağı çeşitliliği yaratması ve dışa bağımlı olmayan temiz bir enerji kaynağı olmasıdır.

Yerden 50 m yükseklikte 7 m/s'den daha büyük rüzgar hızının olduğu bölgelerde 114 GW değerinde teknik rüzgar enerjisi potansiyeli olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'de ise ekonomik olarak 20 GW değerinde güç üretiminin mümkün olduğu düşünülmektedir. Türkiye'nin rüzgar santrallerinden elde edilebilecek elektrik potansiyeli 200-400 TWh değerleri arasında değişmektedir. Buna rağmen ekonomik olarak bu potansiyel 35-70 TWh arasındadır [16].

**Çizelge 1.1.** Türkiye'nin farklı bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyeli [17]

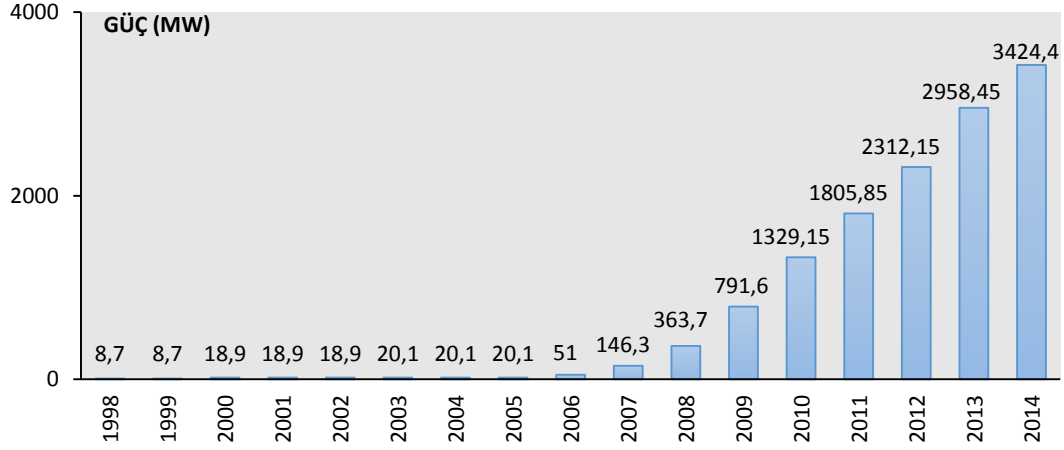
Bölgeler	Yıllık ortalama rüzgar hızı (m/s)	Yıllık ortalama rüzgar yoğunluğu ( $W/m^2$ )
Güney Doğu Anadolu	2,69	29,33
Akdeniz	2,45	21,36
Ege	2,65	23,47
İç Anadolu	2,46	20,14
Doğu Anadolu	2,12	13,19
Marmara	3,29	51,91
Karadeniz	2,38	21,31
Türkiye Toplamı	<b>2,58</b>	<b>25,82</b>

Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki yıllık ortalama rüzgar hızı ve yıllık ortalama rüzgar yoğunluğu Çizelge 1.1'de gösterilmiştir. Ülkedeki yedi bölge karşılaştırıldığında, rüzgar gücü yoğunluğunun Marmara, Ege ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinde en yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle rüzgar hızları bu üç bölgede en yüksektir. Bölgelere göre yıllık ortalama rüzgar hızı 2,12 m/s ile 3,29 m/s arasında değişmektedir. Türkiye'nin yıllık ortalama rüzgar hızı 2,58 m/s ve ortalama rüzgar yoğunluğu  $25,82 W/m^2$ 'dir [17].

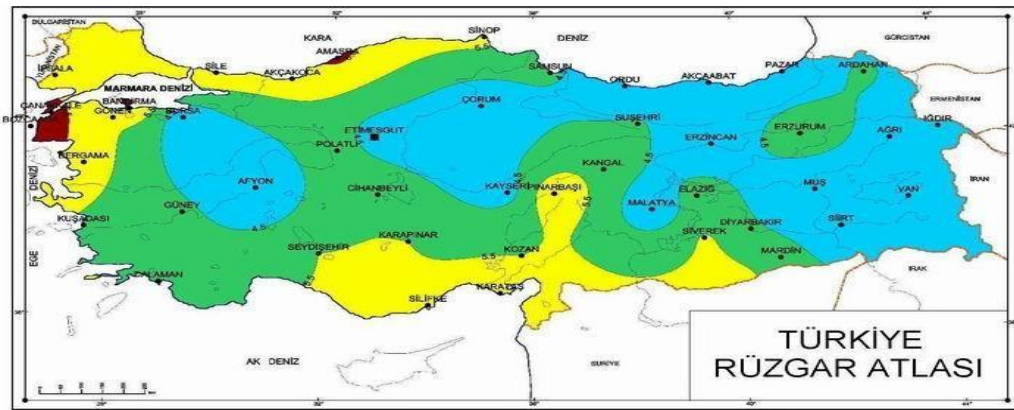
Türkiye'de şebekeye bağlı rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi 1998 yılında başlamış ve özellikle 2005 yılında 5346 sayılı Yenilenebilir Elektrik Kanunu'nun çıkarılmasından itibaren kurulu güç ve enerji üretiminde her yıl büyük oranda artış görülmüştür. Çizelge 1.2'de Türkiye'deki rüzgar enerjisinin kurulu gücünün yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, 1998 yılında 8,7 MW seviyelerinde başlayan rüzgar enerjisi kurulu gücü 2006 yılına kadar fazla bir artış göstermezken, 2007-2012 yılları

arasında kurulu güç 146,3 MW'tan 2312,15 MW'a yükselerek 15 kat bir artış göstermiştir. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TUREB) tarafından hazırlanan raporda belirtildiği üzere rüzgar enerjisi kurulu gücü 2014 yılının Temmuz ayı itibariyle 3424,4 MW değerindedir.

**Çizelge 1.2.** Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıllara göre dağılımı [18]



Türkiye'deki rüzgar enerjisi kaynakları sahil ve kıyı bölgelerine dağılmıştır. Rüzgar bakımından zengin bölgeler ağırlıklı olarak özellikle Çanakkale ve Bandırma'nın deniz kıyıları olmak üzere Türkiye'nin kuzeybatı, batı ve kuzey bölgesi ile adalar yakınlarında yer alan bölgelerdir. Ayrıca rüzgar kaynakları Antakya'nın doğusu, Osmaniye'nin kuzeyi, Siverek ve Mardin'in doğusu ve de Türkiye'nin güneybatısının bazı bölgelerinde yeterli miktarda bulunmaktadır. Teknik olarak rüzgar enerjisinden faydalanılabilecek bu bölgelerde yıllık ortalama rüzgar yoğunluğu  $200-300 W/m^2$  arasındadır. Şekil 1.3'te Türkiye'nin Rüzgar Atlası verilmiştir.



\* Açık yüzeyler için (yer düzeyinden 50 m yükseklikteki) rüzgar potansiyeli sınıf aralıkları

**Şekil 1.3.** Türkiye Rüzgar Atlası



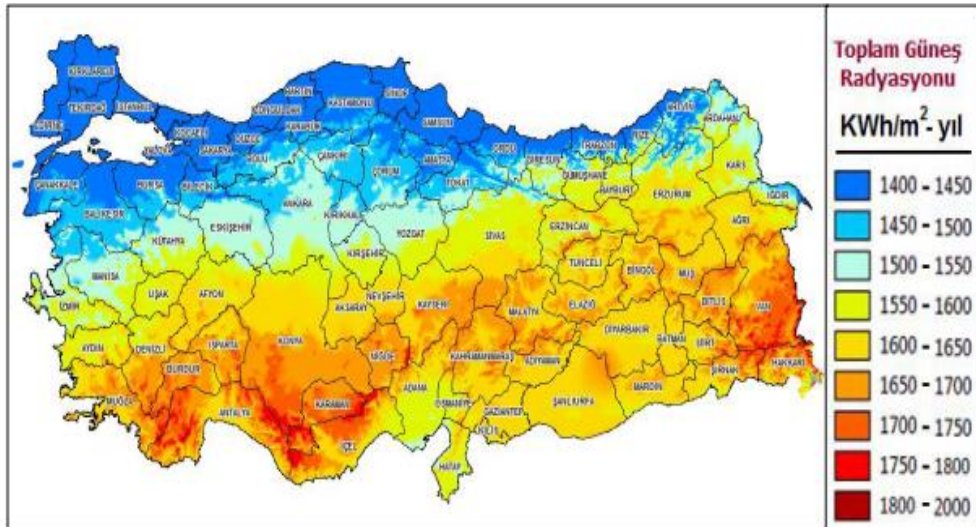
Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TUREB) tarafından hazırlanan Türkiye Rüzgar Atlası (TÜRSAT2014)'na göre Türkiye'de bulunan işletmedeki rüzgar santrallerinden bazıları ve kurulu güçleri Çizelge 1.3'te verilmiştir.

**Çizelge 1.3.** Türkiye'deki işletmedeki bazı rüzgar santralleri ve kurulu güçleri [19]

FİRMA ADI	KURULU GÜCÜ (MW)	İLİ
Bares El. Ür. A.Ş	143	Balıkesir
Rotor El. Ür. A.Ş	135	Osmaniye
Lodos El. Ür. A.Ş	120	İzmir
Bergama RES En. Ür. A.Ş	90	İzmir
Bilgin Rüz. Sant. En. Ür. A.Ş	90	Manisa
Olgu En. Ür. Tic. A.Ş	50,6	Afyon
Sanko Rüz. En. San. ve Tic. A.Ş	60	İstanbul
Al-Yel El. Ür. A.Ş	79	Kırşehir
Tektuğ El. Ür. A.Ş	27,5	Adıyaman
Galata Wind En. Ltd. Şti.	102	Balıkesir
Pem En. A.Ş	40	Tokat
Soma En. Ür. El. Ür. A.Ş	140,8	Manisa
Ziyaret RES El. Ür. San. Tic. A.Ş	65	Hatay
Aksu Temiz En. El. Ür. San. ve Tic. A.Ş	72	Kayseri
Enerjisa En. Ür. A.Ş	39	Mersin
Alize En. El. Ür. A.Ş	28,8	Tekirdağ

### 1.1.2. Güneş Enerjisi

Türkiye 36°-42° kuzey enlemleri arasında güneşli bir bölgede yer aldığı için zengin güneş enerjisi kaynaklarına sahiptir. Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli 1,3 milyar ton eşdeğer petrol (15120 TWh) değerindedir. Yıllık ortalama güneş radyasyonu Karadeniz bölgesindeki 1,120  $KWh/m^2$  değeri ile Güney Doğu Anadolu bölgesindeki 1,460  $KWh/m^2$  değeri arasında değişmektedir [20].



**Şekil 1.4.** Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından ülkemizdeki güneş enerjisi uygulamaları açısından en iyi alanların nereler olduğunu belirlemek amacıyla hazırlanan Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) Şekil 1.4'te verilmiştir.

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanılarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddetinin  $1311 \text{ KWh/m}^2 - \text{yıl}$  (günlük toplam  $3,6 \text{ KWh/m}^2$ ) olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 1.4'te Türkiye'nin aylık güneş enerjisi potansiyeli verilmiştir. Çizelgedeki veriler göz önüne alındığında, tahmin edileceği üzere yaz mevsimine denk gelen Haziran, Temmuz, Ağustos ayları güneşlenme süresinin ve güneş enerjisinin en fazla olduğu dönemlerdir.

**Çizelge 1.4.** Türkiye'nin Aylık Güneş Enerjisi Potansiyeli [21]

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ ( $\text{KWh/m}^2 - \text{ay}$ )	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
OCAK	51,75	103
ŞUBAT	63,27	115
MART	96,65	165
NİSAN	122,23	197
MAYIS	153,86	273
HAZİRAN	168,75	325
TEMMUZ	175,38	365
AĞUSTOS	158,4	343
EYLÜL	123,28	280
EKİM	89,9	214
KASIM	60,82	157
ARALIK	46,87	103
TOPLAM	1311	2640
ORTALAMA	$3,6 \text{ KWh/m}^2 - \text{gün}$	$7,2 \text{ saat-gün}$

### 1.1.3. Hidroelektrik Enerjisi

Suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile elde edilen enerjiye hidroelektrik enerji denir. Bu enerji suyun yüksek bir yerden hızla aşağı inerek basınçlı bir şekilde türbin içerisinden geçirilerek generatörün döndürülmesi sağlanarak üretilir. Hidroelektrik enerji üretiminde ithal kaynak kullanılmaması nedeniyle, bu şekilde elde edilen enerji yerli olarak kabul edilmekte ve tesisin yapısı bakımından da kısmen yenilenebilir enerji olarak kabul edilmektedir.

Türkiye’de hidroelektrik enerjisinden elektrik üretimi Tarsus’ta 1902 yılında 60 kW değerinde küçük ölçekli hidroelektrik santralle (HES) başlamıştır. Devlet Su İşleri (DSİ)’nin 1954 yılında kurulmasından sonra, hidroelektrik santrallerin gelişimi hızlandırılmıştır. Günümüzde, hidroelektrik enerji Türkiye’nin önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Çizelge 1.5’te ülkemizdeki HES ve baraj durumu gösterilmiştir. Türkiye’de 2012 yılı itibariyle kullanımda olan 781 baraj ve 370 HES, yapım aşamasında olan 144 baraj ve 212 HES bulunmaktadır [22].

**Çizelge 1.5. Türkiye’deki HES ve Baraj Durumu [22]**

İşletme Tipi	İşletmede			Yapım Aşamasında		
	DSİ	Diğer	Toplam	DSİ	Diğer	Toplam
<b>Baraj</b>						
Baraj Sayısı	741	40	<b>781</b>	133	11	<b>144</b>
<b>HES</b>						
HES Sayısı	62	308	<b>370</b>	5	207	<b>212</b>
Kurulu Güç (MW)	11600	9400	<b>21000</b>	2000	6000	<b>8000</b>
Yıllık Üretim (GWh)	41000	29000	<b>70000</b>	7000	22000	<b>29000</b>

Türkiye’nin yıllık hidroelektrik potansiyeli 432 TWh’tir ve bu değer dünyanın toplam hidroelektrik potansiyelinin %1,5’i, Avrupa’nın hidroelektrik potansiyelinin %14’üne denk gelmektedir. Bu potansiyelin hemen hemen teorik olarak %50’si, ekonomik olarak da %28’i başka bir ifadeyle 124 TWh’lik kısmı kullanılabilir. DSİ’ye göre 2012 yılı itibariyle ülkemizin hidroelektrik potansiyeli yıllık 54 TWh’tir [23].

#### 1.1.4. Jeotermal Enerji

Türkiye jeotermal enerjinin direkt olarak kullanımında dünyanın beş önemli ülkesinden birisidir ve dünyanın toplam jeotermal enerji potansiyelinin 1/8’ini oluşturmaktadır. Bu potansiyelin çoğu elektrik üretimi için kullanışlı olmamasına rağmen, ısıtma uygulamaları için çok uygundur. Türkiye’nin jeotermal enerjisinin 38000 GW olduğu tahmin edilmektedir. Fakat bu enerji miktarının 31000 GW’tan fazlası termal uygulamalar için elverişlidir. Jeotermal kaynaklı elektrik üretimi potansiyeli 2000-4500 MW’tır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’na göre 2009 yılında Türkiye’nin kurulu jeotermal enerji kaynaklı elektrik kapasitesi yıllık 77 MW’tır [23].

Türkiye’de jeotermal enerji genellikle termal turizm, ısıtma uygulamaları, endüstriyel maden elde edilmesi ve elektrik üretiminde kullanılır. Maden Tetkik ve Arama

Müdürlüğü (MTA) tarafından ortaya çıkarılan 17 adet jeotermal enerji üretimi için elverişli alan vardır. Çizelge 1.6'da jeotermal enerjiden elektrik üretimi yapılan bölgeler verilmiştir.

**Çizelge 1.6.** Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi Yapılan Bölgeler [22]

<b>Jeotermal Alan</b>	<b>Kurulu Kapasite (MW)</b>
Denizli-Kızıldere	15
Denizli-Kızıldere	5
Aydın-Salavatlı	9,5
Aydın-Salavatlı	7,4
Aydın-Germencik	47,4
Çanakkale	7,5
<b>Toplam</b>	<b>91,7</b>

## 2. YENİLENEBİLİR MİKROGRİD SİSTEM

Bu bölümde yenilenebilir mikrogrid sistemi oluşturan bileşenler olan rüzgar enerjisi sistemi, FV sistemler ve dizel jeneratör hakkında temel bilgiler verilmiştir.

### 2.1. RÜZGAR ENERJİSİ SİSTEMLERİ

Rüzgar türbinleri hareket halindeki havanın kinetik enerjisini mekanik enerjiye veya elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Rüzgarın türbin kanatlarına çarpması sonucu kanatlar hareket eder ve mekanik enerji ortaya çıkar. Bu mekanik enerji sırasıyla düşük hızlı shaft, dişli kutusu ve yüksek hızlı shaft vasıtasıyla generatöre iletilir. Daha sonra enerji generatör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Rüzgar hızlarının düzensiz olması nedeniyle rüzgar türbininde üretilen enerji değişkenlik göstermektedir ve bu değişkenlik rüzgar türbininin maliyet verimliliğini azaltır. Rüzgar türbininden elde edilen güç ile rüzgar hızı arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir:

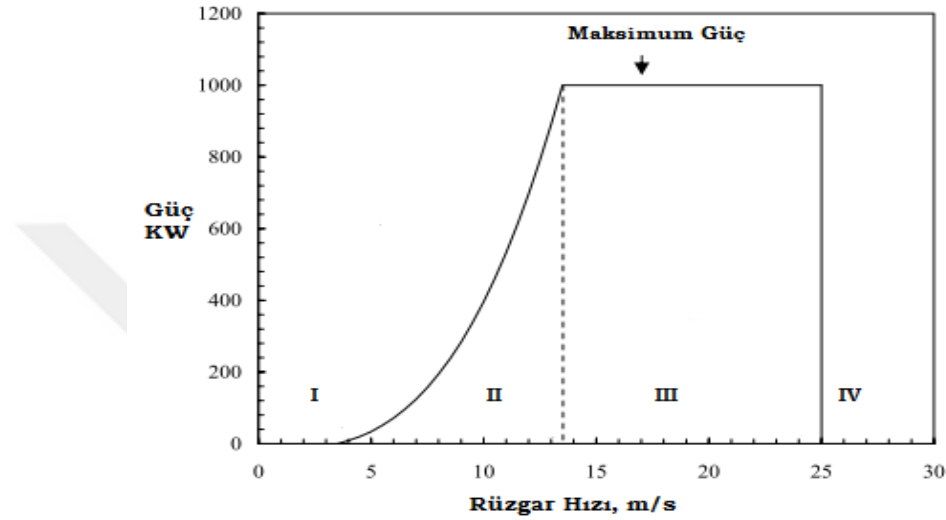
$$P_r = \begin{cases} P_n * \left( \frac{V^3 - V_c^3}{V_n^3 - V_c^3} \right) & , \quad V_c \leq V \leq V_n \\ P_n & , \quad V_n \leq V \leq V_d \\ 0 & , \quad V_d \leq V \text{ veya } V \leq V_c \end{cases} \quad (2.1)$$

Burada;  $V$  rüzgar hızını,  $V_c$  türbinin devreye girme hızını (cut-in hızı),  $V_d$  türbinin devreden çıkma hızını (cut-out hızı),  $V_n$  nominal rüzgar hızını,  $P_r$  rüzgar türbininden elde edilen gücü ve  $P_n$  ise nominal rüzgar gücünü temsil etmektedir. Rüzgar hızının türbinin devreye girme hızını (cut-in) aşması durumunda rüzgar türbini güç üretmeye başlar. Hız değeri nominal hız değerinin üstüne çıktığında sabit güç üretimi gerçekleşir ve türbinin devreden çıkma hızını (cut-out) aştığında türbini korumak amacıyla türbin devreden çıkarılır [24].

Rüzgar hızı ise yüksekliğe bağlı olarak değişmektedir ve her bir konumdaki mevcut rüzgar verisi o konumun yükseklik seviyesine göre ölçülmektedir. Referans yükseklikteki ( $H_r$ ) rüzgar hızı kullanılarak belirli bir merkez yükseklikteki ( $H_{WT}$ ) hız eşitlik (2.2) ile hesaplanır.

$$V = V_r \left( \frac{H_{WT}}{H_r} \right)^\xi \quad (2.2)$$

Burada;  $V$  rüzgar türbininin bulunduğu yükseklikteki rüzgar hızını,  $V_r$  referans yükseklikte ölçülen rüzgar hızını,  $\xi$  rüzgar hızı katsayısını ifade etmektedir. Katsayı değeri çok düz araziler, su veya buz için 0,1 değeri ve daha düşük değerler ile yoğun ormanlı araziler için 0,25 değeri ve daha büyük değerler arasında değişiklik göstermektedir. Uzun ağaç veya binalardan uzak açık araziler gibi kısmen düz yüzeyler için en uygun rüzgar hızı katsayısı değeri 0,14'tür.



**Şekil 2.1.** Rüzgar Türbini İşletiminde Farklı Hız Bantlarının Gösterimi [25]

Tipik olarak rüzgar hızı 4-5 m/s değerini aştığı zaman türbin çalışmaya başlar ve 25-30 m/s hız değerlerini aşan hızlarda durur. Bu değerler arasında türbinin çalıştığı bant aralıkları mevcuttur. Genel olarak bir yerdeki rüzgar türbini zamanın %70-80'lik dilimlerinde çalışabilir. Diğer durumlarda rüzgar hızının çok hızlı veya çok yavaş olması nedeniyle çalışmaz [26,27].

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi rüzgar türbinlerinin işletiminde dört adet hız bandı bulunmaktadır. Birinci bant sıfır noktası ile türbinin devreye girme hızı (cut-in hızı) arasındaki bölgeden oluşmaktadır. Cut-in hızı türbinin güç üretmeye başlaması için gerekli olan hız değeridir. Bu değer altındaki hız değerlerinde çok küçük değerlerde güç üretilmektedir ve bu güç sadece sürtünme kayıplarını karşılayabilecek değerdedir. Bu nedenle rüzgar türbini bu hız bandında çalıştırılmamaktadır ve dolayısıyla güç üretimi yapılmamaktadır.

Optimize edilmiş türbin güç katsayısı ( $C_p$ ) bölgesi olarak adlandırılan ikinci bant normal çalışma modudur ve bu çalışma modunda hız kontrolörleri sistemi bilgisayarda depolanan

optimum sabit  $C_p$  değerinde çalıştırır. Ayrıca bu bant rüzgarın yönüne bağlı olarak kanatların pozisyonunun belirlenerek normal çalışma şartlarının olduğu banttır.

Sabit  $C_p$  değerini korumak için kontrol sistemi artan rüzgar hızı nedeniyle rotor hızını belirli bir limite kadar arttırır. Limite ulaşıldığı zaman kontrol hız sınırlama bölgesine kayar.  $C_p$  optimum değerindedir ve rotor güç verimi değer kaybeder.

Üçüncü bant generatörün kapasitesi doğrultusunda yüksek rüzgar hızlarında sabit bir güç üretiminin sağlandığı banttır.

Son hız bandında ise rüzgar hızı artmaya devam ederse sistem elektrik generatörünün hız sınırına yaklaşır. Bu durumda türbin hızı azaltılır ve  $C_p$  optimal değerinden uzaklaşır. Generatör ıkış gücü tasarım limitinde sabit kalır. Rüzgar hızının türbinin devreden çıkma hızını (cut-out) geçmesi durumunda güç ve hız sınırı kontrol edilemediği için rüzgar türbininin zarar görmemesi amacıyla türbin devreden çıkartılır [26,27].

### 2.1.1. Rüzgar Türbinlerinde Üretilen Güç

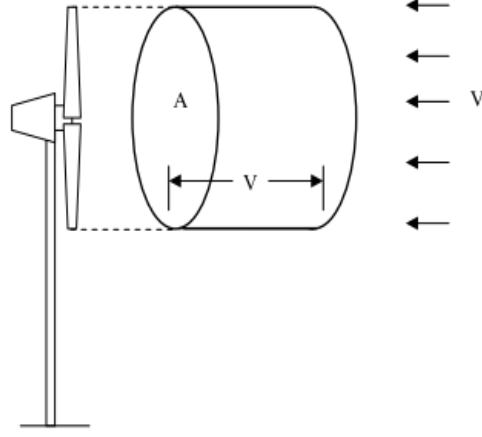
Rüzgar büyük kütleli hava hareketlerinden oluşmaktadır ve bir kinetik enerjiye sahiptir. Kinetik enerji hareket eden cisimlerin sahip oldukları enerjidir ve cisimlerin yaptıkları işle kinetik enerjileri doğru orantılıdır.

$V$  hızı ile hareket eden ve  $m$  kütleline sahip olan bir hava akımının kinetik enerjisi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$E = \frac{1}{2}mV^2 \quad (2.3)$$

şekil 2.2'de görüldüğü gibi,  $A$  kesit alanına sahip bir rotorun hava akımına maruz kalması durumunda, türbinin maruz kaldığı hava akımının kinetik enerjisi eşitlik (2.4) ile ifade edilebilir.

$$E = \frac{1}{2}\rho vV^2 \quad (2.4)$$



**Şekil 2.2.** Bir Rüzgar Türbinine Doğru Hareket Eden Hava Kütlesi [25]

Burada;  $\rho$  hava yoğunluğunu,  $v$  mevcut rotor hava kütesinin hacmini ifade etmektedir. Rotoru birim zamanda etki eden hava kütesi, rotor kesit alanına ( $A_T$ ) eşit bir kesit alana ve rüzgar hızına ( $V$ ) eşit bir yoğunluğa sahiptir. Bu nedenle, güç aşağıdaki gibi açıklanabilir.

$$P = \frac{1}{2} \rho A_T V^3 \quad (2.5)$$

Eşitlik (2.5)'ten hava akımındaki mevcut rüzgar gücünü etkileyen faktörlerin hava yoğunluğu, rotor alanı ve rüzgar hızı olduğunu görebiliriz. Güç ile arasında kübik bir ilişki bulunduğu için rüzgar hızı daha önemli bir etkendir.

Sıcaklık, atmosfer basıncı, yükseklik ve hava bileşenleri hava yoğunluğunu etkileyen faktörlerdir. Kuru hava ideal bir gaz olarak düşünülebilir. İdeal gaz kanununa göre;

$$pV_G = nRT \quad (2.6)$$

Burada;  $p$  basıncı,  $V_G$  gaz hacmini,  $n$  gazın kilo mol sayısını,  $T$  sıcaklığı ve  $R$  evrensel gaz sabitini ifade eder. Havanın 1 kilo mol kütesinin hacmine oranı olarak ifade edilen havanın yoğunluğu aşağıda verilmiştir.

$$\rho = \frac{m}{V_G} \quad (2.7)$$

Eşitlik (2.6) ve (2.7) yeniden yazılırsa;

$$\rho = \frac{mp}{RT} \quad (2.8)$$



Eğer bir bölgenin yüksekliği ( $Z$ ) ve sıcaklığı ( $T$ ) biliniyorsa havanın yoğunluğunu aşağıdaki formülle hesaplayabiliriz.

$$\rho = \frac{353,049}{T} e^{(-0,034\frac{Z}{T})} \quad (2.9)$$

Teorik olarak bir rüzgardaki mevcut güç eşitlik (2.5) ile ifade edilir. Ancak bir türbin bu gücün tamamını elektrik enerjisine dönüştüremez. Albert Betz tarafından yapılan çalışmalar sonucu bir rüzgar türbininde rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjinin en fazla  $16/27$ ' sinin başka bir ifadeyle %59,3'ünün mekanik enerjiye dönüştürülebileceği ortaya konulmuştur. Bu nedenle rüzgar türbininden elde edilen güç formülü yeniden düzenlenir ve eşitlik (2.5)'e Betz limiti olarak adlandırılan rüzgar türbini güç katsayısı ( $C_p$ ) eklenirse rüzgar türbinindeki güç aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$P = \frac{1}{2} \rho A_T V^3 C_p \quad (2.10)$$

Türbin güç katsayısı ( $C_p$ ) eşitlik (2.11) ile ifade edilebilir.

$$C_p = \frac{\text{Türbin tarafından üretilen güç}}{\text{Rüzgardan elde edilebilecek toplam güç}} = \frac{P_r}{P_w} \quad (2.11)$$

### 2.1.2. Weibull Dağılım Fonksiyonu

Rüzgar hızı ile rüzgardan elde edilen güç arasında kübik bir ilişki bulunması nedeniyle bir bölge için rüzgar gücü potansiyelini belirlemede ihtiyaç duyulan en kritik veri rüzgar hızıdır. Rüzgar bir konumda asla sabit bir şekilde bulunmaz. Hava şartları, bölgenin toprak arazisi ve rüzgarın yüzeyle arasındaki yükseklik rüzgarı etkileyen faktörlerdir. Rüzgar hızı dakika, saat, gün, mevsim ve yıllara göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle rüzgar hızınının 10 yıl veya daha fazla süre boyunca ortalamasının alınması gerekmektedir. Bu şekilde yapılan uzun süreli ölçümler bölgenin rüzgar potansiyelini belirlemede daha güvenilirdir. Fakat ölçümlerin pahalı olması ve bazı projelerin uzun süre bekleme gibi bir durumu söz konusu olmadığı için bir yıllık ölçümler yapılır. Yapılan bu bir yıllık ölçümler bölgenin uzun süreli yıllık rüzgar hızını tahmin etmek için o bölgenin yakınındaki bir bölgenin uzun süreli verileri ile karşılaştırılır [27].

Bir periyottaki rüzgar hızı değişimleri olasılık dağılım fonksiyonları tarafından tanımlanabilir. Weibull Dağılım Fonksiyonu günümüzde rüzgar potansiyelini belirlemede en sık kullanılan yöntemlerden biridir.

Weibull Dağılım Fonksiyonunun az sayıda parametreye sahip olması, parametrelerin kolay belirlenmesi, sonuca en yakın yöntem olması, yapısının esnek olması ve parametrelerin bir yükseklik için hesaplanmasından sonra diğer yükseklikler için de tahmininin kolay olması gibi avantajları vardır.

Weibull Dağılım Fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$hw(V) = \frac{k}{A} * \left(\frac{V}{A}\right)^{k-1} * e^{\left[-\left(\frac{V}{A}\right)^k\right]} \quad (2.12)$$

Burada;

$k$ : Şekil parametresi (Rüzgar hızı dağılım şeklini gösteren parametre)

$A$ : Ölçek parametresi (Rüzgar hızı için bağıl kümülatif frekans)

$hw(V)$ : Rüzgar hızı olasılık yoğunluğu fonksiyonu

$k$  (*Şekil Parametresi*): Rüzgar hızını gösteren bir parametredir. Bir arazide rüzgar hızı çok fazla değişiklik göstermiyorsa, yani rüzgar hızı yaklaşık olarak sabit bir hızla esiyorsa  $k$  parametresi büyüktür.

$A$  (*Ölçek Parametresi*): Bağıl kümülatif rüzgar hızı frekansını göstermektedir. Ölçek parametresi ortalama hıza göre değişir. Ortalama hız ne kadar yüksek ise  $A$  değeri de o kadar yüksektir.

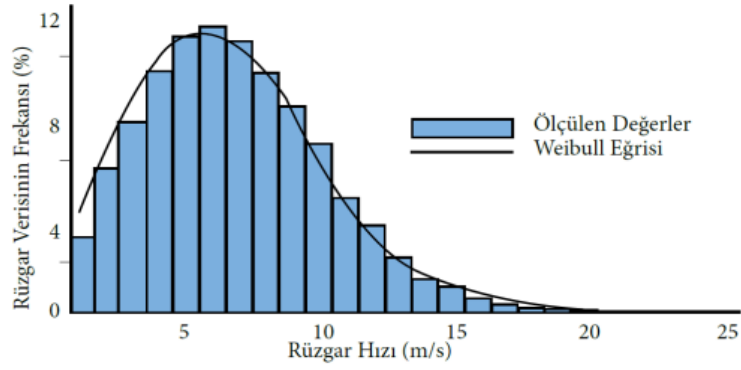
Weibull parametrelerini ( $k$  ve  $A$ ) bulmak için arazinin rüzgar verilerine ihtiyaç vardır. Bu parametreleri bulmak için kullanılan ifadeler aşağıda verilmiştir.

$$k = \left(\frac{\sigma_u}{U}\right)^{-1,086} \quad (2.13)$$

$$A = U * \left(0,568 + \frac{0,433}{k}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (2.14)$$

Burada;  $\sigma_U$  standart sapmayı ve  $U$  ortalama hızı ifade etmektedir.

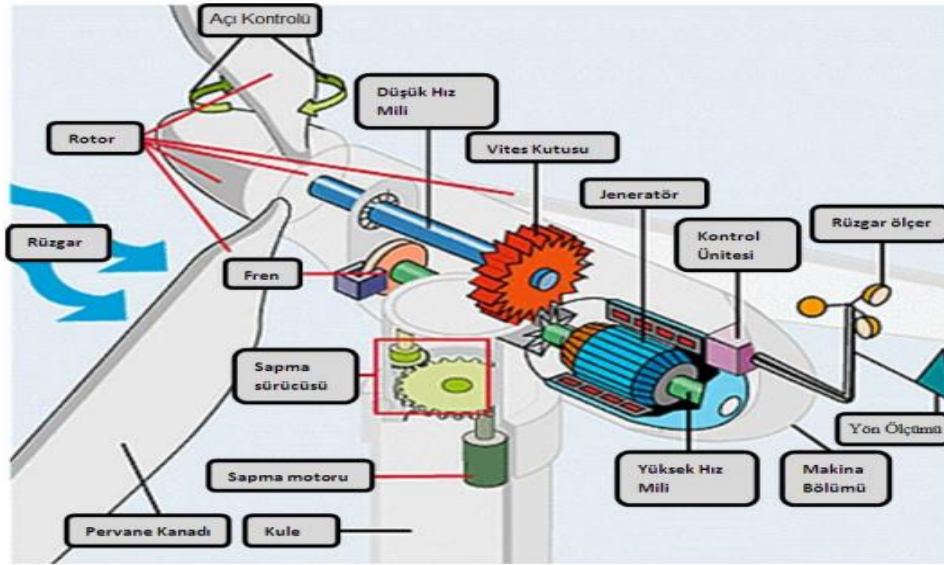
Farklı rüzgar hızlarında bir bölge için yapılan ölçümler sonucu elde edilen Weibull Eğrisi Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Weibull Eğrisi [28]

### 2.1.3. Rüzgar Türbinlerinin Yapısı

Genel olarak bir rüzgar türbininin yapısı Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Rüzgar Türbininin Genel Yapısı [29]

#### 2.1.3.1. Kule

Kule rotor ve naseli taşıyan kısımdır. Kule kullanılmasının amacı rüzgardan elde edilen kinetik enerjinin mümkün olduğu kadar maksimum seviyeye çıkmasını sağlamaktır. Çünkü rüzgar türbini yerden ne kadar yükseğe yerleştirilirse diğer bir deyişle kule uzunluğu ne kadar büyük olursa o kadar fazla rüzgar yakalanmış olur. Kule nasel kutusunun içindeki elemanlara ve etki eden rüzgar kuvvetine dayanacak ölçülerde olmalıdır. Kulenin yüksekliği kanat boyunun 2-3 katı büyüklüğünde olmalıdır. Kulelerin ağırlığı ise 12-88 ton arasında değişiklik göstermektedir.

### *2.1.3.2. Rotor*

Rotor bir rüzgar türbinin en önemli kısmıdır. Rotor (pervane) gelen rüzgar hareketini şaft vasıtasıyla dişli kutusuna, oradan da jeneratöre gönderen bir birimdir. Tek kanatlı türbinler daha hızlı hareket ederler, bu da gereksiz sarsıntı ve gürültüye neden olur. Bu yüzden bu tür türbinler görsel olarak tercih edilmezler. İki kanatlı türbinler de denge ve görsel kabul edilebilirlik problemleri nedeniyle tercih edilmemektedirler. Bunun sonucunda bütün ticari tasarımlar üç kanatlı rotorları tercih etmektedirler.

### *2.1.3.3. Dişli Kutusu*

Dişli kutusu düşük hızlı şaftı yüksek hızlı şafta bağlar ve türbinin hızını 30-60 d/dk (rpm) değerinden verimli bir şekilde elektrik üretebilmek amacıyla çoğu generatör için gerekli olan 1200-1800 d/dk (rpm) değerine çıkarır. Dişli kutusu sayesinde rüzgar türbini pervanesinin sahip olduğu düşük hız generatörün kullanabileceği yüksek hıza dönüştürülür. Dişli kutusunun sol kısmında düşük hızlı şaft bulunmaktadır. Sağ kısmında ise hızı düşük hızlı şafttan 50 kat daha fazla olan yüksek hızlı şaft yer almaktadır.

### *2.1.3.4. Generatör*

Generatörler hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren elektrik makineleridir. Bu makineler rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde rüzgar pervanesinden aldığı enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler. Rüzgar türbinlerinde DC (Doğru Akım), asenkron ve senkron olmak üzere üç farklı tip generatör kullanılmaktadır. Küçük güçlü türbinlerde DC generatörler kullanılmaktadır. Büyük güçlü türbinlerde ise AC generatörler tercih edilir. Bu AC generatörler senkron ve asenkron olmak üzere iki çeşittir.

#### *Doğru Akım (DC) Generatörleri*

Bu tür generatörler şebekeden bağımsız olarak çalışan rüzgar türbinlerinde kullanılmaktadır. Hızlarının kolay kontrol edilebilmesi ve enerji üretiminin bütün rüzgar hızlarında mümkün olması gibi avantajlara sahiptirler. Buna karşılık bakımları maliyetlidir ve güvenilirlikleri düşüktür.

#### *Asenkron Generatörler*

Rüzgar türbinlerinin çoğunda genellikle asenkron generatörler kullanılır. Bu tür generatörler yapısal olarak basit ve sağlamdırlar. Asenkron generatörler çeşitli çalışma koşulları altında çok büyük verimlilik sağlarlar. Ucuzdurlar ve bakım-onarım maliyetleri düşüktür. Asenkron generatörlerde rotorun hızı ile döner manyetik alanın hızı arasında

bir fark vardır ve rotor bu farkı kapatmak istese de bunu başaramaz. Bu nedenle rotor her zaman senkron hızdan daha düşük bir hız değerinde hareket eder. Bu iki hız arasındaki farka ‘Kayma’ denir ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$S = \frac{N_S - N_R}{N_S} \quad (2.15)$$

Senkron hız  $N_S$  ise  $f$  frekans ve  $P$  asenkron generatörün kutup sayısı olmak üzere eşitlik (2.16) ile bulunur.

$$N_S = \frac{120 * f}{P} \quad (2.16)$$

### *Senkron Generatörler*

Senkron generatörlere bu ismin verilmesinin nedeni rotor ile manyetik alanın aynı hızda dönmesidir. Bu generatörlerde asenkron generatörlerde olduğu gibi bir adet rotor ve bir adet üç fazlı stator bulunmaktadır. Bu rotor ve stator aynı sayıda kutba sahiptirler. Stator sargıları  $120^\circ$  aralıklarla yerleştirilmiştir. Senkron generatörler pahalıdır ve bağlandığı şebeke ile aynı frekansta çalışmaktadırlar.

#### *2.1.3.5. Yaw (Sapma) Mekanizması*

Rüzgardan maksimum seviyede verim sağlayabilmek için rüzgar türbinlerinin rotorunun her zaman rüzgara dik konumda olması gerekmektedir. Yaw mekanizması rüzgarın hangi yönde estiğini belirlemek için rüzgar gülünü kullanır ve elde ettiği bilgiyi kontrol sistemine iletir. Rüzgarın yönü değiştiği zaman kontrol sisteminden aldığı bilgiyi kullanarak rotoru istenen şekilde rüzgara dik konuma getirir.

#### *2.1.3.6. Kontrol Merkezi*

Kontrol sistemleri rüzgar türbinlerinin en iyi şekilde çalışması amacıyla rüzgar türbininin durumunu sürekli olarak takip eder. Birçok kontrol yöntemi vardır ve en önemlileri yaw (sapma) ve pitch (açı) kontrolleridir.

#### *2.1.3.7. Diğer Bileşenler*

*Anemometre:* Rüzgar hızını ölçer ve bilgiyi kontrol merkezine iletir.

*Düşük Hızlı Şaft:* Bu şaft türbin ile dişli kutusu arasındaki bağlantıyı sağlar. Düşük hızlı şaft 30-60 d/dk (rpm) hızla döner.

*Yüksek Hızlı Şaft:* Generatörü süren kısımdır ve yaklaşık 1500 d/dk (rpm) hızla dönmektedir.

*Fren:* Acil durumlarda rotoru durdurmak için kullanılır. Frenleme elektriksel, mekaniksel ve hidrolik olarak uygulanabilir.

*Rüzgar Gülü:* Rüzgarın yönünü ölçer ve rüzgara bağlı olarak türbini doğru bir şekilde yönlendirmek için yaw mekanizması ile iletişime geçer.

*Pitch:* Elektrik üretilmeyecek seviyede yüksek veya düşük rüzgar hızlarında kanatları kontrol eden sistemdir.

*Nasel:* Nasel rotora takılı durumdadır ve kulenin tepesinde yer alır. Naselin içinde dişli kutusu, düşük ve yüksek hızlı şaft, generatör, kontrolör ve fren bulunmaktadır.

#### **2.1.4. Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması**

Rüzgar enerjisi teknolojisinin başlangıcından beri dünyanın farklı bölgelerinde çeşitli tip ve modellerde makineler tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları ticari olarak kabul görmemiş yenilikçi tasarımlardır. Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılmasında farklı yollar olmasına rağmen, dönme eksenine göre yatay eksenli rüzgar türbinleri (YERT) ve dikey eksenli rüzgar türbinleri (DERT) olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar.

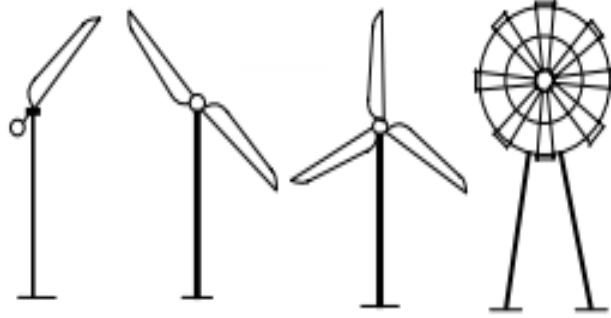
##### *2.1.4.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT)*

Yatay eksenli rüzgar türbinleri (YERT) zemine yatay ve rüzgar akımına hemen hemen paralel dönme eksenine sahiptirler. Ticari rüzgar türbinlerinin çoğu bu kategoriye girmektedir. Yatay eksenli makineler düşük cut-in hızı gibi bazı belirgin avantajlara sahiptirler. Şekil 2.5'te üç kanatlı yatay eksenli rüzgar türbini gösterilmiştir.



**Şekil 2.5.** Üç Kanatlı YERT [25]

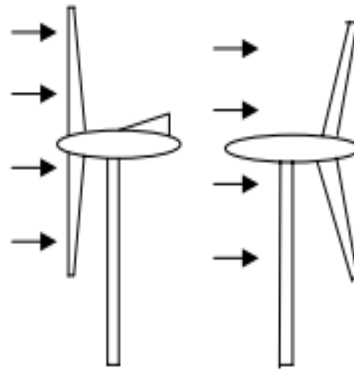
Kanat sayısına bağılı olarak yatay eksenli rüzgar türbinleri (YERT) Şekil 2.6'da gösterildiği gibi tek kanatlı, iki kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı olarak sınıflandırılmaktadır.



**Şekil 2.6.** YERT'lerin Kanat Sayısına Göre Sınıflandırılması [25]

Rüzgarı alma yönüne göre ise YERT'ler Şekil 2.7'de görüldüğü gibi rüzgarı önden alan ve rüzgarı arkadan alan olmak üzere sınıflandırılırlar. Rüzgarı önden alan türbinlerin rotorları direk olarak rüzgara karşı dönüktürler. Rüzgar akımı ilk olarak rotordan geçtiği için kule gölgesi problemi yoktur. Buna rağmen bu tür türbinler için rotorun daima rüzgara dönük olması için yaw mekanizması gereklidir.

Diğer taraftan, rüzgarı arkadan alan türbinler daha esnektir ve yaw mekanizmasına ihtiyaç duymazlar. Fakat rotor kulenin rüzgar almayan kısmında bulunduğu için kule kanatlara giden rüzgarın bir kısmını gölgeler [25].



**Şekil 2.7.** YERT'lerin Rüzgar Alma Yönüne Göre Sınıflandırılması [25]

#### 2.1.4.2. Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT)

Düşey eksenli rüzgar türbinlerinin (DERT) dönme eksenini zemine ve rüzgar yönüne hemen hemen dik konumdadır. Düşey eksenli rüzgar türbinleri rüzgarı her yönden

alabilirler. Bu nedenle karmaşık yaw mekanizmalarının kullanılmasına gerek yoktur. DERT'lerin kendi kendine çalışamaları en önemli dezavantajlarıdır. Türbin durduğu zaman türbini itmek ve çalıştırmak için ilave mekanizmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

### *Darrieus Rotor*

Adını mucidi olan Georges Jeans Darrieus adından alan Darrieus rotor bir dizi kanat profillerinden üretilen kaldırma kuvveti ile çalışmaktadır. Orijinal tasarımda kanatlar yumurta çırpıcı veya dönen halat (*troposkein*) şeklindedir ve çalışma anında kanatlar gergindir. Kanatların bu tipte yapılması kanatların karşılaştığı bükülme stresinin minimuma indirilmesine yardım eder. Darrieus rotor genellikle yüksek uç hız oranında çalışır ve bu da bu tip rotorların rüzgar elektrik generatörleri için cazip hale gelmesine neden olur. Darrieus rotorlar kendi kendilerini uyaramazlar ve devreye girmek için harici tahrik elemanına gerek duyulur. Şekil 2.8'de Darrieus rüzgar türbini verilmiştir [25].

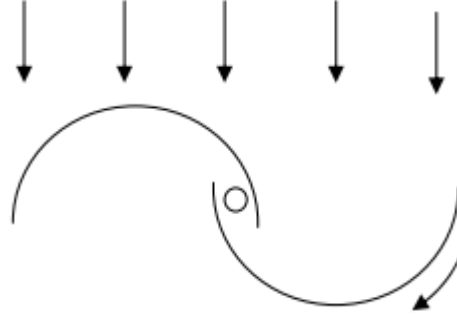


**Şekil 2.8.** Darrieus Rüzgar Türbini [25]

### *Savonius Rotor*

S. J. Savonius tarafından icad edilen Savonius rüzgar türbini Şekil 2.9'da gösterildiği gibi 'S' şeklinde düzenlenmiş iki tane yarım silindirik veya eliptik kanattan oluşan düşey eksenli bir makinedir. Savonius tipi rüzgar türbinleri ilk harekete geçmek için başka herhangi bir düzeneğe ihtiyaçlar duymazlar. Ayrıca yapımları daha kolay ve maliyetleri daha düşüktür. Aerodinamik performansları diğer düşey eksenli türbinlere göre daha düşük olduğu için genellikle havalandırma ve su pompalama işlerinde kullanılmaktadır.

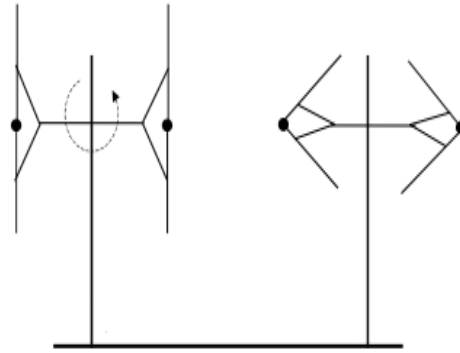




**Şekil 2.9.** Savonius Rüzgar Türbini [25]

### *Musgrove Rotor*

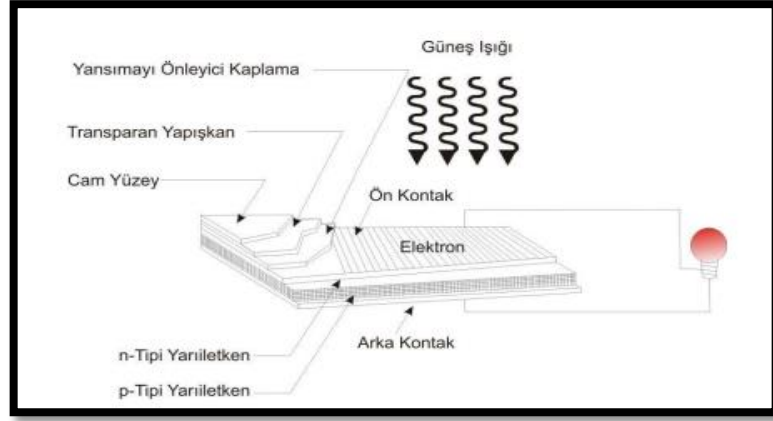
Musgrove rotor Büyük Britanya'daki Reading Üniversitesi'nde Profesör Musgrove liderliğindeki bir araştırma ekibi tarafından keşfedilmiştir. Temel olarak bu makineler 'H' şeklindeki kanatlara ve merkezi şafta sahip olan dikey eksenli bir makinedir. Yüksek rüzgar hızlarında merkezkaç kuvveti nedeniyle rotor yatay bir noktada döner. Bu durum kanatlar ve yapı üzerindeki yüksek aerodinamik kuvvet riskini ortadan kaldırır. Musgrove rüzgar türbini Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



**Şekil 2.10.** Musgrove Rüzgar Türbini [25]

## **2.2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER**

Güneş enerjisinden faydalanılarak elektrik enerjisinin üretildiği sistemlere fotovoltaik (FV) sistem adı verilir. Fotovoltaik kelimesi gerilim birimi olan *volt* ve Yunanca'da ışık anlamına gelen *foto* kelimelerinin birleşiminden meydana gelmiştir. FV olay ilk kez Fransız fizikçi Edmund Becquerel tarafından 1839 yılında fark edilmiştir. Becquerel içerisinde iki tane elektrot bulunduran bir çözeltiyi ışığa maruz bırakmış ve elektrotlarda gerilim arttığını gözlemlemiştir. Şekil 2.11'de bir FV hücre yapısı verilmiştir [30].



**Şekil 2.11.** FV Hücresinin Yapısı [28]

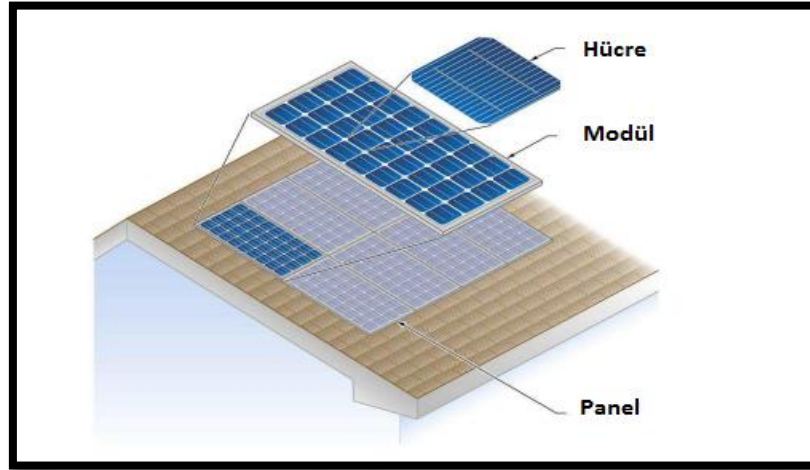
FV sistemlerde elektrik üretimi gürültüsüzdür, bakım maliyeti düşüktür ve yakıt-petrol kaynaklarına ihtiyaç duymayan bir yöntemdir. Fakat enerji yalnızca yeteri kadar güneş enerjisine ulaşılabildiğinde mevcuttur. FV sistemlerin en önemli dezavantajları yüksek kurulum maliyetine sahip olmalarıdır. FV sistemlerin bazı avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1.** FV Sistemin Avantajları ve Dezavantajları [31]

Avantajları	Dezavantajları
Kaynağı sonsuzdur.	Kaynak değişiklik göstermektedir.
İklim değişikliği ve kirliliğe neden olmaz.	Kurulum maliyeti yüksektir.
İşletim maliyeti düşüktür.	Yardımcı elemanların güvenilirliği zayıftır.
Hareketli parçası yoktur.	Verimli enerji depolama ekonomik değildir.
Kurulumu kolay ve çabuktur.	
Ortam sıcaklığında çalışmaktadırlar.	
Kullanım noktasına yakın bir yere kurulabilirler.	

Bir FV sistemin en temel elemanı olan hücreler genel olarak  $100 \text{ cm}^2$  büyüklüğündeki bir alana sahiptirler ve yaklaşık olarak 1-1,5 W’lık güç üretmektedir. Tipik olarak bir FV hücre yarıiletkenin tipine bağlı olarak 0,5-0,8 V arasında bir gerilim üretir. Bu gerilim değeri kullanılabilir bir değer değildir. Bu nedenle, bu teknolojiye daha iyi bir şekilde faydalanabilmek için birçok sayıda FV hücre (36-72 arası) birbirlerine seri veya paralel olarak bağlanırlar. Bu şekilde oluşan yapıya modül denir. Modüllerin de yetersiz kaldığı

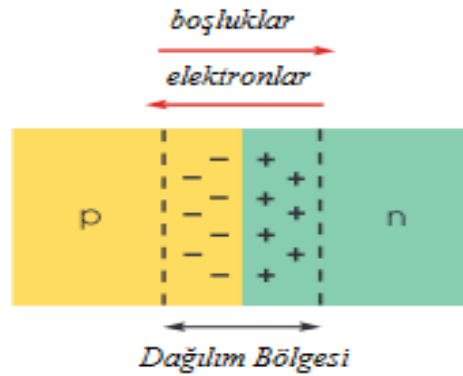
durumlarda modüllerin birleştirilmesiyle paneller oluşur. Şekil 2.12’de bir FV hücre, modül ve panel gösterilmiştir [32].



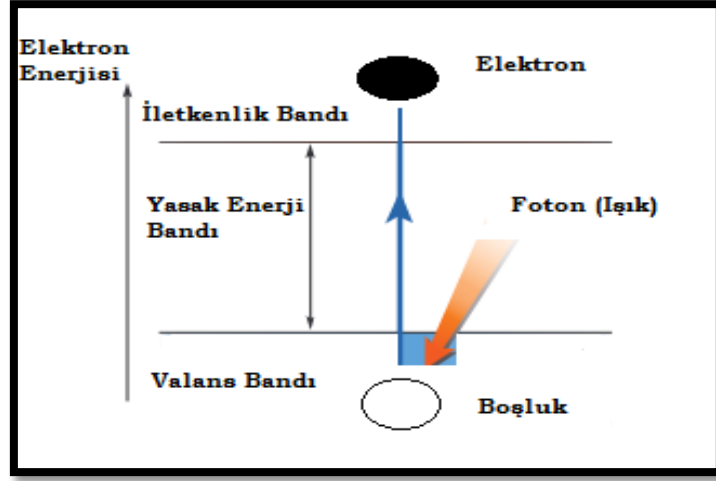
Şekil 2.12. FV Hücre, Modül ve Panel [33]

### 2.2.1. FV Hücresinin Çalışma Prensibi

FV hücreler birbirine benzemeyen yarıiletken malzemelerin p-tipi (pozitif) ve n-tipi (negatif) olmak üzere iki ince tabaka arasındaki birleşiminden meydana gelmektedir. Şekil 2.13’te gösterildiği üzere, bu birleşme yüzeyinde (jonksiyon), n-tipi malzemedeki çoğunluk taşıyıcıları serbest elektronlar p-tipi yarıiletken malzemeye doğru yayılmaya başlarlar ve geride bıraktıkları bölge pozitif yüklü hale gelir. Benzer olarak p-tipi malzemedeki çoğunluk taşıyıcıları olan boşluklar ise n-tipi malzemeye doğru hareket etmeye başlar ve ayrıldıkları bölge negatif yüklü olur. Bu iki tip çoğunluk taşıyıcısının zıt yöndeki bu hareketi sonucu serbest yük bölgesi adı verilen bir bölge oluşur ve bir gerilim bariyeri oluşturarak birleşme bölgesinde elektrik alan meydana getirir [34].

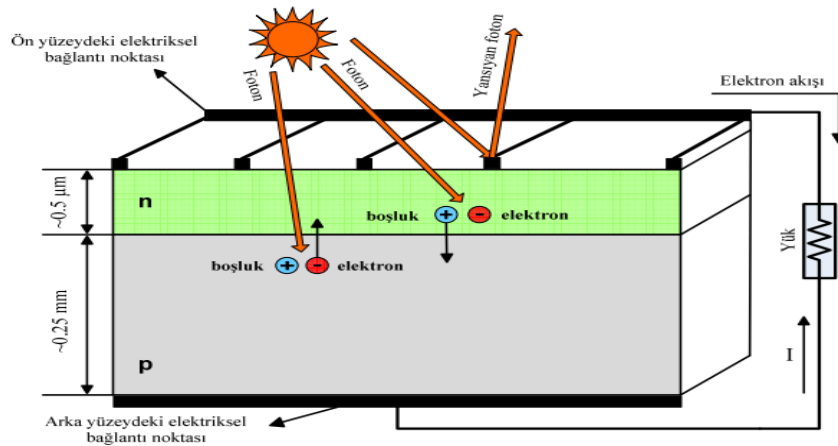


Şekil 2.13. p-n Birleşimi [34]



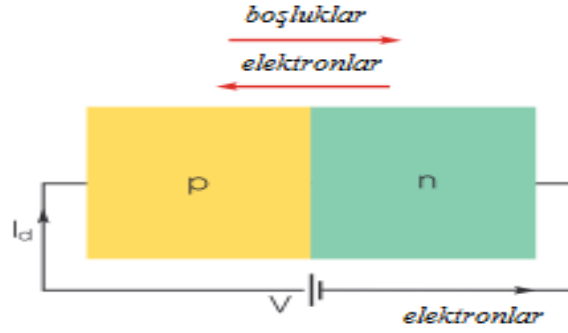
**Şekil 2.14.** Yarıiletken Malzemenin Yapısı [34]

Şekil 2.14'te görüldüğü gibi yarıiletken malzemeler bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından meydana gelir. Bu bantlar 'valans bandı' ve 'iletkenlik bandı' adını alırlar. Güneş ışınlarının fotonlarının birleşim yüzeyi ile p-tipi ve n-tipi malzemelerin üzerine düşmesi durumunda foton enerjisi yarıiletkenin bant aralığından daha büyük veya bu değere eşitse elektron rahatça hareket edebileceği iletkenlik bandına geçiş yapar ve bunun sonucunda elektron-boşluk çifti meydana gelir. Eğer elektron iletkenlik bandına geçiş yapmak için yeterli enerjiye sahip değilse elektron-boşluk çifti oluşmaz ve elektronun fazla enerjisi sıcaklık olarak dışarıya yansır. Foton enerjisinin bant aralığı enerjisinden büyük olması sonucu oluşan elektron-boşluk çiftleri birleşme yüzeyindeki elektrik alan nedeniyle birbirlerinden uzaklaşırlar ve harici yük üzerinden geçerek akım meydana getirirler. FV etki ile akım ve gerilimin oluşması Şekil 2.15'te görülmektedir [4,34].



**Şekil 2.15.** FV Etkisiyle Elektrik Akımı Oluşumu [34]

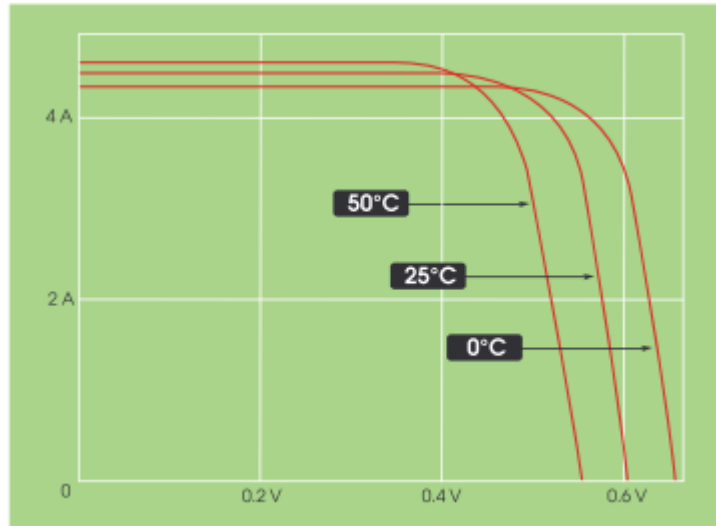
Geleneksel yarıiletken diyotlarda çoğunluk taşıyıcıları (n-tipi malzemede elektronlar, p-tipi malzemede boşluklar) temel aktörlerdir. Şekil 2.16'da gösterildiği gibi, birleşimin ileri yönde kutuplanması diğer bir deyişle p-tipi malzemenin n-tipi malzemeye göre pozitif olması oluşan bariyerin azalmasına ve giderek ortadan kalkması sonucu akım akışına neden olur. Ters yönde kutuplanma durumunda ise gerilim bariyeri artar ve sadece küçük değerlerde akım akışı olur [30,34].



Şekil 2.16. İleri Yönde Kutuplama [34]

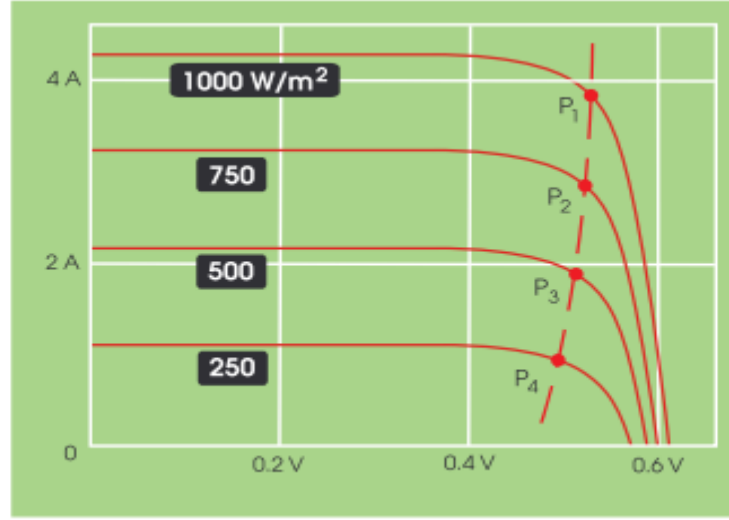
FV hücrenin çıkışından elde edilen akım ve gerilimi etkileyen en önemli iki unsur sıcaklık ve güneş radyasyonudur.

Sıcaklık FV hücrenin çıkışından elde edilen gerilimi etkileyen faktörlerden birisidir. Sıcaklığın artmasıyla gerilimin değeri azalır. Silikon hücrenin gerilim düşümü °C başına 2,3 mV'tur. Akımın sıcaklık ile değişimi ise daha az belirgin olduğu için FV sistem tasarımlarında çoğunlukla göz ardı edilmektedir. Şekil 2.17'de sıcaklığın akım ve gerilim üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Sıcaklığın Akım ve Gerilim Üzerindeki Etkisi [34]

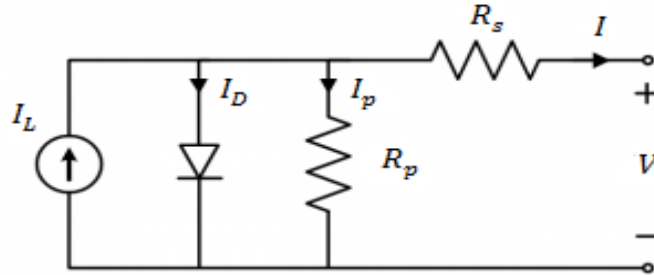
Işık tarafından üretilen akım ışınların akışıyla orantılıdır. Güneş radyasyonunun artması aynı oranda ışın akışının artmasına, bunun sonucu olarak da orantılı bir şekilde daha yüksek bir akım üretmesine neden olur. Bu nedenle hücrenin akımı direkt olarak güneş radyasyonu ile orantılıdır. Gerilim değişimi küçüktür ve göz ardı edilir. Güneş radyasyonunun akım ve gerilim üzerindeki etkisi Şekil 2.18’de verilmiştir.



Şekil 2.18. Güneş Radyasyonunun Akım ve Gerilime Etkisi [34]

### 2.2.2. FV Hücresinin Devre Modeli

FV hücrelerin karmaşık yapısı Şekil 2.19’da gösterilen tek diyotlu elektriksel eşdeğer devre aracılığıyla temsil edilebilir. Devrenin çıkışındaki  $I$  akımı, ışık tarafından üretilen  $I_L$  akımından diyot akımı ( $I_D$ ) ve paralel sızıntı akımının ( $I_p$ ) çıkarılmasıyla elde edilir.  $R_s$  seri direnci akıma karşı gösterilen iç dirençtir ve pn birleşiminin derinliğine, saflığına, temas direncine bağlı bir değerdir.  $R_p$  paralel direnci ise toprağa akan sızıntı akımına ilişkin bir değerdir. İdeal bir FV hücrede  $R_s=0$  ve  $R_p=\infty$  olmalıdır. Yüksek kaliteli 1  $in\check{c}^2$ ’lik tipik bir silikon hücrede,  $R_s$  direnci 0,05-0,10  $\Omega$  değerleri arasında,  $R_p$  direnci ise 200-300  $\Omega$  değerleri arasında değişiklik göstermektedir [27].



Şekil 2.19. FV Hücresinin Tek Diyotlu Elektriksel Eşdeğer Devresi [27]

Eşdeğer devrede hücrenin açık devre gerilimi  $V_{oc}$ , yük akımı  $I=0$  olduğunda aşağıdaki eşitlik (2.17) ile hesaplanır.

$$V_{oc} = V + IR_p \quad (2.17)$$

Diyot akımı aşağıdaki eşitlik (2.18)'deki klasik diyot akımı ifadesiyle elde edilir.

$$I_D = I_0 \left[ e^{\left(\frac{qV_{oc}}{AkT}\right)} - 1 \right] \quad (2.18)$$

Burada;

$I_0$ : Diyotun ters doyma akımı

$q$ : Elektron yükü ( $1,602 \times 10^{-19} C$ )

$A$ : Diyot idealite faktörü (İdeal değer 1'dir.)

$k$ : Boltzmann sabiti ( $1,381 \times 10^{-23} J/^{\circ}K$ )

$T$ : Sıcaklık ( $^{\circ}K$ )

Son olarak yük akımı aşağıdaki ifadeler ile bulunabilir.

$$I = I_L - I_D - I_p \quad (2.19)$$

$$I = I_L - I_0 \left[ e^{\left(\frac{qV_{oc}}{AkT}\right)} - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (2.20)$$

Eşitlik (2.20)'deki son  $\frac{V_{oc}}{R_p}$  terimi sızıntı akımını ifade eder. Bu sızıntı akımı,  $I_L$  ve  $I_D$

akımlarıyla karşılaştırıldığında çok küçük bir değer olduğu için göz ardı edilebilir ve çoğu hücrelerde de ihmal edilir. Bunun sonucunda diyotun ters doyma akımı karanlıkta hücreye bir gerilim uygulandıktan sonra hücreye giden akımın ölçülmesiyle bulunur.

FV sistemin çıkışından elde edeceğimiz güç eşitlik (2.21) ile hesaplanabilir.

$$P_{FV} = \eta_g * N * A_m * G_t \quad (2.21)$$

Burada;

$P_{FV}$ : FV sistemin çıkış gücü

$\eta_g$ : FV sistem verimi

$N$ : Modül sayısı

$A_m$ : Sistemde kullanılan tekli modülün alanı ( $m^2$ )

$G_t$ : Modül yüzeyindeki güneş radyasyonu ( $W/m^2$ )

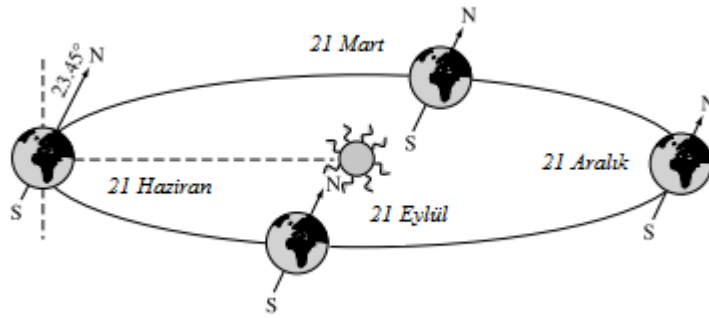
### 2.2.3. Güneş ve Dünya Arasındaki Hareket

Dünya eliptik bir yörünge dahilinde Güneş'in etrafında döner. Bu yörüngeyi içeren düzlem *ekliptik düzlem* olarak adlandırılır ve Dünya'nın bu düzlemi tamamlaması için geçen süre yılların oluşmasına neden olur. Güneş'in Dünya'ya olan uzaklığı eşitlik (2.22)'de gösterilmiştir.

$$d = 1,5 \times 10^{11} \left[ 1 + 0,017 \sin \left( \frac{360(n - 93)}{365} \right) \right] \quad (2.22)$$

Burada,  $n$  yılın başlangıcından itibaren geçen gün sayısını ifade eder. Ekliptiğin merkezkaçlığı sadece 0,017'dir ve bu çok küçük bir değerdir. Bu nedenle yörüngeyi daireden sapması da çok küçüktür.

Dünya aynı zamanda kendi merkezi eksenindeki (kutup eksenini) turunu bir günde tamamlar. Dünya'nın kutup eksenini, ekliptik düzlem ile arasında  $23,45^\circ$ 'lik bir açı farkı ile güneş çevresindeki yörüngeyi izler. Bu açı kış aylarına oranla yaz aylarında güneşin gökyüzünde daha yükseğe çıkmasına ve yaz aylarında daha uzun, kış aylarında da daha kısa güneşlenme sürelerine neden olur [35].

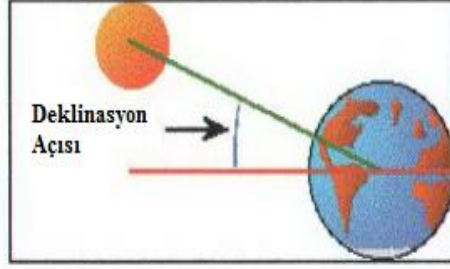


**Şekil 2.20.** Dünya'nın Güneş Etrafındaki Hareketi ve Yılın Farklı Zamanlarındaki Deklinasyon Açıları [31]

Ekvatorial düzlemin Dünya'nın merkezi ve Güneş'in merkezi arasındaki çizilen düz çizgi ile yaptığı açı yıl içerisinde değişmektedir. Bu açıya deklinasyon açısı denir. Şekil 2.20'de Dünya'nın güneş etrafındaki hareketi ve yılın farklı zamanlarındaki deklinasyon açıları gösterilmiştir. Deklinasyon açısındaki günlük değişim  $0,5^\circ$ 'den daha küçüktür. Ekvatorun kuzeyindeki açılar pozitif, güneyindeki açılar da negatif olarak değerlendirilecek olursa, yılın belirli bir günü için deklinasyon açısı aşağıdaki ifade (2.23) ile bulunur [31]. Şekil 2.21'de deklinasyon açısı gösterilmiştir.



$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360(n + 284)}{365} \right] \quad (2.23)$$



**Şekil 2.21.** Deklinasyon Açısı [36]

Coğrafi konumların belirlenmesinde gerekli olan açılar enlem ( $\theta$ ) ve meridyendir ( $\phi$ ). Enlem ekvator ile yeryüzü üzerindeki bir nokta arasındaki (ekvatorun kuzeyi veya güneyinde) bir meridyen boyunca ölçülen açısal mesafedir. Kuzeye dönük olan bir konum kuzey kutupta maksimum  $90^\circ$  olmak üzere pozitif enleme sahiptir. Diğer yandan, meridyen ise İngiltere Greenwich'te bulunan başlangıç meridyeni ile yeryüzündeki bir nokta arasındaki (başlangıç meridyeninin batısı veya doğusunda) ölçülen açısal mesafedir [4].

Zenit dünyaya dik olarak geldiği kabul edilen bir çizgidir. Bu çizgi ile güneş ışınları arasındaki açı zenit açısı ( $\theta_z$ ) olarak tanımlanır ve aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \theta + \cos \delta \cos \theta \cos \omega \quad (2.24)$$

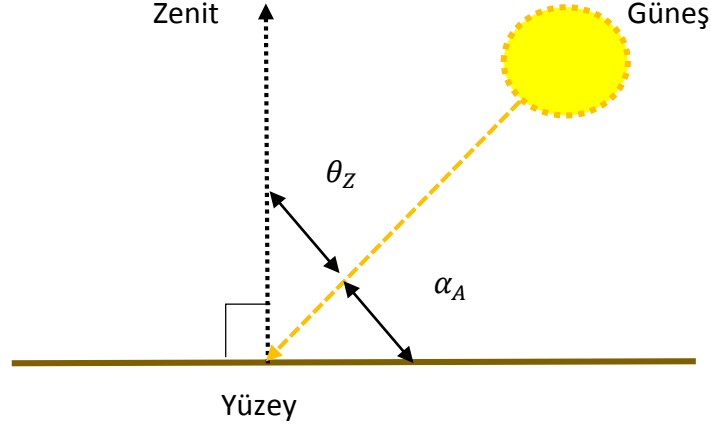
Burada;  $\delta$  deklinasyon açısını,  $\theta$  enlemi ve  $\omega$  saat açısını ifade etmektedir.

Güneş'in herhangi bir yer ve zamandaki pozisyonu yükseklik açısı ( $\alpha_A$ ) ve azimut açısı ( $\gamma$ ) ile ifade edilebilir. Yükseklik açısı güneş ışınları ile yatay düzlem arasındaki açıdır ve eşitlik (2.25)'te görüldüğü üzere zenit açısını  $90^\circ$ 'ye tamamlar. Bu açı değeri eşitlik (2.26) ile bulunur [4].

$$\alpha_A + \theta_z = 90^\circ \quad (2.25)$$

$$\alpha_A = \sin^{-1}(\cos \delta \cos \theta \cos \omega + \sin \delta \sin \theta) \quad (2.26)$$

Şekil 2.22'de zenit açısı ve yükseklik açısı gösterilmiştir.



**Şekil 2.22.** Zenit Açısı ve Yükseklik Açısı

Azimut açısı ise güneş-dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıdır. Azimut açısı öğle vaktinde sıfırdır ve batıya doğru gidildikçe artar. Eşitlik (2.27) kullanılarak azimut açısı bulunabilir.

$$\cos \gamma = \frac{(\sin \alpha_A \sin \theta - \sin \delta)}{\cos \alpha_A \cos \theta} [\text{sign}(\theta)] \quad (2.27)$$

Eşitlikteki  $[\text{sign}(\theta)]$  ifadesi elde edilen açının kuzey enlemleri için pozitif, güney enlemleri için de negatif değer olacağını ifade eder.

Saat açısı ( $\omega$ ) dünyanın gün içerisinde döndüğü ve öğle saatinden sonraki saat sayısının 15 sabit sayısı ile çarpılması sonucu çıkan değere eşit olan açısal mesafedir. Bu 15 sayısı dünyanın güneş etrafındaki bir tur dönüşündeki yaptığı  $360^\circ$ lik açının 24 saate bölünmesi ile elde edilir. Başka bir ifade ile dünya güneş etrafında 1 saatte  $15^\circ$ lik açı yapar. Saat açısı aşağıdaki eşitlik (2.28) ile hesaplanır [4,37].

$$\omega = \frac{12 - h}{24} * 360^\circ = 15(12 - h)^\circ \quad (2.28)$$

Burada  $h$  saat açısı hesaplanacak olan günün saatini ifade eder.

#### 2.2.4. FV Sistem Bileşenleri

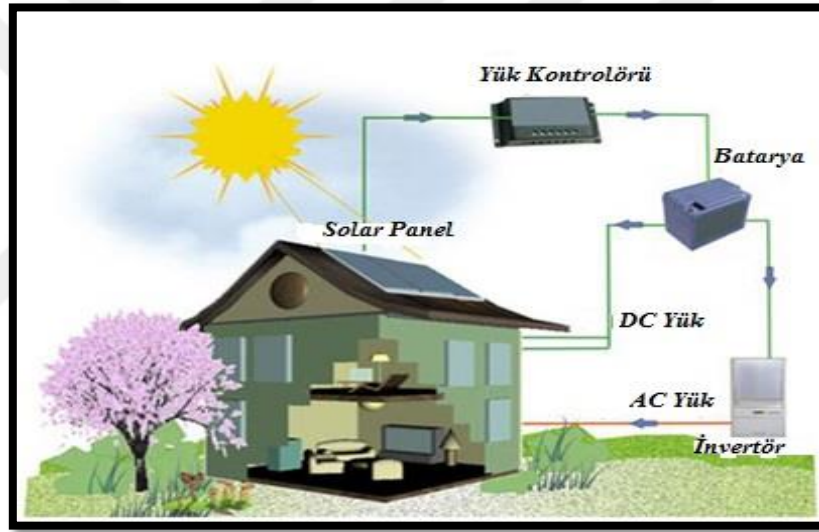
Bir FV sistem Şekil 2.23'te gösterildiği gibi, FV panel, batarya grubu, invertör ve sistem yük kontrolörü gibi bileşenlerden meydana gelmektedir.

*FV Panel:* FV hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşan ve güneş enerjisinden elektrik enerjisinin üretildiği sistemdir.

*Batarya Grubu:* FV sistemler gece veya bulutlu hava gibi yeterli güneş radyasyonunun olmadığı durumlarda enerji sağlayabilmek için enerjiyi depolama ihtiyacı duyarlar. Bu durumlarda bataryalar kullanılmaktadır

*İnvertör:* Güneş enerjisinden üretilen ve bataryalarda depolanan akım doğru akımdır. Bu akımı ihtiyaç duyulması halinde alternatif akıma dönüştürmek için invertörler kullanılır.

*Yük Kontrolörü:* Yük kontrolörü FV panelden batarya grubuna, batarya grubundan da yüklere olan akım akışını kontrol etmek amacıyla kullanılır. Bu kontrolör bataryanın aşırı depolanmasına ve aşırı şekilde deşarj olmasına engel olur.



Şekil 2.23. FV Sistem Bileşenleri

## 2.2.5. FV Hücre Yapımında Kullanılan Malzemeler

### 2.2.5.1. Tek Kristalli Silikon

Mevcut hücre malzemeleri arasında en yaygın olan tek kristalli silikonlardır. Bu tip malzemelerin enerji dönüşüm verimliliği %14 ile %18 değerleri arasında değişiklik göstermektedir. Üretim aşamasında, ilk olarak silikon hammaddesi eritilir ve pota şeklindeki bir kap içerisinde sıkıştırılır. Daha sonra sıvı silikon içerisine kristal yerleştirilir ve yavaşça sabit bir hızda çekilir. Bunun sonucunda tek kristalli silindirik bir yapı oluşur. Bu silindirik yapılar elmas testere kullanılarak 200-400 µm kalınlığındaki

parçalara bölünürler. Parçalar dikdörtgen panel üzerine yerleştirilecek hücre sayısını maksimuma çıkarabilmek için köşegen şekilde dilimlenirler [27].

#### 2.2.5.2. Çok Kristalli Silikon

Bu yöntem kristal hücreler üretebilmek için hızlı ve düşük maliyetli bir sürece sahiptir. Erimiş silikon silindirik yapılara dökülür ve bu süreçte çok kristalli bir yapı meydana gelir. Düşük maliyetlidir, fakat dönüşüm verimliliği de düşüktür [27].

#### 2.2.5.3. Amorf Silikon

Bu teknolojiye 2 µm inceliğindeki amorf silikon tabaka tipik olarak 2000 feet uzunluğunda ve 13 inç genişliğindeki cam ve paslanmaz çelik rulo içerisinde dibe çökertilir. Kristal silikonla karşılaştırıldığında, malzemenin sadece %1'i kullanılmaktadır. Verimlilik kristal silikonun verimliliğinin yarısı kadardır fakat maliyet daha düşüktür [27].

#### 2.2.5.4. İnce Film

Bu malzemeler FV hücrelerin yapımında yeni yeni kullanılmaya başlamıştır. Bakır indiyum diselenit (CuInSe<sub>2</sub> veya CIS), kadmiyum tellürid (CdTe) ve galyum arsenit (GaAs) birkaç µm veya daha küçük inceliklere sahip olup, direkt olarak cam, plastik, paslanmaz çelik, seramik veya diğer uyumlu bir alt tabaka malzeme içerisinde çökeltilen ince film malzemelerdir. Daha az malzeme kullanıldığı için maliyetleri düşüktür [27].

### 2.3. DİZEL JENERATÖR

Dizel jeneratör dizel yakıtı elektriğe dönüştüren tek bir cihaz olmasına rağmen, özünde güç üretmek için birlikte çalışan iki farklı cihazdır. Dizel jeneratör bir dizel motor ile elektrik jeneratörünün (genellikle bir alternatör) birleşiminden meydana gelmektedir. Bu özel bir motor-jeneratör durumudur. Dizel motor jeneratörün elektromıknatısları kullanarak elektriğe dönüştüreceği hareketi sağlamak için dizel yakıtı yakar. Motor ve elektromanyetik jeneratör ana mil ile birbirine bağlıdır. Bu ana mil dizel motor tarafından üretilen hareketin jeneratör mıknatıslarına transferini kolaylaştırır. Bir dizel jeneratörünün yakıt tüketimi eşitlik (2.29) ile hesaplanabilir.

$$F_G = B_G P_{NG} + A_G P_G \quad (2.29)$$

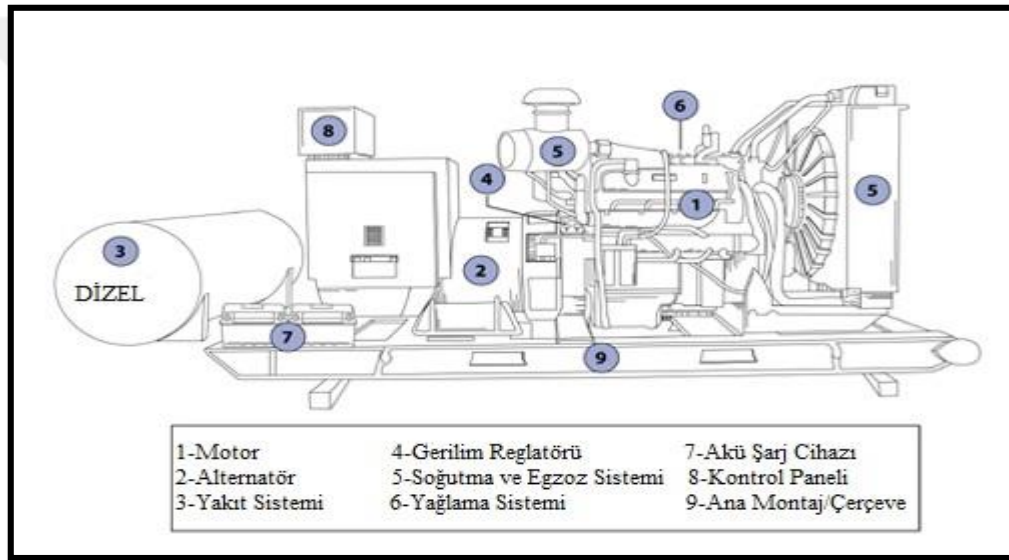
Burada;  $F_G$  dizel jeneratörün yakıt tüketimini,  $P_{NG}$  nominal gücünü,  $P_G$  çıkış gücünü,  $A_G$  ve  $B_G$  yakıt tüketim katsayılarını ifade etmektedir.

Dizel jeneratörler aşağıda belirtilen durumlarda kullanılır:

1. Şebeke enerjisinin bulunmadığı yerlerde enerji sağlamak için,
2. Şebeke enerjisi kesildiğinde acil güç kaynağı olarak,
3. Düşük yük veya fazla yüklenme durumlarını önlemek amacıyla kullanılırlar.

### 2.3.1. Dizel Jeneratörlerin Temel Yapısı

Dizel jeneratörlerin temel bileşenleri Şekil 2.24'te verilmiştir.



Şekil 2.24. Dizel Jeneratörün Temel Bileşenleri

#### 2.3.1.1. Motor

Motor dizel elektrik tesislerinin en önemli parçasıdır ve jeneratör tarafından ihtiyaç duyulan mekanik enerjinin kaynağıdır. Motor genellikle doğrudan jeneratöre bağlıdır. Motorun boyutu ile jeneratörün sağlayabileceği maksimum çıkış gücü arasında direkt olarak bir oran vardır.

Jeneratör motorları dizel, benzin, propan (sıvı ya da gaz halinde) veya doğalgazla çalışmaktadırlar. Küçük boyutlu motorlar genellikle benzinle çalışırken daha büyük motorlar dizel, sıvı propan, gaz propan veya doğalgazla çalışırlar. Belirli motorlar aynı zamanda dizel ve gaz kullanarak çift kaynaklı besleme sayesinde iki yakıtlı çalışma modunda çalışabilirler.

#### *2.3.1.2. Alternatörler*

Alternatör motor tarafından sağlanan mekanik girişten elektrik üreten jeneratör kısmıdır. Alternatörler bir gövde içerisinde bulunan sabit ve hareketli parçaların montajından meydana gelirler. Bileşenler elektrik alanı ile manyetik alan arasında bağlı bir hareket dolayısıyla elektrik üretimi meydana getirmek için birlikte çalışırlar.

#### *2.3.1.3. Yakıt Sistemi*

Yakıt sistemi depolama tankı, yakıt tankı, yakıt pompası, yakıt transfer pompası, filtre ve ısıtıcıdan oluşmaktadır. Akaryakıt demiryolu veya karayolu ile tesise verilir. Petrol depolama tankında depo edilir. Petrol günlük veya daha kısa aralıklarla depolama tankından yakıt tankına pompalanır. Daha sonra kirleri ortadan kaldırmak için filtrelerden geçirilir ve temizlenen petrol motora yerleştirilir.

#### *2.3.1.4. Gerilim Regülatörü*

İsminden anlaşılacağı üzere sistemin bu bileşeni jeneratörün çıkış gerilimini düzenler.

#### *2.3.1.5. Soğutma ve Egzoz Sistemi*

Motor silindirinde yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan ısı kısmen enerjiye dönüştürülür. Isının geri kalanı silindir duvarı, piston, bileziklerden geçer ve sisteme zarar verebilir. Motor parçalarının sıcaklığının güvenli çalışma sınırları arasında kalmasını sağlamak için soğutma yapılır. Soğutma sistemi bir su kaynağı, pompa ve soğutma kulelerinden meydana gelir. Pompa suyu silindir ve silindir ceketinin içerisinden dolaştırır. Su motordan sıcaklığı alır ve kendisi sıcak hale gelir. Sıcak su soğutma kuleleri tarafından soğutulur ve tekrar soğutma için dolaştırılır. Egzoz sistemi ise oluşan gazın bina dışına alınmasını ve atmosfere salınmasını sağlar. Egzoz sisteminin çalışması sırasında sistemde oluşan gürültü seviyesini azaltmak için bir susturucu kullanılır.

#### *2.3.1.6. Yağlama Sistemi*

Yağlama sistemi yağ pompaları, yağ tankları, filtreler, soğutucular ve bağlantı borularından oluşmaktadır. Yağlama sisteminin işlevi hareketli kısımların sürtünmesini ve motor parçalarının aşınma ve yıpranmalarını azaltmaktır.

#### *2.3.1.7. Kontrol Paneli*

Kontrol paneli gerilim, akım ve frekans gibi çeşitli parametrelerin ölçü aleti ve sayaçlar aracılığıyla yapılan ölçümünü gösteren bir dizi ekranlar kümesidir.

### 3. YENİLENEBİLİR MİKROGRİD SİSTEMİN META-SEZGİSEL BİR YÖNTEM İLE OPTİMAL GÜÇ PLANLAMASI

Tezin bu bölümünde, yenilenebilir mikrogrid sistemin optimal güç planlamasında kullanılacak olan meta-sezgisel yöntem Gerçek Kodlu Genetik Algoritmalar (GKGA) hakkında bilgiler sunulmuştur ve optimal güç planlaması gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. GERÇEK KODLU GENETİK ALGORİTMALAR (GKGA)

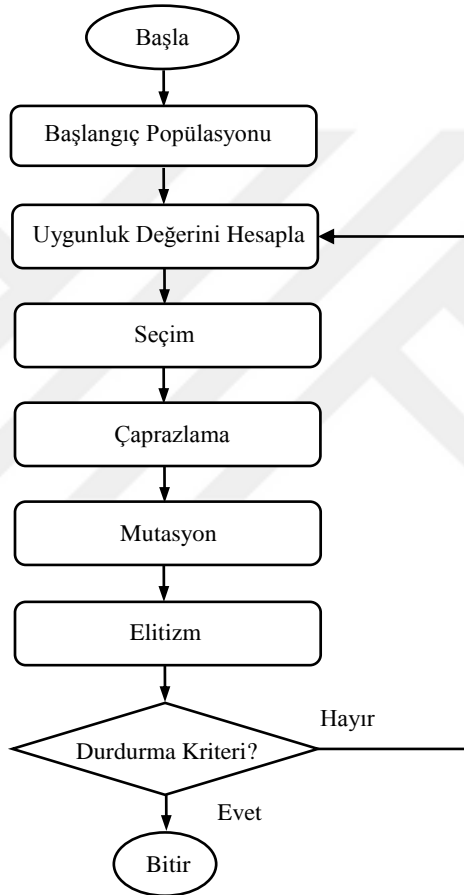
Genetik Algoritma (GA) Charles Darwin'in '*en iyi olan yaşar (survival of the fittest)*' prensibine dayalı olarak biyolojik sistemlerin gelişim sürecini taklit eden ve 1975 yılında Holland tarafından geliştirilen rastlantısal bir optimizasyon yöntemidir. Bu algoritma ilk kullanılan yöntemlerden biridir ve diğer meta-sezgisel yöntemler arasındaki en popüler olanıdır. GA karmaşık bir çözüm alanı içinde bir problemi çözmek için doğal seçim evrim teorilerini kullanır. GA popülasyon tabanlı, rastlantısal ve sezgisel bir yöntem olması nedeniyle verilen problem için en iyi sonucu bulamayabilir, fakat bilinen yöntemler ile çözülemeyecek problemler için yakın çözümler sağlayabilir.

Genetik algoritmalar kapsamlı bir algoritma ailesi olan Evrimsel Algoritmaların (EA) bir üyesidir. Evrimsel hesaplama fikri I. Rechenberg tarafından '*Evrimsel Stratejileri (Evolutionstrategie)*' adlı çalışmasında 1960'lı yıllarda ortaya atılmıştır. Daha sonra fikir diğer araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Genetik Algoritmalar (GA) ise John Holland tarafından keşfedilmiştir ve öğrencileri ile meslektaşları tarafından geliştirilmiştir. Bu durum 1975 yılında Holland'ın '*Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon (Adaptation in Natural and Artificial Systems)*' adlı kitabının yayınlanmasına neden olmuştur [38,39].

GA'lar aşağıda belirtilen özellikler nedeniyle normal optimizasyon ve arama yöntemlerinden farklılık göstermektedir [38].

- GA parametrelerle değil, kodlanmış parametreler bütünüyle çalışmaktadır.
- GA aramaya tek bir çözüm noktasından değil, çözüm popülasyonundan başlar.
- GA amaç fonksiyonun türevlerini veya diğer yardımcı bilgileri değil, amaç fonksiyonunun kendisini kullanır.
- GA deterministik kurallar yerine rastlantısal geçiş kuralları kullanır.

Birçok gerçek optimizasyon problemi için genlerin gerçek değerleriyle kullanılması problemlerin çözümünde daha yararlıdır. Çözümlerin binari düzende tanımlanması kullanılan bit sayısı ile ilişkili olarak çözüm kesinliğini etkiler. Eğer kromozomların değerleri çok büyük ve ondalıklı yapıya sahipse, bu kromozomların binari kod ile temsil edilmesi çok karmaşık ve zor olacaktır. Ayrıca, çözümlerin gerçek değerlerle tanımlanmış olması hesaplama etkinliğini de oldukça artırır. Bu nedenle birçok mühendislik probleminin çözümünde Gerçek Kodlu Genetik Algoritmaların (GKGA) kullanılması kullanıcıya büyük kolaylık ve yararlar sağlayabilmektedir.



**Şekil 3.1.** GKGA Akış Diyagramı

GKGA yöntemi binari kodlu GA'lara benzer olarak genetik operatörler yardımıyla evrim mekanizmasını uygulayan araştırma algoritmalarıdır. GKGA'nın akış diyagramı Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, algoritmanın genel işleyiş binari kodlu GA'lar ile aynıdır. Binari kodlu GA'da kullanılan seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri GKGA için de kullanılır. Olası çözümleri ifade eden kromozomlar çözüm uzayı sınırları içerisinde yer alan onluk düzendeki gerçek sayısal değerlerle ifade edilir. Bu özellik GKGA'nın binari kodlu GA'dan temel farkını da ortaya koymaktadır.



GKGA optimizasyon probleminin olası çözümlerinden oluşan bir başlangıç popülasyonunun üretilmesiyle başlar. Popülasyondaki her bir olası çözüm 'kromozom' veya 'string' olarak isimlendirilir. Kromozom optimize edilmesi gereken problemin bütün özelliklerini taşımaktadır. Bu özelliklerin her biri ise 'gen' olarak adlandırılır. Başlangıç popülasyonunun üretilmesinden sonra popülasyonda bulunan bütün kromozomların uygunluk değerleri amaç fonksiyonu kullanılarak değerlendirilir. Uygunluk fonksiyonu elde edilen sonucun hedeflenen sonuca yakınlık miktarını hesaplar. Daha sonra uygunluk fonksiyonu sonuçlarına göre en iyi uygunluk değerine sahip kromozom çiftleri (ebeveynler) 'seçim' operatörü ile belirlenir. Seçim operatörü ile belirlenen ebeveyn kromozomlara 'crossover (çaprazlama)' operatörü uygulanarak genetik bilgileri değiştirilir ve yeni bireyler üretilir. Son olarak bazı kromozomların özelliklerinin değiştirildiği 'mutasyon' işlemi gerçekleştirilir. Bunun sonucunda mutasyona uğramış ebeveynlerden ve yeni çocuklardan meydana gelen yeni bir popülasyon üretilir. Ayrıca en iyi bireyin bir sonraki jenerasyonda kaybolmasını önlemek amacıyla elitist stratejisi uygulanır. Yapılan işlemler belirli bir durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder [40].

## 3.2. GKGA'LARIN TEMEL OPERATÖRLERİ

Genel olarak GKGA üç temel operatörden oluşmaktadır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

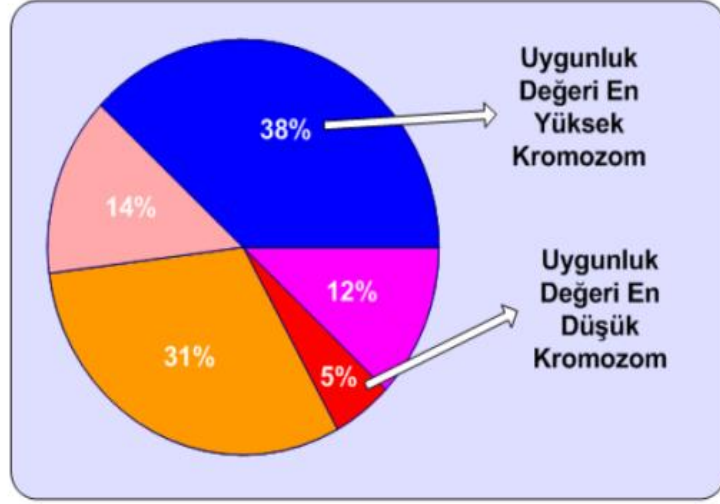
### 3.2.1. Seçim

Seçim operatörü popülasyonda bulunan kromozomlardan hangilerinin bir sonraki popülasyona aktarılacağına belirlenmesi amacıyla uygulanan operatördür. Seçim uygunluk değerlerine göre yapılır. Uygunluk değeri daha iyi olan kromozomların bir sonraki jenerasyona geçme ihtimalleri daha yüksektir [39]. En iyi kromozomların seçilmesine ait yöntemlerden bazıları hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

#### 3.2.1.1 Rulet Çemberi Yöntemi

Bu yöntemde kromozomlar uygunluk değerlerine göre seçilirler. Daha iyi uygunluk değerine sahip olan kromozomların ebeveyn kromozom olarak seçilme şansı düşük uygunluk değerine sahip kromozomlara oranla daha fazladır. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, popülasyonda bulunan bütün kromozomlar bir rulet üzerine yerleştirilir. Bu yerleştirme işlemi bireylerin sahip oldukları uygunluk değerlerine göre belirlenmektedir. Uygunluk

değeri daha iyi olan kromozom rulet üzerinde daha fazla yer kaplayacaktır. Bu nedenle seçilme olasılığı daha yüksek olacaktır [39].



Şekil 3.2. Rulet Çemberi Seçim Yöntemi [41]

#### 3.2.1.2. Sıralama Yöntemi

Rulet çemberi yöntemi uygunluk değerlerinin çok fazla değişiklik gösterdiği durumlarda problem oluşturabilir. Örneğin en iyi kromozomun uygunluğu ruletin %90'ını kaplıyorsa diğer kromozomların seçilme ihtimali çok düşük olur. Sıralama yönteminde popülasyondaki kromozomların uygunluk değerleri hesaplanır ve kromozomlar uygunluk değerlerine göre sıralanırlar. En kötü uygunluklu kromozom 1., ikinci en kötü kromozom 2. ve en iyi uygunluklu kromozom N. (popülasyondaki kromozom sayısı) olarak sıralanır. Bu yöntemde bütün kromozomların seçilme şansı vardır fakat en iyi kromozomlar diğerlerinden çok fazla farklılık göstermedikleri için yakınsama yavaş olur [39].

#### 3.2.1.3. Turnuva Yöntemi

Turnuva yönteminde popülasyonun M adet kromozomdan meydana geldiğini varsayalım. 2 ile M arasında bir r sayısı belirlenir ve popülasyonun içerisinde r adet kromozom seçilir. Seçilen bu kromozomlar arasından uygunluk değeri en iyi olan kromozom eşleşme havuzuna atılır. Diğer kromozomlar geri döner. Daha sonra kalan kromozomlardan tekrar r adet kromozom seçilir ve aralarındaki en iyi olan kromozom tespit edilir. Bu işlem kaç tane kromozom seçilecekse o sayıya kadar devam eder [42].

### 3.2.2. Çaprazlama

Çaprazlama yeni bireyler oluşturmak amacıyla kromozom çiftlerinin gen değişimi yapmak için bir araya geldiği genetik operatördür. Çaprazlama operatörünün temelinde her bir ebeveynin en iyi özelliklerini alması durumunda yeni bireyin ebeveyne göre daha iyi olacağı fikri yatmaktadır [43].

#### 3.2.2.1. Tek Noktalı Çaprazlama

Çaprazlama yöntemlerinden en basit olanıdır. Eşleşen iki kromozomda rastgele bir çaprazlama noktası seçilir ve bu noktanın sağında kalan kısımlar ebeveynlerin bu noktadan sonraki kısımlar yeni bireyler oluşturmak amacıyla yer değiştirir [44].

#### 3.2.2.2. İki Noktalı Çaprazlama

Bu çaprazlama yönteminde eşleşen kromozomlar üzerinde iki adet çaprazlama noktası belirlemek koşuluyla tek noktalı çaprazlama yöntemi ile aynı işlem uygulanır. Belirlenen bu iki çaprazlama noktası arasında kalan bölümler yer değiştirir ve yeni bireyler meydana gelir.

#### 3.2.2.3. Üniorm Çaprazlama

Üniorm çaprazlama yönteminde genler rastgele karşılıklı olarak yer değiştirir. Hangi genlerin değişeceğine rastgele karar verilir ve değişim işlemi gerçekleştirilir.

### 3.2.3. Mutasyon

Çaprazlama işleminden sonra elde edilen her bir bireye mutasyon işlemi uygulanır. Mutasyon operatörünün amacı genetik çeşitliliği mevcut jenerasyondan bir sonraki jenerasyona aktarmaktır. Bu operatör çaprazlama oranı ile kıyaslandığında daha küçük bir olasılıkla kromozomdaki herhangi bir geni değiştirir. Mutasyon operatöründe 0-1 arasında rastgele bir sayı üretilir. Bu sayı mutasyon oranından daha küçükse mutasyon işlemi gerçekleşir. Kromozom üzerinde mutasyon işlemi uygulamak için rastgele bir mutasyon noktası belirlenir ve bu noktadaki kromozomun gen değeri Şekil 3.3'te gösterildiği gibi 1 ise 0, 0 ise 1 olacak şekilde değiştirilir [45].

111100000111011 → 110100000111011

Şekil 3.3. Mutasyon İşlemi

### 3.3. GKGA'LARIN ADIMLARI

GKGA'ların işleyişi aşağıdaki gibidir:

**A1:** Başlangıç popülasyonunu rastgele oluştur.

**A2:** Her bir kromozomun uygunluk değerlerini hesapla.

**A3:** Yeni popülasyon oluşana kadar aşağıdaki adımları tekrarlayarak yeni bir popülasyon üret.

**A3.1:** (Seçim operatörü) Seçim yöntemlerinden herhangi birini kullanarak mevcut popülasyondaki kromozomlardan uygunluk değerlerine göre kromozom çiftleri (ebeveyn) seç.

**A3.2:** Çaprazlama operatörünü uygula.

**A3.3:** Mutasyon operatörünü uygula.

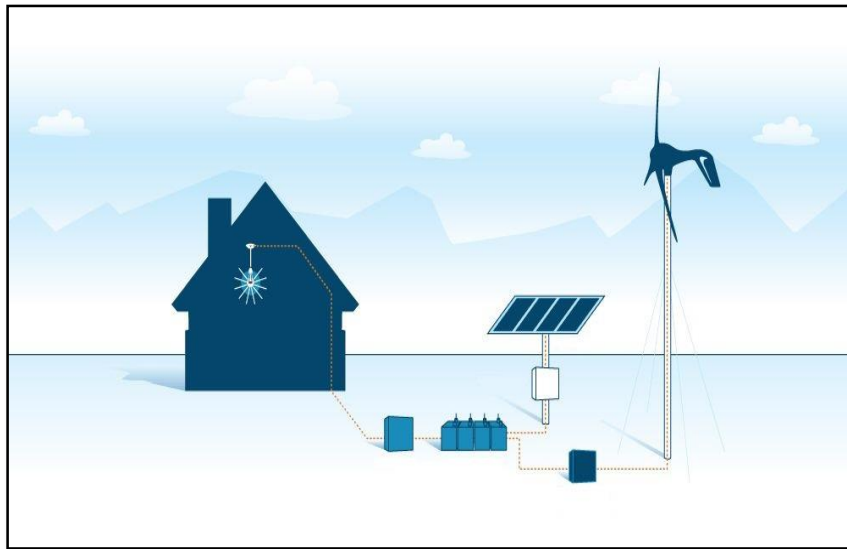
**A4:** Oluşturulan yeni bireyleri yeni popülasyona yerleştir.

**A5:** Mevcut popülasyon ile yeni popülasyonu yer değiştir.

**A6:** Durdurma kriteri sağlandıysa işlemi durdur, aksi taktirde A2'ye git. [46]

### 3.4. OPTİMAL GÜÇ PLANLAMA

Şekil 3.4'te güç planlamasını gerçekleştireceğimiz yenilenebilir mikrogrid sistemin bir benzeri gösterilmiştir. Şekilde gösterildiği üzere mikrogrid sistem rüzgar türbini, FV paneller, dizel jeneratör ve bataryalardan meydana gelmektedir.



Şekil 3.4. Tipik Bir Yenilenebilir Off-Grid Sistem

Amaç fonksiyon olarak belirlenen Eşitlik (3.1)'in tüm kısıtlar dikkate alınarak çözülmesi ile yenilenebilir mikrogrid sistemde optimal güç planlaması gerçekleştirilir. Burada elde edilen çözüm mikrogrid sistemin evdeki yükleri kesintisiz olarak ve minimum işletme maliyetinde karşılmasını sağlamaktadır. Bu eşitlikte kullanılan zaman aralığı bir saat olarak alınmıştır. Kullanılan zaman aralığı genişletilerek işletme maliyetinin daha da düşürebileceği öngörülmektedir.

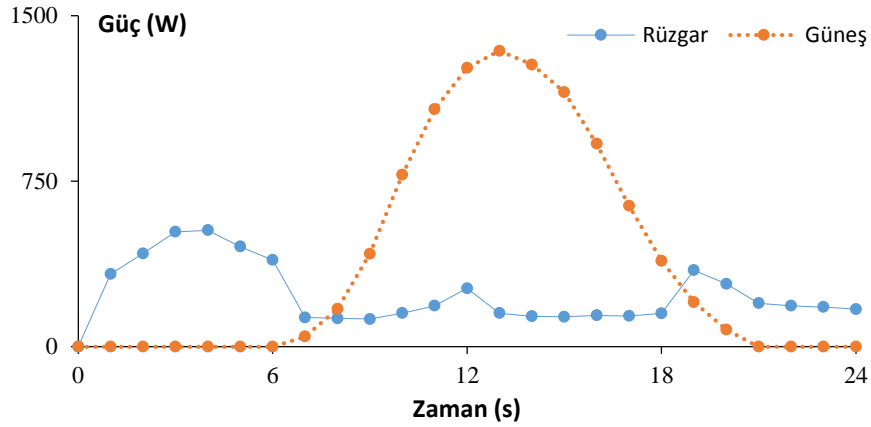
$$M = \text{Min} \left[ \Delta t \sum_{t=1}^{24} [c_w P_w(t) + c_s P_s(t) - c_c P_c(t) + c_d P_d(t) + c_{dj} P_{dj}(t) - c_e P_e(t)] \right] \quad (3.1)$$

Aşağıdaki kısıtlara bağlı olmak kaydıyla;

1.  $\sum_{t=1}^{24} [P_w(t) + P_s(t) + P_d(t) - P_c(t) - P_e(t) + P_{dj}(t) - P_l(t)] = 0$
2.  $P_{wmin} \leq P_w(t) \leq P_{wmax}$
3.  $P_{smin} \leq P_s(t) \leq P_{smak}$
4.  $P_{djmin} \leq P_{dj}(t) \leq P_{djmak}$
5.  $P_c \leq n_b \times 200 \text{ W}$
6.  $P_d \leq n_b \times 200 \text{ W}$
7.  $P_d(t) - P_{st}(t-1) \leq 0$
8.  $P_{st}(0) = n_b \times 100 \text{ W}$

Burada;  $\Delta t$  periyodik zaman aralığını,  $n_b$  batarya sayısını,  $P_w$  rüzgar türbini tarafından üretilen rüzgar gücünü,  $P_s$  FV paneller tarafından üretilen gücü,  $P_l$  yük talep gücünü,  $P_c$  bataryalara şarj edilen gücü,  $P_d$  bataryalardan deşarj edilen gücü,  $P_{dj}$  dizel jeneratör gücünü,  $P_e$  fazla gücü ve  $P_{st}$  depolama gücünü ifade etmektedir. Eşitlik (3.1)'deki  $c_w$ ,  $c_s$ ,  $c_c$ ,  $c_d$ ,  $c_{dj}$  ve  $c_e$  ifadeleri sırasıyla rüzgar gücünün, güneş enerjisi gücünün, bataryalara şarj edilen gücün, bataryalardan deşarj edilen gücün, dizel jeneratör gücünün ve fazlalık gücün birim maliyetleridir. TL/kWh cinsinden birim fiyatlar rüzgar gücü için 0,1, FV panel gücü için 0,1, bataryaya şarj edilen güç için 0,1, bataryadan deşarj edilen güç için 0,15, dizel jeneratör gücü için 0,4 ve fazladan üretilen güç için 0 olarak hesaplanmıştır. Her bir güç üreticinin birim maliyeti o üreticinin toplam maliyetinin ömrü boyunca ürettiği toplam enerji miktarına oranıyla kolayca hesaplanabilir.

Şekil 3.5'te bir yıllık ölçümler sonucu elde edilen saatlik ortalama rüzgar gücü ve güneş enerjisi gücü değerleri gösterilmiştir.



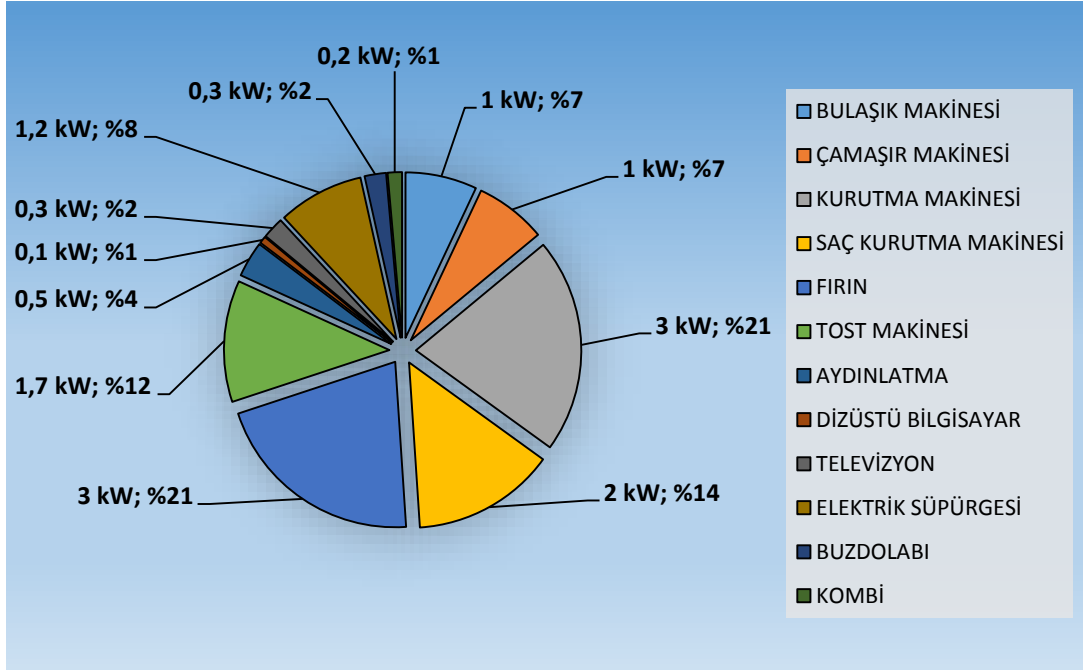
**Şekil 3.5.** Üretilen Gücün Saatlik Bazda Değişimi [5]

Evde kullanılan elektrikli cihazların güçleri, günlük çalışma süreleri ve hangi zaman dilimlerinde çalıştırılması gerektiği Çizelge 3.1'de verilmiştir. Evin toplam kurulu gücü 14,3 kW'tır. Çizelge verilerine göre planlama yapılmadan önceki saatlik güç dağılımında minimum ve maksimum güç tüketimi 0,5 ile 4,5 kW arasında değişiklik göstermektedir. Bu şekildeki güç dağılımının günlük maliyeti 7,67 TL olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.1.** Evde Kullanılan Elektrikli Cihazlar

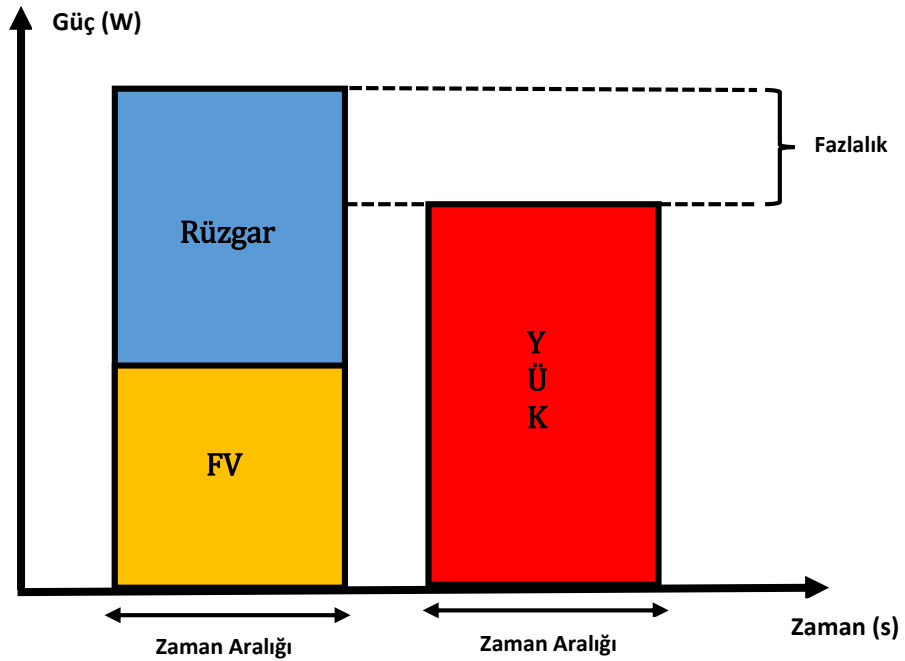
CİHAZIN ADI	GÜÇ (kW)	SÜRE (SAAT)	ÇALIŞMA ARALIĞI
BULAŞIK MAKİNESİ	1	3	9-17
ÇAMAŞIR MAKİNESİ	1	2	9-12
KURUTMA MAKİNESİ	3	1	13-18
SAÇ KURUTMA MAKİNESİ	2	1	8-9
FİRİN	3	1	18-19
TOST MAKİNESİ	1,7	1	8-9
AYDINLATMA	0,5	6	18-24
DİZÜSTÜ BİLGİSAYAR	0,1	2	18-24
TELEVİZYON	0,3	3	18-24
ELEKTRİK SÜPÜRGESİ	1,2	1	9-17
BUZDOLABI	0,3	24	0-24
KOMBİ	0,2	24	0-24
<b>TOPLAM</b>	<b>14,3</b>		

Şekil 3.6'da evdeki elektrikli cihazların evin toplam kurulu gücü üzerindeki dağılımı gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, kurutma makinesi, fırın ve saç kurutma makinesinin güçleri büyük değerlerdedir ve kurulu gücün hemen hemen yarısını bu cihazlar oluşturmaktadır. Dizüstü bilgisayar ve kombi ise en küçük güç değerlerine sahip cihazlardır ve bu iki cihazın güçlerinin kurulu güç üzerinde sahip oldukları alan %1'lik bir dilime denk gelmektedir.



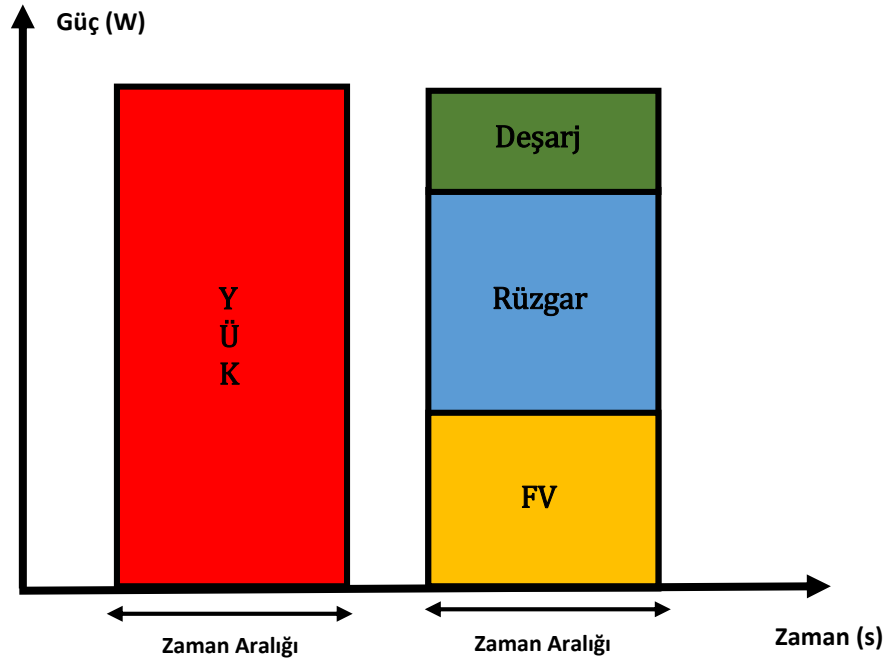
Şekil 3.6. Elektrikli Cihazların Kurulu Güç Üzerindeki Dağılımı

Optimal güç planlaması gerçekleştirilen mikrogrid sistemin üç adet çalışma modu vardır. Birinci çalışma modu Şekil 3.7’de gösterildiği gibi fazlalık güç meydana gelmesi durumudur. Bu durumda üretilen güç ev tarafından tüketilen güçten daha büyük değerdedir ve bu fazlalık güç ihtiyaç duyulduğu anlarda kullanılmak üzere sistemdeki bataryalarda depolanır.



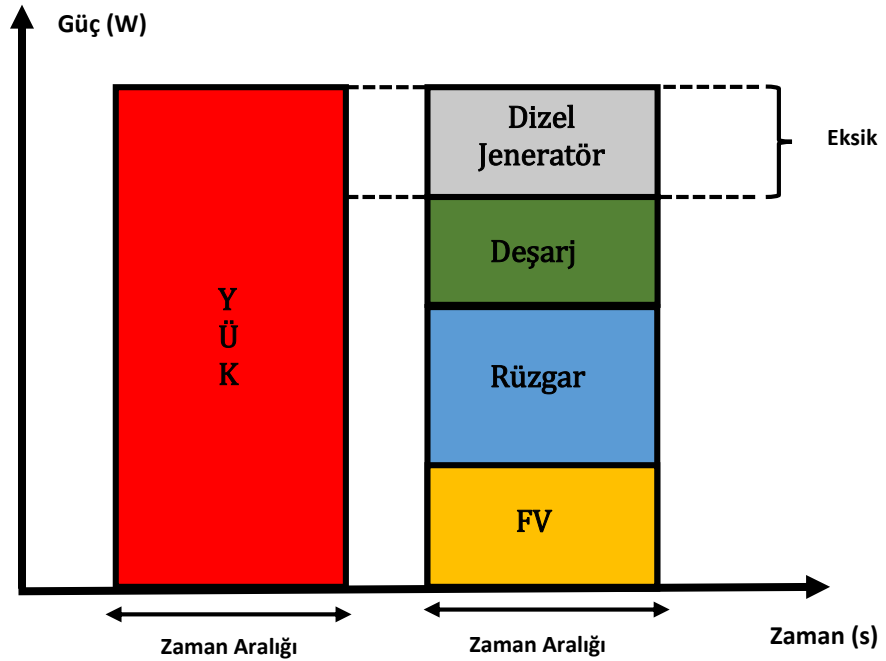
Şekil 3.7. Fazla Güç Durumu

İkinci modda üretilen güç tüketilen güçten daha küçüktür ve oluşan fark bataryalardan deşarj edilerek karşılanır. Şekil 3.8’de deşarj edilen güç durumu verilmiştir.



Şekil 3.8. Deşarj Edilen Güç Durumu

Son olarak ise Şekil 3.9’da gösterildiği gibi üretilen güç ile bataryalarda depo edilen gücün toplamının yükü karşılayamayacak değerde olması durumunda sistemde eksik güç meydana gelir ve bu yükler dizel jeneratör tarafından karşılanır.



Şekil 3.9. Eksik Güç Durumu



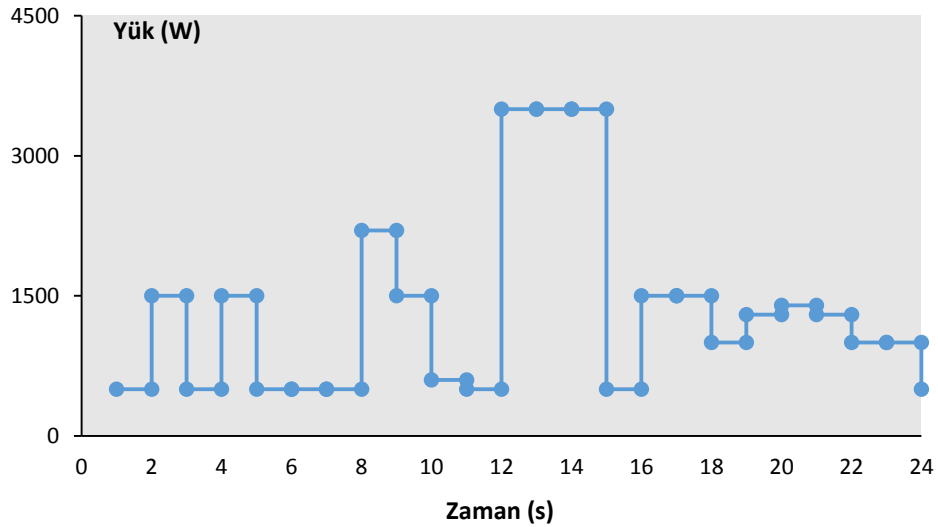
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada saatlik bazda altı durum senaryosu ele alınmış, her bir duruma göre optimal güç planlaması genetik algoritmalar yöntemi ile yapılarak en düşük maliyetli durum elde edilmiştir. Burada ele alınan altı durum Çizelge 4.1’de ifade edilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Optimal Güç Planlaması Gerçekleştirilen Durum Senaryoları

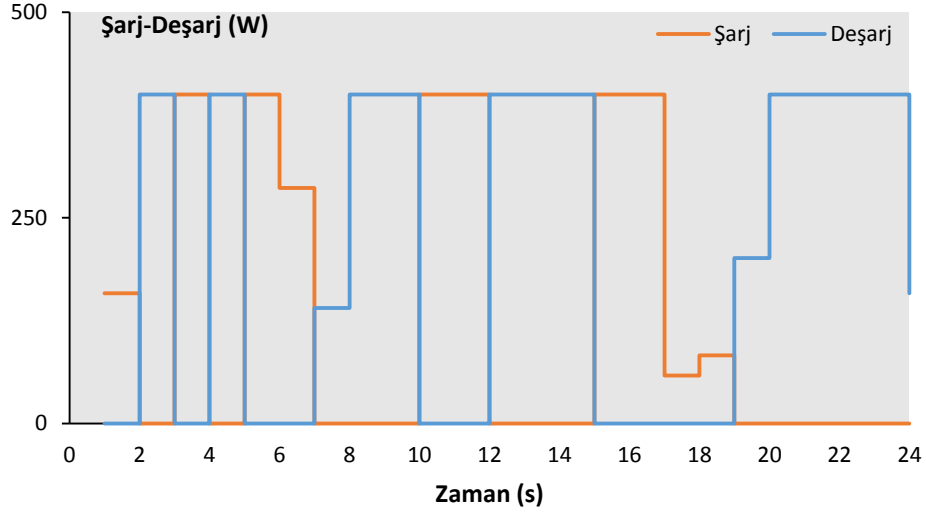
<b>Bileşen</b> <b>Durum</b>	Rüzgar Türbini (500 W)	FV Panel (235 W)	Batarya (200 Ah)	Dizel Jeneratör (2 KVA)
1	2	2	2	1
2	2	4	2	1
3	1	6	2	1
4	1	4	3	1
5	1	4	4	1
6	1	4	2	1

Birinci durum için yapılan simülasyon çalışmasında saatlik bazda üretilen, tüketilen ve depo edilen güç değişimleri aşağıda grafiklerle gösterilmiştir. Şekil 4.1 yük profilinin saatlik bazda değişimini göstermektedir. Bu durum için hesaplanan yük değişiminde en büyük güç değerine 12:00-15:00 saatleri arasında ulaşılmış olup bu 3500 W değerine tekabül etmektedir. Bunun yanında minimum güç değeri 500 W olarak bulunmuştur.



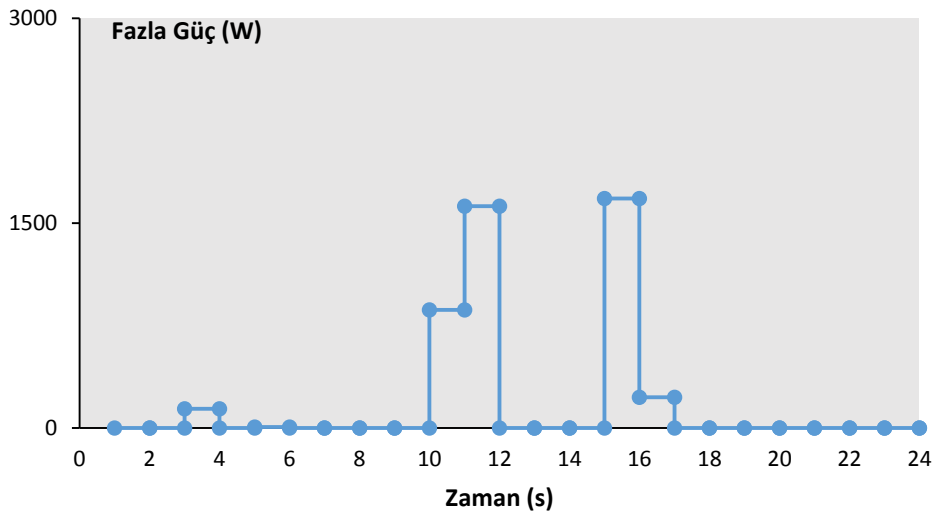
**Şekil 4.1.** Birinci Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Yük Değişimi

Şekil 4.2’de bataryaların gün içerisindeki şarj-deşarj değişimi gösterilmektedir. Bu grafikten bataryaların gün boyunca şarj vedeşarj olduğu görülmektedir. Bataryalar 03:00-04:00, 05:00-06:00, 10:00-12:00 ve 15:00-17:00 saatleri arasında tamamen şarj olurken, 02:00-03:00, 04:00-05:00, 08:00-10:00, 12:00-15:00 ve 20:00-24:00 saatleri arasında tamamendeşarj olmaktadır. Bataryaların maksimum şarj vedeşarj kapasitesi saatlik bazda 400 W değerindedir.



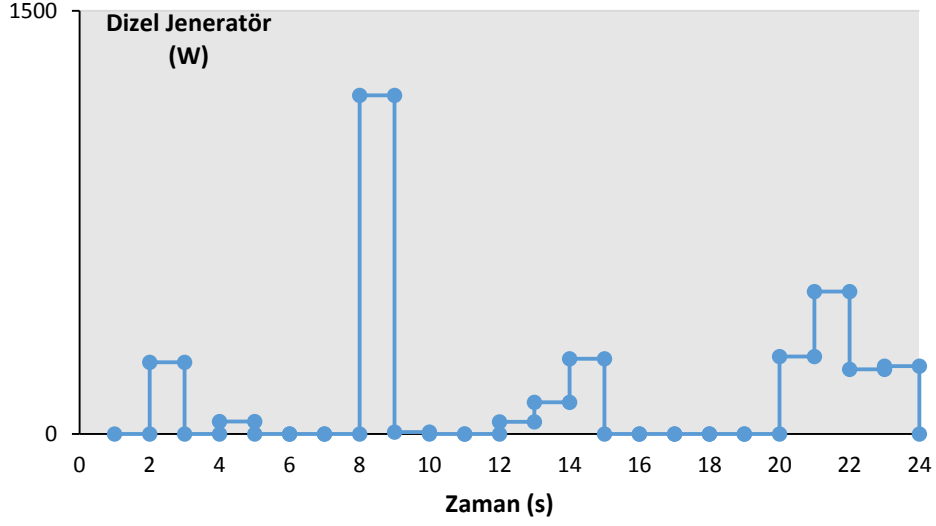
Şekil 4.2. Birinci Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Şarj-Deşarj Değişimi

Sistemde meydana gelen fazla gücün değişim grafiği Şekil 4.3’te verilmiştir. Güneş ve rüzgardan elde edilen gücün toplamının yüksek değerlerde olduğu 10:00-12:00 ve 15:00-17:00 saatleri arasındaki yükler tamamıyla beslenmiştir, bunun yanı sıra bu saat dilimlerinde büyük miktarda fazla güç oluşmuştur.



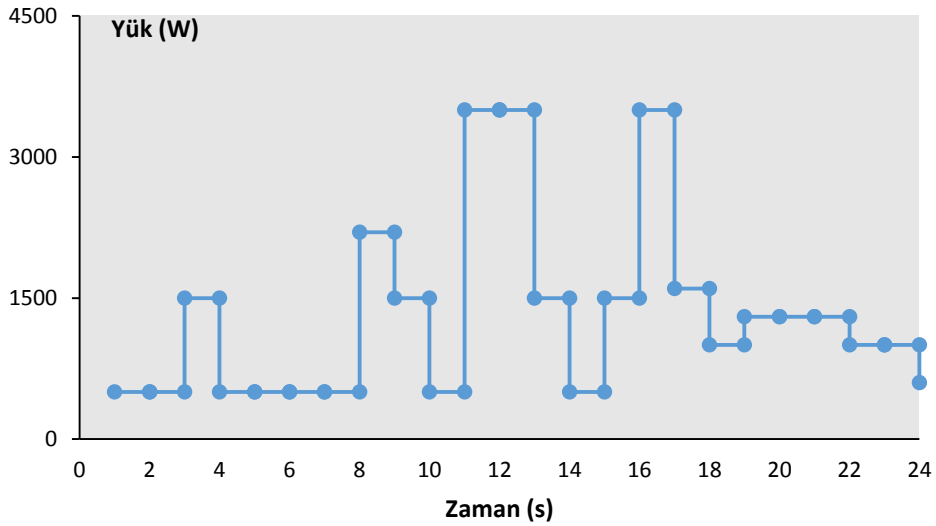
Şekil 4.3. Birinci Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Fazla Güç Değişimi

Üretilen güç ile bataryalarda depo edilen gücün toplamının yükü karşılayamaması durumunda dizel jeneratör devreye girer. Şekil 4.4 dizel jeneratörün gün içerisinde ürettiği güç değişimini göstermektedir. Şekilden görüldüğü üzere, dizel jeneratör gün içerisinde belli saat aralıklarında çalışmıştır. Jeneratör tarafından üretilen en büyük güç değeri 1200 W olup bu değer 08:00-09:00 saatleri arasında üretilmiştir.



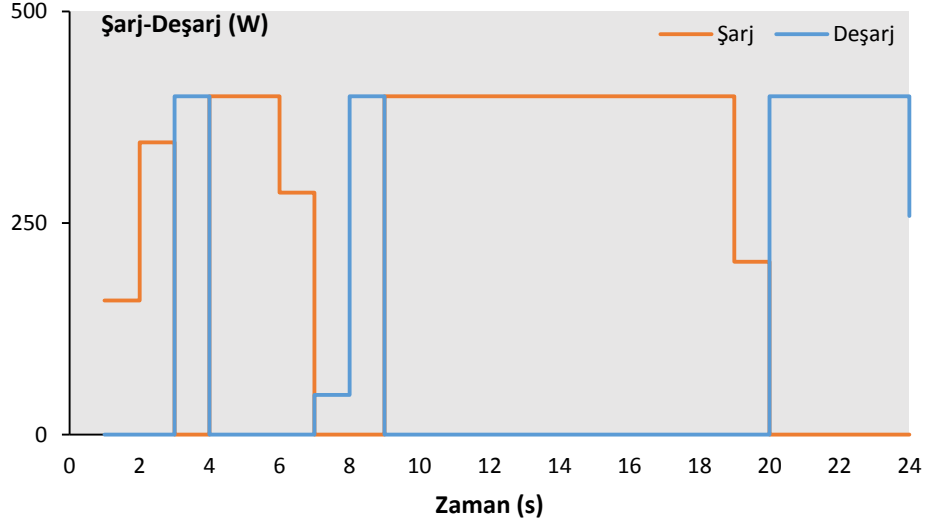
**Şekil 4.4.** Birinci Durum İçin Saatlik Bazda Dizel Jeneratör Güç Değişimi

Şekil 4.5 ikinci durum için sistemin en düşük işletme maliyetiyle çalışmasını sağlayacak yük profilini göstermektedir. Bu durumda da birinci duruma benzer olarak, yük profili 500 W ile 3500 W değerleri arasında değişiklik göstermektedir. En büyük güç değeri olan 3500 W değerine 11:00-13:00 ve 16:00-17:00 saatleri arasında ulaşılmıştır.



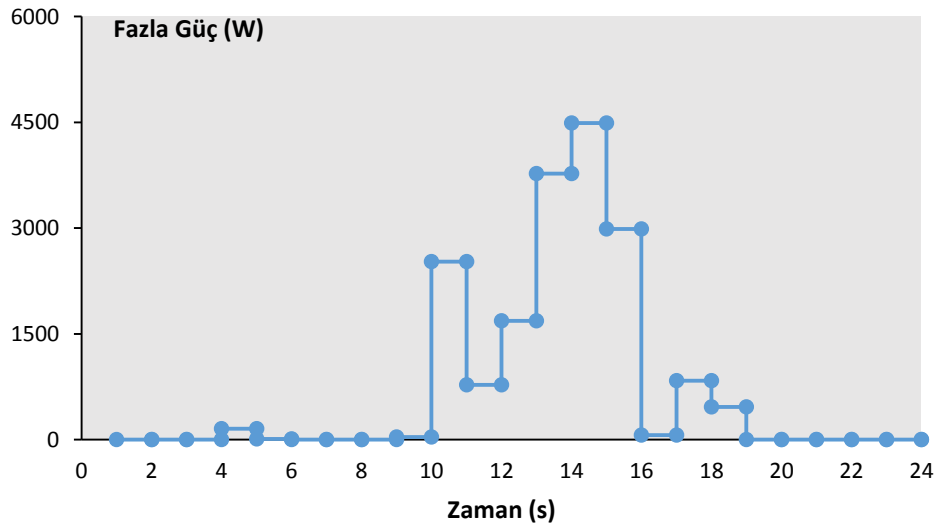
**Şekil 4.5.** İkinci Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Yük Değişimi

İkinci durum için saatlik bazda şarj-deşarj değişimi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Dört adet FV panel kullanılması sonucu güneş enerjisinden elde edilen gücün büyük değerde olması nedeniyle 09:00-19:00 saatleri arasında bataryalar tamamen şarj olurken, bu saat dilimlerindedeşarj durumu söz konusu değildir.



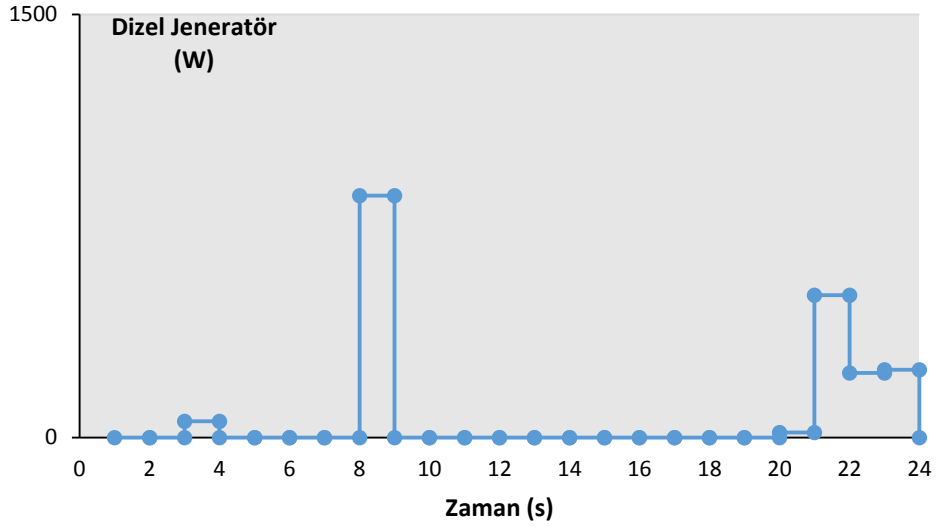
Şekil 4.6. İkinci Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Şarj-Deşarj Değişimi

Şekil 4.7'de saatlik bazda günlük fazla gücün değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere güneş enerjisinin yüksek olduğu saat aralıklarında bataryaların şarj kapasitelerine ulaşması nedeniyle büyük miktarlarda fazla güç meydana gelmiştir.



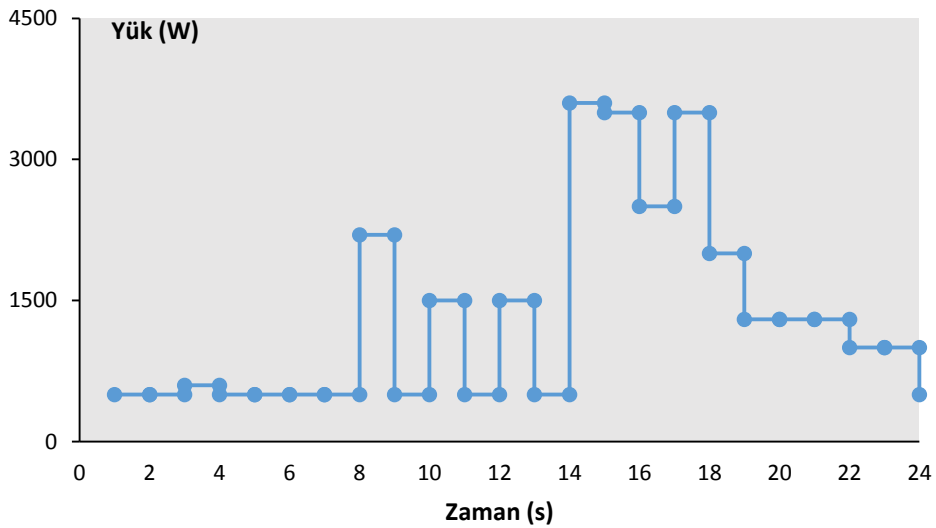
Şekil 4.7. İkinci Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Fazla Güç Değişimi

Dizel jeneratör tarafından üretilen gücün değişimi Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Dizel jeneratör gün içerisinde altı saat sisteme enerji sağlamıştır ve 08:00-09:00 saatleri arasında 860 W değerinde maksimum güç üretmiştir.



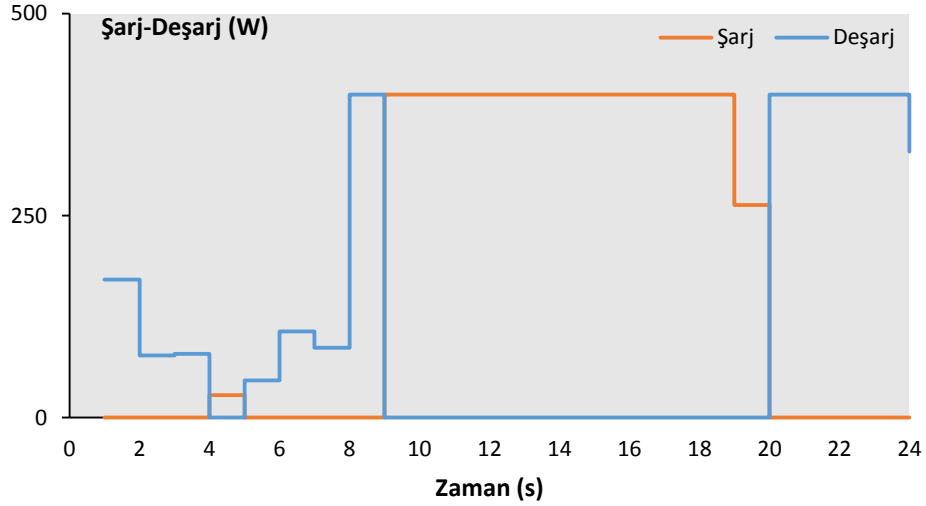
Şekil 4.8. İkinci Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Dizel Jeneratör Güç Değişimi

Şekil 4.9 üçüncü durum için optimal yük değişimini göstermektedir. Diğer iki duruma benzer olarak bu durumda da en küçük yük değeri 500 W olmasına rağmen en yüksek güç değeri 14:00-15:00 saatleri arasında 3600 W olarak bulunmuştur.



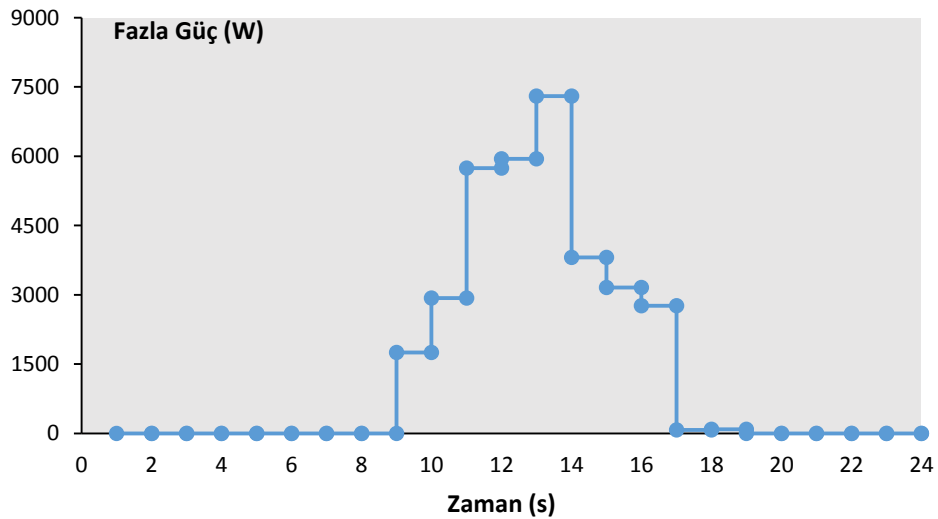
Şekil 4.9. Üçüncü Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Yük Değişimi

Bataryaların şarj-deşarj değişim grafiği Şekil 4.10'da gösterilmektedir. İkinci durumda olduğu gibi kullanılan FV panel sayısının fazla olması sonucu 09:00-19:00 saatleri arasında üretilen güç değeri fazla olmaktadır. Şekle bakıldığında ise bu saat dilimlerinde bataryaların 400 W değerinde tamamen şarj olduğu görülmektedir. Bataryaların maksimum değerinde deşarj olma durumu ise 08:00-09:00 ve 20:00-24:00 saatlerinde gerçekteşmiştir.



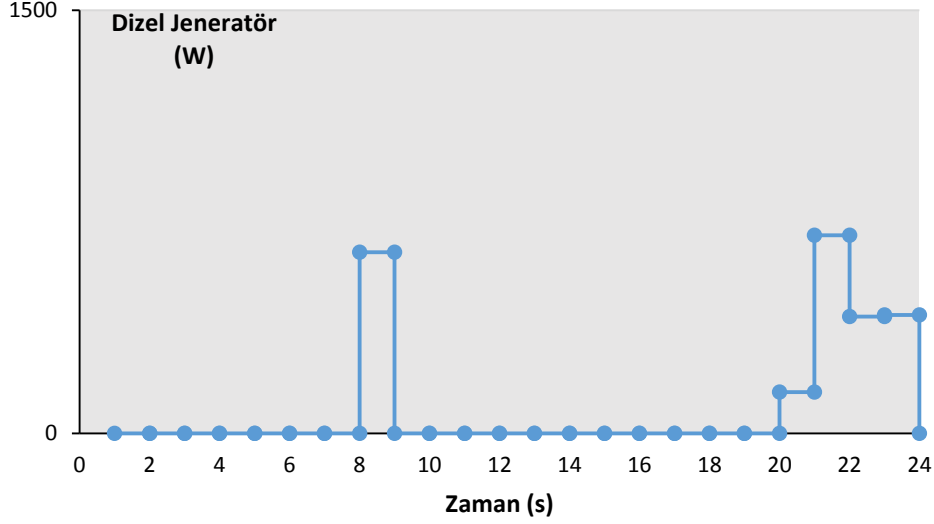
Şekil 4.10. Üçüncü Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Şarj-Deşarj Değişimi

Şekil 4.11 üçüncü durum için saatlik bazda günlük fazla güç değişimini göstermektedir. Grafikten görüldüğü üzere, 09:00-17:00 saatleri arasında sistemde çok büyük değerlerde fazla güç oluşmuştur. Bunun nedeni olarak bu saatlerde üretilen güneş enerjisinin büyük değerlerde olması söylenebilir.



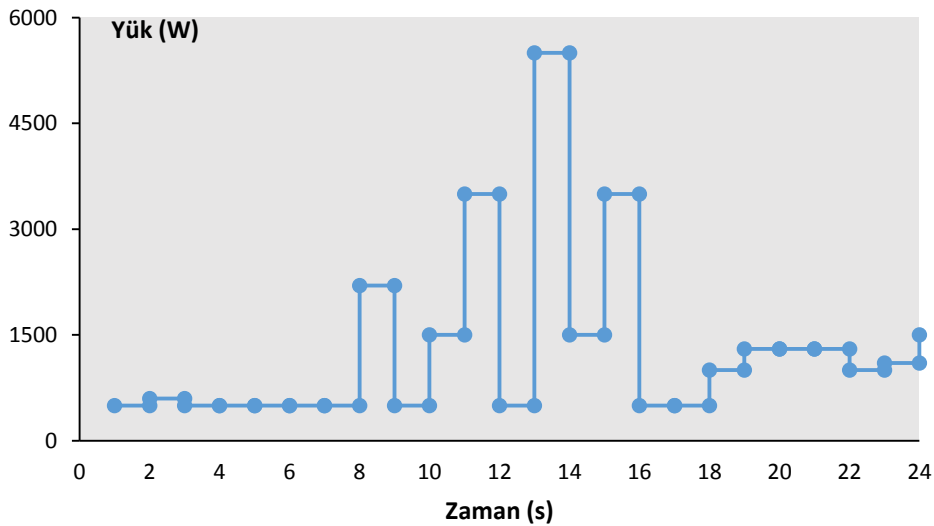
Şekil 4.11. Üçüncü Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Fazla Güç Değişimi

Şekil 4.12’de dizel jeneratör tarafından üretilen güç değişimi gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, dizel jeneratör 08:00-09:00 ile 20:00-24:00 saatleri arasında sisteme enerji sağlamaktadır ve maksimum ürettiği güç değeri 700 W civarındadır. Belirtilen bu saatler dışında dizel jeneratör çalışmamaktadır.



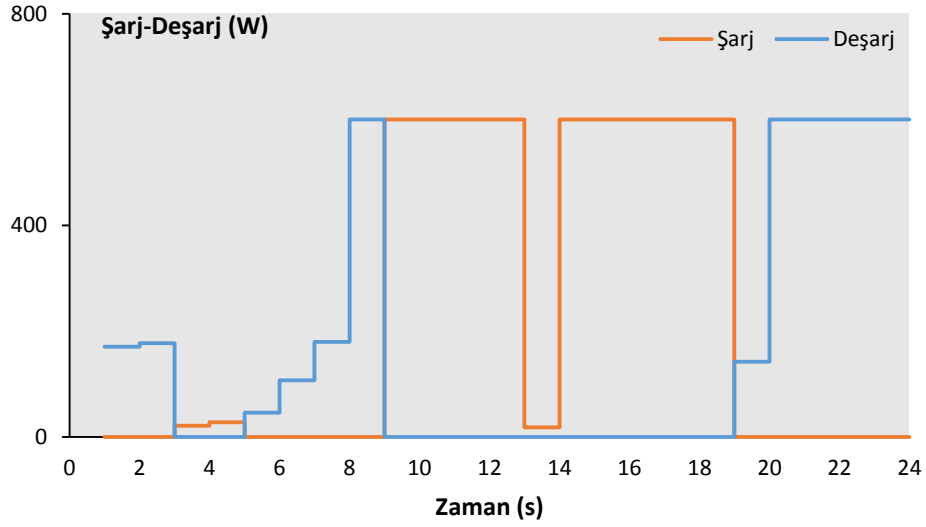
**Şekil 4.12.** Üçüncü Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Dizel Jeneratör Güç Değişimi

Şekil 4.13 en uygun maliyetli yük değişim grafiğini göstermektedir. Öğle saatlerine denk gelen zaman dilimlerinde hesaplanan yük değerleri büyük değerdedir ve 5500 W değerindeki maksimum seviyesine de bu dilim içerisinde bulunan 13:00-14:00 saatlerinde ulaşmıştır. Elde edilen en düşük yük değeri 500 W olarak bulunmuştur.



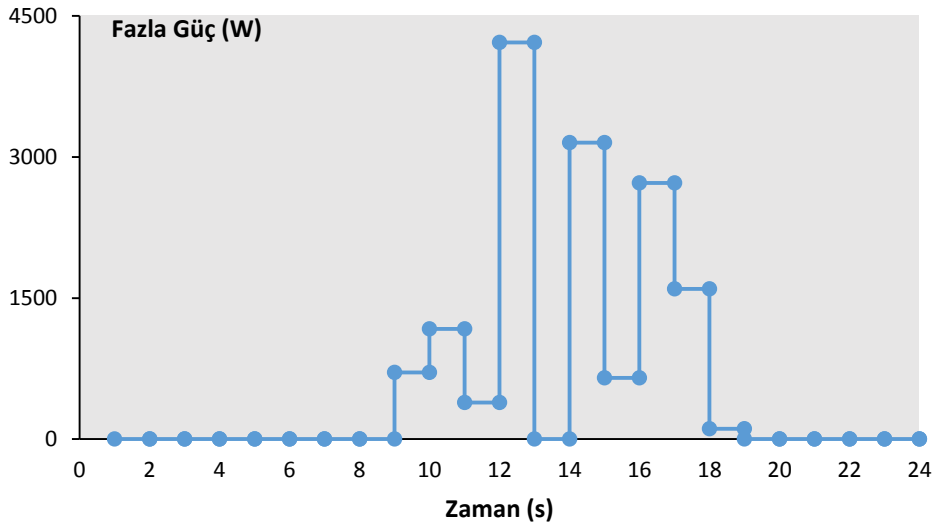
**Şekil 4.13.** Dördüncü Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Yük Değişimi

Şekil 4.14'te bataryaların gün içerisindeki şarj-deşarj değişimi verilmiştir. Bu durumda üç adet batarya kullanılması nedeniyle bataryaların maksimum şarj-deşarj kapasitesi 600 W değerindedir. Bataryalar 09:00-13:00 ve 14:00-19:00 saatleri arasında maksimum 600 W değeri ile tamamen şarj olurken, 08:00-09:00 ile 20:00-24:00 saatleri arasında tamamendeşarj olmaktadır.



**Şekil 4.14.** Dördüncü Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Şarj-Deşarj Değişimi

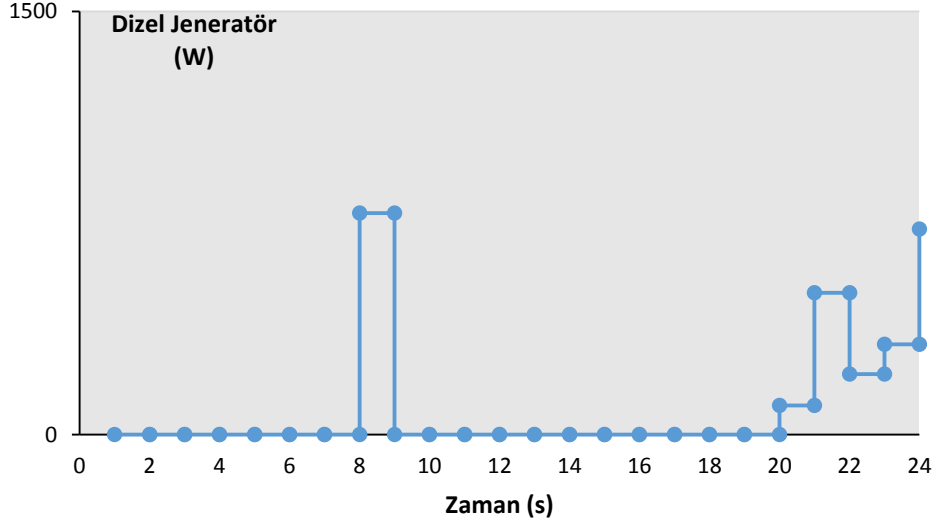
Saatlik bazda fazla gücün değişimi Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında, 09:00-13:00 ve 14:00-19:00 saatleri arasında sistemde fazla gücün meydana geldiği görülmektedir. En büyük fazla güç değeri 12:00-13:00 saat aralığında oluşmuştur ve yaklaşık olarak 4220 W değerindedir.



**Şekil 4.15.** Dördüncü Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Fazla Güç Değişimi

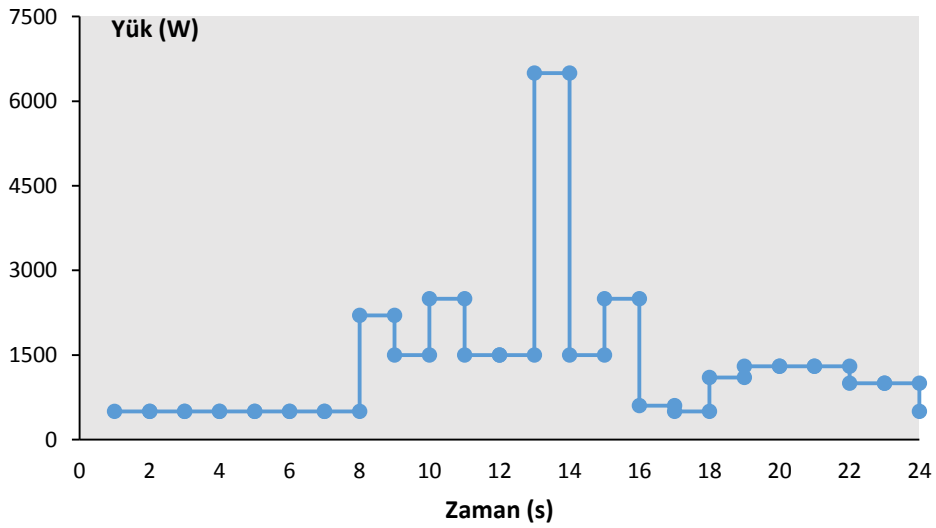


Şekil 4.16 dizel jeneratörün ürettiği güç değişimini göstermektedir. Üretilen ve depo edilen güç değerlerinin toplamının 08:00-09:00 ile 20:00-24:00 saatleri arasındaki yükleri karşılayamaması sonucu dizel jeneratör devreye girerek bu saat aralığındaki yükleri beslemektedir. Jeneratörün ürettiği maksimum güç yaklaşık olarak 785 W değerindedir.



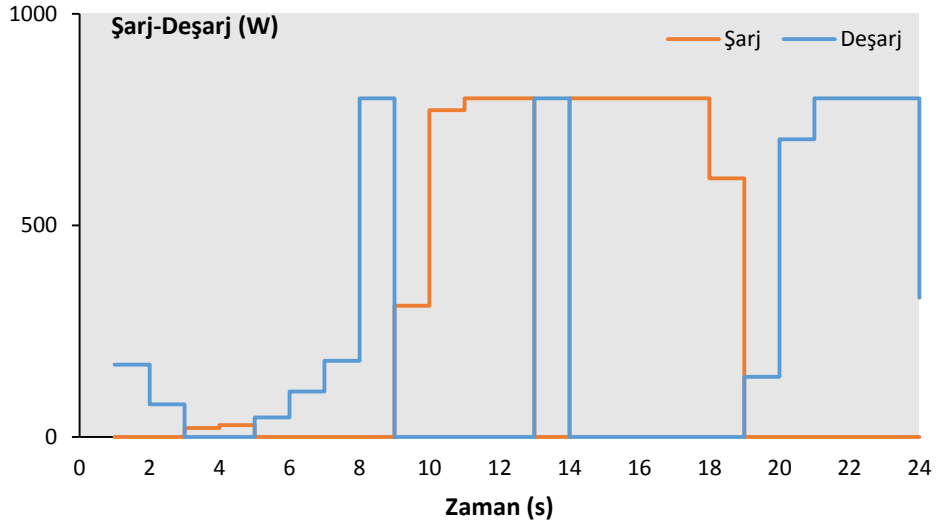
**Şekil 4.16.** Döndüncü Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Dizel Jeneratör Güç Değişimi

Beşinci durum için minimum maliyetli yük profili Şekil 4.17'de gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere, yük değerleri 500 W ile 6500 W değerleri arasında değişmektedir ve en büyük yük değerine 13:00-14:00 saatleri arasında ulaşılmıştır.



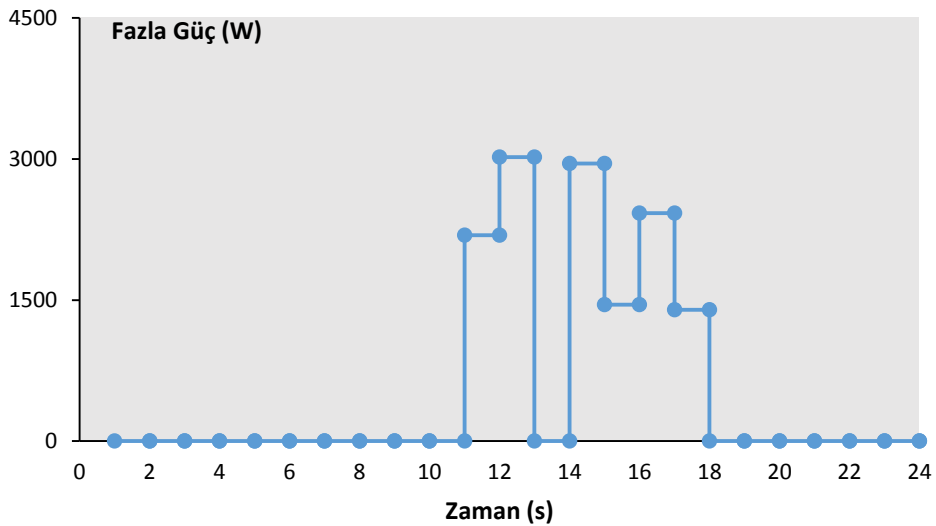
**Şekil 4.17.** Beşinci Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Yük Değişimi

Şekil 4.18 beşinci durum için saatlik bazda günlük şarj-deşarj değişimini göstermektedir. Bu durumda kullanılan batarya sayısı artırılarak bataryaların şarj-deşarj kapasiteleri 800 W değerine yükseltilmiştir. Grafikten, bataryaların 11:00-13:00 ile 14:00-18:00 saatleri arasında maksimum şarj, 08:00-09:00 ve 21:00-24:00 saatleri arasında ise tamamendeşarj olduğu görülmektedir.



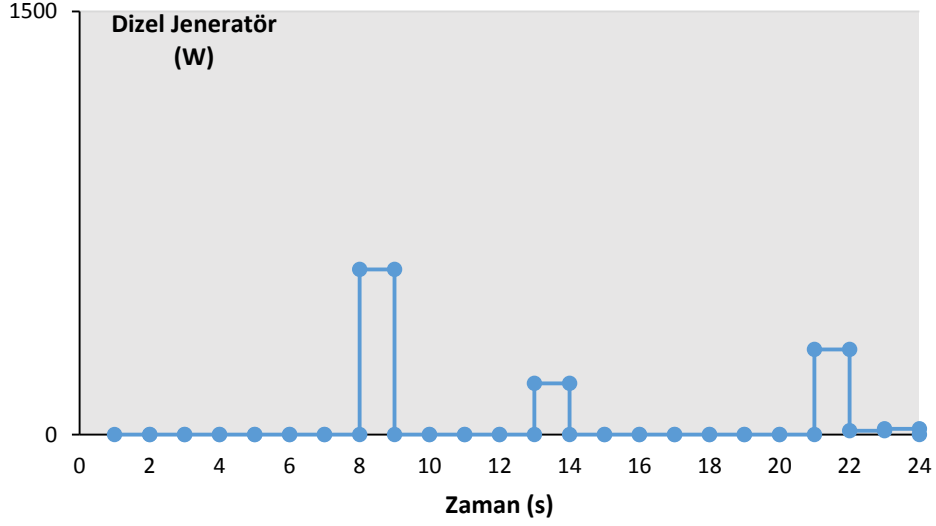
**Şekil 4.18.** Beşinci Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Şarj-Deşarj Değişimi

Şekil 4.19'da gün içerisindeki fazla güç değişimi verilmiştir. Şekle bakıldığında zaman, 11:00-13:00 ve 14:00-18:00 saatleri arasında güneş enerjisinin yüksek değerlerde olması sonucu bu saat dilimlerinde fazla güç oluşmuştur. En büyük güç değeri 12:00-13:00 saatlerinde meydana gelmiştir ve yaklaşık 3020 W değerindedir.



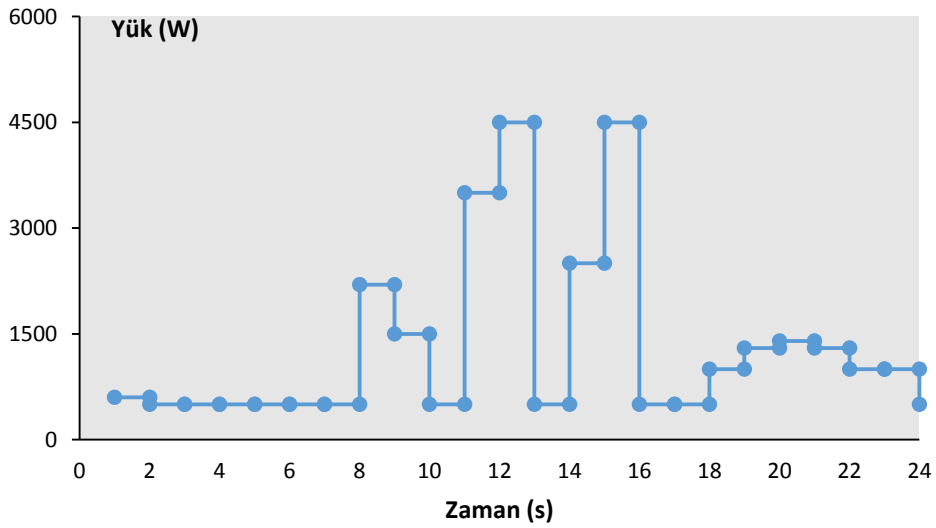
**Şekil 4.19.** Beşinci Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Fazla Güç Değişimi

Dizel jeneratör güç değişimi Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Dizel jeneratör gün içerisinde dört saat boyunca sistemdeki yükleri beslemektedir. Çalıştığı bu zaman dilimleri arasında jeneratörün ürettiği en yüksek güç değeri 585 W olup bu değer saat 08:00-09:00 arasında üretilmiştir.



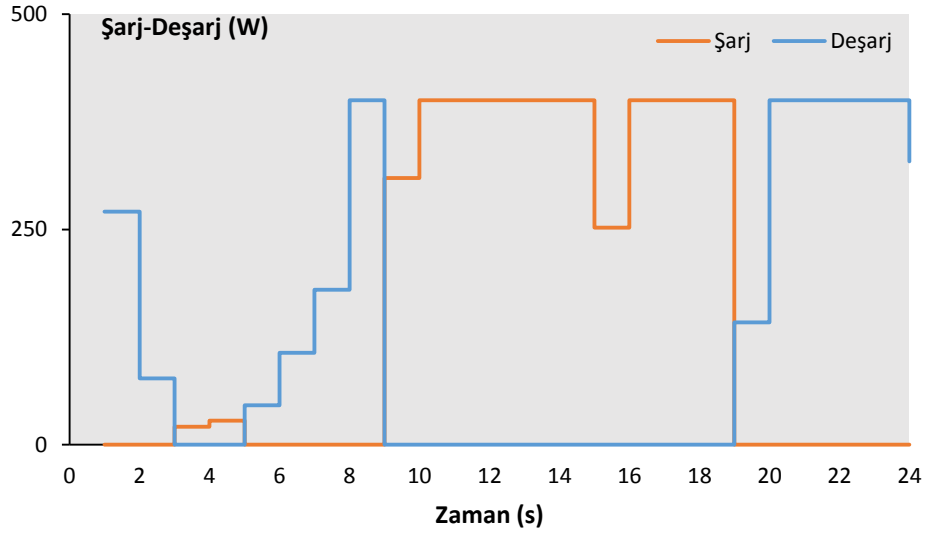
**Şekil 4.20.** Beşinci Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Dizel Jeneratör Güç Değişimi

Şekil 4.21’de yk değişim grafiği gösterilmektedir. Mevcut durum için en büyük güç değerine 12:00-13:00 ile 15:00-16:00 saatleri arasında ulaşılmıştır ve bu 3500 W değerine denk gelmektedir. Bunun yanında minimum güç değeri 500 W olarak bulunmuştur.



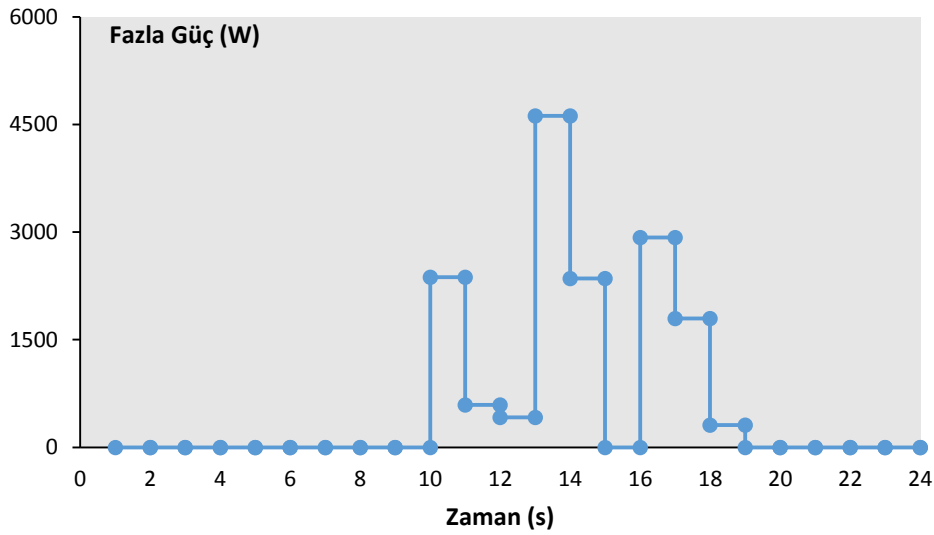
**Şekil 4.21.** Altıncı Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Yük Değişimi

Şekil 4.22 bataryaların şarj-deşarj değişim grafiğini göstermektedir. Kullanılan FV panel sayısının fazla olması sonucu 09:00-19:00 saatleri arasında üretilen güç değeri fazla olmaktadır. Bu nedenle 10:00-15:00 ile 16:00-19:00 saat aralıklarında bataryalar 400 W değerinde tamamen şarj olurken, 08:00-09:00 ile 20:00-24:00 saatleri arasında tamamendeşarj olmaktadır.



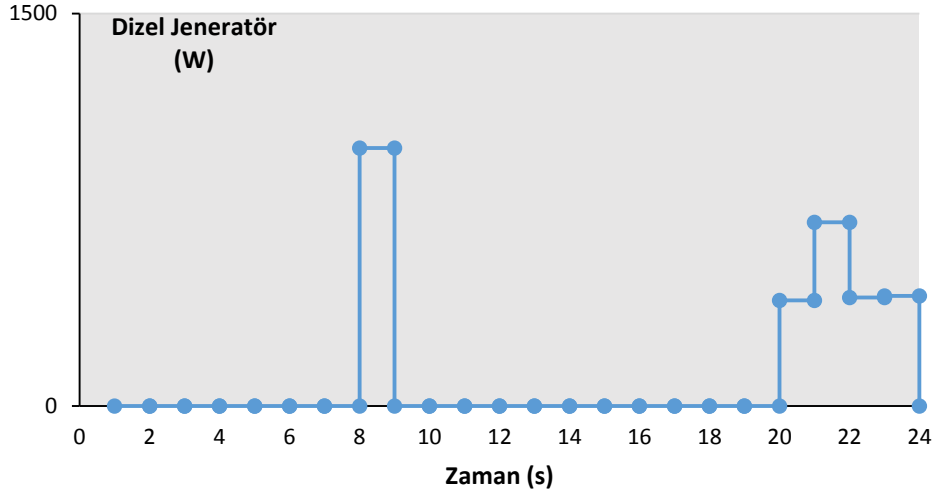
Şekil 4.22. Altıncı Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Şarj-Deşarj Değişimi

Günlük fazla güç değişim grafiği Şekil 4.23'te verilmektedir. Şekle bakıldığında, fazla gücün 10:00-15:00 ve 16:00-19:00 saatleri arasında meydana geldiği görülmektedir. En büyük fazla güç değeri 13:00-14:00 saatindedir ve 4620 W değerindedir.



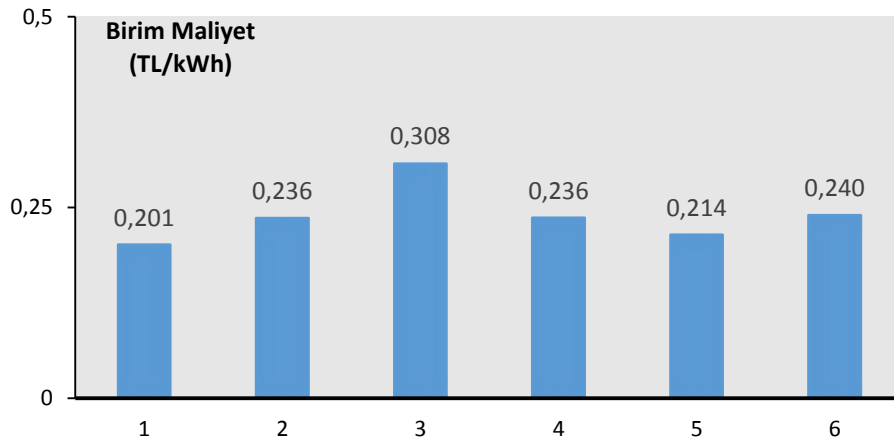
Şekil 4.23. Altıncı Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Fazla Güç Değişimi

Şekil 4.24 dizel jeneratörün ürettiği güç değişimini göstermektedir. Üretilen ve depo edilen gücün toplam değeri 08:00-09:00 ile 20:00-24:00 saatleri arasındaki yükleri karşılayamamıştır. Bunun sonucu dizel jeneratör devreye girerek bu saat aralığındaki yükleri beslemektedir. Jeneratörün ürettiği maksimum güç saat 08:00-09:00 aralığında bulunmuştur ve yaklaşık olarak 985 W değerindedir.



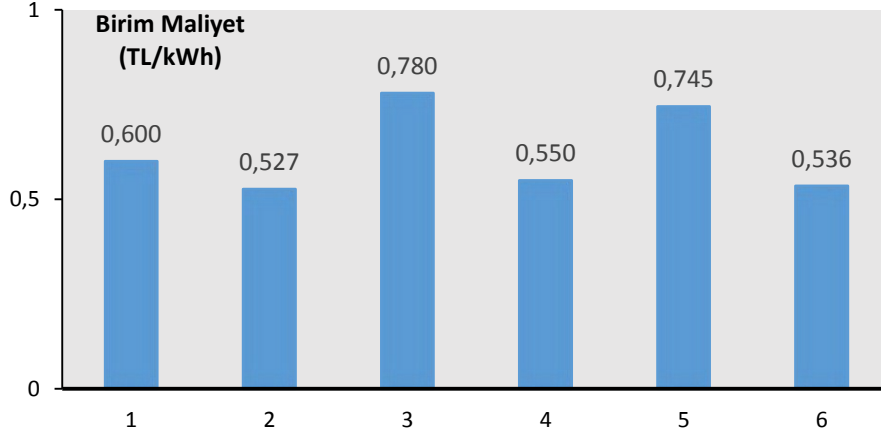
Şekil 4.24. Altıncı Durum İçin Saatlik Bazda Günlük Dizel Jeneratör Güç Değişimi

Altı durum senaryosunun her biri için saatlik bazda günlük yük değişimi, şarj-deşarj değişimi, fazla güç değişimi ve dizel jeneratör güç değişimi grafiklerine ek olarak tüm bu durumların günlük ortalama maliyet, günlük maksimum maliyet ve günlük minimum maliyet değerleri de aşağıdaki şekillerde verilmektedir. Şekil 4.25 altı durum için günlük ortalama maliyet değerlerini göstermektedir. Altı durum arasında günlük ortalama maliyeti en düşük olan durum birinci durumdur ve maliyet değeri 0,201 TL/kWh değerindedir. Bunun yanı sıra maliyeti en yüksek durum üçüncü durumdur.



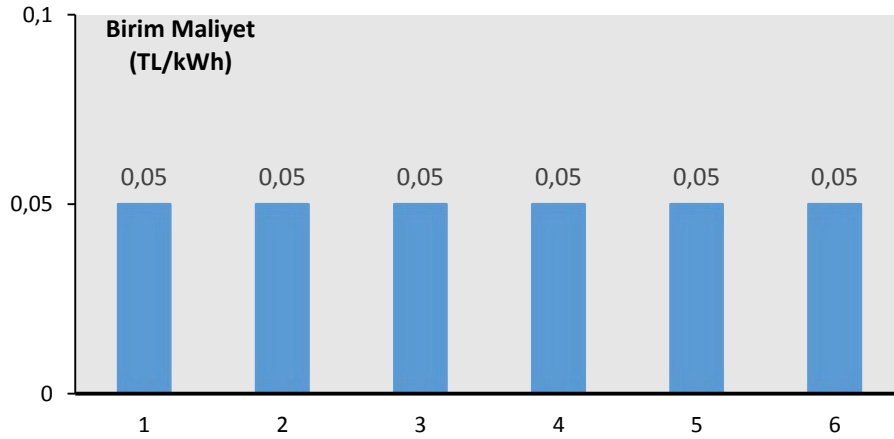
Şekil 4.25. Altı Durum Senaryosu İçin Günlük Ortalama Maliyet

Altı durum senaryosu için günlük maksimum maliyet değerleri Şekil 4.26’da verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, üçüncü durumun en maliyetli durum olmasının sonucu olarak gün içerisindeki maksimum maliyet değeri en yüksek olan durum da üçüncü durumdur. Birinci durum ise en düşük maliyete sahip olmasına rağmen günlük maksimum maliyet değeri yüksektir.



Şekil 4.26. Altı Durum Senaryosu İçin Günlük Maksimum Maliyet

Şekil 4.27’de ise her bir durum için günlük minimum maliyet değerleri gösterilmiştir. Şekilden, her bir durumda günlük minimum maliyet değerinin aynı olduğu ve bu değer in 0,05 TL/kWh değerine denk geldiği görülmektedir.



Şekil 4.27. Altı Durum Senaryosu İçin Günlük Minimum Maliyet

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, rüzgar türbinleri, FV paneller, bataryalar ve dizel jeneratörden meydana gelen şebekeden bağımsız yenilenebilir mikrogrid sistem ile tipik bir konutun günlük enerji ihtiyacının minimum maliyetle karşılanması amaçlanmıştır. Maliyetin en aza indirilmesi çok değişkenli ve birçok kısıt içeren bir problem olması nedeniyle GKGA yöntemi kullanılmıştır. Öngörülen altı durum senaryosu ele alınmış, her bir durum için günlük bazda minimum, ortalama ve maksimum maliyetler hesap edilmiştir. Bunun yanında güç üreten ve güç depolayan her bir bileşenin günlük bazda güç değişimleri grafiklerle ifade edilmiştir. Tüm bunların neticesinde bu tez çalışmasından aşağıda ifade edilen sonuçlar elde edilmiştir.

1. Optimal güç planlaması ile tipik bir konutun birim enerji maliyeti güç planlaması yapılmayan bir sisteme göre ortalama %30 oranında düşürülmüştür. Bu oran kayda değer bir miktar olup şebekeden bağımsız sistemlerde enerji verimliliği açısından önemli bir kazanım arz etmektedir.
2. Altı durum için yapılan optimal güç planlaması gün içerisinde minimum, ortalama ve maksimum maliyetler açısından karşılaştırılmıştır. Ortalama maliyet açısından yapılan karşılaştırma neticesinde birinci durumun yani iki adet rüzgar türbini, iki adet FV panel, iki adet batarya ve bir adet dizel jeneratörden oluşan sistemin en uygun olduğu görülmektedir. Minimum maliyet açısından bakıldığında, altı durum içerisinde bütün maliyet değerleri 0,05 TL/kWh değerinde kalmıştır. Maksimum maliyet açısından bakıldığında ise üçüncü durum işletme maliyetinin en yüksek olduğu durum olarak karşımıza çıkmaktadır.
3. Bu tür sistemlerde maliyeti düşürmek ve sistemde enerji akışının sürekliliğini sağlamak için dizel jeneratör veya benzeri bir güç üretici mutlaka kullanılmalıdır. Bunun kullanılmaması durumunda rüzgar türbini, FV panel ve batarya sayılarının önemli oranda artırılması gerekir. Ancak bu durum dizel jeneratörün verdiği maliyet artışının çok üzerinde bir maliyet artışına yol açabileceği için tercih sebebi olmamalıdır.
4. Rüzgar türbini ve FV panellerden enerji üretimi konutun bulunduğu lokasyondaki yıllık bazda ölçülmüş saatlik ortalamalara dayalı tahmini veriler olduğundan gerçek durumda güç üretimi noktasında değişiklik gösterebilirler. Yani günün herhangi bir saatinde üretilen güç değeri tahmin edilen değer altında veya

üstünde olabilir. Bu durum optimal güç planlamasında birtakım değişikliklere yol açabilir. Bunun nasıl bir değişikliğe yol açtığını ayrıntılı bir çalışma yaparak bulmak mümkündür. Ancak bu konu bu çalışmanın sınırları dışında tutulmuştur.

5. Bu çalışmada batarya sayısı sistem maliyetini düşürmek için mümkün olduğunca az tutulmaya çalışılmıştır. Zira bu çalışmada kullanılan 200 Ah kapasiteli jel aküler şarj ve deşarj durumlarına bağlı olarak 4-8 yıl arasında kullanım ömrüne sahiptirler. Bunun yanında, bir akünün maliyetinin bir panelin maliyetinden daha fazla olduğu unutulmamalıdır.
6. Bu çalışmada kullanılan rüzgar türbinlerinin anma güç değerleri sistemin daha modüler bir yapıda olması için düşük değerlerde tutulmuştur. Fazla sayıda rüzgar türbini yerine daha büyük anma gücünde bir rüzgar türbininin kullanılması da pekala mümkün olup yüksek rüzgar hızlarında daha fazla güç üretilebilir. Ancak belli bir güç değerinden sonra rüzgar türbininin maliyetinin ciddi bir şekilde artacağına dikkat edilmelidir.
7. Optimal güç planlamasında matematiksel modelin kısıtlarla birlikte ifade edilmesi ve bunun uygun bir yöntemle çözülmesi önem arz etmektedir. Bu noktada kısıtların belirlenmesi bu tür problemlerin çözümünde önemli derecede rol oynamaktadır. Zira problemin çözümü için seçilen yöntemler kısıt ve değişken sayısına bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bu çalışmadaki problemin matematiksel modeli daha önceki benzeri çalışmalarda kullanılmış modelin biraz daha geliştirilmiş halidir. Ancak kullanılan modelin daha da geliştirilmesi gerekmektedir.
8. Bu çalışmada kullanılan matematiksel modelin optimizasyonu genetik algoritmalar yardımıyla çözülmüştür. Optimizasyon sürecinde ev aletlerinden altı tanesi sürekli değişken üç tanesi ise kısmi değişken olarak ele alınmıştır. Yani sürekli değişkenler 0-24 saat aralığında herhangi bir saat aralığında çalışma süresi kadar değiştirilmiştir. Diğer durumda ise üç adet ev aleti belli saat aralıklarında değiştirilmiştir. Böylece her bir saat aralığı için uygun bir yük dağılımı sağlanmıştır. Bu yönüyle bakıldığında bu çalışma diğer benzeri çalışmalardan farklılık göstermektedir.
9. Genel olarak bakıldığında yapılan çalışma günümüz dünyasında hızlı bir artış gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarının günlük hayatta düşük maliyetli yaygın kullanımını sağlama noktasında önemli katkılar sunmaktadır. Ancak bu



Çalışmanın gerçek zamanlı uygulanması bir proje kapsamında yeni bir çalışma olarak ele alınacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Erdinç O., Uzunoğlu M., A new perspective in optimum sizing of hybrid renewable energy systems: Consideration of component performance degradation issue, *International Journal of Hydrogen Energy*, (2012) 10479-10488.
- [2] Amer M., Namaane A., M'Sirdi N. K., Optimization of hybrid renewable energy systems (HRES) using PSO for cost reduction, *The Mediterranean Green Energy Forum*, (2013) 318-327.
- [3] Javadi M. R., Mazlumi K., Jalilvand A., Application of GA, PSO and ABC in optimal design of a stand-alone hybrid system for North-West of Iran, *ELECCO 2011 7th International Conference on Electrical-Electronics Engineering*, Bursa-Turkey, (2011) 203-210.
- [4] Şen Z., *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques*, Springer, (2008).
- [5] Tutkun N., San E. S., Optimal power scheduling of an off-grid renewable hybrid system used for heating and lighting in a typical residential house, *Institute of Electrical-Electronics Engineering*, (2013) 352-355.
- [6] Tutkun N., Minimization of operational cost for an off-grid renewable hybrid system to generate electricity in residential buildings through the SVM and the BCGA methods, *Energy and Buildings*, (2014) 470-475.
- [7] Derin O., Ferrante A., Scheduling energy consumption with local renewable micro-generation and dynamic electricity prices.
- [8] Zhang D., Liu S., Papageorgiou L. G., Fair cost distribution among smart homes with microgrid, *Energy Conversion and Management*, (2014) 498-508.
- [9] Bansal M., Saini R. P., Khatod D. K., An off-grid hybrid system scheduling for a remote area, *Institute of Electrical-Electronics Engineering*, (2012).
- [10] Kadar P., Scheduling the generation of renewable power sources, *5th Slovakian-Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*, Poprad-Slovakia, (2007) 255-263.
- [11] Morais H., Kadar P., Faria P., Vale Z. A., Khodr H. M., Optimal scheduling of a renewable micro-grid in an isolated area using mixed-integer linear programming, *Renewable Energy*, (2010) 151-156.

- [12] Hong M., Yu X., Yu N., Loparo K. A., An Energy scheduling algorithm supporting power quality management in commercial building microgrid.
- [13] Lu B., Shahidehpour M., Short-term scheduling of battery in a grid-connected PV/battery system, *IEEE Transactions on Power Systems*, (2005) 1053-1061.
- [14] Wu Z., Gu W., Wang R., Yuan X., Liu W., Economic optimal schedule of CHP microgrid system using chance constrained programming and particle swarm optimization, *IEEE*, (2011) 1-11.
- [15] Dai R., Mesbahi M., Optimal power generation and load management for off-grid hybrid power systems with renewable sources via mixed-integer programming, *Energy Conversion and Management*, (2013) 234-244.
- [16] Kick C., How is 100% renewable energy possible for Turkey by 2020?
- [17] İlkılıç C., Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2012) 1165-1173.
- [18] [www.ewea.org.tr](http://www.ewea.org.tr) (Erişim Tarihi: 20.07.2014)
- [19] [www.tureb.com.tr](http://www.tureb.com.tr) (Erişim Tarihi: 20.07.2014)
- [20] Toklu E., Overview of potential and utilization of renewable energy sources in Turkey, *Renewable Energy*, (2012) 456-463.
- [21] [www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr) (Erişim Tarihi: 20.07.2014)
- [22] Gök E., Renewable energy planning in Turkey with a focus on hydropower, *Master Thesis*, Middle East Technical University, Ankara-Turkey, (2013).
- [23] Melikoğlu M., Vision 23: Feasibility analysis of Turkey's renewable energy projection, *Renewable Energy*, (2013) 570-575.
- [24] Ramoji S. K., Kumar B. J., Optimal economical sizing of a PV-wind hybrid energy system using genetic algorithm and teaching learning based optimization, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, (2014) 7352-7367.
- [25] Mathew S., *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Springer, (2006).
- [26] Erdiñç O., Şebekeden bağımsız uygulamalar için hibrit bir rüzgar türbini/fotovoltaik/yakıt hücresi/batarya sisteminin optimizasyonu, tasarımı ve

- uygulaması, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul-Türkiye, (2012).
- [27] Patel M. R., *Wind and Solar Power Systems Design, Analysis and Operation*, CRC Press, (2006).
- [28] Dursun E., Şebekeden bağımsız rüzgar, güneş ve hidrojen kaynaklı hibrit enerji sisteminin analizi, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi, İstanbul-Türkiye, (2013).
- [29] Ateş A. M., Otonom rüzgar türbinlerinde sistem karakteristiklerinin belirlenmesi ve optimizasyonu, *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi, İzmir-Türkiye, (2012).
- [30] Çakmak R., Fotovoltaik güç üretim sistemleri için bulanık mantık tabanlı maksimum güç noktası takip sistemi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon-Türkiye, (2012).
- [31] Luque A., Hegedus S., *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, Wiley, (2003).
- [32] Salmi T., Bouzguenda M., Gastli A., Masmoudi A., Matlab/Simulink based modelling of solar photovoltaic cell, *International Journal of Renewable Energy Research*, (2012) 213-218.
- [33] Hamidi R., Introduction to photovoltaic technology, PV Cells, Modules, and Arrays, *Biological, Health & Environmental Sciences*, DeAnza College.
- [34] Lynn P. A., *Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics*, Wiley, (2010).
- [35] Messenger R. A., Ventre J., *Photovoltaic Systems Engineering Second Edition*, (2004).
- [36] Ekren O., Optimization of a hybrid combination of a photovoltaic system and a wind energy conversion system: Izmir Institute of Technology Campus Area Case, *Master Thesis*, Izmir Institute of Technology, Izmir-Turkey, (2003).
- [37] Abuska M., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, *Ders Notları*.
- [38] Saraçoğlu İ., A Genetic algorithm approach for a multi-product multi period continuous review inventory model with deterministic and variable demand, *PhD Thesis*, Dokuz Eylül University, Izmir-Turkey, (2014) .
- [39] Sandıkçı B., Genetic Algorithms, *IE 572 Spring*, (2000).
- [40] Asan B., Broadband loaded dipole antenna design by genetic algorithm

Optimization, *Master Thesis*, Middle East Technical University, Ankara-Turkey, (2013).

- [41] Horat B., Genetik algoritma ile Ankara ilinde mobese (Kent Güvenlik Yönetim Sistemi) yerleştirme optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara-Türkiye, (2014).
- [42] Sarıkaya T., Küçük güçlü toroidsel transformatör nüvelerinin optimal tasarımında genetik algoritmaların uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak-Türkiye, (2006).
- [43] Gündüz M., Dynamic modeling of horizontal axis washing machine and optimization of vibration characteristics using genetic algorithms, *Master Thesis*, Istanbul Technical University, Istanbul-Turkey (2012).
- [44] Dönmez S., A New Genetic algorithm based software development for set and maximal covering location problems and an application, *Master Thesis*, Turkey Naval Academy, Turkey, (2013).
- [46] Ünalnış D., Design optimization of truss structures using genetic algorithms, *Master Thesis*, Middle East Technical University, Ankara-Turkey, (2012).
- [46] Saygılı N. Ş., Managing genetic algorithm parameters to improve seggen a thematic segmentation algorithm, *Master Thesis*, Galatasaray University, Istanbul-Turkey, (2013).

# ÖZGEÇMİŞ

## ***Kişisel Bilgiler***

Soyadı, adı : CAN, Özay  
Uyruğu : T.C  
Doğum tarihi ve yeri : 03.08.1989 / İSTANBUL  
Telefon : 0535-926-50-13  
E-posta : [ozaycan28@hotmail.com](mailto:ozaycan28@hotmail.com)

## ***Eğitim***

<b>Derece</b>	<b>Eğitim Birimi</b>	<b>Mezuniyet tarihi</b>
Yüksek Lisans	Düzce Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2016
Lisans	Fırat Üniversitesi / Elektrik Öğretmenliği	2011
Lise	Şişli Teknik Lisesi / Elektrik Bölümü	2007

## ***İş Deneyimi***

<b>Yıl</b>	<b>Yer</b>	<b>Görev</b>
------------	------------	--------------

## ***Yabancı Dil***

İngilizce: YDS (Yabancı Dil Bilgisi Seviye Tespit Sınavı): 57,5 (NİSAN 2015)

IELTS (International English Language Testing System): 5,5 (MART 2014)

## ***Yayınlar***

- Can Ö.**, Tutkun N., Ev Tipi Yenilenebilir Hibrit Sistem İçin Mikro-Genetik Algoritma ile Optimal Yük Planlaması, *6.Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi (EVK2015)*, Sakarya-Türkiye, **(4-6 Haziran 2015)**.
- Tutkun N., **Can Ö.**, Şan E. S., Daily Cost Minimization for an Off-Grid Renewable Microhybrid System Installed to a Residential Home, *4th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA2015)*, Palermo-Italy, **(22-25 November 2015)**.