

**FARKLI GÜNEŞ PANELLERİNDEN VE YAKIT PİLİNDEN OLUŞAN
HİBRİT ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİNDE MİKRODENETLEYİCİ
KULLANILARAK ENERJİ AKIŞININ KONTROLÜ VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tolga ÖZER

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

İKİNCİ DANIŞMAN

Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ağustos, 2015

Bu tez çalışması 13.Teknoloji.02 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI GÜNEŞ PANELLERİNDEN VE YAKIT PİLİNDEN OLUŞAN HİBRİT
ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİNDE MİKRODENETLEYİCİ KULLANILARAK
ENERJİ AKIŞININ KONTROLÜ VE ANALİZİ**

Tolga ÖZER

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

İKİNCİ DANIŞMAN

Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ağustos, 2015

TEZ ONAY SAYFASI

Tolga ÖZER tarafından hazırlanan “Farklı Güneş Panelleri ve Yakıt Pilinden Oluşan Hibrit Enerji Üretim Sisteminde Mikrodenetleyici Kullanılarak Enerji Akışının Kontrolü ve Analizi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 03/08/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

İkinci Danışmanı : Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

Başkan	: Doç. Dr. Tahir Çetin AKINCI Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	İmza
Üye	: Prof. Dr. Hasan ÇİMEN Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,	İmza
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Uğur FIDAN Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,	İmza

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

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

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

03/08/2015

Tolga ÖZER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI GÜNEŞ PANELLERİ VE YAKIT PİLİNDEN OLUŞAN HİBRİT ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİNDE MİKRODENETLEYİCİ KULLANARAK DENETİMİ VE ANALİZİ

Tolga ÖZER

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

Bu tez çalışmasında, farklı türdeki Monokristal, Polikristal ve İnce film tipindeki güneş panellerinden ve yakıt pilinden oluşmuş hibrit enerji üretim sisteminin enerji akışına ait kontrol algoritmalarının uygulanması durumunda, etkin ve verimli enerji kullanımı üzerine yapılan bir çalışmayı içermektedir. Çalışmada kullanılan veriler 2014-2015 yıllarına ait olup Afyonkarahisar bölgesine aittir.

Güneş, batarya grubu, yakıt pili, DC ve AC yüklerden oluşan hibrit enerji üretim sistemlerinde üretilen enerjinin akış kontrolü Arduino mikrodenetleyici tabanlı kontrol sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Enerjinin yönlendirilmesi röleler aracılığı ile sağlanarak enerji üretim sistemlerinin verilerinin görüntülenmesi, kaydedilmesi ve rölelerin isteğe bağlı olarak el ile kontrol edilmesi işlemleri bilgisayar üzerinden Labview programı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir.

Enerjinin akış kontrolü için tasarlanan kontrol sistemi ile her bir güneş panelinin, ürettiği elektrik enerjisi, yüklerin çekmiş oldukları elektrik enerjisi, akülerin şarj-deşarj durumları izlenmiştir. Daha sonra bu veriler analiz edilerek üç farklı kontrol algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır. Tasarlanan üç farklı kontrol

algoritmalarından hangisinin etkin ve verimli enerji kullanımını gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.

2015, ix + 12 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hibrit Gc retim Sistemleri, Güneş Enerjisi, Yakıt Pili, Arduino, Labview, Enerji Akışı

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

**HYBRID POWER GENERATION SYSTEM WHICH IS CONSIST OF DIFFERENT
SOLAR PANELS AND FUEL CELL CONTROLLING AND ANALYSIS WITH
USING MICROCONTROLLER BASED SYSTEM**

Tolga ÖZER

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric-Electronic Engineering

Supervisor: Prof. Hasan ÇİMEN

Co - Supervisor: Assoc. Prof. Yüksel OĞUZ

In this thesis, composed of fuel cell and different types of solar panels which are monocrystalline, polycrystalline and black thin hybrid energy generation system is operated to controlling energy flow. Different control algorithms related to efficient and effective use of energy are implemented to hybrid energy generation system. The used data which is in this study belongs to the between 2014-2015 year of Afyonkarahisar.

Hybrid energy generation system is composed of solar panels, battery group, fuel cells, DC and AC loads. Produced energy can be used effectively and efficiently for using microcontroller-based Arduino controller. Relays are used for energy direct in control system. Viewing and recording the data of hybrid energy generation system was carried out through the Labview program on a computer. Also control system relays can be operated and controlled by manuel via the Labview interface.

Power of each solar panels, the electrical energy consumption of the loads and monitoring the charge-discharge state of batteries operations was carried out by designed energy flow control system. Then three different control algorithm performances are compared by analyzing the data. The designed three different control algorithm which has been found to perform more effective and efficient use of energy.

2015, ix + 102 pages

Keywords: Hybrid Power Generation Systems, Solar Energy, Hydrogen Energy, Fuel Cell, Arduino, Labview, Energy Flow

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolay tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Yüksel OğUZ'a, projenin uygulama ve yazılım sürecindeki büyük desteklerinden dolay Oğr. Gr. Mustafa NARTKAYA, Yrd. Doç. Dr. İsmail YABANOVA ve Yrd. Doç. Dr. Barış GÖKÇE'ye teşekkür ederim. Çalışmanın yapılmasında 13.Teknoloji.02 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimine teşekkür ederim.

Tolga ÖZER

AFYONKARAHİSAR, 2015

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR BİLGİLERİ	6
2.1 Enerji Kaynakları.....	6
2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	7
2.3 Hibrit Enerji.....	8
2.4 Dünya’da Enerji.....	8
2.5 Türkiye’de Enerji.....	10
2.6 Hibrit Enerji Sistemini Oluşturan Enerji Kaynakları	11
2.6.1 Güneş Enerjisi	11
2.6.2 Hidrojen ve Hidrojen Enerjisi	21
2.6.3 DC-DC Dönüştürücüler(Konverterler)	30
2.6.4 Aküler.....	30
2.6.5 DC-AC Eviriciler	31
3.MATERYAL VE METOT	32
3.1 Üç Farklı Hibrit Güç Üretim Sistemini Oluşturan Ekipmanlar ve Teknik Özellikleri.....	32
3.1.1 Fotovoltaik Paneller	36
3.1.2 Yakıt Pili	36
3.1.3 Hidrojen Tüpü	41
3.1.4 Akü(Batarya) Grubu.....	42
3.1.5 Şarj Kontrolör Cihazı	42
3.1.6 DC-DC Konvertör	44
3.1.7 DC-AC Dönüştürücü (İnverter)	45
3.1.8 DC Yük(Lamba).....	46
3.1.9 DC Güç Kaynağı	46
3.2 Hibrit Enerji Üretim Sisteminde Kontrol İşleminin Gerçekleştirilmesi İçin Kullanılan Ekipmanlar ve Teknik Özellikleri	46

3.2.1 Arduino Mega 2560	47
3.2.2 16'lı Röle Kartı.....	49
3.2.3 ACS-712-30A Akım Sensörü.....	50
3.2.4 Gerilim Sensörü.....	51
3.2.5 Sensör Kartları.....	51
3.3 Üç Farklı Güneş Panelinden ve Yakıt Pilinden Oluşmuş Hibrit Enerji Üretim Sistemlerinin Enerji Akış Kontrol Sisteminin Tasarlanması	54
3.4 Üç Farklı Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Güneş Panellerinin ve Kontrol Sistemlerinin Kurulumu	60
3.5 Üç Farklı Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Labview Kontrol Ara Yüzü	64
4. BULGULAR	67
4.1 Hibrit Enerji Üretim Sistemlerini Oluşturan Üç Farklı Güneş Panelinden Elde Edilen Ortalama Enerji Miktarları	67
4.2 Uygulanan Algoritmalar Neticesinde Elde Edilen Veriler	72
4.2.1 Birinci Algoritmanın Hibrit Enerji Üretim Sistemlerine Uygulanması	72
4.2.2 İkinci Algoritmanın Hibrit Enerji Üretim Sistemlerine Uygulanması	84
4.2.3 Üçüncü Algoritmanın Hibrit Enerji Üretim Sistemlerine Uygulanması	89
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	101
6. KAYNAKLAR.....	104
6.1 İnternet Kaynakları	107
ÖZGEÇMİŞ.....	108

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

L	Bobin
D	Diyot
R	Direnç
C	Kondansatör
Ck	Akü Kapasitesi
Wh	Waat-Saat

Kısaltmalar

AA	Alternatif Akım
DA	Doğru Akım
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
PV	Güneş Paneli
ETKB	T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
TEP	Ton Eşdeğeri Petrol
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrol
PEM	Proton Geçirgenli Membran

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	7
Şekil 2.2 Dünyada 2013 yılı birincil enerji kullanımı.	9
Şekil 2.3 Dünyada 2012 yılı birincil enerjiden elektrik enerjisi üretimi.	9
Şekil 2.4 Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı.....	10
Şekil 2.5 2014 yılı Türkiye'de elektrik üretimi.....	11
Şekil 2.6 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası	14
Şekil 2.7 Fotovoltaik dönüşüm sistemi.	16
Şekil 2.8 Güneş pili hücresi, modülü ve dizisi.....	17
Şekil 2.9 Güneş pili eşdeğer devre modeli.....	17
Şekil 2.10 Monokristal hücre ve paneli.....	19
Şekil 2.11 Polikristal hücre ve paneli.....	20
Şekil 2.12 İnce film(amorf silikon) hücre ve panel.....	20
Şekil 2.13 Yakıt pili yapısı ve çalışma prensibi.....	23
Şekil 2.14 Yakıt pili yığınının oluşturan bileşenler.....	24
Şekil 2.15 Proton değişim zarlı yakıt pili ve çalışma prensibi	25
Şekil 2.16 Yakıt pili çeşitlerinin kimyasal reaksiyon ve çalışma ortam sıcaklığının şematik gösterimi.....	29
Şekil 2.17 DC-DC Dönüştürücü Yapısı.....	30
Şekil 2.18 PWM anahtarlamalı yükselten-alçaltan inverter devresi.....	31
Şekil 3.1 Hibrit enerji üretim sistemlerinin genel görünüşü (a) Monokristal, (b) Polikristal, (c)İnce Film.....	34
Şekil 3.2 Monokristal güneş panelinden oluşan hibrit enerji üretim sisteminin mantıksal işleyiş blok diyagramı.....	35
Şekil 3.3 Polikristal güneş panelinden oluşan hibrit enerji üretim sisteminin mantıksal işleyiş blok diyagramı.....	35
Şekil 3.4 İnce film güneş panelinden oluşan hibrit enerji üretim sisteminin mantıksal işleyiş blok diyagramı.....	35
Şekil 3.5 Yakıt pili ve yakıt pilini oluşturan bileşenler.....	38
Şekil 3.6 Yakıt pili kontrol devresi şeması	39

Şekil 3.7 760 lt metal hidrit tüp.....	41
Şekil 3.8 Şarj kontrolör cihazı.....	44
Şekil 3.9 DC-DC konvertör.....	45
Şekil 3.10 DC-AC dönüştürücü (İnverter).....	45
Şekil 3.11 Arduino Mega 2560 mikroişlemci kartı görünüşü.....	47
Şekil 3.12 16'lı röle kartı.....	50
Şekil 3.13 ACS-712 -30A/+30A akım sensörü.....	51
Şekil 3.14 Sensör Kart-1 Proteus programı şeması.....	52
Şekil 3.15 Sensör Kart-2 Proteus programı şeması.....	53
Şekil 3.16 Sensör Kart-3 Proteus programı şeması.....	53
Şekil 3.17 Monokristal, Polikristal ve İnce Film hibrit enerji üretim sistemlerinin sensör kartları.....	54
Şekil 3.18 Enerji üretim sistemlerine uygulanan I. algoritma.....	57
Şekil 3.19 Enerji üretim sistemlerine uygulanan II. algoritma.....	58
Şekil 3.20 Enerji üretim sistemlerine uygulanan III. algoritma.....	59
Şekil 3.21 Monokristal hibrit enerji üretim sisteminin bağlantı şeması.....	61
Şekil 3.22 Polikristal hibrit enerji üretim sisteminin bağlantı şeması.....	61
Şekil 3.23 İnce film hibrit enerji üretim sisteminin bağlantı şeması.....	62
Şekil 3.24 Üç farklı hibrit enerji üretim sisteminin kontrol panosunun kurulu hali.....	62
Şekil 3.25 Monokristal, Polikristal ve İnce Film tipi güneş panellerinin kurulu hali.....	63
Şekil 3.26 Yakıt pili sistemi.....	63
Şekil 3.27 Hibrit enerji üretim sistemi genel görünüşü.....	64
Şekil 3.28 Hibrit enerji üretim sistemlerinin verilerinin görüntülenerek kontrol işleminin gerçekleştirildiği Labview ara yüz programı.....	65
Şekil 3.29 Labview programı.....	66
Şekil 4.1 Polikristal güneş panelinden üretilen aylık ortalama enerji.....	68
Şekil 4.2 Monokristal güneş panelinden üretilen aylık ortalama enerji.....	68
Şekil 4.3 İnce film güneş panelinden üretilen aylık ortalama enerji.....	69
Şekil 4.4 Üç farklı güneş paneline ait aylık enerji üretiminin karşılaştırılması.....	70
Şekil 4.5 Aylık bazda hibrit enerji üretim sistemlerinden elde edilen ihtiyaç fazlası enerji.....	77
Şekil 4.6 Hibrit enerji üretim sistemlerinde ki akülerin aylık kullanım miktarları.....	78

Şekil 4.7 Hibrit enerji üretim sistemleri tarafından yakıt pilinin aylık kullanım oranları.	79
Şekil 4.8 Monokristal, polikristal ve ince film hibrit enerji üretim sistemlerinin aylık enerji etkin kullanım oranları.	80
Şekil 4.9 Hibrit enerji üretim sistemlerine ait olan akülerin aylık şarj oranları.	82
Şekil 4.10 Hibrit enerji üretim sistemlerinde ki akülerin tüketicilere kesintisiz enerji sağlayabileceği süreler.	83
Şekil 4.11 AC tüketicinin hibrit enerji üretim sistemlerinde kullanmış olduğu enerji miktarı.	88
Şekil 4.12 Hibrit enerji üretim sistemlerine ikinci algoritmanın uygulanması sonucu enerjinin etkin kullanım oranlarının aylara göre değişimi.	89
Şekil 4.13 Hibrit enerji üretim sistemlerine üçüncü algoritmanın uygulanması sonucu AC tüketicinin kullandığı enerji miktarı.	93
Şekil 4.14 Hibrit enerji üretim sistemlerinin aylık enerjinin etkin kullanım oranları. ...	94
Şekil 4.15 Monokristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanan algoritmaların enerjinin etkin kullanım oranlarının karşılaştırması.....	96
Şekil 4.16 Polikristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanan algoritmaların enerji etkin kullanım oranlarının karşılaştırması.....	98
Şekil 4.17 İnce film hibrit enerji üretim sistemine uygulanan algoritmaların enerji etkin kullanım oranlarının karşılaştırması.....	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Türkiye'nin aylara göre güneşlenme süreleri.....	13
Çizelge 2.2 Türkiye'nin bölgelere göre güneşlenme süreleri.....	13
Çizelge 2.3 Yakıt pili çeşitleri, özellikleri ve kullanım alanları.....	29
Çizelge 3.1 Güneş panellerinin teknik özellikleri.	36
Çizelge 3.2 PEFC-500 Yakıt pili teknik özellikleri.	40
Çizelge 3.3 Şarj kontrolör cihazı teknik özellikleri.....	43
Çizelge 3.4 Kontrol sisteminde ki malzemelerde kullanılan gerilim değerleri.....	46
Çizelge 3.5 Arduino Mega 2560 kartı teknik özellikleri.....	48
Çizelge 3.6 Sensör kartları ile okunan akım ve gerilim büyüklükleri.....	52
Çizelge 4.1 Güneş panellerinden yıl içerisinde elde edilen aylık enerji miktarları.....	71
Çizelge 4.2 Birinci algoritmanın monokristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler	73
Çizelge 4.3 Birinci algoritmanın polikristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler	75
Çizelge 4.4 Birinci algoritmanın ince film hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler	76
Çizelge 4.5 Hibrit enerji üretim sistemlerinin akülerinin doluluk oranları ve aküler tarafından tüketicilerin beslenebileceği süreler	81
Çizelge 4.6 İkinci algoritmanın monokristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler	85
Çizelge 4.7 İkinci algoritmanın polikristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler	86
Çizelge 4.8 İkinci algoritmanın ince film hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler	87
Çizelge 4.9 Üçüncü algoritmanın monokristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler.....	90
Çizelge 4.10 Üçüncü algoritmanın polikristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler	91

Çizelge 4.11 Üçüncü algoritmanın ince film hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler	92
Çizelge 4.12 Monokristal hibrit enerji üretim sistemine farklı algoritmaların uygulanması sonucu elde edilen sistem verimliliklerinin karşılaştırılması	95
Çizelge 4.13 Polikristal hibrit enerji üretim sistemine farklı algoritmaların uygulanması sonucu elde edilen sistem verimliliklerinin karşılaştırılması.....	97
Çizelge 4.14 İnce film hibrit enerji üretim sistemine farklı algoritmaların uygulanması sonucu elde edilen sistem verimliliklerinin karşılaştırılması.....	99

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı geçmişten günümüze insanoğlunun temel gereksinimlerinden biri olarak hayatımızda yer almıştır ve enerjiye olan bağımlılığımız da gün geçtikçe artmaktadır. Hayatımızın her anında ihtiyaç duyduğumuz enerji vazgeçilmezlerimiz arasındadır. Günümüzde ise enerji farklı bir boyut kazanarak ülkeler arası ekonomik, siyasi güç dengelerini düzenleyen ve gelişmişliği belirleyen bir unsur haline gelmiştir. Artan dünya nüfusu göz önünde bulundurulduğunda günümüzde bulunan enerji ihtiyacından çok daha fazlası ilerleyen senelerde talep edilecektir.

Dünyanın 21. yüzyılda karşı karşıya bulunduğu en büyük sorunlardan biri güvenli enerji tedarikidir ve 1990-2008 yılları arasında enerji tüketiminin %40 arttığı gözlenmektedir (Fund 2011). Dünyada ki enerjinin yüzde 80'i fosil kaynaklıdır. Fosil yakıtlara olan bağımlılık ekonomiye yük oluşturmakla birlikte iklimsel problemlere neden olarak atmosferde sera gazlarının birikmesine de yol açmaktadır. İklim değişikliğinin hem insanlık, hem de gezegenimiz için geri dönülemez sonuçlara yol açmasını önlemek için küresel ısınmayı 1,5 derecenin altında tutmamız gerekmektedir. Bunun tek yolu fosil yakıtların enerji üretimindeki payını azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektir (Fund 2011).

Günümüzde üretilen enerjinin büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlar olarak isimlendirilen petrol, kömür, doğalgaz gibi yakıtlar aracılığı ile enerji gereksinimi karşılanmaktadır. Bu kaynakların tükenebilecek tipte olması, çevreye olan olumsuz etkileri ve kaynaklarının ülkemizde olmamasından kaynaklanan dezavantajları ise ortadadır. Bu nedenle gün geçtikçe yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin arttığı rahatlıkla gözlemlenebilmektedir (Baños 2011). Son yıllarda yapılan yasal düzenlemeler ile yenilenebilir enerjinin kullanımının artmasına yönelik ve mevcut enerjinin verimli kullanımına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Nasiraghdam 2012). Teknolojik gelişmeler ve temiz çevre bilinci, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarına yönelik araştırmaların günden güne artmasına neden olmaktadır. Çevreye zarar veren ve dünya üzerindeki rezervleri hızla azalan fosil yakıtlara alternatif olarak kullanımı günden güne artan yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, biyogaz, jeotermal ve hidrojen enerji kaynakları olarak sıralanabilir.

Yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımının yaygınlaşmasıyla yenilenebilir enerji sistemlerinin bir arada çalışma alanları da artmaktadır (BP 2014). Bu tip enerji sistemleri hibrit enerji sistemleri olarak da isimlendirilmektedirler. Enerji alanında ki dışa bağımlılığımızın da ülkemiz üzerinde yarattığı olumsuz etkiler açıkça görülmektedir. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak ya da etkilerini minimize etmek ancak enerjinin verimli ve tasarruflu kullanımı ile gerçekleşecektir. Mevcut enerji kaynakları ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarından da daha fazla faydalanılması enerji alanında ki dışa bağımlılığın giderilmesi açısından pozitif katkı sağlayacaktır.

Geleceğe yönelik yapılan enerji talebi tahmin çalışmalarında önümüzdeki on sene içerisinde enerji talebinin yaklaşık olarak yüzde yedi oranında artması beklenmektedir. Bu öngörülere göre Türkiye’de 2015 yılında talep edilecek olan elektrik enerjisinin 287,3 milyar kWh seviyelerinde olması tahmin edilmektedir. Puant güç talebinin ise 2015 yılında 44.260 MW'a ulaşacağı öngörülmektedir (TEİAŞ 2013). Bu değerler sonucunda 2014 yılında harcanan elektrik enerjisinin yaklaşık olarak 40 milyar kWh miktarının daha fazlası 2015 yılında talep edileceği öngörülerek her sene enerji ihtiyacının giderek artacağı öngörüsünün istatistiksel olarak yapılan çalışmalar ile birbirini desteklediği açıkça görülmektedir (TEİAŞ 2013).

Yenilenebilir enerji, yenilenebilir enerji talebinin artışı, farklı tipte yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte çalışmasına imkan sağlayan hibrit enerji sistemleri ile ilgili yapılan bazı araştırma çalışmaları aşağıda verilmiştir.

Hibrit enerji üretim sistemleri ancak farklı tipteki enerji kaynakları ve depolama cihazlarının birleşimi ile yapılabilir. Nasiraghdam uygulamada hibrit sistemleri oluşturan şebekeden bağımsız rüzgâr ve güneş enerji üretim sistemlerinin genellikle gaz türbinleri, dizel generatörler, yakıt pilleri ve akü grupları ile entegre olarak çalıştırıldığını belirtilerek bununla birlikte sistem enerjisinin sürekliliği ve sistem performansının sistemlerin hibrit olarak dizayn edilmesiyle artırıldığı göstermiştir (Nasiraghdam 2012).

Lodhi güneş enerji işletmelerinin güneş enerjisinin sürekli elde edilebilmesinden kaynaklı olarak yararlı aynı zamanda temiz enerji elde edilebilen işletmeler olduğuna değinmiş bu sistemlerin elektrik üretiminde kullanılacak alternatif enerji kaynağı

olabileceğini vurgulamıştır. Güneşten elde edilen enerjinin depolanma işleminin ise geleceğin enerjisi olarak görülen hidrojen aracılığı ile olacağı gösterilmiştir (Lodhi 1997).

El-Shatter güneş paneli-yakıt pili sistemi kullanarak hidrojen üretimini elektrolizör kullanarak sağlamıştır. Sistem simüle edilmiş ve değişken güneşlenme şartları altında PV panellerinde maksimum verim elde etme amaçlı olarak maksimum güç noktası takibi için Fuzzy regresyon modeli uygulanmıştır (El-Shatter TF 2002).

Fotovoltaik güç kaynağı ve yakıt pili sistemi ile beslenen yüklerin simülasyonu yapılmıştır. Devrede DC/AC çeviriciler kullanılarak güç denkleştirme ile enerjinin verimli kullanılması sağlanmıştır (Mengi 2009).

Valverde ve arkadaşları güneş paneli, atmosferik PEM elektrolizör ve kontrollü DC-DC konvertörden enerji sistemini Matlab/Simulink aracılığı ile modellemişlerdir (Valverde, 2008). Modellemede, güneş paneli elektrolizör çiftinin polarizasyon eğrilerinin dinamik değişimleri dikkate alınarak yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda güneş paneli-elektrolizör çiftinin birbirlerine kontrollü DC-DC konvertör ile bağlanma durumunda elektrolizör için güvenilir çalışma şartlarının sağlanacağı ve güneş panellerinde maksimum güç elde edilebileceği belirtilmiştir (Valverde *et al.* 2008).

Mengi ve arkadaşları rüzgar ve yakıt pili enerji üretim sisteminden enerji elde etme ve beslenen yüklerin modellenmesini gerçekleştirmiştir (Mengi *et al.* 2008). Yaptıkları simülasyonda faz kilitlemeli çevrim tekniği ile frekansı 50 Hz değerinde sabitleyerek tek faz 220 V, üç faz 380 V değerine PI türü denetleyici kullanarak ayarlanmıştır.

Bernard yakıt pili hibrit sisteminin yakıt verimliliği ve güç yönetim stratejisini incelemiştir. Gerçek zamanlı bir kontrol stratejisinin yakıt pilli hibrit araçlarda kullanılmasını önermiştir. Amaç tüketilen hidrojenin tüketimini azaltmak ve bunu da batarya ve yakıt pili sistemi arasındaki güç paylaşım stratejisinden faydalanarak gerçekleştirmektir. Batarya sürekli şarj durumundadır. Gerçek zamanlı kontrol stratejisi optimal kontrol algoritma tabanlı olarak türetilmiştir. Bu strateji deneysel olarak 600W'lık yakıt pili sisteminde geçerli kılınmıştır (J.Bernard 2010).

Thounthong PEM tipi yakıt pili, güneş panelinden ve enerji depolama aracı olarak süper kapasitörden oluşan yenilenebilir bir enerji sistemi için yeni bir kontrol algoritması oluşturmuştur. Ani güç taleplerini hızlı olarak cevap verebilen süper kapasitör ana kaynağın güç çıkışının daha yavaş olmasını sağlayarak yük için gerekli olan uyumluluk ve performans karakteristiğini sağlar. Sistemin enerjisi dc barada ki enerji regülasyonu tarafından düzenlenir ve bu dc baranın enerjisinin regüle edilme işlemi için gerekli enerji süper kapasitörden sağlanır. Yakıt pili sistemi direk enerji çıkışı olarak kullanılmak yerine yavaş dinamik özelliklerinden kaynaklı olarak süper kapasitörü şarj etmek için kullanılır. Gün boyu güneş panelleri ise yakıt pili ve süper kapasitör sistemini destekler niteliktedir. Değişik yük durumlarına ait sistem çıktıları çalışmada sunulmuştur (Thounthong *et al.* 2011).

Rekioua yakıt pili (PEM), elektrolizör ve güneş panellerinden oluşan hibrit bir enerji üretim sistemi tasarlayarak Matlab-Simulink ortamında modellemiştir. Sistemin çalışma mantığı güneş panellerinden elde edilen enerji ile elektrolizör beslenip üretilen hidrojen ile ihtiyaç anında yakıt pili aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesi üzerinedir. Çalışmada telekom uygulamalarında kullanıldığı gibi tek başına kullanılan enerji üretim sistemlerinin uygulanabilirliği üzerine bir çalışma yapılmıştır. Yakıt pili ve güneş panellerinin uyumlu çalışmasını sağlayan güç yönetim ünitesinin farklı şekillerde tasarlanarak bu sistemlerin sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır (Rekioua *et al.* 2014).

Ural hibrit enerji sistemini oluşturan yakıt pili, güneş paneli, DC-DC konvertör, elektrolizör ve inverter sistemlerini ayrı ayrı Matlab-Simulink ile modellemiştir. Bütün bu modeller birleştirilerek hibrit enerji sistemi oluşturulmuştur. Farklı yük durumlarına göre çıkış akım ve gerilim büyüklükleri çalışmada sunulmuştur (Ural 2014).

Bu tez çalışmasında ise monokristal, polikristal ve ince film güneş panellerinden oluşan üç tip enerji üretim sistemi oluşturulmuştur. Her bir enerji üretim sisteminde ayrı ayrı güneş paneli, batarya, yük ve proton değişim membranlı yakıt pili sistemi mevcuttur. Güneş panellerinin her biri 100 Watt gücünde olup bataryalar ise 85Ah kapasitesindedir. Bu enerji üretim sistemlerinde tüketici profilini temsil amaçlı olarak sistemlerin çıkışlarında DC ve AC yükler mevcuttur.

Güneş, batarya ve yakıt pilinden oluşan farklı tipteki enerji üretim sistemlerinin üretilen ve tüketilen gücün etkin bir şekilde kullanılabilmesi ve sistemin enerji akışının kontrol edebilmesi amacıyla mikrodenetleyici tabanlı bir kontrol sistemi uygulanmıştır. Mikroişlemci tabanlı kart olarak Arduino Mega 2560 kartı kullanılarak kontrol işlemlerinin bu kart aracılığı ile gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Enerji üretim sistemlerini oluşturan sensörlerden verilerin okunma, görüntülenme ve kaydedilme işlemleri de Labview programı kullanılarak oluşturulan ara yüz ile gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen kontrol sistemi ile üç farklı enerji üretim sisteminin enerji akış kontrolü birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmiş olup belirlenen üç farklı algoritma mantığı içerisinde çalışmaları sağlanmıştır. Uygulanan farklı özellikte ki kontrol algoritmalarının amacı her bir kontrol algoritmasının enerji üretim sistemlerinde üretilen enerjinin etkin ve verimli kullanımına olan etkisini gözlemlemeye imkan sağlamaktır.

Elde edilen sonuçların analizi ile Afyonkarahisar bölgesi için en uygun güneş paneli çeşidi belirlenmiştir. Oluşturulan hibrit enerji üretim sisteminden elde edilen enerjinin etkin ve verimli kullanımına yönelik olan kontrol algoritmalarının analizi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle hibrit enerji üretim sistemine uygulanan üçüncü algoritmaya ait enerjinin etkin kullanım oranı değerinin diğer kontrol algoritmalarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

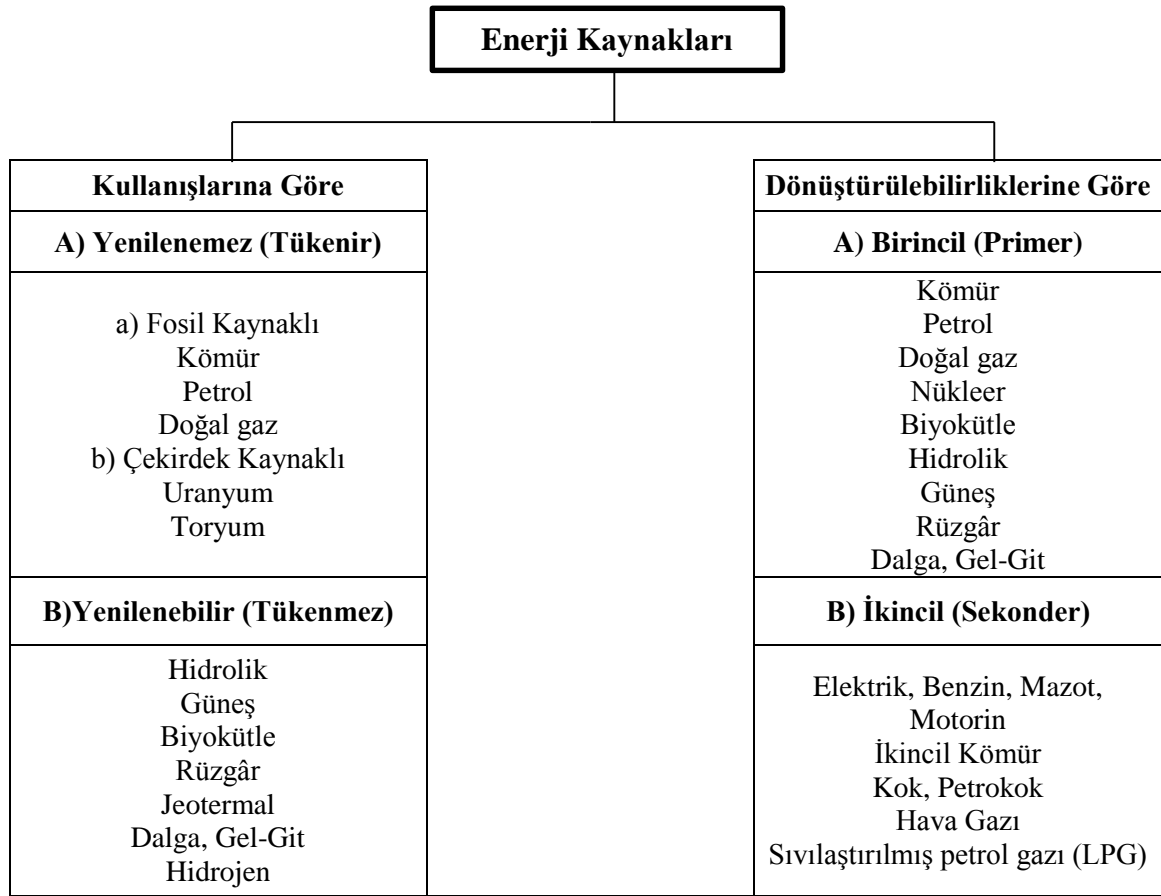
En yaygın yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi, kullanım alanı açısından da en temiz enerji kaynaklarından birisidir. Gün geçtikçe kullanım alanları ve güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten güneş enerjisi santrallerinin sayısı artmaktadır. Aynı zamanda güneş enerjisi hidrojen gazını elde etmek için ideal bir enerji kaynağıdır. Hidrojen, enerji kaynağı olarak düşünüldüğünde temiz ve kolay taşınabilir olmasından dolayı geleceğin enerji kaynağı olarak görülmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde hidrojen enerjisi ile ilgili çalışmaların gittikçe sayısının arttığı ve birçok araştırmaya konu olduğu görülmektedir. Hidrojenin üretimi, iletimi, depolama ve enerji çevrimleri çok çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Hidrojen enerjisi üretim yöntemlerinden biri olan güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi ile hidrojen enerjisinin üretimi oldukça yaygın kullanılmaktadır.

Enerjinin genel durumu, güneş enerjisi, hidrojen enerjisi ve güneş-hidrojen enerji çiftinden oluşan hibrit enerji üretim sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalara ilerleyen kısımlarda değinilmiştir.

2.1 Enerji Kaynakları

Enerjiye olan talebin artmasına neden olan etkenlere bakıldığında hızlı nüfus artışı ve sanayileşmenin artmasına bağlı olarak doğru orantılı bir şekilde değiştiği gözlemlenmektedir. Günümüzde enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtan göstergelerden birisidir. Enerji tüketimiyle sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki olup, enerji tüketiminin de ekonomik gelişme ve refah artışıyla arttığı görülmektedir (Koç 2008).

Enerji günlük yaşamın her anında kullanılmaktadır. Enerji kimyasal, mekanik, termal, güneş, rüzgar, hidrolik enerjisi gibi değişik formlarda bulunabilmektedir. Farklı şekil ve yöntemlerle enerji elde edilen kaynaklar, enerji kaynakları olarak isimlendirilmekte ve değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Kullanışlarına göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılırken; dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde incelenmektedir. Şekil 2.1’de enerji kaynaklarının sınıflandırılması yapılmıştır.



Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç, 2013).

2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Günümüzde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı fosil kaynaklı yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtlar milyonlarca yıl boyunca çürüyen canlı ve cansız nesnelerin kalıntılarının fosilleşmesiyle elde edilmektedir. Oluşum süreci oldukça uzun zaman alan fosil yakıtların tüketimi ise oldukça hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Fosil kökenli kaynakların gün geçtikçe azalması ile birlikte aynı zamanda kullanımları ile çevreye de zarar vermektedirler.

Yenilenebilir enerji ise kesintisiz olarak devam eden doğal olayların sonucunda var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Yani kaynağı asla tükenmediği (sürdürülebilir olduğu) gibi, doğal süreçlerle ortaya çıktığından çevreye üzerinde yarattığı etkiler önemsiz bir seviyede kalmaktadır. Yenilenebilir enerjinin farklı çeşitleri bulunmaktadır. Bu enerji çeşitlerini jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik enerji, biokütle enerjisi ve hidrojen enerjisi olarak sınıflandırabiliriz (Koç 2013).

2.3 Hibrit Enerji

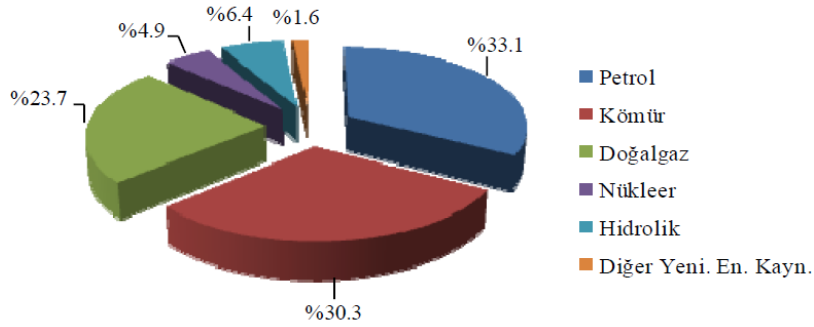
Hibrit kelime olarak iki farklı güç kaynağının bir arada bulunması anlamına gelmektedir. Bu güç kaynakları elektrik enerjisi elde etme kısmında güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrojen enerjisi, jeotermal enerji vb. tarzında olan farklı gruplardaki enerji türlerinin en az iki tanesinin bir arada kullanılması ile hibrit enerji sistemleri elde edilebilmektedir. Hibrit sistemler yıl boyunca en iyi performansı verirler. Bu nedenle sistemler kurulurken güneş pili-rüzgar türbini, güneş pili-yakıt pili, güneş pili-rüzgar türbini-yakıt pili, rüzgar türbini-yakıt pili-jeotermal enerji vb. tarzda farklı kombinasyonlar ile hibrit enerji sistemleri kurulabilmektedir. Bu sistemleri bir arada kullanmanın amacı elde edilmesi düşünülen elektrik enerjisinin en verimli, kesintisiz ve sürekli bir halde elde edilmesine yöneliktir (Özdemir 2015).

2.4 Dünya’da Enerji

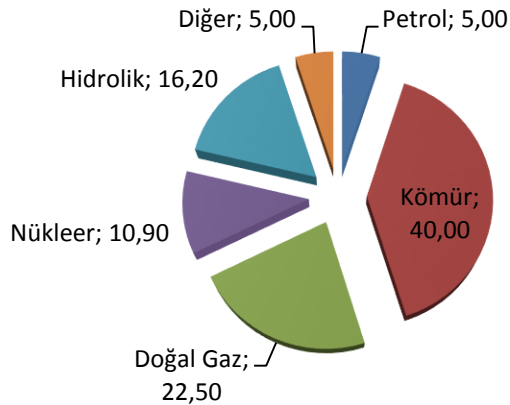
Dünyada enerji tüketimi, bölgesel olarak değişiklik göstermekle, ekonomik ve teknolojik olarak büyüme ile birlikte nüfus artışıyla paralel olarak gün geçtikçe artmaktadır (BP 2015). Yapılan öngörülere göre dünyada 2010-2040 yılları arasında birincil enerji tüketimi %56 oranında artacaktır (BP 2015). Ancak, enerji talebindeki artışın her ülkede için aynı miktarda olmayacağı öngörülmektedir. Gelişmiş ülkelerin 1990’lı yıllardan sonra ki dönemde enerji taleplerine bakıldığında geçmiş senelere oranla daha az enerji talebinde buldukları görülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerin enerji talepleri ise her geçen gün artmaya devam etmiştir. Bu veriler ışığında önümüzdeki gelecekteki 30 yıllık periyotta OECD ülkelerinin enerji talebinin % 17 oranında artması öngörülürken, OECD dışı ülkelerde ise bu artışın % 90 civarında olması beklenmektedir. Çin ve Hindistan gibi kalabalık nüfusa sahip olan ve ekonomik olarak hızlı bir şekilde büyüyen bu ülkelerin OECD dışı ülkelerin bulunduğu grupta yer almasından dolayı Asya kıtasında enerji kaynaklarına olan talebin ilerleyen yıllarda artması düşünülmektedir.

Dünyada kullanılmakta olan enerjinin çoğu birincil enerji kaynaklarından elde edilmektedir. 2013 yılı verilerine göre dünyada birincil enerji kullanım miktarı 12730.4 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) olarak gerçekleşmiştir (BP 2015). Şekil 2.2’de birincil enerji kullanımında en büyük paya sahip olan kaynakların sırasıyla; petrol (%33), kömür (%30.3) ve doğal gaz (%23.7) olduğu görülebilmektedir. Burada diğer

yenilenebilir enerji kaynakları olarak bahsedilen; rüzgar, güneş, biyoyakıt ve jeotermal enerji kaynaklarıdır. Dünyada 2012 yılı elektrik enerjisi üretiminde kullanılan birincil enerji kaynaklarının dağılımı Şekil 2.3'te verilmiştir. Aynı yıl birincil enerjiden elektrik enerjisi üretim miktarı 22668.1TWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik enerjisi üretiminde en büyük paya sahip olan birincil enerji kaynakları sırasıyla; kömür (%40.4), doğal gaz (%22.5) ve hidrolik (%16.2) olarak gerçekleşmiştir



Şekil 2.2 Dünyada 2013 yılı birincil enerji kullanımı (BP 2014).



Şekil 2.3 Dünyada 2012 yılı birincil enerjiden elektrik enerjisi üretimi (Agency 2014).

Yenilenebilir elektrik güç kapasitesi bakımından yenilenebilir enerjiden en fazla yararlanan ülkenin Çin (282GW) olduğu 2011 verilerinden görülmektedir. Çin, 212GW'lık hidrolik enerji kapasitesiyle ve 62GW'lık rüzgar enerji kapasitesiyle hidrolik enerji ve rüzgar enerjisinden en fazla faydalanan ülke konumundadır. Ayrıca enerji üretiminde fotovoltaik (PV) panellerden en fazla faydalanan ülkenin Almanya (25GW); biyoyakıtlardan en fazla faydalanan ülkenin ise ABD (13.7GW) olduğu belirlenmiştir (Koç 2013).

2.5 Türkiye’de Enerji

Enerji alanında yaşanan her gelişme kaçınılmaz olarak Türkiye’nin durumunu değerlendirmeyi gerekli kılmaktadır. Bunun başlıca nedeni ise Türkiye’nin enerji alanında %72 oranında olan dışa bağımlılığıdır. 2006 yılından 2011 yılına doğru Türkiye’nin enerjide dışarıya bağımlı olma yüzdelerinin kaynaklara göre değişimleri Şekil 2.4’de sunulmuştur.

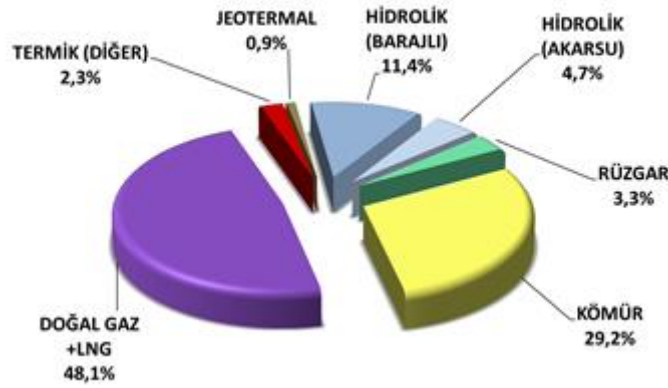


Şekil 2.4 Türkiye’nin enerjide dışa bağımlılığı (Bayrak 2014).

2020’li yıllara yönelik büyük hedefleri olan ve daha gelişmiş bir ekonomiye sahip olmaya çalışan Türkiye’nin enerji açısından dışarıya bağımlılığını azaltması için yenilenebilir enerjiye yönelmesi kaçınılmazdır. Ülkemizin coğrafi konumundan kaynaklı olarak güneş ve rüzgar yenilenebilir enerjileri açısından elverişli konumdadır. Yapılan çalışmalarda ülkemizde ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin metrekarede 2640 saat olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda ortalama toplam ışınım şiddetinin metrekarede yılda 1311 kWh olarak tespit edilmiştir. Türkiye’de gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye, günde birim m² 1100 kWh’lik güneş enerjisi üretebilme potansiyeline sahip olduğu yapılan çalışmalar neticesinde anlaşılmıştır. (Koç 2013).

Rüzgar enerjisi bakımından ise Türkiye’nin rüzgâr türbin güç kapasitesi 3657,6 MW düzeyine ulaşmıştır. Bu rakam Türkiye’nin mevcut kurulu gücünün %5’lik kısmına tekabül etmektedir.(TEİAŞ 2015)

Enerjinin günümüzde elektrik enerjisi ile ifade edilebildiğini söyleyebiliriz. Türkiye'nin enerji üretimi profiline bakıldığında enerjinin büyük bir kısmının fosil kaynaklı termik santrallerden elde edildiği görülmektedir. Türkiye'de ki 2014 yılı içerisinde ki elektrik enerjisinin durumu ve elektrik enerjisinin elde edildiği enerji kaynaklarının türüne göre dağılım durumuna baktığımız da %48,1'inin doğalgazdan, %29,2'sinin kömürden, %11,4'ünün barajlardan, %4,7'sinin akarsulardan, %2,3'ünün termik ve yenilenebilir enerjiden son olarak da %0,9'luk payının ise jeotermal enerjiden elde edildiği Şekil 2.5'de görülmektedir (TEİAŞ 2014).



Şekil 2.5 2014 yılı Türkiye'de elektrik üretimi (TEİAŞ 2014).

Türkiye'nin 2013 verilerine göre yıllık elektrik enerjisi üretim miktarı 240 Milyar kWh değerlerindedir. 2014 yılındaki elektrik enerjisi üretim miktarının ise 250,4 Milyar kWh seviyelerinde olduğu elde edilen veriler doğrultusunda belirtilmiştir. Bu üretim miktarları karşılaştırıldığında bir yıllık bir süreçte yıllık olarak 10,4 Milyar kWh'lık bir artışın olduğu görülmektedir. Gün geçtikçe enerji artışının artan bir grafik ile değişmesi durumu ve gelecekte ihtiyaç duyulan enerjinin de daha fazla olacağı öngörülür Türkiye'nin geçen iki senede ki verileri tarafından da doğrulanmaktadır.

2.6 Hibrit Enerji Sistemini Oluşturan Enerji Kaynakları

2.6.1 Güneş Enerjisi

Sürekli artan enerji ihtiyacını karşılamada mevcut kaynakların yetersiz kalması sonucu alternatif enerji kaynaklarını bulma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Kesintisiz ve sürekli elde edilebilir önemli enerji türlerinden birisi güneş enerjisidir. Fosil enerji

kaynakları, rüzgâr, hidroelektrik, biyogaz, termik, dalga gibi enerji türleri güneş enerjisi tabanlıdır. Bütün bu enerji kaynaklarının oluşmasında güneş enerjisinin de etkisi vardır. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretimi ise 100 milyon MW değerindedir. EİE tarafından Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğüne (DMİ) ait 1966-1982 yılları arasında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerini kullanarak yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmaların ışığında Türkiye'nin ortalama 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu denli yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olan ülkemizde gerekli yatırımların yapıldığı takdirde yılda birim m² ortalama olarak 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretebileceği yapılan çalışmaların neticesinde ortaya çıkmıştır. Güneydoğu Anadolu bölgesi elde edilen veriler neticesinde yıllık 2993 saat güneşlenme süresiyle ve toplam ortalama güneş enerjisiyle Türkiye'nin en çok güneş alan bölgesi olduğu ortaya konulan çalışmaların sonuçlarında mevcuttur (Demirkol 2013).

Çizelge 2.1 Türkiye'nin aylara göre güneşlenme süreleri. (Demirkol 2013).

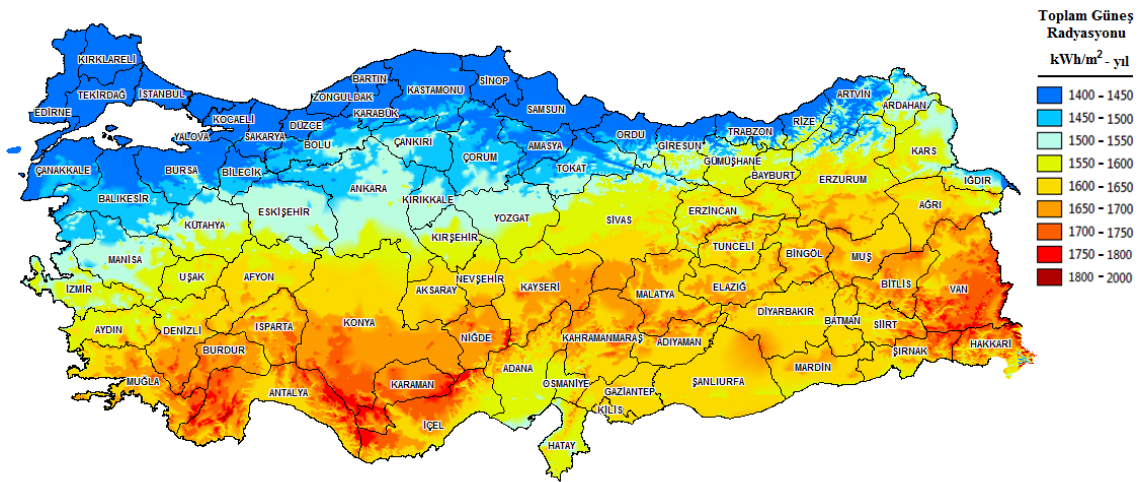
AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Çizelge 2.2 Türkiye'nin bölgelere göre güneşlenme süreleri (Demirkol 2013).

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Çizelge 2.1 incelendiğinde Türkiye'nin Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında aylık toplam güneş enerjisi ve güneşlenme süresinin en çok gerçekleştiği görülmektedir. Türkiye'nin ortalama güneş enerjisinin çizelgeden $3,6 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ olduğu ortalama güneşlenme süresinin de $7,2 \text{ saat/gün}$ olduğu çizelgenin en alt kısmında belirtilmiştir.

Çizelge 2.2'de ise Türkiye'nin bölgelere göre olan toplam güneş enerjisi ile güneşlenme sürelerinin verildiği görülmektedir. Çizelgeye göre en çok güneş enerjisi ve güneşlenme süresine sahip olan bölgenin Güneydoğu Anadolu bölgesi olduğu Çizelge 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.6 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (EİE).

Şekil 2.6'da ise Türkiye'nin güneş enerjisi radyasyonu yoğunluğuna göre çizilmiş harita görülmektedir. Haritaya göre güneş radyasyonunun ağırlıklı olarak Akdeniz ve Güneydoğu bölgelerinde daha fazla olduğu görülmektedir.

Güneş enerjisinden faydalanılma türleri olarak gruplandırma yapılacak olursa ısı ve ışık diye ayırabiliriz. Geçmişte güneş enerjisinden sadece ısı açıdan faydalanılırken son yıllarda gelişen teknoloji ile güneş enerjisinin ışık kaynağından da faydalanılabilecek gelişmeler olmuştur. Fotovoltaik teknolojiyle birlikte ışık enerjisi elektriksel enerjiye dönüştürülebilmektedir. Bu dönüşümü sağlayan araçlar güneş pilleri (panelleri) olarak isimlendirilmektedir. Güneş pillerinde elektriksel dönüşüm işleminin nasıl gerçekleştirildiğini inceleyelim.

2.6.1.1 Fotovoltaik Piller ve Çeşitleri

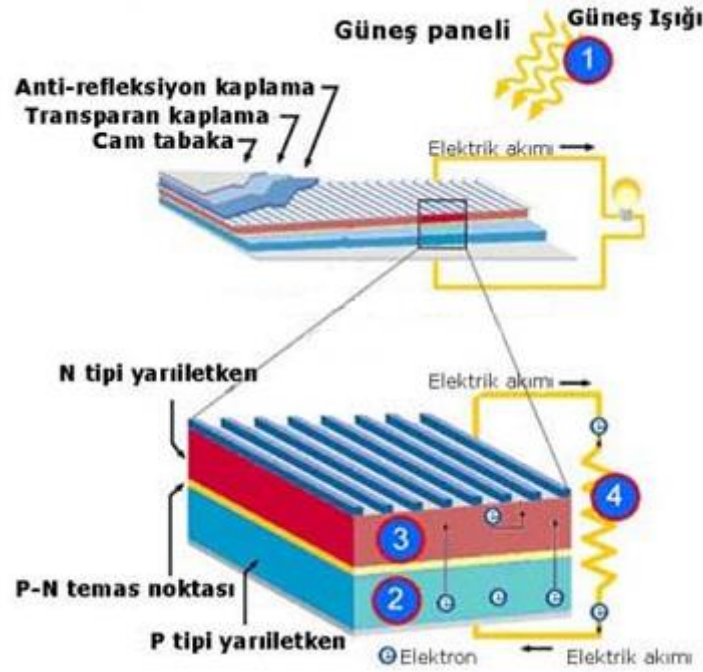
Fotovoltaik (photovoltaic) ismi Yunanca'da ışık anlamına gelen "phos" ve elektriğin öncülerinden olan Alessandro Volta'nın "voltaic" kelimelerinin bir araya gelmesiyle ortaya çıkmıştır.

Fotovoltaik etkisi ilk olarak 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel tarafından keşfedildi. 1876 yılında ise William G. Adams ve Richard E. Day tarafından silisyum kristalleri bulundu. Ancak 1905'te Albert Einstein tarafından fotovoltaik etkisi düzgün bir şekilde ifade edilmiş ve bu sayede 1921 yılında Nobel Fizik Ödülü kazanmıştır. 1950 yılında silikon hücrelerinin verimi %4 olarak Daryl Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson tarafından ortaya konulmuştur. İlk teknik uygulama "Vanguard 1" uydusu ile beraber 1954 yılında uydu teknolojisinde yer almıştır. 1960-1970 yıllarında havacılık sektörü fotovoltaik hücrelerin gelişiminde öncü olmuştur.

Fotovoltaik (photovoltaic) sistemler yarıiletken malzemeler aracılığı ile ışıktan gerilim üreterek güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine (DC) dönüştürebilen sistemlerdir. Bu tip sistemler genellikle "PV" kısaltması ile ifade edilir. Fotovoltaik hücreler, güneş hücreye gelen güneş radyasyonunun % 80'e kadar olan miktarını emebilirler (Makki 2015). Elektrik enerjisine çevrilecek olan enerjinin miktarı fotovoltaik hücrenin verimliliği oranında değişkenlik gösterir. Yapılan çalışmalarda fotovoltaik pillerde verimlilik miktarı %10-%46 arasında değişkenlik göstermektedir. Verimlilik açısından en yüksek ulaşılmış rakam %46 değeridir (Wikipedia 2015). Fotovoltaik piller için aynı zamanda güneş pilleri terimleri de kullanılmaktadır. Güneş pillerinin üzerine ışık düştüğü zaman yarıiletken malzemede oluşan olaylar neticesinde uçları arasında potansiyel fark oluşur ve bir dış devreye bağlanırlarsa devreden akım geçer.

Güneş pilleri yarı iletken bir diyot olarak çalışırlar. Güneş pili hücrelerinin üst tabakaları çatlamaların, kırılmaların ve enerji kaybının önlenmesi için yansımayı önleyici kaplama ve korumalardan oluşur. Bu katmanların altında ise N tipi ve P tipi yarıiletken maddeler bulunur (Makki 2015).

Yarıiletken malzemelerden oluşmuş fotovoltaik dönüşüm sisteminde gerçekleşen olaylar Şekil 2.7'de olayların oluşma sırasına göre ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.



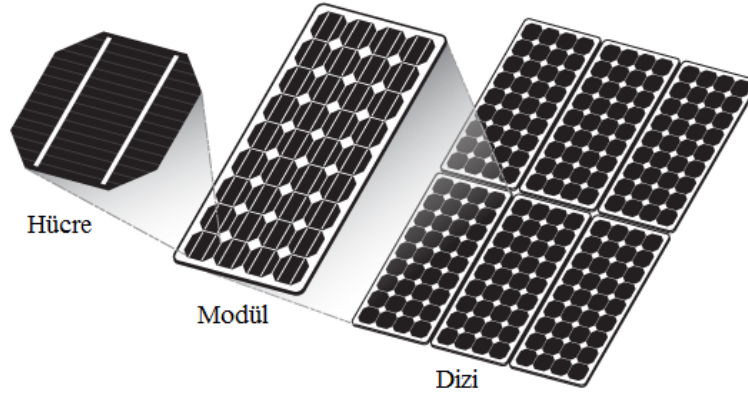
Şekil 2.7 Fotovoltaik dönüşüm sistemi (Megep 2013).

Yukarıdaki şekilde güneş pillerinin yapısı ve çalışması şematik olarak gösterilmiştir.

- 1) Güneş pili üzerine düşen güneş ışığı fotovoltaik hücreler tarafından tutulur. Güneş pilinde bulunan P tipi yarıiletken maddenin özelliği çok elektrona N tipi yarıiletken maddenin özelliği ise az elektrona sahip olmasıdır.
- 2) P tipi yarıiletken malzemede bulunan elektron güneşten gelen ışığın sahip olduğu enerji aracılığı ile yarıiletken malzemedan kopartılır.
- 3) Koparılan elektronlar enerji kazanarak N tipi yarıiletken maddeye doğru akarlar.
- 4) Bu olaylar neticesinde oluşan potansiyel fark nedeniyle yarıiletken malzemenin uçlarına yük bağlanıldığı takdirde sabit tek yönlü elektron akışı doğru akımı (DC) oluşturur. Devresini tamamlayan elektronlar P tipi yarıiletken maddeye geri döner.

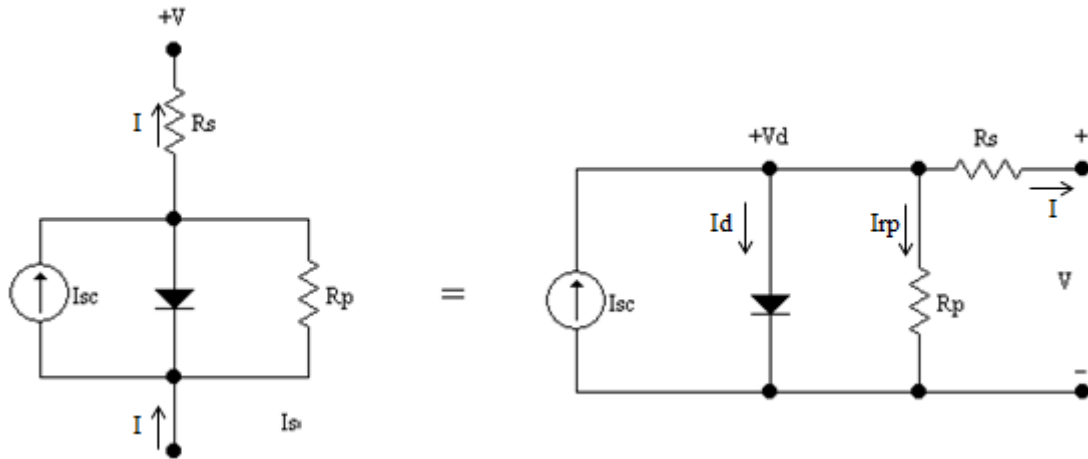
Bu şekilde birçok hücre seri veya paralel bağlanarak istenilen akım ve gerilim değerleri elde edilir. Hücrelerin seri veya paralel bağlanmalarıyla oluşturulan yapıya fotovoltaik

modül, fotovoltaik modüller de uygun bağlantılarla fotovoltaik dizi adını alırlar. Şekil 2.8’de güneş pili hücresi, modülü ve dizi hali görülmektedir.



Şekil 2.8 Güneş pili hücresi, modülü ve dizisi (Samlexsolar 2014).

Şekil 2.9’da fotovoltaik bir hücrenin elektriksel eşdeğer devresi gösterilmiştir. Seri ve paralel olan dirençler görüldüğü üzere tek bir model üzerinde birleştirilmiştir. Şekli verilen ideal model akım ürettiği için bir akım kaynağı ve P-N ekleminden oluştuğu için de bir diyot içermektedir. Fotovoltaik panel tarafından üretilen elektrik enerjisinin akım ve gerilim arasındaki matematiksel ilişki (2.1) numaralı denklemde verilmiştir.



Şekil 2.9 Güneş pili eşdeğer devre modeli (Bayrak 2012).

$$I = I_{sc} - I_0 \left(\exp \frac{V + R_s \cdot I}{k \cdot T} - 1 \right) - \frac{V + R_s \cdot I}{R_p} \quad (2.1)$$

Şekilde, I_{sc} akım kaynağının akımı olarak ifade edilerek sabit ışınım ve sıcaklık altındaki fotonlar tarafından üretilen akımı göstermektedir. R_p direnci paralel sızıntı

akımını, seri R_s direnci ise çıkıştaki gerilim düşümünü temsil etmektedir. R_s direncindeki küçük değişimler fotovoltaik sistemin verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Ancak R_p direncindeki değişikliklere duyarlı değildir. R_s direncinde meydana gelecek küçük bir artış, fotovoltaik modül çıkışını önemli ölçüde azaltır (Bayrak 2012).

Burada;

I = Fotovoltaik pil çıkış akımı (A)

I_{SC} = Fotovoltaik hücre kısa devre akımı (A)

I_O = Ters yönde doyma akımı(A)

I_D = Diyot ters doyma akımı (A)

V = Fotovoltaik pil çıkış gerilimi (V)

R_s = Eşdeğer devre seri direnci (Ω)

R_p = Eşdeğer devre paralel direnci (Ω)

k = Boltzmann sabiti ($1,38 \times 10^{-23} J/^\circ K$)

T = Çalışma sıcaklığı ($^\circ K$)

Fotovoltaik sistemlerin çeşitleri incelenecek olursa yapılan malzemelere göre fotovoltaik pillerin özelliklerinin de değiştiği görülmektedir. Günümüzde en çok kullanılan yarı iletkenler; Amorf Silisyum, Kristal Silisyum, Kadmiyum Tellürid, Galyum Arsenit ve Bakır İndiyum Diseleneid'tir. Güneş pilleri üretim şekillerine göre monokristal, polikristal ve ince film güneş pilleri olarak sınıflandırmak mümkündür.

2.6.1.1.1 Monokristal

Monokristal güneş panellerini oluşturan malzemeler homojen bir şekilde dağılmıştır. Verimlilik kapasiteleri diğer güneş pillerine kıyasla daha yüksektir ve verimlilik miktarları %15-%20 arası değişmektedir. Monokristal güneş panellerinin fiyat olarak diğer panel tiplerine göre daha yüksek olması üretiminin teknik açıdan daha zor

olmasından ve daha çok zaman almasından kaynaklanmaktadır. Ancak uzun süreli kullanımlar için düşünüldüğünde monokristal güneş panelleri dayanıklılık ve verimlilik açısından daha iyi bir seçenek olacaktır (Altuntop 2013). Monokristal hücre tipi ve paneli Şekil 2.10’da verilmiştir.



Şekil 2.10 Monokristal hücre ve paneli.

2.6.1.1.2 Polikristal

Polikristal güneş panellerinde malzeme birçok monokristalden oluşur ve atomik yapı homojen değildir. Polikristal güneş panellerinin verimlilik kapasitesi yaklaşık %14-%16 arası olup monokristal güneş panellerine göre daha düşüktür. Kalite ve verimlilik açısından polikristal güneş pilleri monokristal olanlardan biraz daha düşük verimli hücreler ile üretilmiştir. Buna rağmen kullanım alanı daha yaygındır. Bunun en büyük nedeni daha kolay ulaşılabilir ve buna bağlı olarak daha uygun fiyatla bulunabilmesidir. Polikristal güneş panellerinin maliyeti monokristal güneş pillerinden daha düşük olduğu ve verimlilik kapasitelerinin maliyete oranı yüksek olduğu için bu tip güneş panelleri en sık üretilen güneş panelleridir (Altuntop 2013). Polikristal hücre tipi ve paneli Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11 Polikristal hücre ve paneli.

2.6.1.1.3 İnce Film

Güneş pillerinde kullanılan malzemenin ve işçiliğin azaltılması, teknolojinin basitleştirilerek maliyetlerinin düşürülmesi yönünde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, yarı-iletken malzemenin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanması yöntemi uygulanabilir bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. İnce film fotovoltaik malzeme genellikle çok kristalli malzemelerdir. Başka bir ifadeyle ince film yarı-iletken malzeme, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden milyonda birine kadar değişen damarlardan oluşmaktadır. İnce film fotovoltaik malzemede kalınlık, silisyum üzerinde yapılan pillere göre çok daha azdır. Günümüzde laboratuvar verimlilikleri %18'lere çıkmış olsa da piyasada satılan ince film güneş panellerinin verimlilikleri %5 ile %10 aralığında değişmektedir (Y.Hamakawa 2004). İnce film hücre tipi ve paneli Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12 İnce film (amorfsilikon) hücre ve paneli.

2.6.2 Hidrojen ve Hidrojen Enerjisi

Hidrojen güneş ve galakside ki yıldızları oluşturan enerjinin termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtı olup, evrenin temel enerji kaynağıdır. Hidrojen gazını ilk defa 1493 – 1521 yılları arasında T. Von Hohenheim tarafından yapay olarak asitlerle metalleri karıştırarak elde etmiştir. Kimyasal olay sonucunda açığa çıkan gazın yeni bir element olan hidrojen gazı olduğunun farkına varamamıştır. Asıl olarak 1671 tarihinde Robert Boyle tarafından demir çubuk ve seyreltik asit çözeltilerinin reaksiyonu sonucu hidrojen üretilerek yeniden keşfedilmiştir. 1783'te Antoine Lavoiser, Laplace ile Cavendish tarafından üretilen bu gaza hidrojen adını vermişlerdir. Hidrojenin ilk kullanım yerlerinden biri balonlar ve daha sonraları zeplinlerdir.

Hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı tarih 1930'lu yılların sonlarına denk gelmektedir. Almanya'da Walter Thiel tarafından sıvı hidrojen – sıvı oksijen karışımının roketlerde yakıt olarak kullanımına yönelik uçuş denemeleri yapıldı ancak bu teknik üzerinde fazla durulmadı. Gelişen teknolojiyle roketlerde katı, sıvı ve gaz yakıtların kullanılmasıyla hidrojenin enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. NASA roketlerinde iyi bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Hidrojen enerjisinin insan ve çevre sağlığını tehdit edecek bir etkisi yoktur. Kömür, doğalgaz gibi fosil kaynakların yanı sıra sudan ve biyokütleden de elde edilen hidrojen, enerji kaynağından çok bir enerji taşıyıcısı olarak düşünülmektedir.

Hidrojen bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir. 1 kg hidrojen 2,1 kg doğal gaz veya 2,8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim enerji başına hacmi yüksektir. Evrenin hafif ve en bol elemanıdır. En çok da güneşte bulunur. Hidrojen evrendeki tüm maddelerin %80'ini oluşturur. Hidrojen renksiz, kokusuz, havadan 14,4 kez daha hafif ve zehirsiz bir gazdır. Yerel olarak da üretimi mümkün olan hidrojen enerjisi ayrıca kolay ve güvenli bir şekilde taşınması ile enerji kaybı az olan, her alanda kullanılabilen bir enerji türüdür. Hidrojen doğada bileşikler halinde bulunmaktadır ve en çok bilinen bileşiği sudur. Güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtıdır. Sıvı hidrojenin hacmi gaz halindeki hacminin sadece 1/700'ü kadardır. Hidrojen petrol yakıtlarına göre ortalama %33 daha verimli bir yakıttır (Baş 2013).

Hidrojenin günümüzdeki gelişimi daha çok yakıt pilleri yönünde olmuştur. Yakıt pilleri, 1950'lerin sonunda NASA tarafından uzay çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. Yakıt pilleri, laptoplar, cep telefonları gibi mobil uygulamalarda kullanılmalarının yanı sıra elektrik santralleri içinde uygun güç sağlayıcılarıdır. Yüksek verimli olması ve düşük emisyonları nedeniyle, ulaşım sektöründe de tercih edilmektedir (Ural 2007).

2.6.2.1 Yakıt Pilleri

İlk yakıt pilinin 1839 yılında William Grove tarafından yapıldığı literatürde belirtilmiştir. Seyreltik sülfürik asit ile yaptığı ilk hidrojen-oksijen yakıt pili 1839 yılında Philosophical Magazine dergisinde yayınlanmıştır. Yakıt pilleri, 1950'lerin sonunda NASA tarafından uzay çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. Yakıt pilleri, laptoplar, cep telefonları gibi mobil uygulamalarda kullanılmalarının yanı sıra elektrik santralleri içinde uygun güç sağlayıcılarıdır. Yüksek verimli olması ve düşük emisyonları nedeniyle, ulaşım sektöründe de tercih edilmektedir (Ural 2007).

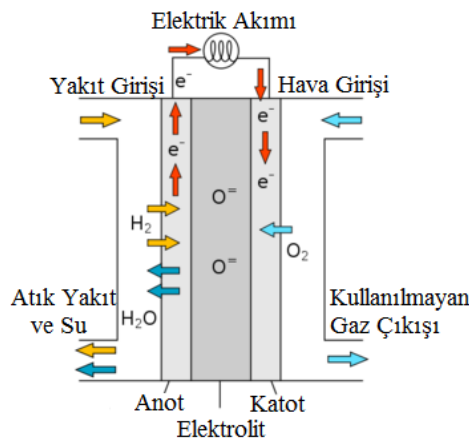
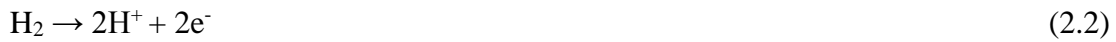
Yakıt pilleri kimyasal reaksiyon sonucu elektrik üreten elektrokimyasal dönüştürücülerdir. Yakıt pillerinde kimyasal enerji doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu kimyasal süreçte içten dışarıya havayı kirletici nitelikte atık gaz çıkışı olmadığından temiz enerji kaynağıdır. Ayrıca, elektrik enerjisinin yüksek verimlilik ile elde edilmesine olanak sağlarlar. Yakıt pillerinde ana enerji kaynağı olarak hidrojen kullanılır. Hidrojen havadaki oksijenle yakıt pili aracılığı ile yanarak su oluşturur. Tepkime ekzotermik olup ısı açığa çıkar. Ancak oluşan ısı çok yüksek değerde olmadığına su ile yakıt pili dışına atılır. Yüksek ısı üreten yakıt pillerinde ise ayrıca soğutma ihtiyacı duyulabilir (Ural 2007).

Yakıt pili temel olarak elektrolit, anot ve katot elektrotlardan oluşur. Elektrolitin yapısı geçirgen ve gözenekli olmasıyla birlikte bütün yüzeyi elektrotlar ile temas halindedir. Yakıt hücrelerini oluşturan bileşenler içerisinde ki en önemli bileşeni olan elektrolit ile tanımlanırlar. Elektrolit; elektrotlara uygulanacak katalizörü, işletim sıcaklığını ve aynı zamanda işletim gaz gereksinimini belirler. Yakıt pillerinde yakıt pilinin gücüne göre anot-elektrolit-katod grubu sayısı da doğru orantılı değişmektedir. Anot-elektrolit-katod grubu “Membran Elektrot Grubu-Membrane electrode assembly (MEA)” yada “Yakıt

Hücre” olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.14). Yakıt pillerinde yakıt ve hava akışının sağlandığı, hücreler arası bağlantıyı sağlayan kısımlar mevcuttur ve bu birimler “Akım Toplayıcı Plakalar (bipolar plaka)” olarak isimlendirilir. Bilindiği üzere yakıt pillerinde elde edilen enerji kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşur ve bu kimyasal reaksiyonları hızlandırmak için katalizörler kullanılır. Kullanılan katalizörler yakıt pilinin tipine bağlı olarak değişiklik gösterir.

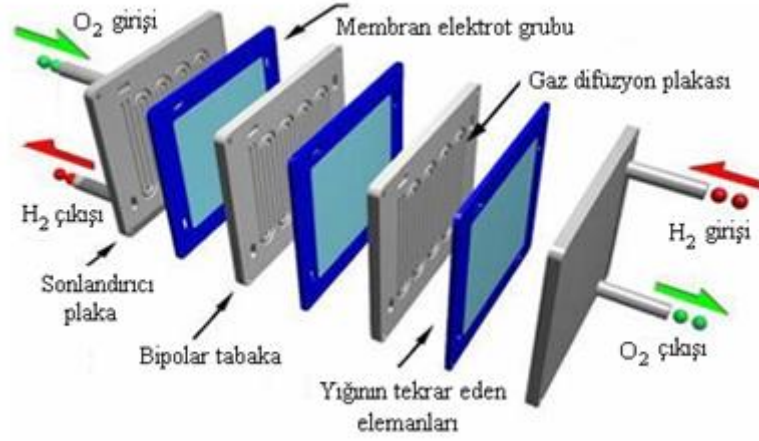
Yakıt pilinin anot elektrotuna yakıt olarak nitelendirebileceğimiz gaz gönderilirken katot kısmına ise hava yada saf oksijen gönderilir. Yakıt olarak gönderilen gaz elektrolit kısmında iyonlarına ayrışarak pozitif yüklü iyon elektrolitin geçirgen ve gözenekli olması nedeniyle katot elektrot kısmına geçerken negatif yüklü elektron parçacığı ise devresini yakıt pilene bağlanmış olan yük üzerinden tamamlar. Böylelikle elektrik akımı oluşarak yük üstünden akıtılma işlemi gerçekleştirilir. Katot tarafında bulunan pozitif yüklü iyon oksitlenerek yakıtta kullanılan bileşenlere bağlı olarak çıkış tarafında da bu doğrultuda atık ürün oluşumu gözlenir. Reaksiyon sonrası ısı, saf su ve karbon içerikli bir yakıt kullanılıyorsa ilave olarak karbondioksit açığa çıkar (Fedakar 2012). Yakıt pili yapısı ve çalışma prensibi Şekil 2.13’de görülmektedir.

Anot ve katotta tipik olarak gerçekleşen kimyasal reaksiyon denklemleri (2.2) ve (2.3)’de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 2.13 Yakıt pili yapısı ve çalışma prensibi (Yıldırım 2011).

Yakıt pilinde çok sayıda hücrenin bir araya getirilmesiyle “yakıt pili yığını-fuel cell stack” olarak isimlendirilen yapılardan oluşmaktadır. Şekil 2.14’de görüldüğü üzere yakıt pili yığınının ayrıntılı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.14 Yakıt pili yığınını oluşturan bileşenler (Yıldırım 2011).

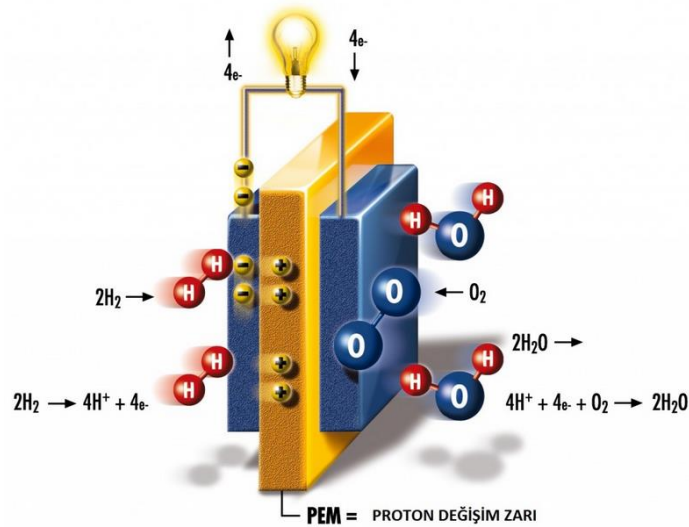
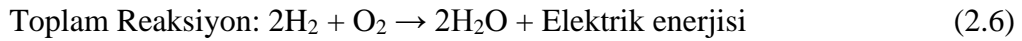
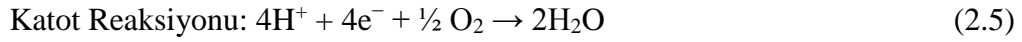
Yakıt pillerinin farklı sıcaklıklarda çalışan tipleri olmasına karşın sınıflandırılırken asıl farklılık yakıt pillerini oluşturan elektrolitlerden kaynaklandığı için elektrolit tipine göre sınıflandırılırlar (Squadrito 2014). Kullandıkları elektrolite göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

1. Proton değişim zarlı yakıt pili
2. Direk metanol kullanan yakıt pili
3. Alkalin yakıt pili
4. Fosforik asit yakıt pili
5. Erimiş karbonat yakıt pili
6. Katı oksit yakıt pili

2.6.2.1.1 Proton değişim zarlı yakıt pili (PEM)

PEM yakıt pili ilk olarak 1960’ların başında General Electric tarafından NASA için icat edilmiştir. Katı polimer elektrolitli yakıt hücresi olarak da adlandırılır. Bu tip yakıt pillerinin membran bileşeni iyon değişimine imkan sağlayan ince polimer tip olup

içerisinde flor ve sulfonik asit polimerlerini barındırır. Membranın kalınlığı yaklaşık olarak 12-20 mikron seviyelerindedir. Buradaki elektrolitin ana görevi anot ile katot arasında ki bağlantıyı sağlayarak anottan katoda doğru hidrojen iyonlarının taşınmasını sağlamaktır. Çalışma sıcaklıkları en yüksek 100 °C civarı olup optimum sıcaklık çalışma noktası 80-90 °C değerleridir. Çalışma basıncı 1-8 atm değerleri arasındadır. Belirli bir miktar nemin bulunması koşuluyla hidrojen ve oksijenle çalışmaktadırlar. PEM'ler 350 mW/cm² gibi yüksek bir güç yoğunluğuna sahiptir ve verim miktarı %40-%60 aralığında değişmektedir. PEM yakıt pillerinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlardan anot reaksiyonu, katot reaksiyonu ve toplam reaksiyonu (2.4), (2.5) ve (2.6) numaralı denklemlerde görülmektedir (Yıldırım 2011). Proton değişim zarlı yakıt pili ve çalışma prensibi Şekil 2.15'de görülmektedir.



Şekil 2.15 Proton değişim zarlı yakıt pili ve çalışma prensibi (Yılmaz 2015).

PEM tipi yakıt pilinin anot kısmına yakıt olarak gönderilen hidrojenden elektronların ayrılması ile oluşan protonlar, proton geçirgen zardan; elektronlar ise yükün bağlı olduğu dış devreden katoda ulaşır. Katotta oksitleyici olarak bulunan hava veya saf

oksijen aracılığı ile gelen protonla dış devreden gelen elektronların reaksiyonu sonucu devre tamamlanarak su açığa çıkar (Woo 2007).

Kimyasal olayların gerçekleştiği membranların iyon geçirme işlevlerini yerine getirebilmesi için membranın belirli miktarda nemli olması gereklidir. Membranın nemlilik oranı direk olarak yakıt pilinin performansını etkilerken membranın zarar görmesine de yol açabilir. Bu yüzden gerekli nemlilik oranının sağlanması için yakıt piline hidrojen ve hava nem ünitesinden geçirilerek verilir (Woo 2007).

Son yıllarda PEM tipi yakıt pillerinin daha çok ulaşım amaçlı olarak araçlarda kullanıldığı görülmektedir. Mercedes, Toyota, Honda ve Hyundai gibi büyük otomotiv üreticileri yakıt pilli araç üretimine ciddi yatırımlar yaparak yakıt pilli araçları kullanıma sunmuşlardır. Yakıt pilli araçlarda PEM tipi yakıt pilleri kullanılmakta ve kullanılan yakıt pillerinin gücünün 100 kW seviyelerinde olduğu görülmektedir (Wikipedia 2015).

2.6.2.1.2 Direk metanol kullanan yakıt pili

Bu tip yakıt pillerinde yakıt olarak metanol kimyasal bileşiği kullanılır. Çalışma prensibi olarak proton değişim zarfı yakıt pili tipine benzemektedir. Yakıt olarak kullanılan hidrojenin kaynağı olarak metanol bileşiği kullanılır. Katot tarafında kimyasal olay sonucu oluşan su ile yakıt girişi tarafından uygulanan metanol bileşiğinin kimyasal reaksiyonu sonucunda anot üzerinde protonlar, elektronlar ve karbondioksit gazı oluşmaktadır. Oluşan protonlar seçici geçirgen membran aracılığı ile katot tarafına geçmekte ve beslenen havada ki oksijen ile reaksiyona girerek suyu oluşturmaktadır. Bu reaksiyonlar sonucunda açığa çıkan elektronlar ise devrelerini yük olarak devreye bağlanmış olan iletkenler üzerinden geçerek dış devrede gerilim oluşmasına ve elektrik üretilmesine sebep olmaktadır (Zainoodin 2010)

2.6.2.1.3 Alkalin yakıt pili

Bu tip yakıt pillerinde kimyasal reaksiyonların gerçekleştiği membranın kimyasal yapısı potasyum hidroksit bileşiği ile oluşturulmuştur. Asit elektrolit çeşitlerine göre alkali elektrolitlerde oksijen indirgeme kinetiği daha hızlıdır ve bu durumda katalizör olarak soy metal olmayan türdeki elementlerin kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Bu

yüzden alkali tip yakıt pilleri diğer yakıt pillerine oranla daha ekonomik olmaktadır. Alkali tip yakıt pillerinin ideal çalışma sıcaklığı 60-70 °C aralığındadır. Yakıt pili çeşitleri içerisinde en yüksek voltaj verimine sahip olan alkali tip yakıt pilleri birçok malzeme ile uyum içinde çalışabildiği için uzun işletim ömrüne sahiptir. Ağırlıklı olarak uzay araçlarında kullanılan alkali tip yakıt pillerinin verimlilik seviyeleri %60-%70 değerleri aralığındadır. Güç yoğunluğu 200mW/cm² olup diğer yakıt pillerine oranla daha yüksektir. Kullanım durumuna bakıldığında Avrupa'da 500 kW kapasitesinde ki alkali yakıt pili kullanılarak üretilen enerji kullanıcılara sunulmaktadır (Yıldırım 2011).

2.6.2.1.4 Fosforik asit yakıt pili

Fosforik asit yakıt pillerinde elektrolit olarak fosforik asit kullanılır. Çalışma sıcaklıkları 160-220 °C aralığındadır. Bu yakıt pillerinin verimi % 55 seviyelerindedir. Güç yoğunluğu ise 100mW/cm² olarak verilebilir. Yakıt olarak temiz yakıt olarak nitelendirilen doğalgaz, LPG gibi veya gazlaştırıcıdan alınan temizlenmiş kömür gazı kullanılır. Doğalgazın yakıt olarak kullanıldığı yapılar genellikle yüksek güç üretiminin yapıldığı yerlerdir. Bu yakıt pillerinin kapasiteleri 5-20MW aralığındadır. Konutlarda, ticari alanlarda ve kamu kurumlarında elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılabilirler. Yaklaşık olarak 50kW-1 MW AC elde edilebilir. Buradan çıkan atık ısı da kojenerasyon sistemi. ile toplam verimi %80 seviyelerine arttırmak mümkündür.

Fosforik asit yakıt pilleri sabit bir çıkış seviyesinde en iyi verimde çalışabilmektedirler. Hibrit bir sistem ile ivmelenmenin gerektirdiği yüksek güç gereksiniminin başka araçlarla karşılanması durumunda daha iyi performans göstermektedir. Amerika'da 1999 yılında 200kW olan fosforik asit tipi yakıt pili sistemi 2013 yılında 400kW seviyesine çıkarılarak enerji kapasitesi arttırılmıştır (Yıldırım 2011).

2.6.2.1.5 Erimiş karbonat yakıt pili

Erimiş karbonatlı yakıt pillerinin elektrolit kısmı lityum alüminyum oksit (LiAlO₂) ve erimiş alkali karbonat tuzlarından oluşur. Ortalama 620–660°C gibi yüksek sıcaklıklarda çalışma özelliğine sahiptir. Elektriksel verimi %65 değerlerinde olup yüksek sıcaklıkta çalışmasından kaynaklı olarak açığa çıkan atık ısının kojenerasyon yöntemi ile kullanılmasıyla verimlilikleri %80 civarına çekilebilmektedir. Çalışma

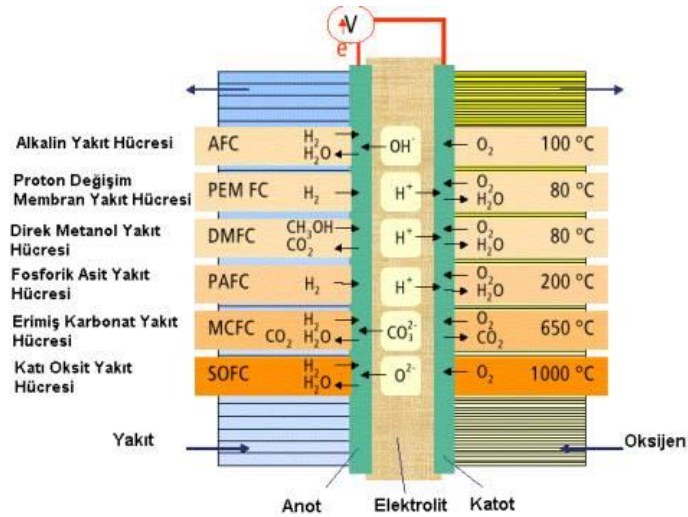
sıcaklığının yüksek olmasından dolayı elektrotların korozyona dayanıklı olmaları gerekmektedir. Elektrik santralleri gibi üretim tesislerinde kullanılmaktadır. 2014'de Güney Kore'nin Hwasung şehrinde 21 adet erimiş karbonat yakıt pilinden oluşan 121 MW kapasitesinde elektrik üretim santrali kurulmuştur. 300kW'dan MW enerji seviyelerine kadar olan enerji yapılarıyla karşılaşmak mümkündür (Yıldırım 2011).

2.6.2.1.6 Katı oksit yakıt pili

Hücre malzemelerinin çoğu özel seramik ve nikelten oluşmaktadır. Kullanılan seramiklerden en yaygını zirkonya ile kararlı hale getirilmiş itriyum (Yttrium-stabilized zirconia/YSZ)'dur. Çalışma sıcaklığı 800-1000 °C aralığındadır. Çalışma sıcaklığı çok yüksek olduğundan katalizörlere ihtiyaç duyulmaz. Yakıt olarak CO ile birleşmiş halde hidrojen kullanılmaktadır ve reaksiyon ürünü olarak da su buharı ve CO₂ çıkmaktadır. Atık gazların yüksek sıcaklıklarda olması nedeniyle kojenerasyon sistemleri için çok uygundur. Katı oksit yakıt pilinin verimi % 60 ile % 65 arasındadır. Kojenerasyon sistemin açığa çıkan ısının kullanılmasıyla verimleri % 80'e kadar çıkabilir. 800°C altında performansın düşmesi gibi bazı dezavantajları vardır. Endüstriyel alanlarda ve elektrik üretim merkezlerinde kullanılmaktadır. Katı oksit yakıt pillerinin güçleri 2kW ile 100MW aralığında olup yüksek güçlü elektrik üretebilme kapasitesine sahiptir. Kullanım alanına örnek olarak Japonya'nın Fukuoka şehrinde telekom uygulamasında kullanılan 200kW'lık katı oksit yakıt pilinin enerji kaynağı olarak kullanılması verilebilir (Yıldırım 2011). Yakıt pili çeşitlerinin özellikleri ve kullanım alanları Çizelge 2.3'de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 2.3 Yakıt pili çeşitleri, özellikleri ve kullanım alanları.

Yakıt Pili	Elektrolit	Çalışma Sıcaklığı	Elektriksel Verim	Yakıt/Oksitleyici	Uygulama Alanları
Alkali	Potasyum Hidroksit çözeltisi	25-250 °C	% 60-70	H ₂ /O ₂	Uzay Çalışmaları
PEM	Proton iletken elektrolit membran	25-100 °C	% 40-% 60	H ₂ /O ₂ , hava	Ulaşım Araçları, Askeri Sistemler
Direkt Metanol	Polimer iletken membran	25-130 °C	% 20-30	CH ₃ OH/O ₂ , hava	Taşıma, Bilgisayar, Cep Telefonu
Fosforik Asit	Sıvı fosforik asit	160-220 °C	% 55	Doğalgaz, biyogaz, H ₂ /O ₂ , hava	Ticari Uygulamalar(Oteller, Hastaneler vs.)
Erimiş Karbonat	Alkali karbonatlar	620-660 °C	% 65	Doğalgaz, biyogaz, kömür gazı, H ₂ /O ₂ , hava	Elektrik Santralleri
Katı Oksit	Erimiş alkali metal karışımı	800-1000 °C	% 60-65	Doğalgaz, biyogaz, kömür gazı, H ₂ /O ₂ , hava	Ticari Uygulamalar, Sanayi Uygulamaları, Elektrik Santralleri

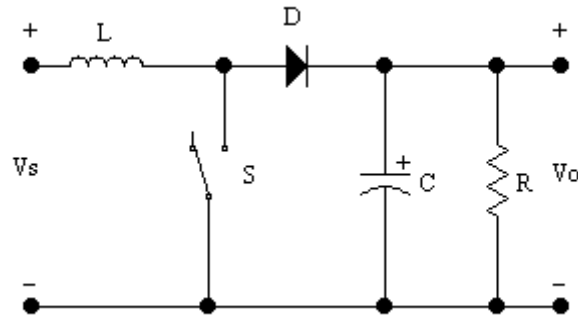


Şekil 2.16 Yakıt pili çeşitlerinin kimyasal reaksiyon ve çalışma ortam sıcaklığının şematik gösterimi.

Şekil 2.16’de bütün yakıt pili çeşitlerinin kimyasal reaksiyonları ve çalışma sıcaklıkları bütünleşik olarak verilmiştir.

2.6.3 DC-DC Dönüştürücüler(Konverterler)

Elektrik sistemlerinde elektriksel gücün kontrol edilmesi gerekmektedir. Gücün kontrol edilme yollarından biri bir gerilim seviyesinden başka bir gerilim seviyesine güç dönüştürme işlemidir. Alternatif akımda (AA) dönüştürme işlemi transformatörlerle verimli olarak yapılmaktadır. Fakat transformatörler doğru akım (DC/DC) güç dönüşümü için kullanılmamaktadır. Gücün DC/DC dönüşümünün verimli olarak yapılabilmesi için anahtar mod konvertörlerine ihtiyaç vardır. Güç konvertörleri, reaktif elemanlar ve anahtarlardan meydana gelir. Çalışma prensibi devrede kullanılan anahtarların iletim ve kesim sürelerinin ayarlanması ile yapılır. Yükü besleyen gerilim frekansı büyük değerlerde ise pratik olarak yüke kesintisiz DC güç aktarımı mümkün olur. Bu tür konvertörlerin tatmin edici işletimi, reaktif elemanların uygun konfigürasyona ve uygun anahtarlama metotlarına bağlıdır. DC-DC dönüştürücü çeşitleri yükseltici (boost), alçaltıcı (buck) ve alçaltıcı-yükseltici (buck-boost) olarak tanımlanabilir. DC-DC dönüştürücülerin temel yapısı Şekil 2.17’de görülmektedir. V_s gerilim kaynağını, S, anahtarlama elemanını V_o ise çıkış gerilimini temsil etmektedir.



Şekil 2.17 DC-DC Dönüştürücü Yapısı (Çoruh 2008).

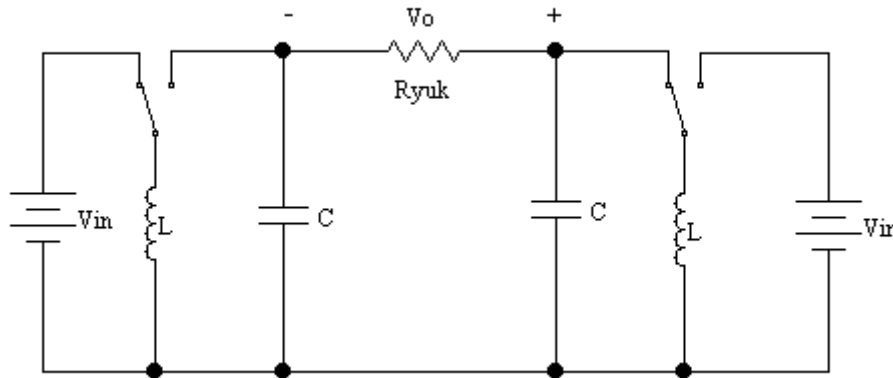
2.6.4 Aküler

Elektrik enerjisinin depolanmasına imkan sağlayarak ihtiyaç anında kullanılmasına olanak sağlayan cihazlar olarak tanımlanabilmektedir. Yapıldıkları malzemelere göre

isimlendirilen akülerin verimlilikleri ve kullanım ömürleri de yapıldıkları malzemelere göre değişkenlik göstermektedirler. Enerji depolama gerektiren birçok sistemde en çok tercih edilen akü kurşun asit tipli aküler olmakla birlikte son zamanlarda jel tipi akülerin tercih edilme oranları gittikçe artmaktadır. Jel aküler bakım gerektirmezler. Diğer akü çeşitlerine göre daha fazla şarj-deşarj olma imkanı sağlarken kullanım ömürleri daha uzundur. Uzun süre kullanılmadıkları durumda biledeşarj seviyeleri çok düşüktür. İç yapısındaki düşük dirençten dolayı performansları yüksektir. Bu yüksek performanslarından dolayı yenilenebilir enerji sistemleri başta olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

2.6.5 DC-AC Eviriciler

İnvertörler doğru akımı, alternatif akıma çevirmek için ya da tam tersi alternatif akımı doğru akıma çevirmek için kullanılan elektronik cihazlardır. Harici invertörler 12V veya 24V'luk bir enerji kaynağından aldıkları doğru akımı 220 V AC akıma çevirmek üzere kullanılırlar. Senkronize invertörler ise bir güneş paneli veya rüzgâr türbini çıkısına bağlanarak direkt şebekeye enerji aktarma özelliğine sahiptirler. İnvertörler çıkış gücüne, çıkış dalga özelliklerine ve yapı tasarımlarına göre gruplara ayrılırlar. İnvertör çıkışında üretilen AC güç, kullanılan transformatörlere, anahtarlama ve kontrol devrelerine bağlı olarak herhangi bir gerilimde ve frekansta olabilir. Temel olarak DC-AC dönüştürücü devresi olarak Şekil 2.18'de ki devre gösterilebilir. V_{in} giriş gerilimini temsil etmekte V_o çıkış gerilimini, $R_{yük}$ ise yük direncini göstermektedir.



Şekil 2.18 PWM anahtarlama yükselten-çalçaltan inverter devresi (Caceres 1998).

3. MATERYAL VE METOT

Akü grubu, yakıt pili ve birbirinden farklı özellikte olan monokristal, polikristal ve ince film güneş panelleri ile oluşturulmuş olan hibrit güç üretim sistemlerinin teknik özellikleri, kontrol sistemlerinin tasarlanması, kontrol sistemlerinde kullanılan ekipmanların teknik özellikleri ve hibrit enerji sistemlerinin enerji akışına yönelik oluşturulan kontrol algoritmaları ile ilgili olan bilgiler ayrıntılı olarak bu bölümde verilmektedir.

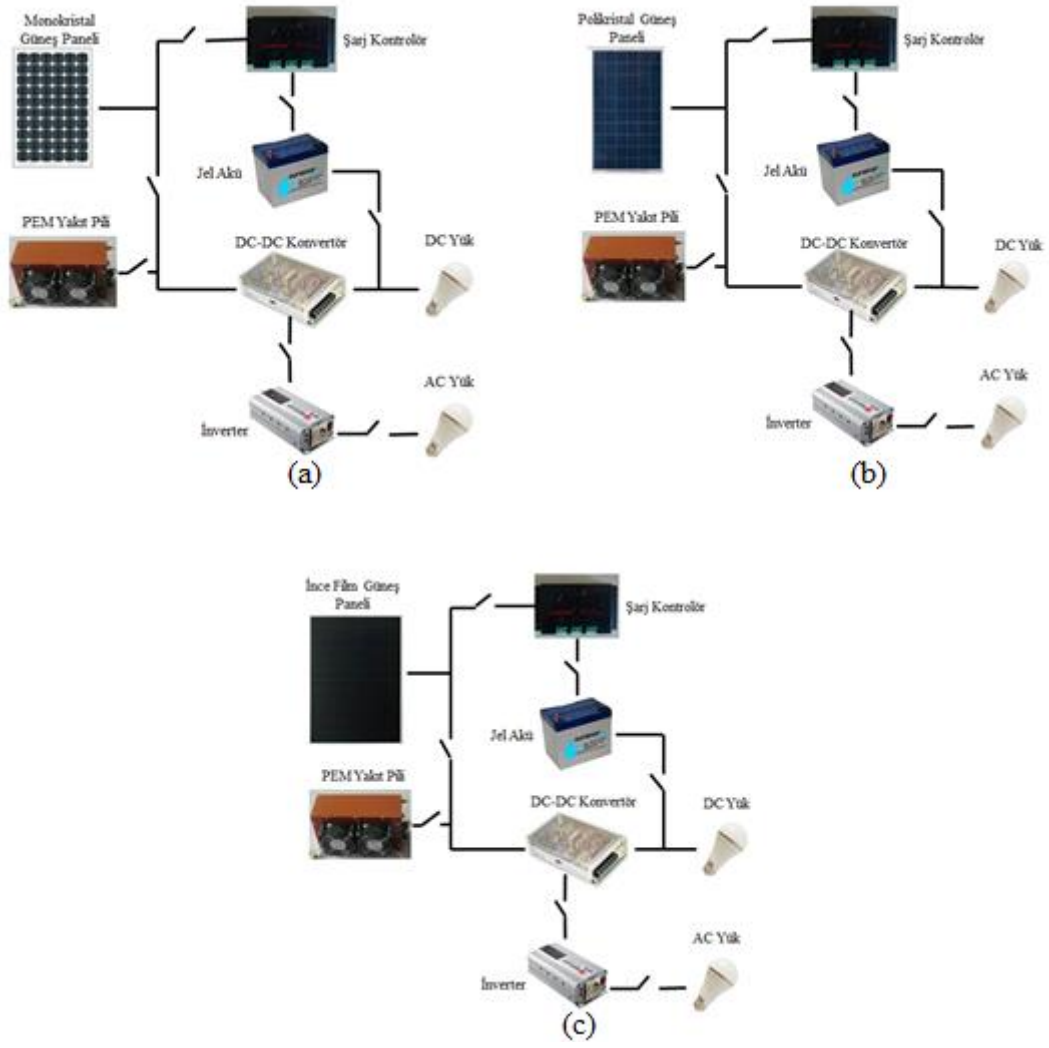
3.1 Üç Farklı Hibrit Güç Üretim Sistemini Oluşturan Ekipmanlar ve Teknik Özellikleri

Hibrit güç üretim sistemi oluşturulurken güneş panellerinin farklı özellikte olmasından kaynaklı olarak üç ayrı güç üretim sistemi tipinde tasarlanmıştır. Her bir güç üretim sistemi güneş paneli, batarya, DC yük, AC yük içermekle birlikte ek olarak yakıt pili enerji üretim sistemini de içermektedir.

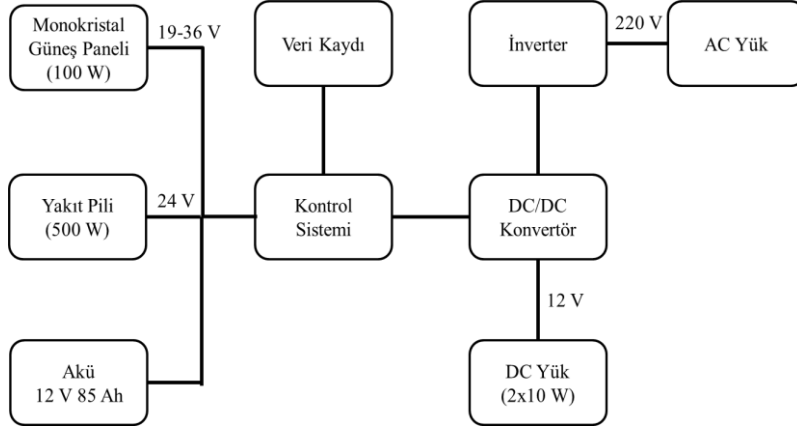
Her bir güneş paneli grubu 100W gücünde olup güneş panellerinin tipi sırasıyla monokristal, polikristal ve ince filmdir. Monokristal ve polikristal güneş panelleri birer tane olup ince film güneş panel grubu 50W'lık gücünde iki adet güneş panelinden oluşmaktadır. Her üç sistemde de her bir güç üretim sisteminde birer tane toplamda üç tane olmak üzere 12V'luk 85Ah kapasiteli jel(elektroliti jelleştirilmiş kurşun asit) akü mevcuttur. Monokristal, Polikristal ve İnce film güneş panellerinin bulunduğu güç üretim sistemlerinde kullanılan PEM tipi yakıt pilinin gücü 500W olup çıkış gerilimi 24V'tur. Güç üretim sistemlerinin çıkışına tüketiciyi temsilen DC ve AC yük özelliği gösteren lambalar bağlanmıştır. Her bir DC lamba 12V'luk, 10W gücünde olup her bir güç üretim sisteminin çıkışına ikişer tane yani toplamda güç üretim sisteminin çıkışında 20W yük özelliği gösterecek olan DC lambalar bağlanmıştır. AC tüketiciyi temsilen AC lamba kullanılmıştır. Enerji fazlasının depolanması ya da güneş paneli veya yakıt pili enerji kaynaklarının herhangi birinden enerji elde edilemediği durumlarda uygulanan algoritmanın özelliğine göre tüketiciye kesintisiz enerji sağlamak amacıyla aküler kullanılmıştır. Aküler şarj kontrol cihazları aracılığı ile şarj edilmektedir. Akülerin şarj kontrol cihazları ile şarj edilmelerinin nedeni akülerin sağlıklı bir şekilde şarj edilebilmelerini sağlamaktır. Monokristal ve polikristal güneş panellerinden oluşan enerji üretim sistemi gruplarında DC-DC konvertörün girişine uygulanan gerilim değeri

19-36V, DC-DC konvertörün çıkışından elde edilen gerilim değeri 12V'tur. İnce film güneş paneline ait enerji üretim sisteminde de DC-DC konvertörün girişine uygulanan gerilim değeri 36-72V aralığında olup DC-DC konvertörün çıkışından 12V gerilim değeri elde edilmektedir. Bu konvertörler aracılığı ile 12V'luk DC tüketiciler beslenmiştir. DC tüketicilerin enerji talep etmediği durumda ise enerjinin etkin ve verimli kullanılması amacıyla mevcut enerji inverter aracılığı ile AC tüketiciyi beslenmiştir.

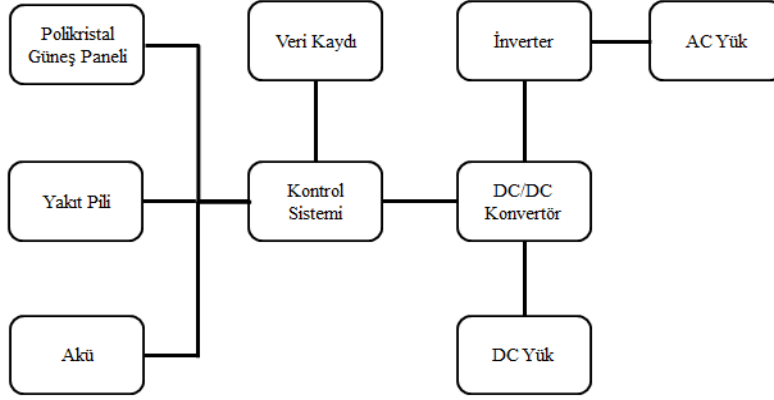
Hibrit güç üretim sistemlerinin enerji akış kontrolleri akım ve gerilim sensörlerinden alınan bilgilerle mikrodenetleyici tabanlı kontrolör aracılığıyla yapılmıştır. Hibrit enerji sistemlerini oluşturan bileşenlerin gerilim ve akım bilgileri bilgisayar tarafından 1'er saniye aralıklarla kaydedilerek veri kaydı oluşturulmuştur. Şekil 3.1'de üç hibrit enerji üretim sisteminin genel bağlantı şemaları verilmiştir. Sistemlerin işletilmesine ait genel mantığının blok diyagramları ise Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de sırası ile verilmiştir.



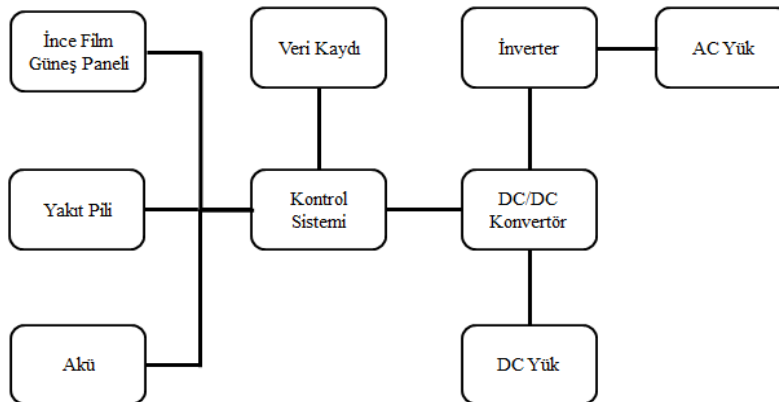
Şekil 3.1 Hibrit enerji üretim sistemlerinin genel görünüşü (a) Monokristal, (b) Polikristal, (c) İnce Film.



Şekil 3.2 Monokristal güneş panelinden oluşan hibrit enerji üretim sisteminin mantıksal işleyiş blok diyagramı.



Şekil 3.3 Polikristal güneş panelinden oluşan hibrit enerji üretim sisteminin mantıksal işleyiş blok diyagramı.



Şekil 3.4 İnce film güneş panelinden oluşan hibrit enerji üretim sisteminin mantıksal işleyiş blok diyagramı.

3.1.1 Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik paneller; güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Son yıllarda kullanım oranları oldukça artarak enerji üretiminin önemli bir kısmını oluşturmaktadırlar.

Güneş panellerini; üretim şekilleri ve kullanılan malzemelere göre sınıflandırmak mümkündür. Üretim şekillerine göre monokristal, polikristal ve ince film güneş paneli olarak gruplandırılabilceği daha önce belirtilmişti. Bu çalışmada üç farklı özellikte güneş paneli kullanılmıştır. Monokristal ve polikristal güneş panelleri 100W gücünde olup iki adet ince film güneş panelinden oluşan ince film panel gurubunu oluşturan her bir ince film güneş paneli ise 50W gücündedir. Çizelge 3.1’de güneş panellerine ait olan teknik özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.1 Güneş panellerinin teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	Monokristal	Polikristal	İnce film
Maksimum Güç Gerilimi(V_m)	18.06	23.92	45.30
Maksimum Güç Akımı(I_m)	5.59	4.18	1.16
Açık Devre Gerilimi(V_{oc})	22.45	29.50	63
Kısa Devre Akımı(I_{sc})	5.84	4.52	1.35

3.1.2 Yakıt Pili

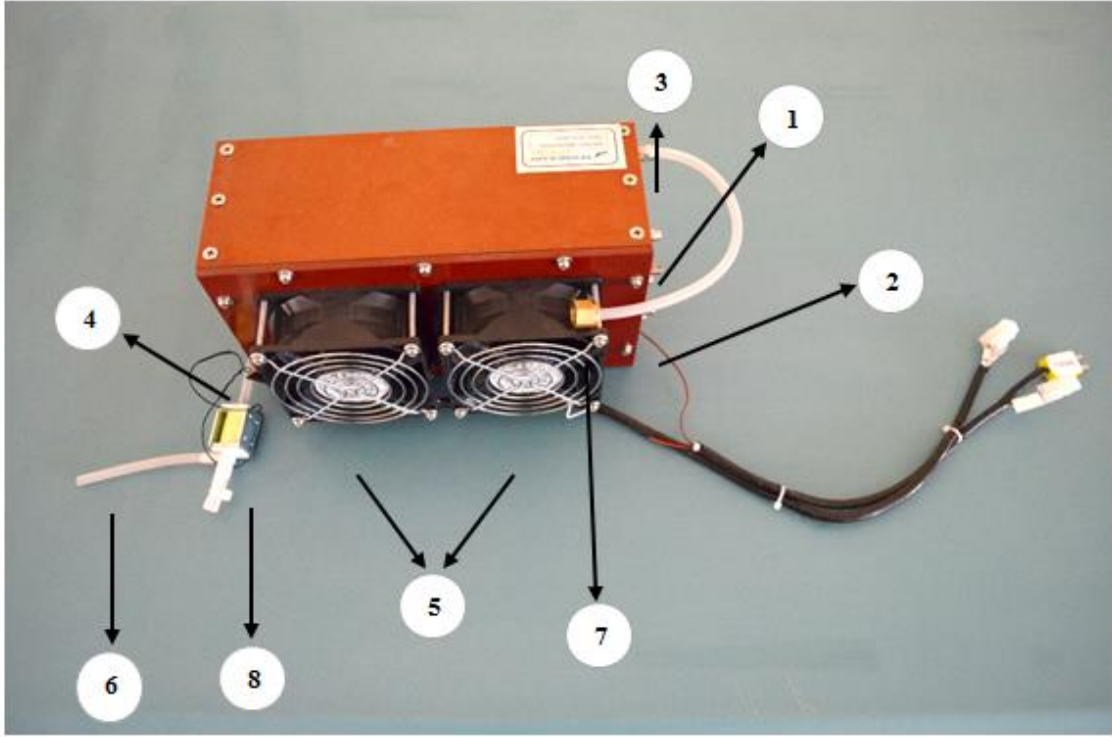
Son yıllarda yakıt pillerinin çevresel kirlilik oranlarının düşük olması, verimliliklerinin yüksek olması, yüksek güç yoğunluklarına sahip olmaları ve taşınabilir olma gibi özelliklerinden dolayı kullanım alanları yaygınlaşmaktadır. Enerji üretim sistemlerinde, otomotiv sektörlerinde ve telekomünikasyon uygulamalarında kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır.

Değişken membranlı yakıt pili (PEMFC) uygulamalarda ağırlıklı olarak karşılaşılan yakıt pili çeşitlerindedir. Günümüz teknolojisinde otomotiv teknolojisi başta olmak

üzere taşınabilir enerji üretim sistemlerinin genelinde kullanıldıklarını görmek mümkündür.

Yakıt pillerinin sahip olduğu avantajlarından dolayı çalışmamızda değişken membranlı yakıt pili (PEM) enerji üretmek amaçlı kullanılmıştır. Böylelikle enerji üretim kaynaklarında çeşitlilik sağlanarak farklı tipte enerji kaynaklarının bir arada kullanımına yönelik çalışmada kullanılmıştır.

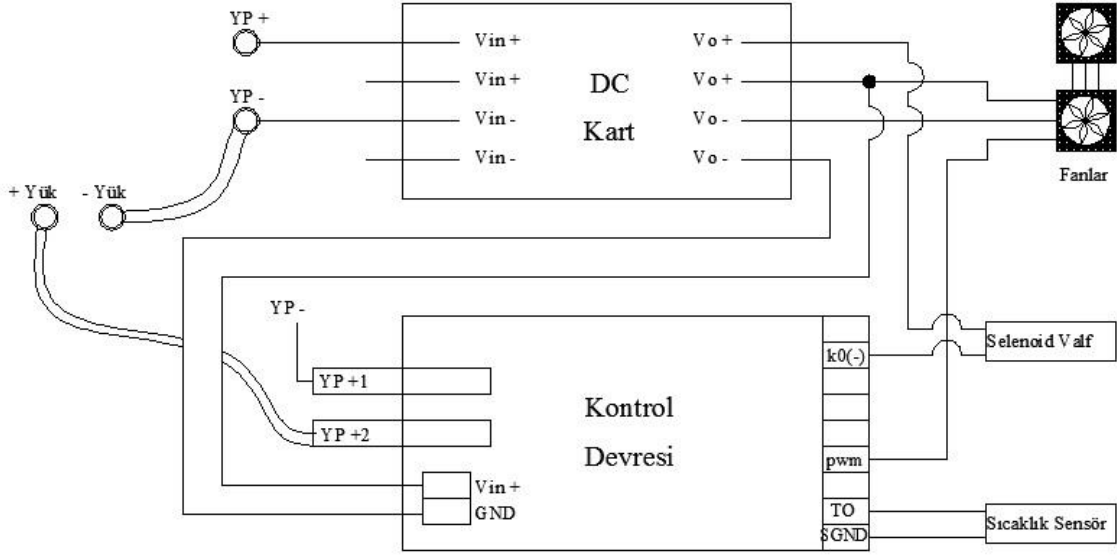
PEMFC Yakıt pili 500W gücünde olup çalışma gerilimi 20-36V aralığında değişkenlik gösterebilmekle birlikte sabit çalışma gerilim değeri 24V DC'dir. Yakıt pilinin çalışma akımı 21A değerlerinde olup verimi yaklaşık olarak %50'dir. Yakıt pilinin tam yükte çalışabilmesi için girişine 0,5-0,6 bar basınç değeri aralığında hidrojen gazı verilmelidir. Tam yükünde çalıştığı zaman tüketilen hidrojen miktarı 6,3lt/dk olmaktadır. Yakıt olarak kullanılan hidrojenin saflık derecesi de oldukça önemli olup hidrojenin saflığının en az %99,95 değerinde olması gerekmektedir. Modüler bir yapıda olan yakıt pili güç değerine göre yakıt pilini oluşturan pil demet sayısı güç değeri ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Basit, kullanışlı ve güvenilir bir tasarıma sahiptir. Bu yakıt pilini çalıştırmak için harici bir tetikleme gerilimine ihtiyaç yoktur. Çalışmada kullanılan yakıt pili sistemini yakıt hücresi demetleri, fanlar, kontrol kartı ve elektromanyetik vanalar oluşturmaktadır.



Şekil 3.5 Yakıt pili ve yakıt pilini oluşturan bileşenler (Koca 2015).

Şekil 3.5’de yakıt pili sistemi görülmektedir. Resimde yakıt pilini oluşturan bölümler numaralandırılarak bu kısımların isimleri numara sırasına göre aşağıda verilmektedir.

1. Kontrol devresine bağlantı çıkışı (Pozitif uç)
2. Yük çıkışına ve kontrol devresine bağlantı çıkışı (Negatif uç)
3. Hidrojen giriş noktası
4. Atık hidrojen çıkış noktası
5. Fanlar (Yakıt pilinin çalışması sırasında yığınlarının ısınmaması için kullanılan fanlar)
6. Selenoid valf üzerinden irtibatlı atık hidrojen çıkışı borusu
7. Hidrojen bağlantı borusu
8. Selenoid valf (Atık gazların ve reaksiyon sonrası çıkan suyun boşaltılmasını kontrol için kullanılan selenoid çıkış valfi)



Şekil 3.6 Yakıt pili kontrol devresi şeması (Koca 2015).

Yakıt pilinin çalışma durumunda nominal şartlar altında çalışmasını sürdürebilmesi için yakıt pilinde bulunan membran yığınlarının kontrolünü gerçekleştiren bir kontrol devresine ihtiyaç duymaktadır. Şekil 3.6'da yakıt pili sisteminin sağlıklı çalışabilmesi için gerekli kontrol işlemlerini gerçekleştiren kontrol devresinin şeması görülmektedir. Bu devrede DC kart olarak isimlendirilmiş kısım kontrol devresi ve fanların çalışabilmesi için ihtiyaç duymuş olduğu gerilimi sağlamaktadır. Yakıt pili sisteminde oluşan kimyasal reaksiyon sonucu açığa çıkan elektrik gerilimi DC kart aracılığı ile regüle edilmektedir. Yükün beslenmesi, selenoid valfler aracılığı ile hidrojen gazının kontrolü, sıcaklığın belirli bir seviyeyi aşması durumunda fanların devreye girmesi gibi işlemler kontrol kartı aracılığı ile yapılabilmektedir.

Yakıt pilini çalıştırmadan önce bazı kontrollerin ve hazırlıkların yapılması gerekmektedir.

1. Güç ve veri kablolarının doğru bağlanmış olduğu kontrol edilmelidir.
2. Ortam sıcaklığının ve nem oranının katalogta verilen 15°C - 30°C sıcaklık değerleri ile %30 - %90 nem oranı değerleri aralığında olan ortamda çalıştırılmalıdır.
3. Çalışma ortamında yakıt pilinin çalışmasına olumsuz etki edebilecek sülfür dioksit, metan, propan, nitrik oksit, gibi gazlar varsa çalıştırılmamalıdır.

Ortam ve işletim şartları belirlenen sınırlar içerisinde yerine getirildiği takdirde sistem çalıştırılabilir. İlk olarak sisteme hidrojen gazı verilir ve kullanım fazlası olan hidrojen gazı atık gaz olarak selenoid valf aracılığı ile yakıt pilinden dışarıya atılır. Yakıt pilinin çalışması için gerekli olan hidrojen yakıtının basıncı 0,5 bar değerinde olup sistemin yüksüz çıkış gerilimi 33-36V değerleri aralığındadır. Yakıt pili çalışmaya başladıktan 2 saniye sonra yüklenmeye hazır hale gelmektedir. İlk çalışma anında yakıt pili sistemi nominal gücünün %60'ından daha fazla bir yükü yüklenmemelidir. Daha sonra normal çalışma koşulları olan 24 V gerilim ve 500W'lık yükü besleyebilir konuma gelir. Yakıt pili kapatılmak istenildiğinde önce yük ile enerji irtibatı kesilir ve daha sonra da hidrojen valfi kapatılır. PEFC-500 yakıt pilinin teknik özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 PEFC-500 Yakıt pili teknik özellikleri.

<i>PEFC-500 Yakıt Pili Özellikleri</i>		
Performans	Gücü	500 W *
	Çalışma Gerilimi	24 V
	Akım	21 A
	Gerilim Aralığı	20-36 V
	Verim	≥ 50 %
Yakıt	Hidrojen Saflığı	≥ 99,95 %
	Çalışma Basıncı	0,5-0,6 bar
	1 dk. Hidrojen Tüketimi	6,8 l/dk.
Oksidant / Soğutma Sistemi	Soğutma Şekli	Hava
	Basınç	Ortam basıncı
Fiziksel Özellikler	Ağırlık	4,2 kg.
	Ebatlar (Boy x En x Yükseklik)	251 x 132 x 135 mm
Çalışma Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı	-5°C - 40°C
	Nem	% 10 - %95

* Sıcaklık 15°C - 30°C ve nem oranı %30-%90 aralığında

3.1.3 Hidrojen Tüpü

Yapılan araştırmalar sonucunda, geleceğin enerjisi olarak görölen hidrojenin elde edildikten sonra depolama işlemi farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Günümüzde büyük miktarlarda enerji depolamak için hala uygun bir yöntem bulunamamış olması, hidrojenin önemini daha da arttırmaktadır. Hidrojen depolama yöntemlerinden birisi olan metal hidrür tanklarında depolama yöntemi hidrojen gazının yüksek basınç altında kimyasal olarak meral hidrür tipindeki tüplere sıkıştırılması prensibine dayanmaktadır. Bu reaksiyon, basınca ve sıcaklığa bağlı olarak yön değiştirmekte ve metalin cinsine göre reaksiyon endotermik veya ekzotermik olabilmektedir. Bu çalışmada Şekil 3.7’de görölen 760 lt kapasitesine sahip hidrojen tüpü kullanılmıştır.



Şekil 3.7 760 lt metal hidrit tüp.

Bu tip hidrojen tüplerinde tam kapasiteli dolumun sağlanabilmesi için hidrojen beslemesi hidrojen gazının sıkıştırılma oranının düşük olmasından kaynaklı olarak yüksek basınç altında tüp girişine uygulanmalıdır. Sistemde kullanılan hidrojen tüpünün dolum işleminin gerçekleştirilebilmesi için uygulanması gereken hidrojen gazının giriş basınç değeri 10-17 bar aralığındadır. Ancak girişinden 17 bar değerinde hidrojen verilmesi durumunda hidrojen tüpü tam kapasite doldurulabilmektedir.

3.1.4 Akü(Batarya) Grubu

Hibrit güç üretim sistemi bileşenlerinden biri olan aküler sistemde güneş enerjisinden ve yakıt pilinden enerji elde edilemediğinde yükü besleyecek ek enerji kaynağı olarak kullanılmaktadırlar. Üç adet 85 Ah kapasitesinde olan jel aküler her bir enerji üretim sisteminde birer tane bulunmaktadır. Her bir akü enerji üretim gruplarında yük olarak kullanılan 20W gücünde iki adet DC lambayı beslemektedir.

Her bir akünün 24 saat süresince 20W'lık yükün devrede olduğu durumda kesintisiz olarak yükü besleyebileceği süre hesaplanacak olursa;

$$E = \text{Güç (W)} \times \text{Zaman (h)} = 20 \times 24 = 480 \text{ Wh} \quad (3.1)$$

Akülerin kapasiteleri (C) amper-saat cinsinden ölçülmektedir. Dolayısıyla günlük enerji tüketiminin gerilime oranı ile akü kapasitesi bulunur. Burada sistem 12V olduğu için akü kapasitesi belirlemede de gerilim değeri olarak 12V alınacaktır.

$$\text{Akü Kapasitesi (C)} = E/V = \frac{480}{12} = 40 \text{ Ah} \quad (3.2)$$

Bu değer sonucunda mevcut akünün 85 Ah kapasitesinde olduğu göz önünde bulundurularak enerji üretim sisteminin çıkışına bağlanan 20W gücündeki yükü yaklaşık olarak iki gün süresince kesintisiz olarak besleyebileceği görülmektedir. Aküler şarj kontrol cihazları aracılığı ile beslendiklerinden dolayı aşırı şarj ve aşırı deşarj olma durumları açısından kaynaklanabilecek olumsuzluklar ortadan kaldırılmıştır.

3.1.5 Şarj Kontrolör Cihazı

Akülerin şarj edilebilme kapasitelerini ve kullanım ömürlerini etkileyen en önemli faktörlerden birisi aşırı şarj ve deşarj olma durumlarıdır. Aşırı şarj ve deşarj olan bataryaların kullanım ömürlerinin ve şarj kapasitelerinin olumsuz yönde etkilendiği görülmektedir (Hund 1999). Akülerin daha verimli ve etkin kullanılabilmesi için şarj kontrolör cihazı sadece akülerin şarj edilme işlemi için kullanılarak aküler bu cihazlar aracılığı ile şarj edilmiştir.

LumiAx markasının Shine serisine ait olan şarj kontrolör cihazları üst kısımlarında farklı renkte LED'ler bulundurmaktadır. Bu LED'ler aracılığı ile akülerin şarj olma durumları veya herhangi bir nedenden kaynaklanan hata farklı renkteki LED'lerin birlikte yanması ile anlaşılabilir. Hatanın hangi durumdan kaynaklandığını gösterme gibi fonksiyonlarıyla kullanıcıya bataryaların durumları hakkında bilgi vererek kullanıcıyı bilgilendirmektedir.

Kırmızı LED yanıyor ise bataryanın doluluk oranı %25 değerinin altında, sarı LED yanıyor ise bataryanın doluluk oranı %25-%75 değer aralığında ya da sadece yeşil LED yanıyor ise bataryanın doluluk oranı %75'inin üstünde olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 3.8'de cihaz verilmiş olup Çizelge 3.3'de cihazın teknik özellikleri listelenmiştir.

Çizelge 3.3 Şarj kontrolör cihazı teknik özellikleri.

Teknik Özellikler	Shine Serisi
Sistem Gerilimi	12V
Maksimum Güneş veya Yük Akımı	10A
Yük Kesme Gerilimi	11V
Yük Besleme Gerilimi	12.5V
Maksimum Batarya Gerilimi	40V
Aşırı Gerilim Koruması	15.5V
Çalışma Sıcaklığı	-40/+60 °C



Şekil 3.8 Şarj kontrolör cihazı.

3.1.6 DC-DC Konvertör

Gücün kontrol edilme yöntemlerinden birisi olan bir gerilim seviyesinden başka bir gerilim seviyesine dönüştürme işlemini gerçekleştiren cihazlar DC-DC konvertör olarak isimlendirilirler. Diğer bir ifadeyle gerilimi regüle edici devrelerdir.

Sistemdeki gerilimler hibrit enerji sistemini oluşturan enerji kaynaklarından dolayı olarak zamanla birlikte değişiklik gösterebilmektedir. Günün farklı zamanlarında güneş panellerinden değişken gerilim değerleri elde edilmektedir. Elde edilen gerilim değerinin düşük veya yüksek olmasından dolayı giriş değerleri geniş aralığa sahip olan çıkışından da sabit 12V alınabilecek özellikteki düşürücü DC-DC dönüştürücüler üç enerji üretim sisteminde de kullanılmıştır. Monokristal ve polikristal tipli güneş panellerinin bağlı olduğu enerji üretim gruplarında güneş panellerinin çıkış gerilimlerinin 20V değerlerinde olmasından kaynaklı olarak giriş gerilimleri 19V-36V aralığında, çıkış gerilimleri 12V olan DC-DC konvertörler kullanılırken ince film güneş paneli bağlı olan enerji üretim sistemi için de güneş panelinin çıkış geriliminin 50V seviyelerinde olmasından dolayı giriş gerilimi 36-72V aralığında çıkış gerilimi de 12V değerinde olan DC-DC konvertör çeşidi kullanılmıştır. Bu konvertörler aracılığı ile güneş panellerinden elde edilen değişken çıkış gerilimleri enerji üretim sistemlerinin çalışmasına uygun olarak sabit 12V değerine dönüştürülmüştür. Şekil 3.9'da kullanılan konvertörlerin genel şekli görülmektedir.



Şekil 3.9 DC-DC konvertör.

3.1.7 DC-AC Dönüştürücü (İnverter)

İnverterler doğru akımı istenilen frekans ve gerilim değerinde alternatif akıma dönüştürme işlemini yapan cihazlardır. 12, 24 veya 48V DC akü gerilimini, 230V AC 50 Hz gerilim değerine çevirmektedirler.

Şekil 3.10’da verildiği üzere enerji üretim sisteminde 12V girişli 1000W gücünde modifiye sinüs tipinde bir inverter kullanılmıştır. Bu inverter sayesinde DC yüklerin devrede olmadığı durumda mevcut enerjinin doğru akım formundan alternatif akım biçimine inverter aracılığı ile dönüştürülerek AC yüklerin beslenmesi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle enerjinin daha etkin bir şekilde kullanımı amaçlanmıştır.



Şekil 3.10 DC-AC dönüştürücü (İnverter).

3.1.8 DC Yük(Lamba)

Sistemde tüketici amaçlı üç farklı enerji üretim sistemi için DC özellikli lambalar kullanılmıştır. Her bir grupta ikişer tane olmak üzere 20W'lık kullanıcı yükü bu lambalar aracılığı ile sağlanmıştır. Lambaların çalışma gerilimleri 12V değerindedir.

3.1.9 DC Güç Kaynağı

Kontrol sistemi üzerinde gerekli enerjiyi ve besleme gerilimlerini sağlamak amaçlı olarak DC güç kaynağı kullanılmıştır. Farklı gerilim değerlerinde çıkış vermesinden dolayı sistem içerisinde Arduino kontrol kartının, sensörlerin ve röle kartının besleme gerilimleri bu güç kaynağı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Farklı tipte ihtiyaç duyulan gerilim seviyeleri ve bu gerilimlerin kullanıldığı ekipmanlar Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Kontrol sisteminde ki malzemelerde kullanılan gerilim değerleri.

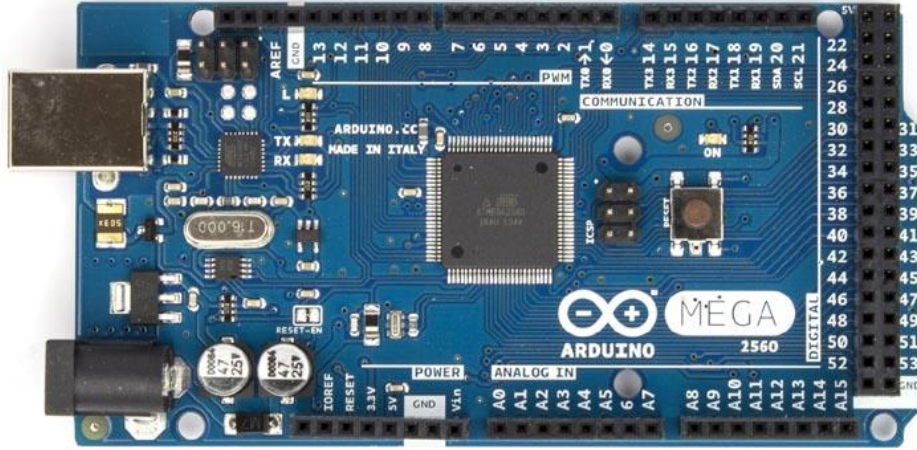
Malzemenin veya Sensörün adı	Çalışma Voltajı
Mikrodenetleyici kart	7-12 Volt
Sensör Kartları	5 Volt
Röle Kartı	12 Volt
Çıkış Kartı	5 Volt

3.2 Hibrit Enerji Üretim Sisteminde Kontrol İşleminin Gerçekleştirilmesi İçin Kullanılan Ekipmanlar ve Teknik Özellikleri

Hibrit enerji üretim sistemlerinin enerji akış kontrolünün gerçekleştirilebilmesi için kontrol sisteminde mikroişlemci tabanlı olan Arduino Mega 2560 işlemci kartı, 16'lı röle kartı, ACS-712T-ELC-30A akım sensörü ve gerilim bölücü dirençler aracılığı ile oluşturulmuş gerilim sensörleri kullanılmıştır. Her bir enerji üretim sisteminin akım ve gerilim ölçme işleminin gerçekleştirilebilmesi için ayrı ayrı üç adet sensör kartı tasarlanarak bu sensör kartları aracılığı ile sistemlerin akım, gerilim ve güç büyüklükleri ölçülmüştür. Bu ekipmanların teknik özellikleri alt başlıklarda sunulmaktadır.

3.2.1 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 Atmel firmasına ait olan ATmega2560 marka mikrodenetleyici türünü içeren Arduino markasının kartlarından biridir. Arduino Mega 2560 mikroişlemci kartı üstünden 54 adet dijital giriş-çıkış pini barındırmaktadır. Bu giriş-çıkış pinlerinden 15 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. Ayrıca mikroişlemci kartı üzerinde 16 adet analog girişi, 4 UART (donanım seri port), bir adet 16 MHz kristal osilatörü, USB bağlantısı, power jakı (2.1mm), ICSP başlığı ve reset butonu bulundurmaktadır. Arduino Mega 2560 USB bağlantı yoluyla bilgisayara bağlanarak, bir adaptör ile ya da pil ile çalıştırılabilir. Şekil 3.11’de Arduino Mega kartının üstten görünüşü mevcuttur.



Şekil 3.11 Arduino Mega 2560 mikroişlemci kartı görünüşü (Arduino 2015).

Çizelge 3.5 Arduino Mega 2560 kartı teknik özellikleri (Arduino 2015).

Teknik Özellikler	Mega 2560
Mikrodenetleyici	ATmega2560
Çalışma gerilimi	+5V DC
Tavsiye edilen besleme gerilimi	7-12V DC
Besleme gerilimi limitleri	6-20V
Dijital giriş / çıkış pinleri	54 tane (15 tanesi PWM çıkışını destekler)
Analog giriş pinleri	16 tane
Giriş / çıkış pini başına düşen DC akım	40 mA
3,3 V pini için akım	50 mA
Flash hafıza	256 KB (8 KB bootloader için kullanılır)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Saat frekansı	16 MHz

Arduino Mega 2560 6-20V aralığında bir harici güç kaynağı ile beslenebilmektedir. Ancak 7V altında bir besleme yapıldığında 5V pini 5V tan daha düşük çıkış vererek kartın kararsız çalışmasına neden olabilmektedir. 12V üzerinde bir voltaj beslemesi yapılması durumunda ise regülatörün fazla ısınabilme ihtimali göz önünde bulundurularak kartın zarar görmemesi için besleme geriliminin 7-12V aralığında olması gerekmektedir.

V_{IN} : Arduino Mega 2560 kartına harici bir güç kaynağı bağlandığında kullanılan voltaj girişidir.

5V : Bu pin Arduino kartındaki regülatörden 5V çıkış sağlayarak kart DC power yakından 7-12V adaptör ile, USB bağlantı noktasından 5V ile ya da V_{IN} pininden 7-12V ile beslenebilmektedir.

3.3V : Arduino kart üzerindeki regülatörden sağlanan 3.3V çıkışıdır. Maksimum 50 mA çıkış akım değeri vermektedir.

GND : Toprak pini olarak kullanılmaktadır.

IOREF : Arduino kartlar üzerindeki bu pin, mikrodenetleyicinin çalıştığı voltaj referansını sağlamaktadır. Uygun yapılandırılmış bir shield IOREF pin voltajını okuyarak ve uygun güç kaynaklarını seçebilmekte ya da 3.3V ve 5V ile çalışmak için çıkışlarında gerilim dönüştürücülerini etkinleştirebilmektedir.

Arduino Mega 2560 bir bilgisayar ile, başka bir Arduino ile ya da diğer mikrodenetleyiciler ile haberleşme için çeşitli imkanlar sunmaktadır. ATmega2560 mikrodenetleyicisi Ttl (5V) seri haberleşme için 4 donanımsal UART bağlantı portuna sahiptir. Kart üzerindeki bir ATmega16U2 seri haberleşmeyi USB üzerinden kanalize ederek ve bilgisayardaki yazılıma sanal bir COM portu olarak görünmektedir. 16U2 standart USB COM sürücülerini kullanarak harici sürücü gerektirmemektedir. Ancak, Kart üzerindeki Rx ve Tx LED'leri USB'den mikroişlemciye ve USB'den bilgisayara veri giderken yanıp sönmektedir.

3.2.2 16'lı Röle Kartı

16 adet rölenin birlikte bulunduğu bir karttır. Her bir röle 5V ile anahtarlanabilme özelliğine sahiptir. Kartın besleme gerilimi 12V olup kart üzerinde bulunan 5V'luk gerilim regülatörü aracılığı ile ihtiyaç duyulması halinde 5V'luk besleme gerilim çıkışı sağlamaktadır. Bu sayede çeşitli mikrodenetleyici ve sistemler röle kartı üzerinden beslenebilmektedir. Röleler 30V DC veya 220V AC gerilimde 10 A akım değerine kadar olan akımları anahtarlayabilme kapasitesine sahiptir. Her röle için kontrol LED'i mevcuttur. Rölelerin kontrol edilebilmesi için kontrol uçları kart üzerine çıkarılmış olup Arduino tabanlı işlemci kartları için kullanım kolaylığı sağlayacak tarzda dizayn

edilmiştir. Röleler lojik 0 (0V) ile tetiklenmektedir. Röleler için NC, NO ve COM bacakları dışarı alınmıştır. Böylece tetikleme durumunda kısa devre veya tetikleme durumunda açık devre olması istenilen durumlarda kullanılabilir. Şekil 3.12’de röle kartının üstten görünüşü görülmektedir.



Şekil 3.12 16’lı röle kartı.

3.2.3 ACS-712-30A Akım Sensörü

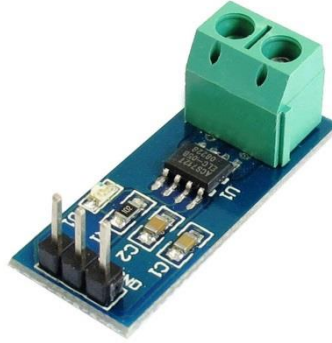
Şekil 3.13’de verilen Allegro markasının ACS712T ELC-30A kodlu ürünü olan akım sensörünün akım ölçme sınırları -30A ile +30A aralığındadır. Hall effect prensibine göre çalışan akım sensörü 20 ampere kadar iki yönlü akım girişine izin vermektedir. 185 mV/A değerinde analog voltaj çıktısı vererek %5 hata oranının altında bir ölçüm imkanı sunmaktadır.

Akım sensörünün özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- -30’dan 30 A’ e çift yönlü giriş akımı için tasarlanmıştır (stabil sensör IC, aşırı akıma beş defaya kadar dayanabilir).
- İletken yolda iç rezistansı tipik olarak 1.2 mΩ’ dur.
- Hall etkisi sensörü kullanmanın anlamı IC’nin akım hattını sensörün elektroniğinden elektriksel olarak izole edebilmesi (2.1 kV RMS’e kadar) ve

böylece sensörün akım hattı üzerinde herhangi bir yere takılabılıp elektriksel izolasyon gerektiren uygulamalarda kullanılabilmesidir.

- Kart üzerindeki filtre olarak tanımlı pinler üzerine bir kapasitör ekleyerek 80 kHz bant genişliği isteğe bağlı olarak düşürülebilmektedir.
- Çalışma sıcaklığı -40°C ile 85°C aralığındadır.



Şekil 3.13 ACS-712 -30A/+30A akım sensörü.

3.2.4 Gerilim Sensörü

Gerilim sensörleri $5\text{ k}\Omega$ çok turlu trimpot ve $22\text{ k}\Omega$ dirençleri kullanılarak gerilim bölme prensibine göre Arduino Mega 2560 kartının analog girişlerine uygulanabilecek gerilim seviyesine düşürülerek gerilim ölçme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

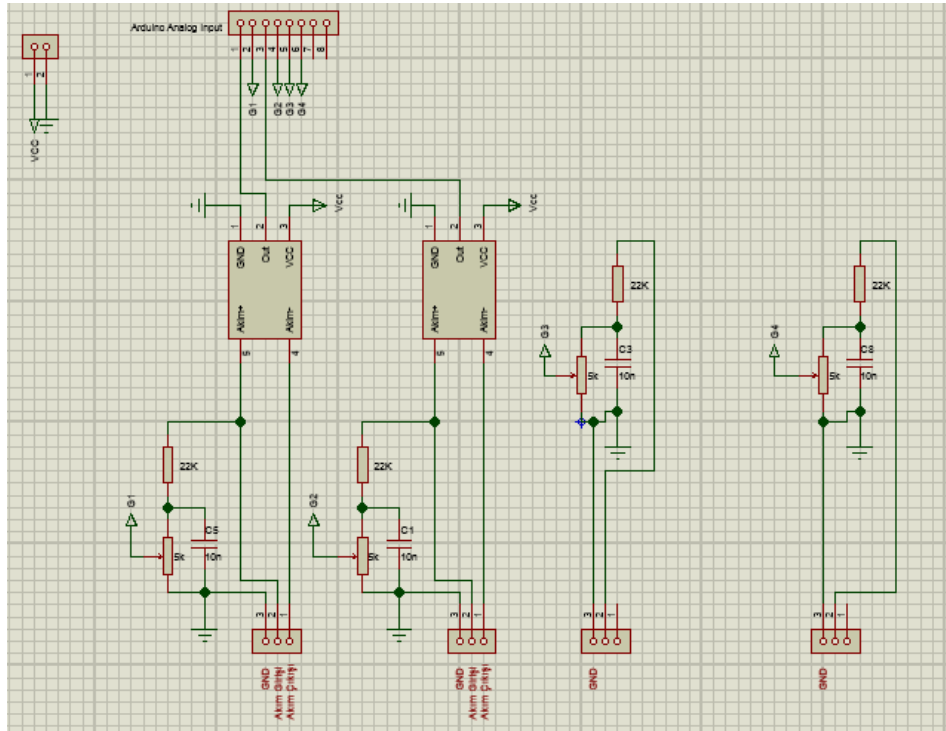
3.2.5 Sensör Kartları

Monokristal, polikristal ve ince film güneş panellerinden oluşan hibrit enerji üretim sistemleri için üç adet sensör kartı tasarlanmıştır. Akım ve gerilim sensörlerinin birlikte bulunduğu bu kartlar ile panel akımı, panel gerilimi, yük akımı, akü gerilimi ölçülerek sensör kartlarının çıkışları Arduino 2560 kartının analog girişlerine bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Ölçülen bu büyüklüklere ek olarak monokristal hibrit enerji üretim sistemine bağlanan yakıt pilinin gerilimi de ölçülmektedir. Şekil 3.14, 3.15 ve 3.16'da sensör kartlarının Proteus programında tasarlanmış hali görünmektedir. Sensör kartlarında hangi büyüklüklerin ölçülebileceği Çizelge 3.6'da verilmiştir. Proteus programında tasarlandıktan sonra baskı devrelerinin çıkarılması ile devrelerin fiziksel

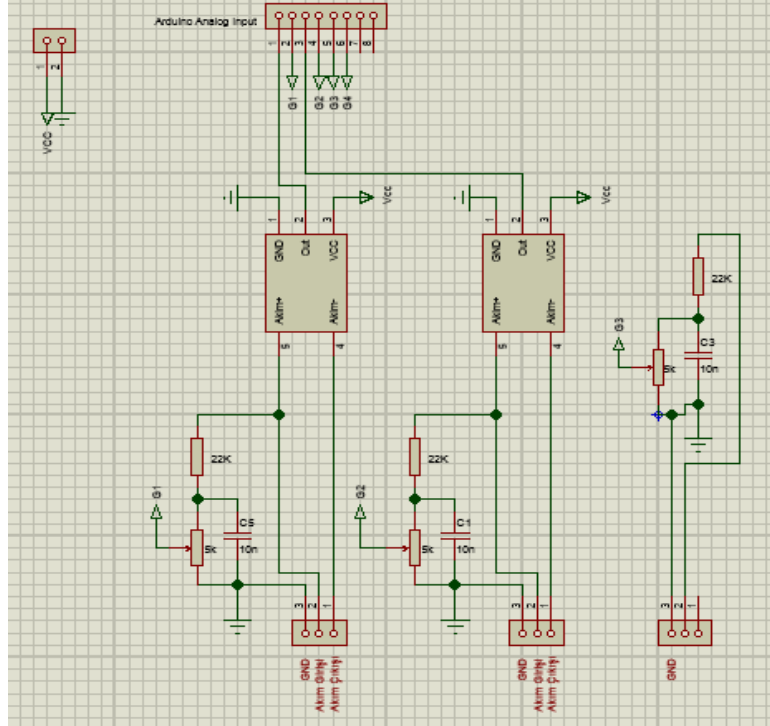
olarak yapıma aşamasına geçilmiştir. Sensör kartlarının tasarlandıktan sonraki hali ise Şekil 3.17’de görülmektedir.

Çizelge 3.6 Sensör kartları ile okunan akım ve gerilim büyüklükleri.

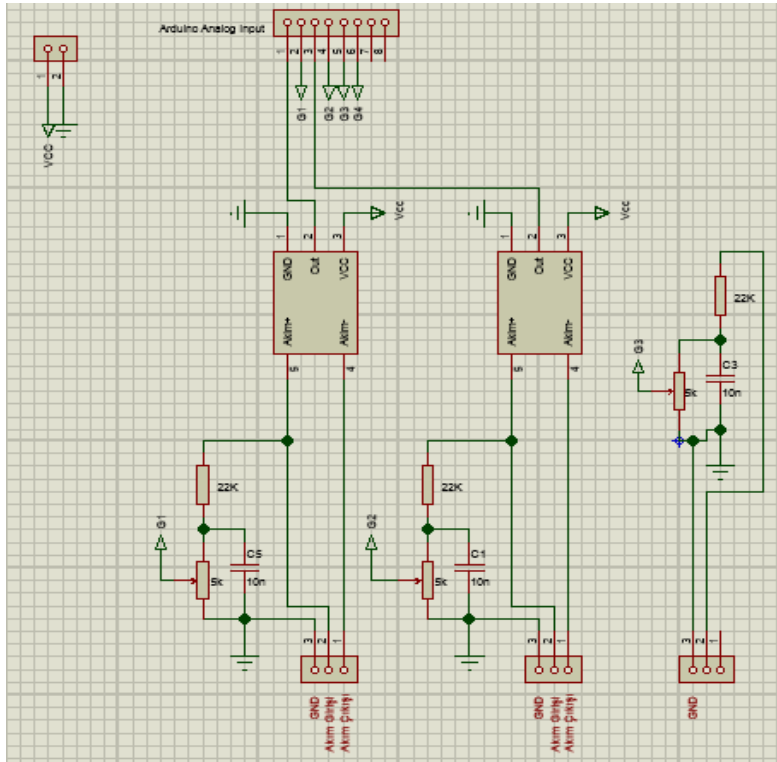
Sensör Kart-1 (Monokristal)	Sensör Kart -2 (Polikristal)	Sensör Kart -3 (İnce Film)
Panel Akımı	Panel Akımı	Panel Akımı
Panel Gerilimi	Panel Gerilimi	Panel Gerilimi
DC Yük Akımı	DC Yük Akımı	DC Yük Akımı
Akü Gerilimi	Akü Gerilimi	Akü Gerilimi



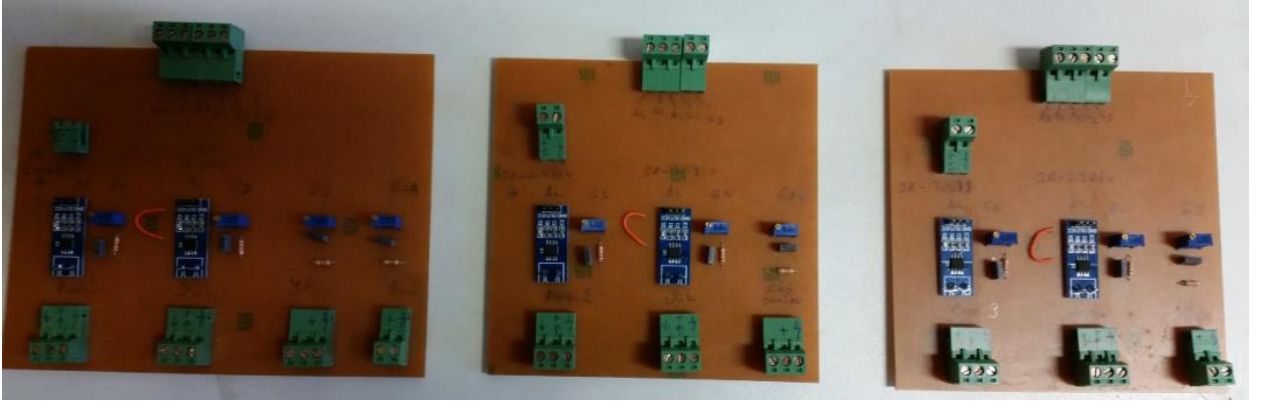
Şekil 3.14 Sensör Kart-1 Proteus programı şeması.



Şekil 3.15 Sensör Kart-2 Proteus programı şeması.



Şekil 3.16 Sensör Kart-3 Proteus programı şeması.



Şekil 3.17 Monokristal, Polikristal ve İnce Film hibrit enerji üretim sistemlerinin sensör kartları.

3.3 Üç Farklı Güneş Panelinden ve Yakıt Pilinden Oluşmuş Hibrit Enerji Üretim Sistemlerinin Enerji Akış Kontrol Sisteminin Tasarlanması

Üç hibrit güç üretim sisteminde farklı tip ve özellikteki güneş panellerinden ve yakıt pilinden elde edilen enerji DC-DC dönüştürücüler yardımıyla 12V DC gerilime dönüştürülerek tüketicilerin beslenmesi gerçekleştirilecektir. Aynı zamanda aküler de DC tüketicileri besleyebilecek şekilde yük gruplarıyla irtibatlandırılacaktır.

Hibrit enerji üretim sistemlerinin enerji akış kontrol algoritmaları Arduino cihazının C tabanlı programında yazılmıştır. Güneş panellerinden elde edilen gerilim değeri 16V değerinden yüksek olduğu durumda DC-DC konverter girişine uygulanmıştır. Bu durum DC-DC konverterlerin sadece 16V ve üstünde ki değerlerde çıkışından 12V gerilim değeri vermesinden kaynaklıdır.

Üretilen enerjinin etkin ve verimli kullanılmasına yönelik olarak üç farklı algoritma hibrit enerji üretim sistemlerine uygulanarak algoritmaların ve enerji üretim sistemlerinin kendi aralarında verimlilik analizi yapılacaktır. Her üç hibrit enerji üretim sisteminde güneş panelleri temel güç kaynağı olarak kabul edilmiştir. Tüketici gruplarının talep ettikleri enerji öncelikle güneş enerjisinden karşılanır. Güneş enerjisinin yeterli olmadığı durumlarda akülerin dolu olma koşuluyla tasarlanan enerji akış kontrol sistemine göre aküler gerekli enerjiyi tüketicilere sağlayacaktır. Hibrit enerji üretim sisteminde tüketiciler güneş panelinden ve akü tarafından beslenemiyor ise

en son alternatif olarak yakıt pili aracılığı ile tüketicilerin talep ettiği enerji sağlanmış olunur.

Her üç enerji üretim sisteminde güneş panelinden elde edilen enerjinin tüketicinin talep ettiği enerji miktarından fazla olması durumunda elde edilen fazla enerji şarj regülatörleri aracılığı ile akülerin şarj edilmesi amaçlı kullanılmıştır. Tüketici olarak DC ve AC tüketiciler mevcuttur.

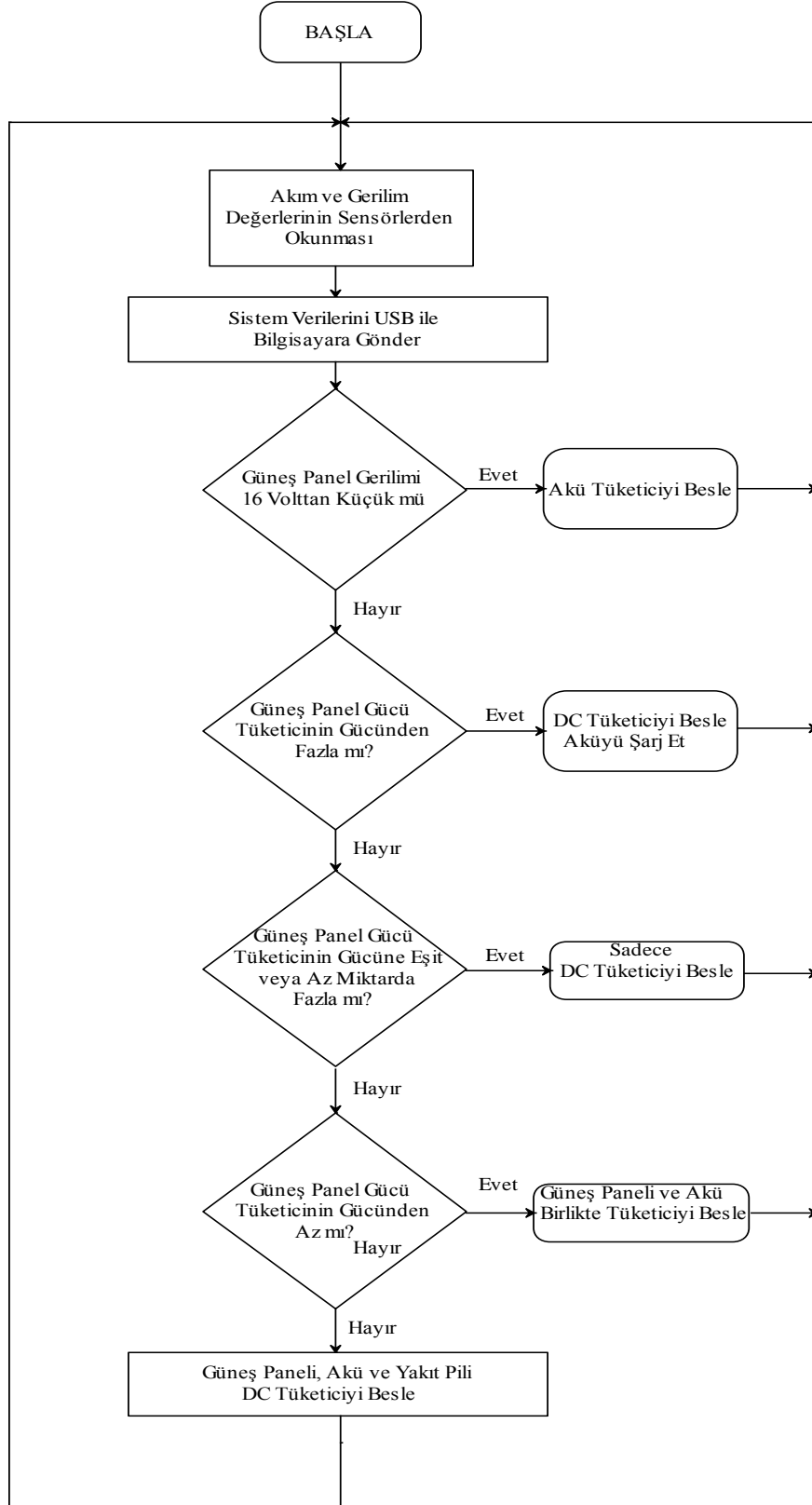
Birinci algoritmaya göre güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisinin yeterli olmadığı durumda akü devreye girerek tüketicinin enerji talebi aküler aracılığı ile karşılanmaktadır. Akülerin de yeterli olmadığı durumda ise yakıt pili sisteme dahil edilerek tüketici yakıt pili aracılığı ile beslenmektedir. Güneş panelinden elde edilen enerjinin tüketicinin ihtiyacından fazla olması durumunda hem tüketici beslenerek aynı zamanda aküler şarj edilmektedir. Bu algortima da amaç DC tüketiciye kesintisiz olarak enerji sağlanmasıdır. Bu mantık doğrultusunda enerji kaynaklarının öncelik sırasına göre DC tüketicileri beslemeleri sağlanmıştır.

İkinci algoritmada, ilk algortmadan farklı olarak DC tüketicinin yanında sisteme AC tüketicinin de eklenmiş olmasıdır. AC tüketiciye enerji sağlanabilmesi için sisteme DC-AC inverter dahil edilmiştir. Tüketici önceliği DC tüketici türüne aittir. Algoritmanın uygulanmasında ki temel mantık enerji üretim sisteminden elde edilen fazla enerji ile AC tüketici grubunun enerji talebinin karşılanarak mevcut enerjii en etkin ve verimli bir biçimde kullanmaktır. Birinci algortmada olduğu gibi üretilen enerji DC tüketicinin ihtiyacı olan enerjiden düşükse DC tüketici aküler aracılığı ile beslenmektedir. Akünün tüketiciyi besleyemediği durumda yakıt pili devreye alınarak tüketici yakıt pili aracılığı ile enerji sağlanmaktadır. Güneş panellerinden DC tüketicinin ihtiyaç duyduğu enerjiden fazla enerji elde edilirse aküler şarj edilmektedir. Akülerin doluluk oranı %90'ı geçtiğinde üretilen fazla enerji ile AC tüketici beslenmektedir.

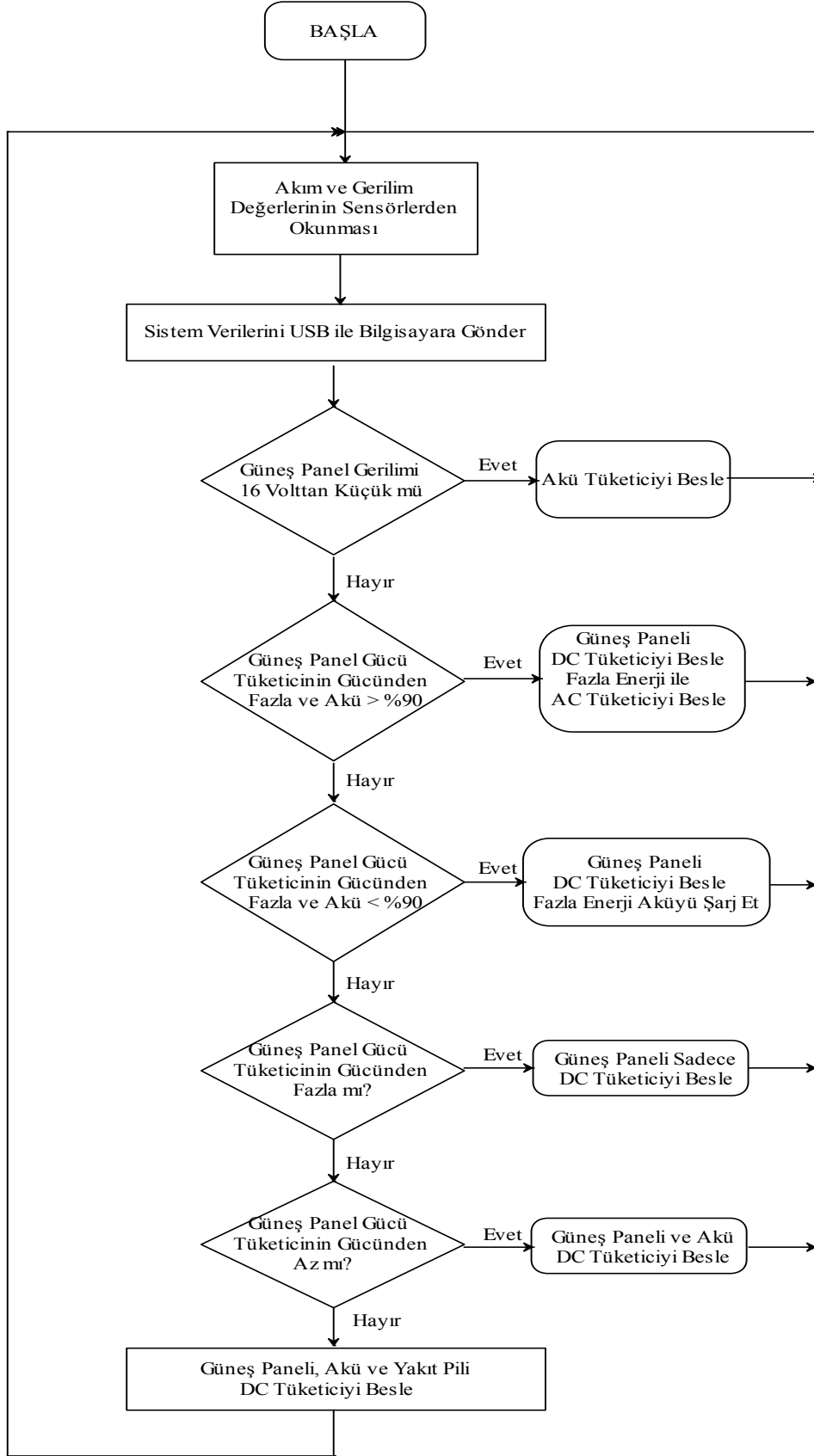
Üçüncü algortmada üretilen enerjinin DC tüketicinin talep ettiği miktardan az olması koşulunda uygulanacak kontrol basamakları birinci algortmada takip edilen kontrol basamaklarının aynısıdır. Bu algortmada farklılık üretilen enerjinin talep edilen enerjiden fazla olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Üretilen enerji DC tüketicinin talep ettiği enerji miktarından fazla olması durumunda bataryaların doluluk oranları göz

önünde bulundurularak kontrol işlemi gerçekleştirilmektedir. Akülerin doluluk oranı %90'dan fazla olması durumunda güneş panellerinden elde edilen enerji AC tüketiciye yönlendirilmektedir. DC tüketici ise aküler tarafından beslenilmektedir. Akülerin şarj oranlarının %90'dan az olması durumunda aküler şarj edilmektedir.

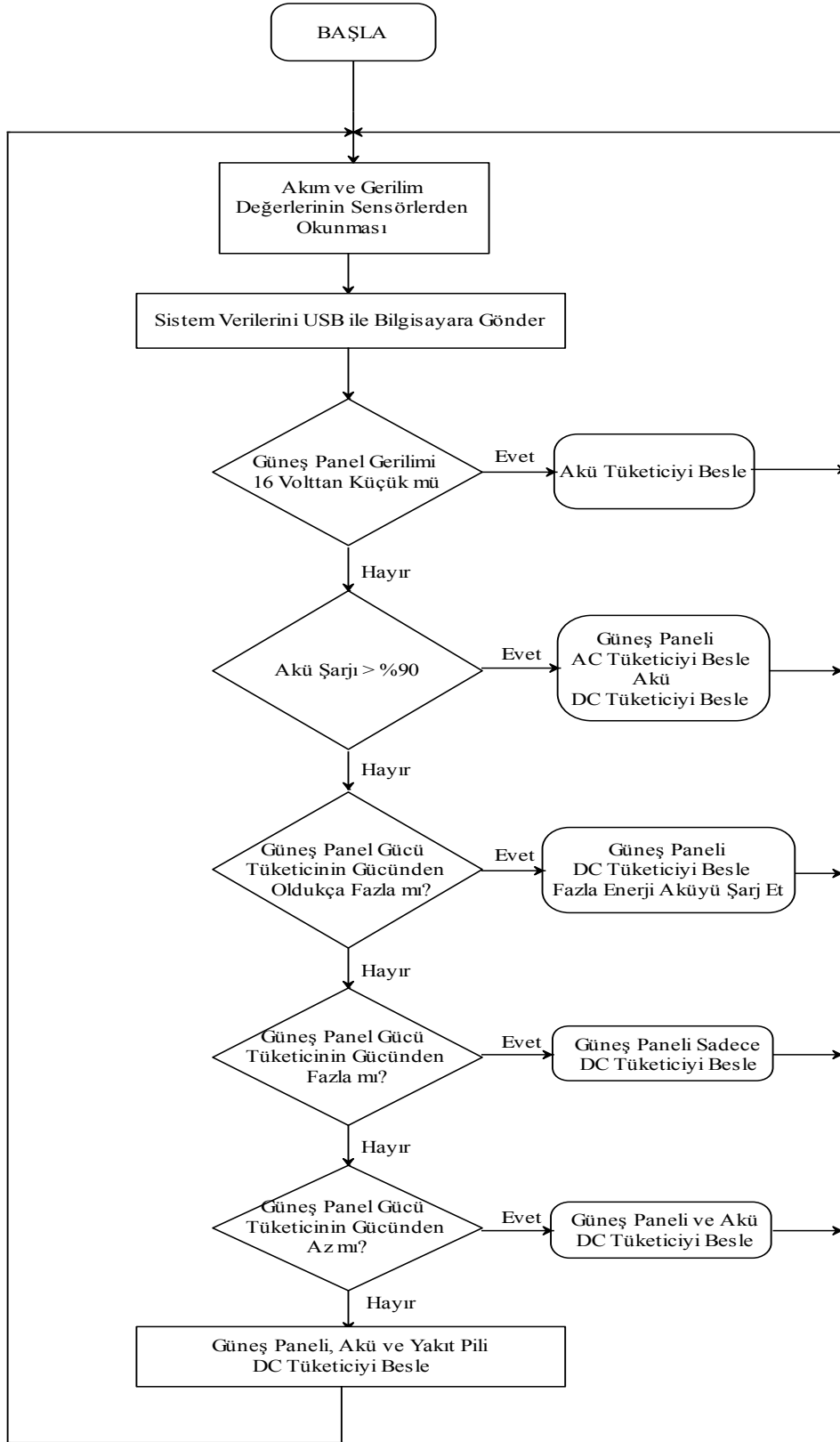
Hibrit enerji üretim sistemlerine uygulanan kontrol algoritmaları Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de görülmektedir.



Şekil 3.18 Enerji üretim sistemlerine uygulanan I. algoritma.



Şekil 3.19 Enerji üretim sistemlerine uygulanan II. algoritma.

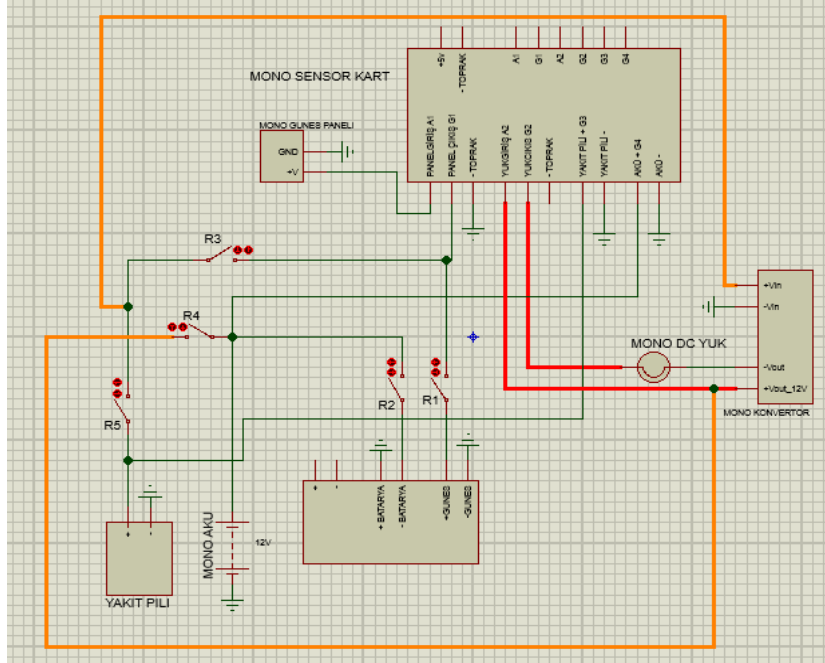


Şekil 3.20 Enerji üretim sistemlerine uygulanan III. algoritma.

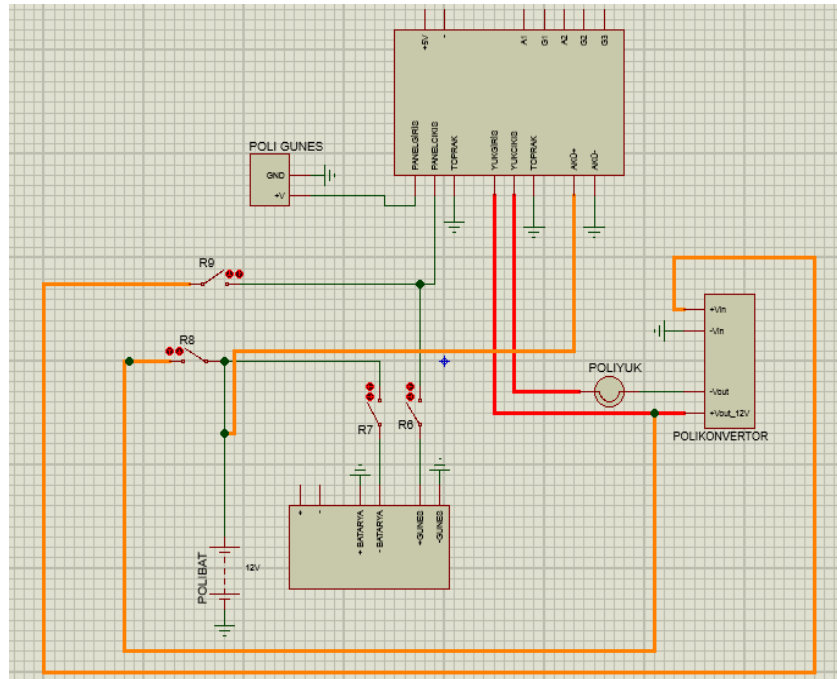
3.4 Üç Farklı Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Güneş Panellerinin ve Kontrol Sistemlerinin Kurulumu

Üç farklı hibrit enerji üretim sistemini oluşturan Monokristal, Polikristal ve İnce film tipinde ki farklı tipteki güneş panelleri laboratuvar binasının terasına monte edilerek güneş panellerine ait olan bağlantı kabloları alt katta bulunan enerji laboratuvarına çekilmiştir. Sistemi oluşturan güneş panellerinin kurulumu gerçekleştirilerek kontrol sisteminin kurulumu aşamasına geçilmiştir. Üç farklı hibrit enerji üretim sisteminin çalışma algoritması belirlendikten sonra kontrol işleminin gerçekleştirilmesi için ihtiyaç duyulan fiziki elemanların tedariki sağlanmıştır. Her bir enerji üretim sisteminin kontrol işlemini gerçekleştirmek üzere DC-DC Konvertör, şarj kontrol cihazı, sensör kartı ekipmanları her enerji üretim sistemi için ayrı ayrı kullanılarak sistem kurulmuştur. Kontrol sisteminde her üç sistemde de kullanılmak üzere ortak olarak Arduino kontrol kartı, röle kontrol devresi ve DC güç kaynağı kullanılmıştır. Bu ekipmanlar bütün kontrol sistemi için ortak olarak sistemde kullanılmışlardır. Her enerji üretim sisteminin topraklama bağlantılarının yapılabilmesi için baralar kullanılmıştır ve en son aşamada bu toprak bağlantıları birbirleriyle birleştirilmiştir. Pano üzerine sırasıyla enerji üretim gruplarının kontrol sistemini oluşturan elemanların monte işlemi gerçekleştirildikten sonra kablolama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kablolama işlemleri gerçekleştirilirken Proteus programı aracılığı ile enerji üretim gruplarının bağlantıları öncelikle programda gerçekleştirilerek herhangi yanlış bağlantı olmaması için sistem bileşenleri Proteus programında modellenmiştir. Her grubun bağlantısı Proteus programdaki çizimlere göre gerçekleştirilmiştir. Her bir enerji üretim grubunun Proteus bağlantı şeması sırasıyla Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de verilmiştir. Bu şemalar doğrultusunda kontrol sisteminin montajının yapılmış ve bağlantılarının tamamlanmış hali ise Şekil 3.24’de görülmektedir. Sensör kartlarından alınan sensör değerlerini içeren analog bilgiler Arduino kontrol kartının analog giriş kısmına bağlantısı yapılarak sistemin akım, gerilim ve güç büyüklüklerinin kontrolöre aktarılması sağlanmıştır. Kontrolör üzerinden programlanan algoritma mantığına göre dijital çıkışlara bağlı olan rölelerin durumları kontrol edilerek enerji akışının yönlendirilme işlemi her enerji grubuna göre gerçekleştirilmiştir. Olası tehlikeli durumları ortadan kaldırmak ve konvertörlerin zarar görmelerini engellemek amaçlı konvertörlerin çıkışlarına 6A’lık diodlar bağlanarak konvertörler üzerine akabilecek ters yöndeki akımlardan sistem korunmuştur. Aynı

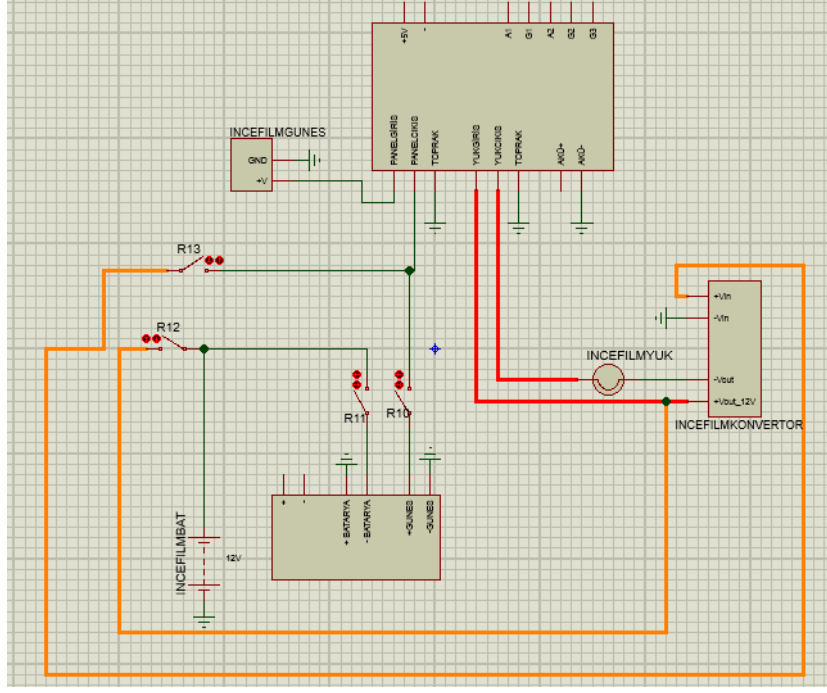
şekilde bataryadan ters yönde şarj kontrolör cihazının üzerinden konvertör girişine doğru akım akışını engellemek amaçlı güneş panellerinden şarj kontrolör cihazına bağlanan bağlantı üzerine diodlar yerleştirilmiştir.



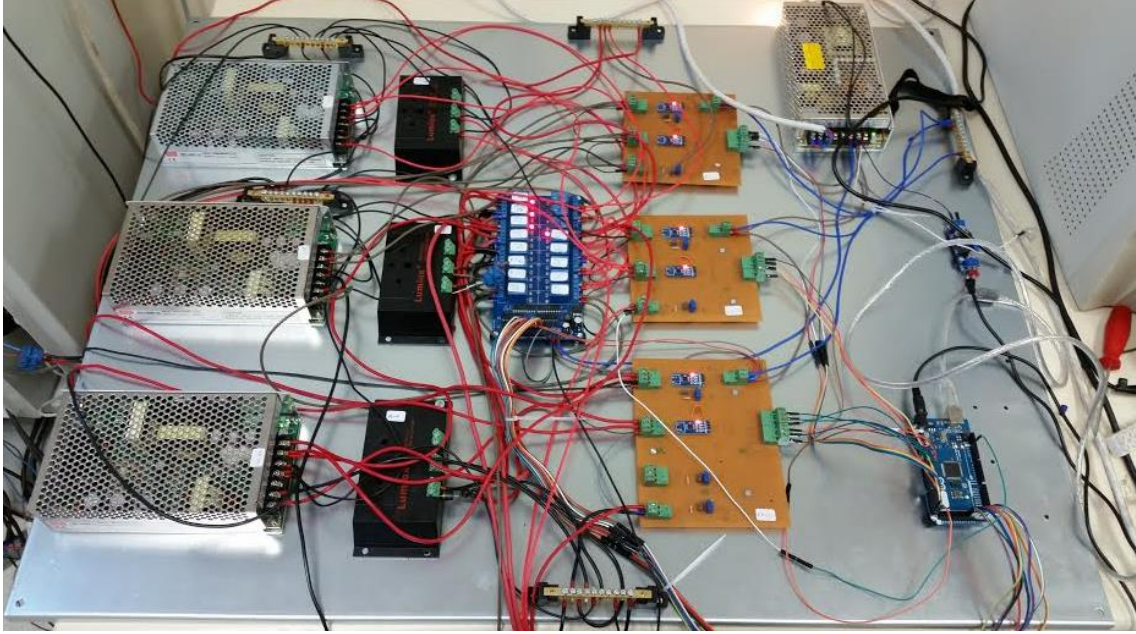
Şekil 3.21 Monokristal hibrit enerji üretim sisteminin bağlantı şeması.



Şekil 3.22 Polikristal hibrit enerji üretim sisteminin bağlantı şeması.



Şekil 3.23 İnce film hibrit enerji üretim sisteminin bağlantı şeması.



Şekil 3.24 Üç farklı hibrit enerji üretim sisteminin kontrol panosunun kurulu hali.

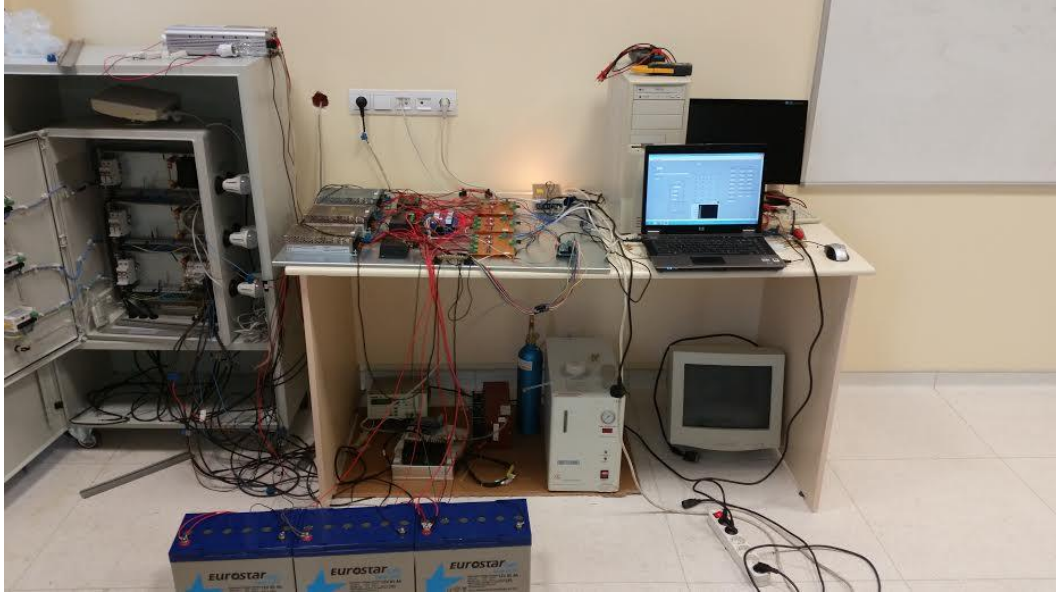


Şekil 3.25 Monokristal, Polikristal ve İnce Film tipi güneş panellerinin kurulu hali.



Şekil 3.26 Yakıt pili sistemi.

Güneş panellerinin kurulu hali Şekil 3.25’de görülmektedir. Hidrojen enerji üretim sistemi olan yakıt pili sistemi Şekil 3.26’da verilmiştir. İki enerji üretim sisteminin birleştirilmesiyle oluşturulan hibrit enerji üretim sisteminin ve bu sistemin kontrol sistemini oluşturan ekipmanların genel görünüşü Şekil 3.27’de verilmiştir.

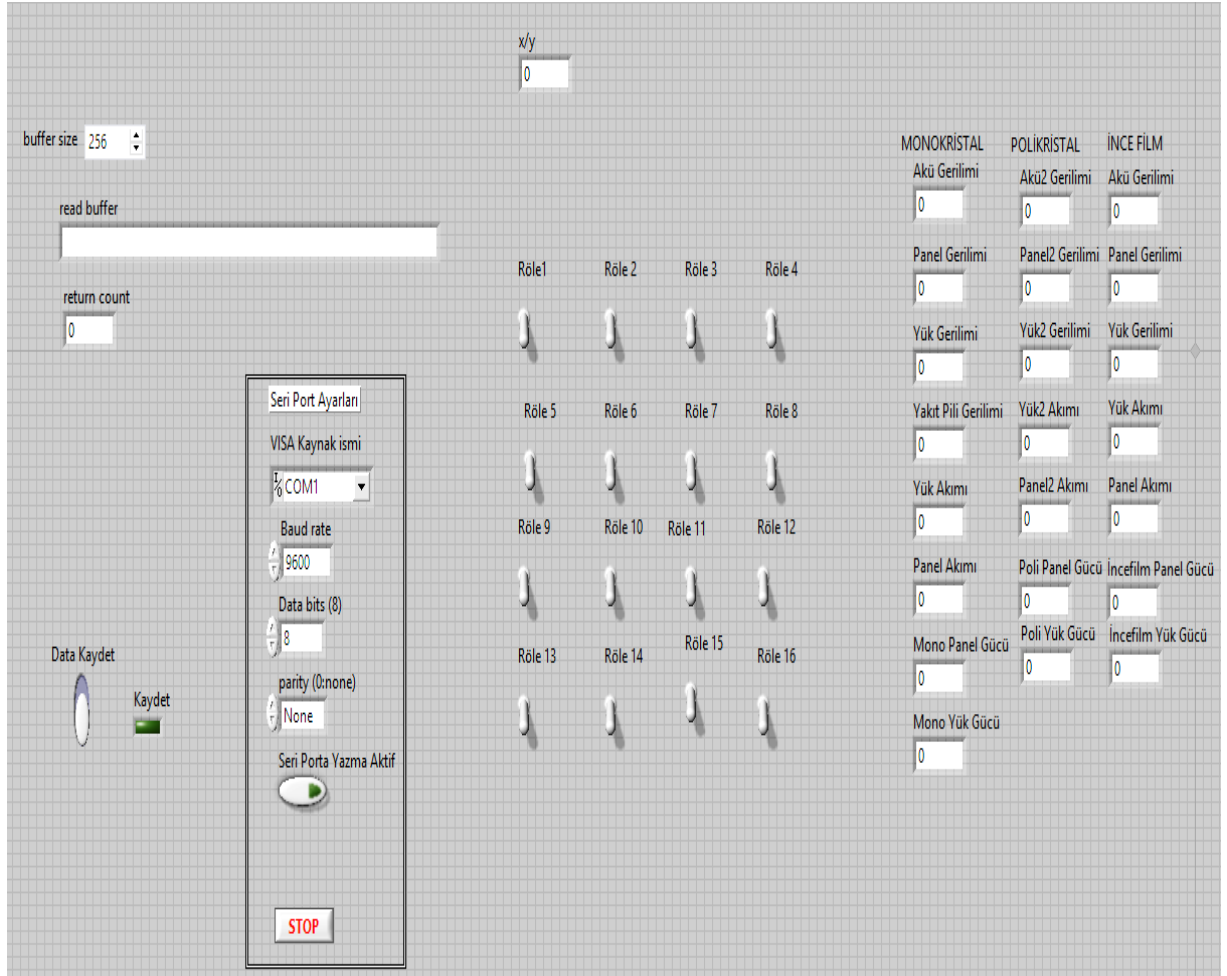


Şekil 3.27 Hibrit enerji üretim sistemi genel görünüşü.

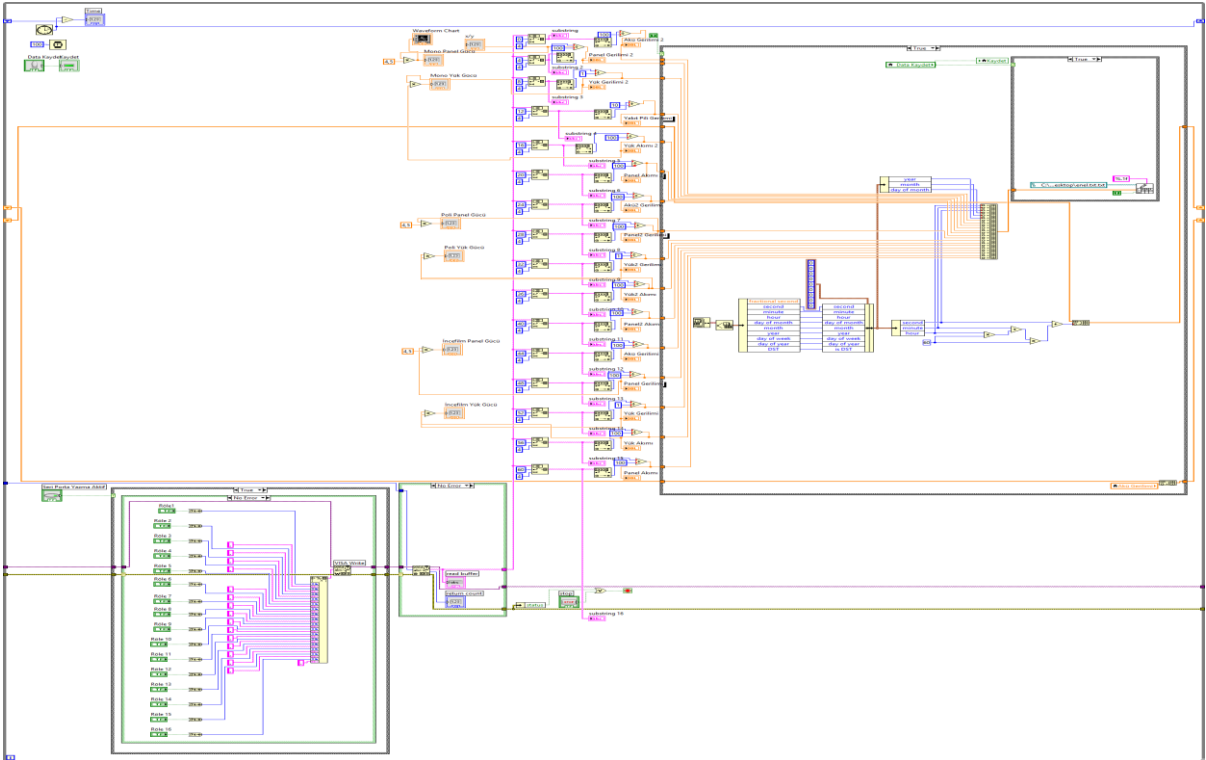
3.5 Üç Farklı Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Labview Kontrol Ara Yüzü

Üç farklı enerji üretim sisteminin enerji akış kontrolü gerçekleştirilirken verilerin kaydedilme, enerji sistemlerinden alınan verilerin görüntülenme ve sistemde anahtarlama elemanı olarak kullanılan rölelerin bilgisayar üzerinden kontrol edilme işlemleri Şekil 3.28’de verilen Labview programında programlanmış olan ara yüz aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Enerji üretim sistemleri ile ara yüz programı arasındaki veri alış verişi seri haberleşme tabanlı yapılmaktadır. Her bir enerji üretim sistemine ait olan akım, gerilim ve güç değerleri kendi içerisinde ara yüz programında gruplandırılmıştır. Sistemde veri kaydetme işlemini aktif hale getirme işlemi “Data Kaydet” butonunun aktif hale getirilmesi halinde sistemden alınan veriler “txt” uzantılı dosyaya kaydedilebilmektedir. Ara yüzde bulunan röle kontrol butonları ile kontrol panosunda bulunan röleler ara yüzden butonların değiştirilerek “Seri Porta Yazma Aktif” butonuna basılması ile birlikte kontrol sisteminde ki rölelerin konumu isteğe bağlı olarak ara yüzde değiştirilebilmektedir. Röle butonları aracılığı ile sistemi el ile yönlendirebilme imkanı sağlanarak sensör değerlerinin kalibrasyon işlemlerinin yapıldığı sırada ağırlıklı olarak kullanılıp sistemden sağlıklı veriler alınma işleminde ağırlıklı olarak kullanılmıştır. Seri port ayarlarının yapıldığı kısımdan seri port ile haberleşilebilecek ayarlamalar yapılabilmektedir. Seri olarak okunan verilerin toplu olarak görüntülenmesi sağlanarak sensör kartlarından veri alma kısmında hata olmadan

verilerin sistemden alınması gerçekleştirilir. “STOP” butonu ile de ara yüzün çalışması durdurularak veri alınma, okunma ve el ile röle kontrol işlemleri durdurulmaktadır. Labview programının arka planda işletilen yazılımsal programının bir kısmı Şekil 3.29’da görülmektedir.



Şekil 3.28 Hibrit enerji üretim sistemlerinin verilerinin görüntülenerek kontrol işleminin gerçekleştirildiği Labview ara yüz programı.



Şekil 3.29 Labview programı.

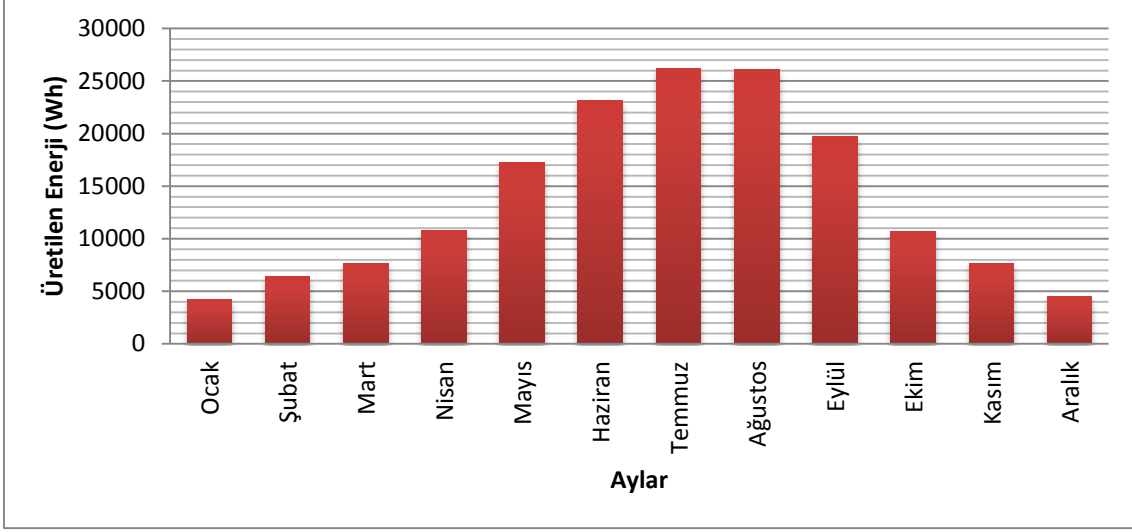
4. BULGULAR

Yapılan çalışmada, üç farklı güneş panelinden ve yakıt pilinden oluşan farklı tipteki hibrit enerji üretim sistemlerine bağlı olan tüketici gruplarının kesintisiz beslenebilmesine yönelik olan enerji akış kontrol sistemlerinin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen enerjinin yönlendirilme işleminin kontrolü sağlanarak enerjinin en etkin ve verimli şekilde kullanılması amaçlanmıştır. Bu işlemler gerçekleştirilirken farklı tipteki güneş panellerinden elde edilen veriler kullanılarak bölge için en uygun tipteki güneş panelinin tespiti için gerekli analizler yapılmıştır.

Farklı tipteki güneş panelleri ile oluşturulan enerji üretim sistemlerinde asıl enerji kaynağı olarak güneş panelleri baz alınarak batarya grupları, yakıt pili, DC ve AC yükler kullanılarak üç farklı enerji üretim grubu oluşturulmuştur. Oluşturulan enerji üretim sistemlerinden elde edilen enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi için farklı üç algoritma mevcut sistemlere uygulanarak enerji üretim sistemlerinin enerjinin etkin kullanımını açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada 01/05/2014 ile 30/04/2015 tarihleri arasında alınan veriler kullanılmıştır.

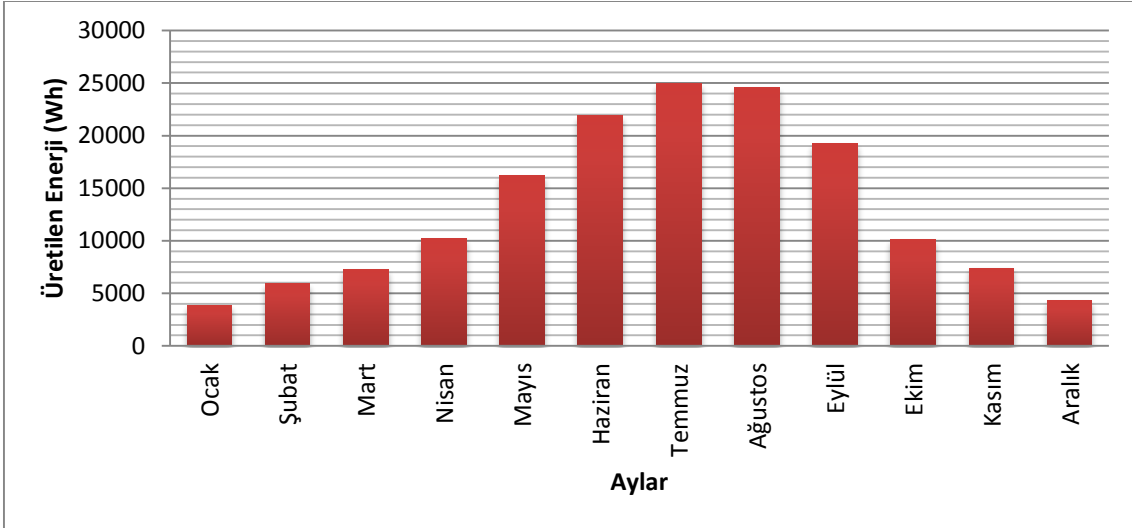
4.1 Hibrit Enerji Üretim Sistemlerini Oluşturan Üç Farklı Güneş Panelinden Elde Edilen Ortalama Enerji Miktarları

Hibrit enerji üretim sistemlerini oluşturan monokristal, polikristal ve ince film tipi güneş panellerinin aylık bazda üretmiş olduğu enerji miktarlarının grafikleri aşağıda verilmektedir. Şekil 4.1’de polikristal güneş paneli, Şekil 4.2’de monokristal güneş paneli, Şekil 4.3’de ise ince film güneş paneli tarafından aylık bazda üretilen enerjilerin grafikleri görülmektedir.



Şekil 4.1 Polikristal güneş panelinden üretilen aylık ortalama enerji.

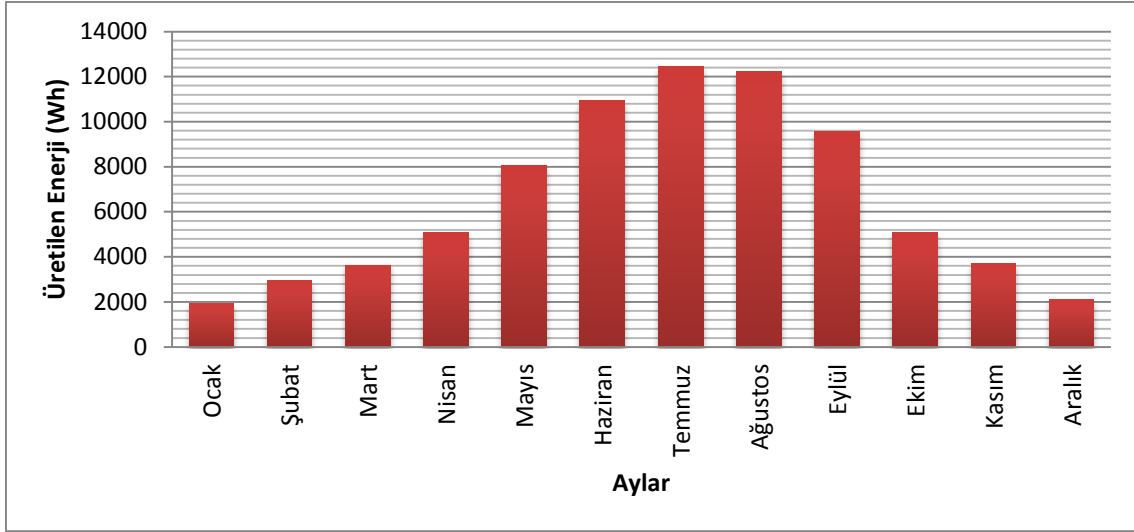
Polikristal güneş panelinin üretmiş olduğu ortalama enerji miktarları incelendiğinde en az üretimin ortalama 4230 Watt-Saat (Wh) değerleri ile Ocak ayında gerçekleştiği Şekil 4.1'den görülmektedir. En yüksek enerji üretiminin ise Temmuz ve Ağustos ayları içerisinde ortalama 26000Wh seviyelerinde olduğu verilen grafikten anlaşılmaktadır.



Şekil 4.2 Monokristal güneş panelinden üretilen aylık ortalama enerji.

Monokristal güneş panelinden elde edilen enerjinin aylık bazda ortalama değerleri incelendiğinde yıl içerisinde en az enerjinin 3900Wh seviyeleri ile Ocak ayında olduğu

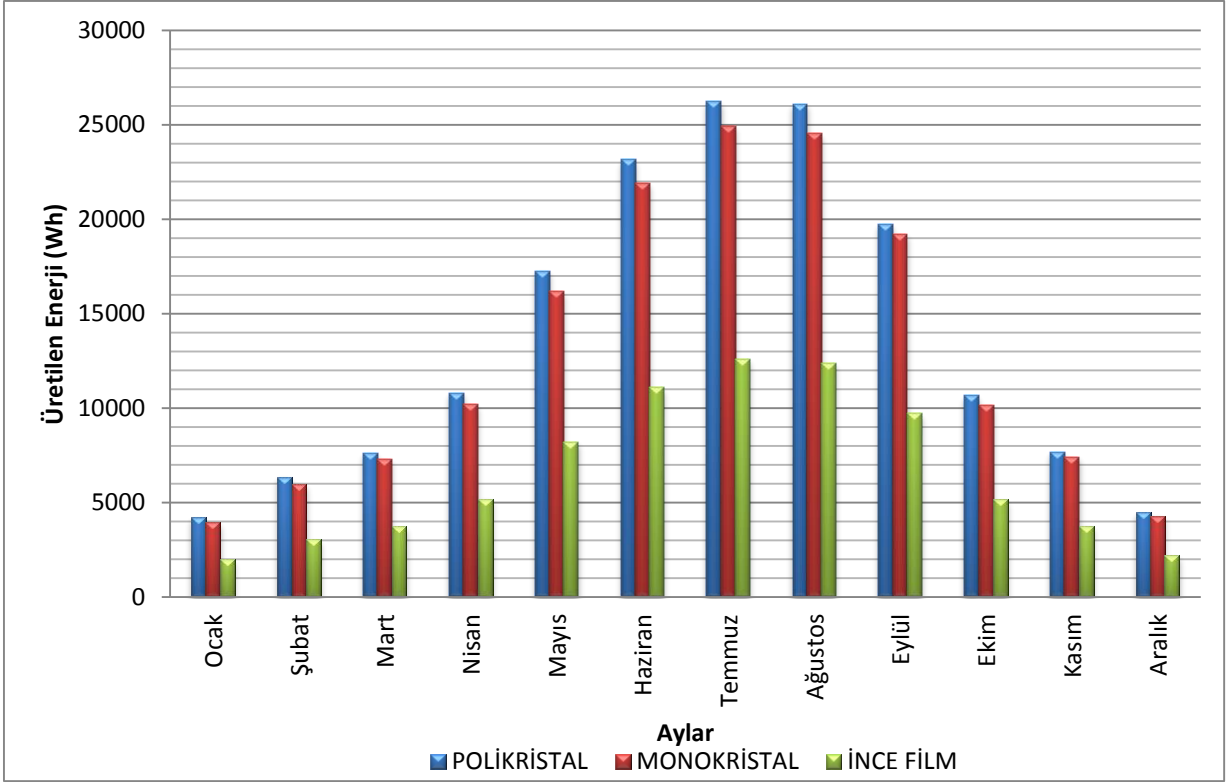
en yüksek enerji üretiminin ise yaklaşık olarak 25000Wh seviyelerinde Temmuz ayında gerçekleştiği Şekil 4.2’de verilen grafikten anlaşılmaktadır.



Şekil 4.3 İnce film güneş panelinden üretilen aylık ortalama enerji.

İnce film güneş panelinden elde edilen enerjinin aylık bazda ortalama değerleri incelendiğinde yıl içerisinde en az enerjinin 1900Wh seviyeleri ile Ocak ayında olduğu en yüksek enerji üretiminin ise yaklaşık olarak 12500Wh seviyelerinde Temmuz ayında gerçekleştiği Şekil 4.3’de verilen grafikten anlaşılmaktadır.

Her üç güneş paneline ait veriler incelendiğinde en az enerji üretiminin ince film güneş panelinden elde edildiği görülmektedir. Monokristal, polikristal ve ince film tipi güneş panellerinin enerji üretimine ait olan veriler karşılaştırmalı bir şekilde Şekil 4.4’de verilmiştir. Aylara göre güneş panellerinden üretilen enerjiler gruplandırılarak her ayda üretilen enerjilerin miktarları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 4.4 Üç farklı güneş paneline ait aylık enerji üretiminin karşılaştırılması.

Üç güneş panelinin yıllık üretmiş oldukları enerji miktarları incelendiğinde en az enerji üretiminin ince film panel tipinde olduğu monokristal ve polikristal güneş panellerinden de elde edilen enerjilerin yaklaşık olarak birbirlerine yakın değerlerde olduğu Şekil 4.4'den görülmektedir. Ancak polikristal panelden üretilen enerjinin monokristal panelden bir miktar daha fazla olduğu verilen grafikten anlaşılmaktadır.

Güneş panellerinden elde edilen enerjinin farklı değerlerde olmasının en temel nedeni güneş panellerini oluşturan malzemelerin çeşidi ve kimyasal yapılarıdır. Monokristal ve polikristal güneş panelleri silisyum yarı iletken malzemesi kullanılmaktadır. Kullanılan silisyum saflaştırma işlemine tabi tutulursa monokristal tip güneş panelini saflaştırma işlemi uygulanmaz ise polikristal tip güneş panelini oluşturmaktadır. Saflaştırılan silisyum ile panellerin verimlilik özelliği artırılmaktadır. Monokristal güneş panelleri bu nedenle polikristal tip panellere göre verimlilik miktarları bir miktar daha fazladır. Ancak saflaştırma işleminden dolayı monokristal güneş panelleri polikristal güneş panellerine göre daha maliyetlidir. İnce film güneş panellerinin kimyasal yapısı incelendiğinde amorf silisyum yarı iletken malzemesi kullanıldığı görülmektedir.

Kullanılan bu malzemeden kaynaklı olarak ince film güneş panellerinin çıkış gerilimleri yüksek olmasına karşın akım değeri düşüktür. Bu nedenle ince film güneş panellerinin verimleri diğer güneş panellerine göre daha düşüktür (Parida 2011).

Verimlilik değerlerinin farklı olması güneş panellerinin fiziksel olarak kapladıkları alanları da etkilemektedir. Monokristal ve polikristal tip güneş panellerinin boyutsal olarak birbirleriyle aralarında o kadar fark olmamasına rağmen ince film tipi paneller ile oldukça fark vardır. Kurulan enerji üretim sisteminde her bir güneş panelinin 100 Watt gücünde olduğu belirtilmişti. Monokristal ve polikristal tip güneş panellerinden birer tane kullanılarak kurulan sistemde ince film tipi güneş panellerinden 100 Watt değerinde panel bulunmadığı için 50 Watt gücünde iki tane ince film güneş paneli tipi kullanılarak enerji üretim sisteminin kurulumu yoluna gidilmiştir. Böylelikle ince film tipi panelin diğer güneş panelleri ile aynı güç değerlerinde olmasına rağmen iki kat daha fazla yer kapladığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1 Güneş panellerinden yıl içerisinde elde edilen aylık enerji miktarları (Wh).

Aylar	Polikristal	Monokristal	İnce Film
Ocak	4227	3941	1935
Şubat	6365	5990	2947
Mart	7621	7298	3638
Nisan	10797	10183	5076
Mayıs	17259	16180	8065
Haziran	23156	21916	10925
Temmuz	26244	24934	12429
Ağustos	26099	24540	12233
Eylül	19738	19215	9578
Ekim	10661	10158	5063
Kasım	7687	7395	3686
Aralık	4492	4276	2132
TOPLAM	164352	155895	77713

Çizelge 4.1’de üç farklı tipteki güneş panellerinin yıl içerisinde ki aylara göre elde edilen enerji değerleri verilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde polikristal ve monokristal tip güneş panellerinden elde edilen enerji miktarlarının birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. İnce film tipi güneş panelinden elde edilen enerji değerleri ise diğer iki panele kıyasla oldukça düşüktür. Bilindiği üzere ince film tipi güneş panellerinin verimleri polikristal ve monokristal güneş panellerine göre oldukça düşük olduğu bilinmektedir. Bu verilerden de görülmektedir ki ince film güneş paneli yaklaşık olarak diğer panel tiplerine göre %50 oranında daha az enerji üretimi gerçekleştirmiştir.

Güneş panellerinin enerji üretimini etkileyen en önemli faktörler güneşlenme süresi ve güneş ışınlarının şiddetidir. Bu değişkenlere ait olan değerler yaz aylarında oldukça yüksek seviyelere çıkmaktadır. Güneş panellerinden elde edilen enerjilerin değerleri de incelendiğinde yaz aylarında elde edilen enerjinin kış aylarında elde edilen enerjiye göre yaklaşık olarak 6 kat kadar daha fazla olduğu verilen sonuçlar aracılığı ile görülmektedir. Yaz ve kış aylarında üretilen enerjiler arasındaki farkın bu denli büyük olmasının nedeni Ocak ayında ki güneşlenme süresinin 3-4 saat iken Temmuz ayında 11-12 saate ulaşmasından kaynaklanmaktadır.

4.2 Uygulanan Algoritmalar Neticesinde Elde Edilen Veriler

Farklı tipte ki güneş panellerinden elde edilen veriler doğrultusunda üretilen enerjilerin panellere göre karşılaştırması bir önceki kısımda yapılmıştır. Bu aşamadan sonra mevcut enerjilerin etkin ve verimli kullanılması doğrultusunda üç farklı algoritma hibrit enerji üretim sistemlerine uygulanmıştır. Algoritmaların üretilen enerjinin hangi ölçüde etkin ve verimli kullanıldığına dair etkisini yansıtan veriler verilmektedir.

4.2.1 Birinci Algoritmanın Hibrit Enerji Üretim Sistemlerine Uygulanması

Birinci algoritma tipinde tüketici olarak sadece DC tüketici çeşidi baz alınmıştır. Algoritmanın temel mantığı DC tüketiciye kesintisiz enerji sağlanması prensibine göre oluşturulmuştur. Algoritmanın kontrol basamakları ayrıntılı bir biçimde aşağıda ifade edilmektedir.

Güneş panelinden üretilen gerilim 16 voltun altında ise tüketici akü tarafından beslenmektedir. Güneş paneli tarafından üretilen enerji tüketicinin ihtiyacı olan

enerjiden fazla ise bu enerji ile hem aküyü şarj etmekte hem de tüketiciyi beslemektedir. Güneş panelinden üretilen enerji miktarı tüketicinin ihtiyacından fazla değilse bu enerji ile sadece tüketici beslenmektedir. Güneş paneli tarafından üretilen enerji tüketicinin talep ettiği enerji miktarını karşılayamayacak büyüklükte ise güneş paneli ve akü birlikte tüketiciyi beslemektedir. Güneş panelinden yeterli büyüklükte enerji elde edilemiyor ve akünün doluluk oranı da çok düşük seviyede ise güneş paneli tarafından üretilen enerjiye ek olarak akü ve yakıt pilinin enerjisi eklenerek tüketici beslenmektedir.

Enerjinin etkin kullanım oranı (E.E.K.O) güneş panelinden kullanılan enerjinin (G.P.K.E) güneş paneli enerji üretimine (G.P.E.Ü) oranlanması sonucu hesaplanmıştır. Oran denklemi (4.1)'de verilmiştir.

$$E.E.K.O = \frac{G.P.K.E}{G.P.E.Ü} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.2 Birinci algoritmanın monokristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Güneş Paneli Enerji Üretimi (Wh)	Kayıp Enerji (Wh)	Güneş Panelinden Kullanılan Enerji (Wh)	DC Tüketici (Wh)	Aküden Kullanılan Enerji (Wh)	Yakıt Pili Enerji Kullanımı (Wh)	Artan Enerji Miktarı (Wh)	Enerjinin Etkin Kullanım Oranı
Ocak	3941,8	1456,7	2485,1	4952	1020	1447,8		0,630
Şubat	5990	2206,1	3783,8	4450	817	0		0,631
Mart	7298	2627,4	4670,9	4780	109	0		0,640
Nisan	10183,7	3666,141	6517,5	4902	-1615,8	0	595,5	0,581
Mayıs	16180,2	5824,8	10355,3	4765	-5590,3	0	4570,3	0,357
Haziran	21916,6	7890,	14026,6	4965	-9061,6	0	8041,6	0,273
Temmuz	24934,1	8976,3	15957,8	4790	-11167,8	0	10147,8	0,230
Ağustos	24540,8	8834,7	15706,1	4950	-10756,1	0	9736,1	0,243
Eylül	19215,4	6917,5	12297,8	4800	-7497,8	0	6477,8	0,302
Ekim	10158,4	3657	6501,4	4959	-1542,4	0	522,4	0,588
Kasım	7395,84	2662,5	4733,3	4720	-13,3	0		0,640
Aralık	4276,9	1539,6	2737,2	4925	1020	1168,7		0,640

Monokristal hibrit enerji üretim sisteminden elde edilen veriler incelendiğinde enerji üretim sisteminden elde edilen enerjinin kış aylarında oldukça düşük değerlerde olduğu ve yaz aylarında büyük miktarda arttığı görülmektedir. Hibrit enerji üretim sisteminde en az enerji üretiminin Ocak ayı içerisinde, en yüksek enerji üretiminin de Temmuz ayları içerisinde gerçekleştiği Çizelge 4.2'den görülmektedir.

Üretilen enerji kesintisiz olarak DC tüketici grubunu beslemeye yönelik kullanılmaktadır. Güneş panellerinden elde edilen enerji DC tüketiciyi besleyebilecek büyüklükte ise DC tüketici güneş panellerinden elde edilen enerjiden beslenmektedir. Güneş panellerinin enerjisinin yeterli olmadığı durumda DC tüketicilerin enerji talebi akü ve güneş panelleri tarafından karşılanmaktadır. Akünün de yeterli olmadığı durumlarda DC tüketicilerin enerji talebi yakıt pili tarafından karşılanmaktadır.

Ocak ve Aralık aylarında alınan veriler incelenecek olunursa DC tüketicilerin talep etmiş oldukları enerji miktarı sadece güneş panelleri tarafından karşılanamamaktadır. Geri kalan enerji miktarı da sadece aküden karşılanamadığından dolayı yakıt pili de devreye alınarak DC tüketicilere enerji sağlanmıştır.

Şubat ve Kasım aylarında güneş paneli tarafından üretilen enerji miktarı DC tüketici grubunun talep ettiği enerji talebini tam olarak karşılayamadığı için ihtiyaç duyulan enerji akülerden sağlanmaktadır. Yakıt pili bu aylarda kullanılmamaktadır.

Mart ve Ekim ayları arasında güneş panelinden elde edilen enerji miktarı DC tüketici grubunun talep ettiği enerji miktarından oldukça fazladır. Üretilen enerji ile hem tüketicinin talep ettiği enerji karşılanmakta hem de fazla enerji ile akü şarj edilmektedir.

Birinci algoritmanın monokristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması ile enerjinin etkin kullanım oranının kış aylarında fazla yaz aylarında düşük olduğu görülmektedir. Bu oranın düşük ve yüksek olmasını etkileyen faktör üretilen enerjinin kullanılma miktarıdır. Üretilen enerjinin DC tüketiciler tarafından tüketilme miktarı arttıkça oran değeri de artmaktadır. Kış aylarında üretilen enerjinin az olmasından ve tüketilen enerjinin de üretilen enerjiden fazla olmasından kaynaklı olarak enerjinin etkin kullanım oranının en yüksek değerlerde olduğu Çizelge 4.2'den anlaşılmaktadır. Yaz aylarında en düşük seviyelerdedir. Bu oranın düşük olmasını etkileyen faktör yaz aylarında üretilen enerjinin tüketilen enerjiden oldukça büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Fazla enerji ile batarya şarj edilmekte ve batarya şarj edildikten sonra elde edilen enerji miktarı ise

kayıp enerji olarak adlandırılmaktadır. Fazla enerjinin herhangi bir şekilde kullanılma imkânı olmadığından enerjinin etkin kullanım oranının düşük olmasına neden olmaktadır.

Monokristal güneş paneli ile oluşturulmuş hibrit enerji üretim sisteminin enerji etkin kullanım oranı kış aylarında %60'larda iken yaz aylarında %23 değerine kadar düşmektedir. En büyük enerjinin etkin kullanım oranında ki azalma monokristal güneş panelinin enerji üretimin en yüksek seviyede olduğu Temmuz ve Ağustos ayında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.3'de polikristal enerji üretim sistemine birinci algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 Birinci algoritmanın polikristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Güneş Paneli Enerji Üretimi (Wh)	Kayıp Enerji (Wh)	Güneş Panelinden Kullanılan Enerji (Wh)	DC Tüketici (Wh)	Aküden Kullanılan Enerji (Wh)	Yakıt Pili Enerji Kullanımı (Wh)	Artan Enerji Miktarı (Wh)	Enerjinin Etkin Kullanım Oranı
Ocak	4203,54	1546,55	2656,99	4955	1020	1278,98		0,632
Şubat	6365,46	2319,95	4045,5	4472	221,57	0		0,635
Mart	7621,61	2627,64	4993,97	4790	-203,97	0		0,655
Nisan	10797,3	3828,95	6968,33	4945	-2023,3	0	1003,33	0,552
Mayıs	17259,4	6187,95	11071,5	4765	-6306,5	0	5286,49	0,335
Haziran	23156,7	8159,99	14996,7	4925	-10072	0	9051,74	0,256
Temmuz	26244,7	9183,22	17061,5	4792	-12270	0	11249,50	0,221
Ağustos	26100	9307,61	16792,4	4925	-11867	0	10847,40	0,227
Eylül	19738,7	6590,32	13148,4	4732	-8416,4	0	7396,40	0,291
Ekim	10661,3	3710,22	6951,04	4927	-2024	0	1004,04	0,557
Kasım	7687,68	2626,99	5060,69	4792	-268,69	0		0,658
Aralık	4492,49	1565,95	2926,54	4937	1020	991,44		0,651

Polikristal hibrit enerji üretim sisteminin verileri incelendiğinde polikristal tip güneş panelinden üretilen enerji miktarının daha fazla olmasından kaynaklı olarak yakıt pilinden kullanılan enerji miktarı monokristal enerji üretim sistemine göre daha düşük seviyededir.

Enerjinin etkin kullanım oranının kış aylarında yüksek yaz aylarında ise düşük olduğu görülmektedir. Üretilen enerjinin büyük çoğunluğunun kış aylarında kullanılırken yaz aylarında ise DC tüketicinin kullanımı dışında ihtiyaç fazlası enerjinin büyük bir miktarı değerlendirilemediği için %22 değerlerine kadar düşmektedir.

Çizelge 4.4’de ince film enerji üretim sistemine birinci algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

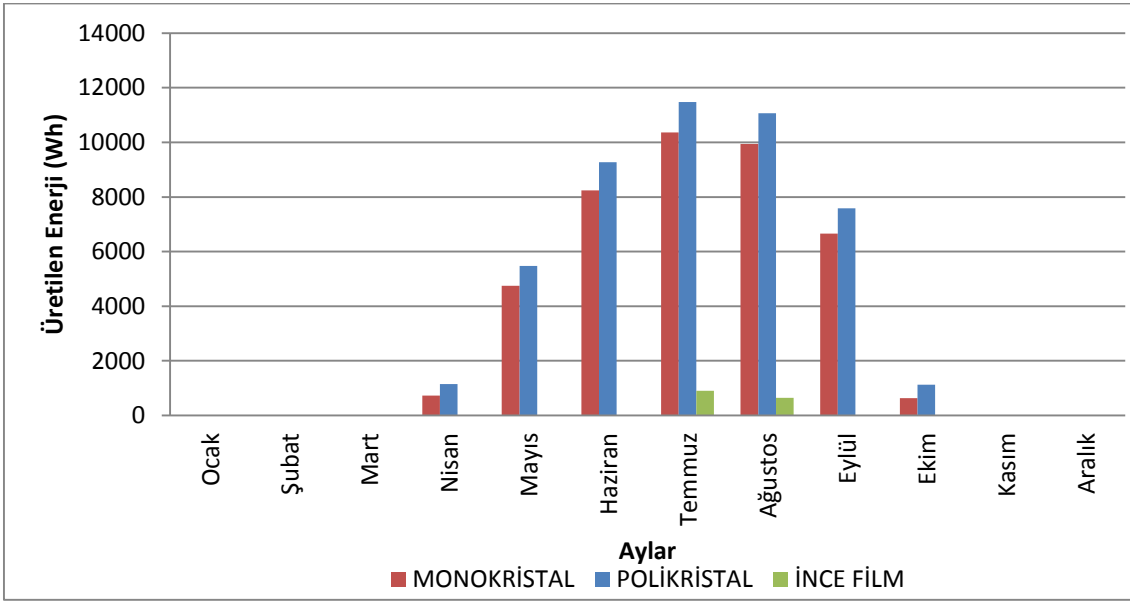
Çizelge 4.4 Birinci algoritmanın ince film hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Güneş Paneli Enerji üretimi (Wh)	Kayıp Enerji (Wh)	Güneş Panelinden Kullanılan Enerji (Wh)	DC Tüketici (Wh)	Aküden Kullanılan Enerji (Wh)	Yakıt Pili Enerji Kullanımı (Wh)	Artan Enerji Miktarı (Wh)	Enerjinin Etkin Kullanım Oranı
Ocak	4105,95	2996	1109,9	4965	1020	2835,0		0,270
Şubat	6096,1	4503,2	1592,9	4425	1020	1812,1		0,261
Mart	7411,78	5437,5	1974,2	4768	1020	1773,7		0,266
Nisan	10364,6	7650	2714,6	4936	1020	1201,3		0,262
Mayıs	16409,7	12141	4268,7	4765	496,2			0,260
Haziran	22172,1	16266,1	5906,0	4921	-985,0			0,266
Temmuz	25199,8	18487,3	6712,4	4791	-1921,5		901,48	0,231
Ağustos	24789	18186	6603,0	4940	-1663,1		643,07	0,240
Eylül	19439,4	14290	5149,4	4769	-380,4			0,265
Ekim	10302,5	7586	2716,5	4943	1020	1206,4		0,264
Kasım	7527,2	5510	2017,2	4798	1020	1760,7		0,268
Aralık	4376,2	3260	1116,2	4937	1020	2800,7		0,255

İnce film güneş panellerinden elde edilen çıkış gerilim değerleri diğer güneş panellerine göre yüksektir. Bu nedenle çıkış akımları da bu oranda daha düşük değerlere sahiptir. Çıkış akımlarının düşük değerlerde olmasından dolayı net olarak kullanılacak enerji miktarı oldukça azdır. Bu durum da enerji üretim sistemindeki üretilen enerjinin etkin kullanım oranının oldukça düşük olmasına neden olmaktadır. Kullanılan enerji miktarının düşüklüğü yüzünden yakıt pilinin yıl içerisinde ki aylarda kullanım oranları diğer güneş panelleri ile oluşturulmuş hibrit enerji üretim sistemlerine göre daha fazladır. Yılın sadece dört ayında üretilen enerji miktarı tüketicinin ihtiyaç duyduğu enerjiden yüksek seviyededir. Bu dört aydan sadece Temmuz ve Ağustos ayları içerisi de aküler tam şarj edilerek fazladan enerji üretilebilmektedir. Enerjinin etkin kullanım oranlarına bakıldığında ince film enerji üretim sisteminin yıl boyunca yaklaşık %26

değerlerinde olduğu gözlemlenmektedir. Artan enerji miktarının Temmuz ve Ağustos aylarında sadece ortaya çıkmasından kaynaklı olarak enerjinin etkin kullanım oranı en düşük bu aylar içerisinde ortaya çıktığı verilen tablodan anlaşılmaktadır.

Şekil 4.9’da üç farklı güneş panelinden aylık ihtiyaç fazlası üretilen enerji miktarları gösterilmektedir.



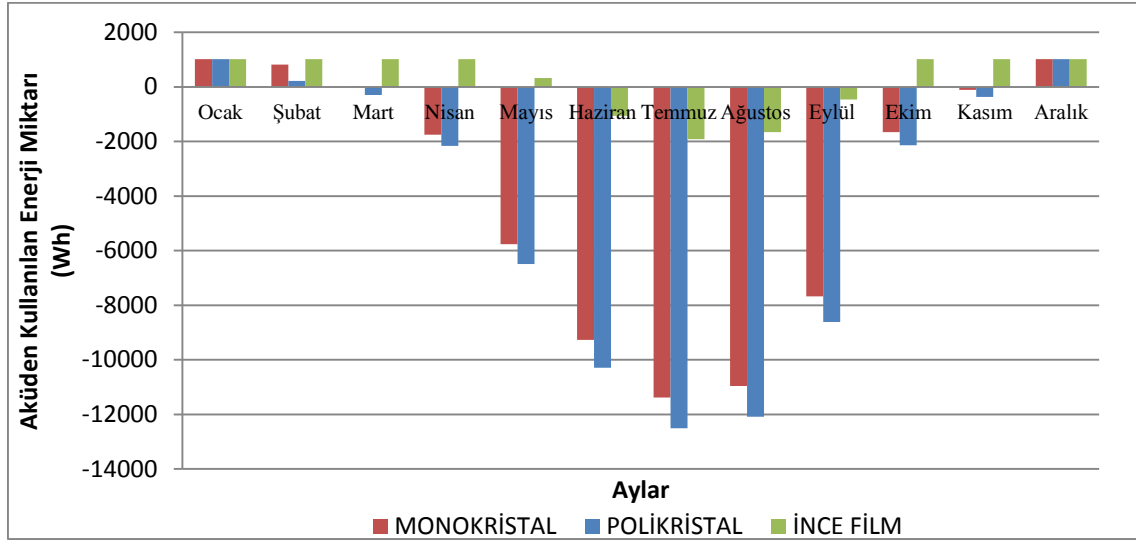
Şekil 4.5 Aylık bazda hibrit enerji üretim sistemlerinden elde edilen ihtiyaç fazlası enerji.

Hibrit enerji üretim sistemlerinden elde edilen enerji miktarları incelendiğinde sistemlerin kullandığı enerji miktarı belirli bir sınırdan dolayı üretilen enerjinin bir kısmı ihtiyaç fazlası enerji olarak ortaya çıkmıştır. Bu verilerden yararlanılarak Şekil 4.5’deki grafik elde edilmiştir.

Grafik incelendiğinde ihtiyaç fazlası enerji miktarlarının monokristal ve polikristal enerji üretim sistemlerinde yaklaşık olarak birbirlerine eşit değerlerde olduğu görülmektedir. Az bir miktar polikristal enerji üretim sisteminin ihtiyaç fazlası enerji üretimi daha fazladır. İhtiyaç fazlası enerji miktarının en az olarak ortaya çıktığı durum ise ince film enerji üretim sisteminde mevcuttur.

En yüksek enerji fazlası Temmuz ayı içerisinde polikristal enerji üretim sisteminde gerçekleşmiş olup yaklaşık 11400Wh değerlerinde iken bu değer aynı ay içerisinde

monokristal enerji üretim sisteminde ise yaklaşık 10300Wh değerlerinde olduğu verilen grafikten anlaşılmaktadır. İnce film enerji üretim sisteminde ise sadece Temmuz ve Ağustos ayları içerisinde ihtiyaç fazlası enerji üretimi gerçekleşmiş olup en yüksek değer Temmuz ayı içerisinde yaklaşık 900Wh olarak elde edilmiştir. Şekil 4.6’da hibrit enerji üretim sistemlerinde bulunan akülerin kullanım miktarları verilmiştir.

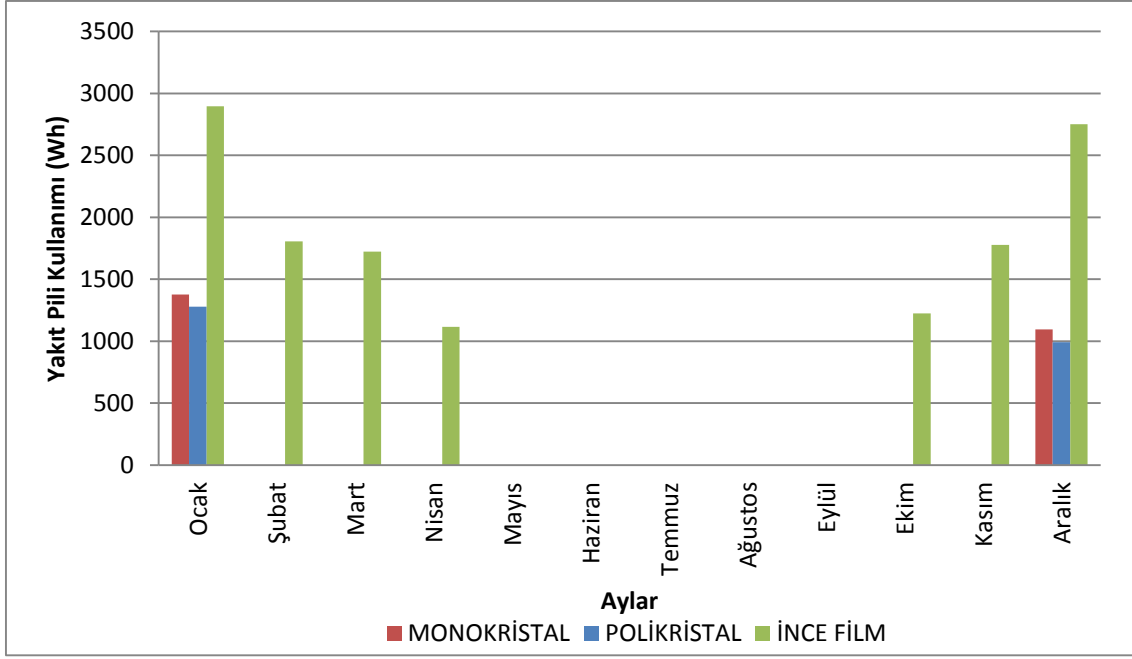


Şekil 4.6 Hibrit enerji üretim sistemlerinde ki akülerin aylık kullanım miktarları.

Akülerin aylık kullanım miktarları incelendiğinde (-) ve (+) yönde enerji değişimlerinin olduğu görülmektedir. Verilerin grafikte (+) yönde olması akülerde depolanan enerjinin sistem üzerinde harcadığını (-) yönde olması ise elde edilen enerjinin akülerin şarj edilme işleminde kullanıldığı anlamını taşımaktadır.

Güneş panellerinden elde edilen enerji miktarlarının artmasıyla akülerin kullanım oranlarının düştüğü grafikten görülmektedir. En çok enerji üretiminin olduğu yaz ayları içerisinde monokristal ve polikristal hibrit enerji üretim sistemlerinde akülerin şarj konumunda olduğu ince film enerji üretim sistemlerinde ise üretilen enerjinin tüketicinin talep ettiği enerji miktarından az olmasından kaynaklı olarak akünün dört ay dışında deşarj durumunda olduğu grafikten anlaşılmaktadır.

Hibrit enerji üretim sistemleri tarafından yakıt pilinin kullanım miktarlarını gösteren grafik Şekil 4.7’de verilmektedir.

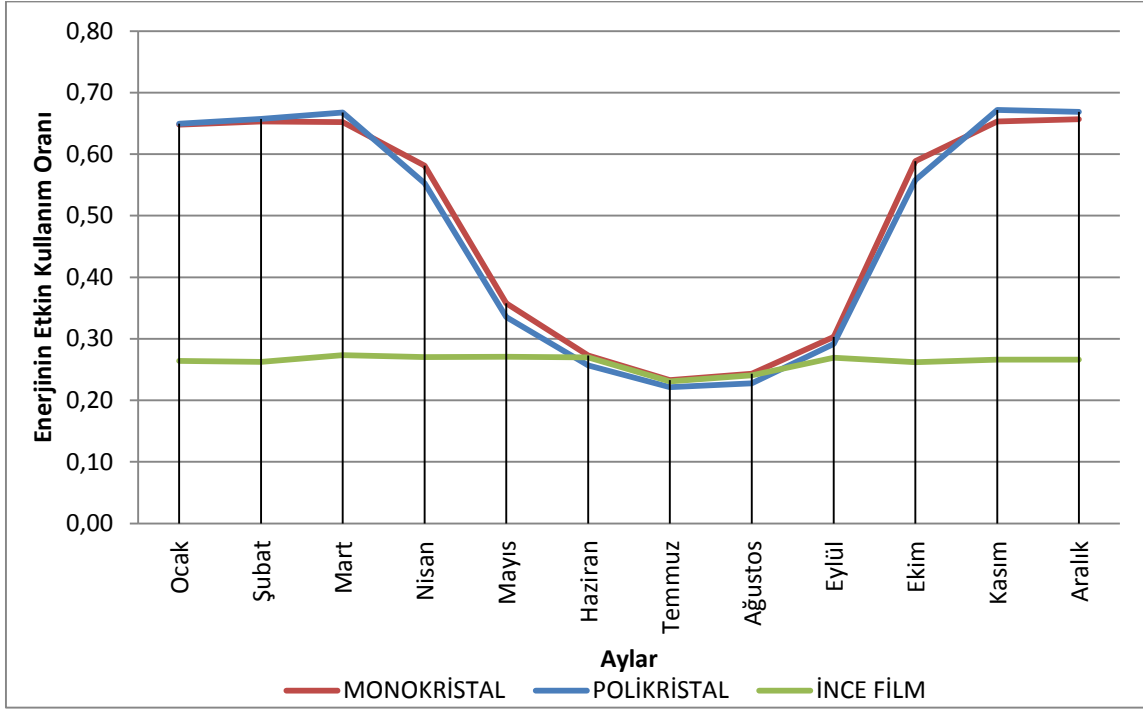


Şekil 4.7 Hibrit enerji üretim sistemleri tarafından yakıt pilinin aylık kullanım oranları.

Hibrit enerji üretim sistemlerinde enerji ihtiyacı ilk olarak güneş panelleri tarafından karşılanır. Güneş panelleri tarafından karşılanamadığı takdirde aküler tarafından akülerin de karşılayamadığı durumda en son olarak enerjinin karşılanma işlemi için yakıt pili devreye girmektedir. Bu mantık çerçevesinde bakıldığında her üç hibrit enerji üretim sistemi için yakıt pillerinin kış aylarında kullanıldığı görülmektedir. Güneş panellerinden en az enerji üretiminin kış aylarında gerçekleştiği düşünülünce ocak ve aralık ayları içinde her üç enerji üretim sisteminde de yakıt pilinin kullanıldığı görülmektedir. Yaz aylarında bakıldığında ise yakıt pili kullanımının olmadığı grafikten anlaşılmaktadır.

Monokristal ve polikristal enerji üretim sistemlerinde ki yakıt pili kullanım oranları yaklaşık olarak aynı seviyelerde iken bu oran ince film enerji üretim sisteminde daha fazladır. İnce film enerji üretim sisteminde güneş panellerinden elde edilen enerji miktarının az olması neticesinde tüketiciye enerji sağlayan akü ve yakıt pili gibi diğer bileşenlerin kullanım oranları Monokristal ve polikristal enerji üretim sistemlerine göre daha fazladır. Monokristal ve polikristal enerji üretim sistemlerinde yakıt pili sadece iki ay kullanılırken ince film enerji üretim sisteminde yedi ay boyunca yakıt pili sistemi kullanılmıştır.

Yakıt pili kullanımı yaklaşık 990Wh ile en az polikristal güneş panelinde, yaklaşık 2900Wh ile de en fazla ince film güneş panelinde gerçekleşmiştir. Monokristal güneş panelinde yakıt pili kullanımı 1000Wh olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.8’de üç farklı hibrit enerji üretim sisteminin aylık olarak etkin kullanım oranları gösterilmektedir.



Şekil 4.8 Monokristal, polikristal ve ince film hibrit enerji üretim sistemlerinin aylık enerji etkin kullanım oranları.

Şekil 4.8 incelendiğinde monokristal ve polikristal hibrit enerji üretim sistemlerinden elde edilen enerjinin etkin kullanım oranlarının kış aylarından yaz aylarına doğru düştüğü görülmektedir. Bu düşüşün nedeni kış aylarında üretilen enerjinin yaz aylarına oranla daha az olmasıyla elde edilen enerjinin büyük bir miktarının tüketiciler tarafından kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Yaz aylarından üretilen enerji diğer aylara göre daha fazla olduğundan ihtiyaç fazlası enerji miktarı da o oranda daha fazla olmaktadır. İhtiyaç fazlası enerji kullanılmadığı için etkin kullanım oranı düşmektedir. Monokristal ve polikristal hibrit enerji üretim sistemlerinde Temmuz ve Ağustos aylarında enerjinin etkin kullanım oranının en düşük seviyede olduğu verilen grafikten anlaşılmaktadır.

İnce film hibrit enerji üretim sisteminin veriminde ise neredeyse yılın bütün ayları içerisinde fazla bir değişim gözlenmemektedir. Sadece yaz aylarında çok az bir düşüş

olmaktadır. Bunun nedeni ise ince film güneş paneli tarafından üretilen enerji miktarının sadece Temmuz ve Ağustos ayları içerisinde talep edilen enerji miktarından fazla olmasından kaynaklıdır.

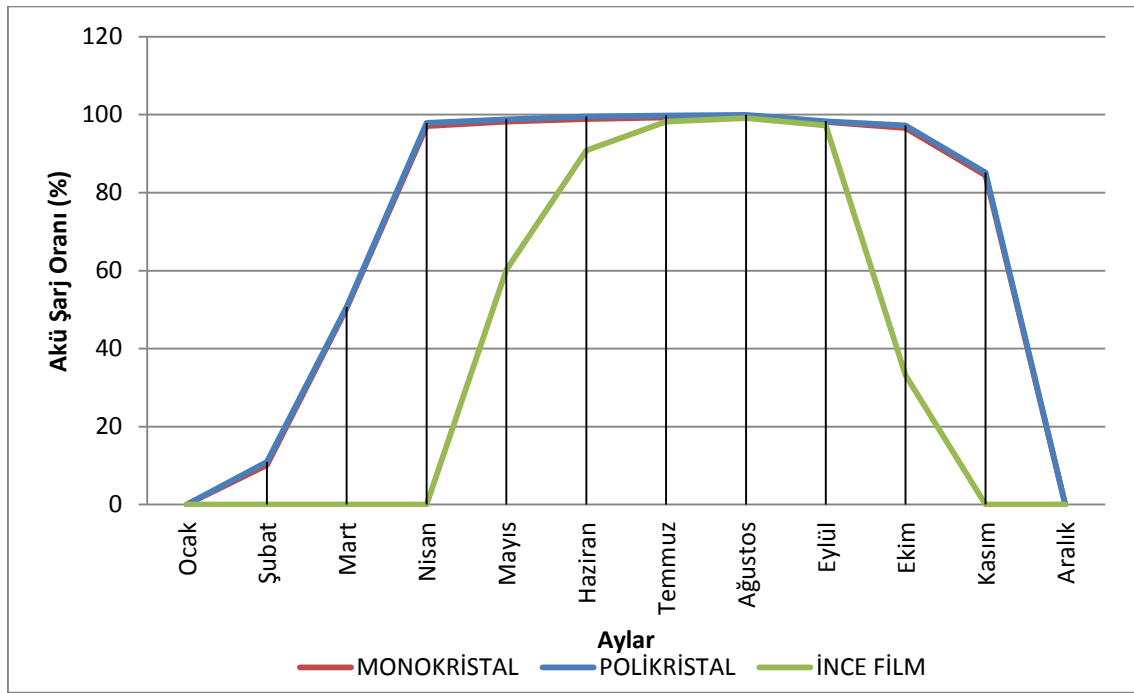
Yapılan çalışmada akülerin şarj oranları ve tüketiciye sağlayabilecekleri enerjinin sürekliliğinin ne kadar olacağı da belirlenmiştir. Akülerin üzerinde depolanan enerji ile tüketicinin ne kadar beslenebileceği tahmini olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.5’de üç hibrit enerji üretim sistemine ait olan akülerin ortalama aylık olarak şarj durumları yüzde olarak ve yaklaşık olarak tüketicileri ne kadar saat besleyebileceği gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Hibrit enerji üretim sistemlerinin akülerinin doluluk oranları ve aküler tarafından tüketicilerin beslenebileceği süreler.

Aylar	Monokristal		Polikristal		İnce Film	
	Akü Şarj Oranı (%)	Tüketicinin Beslenme Süresi (Saat)	Akü Şarj Oranı (%)	Tüketicinin Beslenme Süresi (Saat)	Akü Şarj Oranı (%)	Tüketicinin Beslenme Süresi (Saat)
Ocak	0	0	0	0	0	0
Şubat	10,13	5,10	10,76	5,10	0	0
Mart	50,36	25,30	50,62	25,42	0	0
Nisan	97,12	49,60	97,83	49,82	0	0
Mayıs	98,26	50,24	98,67	50,26	60,11	30,59
Haziran	98,86	50,03	99,32	50,65	90,69	46,21
Temmuz	99,34	50,61	99,64	50,78	98,13	49,96
Ağustos	99,28	50,45	99,84	50,82	99,02	50,32
Eylül	98,13	50,06	98,21	50,02	97,12	49,46
Ekim	96,56	49,11	97,14	49,45	33,06	16,79
Kasım	84,43	43,19	85,04	43,31	0	0
Aralık	0	0	0	0	0	0
Ortalama	69,37	35,42	69,51	35,54	39,83	20,21

Monokristal ve polikristal güneş panellerinden elde edilen enerji miktarının artmasıyla akülerin şarj oranlarının da artmış olduğu görülmektedir. Monokristal ve polikristal

enerji üretim sistemlerine ait olan akülerin şarj oranlarının ve bu akülerin tüketicileri kesintisiz besleyebileceği süreler birbirlerine çok yakındır. İnce film hibrit enerji sisteminde güneş panelinin enerji üretimi çok düşük olmasıyla akülerin yıl içerisinde tam olarak şarj olma durumunu olumsuz etkilemiştir. İnce film hibrit enerji üretim sistemine ait olan akü sadece Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında tam şarj halindedir. Diğer aylarda üretilen enerjinin tüketicinin ihtiyacının çok altında olup kış aylarında akülerde depolanan enerji de yetmediğinden yakıt pilinden takviye yapılmıştır. Hibrit enerji üretim sistemlerine ait olan akülerin şarj oranları yüzdesel olarak Şekil 4.9’da verilmiştir.

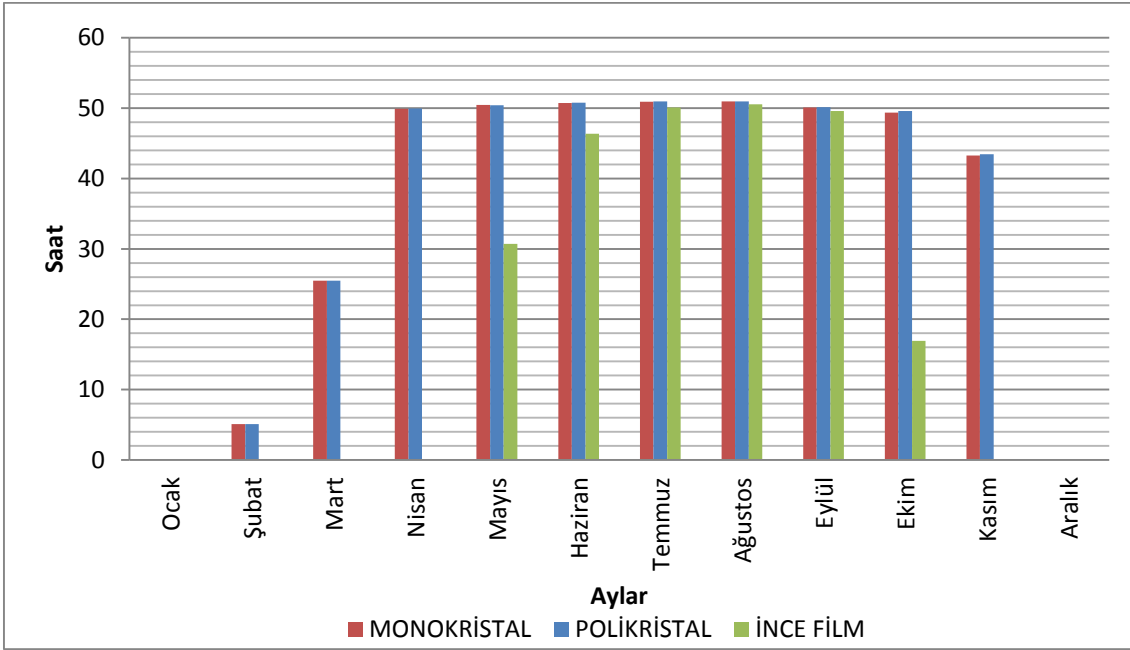


Şekil 4.9 Hibrit enerji üretim sistemlerine ait olan akülerin aylık şarj oranları.

Şekil 4.9’den de görülmektedir ki monokristal ve polikristal güneş panellerinden üretilen enerjilerin birbirlerine yakın olmasından kaynaklı olarak monokristal ve polikristal hibrit enerji üretim sistemlerine ait olan akülerin aylık şarj oranları da birbirlerine çok yakındır. Özellikle kış aylarında güneş panelinin ürettiği enerji tüketicinin talep ettiği enerjinin altında olduğu için akülerde depolanmış enerjilerden kullanılmıştır. Aralık ve Ocak aylarında güneş panelinin ürettiği enerji ve aküde depolanan enerji tüketicinin ihtiyacının çok altında olduğu için yakıt pili kullanılmıştır.

Aküler kış aylarında deşarj konumunda olduğu için bu aylarda şarj oranları çok düşüktür.

İnce film hibrit enerji üretim sisteminde enerji üretimi çok düşük olduğundan akü şarj oranları da yıl içinde çok düşük seviyede kalmıştır. Sadece Temmuz ve Ağustos aylarında aküler tam şarj edilebilmiştir. Şekil 4.10'da hibrit enerji üretim sistemlerinden üretilen enerjinin yetersiz olduğu durumlarda akülerin tüketicileri besleme süreleri gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Hibrit enerji üretim sistemlerinde ki akülerin tüketicilere kesintisiz enerji sağlayabileceği süreler.

Hibrit enerji üretim sistemlerine bağlı olan akülerin doluluk oranlarına ait veriler incelendiğinde bu akülerin tüketicilere kesintisiz bir şekilde enerji verebilecekleri süreler hesaplanabilmektedir. Bu veriler ışığında üç farklı hibrit enerji üretim sistemine bağlı olan akülerin tüketicileri kesintisiz olarak besleyebilecekleri rakamsal değerler Şekil 4.10'da görülmektedir. Monokristal ve polikristal enerji üretim sistemlerine ait akülerin yaklaşık aynı sürelerde enerji sağlayabileceği görülürken ince film enerji üretim sisteminde bu sürenin daha az olduğu grafikten anlaşılmaktadır. Ocak ve Aralık aylarında her üç hibrit enerji üretim sisteminde ki aküler tüketicileri beslemek üzere kullanılmasından dolayı bu aylar içerisinde akülerden ek enerji elde edilemediği görülmektedir. Güneş panellerinden elde edilen enerjilerin artmasıyla doğru orantılı

olarak akülerin de şarj oranları artmakta ve böylelikle tüketicileri daha uzun süre besleyebileceği doluluk oranlarına kavuşmaktadırlar.

4.2.2 İkinci Algoritmanın Hibrit Enerji Üretim Sistemlerine Uygulanması

Hibrit enerji üretim sistemlerini kontrol eden birinci algoritmada tüketici grubu olarak sadece DC yükler mevcuttur. Enerji üretim sistemlerindeki güneş panellerinin ürettikleri enerji miktarları göz önüne alındığında yaz ayları içerisinde elde edilen enerji ile hem tüketicilerin enerji talebi karşılanarak akülerin şarj edilmesi sağlanmış ve ihtiyaç fazlası enerjinin ortaya çıktığı görülmüştür. İhtiyaç fazlası enerjinin kullanımının gerçekleştirilebilmesi için ikinci algoritma kapsamında DC tüketicilere ek olarak AC tüketicilerde enerji üretim sistemlerine dahil edilmiştir. İhtiyaç fazlası DC enerjinin AC enerjiye dönüşümü için inverter kullanılmıştır.

Temel olarak kontrol basamakları birinci algoritma ile aynı olup enerji üretim sistemlerinden elde edilen enerji DC tüketicileri besleyebilecek, akülerin şarj halinde olmasını sağlayıp ve aynı zamanda ihtiyaç fazlası enerji oluşturabilecek kadar fazla ise ihtiyaç fazlası enerji AC tüketiciye aktarılmıştır. AC tüketici yaz aylarında ihtiyaç fazlası enerjinin mevcut olduğu zamanlarda beslenilmiştir.

Çizelge 4.6'da ikinci algoritmanın monokristal enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.6 İkinci algoritmanın monokristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Güneş Paneli Enerji Üretimi (Wh)	Kayıp Enerji (Wh)	Güneş Panelinden Kullanılan Enerji (Wh)	DC Tüketicinin Harcadığı Enerji (Wh)	AC Tüketicinin Harcadığı Enerji (Wh)	Aküden Kullanılan Enerji (Wh)	Yakıt Pilinden Kullanılan Enerji (Wh)	Enerjinin Etkin Kullanım Oranı
Ocak	3941,8	1388,9	2552,8	4952	0	1020	1377,11	0,647
Şubat	5990,0	2076,7	3913,2	4450	0	817,0	0	0,653
Mart	7298,3	2540,5	4757,8	4780	0	22,1	0	0,651
Nisan	10183,7	3530,3	6653,3	4902	292,5	-1018,8	0	0,610
Mayıs	16180,2	5646,3	10533,9	4765	1899,5	-1007	0	0,474
Haziran	21916,7	7683,7	14232,9	4965	3299,18	-1005,7	0	0,423
Temmuz	24934,2	8757,7	16176,5	4790	4146,59	-1009	0	0,399
Ağustos	24540,9	8628,0	15912,8	4950	3977,12	-1015,7	0	0,405
Eylül	19215,5	6736,7	12478,7	4800	2663,5	-1011,2	0	0,441
Ekim	10158,4	3544,9	6613,5	4959	253,8	-1020,1	0	0,613
Kasım	7395,8	2563,9	4831,9	4720	0	-111,9	0	0,653
Aralık	4276,9	1467,6	2809,2	4925	0	1020	1095,74	0,656

Monokristal hibrit enerji üretim sistemine birinci algoritma uygulandığında enerji üretim sisteminin enerjinin etkin kullanım oranının en yüksek %60 değerlerinde yaz aylarında ise %23 değerlerine olduğu belirtilmişti. İkinci algoritmanın monokristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması ile yaz aylarında ki düşük etkin kullanım oranı %23 değerlerinden %40 seviyelerine artmış olduğu Çizelge 4.6’da verilen verilerden anlaşılmaktadır. Enerjinin etkin kullanım oranının bu derece artmasında ki faktör ihtiyaç fazlası enerjinin AC tüketici tarafından değerlendiriliyor olmasından kaynaklıdır. Çizelge 4.7’de ikinci algoritmanın polikristal enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.7 İkinci algoritmanın polikristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Güneş Paneli Enerji Üretimi (Wh)	Kayıp Enerji (Wh)	Güneş Panelinden Kullanılan Enerji (Wh)	DC Tüketicinin Harcadığı Enerji (Wh)	AC Tüketicinin Harcadığı Enerji (Wh)	Aküden Kullanılan Enerji (Wh)	Yakıt Pilinden Kullanılan Enerji (Wh)	Enerjinin Etkin Kullanım Oranı
Ocak	4203,5	1474,09	2729,45	4955	0	1020	1278	0,649
Şubat	6365,4	2181,56	4183,90	4472	0	221,57	0	0,657
Mart	7621,6	2534,73	5086,88	4790	0	-296,88	0	0,667
Nisan	10797,3	3683,78	7113,51	4945	459,403	-1020,1	0	0,595
Mayıs	17259,4	5997,06	11262,4	4765	2190,95	-1015,1	0	0,462
Haziran	23156,7	7939,45	15217,3	4925	3708,91	-1014,3	0	0,416
Temmuz	26244,7	8949,50	17295,2	4792	4593,29	-1014,8	0	0,396
Ağustos	26100	9086,66	17013,3	4925	4427,33	-1004,9	0	0,397
Eylül	19738,7	6396,96	13341,8	4732	3035,91	-1002,2	0	0,445
Ekim	10661,3	3590,37	7070,88	4927	449,552	-1005,5	0	0,599
Kasım	7687,6	2521,56	5166,12	4792	0	-374,12	0	0,672
Aralık	4492,4	1488,94	3003,55	4937	0	1020	991	0,668

Polikristal hibrit enerji üretim sisteminde enerji üretiminin ihtiyaç duyulandan daha fazla olmasından kaynaklı olarak birinci algoritmada enerjinin etkin ve verimli kullanımı açısından istenilen sonuçlar elde edilememiştir. İkinci algoritmanın polikristal enerji sistemine uygulanması sonucu yaz aylarında ki düşük olan enerjinin etkin kullanım oranı %21 değerlerinden %40 değerlerine arttırılarak sistemin bir önceki algoritmaya göre daha etkin ve verimli kullanımı gerçekleştirilmiştir.

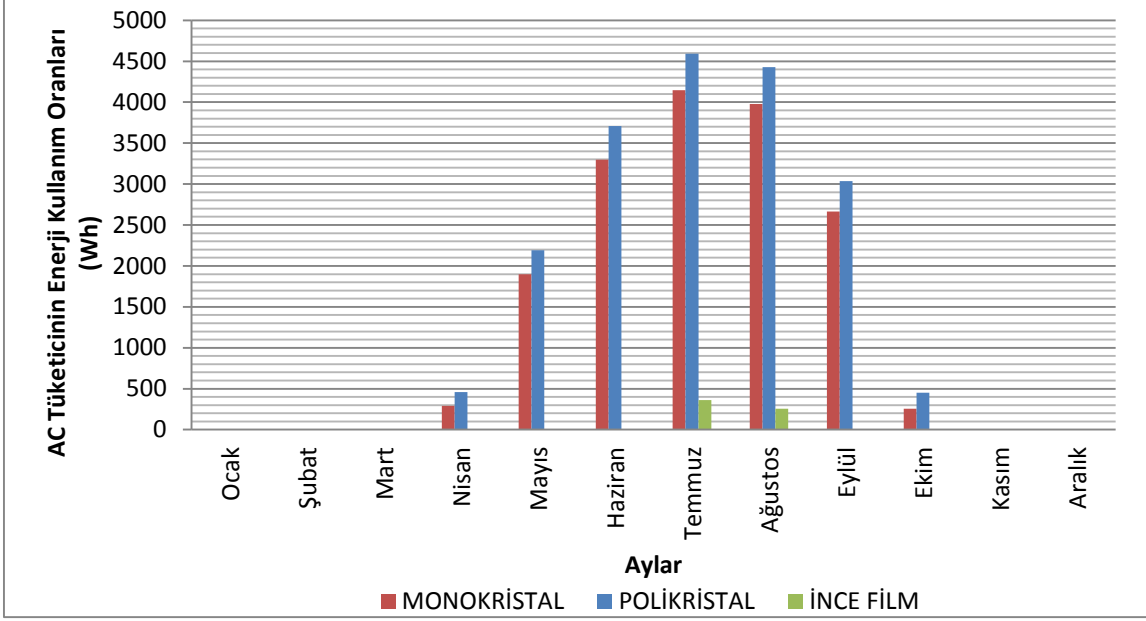
Çizelge 4.8’de ikinci algoritmanın ince film enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.8 İkinci algoritmanın ince film hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Güneş Paneli Enerji Üretimi (Wh)	Kayıp Enerji (Wh)	Güneş Panelinden Kullanılan Enerji (Wh)	DC Tüketicinin Harcadığı Enerji (Wh)	AC Tüketicinin Harcadığı Enerji (Wh)	Aküden Kullanılan Enerji (Wh)	Yakıt Pilinden Kullanılan Enerji (Wh)	Enerjinin Etkin Kullanım Oranı
Ocak	3976,91	2917,58	1050,02	4965	0	1020	2894,98	0,264
Şubat	6096,1	4472,28	1600,25	4425	0	1020	1804,75	0,262
Mart	7411,78	5437,5	2024,58	4768	0	1020	1723,42	0,273
Nisan	10364,6	7603,8	2800,14	4936	0	1020	1115,86	0,270
Mayıs	16409,7	12038,6	4442,36	4765	0	322,64	0	0,270
Haziran	22172,1	16266,1	5978,05	4921	0	-1057,1	0	0,269
Temmuz	25199,8	18487,3	6712,48	4791	360,592	-1019,1	0	0,244
Ağustos	24789	18186	6603,07	4940	257,228	-1001,6	0	0,250
Eylül	19439,4	14261,3	5235,24	4769	0	-466,24	0	0,269
Ekim	10302,5	7558,24	2700,2	4943	0	1020	1222,8	0,262
Kasım	7527,23	5522,19	2001,58	4798	0	1020	1776,42	0,265
Aralık	4376,28	3210,57	1165,02	4937	0	1020	2751,98	0,266

Birinci algoritmanın ince film enerji üretim sistemine uygulanması ile sadece Temmuz ve Ağustos aylarında ihtiyaç fazlası enerjinin ortaya çıktığı önceki alınan verilerden bilinmektedir. Bunun sonucunda ikinci algoritmanın ince film hibrit enerji üretim sistemine uygulanması ile sadece bu iki ayın enerji etkin kullanım oranlarını değiştirmiş olduğu verilen Çizelge 4.8'den anlaşılmaktadır. İhtiyaç fazlası enerji üretiminin az olmasından kaynaklı olarak AC tüketicinin de kullanmış olduğu enerji miktarı bu oranda az miktarda kalmıştır. Birinci algoritmanın uygulandığı durumda kış aylarında verim %26 seviyelerinde iken yaz ayında bu oran %23 seviyesine kadar düşmektedir. İkinci algoritmanın uygulanması sonucunda yaz aylarında ki en düşük etkin kullanım oranı yaklaşık %25 seviyelerine kadar yükselmiştir.

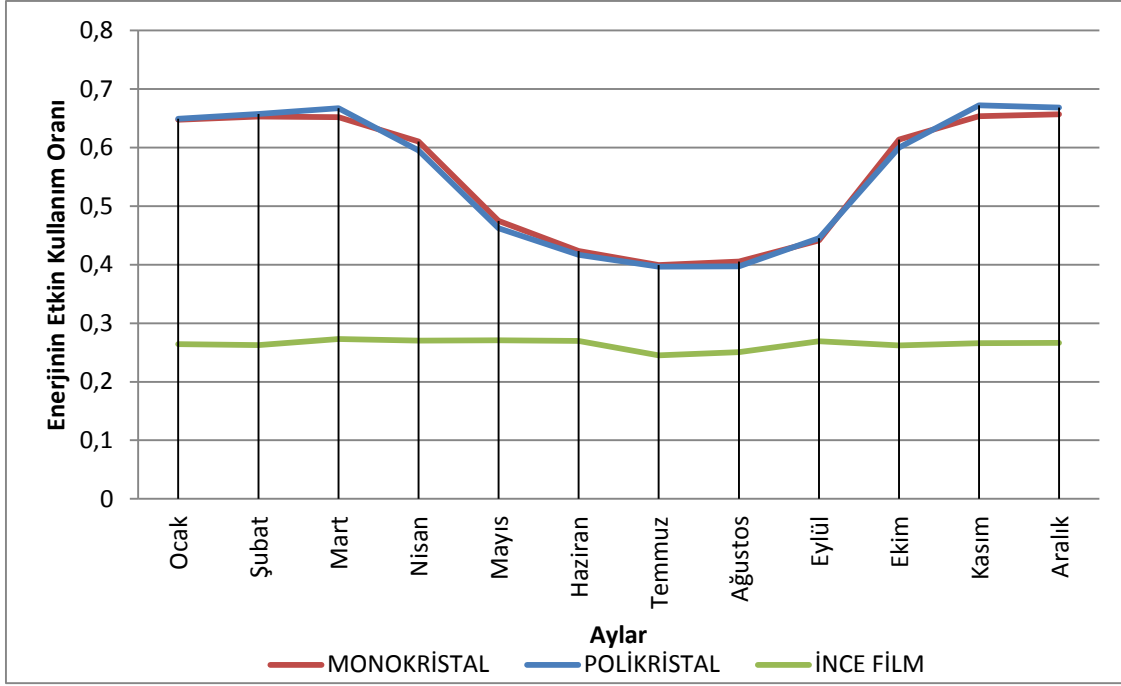
İkinci algoritmanın üç hibrit enerji üretim sistemi üzerindeki etkisine bakılacak olunursa en yüksek enerjinin etkin kullanım oranı artışının %19 ile polikristal hibrit enerji üretim sisteminde, ikinci olarak %17 ile monokristal hibrit enerji üretim sisteminde ve son olarak %2 ile de ince film hibrit enerji üretim sisteminde olduğu elde edilen veriler sonucunda görülmektedir. Şekil 4.11 üç farklı enerji üretim sistemine bağlanan AC tüketicinin aylık olarak kullandığı enerji miktarı gösterilmektedir.



Şekil 4.11 AC tüketicinin hibrit enerji üretim sistemlerinde kullanmış olduğu enerji miktarı.

İkinci algoritmanın uygulanması ile ihtiyaç fazlası enerjinin bir kısmı AC tüketicilerin enerjilendirilmesi için kullanılmıştır. AC tüketicilerin enerji kullanım miktarları hibrit enerji üretim sistemlerinde üretilen ihtiyaç fazlası enerji miktarlarına göre değişmektedir. AC tüketicinin en fazla enerji kullanımı polikristal enerji üretim sisteminde gerçekleşmiş olup en az enerji kullanımı ise ince film enerji üretim sisteminde gerçekleşmiştir. Monokristal hibrit enerji üretim sisteminde ki ihtiyaç fazlası enerji üretimi polikristal hibrit enerji üretim sisteminin çok az altında olduğundan dolayı monokristal enerji üretim sistemine bağlı olan AC tüketicinin enerji kullanımı da polikristal enerji üretim sistemine bağlı olan AC tüketicinin bir miktar altında kalmıştır.

AC tüketici tarafından en fazla enerji kullanımının Temmuz ayı içerisinde 4500Wh değerlerinde polikristal enerji üretim sisteminde en az enerji kullanımının ise Ağustos ayında 250Wh seviyelerinde ince film enerji üretim sisteminde gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4.12 Hibrit enerji üretim sistemlerine ikinci algoritmanın uygulanması sonucu enerjinin etkin kullanım oranlarının aylara göre değişimi.

Hibrit enerji üretim sistemlerine ikinci algoritmanın uygulanması sonucu enerjinin etkin kullanım oranlarının aylara göre değişimi Şekil 4.12’de verilmiştir. Hibrit enerji üretim sistemlerine uygulanan algoritmalar neticesinde sistem enerjinin etkin kullanım oranının değiştiği elde edilen verilerle görülmüştür. Sistemlerde enerjinin etkin kullanım oranının artırılması için ikinci algoritma uygulanmıştır. Enerji üretim sistemlerinin yaz aylarında ki düşük olan enerjinin etkin kullanım oranının ikinci algoritmanın uygulanması ile artmış olduğu görülmektedir. Bu artışın enerji sistemlerine dahil edilen AC tüketici tarafından gerçekleştiği elde edilen verilerden anlaşılmaktadır. Monokristal ve polikristal enerji üretim sistemlerinde ki enerjinin etkin kullanım oranlarının artışı yaklaşık olarak aynı değerlerde olup en az artış ise ince film enerji üretim sisteminde gerçekleşmiştir.

4.2.3 Üçüncü Algoritmanın Hibrit Enerji Üretim Sistemlerine Uygulanması

Uygulanan algoritmalarda temel amaç enerji üretim sistemlerinde elde edilen enerjinin en etkin ve verimli kullanılmasına yönelik kontrol işlemleri yapmak olduğu için verimlilik değerlerinin artırılmasına çalışılmaktadır. Tasarlanan üçüncü algoritma ile üretilen enerjiden mümkün olduğunca daha fazla yararlanılarak mevcut enerjinin etkin kullanım oranının daha üst seviyelere çıkarılması amaçlanmaktadır.

Algoritmayı oluşturan temel kontrol mantığı aşağıda ki gibidir:

Akünün doluluk oranının %90 değerinin üstünde olması durumunda hibrit enerji üretim sisteminden üretilen bütün enerji AC tüketiciyi beslemektedir. DC tüketici ise akü tarafından beslenmektedir. Akünün doluluk oranının %90'nın altında düştüğü durumda ise üretilen tüm enerji ile akü şarj edilerek ve tüketicinin ihtiyacı olan enerji aküden karşılanmaktadır.

Çizelge 4.9'da üçüncü algoritmanın monokristal enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.9 Üçüncü algoritmanın monokristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Güneş Paneli Enerji Üretimi (Wh)	Kayıp Enerji (Wh)	Güneş Panelinden Kullanılan Enerji (Wh)	DC Tüketicinin Harcadığı Enerji (Wh)	AC Tüketicinin Harcadığı Enerji (Wh)	Aküden Kullanılan Enerji (Wh)	Yakıt Pilinden Kullanılan Enerji (Wh)	Enerjinin Etkin Kullanım Oranı
Ocak	3941,83	1388,94	2552,89	4952	0	1020	1377,11	0,647
Şubat	5990,01	2076,74	3913,27	4450	0	817,03	0	0,653
Mart	7298,336	2540,5	4757,84	4780	0	22,1637	0	0,651
Nisan	10183,73	3530,36	6653,37	4902	548,525	-1018,8	0	0,635
Mayıs	16180,21	5646,33	10533,9	4765	3561,65	-1007	0	0,577
Haziran	21916,68	7683,73	14232,9	4965	6185,96	-1005,7	0	0,555
Temmuz	24934,18	8757,7	16176,5	4790	7774,86	-1009	0	0,544
Ağustos	24540,85	8628,05	15912,8	4950	7457,1	-1015,7	0	0,547
Eylül	19215,46	6736,71	12478,7	4800	4994,06	-1011,2	0	0,562
Ekim	10158,45	3544,95	6613,5	4959	475,874	-1020,1	0	0,635
Kasım	7395,84	2563,89	4831,95	4720	0	-111,95	0	0,653
Aralık	4276,924	1467,66	2809,26	4925	0	1020	1095,74	0,656

Birinci algoritmanın monokristal enerji üretim sistemine uygulanması ile sistemin enerjinin etkin kullanım oranı kış aylarında %23 seviyelerinden ikinci algoritmanın uygulanması ile %40 seviyelerine çıkmıştı. Üçüncü algoritmanın uygulanması ile bu değer %54 değerlerine arttığı elde edilen veriler doğrultusunda Çizelge 4.9'dan görülmektedir.

Çizelge 4.10'da üçüncü algoritmanın polikristal enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.10 Üçüncü algoritmanın polikristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Güneş Paneli Enerji Üretimi (Wh)	Kayıp Enerji (Wh)	Güneş Panelinden Kullanılan Enerji (Wh)	DC Tüketicinin Harcadığı Enerji (Wh)	AC Tüketicinin Harcadığı Enerji (Wh)	Aküden Kullanılan Enerji (Wh)	Yakıt Pilinden Kullanılan Enerji (Wh)	Enerjinin Etkin Kullanım Oranı
Ocak	4203,539	1474,09	2729,45	4955	0	1020	1278	0,649
Şubat	6365,459	2181,56	4183,9	4472	0	221,57	0	0,657
Mart	7621,614	2534,73	5086,88	4790	0	-296,88	0	0,667
Nisan	10797,29	3683,78	7113,51	4945	861,38	-1020,1	0	0,632
Mayıs	17259,44	5997,06	11262,4	4765	4108,04	-1015,1	0	0,573
Haziran	23156,73	7939,45	15217,3	4925	6954,21	-1014,3	0	0,557
Temmuz	26244,72	8949,5	17295,2	4792	8612,42	-1014,8	0	0,549
Ağustos	26099,97	9086,66	17013,3	4925	8301,24	-1004,9	0	0,545
Eylül	19738,72	6396,96	13341,8	4732	5692,32	-1002,2	0	0,579
Ekim	10661,25	3590,37	7070,88	4927	842,911	-1005,5	0	0,636
Kasım	7687,68	2521,56	5166,12	4792	0	-374,12	0	0,672
Aralık	4492,488	1488,94	3003,55	4937	0	1020	991	0,668

Üçüncü algoritmanın uygulanması ile birlikte polikristal enerji üretim sisteminin yaz ayındaki en düşük enerjinin etkin kullanım oranı %22'den %54 seviyesine yükseldiği görülmektedir. Bu oran bir önceki algoritmada %40 seviyelerinde kalmıştır. Bu algoritma ile enerji üretim sisteminin yaz aylarında ki verimi büyük ölçüde artırılarak sistemin etkin ve verimli kullanımı sağlanmıştır.

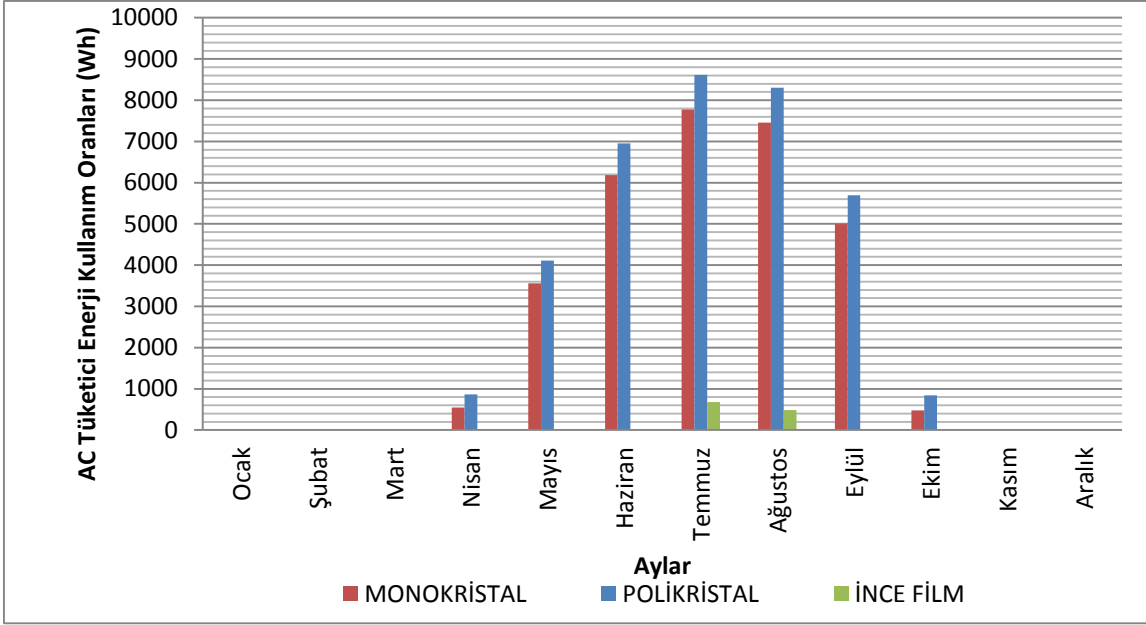
Çizelge 4.11'de üçüncü algoritmanın ince film enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.11 Üçüncü algoritmanın ince film hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Güneş Paneli Enerji Üretimi (Wh)	Kayıp Enerji (Wh)	Güneş Panelinden Kullanılan Enerji (Wh)	DC Tüketicinin Harcadığı Enerji (Wh)	AC Tüketicinin Harcadığı Enerji (Wh)	Aküden Kullanılan Enerji (Wh)	Yakıt Pilinden Kullanılan Enerji (Wh)	Enerjinin Etkin Kullanım Oranı
Ocak	3976,91	2917,576	1050,02	4965	0	1020	2894,98	0,264
Şubat	6096,1	4472,278	1600,25	4425	0	1020	1804,75	0,262
Mart	7411,78	5437,495	2024,58	4768	0	1020	1723,42	0,273
Nisan	10364,6	7603,804	2800,14	4936	0	1020	1115,86	0,270
Mayıs	16409,7	12038,64	4442,36	4765	0	322,64	0	0,270
Haziran	22172,1	16266,13	5978,05	4921	0	-1057,1	0	0,269
Temmuz	25199,8	18487,29	6712,48	4791	676,111	-1019,1	0	0,257
Ağustos	24789	18185,96	6603,07	4940	482,303	-1001,6	0	0,259
Eylül	19439,4	14261,34	5235,24	4769	0	-466,24	0	0,269
Ekim	10302,5	7558,24	2700,2	4943	0	1020	1222,8	0,262
Kasım	7527,23	5522,195	2001,58	4798	0	1020	1776,42	0,265
Aralık	4376,28	3210,568	1165,02	4937	0	1020	2751,98	0,266

İnce film hibrit enerji üretim sistemlerinde ki ihtiyaç fazlası enerji miktarının az olmasından kaynaklı olarak üçüncü algoritmanın uygulanması sonucu enerjinin etkin kullanım oranında ki iyileşme yaklaşık %2 seviyelerinde kalmıştır.

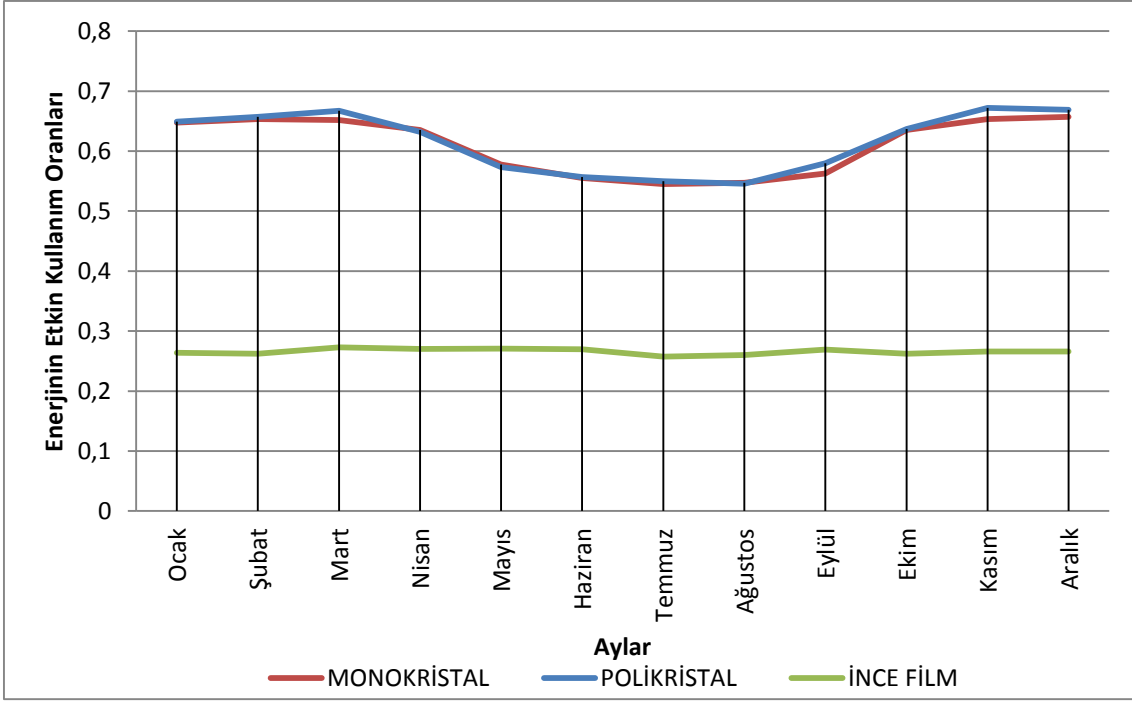
Üçüncü algoritmanın enerji üretim sistemlerine uygulanması ile birlikte ihtiyaç fazlası olan enerjinin daha fazla tüketime yansıtılmasıyla enerjinin etkin kullanım oranında artış gözlenmiştir. En fazla oran artışı polikristal enerji üretim grubunda gerçekleşirken ikinci en fazla artış monokristal enerji üretim sisteminde, en düşük enerjinin etkin kullanım oran artışı ise ince film enerji üretim sisteminde gerçekleşmiştir. Şekil 4.13 üç farklı güneş panelinden aylık AC yükler için kullanılan enerji miktarı gösterilmektedir.



Şekil 4.13 Hibrit enerji üretim sistemlerine üçüncü algoritmanın uygulanması sonucu AC tüketicinin kullandığı enerji miktarı.

Üçüncü algoritmanın enerji üretim sistemlerine uygulanması ile yaz aylarında güneş panelleri tarafından üretilen ihtiyaç fazlası enerjinin büyük bir kısmının AC tüketicilerde kullanılması sağlanmıştır. Üçüncü algoritmanın enerji üretim sistemlerine uygulanması sonucu ihtiyaç fazlası enerjinin en fazla kullanımı polikristal enerji üretim sisteminde gerçekleşmiş olup en az kullanımı da ince film enerji üretim sisteminde gerçekleşmiştir. Monokristal enerji üretim sisteminde ki ihtiyaç fazlası enerji kullanım miktarı polikristal enerji üretim sistemine göre bir miktar altında kalarak gerçekleşmiştir.

Güneş panellerinin enerji üretiminin ve aynı zamanda ihtiyaç fazlası enerjinin en çok olduğu Temmuz ayında polikristal güneş panelinin AC yükte ihtiyaç fazlası enerji kullanımı yaklaşık olarak 8600Wh ile en yüksek seviyede olmuştur. AC yükte en düşük ihtiyaç fazlası enerji kullanımı yaklaşık olarak 700Wh ile ince film enerji üretim sisteminde meydana gelmiştir. Monokristal enerji üretim sisteminde AC yükte ihtiyaç fazlası enerji kullanımı yaklaşık olarak 8000Wh ile polikristal enerji üretim sisteminin bir miktar altında gerçekleşmiştir. Şekil 4.14’de üç hibrit enerji üretim sisteminin aylık enerji etkin kullanım oranları gösterilmektedir.



Şekil 4.14 Hibrit enerji üretim sistemlerinin aylık enerjinin etkin kullanım oranları.

Üçüncü algoritmanın hibrit enerji üretim sistemlerine uygulanması sonucu sistemlerin enerjiiyi etkin kullanım oranı artmış olduğu görülmektedir. En yüksek artış polikristal enerji üretim sisteminde gerçekleşmiştir. Polikristal enerji üretim sistemine birinci algoritmanın uygulandığı durumda %22 olan enerjinin etkin kullanım oran değeri %54'e yükselmiştir. En düşük enerjinin etkin kullanım oran artışı ihtiyaç fazlası enerji kullanımının en düşük seviyede olduğu ince film enerji üretim sisteminde gerçekleşmiştir. İnce film enerji üretim sisteminde birinci algoritmanın uygulanması sonucu enerjinin etkin kullanım oranı %23'de iken üçüncü algoritmanın uygulanması sonucu %26 ya yükselmiştir. Monokristal enerji üretim sisteminin enerjinin etkin kullanım oran değerleri incelendiğinde birinci algoritmanın uygulanması sonucu %23 iken üçüncü algoritma uygulandığında bu değer %54 olmaktadır.

Çizelge 4.12'de monokristal enerji üretim sistemine üç algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen enerjinin etkin kullanım oranları gösterilmektedir.

Çizelge 4.12 Monokristal hibrit enerji üretim sistemine farklı algoritmaların uygulanması sonucu elde edilen sistem enerjilerinin etkin kullanım oranlarının karşılaştırılması.

Aylar	I. Algoritama	II. Algoritama	III. Algoritama
Ocak	0,630	0,647	0,647
Şubat	0,631	0,653	0,653
Mart	0,640	0,651	0,651
Nisan	0,581	0,610	0,635
Mayıs	0,357	0,474	0,577
Haziran	0,273	0,423	0,555
Temmuz	0,230	0,399	0,544
Ağustos	0,243	0,405	0,547
Eylül	0,302	0,441	0,562
Ekim	0,588	0,613	0,635
Kasım	0,640	0,653	0,653
Aralık	0,640	0,656	0,656
Ortalama	0,479	0,552	0,610

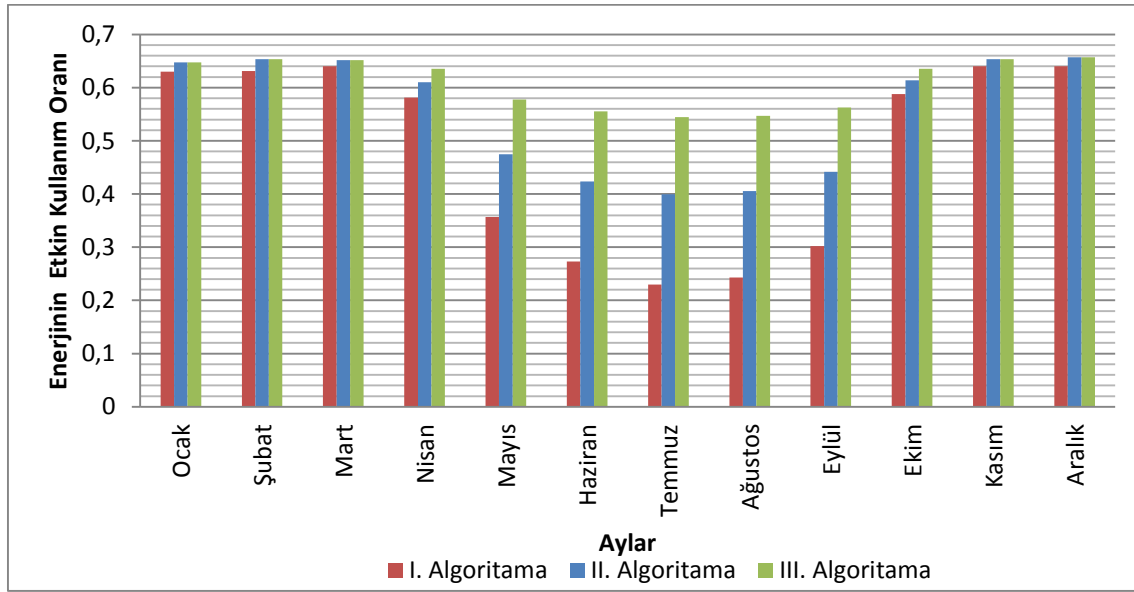
Monokristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanan üç ayrı algoritma sonucu elde edilen enerjinin etkin kullanım değerleri Çizelge 4.12’de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde birinci algoritmadan üçüncü algoritmaya doğru ortalama etkin kullanım oranının arttığı görülmektedir. Bu değer artışının nedenlerine değinilecek olunursa;

Birinci algoritmada hibrit enerji üretim sistemine tüketici olarak sadece DC yük bağlanmıştır. Monokristal tip güneş panelinden elde edilen enerji sadece DC tüketicinin beslenmesi amaçlı kullanılmaktadır. Kış aylarında ihtiyaç fazlası enerji miktarının az olmasından dolayı enerjinin etkin kullanım oranının yüksek olduğu görülmektedir. Yaz aylarına doğru geçildikçe sistemdeki enerjinin etkin kullanım oranı %20’li değerlere kadar düştüğü görülmektedir. Bu düşüşün temel nedeni yaz aylarında ihtiyaç fazlası enerji üretiminin fazla olmasından kaynaklı olarak ve tüketici olarak da sadece DC tüketici türünün bulunmasından dolayı elde edilen enerjiden etkin ve verimli bir şekilde yararlanılamamasıdır.

İkinci algoritmada hibrit enerji üretim sistemine, DC tüketicinin yanında AC tüketici dahil edilmiştir. Hibrit enerji üretim sisteminden elde edilen ihtiyaç fazlası enerji AC tüketicide kullanılmıştır. Monokristal enerji üretim sisteminde kış aylarında ihtiyaç fazlası enerji üretilmediğinden kış aylarında ki enerjinin etkin kullanım oranlarında bir

değişiklik olmamıştır. İhtiyaç fazlası enerjinin en çok üretildiği yaz aylarında mevcut enerjinin AC tüketicinin enerji talebinin karşılanmasıyla enerjinin etkin kullanım oranı yükselmiştir. Birinci algoritmada Temmuz ayında %23 olan bu oran ikinci algoritmanın uygulanması ile %40'a kadar yükselmiştir. Monokristal hibrit enerji üretim sisteminden elde edilen enerjiyi daha etkin ve verimli kullanmak üzere üçüncü algoritma uygulanmıştır.

Üçüncü algoritmanın enerji üretim sistemine uygulanması ile sistemin yaz aylarındaki enerjinin etkin kullanım oranı daha da yükselmiştir. Birinci algoritmanın uygulanması ile Temmuz ayındaki %23'lük enerjiyi etkin kullanım oranı üçüncü algoritmanın uygulanmasıyla birlikte %54 seviyesine kadar yükselmiştir. Şekil 4.15'de monokristal hibrit enerji üretim sistemine üç algoritmanın uygulanması sonucu aylık olarak elde edilen oranlar gösterilmektedir.



Şekil 4.15 Monokristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanan algoritmaların enerjinin etkin kullanım oranlarının karşılaştırması.

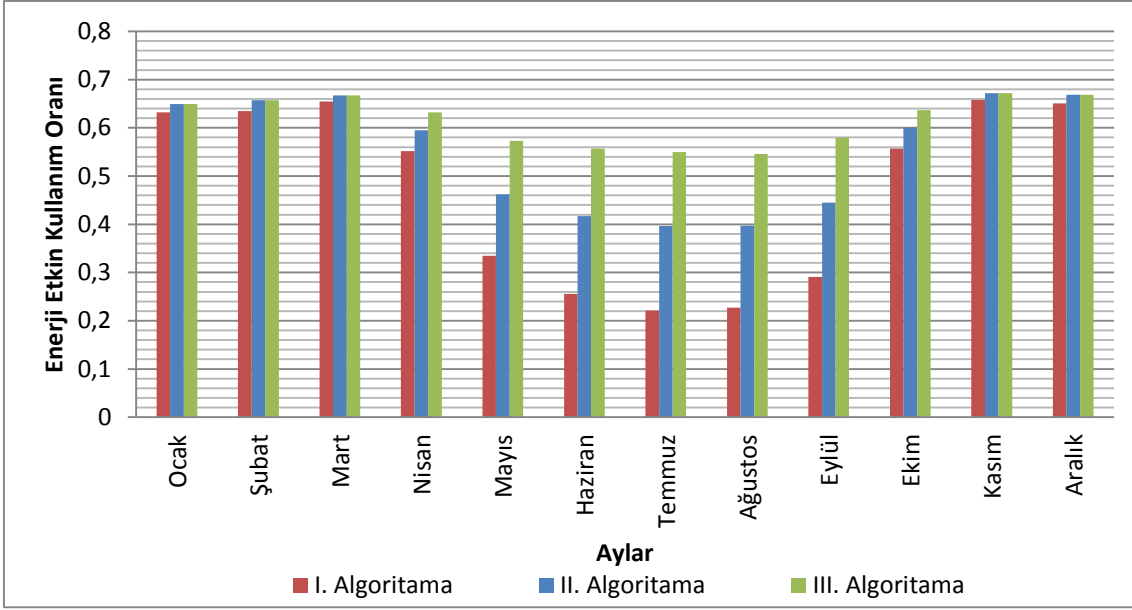
Şekil 4.15'den de görüldüğü üzere karşılaştırmalı olarak üç algoritmaya ait enerjinin etkin kullanım oranları görülmektedir. Enerjinin etkin kullanım oranının en yüksek üçüncü algoritmanın enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edildiği grafikten anlaşılmaktadır. Uygulanan değişik algoritmalar ile kış aylarında düşük olan enerjinin etkin kullanım oranı iyileştirilerek sistemin genel enerji etkin kullanım oranında artış sağlanmıştır.

Çizelge 4.13 Polikristal hibrit enerji üretim sistemine farklı algoritmaların uygulanması sonucu elde edilen enerjinin etkin kullanım oranlarının karşılaştırılması.

Aylar	I. Algoritama	II. Algoritama	III. Algoritama
Ocak	0,632	0,649	0,649
Şubat	0,635	0,657	0,657
Mart	0,655	0,667	0,667
Nisan	0,552	0,595	0,632
Mayıs	0,335	0,462	0,573
Haziran	0,256	0,416	0,557
Temmuz	0,221	0,396	0,549
Ağustos	0,227	0,397	0,545
Eylül	0,291	0,445	0,579
Ekim	0,557	0,599	0,636
Kasım	0,658	0,672	0,672
Aralık	0,651	0,668	0,668
Ortalama	0,4725	0,552	0,615

Farklı algoritmaların polikristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanması ile birlikte enerji üretim sisteminin enerjinin etkin kullanım oran değerlerinin değiştiği görülmektedir. Birinci algoritmadan üçüncü algoritmaya doğru elde edilen sonuçlar incelendiğinde bu oranın en yüksek olduğu algoritmanın üçüncü algoritma olduğu Çizelge 4.13'den anlaşılmaktadır.

Birinci algoritmanın uygulanması ile birlikte polikristal enerji üretim sisteminin yaz aylarında ki etkin kullanım oranının oldukça düşük olduğu görülmektedir. İkinci ve üçüncü algoritmaların sırasıyla uygulanması ile birlikte yaz aylarında ki düşük etkin kullanım oranları arttırılmıştır. Üçüncü algoritmada en yüksek enerji etkin kullanım oranlarına ulaşılmıştır. Oranların bu ölçüde artmasını etkileyen en önemli faktör ise enerji üretim sistemi tarafından elde edilen enerjiden ortaya çıkan ihtiyaç fazlası enerjinin AC tüketicinin beslenmesi için kullanılmasıdır. İhtiyaç fazlası enerjinin AC tüketicisi tarafından kullanımının arttırılması ile sistemdeki enerjinin etkin kullanımının o ölçüde arttığı görülmektedir.



Şekil 4.16 Polikristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanan algoritmaların enerji etkin kullanım oranlarının karşılaştırması.

Polikristal hibrit enerji üretim sistemine uygulanan algoritmaların enerji etkin kullanım oranları incelendiğinde birinci algoritmadan üçüncü algoritmaya doğru oranlarda artış olduğu Şekil 4.16'dan görülmektedir. En yüksek enerji etkin kullanım oranı üçüncü algoritmanın polikristal enerji üretim sistemine uygulanması ile elde edilmiştir. Enerji etkin kullanım oranında ki artışı etkileyen en büyük etken ise ihtiyaç fazlası enerjinin daha fazla kullanılmasıdır.

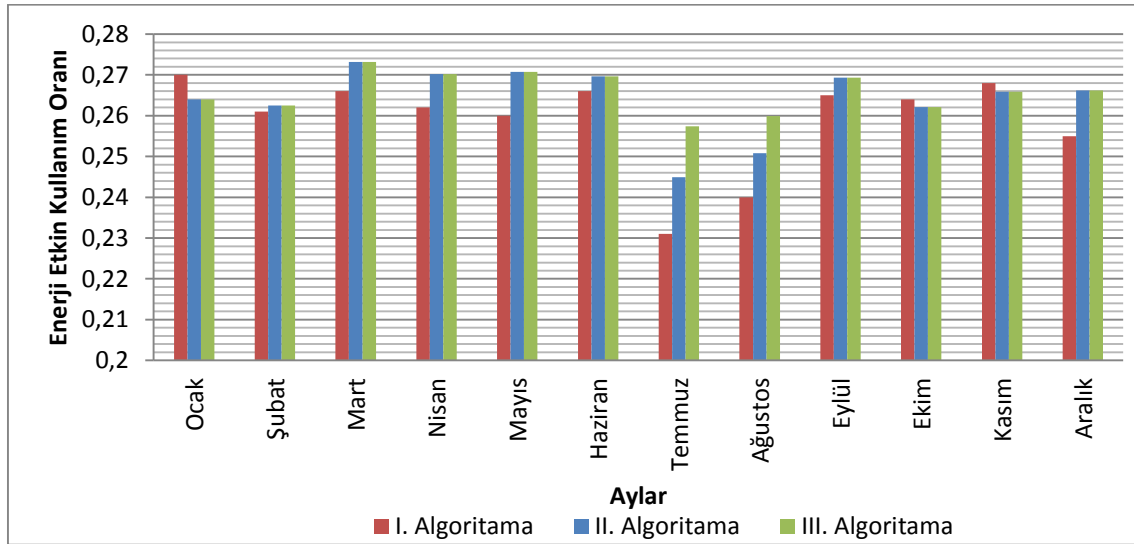
Birinci algoritmanın enerji üretim sistemine uygulanması ile yaz aylarında ihtiyaç fazlası enerji miktarının fazla olmasından dolayı enerji etkin kullanım değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. İkinci algoritmanda AC tüketicinin de dahil edilmesi ile birlikte düşük etkin kullanım oranları bir miktar iyileştirilmiştir. Temmuz ayında ki oranlara değerlerine bakılacak olunursa birinci algoritmanın uygulanması sonucunda %22 olan enerjinin etkin kullanım oranı ikinci algoritma ile %39 değerine, üçüncü algoritmanın uygulanmasıyla %55 değerine çıkmıştır.

Çizelge 4.14'de ince film enerji üretim sistemine üç algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen enerjinin etkin kullanım oranları gösterilmektedir.

Çizelge 4.14 İnce film hibrit enerji üretim sistemine farklı algoritmaların uygulanması sonucu elde edilen enerji etkin kullanım oranlarının karşılaştırılması.

Aylar	I. Algoritama	II. Algoritama	III. Algoritama
Ocak	0,272	0,264	0,264
Şubat	0,261	0,262	0,262
Mart	0,266	0,273	0,273
Nisan	0,262	0,270	0,270
Mayıs	0,261	0,270	0,270
Haziran	0,266	0,269	0,269
Temmuz	0,231	0,244	0,257
Ağustos	0,246	0,250	0,259
Eylül	0,265	0,269	0,269
Ekim	0,264	0,262	0,262
Kasım	0,268	0,265	0,265
Aralık	0,255	0,266	0,266
Ortalama	0,259	0,264	0,265

İnce film hibrit enerji üretim sistemine uygulanan algoritmaların enerji etkin kullanım oranına önemli derecede etkisi olmamıştır. Artış miktarının az olmasının temel nedeni ise sistemden elde edilen ihtiyaç fazlası enerji miktarının düşük seviyede olmasındandır.



Şekil 4.17 İnce film hibrit enerji üretim sistemine uygulanan algoritmaların enerji etkin kullanım oranlarının karşılaştırması.

İnce film enerji üretim sistemine algoritmaların uygulanması sonucu enerjinin etkin kullanım oranları sadece Temmuz ve Ağustos aylarında değişmiş olduğu Şekil 4.17’de

görülmektedir. En yüksek oran artışı %2 ile üçüncü algoritmada gerçekleşmiştir. İkinci algoritmada etkin kullanım oran artışı yaklaşık olarak %1 seviyesinde kalmıştır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Hibrit güç üretim sistemlerinde enerji kaynaklarından elde edilen enerji kadar mevcut enerjinin de etkin ve verimli bir şekilde kullanımı enerji üretimi kadar önemlidir. Enerjinin etkin kullanım oranını olumsuz etkileyen etkenler kayıp başlığı altında toplanabilir. Enerjiden en fazla verimin alınabilmesi için tüketicinin talep ettiği enerji miktarının belirlenmesi ve kayıp oranlarının en düşük seviyeye çekilmesi gerekmektedir.

Kurulumu gerçekleştirilen sistemde akım ve gerilim sensörlerinden elde edilen veriler ile enerji üretim sistemlerini oluşturan bileşenlerin güç değerleri belirlenmiştir. Hibrit enerji üretim sistemlerinin enerji akış kontrolü ve veri alma işlemleri mikroişlemci tabanlı Arduino Mega 2560 ile yapılmıştır. Hibrit enerji üretim sisteminden elde edilen sensör çıkışları tasarlanan sensör kartları aracılığı ile mikroişlemcinin analog girişlerine uygulanmıştır. Analog girişlerden elde edilen veriler seri haberleşme protokolü kullanılarak USB kablosu ile mikroişlemciden bilgisayara aktarılmıştır. Alınan veriler Labview programı tarafından oluşturulan ara yüz ile bilgisayarda görüntülenerek kaydedilmiştir. Enerji akış kontrolünde kullanılan röle kartı Labview ortamında oluşturulan ara yüz ile manuel kontrol edilmiştir. Enerji üretim sistemlerinden elde edilen enerjinin etkin ve verimli kullanımına yönelik tasarlanan üç farklı algoritma oluşturulan kontrol sistemine uygulanmıştır.

Kurulumu gerçekleştirilen hibrit enerji üretim sistemi ve enerji akış kontrol sistemi ile hibrit enerji üretim sistemlerini oluşturan monokristal, polikristal ve ince film tipi güneş panellerinin yıllık üretilen toplam enerjideki payları belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda enerji üretiminde ki en fazla pay polikristal güneş paneline ait olurken en az pay ise ince film güneş paneline ait olmuştur. Elde edilen toplam enerji miktarında monokristal güneş panelinin enerji üretiminde ikinci sırada yer almıştır. Yaz aylarında güneşlenme süresinin ve ışınım miktarının artması ile elde edilen enerjinin en yüksek seviyede elde edildiği görülmüştür.

Yapılan çalışma kapsamında, üç farklı algoritmanın hibrit enerji üretim sistemine uygulanması sonucu elde edilen enerjinin etkin kullanım oranları ve uygulanan algoritmalarından elde edilen verilerin birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Akülerin doluluk oranlarına göre tüketicilerin kesintisiz olarak beslenebilecekleri süreler

hesaplanmıştır. Üç hibrit enerji üretim sistemi için elde edilen bu sonuçlar karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir.

Birinci algoritma hibrit enerji üretim sistemlerine uygulanırken enerji üretim sistemleri sadece DC tüketici grubunun enerji talebini karşılamıştır. Kış aylarında elde edilen enerjinin az olmasından kaynaklı olarak tüketicinin ihtiyacı ilk olarak güneş panelinden, enerjinin yetmediği durumlarda ise akü ve yakıt pili sistemlerinden karşılanmıştır. Böylelikle mevcut enerjinin tamamının kullanımından dolayı enerjinin etkin kullanım oranları kış aylarında yüksek değerlerde çıkmıştır. Yaz aylarında ise hibrit enerji üretim sisteminden elde edilen enerjinin kış aylarına oranla oldukça fazla olmasından dolayı ihtiyaç fazlası enerji miktarı artmıştır. Bu enerji artışı sistemlerin enerji etkin kullanım oranlarını ters orantılı bir biçimde etkileyerek yaz aylarında bu oranların düşük olmasına neden olmuştur. Hibrit enerji üretim sistemlerinin senelik ortalama enerjinin etkin kullanım oranları incelenecek olunursa polikristal ve monokristal enerji üretim sistemlerinin yaklaşık %47, ince film enerji üretim sisteminde yaklaşık %26 olduğu elde edilen verilerden anlaşılmıştır. Polikristal ve monokristal enerji üretim sisteminde kış aylarında elde edilen ortalama enerjinin etkin kullanım oranı %60 seviyelerinde iken bu oran yaz aylarında %22 değerine düşmektedir. İnce film enerji üretim sisteminde ise kış aylarında %27 değerlerinden yaz aylarında %23 değerlerine düşmektedir.

İkinci algoritma hibrit enerji üretim sistemlerine uygulanmadan önce sisteme AC tüketici ve inverter dahil edilmiştir. Hibrit enerji üretim sistemlerinde oluşan ihtiyaç fazlası enerjinin AC tüketicinin enerji talebini karşılaması sağlanarak yaz aylarında enerjinin etkin kullanım oranı birinci algoritmaya göre arttırılmıştır. Kış aylarında ise üretilen enerji miktarı tüketicinin talep ettiği enerji miktarından düşük olduğu için enerjinin etkin kullanım oranında bir değişiklik olmamıştır. Yaz aylarında polikristal enerji üretim sisteminde yaklaşık %22 olan bu oran değeri yaklaşık %39'a, monokristal enerji üretim sisteminde yaklaşık %23'den %39'a ince film enerji üretim sisteminde ise yaklaşık %23'den %24 değerine yükselmiştir. Polikristal ve monokristal hibrit enerji üretim sistemlerinde etkin kullanım oranı artışının fazla olmasının nedeninin ihtiyaç fazlası enerjinin AC tüketici aracılığı ile daha fazla kullanılmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Enerjinin etkin kullanım oranı değerlerinde ki en az artış ince film enerji üretim sisteminde olmuştur. Bu durumun nedeninin ise yıl içerisinde sadece temmuz ve

ağustos aylarında ihtiyaç fazlası enerjinin ortaya çıkma durumundan kaynaklandığı yapılan analizler sonucunda anlaşılmıştır.

Hibrit enerji üretim sistemlerine uygulanan üçüncü algoritmanın temel prensibi üretilen enerji eğer tüketicinin ihtiyacı olan enerjiden fazla ise ve akünün şarj oranı da %90'dan fazlaysa DC tüketicinin enerji ihtiyacı aküden karşılanmaktadır. Güneş panellerinden elde edilen enerji DC-AC inverter aracılığıyla AC enerjiye dönüştürülerek AC tüketici grubunun enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. Güneş panelinden elde edilen enerjinin tamamı AC tüketicinin enerji talebinin karşılanması için kullanıldığından ihtiyaç fazlası enerji olmamaktadır. Akünün doluluk oranı %90 seviyesinden daha aşağı bir seviyeye düştüğünde AC tüketici devreden çıkarılarak güneş panelinden üretilen enerji DC tüketicinin enerji talebini karşılamakta ve aynı anda aküyü şarj etme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu durumda ilk algoritmaya göre polikristal enerji üretim sisteminde ki enerjinin etkin kullanım oranı %22'den %54'e, monokristal hibrit enerji üretim sisteminin enerjisi etkin kullanım oranı ise %23'den %53'e yükselmiştir. En az artış miktarı ince film hibrit enerji üretim sisteminde gerçekleşmiş olup oran %23'den %25'e artmıştır.

Hibrit enerji üretim sistemlerini oluşturan akülerin doluluk oranları belirlenerek kesintisiz enerji sağlayabilecekleri süreler hesaplanmıştır. Aylara göre her bir enerji üretim sistemine ait olan akülerin tüketicileri kaç saat besleyebilecekleri tablo olarak verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda monokristal hibrit enerji üretim sistemine ait olan akünün doluluk oranının ortalama %69,37, polikristal enerji üretim sistemine ait olan akünün %69,51 ve ince film enerji üretim sisteminin aküsünün doluluk oranının ise ortalama %39,83 olduğu belirlenmiştir. Bu doluluk oranları ile monokristal enerji üretim sistemine bağlı olan akü tüketici grubunu kesintisiz olarak 35,42 saat besleyebilir iken polikristal enerji üretim sistemine bağlı olan akü 35,54 saat ince film enerji üretim sistemine bağlı akü ise 20,21 saat besleyebilmektedir. Monokristal ve polikristal hibrit güç üretim sistemine bağlı olan akülerin yaklaşık olarak aynı sürede tüketicilere kesintisiz enerji sağlayabildiği yapılan analizler sonunda görülmüştür. İnce film enerji üretim sistemine ait olan aküden de en kısa sürede tüketicilere kesintisiz enerji sağlanabileceği elde edilen sonuçlar neticesinde anlaşılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Agency, I. E. (2014). *Key World Energy Statistics Raporu*.
- Altuntop, N., D. E. (2013). Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler. *Mühendis ve Makina*, **54**(639).
- Baños, R., Manzano A. (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**(4), 1753-1766.
- Baş, Ş. (2013). *Hidrojenin Yükselişi Raporu*. Kalkınma Bakanlığı.
- Bayrak, G. (2012). 3, 6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink İle Modellenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt:**28**, Sayı:2, Sayfa:198-203.
- Bayrak, M., Esen, Ö. (2014). Türkiye'nin Enerji Açığı Sorunu ve Çözümüne Yönelik Arayışlar. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt: **28**, Sayı: 3.
- BP. (2014). *Statistical Review of World Energy Raporu*. BP.
- BP. (2015). *2015 Energy Outlook Raporu*.
- Caceres, R., Garcia, W. M. (1998). A Buck-Boost DC-AC Converter Operation, Analysis and Control. *Power Electronics Congress*. Morelia: IEEE.
- Çoruh, N., T. E. (2008). DA-DA Boost Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu* , (s. 358-361). Bursa.
- Demirkol, Z. (2013, Haziran). Yüksek Lisans Tezi. *Afyonkarahisar İli Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli*. Konya, Türkiye.
- Demirkol Z, Çunkaş, M. (2013). Afyonkarahisar İli Yenilenebilir Enerji Potansiyeli . *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg*, cilt **2**, sayı 1.
- El-Shatter TF, E. M.-H. (2002). Hybrid PV/fuel cell system design and simulation. *Renewable Energy*, Volume **27**, Issue 3, 479-485.

- Fedakar, S. (2012, Ağustos). Experimental and Simulation Studies of a Grid Connected Solid Oxide Fuel Cell. Kayseri: Melihşah Üniversitesi.
- Fund, W. W. (2011). *2011 Türkiye Raporu*. WWF.
- Hund, T. (1999). *Capacity Loss in PV Batteries and Recovery Procedures*. Albuquerque: Photovoltaic System Applications Department.
- J.Bernard. (2010). Energy Management of a Fuel Cell/Supercapacitor/Battery Power Source for Electric Vehicular Applications. *Vehicular Technology, IEEE Transactions*, Volume:60 , Issue: 2, 433-443.
- Koç, E. K. (2008). Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-I Dünya Değerlendirmesi. *Termodinamik Dergisi*, cilt 54, sayı 639.
- Koç, E., M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu. *Mühendis ve Makina*, Cilt:59 Sayı:639.
- Koca, Y. (2015). *Hibrit Enerji Üretim Sisteminde Üretilen Enerjinin Mikrodenetleyici Kullanılarak Denetimi*. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Lodhi, M. (1997). Photovoltaics and Hydrogen: Future Energy Options. *Energy Conversion & Management*, 38, 1881–1893.
- Makki, A. O. (2015). Advancements in hybrid photovoltaic systems for enhanced solar cells performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 658-684.
- Megep. (2013). Yenilenebilir Enerji Teknolojileri. M. Kitabı içinde, *Sehpa Üzerine Panellerin Montajı*.
- Mengi, O., İ. H. (2008). Rüzgar Türbini/Yakıt Pili Karma Enerji Üretim Sisteminden Beslenen Yükler Üzerindeki Gerilimin Genliğinin Denetimi. *Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi*.
- Mengi, O., İ. H. (2009). Fotovoltaik Güneş Panellerinden Beslenen Yükler Üzerindeki Gerilim Genliğinin Denetimi. 3. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*. Kocaeli.

- Nasiraghdam, H. (2012). Optimal hybrid PV/WT/FC sizing and distribution system reconfiguration using multi-objective artificial bee colony (MOABC) algorithm. *Solar Energy*, **86(10)**, 3057-3071.
- Nations, U. (2004). *World Population to 2300* .
- Özdemir, E., İ. M. (2015). Akıllı Şebekelerde Enerji Depolama Çözümleri. *Smart Grids Workshop*. İstanbul.
- Parida, B., S. I. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 1625–1636.
- Rekioua, D., S. B. (2014). Development of hybrid photovoltaic-fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume **39**, Issue 3, 1604-1611.
- Squadrito, G. A. (2014). Advances in Hydrogen Production Storage and Distribution. *Hydrogen Fuel cell Technology Elsevier*, 451-498.
- TEİAŞ. (2013). *Türkiye Elektrik İletim A.Ş Faliyet Raporu*.
- TEİAŞ. (2014). *2014 Raporu*.
- Thounthong, P., V. C. (2011). Energy management of fuel cell/solar cell/supercapacitor hybrid power source. *Journal of Power Sources*, Volume **196**, Issue 1, Pages 313–324.
- Ural, Z. (2007). *Yakıt Pilleri ve Bir PEM Yakıt Pili Sisteminin Dinamik Benzetimi*. Dicle Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- Ural Z, M. T. (2014). Design and simulation of a solar-hydrogen system. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume **39**, Issue 16, Pages 8833–8840.
- Usta, Y., A. K. (2013). Yakıt Hücrelerinde Kullanılacak Gözenekli Paslanmaz Çelik Toz Metal Parçaların Üretim Parametrelerinin Araştırılması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*.

- Valverde, R. M. (2008). Optimized Photovoltaic Generator- Water Electrolyser Coupling Through a Controlled DC-DC Converter. *International Journal of Hydrogen Energy*, **33**, 5352-5362.
- Woo, C., J. B. (2007). PEM fuel cell current regulation by fuel feed control. *Chemical Engineering Science*, Volume **62**, 957 – 968.
- Y.Hamakawa. (2004). *Thin-Film Solar Cells*. Berlin: Springer.
- Yıldırım, Y. (2011). Yakıt Pili Ders Notu. Y. Yıldırım içinde, *Yakıt Pili Ders Notu*. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi.
- 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 .
- Zainoodin, A. M., Kamarudin, S. (2010). Electrode in direct methanol fuel cells. *international journal of hydrogen energy*, Volume **35**, Issue 10, Pages 4606–4621.

6.1 İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

- | | |
|--|------------|
| 1- http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/gunes.aspx | 19.03.2015 |
| 2- http://www.robotiksistem.com/gunes_pilleri_nedir.html | 22.03.2015 |
| 3- http://www.samlexsolar.com/solar-cell-module-array.aspx | 22.03.2015 |
| 4- http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell#cite_note-25 | 22.03.2015 |
| 5- http://yavuzyilmaz.biz/site/yakit-pili/ | 28.03.2015 |
| 6- https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560 | 05.05.2015 |

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tolga ÖZER
Doğum Yeri ve Tarihi : Elazığ, 02.11.1989
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 537 358 16 50 / tolgaoyer@aku.edu.tr

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Özel Harput Koleji, 2007
Lisans : Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2012
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2015
Çalıştığı Kurum ve Yıl : Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2012 -