



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

**DÜZCE İLİNDE TİPİK BİR KONUT İÇİN RÜZGÂR-GÜNEŞ
HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ**

MUSTAFA NECATİ BOZOK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. NEDİM TUTKUN**

DÜZCE, 2017

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜZCE İLİNDE TİPİK BİR KONUT İÇİN RÜZGÂR-GÜNEŞ
HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

Mustafa Necati BOZOK tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Nedim TUTKUN

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nedim TUTKUN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU

Sakarya Üniversitesi

Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 28/02/2017

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.

25 Ocak 2017

(İmza)

Mustafa Necati BOZOK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Nedim TUTKUN'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi 17/11/2016 tarih, BAP-2016/366-407 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

25 Ocak 2017

Mustafa Necati BOZOK

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	IX
HARİTA LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR.....	XI
SİMGELER.....	XII
ÖZET.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
1.1 KAPSAM VE LİTERATÜR.....	1
2. SİSTEMİN TANIMI.....	6
2.1 GİRİŞ.....	6
2.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ İLE GÜÇ ÜRETİMİ.....	9
2.2.1 FV Modül İle Güç Üretimi.....	18
2.2.2 RT İle Güç Üretimi.....	20
2.2.3 Batarya Yönetim Sistemi.....	22
3. SİSTEMİN MODELLENMESİ.....	24
3.1 GİRİŞ.....	24
3.2 PLANSIZ YÜK DURUMU.....	26
3.2.1 Salt FV Sistem.....	26
3.2.2 Salt RT Sistem.....	28
3.2.3 RT-FV Sistem.....	30
3.3 PLANLI YÜK DURUMU.....	34
3.3.1 Salt FV Sistem.....	34
3.3.2 Salt RT Sistem.....	36
3.3.3 RT-FV Sistem.....	37
3.4 KONTROLLÜ VE KONTROLSÜZ YÜK DURUMU.....	42
3.5 GÜNLÜK MALİYET ANALİZİ.....	43
3.6 GENETİK ALGORİTMALARIN PERFORMANS ANALİZİ.....	45
3.7 BİREYSEL YÜKLERİN ANALİZİ.....	46

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	53



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Tipik bir şebekeden bağımsız FV-Akü sistemi blok şeması.	10
Şekil 2.2. Tipik bir şebekeden bağımsız FV-Akü sistemi açık şeması.	11
Şekil 2.3. Tipik bir şebekeden bağımsız RT-Akü sistemi blok şeması.	11
Şekil 2.4. Tipik bir şebekeden bağımsız RT-Batarya sistemi açık şeması.	11
Şekil 2.5. Tipik bir şebekeden bağımsız hibrit RT-FV-Akü sistemi blok şeması.	12
Şekil 2.6. Tipik bir şebekeden bağımsız RT-FV-Batarya sistemi açık şeması.	12
Şekil 2.7. 3 yıllık ortalama rüzgâr hızının gün içinde saatlik değişimi.	16
Şekil 2.8. 3 yıllık ortalama ışınım seviyesinin gün içinde saatlik değişimi.	16
Şekil 2.9. FV hücreye ait tek diyotlu eşdeğer devre modeli.	18
Şekil 2.10. 1000 W/m ² , 25 °C. sıcaklıktaki I-V ve P-V eğrilerindeki en uygun noktalar.	19
Şekil 2.11. Tipik bir kontrollü RT'e ait güç eğrisi.	21
Şekil 2.12. Optimizasyon sürecine ait akış diyagramı.	23
Şekil 3.1. Düzce iline ait ortalama gelir düzeyine sahip bir konutun yük profilinin günlük değişimi.	24
Şekil 3.2. Farklı kanat uzunluklarında üretilen gücün değişimi.	25
Şekil 3.3. Düzlemsel alanı 1,6 m ² ve verimi %15 olan panelin günlük güç değişimi. ...	25
Şekil 3.4. Salt FV sistemde üretilen, talep edilen ve fark enerji miktarlarının günlük değişimi.	27
Şekil 3.5. Salt FV sistemde batarya şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimi.	27
Şekil 3.6. Salt FV sistemde fazla ve DJ tarafından üretilen günlük değişimi.	28
Şekil 3.7. 2 adet 1 kW RT ile üretilen ve talep edilen enerji ile enerji farkının günlük değişimi.	29
Şekil 3.8. 2 adet 1 kW RT ile beslenen sistemde batarya şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimi.	29
Şekil 3.9. Salt RT sistemde fazladan ve DJ ile üretilen enerjinin günlük değişimi.	30
Şekil 3.10. RT-FV hibrit sistemde üretilen, talep edilen ve fark enerji miktarlarının günlük değişimi.	31
Şekil 3.11. RT-FV hibrit sistemde batarya şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimi.	32
Şekil 3.12. RT-FV hibrit sistemde fazla ve DJ tarafından üretilen günlük değişimi.	32
Şekil 3.13. Salt FV sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre üretilen, talep edilen ve fark enerji miktarlarının günlük değişimi.	35
Şekil 3.14. Salt FV sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre batarya şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimi.	35
Şekil 3.15. Salt FV sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre fazla ve DJ tarafından üretilen günlük değişimi.	35
Şekil 3.16. 2 adet 1 kW RT sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre üretilen ve talep edilen enerji ile enerji farkının günlük değişimi.	36
Şekil 3.17. 2 adet 1 kW RT sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre batarya şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimi.	37
Şekil 3.18. 2 adet 1 kW RT sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre fazla ve DJ tarafından üretilen enerjinin günlük değişimi.	37
Şekil 3.19. 9 adet FV panel ve 1 kW RT sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre üretilen ve talep edilen enerji ile enerji farkının günlük değişimi.	38

Şekil 3.20. 9 adet FV panel ve 1 kW RT sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre batarya şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimi.	38
Şekil 3.21. 9 adet FV panel ve 1 kW RT sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre fazladan ve DJ ile üretilen enerjinin günlük değişimi.	38
Şekil 3.22. Salt FV sistemde planlı-plansız yük dağılımında kontrollü ve kontrolsüz yüklerin enerji sarfiyatının günlük değişimi.	42
Şekil 3.23. Salt RT sistemde planlı-plansız yük dağılımında kontrollü ve kontrolsüz yüklerin enerji sarfiyatının günlük değişimi.	43
Şekil 3.24. RT-FV sistemde planlı-plansız yük dağılımında kontrollü ve kontrolsüz yüklerin enerji sarfiyatının günlük değişimi.	43
Şekil 3.25. Mevcut sistemlerde plansız yük dağılımına göre günlük maliyet değişimi.	44
Şekil 3.26. Mevcut sistemlerde planlı yük dağılımına göre günlük maliyet değişimi....	45
Şekil 3.27. Mevcut sistemlerde ortalama planlı ve plansız yük dağılımına göre günlük maliyet değişimi.	45
Şekil 3.28. Planlı yük dağılımını elde etmek için en büyük uygunluk değerinin jenerasyon ile değişimi.	46
Şekil 3.29. Planlı yük dağılımını elde etmek için yakınsama hatasının jenerasyon ile değişimi.	46
Şekil 3.30. Bulaşık makinasının gün içerisinde çalışma saatlerinin plansız ve planlı olarak belirlenmesi.	47
Şekil 3.31. Çamaşır makinasının gün içerisinde çalışma saatlerinin plansız ve planlı olarak belirlenmesi.	47
Şekil 3.32. Televizyonun gün içerisinde çalışma saatlerinin plansız ve planlı olarak belirlenmesi.	48
Şekil 3.33. Bilgisayarın gün içerisinde çalışma saatlerinin plansız ve planlı olarak belirlenmesi.	48

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. RT-FV hibrit sistem tabanlı çalışmalara ait özet.	4
Çizelge 2.1. Sistem bileşenlerinin özellikleri ve fiyatları.	14
Çizelge 2.2. Tipik konuttaki yükler ve çalışma saatleri.	16
Çizelge 2.3. FV modüle ait ölçülen parametreler.	20
Çizelge 3.1. Sistem bileşenlerin özellikleri ve fiyatları.	26
Çizelge 3.2. Plansız yük dağılımı.	33
Çizelge 3.3. Salt FV sistem ile planlı yük dağılımı.	39
Çizelge 3.4. Salt RT sistem ile planlı yük dağılımı.	40
Çizelge 3.5. RT-FV sistem ile planlı yük dağılımı.	41



HARİTA LİSTESİ

Sayfa No

Harita 2.1. RT-FV-Akü sisteminin kurulu olduğu lokasyon. 9



KISALTMALAR

AA	Alternatif Akım
BFO	Birleşik Faiz Oranı
BYS	Batarya Yönetim Sistemi
DA	Doğru Akım
DJ	Dizel Jeneratör
DPSP	(Deficiency of Power Supply Probability)-Güç Kaynağının Yetersizliği İhtimali
FV	Fotovoltaik
GA	Genetik Algoritma
LCC	(Life Cycle Cost)-Hizmet süresi Maliyeti
Off Grid	Elektrik Şebekesi Bağlantısı Bulunmayan Bağımsız Elektrik Sistemi
PID	(Proportional,Integral,Derivative) Oransal-İntegral-Türevsel Denetleyici
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
PV	Photovoltaic
RT	Rüzgâr Türbini
SoC	(State Of Charge)- Şarj Durumu
vb.	Ve Benzeri
WT	Wind Turbine
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

SİMGELER

A	Amper
A	Rüzgâr Rotorunun Çapraz Bölüm Alanı
Ah	Amper Saat
B_{FV}	kWh Başına FV Panel Bakım Maliyeti
B_{RT}	kWh Başına Rüzgâr Türbini Bakım Maliyeti
C_B	Batarya Kurulum Maliyeti Katsayısı
c_c	Şarj Değeri
c_d	Deşarj Değeri
c_e	Teslim Edilen Güç Değeri
C_{FV}	FV Kurulum Maliyeti Katsayısı
C_P	Güç Katsayısı
C_{RT}	Rüzgâr Türbini Kurulum Maliyeti katsayısı
c_s	FV Değeri
c_u	Absorb Değeri
c_w	Rüzgâr Değeri
E_{FV}	FV Panellerin Bir Yılda Kwh Cinsinden Ürettiği Enerji Miktarı
E_{RT}	Rüzgâr Türbinin Bir Yılda Kwh Cinsinden Ürettiği Enerji Miktarı
F_B	Batarya Fiyatı
F_{FV}	FV Panel Fiyatı
F_{RT}	Rüzgâr Türbini Fiyatı
h	Hour (Saat)
I	Akım
I_0	Ters Saturasyon Akımı
I_d	Diyot Akımı
I_{mpp}	Maksimum Güç Akımı
I_{ph}	FV akım
I_{sc}	Kısa Devre Akımı
k	Boltzmann sabİti
kg/m^3	Kilogram/Metreküp
K_i	I_{sc} Sıcaklık Katsayısı
K_p	P_m Sıcaklık Katsayısı
K_v	V_{oc} Sıcaklık Katsayısı
kW	Kilo Watt
kWh	Kilo Watt Saat
m	Metre
M	Rüzgâr Türbini Sayısı
m/s	Metre/Saniye
m^2	Metrekare
N	FV Panel Sayısı
N_B	Batarya Sayısı
N_{FV}	FV Panel Sayısı
N_p	FV Panel Sayısı
N_{RT}	Rüzgâr Türbini Sayısı
N_w	Rüzgâr Türbini Sayısı

ns	Hücreler
P	Güç (Elektrik Akımı İçin)
P_c	Şarj Gücü
P_d	Deşarj Gücü
$P_d(k)$	k. Saatlik Zaman Diliminde Tüketilen Güç
P_e	Teslim elimeyen Güç
$P_g(k)$	k. Saatlik Zaman Diliminde Üretilen Güç
P_l	Yük Gücü
$P_L(k)$	k. Saatlik Zaman Diliminde Güç Talebi
P_m	Maksimum Güç
$P_p(k)$	k. Saatlik Zaman Diliminde FV Panel Tarafından Üretilen Güç
P_{RT}	Rüzgâr Türbini Anma Gücü
P_s	FV Panel Gücü
P_u	Oluşan Fazla Güç
P_w	Rüzgâr Gücü
$P_w(k)$	k. Saatlik Zaman Diliminde Rüzgâr Türbini Tarafından Üretilen Güç
q	Elektron Şarjı
R_p	Şönt Direnci
T	Kelvin Cinsinden Hücre Sıcaklığı
T	Sıcaklık
V	Volt
V	Rüzgâr Hızı
V_D	Diyot Gerilimi
V_{oc}	Kısa Devre Gerilimi
V_{mpp}	Maksimum Güç Gerilimi
V_t	Termal Gerilim
V_{oc}	Açık Devre Gerilimi
W	Watt
W_o	Aküde Başlangıçta Mevcut Bulunan Enerji
W/m^2	Watt/Metrekare
W_b	Aküde Depolanan Enerji
W_{mak}	Maksimum Enerji
W_{min}	Minimum Enerji
W_p	FV Panel Enerjisi
W_{st}	Akü Grubunda Depolanan Enerji
Z	Yükseklik
$₺$	Türk Lirası
$\$$	Dolar
$\%$	Yüzde
η_B	Lead-Asit Akü Grubunun Şarj Etkinliği
η_I	Evirici Etkinlik Değeri
$\Delta P(k)$	k. Saatlik Zaman Diliminde Toplam Güç
α	Diyot Ideal Faktörü
$^{\circ}C$	Santigrat Derece
ρ	Hava Kütle Yoğunluğu

ÖZET

DÜZCE İLİNDE TİPİK BİR KONUT İÇİN RÜZGÂR-GÜNEŞ HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

Mustafa Necati BOZOK

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Nedim TUTKUN

Şubat 2017, 68 sayfa

Ülkemizde elektrik enerjisi fiyatları hızlı nüfus artışı ve ekonomik büyüme nedeniyle her yıl önemli miktarda artış göstermektedir. Elektrik santrallerinde üretilen enerjinin birincil kaynakları fosil yakıtlar olup bu yakıtların büyük bir kısmı ithal edilmektedir. Üretilen elektrik enerjisinin hemen hemen yarısı doğal gaz çevrim santrallerinde üretilir. Bu da maalesef enerjide dışa bağımlılığın önemli bir göstergesidir. Oysa ülkemiz yenilenebilir enerji potansiyeli açısından yeterli ve kullanılabilir zenginliğe sahiptir. Bu potansiyelin önemli bir kısmı son zamanlarda ticari amaçlı yenilenebilir enerji yatırımları ile değerlendirilmektedir. Bununla birlikte bu potansiyelin kullanılmayan kısmı ise nüfusun yoğun olduğu yerlerde ve kırsal kesimlerde 1-10 kW aralığında anma gücüne sahip şebekeden bağımsız veya bağlı yenilenebilir sistemler kullanılarak değerlendirilebilir. Bu tür sistemlerin ekonomik olabilmesi için yüklerin gün içerisinde uygun biçimde dağıtılarak üretim ve tüketim arasındaki güç dengesinin sağlanması gerekir. Üretilen güç ile tüketilen gücün belirlenen periyodik süre içinde dengelenmesinin bir yolu ayrık optimizasyon probleminin çözümü ile mümkündür ve bu çözüm belirli bir lokasyon için verilen kısıtları sağlayan bir model ile yapılabilir. Bu tezde Düzce ili özelinde belirlenen bir lokasyonda tipik bir konutun elektriksel enerji ihtiyacını en ekonomik biçimde karşılayan şebekeden bağımsız küçük güçlü yenilenebilir bir sistemin modellenmesi üzerine çalışılmıştır. Önerilen modelde rüzgâr hızı ve ışıyım seviyesi gibi meteorolojik veriler esas alınarak salt rüzgâr türbinli (RT), salt fotovoltaik (FV) ve RT-FV hibrit sistemin mukayeseli ekonomik performansı ele alınmıştır.

Anahtar sözcükler: Yenilenebilir enerji, Fotovoltaik sistemler, Rüzgâr türbinli sistemler, Hibrit rüzgâr-güneş sistemleri, Genetik algoritmalar.

ABSTRACT

THE MODELLING OF HYBRID WIND-SOLAR POWER SYSTEMS FOR A TYPICAL RESIDENTIAL HOME IN DÜZCE PROVINCE

Mustafa Necati BOZOK

Düzce University

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

Master's Thesis

Supervisor: Professor Dr. Nedim TUTKUN

February 2017, 68 pages

Energy prices gradually increase in Turkey every year due to rapid population and economic growths. The primary sources of electrical power generated in power stations are fossil fuels and major part of them is imported. The half of power generated in Turkey is produced by the natural gas combined cycle power plants. This is unfortunately a typical indication of the foreign energy dependency however Turkey is comparatively rich in renewable energy potential. Recently the significant portion of this potential has commercially been utilized by renewable energy investments. Besides, the remainder of this potential can be seized on using on-grid or off-grid renewable systems ranging from power ratings of 1 to 10 kW in high populated and rural areas. Power balance between generation and consumption should be done for these systems to be economic by properly shifting the loads within the day. One way to balance generation and consumption in a specified period is possible to solve a discrete optimization problem and the solution can be achieved by a model satisfying the given constraints in a certain location. In this thesis, the modelling of a low power off-grid renewable system economically meeting power demand for a typical residential building in a location specifically for Düzce is studied. The proposed model also handles comparative performances of wind turbines (WT) alone, photovoltaic (PV) panels alone and hybrid WT-PV systems on the basis of meteorological data.

Keywords: Renewable energy, Photovoltaic systems, Wind turbine systems, Hybrid wind turbine systems, Genetic algorithms.

1. GİRİŞ

1.1 KAPSAM VE LİTERATÜR

Bir yerleşim merkezinde küçük konut ve ofislerin ihtiyaç duyduğu enerji kısmen ya da tamamıyla yeterli potansiyel olması durumunda güneş ve rüzgârı esas alan sistemler ile karşılanabilir. Dünya yıllık güneş enerjisi potansiyelinin mevcut kömür ve gaz kaynaklarının oluşturduğu potansiyelden 50 ilâ 800 kat arasında daha fazla olduğu tahmin edilmektedir [1]. 2050 yılı itibariyle dünyadaki elektrik enerjisi üretiminin %11'nin Fotovoltaik (FV) sistemler ile karşılanacağı öngörülmektedir [2]. Rüzgâr ve FV enerji uygulamaları konusunda giderek artan birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Bhattacharya Bangladeş'teki bir köyün enerji ihtiyacını karşılayacak şebekeden bağımsız sistem tasarımını ele almış ve en iyi hibrit sistem kombinasyonunu elde eden bir yazılım geliştirmiştir [3]. Bu çalışmada geliştirilen yazılım tek amaçlı bir optimizasyon ile sadece sistem bileşenlerinin sayısını en az kurulum maliyeti verecek şekilde belirlemiştir.

Bir başka çalışmada Adaramola ve arkadaşları, FV-dizel jeneratör(DJ)-akülerden oluşan hibrit bir sistemin sayı ve anma gücü bakımından farklı kombinasyonlarını kullanarak Nijerya'daki kırsal ve yarı kırsal alanlarda sadece DJ ile yapılan enerji üretiminin birim maliyetini uygun kombinasyon ile 0,42 \$/kWh'dan 0,35 \$/kWh'a düşürmüştür [4]. Saatlik bazda 0,07 \$/kWh'lık bir tasarruf küçük bir tutar gibi görünse de 20-25 yıllık sistem ömrü için kayda değer bir miktar oluşturur.

Bekelea ve Boneya Etiyopya'da belirli bir bölgedeki enerji ihtiyacını karşılayacak bir hibrit sistemin tasarımı üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir [5]. Yapılan tasarımda FV, rüzgâr türbini (RT), akü ve DJ'den oluşan hibrit sistemin en iyi kombinasyon olduğu görülmüştür.

Başka bir benzer çalışmada Rohani ve Nour, Abu Dabi'de 250, 500 ve 2500 evin enerji ihtiyacını karşılayabilecek FV, RT, akü ve DJ'den oluşan hibrit sistemin tasarımı gerçekleştirmişlerdir [6]. Tasarlanan sistemde en uygun kombinasyon ile hibrit sistemin

maliyeti düşürülmüş ve geleneksel enerji üretim sistemi ile elde edilen aynı enerji üretimi için karbon emisyonu %37 oranında azalmıştır.

Bir diğer çalışma Montana'da Kellogg ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiş olup kırsal kesimdeki konutların enerji taleplerini karşılamak için yenilenebilir enerji üretim ünitelerinin güç ve sayıları belirlenmiştir [7]. Bu çalışmada salt RT, salt FV ve hibrit sistem kombinasyonları 20 yıllık çalışma süresine göre tüm yönleriyle ele alınmıştır. Bunun yanı sıra, her bir kombinasyonun maliyet analizi yapılmış ve en uygun sistemin salt RT'den oluşan sistemin olduğu geliştirilen basit bir algoritma ile tespit edilmiştir.

Nehir ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, güney Montana merkezinde yerleşim alanına uzak mesafede bulunan bir yerleşim yerinin enerji ihtiyacını karşılayacak uygun RT ve FV sistem, bünyesinde bulunan bileşenlerin matematiksel modelleri oluşturularak Matlab/Simulink ortamında tasarlanmıştır [8].

Maleki ve Pourfayaz RT-FV-DJ hibrit sisteminin maliyeti ve modellenmesi üzerinde çalışmış, ayırık harmoni arama algoritması kullanarak maliyet analizi için sistem bileşenlerini en uygun hale getiren matematiksel bir model oluşturmuşlardır [9].

Raipur, tarafından yapılan çalışmada, yıl boyunca akü enerjisinin bitmeyeceği şekilde RT ve FV panellerden oluşturulacak bir sistemde en uygun oranda RT, FV panel ve akü kullanımı Matlab/Simulink ortamında tasarlanmıştır [10].

Nelson ve arkadaşları, Matlab yazılımından yararlanarak kuzeybatı Pasifik bölgesinde yerleşim yerine uzak mesafede elektrik şebekesi olmayan bir ev için birim ölçülendirmesi ve fiyat analizi çalışması yapmıştır [11].

Vadiraajacharya ve Katti, Hindistan'da uzak mesafelerdeki yerleşim yerlerine şehir elektriğinin ulaşım sorunları nedeniyle, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinin güçlü yanlarını kullanarak dengeli bir hibrit enerji üretim sistemi kurma çalışması yapmıştır. Hibrit sistemin etkin bir şekilde çalışabilmesi için sistem bileşenlerinin oluşturduğu ve harcadığı enerji ile sistem bileşenlerinin maliyetlerinden oluşan birimler ile basit bir algoritma oluşturarak optimizasyon işlemi gerçekleştirmiştir [12].

Ranjeva ve Kulkarni, Hypora (Hybrid Power Optimized for Rural/Remote Areas-Uzak Mesafe Yerleşim Yerleri için Hibrit Güç Optimizasyonu) adını verdikleri araç ile, Excel ortamında en uygun fiyat ve performans sonucunu elde etmişlerdir [13].

Manoj ve Srinivasaiah tarafından yapılan çalışmada Hindistan'da uzak mesafelerde

elektrik bağlantısı olmayan ticari işyerleri ve evler için, RT- FV hibrit sisteme ait sistem bileşenlerinin hizmet süresi, sistem bileşenlerinin maliyet fiyatları, ihtiyaç duyulan ve üretilen güç miktarları göz önüne alınarak matematiksel yöntemler ile en uygun hibrit sistem konfigürasyonu oluşturulmaya çalışılmıştır [14].

Kaabeche ve arkadaşları, Bouzaréah, Cezayir'de yerleşim yerinde bulunan bir ev için kullanılacak hibrit RT-FV sistem DPSP (Deficiency of Power Supply Probability-Güç Kaynağının Yetersizliği İhtimali) ve LCC (Life Cycle Cost-Hizmet süresi Maliyeti) kavramları üzerinden oluşturulan Matlab simülasyonu ile hibrit sistem optimizasyonu gerçekleştirilmiştir [15].

Kaviani ve arkadaşları, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu yöntemi kullanarak, kuzeybatı İran Ardebil şehrinde, 20 yıllık kullanım süresinde hibrit RT-FV sistemin oluşturulması, değişimi, işletim ve bakım maliyetlerini içerecek şekilde en uygun sistem optimizasyon çalışmasını yapmıştır [16].

Düzce ilinde bir konutun elektrik enerjisinin karşılanması konusunda Biberoglu ve Pala tarafından yapılan çalışmada Düzce ili Konuralp Mahallesi'nde bulunan bir konutun elektrik tüketim maliyeti, şebekeye bağlı bir FV sistem kurulumu yapıldıktan sonraki enerji tüketim maliyetiyle karşılaştırılması ele alınmıştır [17].

Alkan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Düzce şartlarında bir evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak güce sahip bir FV sistemin tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Uygulama şebekeden bağımsız ve güneş takip eden (tracking) sistem olarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin kurulu gücü yaklaşık 2,5 kW olarak tasarlanmıştır. Yapılan bu çalışma ile hem yenilenebilir enerji ile beslenen bir konut için elektriksel olarak projelendirme hem de matematiksel analiz ve fizibilite ortaya konulmuştur. Sistemin kontrolsüz bir şekilde önce çalıştırılmış daha sonra PID kontrol ile çalıştırılmış ve son olarak bir optimizasyon yöntemi olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile katsayıları bulunan PID kontrol yöntemi kullanılarak çalıştırılmıştır.[18].

Sawle ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, RT-FV Hibrit Sistemi hakkında literatürde yapılan çeşitli çalışmalar araştırılmış ve hibrit sistemlerin iyileştirme konusu, çalışma yapılan ülke, çalışma yapılan yer, çalışma konusu ve iyileştirme çalışmasında kullanılan algoritma yöntemleri tablo şeklinde özetlenmiş olup ilgili tablo Çizelge 1.1 ile gösterilmiştir [19].

Çizelge 1.1. RT-FV hibrit sistem tabanlı çalışmalara ait özet.

Yazar	İyileştirme Konusu	Ülke	Konum	Çalışma	Kullanılan Algoritma
McGowan ve arkadaşları (1996)	Kullanım ömrü ve maliyeti	Brezilya	Telekom	Yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımı ve boyutlandırılması için önemli performans parametrelerinin değiştirilebilmesi.	Hybrid 2
Mariem Smaoui ve arkadaşları (2015)	Ekonomi	Kuzey Tunus	Uzak Yerleşim Yeri	Deniz suyu arıtımını sağlamak için tasarlanmış bir hibrit sistem değerlendirmesi.	İteratif Yöntem
Antonio Cano ve arkadaşları (2014)	Birim ölçülendirme si ve toplam maliyet	Malaga İspanya	Uzak Yerleşim Yeri	Hibrit sistemin farklı metotlar ile araştırılarak sistemin daha etkili ve düşük maliyetli hale getirilmesi.	Homer, Hoga, Matlab
Younggy Shin ve arkadaşları (2015)	Kapasite tasarımı ve kullanım planlaması	Güney Kore	Bina	Ada şartlarında hibrit sistemin dizel jeneratörden daha uygun hale getirilmesi.	Pareto
Sami Kamel ve arkadaşları (2005)	Ekonomi	Mısır	Tarımsal	Dizel jeneratöre göre daha çevreci ve ekonomik bir yenilenebilir hibrit enerji sistemi çalışması.	Homer
Banu Y. Ekren ve arkadaşları (2009)	Ekonomi	Urla, Türkiye	Enstitü Çalışması	Farklı yükler altında yük kaybı olmadan kendi kendine çalışması için en uygun ölçülendirmenin yapılması.	Arena
Bernal-Agustín ve arkadaşları (2006)	Kirlilik emisyonu, maliyet	-	Tarımsal	Enerji maliyeti ve karbondioksit emisyonunu azaltmak için yazılım geliştirme çalışması.	Pareto

Yang ve arkadaşları (2003)	Sürdürülebilirlik	Hong Kong	Telekom	Hibrit enerji üretim sistemlerinin olasılık analizleri ve hava verileri çalışması.	Matlab
Khatod ve arkadaşları (2010)	Tasarım ve maliyet	Gujarat, Hindistan	-	Yüksek doğruluk ve daha az hesaplama gerektirecek bir teknik tasarlama çalışması.	Monte Carlo simülasyonu

Dünyada yenilebilir enerji uygulamalarının hız kazanması ile birçok ülkede buna benzer uygulamaların olduğu görülmektedir [20] .

Bu çalışmada, Türkiye'de Karadeniz sahilinde herhangi bir elektrik şebekesi bağlantısının mevcut olmadığı belirli bir lokasyon için en düşük kurulum, enerji üretim, ve işletme maliyetli RT, FV paneller, evirici ve akülerden oluşan bir hibrit sistemin 20 yıllık çalışma ömrü dikkate alınarak en uygun kombinasyonu oluşturulmaya çalışılmaktadır. Sistem bileşenleri 1 kW gücünde RT, 0,25 kW'lık monokristal FV panel, 200 Ah'lık derin döngülü jel akü ve 3,5 kW tam sinüs evirici potansiyel kullanım aygıtları olup batarya grupları ile takviye edilen salt FV sistem, salt RT sistem ve hibrit RT-FV sistemlerden oluşmaktadır. En uygun sistemi bulmak için bir yıllık güç talebi, rüzgâr hızı, güneşlenme oranı tahmin edilmiş ve belirlenmiş bölge için uygun hale getirilmiştir. Bu şekilde çok amaçlı ayrık optimizasyon yardımıyla en uygun sistem kombinasyonu elde edilmeye çalışılacaktır.

2. SİSTEMİN TANIMI

2.1 GİRİŞ

Ülkemizin güneş ve rüzgâr enerjisinden yararlanmak için yeterli potansiyele sahip olduğu yapılan araştırmalardan bilinmektedir. Bu potansiyeli değerlendirmek için her yıl artan sayıda farklı yaklaşımları esas alan proje çalışmaları yapılmaktadır. Ancak yapılan bu tür çalışmaların yenilenebilir enerji üretiminin ve kullanımının toplum katmanlarında üreten tüketici uygulaması bazında yeterince gelişme göstermediği görülmektedir. Bu eksikliği gidermek adına hazırlanan bu tez çalışmasında amaçlanan hedef, küçük konutların enerji ihtiyacını minimum kurulum, üretim ve işletme maliyeti ile karşılayan RT-FV hibrit sistemini, üreten tüketici konseptine uygun tasarım ve kurulum açısından modelleyip kullanıma sunmaktır.

Bu amaç doğrultusunda Düzce ili ve çevresinde küçük konutlarda gereksinim duyulan enerjinin tamamını veya büyük bir kısmını, RT-FV hibrit sistem ile üretmek ve üretilen enerjinin birim maliyetini makul seviyelere indirmek mümkündür. Böylece üretilen birim enerji maliyetinin yerel elektrik işletmesi ile rekabet edebilir hale getirilmesi ile bu tür uygulamaların ülke genelinde yaygınlaşması önemli bir ivme kazanacaktır.

Bunun yanı sıra çalışmanın bir diğer amacı, elektrik şebekesine bağlı tipik konutlarda düşük maliyetli üreten tüketiciler yaklaşımının, uygulama bazında Düzce bölgesinde uygun konumlardaki küçük konutlar üzerinden yaygınlaştırmaktır. 20 yıllık sistem ömrü boyunca ülke ekonomisine katkı sağlamanın yanında, ihtiyaç duyulan enerji daha çevreci bir yolla, yani atmosfere daha az karbon salacak şekilde karşılanabilecektir.

Bu tez çalışmasında Düzce ili ve çevresinde mevcut rüzgâr ve güneş potansiyelini değerlendirmek için en düşük kurulum ve işletme maliyetine sahip RT, FV panel ve yeterli kapasitede akü gibi bileşenlerden oluşan hibrit bir sistemin modellenmesi ele alınmaktadır.

Kaba meteorolojik ölçümler ile Düzce ve çevresi genel olarak hem rüzgâr hem de güneş enerjisinden ticari olarak yararlanma noktasında elverişli bölgelerle karşılaştırıldığında, bölgenin yeterince verimli olmadığı bilinmesine rağmen, Düzce ili ve çevresi için yenilenebilir enerji potansiyelini bireysel veya toplu olarak değerlendirmek mümkündür.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün (YEGM) hazırlamış olduğı güneş atlasına bakıldığında, Düzce ilinde bir yılda 1 m²'lik yüzeye gelen enerji miktarı 1400 ila 1450 kWh arasındadır. Yani, ortalama verimi 0,15 ve yüzey alanı 1,6 m² olan monokristal bir FV panel ile bir yılda ortalama 336-348 kWh'lik enerji üretmek mümkündür. Üretilen bu enerji miktarı yaz mevsiminde daha büyük değerlere ulaşırken kış mevsiminde işe daha küçük değerlere ulaşmaktadır. Yapılan ölçümlerde Düzce ilinin aylık ortalama güneşlenme süresi Temmuz ayında 11,31 saat ile en yüksek, Aralık ayında ise 3,75 en düşük değerdedir.

Benzer şekilde bir günde 1 m²'lik yüzeye gelen güneş enerjisi miktarının Haziran ayında 6,57 kWh, Aralık ayında ise 1,59 kWh olduğı tespit edilmiştir. Bunun anlamı %15 verimli monokristal FV 1,6 m² düzlemsel yüzeyli panel ile Haziran ayında 1,58 kWh, Aralık ayında ise 0,38 kWh miktarında enerji üretmek mümkündür. Pek tabidir ki, yüzey alanı dolayısıyla panel sayısı arttıkça günlük üretilen güç miktarının artacağı aşikârdır.

Burada görüldüğü üzere verim de, üretilen güç açısından önemli bir faktördür ve bu kullanılan panelin üretim teknolojisi ile alakalıdır. Günümüzde monokristal ve polikristal gibi iki tür panel yaygın biçimde enerji üretiminde kullanılır ve birincisinin verimi diğetine göre %15 daha büyüktür. Bu tip bir panelin 20 yıllık ömrü olduğı ve birincil enerji kaynağına herhangi bir ücret ödenmediğı düşünöldüğünde bu değerler azımsanmayacak miktarlardadır.

YEGM'nin Düzce ili ve çevresi için hazırlamış olduğı rüzgâr bilgilerine göre 50 m yükseklikte ölçölen ortalama rüzgâr hızının 5 ila 6,5 m/s olduğı görölmektedir. Bu bölgedeki rüzgâr türbinleri için hesaplanan kapasite faktörü 50 m yükseklikte %15-20 aralığında değışim gösterir. İlin merkezine doğru kapasite faktörü azalırken ilin dışına doğru ise kapasite faktörü artmaktadır. 50 m yükseklikte yapılan ölçümlerde 6,8-7,5 m/s arasındaki rüzgâr hızlarında sırasıyla 300-400 W/m² arasında güç kapasitelerinin olduğı görölmektedir. Düzce ili ve çevresi için 5-6 m/s ortalama hızlarda 110-210 W/m² arasında güç kapasiteleri olacağı beklenmektedir. Bunun anlamı ise 1 m²'lik bir alanda ortalama 5-6 m/s'lik hızlarda 110-210 W'lık güç üretme potansiyeli olduğudur.

Günümüzde bu gücün % 40-45 verimle dönüştürölmesi, 20 yıl ömürlü yatay eksenli 3 kanatlı rüzgâr türbinleri ile mümkündür. Burada dikkat edilmesi gereken husus rüzgâr hızının yeterince büyük olmaması nedeniyle kanat uzunluğu artırılarak üretilecek güç

miktarında bir artışa gidilebilir. Bu noktada piyasadan doğrudan satın alınan standart bir RT kullanmak yerine bölgeye uygun tasarlanmış RT kullanmak daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Tüm bunların ışığında Düzce ili ve çevresinde rüzgâr ve güneşe dayalı hibrit sistemler ile bir konutun veya ofisin ihtiyacı olan enerjinin karşılanması mümkün olup, iyi bir sistem modellemesi ile kurulum, üretim ve işletme maliyeti en düşük değerlere çekilebilir.

Bu tez çalışmasının özgünlüğü bilimsel temellere dayalı olarak Düzce yerelinde ilk defa yapılıyor olması ve üreten tüketici konsepti sunuyor olmasıdır. Tezin çıkış noktası belirlenen bir lokasyon için Düzce ili meteoroloji istasyonu tarafından ölçülmüş 4 yıllık geçmiş rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı verileri kullanılarak tipik bir konut için en uygun hibrit sistem kombinasyonu nasıl bulunabilir, maliyeti nedir ve bir yılda bu sistemle ne kadar enerji üretmek mümkündür sorusu ile başlamaktadır. Bu problemin çözümüne başlarken meteorolojik veriler ile gerekli düzeltmelerin yapılarak konutun bulunduğu lokasyona uygun hale getirilmesi önem arz eder. Bundan sonraki aşamada 4 yıllık rüzgâr hızı ve ışıınım miktarı verilerinin ortalaması alınarak günün her bir saatini temsilen 24 adet veriye indirgenir. Bu şekilde her saat dilimindeki rüzgârdan ve güneşten üretilecek enerji miktarları kolayca hesaplanır.

Üretilen bu enerji ile konutta bulunan elektriksel yüklerin minimum maliyetle beslenmesi, kurulum ve bakım maliyetlerinin en aza indirilmesi geliştirilen modelleme yardımıyla elde edilecektir. Bu sistemde işletme maliyetini sürekli düşük tutmak için bir sonraki günün saat bazında yıllık ortalamasının geliştirilmiş meta sezgisel ve benzer yöntemler ile en az hata verecek şekilde tahmin edilmesi gerekir. Tahmin edilen bu verilere göre bir gün sonrasının saatlik dilimlerde muhtemel enerji üretimi tahmin edilir. Böylece 24 adet her bir saat diliminde üretilmesi gereken güç değerleri bulunmuş olur ve mevcut yük profili veya yükler dikkate alınarak güç ünitelerinin planlaması yapılır. Bu şekilde hem kurulum, hem üretim hem de işletme maliyetini olabildiğince aşağıya çekmek mümkün hale gelebilir.

Modelleme problemine genel olarak bakıldığında bunun bir ayrık eniyileme ve etkili tahmin problemi olduğu görülmektedir. Bu nedenle geliştirilecek model için kullanılacak temel çözüm araçları, gerçek sayı ile kodlanmış genetik algoritma ve destek vektör makinaları yöntemi olacaktır. Sonuç olarak, çalışmanın yerel ve genel anlamda mevcut çalışmalardan farklı bir çalışma olacağı ve yaygınlaşması durumunda ülke ekonomisine görece katkı sağlayacağı aşîkârdır.

2.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ İLE GÜÇ ÜRETİMİ

Tipik bir konut modellemesi yapılacak RT-FV-akü sistemin kurulum yeri Harita 2.1. ile gösterilmiştir. Bu konumdaki küçük bir konutun enerji ihtiyacını karşılayacak kadar elektrik, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız bir RT-FV sistem ile yeterli miktarda üretilir. Fayda ve maliyet açısından bu iki sistem birbiri arasından önemli farklılıklar gösterir.

Şebekeye bağlı olmayan sistemde ihtiyaç duyulan enerji, depolanmış olan enerji ve üretilen enerjiden daha fazla ise bu durumda tüm yüklerin beslenmesi için yedek bir jeneratör çalıştırılır ya da yedek jeneratör kullanılamaması durumunda bazı yükler devre dışı bırakılır.

Eğer herhangi bir zaman diliminde üretilen enerjide fazlalık meydana gelirse, alternatif akıma dönüştürülmüş enerjiye ait gerilim ve frekansı sabit tutmak için fazla enerji kontrollü yük (genellikle yük direnci ile) üzerinde harcanır.

Bu yük genellikle elektrikli su ısıtıcısı olabilir. Şebeke bağlantılı sistemde oluşan fazla enerji şebekeye verilerek işletme maliyetinin düşmesi sağlanırken, hibrit sistem yeterli üretim yapmadığı zaman gerekli enerji şebekeden karşılanmaktadır.



Harita 2.1. RT-FV-Akü sisteminin kurulu olduğu lokasyon.

Her iki sistemin temelde çalışması büyük oranda benzer olup sistemin çalışması kabaca şu şekilde açıklanabilir. FV paneller ve RT gün içinde ışıınım seviyesi ve rüzgâr hızı yeterli seviyeye ulaştığında elektrik üretmeye başlarlar.

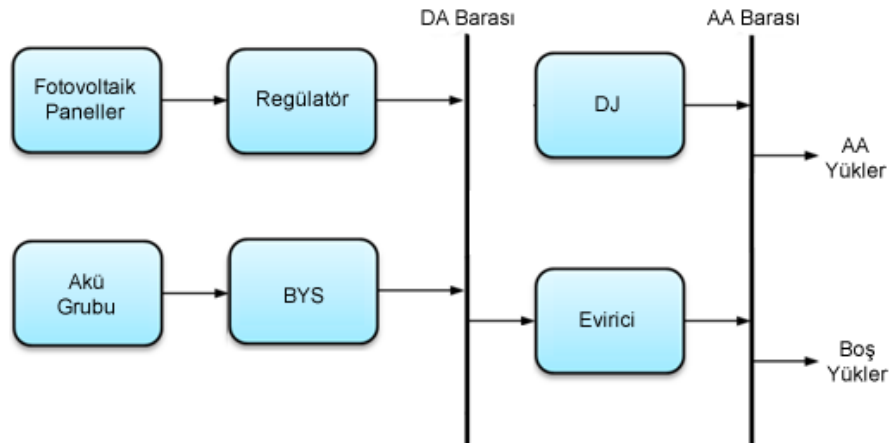
Saatlik zaman dilimlerinde ışı nım ve sıcaklık zamana göre değ iş iklik gösterdiğ inden FV modüllerin enerji üretim miktarı büyük oranda modüllerdeki ışı nım seviyesine ve sıcaklığ ı bağı ldır. Benzer şek ilde, RT rüz gâr hız ı 3 m/s hıza ulaşt ığında enerji üretimine baş lar ve rüz gâr hız ı 25 m/s üzerine çıkt ığında güvenlik açısından enerji üretimi durur.

Herhangi bir zaman diliminde üretilen enerji, ihtiyaç duyulan enerjiden fazla ise bu fazla enerji önce aküleri ş arj etmek için kullanılır. Aküler tamamen ş arj olduktan sonra halen fazla enerji olması durumunda, bu enerji ş ebekeye bağı li sistemlerde ş ebekeye; ş ebekeye bağı li olmayan sistemlerde ise elektrikli su ısı tma sistemine veya benzeri sisteme aktarılır.

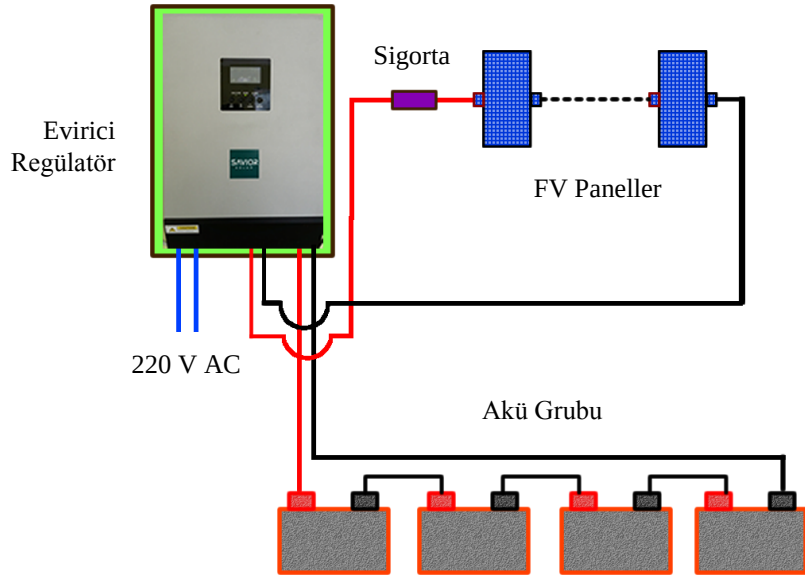
Sistemde doğru akım (DA) ve alternatif akım (AA) olmak üzere iki tür bara bulunur. FV panellerden DA enerjisi DA-DA regülatörü yardımıyla akülere kontrollü bir şek ilde ş arj edilir. RT'lerinden gelen AA enerjisi ise yine AA-DA regülatörü ile uygun gerilim değ erine dönüştürülerek ş arj edilir.

Akülerde depo edilen DA enerjisi DA-AA eviricisi yardımıyla AA enerjisine dönüştürülerek AA barasına aktarılır. Bu haliyle bakıld ığında DA yükleri akü grubunun gerilim seviyesinde DA barasından, AA yükleri ise ş ebeke gerilim ve frekans değ erinde AA barasından beslenir.

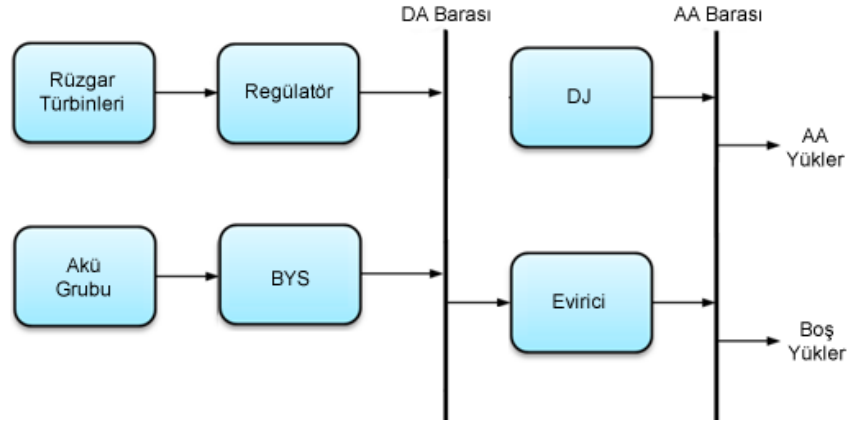
Sistemin doğru bir şek ilde çalışabilmesi için akülere ait ş arj ve deş arj batarya yönetim sistemi (BYS) ile kontrol edilmektedir. Salt FV sisteme ait blok ş ema ve açık ş ema Ş ekil 2.1 ve Ş ekil 2.2 ile gösterilmiştir. Salt RT sisteme ait blok ş ema ve açık ş ema Ş ekil 2.3 ve Ş ekil 2.4 ile gösterilmiştir. FV-RT Hibrit sistemine ait blok ş emas ı ve açık ş emas ı Ş ekil 2.5 ve Ş ekil 2.6 ile gösterilmiştir.



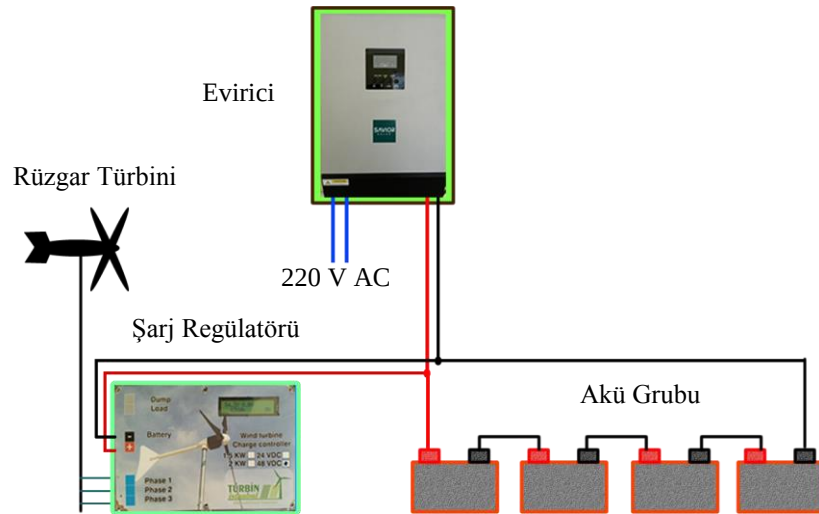
Ş ekil 2.1. Tipik bir ş ebekeden bağı msız FV-Akü sistemi blok ş emas ı.



Şekil 2.2. Tipik bir şebekeden bağımsız FV-Akü sistemi açık şeması.



Şekil 2.3. Tipik bir şebekeden bağımsız RT-Akü sistemi blok şeması.



Şekil 2.4. Tipik bir şebekeden bağımsız RT-Batarya sistemi açık şeması.

$$W_g = \Delta t \sum_{k=1}^{24} \{ N_w \times P_w(k) + N_p \times P_p(k) \} \quad (2.2)$$

$$W_d = \Delta t \sum_{k=1}^{24} P_d(k) \quad (2.3)$$

Burada Δt , $P_w(k)$, $P_p(k)$, N_p ve N_w sırası ile zaman aralığı, k. saatlik zaman diliminde RT, paneller tarafından üretilen güçler, FV panel sayısı ve RT sayısıdır.

Günlük üretilen ve tüketilen güçler arasındaki dengeyi sağlamak için 24 saatlik enerji farkının ortalamasının sıfır olması gerekir. Güç farkının saatlik değişimine bakıldığında pozitif ve negatif değerler aldığı görülmektedir. Güç farkının pozitif ve negatif değerleri sırasıyla güç fazlalığını ve güç eksikliğini göstermektedir. Güç farkının zamana göre entegrasyonu toplam günlük oluşan enerji farkını verir ve Denklem (2.4) ile ifade edilir.

$$\Delta W = W_g - W_d = \Delta t \sum_{k=1}^{24} \Delta P(k) \quad (2.4)$$

Ortalama bir gün içindeki enerji değişimine ait pozitif ve negatif tepe değerleri arasındaki fark, enerji depo edilecek akülerin miktarının belirlenmesi için kullanılabilir. Jel aküler 1500 döngülük bir ömre sahiptir ve bu döngünün iyi bir şekilde gerçekleşmesi için %80'den fazla şarj ve %20'den az deşarj olmaması gerekir. Buna göre depolama kapasitesi için ihtiyaç duyulan akü sayısı aşağıdaki ifade Denklem (2.5) ile hesaplanabilir.

$$N_b \geq \frac{\Delta W_{mak} - \Delta W_{min}}{0.8 W_b} \quad (2.5)$$

Burada ΔW_{mak} , ΔW_{min} ve W_b ifadeleri sırası ile enerji farkına ait maksimum ve minimum enerji değerleri ve akünün depo edebileceği en büyük miktardır.

Tipik bir konuttaki elektriksel yüklerin beslenmesi için ihtiyaç duyulan hibrit sistemde bulunması gereken FV panel ve RT sayısını belirlemek için aşağıdaki prosedürlerin takip edilmesi gerekir [7]:

1. Ticari olarak satışta bulunan 1 kW'lık RT'yi, 0,25 kW'lık FV panel ve 200 Ah'lık jel akülerin birim fiyatları ve ortalama ömürleri belirlenir.
2. Eğer RT gücü tek bir FV panel güç değerinden çok fazla ise güç dengesinin

sağlanması için FV panel sayısı kademeli olarak artırılır.

- Her bir kombinasyon için yıllık maliyet hesaplanır ve en düşük maliyetli hibrit sistem kombinasyonu bulunur.

Bu adımlar dikkate alınarak Düzce ilinin Karadeniz kıyı bölgesindeki yerleşim yerinde bir konutun gerekli enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılacak en uygun RT-FV-akü bileşenlerden oluşan kombinasyon seçilmiştir. Sisteme ait her bir bileşenin fiyatlandırılması verilmiş olup seçilen bu kombinasyon kurulum, bakım ve işletme giderleri minimum olacak şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 2.1. Sistem bileşenlerinin özellikleri ve fiyatları.

Bileşenin Adı	Özellikler	Fiyat (₺)
Yatay Eksenli RT	48 V, 1 kW	5.064,00
Tam Sinüs Evirici	48/220 V, 3.5 kW	1.536,00
Mono Kristal FV Panel	0.25 kW _p	850,00
Derin Döngülü Jel Akü	12 V, 200 Ah	975,00

Burada Çizelge 2.1 verileri kullanılarak 20 yıllık sistem kullanım ömrü için sadece RT, sadece FV ve hibrit RT-FV sistem kombinasyonları için Denklem (2.6) ile toplam maliyet (TM) hesabı yapılmıştır.

$$\begin{aligned}
 TM = & (N_{RT} \times C_{RT} \times F_{RT} \times P_{RT} + N_{FV} \times C_{FV} \times F_{FV} + 5 \times N_B \times C_B \times F_B) \times BFO \\
 & + \left(N_{RT} \times B_{RT} \times E_{RT} + N_{FV} \times B_{FV} \times E_{FV} \right. \\
 & + \sum_{k=1}^{24} \left\{ \left(\sum_{i=1}^{N_{RT}, N_{FV}} c_{ri} p_{ri}(k) + c_{gj} p_{gj}(k) \right) - c_s p_s(k) \right. \\
 & \left. \left. + c_d p_d(k) c_e p_e(k) - c_f p_f(k) \right\} \right\} \times 365
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

Aşağıdaki kısıtlara bağlı olarak:

$$\sum_{k=1}^{24} \left\{ \sum_{i=1}^{M,N} \left((P_{ri}(k) + P_{gj}(k)) - P_s(k) + P_d(k) + P_e(k) - P_f(k) - P_y(k) \right) \right\} \quad (2.7)$$

$$0 \leq P_{ri}(k) \leq P_{rimak}$$

$$0 \leq P_{gi}(k) \leq P_{gimak}$$

$$0 \leq W_{de}(k) \leq 2,4 \text{ kWh}$$

$$0 \leq W_s(k) \leq 2,4 \text{ kWh}$$

$$0 \leq W_d(k) \leq 2,4 \text{ kWh}$$

$$W_d(k) - W_{de}(k-1) \leq 0$$

$$W_{de}(0) = W_0 = 1,2 \text{ kWh}$$

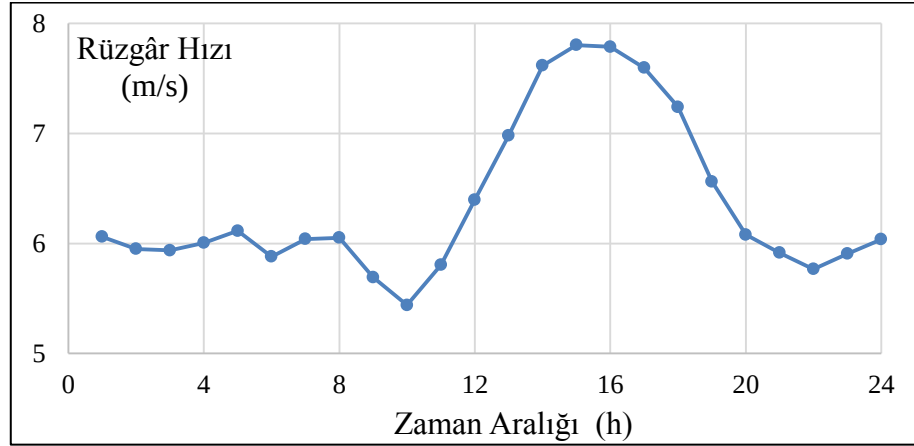
Burada N_{RT} , C_{RT} , F_{RT} , P_{RT} , N_{FV} , C_{FV} , F_{FV} , N_B , C_B , F_B , BFO , B_{RT} , E_{RT} , B_{FV} ve E_{FV} sırasıyla RT sayısı, RT kurulum maliyeti katsayısı, RT fiyatı, RT anma gücü, FV panel sayısı, FV kurulum maliyeti katsayısı, FV panel fiyatı, batarya sayısı, batarya kurulum maliyeti katsayısı, batarya fiyatı, birleşik faiz oranı, kWh başına RT bakım maliyeti, RT'nin bir yılda kWh cinsinden ürettiği enerji miktarı, kWh başına FV panel bakım maliyeti ve FV panellerin bir yılda kWh cinsinden ürettiği enerji miktarıdır. RT ve FV paneller için kWh başına bakım maliyeti sırası ile 3 ve 1,5 kuruş olarak alınmıştır.

P_r , P_g , P_y , P_s , P_d , P_e , P_f , W_{de} ve W_0 sırasıyla RT'nin ürettiği güç, FV panellerin ürettiği güç, talep edilen güç, şarj edilen güç, deşarj edilen güç, eksik kalan güç, fazladan üretilen güç, depo edilen enerji miktarı ve başlangıçta akülerde şarj edilmiş enerji miktarıdır. Ayrıca c_r , c_g , c_s , c_d , c_e , ve c_f sırasıyla RT, FV, şarj, deşarj, eksik kalan ve fazladan üretilen güçlerin birim maliyetleri olup ₺/kWh olarak değerleri sırasıyla 0,1, 0,1, 0,15, 0,1, 0,4 ve 0,1 ₺'dir.

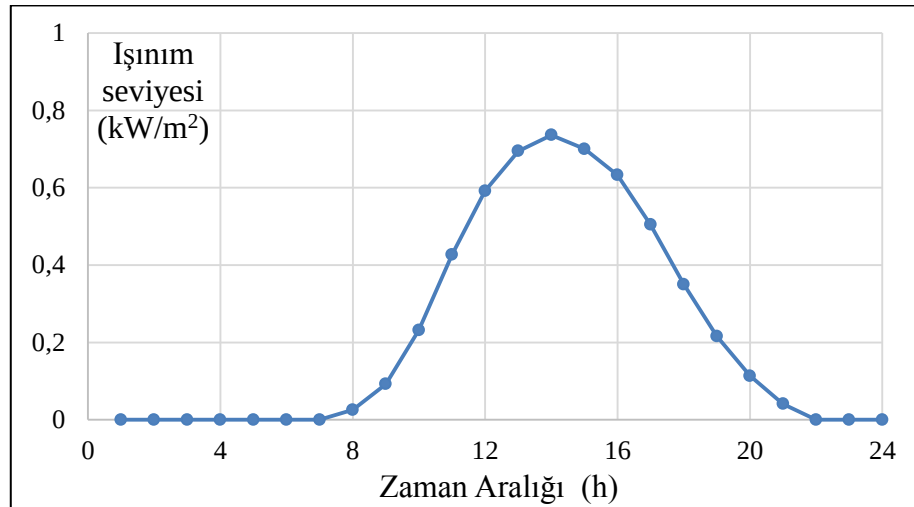
Tahmini güç hesabında kullanılan rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı verileri günün her bir saatinin yıllık ortalaması şeklinde elde edilmiştir. 2014, 2015 ve 2016 yıllarına ait ortalama rüzgâr hızı ve güneşlenme oranı verileri yerel meteoroloji istasyonundan elde edilmiş olup belirtilen konuma adapte edilmiştir.

Şekil 2.7 ve Şekil 2.8 üç yılın her bir gününün her bir saatine denk gelen saatlik bazda ortalama rüzgâr hızının ve ışıınım seviyesinin gün içindeki saatlik değişimini göstermektedir. Rüzgâr hızının ve ışıınım seviyesinin gün içindeki ortalaması sırası ile

6,36 m/s ve 0,21 kW/m² olarak hesaplanmıştır. Tipik konuttaki yük profili ve çalışma saatleri anma güç değerleri ise Çizelge 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.7. 3 yıllık ortalama rüzgâr hızının gün içinde saatlik değişimi.



Şekil 2.8. 3 yıllık ortalama ısıtım seviyesinin gün içinde saatlik değişimi.

Çizelge 2.2. Tipik konuttaki yükler ve çalışma saatleri.

No	Elek. Ev Aleti	Gücü (kW)	Çalışma Aralığı (h)	Çalışma Süresi (h)
1	Bulaşık makinesi	2,10	9-21	1,5
2	Çamaşır makinesi	1,50	8-21	0,75
3	Ütü	2,40	8-21	0,75
4	Fırın	1,70	10-19	0,5
5	Buzdolabı	0,20	1-24	12
6	Tost makinesi	2,40	7-19	0,25

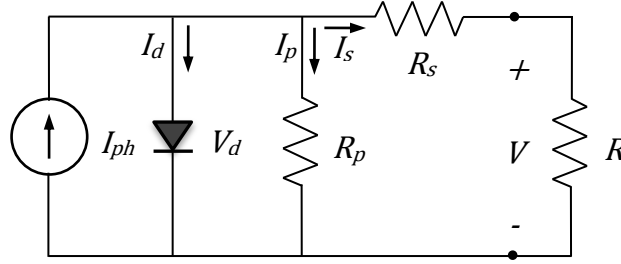
Çizelge 2.2. (Devam) Tipik konuttaki yükler ve çalışma saatleri.

No	Elek. Ev Aleti	Gücü (kW)	Çalışma Aralığı (h)	Çalışma Süresi (h)
7	Kurutucu	2,20	9-22	1
8	TV	0,10	8-24	17
9	PC	0,20	9-20	4
10	Kombi	0,15	1-24	12
11	Elektrikli süpürge	2,00	9-19	1
12	Mini fırın	1,40	8-11	0,5
13	Su ısıtıcı	2,20	8-11	0,5
14	İç aydınlatma	0,20	7-24	9
15	Dış aydınlatma	0,20	1-24	13

Şekil 2.5 ile gösterilen çok küçük ölçekli RT-FV hibrit sisteminde, FV paneller ve RT temel elektrik üretimi için, aküler ise depolama amaçlı kullanılmaktadır. Sistemin kurulu olduğu alanda FV paneller ve RT ile elektrik üretimi, ağırlıklı olarak sırası ile ışınlam ve rüzgâr hızına bağlıdır. Her bir cihazdan elde edilecek olan maksimum enerji, Çizelge 2.3'de verildiği üzere genellikle üretici tarafından veri sayfası olarak verilir, ancak ışınlam seviyesi, rüzgâr hızı ve sıcaklık vb. unsurlar herhangi bir anda bulunduğu ortamın şartlarına göre anlık olarak değişebilir. Her bir alt sistemin üreteceği enerji, kendilerine ait güç eğrilerine bakarak küçük bir hesaplama ile tahmin edilebilir. Monokristal FV panel ve yatay eksenli bir RT sırası ile 0,25 kW ve 1 kW'lık elektrik enerjisi üretmektedir. Hibrit sistemde kullanılan jel aküler 2,4 kWh depolama kapasitesine sahiptir ve derin döngülü kullanım için uygundur. Yerleşim yerinde bulunan AA yüklerin beslenebilmesi amacıyla akülerde depolanmış olan DA gücün AA güce çevrilmesi için 3 kW kapalı çevrim tam sinüs evirici gereklidir. Herhangi bir anda FV panellerden elde edilecek maksimum enerji, maksimum güç noktası takip sistemiyle ve RT'den elde edilecek maksimum enerji ise mekanik olarak rüzgâr yönü belirlenerek sağlanır. Böylece FV paneller ve RT ile üretilecek olan güç bir kez belirlendikten sonra, gün içerisinde değişen zamana göre yük kaydırma, vadi doldurma, tepe kırma gibi yöntemler ile gereksinim duyulan enerji ihtiyacı karşılanır. Küçük ölçekli sistemdeki enerji, kurulum, işletim ve bakım maliyetlerini düşürebilmek için her zaman diliminde üretilen ve tüketilen enerji arasında denge sağlanması gereklidir. Güç üretim birimleri aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

2.2.1 FV Modül İle Güç Üretimi

FV modüle ait I-V ve P-V eğrilerini bulmak için Şekil 2.9 ile belirtilen tek diyotlu devre modeli genellikle parametre çıkarımı için kullanılır.



Şekil 2.9. FV hücreye ait tek diyotlu eşdeğer devre modeli.

Şekil 2.9'de görüldüğü üzere çıkış akımı Denklem (2.8) ile ifade edilir.

$$i = I_{ph} - I_d - \frac{V_D}{R_p}. \quad (2.8)$$

FV akım I_{ph} ile, diyot akımı I_d ile, diyot gerilimi V_D ile ve şönt direnci R_p ile gösterilmiştir.

Diyot akımı I_d aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$I_d = I_0 \left(\exp \left(\frac{V_D}{\alpha V_t} \right) - 1 \right). \quad (2.9)$$

Ters saturasyon akımı I_0 , diyot ideal faktörü α , termal gerilim ise V_t ile gösterilmiştir.

Termal gerilim aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$V_t = \frac{kT}{q} \quad (2.10)$$

Boltzmann sabiti k ile, hücre sıcaklığı Kelvin cinsinden T ile, elektron şarjı ise q ile gösterilmiştir. Çıkış gerilimi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$v = V_D - i R_s. \quad (2.11)$$

(2.9), (2.10) ve (2.11) no'lu denklemler (2.8) no'lu denklem içerisine yazıldığında i aşağıdaki şekilde yazılabilir.

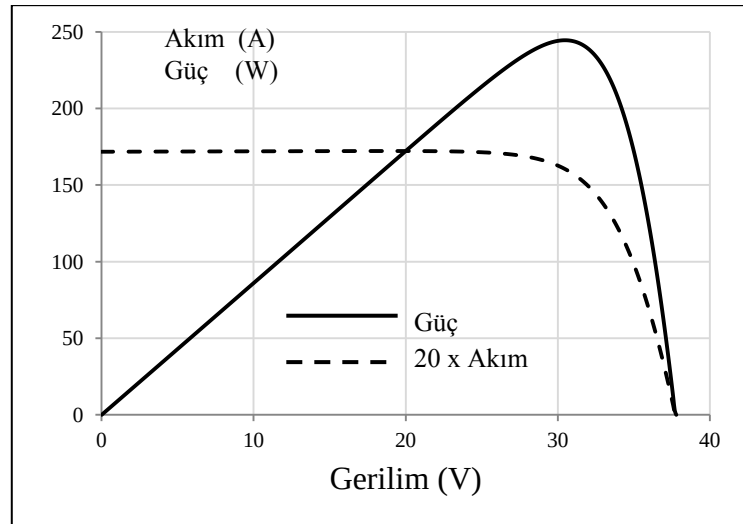
$$i = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{v + i R_s}{\alpha V_t} \right) - 1 \right) - \frac{v + i R_s}{R_p}. \quad (2.12)$$

(2.12) no'lu denklemdeki bilinmeyen parametreler I_{ph} , α , I_0 , R_s , R_p olup gerekli işlemler yapılarak I_{ph} ile I_0 elimine edilmiştir. Üreticinin vermiş olduğu deneysel verileri olan kısa devre akımı I_{sc} ve kısa devre gerilimi V_{oc} kullanarak akım-gerilim denklemini aşağıdaki Denklem (2.13) ile yazabiliriz.

$$i = \frac{-\frac{(I_{sc}R_p - V_{oc} - I_{sc}R_s)e^{\frac{I_{sc}R_s - V_{oc}}{\alpha V_t}}}{\alpha V_t R_p} - \frac{1}{R_p}}{1 + \frac{(I_{sc}R_p - V_{oc} + I_{sc}R_s)e^{\frac{I_{sc}R_s - V_{oc}}{\alpha V_t}}}{\alpha V_t R_p} + \frac{R_s}{R_p}} + \frac{1}{R_p} \quad (2.13)$$

İdeal diyot faktörü ve kayba karşılık gelen (parazitik) dirençler (2.13) no'lu kök bulma denklemi ile ifade edilir ve bu denklemin çözülmesi ile bulunurlar. Kabul edilebilir hata payı ile birlikte, belirli şartlar altında FV modüle ait I-V ve P-V eğrileri Şekil 2.10 ile gösterildiği gibi elde edilebilir.

Işınım ve sıcaklık ile optimal direnç değeri yeni bir değere doğru değişiklik gösterebilir ve bu da güç üretiminde azalmaya neden olur. FV panelden maksimum güç elde etmek için DC-DC çevirici giriş direnci, bir anahtarlama cihazı ile görev oranı en uygun hale getirilerek en uygun direnç değerine eşitlenmelidir.



Şekil 2.10. 1000 W/m², 25 °C. sıcaklıktaki I-V ve P-V eğrilerindeki en uygun noktalar.

Çizelge 2.3. FV modüle ait ölçülen parametreler.

Parametre Adı	Sembolü	Değeri
Maksimum Güç	P_m	250 W
Kısa Devre Akımı	I_{sc}	8,42 A
Açık Devre Gerilimi	V_{oc}	37,3 V
Maksimum Güç Gerilimi	V_{mpp}	30,4 V
Maksimum Güç Akımı	I_{mpp}	7,74 A
Hücreler	ns	60
I_{sc} sıcaklık katsayısı	K_i	0,04%/ °C
P_m sıcaklık katsayısı	K_p	-0,44%/ °C
V_{oc} sıcaklık katsayısı	K_v	-0,35%/ °C
Normal çalışma durum sıcaklığı	-	45±2 °C

2.2.2 RT İle Güç Üretimi

Rüzgâr enerjisi, dünya yüzeyindeki hareket halinde bulunan büyük miktardaki yoğun havanın oluşturduğu enerji olup RT kanatları vasıtasıyla bu kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürür. Rüzgâr enerjisi çevriminin etkinliği büyük oranda rüzgâr akımını yakalayan rotor tasarımına bağlıdır. Birim zamanda rotorun etkileşim halinde olduğu hava miktarı rotorun süpürdüğü çapraz bölümün kapladığı alana eşittir. Bu nedenle RT tarafından üretilen güç aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3 \quad (2.14)$$

Burada güç katsayısı C_p , hava kütle yoğunluğu ρ , rüzgâr rotorunun çapraz bölüm alanı A , rüzgâr hızı ise V ile gösterilmiştir.

Denklem (2.14)'den görüleceği üzere, rüzgâr akımında mevcut bulunan gücü etkileyen değerler hava yoğunluğu, rüzgâr rotor ebadı ve rüzgâr hızı değerleridir. Hava yoğunluğuna etki eden başlıca faktörler ortam sıcaklığı, atmosfer basıncı, yükseklik ve hava bileşenleri ve diğerleridir. Bulunulan konumdaki yükseklik ve sıcaklık değerleri

biliniyor ise hava yoğunluğu Denklem (2.15) ile, meteorolojik istasyonun ölçtüğü rüzgâr hızı değerinin yenilenebilir sistemin kurulduğu lokasyona indirgenen rüzgâr hızı değeri ise Denklem (2.16) ile hesaplanabilir.

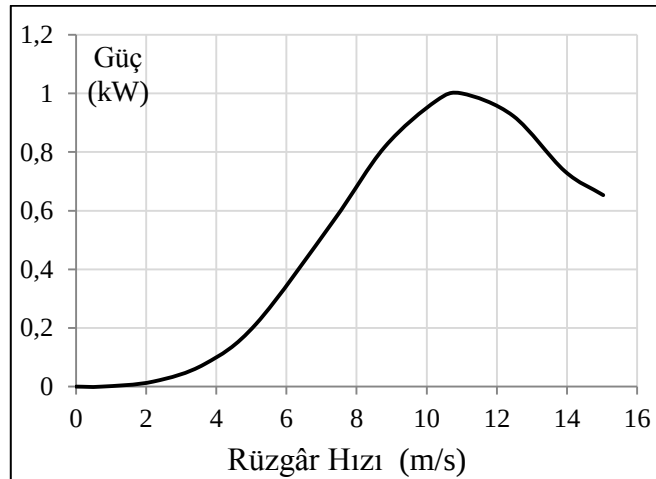
$$\rho = \frac{353.049}{T} e^{(-0.034 \frac{Z}{T})} \quad (2.15)$$

$$v = v_0 \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^\alpha \quad (2.16)$$

Burada Z ve T değerleri metre ve °C cinsinden RT'nin kurulu olduğu yerdeki yükseklik ve sıcaklık değerleridir. v_0 ve Z_0 sırasıyla orijinal lokasyondaki rüzgâr hızı ve yükseklik, Z sistemin bulunduğu lokasyondaki yükseklik ve α ise yüzey pürüzlülüğüdür.

Bulunulan konum yüksekliğindeki artışa istinaden hava yoğunluğunun düşeceği açıktır ve çoğu uygulamada sıcaklık $1,225 \text{ kg/m}^3$ olarak alınabilir. Düşük yoğunluğa bağlı olarak, enerji üretimindeki hava yoğunluğunun etkisi çok sınırlıdır. Güç üretiminde rüzgâr hızının etkisi üretilen güç ile kübik ilişkisine bağlı olarak daha etkilidir. Rüzgâr hızı iki katına ulaştığında üretilen güç 8 kat artacağından rüzgâr hızının görece yüksek olduğu lokasyonların seçilmesi rüzgârdan elektrik enerjisi üretme açısından önemli bir avantaj sağlar.

Doğru bir konum seçimi rüzgâr gücü üretimindeki başlıca etkidir. Mevcut rüzgâr enerjisinden maksimum gücü elde etmek için, RT üreticisi tarafından verilen veri sayfasında tanımlanan ve Şekil 2.11'de gösterilen güç eğrisine uygun rüzgâr hızını yakalamak gerekir.



Şekil 2.11. Tipik bir kontrollü RT'e ait güç eğrisi.

2.2.3 Batarya Yönetim Sistemi

FV paneller ve RT'ler ile enerji üretimi zamana göre farklılık gösterebilir ve bu da hibrit sistemdeki akü grubunun şarj ve deşarj işlemlerini etkileyebilir. Sistemdeki akü grubunun şarj durumu aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

Herhangi bir zaman diliminde üretilen toplam güç, ihtiyaç duyulan güçten fazla ise akü grubu aşağıda belirtilen şartlar altında şarj olacaktır. Belirli bir zaman dilimi k^{th} olarak göstermek üzere k^{th} zaman diliminde akü grubunun şarj miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır.

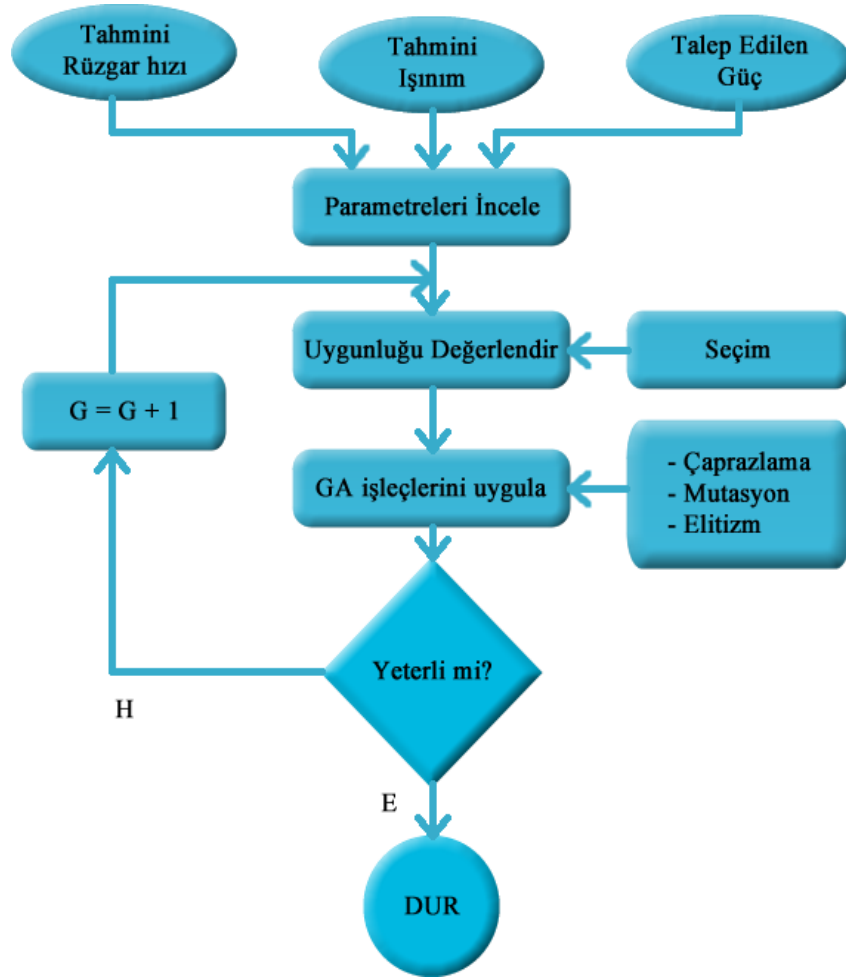
$$P_B(k) = P_B(k-1) \times (1 - \sigma) + \left[P_P(k) + P_W(k) - \frac{P_L(k)}{\eta_I} \right] \times \eta_B \quad (2.17)$$

$(k-1)^{th}$ zaman dilimindeki şarj miktarı $P_B(k-1)$ ile, saatlik kendi kendine deşarj oranı σ ile ve kurşun-asit aküler için bu değer saat başına 0,007, evirici etkinliğine ait etkinlik değeri η_I ile ve $(k)^{th}$ zaman dilimindeki güç talebi $P_L(k)$ için bu değer %96, kurşun-asit akü grubunun şarj etkinliği η_B ile ve her akü için bu değer %60'dır. Eğer toplam üretim, ihtiyaç duyulan güçten az ise, akü grubu deşarj olacaktır. Akü grubunun deşarj etkinliği genellikle şarj etkinliğine yakın derecede aynı benzerliği gösterir. k^{th} Zaman dilimine ait akü grubunun şarj miktarı aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$P_B(k) = P_B(k-1) \times (1 - \sigma) - \left[-P_P(k) - P_W(k) + \frac{P_L(k)}{\eta_I} \right] \times \eta_B \quad (2.18)$$

Uzak mesafedeki yerleşim yerlerindeki evlere ait elektriksel uygulamaların çalışma saatlerinin en uygun hale getirilmesi konusunda kombinatoriyal optimizasyon yapılması gereklidir ve bu konuda Genetik Algoritma (GA) yöntemi çok iyi performans göstermektedir.

Rüzgâr ve güneş gibi yenilebilir sistemler ile beslenen tipik bir konutun günlük enerji maliyetinin düşürülmesi için kullanım saatleri reel sayı kodlu GA kullanılarak optimize edilir. GA optimizasyon sürecine ait akış diyagramı Şekil 2.12 ile gösterilmiştir. Genetik işlem süresinde popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve üretim sayısı değerleri sırası ile 30, 0,8, 0,001 ve 200'dür. Seçilen strateji ise rulet tekerleğidir. Çaprazlama ve mutasyon tipleri ise aritmetik ve sıra değişimlidir. Ayrıca, üretilen jenerasyonlar arasındaki en iyi çözüm dizesinin elde edilmesi amacıyla elitist strateji uygulanmıştır.

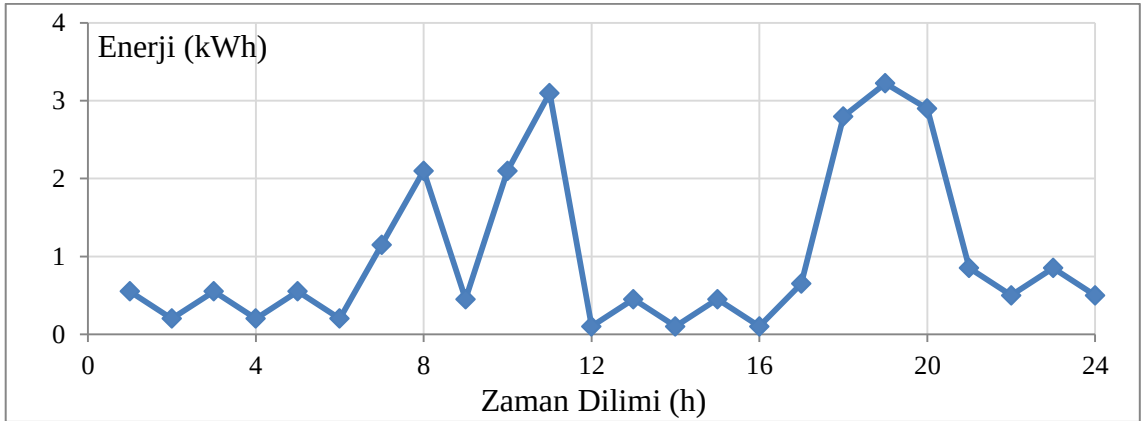


Şekil 2.12. Optimizasyon sürecine ait akış diyagramı.

3. SİSTEMİN MODELLENMESİ

3.1 GİRİŞ

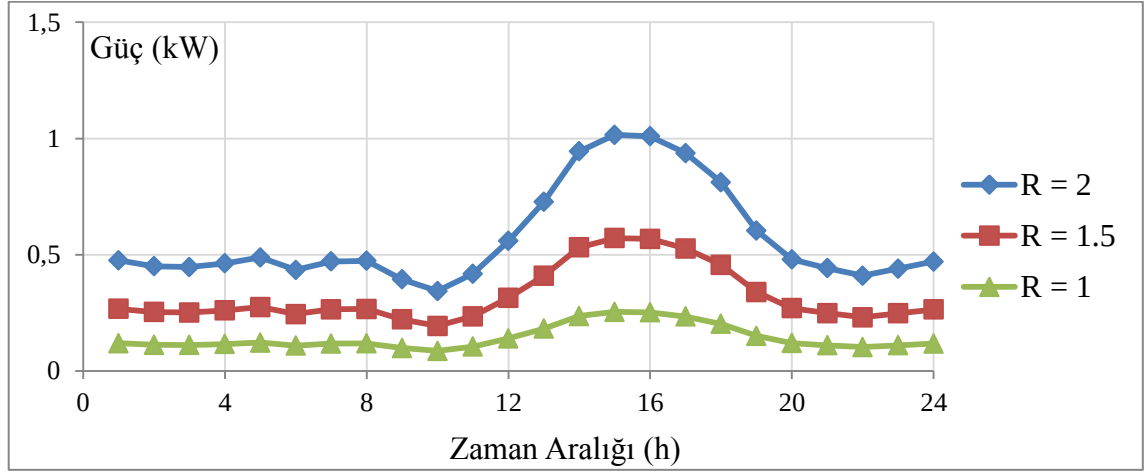
Düzce ilinde bulunan bir yerleşim yerinde tipik bir konutun kurulum, üretim ve bakım maliyetleri açısından en düşük maliyetle enerji ihtiyacını karşılayacak RT-FV-akü sistem bileşenlerinin en uygun sayıda ve özellikte seçilmesi için bir dizi çalışmalar yapılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Düzce iline ait saatlik bazda yıllık ortalama yük profili Şekil 3.1 ile gösterilmiştir. Bu, bölgede bulunan ortalama gelir düzeyine sahip bir konutun elektriksel enerji ihtiyacını gösteren iyi bir örnektir. Bölgeye özgü rüzgâr hızı ve ısıtım seviyesinin bir saatlik zaman dilimindeki değerleri 3 yılın ortalaması olarak alınmıştır. 2014, 2015 ve 2016 yıllarına ait kayıtlı saatlik ortalama rüzgâr hızı ve ısıtım verileri yerel meteoroloji istasyonundan temin edilmiş ve hibrit sistemin kurulduğu lokasyona adapte edilmiştir.



Şekil 3.1. Düzce iline ait ortalama gelir düzeyine sahip bir konutun yük profilinin günlük değişimi.

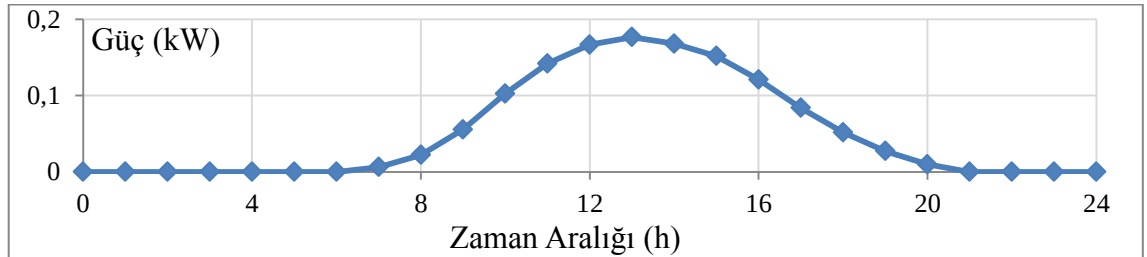
Şekil 3.1’de günlük enerji talebi, saatlik bazda 0,2 ila 3,23 kWh arasında değişim göstermiştir. Böyle bir yük profili için bir günde ihtiyaç duyulan toplam enerji miktarı 24,63 kWh, ortalama enerji miktarı ise 1,03 kWh olarak hesaplanmıştır. Mevcut rüzgâr hızından ve güneş ısıtımından dönüştürülen güç miktarlarının gün içerisindeki değişimi Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te verilmiştir. Şekil 3.2’de 1, 1,5 ve 2 m’lik kanat uzunluklarına sahip RT’lerinin ürettiği güç değerlerinin gün içerisindeki değişimi gösterilmiştir. Standart 1 kW’lık RT güç eğrisi modellemesinde güç katsayısı 0,45 olarak hesaplanmış, kanat uzunluğu 1 m ve en büyük güç değerine 9-10 m/s’lik hızlarda ulaştığı varsayılmıştır. Düzce ili şartlarında ortalama hız bu anma hız değerinden %50 daha az

olduğundan gücü arttırmanın birincil yolu kanat uzunluklarının makul ölçüde arttırılmasıdır. Bu çalışmada tipik bir konutun civarına kolaylıkla monte edilebilecek direk uzunluğu 10 m ve kanat uzunluğu 2 m olan RT seçilmiştir.



Şekil 3.2. Farklı kanat uzunluklarında üretilen gücün değişimi.

Düzce ili şartlarında salt FV sistem veya RT-FV sistemle enerji üretiminde kullanılan mono kristal FV panelin üreteceği gücün günlük değişimi Şekil 3.3'te verilmiştir. Burada düzlemsel panelin alanı 1,6 m² olup verimi %15 olarak alınmıştır. Söz konusu FV panelden üretilen gücün en büyük değeri 0,18 kW olup bu değer günün 13. zaman diliminde meydana gelmektedir.



Şekil 3.3. Düzlemsel alanı 1,6 m² ve verimi %15 olan panelin günlük güç değişimi.

Önerilen birinci kombinasyon, salt FV panellerden, akülerden ve bir adet tam sinüs eviriciden oluşmaktadır. Düzce ilinde tipik bir konutun enerjisini salt FV panellerden karşılamak için ihtiyaç duyulan DJ şebeke bağlantısız sistemde mevcut veriler kullanılarak Denklem (2.6) ile yapılan hesaplamalara göre 19 adet 0,25 kWp FV panel, 3,5 kW tam sinüs şebeke bağlantısız evirici, 4 adet 200 Ah'lık jel aküye gereksinim duyulmaktadır. Bu sistem için toplam maliyetin %25'i kadar ek masraflara gerek duyurulur. Buna göre 20 yıllık bir çalışma ömrü için ilave masraflar eklenerek tek bir panelin, eviricinin, her 4 yılda bir değiştirmek kaydıyla akü ve DJ'ün güncel fiyatı sırasıyla 914,00 ₺, 1.882,84 ₺, 1.188,20 ₺, 7.312,00 ₺'dir.

3 farklı biçimde oluşturulan kombinasyonlar için sistem bileşenleri ve fiyatları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Öngörülen 3 kombinasyonda, rüzgâr ve ısıtım seviyesinin yetersiz olması ve akülerde depolanan enerjinin yeterli olmadığı durumlarda DJ yetersiz enerjiyi karşılamak için kullanılacaktır. Bu şekilde oluşturulan sistem kombinasyonlarında bir yıllık işletme, bakım ve yatırım maliyetini hesaplamak için yıllık %10’luk vade farkı, FV paneller için kWh başına 0,5 Kuruş, RT’leri için 1 kuruşluk bakım masrafı ve 7.312,00 ₺ değerindeki 1.5 kVA’lık DJ hesaba katılmaktadır.

Çizelge 3.1. Sistem bileşenlerin özellikleri ve fiyatları.

Sistem Bileşeni	Özellik	Fiyat (₺)
RT	48 V; 1 kW	6.171,33
Tam Sinüs Evirici	48/220 V; 3,5 kW	1.882,84
Mono Kristal FV Panel	0,25 kW _p	914,00
Derin Döngülü Jel Akü	12 V; 200 Ah	1.188,20
DJ	220 V; 1,5 kVA	7.312,00

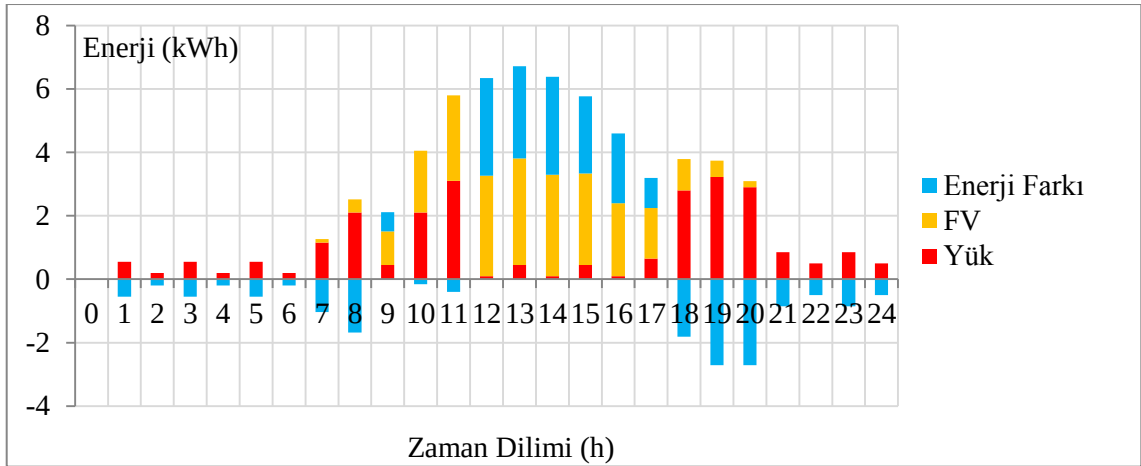
3.2 PLANSIZ YÜK DURUMU

Tipik bir konutta bulunan elektriksel yükler rutin biçimde dağıtılmış ve yıllık bazda kurulum, bakım ve işletme maliyetleri salt FV, salt RT’li ve hibrit RT-FV sistemler için hesaplanmıştır. Bilindiği üzere rüzgâr ve güneş anlık değişebilen yenilebilir enerji kaynakları olduğundan gün içindeki yük dağılımını dakikalık veya saatlik değişimlere uygun şekilde yapmak maliyetleri mevcut duruma göre görece azaltabilir. Bu çalışmada bunu net olarak görebilmek için Çizelge 3.2’de verilen plansız yük dağılımına göre üç sistemin kurulum, bakım ve işletme maliyetlerinin toplamı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

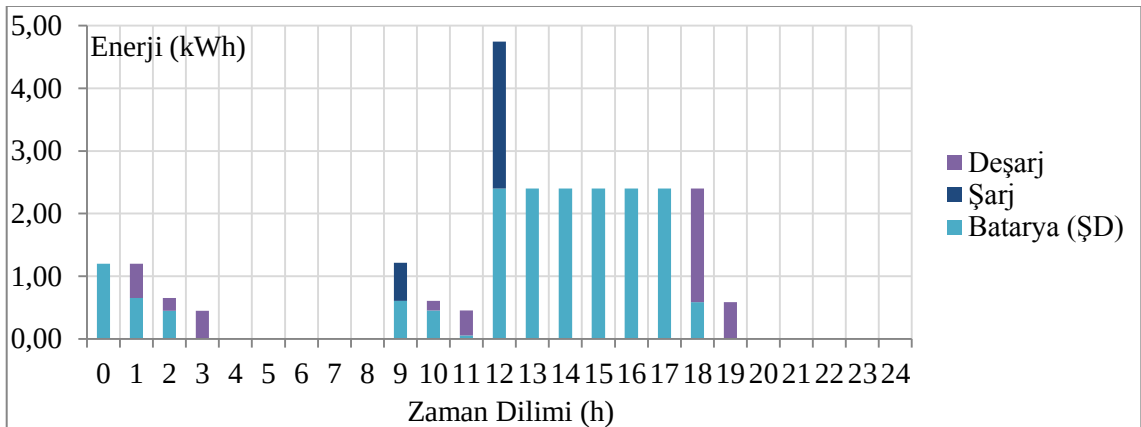
3.2.1 Salt FV Sistem

Bu sistemde 19 adet FV panel, 4 adet jel akü, 1 adet evirici ve 1 adet DJ mevcut olup 5.194,55 ₺’lik yıllık maliyet oluşmaktadır. Şekil 3.4 salt FV sisteminde günlük bazda FV panellerden ürettiği enerjiyi, talep edilen enerjiyi ve fark enerji değişimlerini göstermektedir. Burada üretilen ve talep edilen enerjiler arasındaki fark 3,09 kWh ile 14. saat diliminde, -2,71 kWh ile 19. ve 20. saat diliminde meydana gelmektedir. Pozitif

enerji farkı üretim fazlalığını, negatif enerji farkı ise enerji açığı gösterir. Bu iki değer arasındaki fark Denklem (2.5) ile ifade edilerek batarya sayısının belirlenmesinde kullanılır. Beklendiği üzere FV güç öğlen saatlerinde en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Yâni 11., 12., 13., 14., 15. saat dilimleri, üretilen enerjinin kayda değer büyüklüklere ulaştığı değerlerdir. Şekil 3.5, bu kombinasyonda kullanılan bataryaların şarj ve deşarj durumlarını göstermektedir. 4 aküden oluşan batarya grubu çalışmaya başlamadan önce başlangıçta 1,2 kWh’lik enerji depo edilmiştir. Şekil 3.5’te batarya grubu 1., 2., 3., 10., 11., 18., ve 19. zaman dilimlerinde deşarj olmaktadır. En büyük ve en küçük deşarj değeri 18. ve 10. zaman dilimlerinde meydana gelmekte olup bu değerlerin sırasıyla 0,15 ve 1,81 kWh olduğu görülmektedir. Batarya grubu 9. ve 12. zaman dilimlerinde 0,61 ve 2,35 kWh ile şarj olmakta ve bunun dışında herhangi bir şarj meydana gelmemektedir. Bataryanın mevcut şarj durumuna bakıldığında 3-8 ve 19-24 dilimleri arasında şarj durumunun sıfır olduğu, 12-17 arasında şarjın tam olduğu, yâni 2,4 kWh değerine ulaştığı görülmektedir.



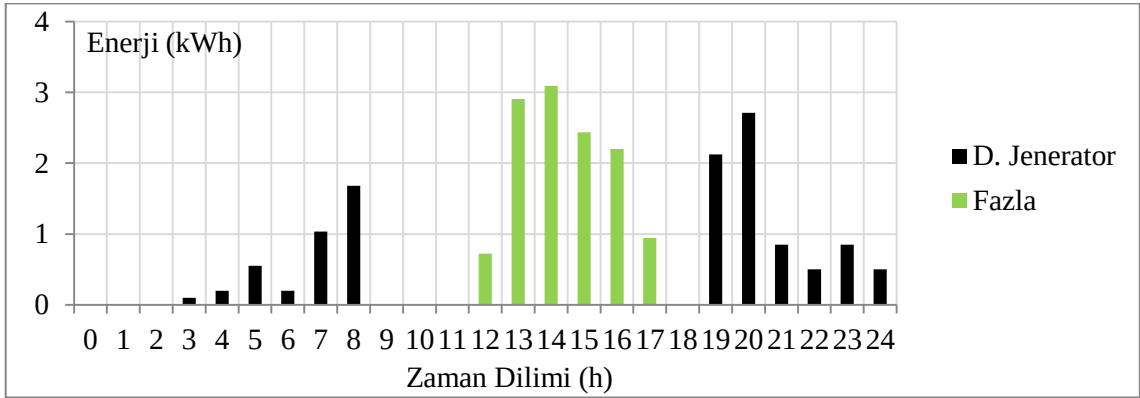
Şekil 3.4. Salt FV sistemde üretilen, talep edilen ve fark enerji miktarlarının günlük değişimi.



Şekil 3.5. Salt FV sistemde batarya şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimi.

Şekil 3.6 salt FV sistemde gereğinden fazla ve az üretilen güçlerin gün içerisindeki değişimini göstermektedir. Bu sistemde yüklerin beslenmesi için yeterli gücün sağlanamaması durumunda eksik kalan gücü karşılamak ve enerjide sürekliliği sağlamak için DJ veya benzinli jeneratör kullanımı genellikle tercih sebebidir.

Şekil 3.6’da görüldüğü üzere 3-8. ve 19-24. zaman dilimlerinde yeterli enerjinin üretilemediği, 12-17. zaman dilimlerinde sistemin fazla enerji ürettiği görülmektedir. DJ 3. saat diliminde 0,1 kWh ile minimum enerjiyi, 20. saat diliminde 2,71 kWh ile maksimum enerjiyi sağlamaktadır. Bu sistem kombinasyonunda DJ’ün toplamda 12 saat diliminde çalıştığı, bununla ilave yakıt maliyeti getirdiği görülmektedir. Bunun yanı sıra, FV sistem 12. saat diliminde 0,72 kWh ile en küçük enerjiyi, 14. saat diliminde 3,09 kWh ile en büyük miktarda fazla enerji üretmektedir.

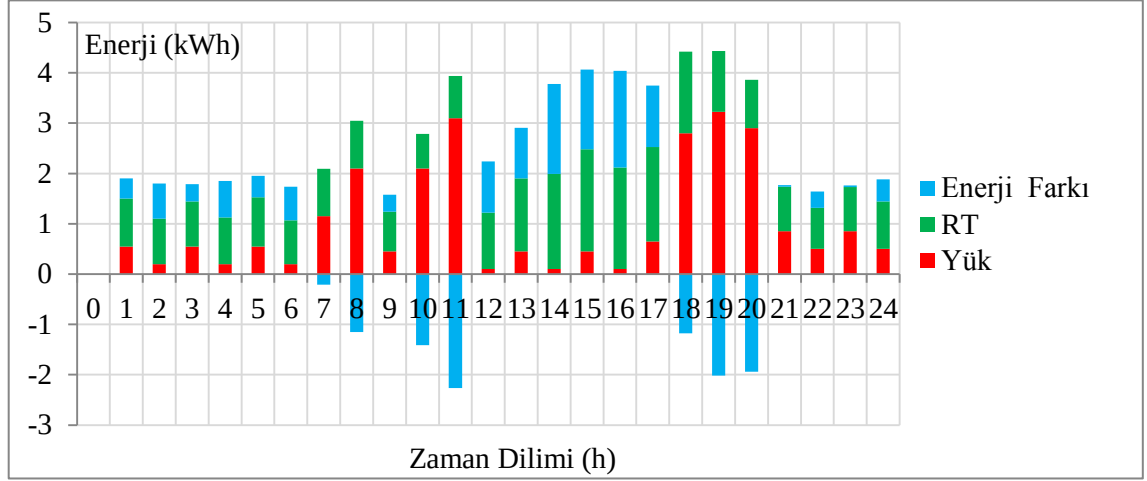


Şekil 3.6. Salt FV sistemde fazla ve DJ tarafından üretilen günlük değişimi.

3.2.2 Salt RT Sistem

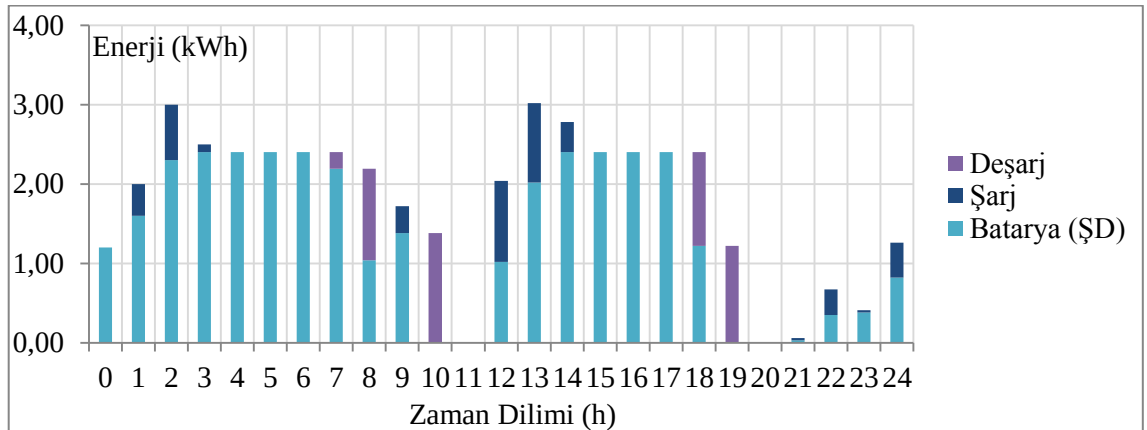
Önerilen bu sistem iki adet 2 m kanat uzunluğundaki 1 kW’lık yatay eksenli RT’lerden, akülerden, tam sinüs evirici ve DJ’den oluşmaktadır. Düzce ilinde tipik konutun enerjisinin tamamını veya büyük bir kısmını salt RT’lerden karşılamak için ihtiyaç duyulan 1,5 kVA’lık DJ’lü şebeke bağlantısız sistemde mevcut veriler kullanılarak Denklem (2.6) ile yapılan hesaplamalara göre 2 adet 1 kW’lık yatay eksenli RT, 3,5 kW tam sinüs şebeke bağlantısız evirici, 3 adet 200 Ah’lık jel aküye gereksinim duyulmaktadır. Bu sistem için toplam maliyetin %25’i kadar ek masraf mevcuttur. Buna göre 20 yıllık bir çalışma ömrü için ilave masraflar eklenerek oluşturulan sistem kombinasyonunda bir yıllık işletme, bakım ve yatırım maliyeti hesaplamak için yıllık % 10’luk vade farkı, kWh başına FV paneller ve RT’leri için sırasıyla 0,5 ve 1 kuruşluk bakım masrafı ve DJ hesaba katıldığında 4.666,66 ₺’lik bir maliyet oluşmaktadır. Şekil 3.7 iki adet 1 kW’lık salt RT’den oluşan sistemde gün boyunca 1 saatlik zaman

dilimlerinde üretilen güç, talep edilen güç ve bunların farkını göstermektedir. Üretilen güç 15. saatlik zaman diliminde 2,03 ile en büyük değerine, 10. saatlik zaman diliminde ise 0,69 kW ile en küçük değerine ulaşmaktadır. Talep edilen gücün 7., 8., 10., 11., 18., 19., ve 20. saatlik zaman dilimlerinde üretilen güç değerlerinden büyük olduğu, bunun dışındaki zaman dilimlerinde ise üretilen güç değerlerinin talep edilen güç değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir.



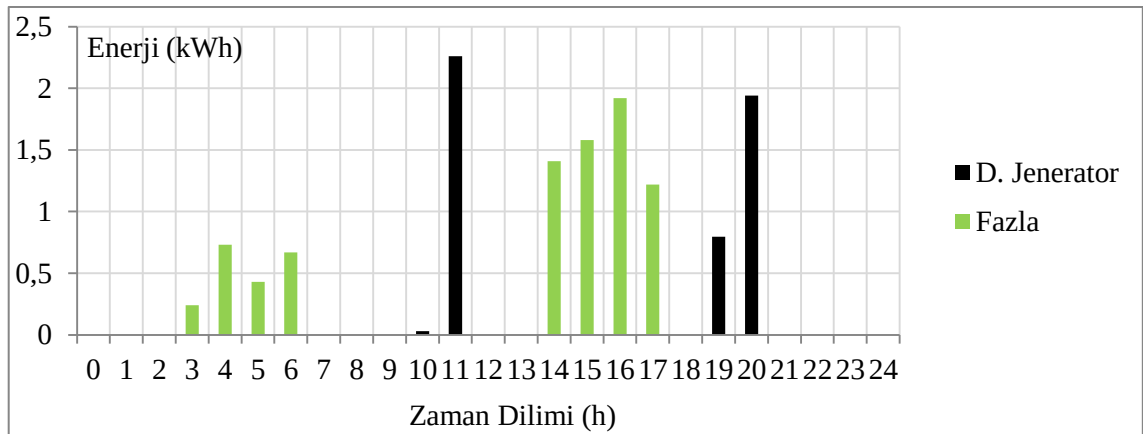
Şekil 3.7. 2 adet 1 kW RT ile üretilen ve talep edilen enerji ile enerji farkının günlük değişimi.

Şekil 3.8, 2 adet 1 kW RT ile beslenen sistemde batarya grubunun şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimini göstermektedir. Şekil 3.8’de 10., 11., 19. ve 20. saat dilimlerinde batarya şarj durumunun sıfır olduğu ve bu zaman dilimlerinde ihtiyaç duyulan gücün DJ ile karşılandığı görülmektedir. Batarya grubunun 1., 2., 3., 9., 12., 13., 14., 21., 22., 23. ve 24. zaman diliminde şarj olduğu ve en büyük şarj edilen enerji değerinin 12. saat diliminde 1,02 kWh olduğu görülmektedir.



Şekil 3.8. 2 adet 1 kW RT ile beslenen sistemde batarya şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimi.

Şekil 3.9 salt RT sistemde güç fazlası ve DJ tarafından üretilen gücün günlük değişimi görülmektedir. Bu sistemde her bir saat diliminde üretilen gücün olmadığı durumlarda talep edilen gücü karşılamak için DJ kullanılmaktadır. Şekil 3.9'dan görüldüğü üzere 10., 11., 19. ve 20. zaman dilimlerinde yeterli enerjinin üretilemediği, bu zaman dilimlerinde ihtiyaç duyulan enerjinin DJ ile karşılandığı görülmektedir. DJ, 10. saat diliminde 0,03 kWh ile minimum enerjiyi, 11. saat diliminde 2,25 kWh ile maksimum enerjiyi sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, bu sistem ile 3-6 ve 14-17 arasındaki saat dilimlerinde fazla enerji üretildiği, 3. saat diliminde 0,24 kWh ile en küçük enerjiyi, 16. saat diliminde 1,92 kWh ile en büyük enerji fazlasının oluştuğu görülmektedir.

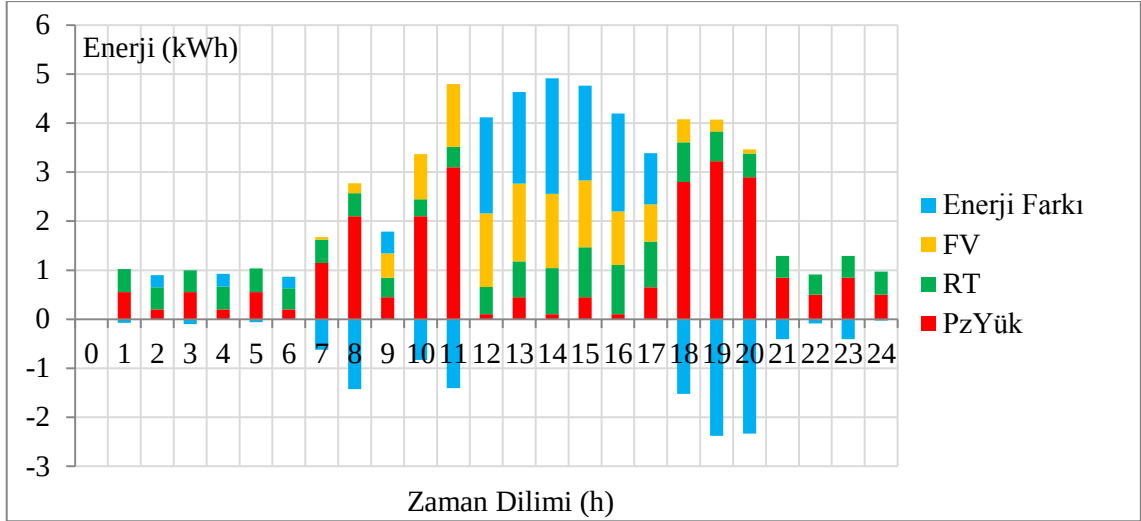


Şekil 3.9. Salt RT sistemde fazladan ve DJ ile üretilen enerjinin günlük değişimi.

3.2.3 RT-FV Sistem

Önerilen üçüncü kombinasyon 2 m kanat uzunluğundaki 1 kW'lık yatay eksenli RT, düzlemsel FV panel, akülerden, tam sinüs evirici ve DJ'den oluşmaktadır. Düzce ilinde tipik konutun enerjisini RT-FV hibrit sistem ile karşılamak için mevcut veriler kullanılarak Denklem (2.6) ile yapılan hesaplamalara göre bir adet 1 kW'lık yatay eksenli RT'leri, dokuz adet FV panel, 3,5 kW tam sinüs şebeke bağlantısız evirici, dört adet 200 Ah'lık jel aküye gereksinim duyulmaktadır. Bu sistem için toplam maliyetin %25'i kadar ek masraflara gerek duyurulur. Buna göre 20 yıllık bir çalışma ömrü için ilave masraflar eklenerek oluşturulan sistem kombinasyonunda bir yıllık işletme, bakım ve yatırım maliyeti, yıllık %10'luk vade farkı, kWh başına FV paneller ve RT'leri için sırasıyla 0,5 ve 1 Kuruşluk bakım masrafı ve DJ hesaba katıldığında 5.084,76 ₺ olmaktadır.

Şekil 3.10, RT-FV hibrit sistemde üretilen, talep edilen ve fark enerji miktarlarının günlük değişimini göstermektedir.



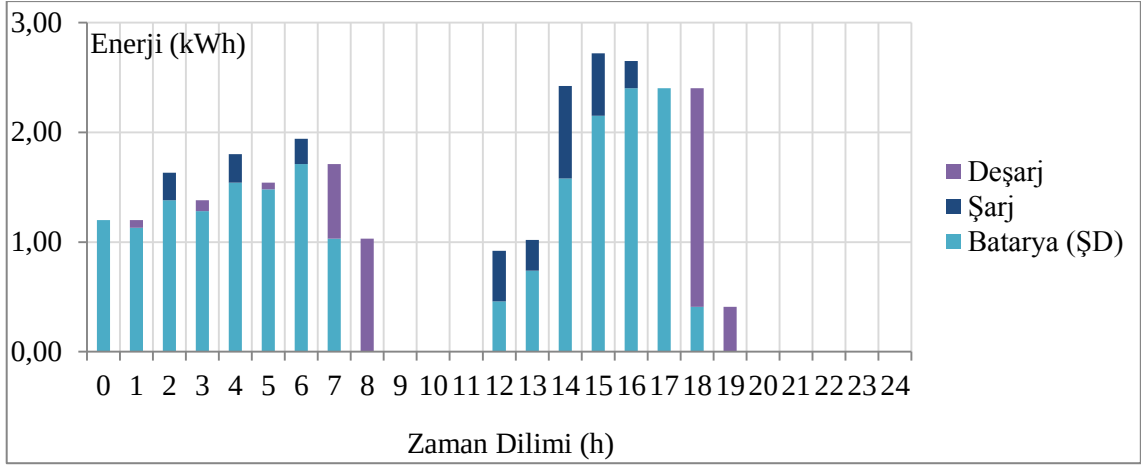
Şekil 3.10. RT-FV hibrit sistemde üretilen, talep edilen ve fark enerji miktarlarının günlük değişimi.

RT ve FV panellerden üretilen güç değerlerinin en küçük ve en büyük değerleri sırasıyla 0,34 ile 1,02 kW ve 0,06 ile 1,59 kW'tır. Üretilen ve tüketilen güçler arasındaki enerji farkının 2,02 ile -1,41 kWh olduğu tespit edilmiştir. Enerji farkının negatif olduğu saat dilimleri 1., 3., 5., 7., 8., 10., 11., 18., 19., 20., 21., 22., 23. ve 24. olarak belirlenmiştir. Bunun dışındaki zaman dilimlerinde ise enerji farkı pozitifdir.

Bu sistemin diğer iki sisteme göre en dezavantajlı durumu enerji farkının daha fazla zaman diliminde negatif olmasıdır. Bu durum DJ'nin daha çok kullanıldığı ve yakıt giderinin artmasıyla işletme maliyetinin büyümesidir.

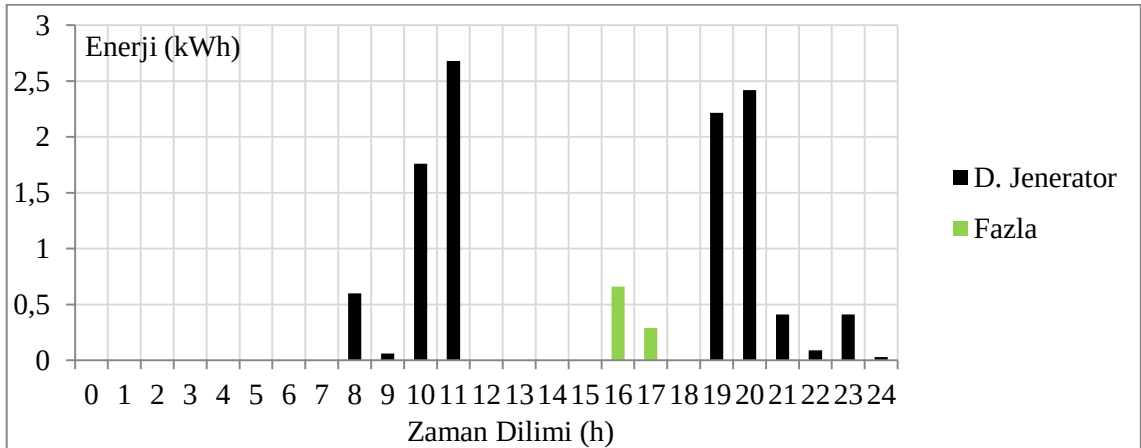
Şekil 3.10, RT-FV hibrit sistemde üretilen ve talep edilen güçleri ve bunlar arasındaki farkın günlük değişimini göstermektedir.

Şekil 3.11, RT-FV hibrit sistemde batarya grubunun şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimini göstermektedir. Şekil 3.11'den görüldüğü üzere RT-FV hibrit sistemde 8-11. ve 19-24. saat dilimlerinde batarya şarj durumunun sıfır olduğu görülmektedir. Bu zaman dilimlerinde depo edilen enerji miktarı olmadığından ihtiyaç duyulan enerji DJ'den karşılanmaktadır. Batarya grubu 2., 4., 6., 12., 13., 14., 15. ve 16. zaman dilimlerinde şarj olduğu ve en büyük şarj edilen enerji değerinin 14. dilimdeki 0,84 kWh'lik olduğu görülmektedir. Benzer şekilde batarya grubundan deşarj edilen enerji 1., 3., 5., 7., 8., 18. ve 19. zaman dilimlerinde meydana gelmiş olup, en büyük deşarj edilen enerji miktarının 18. dilimdeki 1,99 kWh olduğu görülmektedir.



Şekil 3.11. RT-FV hibrit sistemde batarya şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimi.

RT-FV hibrit sistemde ihtiyaç fazlası ve DJ tarafından üretilen enerjinin günlük değişimi Şekil 3.12’de görülmektedir. DJ ihtiyaç duyulan zaman diliminde talep edilen gücü tamamıyla karşılamak için devreye girer ve gerekli enerjiyi üretir. Şekil 3.12’den görüldüğü üzere 8., 9., 10., 11., 19., 20., 21., 22., 23., ve 24. zaman dilimlerinde yeterli enerjinin üretilemediği, bu zaman dilimlerinde ihtiyaç duyulan enerji DJ tarafından karşılanmaktadır. DJ 24. saat diliminde 0,03 kWh ile minimum enerjiyi 11. saat diliminde 2,68 kWh ile maksimum enerjiyi sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, bu sistem ile 16. ve 17. saat dilimlerinde fazla enerji üretilmektedir. 17. saat diliminde 0,29 kWh ile en küçük, 16. saat diliminde 0,66 kWh ile en büyük enerji miktarı üretilmektedir.



Şekil 3.12. RT-FV hibrit sistemde fazla ve DJ tarafından üretilen günlük değişimi.

Çizelge 3.2. Plansız yük dağılımı.

Cihaz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Bulaşık Makinası																		2,10	1,05					
Çamaşır Makinası																			1,13					
Ütü								1,80																
Fırın											0,85													
Buzdolabı	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20	
Tost Makinası							0,60																	
Kurutma Makinası																				2,20				
Televizyon								0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Bilgisayar																	0,20	0,20	0,20	0,20				
Kombi Motoru	0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15	
Elektrikli Süpürge										2,00														
Mini Fırın											0,70													
Su Isıtıcısı											1,10													
İç Aydınlatma							0,20	0,20										0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Dış Aydınlatma	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20												0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

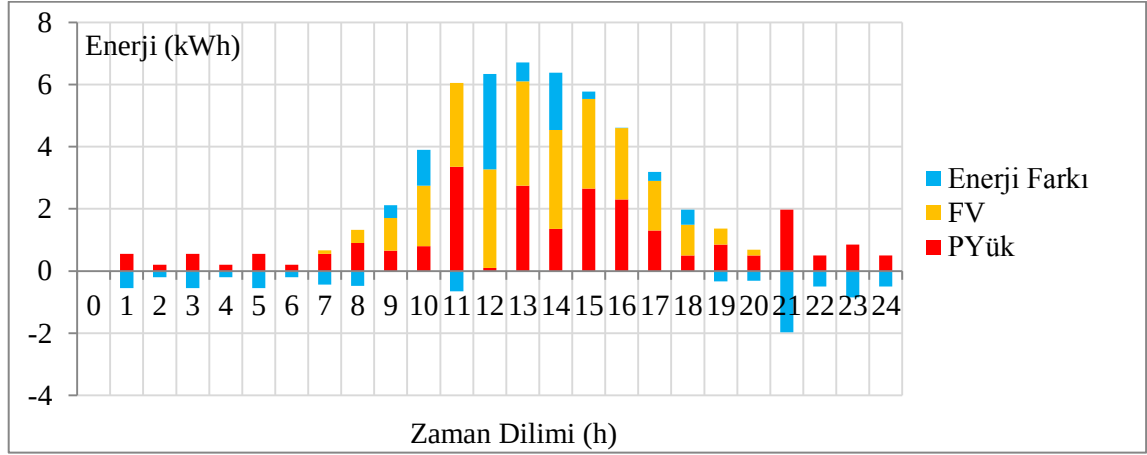
3.3 PLANLI YÜK DURUMU

Yukarıda verilen sonuçlarda tipik bir konut içerisinde bulunan elektriksel yükler rutin biçimde dağıtılmış ve yıllık bazda kurulum, bakım ve işletme maliyetleri salt FV, salt RT ve hibrit RT-FV sistemler için hesaplanmıştır. Bilindiği üzere rüzgâr ve güneş anlık değişebilen yenilebilir enerji kaynakları olduğundan gün içindeki yük dağılımını dakikalık veya saatlik değişimlere uygun şekilde yapmak maliyetleri mevcut duruma göre görece azaltabilir. Zira buradaki temel kural gücün daha fazla üretildiği saatlerde mümkün olduğunca daha fazla yükün beslenmesini sağlamaktır. Bu genel olarak üretim ve talep yönetimi ile gerçekleştirilir. Bu çalışmada saatlik dilimlerdeki güç dengesi temelde altı stratejiden oluşan talep yönetimi ile yapılmıştır. Yük kaydırma stratejisi bu stratejilerin içinde en çok kullanılan strateji olarak bilinir ve bu çalışmada yüklerin en uygun bir şekilde dağıtılması için tercih edilmiştir. Yüklerin en uygun bir şekilde dağıtılması GA yöntemi esasına dayalı kombinatoriyal optimizasyon ile gerçekleştirilebilir. Çizelge 3.3, 3.4 ve 3.5'te en uygun yük dağılımı bulunarak yukarıda bahsi geçen üç sistemin kurulum, bakım ve işletme maliyetlerinin toplamı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

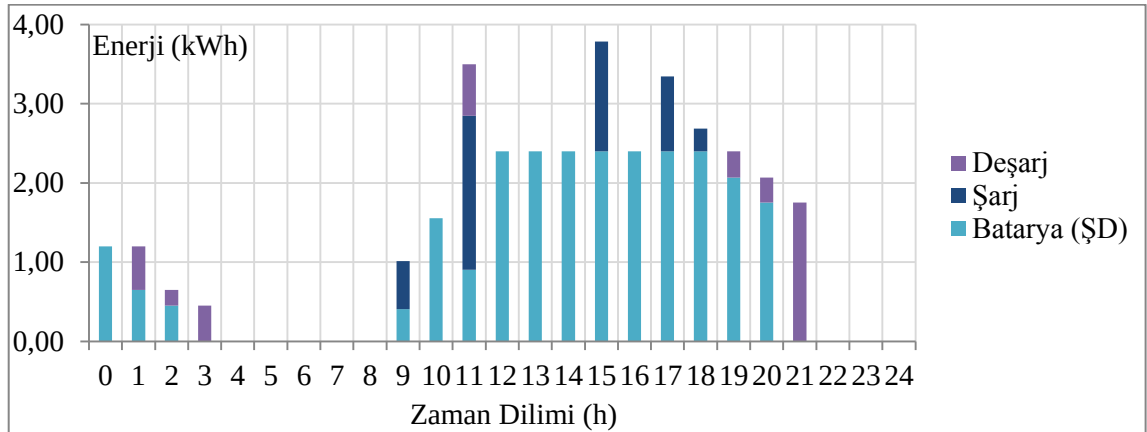
3.3.1 Salt FV Sistem

Yukarıda tanımlanan salt FV sistemde GA ile en uygun biçimde dağıtılmış yük durumuna göre üretilen, talep edilen ve fark enerji miktarlarının günlük değişimini Şekil 3.13'te verilmiştir. Şekil 3.13'te görüldüğü üzere gün boyunca yük dağılımı rutin yük durumuna göre daha uygun şekilde dağıtılmıştır. Öyle ki; bu sistemde rutin yük durumunda güç farkı gün içinde 17 defa negatif olurken planlı yük durumunda ise aynı büyüklük 15 defa negatif değer almaktadır. Ayrıca uygun dağıtılmış yük durumunda oluşan güç farkının genlik değerinin daha az olduğu görülmektedir. Şekil 3.14, batarya grubunun şarj durumu ve şarj-deşarj miktarlarını göstermektedir. Batarya grubunun şarj durumuna bakıldığında, planlanmış yük durumunda bataryanın daha fazla şarj olduğu doluluk oranının rutin dağıtılmış yük durumuna göre daha iyi olduğu görülmektedir. Planlı yük durumunda daha fazla sayıda şarj ve daha fazla miktardadeşarj olduğu görülmektedir. Şekil 3.15, bu sistemde üretilen ve DJ'den talep edilen güçlerin gün içerisindeki değişimini göstermektedir. Şekil 3.15'te fazla gücün enerji miktarına ve DJ kullanımına bakıldığında, planlı yük durumunda daha az jeneratörün kullanıldığı

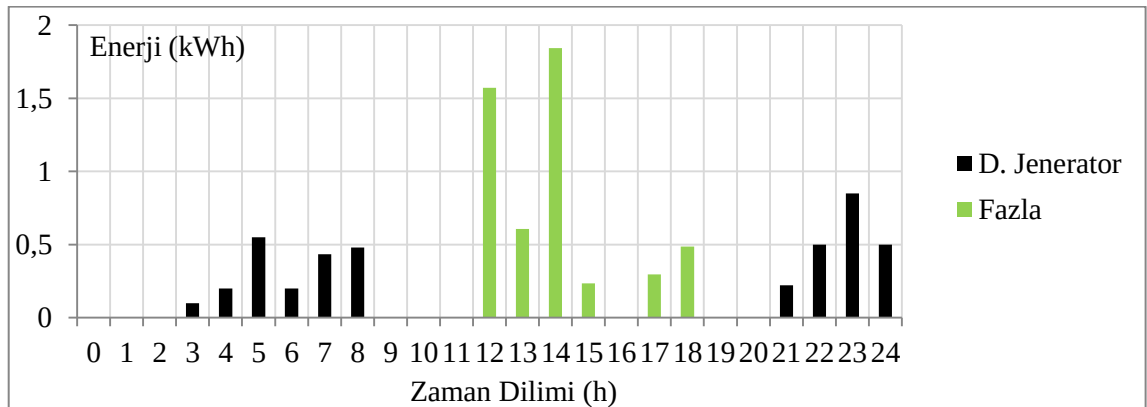
görülmektedir. Buna ek olarak enerji fazlasının daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum planlı yük durumunda batarya yönetiminde görece bir iyileşmenin olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.13. Salt FV sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre üretilen, talep edilen ve fark enerji miktarlarının günlük değişimi.



Şekil 3.14. Salt FV sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre batarya şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimi.

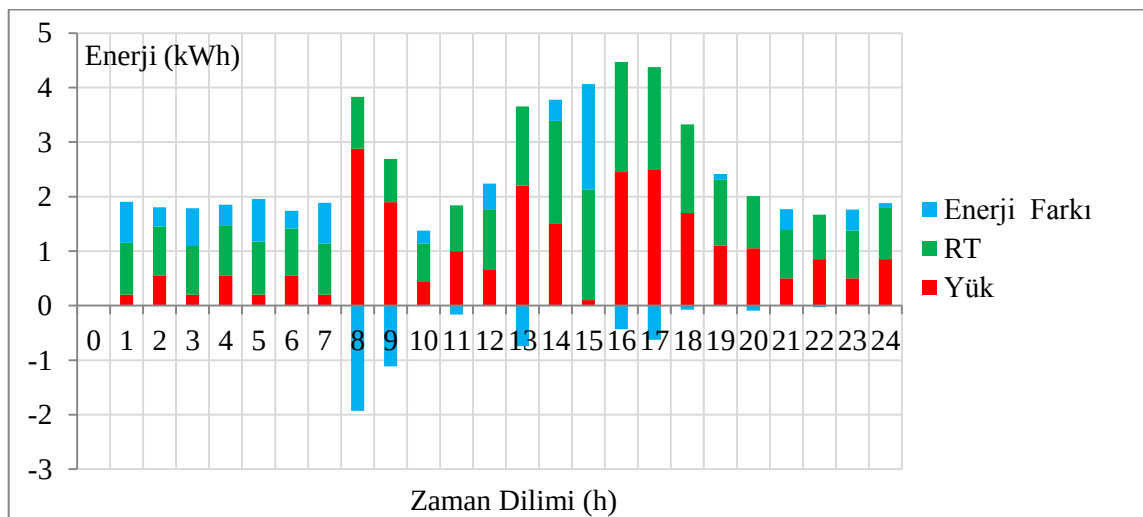


Şekil 3.15. Salt FV sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre fazla ve DJ tarafından üretilen günlük değişimi.

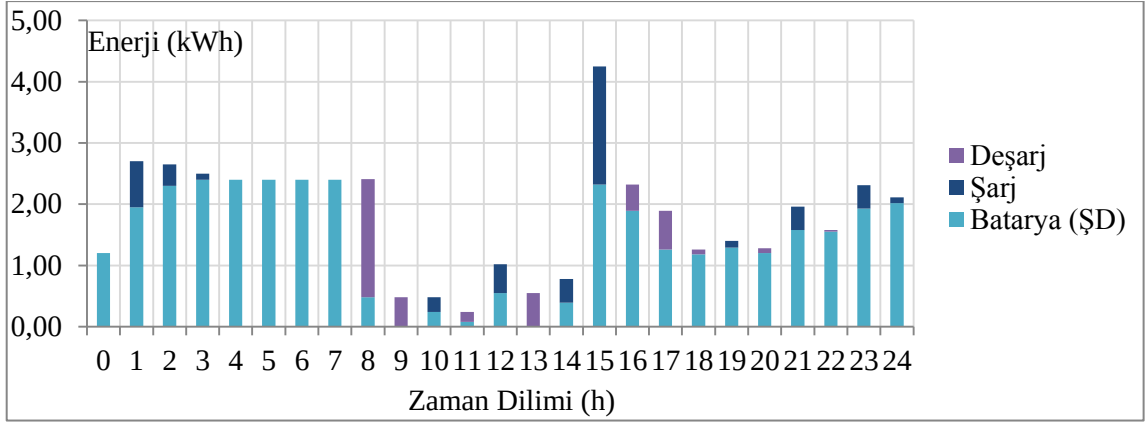
3.3.2 Salt RT Sistem

Benzer şekilde yukarıda tanımlanan salt RT sistem için GA ile en uygun biçimde dağıtılmış yük durumuna göre üretilen, talep edilen ve fark enerji miktarlarının günlük değişimini Şekil 3.16’da verilmiştir. Şekil 3.16’dan görüldüğü üzere gün içerisinde meydana gelen negatif enerji farkının aynı sistemin plansız yük durumuna göre daha az olduğu görülmektedir. Burada yapılan iyileştirmenin daha çok negatif enerji farkı miktarının daha da azaltılması şeklinde olduğu söylenebilir. Bu durum planlı yük durumunda güç dengesinin mevcut şartlar çerçevesinde görece iyileştirildiğinin bir göstergesidir.

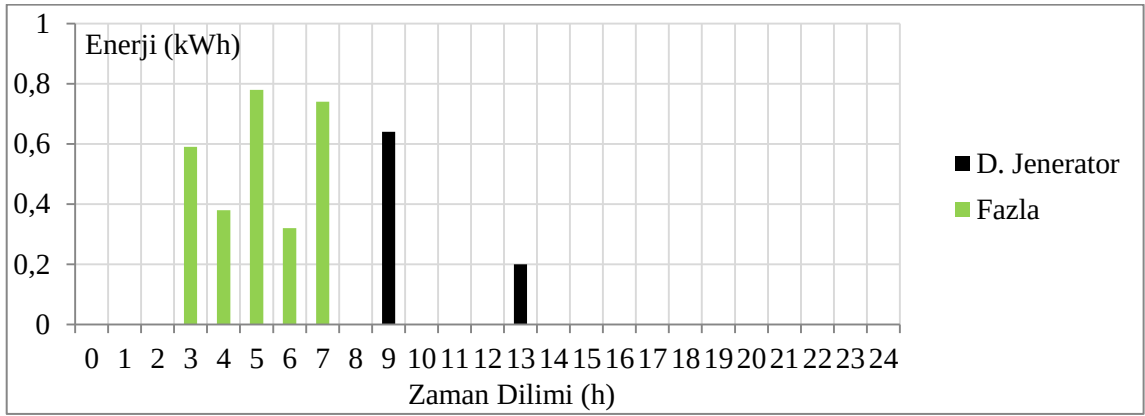
Salt RT sistemde Şekil 3.17’de verilen batarya şarj durumuna bakıldığında şarj ve deşarj sayılarının planlı yük durumunda daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca batarya doluluk oranının beklendiği gibi daha büyük ve dengeli olduğu tespit edilmiştir. En büyük şarj ve deşarj miktarı planlı yük durumunda meydana gelmiş olup her iki değer 1,93 kWh olarak belirlenmiştir. Aynı sistemde Şekil 3.18’de gösterilen fazla üretilen enerji miktarına ve jeneratör kullanımına bakıldığında planlı yük durumunda daha az jeneratör kullanıldığı ve daha az fazla enerji üretildiği görülmektedir. Planlı yük durumunda iki zaman diliminde jeneratör kullanıldığı ve bu kullanımda 0,64 ile 0,20 kWh’lık enerji üretilmektedir. Oysa plansız yük durumunda 3 defa jeneratör kullanıldığı, 2,26, 1,94 ve 0,80 kWh’lık enerji üretildiği görülmektedir. Enerji fazlası açısından duruma bakıldığında planlı yük durumunda en fazla üretilen enerji miktarı 0,78 kWh iken plansız yük durumunda bu miktar 1,92 kWh olarak bulunmuştur.



Şekil 3.16. 2 adet 1 kW RT sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre üretilen ve talep edilen enerji ile enerji farkının günlük değişimi.



Şekil 3.17. 2 adet 1 kW RT sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre batarya şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimi.

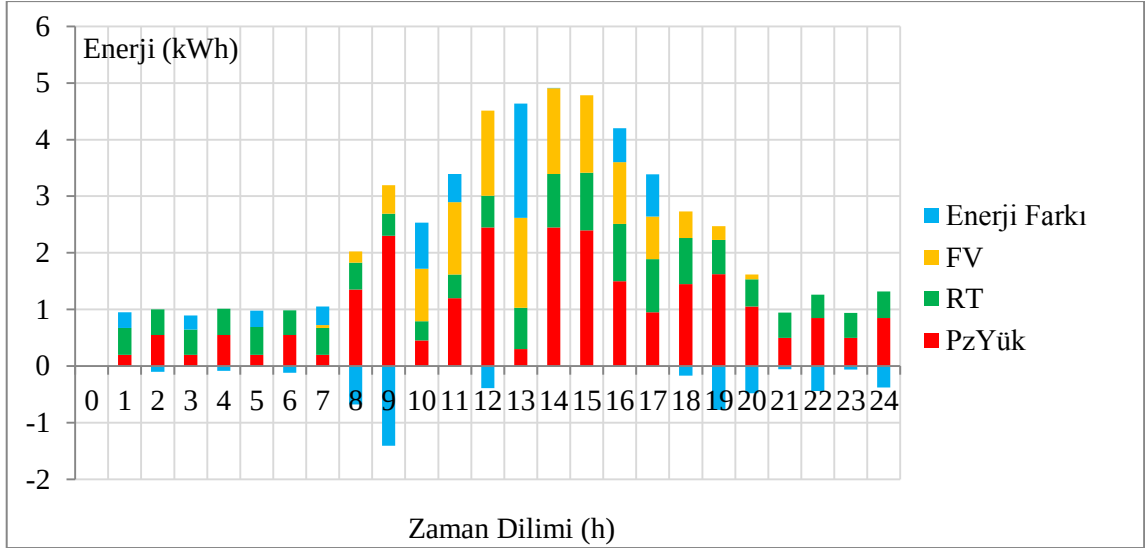


Şekil 3.18. 2 adet 1 kW RT sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre fazla ve DJ tarafından üretilen enerjinin günlük değişimi.

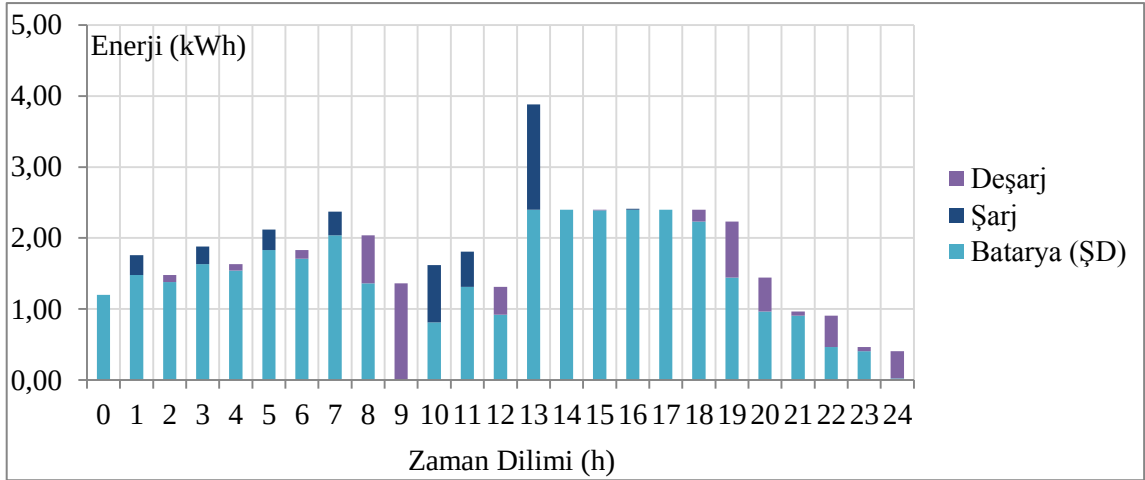
3.3.3 RT-FV Sistem

RT-FV hibrit sistemde planlı ve plansız yük durumuna karşılaştırmalı olarak bakıldığında planlı yük durumunda negatif enerji farkının daha az sayıda ve miktarda olduğu Şekil 3.19’da görülmektedir.

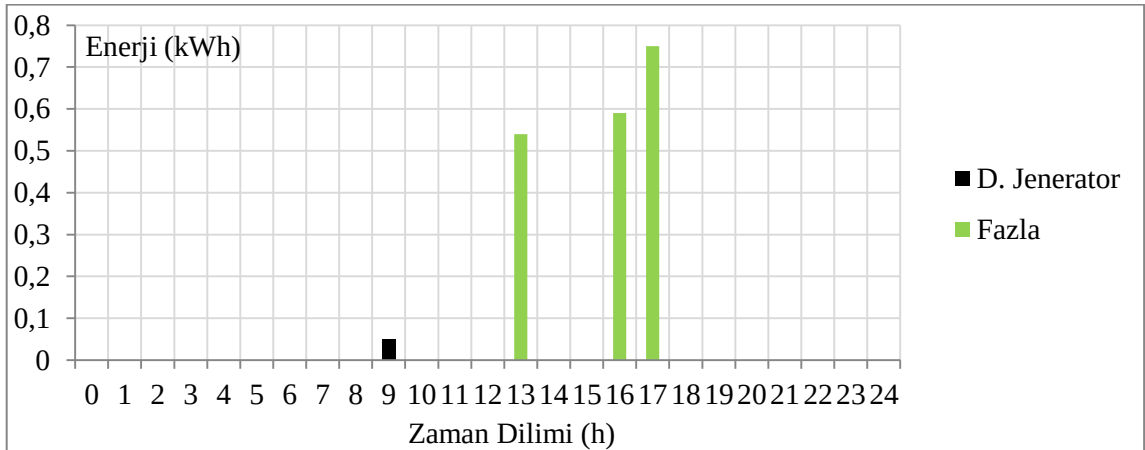
Örneğin, plansız yük durumunda negatif enerji farkı -2,38 kWh değerine ulaşırken, planlı yük durumunda bu değer -1,41 kWh olmaktadır. Şekil 3.20’de gösterilen batarya şarj durumuna bakıldığında, planlı yük durumunda batarya doluluk oranının plansız yük durumuna göre daha dengeli bir değişim gösterdiği görülmektedir. Misal olarak, plansız yük durumunda batarya 10. saat diliminde şarj durumu sıfır iken, planlı yük durumunda 9. ve 24. saat dilimlerinde şarj durumu sıfır olmaktadır. Bunun yanında planlı yük durumunda ortalama deşarj miktarı daha düşük değerlerdedir. Şekil 3.21’den planlı yük durumunda sadece bir defa jeneratör kullanıldığı ve toplam 3 saat diliminde fazla güç üretildiği görülmüştür.



Şekil 3.19. 9 adet FV panel ve 1 kW RT sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre üretilen ve talep edilen enerji ile enerji farkının günlük değişimi.



Şekil 3.20. 9 adet FV panel ve 1 kW RT sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre batarya şarj ve deşarj durumlarının günlük değişimi.



Şekil 3.21. 9 adet FV panel ve 1 kW RT sistemde en uygun şekilde dağıtılmış yük durumuna göre fazladan ve DJ ile üretilen enerjinin günlük değişimi.

Çizelge 3.3. Salt FV sistem ile planlı yük dağılımı.

Cihaz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Bulaşık Makinası													2,10	1,05											
Çamaşır Makinası																					1,13				
Ütü											1,80														
Fırın																	0,85								
Buzdolabı	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		
Tost Makinası								0,60																	
Kurutma Makinası																2,20									
Televizyon								0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Bilgisayar									0,20				0,20	0,20	0,20										
Kombi Motoru	0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		
Elektrikli Süpürge															2,00										
Mini Fırın										0,70															
Su Isıtıcısı											1,10														
İç Aydınlatma							0,20	0,20										0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Dış Aydınlatma	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20												0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Çizelge 3.4. Salt RT sistem ile planlı yük dağılımı.

Cihaz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Bulaşık Makinası													2,10	1,05											
Çamaşır Makinası								1,13																	
Ütü									1,80																
Fırın																		0,85							
Buzdolabı		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20	
Tost Makinası																			0,60						
Kurutma Makinası																	2,20								
Televizyon								0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Bilgisayar											0,20	0,20					0,20			0,20					
Kombi Motoru		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15	
Elektrikli Süpürge																2,00									
Mini Fırın											0,70														
Su Isıtıcısı								1,10																	
İç Aydınlatma							0,20	0,20										0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Dış Aydınlatma	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20												0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

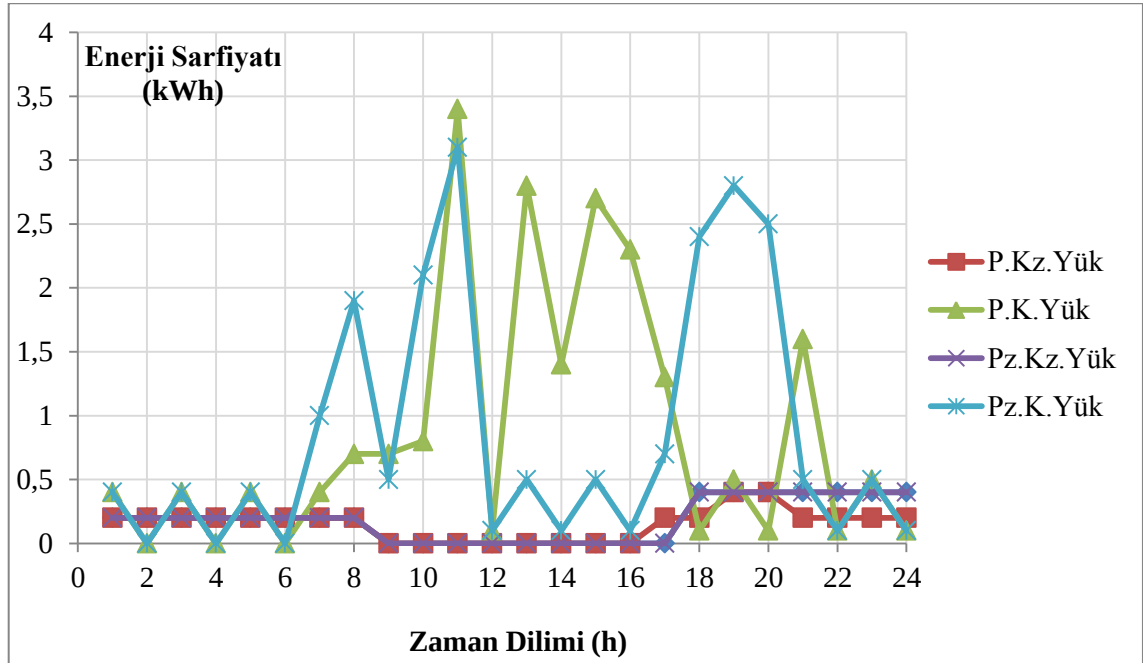
Çizelge 3.5. RT-FV sistem ile planlı yük dağılımı.

Cihaz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Bulaşık Makinası												2,10	1,05												
Çamaşır Makinası																1,13									
Ütü											1,80														
Fırın																		0,85							
Buzdolabı	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20
Tost Makinası								0,60																	
Kurutma Makinası														2,20											
Televizyon								0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Bilgisayar									0,20				0,20	0,20	0,20										
Kombi Motoru	0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15
Elektrikli Süpürge																	2,00								
Mini Fırın										0,70															
Su Isıtıcısı								1,10																	
İç Aydınlatma							0,20	0,20										0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Dış Aydınlatma	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20												0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

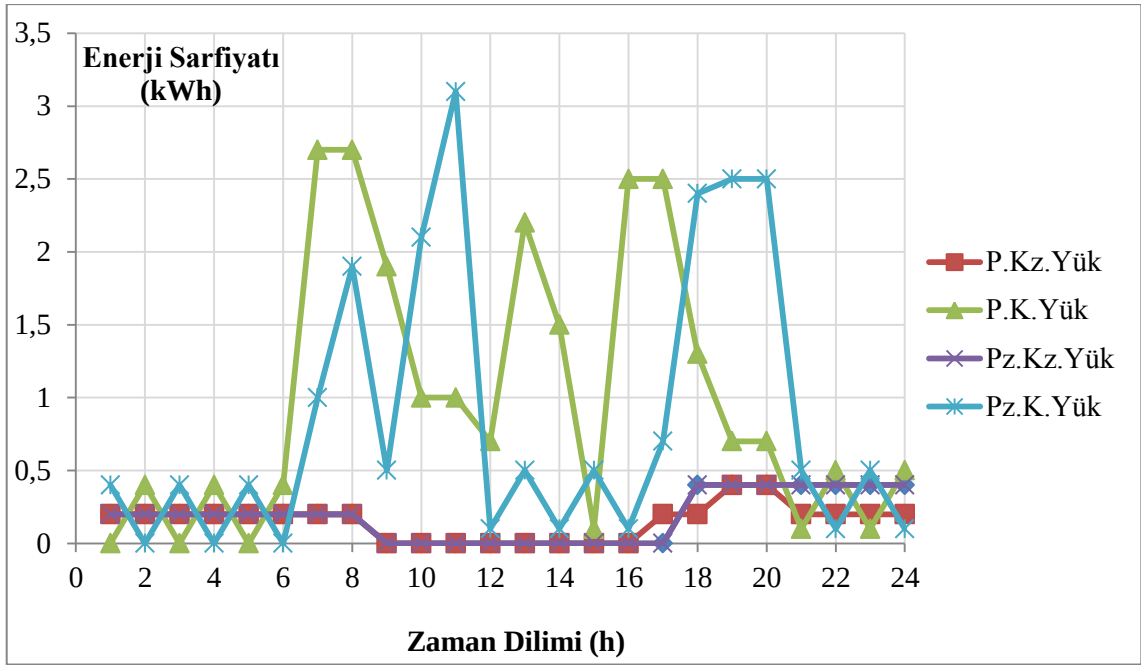
3.4 KONTROLLÜ VE KONTROLSÜZ YÜK DURUMU

Tipik bir konut içerisinde bulunan elektriksel yüklerin bazıları kontrol edilebilir yükler olup, en uygun yük dağılımını bulmak için kullanılırlar. Ancak bu yüklerden bazılarının çalışma saatleri sabit olduğundan bunların kontrol edilebilmesi mümkün değildir. Örneğin, iç ve dış aydınlatma, TV ve bilgisayar bu tür sistemlerin bazı uygulamalarında optimal yük dağılımını bulmak için kontrollü yük olarak ele alınmazlar. Bu kısımda planlı ve plansız yük dağılımında kontrollü ve kontrolsüz yüklerin gün içerisindeki enerji sarfiyatındaki değişimleri üzerinde durulmuştur. Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te salt FV, salt RT ve hibrit RT-FV sistemlerde kontrollü ve kontrolsüz yüklerin gün içerisindeki değişimi görülmektedir.

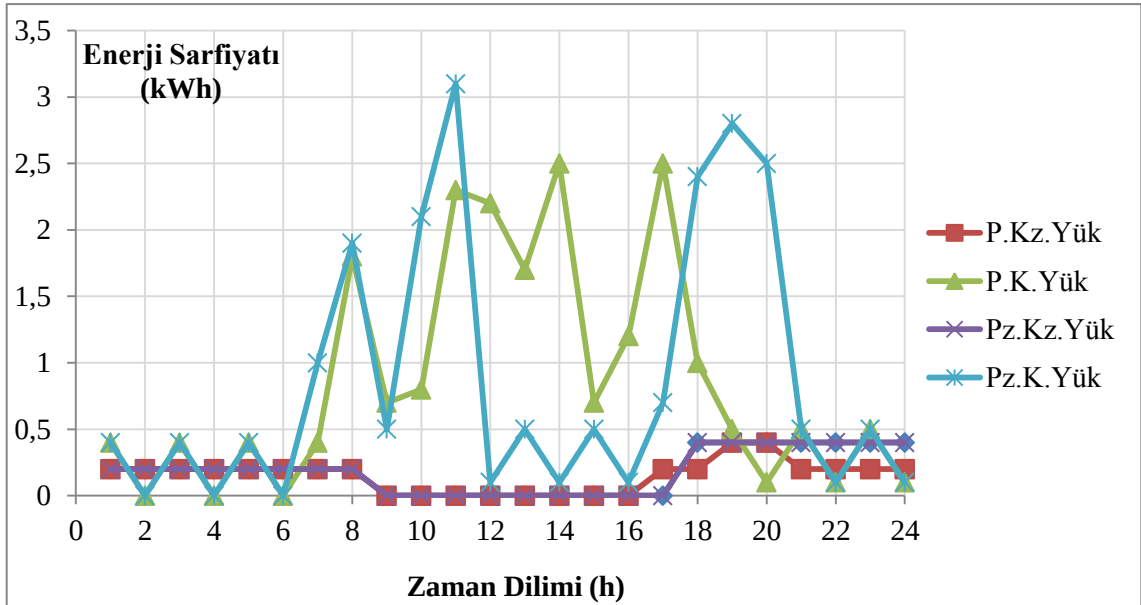
Şekil 3.22'de planlı ve plansız kontrollü yük değişimlerine bakıldığında ikisi arasında farklı bir değişimin olduğu görülmektedir. Örneğin, plansız kontrollü yüklerin 8. ve 13. saat dilimlerinde sırası ile 1,9 ve 0,5 kWh olurken planlı yük durumunda aynı saat dilimlerinde sırası ile 0,7 ve 2,8 kWh olmuştur. Benzer şekilde aynı durumlar Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te görülmektedir.



Şekil 3.22. Salt FV sistemde planlı-plansız yük dağılımında kontrollü ve kontrolsüz yüklerin enerji sarfiyatının günlük değişimi.



Şekil 3.23. Salt RT sistemde planlı-plansız yük dağılımında kontrollü ve kontrolsüz yüklerin enerji sarfiyatının günlük değişimi.

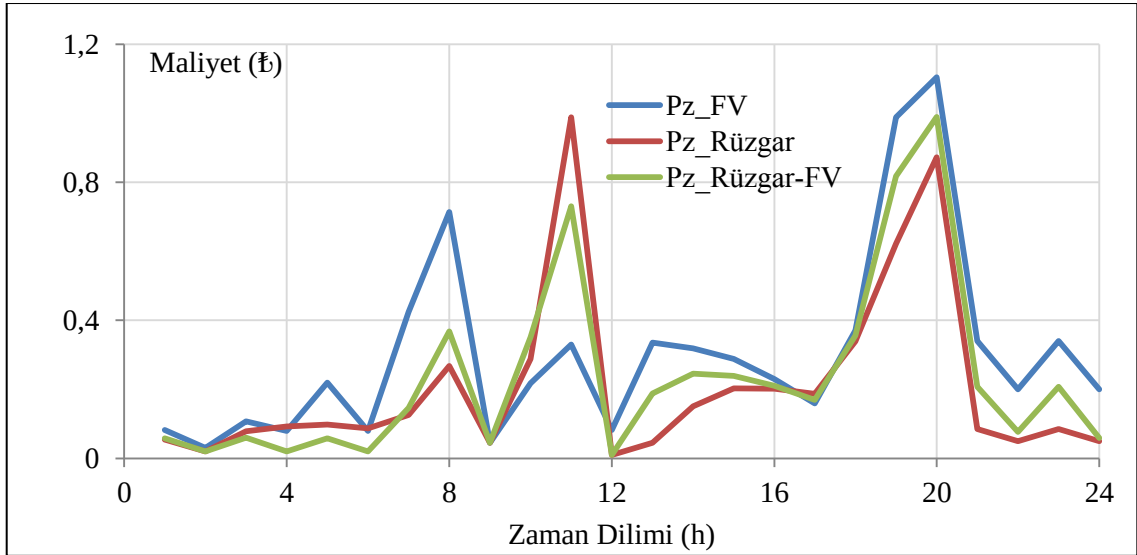


Şekil 3.24. RT-FV sistemde planlı-plansız yük dağılımında kontrollü ve kontrolsüz yüklerin enerji sarfiyatının günlük değişimi.

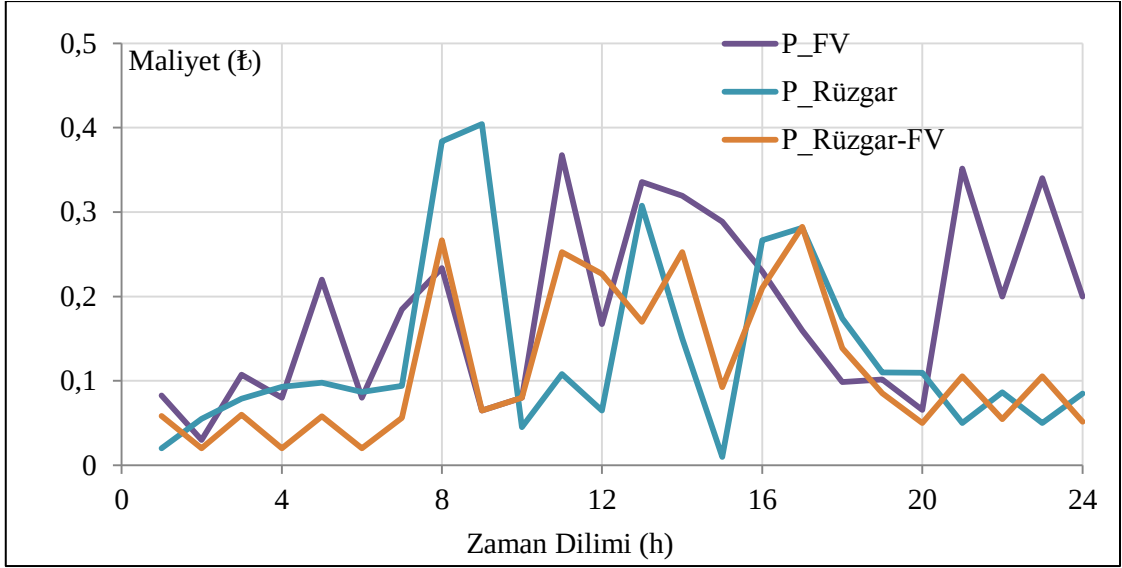
3.5 GÜNLÜK MALİYET ANALİZİ

Planlı ve plansız yüklerin her bir sistem için günlük maliyetleri bu sistemlerin tercih edilmesinde en önemli etkenlerin başında gelir. Sistemin başarılı bir şekilde sürdürülebilirliği özellikle bakım ve işletme maliyetlerinin düşük olmasına bağlıdır. Bu

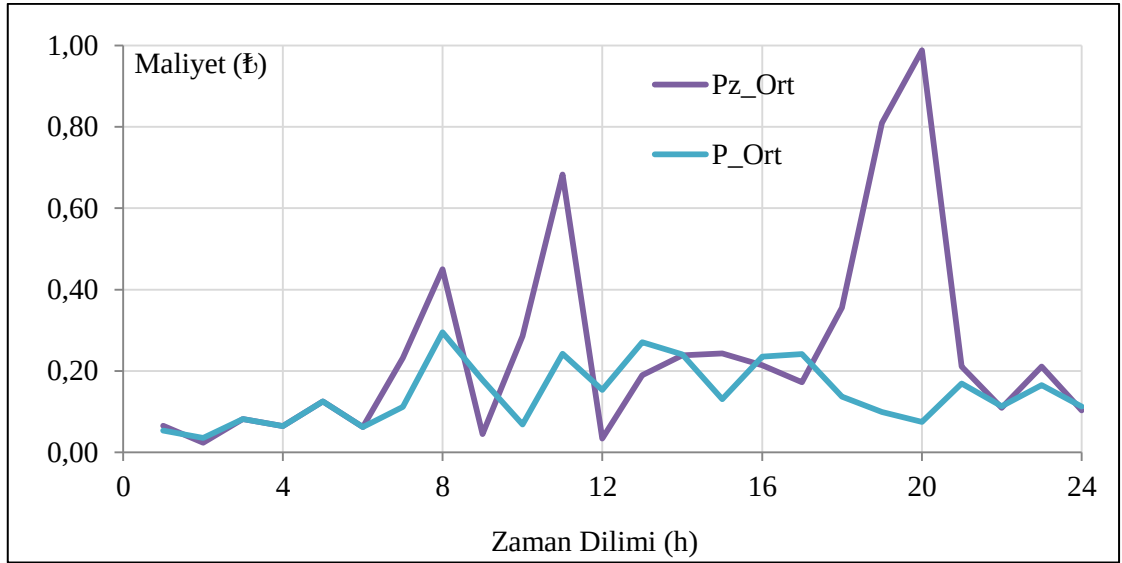
tür sistemlerin en az 20 yıllık ömürleri olduğu düşünülürse bu maliyetlerin oldukça dikkate alınması gereken husus olduğunun bilinmesi gerekir. Bu bakımdan her bir sistem için günlük maliyet değişimlerine bakılmış ve grafikleri elde edilmiştir. Buna göre Şekil 3.25'te her üç sistemin plansız yük durumundaki günlük maliyet değişimleri gösterilmiştir. Şekil 3.25'ten görüldüğü üzere maliyet günün bazı zaman dilimlerinde en düşük değerine ulaşırken bazı zaman dilimlerinde ise en yüksek değerine ulaşmaktadır. Öyle ki, 12. saat diliminde RT-FV sistemde maliyet 0,01 ₺ iken 20. saat diliminde FV sistemde maliyet 1,10 ₺ değerine ulaşmaktadır. Şekil 3.26'da gösterilen planlı yük değişiminin aynı saat dilimlerine aynı sistemler için bakıldığında maliyet değerlerinin sırası ile 4. ve 20. saat dilimlerine 0,02 ₺ ve 0,06 ₺ olduğu görülmektedir. Burada 4. zaman diliminde bir artış görülürken 20. zaman diliminde çok büyük bir azalma mevcuttur. Şekil 3.27'de planlı ve plansız yüklerin günlük maliyet değişimine üç sistemin ortalaması alınarak bakıldığında plansız ve planlı yükteki maliyet değişiminin sırasıyla 0,02 ilâ 0,99 ₺ ve 0,02 ilâ 0,29 ₺ arasında olduğu görülmektedir. Buradan bu çalışma açısından bakıldığında planlı yük durumunda maliyetin kayda değer ölçüde azaldığı yâni %33'lük bir azalmanın gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3.25. Mevcut sistemlerde plansız yük dağılımına göre günlük maliyet değişimi.



Şekil 3.26. Mevcut sistemlerde planlı yük dağılımına göre günlük maliyet değişimi.

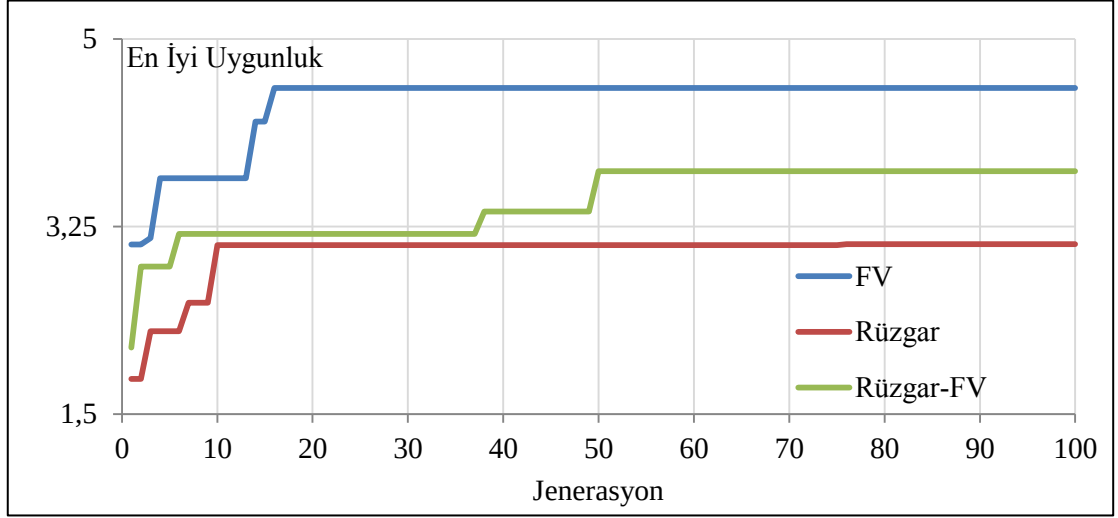


Şekil 3.27. Mevcut sistemlerde ortalama planlı ve plansız yük dağılımına göre günlük maliyet değişimi.

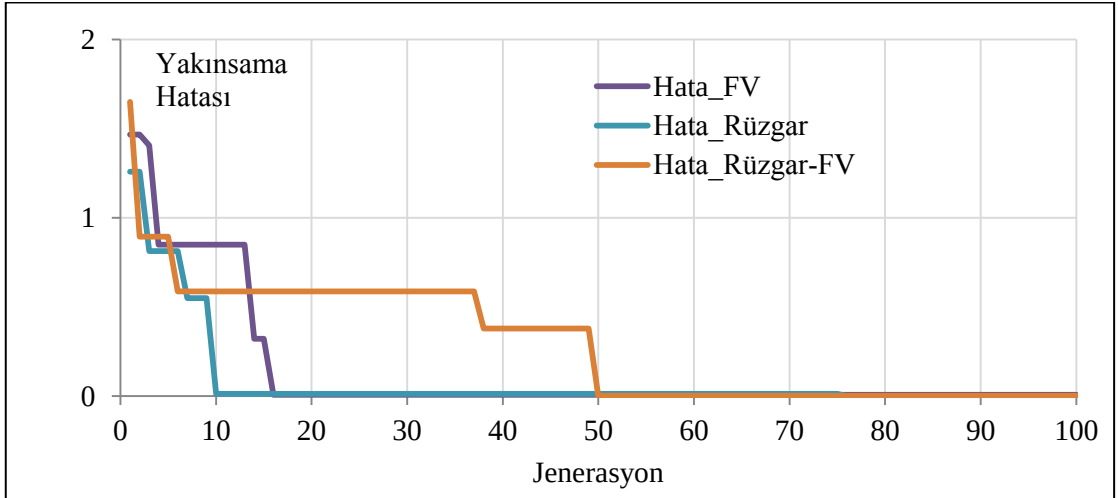
3.6 GENETİK ALGORİTMALARIN PERFORMANS ANALİZİ

Bu çalışmada kullanılan kombinatoriyal optimizasyon genetik algoritma ile gerçekleştirilmiş, elde edilen performans sonuçları Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da gösterilmiştir. Şekil 3.28'den görüldüğü üzere her bir jenerasyonda elde edilen en iyi uygunluk değeri her üç sistem için elde edilmiş, 10. jenerasyona kadar uygunluk değerlerinde kayda değer bir iyileşme, 10. jenerasyondan 50. jenerasyona kadar sınırlı bir iyileşme sağlanmıştır. 50. jenerasyondan sonra her üç sistem için en iyi uygunluk değerinde herhangi bir iyileşme sağlanmamıştır. Benzer şekilde yakınsama hatasına

bakıldığında her üç sistem için bu hatanın 50. jenerasyondan sonra sıfıra çok yakın bir değer aldığı Şekil 3.29'dan kolaylıkla görülebilir.



Şekil 3.28. Planlı yük dağılımını elde etmek için en büyük uygunluk değerinin jenerasyon ile değişimi.

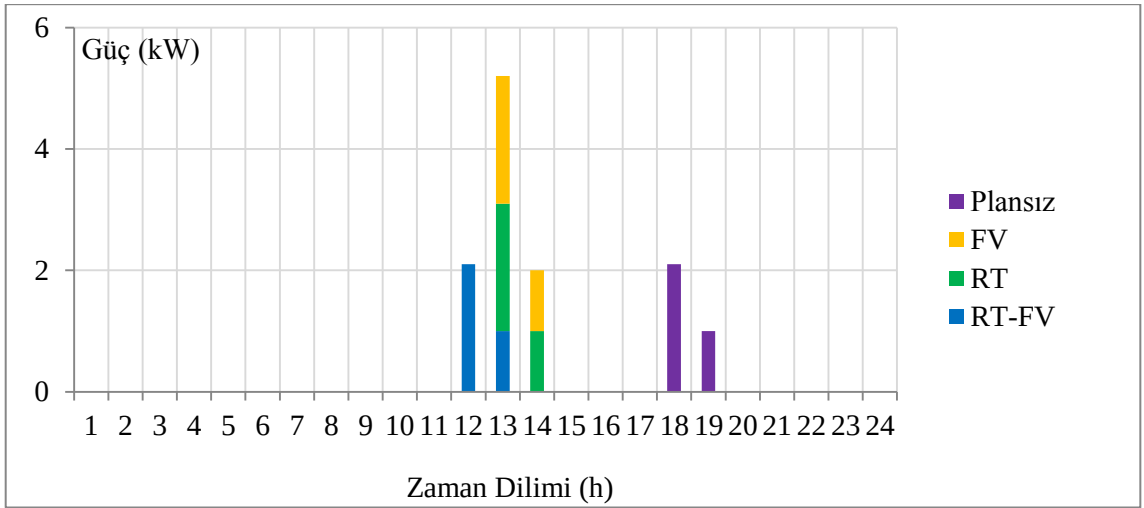


Şekil 3.29. Planlı yük dağılımını elde etmek için yakınsama hatasının jenerasyon ile değişimi.

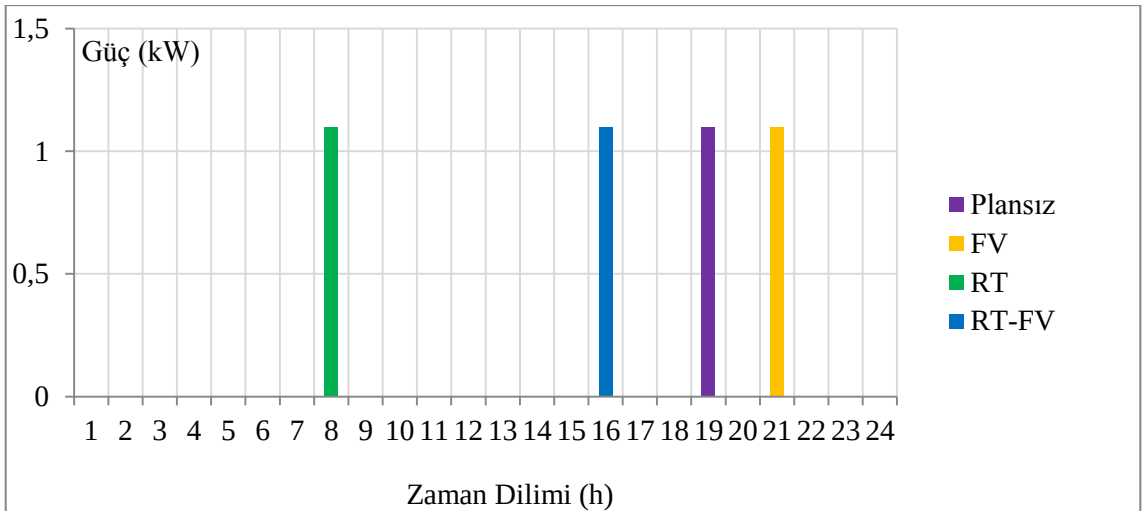
3.7 BİREYSEL YÜKLERİN ANALİZİ

Planlı ve plansız yük durumlarında belli başlı kontrol edilebilen ve edilemeyen bireysel yüklerin çalışma saatlerinde nasıl bir değişikliğin olduğunu görmek için Çizelge 2.2'de verilen yüklerin bir kaçı seçilmiştir. Şekil 3.30'da bulaşık makinasının gün içerisindeki çalışma saatleri gösterilmiştir. Bu grafikten görüldüğü üzere plansız yük durumunda bulaşık makinası 18. ve 19. saat dilimlerinde çalışırken her üç sistem için planlı yük

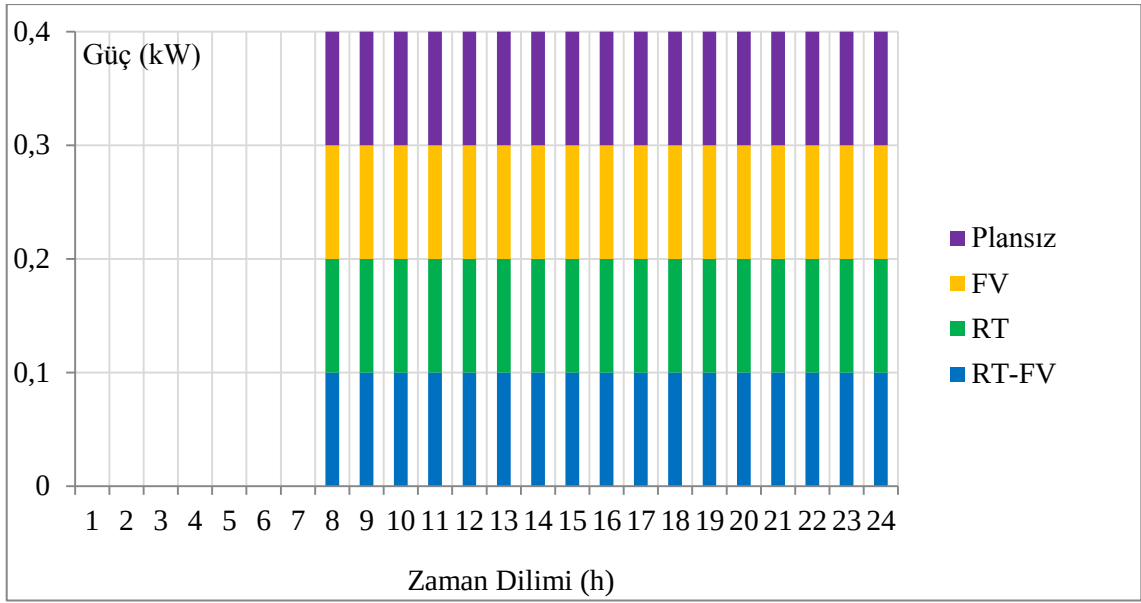
durumunda bulaşık makinasının çalışma saatleri 12., 13. ve 14. saat dilimlerine kaydırılmıştır. Benzer şekilde çamaşır makinası Şekil 3.31’de gösterildiği gibi plansız durumda 19. saat diliminde iken planlı yük durumunda her bir sistem için 8., 16. ve 21. saat dilimlerine kaydırılmıştır. Şekil 3.32’de gösterildiği üzere kontrolsüz yük olarak ele alınan TV planlı ve plansız yük durumunda beklenildiği gibi gün içerisindeki çalışma saatlerinde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Genel olarak bu tür sistemlerde kontrollü ve kontrolsüz yük olarak ele alınan bilgisayar her üç sistem için planlı ve plansız yük durumuna göre ele alındığında Şekil 3.33’de görüldüğü üzere plansız yükte bilgisayar 17 ilâ 20. saat dilimleri arasında çalıştırılmakta, planlı yük durumunda ise 9 ilâ 20. saat dilimlerinde toplam 4 saat olarak çalışmaktadır.



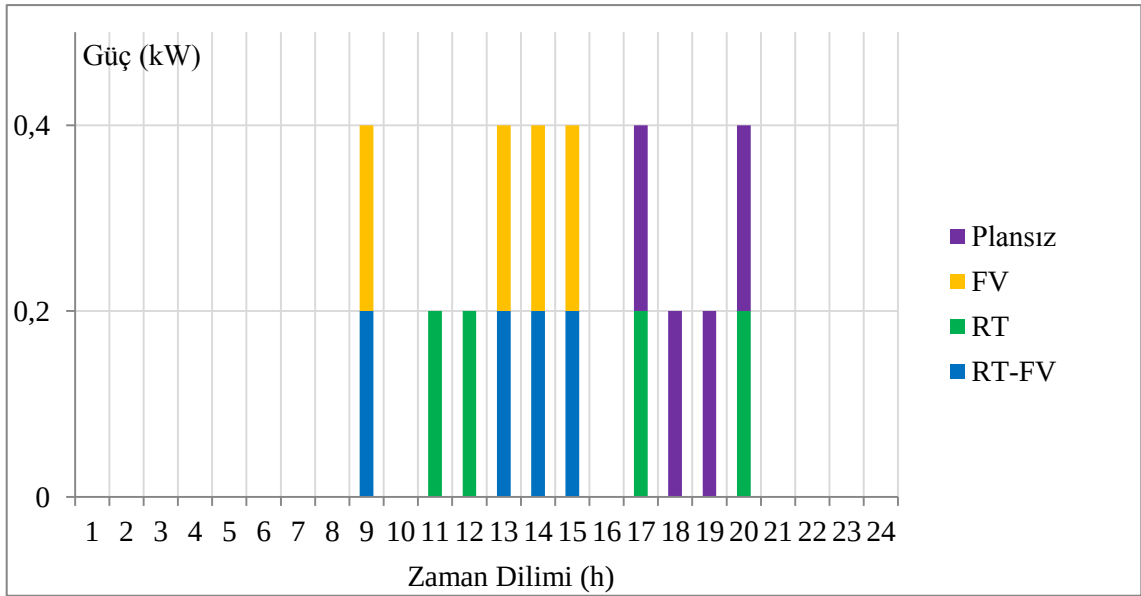
Şekil 3.30. Bulaşık makinasının gün içerisinde çalışma saatlerinin plansız ve planlı olarak belirlenmesi.



Şekil 3.31. Çamaşır makinasının gün içerisinde çalışma saatlerinin plansız ve planlı olarak belirlenmesi.



Şekil 3.32. Televizyonun gün içerisinde çalışma saatlerinin plansız ve planlı olarak belirlenmesi.



Şekil 3.33. Bilgisayarın gün içerisinde çalışma saatlerinin plansız ve planlı olarak belirlenmesi.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Düzce ili özelinde güneş ve rüzgâr potansiyelinden en düşük maliyetle yararlanmak için bazı çıkarımlar elde edilmiştir. Bunlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Tipik bir konutun elektriksel enerji ihtiyacını karşılamak için salt RT'lerinden, salt FV panellerden ve RT-FV panellerden oluşan sistemlerin 20 yıllık çalışma ömrü dikkate alındığında en ekonomik sistemin 2 adet 1 kW'lık yatay eksenli RT sistemi olduğu görülmüştür. Ancak bölgedeki rüzgâr hızının ortalama 5-6 m/s aralığında olduğundan mevcut rüzgâr potansiyelinden daha fazla güç eldesi için standart tasarımın dışında kanat uzunluklarında değişikliğe gidilmesi, yâni, kanat uzunluklarının %50 oranında büyütülmesi gereklidir.

2. RT'leri ile elektrik üretimi rüzgâr hızı ile kübik olarak değiştiğinden rüzgâr hızındaki azalma büyük güç kaybına yol açar. Bu nedenle salt RT'li sistem böyle bir dezavantaj içerdiğinden FV panellerle takviye edilmesi enerji sürekliliğinin sağlanması açısından önemlidir. Bir yıllık ekonomik maliyet açısından bakıldığında salt RT'li sistemden karma sisteme yani RT-FV sisteme geçiş sadece %9'luk bir maliyet artışına yol açmaktadır. Bu nedenle Düzce şartlarındaki konutlardaki enerji gereksinimini karşılamak için önerilecek en uygun sistemin karma RT-FV sistem olduğu görülmektedir.

3. Şebekenin mevcut olduğu ancak şebeke bağlantısız sistemlerde üretilen enerjide süreklilik sağlamak için ilave bir üreticinin kullanılması zorunluluk arz eder. Bunun için genellikle yakıt sarfiyatının görece az olduğu DJ'nin tercih edilmesi daha doğru bir yaklaşım olduğu söylenebilir. Ancak şebeke bağlantılı sistemde buna gerek duyulmaz ve ihtiyaç duyulduğunda enerji gereksinimi şebekeden karşılanır. Bunun yanında fazladan üretilen enerji de şebekeye aktarılır. Bu şebekeye çift yönlü sayaç ile bağlanması durumunda toplam maliyette görece bir düşüş sağlar.

4. Toplam maliyette azalmanın sağlanması için maliyet bileşenlerinin en az birinde diğeri sabit kalmak kaydıyla düşürülmelidir. Kurulum maliyetinin azaltmak için seçilen aygıtların sayısı ile özelliklerinin ve lokasyonun en uygun biçimde seçilmelidir. İşletme ve bakım masraflarının en düşük düzeye çekilmesi için mevcut sistemin ürettiği gücün artırılması ve bakım masraflarının azaltılması gerekir. İşletme maliyetinin düşürülmesi

çoğunlukla yük talep yönetimi ile mümkün olurken bakım masraflarını düşürmek için ise kWh başına düşen fiyatları aşağıya çekmekle mümkün olur. Bu da uygun optimizasyon tekniklerinin kullanımı ile mümkündür ve burada reel kodlu GA yazılımı ile talep yönetimi gerçekleştirilerek bunun yapılabilirliği gösterilmiştir.

5. Ayrıca, sistemin bulunduğu lokasyonda bir sonraki gün için etkili tahmin yöntemlerinin kullanılması önemlidir. Yâni, rüzgâr hızının ve anlık ısıtım miktarlarının en az hata ile hesaplanması gerekir. Bunun için yapay sinir ağları, destek vektör makinaları gibi uygun yöntemlerin kullanılması önemlidir.



KAYNAKLAR

- [1] A. Özgöçmen, “Güneş pili kullanarak elektrik üretimi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [2] A. Blakers, P. Devine-Wright, D.L. Gazzoni, A.G. Hestnes, E. Kituyi, J. Kretzschmar, J. Luther, J. Manwell, H.S. Mukunda, C. Rolz, J. Skea, E. Volkov, Z. Wang, M. Yamaguchi, "Research and development on renewable energies, a global report on photovoltaic and wind energy," International Science Panel on Renewable Energies, Paris, France, 2009, pp. 1-44.
- [3] S. C. Bhattacharyya, “Mini-grid based electrification in Bangladesh: Technical configuration and business analysis,” *Renewable Energy*, vol. 75, pp. 745–761, 2015.
- [4] M. S. Adaramola, S. S. Paul, and O. M. Oyewola, “Assessment of decentralized hybrid PV solar-diesel power system for applications in Northern part of Nigeria,” *Energy For Sustainable Development*, vol. 19, no. 1, pp. 72–82, 2014.
- [5] G. Bekelea and G. Boneya, “Design of a photovoltaic-wind hybrid power generation system for Ethiopian remote area,” *Energy Procedia*, vol. 14, pp. 1760–1765, 2012.
- [6] G. Rohani and M. Nour, “Techno-economical analysis of stand-alone hybrid renewable power system for Ras Musherib in United Arab Emirates,” *Energy*, vol. 64, pp. 828–841, 2014.
- [7] W. D. Kellogg, M. H. Nehrir, G. Venkataramanan, and V. Gerez, “Generation unit sizing and cost analysis for stand-alone wind, photovoltaic, and hybrid wind/PV systems,” *IEEE Transactions Energy Conversion*, vol. 13, no. 1, pp. 70–75, 1998.
- [8] M. H. Nehrir, B. J. Lameres, G. Venkataramanan, V. Gerez, and L. A. Alvarado, “Performance evaluation of stand-alone wind/photovoltaic generating systems,” *Power Engineering Society Summer Meeting*, 1999, pp. 555-559.
- [9] A. Maleki and F. Pourfayaz, “Sizing of stand-alone photovoltaic/wind/diesel system with battery and fuel cell storage devices by harmony search algorithm,” *Journal of Energy Storage*, vol. 2, pp. 30–42, 2015.
- [10] I. C. Value and I. No, “Engineering optimization of off-grid hybrid solar-wind power flow system to obtain maximum power generation,” *Research Paper*, vol. 5, no. 6, pp. 409–411, 2016.
- [11] D. B. Nelson, M. H. Nehrir, and C. Wang, “Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems,” *Renewable Energy*, vol. 31, no. 10, pp. 1641–1656, 2006.
- [12] Vadirajacharya and P. K. Katti, “Rural electrification through solar and wind hybrid system, A self sustained grid free electric power source,” *Energy Procedia*, vol. 14, pp. 2081–2087, 2012.
- [13] M. Ranjeva and A. K. Kulkarni, “Design optimization of a hybrid, small, decentralized power plant for remote/rural areas,” *Energy Procedia*, vol. 20, pp. 258–270, 2012.

- [14] S. Manoj and P. P. Srinivasaiah, "Estimation and cost effective analysis of hybrid-wind /PV generation for rural / remote electrification," vol. 2, no. 12, pp. 740–745, 2012.
- [15] A. Kaabeche, M. Belhamel, and R. Ibtouen, "Optimal sizing method for stand-alone hybrid PV/wind power generation system," *Revue des Energies Renouvelables SMEE'10 Bou Ismail Tipaza*, 2010, pp. 205–213.
- [16] Ali Kashefi Kaviani, Hamid Reza Baghaee, and Gholam Hossein Riahy, "Optimal sizing of a stand-alone wind/photovoltaic generation unit using particle swarm optimization," *Simulation*, vol. 85, no. 2, pp. 89–99, 2009.
- [17] H. Biberoglu and T. Pala, "Bir konutun elektrik ihtiyacının şebeke bağlantılı pv sistemle tasarımı, ekonomik analizi ve çevresel etkilerinin belirlenmesine yönelik bir yaklaşım: Düzce ilinde bir konut uygulaması," *Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 5, s. 2, ss. 190-200, 2016.
- [18] S. Alkan, A. Öztürk, S. Zavrak, S. Tosun, and E. Avcı, "Bir evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak fotovoltaiik sistemin kurulumu," *Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, 2014, ss. 78–82.
- [19] Y. Sawle, S. C. Gupta, B. A. Kumar, and W. Meng, "PV-wind hybrid system: A review with case study," *Cogent Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 1-31, 2016.
- [20] P. Bajpai and V. Dash, "Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review," *Renewable Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 5, pp. 2926–2939, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa Necati BOZOK
Doğum Tarihi ve Yeri : 16.07.1978 / Balıkesir
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mnecatibozok@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2017
Lisans	Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümü Bilgisayar Öğretmenliği	Fırat Üniversitesi	2008
Lise	Bilgisayar Donanım	Balıkesir Anadolu Teknik Lisesi	1998