

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI İLE BESLENEN
KONUTLAR İÇİN ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ**

İREM ARHAN

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI İLE BESLENEN
KONUTLAR İÇİN ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ

İREM ARHAN

Doç. Dr. Mehmet Zeki BİLGİN
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof. Dr. Bekir ÇAKIR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Yrd. Doç. Dr. Mustafa NİL
Jüri Üyesi, Celal Bayar Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.01.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

(İmza)

İrem ARHAN

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

(İmza)

İrem ARHAN

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Artan nüfusun ve gelişen teknolojinin enerji gereksinimini karşılaması için kullanılan yakıtların yerini yenilenebilir kaynakların alması gerekmektedir. Çevreye zararlı atık bırakmayan, güvenilir ve maliyeti düşük enerji üretim sistemlerinin kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Aynı zamanda mevcut enerji verimli kullanılmalıdır. Bu amaçla bu yüksek lisans tez çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynaklı konut tipi sistemlerde enerji verimliliği için sistem tasarımı ve enerji yönetim algoritması önerilmiştir. Tasarlanan sistem, senaryolar dahilinde işletilerek kaynakların yük üzerindeki etkileri test edilmiştir. Elde edilen bu veriler ve bu verilerin geliştirilen model ve algoritma ile benzetim çalışmalarında kullanılmasıyla ortaya çıkan sonuçlar, önerilen sistemin ülkemize hem çevresel hem de ekonomik anlamda kazanç sağlayacağını göstermektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmamda değerli görüşleriyle beni yönlendiren ve yardımcı olan tez danışmanım Doç. Dr. Mehmet Zeki BİLGİN'e teşekkürlerimi sunarım. Tüm eğitim hayatım boyunca hem maddi hem de manevi desteklerini hiç esirgemeyen, her zaman yanımda olan değerli aileme içtenlikle teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma ile yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin arttırmasına ve mevcut enerjinin verimli kullanılması için atılacak adımlara ışık tutarak vesile olmasını diliyorum.

Ocak – 2022

İrem ARHAN

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ.....	4
2.1. Rüzgar Enerjisi	6
2.2. Hidroelektrik Enerji	7
2.3. Jeotermal Enerji	8
2.4. Hidrojen Enerjisi.....	9
2.5. Güneş Enerjisi.....	12
2.5.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi	14
2.5.2. Kocaeli İli Güneş Potansiyeli	17
3. GÜÇ ÜRETİM SİSTEM BİLEŞENLERİ.....	18
3.1. Fotovoltaik Yapılar ve Sistemler	18
3.1.1. Güneş Hücresi	18
3.1.2. Yarı İletken Malzemelerin Katkılanması	19
3.1.3. Fotovoltaik Panel.....	19
3.1.4. Fotovoltaik Panellerin Matematiksel Modeli	21
3.1.5. Fotovoltaik Sistemlerin Maksimum Güç Noktası	24
3.1.6. Fotovoltaik Panellerin Avantajları ve Dezavantajları	25
3.1.7. Fotovoltaik Panel Çeşitleri	26
3.1.7.1. Kristal Silisyum Panelleri	26
3.1.7.2. İnce Film Paneller	27
3.1.8. Fotovoltaik Sistemler ve Uygulamaları.....	27
3.1.8.1. Şebeke Bağlantısız Sistemler	28
3.1.8.2. Şebeke Bağlantılı Sistemler	28
3.1.8.3. Hibrit (Karma) Sistemler	29
3.2. Enerji Depolama Birimleri.....	30
3.2.1. Batarya	30
3.2.2. Batarya Çeşitleri	31
3.2.2.1. Kurşun-Asit Bataryalar	32
3.2.2.2. Lityum-İyon Bataryalar	33
3.2.2.3. Nikel-Kadmiyum Bataryalar.....	33
3.2.2.4. Nikel Metal Hidrit Bataryalar	33
3.2.2.5. Lityum-İyon Polimer Bataryalar.....	34
3.2.2.6. Lityum Sülfür Bataryalar	34
3.3. Yakıt Hücresi	34
3.3.1. Yakıt Olarak Hidrojen.....	36
3.3.2. Yakıt Hücresi Çeşitleri	37
4. MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ YÖNETİMİ.....	39

5. SİSTEM TASARIMI VE MODELLENMESİ.....	43
5.1. Coğrafi Durum Analizi	45
5.2. Konut Yükünün Belirlenmesi	48
5.3. Boost (Yükselten) Dönüştürücülü Panel Bloğu.....	50
5.4. MPPT Kontrol Bloğu.....	53
5.4.1. Değiştir ve Gözle (P&O) Yöntemi.....	53
5.4.2. Artan İletkenlik Yöntemi	54
5.5. Push-Pull Boost(Yükselten) Dönüştürücü Filtre Bloğu.....	55
5.6. Şarj-Deşarj Kontrollü Batarya Bloğu	57
5.7. Yakıt Hücresi Bloğu	61
5.8. Evirici ve LCL Filtre Bloğu.....	63
5.9. Şebeke Bloğu	66
5.10. Enerji Yönetim Algoritması.....	67
5.10.1. Senaryolar.....	69
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	71
6.1. 1. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler.....	71
6.2. 2. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler.....	73
6.3. 3. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler.....	76
6.4. 4. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler.....	78
6.5. 5. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler.....	81
6.6. 6. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler.....	83
6.7. 7. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler.....	86
6.8. 8. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler.....	88
6.9. 9. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler.....	91
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR.....	97
EKLER	102
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	106
ÖZGEÇMİŞ.....	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı.....	5
Şekil 2.2. Türkiye’de Kasım 2021 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	6
Şekil 2.3. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyel atlası	7
Şekil 2.4. Hidrojen enerjisinin gelişimi	11
Şekil 2.5. AB ve Türkiye’nin güneş enerji haritası	14
Şekil 2.6. Türkiye’deki güneş enerjisi potansiyeli haritası.....	15
Şekil 2.7. Türkiye için aylık ortalama güneşlenme süreleri	16
Şekil 2.8. Türkiye için aylık ortalama global radyasyon değerleri.....	16
Şekil 3.1. Güneş hücresinin çalışma ilkesi	18
Şekil 3.2. PV hücrelerinin paralel bağlantısı	20
Şekil 3.3. PV hücrelerinin seri bağlantısı	20
Şekil 3.4. PV panel bağlantısı.....	20
Şekil 3.5. PV hücre, PV modül, PV panel ve PV dizisi	21
Şekil 3.6. PV panelin eşdeğer devresi	21
Şekil 3.7. Standart koşullar altında PV panelin akım-gerilim grafiği	25
Şekil 3.8. Şebeke bağlantısız sistem yapısı	28
Şekil 3.9. Şebeke bağlantılı sistem yapısı	29
Şekil 3.10. Şebeke bağlantılı karma sistem yapısı.....	29
Şekil 3.11. Bataryadaki elektrokimyasal durumlar a) şarj, b) deşarj.....	31
Şekil 3.12. Yakıt hücresi kimyasal reaksiyonu	35
Şekil 4.1. Örnek mikro şebeke yapısı	40
Şekil 5.1. Modellenen sistem yapısı	43
Şekil 5.2. Tasarlanan sistemin MATLAB/Simulink modeli	44
Şekil 5.3. 21 Mart sıcaklık verileri	45
Şekil 5.4. 21 Mart ışıınım verileri.....	46
Şekil 5.5. 21 Haziran sıcaklık verileri	46
Şekil 5.6. 21 Haziran ışıınım verileri.....	46
Şekil 5.7. 21 Eylül sıcaklık verileri	47
Şekil 5.8. 21 Eylül ışıınım verileri.....	47
Şekil 5.9. 21 Aralık sıcaklık verileri.....	47
Şekil 5.10. 21 Aralık ışıınım verileri	48
Şekil 5.11. PV panelin parametre değerleri	51
Şekil 5.12. Yükseltici tip dönüştürücülü PV panel ve PV kontrol modeli	52
Şekil 5.13. Push-Pull tipi DC/DC dönüştürücü devresi.....	55
Şekil 5.14. Push-Pull dönüştürücü filtre MATLAB/Simulink modeli	56
Şekil 5.15. Batarya eşdeğer devresi.....	58
Şekil 5.16. Batarya parametreleri	60
Şekil 5.17. Şarj-deşarj kontrollü batarya sistemi MATLAB/Simulink modeli	61
Şekil 5.18. Yakıt hücresi parametreleri	63
Şekil 5.19. Yakıt hücresi sistemi MATLAB/Simulink modeli	63
Şekil 5.20. Evirici parametreleri.....	65
Şekil 5.21. Evirici ve LCL filtre MATLAB/Simulink modeli	66
Şekil 5.22. Şebeke bağlantısının MATLAB/Simulink modeli	66
Şekil 5.23. Enerji yönetim algoritması akış diyagramı	68

Şekil 6.1.	1. Senaryo sonucundaki anahtar konumları	71
Şekil 6.2.	1. Senaryoda PV panelin ürettiği güç	72
Şekil 6.3.	1. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri	72
Şekil 6.4.	1. Senaryo için güç dağılımı	73
Şekil 6.5.	2. Senaryo sonucundaki anahtar konumları	73
Şekil 6.6.	2. Senaryoda PV panelin ürettiği güç	74
Şekil 6.7.	2. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri	74
Şekil 6.8.	2. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri	75
Şekil 6.9.	2. Senaryo için güç dağılımı	75
Şekil 6.10.	3. Senaryo sonucundaki anahtar konumları	76
Şekil 6.11.	3. Senaryoda PV panelin ürettiği güç	76
Şekil 6.12.	3. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri	77
Şekil 6.13.	3. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri	77
Şekil 6.14.	3. Senaryo için güç dağılımı	78
Şekil 6.15.	4. Senaryo sonucundaki anahtar konumları	78
Şekil 6.16.	4. Senaryoda PV panelin ürettiği güç	79
Şekil 6.17.	4. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri	79
Şekil 6.18.	4. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri	80
Şekil 6.19.	4. Senaryo için güç dağılımı	80
Şekil 6.20.	5. Senaryo sonucundaki anahtar konumları	81
Şekil 6.21.	5. Senaryoda PV panelin ürettiği güç	81
Şekil 6.22.	5. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri	82
Şekil 6.23.	5. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri	82
Şekil 6.24.	5. Senaryo için güç dağılımı	83
Şekil 6.25.	6. Senaryo sonucundaki anahtar konumları	83
Şekil 6.26.	6. Senaryoda PV panelin ürettiği güç	84
Şekil 6.27.	6. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri	84
Şekil 6.28.	6. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri	85
Şekil 6.29.	6. Senaryo için güç dağılımı	85
Şekil 6.30.	7. Senaryo sonucundaki anahtar konumları	86
Şekil 6.31.	7. Senaryoda PV panelin ürettiği güç	86
Şekil 6.32.	7. Senaryoda bataryanın anlık akım, gerilim ve SOC ölçümleri	87
Şekil 6.33.	7. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri	87
Şekil 6.34.	7. Senaryo için güç dağılımı	88
Şekil 6.35.	8. Senaryo sonucundaki anahtar konumları	88
Şekil 6.36.	8. Senaryoda PV panelin ürettiği güç	89
Şekil 6.37.	8. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri	89
Şekil 6.38.	8. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri	90
Şekil 6.39.	8. Senaryo için güç dağılımı	90
Şekil 6.40.	9. Senaryo sonucundaki anahtar konumları	91
Şekil 6.41.	9. Senaryoda PV panelin ürettiği güç	91
Şekil 6.42.	9. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri	92
Şekil 6.43.	9. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri	92
Şekil 6.44.	9. Senaryo için güç dağılımı	93
Şekil A.1.	Enerji yönetim MATLAB/Simulink algoritması	105

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Kocaeli 1929 – 2020 yılları arası ortalama sıcaklık ve güneşlenme süresi.....	17
Tablo 3.1. Bataryaların enerji ve güç yoğunlukları	32
Tablo 3.2. Yakıt hücresi çeşitlerinin karşılaştırılması	38
Tablo 4.1. Mikro şebeke enerji yönetim sistemleri karşılaştırması	42
Tablo 5.1. Daireler için tüketilen elektrik enerjisinin oransal dağılımı	48
Tablo 5.2. Dairenin günlük, haftalık, aylık ve yıllık ortalama elektrik tüketim değeri	49
Tablo 5.3. Dönüştürücünün devre elemanlarının parametre değeri	53
Tablo 5.4. P&O yöntemin işleyiş adımları	54
Tablo 5.5. Artan iletkenlik yöntemiyle maksimum güç noktasının bulunması.....	54
Tablo 5.6. Tablo 5.5'in Denklem (5.5)'e göre düzenlenmiş hali	55
Tablo 5.7. Push-Pull dönüştürücü filtre devrelerinin parametreleri	57
Tablo 5.8. Batarya parametreleri	59
Tablo 5.9. 3 zamanlı tarife durumları	68

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Diyotun kalite faktörü
A_{cell}	: Yakıt hücresi alanı, (cm^2)
Ah	: Amper-saat
b_i	: ($i=0, 1, 2$ için) deneysel verilerden belirlenmiş katsayı
C_n	: Batarya kapasitesi, (Ah)
C_{ov}	: Polarizasyon kapasitesi, (F)
C_s	: Eviricinin snubber kapasitesi, (F)
D	: Doluluk-boşluk oranı
$E_{H_2O_2}$	: H_2O_2 reaksiyonunun standart potansiyeli, (V)
E_b	: Batarya açık devre gerilimi, (V)
f	: Temel frekans, (Hz)
F	: Faraday sabiti, (C)
G_t	: Fotovoltaik panele gelen m^2 'deki güneş ışıınım miktarı
I_y	: Yük akımı, (A)
I_0	: Ters şartürasyon akımı, (A)
I_{bat}	: Batarya akımı, (A)
I_D	: Diyot jonksiyon akımı, (A)
I_{fc}	: Yakıt hücresi akımı, (A)
I_L	: Fotovoltaik panelin çıkış akımı, (A)
I_{sc}	: Panel kısa devre akımı, (V)
K	: Boltzmann sabiti, ($eV \cdot K^{-1}$)
m_i	: ($i=0, 1, 2$ için) deneysel verilerden belirlenmiş katsayı
N	: Hücre sayısı
n'_{fc}	: İstenen hidrojen molar akış oranı
n_i	: ($i=0, 1, 2$ için) deneysel verilerden belirlenmiş katsayı
N_p	: Paralel kol sayısı
N_s	: Seri kol sayısı
n'_s	: Sağlanan hidrojen molar akış oranı
P_1	: Talep güç grubu 1, (W)
P_2	: Talep güç grubu 2, (W)
P_{elmin}	: Hidrojen üretimi yapılabilmesi için gerekli minimum güç, (W)
P_{elmax}	: Hidrojen üretimi yapılabilmesi için gerekli maksimum güç, (W)
P_{fc}	: Yakıt hücresinden üretilen elektriksel güç, (W)
P_n	: 1 ya da 3 fazlı dönüştürücünün nominal gücü, (W)
P_{net}	: Artan güç, (W)
P_{pv}	: PV panelin ürettiği güç, (W)
P_r	: Yakıt hücresindeki hidrojen basıncı, (N/m^2)
q	: Elektrik yükü, (C)
R_{bc}, R_{bci}	: Şarj direnci bileşenleri, (Ω)
R_{bd}, R_{bdi}	: Deşarj direnci bileşenleri, (Ω)
R_{ch}	: Şarj direnci, (Ω)
R_{dch}	: Deşarj direnci, (Ω)
r_i	: ($i=0, 1, 2$ için) deneysel verilerden belirlenmiş katsayı

R_s	: Güneş hücresinin seri direnci, (Ω)
R_s	: Eviricinin snubber direnci, (Ω)
R_{SH}	: Güneş hücresinin şönt (paralel) direnci, (Ω)
t	: Batarya çıkış gerilimi örnekleme zamanı, (dakika)
T	: Sıcaklık, ($^{\circ}C$)
T_a	: Dış ortam sıcaklığı, ($^{\circ}C$)
T_{FC}	: Yakıt hücresinin sıcaklığını, ($^{\circ}K$)
T_p	: Panel sıcaklığı, ($^{\circ}C$)
T_s	: Örnekleme zamanı
u_{fc}	: Yakıt hücresinin yararlanma (kullanım) faktörü
V_0	: Push-Pull dönüştürücü çıkış gerilimi, (V)
V_{bat}	: Batarya çıkış gerilimi, (V)
V_{fc}	: Yakıt hücresi gerilimi, (V)
V_g, V_{ϕ}	: Dönüştürücü giriş-çıkış gerilimleri, (V)
V_i	: Push-Pull dönüştürücü giriş gerilimi, (V)
V_n	: Nominal hattan hatta gerilimin rms değeri, (V)
V_{OC}	: Panel açık devre gerilimi, (V)
v_r	: Rüzgâr hızı, (m/s)
V_t	: Termal gerilimi, (V)
a	: Kısa devre akımının sıcaklık katsayısı
γ	: Diyotun ideallik faktörü
β	: Açık devre geriliminin sıcaklık katsayısı
%SOC	: Şarj durumu, (%)
%SOC ₀	: Başlangıç şarj durumu, (%)

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
AYC	: Alkali Yakıt Hücresi
BJT	: Bipolar Jonksiyon Transistör
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
DMYC	: Doğrudan Metanol Yakıt Hücresi
DOD	: Depth of Discharge (Deşarj Derinliği)
EKYC	: Erimiş Karbonat Yakıt Hücresi
FAYC	: Fosforik Asit Yakıt Hücresi
GTO	: Gate Turn Off (Kapıdan Tıkanabilen Tristör)
H ₂ S	: Hidrojen sülfür
IGBT	: Insulated Gate Bipolar Transistor (İzole Edilmiş İki Kutuplu Transistör)
KOYC	: Katı Oksitli Yakıt Hücresi
kV	: Kilo-Volt
kWh	: Kilo-Watt-hours (Kilo-Watt-saat)
LCL	: Bobin-Kondansatör-Bobin
MCT	: Mos Kontrollü Tristör
MOSFET	: Metal Oksit Yarı-İletken Alan Etkili Transistör

MPPT	: Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası Takibi)
P&O	: Perturb and Observation (Değiştir ve Gözle)
PEMYC	: Polimer Elektrolit Mebranlı Yakıt Hücresi
PV	: Photovoltaik (Fotovoltaik)
RES	: Rüzgar Enerji Sistemi
SCR	: Silicon Controlled Rectifier (Silikon Kontrollü Doğrultucu)
SO ₂	: Kükürt dioksit
SOC	: State of Charge (Şarj Durumu)
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü



YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI İLE BESLENEN KONUTLAR İÇİN ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ

ÖZET

Günümüzde enerji talepleri gitgide artmaktadır. Günlük hayatta hem enerji gereksiniminin karşılanması hem de çevreye zarar vermeden kaynakların kullanılması adına yenilenebilir enerji kaynaklı sistemler tercih edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, günümüzde enerji üretimi için kullanılan kaynakların başında gelmektedir. Türkiye, güneş potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Fakat üretilen elektrik enerjisi büyük oranda doğalgaz ve kömüre bağlıdır. Bu durum dışa bağımlılığı arttırmakla kalmıyor aynı zamanda üretim maliyetlerini de yükseltiyor. Temiz ve ucuz elektrik üretimi için yenilenebilir enerji üretim sistemlerine yönelmemiz gerekmektedir. Özellikle bu sistemlerin konut tipi yapılarda yaygınlaşmasıyla dışa bağımlılıkta azalma ve ekonomik olarak da fayda sağlanacaktır. Tek bir kaynaktan ziyade farklı kaynaklara sahip hibrit sistemlerin kullanımı ve üretilen enerjinin sonradan kullanmak üzere depolanması, enerji sürekliliğini sağlamaktadır. Hibrit sistemlerde farklı kaynakların bulunmasından dolayı enerjinin kullanımı, depolanması ve gerektiğinde şebekeye aktarımı için enerji yönetim algoritmasına ihtiyaç vardır. Bu yüksek lisans tezinde, Kocaeli bölgesi için yenilenebilir sistemlerden PV panel ve yakıt hücresi ile beslenen, enerji depolama birimi olarak batarya kullanan, gerektiğinde ihtiyaç fazlası enerjiyi şebekeye aktarabilen ve enerji yönetim sistemine sahip konut tipi enerji üretim modeli önerilmiştir. Önerilen konut modeli ve yönetim algoritması MATLAB/Simulink ortamında doğrulanarak benzetim sonuçları verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Enerji Yönetim Sistemi, Güneş Enerji Sistemi, MATLAB/Simulink, Yenilenebilir Enerji.

ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR HOUSINGS FEEDED WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

ABSTRACT

Today, energy demands are increasing gradually. In daily life, renewable energy source systems prefer in order to provide the energy requirements and to use sources without harming the environment. One of the renewable energy sources, the sun is one of the source used for energy production today. Turkey is a country rich in solar potential. But, the electrical energy generated depends largely on natural gas and coal. This situation not only increases foreign dependency, but also increases production costs. We need to turn to renewable energy generation systems for clean and cheap electricity generation. Especially with the widespread use of these systems in house type buildings, it will provide a decrease in external dependency and economic benefits. The use of hybrid systems with different sources rather than a single source and the storage of the generated energy for later use ensures energy continuity. Due to the presence of different sources in hybrid systems, an energy management algorithm is needed for the use, storage and transfer of energy to the grid when necessary. In this master's thesis, for Kocaeli region a house type energy generation model which is fed by PV panels and fuel cells from renewable systems, uses batteries as an energy storage unit, can transfer surplus energy to the grid when necessary and has an energy management system has been proposed. The simulation results are given by verifying the proposed house model and management algorithm in MATLAB/Simulink.

Keywords: Energy Efficiency, Energy Management System, Solar Energy System, MATLAB/Simulink, Renewable Energy.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi; iletimi, kullanımı ve kontrolü basit, birçok enerji çeşidine kolay dönüştürülebilen ve günlük hayatta vazgeçilmez bir enerjidir. Bu enerji; insan yaşamında hayat kalitesini iyileştiren, sanayi üretimi için temel gereksinimlerden biri olan, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan önemli unsurlardan biridir. Artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği, gerek dünyada gerekse ülkemizdeki nüfus artışı ve yaşam standartlarının yükselişi, sanayi ve teknolojiye gelişmelere paralel olarak enerji talebinin artışı, hızla tükenmekte olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edeceği ve ayrıca yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmeler, yeni çalışmalara zemin hazırlamaktadır. Bu çalışmalar ışığında yerli kaynakların öncelikli olarak kullanılması, var olan sistemlerin çevreye yarattığı etkileri azaltacak şekilde dönüştürülmesi, yeni yapılmış veya yapılacak olan sistemlerin ana sisteme uyumlu bir şekilde bağlanması, en küçük arızada sistemin çökmeden talepleri karşılaması ve eski sistemin yapılandırılarak akıllı, kontrolü kolay olacak şekilde yapılandırılması hedeflenmektedir.

Dünya'daki enerji üretim ve tüketim durumuna bakarak Türkiye'yi incelediğimizde farklı sorunlar ve durumlarla karşılaşmaktayız. Bu sorunlardan birisi elektrik enerjisi temininde dış ülkelere bağımlı olmamızdır. Türkiye'nin gerek coğrafi gerek teknolojik avantajlarına karşı bu bağımlılık sürmektedir. Artan enerji talebini karşılamak bu durumda ekonomik anlamda güçlük yaratmaktadır.

Diğer bir sorun ise elektrik enerjisi üretimi için kullanılan kaynaklardır. Kullanılan kaynakların hava ve çevre kirliliğine neden olması, yenilenebilir olmadıkları için teminlerinin zorlaşması gibi durumlar meydana gelmektedir. Enerji üretiminin çevreye yaydığı bu zararlı etkileri ve atıkları azaltabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması ve mevcut enerjinin verimli kullanılması gerekmektedir. Konut tipi yapılarda güneş, rüzgar ve yakıt hücresi sistemlerinin kullanılması mümkündür.

Fosil enerji kaynaklarının yaygın alternatifi güneştir. Güneş enerjisi fosil yakıtlara göre çok daha az salınım üretir. Bu sistemin konut dışında taşıtlarda da kullanılması farklı alternatifleri de oluşturmaktadır. Gelişen teknoloji ile elektrikli araçların güneşi yakıt olarak kullanmasıyla da CO₂ salınımında azalma meydana gelmektedir. Bunun gibi farklı

kullanım alanlarına sahip olan kaynak olarak güneşin, olabildiğince günlük hayatta yerini alması gerekmektedir.

Ülkemiz diğer Avrupa ülkelerine nazaran güneşi dört mevsim gören bir konuma sahiptir. Fakat ülkemiz kadar güneş potansiyeline sahip olmayan ülkelerde güneş potansiyelinden yararlanma oranı bize göre fazladır. Bu doğrultuda kaynakları verimli kullanırsak hem çevresel etkilerinin az olduğu enerji üretim sistemleri kurmuş oluruz hem de ekonomik olarak dışa bağımlılığı ortadan kaldırmış oluruz. Günümüzde güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin verimi düşük olduğundan ve kurulum maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı yapılabilecek en ufak iyileştirme ve geliştirme çalışması bu konuda daha da iyiye gitme ve yaşanılabilir bir dünya bırakma adına önemli adımları oluşturmaktadır.

Güneş ışıınımı ve rüzgar çevresel faktörlerdir. Bulunduğunuz coğrafyadan tutun gün içerisinde aynı bölgede bile farklılık göstermektedir. Bu gibi kaynaklarla kurulan enerji üretim sistemleri her an değişen yük talebini sürekli olarak karşılayamazlar. Bunun için birçok yapının ve destekleyici birimlerin bulunduğu sistemlerin oluşturulması bu açığı kapatmaktadır. Tek kaynaklı enerji üretim sistemlerine nazaran hibrit sistemler bu konuda oldukça başarılıdır. Birçok enerji kaynağı birbirini tamamlayan ve sürekliliği sağlayan yapıdadır. Bu kaynakların bir arada kullanılması avantaj sağlamaktadır. Uygun kontrol yapılarıyla enerji sisteminin yönetilmesi de ayrıca verimliliğe de katkı sağlamaktadır. Ancak optimal sistem konfigürasyonu, uygun güç elektroniği ara yüzleri ve farklı enerji kaynakları arasında enerji yönetimi konuları henüz tam olarak çözüme ulaşmış değildir. Yapılan yeni, farklı kaynak kombinasyonları ve bu sistemlerin yönetimiyle alakalı çalışmaların üzerine daha fazla araştırma ve deneme yapılması gerekmektedir.

Özellikle günlük hayatta kullanabileceğimiz güneş ve rüzgar enerji sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması konut tipi gibi bireysel yapılarda kullanıma ilgi düşüktür. Büyük sanayi tipi yapılarda bu gibi sistemler kullanılmaya başlansa da konut tipi yapılarda da aynı şekilde kullanım oranının artırılabilmesi için yatırım maliyetleri düşürülmelidir.

Gelişen teknolojiyle artan enerji talebi, artan enerji maliyetleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacın artmasıyla yenilenebilir enerji sistemlerinin konut tipi yapılarda da yaygınlaştırılması bu tez çalışmasının ilk adımını oluşturmaktadır.

Bu yüksek lisans tezi Kocaeli iline bağlı olarak Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünde bulunan ve sürekli ölçüm sağlayan sensörlerin elde ettiği veriler incelenerek yapılmıştır. Çalışmanın gerçek verilerle yapılması çalışmayı daha etkin ve uygulanabilir kılmaktadır. Aynı zamanda verilerin daha önceden bilinmesi bugünden yarının planlanmasına olanak sağlamaktadır. Tez il özelinde yapılmış olsa da farklı bölgeler için sistem parametrelerinin tekrar düzenlenmesiyle her bölgede uygulanabilir.

Bu yüksek lisans tezinde konut tipi yapılar için yenilenebilir enerji kaynaklı sistem tasarımı yapılmış ve bu sistemin verimliliğinin artırılması için enerji yönetim stratejisi önerilmiştir. Bu amaçla günümüzde bir ailenin konut içerisinde kullandığı yüklerin listesi çıkarılmıştır ve olası kullanım durumlarına göre yükler gruplandırılmıştır. Bu gruplandırma sayesinde konut içerisinde yük kullanımı da planlanmıştır.

Önerilen sistem MATLAB/Simulink kullanılarak modellenmiştir. Tasarlanan sistemde ana enerji kaynağı PV panellerdir. Panellerle dönüşüm içerisinde olduğu batarya sistemi ve yakıt hücresi bulunmaktadır. Yakıt hücresi ikincil üretim kaynağıdır. Yapılan sistem şebeke bağlantılıdır. Fakat şebekenin kullanımı belirlenen durumlar için sınırlandırılarak şebekeye olan bağımlılık azaltılmıştır. Aynı zamanda olabilecek arıza, üretim ve depolama durumunun talep edilen güç için yeterli gelmediği durumlarda enerji devamlılığı sağlanmıştır. Şebeke bağlantısının iki farklı durumda olmasıyla şebekeden enerji alımının yanı sıra şebekeye enerji satışı da mümkün kılınmaktadır. Bu sayede enerji üretimine katkıda bulunurken ev ekonomisine de katma değer sağlanmaktadır. Çalışmanın son bölümünde tasarlanan sistem için önerilen enerji yönetim algoritmasına göre 9 farklı senaryo işletilerek kaynakların yük üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ

Teknolojinin ilerlemesi ve dünya nüfusunun git gide artması enerjiye duyulan ihtiyacı da arttırmaktadır. Bu talebe karşı daha fazla enerji üretimi gereksinimi söz konusu olmuştur. Kullanılan kaynakların doğada sınırlı miktarda bulunması, oluşumunun binlerce yıl gerektirmesi ve bu kaynakların oluşturduğu atıkların çevreye zarar vermesiyle farklı enerji kaynakları arayışı başlamıştır. Talep edilen enerjinin karşılanması dışında gelecek nesillere yaşanılabilir bir dünya bırakma adına tüm dünyada su, güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı enerji üretim sistemleri hayata geçirilmiştir ve hayata geçirilmeye devam etmektedir.

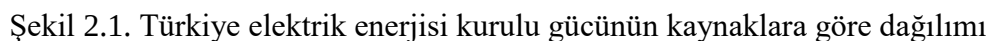
Yenilenebilir enerji kaynaklarının, doğal ve kendini yenileyebilen kaynaklar olmasının dışında çevre ve insan sağlığına olumsuz bir etki oluşturmaması tercih sebepleri arasında yer almaktadır. Bu kadar avantajına karşın kurulum maliyetinin yüksek olması ve kullanılan teknolojik yapının çok yaygın olmaması gibi dezavantajları bulunmaktadır.

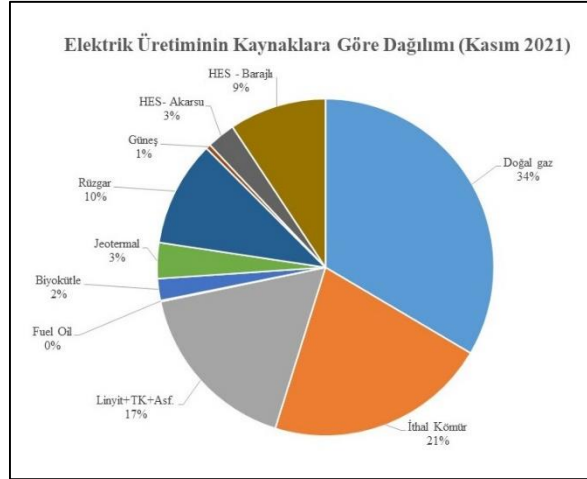
Petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtların yanma esnasında ortaya çıkardıkları karbondioksit ve metan gibi sera gazlarının bünyelerinde ısıyı tutma özelliklerinden dolayı iklim değişikliğine sebebiyet vermektedirler. Güneş, doğuşundan batışına kadar atmosfere ısı ve ışık sağlamaktadır. Atmosferik döngünün tamamlanması için verilen bu ısı ve ışığın tekrardan atmosfere transfer edilmesi gerekmektedir. Fakat kullanılan fosil yakıtların bu ısı ve ışığı atmosferde tutmasıyla oluşturduğu sera etkisiyle iklimsel değişiklikler meydana gelmektedir.

Dünya, küresel iklim değişikliğinin önüne geçebilmek için küresel ısınmanın neden olduğu zararları ortadan kaldırabilmek adına hazırlanmış uluslararası bir anlaşma olan Kyoto Protokolü altında toplanmıştır. Bu anlaşma ile birlikte birçok ülkenin bu konu adına uyması gereken kurallar belirlenmiştir. Buna göre ülkeler en fazla %5 oranında sera gazı kullanımı sağlayabilecektir. Buradaki temel amaç ülkelerin ekonomik açıdan zarar görmeden emisyon salınımını dünya genelinde dengelemektir. Protokolün en temel amaçlarından biri de çevre kirliliğini en aza indirmektir. Anlaşmaya göre her ülkenin hava, su ve toprak kirliliğini azaltacak radikal kararlar alması gerekmektedir. Cam, plastik ve metal gibi geri dönüşümü olan eşyaların ortak paydada tekrardan kullanılabilir olmasını sağlamaktır. Bunların dışında önlenemeyen atıklar için filtreleme gibi

Güneş, su, rüzgar, jeotermal gibi kaynaklar yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en fazla kullanım alanı bulanlar güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve hidrojen enerjisidir. Dalga enerjisi de yenilenebilir bir enerji olmasına karşılık, ekonomik getirisinin azlığı ve işletim zorluğu gibi sebeplerden dolayı pek tercih edilmemektedir.

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. tarafından yayınlanan elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı Şekil 2.1’de ve elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı ise Şekil 2.2’de verilmiştir (URL-1).





Şekil 2.2. Türkiye’de Kasım 2021 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

Şekil 2.1’de verilen Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımında, kurulu gücün %11’i rüzgar enerjisinden ve %8’i güneş enerjisinden oluşmaktadır. Şekil 2.2’de verilen Kasım 2021 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılım grafiği incelendiğinde, elektrik üretiminin %10’u rüzgar enerjisinden, %3’ü jeotermal enerjiden ve %1’i güneş enerjisinden karşılandığı görülmektedir.

2.1. Rüzgar Enerjisi

Alçak basınçla yüksek basınç arasında hava akımının yer değiştirmesiyle rüzgar oluşur. Kuleler üzerine monte edilen kanatların dönmesini sağlayarak kinetik enerjiden elektrik enerjisi üretilmesini sağlar. Rüzgar ile gelen hava akımı kanatları döndürür, kanatlara bağlı olan milin de dönmesiyle jeneratör çalışmaya başlar. Üretilen bu enerji trafolarla yükseltilerek tüketiciye iletim hatları vasıtasıyla iletilir.

Coğrafi ve mevsimsel koşullar altında bakıldığında yılın dört mevsimi aynı rüzgar potansiyeline sahip olunamayabiliyor. Kaynak bakımından sınırsız olsa da rüzgarın belirli bir hıza sahip olması gerekmektedir. Bu yüzden rüzgarın olmadığı veya yeterli gelmediği durumlarda yedek enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kurulum maliyetinin yüksek olması ve gürültü kirliliğine neden olmasına karşın karbon emisyonu ve çevresel kirliliğe yol açacak zararlı etkilerinin bulunmaması rüzgar enerjisinin kullanımında tercih sebebidir. Ayrıca karmaşık bir yapıya sahip olmadıklarından dolayı bakım ve onarım maliyetleri oldukça düşüktür.

Jeneratörlere bağı olan türbinler dönerek mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünü sağlar.

Hidroelektrik santralleri yenilenebilir bir enerji kaynağı olan suyu kullanmaları, sera gazı etkisi yaratmamaları, inşaatının yerli imkanlarla yapılması, uzun ömürlü ve yakıt gerektirmemesi, işletme bakım maliyetlerindeki düşüklük ve istihdam sağlamalarından dolayı yüksek miktarda yatırım yapılan santrallerdir. Toplam kurulum süresinin uzun olması, yağışlardan ve iklim şartlarından olumsuz şekilde etkilenmesi ve ekonomik yatırım maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Hidrolik enerji elektrik üretiminin dışında da birçok alanda kullanılmaktadır. Sulama, taşkın ve sel baskınlarının önlenmesinde, balıkçılık faaliyetlerinin geliştirilmesinde, ağaçlandırmada, turizm faaliyetlerinin geliştirilmesinde ve ulaşım faaliyetlerinin kolaylaştırılmasında hidrolik enerjiden faydalanılmaktadır (Özcan, 2013).

2.3. Jeotermal Enerji

Yeryüzünün altı birçok katmandan oluşmaktadır. Bu katmanların kendi aralarında oluşturduğu basınç ve çekirdekten gelen enerji doğal bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Jeotermal enerji, yeraltındaki magmanın sıcaklığından ve yeraltı sularının buharlaşmasından elde edilen yenilenebilir enerji çeşitlerindendir. Elektrik enerjisi suyun oluşturduğu buhar gücü sayesinde üretilir. Termik santral yapısına benzer şekilde olan sistemin kullandığı kaynak tamamen yeraltından elde edilir. Jeotermal sahada açılmış olan kuyulardan üretilen akışkan yapı, ayırıcılar sayesinde su ve buhar olarak ayrıştırılırlar. Ayrıştırılan buhar, türbinlere gönderilerek jeneratörlerin çalışması sağlanır ve elektrik enerjisi üretilir.

Jeotermal enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü yaklaşık olarak 135 °C civarında yapılabilmektedir. Günümüzde yapılan “Binary Cycle” ve “Multi Flashing System” gibi tekniklerle daha düşük sıcaklıklarda da elektrik üretimi yapılmaktadır. Bu teknikler sayesinde birim enerji maliyetleri de düşürülmüştür (McVeigh, 1984).

Jeotermal kaynaklar, meteorik kökenli sulardan oluştuğundan dolayı sürekli beslenerek yenilenen, doğrudan kullanılabilen, farklı kullanım alanları olan, sürdürülebilir, güvenilir ve hava koşullarından etkilenmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Jeotermal

kaynaklar ile; elektrik enerjisi üretimi, merkezi ısıtma, merkezi soğutma, sera ısıtması ve benzeri ısıtma/soğutma uygulamaları, proses ısısı temini, kurutma işlemleri gibi endüstriyel amaçlı kullanımlar, karbondioksit, gübre, lityum, ağır su, hidrojen gibi kimyasal maddelerin ve minerallerin üretimi, termal turizmde kaplıca amaçlı kullanım, düşük sıcaklıklarda (30 °C'ye kadar) kültür balıkçılığı, mineraller içeren içme suyu üretimi, gibi uygulama ve değerlendirme alanlarında kullanılmaktadırlar (Torunoğlu Gedik, 2015).

Jeotermal enerji alanları, etkin deprem bölgeleri ve volkanların bulunduğu yerlerdir. En kolay ve ucuz jeotermal enerji üretimi kendiliğinden yüzeye çıkan sıcak suların bulunduğu alanlarda üretilir. Bu kaynaklar çoğunlukla yeterli gelmez ve takviye gerektirir. Daha yüksek kapasiteli kaynaklara ulaşmak için sondaj çalışmaları yapılmaktadır.

2.4. Hidrojen Enerjisi

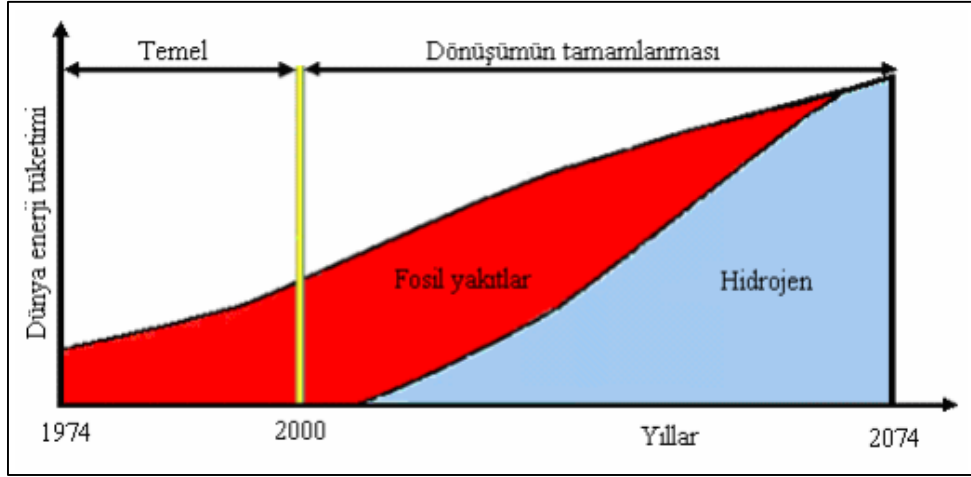
Hidrojen, yeryüzünde en fazla bulunan renksiz, kokusuz ve zehir etkisi olmayan elementtir. Hidrojen birincil enerji kaynağı olmasa da başka bir enerjisinin üretilmesi sonucunda oluşan enerji taşıyıcısı olan sentetik bir yakıt türüdür. Hidrojenin elde edilebilmesi için farklı hammaddeler bir araya getirilerek kimyasal işlemlerden geçirilir. Enerji kaynaklarının bir araya gelerek oluşturduğu sentetik yakıtlar hidrojen enerjisini meydana getirmektedir.

Hidrojen doğada bileşenleri halinde bulunmaktadır. Su yapısında hidrojen bulunduran bir moleküldür. En çok uygulanan ve bilinen hidrojen elde etme yöntemi suyun elektrolizidir. Hidrojenin enerji üretiminde kullanılması sonucunda açığa çıkan su buharı haricinde çevreye olumsuz etki edecek hiçbir unsur yoktur. Hidrojenin yanması yüksek sıcaklıkta gerçekleşirse nitrit oluşabilir. Bu kontrol altına alınabilecek düzeydedir. Diğer yakıtların kullanımı sonucunda SO₂, CO, CO₂ gibi uçucu toksit gazlar hidrojen kullanıldığında görülmemektedir (Mutlu, 2013). Hidrojen enerji kaynağından ziyade bir enerji taşıyıcısı olarak kullanılmaktadır. Hidrojen enerjisi, farklı fosil yakıtların içerisinde de bulunabilmektedir. Örneğin doğal gaz içerisinde çok yüksek seviyelerde hidrojen bulunmaktadır. Fosil yakıtlardan hidrojen enerjinin elde edilebilmesi için buhar reformasyon yönteminin kullanılması gerekmektedir.

Hidrojen havaya oranla 14,4 kat daha hafiftir. Hidrojen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına düşen enerji miktarı en yüksek yakıttır. 1 kg hidrojen 2,1 kg doğal gaz veya 2,8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Fakat birim enerji başına düşen hacmi yüksektir. Kullanımı kolay ve temiz olan yakıt olarak hidrojenin kullanıldığı enerji üretim sistemlerinde oluşan atık sadece su veya su buharıdır. Hidrojen petrol yakıtlarına göre ortalama %33 daha verimli bir yakıttır (Çanka Kılıç, 2015). Hidrojen enerji üretimi esnasında çevreye zarar verebilecek atıklar oluşmaz ve sera etkisi oluşturacak gaz çıkışı söz konusu değildir. Günümüz mevcut koşullarında hidrojen diğer yakıtlara nazaran üç kat daha pahalıdır. Hidrojenin oluşturduğu avantajlarından dolayı kullanım oranının artırılması bu tarz sistemlerde yapılabilecek teknolojik gelişmelerin durumuna bağlıdır. Hidrojen enerji sistemleri; hidrojenin mevcut enerji kaynaklarından üretildiği, taşımacılıkta, konutlarda, ticari ve endüstri sektörlerinde kullanılmaktadır. Mevsimsel veya kullanım durumuna göre artan hidrojenin depolanması yapılan alternatif kullanım yollarından biridir.

Hidrojen büyük ölçekli olarak depolama gerektiren uygulamalarda gaz halinde, havacılık ve uzay uygulamalarında sıvı halde, araçlarda ve daha küçük uygulamalarda ise metal ve hibrit halinde depolanabilir. Çok düşük sıcaklık değerleri gerektirdiğinden dolayı hidrojenin sıvı halde depolanması oldukça zordur (Mutlu, 2013).

Türkiye’de Karadeniz’in tabanında kimyasal olarak depolanmış hidrojen bulunmaktadır. Karadeniz’in suyunun %90’ı oksijensizdir ve H_2S içermektedir. H_2S ’den hidrojen üretimi üzerine yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca güneş ve rüzgar enerjisinden faydalanılarak, Karadeniz’in H_2S içeren suyundan hidrojen üretimine dair çalışmalar yapılmıştır (Torunoğlu Gedik, 2015). Dünya üzerinde hidrojen enerjisinin kullanımını sağlayan çok fazla çalışma yürütülmektedir. Başta Japonya ve Amerika olmak üzere İzlanda, Kanada gibi birçok ülkede hidrojen enerjisiyle ilgili yakıt pilleri ve hidrojen enerjisi ve kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Şekil 2.4’te hidrojen enerjisinin yıllara göre gelişim grafiği görülmektedir (Veziroğlu, 2003).



Şekil 2.4. Hidrojen enerjisinin gelişimi

Hidrojen enerjisinin avantajları;

- Hidrojen herhangi bir enerji kaynağı kullanılarak üretilebilir.
- Hidrojen elektrik kullanılarak üretilir. Buna karşın hidrojen kullanımıyla daha fazla verimle elektrik enerjisi üretilir. Son zamanlarda da güneş enerjisinden üretimi de gerçekleştirilmektedir.
- Hidrojen ikincil enerji kaynağı olmasına karşın birincil enerji kaynaklarını korur.
- Hidrojen farklı kullanım alanlarında farklı şekillerde depolanma imkanı sağlar.
- Hidrojen, depo hatları veya tanklarla uzak mesafelere taşınabilir.
- Hidrojen diğer yakıtlar gibi farklı güvenlik donanımı ve prosedürü gerektirse de diğer yakıtlara nazaran daha az tehlikelidir. Yangın tehlikesi ve zehirlenme durumu dikkate alındığında en güvenilir yakıttır.
- Kullanımı çok temiz bir yakıttır. Kullanım sonrasında doğaya zarar verecek atık veya gaz oluşumu sağlamazlar.
- Hidrojen enerjisinin kullanım sonrası sera gazı emisyon oranı sıfırdır. Bu yönden küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının azaltılmasında önemli katkısı vardır.

Hidrojen enerjisinin dezavantajları;

- Hava ile karıştığında düşük konsantrasyonlar da kolayca yanabilir. Bu durum güvenlik önlemlerini arttırmayı gerektirir.
- Hidrojenin sıvı formda depo edilmesi zordur. Çok düşük sıcaklıklar gerektirir (URL-3).

2.5. Güneş Enerjisi

Hayatın temel enerji kaynağı güneştir. Güneş, diğer bütün yenilenebilir enerji kaynaklarının (nükleer enerji kaynakları hariç) doğrudan veya dolaylı temelini oluşturur. Çoğu gezegen doğrudan güneş ışığına maruz kalmaktadır. Güneş ışığını atmosfer sayesinde filtreleyen Dünya, diğer gezegenlere nazaran konum ve yapı itibarıyla güneşten faydalanabilecek durumdadır. Birçok fosil enerji kaynaklarının temelini oluşturan güneş, dünya yüzeyine bol miktarda ışınlamaktadır. Güneşten elde edilen enerjinin, fosil ve çekirdek kaynaklarından elde edilecek enerjinin seviyesine göre çok daha büyük potansiyeli bulunmaktadır (Mohtasham, 2015).

Güneşin çekirdeğinde yoğun miktarda enerji birikmiş durumdadır. Güneşin yaydığı ve ulaştırdığı enerji, güneş çekirdeğinde meydana gelen füzyon süreciyle açığa çıkan ışınlam enerjisidir. Güneş enerjisine aynı zamanda solar enerji de denmektedir. Güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi füzyon sürecinden kaynaklanır. Güneş'ten Dünya'ya gelen bir günlük enerji bizlerin bir gün boyunca ihtiyaç duyacağı enerjinin on bin katıdır. Fakat gelen bu enerji Dünya yüzeyine yüzde yüz ulaşamaz. Hava kirliliği, oksijen ve karbondioksit emilimi gibi birçok çevresel nedenden dolayı ulaşan ışınlam miktarı gönderilen ışınlam miktarının yarısı kadardır. Atmosfer dışındaki güneş enerjisi ortalama 1.370 W/m^2 değerinde olmasına rağmen yeryüzüne ulaşan miktarı $0-1.000 \text{ W/m}^2$ 'dir (TMMOB, 2012).

Güneş enerjisi Dünya ve yaşam için hayati önemi olan temel bir enerji kaynağıdır. Canlıların yaşam döngüsünün sürdürülmesinde vazgeçilmez bir kaynaktır. Bugün Dünya'da kullanılan çeşitli enerji kaynaklarının büyük bir kısmı güneşin sağladığı çeşitli reaksiyonlar sonucu oluşmuştur. Ayrıca sadece elektrik enerjisi değil ısı enerjisi de elde edilmektedir. Güneş enerjisiyle; Dünya gündüz direkt ve gece dolaylı olarak aydınlanmakta, yeryüzü sağladığı ısıyla ısınmakta, elektrik enerjisi üretilmekte, yağışlar ile su döngüsü sağlanabilmektedir.

Gezegende en bol bulunan enerji kaynağının güneş olmasına rağmen henüz toplam enerji kaynakları içinde %0,04 seviyesinde kullanılması bu alanda çalışmalar yapılması gerektiğini göstermektedir. Tabi ki bu durumun maliyetle doğrudan bir ilgisi vardır. İlk kurulum maliyetleri yüksektir. Fosil yakıtın kullanıldığı bir enerji sisteminin maliyetinin

düşük olması tercih sebebi olabilmektedir. Fakat kullanılan yakıtların çevreye verdiği zarar düşünüldüğünde aslında gelecek için bakıldığında daha da kötü durumların ortaya çıkmasını tetiklemektedir. Bu yüzden güneş enerji teknolojileri alanında yapılan çalışmaların önemi git gide artmaktadır (Moule, 2010).

Güneş enerjisinden iki farklı yöntemle faydalanılmaktadır. Bunlar termal ve elektrikseldir. Termal güneş enerji sistemlerinde; güneş enerjisi kollektörleri kullanılarak sıcak su temini sağlanmaktadır. Elektriksel sistemlerde ise güneş panelleri veya güneş bacaları kullanarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Son yıllarda çok farklı teknolojik metotlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi güneş panelleri kullanılarak yapılmıştır.

Güneş enerjisinin avantajları;

- Yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.
- Doğaya ve çevreye karşı dost, temiz bir enerji kaynağıdır.
- Karmaşık teknolojik ihtiyacı yoktur.
- Mahalli uygulamalara elverişlidir.
- İşletme masrafları çok azdır.
- Güneş enerji sistemi kullanımından sonra gaz, duman, kükürt veya radyasyon gibi zararlı atık oluşumu yoktur.
- Güneş ışığının alınabildiği her alanda, arazide kolaylıkla faydalanılır.
- Ülkelerin enerjide dışa bağımlılığını azaltmaktadır.
- Kaynağı tükenmez olduğu için tükenmeyen bir enerji türüdür.

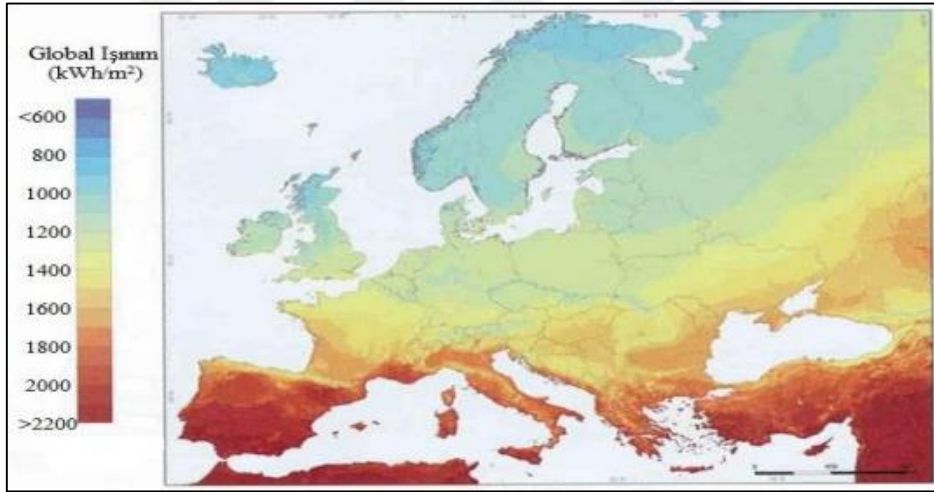
Güneş enerjisinin dezavantajları;

- Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında, güneş ışıınım miktarı azdır, geceleri ise hiç yoktur.
- Güneş enerjisinin yoğunluğu az olup, mevsime, coğrafyaya ve gölgelenme durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. İstenilen zamanda ve istenilen yoğunlukta bulunmayabilir.
- Depolamaya ihtiyaç duyulur.
- İlk yatırım maliyetleri oldukça fazladır.
- Gelen enerji miktarı kontrol edilemez. Coğrafi ve mevsimler durumlara göre artma veya azalma meydana gelebilir.

- Birim yüzeye gelen güneş ışıını az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç vardır. Büyük yüzeylere ihtiyacın olması bazen uygulama alanında sıkıntı yaratabilir.
- Güneş ışıınımdan faydalanılan sistemin güneş ışıını sürekli alabilmesi için sistemin çevresinin açık olması, gölgelenmemesi gerekir (Mertens, 2018).

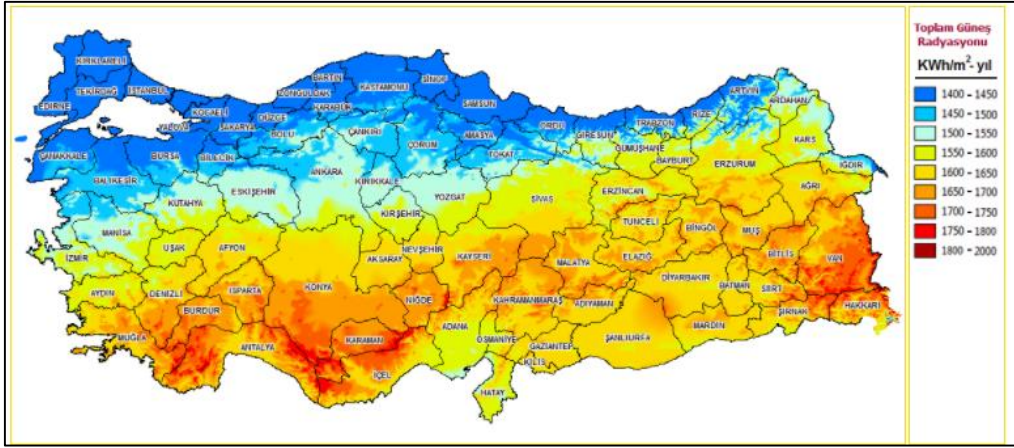
2.5.1. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye’nin coğrafi konumundan dolayı kuzey ve güney bölgeleri arasında güneş ışıını şiddetleri açısından farklılıklar vardır. Kuzey bölgelerinde, yıllık yaklaşık 1.400-1.800 kWh/m² arası güneş enerjisi potansiyeli bulunurken; ülkenin güney ve güneydoğu kısımlarında bu rakam 1.800-2.100 kWh/m²’ye kadar yükselmektedir. Şekil 2.5’te AB (Avrupa Birliği) ülkeleriyle Türkiye’nin güneş enerji haritası görölmektedir (URL-4). Haritaya bakıldığında Türkiye’nin diğer ülkelere göre güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu görölmektedir.



Şekil 2.5. AB ve Türkiye’nin güneş enerji haritası

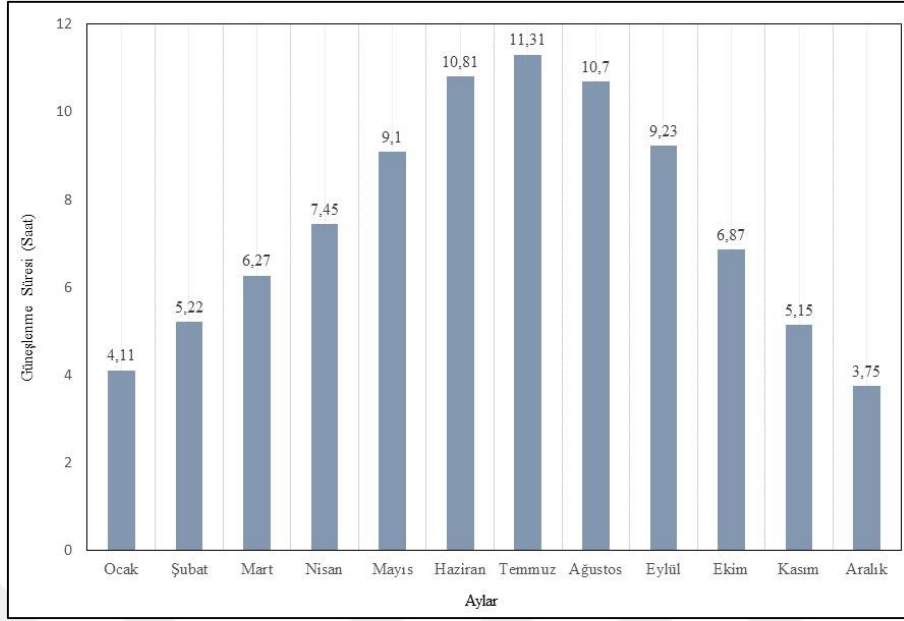
Türkiye coğrafi konumundan dolayı dört mevsimi yaşamaktadır. Ortalama güneşli gün sayısı fazladır. Şekil 2.6’da Türkiye’deki güneş enerjisi potansiyeli haritası verilmiştir (URL-5). Haritada mavi renkli bölgeler santral kurulumu için pek uygun olmayıp, sarı renkle boyanan bölgeler santral kurulumu için uygun yerlerdir. Koyu ve açık kırmızı renkli bölgeler santral kurulumu için en uygun yerlerdir. Türkiye’de en fazla güneş alan bölgeler Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz bölgesidir. Karadeniz ve Marmara Bölgeleri bu potansiyelin en az olduğu yerlerdir.



Şekil 2.6. Türkiye’deki güneş enerjisi potansiyeli haritası

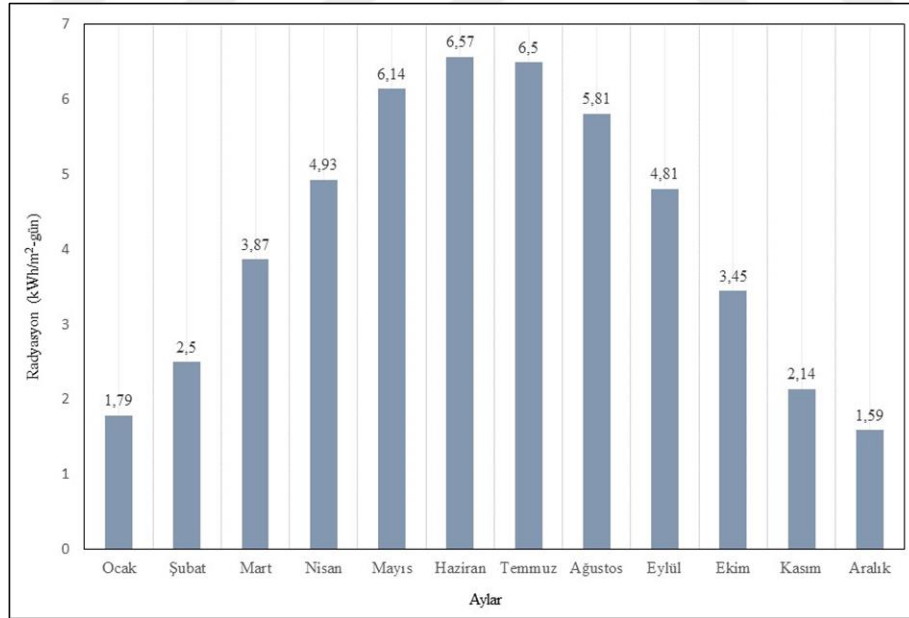
Türkiye’nin, Güneydoğu ve Akdeniz bölgeleri içinde kalan ve yüzölçümünün %17’sini kapsayan bölümünde, güneşli su ısıtıcılarının yıl boyunca tam kapasite ile çalışabilmektedir. Türkiye yüzölçümünün %63’ünü kapsayan bölümünde ise, güneşli su ısıtıcılarının yıl boyunca çalışma oranı %90 ve ülkenin %94’ünü kapsayan bir bölümdeki çalışma oranı, ise %80’dir. Türkiye’nin hemen hemen her yerinde, güneşli su ısıtıcıları yılın %70’i kadar bir sürede tam randımanla çalışabilmektedir. Bu sebeple özellikle Güney ve Ege kıyıları başta olmak üzere bütün bölgelerde güneş enerjisi kolektörleri sıcak su elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Gerekli yatırımların yapılmasıyla Türkiye yılda birim m²’den yaklaşık olarak ortalama 1.300 kWh’lik güneş enerjisi üretebilir. Dünya geneline bakıldığında Çin ve Amerika güneş enerjisi kullanımı alanında ilk sıralarda yer alan ülkelerdir (Yılmaz, 2012).

Şekil 2.7’de Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasından alınan verilerden Türkiye için aylık ortalama güneşlenme süreleri saatsel olarak verilmektedir (URL-5). Görüldüğü gibi haziran, temmuz ve ağustos ayları güneşlenme süreleri en fazla olan aylardır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nde bulunan 1966-1982 yılları arasında yapılan ölçümleri esas alan güneşlenme süresi ve ışıyım şiddeti verileriyle yapılan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü çalışmalarına göre Türkiye’nin ortalama yıllık güneşlenme süresi 2.640 saattir. Yaklaşık olarak günlük 7,2 saate denk gelmektedir (URL-6).



Şekil 2.7. Türkiye için aylık ortalama güneşlenme süreleri

Şekil 2.8’de Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasından alınan verilerden Türkiye için aylık ortalama global radyasyon değerleri $\text{kWh/m}^2\text{-gün}$ olarak verilmektedir (URL-5). Görüldüğü gibi mayıs, haziran ve temmuz ayları radyasyon değeri en fazla olan aylardır.



Şekil 2.8. Türkiye için aylık ortalama global radyasyon değerleri

Şekil 2.7 ve Şekil 2.8 birlikte değerlendirildiğinde haziran ve temmuz ayları hem güneşlenme süresi bakımından hem de radyasyon değerleri bakımından çok yüksek değerlere sahip aylardır.

2.5.2. Kocaeli İli Güneş Potansiyeli

Güneş enerjisi potansiyeli, güneş ışıınımı yani güneşlenme değışkeniyle tanımlanır. Bu değışkenin birimi kWh/m²-gün'dür ve 1 m² alana düşen günlük ortalama güneş enerjisi miktarını gösterir. Güneş ışıınımı miktarı, günlerin daha uzun olması ve güneş ışıklarının daha dik olmasından dolayı yaz aylarında en yüksek değeriine ulaşır. Türkiye'de kuzeyden güneye gidildikçe güneş ışıınım ortalama değeri artar. Aynı zamanda panellerin montajı eğimli bir şekilde yapılırsa birim yüzeye düşen ışıınım miktarı artar. Bu eğim şehirlere göre farklılık gösterir. Bunun yanında hava durumu yani bulutlu veya sisli olması durumu da ışıınım miktarını etkileyen bir başka faktördür.

Tablo 2.1'de T.C. Orman ve Su işleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 1929 – 2020 yılları arasında tespit edilen Kocaeli iline ait gerçekleşen sıcaklık ve güneşlenme süresi ortalama değeri verilmıştır (URL-7).

Tablo 2.1. Kocaeli 1929 – 2020 yılları arası ortalama sıcaklık ve güneşlenme süresi

Ay	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)
Ocak	6,1	9,6	3,1	2,5
Şubat	6,6	10,6	3,4	3,0
Mart	8,5	13,3	4,8	4,0
Nisan	12,9	18,5	8,5	5,8
Mayıs	17,6	23,3	12,8	7,3
Haziran	21,7	27,5	16,6	8,9
Temmuz	23,8	29,5	18,9	9,5
Ağustos	23,9	29,7	19,2	9,1
Eylül	20,5	26,1	16,0	7,1
Ekim	16,2	21,0	12,5	4,8
Kasım	12,1	16,4	8,7	3,6
Aralık	8,3	11,8	5,4	2,6

Güneş panelleri kuzey-güney yönünde güneye bakacak açıda konumlandırılması gerekir. Sabit panellerde bu durum değışen coğrafi koşullara göre farklı eğim açılarıyla konumlandırılır. Bölgesel enleme göre tespit edilen optimum eğim açılarında genellikle yazlık, kışkık ve yıllık mod olmak üzere üç farklı modda kullanım sağlanmaktadır.

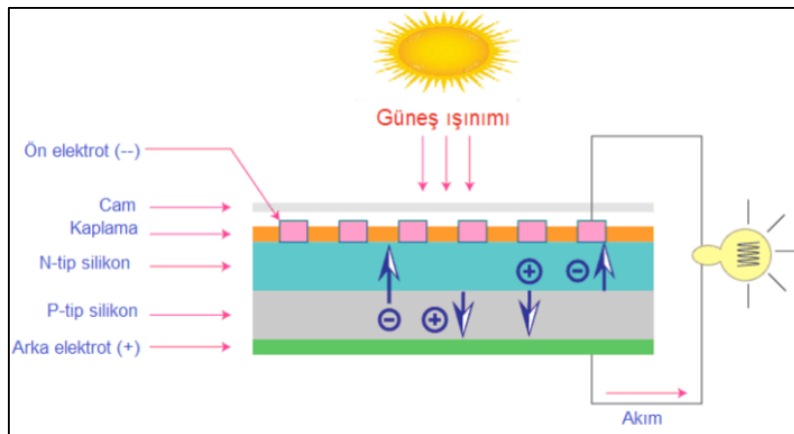
3. GÜÇ ÜRETİM SİSTEM BİLEŞENLERİ

3.1. Fotovoltaik Yapılar ve Sistemler

Güneş hem ısı hem de elektrik enerjisi üretiminde kullanılan, doğa dostu, sınırsız bir kaynaktır. Güneş enerjisinin dönüştürülüp kullanılabilmesi için bazı yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yapıların en küçük birimi güneş hücreleridir. Hücrelerin bir araya gelmesiyle modüller oluşur. Modüllerinde birleştirilmesiyle paneller meydana gelir. Tasarlanan sistemin ihtiyacına uygun gücün elde edilebilmesi amacıyla da panellerin birleştirilmesiyle solar diziler oluşur.

3.1.1. Güneş Hücresi

Fotovoltaik (PV) panelleri oluşturan güneş hücresi, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yarı iletken malzeme içerisinde valans bandındaki bir elektronun, yarı iletken malzemenin yasak bant enerjisiyle eşit ya da enerjisi daha yüksek bir fotonla karşılaşarak iletim bandına geçmesiyle elektron-boşluk çifti oluşmasına fotovoltaik etki denir. Güneş hücresindeki enerji dönüşümü elektron-boşluk çiftinden kaynaklanmaktadır. Bu etki sayesinde PV panellerden elektriksel potansiyel elde edilmektedir. Fotovoltaik etkiyi ilk olarak Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel 1839 yılında keşfetmiştir. Şekil 3.1’de güneş hücresinin çalışma ilkesi verilmiştir (Öztürk ve Kaya, 2019).



Şekil 3.1. Güneş hücresinin çalışma ilkesi

Güneş hücreleri aynı zamanda güneş pili olarak da adlandırılmaktadır. Güneş hücreleri dairesel, dikdörtgen veya kare yapıda üretilebilmektedir. Güneş hücrelerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Güneş hücreleri çok büyük bir oranda silisyum tabanlıdır. Uzun ömürlüdür, yaklaşık 20–30 yıl güç üretebilirler. Yarı iletken maddelerin güneş hücresi olarak kullanılabilmesi için “N” ya da “P” tipi olarak katkılanmaları gereklidir.

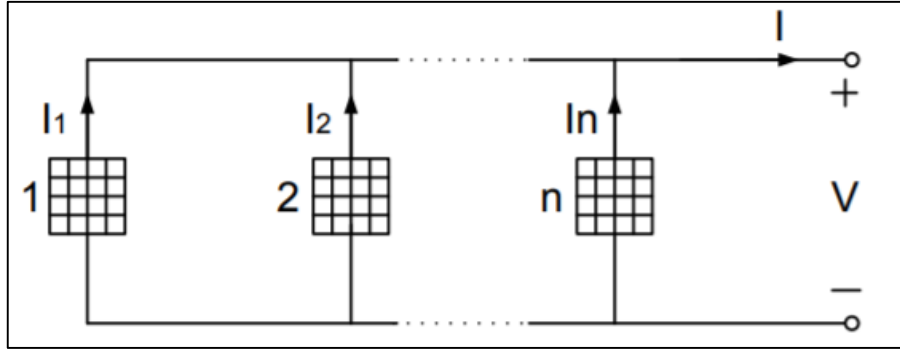
3.1.2. Yarı İletken Malzemelerin Katkılanması

Yarı iletken malzemelerin güneş hücresi olarak kullanılabilmesi için temel şart “N” ya da “P” tipi olarak katkılamalarıdır. Saf ya da yarı iletken malzemelerin içerisine belirli oranlarda istenilen katkı maddelerinin eklenmesiyle yapılır. Eklenen katkı maddesine göre elde edilen yarı iletken n ya da p tipi olur. N tipi yarı iletken, yarı iletken malzemelerin valans bantları ilave elektron katkısı barındıran malzeme tipidir. P tipi yarı iletken, yarı iletken malzemelerin valans bantlarındaki elektron katkısı azaltılmış malzeme tipidir. Yarı iletken malzeme olarak çok kristalli silisyumun yanı sıra galyum arsenide, kadmiyum tellür, bakır indiyum gibi yarı iletkenler de kullanılır (McEvoy ve diğ., 2003).

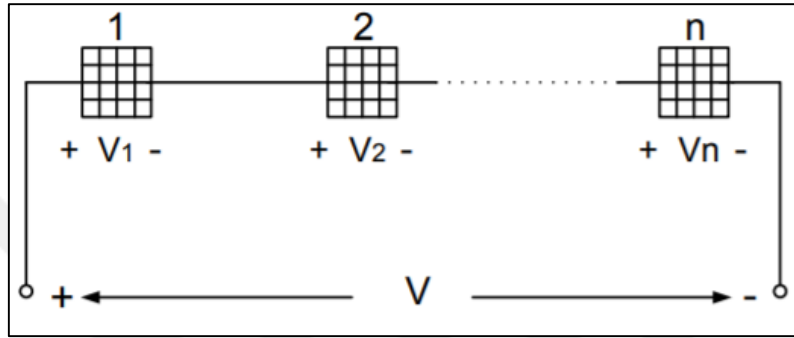
P ve n tipi yarı iletken malzemeler bir araya getirilmeden önce her iki malzemede elektriksel yük olarak nötrdür. Aralarında elektrik akımı oluşmaz. P-N eklemi oluşumu sırasında p ve n tipi yarı iletken malzemelerin üst üste gelerek eklem oluştururlar (Lynn, 2011). Oluşan bu eklemde elektrik alan meydana gelir. P-N eklem oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder ve bu etkiyle elektrik akımı oluşur (Markvart, 2000).

3.1.3. Fotovoltaik Panel

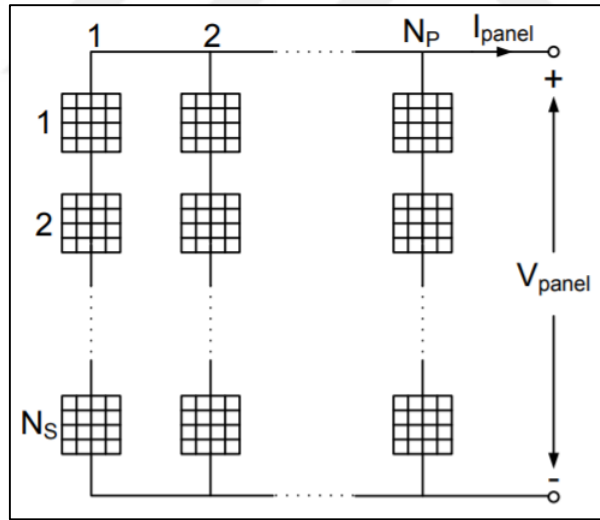
Daha fazla güç elde edebilmek için güneş hücreleri seri, paralel veya karışık olarak bağlanmaktadır. Üretilen gerilim değerinin arttırılması isteniyorsa hücreler seri, üretilen akım değerinin arttırılması isteniyorsa paralel bağlanırlar. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te hücrelerin seri ve paralel bağlanma şekilleri verilmiştir. Şekil 3.4’te ise N_P kadar koldan ve her kolda N_S kadar modülden oluşan PV panel bağlantısı verilmiştir (Ayaz, 2012).



Şekil 3.2. PV hücrelerinin paralel bağlantısı

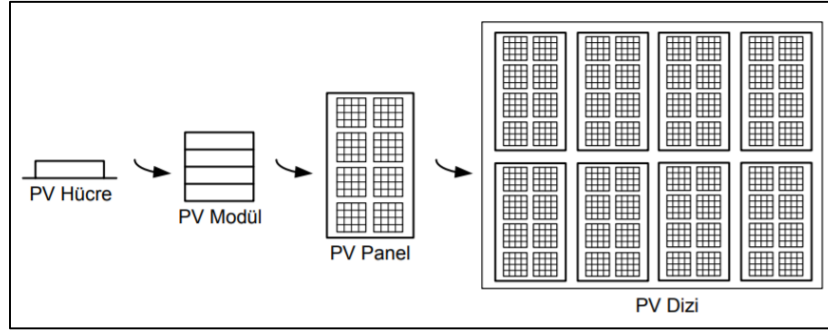


Şekil 3.3. PV hücrelerinin seri bağlantısı



Şekil 3.4. PV panel bağlantısı

PV hücreleri birleşerek modülleri, modüller birleşerek panelleri ve paneller birleşerek solar dizi oluştururlar. Çıkıştan alınan güç değerinin arttırılabilmesi amacıyla oluşturulan solar dizin yapısı Şekil 3.5'te verilmiştir (Jia ve diğ., 2019).

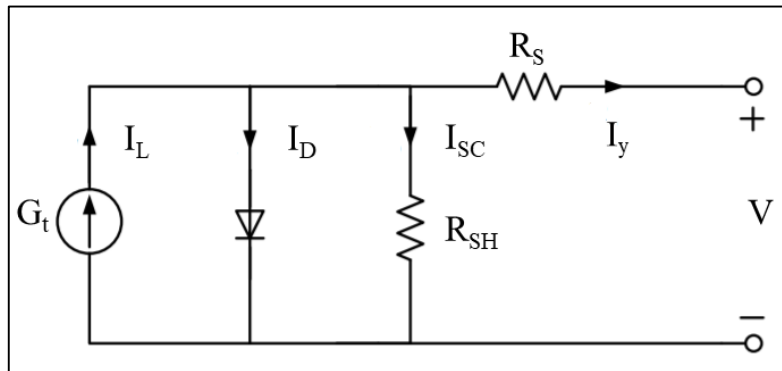


Şekil 3.5. PV hücre, PV modül, PV panel ve PV dizisi

PV panellerin verimleri yapılarına bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde bu verim %40 civarındadır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme dönüşümünün PV panelin yapısına bağlı olarak uygulamalarda %5 ile %20 arasında verimle sağlanmaktadır. PV panel verimi uygulamada %15 ve üzerindeyse panel verimli olarak kabul edilebilir. Güç dönüşümünün verimli olabilmesi sadece panelin iç yapısına değil, dış devre elemanlarına, yani çalışma noktasına da bağlıdır. PV panellerin olumsuz yönü veriminin düşük olması gibi görünse de üretim maliyetlerinin yüksek olması daha öncelikli görünen olumsuzluktur. Güneş hücreleri genel olarak 0,3-2 W, modüller 10-300 W, diziler ise daha yüksek güçlerdedir (Lynn, 2011).

3.1.4. Fotovoltaik Panellerin Matematiksel Modeli

PV panellerin teorisi, yarı iletken malzemelerin fotovoltaik etkilerinden ileri gelmektedir. Fotovoltaik etki, yarı iletken malzemelerin güneş enerjisini soğurması ve daha sonra elektron – delik çiftinin fotonlarına ayrılarak ve elektromanyetik güç üreterek birleşmesi ile oluşan bir olaydır (Xiujuan ve diğ., 2009). PV panelin eşdeğer devresi Şekil 3.6’da gösterilmiştir (González-Longatt, 2005).



Şekil 3.6. PV panelin eşdeğer devresi

Bu model bir akım kaynağı ve buna bağlı paralel bir diyottan oluşmaktadır. Güneş hücresinin gövdesi yarı iletken malzemeden olması nedeniyle diyotla modellenmiştir. Burada seri direnç (R_S) akım akışından kaynaklanan güneş hücre iç kayıplarını ifade etmektedir ve maksimum güç üretimi için küçük olması istenir. Diyota paralel bağlı (R_{SH}) direnci ise toprağa olan kaçak akımlardan meydana gelen kayıpları ifade eder ve çok küçük olduğu için genelde ihmal edilir. I_D ise kaynak üzerinden geçebilecek ters akımları önleyen diyot üzerinden geçen akımı ifade etmektedir. PV panelin eşdeğer devresi ile ilgili formüller aşağıda verildiği gibidir (Kalogirou, 2009). Denklem (3.1)'de yük akımı verilmiştir;

$$I_y = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + I_y R_S)}{AkT} \right) - 1 \right] - \frac{V + I_y R_S}{R_{SH}} \quad (3.1)$$

I_D : Diyotun jonksiyon akımı'dır ve Denklem (3.2)'deki gibi hesaplanmaktadır;

$$I_D = I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + I_y R_S)}{AkT} \right) - 1 \right] \quad (3.2)$$

şeklinde bulunur. Burada;

I_y : Yük akımı,

I_L : PV panelin çıkış akımı,

I_0 : Ters sarturasyon akımı,

q : Elektrik yükü,

k : Boltzmann sabiti,

T : Sıcaklık,

A : Diyotun kalite faktörüdür.

Diğer önemli parametrelerden biri açık devre gerilimi (V_{OC})'dir ve Denklem (3.3) ile hesaplanmaktadır;

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \approx \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} \right) \quad (3.3)$$

şeklinde bulunur.

Panel sıcaklığı, PV panellerde elektrik enerjisi üretiminde önemli bir parametredir. Panel sıcaklığının değişimi, enerji kazancını da etkilemektedir. Güneş panelinin sıcaklığı arttıkça enerji kazancı azalmaktadır. Bu durum hava sıcaklığı ile de ilişkilidir. Hava sıcaklığı arttıkça panel sıcaklığı da artmaktadır. Panelin sıcaklık artışı ile akım çok az artsa da önemli gerilim düşüşünden dolayı enerji kaybı artmaktadır. Panel içerisinde termal dengenin korunmasına ilişkin çeşitli yöntemler araştırılmakta ve denenmektedir.

V_t , termal gerilim;

$$V_t = \frac{kT}{q} \quad (3.4)$$

şeklinde bulunur. PV panelin açık devre gerilimi termal gerilim ile ifade edilecek şekilde düzenlenirse;

$$V_{OC} = V_t \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (3.5)$$

elde edilir.

PV panelin sıcaklığı, dış ortamın sıcaklığına bağlıdır. Dış ortam sıcaklığının PV panel sıcaklığına etkisi aşağıdaki formülle ifade edilir (Kalogirou, 2009);

$$T_p(^{\circ}C) = 30 + 0,00175(G_t - 300) + 1,14(T_a - 25^{\circ}) \quad (3.6)$$

T_a dış ortam sıcaklığı iken, G_t fotovoltaiik panele gelen m^2 'deki güneş ışıyım miktarını, v_r rüzgâr hızını, T_p panel sıcaklığını ifade etmektedir. Ayrıca rüzgâr hızı da, panel sıcaklığını etkilemektedir. Rüzgâr hızı arttıkça panel sıcaklığı azalır. Bu durum da panelden elde edilen elektrik enerjisi kazancında artış sağlanır. Yapılan çalışmalar sonucunda TamizhMani ve ark. aşağıdaki formülü elde etmiştir (TamizhMani ve diğ., 2003);

$$T_p(^{\circ}C) = 0,943T_a + 0,028G_t - 1,528v_r + 4,3 \quad (3.7)$$

Aynı zamanda PV panelinin kısa devre akımı ve açık devre gerilimi sıcaklıktan direkt olarak etkilenmektedir. Kısa devre akımı için aşağıdaki formül yazılabilir (Makrides ve diğ., 2009);

$$I_{SC}(T) = I_{SC}(25^{\circ})[1 + a(T_p - 25^{\circ})] \frac{G_t}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (3.8)$$

Formüldeki T_p , panel sıcaklığı, G_t , güneş paneline gelen m^2 'deki güneş ışıyım miktarını, a , kısa devre akımının sıcaklık katsayısını ifade etmektedir.

Açık devre gerilimi için aşağıdaki formül yazılabilir (Makrides ve diğ., 2009);

$$V_{OC}(T) = V_{OC}(25^{\circ})[1 + \beta(T_p - 25^{\circ})] \quad (3.9)$$

Bu formülde T_p , panel sıcaklığı; β , açık devre geriliminin sıcaklık katsayısını göstermektedir. Birim alana gelen güneş ışıyım miktarı arttıkça PV panelden elde edilen güç değeri de artmaktadır. PV panelin yüzey sıcaklığı değiştiğinde ise, panel gerilim ve akım değerleri ve buna bağlı olarak panel gücünde değişmektedir.

3.1.5. Fotovoltaik Sistemlerin Maksimum Güç Noktası

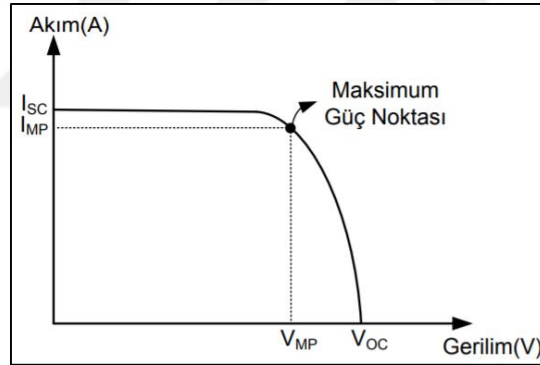
PV sistemler ile güneş enerjisinden direkt olarak elektrik enerjisi üretmek mümkün olmaktadır. Fakat PV sistemlerde, PV panellerin elektrik dönüşüm verimliliklerinin düşük olması (özellikle düşük ışıyım değerleri altında %17'den daha az) ve PV panellerden elde edilen gücün hava şartlarında göre değişken olmasından dolayı güneş enerjisinden yüksek verimle yararlanılamamaktadır (Berrera ve diğ., 2009).

Güneş hücreleri, doğrusal olmayan akım ve gerilim karakteristiğine sahiptir. Panel gerilimi ve gücü, çekilen akıma bağlı olarak değişir. Güneş hücreleri ile elde edilecek akım oranı ise hücre yüzeyine bağlı olarak değişir. Hücre alanı ne kadar büyük olursa daha fazla güneş ışıyımını çekeceğinden üretilecek akımda o oranda artar. Yüksek güçlerin elde edilebilmesi için genelde PV paneller seri veya paralel olarak ya da karma olarak bağlanmaktadır. PV panellerini yüksek verimle çalıştırabilmek için karakteristiklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca seçilen panelin uygulama alanı için doğru seçilmesi gerekmektedir.

Panellerin değişken yükler altında maksimum verimle kullanılabilmesi için maksimum güç noktalarının değişken sıcaklık ve ışıyım değerlerinde takip edilmesi gerekmektedir. Böylece PV panelin verimi sürekli olarak en yüksek seviyede tutulabilir. Maksimum güç

transferi teorisine göre, kaynak ve yük empedansları eşit olduğunda yüke maksimum güç aktarılır. Böylece anahtarlama dönüştürücünün empedansı anahtarlama darbe boşluk oranı ayarlanarak PV panelin empedansı ile eşitlendiğinde maksimum güç noktasında çalışma sağlanmaktadır. Maksimum güç noktası takip sistemi içeren PV panel sistemleri, içermeyen sistemlere göre %45 daha fazla enerji iletebildiği tespit edilmiştir.

Maksimum güç takibi için yükseltici (boost) veya alçaltıcı (buck) DC/DC dönüştürücüler (Direct Current- Doğru Akım dönüştürücüler) kullanılmaktadır. Dönüştürücülerin anahtarlama oranında yapılacak olan değişiklik yükün empedansına etki etmekte ve anahtarlama oranları değiştirilerek yüke maksimum güç transferi gerçekleştirilmektedir. DC/DC dönüştürücünün anahtarlama oranını değiştirerek maksimum güç noktası takip işleminde dirençteki değişiklik gücün tepe noktasındaki değişime karşılık gelir. PV panellerin maksimum güç noktasının tespit edilmesi için birçok yöntem vardır. Şekil 3.7’de standart koşullar altında PV panelin akım-gerilim grafiği verilmiştir (Özçelik, 2015), (Çakmak, 2012).



Şekil 3.7. Standart koşullar altında PV panelin akım-gerilim grafiği

3.1.6. Fotovoltaik Panellerin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Hareketli parçası olmayan, çok bakım gerektirmeyen ve uzun ömürlü yapısıdır.
- Gaz emisyonu ve gürültü oluşturmaz.
- Yakıt maliyeti oluşturmaz.
- Hemen hemen her yerde kullanılabilir.
- Güvenilirdir.
- Kurulumu basittir.

- İzlenmeden geniş zaman aralığında çalıştırılabilir.
- Çoğu alanlarda öngörülebilir güç çıkışı vardır.
- Sessiz ve rahatsız etmeyecek şekilde çalışır.
- Güneş enerjisi akıllı şebekeleri ve özellikle enerji dağıtım ve üretim sistemleri için uygundur.

Dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Geniş alan gerektirir.
- Temel yüklere uygun değildir.
- Depolama sistemine ihtiyaç duyulur.
- Kurulum maliyeti yüksektir.
- Güç çıkışı bazı alanlarda değişken olabilir.
- Fazla güneş ışınına maruz kalması gerekir.

3.1.7. Fotovoltaik Panel Çeşitleri

PV paneller, kristal silisyum ve ince film olarak gruplandırılmaktadır. Silisyum, en çok kullanılan yarı iletken malzemedir. Silisyumdan sonra en çok kullanılan yarı iletkenler galyum arsenit ve kadmiyum tellürdür.

3.1.7.1. Kristal Silisyum Panelleri

Günümüzde silisyum PV panel yapımında en çok kullanılan yarı iletkenidir. Saf silisyum yalıtkan olmasına rağmen katkılama işlemi yapılarak yarı iletken özelliği kazandırılabilir. Silisyumun doğada bolca bulunması avantaj oluştururken yarı iletken olabilmesi için geçmesi gereken aşamalardan dolayı dezavantajlıdır. Silisyum, saflaştırılma aşamasında yüksek dereceli fırınlardan geçer ve daha birçok prosesin işletilmesi gerekir. Bu yüzden panel maliyetleri yüksektir. Kristal silisyumlu paneller mono ve poli olarak iki farklı kristal yapıda üretilirler.

Mono kristal silisyum paneller, PV paneller içerisinde verimleri en yüksek panel çeşididir. Laboratuvar şartlarında %25, ticari paneller şekline getirildiğinde %15 civarında verim elde edilebilmektedir. Genellikle küçük alanlarda büyük güçler üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Yapım aşamasında, mono kristal plaka katmanlar halinde kesilerek panel zemini üzerinde lehimlenerek birleştirilmektedir. Bu sebeple poli kristal silisyum

panellere göre görünüş bakımından farklılıklar taşımaktadır. Yapımı ve dilimlenme kısmında malzeme kaybı, direnç oluşumu gibi durumlar ise sistemin dezavantajlarıdır. Bu nedenle fiyatları diğer panellere nazaran yüksektir. Bilinen en uzun ömürlü paneller maksimum 50 yıl civarında olup, genel ortalama 25-30 yıl civarındadır (Sumathi ve diğ., 2015).

Poli kristal silisyum panellerin üretimi mono kristal silisyum panellerine göre daha ucuz maliyetli ve zahmetsiz olmasına karşın verimleri daha düşüktür. Verimleri laboratuvar şartlarında %18 civarlarında iken ticari paneller şekline getirildiğinde %13 – %14 civarında verim elde edilebilmektedir. Yapım aşamasındaki kesim işlemlerinde malzeme kaybının az olmasından dolayı maliyetleri daha düşüktür.

3.1.7.2. İnce Film Paneller

Teknolojik gelişmelerin artması, yeni alaşımların kullanılmaya başlanması ve nanoteknolojinin ilerlemesiyle ince film paneller gibi farklı panel çeşitleri oluşturulmaya başlanmıştır. Bu sayede soğurma özelliği daha yüksek ve daha ince yapıda ince film paneller üretilmektedir. İnce film yapıda paneller, diğer panel tiplerinden oldukça farklı bir yapıya sahiptir. Hücreler arasında ekstra bağlantıya ihtiyaç duyulmaz.

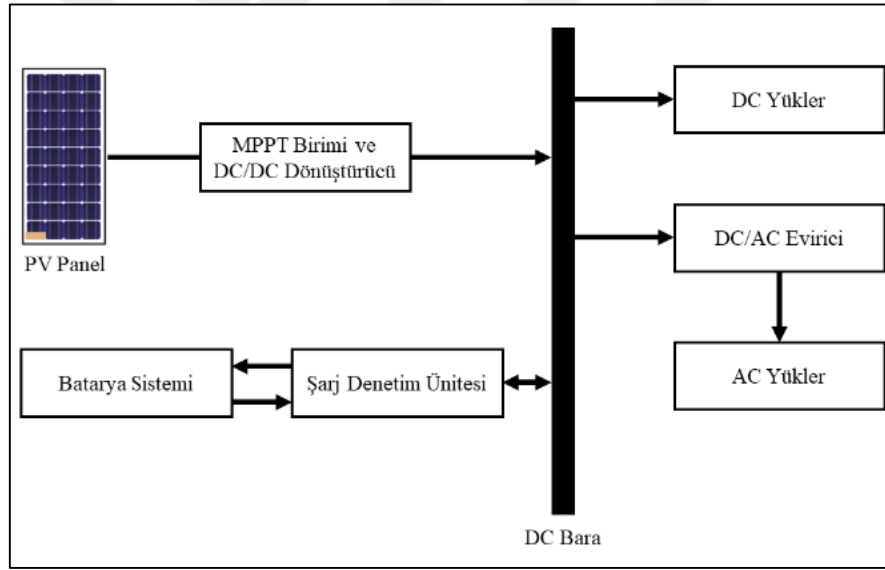
Bu tip panellerin, mono ve poli kristal silisyum panellerden daha verimsiz olmasına rağmen üretim maliyetlerinin oldukça düşük olması nedeniyle tercih oranları oldukça yüksektir. İnce film panellerin özellikle yapısı nedeniyle bina cephe, çatı kaplama gibi uygulama alanlarında ve küçük elektronik cihazlarda kullanılmaktadır (Patel, 2005).

3.1.8. Fotovoltaik Sistemler ve Uygulamaları

PV paneller, elektrik enerjisinin ihtiyaç olduğu her türlü uygulamada kullanılabilir. Uygulamaya bağlı olarak akümülatörler, eviriciler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik komponentler ile birlikte kullanılarak PV sistemi oluştururlar. Bu sistemler şebeke ile bağlantılı olarak veya yerleşim yerlerinden uzak, kırsal alanlarda şebekeden bağımsız veya karma bir şekilde çalışabilirler.

3.1.8.1. Şebeke Bağlantısız Sistemler

Şebeke bağlantısız sistemler şebeken uzak konumlarda, elektrikli araçlarda, kırsal alanlardaki küçük uygulamalarda kullanılmaktadır. Şebeke bağlantısız sistemler, yük talebini tek başına karşılamasının yanında artan enerjiyi de sisteme kazandırmak ve güneş ışınlarının olmadığı zamanda kullanabilmek için batarya ile kullanılabilir. Şekil 3.8’de şebeke bağlantısız sistem yapısı gösterilmektedir (Patel, 2005).

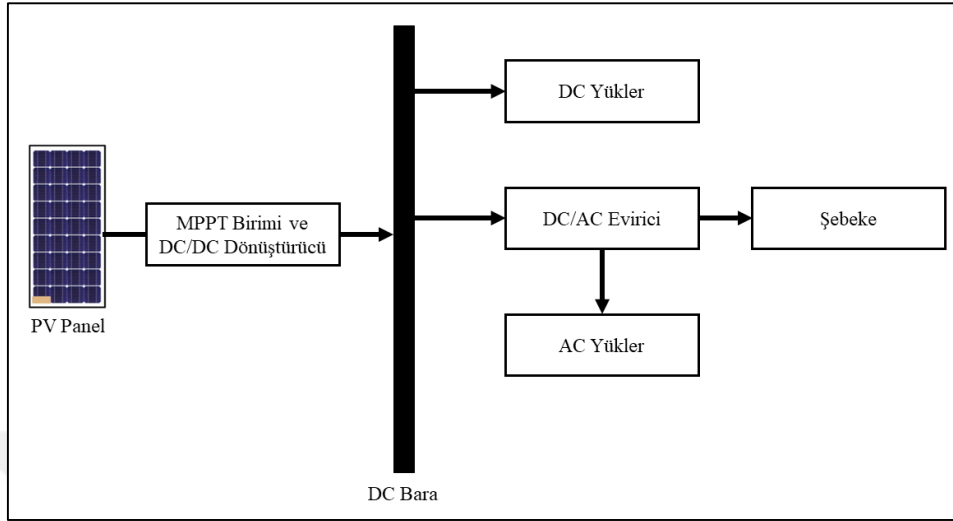


Şekil 3.8. Şebeke bağlantısız sistem yapısı

3.1.8.2. Şebeke Bağlantılı Sistemler

Şebeke bağlantılı sistemler, günümüzde yaygın kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler; direkt dağıtım trafosuna bağlanabilir veya evlerden şebeke bağlantısı sağlanabilir. Panel çıkışında üretilen gücün maksimum seviyede kullanıma sunulabilmesi için maksimum güç noktasını takip edebilen DC/DC dönüştürücüler kullanılmaktadır. Panelden elde edilen DC gücün sabit tutulması için de DC/DC dönüştürücülerden yararlanılır. Elde edilen DC biçimindeki gücü AC biçime çevirebilmek için AC/AC eviriciler kullanılarak

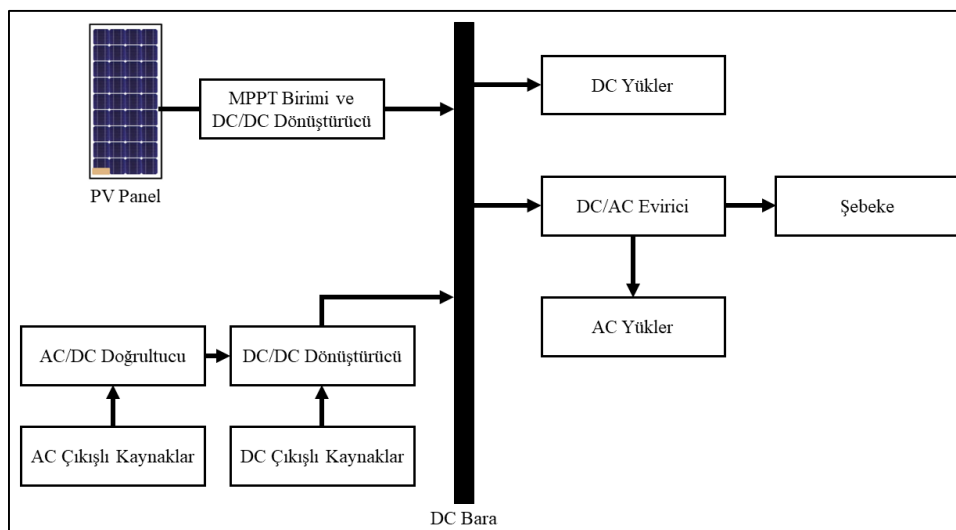
yüke AC güç iletilir. Şekil 3.9’da şebeke bağlantılı sistem yapısı gösterilmektedir (Patel, 2005).



Şekil 3.9. Şebeke bağlantılı sistem yapısı

3.1.8.3. Hibrit (Karma) Sistemler

PV panellerin, rüzgâr sistemlerinin, yakıt hücresinin, dizel jeneratörlerin ve diğer güç kaynaklarının bir arada kullanıldığı sistemler karma sistemlerdir. Bu sistemlerde gerekli dönüştürücüler ve eviriciler kullanılarak ortak bir barada toplanır. Üretilen enerji yüklere ve şebekeye aktarılmaktadır. Şekil 3.10’da şebeke bağlantılı karma sistem yapısı gösterilmektedir (Patel, 2005).



Şekil 3.10. Şebeke bağlantılı karma sistem yapısı

3.2. Enerji Depolama Birimleri

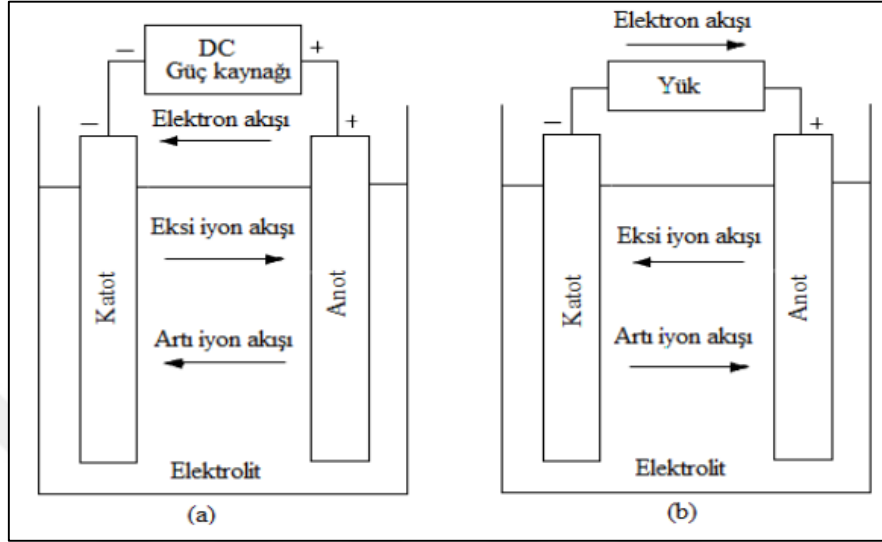
Yenilenebilir enerji sistemlerinin kaynakları doğadan karşılanmaktadır. Güneş enerji sisteminin kaynağı güneş, rüzgar enerji sistemlerinin kaynağı rüzgar, hidroelektrik sistemlerin kaynağı sudur. Bu gibi sistemler, kaynak bakımından doğaya bağımlıdır. Değişen hava koşulları ve coğrafi yapıdan dolayı her yerde her zaman aynı enerji miktarı üretilemez. Üretilen enerji haftalık, günlük hatta anlık olarak değişmektedir. Bu değişiklik özellikle şebeke bağlantısı olmayan sistemlerde zorluk yaratır. Çünkü bazı durumlarda üretilen enerji, talep edilen enerjiyi karşılayamaz. Bu tarz sistemlerde ana kaynağın enerji üretememesi veya üretilen enerjinin yetersiz gelmesi veya talep edilenden fazla enerji üretilmesi gibi durumların en iyi şekilde yönetilebilmesi için enerji depolama birimleri kullanılmaktadır. Aynı zamanda enerji depolama birimleri; sistem verimliliğini arttırması, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonuna olanak sağlaması, şebeke kararlılığını ve güvenilirliğini arttırması, enerji güvenliğini arttırması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmasından dolayı sera gazı emisyonunu azaltması gibi avantajlar sağlar.

Enerji depolama teknolojileri; elektriksel, mekaniksel, kimyasal ve ısı depolama teknolojileridir. Elektriksel enerji depolama teknolojileri; güç kalitesinin iyileştirilmesinde, elektrikli araçlarda ve akıllı şebekelerde uygulanmaktadır. Kapasitörler, ultra kapasitörler ve süper iletken manyetik enerji depolama teknolojileridir. Mekaniksel enerji depolama teknolojileri, potansiyel ve kinetik enerji olarak depolama yapmaktadırlar. Volanlar, pompalı hidroelektrik depolama ve sıkıştırılmış hava ile enerji depolama teknolojileridirler. Kimyasal depolama teknolojileri ise bataryaları kapsamaktadır (Zhang ve diğ., 2018).

3.2.1. Batarya

Yenilenebilir enerji sistemlerinde ana kaynak tarafından enerji üretilir. Talep edilen enerjinin karşılanmasının dışında fazla olan enerji bataryalarda depo edilir. Çevresel etkilere bağlı olan kaynaklar bazen yeterli enerjiyi üretemez. Gerektiği durumlarda bataryada tamamlayıcı kaynak olarak kullanılır ve depolanan enerji sisteme verilir. Bataryaların şarj-deşarj olma olanakları olduğu için tekrar tekrar kullanılabilir. Şarj vedeşarj durumları belirlenen kritik değerler arasında gerçekleştirilir. Bu değerlerin

dışına çıkılması bataryada kullanım ömrünü azaltır. Şekil 3.11’de batarya hücresinin elektrokimyasal şarj-deşarj durumları verilmiştir. Görüldüğü gibi şarj vedeşarj durumunda iyon akışları birbirinin tersi yönündedir (URL-8).



Şekil 3.11. Bataryadaki elektrokimyasal durumlar a) şarj, b)deşarj

Bataryalar, akım veya gerilim denetimli şarj edilirler. Gerilim denetimiyle şarj olma esnasında uygulanan şarj geriliminin artırılması şarj süresini kısaltır ancak gerilim artışı iç kayıpların da artmasına neden olur. Bu da bataryanın kullanım ömrünü azaltır. Sabit akım ile bataryaların şarj edilmesi sabit gerilim yönteminden daha uzun zaman alır, ancak daha sağlıklıdır. PV panel de bir akım kaynağı gibi davrandığı için panel içeren sistemlerde kullanılabilecek en elverişli yöntem akım denetimi yöntemidir (Ioannou ve diğ., 2016).

3.2.2. Batarya Çeşitleri

Batarya sistemleri elektrik enerjisini kimyasal formda depolamanın uygulanmış en eski yöntemlerinden biridir. Bataryalar; kameralar, cep telefonları, laptoplar gibi elektronik cihazlardan taşıt sistemlerine kadar birçok uygulama alanına sahiptir. Farklı uygulamalardaki ihtiyaçları karşılamak açısından birçok farklı batarya çeşitleri geliştirilmiştir. Günümüzde ticari olarak mevcut olan batarya çeşitleri kurşun-asit, lityum-iyon, nikel-kadmiyum, nikel metal hidrit, sodyum-sülfür ve sodyum-nikel klorit bataryalar olarak sıralanabilir. Bu çalışmada sadece birkaçı için detay verilecektir.

Batarya çeşitleri arasında en çok kullanılan kurşun-asit ve lityum-iyon batarya teknolojileridir.

3.2.2.1. Kurşun-Asit Bataryalar

Kurşun-asit bataryalar elektrik enerjisinin depolanması hususunda en çok tercih edilen teknolojidir. Yatırım maliyetinin düşük olması, şarj edilebilir bataryalar arasında en düşük self-deşarja sahip olması ve bakımının kolay olması avantajlarıdır. Sınırlı çevrim ömrü, düşük enerji yoğunluğu, düşük ve yüksek ortam sıcaklıklarında azalan performans, derin deşarja karşı hassasiyet ve çevresel olarak zararlı kurşun bileşenini ve asit elektroliti bünyesinde barındırması gibi dezavantajları vardır. Sistem işletim maliyetleri batarya bakımı ve yenilenmesini içerir. Uzun işletme sürelerinde maliyet önceki durumlara göre artmaktadır.

Tablo 3.1’de kurşun-asit bataryalar ile diğer bataryaların enerji ve güç yoğunluklarının karşılaştırılması verilmiştir. Kurşun-asit bataryaların enerji yoğunluklarının düşük olmasına rağmen, güç yoğunlukları diğer bataryalardan yüksektir (Liang ve diğ., 2019).

Tablo 3.1. Bataryaların enerji ve güç yoğunlukları

Batarya Tipi	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Güç Yoğunluğu (W/kg)
Kurşun-asit	35-40	75-300
Nikel kadmiyum	40-60	150-300
Nikel demir	50-70	70-150
Nikel metal hidrür	55-85	100-300
Çinko bromür	70-85	90-110
Sodyum nikel klorür	80-120	130-160
Lityum metal sülfür	100-130	150-250
Lityum polimer	155	100-315
Sodyum sülfür	150-240	90-230

PV sistemlerde pek çok batarya tipi kullanılabilir olsa da en çok kullanılan batarya tipi kurşun asit bataryalardır. Lityum-iyon ve lityum-polimer batarya türlerinin kurşun asit batarya tipine göre artıları olsa da kurşun asit bataryaların fiyattan kaynaklı bir üstünlüğü söz konusudur. Kurşun asit bataryaların sahip olduğu en olumsuz özellik gravimetrik enerji yoğunluğunun yani ağırlığı başına düşen enerji miktarının düşük olmasıdır. Mobil

uygulamalar için sorun teşkil edebilecek bu kriter bataryanın sabit olduğu PV sistemler için sorun oluşturmamaktadır (Sharma ve diğ., 2020).

3.2.2.2. Lityum-İyon Bataryalar

Lityum-iyon bataryalarda elektrotlar karbon ve metal oksit, elektrolit ise lityum tuzu çözeltisidir. Lityum-iyon bataryalar şarj edilebilir. Diğer batarya teknolojilerine kıyasla yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler ve 3,6 V gerilim üretebilirler. Enerji kapasitelerinin yüksek olması, şarj tutma süreleri uzun olması ve diğer bataryalara göre çok daha hafif olması avantajlarıdır. Lityum-iyon bataryaların diğer şarj edilebilir bataryalar gibi tam deşarj olmadan şarj edilme sorunu yoktur (Chemali ve diğ., 2016)

İlk yatırım maliyetinin yüksek olması ve hassas çalışma limitlerinden ötürü karmaşık şarj yönetim sistemi bulundurması dezavantajlarıdır (Scrosati ve Garche, 2010). Bunun yanı sıra, aşırı şarj gibi durumlar lityum-iyon bataryaların yapısında oldukça kalıcı hasarlara yol açabilmektedir. Ayrıca güvenlik, düşük çevrim ömrü, performansın sıcaklıktan oldukça fazla etkilenmesi ve içyapısında kullanılan materyalin bulunmasının zor olması lityum-iyon bataryaların günümüzde sık kullanılmasını engeller.

3.2.2.3. Nikel-Kadmiyum Bataryalar

Yaklaşık 100 yıllık geçmişleriyle nikel-kadmiyum bataryalar, kurşun-asit bataryalar gibi teknolojik olarak gelişmişlerdir. Bu tip bataryalar; bir adet pozitif nikel hidroksit plakasından, bir adet negatif kadmiyum hidroksit plakasından, alkalın elektrolitten ve bir separatörden oluşurlar.

Yüksek raf ömrü sayesinde uzun süre kullanımda bakıma ihtiyaç duymazlar. Güvenilir olmaları, hızlı şarj özelliği, kapasiteden kaynaklı kayıpların olmaması avantajlarıken yüksek maliyet, kadmiyumun çevresel olan etkisi ve düşük çevrim sayıları ise dezavantajlarını oluşturmaktadır. Tren ışıkları, saatlerde ve askeri amaçlarda kullanılmaktadır (Sharma ve diğ., 2020).

3.2.2.4. Nikel Metal Hidrit Bataryalar

Nikel metal hidrit bataryalar, nikel-kadmiyum bataryalarının dezavantajlarına bir alternatif sağlamak için geliştirilmiştir. Kadmiyum elektrot yerine metal hidrit kullanılır.

Her iki bataryanın da nominal gerilim değerleri eşit iken nikel metal hidrit bataryalar daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Ancak nikel metal hidrit bataryalar, nikel kadmiyum bataryalara göre daha yüksek öz boşalım oranına sahiptir. Aşırı şarj durumunda daha düşük güvenirlik oluştururlar. Cep telefonlarında ve portatif uygulamalarında kullanılmaktadır (Sharma ve diğ., 2020).

3.2.2.5. Lityum-İyon Polimer Bataryalar

Lityum-iyon bataryalarla hemen hemen aynı özelliklere sahiptirler. Aralarındaki tek fark, lityum-iyon polimer bataryaların elektrolit olarak polimer malzeme kullanmasıdır. Polimer elektrolit malzemenin elektrik iletkenliği diğer organik sıvı elektrolitlerden daha yüksektir. Ayrıca polimer elektrolit malzemenin kullanılmasıyla lityum-iyon polimer bataryalar daha kolay ve daha hızlı üretilirler (Sharma ve diğ., 2020).

3.2.2.6. Lityum Sülfür Bataryalar

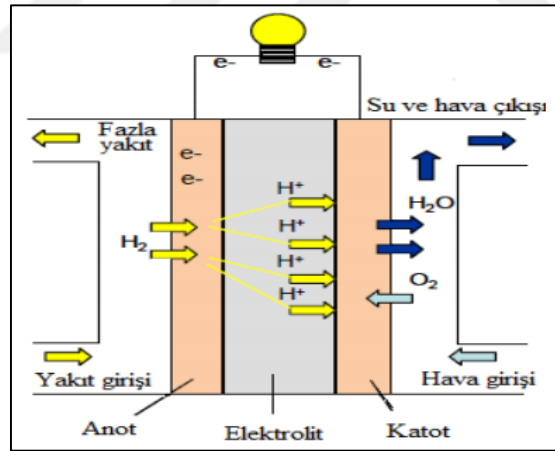
Kükürtün katot malzemesi olarak kullanıldığı, lityum bazlı batarya çeşididir. Lityum sülfür bataryalar nano-teknolojik bir gelişme temelinde düşünüldüğünde, geleceğin batarya teknolojilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Yüksek enerji yoğunluğuna, yüksek şarj verimliliğine, düşük hücre voltajına ve düşük ortalama çevrim ömrüne sahiptirler. Hem maliyeti hem de kendine özgü enerji yoğunluğu ile elektrikli araçlarda kullanılabilecek bataryalar arasında en büyük aday olmuştur. Lityum sülfür bataryalar çeşitli uygulama alanlarında sıklıkla kullanılan lityum-iyon ve lityum polimer bataryalara nazaran hiçbir güvenlik problemi oluşurmazlar. Hafıf, güvenli ve bakım gerektirmeyen hücelere sahiptirler. Bu bataryaların en önemli özelliklerinden biri ise %100 deşarj olabilmeleridir (Sharma ve diğ., 2020).

3.3. Yakıt Hücresi

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin artması ve çevreci yaklaşımın benimsenmesiyle hidrojen enerjisiyle çalışan yakıt hücrelerine olan ilgi de artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uzun süreli kullanımında, yakıt hücresi sistemleri yardımcı kaynak olarak kullanılabilirler.

Çalışmaları pil gibidir, farkları ise, gücünde zayıflama olmaması, şarj gerektirmemesi, sessiz ve verimli çalışmasıdır. Yakıt sağlandığı müddetçe yakıt hücresi elektrik formunda enerji ve ısı, su/su buharı üretir. Genellikle bu yakıt hidrojendir. Yenilenebilir hibrit enerji sistemlerinde uzun süreli kaynak olarak yerini alan yakıt hücreleri atık olarak su ve ısı açığa çıkarılmasıyla sadece elektrik enerjisi değil ısı enerjisiyle de farklı alanlarda verimlilik sağlamaktadır. Yakıt hücrelerinin diğer adı da yakıt pildir (Arshad ve diğ., 2019).

Yakıt hücreleri, yakıtın ve oksitleyicinin sahip olduğu kimyasal enerjiyi elektrot-elektrolit sistemiyle elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Yakıt hücresinin anodundan hidrojen, katodundan hava yani oksijen girmektedir. Hidrojen, yakıt hücresinin katmanlarından geçerken elektron ve protonlarına ayrılmaktadır. Elektrolit elektron geçişini engellerken protonların katoda iletilmesini sağlar. Elektronlar harici bir devre sayesinde elektrik akımı ve ısı açığa çıkarır. Katotta devreden gelen elektron ve hidrojen protonlarının oksijenle birleşmesiyle atık olarak su açığa çıkmaktadır. Şekil 3.12’de yakıt hücresinin kimyasal reaksiyonu verilmiştir (Wanik, 2011).



Şekil 3.12. Yakıt hücresi kimyasal reaksiyonu

Yakıt hücresinin plaka yüzeyi akım şiddetini, plakaların seri bağlanması ise gerilimi etkiler. Birçok plakanın yan yana bağlanması ile elde edilen sisteme stak (yığın) adı verilir. Staklar kendi aralarında seri ve paralel bağlanmaları ile istenilen gerilim DC olarak elde edilir.

Yakıt hücresi sistemlerinin, yapılarında hareketli parçalar içermediklerinden dolayı düşük gürültü seviyesine sahip olması, düşük bakım potansiyeli ve kısmi yük yönetimi, düşük

emisyon ve küçük üniteler ile dahi %85-90'lık bir verimle çalışmaları avantajlarıdır. Düşük emisyon ve gürültü seviyeleri sebebiyle, yakıt hücreleri özellikle konutsal, ticari ve kurumsal uygulamalarda kullanılmaktadır. Aynı zamanda modüler yapısı ve yakıt çeşitliliği sayesinde farklı kullanım alanlarına sahiptir. Yakıt hücresi sistemlerinin yüksek maliyeti ve kısa ömürleri dezavantajlarıdır (Küpeli, 2020).

Uzayda, otomotiv sanayinde, evler için bireysel güç üretiminde, askeriye için taşınabilir güç kaynaklarında, aydınlatma için acil durum elektrik üretiminde, bilgisayarlarda, tıbbi cihazlarda, cep telefonlarında, televizyonlarda ve güç eksikliği hissedilen yerlerde kullanılabilirler.

3.3.1. Yakıt Olarak Hidrojen

Yakıt hücrelerinde; yakıt olarak hidrojen, hidrokarbon, doğalgaz veya metanol kullanılabilir. Su ve ısıнын açığa çıkması yakıt olarak hidrojenin kullanılmasıyla mümkündür. Fosil yakıtlara alternatif oluşturacak yeni enerji kaynaklarının, atıksız ve tükenmez olmalarına karşın potansiyellerinin düşük olması ve zamanla şiddetlerinde farklılık göstermesinden dolayı depolama ihtiyacı duyulur. Bu nedenle yakıt hücrelerinde oluşturulan sistemlerde tanklar bulunmaktadır.

Yakıt olarak birçok opsiyon olmasına karşın genellikle yakıt hücrelerinde hidrojen tercih edilmektedir. Yakıt olarak hidrojen çeşitli avantajlara sahip ideal enerji taşıyıcısıdır. Aşağıdaki maddelerde yakıt olarak hidrojenin tercih edilmesindeki nedenler verilmiştir.

- Elektrik kullanılarak hidrojen elde edilebilir. Nispeten hidrojen de yüksek verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.
- Hammadde sorunu yoktur. Doğada farklı formlarda da olsa kullanılan teknikler ve gelişen teknolojiyle hidrojen kolaylıkla elde edilebilir.
- Enerji üretimi sonrasında su ve ısı açığa çıkarmasından dolayı tamamen yenilenebilir enerji kaynağıdır.
- Hidrojen sıvı, gaz veya metal hidrit şeklinde farklı depolanabilme opsiyonlarına sahiptir.
- Boru hatları ve tankerlerle kullanıcının uzak olduğu yerlere de taşınabilir.

- Çevreye duyarlı ve uyumlu bir enerji taşıyıcısıdır. Herhangi bir sera gazı üretimi söz konusu değildir.
- Yakıt hücresi sistemleri çok az yer kaplarlar. Fazla yer kaplayan enerji üretim tesisleri ürettikleri atıklara da bağlı olarak yerleşim yerlerinden uzak alanlara kurulum gerektirmektedir. Bu da üretilen enerjinin iletilmesi ve dağıtılmasında enerji kayıplarına neden olmaktadır.
- Yangın tehlikesi ve zehirlenme durumları göz önünde bulundurularak gerekli güvenlik tedbirlerinin alınması durumunda hidrojen oldukça güvenilir bir yakıttır.
- Düşük etkin maliyete sahiptir.

Hidrojenin tek olumsuz yönü metaller ve elementler üzerindeki etkisidir. Yakıt olarak hidrojen tercih edildiğinde temas edeceği malzemelerin dikkatle seçilmesi veya seçilen malzemeye hidrojenin etkisinin ne derece olduğunun göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Chiu ve diğ., 2004).

3.3.2. Yakıt Hücresi Çeşitleri

Yakıt hücrelerinde dönen veya hareket eden parçalar bulunmadığı için ses kirliliği oluşturmaz. Günlük yaşamda pek çok uygulama alanında kullanılabilirler. Yakıtlı beslendiği sürece herhangi bir dolma-boşalma sorunu olmadan enerji üretirler. Yakıt hücresi sistemlerinin tasarımı sade ve kolaydır.

Yakıt hücreleri; çalışma sıcaklığına, elektrolitlerinin bulunduğu faz çeşidine, elektrolit maddesine, kullanılan yakıt çeşidine ve gerçekleşen tepkime türüne, hidrojenin elde edilme şekline göre sınıflandırılabilir. En yaygın kullanımı olan sınıflandırma ise kullandıkları elektrolit maddesine göredir.

Elektrolit çeşidine göre birçok yakıt hücresi bulunmaktadır. Bunlar polimer elektrolit membranlı yakıt hücresi (PEMYC), doğrudan metanol yakıt hücresi (DMYC), alkali yakıt hücresi (AYC), fosforik asit yakıt hücresi (FAYC), erimiş karbonat yakıt hücresi (EKYC), katı oksitli yakıt hücresidir (KOYC). Tablo 3.2’de yakıt hücreleri arasındaki farklar gösterilmiştir (Larminie ve Dicks, 2003).

Tablo 3.2. Yakıt hücresi çeşitlerinin karşılaştırılması

Özellik	AYC	FAYC	EKYC	KOYC	PEMYC	DMKYC
Elektrolit	Potasyum hidroksit	Fosforik asit	Erimiş karbonat	Zirkonya, çinkoya tutturulmuş yittria	Katı polimer iyon değiştirilen zar	Katı polimer membran veya sıvı alkalın
Elektrolitt eki taşıyıcı	OH^-	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}	H^+	H^+
Katalizör	Platinyum	Platinyum	Nikel	Perovskites	Platinyum	Platinyum ve Pt/Ru
Yakıt türü	H_2	H_2 , hidrokarbonlar, fosil yakıtlar	H_2 , hidrokarbonlar	H_2 , hidrokarbonlar	H_2 , hidrokarbonlar	Metanol, etanol
Hücre malzemesi	Karbon	Karbon	Ni, paslanmaz çelik	Seramik vb.	Karbon	Karbon
Çalışma sıcaklığı	65-220 °C	~ 220 °C	600-700 °C	650-1000 °C	60-80 °C	50-90 °C
Verim	%50-60	%40-45	%50-60	%50-60	%35-60	%30-35
Güç yoğunluğu	0,7-8,1 W/cm ²	0,8-1,9 W/cm ²	0,1-1,5 W/cm ²	1,5-2,6 W/cm ²	3,8-2,6 W/cm ²	~ 0,6 W/cm ²
Isı yönetimi	Soğutucu Kojenerasyon	Kojenerasyon	Kojenerasyon	Kojenerasyon	Soğutucu	Soğutucu
Avantaj	Alkali elektrolitte katot reaksiyonu daha hızlı	Saf olmayan H_2 toleransı, daha az Pt ihtiyacı	Soy metallere ihtiyaç duymaz, verim artırılabilir.	Pt ihtiyacı daha az, düşük korozyon, yakıt esnekliği, yüksek verim	Düşük korozyon ve çalışma sıcaklığı, hızlı başlama zamanı, katı elektrolit	Doğrudan yakıt besleme, sıfır emisyon
Dezavantaj	Yakıttan CO_2 tahliyesi pahalı	Katalizör maliyeti yüksek, düşük güç, büyük boyut	Hücre üzerindeki elemanlara termal etki, korozyon, düşük güç	Hücre elemanlarında termal zorlanma ve ısı genleşme orantısızlığı oluşabilmesi	Katalizör maliyeti yüksek, yakıt safsızlıklarına çok duyarlı	Sistem kompleksliği, yakıtın elektrik üretmeden anottan katoda geçmesi problemi
Uygulama alanları	<20 kW askeri ve uzay çalışmaları	Ticari uygulamalar (otel, hastane vb.) 200 kW kojenerasyon	Elektrik santrali 200 kW-MW kojenerasyon ve münferit uygulamalar	Ticari ve sanayi uygulamalar 2 kW-MW kojenerasyon münferit uygulamalar	Ulaşım araçları ve askeri sistemler 5-250 kW otomotiv, taşınabilir aygıtlar	Taşınabilir aygıtlar

PEM tipi yakıt hücreleri diğer tip yakıt hücreleriyle kıyaslandığında rüzgâr ve fotovoltaik gibi dinamik yükler için daha uygundur.

4. MİKRO ŞEBEKELERDE ENERJİ YÖNETİMİ

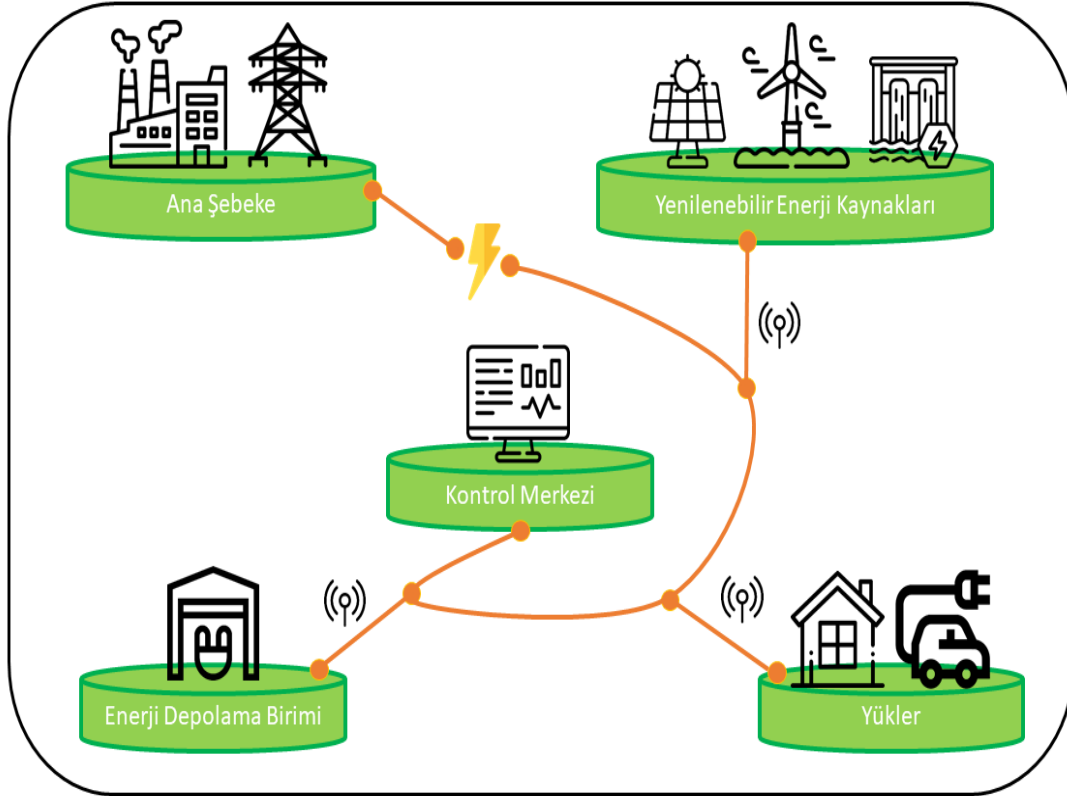
Elektrik şebeke hattının eskimiş olması ve çoğalan nüfusla beraber artan enerji ihtiyacına bağlı olarak şebekede aşırı yüklenmenin meydana gelmesi enerji kesintilerine ve yetersizliğine neden olmaktadır. Mikro şebeke, enerji yönetim birimi ile enerji üretim birimlerinde üretilen enerjinin yüklere dengeli ve kontrollü bir şekilde iletilmesini sağlayan ve bunu şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız durumlarda da sürdürebilen ticari veya konut yapılarında uygulanabilen enerji sistemleridir. Uzun süreli bir kesinti esnasında üretilen gücün talep edilen güçten az olduğunda, mikro şebeke yapısı birincil yükleri beslemeye devam etmek için ikincil yükleri devreden çıkartarak enerjinin sürekliliğini sağlamış olur.

Mikro şebeke yapısı, mevcut alt yapının yenilenmesini ve enerji talebinin karşılanmasında daha güvenli bir yapı olmasını sağlamaktadır. Bağımsız olarak kontrol edilebilen, şebekeyle uyumlu çalışabilen, oluşan aşırı yüklemeyi azaltan elektrik şebekeleridir. Bu şebekeler sayesinde yenilenebilir kaynaklı enerji üretim sistemleri şebekeye dahil edilir. Bu sistemlerin enerji yönetimi ile de üretilen enerjinin büyük bir kısmı verimlilikle kullanılabilir. Temel şebekenin bir parçası olan mikro şebeke sistemler, şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız çalışabilmektedir.

Dağıtılmış üretim teknolojileri; içten yanmalı motorlar, gaz türbinleri, mikro sistemler, yakıt hücreleri, rüzgâr türbinleri, PV paneller, hidroelektrik sistemler, jeotermal enerji sistemleri gibidir. Üretim birimlerinden, rüzgâr türbinleri, PV paneller, hidrolik generatörler, jeotermal enerji ve yakıt hücreleri dünyada enerji üretiminde payı gittikçe artan, yönelimin o tarafa doğru olduğu birimlerdir. Mikro şebekeler sadece dağıtılmış üretim teknolojilerinin entegrasyonunu sağlamakla kalmaz akıllı şebeke yapısını destekler, hızlı hata tespiti ve onarımını sağlar. Üretilen enerjinin verimli ve güvenli şekilde kullanıcıya iletilmesini amaçlar (Kumar ve diğ., 2018).

Mikro şebeke yapıları tasarlanırken coğrafi yapının, iklim şartlarının, doğal çevre şartlarının, sosyo ekonomik durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bir bölgede yapılan sistem başka bir bölgede uygulanamayabilir. Yapılacak sistemde olabildiğince talebi karşılayan, üretim kaynağında çeşitliliği olan (özellikle şu dönemde popüler olan yenilenebilir enerji kaynaklı sistemler), daha verimli ve güvenilir yapının

oluşturulması sağlanmıştır. Şekil 4.1’de örnek mikro şebeke yapısı verilmiştir (URL-9). Görüldüğü gibi sistem yapısında birçok üretim birimi, bu birimleri destekleyen ve gerektiğinde sistemi besleyen depolama birimi, şebeke ve yüklere entegrasyonu sağlayan ara yüzler ve bütün bu sistemin, verimli ve uyumlu çalışabilmesi için kontrol sistemi bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Örnek mikro şebeke yapısı

Bu kadar geniş ve büyük güçte sistemlerin istenilen şekilde çalışması, oluşan herhangi bir hatada sorunun tespiti, enerji talebinin karşılanması için bu gibi sistemlerde bir kontrol mekanizmasının bulunması gerekmektedir. Oluşturulan her birimde veya sistemde kontrolörler yardımıyla enerji yönetiminin yapılması gerekmektedir.

Günümüzde yiyecek, giyecek, su gibi israfların yanında enerji israfı da söz konusudur. Kaynakların tükeniyor olması, yaşanan iklim değişikliğiyle dünya yapısının değişiyor olması gelecek nesillere bırakacağımız bir yaşam alanının olmayacağını sinyali vermektedir. Bu kötü senaryonun yaşanmaması adına daha temiz, kaynağı tükenmeyen, çevre dostu, güvenilir sistemler yapılmaktadır. Bu sistemleri oluşturmamız yeterli

değildir. Aynı zamanda uzaktan kontrol etmemiz, olabilecek durumlara karşı önceden tedbir almamız ve üretilen tüm enerjinin olabildiğince verimli şekilde iletilmesi ve kullanılması, açık kapı bırakılmadan yönetilmesi gerekmektedir.

Enerji yönetimi; ürünün kalitesinden, güvenliğinden veya çevresel tüm koşullardan ödün vermeden ve üretimi azaltmaksızın enerjinin verimli kullanımı amacıyla yapılandırılmış ve organize edilmiş sistematik bir uygulamadır. Gittikçe değişen enerji fiyatlandırılması, enerjiye olan ihtiyacın artması, sistem bakım masraflarının artması, oluşturulan yönetmeliklerde sağlanması gereken koşulların bulundurulması, marka itibarının ve sorumluluklarının artması gibi bazı durumların oluşumu enerji yönetim sisteminin oluşturulmasını gerekli kılmaktadır.

Enerji verimliliği açısından ihtiyaçların belirlenmesi, bu doğrultuda politika ve amaçların oluşturulması, süreçlerin belirlenmesi, enerji yönetim sisteminin ve diğer kullanılacak kaynakların belirlenmesi, ölçme ve izlemenin nasıl ve ne zaman yapılacağına dair kararların alınması, prosedürlerin hazırlanması, iletişimin sağlanarak tasarlanan sistemdeki uygulamaların gerçekleştirilmesi, denetimin yapılması, sistemin gözden geçirilmesi ve daimi iyileştirme, yönetim sisteminin uygulama adımlarıdır.

Enerji yönetiminde amaç; sistemde oluşturulan/kullanılan enerjinin doğru şekilde yönlendirilmesiyle olabildiğince verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmaktır. Enerji yönetim sisteminin kullanılması ve geliştirilmesi sonucunda; enerji politikasında resmiyetin kazanılması, mevzuata uyumun sağlanması, kaynakların etkin kullanımı, enerji tüketiminin yönetilmesiyle enerji maliyetinde düşüş, sera gazı emisyonunun azaltılması, çevrenin korunması, çevre yönetim sistemi başta olmak üzere diğer yönetim sistemlerine kolayca entegre olabilmesi ve güç kalitesinde iyileşme sağlanır.

Mikro şebekelerde, merkezi ve merkezi olmayan kontrol olarak enerji yönetim sistemleri kullanılmaktadır. Tablo 4.1’de merkezi ve merkezi olmayan mikro şebeke enerji yönetim sistemleri arasındaki karşılaştırma verilmiştir (Su ve Wang, 2012).

Tablo 4.1. Mikro şebeke enerji yönetim sistemleri karşılaştırması

Kontrol yöntemi	Faydaları	Sakıncaları
Merkezi kontrol	• Uygulaması basittir. • Bakımı kolaydır. • Nispeten düşük maliyetlidir. • Yaygın olarak kullanılmakta ve işletilmektedir. • Tüm sistemler üzerinde geniş kontrol sağlar.	• Hesaba dayalı yük • Yüksek bant genişliği bağlantıları gerektirir. • Hata tek noktadadır. • Genişletilmesi kolay değildir. • Tak ve çalıştır işlevselliği zayıftır.
Merkezi olmayan kontrol	• Tak ve çalıştır daha kolaydır (genişletilmesi kolay). • Düşük hesaplamalı maliyet • Arızanın kontrolü birden fazla noktada olmaktadır. • Büyük ölçekli, karmaşık ve farklı yapıdaki sistemler için uygundur.	• Senkronizasyon gerektirir. • Yerel katkılar için uzlaşma daha fazla zaman alabilir. • Kavuşma oranları iletişim ağ topolojileri tarafından etkilenebilir. • Var olan kontrol ve iletişim, tesis maliyetini yükseltmektedir. • Yeni iletişim yapı ihtiyacı vardır.

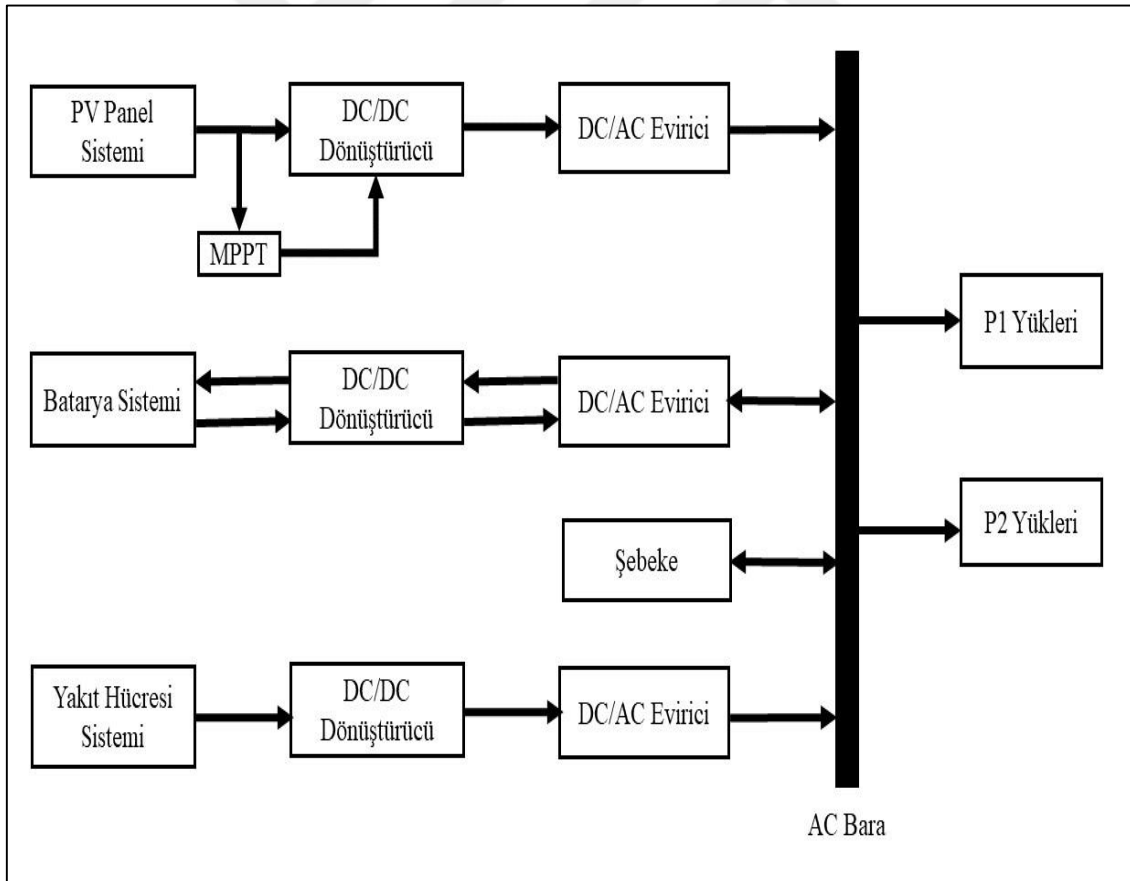
Tablo 4.1’de görüldüğü gibi şebekeye olan bağlantısı sadece belirli durumlarda olan, genelde sistemin tek başına talebi karşıladığı sistemlerde merkezi olmayan kontrol sistemi kullanılmaktadır.

Bu çalışmada önerilen enerji yönetim sistemiyle; enerji yönetimi sağlanarak yüklerin doğru zamanda doğru kaynakla beslenmesi sayesinde enerjinin verimli bir şekilde aktarımı amaçlanmıştır. Sistem içerisinde enerjinin verimli şekilde kullanımıyla işletme maliyetlerinde düşüş, kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarıyla şebekedeki yoğunluğun azaltılması ve sistemlerin çevreye olan etkilerinin azaltılması da sistemin verimlilikten sonra getireceği avantajlar olacaktır. Bu amaçla, sistemde üretilen enerjinin belirlenen senaryo yapılarının uzaktan anahtar kontrolüyle yönlendirmesini sağlayan enerji yönetim sistemi önerilmiştir.

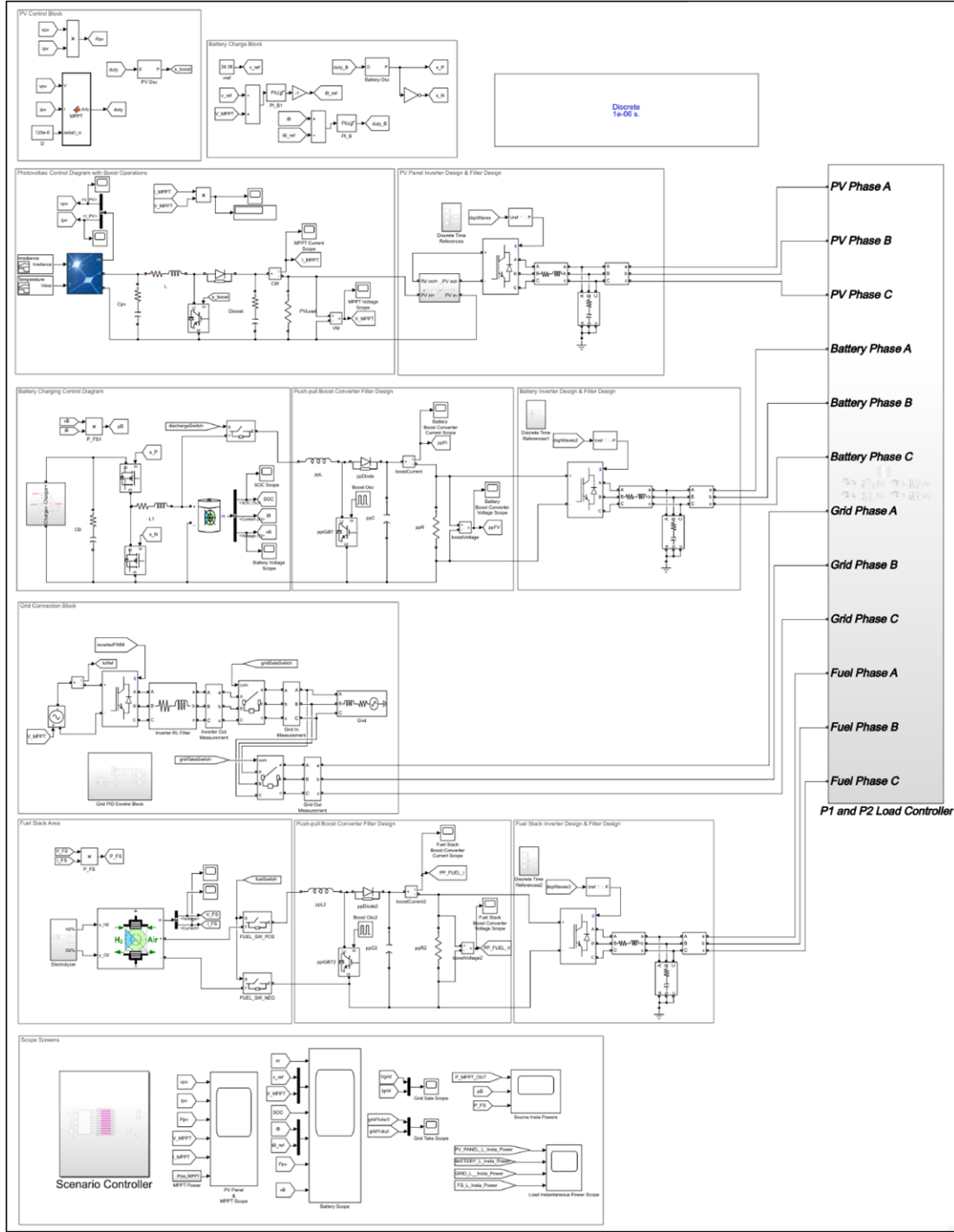
5. SİSTEM TASARIMI VE MODELLENMESİ

Kocaeli bölgesine ait sıcaklık ve ışıınım değerleriyle çalışan PV panel içeren, yenilenebilir enerji kaynaklı konut sisteminin tasarımı, modellenmesi ve simülasyonu bu bölümde açıklanmıştır. Çalışma MATLAB/Simulink ortamında modellenmiştir. Tasarlanan bu sistem ile yenilenebilir enerji kaynaklı konut sistemlerinde enerji yönetimi algoritmalarının kullanımıyla enerjinin daha verimli bir şekilde üretimi ve kullanımı amaçlanmıştır.

Enerji ihtiyacının gitgide artması, enerji kaynaklarının tükeniyor olması enerji üzerine yapılan alternatif çalışmaların hızla artmasına neden olmuştur. Sadece büyük çaplı yapılar için değil konut tipi yaşam alanlarında da enerjinin verimli bir şekilde üretilmesi ve kullanılması gerekmektedir. Şekil 5.1’de bu amaçla tasarlanmış sistemin yapısı, Şekil 5.2’de ise sistemin MATLAB/Simulink modeli verilmiştir.



Şekil 5.1. Modellenen sistem yapısı



Şekil 5.2. Tasarlanan sistemin MATLAB/Simulink modeli

Tasarlanan sistemde birbirine entegre edilmiş üretim ve depolama sistemleri bulunmaktadır. Ana üretim kaynağı PV paneldir. Panelin yetemediği durumlarda batarya ve yakıt hücresi ihtiyacı karşılamaktadır. Sistemde olabilecek en kötü durum bile göz önünde bulundurulduğu için talebin herhangi bir şekilde karşılanamaması olasılığına

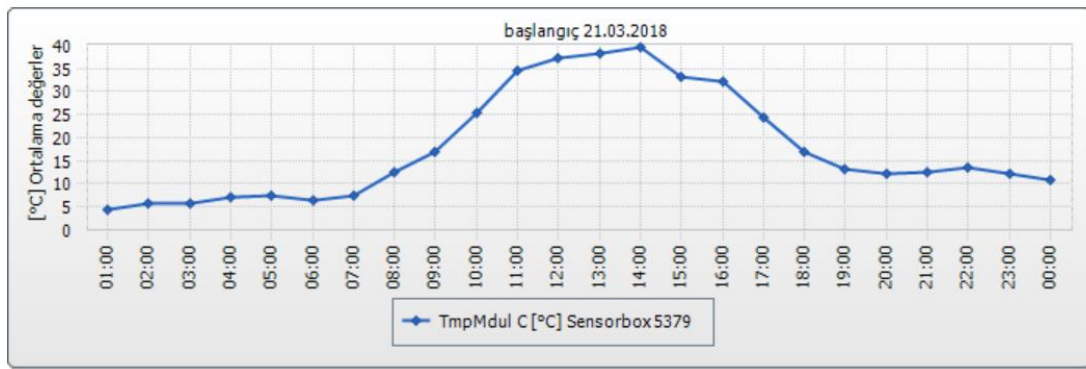
karşın şebekeye bağlantı da içermektedir. Yükler primer ve sekonder olarak iki farklı grup olacak şekilde ayrı gruplar olarak beslenmektedir.

5.1. Coğrafi Durum Analizi

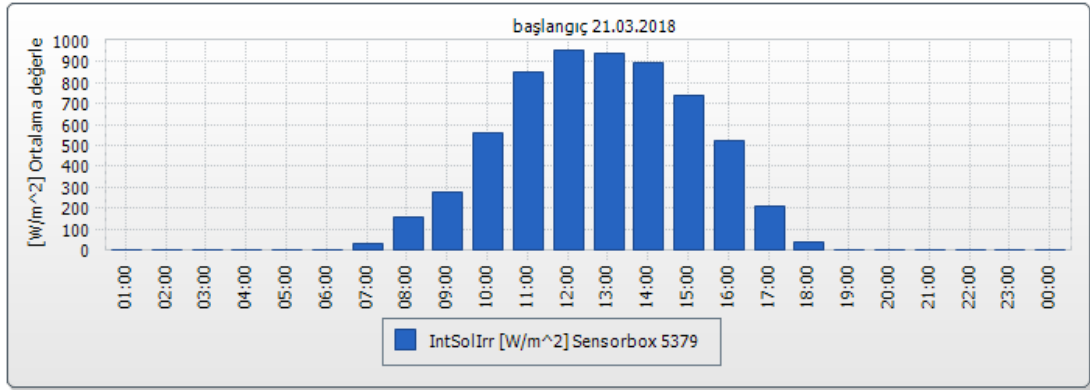
Bu tarz üretim sistemleri tasarlanırken coğrafi koşullar göz önünde bulundurulmalıdır. Yenilenebilir kaynak seçiminde, kullanılacak cihazların seçiminde ve sistem tasarımında bu koşullar farklılık göstermektedir. Önerilen bu çalışmada Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Güç Elektroniği Laboratuvarı'nda kurulmuş olan sensörlerden elde edilen sıcaklık ve ışıınım değerleri kullanılmıştır.

Dünya'nın Güneş etrafında dönmesi ve eksen eğikliğine bağlı olarak dört önemli gün yaşanır. Bu günler mevsim başlangıçlarını oluşturur. 21 Mart ve 21 Eylül günlerinde gece ve gündüz eşittir. Buna ekinoks adı verilir. 21 Aralık ve 21 Haziran ise gündönümüdür. 21 Aralık gününde yılın en uzun gecesi aynı zamanda en kısa gündüzü yaşanır. Bu tarihten itibaren geceler kısalmır, gündüzler uzamaya başlar. Kış mevsiminin başlangıcıdır. 21 Haziran gününde yılın en uzun gündüzü aynı zamanda en kısa gecesi yaşanır. Bu tarihten itibaren gündüzler kısalmır, geceler uzamaya başlar. Yaz mevsiminin başlangıcıdır.

Bu çalışmada, sistemden çekilen sıcaklık ve ışıınım değerleri kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. 21 Marta ait sıcaklık verileri Şekil 5.3'te, ışıınım verileri Şekil 5.4'te verilmiştir.



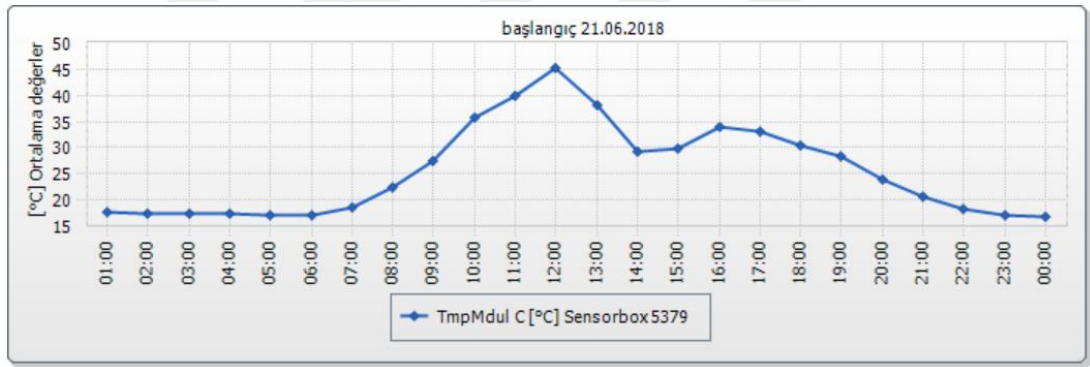
Şekil 5.3. 21 Mart sıcaklık verileri



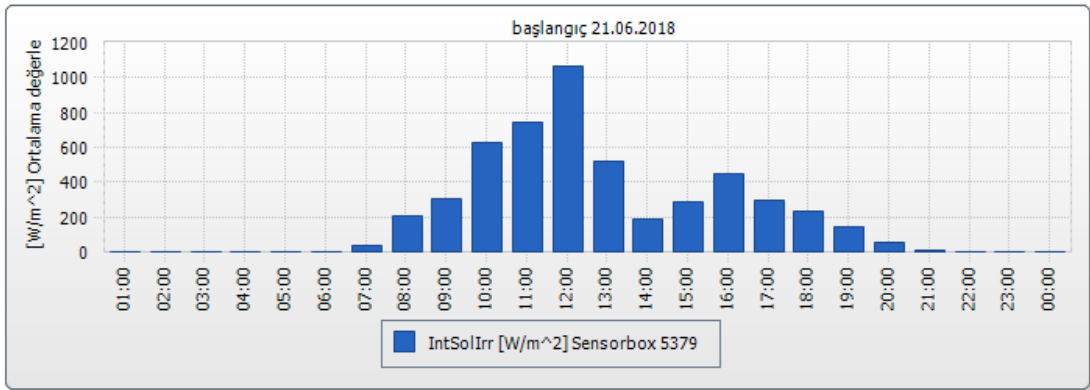
Şekil 5.4. 21 Mart ışıınım verileri

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'e bakıldığında 21 Mart gününde en yüksek sıcaklık değeri saat 14:00'te 39,56 °C, en yüksek ışıınım değeri ise saat 12:00'de 958,24 W/m²'dir.

21 Hazirana ait sıcaklık verileri Şekil 5.5'te, ışıınım verileri de Şekil 5.6'da verilmiştir.



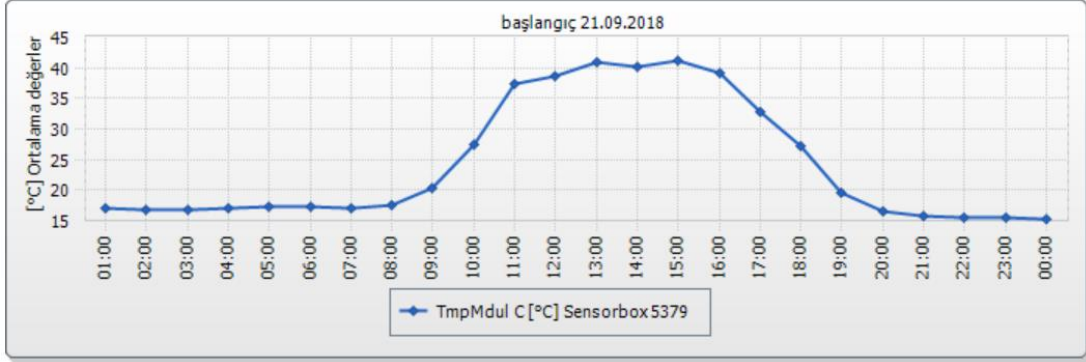
Şekil 5.5. 21 Haziran sıcaklık verileri



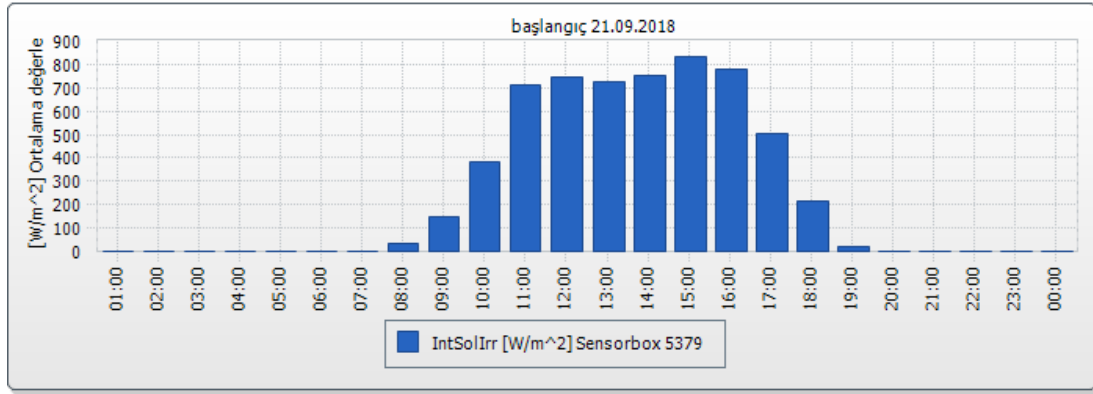
Şekil 5.6. 21 Haziran ışıınım verileri

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'ya bakıldığında 21 Haziran gününde en yüksek sıcaklık değeri saat 12:00'de 45,21 °C, en yüksek ışıınım değeri ise saat 12:00'de 1.063,22 W/m²'dir.

21 Eylül'e ait sıcaklık verileri Şekil 5.7'de, ışıınım verileri Şekil 5.8'de verilmiştir.



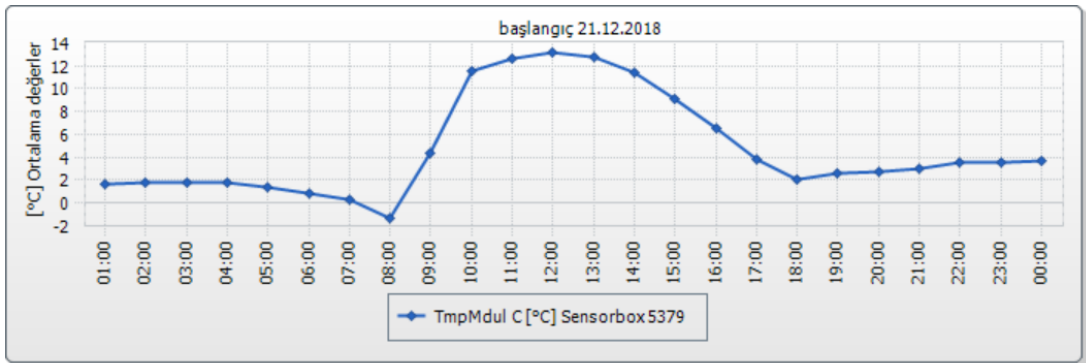
Şekil 5.7. 21 Eylül sıcaklık verileri



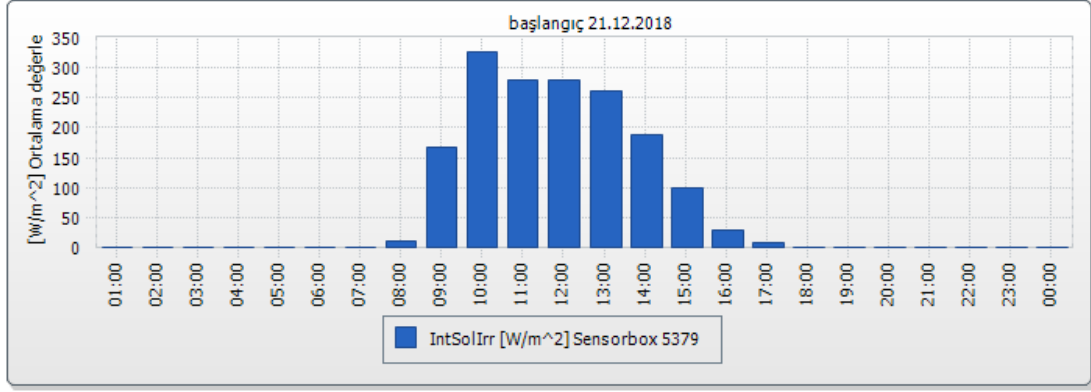
Şekil 5.8. 21 Eylül ışıınım verileri

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'e bakıldığında 21 Eylül gününde en yüksek sıcaklık değeri saat 15:00'te 41,21 °C, en yüksek ışıınım değeri ise saat 15:00'te 833,63 W/m²'dir.

21 Aralık'a ait sıcaklık verileri Şekil 5.9'da, ışıınım verileri Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.9. 21 Aralık sıcaklık verileri



Şekil 5.10. 21 Aralık ışıınım verileri

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'a bakıldığında 21 Aralık gününde en yüksek sıcaklık değeri saat 12:00'de 13,22 °C, en yüksek ışıınım değeri ise saat 10:00'da 325,55 W/m²'dir.

5.2. Konut Yükünün Belirlenmesi

Önerilen enerji yönetim sisteminde, gerekli olan enerjinin üretilebilmesi için sistemin talep edeceği güç miktarının bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada enerji verimliliği sağlamaya yönelik, konforda herhangi bir değişiklik olmadan az enerji tüketen cihazların tercih edildiği, verimliliği yüksek ve uygun maliyetli cihazlarla oluşturulmuş bir daire göz önüne alınmıştır. Tablo 5.1'de bir dairede tüketilen elektrik enerjisinin oransal dağılımı verilmiştir (URL-10). Tüketim paylarına bakıldığında %30 ile buzdolabı ve %28 ile aydınlatma başta gelmektedir. Bu tarz cihazları tercih ederken maliyetinin yanında enerji verimliliğinin de göz önünde bulundurulması sistem içerisinde başka çalışmalar yapmadan da enerji verimliliği sağlayabilmektedir.

Tablo 5.1. Daireler için tüketilen elektrik enerjisinin oransal dağılımı

Tüketim Şekli	Yüzde
Buzdolabı	30
Aydınlatma	28
Elektrikli Fırın	10
TV	10
Çamaşır Makinesi	7
Bulaşık Makinesi	6
Ütü	4
Elektrikli Süpürge	3
Saç Kurutma Makinesi	2

Tablo 5.2’de bir daire için haftalık enerji tüketim miktarlarının dağılımı gösterilmiştir, buna bağlı olarak günlük, aylık ve yıllık enerji tüketiminin hesapları yapılmıştır. Buradaki değerler, standart 4 kişilik bir ailenin ihtiyacı olabilecek şekilde girilmiştir. Bu değerler farklı bir yapı için değişiklik gösterebilmektedir. Dairede kullanılan cihazların markasına ve çeşidine göre de cihazların güç değerleri farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışma Tablo 5.2’deki değerler baz alınarak yapılmıştır. Ayrıca dairede tüketilebilecek enerji miktarının hesaplamaları yapılırken tüm cihazların maksimum kullanım süresinde çalıştığı varsayılmıştır.

Tablo 5.2. Dairenin günlük, haftalık, aylık ve yıllık ortalama elektrik tüketim değeri

Elektrikli Cihaz	Yük Grubu	Güç (W)	Günlük Kullanım Süresi (saat)	Çalışma Gün Sayısı	Haftalık Ortalama Güç Tüketim (Wh)
Buzdolabı (A-Sınıf)	1	1.000	2	7	14.000
Elektrik Süpürgesi	2	900	0,75	1	675
TV LCD	1	100	4	7	2.800
ADSL	1	24	14	7	2.352
Uydu Alıcısı	1	10	4	7	280
Diz Üstü Bilgisayar 1	1	75	8	5	3.000
Diz Üstü Bilgisayar 2	2	75	5	3	1.125
Telefon Şarj Aleti	1	4	4	7	112
Çamaşır Makinesi	2	2.000	2	1	4.000
Bulaşık Makinesi	2	1.200	1,5	1	1.800
Ütü	2	1.000	0,66	1	660
Traş Makinesi	2	10	0,16	1	2
Saç Kurutma Makinesi	2	400	0,33	2	264
Lamba Ekonomik	1	80	4	7	2.240
LED Lamba	1	30	4	7	840
Kombi/Şofben	1	2.000	4	7	56.000
Mutfak Robotu	2	800	0,16	3	384
Tost Makinesi	2	1.000	0,08	3	240
Fırın	2	1.400	1	1	1.400
Haftalık kWh					92,17
Günlük kWh					13,2
Aylık kWh					368,69
Yıllık kWh					4.424,33

Önerilen sisteminde yükler tiplerine bakılmaksızın (AC/DC) kullanım önceliğine göre iki gruba ayrılmıştır. Belirlenen gruplar kullanıcı temelli olup tercihe göre değiştirilebilmektedir. 1. Grup temel gereksinimlerin bulunduğu, her gün kullandığımız cihazları içeren gruptur. 2. Grup daha az kullanım ihtiyacına sahip olunan ve herhangi bir enerji yetersizliğinde kullanılsa da olur dediğimiz cihazları içeren gruptur. Bu gruplandırmadaki amaç, herhangi bir şekilde sistem yeteri kadar enerji üretilmediğinde veya enerji kesintisinde kullanıcılara öncelikli yükler için enerji sağlayabilmektir.

5.3. Boost (Yükselten) Dönüştürücülü Panel Bloğu

PV modüller güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. Bir PV modüle bir dizi PV hücresi seri bağlanmaktadır. PV paneller güneş enerji sisteminin en önemli yapısıdır. Verimleri hücre yapısına göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak güneşin 1.000 W/m^2 enerji yaydığı bölgede, standart test değerlendirme koşullarına göre verim değerleri %11-18 arasında elde edilmektedir (Keyhani ve diğ., 2013).

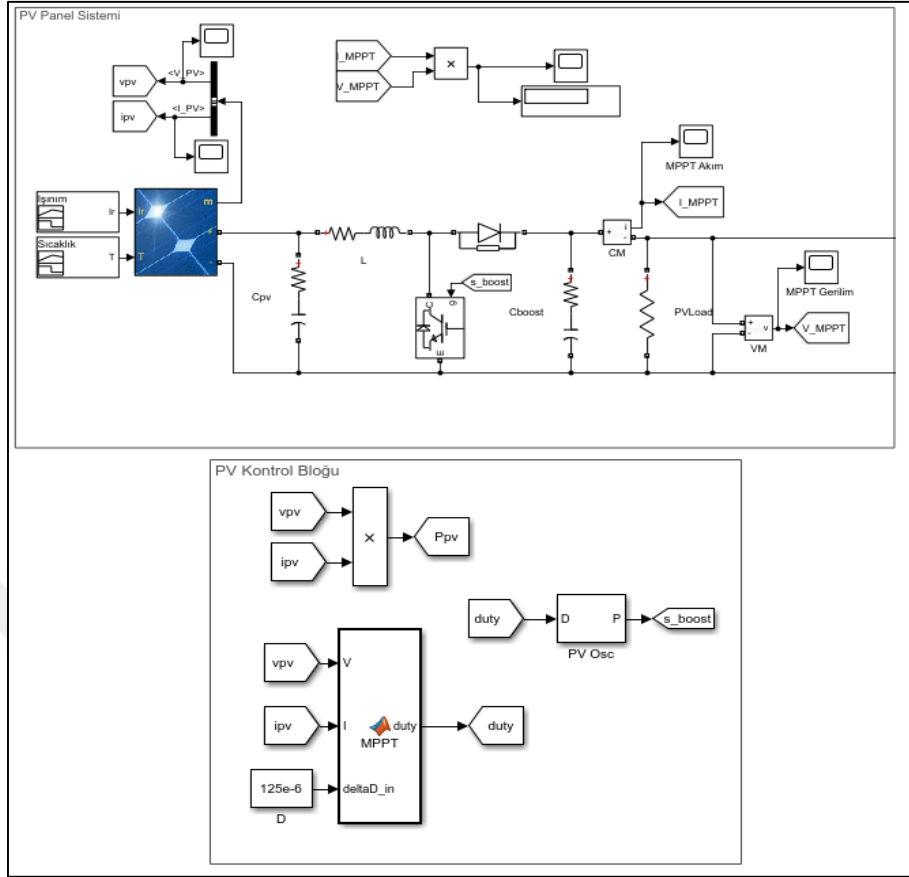
Panellerin günlük ürettikleri enerji miktarı güneşlenme sürelerine göre değişmektedir. Hem coğrafi konum hem de o günkü hava durumundaki değişiklik güneşlenme sürelerinde artma veya azalma meydana getirebilir. Güneşlenme süresinin dışında panelde oluşabilecek kirlenme, güneş ışınlarının yaptığı açı, mevsimsel farklılıklarda bulutlanma gibi çevresel koşullardan dolayı oluşan durumlarda panel verimi düşmektedir. Bu yüzden panel gücü hesaplanırken bu gibi durumların düşünülüp ona göre sistemin talep ettiği enerjinin karşılanabilmesi için panel gücüne %25'e yakın bir pay eklenmelidir. Şekil 5.11'de seçilen panelin teknik özellikleri verilmiştir.

Piyasada birden fazla panel üreticisi bulunmaktadır. Kalite, verimlilik ve maliyet bakımında çok sayıda farklı paneller bulunmaktadır. Panel seçimi yaparken en önemli unsurlardan biri elektriksel değerlerin yanında bu panellerin kullanımıyla neyin amaçlandığıdır. Bu çalışmada enerji verimliliği ve karlılık göz önünde bulundurulmuştur. Amacımız temiz enerjiyi verimli bir şekilde üretmek ve kurulan sistemin makul maliyetlerde olmasıdır. Bu gibi sistemlerin kurulum maliyetleri fazla görünse de sistemin kendini amorti etmesi ve enerjinin kullanımının kullanıcıya ait olması sonrasında daha fazla getiri sağlamaktadır.

Parameters	
Advanced	
Array data	
Parallel strings	2
Series-connected modules per string	3
Module data	
Module:	User-defined
Maximum Power (W)	213.15
Cells per module (Ncell)	60
Open circuit voltage Voc (V)	36.3
Short-circuit current Isc (A)	7.84
Voltage at maximum power point Vmp (V)	29
Current at maximum power point Imp (A)	7.35
Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)	-0.36099
Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)	0.102

Şekil 5.11. PV panelin parametre değerleri

Panellerden elde edilen doğru gerilim MPPT (Maximum Power Point Tracking - Maksimum Güç Noktası Takibi) kontrollü yükseltici tip dönüştürücüden geçirilerek gerilim seviyesi yükseltilmektedir. Sistemin çalışması için gerekli olan anahtarlama sinyali PV kontrol bloğu tarafından üretilmektedir. MPPT işletim esnasında dönüştürücünün girişindeki akım ve gerilim değerleri okunarak sistemin gücü hesaplanmaktadır. Giriş gerilim seviyesindeki artış ya da azalmaya bağlı olarak dönüştürücünün anahtarlama sinyalinin oranları değişmekte ve çıkış akımı hep maksimum gücü elde edecek şekilde ayarlanmaktadır. Maksimum güç noktasının takibiyle sistemin verimi arttırılmıştır. Şekil 5.12’de tasarlanan yükseltici tip dönüştürücülü PV panel ve panel kontrol sisteminin MATLAB/Simulink modeli verilmiştir.



Şekil 5.12. Yükseltici tip dönüştürücülü PV panel ve PV kontrol modeli

Yükseltici tip DC/DC dönüştürücünün çıkış gerilimi Denklem (5.1)'de verildiği gibi;

$$V_{\zeta} = \left(\frac{1}{1-D} \right) V_g \quad (5.1)$$

şeklindedir. D doluluk-boşluk oranıdır. Sistemde kullanılan endüktans ve kapasitans değerlerinin belirlenmesi için ortalama akımın endüktansa bağlı ifadesi Denklem (5.2)'de, ortalama gerilimin kapasitansa bağlı ifadesi ise Denklem (5.3)'te verilmiştir;

$$\Delta I_L = \frac{V_{\zeta}(1-D)D}{L f_s} \quad (5.2)$$

$$\Delta V_{\zeta} = \frac{V_{\zeta} D}{RC f_s} \quad (5.3)$$

Denklem (5.2) ve (5.3) birleştirilerek kapasitans ve endüktans arasındaki ilişki Denklem (5.4)'teki gibi bulunmuştur. Tablo 5.3'te tasarlanan yükseltici tip dönüştürücünün devre elemanlarının parametre değerleri verilmiştir;

$$\Delta V_c = \frac{\Delta I_L L}{RC(1 - D)} \quad (5.4)$$

Tablo 5.3. Dönüştürücünün devre elemanlarının parametre değerleri

Elemanlar	Değer
C _{pv}	0,1 mΩ - 100 μF
L	0,1 Ω - 5 mH
C _{boost}	0,1 mΩ - 3300 μF
PVLoad	6 Ω

5.4. MPPT Kontrol Bloğu

Maksimum güç noktasının tespitinin önemi bölüm 3.1.5'te anlatılmıştır. Tasarlanan sistemde de kontrol MPPT algoritmasıyla sağlanmaktadır. Güneş enerjisinin daha verimli kullanılması amacıyla birçok MPPT yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem çeşitliliğinin olmasına karşın sistemde en çok değiştir ve gözle, artan iletkenlik yöntemleri kullanılmaktadır. Algoritmalar üzerine yapılan çalışmalarda, bu iki yöntemin benzetim sonuçlarına göre artan iletkenlik algoritmasının maksimum güç noktasında gereksiz salınımlar yaptığı ve bu noktaya geç ulaştığı ve çok fazla işlem gerektirdiği gözlemlenmiştir. Değiştir ve gözle algoritmasının ise maksimum güç noktasına daha hızlı ulaştığı, çevresel değişimlerde toparlanma süresinin kısa olduğu ve daha az işlem gerektirdiği gözlemlenmiştir (Petraeus ve diğ., 2010).

5.4.1. Değiştir ve Gözle (P&O) Yöntemi

MPPT çalışmalarında kullanılan en yaygın yöntemdir. Sağladığı kabul edilebilir doğruluğa sahip olması ve kolay uygulanabiliyor olması tercih sebebidir. Ayrıca yöntemin sistem parametrelerine bağlı olmaması en büyük avantajlarından biridir. Ani ışınlım değişimlerine karşı hızlı cevap vermemesi dezavantajıdır.

Yöntem, maksimum güç noktasının bulunması için panel geriliminin veya akımının değiştirilmesiyle gerçekleşen değişikliğin gözlemlenmesine dayanır. Gerilim veya

akımda bir yönde yapılan değişiklik sonucu güçte artışa neden oluyorsa aynı yönde gerilim veya akımda değişikliğe devam edilir. Güçte azalma meydana geliyorsa tersi yönde değişiklikler gerçekleştirilir. Tablo 5.4'te bu değişimlerin yönleri ve güçteki değişimle sonraki adımdaki değişim yönleri verilmiştir. Bu işlem maksimum güç noktasına ulaşılan kadar devam ettirilir (Khadidja ve diğ., 2017).

Tablo 5.4. P&O yöntemin işleyiş adımları

Değişim	Güçteki Değişim	Sonraki Değişim
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

Sonrasında bu güç noktası çevresinde salınım meydana gelir. Salınımın azaltılması için değişim adımları küçültülmektedir. Fakat bu adım küçülmesinden dolayı maksimum güç noktasına ulaşım süreside uzamaktadır. Bu sebeple maksimum güç noktasından uzakta olduğunda adımları daha büyük tutarak hızlı bir şekilde güç noktasına ulaşırken, güç noktasına yakın olduğu zaman adımların daha düşük tutulması bu soruna çözüm sunmaktadır (Ullah ve diğ., 2019).

5.4.2. Artan İletkenlik Yöntemi

Artan iletkenlik yönteminde, panel güç-gerilim eğrisinin eğiminin incelenmesiyle sistemin maksimum güç noktasının nerede olduğuna karar verilerek panel çalışma gerilimi ona göre değiştirilmektedir (Khadidja ve diğ., 2017). Tablo 5.5'te sistemin çalışma geriliminin eğimine göre konumu verilmiştir.

Tablo 5.5. Artan iletkenlik yöntemiyle maksimum güç noktasının bulunması

Eğim	Sistemin Çalışma Gerilimi
$dP/dV=0$	Maksimum Güç Noktasında
$dP/dV>0$	Maksimum Güç Noktasının Solunda
$dP/dV<0$	Maksimum Güç Noktasının Sağında

İletkenlik eğim denklemi Denklem (5.5)'e göre düzenlenirse Tablo 5.6 elde edilir;

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (5.5)$$

Tablo 5.6. Tablo 5.5'in Denklem (5.5)'e göre düzenlenmiş hali

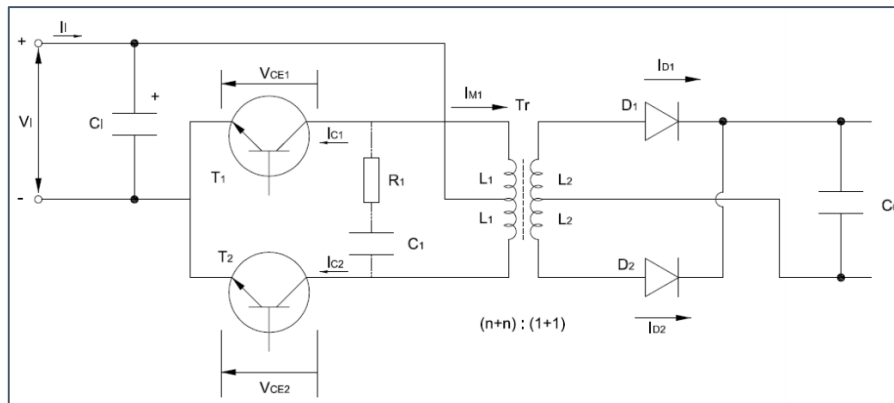
Eğim	Sistemin Çalışma Gerilimi
$\Delta I/\Delta V = -I/V$	Maksimum Güç Noktasında
$\Delta I/\Delta V > -I/V$	Maksimum Güç Noktasının Solunda
$\Delta I/\Delta V < -I/V$	Maksimum Güç Noktasının Sağında

Artan iletkenlik yöntemi, değiştir ve gözle yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Fakat maksimum güç noktasının eğim üzerinden bulunması ani atmosfer değişikliğinde ve düşük radyasyon değerlerinde P&O yöntemine göre daha iyi sonuç vermektedir. Adım aralığına bağlı olarak maksimum güç noktası etrafında salınımlar oluşmaktadır. Adım aralığının büyük olması takip hızını arttırmasına karşın sistem verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Karmaşık bir kontrol devresine gereksinim duyması da diğer dezavantajdır (Deveci ve Kasnakoğlu, 2014), (Kuo ve diğ., 2001).

5.5. Push-Pull Boost(Yükselten) Dönüştürücü Filtre Bloğu

Push-Pull dönüştürücü, DC güç kaynağının gerilim değerini değiştirmek için kullanılan DC/DC dönüştürücü çeşitlerinden biridir. Daha sabit giriş akımına sahiptir. Giriş hattında daha az gürültü oluşumuna neden olur ve yüksek güç uygulamalarında daha verimlidir. Push-Pull yükseltici tip dönüştürücü filtre kullanımının amacı, DC/AC eviriciye harmonik içermeyen DC gerilim göndermektir.

İleri tip DC/DC dönüştürücülerin kombinasyonundan elde edilen bu tip dönüştürücüler diğer dönüştürücülerden farklılık gösterir. Şekil 5.13'te gösterilen Push-Pull tipi DC/DC dönüştürücü devresi, iki adet ileri tip DC/DC dönüştürücü devrenin paralel bağlanmasıyla elde edilmiştir (Abut, 2004).



Şekil 5.13. Push-Pull tipi DC/DC dönüştürücü devresi

T1 ve T2 anahtarlarının farklı zamanlarda kapatılmasıyla oluşan alternatif gerilim, D1 ve D2 diyotları aracılığıyla çıkışa aktarılır. Çalışma esnasında çıkış geriliminin dalga frekansı artar. LC filtre devresinde bu dalga salınımları sınırlandırılır, bu tip dönüştürücülerde çıkış gerilimi salınımları küçük değerlerdedir.

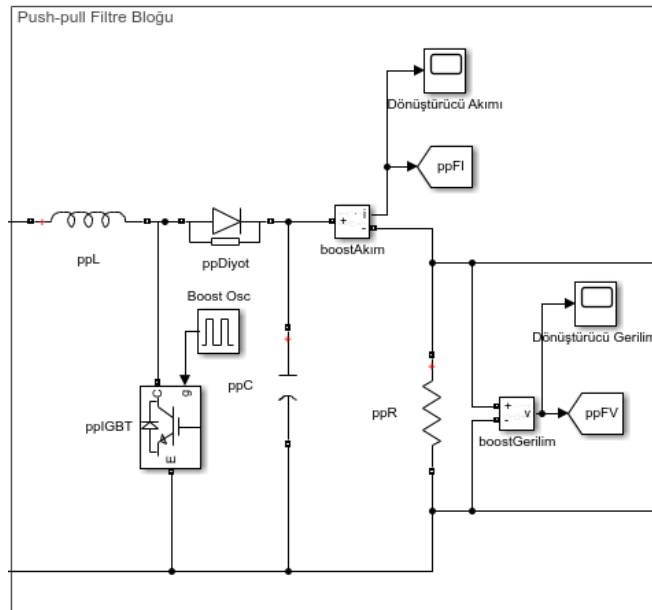
T1 anahtarının kapatılmasıyla, D1 diyotu üzerinden çıkış yüküne ve C_o kondansatörüne enerji aktarılır. T1 anahtarı açıldığında anahtarlar üzerinden akım akmaz. Diğer yarım periyotta T2 ve D2 elemanları iletme devam eder ve bir süre sonra enerji iletimi kesilir. Bu elemanların iletim-kesimi de birinci yarı periyottaki anahtarlama elemanlarının çalışması gibidir.

Güç kayıpları ihmal edilirse Push-Pull dönüştürücü çıkış gerilimi;

$$V_o = V_i \frac{\gamma}{n} \quad (5.6)$$

olarak tanımlanabilir.

Çalışmada batarya sistemi ve yakıt hücresi sistemi için toplamda iki adet Push-Pull tipi DC/DC dönüştürücü devresi tasarlanmıştır. Sistemde tasarlanan Push-Pull yükseltici tip dönüştürücü yapısı Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Push-Pull dönüştürücü filtre MATLAB/Simulink modeli

Batarya ve yakıt hücresi sistemleri için tasarlanan Push-Pull dönüştürücü devresinin elemanlarının parametreleri Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7. Push-Pull dönüştürücü filtre devrelerinin parametreleri

Kullanılan Sistemler	R (Ω)	L (mH)	C (μ F)
Batarya Sistemi	372,00	1,90	0,12
Yakıt Hücresi Sistemi	110,36	0,21	0,41

5.6. Şarj-Deşarj Kontrollü Batarya Bloğu

Çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği enerjinin depolanması veya gerektiği durumda sistemde kaynak olarak kullanılması için batarya sistemi kullanılmıştır. Bölüm 3.2’de enerji depolama birimi olan batarya ve çeşitleri ile ilgili detaylara yer verilmiştir.

Bir PV sistem için uygun bataryanın belirlenmesi birçok faktöre bağlıdır. Aşağıda batarya seçiminde göz önünde bulundurulması gereken parametreler verilmiştir (Pradhan ve diğ., 2012).

- Maliyet
- Batarya kapasitesi
- Çalışma sıcaklığı aralığı
- Verimliliği
- DOD (Depth of Discharge-deşarj derinliği), SOC (State of Charge-şarj durumu) değerleri
- Kurulan sistemin gerilim seviyesine uygunluğu
- Aylık olarak kendi kendine boşalma oranı
- Taşınma için sağlamlık ve ağırlık

Batarya depolama ünitesinde bilinmesi gereken parametreler;

Batarya Gerilimi (V): Sistem içerisindeki bataryanın, nominal gerilimi veya çalışma gerilimidir. Batarya üreticileri genellikle 3 V, 6 V, 12 V, 24 V değerlerinde üretirler.

Batarya Kapasitesi (Ah): Bataryada depolanabilecek maksimum yük miktarına ya da batarya deşarj olmaya başladığı anda bataryada bulunan yük miktarıdır. Birimi Amper-saat'tir.

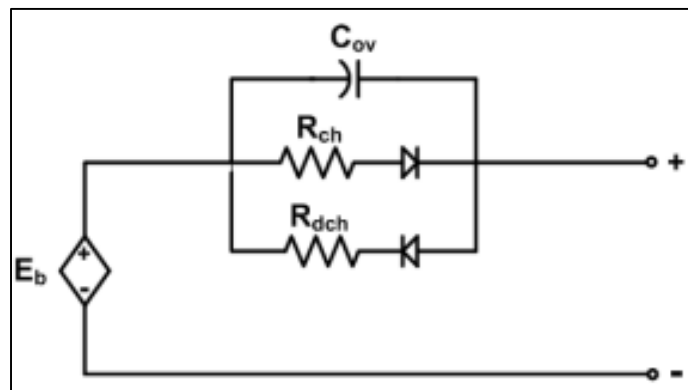
Lifecycle: Bataryanın ömrü boyunca yapabileceği şarj/deşarj sayısıdır.

Deşarj Derinliği (DOD, %): Tam kapasite yüzdesi cinsinden bataryadan çekilen enerjidir. Yani DOD değeri %25 ise bataryanın şarj durumu %75'tir.

Şarj Durumu (SOC, %): Mevcut yük miktarı ile maksimum yük miktarının oranıdır. 0 ile 1 arasında değerler alır. Eğer SOC 0 ise batarya boştur, 100 ise batarya tam doludur.

Şarj-Deşarj Rejimi: Batarya için verilen parametreler bataryanın şarj veya deşarj durumunda akım ile maksimum kapasite arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Örneğin bataryadan 30 saat boyunca 5 A akım çekilirse deşarj rejimi 150 Ah (Amper-saat) olacaktır.

Bataryanın verimliliği şarj-deşarj rejimine bağlıdır. Eğer bataryadan kısa süre içerisinde yüksek miktarda akım çekilirse bataryanın boşalma süresi azalacaktır. Eğer bataryadan daha düşük miktarda akım çekilirse aynı zaman diliminde bataryanın boşalma süresi uzayacaktır (Kaplan, 2012). Batarya hesaplarında sistemin ihtiyaç duyduğu güçten yola çıkılarak gerekli akü sayısı ve bağlantı şekli belirlenir. Şekil 5.15'te batarya eşdeğer devresi verilmiştir (Jantharamin ve Zhang, 2008).



Şekil 5.15. Batarya eşdeğer devresi

Kullanılan parametrelerinin açıklamaları Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8. Batarya parametreleri

Parametre	Açıklama
V_{bat}	Batarya çıkış gerilimi (V)
I_{bat}	Batarya açık devre gerilimi (V)
I_{bat}	Batarya akımı (A)
% SOC	Şarj durumu
% SOC ₀	Başlangıç şarj durumu
R_{bc}, R_{bci}	Şarj direnci bileşenleri (Ω)
R_{bd}, R_{bdi}	Deşarj direnci bileşenleri (Ω)
R_{ch}	Şarj direnci (Ω)
R_{dch}	Deşarj direnci (Ω)
C_{ov}	Polarizasyon kapasitesi (F)
C_n	Batarya kapasitesi (Ah)
t	Batarya çıkış gerilimi örnekleme zamanı (dakika)

Deşarj anında batarya çıkış geriliminin açık devre gerilimine ve eşdeğer iç empedansındaki gerilim düşümüne bağlı olarak ifadesi Denklem (5.7)'de verilmiştir;

$$V_{bat} = E_b - I_{bat}R_{dch} \left[1 - \exp \left(-\frac{t}{R_{dch}C_{ov}} \right) \right] \quad (5.7)$$

Deşarj direncinin iki adet bileşeni bulunmaktadır;

$$R_{dch} = R_{bdi} + R_{bd} \quad (5.8)$$

Batarya akımına bağlı olarak deşarj direncinin anlık değişimi Denklem (5.9)'daki gibidir;

$$R_{bdi} = 1,01 \exp(-2,21 \cdot I_{bat}) + 0,24 \exp(-0,06 \cdot I_{bat}) \quad (5.9)$$

Deşarj esnasında batarya şarj durumuna bağlı olarak deşarj direncindeki değişim ise Denklem (5.10)'daki gibidir;

$$R_{bd} = 2,926 \exp(-0,042 \cdot \%SOC) \quad (5.10)$$

Şarj durumundaki batarya çıkış gerilimi;

$$V_{bat} = E_b + I_{bat}R_{ch} \left[1 - \exp \left(-\frac{t}{R_{ch}C_{ov}} \right) \right] \quad (5.11)$$

şeklinde elde edilmektedir.

Şarj direncinin de iki adet bileşeni bulunmaktadır;

$$R_{ch} = R_{bci} + R_{bc} \quad (5.12)$$

Şarj esnasında batarya şarj durumuna bağlı olarak şarj direncindeki değişim Denklem (5.13)'teki gibidir;

$$R_{bc} = 9,32 \cdot 10^{-5} (\%SOC)^2 + 0,01 (\%SOC) + 0,028 \quad (5.13)$$

Batarya şarj durumu değişikliği;

$$\%SOC = \%SOC_0 - \left(\frac{1}{C_n} \int I_{bat} dt \right) 100 \quad (5.14)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Bataryanın açık devre gerilimi ise, yüksüz durumda iki ucu arasındaki potansiyele eşittir ve şarj durumu ile doğrudan ilişkilidir. Batarya açık devre gerilimi;

$$E_b = 0,01375 (\%SOC) + 11,5 \quad (5.15)$$

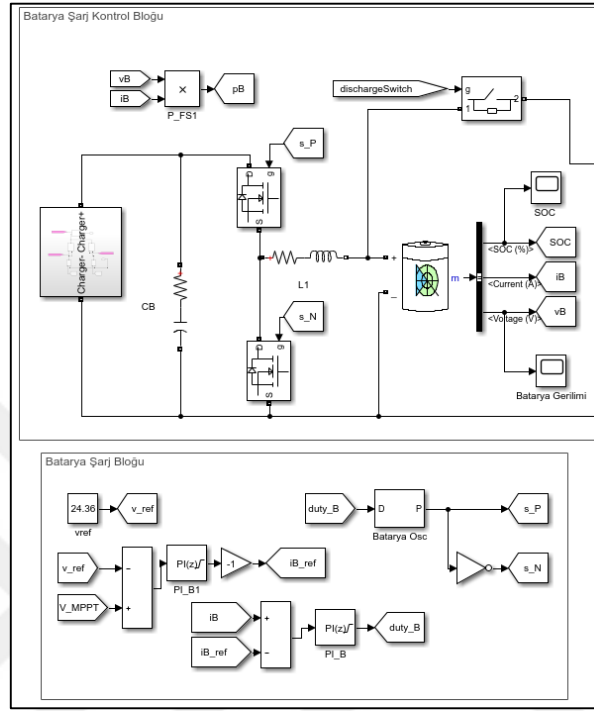
şeklindedir. Şekil 5.16'da sistemde kullanılan bataryanın parametre değerleri verilmiştir.

Parameters	
Discharge	
Type:	Lead-Acid
Nominal voltage (V)	24
Rated capacity (Ah)	50
Initial state-of-charge (%)	100
Battery response time (s)	10e-6

Şekil 5.16. Batarya parametreleri

Yenilenebilir enerji kaynakları ile beslenen konutlar için önerilen sistemde yer alan batarya ünitesinin sisteme olan bağlantısı çift yönlü DC/DC dönüştürücü ile sağlanmaktadır. Bu çift yönlü DC/DC dönüştürücü sayesinde batarya ile sistem arasında çift yönlü enerji transferi yapılmaktadır. Çift yönlü enerji transferi yapılabilmesiyle bataryanın ihtiyacına göre hem depolama hem de kaynak olarak kullanılabilmesi sağlanmıştır. Çift yönlü dönüştürücüde kullanılan CB dahilindeki direnç değeri 0,001 Ω ,

kapasitans değeri 1.000 μF 'dır. L1 dahilindeki direnç değeri 0,05 Ω , endüktans değeri 0,576 mH'dir. Şekil 5.17'de şarj-deşarj kontrollü batarya sisteminin MATLAB/Simulink modeli verilmiştir.



Şekil 5.17. Şarj-deşarj kontrollü batarya sistemi MATLAB/Simulink modeli

5.7. Yakıt Hücresi Bloğu

Yakıt hücresi, hidrojen ve oksijen kullanarak kimyasal enerjiden doğrudan elektrik ve termal enerji üretir. Bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan sadece sudur. Üretim sonucunda karbon oluşumu gözlenmez. PEM tipi yakıt hücreleri diğer tip yakıt hücreleriyle kıyaslandığında rüzgâr ve PV gibi dinamik yükler için daha uygundur. Bölüm 3.3'te yakıt hücresi çalışma prensibi ve yakıt hücre çeşitlerine ayrıntılı değinilmiştir.

PEM tipi yakıt hücresi için; her hücrenin gerilimi Denklem (5.16)'daki gibidir;

$$V_{fc} = N \left[\begin{array}{c} E_{H_2O_2} - (b_0 T_{FC}^2 + b_1 T_{FC} + b_2) \log \left(\frac{I_{fc}}{A_{cell}} \right) \\ - (r_0 T_{FC}^2 + r_1 T_{FC} + r_2) \frac{I_{fc}}{A_{cell}} \\ - (m_0 P_r^2 + m_1 P_r + m_2) \exp \left((n_0 P_r^2 + n_1 P_r + n_2) \frac{I_{fc}}{A_{cell}} \right) \end{array} \right] \quad (5.16)$$

Hücre gerilimi denkleme göre akım, sıcaklık ve basınç ile değişir (Kim ve diğ., 1995).

- $E_{H_2O_2}$: H_2O_2 reaksiyonunun standart potansiyelini,
 I_{fc} : Yakıt hücresinin akımını,
 V_{fc} : Yakıt hücresinin gerilimini,
 N : : Hücre sayısını,
 A_{cell} : Hücresinin alanını,
 T_{FC} : Yakıt hücresinin sıcaklığını,
 P_r : Yakıt hücresindeki hidrojen basıncını,
 b_i, r_i, m_i ve n_i : ($i=0, 1, 2$ için) deneysel verilerden belirlenmiş katsayıları,
 F : Faraday sabitini ifade etmektedir.

İstenen hidrojen molar akış oranı n'_{fc} ile yakıt hücresi tarafından üretilen I_{fc} akımı arasındaki ilişki Denklem (5.17)'de verildiği gibi;

$$I_{fc} = \frac{2n'_{fc}F}{N} \quad (5.17)$$

şeklindedir. Yakıt hücresinin yararlanma (kullanım) faktörü u_{fc} , Denklem (5.18)'de verildiği gibi;

$$u_{fc} = \frac{n'_{fc}}{n'_s} \quad (5.18)$$

şeklindedir. Burada, sağlanan hidrojen molar akış oranı n'_s , yakıt akış kontrolörü tarafından belirlenmiştir. Yakıt hücresinden üretilen elektriksel güç P_{fc} ile ifade edilmektedir. Yakıt hücresinden üretilen elektriksel gücün ifadesi Denklem (5.19)'daki gibidir;

$$P_{fc} = V_{fc}I_{fc} \quad (5.19)$$

Şekil 5.18'de sistemde kullanılan yakıt hücresinin parametre değerleri verilmiştir.

geriliminin konut yapısında kullanımının uygun olmamasından dolayı, konuttaki cihazların çalışabilmesi için gerekli olan AC gerilime çevrilmesi gerekmektedir. Çıkış gerilimi, tek fazlı veya üç fazlı olabilir. Eviricilerin üreteceği dalganın biçimi ve frekansı kullanılan yarıiletken elemanın (tristör, tranzistör, MOSFET, IGBT) karakteristiklerine, iletim ve tıkama sürelerine bağlıdır. AC çıkış veren eviriciler 3 çeşittir;

- Kare dalga eviriciler
- Sinüs benzetimi eviriciler
- Tam sinüs eviriciler

Eviricilerden dalga biçimlendirmede temel ilke, tristör, tranzistör, MOSFET veya IGBT gibi anahtarlama elemanlarının iletim ve tıkama sürelerinin uygun bir biçimde belirlenmesidir. Evirici çıkışında üretilen AC güç, kullanılan transformatörlere, anahtarlama ve kontrol devrelerine bağlı olarak herhangi bir gerilimde ve frekansta olabilir.

Konutlarda motor bazlı yüklerin yoğunlukta olmasından dolayı (örneğin çamaşır makinesi, bulaşık makinesi ve buzdolabı gibi) endüktif güç talebini karşılamak ve sistem yapısını bozulmaması için tam sinüs evirici kullanımı gereklidir. Çeşitli kayıplar ve harmonikler dolayısıyla tam anlamıyla saf bir sinüs dalgası mevcut olmamakla birlikte şebeke akımı ve geriliminden söz edildiğinden çevrilen gerilimde sinüs dalga şeklinde olması beklenmektedir (Asadzadehsaadatlou, 2015). Kullanılacak eviricinin gücü seçilirken, şebekeye bağlı sistem olduğu için eviriciyi besleyen PV modülün gücüne yakın olacak şekilde beslenecek yükün demand değerini karşılaması gerekmektedir (Hekim, 2011).

Sistemde kullanılan eviricinin snubber direnç ve snubber kapasite değerleri Denklem (5.20) ve Denklem (5.21)'e göre hesaplanmaktadır;

$$R_s > 2 \frac{T_s}{C_s} \quad (5.20)$$

$$C_s < \frac{P_n}{100(2\pi f)V_n^2} \quad (5.21)$$

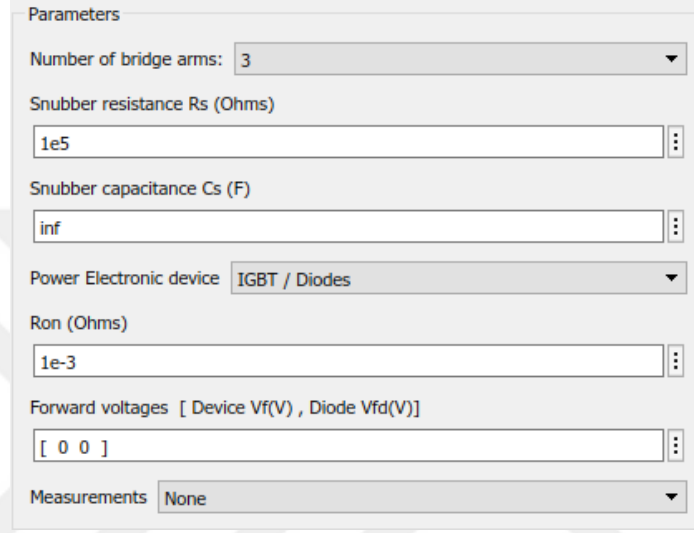
P_n : 1 ya da 3 fazlı dönüştürücünün nominal güç değeri

V_n : Nominal hattan hatta gerilimin rms değeri

f : Temel frekans

T_s : Örnekleme zamanı'dır.

Şekil 5.20'de sistemde kullanılan evirici parametreleri verilmiştir.



Parameters

Number of bridge arms: 3

Snubber resistance Rs (Ohms)
1e5

Snubber capacitance Cs (F)
inf

Power Electronic device IGBT / Diodes

Ron (Ohms)
1e-3

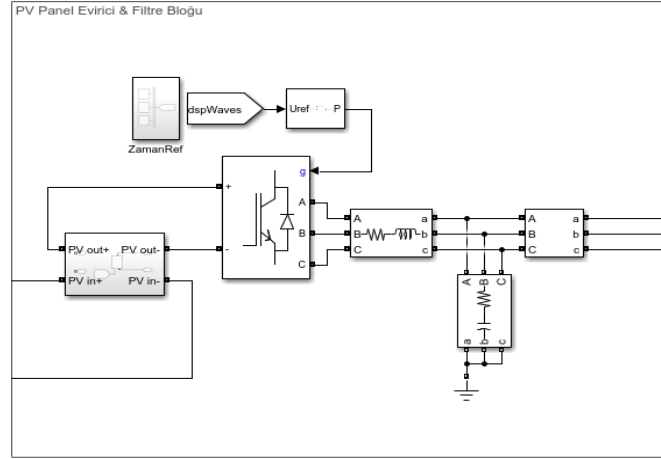
Forward voltages [Device Vf(V) , Diode Vfd(V)]
[0 0]

Measurements None

Şekil 5.20. Evirici parametreleri

Eviriciler, zorlamalı komütasyonludur. Yüksek güç ve düşük frekanslarda SCR kullanılır. Orta güç ve orta frekanslarda BJT, düşük güç ve yüksek frekanslarda MOSFET kullanılır. Ayrıca, diğer güç elemanları, GTO yüksek güç ve düşük frekanslarda, IGBT ortanın üzerindeki güç ve frekanslarda, MCT yüksek güç ve orta frekanslarda kullanılmaktadır.

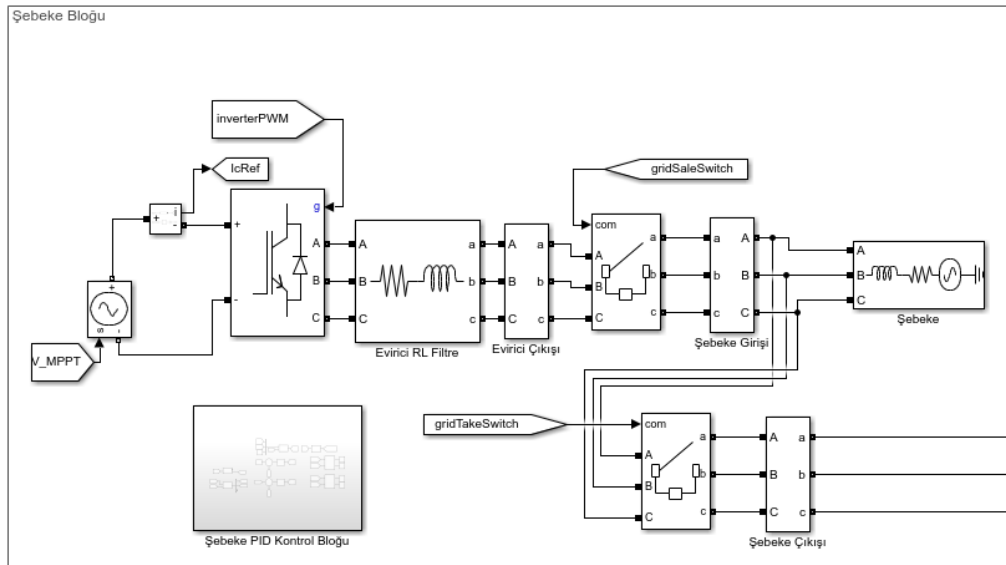
DC/DC dönüştürücü ile sabitlenen DC gerilim DC/AC evirici ile alternatif gerilime dönüştürdükten sonra elde gerilim LCL filtresi yardımı ile harmoniklerinden arındırılmıştır. Şekil 5.21'de tasarlanan evirici ve LCL filtre yapısının MATLAB/Simulink modeli verilmiştir.



Şekil 5.21. Evirici ve LCL filtre MATLAB/Simulink modeli

5.9. Şebeke Bloğu

Çalışma yüklerin panel, batarya veya yakıt hücresi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslenmesi üzerine yapılmış olsa da talep edilen gücü karşılayacak kadar güç üretimi olmayabilir. Bu olasılığında göz önünde bulundurulmasından dolayı sisteme şebeke bağlantısı eklenmiştir. Şekil 5.22’de görüldüğü gibi şebeke sisteme iki farklı bağlantı biçimiyle bağlanmaktadır. Şebeke satış ve alım olduğu bu iki bağlantı sayesinde talep edilen gücün fazlasıyla karşılanmasına karşın artan gücün şebekeye satılması, talebin karşılanamadığı durumlarda ise sistemin şebekeden alım yaparak talebin karşılanmasına imkan sağlamaktadır.



Şekil 5.22. Şebeke bağlantısının MATLAB/Simulink modeli

5.10. Enerji Yönetim Algoritması

Bu çalışmada bölgesel şartların göz önünde bulundurulmasıyla enerji yönetimini sağlamak amacıyla farklı senaryolar üzerinde durulmuştur. Enerji yönetimindeki amaç; şebekeden bağımsız, ucuz, sürdürülebilir, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasıyla daha çevreci enerji kullanımını sağlamaktır. Aynı zamanda sistemdeki kaynakların üretebileceği enerjilerin bilinmesi ve talep durumlarının ne ölçüde olduğunun tespitiyle bugünden yarınında planlanması sağlanmaktadır.

Çalışmada oluşturulan sistem şebekeye bağlı olsa da şebeke kullanımı düşük seviyede tutulmuştur. Bu yapı sayesinde hem maliyet anlamında tasarruf edilmesi hem de şebekedeki yükün azaltılmasıyla enerjinin verimli kullanılması sağlanmıştır. Sistemde güneş paneli, batarya sistemi, yakıt hücresi ve şebeke kaynak olarak kullanılmıştır. Panelin ürettiği güç, yükler tarafından talep edilen güç, bataryanın doluluk oranı, depo tankındaki hidrojen miktarı ve ücret tarifi gibi parametrelere bağlı olarak senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolarda mümkün olduğunca yüklerin panelden beslenmesi; batarya, yakıt hücresi ve şebekenin enerjinin yetmediği durumlarda kullanılması göz önünde bulundurulmuştur.

Çalışmada senaryo sınırlarını belirlemek adına bazı kararlar alınmıştır. Bunlar aşağıdaki gibidir;

- PV panel, sistem içerisinde ana üretim kaynağı olarak kullanılmıştır.
- Yakıt hücresi uzun soluklu kurtarıcı kaynak olarak kullanılmıştır.
- Çok zor durumda kalınmadıkça şebekenin kullanımı engellenmiştir. Bu çalışmadaki amaç; hem şebekeden bağımsız bir sistem oluşturmak hem de üretilen enerjinin verimli şekilde dağılımını sağlamaktır.
- Üretilen enerji talepten fazla olduğunda batarya depo edilir veya elektrolizörün aktif hale getirilmesiyle hidrojen üretimi sağlanır.
- Öncelik her zaman P_1 grubuna giren yüklerin beslenmesidir. Gereğinden fazla enerji sıkıntı yaşandığında P_2 yükleri devreden çıkarılacaktır.
- Şebeke tarife durumları Tablo 5.9'daki gibi ele alınmıştır.

5.10.1. Senaryolar

1. Senaryo: PV panelin ürettiği güç (P_{pv}), P_1+P_2 ($P_1=500$ W, $P_2=60$ W) yük talebine eşittir ve yükler panel tarafından beslenir. (Buradaki eşitlik durumunda, $\pm\%5$ 'lik fark göz ardı edilmiştir.)
2. Senaryo: PV panelin ürettiği güç, P_1+P_2 yük talebini fazlasıyla karşılar ($(P_{pv}-(P_1+P_2))>0$) ve yükler panel tarafından beslenir. Artan gücün ($P_{net}=P_{pv}-(P_1+P_2)$), sistemde kullanılması üzerine durum kontrolü yapılır. Batarya doludur ($SOC \geq 75$) ve artan güç, elektrolizörde hidrojen üretimi yapılabilmesi için gerekli minimum ve maksimum güç değerleri arasındadır. ($P_{elmin}=650$ W, $P_{elmax}=655$ W) Bu durumda yük talebinin karşılanması sonrasında artan güç, hidrojen üretimi için kullanılır.
3. Senaryo: PV panelin ürettiği güç, P_1+P_2 yük talebini fazlasıyla karşılar ($(P_{pv}-(P_1+P_2))>0$) ve yükler panel tarafından beslenir. Artan gücün (P_{net}), sistemde kullanılması üzerine durum kontrolü yapılır. Batarya doludur ($SOC \geq 75$) ve artan güç, elektrolizörde hidrojen üretimi yapılabilmesi için gerekli maksimum güç değerlerinden fazladır ($P_{net} > P_{elmax}$). Bu durumda yük talebinin karşılanması sonrasında artan gücün bir kısmı, hidrojen üretimi için kullanılır. Hidrojen üretimi sonrasında arta kalan güçte şebekeye satılır.
4. Senaryo: PV panelin ürettiği güç, P_1+P_2 yük talebini fazlasıyla karşılar ($(P_{pv}-(P_1+P_2))>0$) ve yükler panel tarafından beslenir. Artan gücün, sistemde kullanılması üzerine durum kontrolü yapılır. Batarya doludur ($SOC \geq 75$) ve artan güç, elektrolizörde hidrojen üretimi yapılabilmesi için gerekli minimum güç değerinden azdır ($P_{net} < P_{elmin}$). Bu durumda yük talebinin karşılanması sonrasında artan güç, yeterli olmadığından hidrojen üretimi için kullanılamaz ve şebekeye satılır.
5. Senaryo: PV panelin ürettiği güç, P_1+P_2 yük talebini fazlasıyla karşılar ($(P_{pv}-(P_1+P_2))>0$) ve yükler panel tarafından beslenir. Artan gücün, sistemde kullanılması üzerine durum kontrolü yapılır. Batarya yarı dolu veya boşdur. Bu durumda yük talebinin karşılanması sonrasında artan güç, bataryanın şarj edilmesi için kullanılır.
6. Senaryo: PV panelin ürettiği güç, P_1+P_2 yük talebini karşılayacak kadar yeterli değildir ($(P_{pv}-(P_1+P_2))<0$). Yük talebinin karşılanması için durum kontrolü yapılır.

Batarya yarı dolu veya tam doludur ($SOC \geq 25$). Bu durumda yük talebini batarya karşılar, panelde üretilen güç şebekeye satılır.

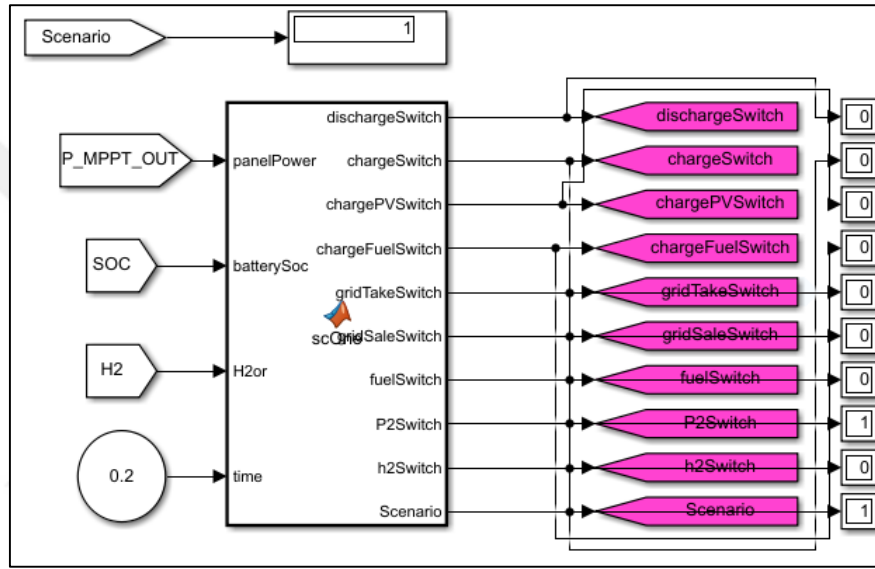
7. Senaryo: PV panelin ürettiği güç, P_1+P_2 yük talebini karşılayacak kadar yeterli değildir ($(P_{pv}-(P_1+P_2)) < 0$). Yük talebinin karşılanması için durum kontrolü yapılır. Batarya boştur ($SOC < 25$) ve sistemdeki hidrojen miktarı yakıt hücresinde güç üretebilecek değerdedir ($H_2 \geq 25$). Bu durumda yük talebini yakıt hücresi karşılar, panelde üretilen güç bataryanın şarj edilmesi için kullanılır.
8. Senaryo: PV panelin ürettiği güç, P_1+P_2 yük talebini karşılayacak kadar yeterli değildir ($(P_{pv}-(P_1+P_2)) < 0$). Yük talebinin karşılanması için durum kontrolü yapılır. Batarya boştur ($SOC < 25$) ve sistemdeki hidrojen miktarı yakıt hücresinde güç üretebilecek değerde değildir ($H_2 < 25$). Yük talebinin şebekeden karşılanması için tarife durumu kontrol edilir. Tarife 1 veya Tarife 3 olduğu tespit edilir. Bu durumda yük talebini şebeke karşılar, panelde üretilen güç bataryanın şarj edilmesi için kullanılır.
9. Senaryo: PV panelin ürettiği güç, P_1+P_2 yük talebini karşılayacak kadar yeterli değildir ($(P_{pv}-(P_1+P_2)) < 0$). Yük talebinin karşılanması için durum kontrolü yapılır. Batarya boştur ($SOC < 25$) ve sistemdeki hidrojen miktarı yakıt hücresinde güç üretebilecek değerde değildir ($H_2 < 25$). Yük talebinin şebekeden karşılanması için tarife durumu kontrol edilir. Tarife 2 olduğu tespit edilir. Bu durumda şebeke sadece P_1 yükü için talebi karşılar, panelde üretilen güç bataryanın şarj edilmesi için kullanılır.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde tasarlanan sistemin önerilen enerji yönetim algoritmasına göre çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir. Örneklere senaryolar üzerinden yapılmıştır.

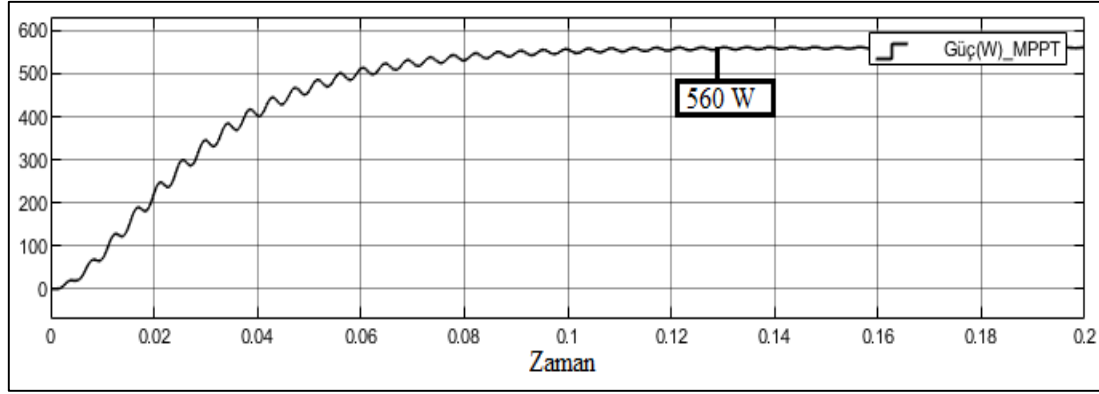
6.1. 1. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler

1. Senaryonun işletilmesiyle elde edilen anahtar konumları Şekil 6.1’de verilmiştir.



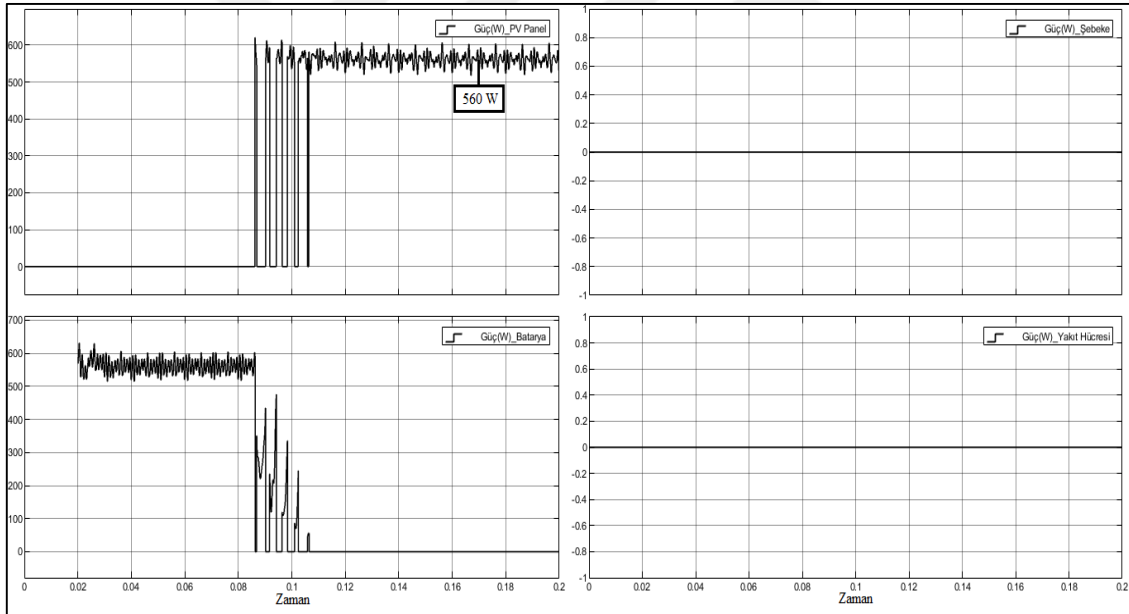
Şekil 6.1. 1. Senaryo sonucundaki anahtar konumları

Sistemde 1.Senaryonun gözlemlenebilmesi için ışıınım değeri 620 W/m^2 , sıcaklık değeri $25 \text{ }^\circ\text{C}$ alınmıştır. Anahtar konumları incelendiğinde panel P_1 ve P_2 yüklerini beslemektedir. (Bütün senaryolar için P_1 yükleri daima beslendiğinden P_1 yükleri için anahtarlama yapılmamıştır.) Senaryoda panelin ürettiği güç, talep edilen güce eşit olduğu için talep sadece panel tarafından karşılanmıştır. Şekil 6.2’de PV panelin ürettiği güç değeri verilmiştir.



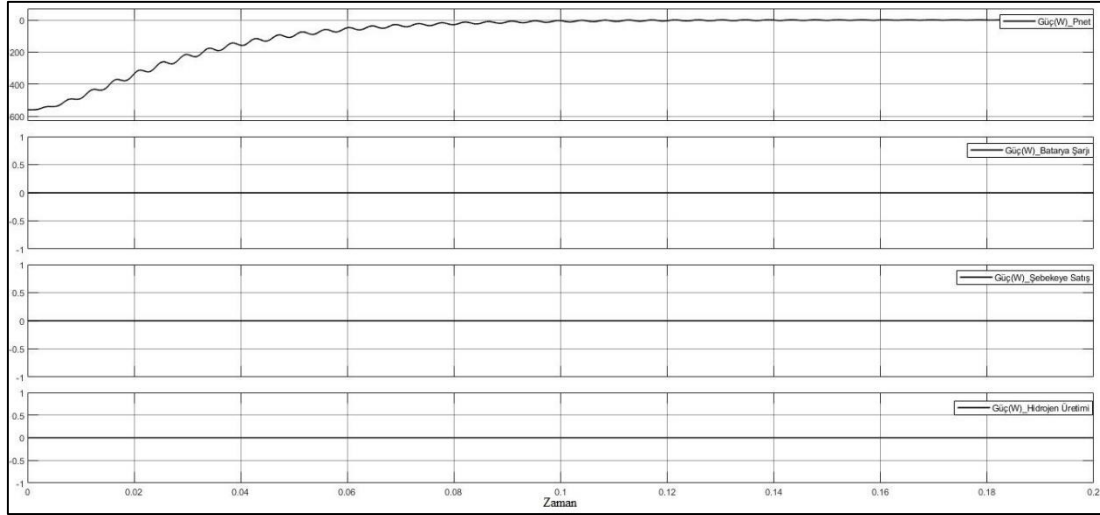
Şekil 6.2. 1. Senaryoda PV panelin ürettiği güç

1. Senaryonun işletilmesi sonucunda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri Şekil 6.3'te verilmiştir. Görüldüğü gibi panelin sisteme 560 W'lık güç aktarmasıyla yükler panel tarafından beslenmektedir. Batarya, yakıt hücresi ve şebekenin ise yükler üzerinde etkisi yoktur.



Şekil 6.3. 1. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri

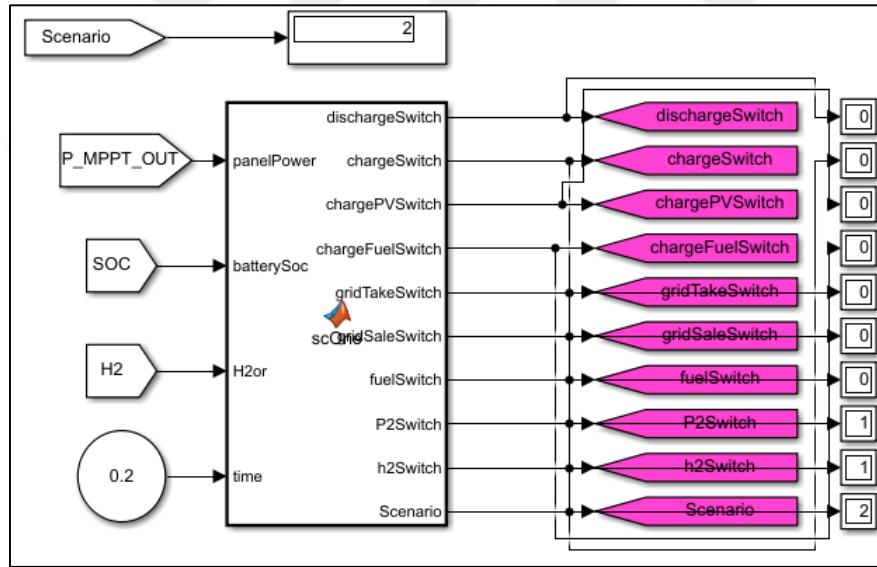
Sistemin güç dengesi incelendiğinde; panelin ürettiği güç, talep edilen güce eşit olduğu için üretilen bütün güç yükler için harcanır ve artan güç 0'dır. Şekil 6.4'te artan güç ve artan gücün dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi diğer sistemlere güç aktarımı olmamıştır.



Şekil 6.4. 1.Senaryo için güç dağılımı

6.2. 2. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler

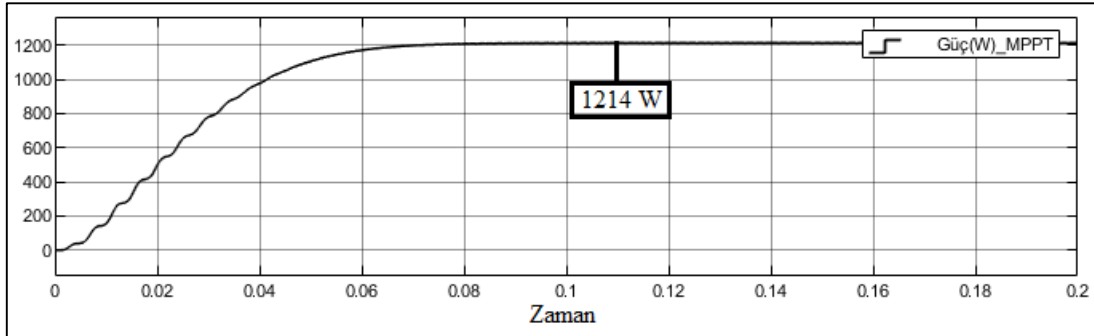
2. Senaryonun işletilmesiyle elde edilen anahtar konumları Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5. 2. Senaryo sonucundaki anahtar konumları

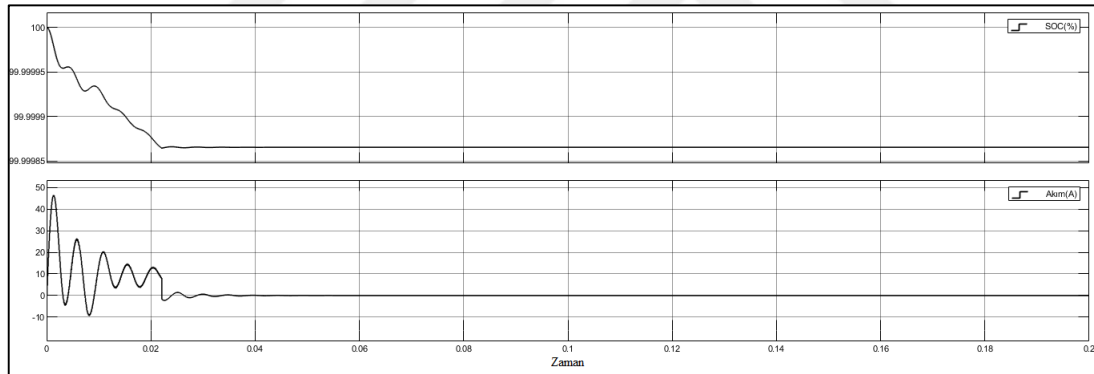
Sistemde 2.Senaryonun gözlemlenebilmesi için ışıınım değeri 975 W/m^2 , sıcaklık değeri $25 \text{ }^\circ\text{C}$ alınmıştır. Anahtar konumları incelendiğinde panel P_1 ve P_2 yüklerini beslemektedir. Panelin ürettiği güç, talep edilen güçten fazladır ve artan güç, elektrolizörde hidrojen üretimi yapılabilmesi için gerekli minimum ve maksimum güç değerleri arasındadır. Bu durumda yük talebinin karşılanması sonrasında artan güç,

hidrojen üretimi için kullanılır. Anahtar konumu hidrojen üretimi için 1'dir. Şekil 6.6'da PV panelin ürettiği güç değeri verilmiştir.



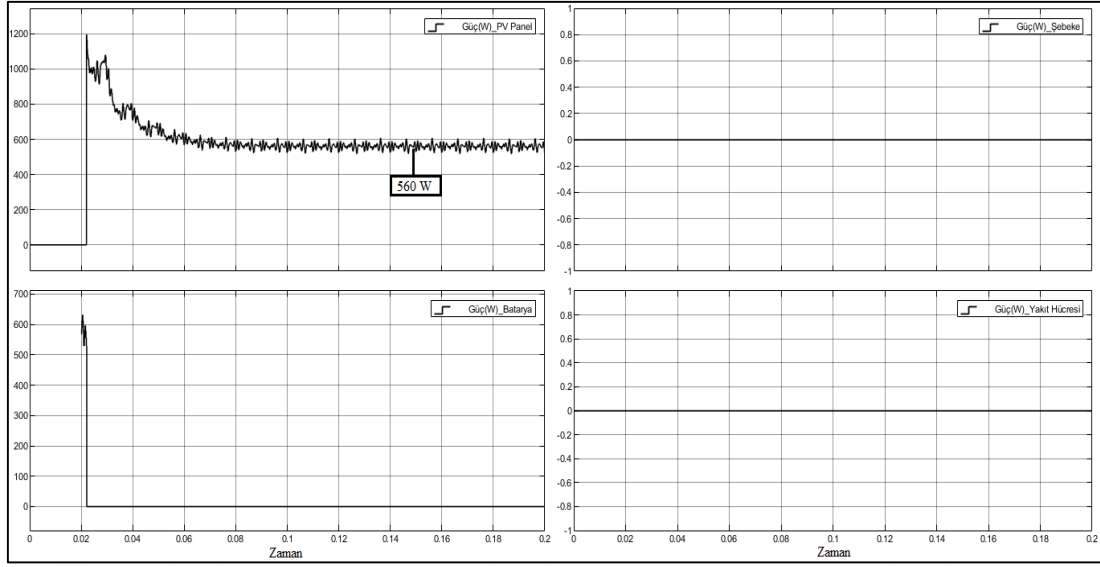
Şekil 6.6. 2. Senaryoda PV panelin ürettiği güç

Şekil 6.6'da görüldüğü gibi panelin sisteme aktardığı güç 1.214 W'tır. Senaryoda batarya durumu doludur. Talep edilen 560 W'luk güç, panel tarafından karşılandığı için batarya anahtar konumlarında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Şekil 6.7'de bataryanın akım ve SOC değerlerinin anlık ölçümleri verilmiştir.



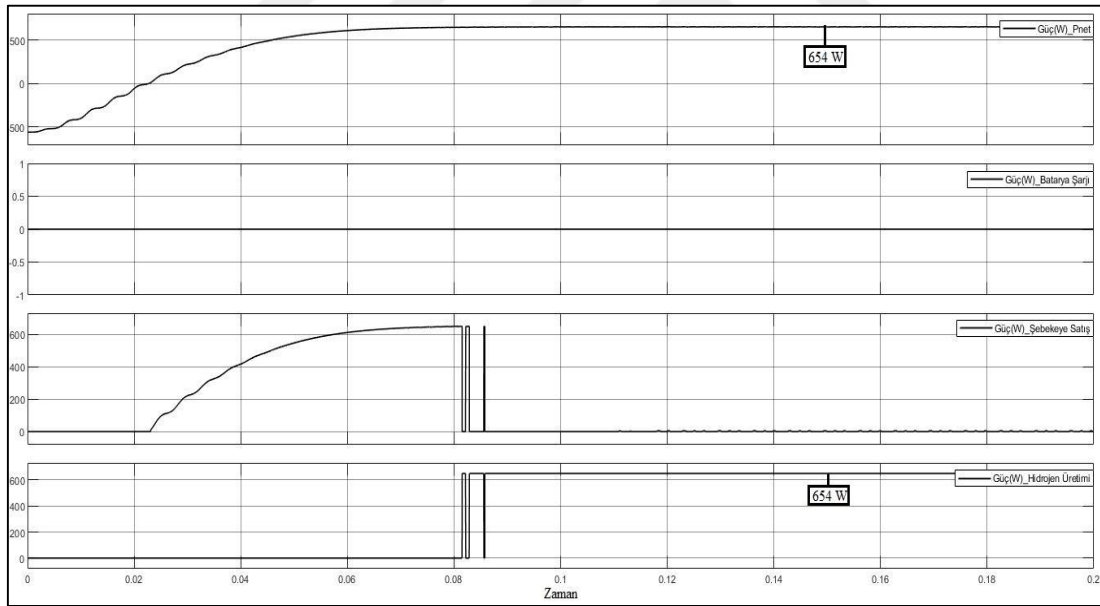
Şekil 6.7. 2. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri

Şekil 6.7'de görüldüğü gibi batarya SOC durumunda herhangi bir değişiklik olmamıştır. Artan güç hidrojen üretimi için kullanılmıştır. 2. Senaryonun işletilmesi sonucunda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri Şekil 6.8'de verilmiştir. Görüldüğü gibi batarya, yakıt hücresi ve şebekenin yük üzerinde etkisi yoktur, yükler panel tarafından beslenmektedir.



Şekil 6.8. 2. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri

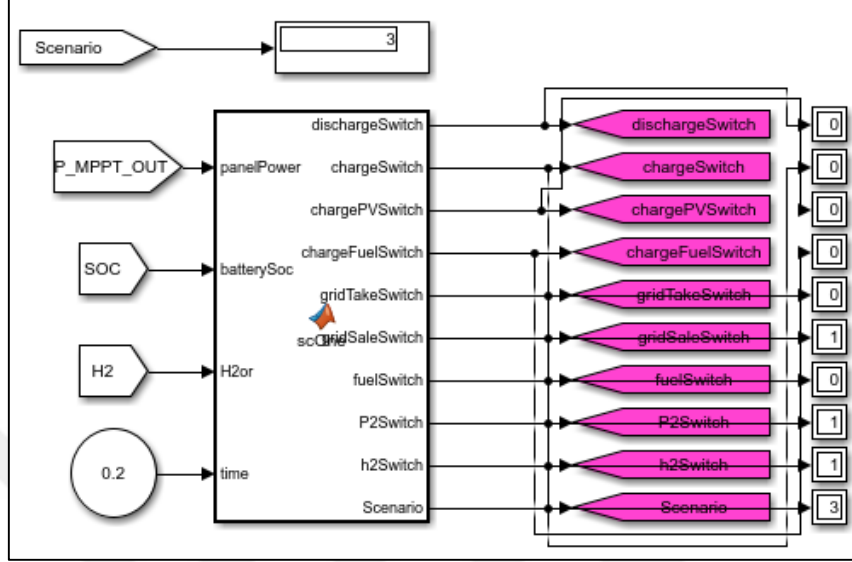
Sistemin güç dengesi incelendiğinde; artan 654 W'lık gücün hidrojen üretimi için aktarıldığı Şekil 6.9'da verilmiştir. Diğer sistemlere ise güç aktarımı olmamıştır.



Şekil 6.9. 2.Senaryo için güç dağılımı

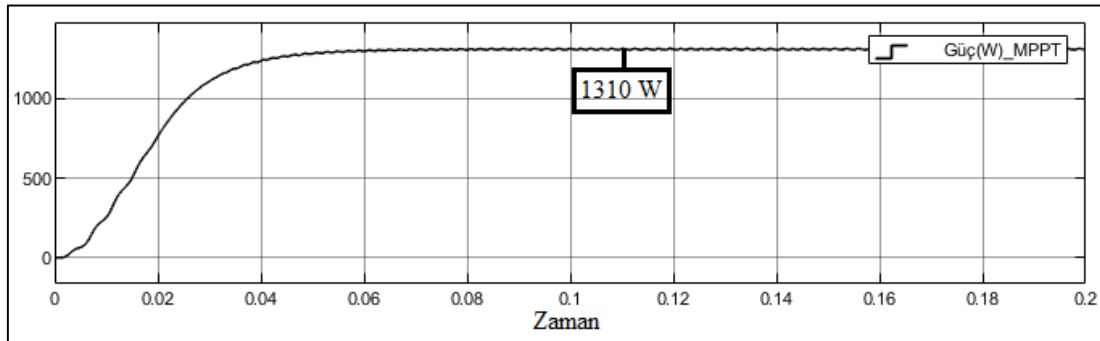
6.3. 3. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler

3. Senaryonun işletilmesiyle elde edilen anahtar konumları Şekil 6.10'da verilmiştir.



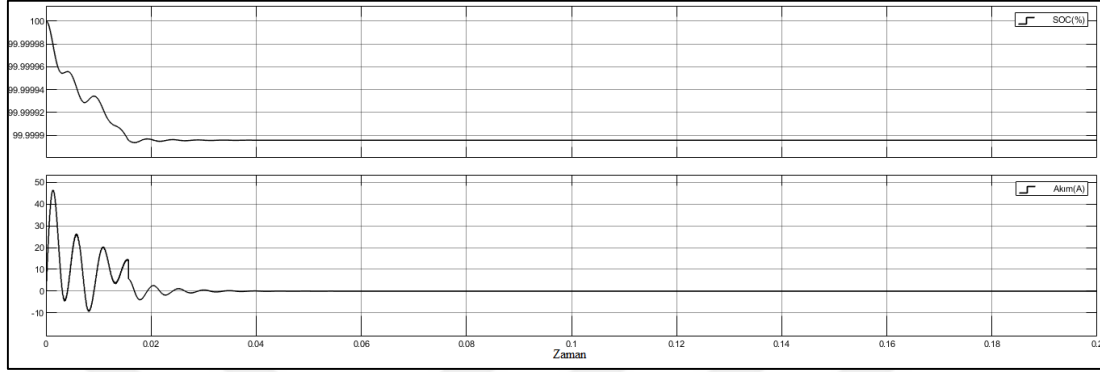
Şekil 6.10. 3. Senaryo sonucundaki anahtar konumları

Sistemde 3.Senaryonun gözlemlenebilmesi için ışıınım değeri 1.200 W/m^2 , sıcaklık değeri 50°C alınmıştır. Anahtar konumları incelendiğinde panel P_1 ve P_2 yüklerini beslemektedir. Panelin ürettiği güç, talep edilen güçten fazladır ve artan güç, elektrolizörde hidrojen üretimi yapılabilmesi için gerekli maksimum güç değerlerinden fazladır. Bu durumda yük talebinin karşılanması sonrasında artan gücün bir kısmı, hidrojen üretimi için kullanılır. Anahtar konumu hidrojen üretimi için 1'dir. Hidrojen üretimi sonrasında arta kalan güçte şebekeye satılır. Anahtar konumu şebekeye satış için 1'dir. Şekil 6.11'de PV panelin ürettiği güç değeri verilmiştir.



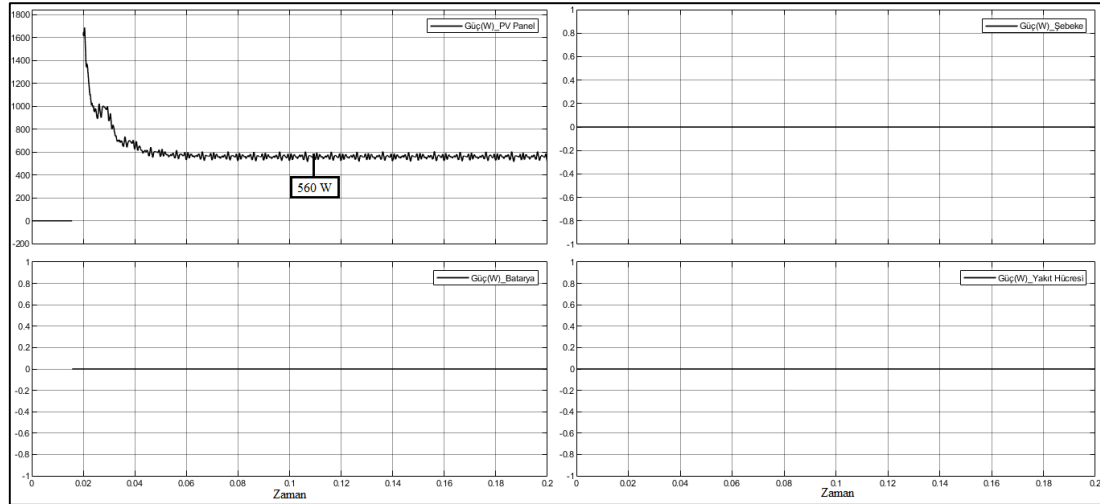
Şekil 6.11. 3. Senaryoda PV panelin ürettiği güç

Şekil 6.11’de görüldüğü gibi panelin sisteme aktardığı güç 1.310 W’tır. Senaryoda batarya durumu doludur. Talep edilen 560 W’lık güç, panel tarafından karşılandığı için batarya anahtar konumlarında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Şekil 6.12’de bataryanın akım ve SOC değerlerinin anlık ölçümleri verilmiştir.



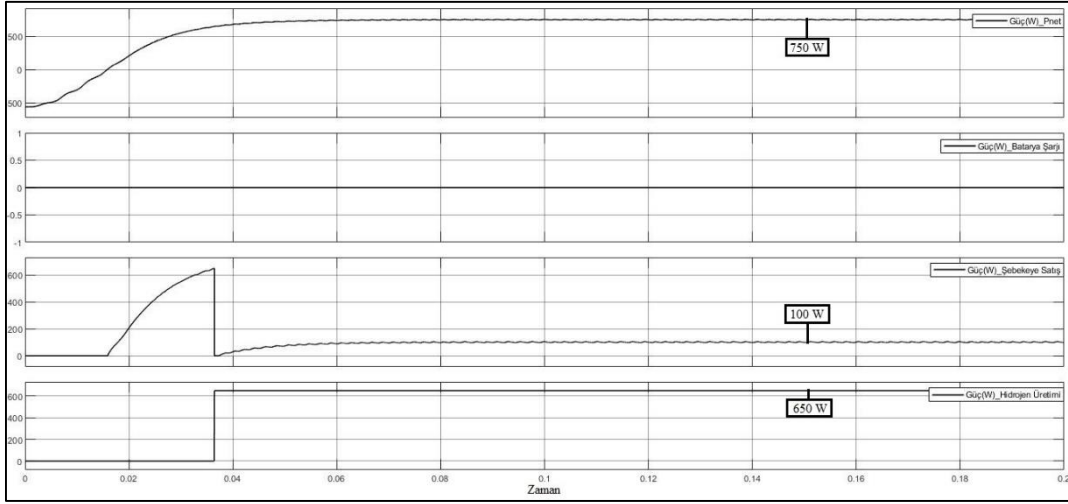
Şekil 6.12. 3. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri

Şekil 6.12’de görüldüğü gibi batarya SOC durumunda herhangi bir değişiklik olmamıştır. Artan gücün, 650 W’lık kısmı hidrojen üretimi için kullanılırken geriye kalan güç şebekeye satılmıştır. 3. Senaryonun işletilmesi sonucunda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri Şekil 6.13’te verilmiştir. Görüldüğü gibi batarya, yakıt hücresi ve şebekenin yük üzerinde etkisi yoktur, yükler panel tarafından beslenmektedir.



Şekil 6.13. 3. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri

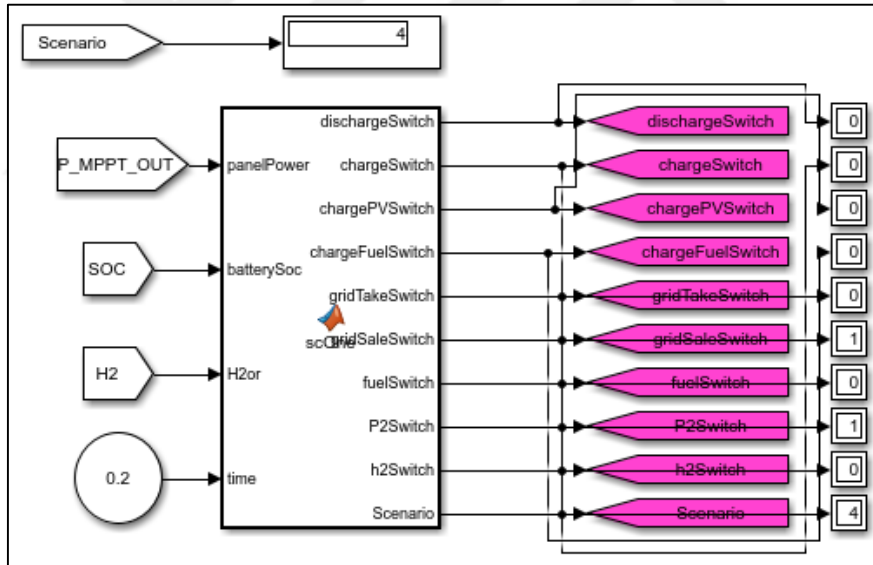
Sistemin güç dengesi incelendiğinde; artan 750 W’lık gücün 650 W’ı hidrojen üretimi için geriye kalan 100 W’lık gücün ise şebekeye aktarıldığı Şekil 6.14’te verilmiştir. Bataryaya ise güç aktarımı olmamıştır.



Şekil 6.14. 3.Senaryo için güç dağılımı

6.4. 4. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler

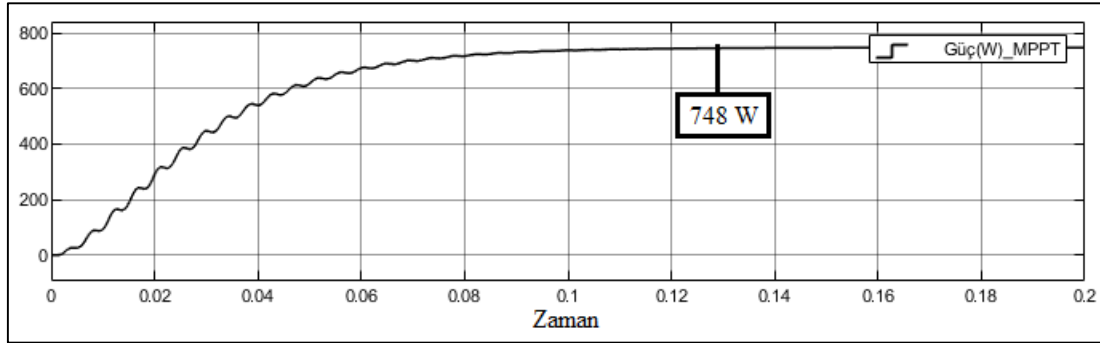
4. Senaryonun işletilmesiyle elde edilen anahtar konumları Şekil 6.15'te verilmiştir.



Şekil 6.15. 4. Senaryo sonucundaki anahtar konumları

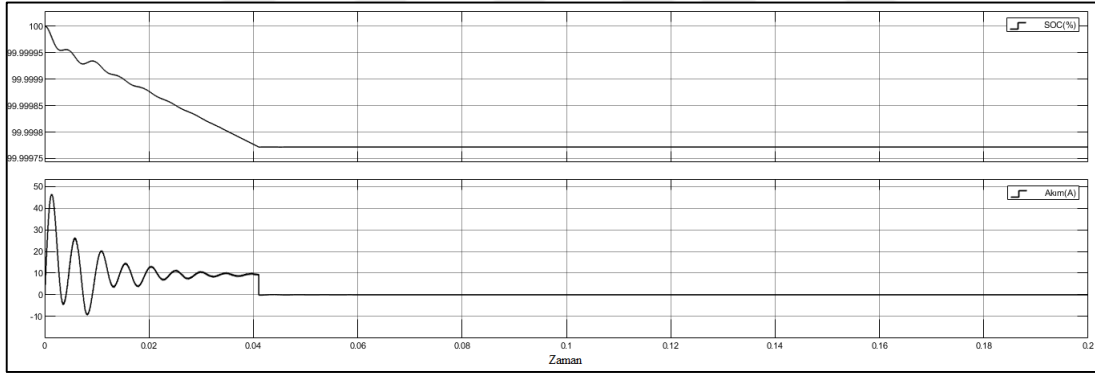
Sistemde 4.Senaryonun gözlemlenebilmesi için ışıınım değeri 710 W/m^2 , sıcaklık değeri 38°C alınmıştır. Anahtar konumları incelendiğinde panel P_1 ve P_2 yüklerini beslemektedir. Panelin ürettiği güç talep edilen güçten fazladır ve artan güç, elektrolizörde hidrojen üretimi yapılabilmesi için gerekli minimum güç değerinden azdır. Bu durumda yük talebinin karşılanması sonrasında artan güç yeterli olmadığından

hidrojen üretimi için kullanılamaz ve şebekeye satılır. Anahtar konumu hidrojen üretimi için 0, şebeke satışı için 1'dir. Şekil 6.16'da PV panelin ürettiği güç değeri verilmiştir.



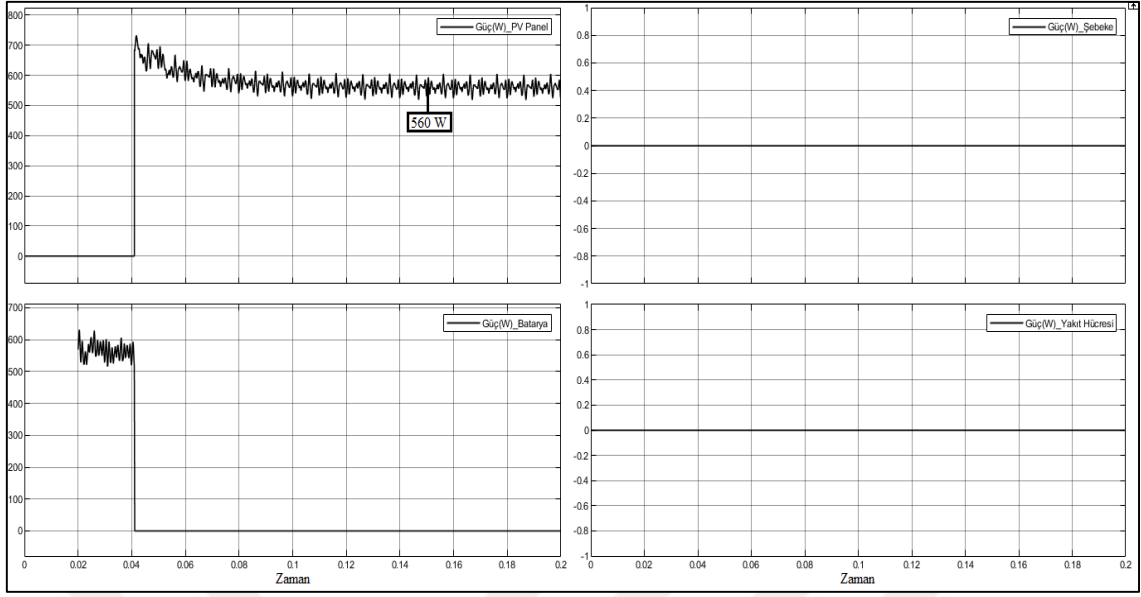
Şekil 6.16. 4. Senaryoda PV panelin ürettiği güç

Şekil 6.16'da görüldüğü gibi panelin sisteme aktardığı güç 748 W'tır. Senaryoda batarya durumu doludur. Talep edilen 560 W'lık güç, panel tarafından karşılandığı için batarya anahtar konumlarında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Şekil 6.17'de bataryanın akım ve SOC değerlerinin anlık ölçümleri verilmiştir.



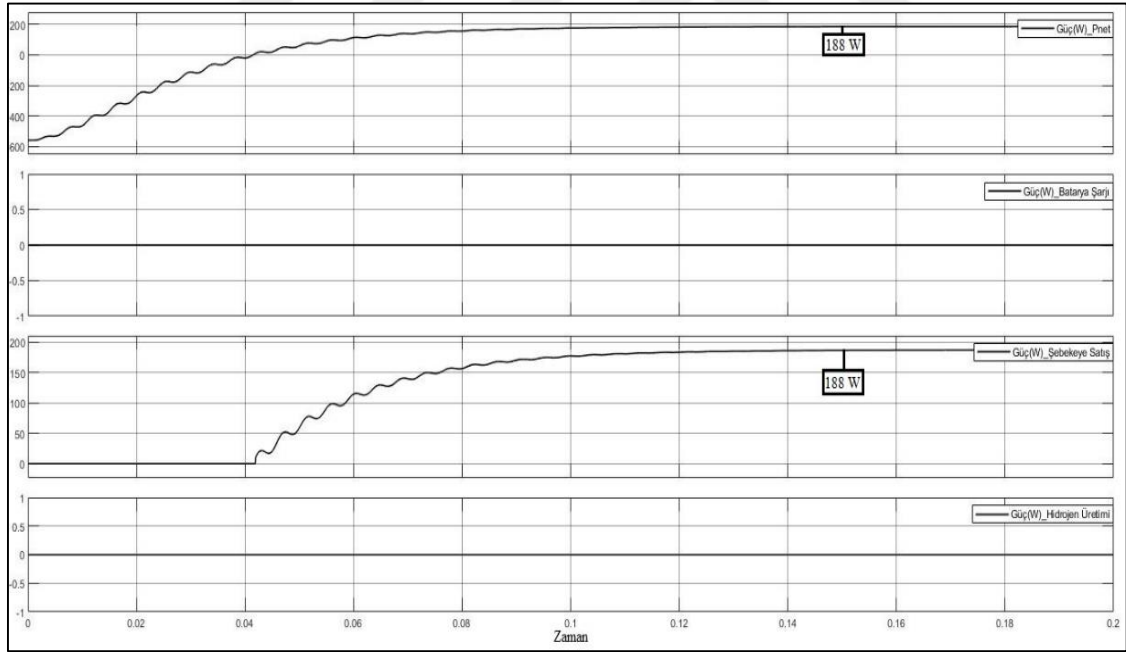
Şekil 6.17. 4. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri

Şekil 6.17'de görüldüğü gibi batarya SOC durumunda herhangi bir değişiklik olmamıştır. Artan 188 W'lık güç, hidrojen üretimi için yeterli gelmediğinden artan güç şebekeye satılmıştır. 4. Senaryonun işletilmesi sonucunda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri Şekil 6.18'de verilmiştir. Görüldüğü gibi batarya, yakıt hücresi ve şebekenin yük üzerinde etkisi yoktur, yükler panel tarafından beslenmektedir.



Şekil 6.18. 4. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri

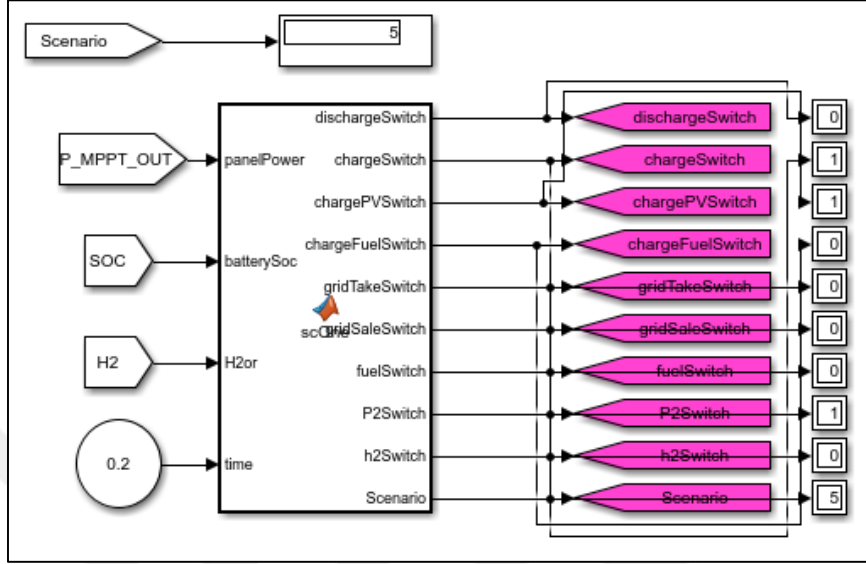
Sistemin güç dengesi incelendiğinde; artan 188 W'lık gücün şebekeye aktarıldığı Şekil 6.19'da verilmiştir. Diğer sistemlere ise güç aktarımı olmamıştır.



Şekil 6.19. 4.Senaryo için güç dağılımı

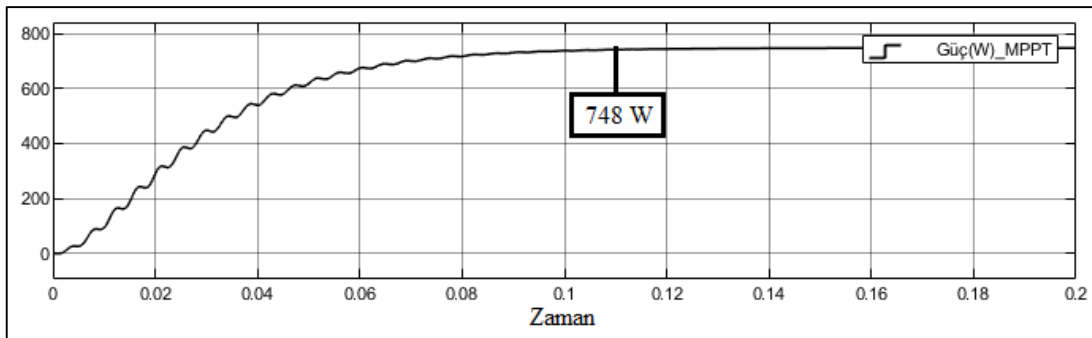
6.5. 5. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler

5. Senaryonun işletilmesiyle elde edilen anahtar konumları Şekil 6.20’de verilmiştir.



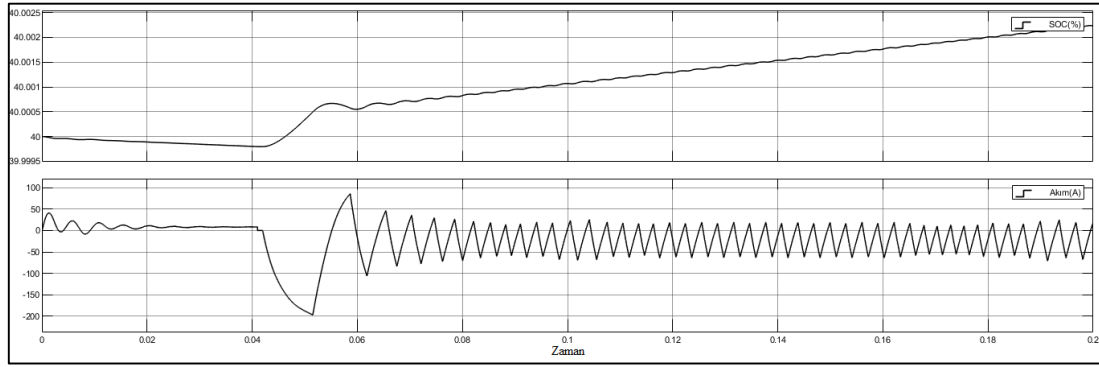
Şekil 6.20. 5. Senaryo sonucundaki anahtar konumları

Sistemde 5.Senaryonun gözlemlenebilmesi için ışıınım değeri 710 W/m^2 , sıcaklık değeri 38°C alınmıştır. Anahtar konumları incelendiğinde panel P_1 ve P_2 yüklerini beslemektedir. Panelin ürettiği güç talep edilen güçten fazladır ve artan güç, sistemde kullanılmak üzere durum kontrolü yapılır. Batarya yarı dolu veya boştur. Bu durumda yük talebinin karşılanması sonrasında artan güç, bataryanın şarj edilmesi için kullanılır. Anahtar konumu batarya şarjı için 1, şarj panel tarafından yapıldığı için chargePV konumu 1’dir. Şekil 6.21’de PV panelin ürettiği güç değeri verilmiştir.



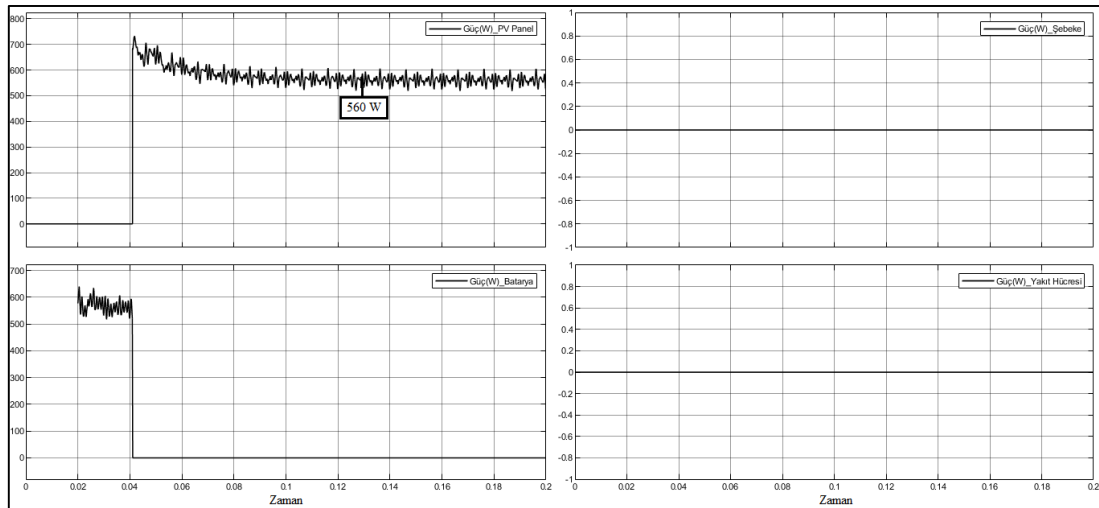
Şekil 6.21. 5. Senaryoda PV panelin ürettiği güç

Şekil 6.21’de görüldüğü gibi panelin sisteme aktardığı güç 748 W’tır. Senaryoda batarya durumu yarı dolu veya boştur. Batarya panel tarafından artan güç ile şarj edilmektedir. Şekil 6.22’de bataryanın akım ve SOC değerlerinin anlık ölçümleri verilmiştir.



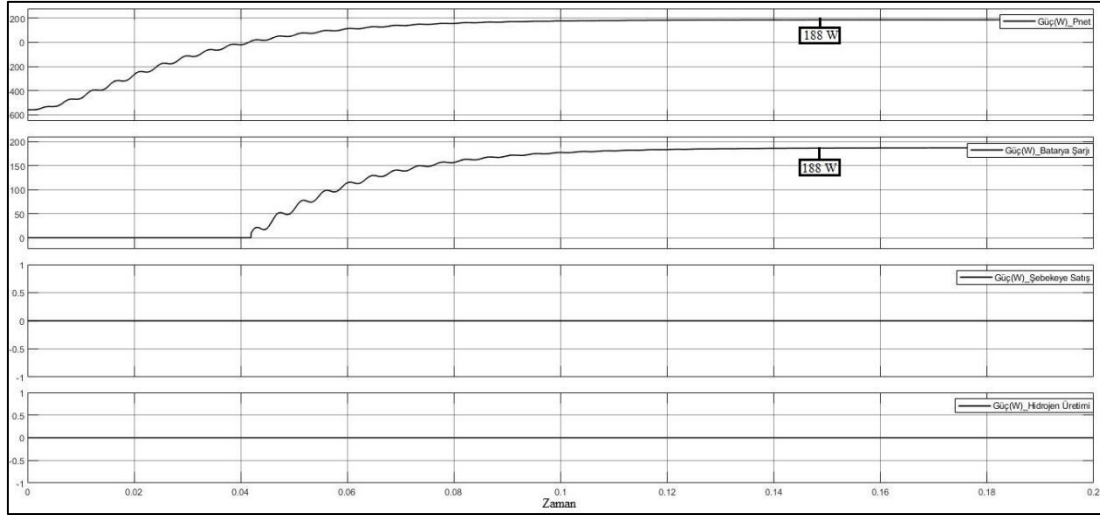
Şekil 6.22. 5. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri

Şekil 6.22’de görüldüğü gibi artan 188 W’lık güç batarya şarjı için kullanıldığından negatif yönde akım akışı ve batarya SOC durumunda artış meydana gelmiştir. 5. Senaryonun işletilmesi sonucunda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri Şekil 6.23’te verilmiştir. Görüldüğü gibi batarya, yakıt hücresi ve şebekenin yük üzerinde etkisi yoktur, yükler panel tarafından beslenmektedir.



Şekil 6.23. 5. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri

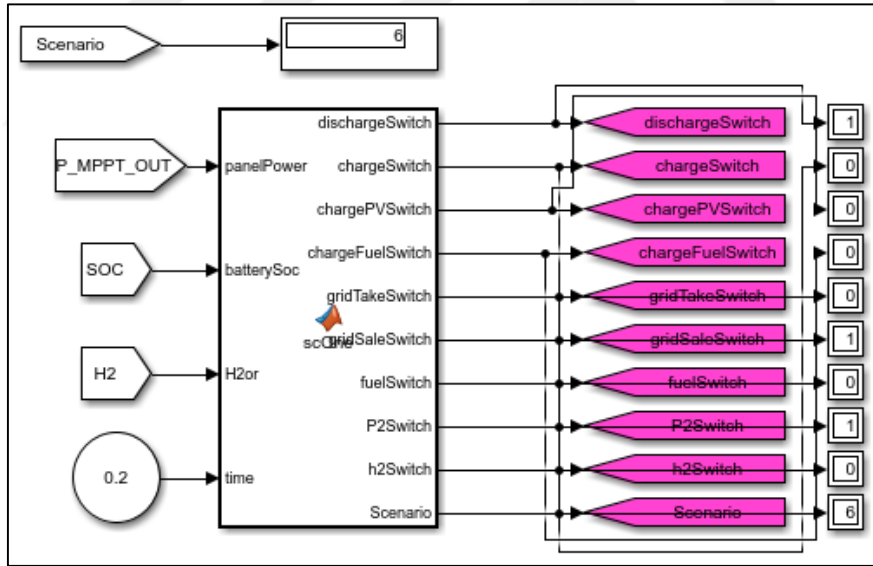
Sistemin güç dengesi incelendiğinde; artan 188 W’lık gücün şarj için bataryaya aktarıldığı Şekil 6.24’te verilmiştir. Diğer sistemlere ise güç aktarımı olmamıştır.



Şekil 6.24. 5.Senaryo için güç dağılımı

6.6. 6. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler

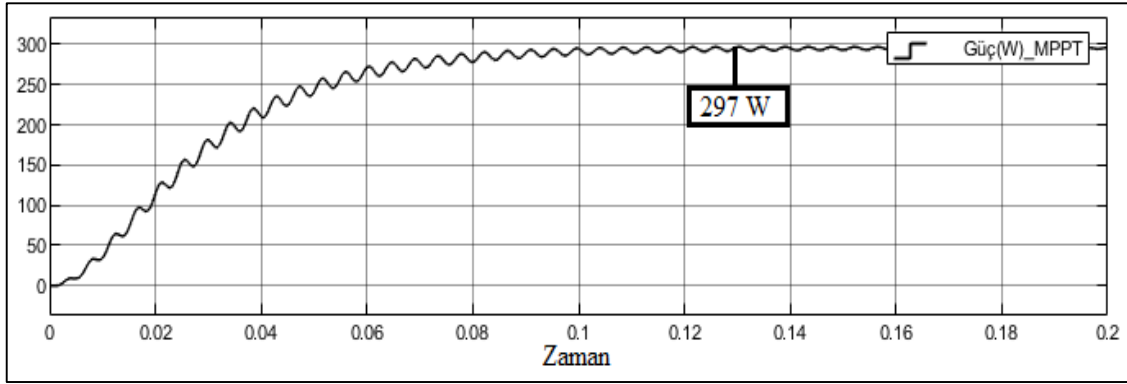
6. Senaryonun işletilmesiyle elde edilen anahtar konumları Şekil 6.25'te verilmiştir.



Şekil 6.25. 6. Senaryo sonucundaki anahtar konumları

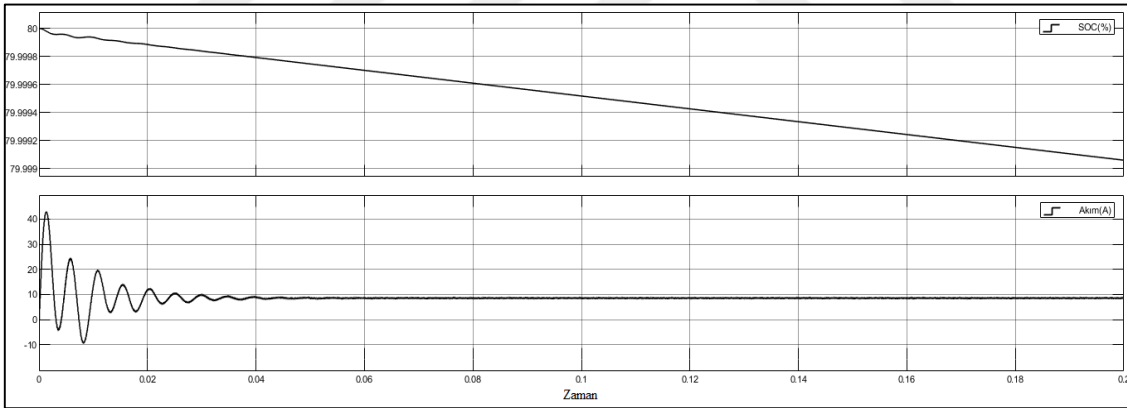
Sistemde 6.Senaryonun gözlemlenebilmesi için ışınlım değeri 445 W/m^2 , sıcaklık değeri 34°C alınmıştır. Anahtar konumları incelendiğinde P_1 ve P_2 yükleri beslenmektedir. PV panelin ürettiği güç, P_1+P_2 yük talebini karşılayacak kadar yeterli değildir. Yük talebinin karşılanması için durum kontrolü yapılır. Batarya yarı dolu veya tam doludur. Bu durumda yük talebini batarya karşılar, panelde üretilen güç şebekeye satılır. Anahtar

konumu batarya deşarjı ve şebeke satışı için 1'dir. Şekil 6.26'da PV panelin ürettiği güç değeri verilmiştir.



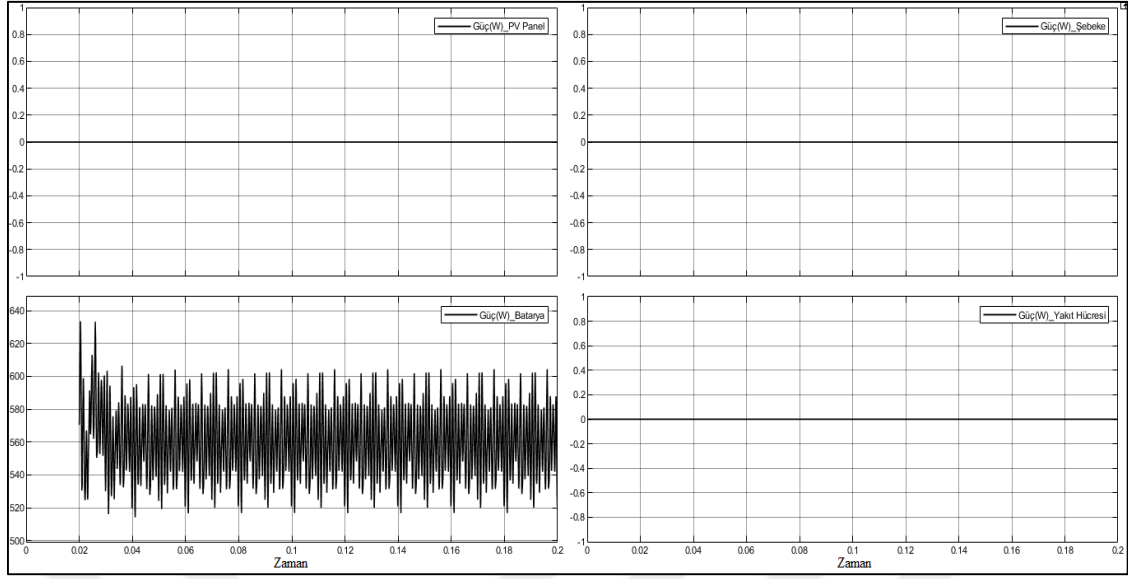
Şekil 6.26. 6. Senaryoda PV panelin ürettiği güç

Şekil 6.26'da görüldüğü gibi panelin sisteme aktardığı güç 297 W'tır. Senaryoda batarya durumu yarı dolu veya tam doludur. Panelin ürettiği güç 560 W'lık talep için yeterli gelmediğinden bataryanın ürettiği güç yükleri beslemektedir. Şekil 6.27'de bataryanın akım ve SOC değerlerinin anlık ölçümleri verilmiştir.



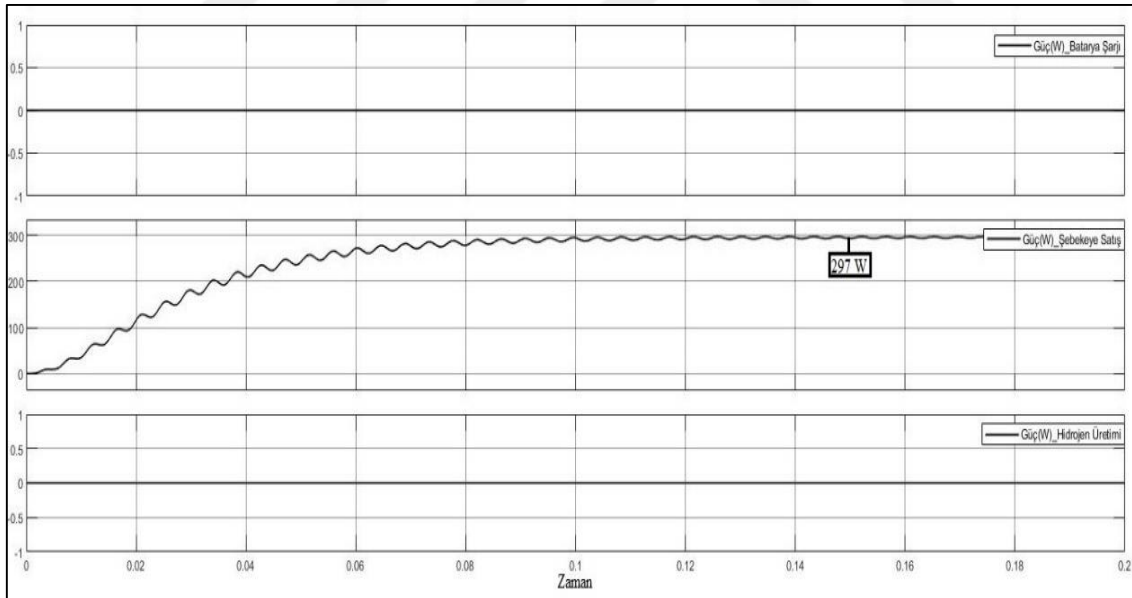
Şekil 6.27. 6. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri

Şekil 6.27'de görüldüğü gibi pozitif yönde akım akışı ve batarya SOC durumunda azalma meydana gelmiştir. 6. Senaryonun işletilmesi sonucunda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri Şekil 6.28'de verilmiştir. Görüldüğü gibi panel, yakıt hücresi ve şebekenin yük üzerinde etkisi yoktur, yükler batarya tarafından beslenmektedir.



Şekil 6.28. 6. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri

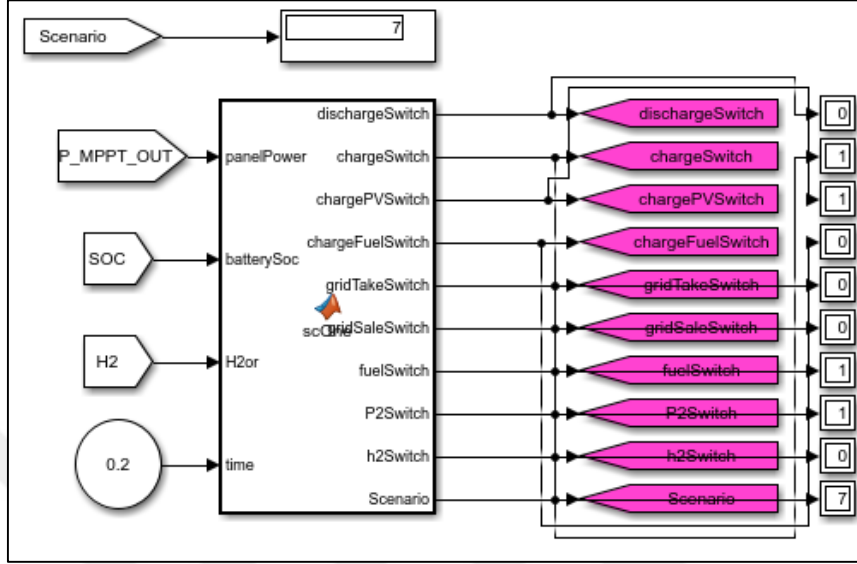
Sistemin güç dengesi incelendiğinde; panelin ürettiği fakat yükler için kullanılmayan 297 W'lık gücün şebekeye aktarıldığı Şekil 6.29'da verilmiştir. Diğer sistemlere ise güç aktarımı olmamıştır.



Şekil 6.29. 6.Senaryo için güç dağılımı

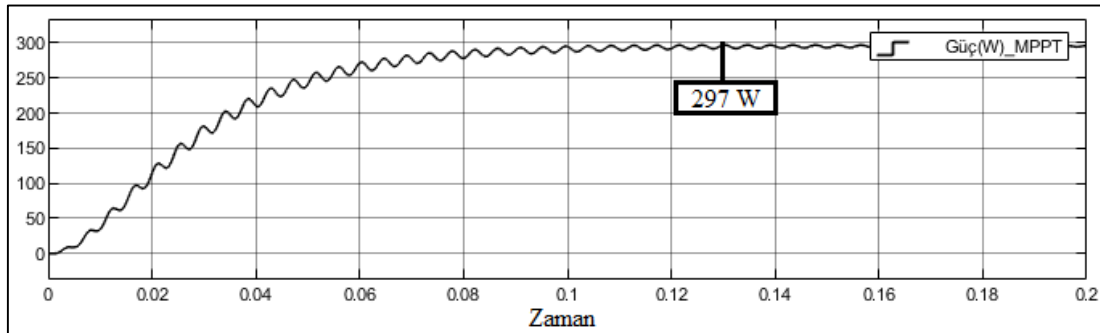
6.7. 7. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler

7. Senaryonun işletilmesiyle elde edilen anahtar konumları Şekil 6.30’da verilmiştir.



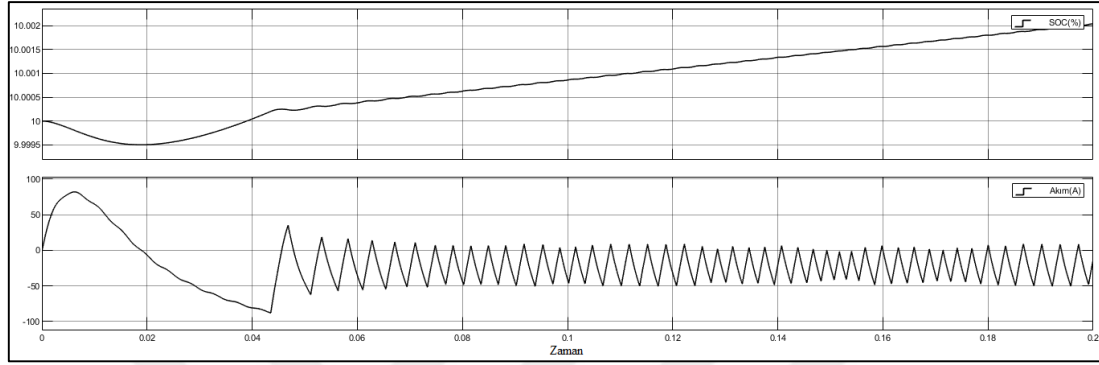
Şekil 6.30. 7. Senaryo sonucundaki anahtar konumları

Sistemde 7.Senaryonun gözlemlenebilmesi için ışıınım değeri 445 W/m^2 , sıcaklık değeri 34°C alınmıştır. Anahtar konumları incelendiğinde P_1 ve P_2 yükleri beslenmektedir. PV panelin ürettiği güç, P_1+P_2 yük talebini karşılayacak kadar yeterli değildir. Yük talebinin karşılanması için durum kontrolü yapılır. Batarya boştur ve sistemdeki hidrojen miktarı yakıt hücresinde güç üretebilecek degerdedir. Bu durumda yük talebini yakıt hücresi karşılar, panelde üretilen güç bataryanın şarj edilmesi için kullanılır. Anahtar konumu batarya şarjı, şarj panel tarafından yapıldığı için chargePV ve yakıt hücresi için 1’dir. Şekil 6.31’de PV panelin ürettiği güç değeri verilmiştir.



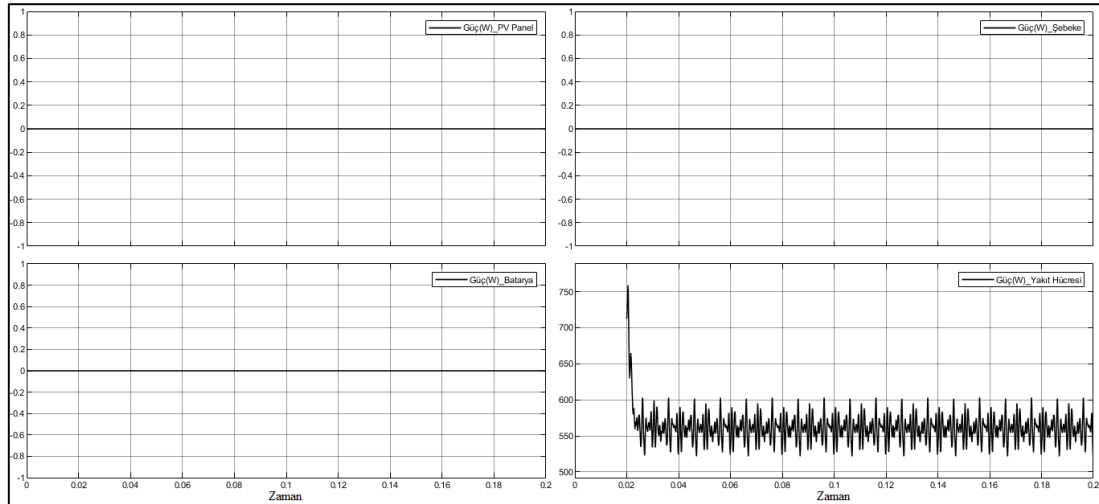
Şekil 6.31. 7. Senaryoda PV panelin ürettiği güç

Şekil 6.31’de görüldüğü gibi panelin sisteme aktardığı güç 297 W’tır. Senaryoda batarya durumu boştur ve hidrojen miktarı 40 mol’dür. Bu değer yakıt hücresinin çalışması için yeterlidir. Talep edilen 560 W’lık güç, yakıt hücresi tarafından karşılanırken, panelin ürettiği güç bataryanın şarj edilmesi için kullanılır. Şekil 6.32’de bataryanın akım ve SOC değerlerinin anlık ölçümleri verilmiştir.



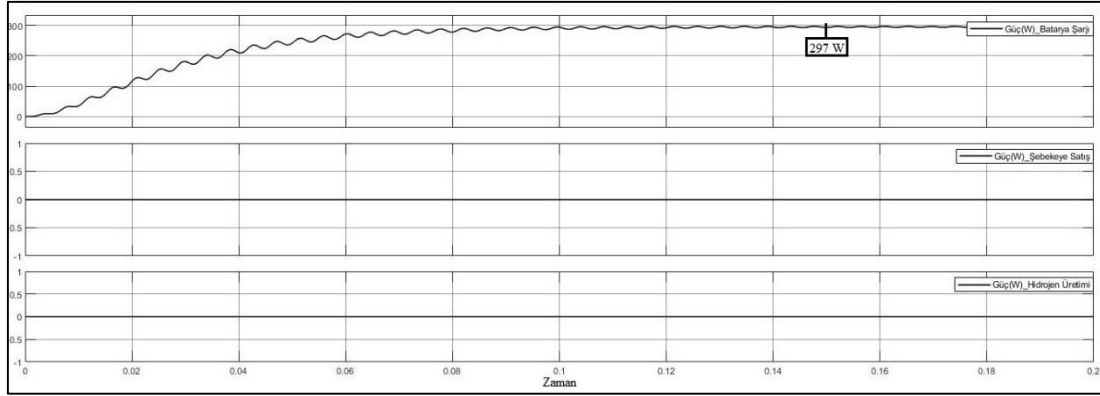
Şekil 6.32. 7. Senaryoda bataryanın anlık akım, gerilim ve SOC ölçümleri

Şekil 6.32’de görüldüğü gibi negatif yönde akım akışı ve batarya SOC durumunda artış meydana gelmiştir. 7. Senaryonun işletilmesi sonucunda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri Şekil 6.33’te verilmiştir. Görüldüğü gibi panel, batarya ve şebekenin yük üzerinde etkisi yoktur, yükler yakıt hücresi tarafından beslenmektedir.



Şekil 6.33. 7. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri

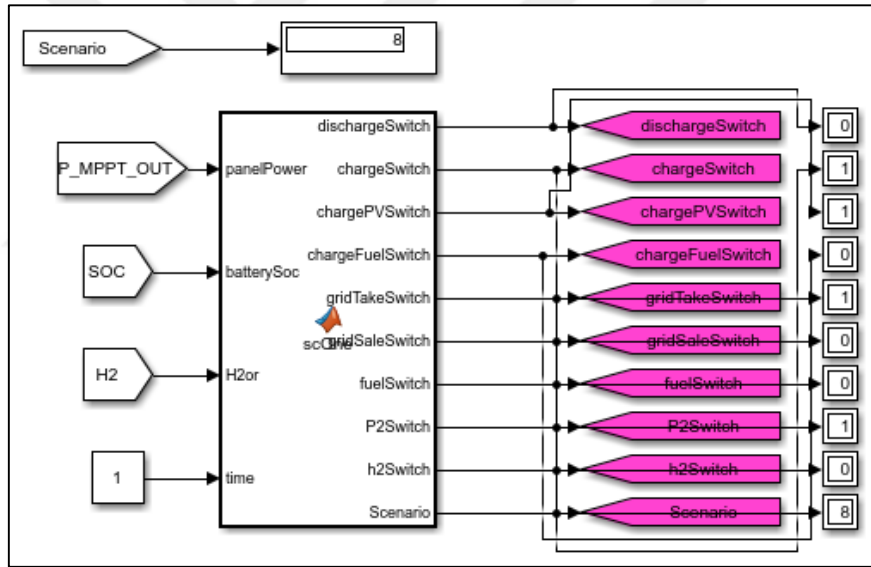
Sistemin güç dengesi incelendiğinde; panelin ürettiği fakat yükler için kullanılmayan 297 W’lık gücün bataryaya aktarıldığı Şekil 6.34’te verilmiştir. Diğer sistemlere ise güç aktarımı olmamıştır.



Şekil 6.34. 7.Senaryo için güç dağılımı

6.8. 8. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler

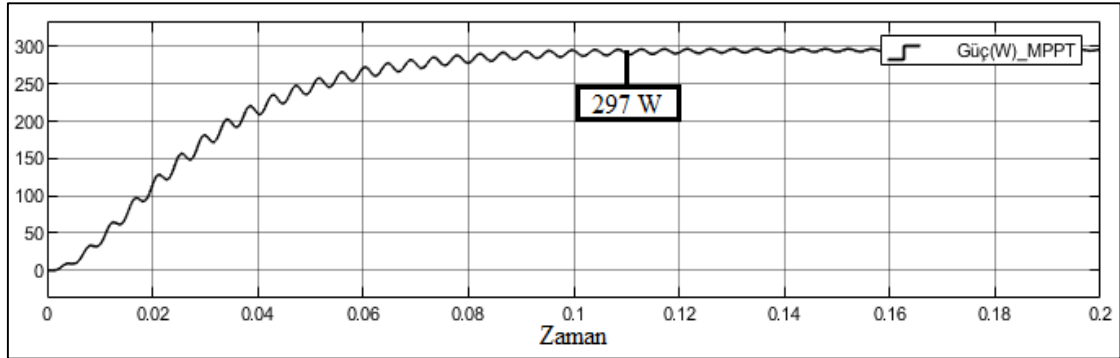
8. Senaryonun işletilmesiyle elde edilen anahtar konumları Şekil 6.35’te verilmiştir.



Şekil 6.35. 8. Senaryo sonucundaki anahtar konumları

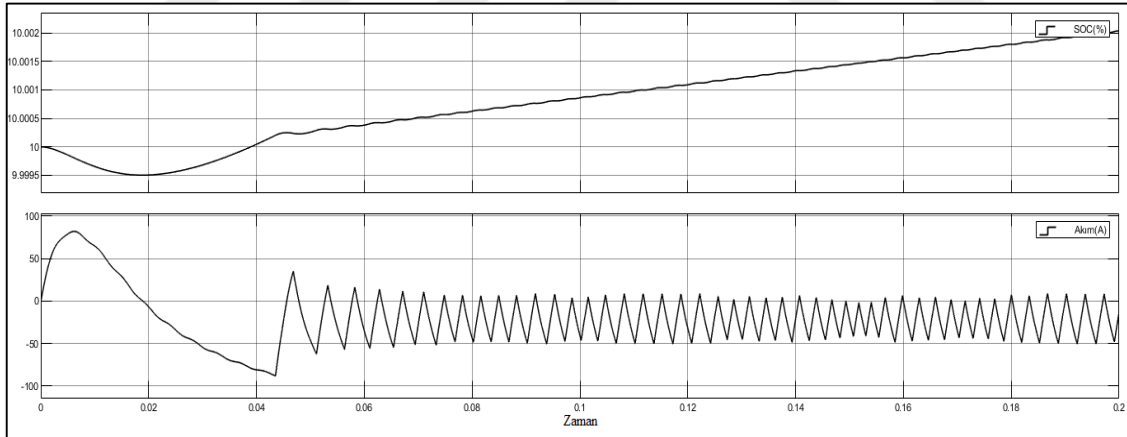
Sistemde 8.Senaryonun gözlemlenebilmesi için ışıınım değeri 445 W/m^2 , sıcaklık değeri 34°C alınmıştır. Anahtar konumları incelendiğinde P_1 ve P_2 yükleri beslenmektedir. PV panelin ürettiği güç, P_1+P_2 yük talebini karşılayacak kadar yeterli değildir. Yük talebinin karşılanması için durum kontrolü yapılır. Batarya boştur ve sistemdeki hidrojen miktarı yakıt hücresinde güç üretebilecek değerde değildir. Yük talebinin şebekeden karşılanması için tarife durumu kontrol edilir. Tarife 1 veya Tarife 3 olduğu için yük talebi şebeke tarafından karşılanırken, panelde üretilen güç bataryanın şarj edilmesi için kullanılır.

Anahtar konumu batarya şarjı, şarj panel tarafından yapıldığı için chargePV ve şebeke alımı için 1'dir. Şekil 6.36'da PV panelin ürettiği güç değeri verilmiştir.



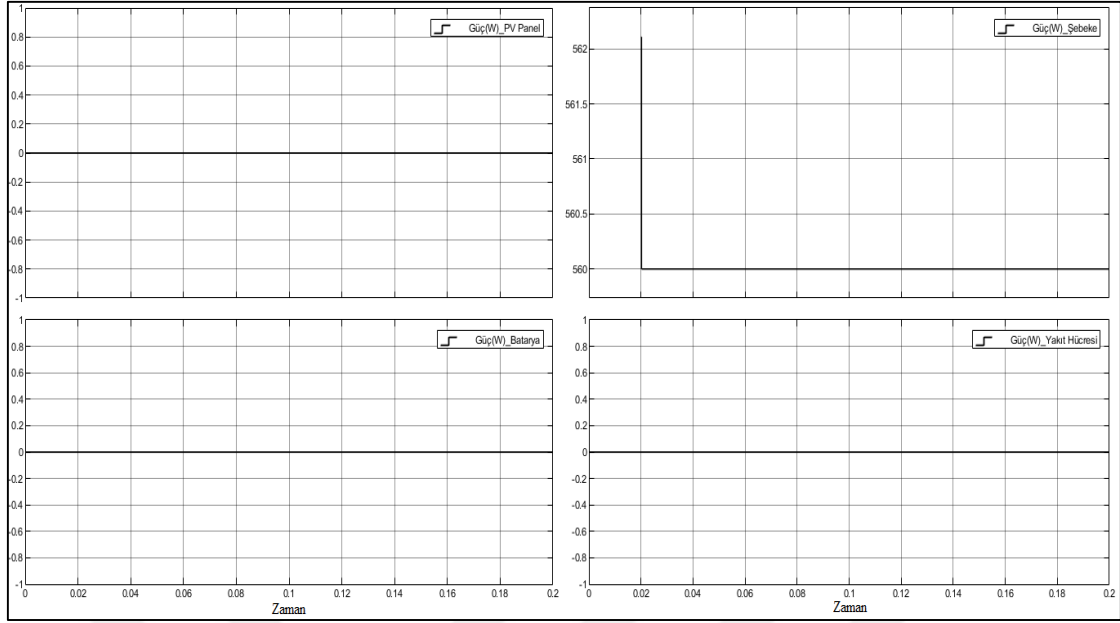
Şekil 6.36. 8. Senaryoda PV panelin ürettiği güç

Şekil 6.36'da görüldüğü gibi panelin sisteme aktardığı güç 297 W'tır. Senaryoda batarya durumu boş, hidrojen miktarı 20 mol ve saat 01:00'dir. Bu değer yakıt hücresinin çalışması için yeterli değildir. Talep edilen 560 W'lık güç, şebeke tarafından karşılanırken, panelin ürettiği güç bataryanın şarj edilmesi için kullanılır. Şekil 6.37'de bataryanın akım ve SOC değerlerinin anlık ölçümleri verilmiştir.



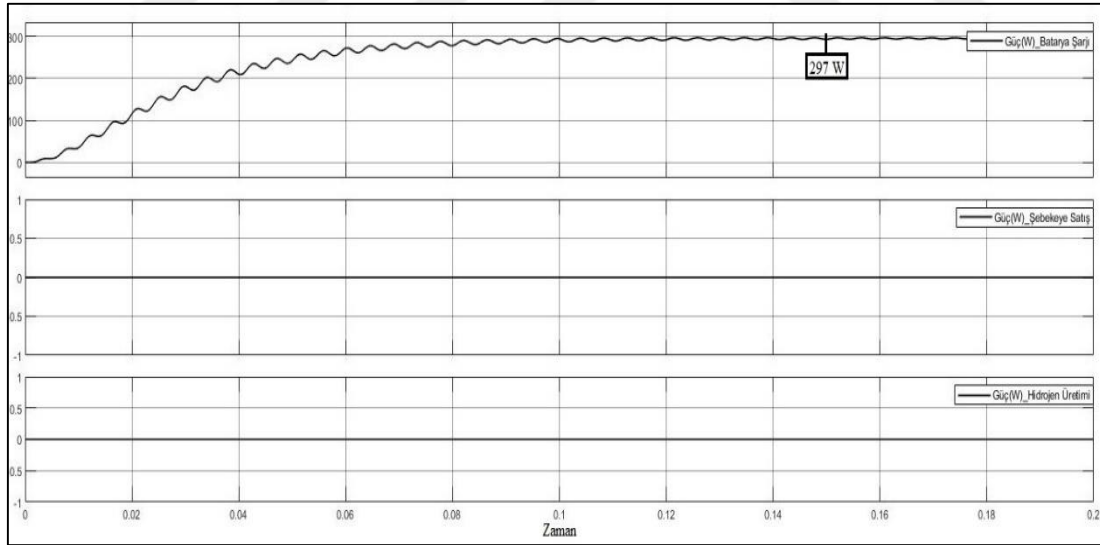
Şekil 6.37. 8. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri

Şekil 6.37'de görüldüğü gibi negatif yönde akım akışı ve batarya SOC durumunda artış meydana gelmiştir. 8. Senaryonun işletilmesi sonucunda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri Şekil 6.38'de verilmiştir. Görüldüğü gibi panel, batarya ve yakıt hücresinin yük üzerinde etkisi yoktur, yükler şebeke tarafından beslenmektedir.



Şekil 6.38. 8. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri

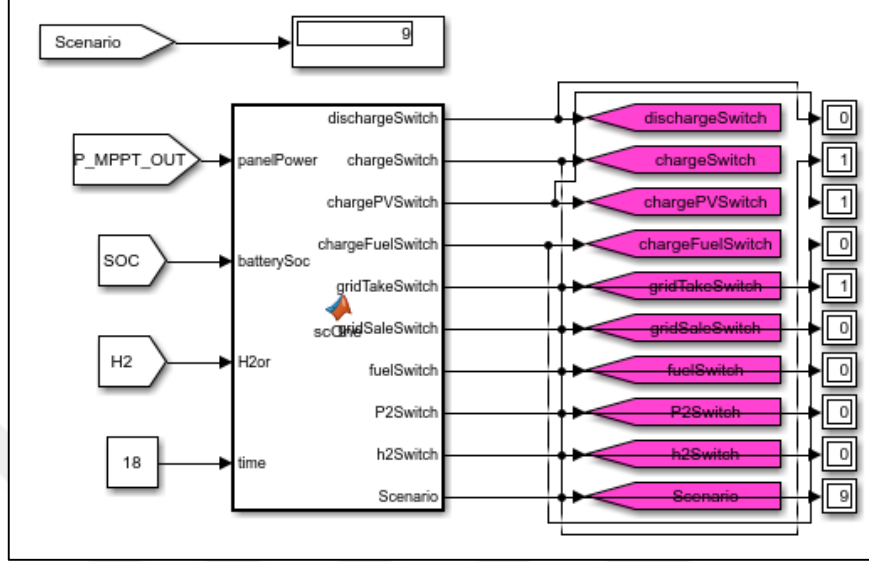
Sistemin güç dengesi incelendiğinde; panelin ürettiği fakat yükler için kullanılmayan 297 W'lık gücün bataryaya aktarıldığı Şekil 6.39'da verilmiştir. Diğer sistemlere ise güç aktarımı olmamıştır.



Şekil 6.39. 8.Senaryo için güç dağılımı

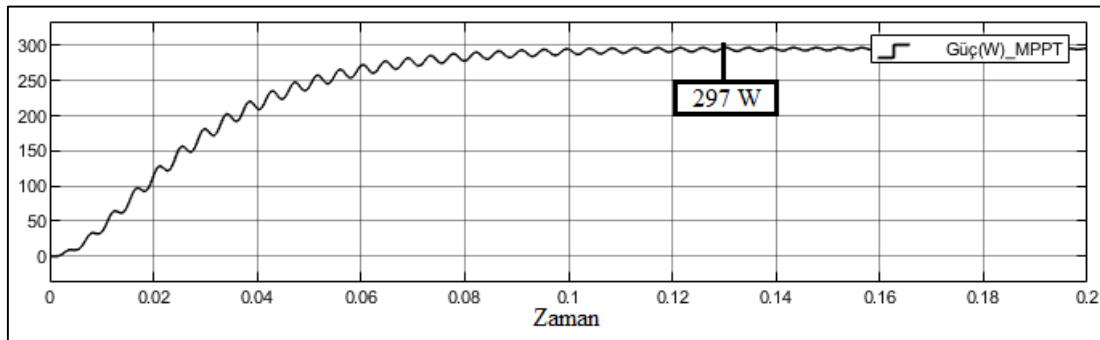
6.9. 9. Senaryonun İşletilmesiyle Elde Edilen Veriler

9. Senaryonun işletilmesiyle elde edilen anahtar konumları Şekil 6.40'ta verilmiştir.



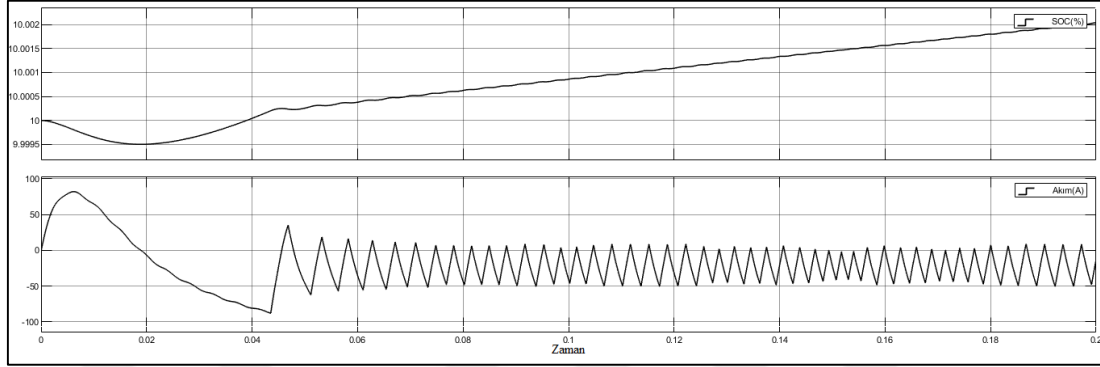
Şekil 6.40. 9. Senaryo sonucundaki anahtar konumları

Sistemde 9.Senaryonun gözlemlenebilmesi için ışıınım değeri 445 W/m^2 , sıcaklık değeri 34°C alınmıştır. Anahtar konumları incelendiğinde sadece P_1 yükü beslenmektedir. PV panelin ürettiği güç, P_1+P_2 yük talebini karşılayacak kadar yeterli değildir. Yük talebinin karşılanması için durum kontrolü yapılır. Batarya boştur ve sistemdeki hidrojen miktarı yakıt hücresinde güç üretebilecek değerde değildir. Yük talebinin şebekeden karşılanması için tarife durumu kontrol edilir. Tarife 2 olduğu için yük talebi sadece P_1 için şebeke tarafından karşılanırken, panelde üretilen güç bataryanın şarj edilmesi için kullanılır. Anahtar konumu batarya şarjı, şarj panel tarafından yapıldığı için chargePV ve şebeke alımı için 1'dir. Şekil 6.41'de PV panelin ürettiği güç değeri verilmiştir.



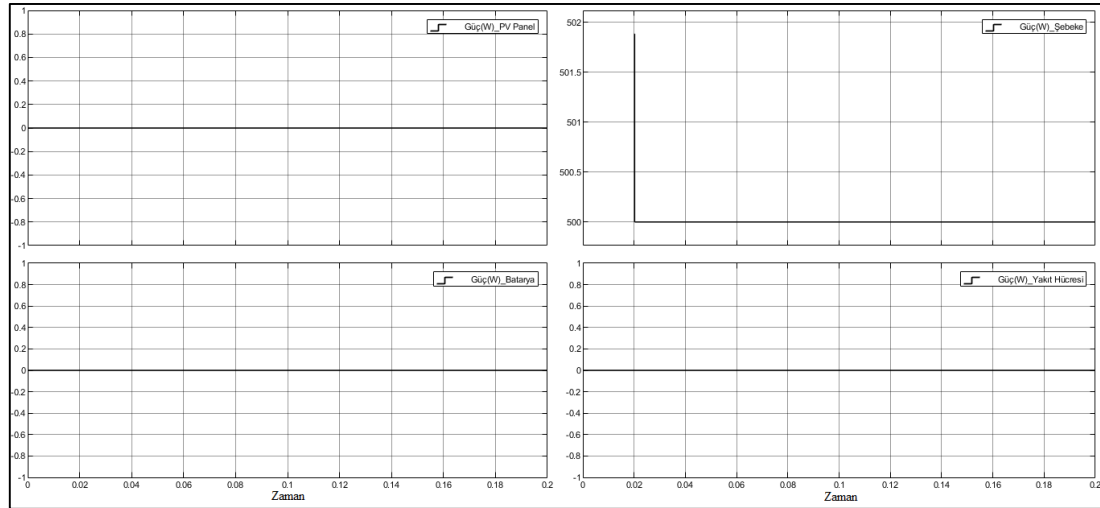
Şekil 6.41. 9. Senaryoda PV panelin ürettiği güç

Şekil 6.41’de görüldüğü gibi panelin sisteme aktardığı güç 297 W’tır. Senaryoda batarya durumu boş, hidrojen miktarı 20 mol ve saat 18:00’dır. Talep edilen 500 W’lık güç şebeke tarafından karşılanırken, panelin ürettiği güç bataryanın şarj edilmesi için kullanılır. Şekil 6.42’de bataryanın akım ve SOC değerlerinin anlık ölçümleri verilmiştir.



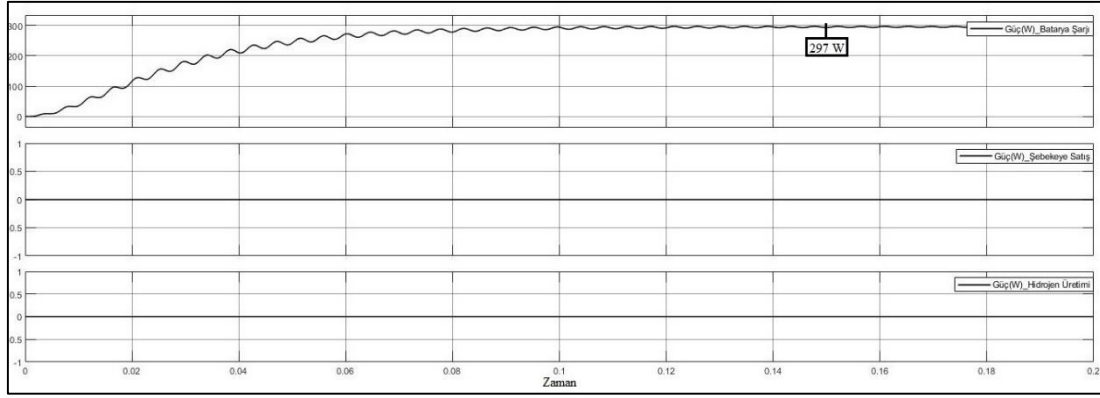
Şekil 6.42. 9. Senaryoda bataryanın anlık akım ve SOC ölçümleri

Şekil 6.42’de görüldüğü gibi negatif yönde akım akışı ve batarya SOC durumunda artış meydana gelmiştir. 9. Senaryonun işletilmesi sonucunda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri Şekil 6.43’te verilmiştir. Görüldüğü gibi panel, batarya ve yakıt hücresinin yük üzerinde etkisi yoktur, sadece P_1 yükü şebeke tarafından beslenmektedir.



Şekil 6.43. 9. Senaryoda kaynakların yük üzerindeki anlık etkileri

Sistemin güç dengesi incelendiğinde; panelin ürettiği fakat yükler için kullanılmayan 297 W’lık gücün bataryaya aktarıldığı Şekil 6.44’te verilmiştir. Diğer sistemlere ise güç aktarımı olmamıştır.



Şekil 6.44. 9.Senaryo için güç dağılımı

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ekonomik ve toplumsal gelişmede temeli enerji oluşturmaktadır. Teknolojinin gelişmesinin yanı sıra çevreye olan olumsuz etkileri artmıştır. Bunun sebeplerinden biri enerji üretiminde fosil yakıtların kullanılmasıdır. Fosil yakıtların enerji kaynağı olarak kullanımı, çevremizi çeşitli yönlerden geri dönülmez biçimde etkilemiştir. Küresel ısınma, hava kirliliği gibi durumlar fosil yakıt kullanımının etkisidir. Enerji ihtiyacının arttığı ve sınırlı kaynakların azaldığı bu zamanlarda, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç her geçen gün arttırmaktadır.

Dünya’da son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar artmıştır ve çeşitli sistem yapıları tasarlanıp, hayata geçirilmiştir. Yenilenemeyen enerji üretim kaynaklarının hızla tükenmesi, hammadde fiyatlarının artması, çevreye ve insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkisi yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaları arttırmıştır.

Ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen ve sınırsız bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi potansiyeli bakımından birçok ülkeye göre oldukça zengin durumdadır. Ülkemizin yakın gelecekte, güneş enerjisinden elektrik üretimine yönelik yatırım planlarının ve çalışmalarının olması, bu tesislerin ülkemizde yoğun ve yaygın bir şekilde uygulanmaya başlanacağını sinyali vermektedir.

Yenilenebilir kaynakların neler olduğu, bu kaynaklarla uygulanabilecek sistemlerin neler olduğu, özellikle güneş enerji sistemi yapısını oluşturan PV paneller, sistemleri enerji yönünden destekleyen depolama birimleri ve enerjinin verimli bir şekilde yönlendirilmesine ilişkin yönetim stratejileri üzerinde durulmuştur. Konut tipinde yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılmasına yönelik MATLAB/Simulink ortamında tasarlanan sistemin verimli bir şekilde yönetilmesine yönelik strateji senaryoları bu tez çalışmasının konusudur. Tez çalışmasında gerçek verilerin kullanılmasıyla hem bugünden yarının planlanması hem de çalışmanın daha gerçekçi kılınması sağlanmıştır. Benzetim çalışmalarındaki senaryoların işletilmesi ve yük üzerinde kaynakların etkilerinin incelenmesiyle aktarılmaya çalışılan stratejinin daha net anlaşılması sağlanmıştır.

Üretilen enerjinin talep edilen enerjiden fazla olması durumunda artan enerjinin depolama birimlerinde depolanması veya şebekeye satılarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Kısa süreli depolama birimi olarak konut tipi projelerde ideal depolama birimi bataryalardır. Bu şekilde artan enerjinin depolanmasıyla sonrasında batarya kaynak olarak kullanılarak talebi karşılamaktadır. Bataryanın yanı sıra ikincil kaynak olarak yakıt hücresi, panel ve bataryanın yeterli gelmediği durumlarda talebi karşılaması için sisteme eklenmiştir. Yakıt hücresinde yakıt olarak hidrojenin kullanılmasıyla ekstra atık oluşumu da engellenmiştir. Sistemde ayrıca şebeke bağlantısı da bulunmaktadır. Panel, batarya ve yakıt hücresinin yeterli gelmediği durumda enerji sürekliliğinin sağlanması amacıyla sisteme eklenmiştir. Tarife durumuna göre yükleri beslemektedir. Eğer pahalı tarifenin olduğu saatlerde enerji talebi gerçekleşirse sadece öncelikli olarak gruptandığımız P_1 yükleri beslenmektedir. Normal ve ucuz tarifelerde P_1 ve P_2 yüklerinin her ikisi de beslenmektedir.

Yüklerin bu şekilde önceliklere bağlı gruptandırılmasındaki amaç öncelikli yüklerin enerjisiz kalmasını engellemektir. P_1 yük grubunda en çok kullanılan ve ihtiyaç duyulabilecek yükler bulunurken, P_2 yük grubunda ise daha az kullanılan ve genelde büyük güçlere sahip yükler bulunmaktadır. Bu yük gruptandırması çalışma temelli olup kullanıcı profiline bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Bu çalışma, devamında yapılacak çalışmalara yön verilmesini, üretilecek gücün günlük verilerle saptanarak enerji yönetimini ve yeni çalışmaların yapılmasını mümkün kılacaktır. Bu amaçla Kocaeli iline ait güneş ışıyım ve sıcaklık verileri Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliğindeki sensörlerden alınmıştır. Ayrıca Türkiye için aylık güneşlenme süresi ve ışıyım miktarları bölgelere ve aylara göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğunu ve değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Çalışma, enerji yönetim sistemiyle enerjinin verimli bir şekilde aktarımını sağlamaktadır. Bu verimlilik ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının sayesinde hem çevreci enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması hem de şebekedeki yükün azaltılması mümkün kılınmaktadır. Sistemdeki strateji sayesinde artan gücün şebekeye satılmasını mümkün kılarak ev ekonomisine de katkı sağlamaktadır.

Yenilenebilir sistemlerin konut tipi yapılarda da yaygınlaştırılması ülke genelinde ekonomik anlamda etkiye sahip olacaktır. İlk yatırım maliyetinin yüksek olması yatırımcı

için cazip gelmeyebilir. Fakat yapılan çalışmaların her geçen gün daha da iyiye gitmesi ve enerjinin yenilenebilir kaynaklardan üretim yapılmasının yanında verimli bir şekilde enerji yönetimiyle sistemlerin kazancının optimum seviyeye çıkarılması ilk yatırım maliyetindeki yüksek rakamları kabul edilebilir kılmaya çalışılmaktadır. Bu gibi çalışmaların yapılması ve devamının sağlanması için teşvik ve yatırım hibelerinin arttırılması gerekmektedir. Bu yapıların ülkemizde yaygınlaşmasıyla dışa bağımlı olmayan, daha çevreci enerji üretimi ve kullanımı sağlayan bir ülke olmuş olacağız.

Yapılan çalışmadaki kaynakların değiştirilmesi ve işletim olarak enerji aktarımının farklılaştırılmasıyla çeşitli konut tipi enerji üretim sistemleri oluşturulabilir. Ayrıca teknolojinin daha da ilerlemesi ve hem cihaz anlamında hem de kontrol sistemleri anlamında gelişmelerin artmasıyla da sistemlerin verimi artacaktır. Bu verim değişimi incelenebilecektir.

Eski şebeke yapısının teknolojiyle daha etkin ve akıllı hale getirilmesiyle bu tip yenilenebilir enerji kaynaklı sistemlerin şebekeye bağlantı yapısı değişecektir. Yeni teknoloji güç elektroniği ürünlerinin geliştirilmesiyle sistemde enerji aktarımı esnasındaki kayıplar azaltılarak daha etkin bir sistem oluşturulabilecektir.

Daha temiz, daha verimli bir Dünya ve gelişimine hız kesmeden devam eden bir ülke olmak dileğiyle.

KAYNAKLAR

- Abut, N. (2004). *Güç Elektroniği, Yarıiletken ve Dönüştürücüler*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Arshad, A., Ali, H.M., Habib, A., Bashir, M.A., Jabbal M., Yan Y. (2019). Energy and Exergy Analysis of Fuel Cells: A Review. *Thermal Science and Engineering Progress*, 9, 308-321.
- Asadzadehsaadatlou, M. (2015). Konutlar için Şebekeden Bağımsız Düşük Güçlü Bir Güneş Enerji Sisteminin Tasarımı ve Analizi. Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 417083.
- Ayaz, R. (2012). Farklı PV Teknolojilerinin Gerçek Ortam Verileri Kullanılarak Modellenmesi ve İstanbul Şartlarında Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 322611.
- Berrera, M., Dolara, A., Faranda, R., Leva, S. (2009). Experimental Test of Seven Widely-Adopted MPPT Algorithms. *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, Bucharest, Romania, 28 June-2 July 2009.
- Chemali, E., Peindl, M., Malysz, P., Emadi, A. (2016). Electrochemical and Electrostatic Energy Storage and Management Systems for Electric Drive Vehicles: State-of-the-Art Review and Future Trends. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 4(3), 1117-1134.
- Chiu, L.Y., Diong, B., Gemmen, R.S. (2004). An Improved Small-Signal Model of The Dynamic Behavior of PEM Fuel Cells. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 40(4), 970-976.
- Çakmak, R. (2012). Fotovoltaik Güç Üretim Sistemleri için Bulanık Mantık Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 309794.
- Çanka Kılıç, F. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56(671), 28-40.
- Deveci, O., Kasnaoğlu, C. (2014). Bir Fotovoltaik Sistemden Değişken Güneş Işınım Değerlerinde Maksimum Güç ve Sabit DA Gerilim Elde Edilebilmesine Yönelik DA/DA Dönüştürücü ve Kontrolcü Tasarımı. *TOK 2014*, Kocaeli, Türkiye, 11-13 Eylül 2014.
- González-Longatt, F.M. (2005). Model of Photovoltaic Module in Matlab™. *II Congreso Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica Eléctrica, Electrónica y Computación, II CIBELEC*, Venezuela, 2005.

- Hekim, M. (2011). Fotovoltaik-Rüzgar Türbini Hibrit Enerji Üretim Sistemlerinin Ulusal Elektrik Şebekesine Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 287633.
- Ioannou, S., Dalamagkidis, K., Stefanakos, E.K., Valavanis, K.P. (2016). Battery Capacity and Discharge Current Relationship for Lead Acid and Lithium Batteries. *24th IEEE Mediterreanean Conference on Control and Automation*, Athens, 2016.
- Jantharamin, N., Zhang, L. (2008). A New Dynamic Model for Lead-Acid Batteries. *4th IET Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD)*, York, UK, 2-4 April 2008.
- Jia, Q., Yan, G., Cai, Y., Li, Y., Zhang, J. (2019). Small-Signal Stability Analysis of Photovoltaic Generation Connected to Weak AC Grid. *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, 7(2), 254–267.
- Kalogirou, S.A. (2009). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems* (1st ed.). USA: Academic Press.
- Kaplan, Z. (2012). Fotovoltaik Sistem Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 306963.
- Keyhani, A., Gerçek, K., Bodur, A. (2013). *Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Akıllı Şebeke Tasarımı* (1.baskı). Ankara: TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası.
- Khadidja, S., Mountassar, M., M'hamed, B. (2017). Comparative Study of Incremental Conductance and Perturb & Observe MPPT Methods for Photovoltaic System. *2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS)*, Tunisia, 23-25 March 2017.
- Kim, J., Lee, S., Srinivasan, S. (1995). Modeling of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Performance with an Empirical Equation. *Journal of Electrochemical Society*, 142(8), 1670-2674.
- Kumar, A., Khan, M.Z.U., Hussain, D.M.A. (2018). Microgrids Technology: A Review Paper. *Gyancity Journal of Electronics and Computer Science*, 3(1), 11-20.
- Kuo, Y.C., Liang, T. J., Chen, J.F. (2001). Novel Maximum-Power-Pointtracking Controller for Photovoltaic Energy Conversion System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 48(3), 594-601.
- Küpelı, S. (2020). PEM Yakıt Pillerinde Geometrik ve Çalışma Parametrelerinin Performansına Etkileri ve Yeni Bir Akış Alanı Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 674613.
- Larminie, J., Dicks, A. (2003). *Fuel Cell Systems Explained* (2nd ed.). UK: John Wiley & Sons Ltd.

- Liang, Y., Zhao, C-Z., Yuan, H., Chen, Y., Zhang, W., Huang, J-Q., Yu, D., Liu, Y., Titirici, M., Chueh, Y-L., Yu, H., Zhang, Q. (2019). A Review of Rechargeable Batteries for Portable Electronic Devices. *InfoMat*, 1(1), 6-32.
- Lynn, P.A. (2011). *Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics* (2nd ed.). London: Wiley.
- Makrides, G., Zinsser, B., Georghiou, G.E., Schubert, M., Werner, J.H. (2009). Temperature Behaviour of Different Photovoltaic Systems Installed in Cyprus and Germany. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93(6-7), 1095-1099.
- Markvart, T. (2000). *Solar Electricity* (2nd ed.). San Francisco: Wiley.
- McEvoy, A., Markvart, T., Castañer, L., Markvart, T., Castaner, L. (2003). *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications* (1st ed.). UK: Elsevier Science.
- McVeigh, J.C. (1984). *Energy Around The World: An Introduction to Energy Studies Global Resources, Needs, Utilization* (1st ed.). UK: Pergamon Press.
- Mertens, K. (2018). *Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice* (2 nd ed.). Germany: John Wiley & Sons.
- Mohtasham, J. (2015). Renewable Energies. *Energy Procedia*, 74(2015), 1289-1297.
- Moule, A. (2010). Power From Plastic. *Current Opinion in Solid State Materials Science*, 14(6), 123-130.
- Mutlu, E. (2013). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Ekonomisi ve Ankara İline Ait Swot Analizler. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 333246.
- Özcan, M. (2013). Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim Genişletme Planlamasında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Etkileri. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 335438.
- Özçelik, M.A. (2015). Fotovoltaik Sistemlerde Verim ve Performansın Arttırılmasına Yönelik Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Tasarımı. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 380387.
- Öztürk, H.H., Kaya, D. (2019). *Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji* (2.baskı). Türkiye: Umuttepe Yayınları.
- Patel, M.R. (2005). *Wind and Solar Power Systems* (2nd ed.). USA: CRC Press.

- Petraeus, D., Moga, D., Rusu, A., Patarau, T., Daraban, S. (2010). A Maximum Power Point Tracker for a Photovoltaic System Under Changing Luminosity Conditions. *2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Bari, Italy, 4-7 July 2010.
- Pradhan, A., Ali, S.M., Behera, P. (2012). Utilisation of Battery Bank in Case of Solar PV System and Classification of Various Storage Batteries. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(12), 1-5.
- Scrosati, B., Garche, J. (2010). Lithium Batteries: Status, Prospects and Future. *Journal of Power Sources*, 195(9), 2419–2430.
- Sharma, S., Panwar, A.K., Tripathi, M.M. (2020). Storage Technologies for Electric Vehicles. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(3), 340-361.
- Su, W., Wang, J. (2012). Energy Management Systems in Microgrid Operations. *The Electricity Journal*, 25(8), 45-60.
- Sumathi, S., Kumar, L., Surekha, P. (2015). *Solar PV and Wind Energy Conversion Systems* (1st ed.). Switzerland: Springer International Publishing Group.
- TamizhMani, G., Ji, L., Tang, Y., Petacci, L., Osterwald, C. (2003). Photovoltaic Module Thermal/Wind Performance – Long Term Monitoring and Model Development for Energy Rating. *NCPV and Solar Program Review Meeting Proceedings*, Denver, Colorado, 24-26 March 2003.
- TMMOB Makine Mühendisleri Odası. (2012). *Türkiye'nin Enerji Görünümü* (2.baskı). Ankara: MMO/588.
- Torunoğlu Gedik, Ö. (2015). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 398008.
- Ullah, K., Wang, Y., Zaman, A., Imtiaz, H.H., Ahmad, S.M., Kumar, B. (2019). Maximum Power Point Technique (MPPT) for PV System Based on Improved Pert and Observe (P&O) Method with PI Controller. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6(12), 813-819.
- URL-1: <https://www.elektrikport.com/haber-roportaj/turkiye-kasim-ayi-elektrik-istatistikleri-2021/23400#ad-image-0>, (Ziyaret Tarihi: 23 Ocak 2022).
- URL-2: https://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/retsseminer/2_Mustafa_CALISKAN_RITM.pdf, (Ziyaret Tarihi: 25 Haziran 2020).
- URL-3: https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/ek1_ulusal_enerji_arge_yenilik_stratejisi.pdf, (Ziyaret Tarihi: 12 Ağustos 2020).

- URL-4: <https://www.xtrlarge.com/2017/01/20/dunya-gunes-enerjisi-potansiyel-harita/>, (Ziyaret Tarihi: 15 Ağustos 2020).
- URL-5: <https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/turkiye>, (Ziyaret Tarihi: 21 Ağustos 2020).
- URL-6: http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx, (Ziyaret Tarihi: 17 Eylül 2020).
- URL-7: <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KOCAELI>, (Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2021).
- URL-8: <https://malzemebilimi.net/tesla-bataryalarinin-bilesenleri-ve-sagladigi-faydalar.html>, (Ziyaret Tarihi: 25 Mart 2021).
- URL-9: <https://slideplayer.biz.tr/slide/1965332/>, (Ziyaret Tarihi: 28 Mart 2021).
- URL-10: <https://arge7.com/detay.asp?id=1809>, (Ziyaret Tarihi: 15 Eylül 2020).
- Üçüncü, M.M. (2016). Enerji Kaynaklarımız Işığında Hidroelektrik Santrallerin Türkiye Ekonomisindeki Yeri ve Trabzon Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Avrasya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Trabzon, 433502.
- Veziroğlu, T.N. (2003). 21st Century's Energy: Hydrogen Energy System. *I. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi*, Denizli, Mayıs 2003.
- Wanik, M.Z.C. (2011). Dynamic Simulation and Intelligent Management of Distributed Generation. PhD Dissertation, Universität Duisburg - Essen, Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Malaysia.
- Xiujuan, M., Jiayu, W., Yude, S., Shiqiang, L. (2009). The Research on The Algorithm of Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Array of Solar Car. *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, USA, 7-10 September 2009.
- Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54.
- Zhang, C., Wei, Y.L., Cao, P.F., Lin, M.C. (2018). Energy Storage System: Current Studies on Batteries and Power Condition System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(3), 3091-3106.



Ek-A

```
function [dischargeSwitch, chargeSwitch, chargePVSwitch,
chargeFuelSwitch, gridTakeSwitch, gridSaleSwitch, fuelSwitch,
P2Switch, h2Switch, Scenario]= scOne(panelPower,batterySoc,H2or,time)
Load1 = 500;
Load2 = 60;
Load = Load1 + Load2;
Pnet= panelPower-Load;
pvPower = panelPower;
batSOC = batterySoc;
H2 = H2or;
Clock = time;

persistent dischargeSwitcha chargeSwitcha chargePVSwitcha
chargeFuelSwitcha gridTakeSwitcha gridSaleSwitcha fuelSwitcha
P2Switcha h2Switcha Scenarioa;
if isempty(dischargeSwitcha)
    dischargeSwitcha = 0;
    chargeSwitcha = 0;
    chargePVSwitcha = 0;
    chargeFuelSwitcha = 0;
    gridTakeSwitcha = 0;
    gridSaleSwitcha = 0;
    fuelSwitcha = 0;
    P2Switcha = 0;
    h2Switcha = 0;
    Scenarioa = 0;
end
Pelmin = 650;
Pelmax = 655;
%Senaryo 1
if (pvPower >= (Load-10) && pvPower <= (Load+10))
    dischargeSwitcha = 0;
    chargeSwitcha = 0;
    chargePVSwitcha = 0;
    chargeFuelSwitcha = 0;
    gridTakeSwitcha = 0;
    gridSaleSwitcha = 0;
    fuelSwitcha = 0;
    P2Switcha = 1;
    h2Switcha = 0;
    Scenarioa = 1;
end
%Senaryo 2
if pvPower > (Load+10) && (Pnet >= Pelmin && Pnet <= Pelmax) && batSOC
>= 75
    dischargeSwitcha = 0;
    chargeSwitcha = 0;
    chargePVSwitcha = 0;
    chargeFuelSwitcha = 0;
    gridTakeSwitcha = 0;
    gridSaleSwitcha = 0;
    fuelSwitcha = 0;
    P2Switcha = 1;
    h2Switcha = 1;
    Scenarioa = 2;
end
```

```

%Senaryo 3
if pvPower > (Load+10) && Pnet > Pelmax && batSOC >= 75
    dischargeSwitcha = 0;
    chargeSwitcha = 0;
    chargePVSwitcha = 0;
    chargeFuelSwitcha = 0;
    gridTakeSwitcha = 0;
    gridSaleSwitcha = 1;
    fuelSwitcha = 0;
    P2Switcha = 1;
    h2Switcha = 1;
    Scenarioa = 3;
end
%Senaryo 4
if (pvPower > (Load+10) && batSOC >= 75) && (Pnet < Pelmin)
    dischargeSwitcha = 0;
    chargeSwitcha = 0;
    chargePVSwitcha = 0;
    chargeFuelSwitcha = 0;
    gridTakeSwitcha = 0;
    gridSaleSwitcha = 1;
    fuelSwitcha = 0;
    P2Switcha = 1;
    h2Switcha = 0;
    Scenarioa = 4;
end
%Senaryo 5
if pvPower >=(Load+10) && batSOC < 75
    dischargeSwitcha = 0;
    chargeSwitcha = 1;
    chargePVSwitcha = 1;
    chargeFuelSwitcha = 0;
    gridTakeSwitcha = 0;
    gridSaleSwitcha = 0;
    fuelSwitcha = 0;
    P2Switcha = 1;
    h2Switcha = 0;
    Scenarioa = 5;
end
%Senaryo 6
if pvPower <= (Load-10) && batSOC >= 25
    dischargeSwitcha = 1;
    chargeSwitcha = 0;
    chargePVSwitcha = 0;
    chargeFuelSwitcha = 0;
    gridTakeSwitcha = 0;
    gridSaleSwitcha = 1;
    fuelSwitcha = 0;
    P2Switcha = 1;
    h2Switcha = 0;
    Scenarioa = 6;
end

```

```

%Senaryo 7
if pvPower <= (Load-10) && batSOC < 25 && H2 >= 25
    dischargeSwitcha = 0;
    chargeSwitcha = 1;
    chargePVSwitcha = 1;
    chargeFuelSwitcha = 0;
    gridTakeSwitcha = 0;
    gridSaleSwitcha = 0;
    fuelSwitcha = 1;
    P2Switcha = 1;
    h2Switcha = 0;
    Scenarioa = 7;
end
%Senaryo 8
if pvPower <= (Load-10) && batSOC < 25 && H2 < 25 && ((Clock >=6 &&
Clock <= 17) || (Clock <= 24 && Clock >= 22) || (Clock <= 6 && Clock
>= 0))
    dischargeSwitcha = 0;
    chargeSwitcha = 1;
    chargePVSwitcha = 1;
    chargeFuelSwitcha = 0;
    gridTakeSwitcha = 1;
    gridSaleSwitcha = 0;
    fuelSwitcha = 0;
    P2Switcha = 1;
    h2Switcha = 0;
    Scenarioa = 8;
end
%Senaryo 9
if pvPower <= (Load1-10) && batSOC < 25 && H2 < 25 && (Clock >= 17 &&
Clock <= 22)
    dischargeSwitcha = 0;
    chargeSwitcha = 1;
    chargePVSwitcha = 1;
    chargeFuelSwitcha = 0;
    gridTakeSwitcha = 1;
    gridSaleSwitcha = 0;
    fuelSwitcha = 0;
    P2Switcha = 0;
    h2Switcha = 0;
    Scenarioa = 9;
end
dischargeSwitch = dischargeSwitcha;
chargeSwitch = chargeSwitcha;
chargePVSwitch = chargePVSwitcha;
chargeFuelSwitch = chargeFuelSwitcha;
gridTakeSwitch = gridTakeSwitcha;
fuelSwitch = fuelSwitcha;
gridSaleSwitch = gridSaleSwitcha;
P2Switch = P2Switcha;
h2Switch = h2Switcha;
Scenario = Scenarioa;

```

Şekil A.1. Enerji yönetim MATLAB/Simulink algoritması

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Arhan, İ., Bilgin, M.Z. (2022). Yenilenebilir Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibi ve Enerji Yönetimiyle Enerji Verimliliği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1). DOI:10.47495/okufbed.941332.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2014 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü’nden 2018 yılında Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 2019-2022 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2020 yılından beri Panasonic’te Proje Yönetim Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Başlıca çalışma konuları olarak yenilenebilir enerji ve akıllı enerji yönetim sistemleri olarak sıralanabilir.

