

**FARKLI GÜNEŞ PANELLERİ VE YAKIT PİLİNDEN
OLUŞMUŞ ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİN
MİKRO DENETLEYİCİ İLE OTOMASYONU**

YÜKSEK LİSANS

Abdil KARAKAN

DANIŞMAN

Doç.Dr. Yüksel OĞUZ

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2015

Bu tez çalışması 13.FEN.BİL.49 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

FARKLI GÜNEŞ PANELLERİ VE YAKIT PİLİNDEN OLUŞMUŞ
ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİN MİKRO DENETLEYİCİ İLE
OTOMASYONU

Abdil KARAKAN

DANIŞMAN

Doç.Dr. Yüksel OĞUZ

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2015

TEZ ONAY SAYFASI

Abdil KARAKAN tarafından hazırlanan “FARKLI GÜNEŞ PANELLERİ VE YAKIT PİLİNDEN OLUŞMUŞ ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİN MİKRO DENETLEYİCİ İLE OTOMASYONU” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 26/06/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Mühendisliği, Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman :Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN İmza
Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Doç. Dr. Yüksel OĞUZ İmza
Afyon Kocatepe Ü. Teknoloji Fakültesi,

Üye : Yrd. Doç. Dr. Sertaç GÖRGÜLÜ İmza
Mehmet Akif Ersoy Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,

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 çalışmasında;

- 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,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

26/06/2015

Abdil Karakan

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**FARKLI GÜNEŞ PANELLERİ VE YAKIT PİLİNDEN OLUŞMUŞ ENERJİ ÜRETİM
SİSTEMİN MİKRO DENETLEYİCİ İLE OTOMASYONU**

Abdil KARAKAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yenilebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

Günümüzde elektrik enerjisi elde edilmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr ve güneş enerjisi kullanılması yoğunluklu olarak tercih edilmektedir. Rüzgâr ve güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşmemiş ham enerji kaynağına ücret ödememekle birlikte sistemin ilk kurulum maliyeti olmaktadır. Elektrik enerjisi elde edilmesinde rüzgâr türbinleri kadar fotovoltaik sistemlerin en önemli parçası üzerine düşen güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine çeviren güneş panelleri yer almaktadır. Güneş panellerinin yapımında kullanılan yarı iletkenlere göre, ürettiği oldukları elektrik enerjisi ve verimlilikleri değişmektedir. Yapılan çalışmada; monokristal, polikristal ve ince film güneş panellerinden oluşmuş ve birbirinden bağımsız üç fotovoltaik sistemin ürettiği oldukları elektrik enerjisi akış kontrolü yapılmıştır. Enerjinin akış kontrolü için tasarlanan kontrol sistemi ile her bir güneş panelinin, ürettiği olduğu elektrik enerjisi, yüklerin çekmiş oldukları elektrik enerjisi, akülerin şarj-deşarj durumları izlenmiştir. Bu durumda sistemin enerji akışına uygun kontrol algoritmaları belirlenerek üretilen elektrik enerjisiyle tüketicilerin beslenmesi sağlanmış aynı zamanda akünün şarj edilmesi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen hibrit güneş paneli ve yakıt pilinden oluşmuş sistemde enerjinin akış kontrolü için mikro denetleyici kart ve C# yazılımı yardımıyla yapılan kontrol sistemdeki tüm veriler 10 sn aralıklarla bilgisayar ekranında kaydedilmiştir. Kaydedilen verilerin analizi yapılarak her bir güneş panelinin ürettiği olduğu enerji, uygulanan algoritmalar ile üretilen elektrik enerjisinden yararlanma oranları, aynı zamanda batarya grubunun üzerinde biriktirdiği enerji ile tüketicilerin ne kadar beslendiği yaklaşık olarak belirlenmiştir.

2015, xv + 126 sayfa

Anahtar Kelimeler: Güneş Panelleri, Mikro-denetleyici, Yakıt Pili, Enerji Akış Kontrolü

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

THE PRODUCTION OF ENERGY SYSTEMS FORMED FROM DIFFERENT
SOLAR PANELS AND FUEL CELLS BY USING MICRO-CONTROLLER
AUTOMATION

Abdil KARAKAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Renewable Energy Systems

Supervisor: Assoc. Prof. Yüksel OĞUZ

Nowadays, the production of electricity from renewable energy sources by using the wind energy and using the density solar energy is preferred. Even the converting of wind energy sources and using the reflection of solar energy without charge into electrical energy but initially also depends on the cost of setting up the system. The using of wind turbines for production electricity in achieving photovoltaic system is located incidental sunlight into electrical energy directly into the conversion of solar panels. The important part of the wind turbines in achieving photovoltaic system is located incidental sunlight into electrical energy directly into electrical energy converts solar panels. The efficiency which has been obtained in the production of solar panels is variable according to the semiconductor. In this study; the mono crystalline, polycrystalline and thin film formed from solar panels and electric power flow control which have been produced independently of the three photovoltaic systems is carried out. With each solar panel of control system designed to control the flow of energy , electrical energy is produced by the electrical energy which they have taken the load , the charge - discharge state of the battery are monitored. In this case, the electricity which generated to the energy flow control algorithm for determining the proper feeding of the system which ensured that consumers have been done at the same time charging the battery. For realization microcontroller of a hybrid fuel cell system consisting of solar panels and energy flow control board and C #, all data in the control system with the help of software has been done on the computer screen in 10 sec interval. Rate of benefits from the electricity which generated by making the analysis of the recorded

data, which was found that while consumers remain energized is obtained. At the same time consumers are fed up with what energy he has collected over the battery group is determined approximately.

2015, xv + 126 pages

Key Words: Solar panels, Micro-controller, Fuel Cells, Energy Flow Control

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Do. Dr. Yüksel OğUZ'a, araştırma ve yazım sresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Oğr. Gr. Bahtiyar USLU ve Sayın Oğr. Gr. Gökhan TURAN'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Bu araştırma 13.FEN.BİL.49 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir. BAP'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı eşim Pınar, biricik oğlum Fettah Doğan'a ve aileme teşekkür ederim.

Abdil KARAKAN
AFYONKARAHİSAR, 2015

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
RESİMLER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Giriş	3
2.2 Fotovoltaik Sistemler ve Verimlilik Arttırma Çalışmaları	3
2.3 Fotovoltaik Potansiyelinin Belirlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar	9
2.4 Hibrit Sistemler	10
3. MATERYAL ve METOT	13
3.1 Güneş Pillerinin Çalışma İlkesi	14
3.2 Tek Kristalli Silikon Güneş Pilleri	15
3.3 Çok Kristalli Silikon Güneş Pilleri	18
3.4 İnce Film Güneş Pilleri	19
3.5 Güneş Pili Seçimi İçin Temel Ölçütler	24
3.6 Sistemde Kullanılan Güneş Panelleri	25
3.6.1 Mono-kristal Silisyum Güneş Paneli	26
3.6.2 Poli-kristal Silisyum Güneş Paneli	27
3.6.3 İnce Film Güneş Paneli	28
3.7 Kullanılan Depolama Birimi	29
3.7.1 Lityum- İyon Bataryalar	29
3.7.2 Kurşun Asit Bataryalar	30
3.7.3 Nikel Kadmiyum Bataryalar	31
3.7.4 Jel Aküler	32
3.7.5 Sistemde Kullanılan Aküler	34
3.8 Yakıt Pili	35
3.8.1 Yakıt Pilinin Özellikleri	41

3.8.2 Yakıt Pili Çeşitleri	41
3.8.2.1 Proton Değişim Mebranı (PEM) Yakıt Pili	42
3.8.2.2 Elektrolit (Mebran).....	44
3.8.2.3 Bipolar Plaka.....	44
3.8.3 Yakıt Pili Mebranlarında Aranılan Özellikler	45
3.8.4 Yakıt Hücrelerinin Uygulama Alanları.....	46
3.9 Sistemde Kullanılan Yakıt Pili	47
3.10 DC-DC Konvertör.....	49
3.11 DC-AC Konvertör.....	50
3.12 Mikro Denetleyici.....	51
3.13 Osilatör	52
3.14 Analog Digital Dönüştürücü Kartın Kullanımı	56
3.15 LA-55P Akım Sensörü.....	58
3.15.1 Akım Sensör Kartı	58
3.16 CD4067	62
3.17 Mikro Denetleyici Programlama Dili	66
3.18 Sistem İçin Gerekli Güç Kaynağı.....	67
3.19 Yük Kontrolü	68
3.20 Enerji Akış Kontrolü İçin Tasarlanan Algoritmalar Ve Sistemin Genel Görünüşü.....	71
3.20.1 HEÜS İçin Tasarlanan Algoritma I	72
3.20.2 HEÜS İçin Tasarlanan Algoritma II.....	75
3.20.3 HEÜS İçin Tasarlanan Algoritma III.....	77
3.20.4 HEÜS Sisteminin Genel Görünüşü	79
3.20.5 HEÜS İçin Tasarlanan Bilgisayar Arayüzü	79
4. BULGULAR	81
4.1 Güneş Panelinin Üretmiş Oldukları Enerjiler	81
4.2 I.Algoritmanın Uygulanması Sonucu Elde Edilen Veriler	89
4.3 II.Algoritmanın Uygulanması Sonucu Elde Edilen Veriler	100
4.4 III.Algoritmanın Uygulanması Sonucu Elde Edilen Veriler.....	105
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	117
6. KAYNAKLAR.....	120
6.1 İnternet Kaynakları	125
ÖZGEÇMİŞ.....	125

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

D	Direnç
L	Bobin
C	Kondansatör
R_M	Akım Sensörü Çıkış Direnci
ADC	Analog/Dijital Çevirici
AD	Analog/Dijital
I	Akım

Kısaltmalar

AA	Alternatif Akım
DA	Doğru Akım
CIS	Bakır İndiyum Diseloid
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
PEM	Proton Geçirgenli Mebran
PV	Güneş Paneli
GaS	Galyum Arsenik
CdTe	Kadmiyum Tellür
ETKB	T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
IEA	Uluslararası Enerji Fonu
HEÜS	Hibrit Enerji Üretim Sistemi
V_1	Akım Sensörü Evirmeyen Yükselteç Devresi Giriş Gerilimi
V_0	Akım Sensörü Evirmeyen Yükselteç Devresi Çıkış Gerilimi
R_1	Akım Sensörü Evirmeyen Yükselteç Devresi Giriş Direnci
R_F	Akım Sensörü Evirmeyen Yükselteç Devresi Çıkış Direnci

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Güneş pili, güneş modülü ve güneş paneli	13
Şekil 3.2 Güneş pilinin çalışma prensibi.....	15
Şekil 3.3 Mono-kristal silikon güneş pili.....	16
Şekil 3.4 Czochralski yönteminin uygulaması	16
Şekil 3.5 Tek kristalli silikon PV hücre katmanı.....	17
Şekil 3.6 Poli-kristal silikon güneş pili.....	18
Şekil 3.7 İnce film silikon güneş pili.....	19
Şekil 3.8 İnce film güneş panelinin katmanları.....	20
Şekil 3.9 İnce film güneş panelinin yapısı	21
Şekil 3.10 Güneş pilleri için nanokristal yarı iletken uygulaması.....	22
Şekil 3.11 Kristal silikon güneş pillerindeki yapısal bozukluklar.....	23
Şekil 3.12 İnce film güneş panelleri ve dizisi	23
Şekil 3.13 Çeşitli malzemelerin bant boşlukları.....	24
Şekil 3.14 100 Ah'lik kuru ve jel akülerin kullanılabilirlik kapasiteleri	33
Şekil 3.15 %80 oranında şarj edilmiş jel akü ile sulu akünün çevrim ömrü.....	34
Şekil 3.16 Sistemde kullanılan aküler.....	34
Şekil 3.17 Bir yakıt pilinin işleyişi	36
Şekil 3.18 Yakıt Hücresi	37
Şekil 3.19 Yakıt pili yığını ve bi-polar plakaların detaylı görünümü.....	38
Şekil 3.20 Yakıt pilinin yığını ve elemanlarının detaylı görünümü	39

Şekil 3.21 Bir yakıt pili sistemi oluşturan dört temel ünite	40
Şekil 3.22 Proton değişim membranı yakıt pilinin genel çalışma prensibi.....	43
Şekil 3.23 PEM yakıt pili elemanlarının detaylı gösterimi ve çalışma prensibi	44
Şekil 3.24 PIC18F4550 mikro denetleyici bacak bağlantısı	51
Şekil 3.25 Mikro denertleyici kartın isis görüntüsü	54
Şekil 3.26 Mikro denertleyici kartın ares baskı devre görüntüsü.....	55
Şekil 3.27 Mikro denertleyici kartın 3 boyutlu görüntüsü	55
Şekil 3.28 Mikro denertleyici kartın görüntüsü.....	56
Şekil 3.29 LA-55P akım sensörü.....	58
Şekil 3.30 Akım sensörü kartın isis programı görüntüsü.....	58
Şekil 3.31 Akım sensörü kartın ares baskı görüntüsü.....	59
Şekil 3.32 Akım sensörü kartın 3 boyutlu görüntüsü	59
Şekil 3.33 Akım sensörü kartı	59
Şekil 3.34 Akım Sensörü ve RM direnci	60
Şekil 3.35 Akım sensörü ve evirmeyen yükselteç devresi.....	61
Şekil 3.36 Gerilim sensörü.....	62
Şekil 3.37 CD4067'nin gösterimi.....	62
Şekil 3.38 CD4067'nin çalışma algoritması	64
Şekil 3.39 Analog veri tekleyici kartın isis görüntüsü.....	65
Şekil 3.40 Analog veri tekleyici kartın ares baskı devre görüntüsü	65
Şekil 3.41 Analog veri tekleyici kartın 3 boyutlu görüntüsü	66
Şekil 3.42 Analog veri tekleyici kartın görüntüsü.....	66

Şekil 3.43 MikroC program arayüzü	67
Şekil 3.44 IRF530 mosfet	68
Şekil 3.45 Yük kontrol kartının isis görüntüsü	69
Şekil 3.46 Yük kontrol kartının ares baskı devre görüntüsü.....	70
Şekil 3.47 Yük kontrol kartının 3 boyutlu görüntüsü	70
Şekil 3.48 Yük kontrol kartı.....	71
Şekil 3.49 HEÜS'nin şematik gösterimi.....	72
Şekil 3.50 HEÜS için tasarlanan I. algoritmanın enerji akış kontrol şeması	73
Şekil 3.51 HEÜS için tasarlanan çalışma algoritması I.....	74
Şekil 3.52 HEÜS için tasarlanan II. algoritmanın enerji akış kontrol şeması.....	75
Şekil 3.53 HEÜS için tasarlanan çalışma algoritması II.....	76
Şekil 3.54 HEÜS için tasarlanan III. algoritmanın enerji akış kontrol şeması	77
Şekil 3.55 HEÜS için tasarlanan çalışma algoritması III	78
Şekil 3.56 HEÜS'nin genel görünüşü.....	79
Şekil 3.57 HEÜS için C# programı ile yapılmış arayüz	80
Şekil 4.1 Monokristal güneş panelinin günlük ortalama enerji üretimi.....	81
Şekil 4.2 Monokristal güneş panelinin aylık ortalama enerji üretimi.....	82
Şekil 4.3 Polikristal güneş panelinin günlük ortalama enerji üretimi.....	83
Şekil 4.4 Polikristal güneş panelinin aylık ortalama enerji üretimi.....	83
Şekil 4.5 İnce film güneş panelinin günlük ortalama enerji üretimi	84
Şekil 4.6 İnce film güneş panelinin aylık ortalama enerji üretimi	85

Şekil 4.7 Üç farklı güneş panelinin günlük ortalama enerji üretiminin karşılaştırılması	85
Şekil 4.8 Üç farklı güneş panelinin aylık toplam enerji üretiminin karşılaştırılması	86
Şekil 4.9 Üç farklı güneş panelinin aylık toplam enerji üretiminin payları	88
Şekil 4.10 Üç farklı güneş panelinin aylık ihtiyaç fazlası enerji üretim miktarları	94
Şekil 4.11 Üç farklı güneş panelinin aylık batarya kullanım enerji miktarları	94
Şekil 4.12 Üç farklı güneş panelinin aylık yakıt pili kullanım oranları	96
Şekil 4.13 Üç farklı güneş panelinin aylık olarak etkin kullanım oranları	97
Şekil 4.14 Üç farklı güneş panelinin aylık olarak akü şarj oranları	99
Şekil 4.15 Üç farklı güneş panelinden üretilen enerjinin yetersiz olduğu durumlarda akülerin tüketicileri besleme süreleri	100
Şekil 4.16 Üç farklı güneş panelinden aylık AC yükler için kullanılan enerji miktarı	104
Şekil 4.17 Üç farklı güneş panelinin aylık verimleri	105
Şekil 4.18 Üç farklı güneş panelinden aylık AC yükler için kullanılan enerji miktarı	109
Şekil 4.19 Üç farklı güneş panelinin aylık verimleri	110
Şekil 4.20 Monokristal güneş panelinin üç algortimanın uygulanması sonucu aylık olarak elde edilen veriler	112
Şekil 4.21 Polikristal güneş panelinin üç algortimanın uygulanması sonucu aylık olarak elde edilen veriler	114
Şekil 4.22 İnce film güneş panelinin üç algortimanın uygulanması sonucu aylık olarak elde edilen veriler	116

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Mono-kristal güneş paneli teknik verileri.....	26
Çizelge 3.2 Poli-kristal güneş paneli üretim verileri	27
Çizelge 3.3 İnce film güneş paneli üretim verileri	28
Çizelge 3.4 Akülerin karakteristik verileri.....	35
Çizelge 3.5 Yakıt pili çeşitleri ve özellikleri.....	42
Çizelge 3.6 PEFC 500W yakıt pilinin teknik özellikleri	48
Çizelge 3.7 DC-DC konvertörlerin teknik özellikleri.....	49
Çizelge 3.8 DC-AC invertörlerin teknik özellikleri	50
Çizelge 3.9 PIC18F455'nin özellikleri	52
Çizelge 3.10 PIC18F455'nin osilatör özellikleri.....	53
Çizelge 3.11 Kristal için uygun kapasite değerleri	53
Çizelge 3.12 0-5V aralığında ölçülen analog bilgi ile 10 bitlik ADC'deki	57
Çizelge 3.13 CD4067'nin çalışma özelliği	63
Çizelge 3.14 Sistemde kullanılan malzemeler ve sensörlerin çalışma voltajları	68
Çizelge 3.15 Güç kaynağı karakteristik özellikleri	68
Çizelge 4.1 Üç güneş panelinin aylık toplam enerji üretimleri	87
Çizelge 4.2 Monokristal güneş panelinin I. Algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler	90
Çizelge 4.3 Polikristal güneş panelinin I. Algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler	92
Çizelge 4.4 İnce film güneş panelinin I. Algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler	93

Çizelge 4.5 Akülerin şarj oranları ve aküde depolanan enerji ile tüketicinin tahmini olarak kaç saat beslenebileceği grafiği	98
Çizelge 4.6 Monokristal güneş panelinin II. Algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler	101
Çizelge 4.7 Polikristal güneş panelinin II. Algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler	102
Çizelge 4.8 İnce film güneş panelinin II. Algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler	103
Çizelge 4.9 Monokristal güneş panelinin III. Algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler	106
Çizelge 4.10 Polikristal güneş panelinin III. Algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler	107
Çizelge 4.11 İnce film güneş panelinin III. Algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler	108
Çizelge 4.12 Monokristal güneş panelinin üç algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler	111
Çizelge 4.13 Polikristal güneş panelinin üç algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler	113
Çizelge 4.14 İnce film güneş panelinin üç algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler	115

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 3.1	Monokristal güneş paneli.....	26
Resim 3.2	Polikristal güneş paneli.....	27
Resim 3.3	İnce film güneş paneli.....	28
Resim 3.4	Sistemde kullanılan yakıt pili.....	48
Resim 3.5	DC-DC konvertör.....	49
Resim 3.6	DC-AC konvertör.....	50
Resim 3.7	Güç Kaynağı.....	67

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızlı gelişmesiyle elektrik enerjisi hayatımızda vazgeçilmez bir yer almıştır. Elektrik enerjisi öyle bir duruma gelmiştir ki; ülkelerin gelişmişlik düzeyleri yıllık kişi başına düşen elektrik tüketimi ile ölçülmektedir. Kişi başına elektrik tüketiminin artması o ülkede sanayinin geliştiğinin göstergesidir (Çetin 2010). Dünya ülkelerinin sanayileşmesi için kullandıkları elektrik enerjisinin büyük bir kısmı fosil yakıtların kullanımı sonrası elde edilmektedir (Aygün 2012). Dünya genelinde petrol rezervlerin 40 yıl, doğal gazın 60 yıl ve kömür rezervlerinin 220 yıl kaldığı tahmin edilmektedir (Akgün 2006). Fosil yakıt rezervlerinin tükenmesi ve elektrik enerjisi maliyetlerinin yükselmesi ile yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneliş artmaktadır.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme sistemlerinin (fotovoltaik sistemler) tercih edilmesinin ilk sebebi düşük işletme masraflarıdır. Bunlara ek olarak enerji kaynağının bedelsiz olması, hareketli parçasının olmaması nedeniyle fazla bakım gerektirmemesi ve çalışma esnasında personel ihtiyacı olmaması diğer avantajlarıdır. Buna karşılık fotovoltaik sistemlerin dezavantajı ilk kurulum maliyetlerinin yüksek, verimlilikleri düşük, elektrik enerjisi üretiminin hava şartlarından çok etkilenmesi ve düzensiz olmasıdır. Bu nedenlerden dolayı fotovoltaik sistemlerin ürettiği elektrik enerjisinin akış kontrolü çok önemlidir. Enerji akış kontrolü yapılarak üretilen elektrik enerjisi en az kayıpla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; üç farklı malzemeden üretilmiş monokristal, polikristal ve ince film güneş panellerinin ürettiği elektrik enerjileri, enerji akış kontrolü yapılarak sisteme en az kayıpla aktarılmıştır. Güneş panellerinin sistemleri ayrı olmakla birlikte her sistemde kullanılan kablo uzunlukları, aparatlar ve akülerin kapasiteleri aynı seçilerek bağlantı farklılıkları minimize edilmiştir.

Enerji akış kontrolü için güneş panelleri ve tüketicilerin elektrik enerjilerinin; gerilimleri, akımları, güçleri ve akülerin şarj durumları sensörler ile ölçülmüştür. Sensörlerden gelen veriler ve önceden hazırlanan algoritma ile güneş panellerinin ürettiği elektrik enerjisiyle tüketiciyi, aküyü veya her ikisini beslemesi

sağlanmıştır. Güneş panellerinin ürettiği elektrik enerjisi yetersiz kalması durumunda, önce akü devreye alınarak tüketicinin ihtiyacı olan elektrik enerjisi karşılanmıştır. Akünün yetersiz kalması durumunda devreye yakıt pili girerek tüketicinin beslenmesine devam edilmiştir. Güneş panelinin üretmiş olduğu elektrik enerjisi tüketicinin ihtiyacından fazla olması durumunda aküler şarj edilmiştir. Sistem için yapılan mikro denetleyici kart ile sensörlerden gelen tüm veriler bilgisayara aktarılmakta C# programı ile yapılan ara yüz ile görüntülenmektedir. Sistemde üretilen veriler daha sonra karşılaştırma yapmak için 10 sn aralıklarla access veri tabanına kayıt yapılmaktadır.

Üretilen enerjinin daha etkin kullanılması için tasarlanan II. algoritmada, devreye AC yük eklenmiştir. Güneş panelleri DC gerilim üretmektedir. AC tüketicini besleyebilmek için DC-AC inverter kullanılmıştır. Bu algoritmada ilk öncelik DC yükün enerji ihtiyacının karşılanmasıdır. Yaz aylarında güneş panellerinde üretilen enerji, tüketicinin talep ettiği enerjiden ve akü şarjı için gerekli enerjinin üstünde bir enerjidir. I algoritmada bu ihtiyaç fazlası enerji kullanılamamaktadır. İhtiyaç fazlası enerjiyi kullanarak sistemin veriminin arttırmak için yeni II. algoritma geliştirildi. II. algoritmada önceki algoritmada olduğu gibi üretilen enerji DC yükün ihtiyacı olan enerjiden düşükse önce akü devreye girecek yükün enerji ihtiyacı karşılanacak. Akünün gücünün yetersiz olması durumunda yakıt pili devreye girerek tüketicinin enerjisiz kalması engellenecektir. Güneş panelinde üretilen enerjinin tüketicinin ihtiyacından fazla olması durumunda ihtiyaç fazlası enerji ile AC yük beslenmektedir. Böylece güneş panellerinde üretilen ihtiyaç fazlası enerjinin bir kısmı kullanılarak sistemin verimliliği artırılmıştır.

III. algoritmada, güneş panellerinde üretilen enerjinin tüketicinin talep ettiği enerjiden az olduğu durumlar diğer algoritmalar gibidir. Güneş panellerinde üretilen enerji tüketicinin talep ettiği enerjiden fazla olması durumunda ve akünün şarj oranı %90'dan yüksek olması durumunda; güneş panellerinde üretilen enerji AC yükü beslemektedir. DC yükün enerji talebi ise akülerden sağlanmaktadır. Akünün şarj durumu %90'dan aşağıya indiğinde güneş panellerinde üretilen enerji ile tüketicinin enerji talebi karşılanmakta ve batarya şarj edilmektedir. AC yük ise enerjisiz kalmaktadır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Giriş

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi her geçen gün artmakta ve bu sistemlerin sayısı çoğalmaktadır. Fotovoltaik sistemler (PV) , enerji kaynağı olarak güneşi kullanmaktadır. Güneşin enerji potansiyelinin çok büyük ve ücretsiz olması, fotovoltaik sistemleri, yenilenebilir enerji sistemleri arasında üst sıralara taşımıştır. Fotovoltaik sistemler çok geniş bir uygulama alanına sahiptir.

2.2 Fotovoltaik Sistemler ve Verimlilik Arttırma Çalışmaları

Fotovoltaik sistemlerin verimlilikleri çok düşüktür. Bu sistemlerin verimliliklerini arttırmak için güneş takip sistemleri başta olma üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Güneş ışınları güneş paneline ne kadar dik gelirse sistemin verimi artmaktadır. Güneşi takip etmek için çeşitli algoritmalar kullanılmış ve verimlilikleri incelenmiştir. Aşağıdaki çalışmalar fotovoltaik sistemler hakkında yapılmış değişik uygulamalar ve sistemlerin verimliliğini arttırmak için yapılan çalışmalara örnek olarak gösterilebilir:

Salah vd. (2004), PLC kontrollü iki eksenli güneş takip sistemi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışma açık döngü olup kontrolü PLC ile sağlanmıştır. Biri 32° eğimle sabit yerleştirilmiş ve diğeri hareketli olan iki güneş panelinin ürettikleri elektrik enerjileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda hareketli fotovoltaik sistemde üretilen elektrik enerjisinin sabit olan fotovoltaik sistemde üretilen elektrik enerjisine göre %41,34 daha verimli olduğu anlaşılmıştır.

Roth vd. (2004), güneş takibi için sistem dizaynı ve yapımı üzerine çalışmışlardır. Yapılan sistemde fotovoltaik panel kullanmamışlar onun yerine güneş ısını ölçen dört kadranlı foto dedektör kullanmışlardır. Güneş takibi için iki adet küçük DC motor ve kapalı döngülü bilgisayar kontrollü maliyeti düşük olan elektromekanik sistem kullanmışlardır. Sistemin basit ve ucuz olduğundan bahsedilmiştir. Sistemde veriler alınmamış sadece izleme amaçlı tasarlanmıştır.

Karimov vd. (2005), basit bir fotovoltaik izleme sistemi çalışması yapmışlardır. Yaptıkları sistem yatayda 120°, dikeyde ise 45° hareket edebilmektedir. Güneşi takibini sağlayabilmek için DC motordan faydalanmışlar ve takip toleransı %10'dur. Kullandıkları 1,26m² yüzey alanına sahip dört adet fotovoltaik modülden elde edilen elektrik enerjisi 100W çıkışlı inverter ile tüketiciyeye bağlanmıştır. Yapılan sistem elektrik enerji hattının olmadığı uzak bölgelerde güç kaynağı olarak kullanılabilir.

Küpel (2005), yaptığı çalışmada, güneş panellerinin verimine etki eden parametreler incelemiştir. Fotovoltaik sistemlerin yapılarındaki p-n eklemlerini ve çalışma ilkelerini açıklamıştır. Güneş pillerini fotovoltaik bir dönüşüm sistemi olarak tanımlamıştır. Güneş pillerinin yapısal ve elektriksel yönden özelliklerini incelemiştir. Güneş pillerinin verimlerinin belirlenmesi kullanılan yöntemler hakkında bilgi vermiştir.

Kenny vd. (2006), oluşturdukları bir test standı ile ince film güneş panellerinin performanslarını incelemişlerdir. Deney standındaki güneş ışını değerleri ve güneş panelinin sıcaklığı ölçülmüştür. Ölçülen veriler ile ince film güneş panelinin üretimindeki etkisi değerlendirilmiştir.

Contres vd. (2006), mikrodenetleyici ile üç robot kolu bağlantıları ile taşınabilir güneş takip sistemi geliştirmişlerdir. Sistemin taşınabilir olması için PVC'den özel olarak parçalar kullanılmıştır. Yapılan çalışmada güneş takibi için DC motor, kızıl ötesi sensör, foto-direnç kullanılmıştır.

Bingöl vd. (2006), güneş takip sistemini mikro işlemci tabanlı olarak yapmışlardır. Yapılan çalışmada güneş takibi için step motor ve ışık sensöründen faydalanılmıştır.

Bakos (2006), iki eksenli güneş takip sistemi yapmıştır. Güneş takip sisteminde verimliliği arttırmak için parabolik oluklu kolektör kullanmıştır.

Demirtaş (2006), yatay ve dikey hareket etme özelliğine sahip iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamıştır. Tasarlanan sistemde güneş panellerinin ürettiği verileri

bilgisayara kaydetmek ve sistemi bilgisayardan kontrol etmek için mikro denetleyici kullanmıştır. Güneş takip sisteminin kullanıldığı normal gün ışığının olduğu zaman güneş panellerinin elektrik üretimi 12V, güneş ışınlarının dik geldiğinde 18,5V ve havanın kapalı olduğu zamanlarda 10V olmuştur. Sabit sisteme göre güneş takip sistemi %35 daha verimli olduğunu savunmuştur.

Huang ve Sun (2007), geliştirdikleri güneş takip sisteminde güneşi devamlı takip etmek yerine sabah, öğle ve ikindi olmak üzere günde üç defa güneş panellerini güneş yönünde hareket ettirmişlerdir. Yapılan çalışma ile güneş takip sisteminde harcanan elektrik enerjisi en aza indirilirken, sabit sisteme göre güneş panellerinin çıkış gücü % 23 oranında artmıştır.

Jinayim vd. (2007), yapılan çalışmada, yüksek verimli ve düşük güç tüketimli bir güneş takip sistemi geliştirmişlerdir.

Karamanav (2007), güneş pilleri hakkında deneysel çalışmalar yapmış ve bu çalışmalardan elde ettiği verilerden faydalanarak güneş pillerinin gerilim ve akım değişimlerini grafikler halinde sunmuştur. Ayrıca çalışmasında güneş pillerinin çalışma ilkelerini açıklamış, fotovoltaiik olay hakkında bilgiler vermiş ve güneş enerjisi hakkında istatistiksel bilgileri yorumlamıştır.

Ünal (2007), fotovoltaiik etki ile güneş pilinin çalışma prensipleri hakkında çalışma yapmıştır. Güneş pili üretimindeki silisyum türleri başta olmak üzere diğer malzemeler incelemiş ve önemi üzerinde durmuştur. Ayrıca fotovoltaiik piyasasının geçmişi ve geleceğini ele almıştır.

Machacek (2007), yaptığı çalışmada, anlık güneş radyasyonu, anlık güneş panel gücünü, hava ve panel sıcaklıkları ölçerek güneş enerjisi potansiyelini saptamaya çalışmıştır. Sensörlerden gelen veriler geliştirilen kart ile bilgisayara alınmıştır. Matlab programı vasıtasıyla veriler, veri tabanına kaydedilmiştir.

Jinhong vd. (2007), çalışmalarında, geliştirilen prototip sistem üzerinde Bess (pil enerji

depolama sistemin)'den yaralanarak sisteme güç gönderme, güç ortalamasını bulma ve sistemler arasında koordinasyonu sağlama işlemlerini yapmışlardır

Keçel (2007), Türkiye'nin değişik bölgelerinde evsel elektrik ihtiyacının güneş panelleriyle karşılanmasına yönelik model geliştirmiştir

Özgöçmen (2007), 6 hücreli güneş pili kullanarak elektrik enerjisi üretilmiştir ve 12 volt 7 AH saat gücündeki kuru tip aküde depo edilmiştir. Güneş enerjisinin elektrik üretiminde yetersiz olduğu durumlarda aküde depo edilen enerji ile sistem çalıştırılmıştır. Sistem ile ilgili ilk olarak panel ve akünün boşa ölçümü yapılmış voltmetre ve osilaskopta bu değerler gözlenmiştir. Daha sonra sistem bağlı fakat yüksüz durumda ölçümler yapılmıştır. En son ise sistem bağlı ve yüklü durumda ölçümler yapılmıştır

Yuanrui ve Jie (2008), yaptıkları çalışmalarda, enerji yönetimi ve kontrolünde PLC (programlanabilir mantık denetleyici) kullanmışlar ve maksimum güç noktası tespiti için de ajan tabanlı işbirlikli kontrol stratejisinden yararlanmışlardır.

Dursun ve Yılmaz (2008), yaptıkları çalışmalarda, çift eksenli güneş takip sisteminde panellerin akım ve gerilim değerlerini ölçmüşlerdir. Ölçümler veri tabanına Java dili yazılmış program sayesinde kaydedilmektedir.

Abdallah ve Badran (2008), güneş takip sisteminin sabit sisteme göre ne kadar verimli oldukları yönünde çalışmalar yapmışlardır.

Chong ve Wong (2009), güneş takip sistemlerinde kullanılan kolektörün izleme hassasiyetini arttırmaya yönelik çalışmalar yapmışlardır.

Gao vd. (2009), yaptığı çalışmada, paralel bağlanmış PV modüllerini dört farklı gölge koşullarındaki çalışmalarını incelemiştir. İlk deneysel çalışmasında iki PV modülden biri yatay olarak diğeri hareketli bir şekilde, ağaçlar tarafından gölgelenen bir yere monte edilmiş. İkinci çalışmasında PV modüllerden biri yaklaşık 70°'lik bir açıyla ve

diğeri hareketli bir şekilde ve yine ağaçlar tarafından gölgelenen yere montaj yapılmış. Üçüncü deneysel çalışmasında PV modüllerden biri yatay ve diğeri hareketli bir şekilde, korkuluklar tarından gölgelenmiş bir yer monte edilmiş. Son çalışmasında laboratuvar ortamında 300 W yapay ışınım kaynağı ile %53 gölgelenme alanını oluşacak şekilde konumlandırılmış güneş panellerinin üretimleri incelenmiştir.

Solanki vd. (2009), yaptıkları çalışmada, fotovoltaiik termal (PV/T) havalı kolektörün laboratuvar ortamında testini ve simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan sistemin elektriksel verimi %8,4 iken ısıl verimi %42 olarak tespit edilmiştir.

Sefa vd. (2009), mikro denetleyicili kontrollü ve tek eksenli olarak geliştirdikleri güneş takip sisteminde RS 485 haberleşme ara birimi de kullanmışlardır. Kolay kurulum ve daha az bakım olanağı sunmak için sistem mekanizmasını basit yapmışlardır.

Sungur (2009), yapmış oldukları çalışmada, güneş takip sistemini PLC ile kontrol etmiştir. Güneşi takip etmek için güneşin azimut ve yükseklik açısını bir süre hesaplamıştır. Yapmış olduğu güneş takip sisteminin sabit sisteme göre %42,6 daha fazla üretim yapmıştır.

Seme ve Stumberger (2011), güneş takip sistemleri için kullanılan güneş açılarını hesaplamak için güneş radyasyonu ve Diferansiyel Evrim kullanarak yeni bir tahmin algoritması geliştirmişlerdir.

Huang vd. (2011), üç konumlu tek eksenli bir güneş takip sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistemde güneş paneli 3 defa konum değiştirmektedir. İlk konum olan sabah, güneş yeni doğduğundan güneş paneli dik konumda, oğlen ise güneş en tepede olduğundan panel yatık konumda ve son hareket olan akşamda ise panel güneş batacağından dik konuma geçmektedir. Hareketli sistemden alınan üretim verileri sabit sistemle karşılaştırıldığında hareketli sistemin %35,8 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

Cruz-Peragon vd. (2011), İspanyada yapmış oldukları çalışmada güneş takip

sistemlerinde üretilen elektrik enerjisinin avantajları hakkında değerlendirmeler yapmışlardır.

Kelly ve Gibson (2011), güneş takip sistemlerinin mevsimlere ve farklı coğrafya koşullarına göre uyum sağlamasını sağlayarak, elektrik enerjisi üretimini arttırmaya çalışmışlardır.

Boz (2011), yaptığı çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları, fotovoltaik sistemler, fotovoltaik pillerin çalışma prensibi, güneş pilleri çeşitleri ve gelecek nesilde kullanılacak olan güneş pilleri hakkında çalışmalar yapmıştır.

Çekinir (2012), çalışmasında fotovoltaik aydınlatma sisteminin modellemesini yaparak bilgisayar benzetim yoluyla fotovoltaik panellerinin ve bataryaların boyutlarını hesaplamıştır.

Kaplan (2012), Matlab'da fotovoltaik panelin ve bataryadan oluşan sistemin modellemesini yapmıştır. Modelleme sonucunda elde edilen değerler değerlendirilmiş ve sistemin kararlılığı incelenmiştir.

Sözer (2012), Karabük bölgesinin güneş potansiyelini ölçmek için güneş radyasyonunu ölçmüş ve geliştirdiği sistem ile bilgisayarda verileri anlık olarak göstermiş ve kaydetmiştir.

Agroui (2012), yaptığı çalışmada, çoklu kristal güneş pillerinden oluşan güneş modülün iç ve dış ortamda çalışma performanslarını incelemiştir. Yaptığı çalışmada kullanılan temel prosedürler ve ölçü aletlerini tanıtmıştır. Çalışmanın sonucunda çoklu kristal PV modül için ana elektriksel ve ısı parametreleri belirlemiştir.

Eke ve Senturk (2012), enlem açısı eşit olacak şekilde biri sabit diğeri güneş takip sistemli iki güneş panelinin montajını Muğla Üniversitesi yerleşkesi içine yapmışlardır. İki sistemde üretim verileri bir yıl boyunca alınmış ve karşılaştırmalar yapmışlardır. Karşılaştırmalar sonucunda güneş takip özelliği olan sistemin sabit sisteme göre %30,79

daha verimli olduğunu belirtmiştir.

Chandrasekar vd. (2013), yaptıkları çalışmada, güneş panellerinin güneşten gelen ışınımın ancak %4-17 arasını elektrik enerjisine çevirebildiğini, çok büyük bir oranda çalışma sırasında panelde ısı enerjisi olarak açığa çıktığını açıklamıştır. Bundan dolayı panelin verimini arttırmak için paneli soğutma işlemi uygulayarak incelemiştir.

Bahaidarah vd. (2013), sıcak iklim bölgeleri için fotovoltaik modüllerin arka taraflarını su ile soğutma yaparak verimlerine olan etkisini incelemiştir. Soğutma işleminin %9 oranında modül verimine katkı sağladığını belirtmiştir.

Kıyanççek (2013), fotovoltaik sistemlerin üretim ve tüketim kapasitelerinin hesaplanarak, kurulması planlanan sistemlerin daha anlaşılır olması ve amortisman sürelerinin daha doğru şekilde belirlenmesi için tasarlanan PVS² paket programı kullanmıştır.

Öztürk (2014), yaptığı çalışmada sıcaklığın fotovoltaik panellerin verimliliğine etkisini incelemek üzere iki adet sıcaklık sensörü ve ışınım sensörü kullanmıştır. Bu sensörlerden gelen verilere göre karşılaştırmalar yapmıştır.

Ceylan vd. (2014), yaptığı çalışmada, iki adet fotovoltaik modül kullanmıştır. Bir tanesi normal modül iken diğeri arkasında spiral boru içinden soğutma suyu dolaşan fotovoltaik modüldür. Normal modülün verimi %10 iken soğutulan modülün verimi %13 olarak belirlenmiştir.

2.3 Fotovoltaik Potansiyelinin Belirlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar

Fotovoltaik sistemleri ilk kurulum maliyetleri yüksek ve verimlilikleri düşük olan sistemlerdir. Fotovoltaik sistemden maksimum düzeyde verim alınabilmesi için sistemin kurulacağı yerdeki güneşin potansiyelinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Literatürde farklı bölgelerde yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Aşağıdaki çalışmalar bu tür çalışmalara örnek olarak gösterilebilir:

Mukaro ve Carelse (1999), yaptığı çalışmada, güneş radyasyonunu uzaktan izlemek için mikro denetleyicili bir sistem tasarlamışlardır. Sistemde 10'ar dakikalık zaman aralıklarında ölçüm yapılmakta ve kaydedilmektedir. Bilgisayar ile haberleşme RS-232 haberleşme ile gerçekleşmektedir.

Koutroulis ve Kalaitzakis (2003), yaptıkları çalışmalarda, sıcaklık, basınç, gibi meteorolojik değerleri ve fotovoltaik gerilim, akım gibi elektriksel değerleri ölçmüşlerdir. Ölçümler sonucundaki verileri yapılan kart sayesinde bilgisayara alınmış ve Labview programı ile ekrana yansıtılıp kayıt yapılmıştır.

Prozhazka (2008), geliştirdiği sistem ile güneş panelinin voltaj değerini, panel sıcaklığı ve global radyasyon değerlerinin anlık olarak görüntülemiş ve kaydetmiştir. Bu değerlerin nasıl değiştiğini belirlemeye çalışmıştır.

Gao (2009), yaptığı çalışmada güneş panelinin farklı gölge koşullarında çalışmalarını incelemiş ve bu koşullar altındaki çalışma değerlerini karşılaştırmıştır.

Yahyavi vd. (2010), çalışmalarında ölçülen gücün verimliliği ve her bir birim başına düşen enerji ve yüksekliğin sistem verimliliğine olan etkisi analiz edilmiştir. Güneş ışığının yoğunluğu güneşin gün içerisindeki açısına bağlı olduğu açıkça gözlemlenmiştir. Bu çeşitliliğin geniş ölçekte olması verimliliği nasıl etkilediği gösterilmiştir. Güneş takip sistemi analiz edilmiş ve sistemin verimini nasıl arttırdığı gösterilmiştir.

2.4 Hibrit Sistemler

Fotovoltaik sistemlerin üretimleri hava şartlarından çok etkilenmektedir. Havanın kapalı olduğunda üretimde ciddi düşüşler olmakla birlikte geceleyin üretimi durmaktadır. Bundan dolayı fotovoltaik sistemlerin yanında ek bir enerji sistemi kullanılması gerekmektedir. Böylelikle hibrit bir sistem kurulmuş olmaktadır. Literatürde hibrit bir şekilde kullanılan enerji kaynakları hakkında çalışmalar bulunmaktadır. Aşağıdaki çalışmalar bu tür çalışmalara örnek olarak gösterilebilir:

El-Shatter vd. (2002), çalışmalarında hibrid PV-yakıt hücresi üretim sisteminde hidrojen üretimi için bir elektrolizör kullanarak sistemi tasarlamış ve simüle etmişlerdir. Değişken güneşlenme şartları altında PV panellerinden maksimum verim elde etmek ve maksimum güç noktası takibi için Fuzzy regresyon modeli uygulamışlardır.

Dachuan vd. (2006), hibrid bir enerji sisteminde PV panellerinin ve yakıt hücresinin yük paylaşımını anlatmışlardır. Sistem PV panellerden herhangi bir ışık miktarında maksimum gücü çekerken yakıt hücresi de yükün talep ettiği dengeyi sağlamaktadır. Enerji sisteminin çıkış voltajının sabit tutulması PI kontrolörler tarafından sağlandığı çalışmada anlatılmıştır.

Choi vd. (2007), 500W'lık PV-Yakıt hücreli hibrid üretim sistemi dizayn etmişlerdir. PV panellerin hidrojen üretimi için kullanılmıştır. Fuzzy regresyonu PV panellerin maksimum güç takibi için kullanılmıştır. Sistem LabVIEW yazılımıyla simüle edilerek sistemin analizi yapılmıştır.

Yıldırım (2008), güneş ve rüzgâr enerjisi tespiti için mikro-denetleyicili tabanlı sistem geliştirmiştir. Geliştirilen sistemde 3 rüzgâr hızı algılayıcısı, bir yön algılayıcısı, sıcaklık algılayıcısı, basınç algılayıcısı ve güneş radyasyonu algılayıcı bulunmaktadır. Sistemde sensörlerden gelen veriler 5 saniyelik zaman dilimlerinde bilgisayar aktarılmaktadır

Mengi vd. (2008), Fotovoltaik (FV) Güç Kaynağı ve Yakıt Pili (YP) sisteminden beslenen yüklerin simülasyonu yapılmıştır. Devrede DC/AC çeviriciler kullanılmıştır ve güç denkleştirme ile enerjinin verimli kullanılması sağlanmıştır. Ev tipi klimalar, su pompaları, buzdolabı, ısıtıcı ve havalandırma gibi küçük ölçekli yükleri besleyen bir FV/YP temiz enerji sisteminin simülasyonu bu çalışmada geliştirilmiştir.

Hilali vd. (2008), Sınırlı kapasiteye sahip Fotovoltaik-Elektrolizör-Yakıt Pili birleşik sisteminin beraber kullanılması deneysel olarak incelenmiştir.

Prochazka vd. (2008), yaptığı çalışmada, 100 wattlık bir güneş panelinin veriminin sıcaklık ve radyasyon değişimi ile nasıl değiştiğini incelemişlerdir. Ayrıca sistem, hava

sıcaklığı, panel sıcaklığı, panel akımı, global radyasyon değerlerini ölçüp ve kaydetme işlemi de yapmaktadır.

Balan vd. (2008), güneş izleme sistemi ile buldukları yerdeki güneş potansiyelini tespit etmeye çalışmışlardır. Sistemde biri toplam güneş radyasyonunu diğeri ise yansıyan güneş radyasyonunu ölçmek için iki adet güneş radyasyon algılayıcısı kullanılmıştır. Sensörlerden gelen veriler 50 saniyelik periyotlarla veri tabanına kaydedilmektedir.

Lingtong ve Singh (2008), hibrit güç sisteminde kontrolsüz çözümler elde etmek amacıyla özelleştirilmiş bir parçacık sürücülü optimizasyon algoritması oluşturmuşlardır.

Bekele ve Palm (2010), rüzgâr ve güneş elektrik enerjisini hibrit bir şekilde kullanmak için fizibilite çalışması yapmışlardır.

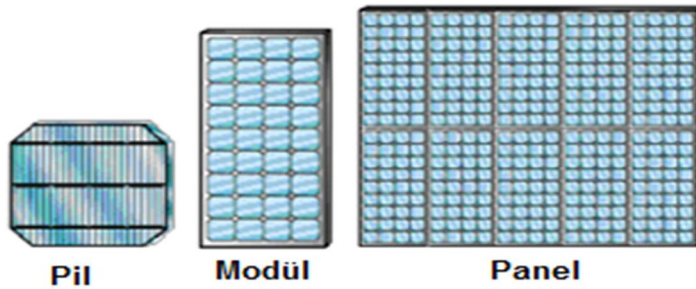
Özsoy (2011), bir laboratuvarın genel aydınlatması için güneş ve rüzgâr enerjisinin birlikte kullanılmasını tasarlanmıştır. Yapılan hibrit sisteme batarya eklenerek sistemin fazladan üretilen elektrik enerjisi depolanmıştır.

Chong vd. (2011), şehir merkezinde, 200 metre yükseklikte olan bir binanın elektrik tüketiminin belli bir kısmını karşılamak üzere binanın tepesine rüzgâr ve güneş elektrik enerjisi üretim sistemlerinin montajını yapmışlar ve hibrit bir şekilde kullanmışlardır. Yapılan hibrit sistemle binada yıllık 195,2 MWh enerji tasarrufu sağlamıştır.

3. MATERYAL ve METOT

Fotovoltaik yunanca bir kelime olup, ışık anlamına gelen photo ve gerilim anlamına gelen voltaic kelimesinin birleşmesinden oluşur (Kaplan 2012). Güneş pilleri (fotovoltaik piller), ilk kez 1893 yılında Becquerel tarafından elektrolit içine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek bulmuştur (Erkul 2010). Güneş pilleri, güneş ışınlarını doğrudan elektriğe dönüştürebilen, hareketli mekanik parçaları olmayan, bakımı kolay ve ömürleri uzun olan elektronik sistemlerdir. Güneş pilleri genel olarak yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerden tasarlanmıştır (Öztürk 2008).

Yüzeyleri; kare dikdörtgen veya daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm^2 civarında, kalınlıkları ise $0,2 - 0,4 \text{ mm}$ arasında değişmektedir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısında kullanılan yarı iletken çeşidine göre % 5 ile % 20 arasında bir verimle çalışmaktadır. Verimi % 10'un altında olan güneş pilleri, ticari olarak verimli ekonomik değildir (Öztürk 2014). Güneş pillerinin verimi, laboratuvar koşullarında % 10-30 arasında, uygulamada ise % 5-20 arasında değişiklik göstermektedir. Uygulamada verimi % 15 ve üstü olan güneş pilleri ticari olarak kullanılmaktadır (Kaltschmitt 2007). Güç çıkışını arttırmak için çok sayıda güneş pili birbirlerine paralel veya seri olarak bağlanmaktadır. Oluşan bu yapıya güneş pili modülü veya fotovoltaik modül (PV) adı verilmektedir. Güç gereksinimine göre modüllerde birbirleri ile paralel veya seri olarak bağlanabilmektedir. Böylece fotovoltaik modüllerin güçleri birkaç watttan başlayarak megawattlara ulaşabilmektedir (Öztürk 2008). Şekil 3,1'de güneş pili, güneş modülü ve güneş paneli gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Güneş pili, güneş modülü ve güneş paneli.

Güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik paneller, optik ve elektrik özellikleri bu dönüşüme uygun olarak seçilen yarı iletken malzemeden yapılır. Güneş pillerinin yapısında yaygın olarak aşağıda yazılı olan malzemeler kullanılır (Aygün 2014).

Kristal Silisyum

Amorf Silisyum

Galyum arsenik (GaS)

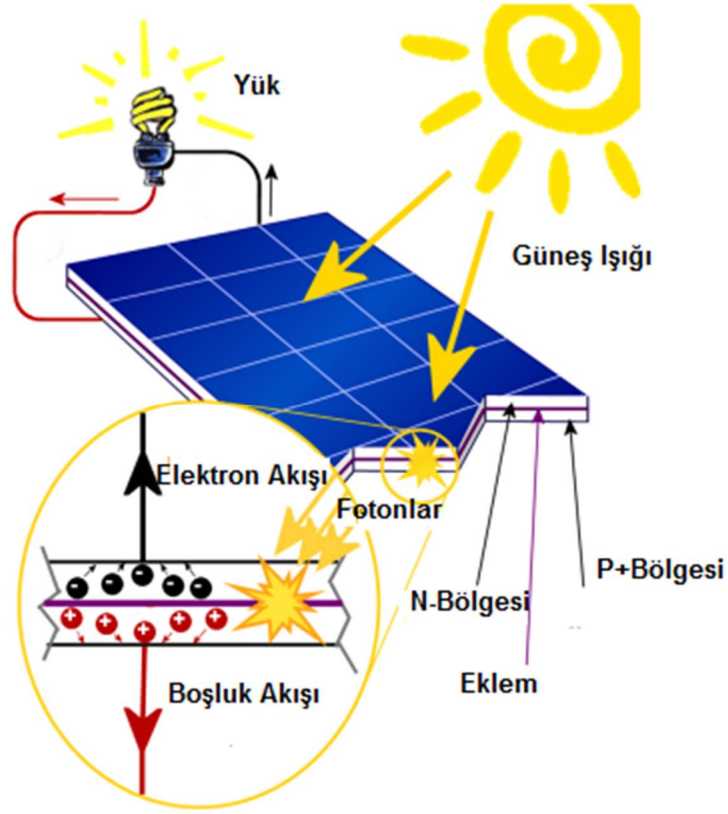
Kadmiyum tellür (CdTe)

Bakır indiyum diselenid (CuInSe₂)

Günümüzde en çok tercih edilen güneş pilleri, tek ve çok kristali silisyumdan yapılmış hücrelerdir.

3.1 Güneş Pillerinin Çalışma İlkesi

Güneş pilleri, üzerine düşen güneş ışınım enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklere denir. Güç üretim amacıyla kullanılan güneş pilleri fotovoltaik ilkeye göre çalışırlar. Fotovoltaik etki; fotovoltaik bir hücre tarafından güneş ışınım enerjisini elektrik enerjisine dönüştürüldüğü temel bir fiziksel işlemdir (Kıyançıçek 2013). Güneş ışınımındaki fotonların, silikon gibi yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarparak, atomlardan elektronları serbest bırakmaları ile ortaya çıkar. Güneşten gelen ışınım, enerji taşıyan fotonların birleşmelerinden oluşur. Bu fotonlar, güneş ışınım spektrumundaki farklı dalga boylarına bağlı olarak, farklı miktarlarda enerji içerirler (Agency 2002). Fotonlar, fotovoltaik bir hücre üzerine geldiğinde; bir kısım hücre tarafından soğurular, bir kısmı yansıtılır kalan kısım ise hücre içerisinden geçer. Fotovoltaik hücre tarafından soğrulan fotonlar elektrik enerjisi üretir. Fotonun enerjisi, yarı iletken bir malzemenin atomundaki elektronuna transfer edilir. Elektron, yeni kazandığı bu enerji sayesinde, bir elektrik devresindeki akımın bir parçası olabilmek için, yarı iletken malzemedeki bir tek atoma ilişkin normal pozisyonundan kurtulma yeteneği kazanır. Bir elektrik alanındaki fotovoltaik hücrenin belirli elektriksel özellikleri, dış bir yükten gelen akımı karşılayabilmek için gerekli gerilimi sağlar (Öztürk 2008). Şekil 3.2’de güneş pilinin çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Güneş pilinin çalışma prensibi (İnt.Kay.1).

3.2 Tek Kristal Silikon Güneş Pili

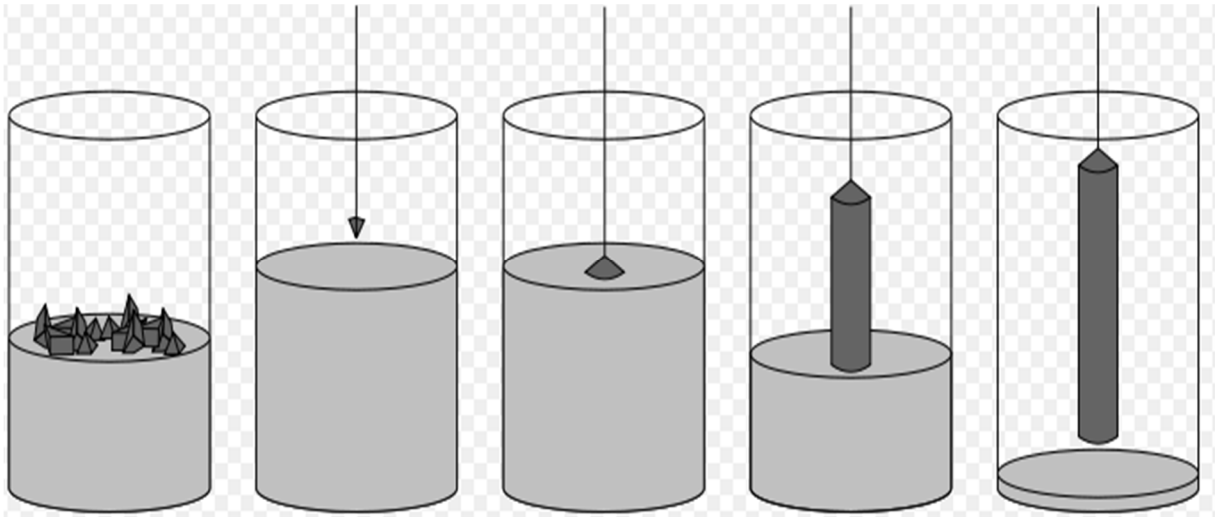
Tek kristal silisyum, güneş pili üretiminde kullanılan malzemelerden biri olmakla birlikte, üretim maliyetlerinin yüksek olması, bu alanda değişik seçenek olarak çok kristalli malzemelerin daha çok kullanılmasına neden olmuştur. Silisyum malzemesi güneş teknolojisinde yaygın olarak kullanılmasının başlıca nedenleri; silisyum elektriksel, optik ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve silisyum üretim teknolojisinde önemli başarılar sağlamış olmasıdır (Özsoy 2011). Saf tek kristal üretimi, oldukça zor ve pahalı bir teknoloji gerektirir. Oksijenden sonra yeryüzünde en çok bulunan element olan silisyum, en çok bulunan biçimi kum ve kuvarstır. Kumun saflık derecesi çok düşük olduğundan, kullanılmaya uygun değildir. Ancak, kuvarsin %90'ı silisyumdur (Sözer 2012). Kuvars işlenerek %99 saflıkta silika elde edilebilir. Ardından, silikadan metalürji kalitesinde silisyum yapımı tamamlanmış olur. Bunu izleyen aşamada ise silisyum saflaştırılarak yarı iletken özelliğinde çok kristalli silisyum elde edilir. Çok kristalli silisyum elde edilmesine kadar olan aşamaların her birisi, oldukça yoğun enerji

ihtiyacı olması maliyetleri yükselten işlemlerdir (Akgün 2006). Şekil 3.3’de mono-kristal silikon güneş pili gösterilmektedir.



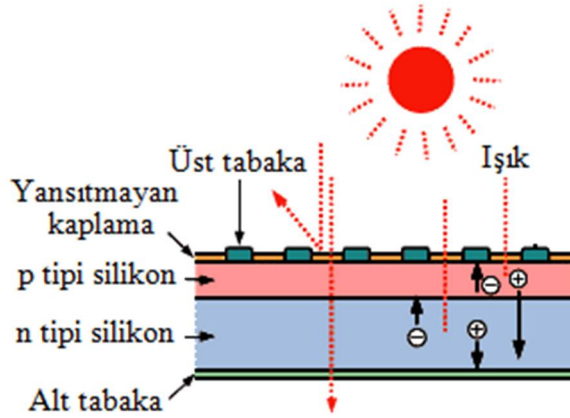
Şekil 3.3 Mono-kristal silikon güneş pili.

Mono-kristal silikon üretiminde ‘Czochralski Metdotu’ olarak bilinen üretim yöntemi kullanılmaktadır. 1971 yılında geliştirilen bu yöntemde Czochralski, silisyum dioksit (SiO_2) bileşimini bir kaba koymakta ve çok yüksek sıcaklıkta eritmektedir. Daha sonra küçük bir aşı kristali erimiş malzemenin içine batırılmakta ve yavaş yavaş yukarı, soğuk bölgeye doğru çekilmektedir. Bu işlem sonucunda uzun ve tek kristalli silindir elde edilmektedir. Şekil 3.4’de czochralski yönteminin uygulanışı gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Czochralski yönteminin uygulanışı (İnt.Kay.2).

Chozhralı Metodu sonrası 30cm çapında ve birkaç metre boyutunda oluşan tek kristalli silindir malzeme dairesel, dikdörtgen veya çokgen olacak şekilde ve kalınlığı 0,2-0,3mm kalınlıklarında dilimlenmektedir. Ortaya çıkan bu tabakalar güneş pillerinin P-tipi yarı iletken malzemesidir. N tipi yarı iletken malzemesi daha düşük kalınlıktadır. P tipi ve N-tipi yarı iletken malzeme bir araya getirilerek bağlantılar yapılır, birbirlerine ayrılmayacak şekilde özel yapıştırıcılar ile tutturulur. En son işlem olarak ta yansıma önleyici cam tabaka yapıştırılarak güneş pili oluşturulur. Mono-kristal silikon pillerin rengi koyu mavi-siyah aralığında bir renktir. Şekil 3.5’de mono-kristal silikon güneş pili gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Tek kristalli silikon PV hücre katmanları (İnt. Kay. 3).

Tek kristal silikon bir PV hücresi Şekil 3.5’de gösterilen katmanlardan oluşur.

En üst yüzeyde iletici ızgara

Yansıtmayan kaplama veya işlemden geçirilmiş yüzey katman

Toplaç olarak adlandırılan ve yaklaşık 1µm kalınlığında çok ince genellikle n-tipi silikon katmanı

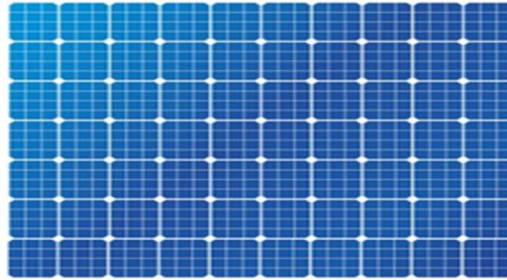
Akım üretilmesine olanak sağlayan ve birleşme yerlerinde yer alan, çok dar elektrik alanı bölgesi

Toplaç ile ters bir şekilde katkılanmış ve genellikle P-tipi silikondan oluşan taban katman

Alt kontak

3.3 Çok Kristal Silikon Güneş Pili

Çok kristalli silisyum üretimde kullanılan yöntem tek kristal silisyum yöntemine benzemektedir (Upadhyaya *et al.*2006). Çok kristalli silisyum eriyik haldeki yarı iletken silisyumun kalıplarda soğutulması ile elde edilir. Soğuyan yarı iletken, monokristal güneş pili yapımında olduğu gibi dairesel, dikdörtgen veya çokgen olacak şekilde ve kalınlığı 0,2-0,3mm kalınlıklarında dilimlenmektedir. Daha sonra yarı iletken malzemeler bir araya getirilerek bağlantılar yapılır, birbirlerine ayrılmayacak şekilde özel yapıştırıcılar ile tutturulur. En son işlem olarak ta yansıma önleyici cam tabaka yapıştırılarak güneş pili oluşturulur. Poli-kristal silisyum üretiminde Czochralski yöntemi veya başka bir saflaştırma yöntemi kullanılmadığından oluşan poli-kristal silisyumlar homojen değildir. Poli-kristal silisyumun yapımında ki kolaylıktan dolayı fiyatları mono-kristal güneş pillerine göre daha düşüktür. Poli-kristal güneş pillerinde yansımayı engelleyici cam varsa mavi renkte, yansımayı engelleyici cam yoksa gümüş renginde görünmektedir. Şekil 3.6'da poli-kristal silikon güneş pili gösterilmektedir.

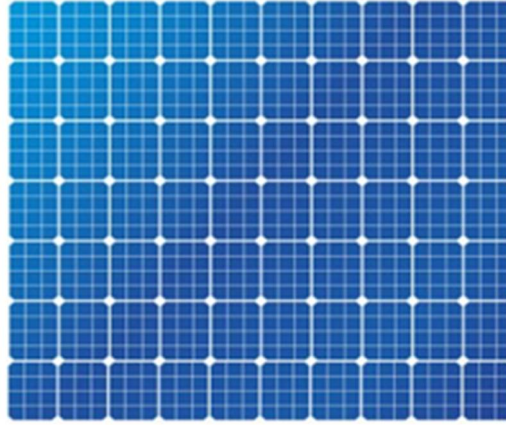


Şekil 3.6 Polikristal silikon güneş pili.

Çok kristal malzemenin elektriksel, optik ve yapısal özellikleri; tek kristal malzemenin özellikleri ile aynıdır. Çok kristalli malzeme tek kristale göre saf olmadığından bünyesinde var olan damarlar bazen geniş bazen de dar olmaktadır. Damarların büyüklükleri kristalin kalitesi ile doğru orantılıdır. Damarlar arasındaki düzensizlik, özellikle elektriksel yük taşıyıcılarının aktarılmasında önemli ölçüde rol oynar. Çok kristalli malzemenin elektriksel özelliklerinin, küçülen damar büyüklüğü ile orantılı olarak bozulması, ulaşılabilecek verimin tek kristalle karşılaştırıldığında, küçük olmasına neden olur (Öztürk 2008).

3.4 İnce Film Güneş Pilleri

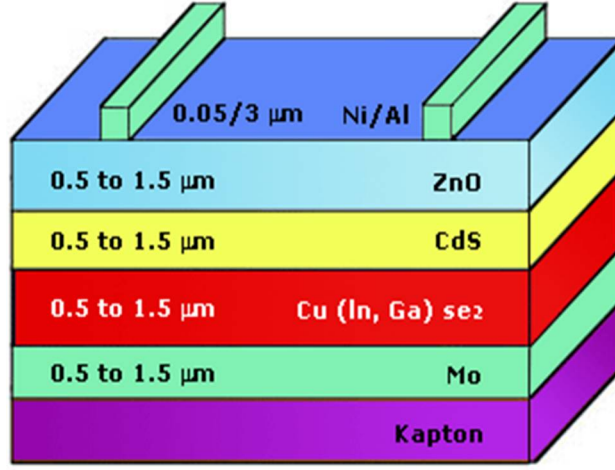
Yarı iletkenler sadece güneş pillerinde değil, bilgisayar endüstrisi başta olmak üzere birçok endüstride kullanılmaktadır. Bilgisayar endüstrisinin gelişmesi için yarı iletkenler üzerinde birçok araştırılma yapılmakta ve önemli gelişmeler sağlanmaktadır. Bu gelişmeler PV endüstrisinin gelişmesine de katkı sağlamaktadır. İnce film güneş pillerde çok az materyal bulunmaktadır. Üst üste yerleştirilmiş çok ince yarı iletken katmanlardan oluşmaktadır (Çekinir 2012). Bu pillerin üretim kolaylığı da avantajları arasındadır. Şekil3.7’de ince film silikon güneş pili gösterilmektedir.



Şekil 3.7 İnce Film silikon güneş pili.

İnce film hücreler, çok değişik malzemelerden üretilmektedir. Ticari olarak kullanılan ince film güneş panellerinde, en çok amorf silikon kullanılmaktadır. Diğer taraftan çok kristalli bakır indiyum diselenid ve kadmiyum tellür hücrelerde düşük üretim maliyetleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Erdinç 2012).

İnce film güneş pilleri diğer güneş pillerine bakış çok ince boyuttadır. Bunun nedeni; ince film güneş panellerini oluşturan katmanların çok ince olmasıdır. Şekil 3.8’de ince film güneş panelinin katmanları gösterilmektedir. Katmanlar incelendiğinde en çok yeri alt katman dediğimiz cam veya plastik almaktadır. Fotovoltaik etkiyi yapmakta olan katmanlar μm veya nm seviyelerindedir. Bu katmanlarda üst üste geldiğinde 1mm’den daha az yer kaplamaktadır (Morgan 2003). Şekil 3.8’de ince film güneş panelinin katmanları gösterilmektedir.



Şekil 3.8 İnce film güneş panelinin katmanları (İnt.Kay.4).

Şekil 3.8’de gösterilen ince film güneş panelinin katmanları kalınlıkları aşağıda verilmiştir;

En üst katman olan Ni/Al katmanının kalınlığı 0,05 ila 3 μ arasında

Zno katmanı 0,05 ila 1,5 μ arasında

CdS katmanı 0,05 ila 1,5 μ arasında

Cu Se₂ 0,05 ila 1,5 μ arasında

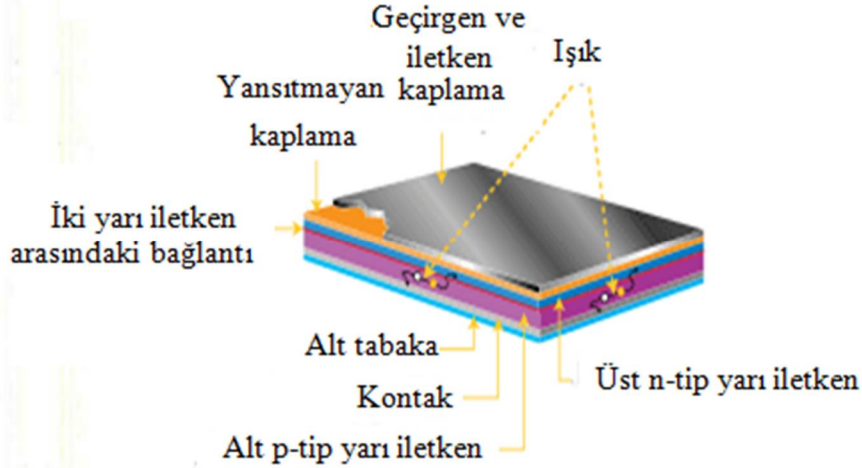
Mo katmanı 0,05 ila 1,5 μ arasında

En alt katmanda kalınlığında 0,05 ila 1,5 μ arasındadır.

İnce film güneş panelinin bütün katmanları topladığımızda güneş panelinin kalınlığı μ m seviyelerindedir.

İnce film güneş panelleri için kullanılan kristal silikon için farklı hazırlama teknikleri vardır. Bu tekniklerin hepsi, kristal silikon için gerekli külçe geliştirme tekniklerinden çok daha ucuz tekniklerdir (Morgan 2003).İnce film güneş panelli için kristal silikonlar ile 2x2 inç boyutlarında hücreler hazırlanırlar. Hazırlanan bu hücreler maliyet bakımında ucuz cam veya şekillendirme bakımından kolay plastik malzemeler üzerine yerleştirirler. Tek kristal silikon güneş pilleri hazırlanırken; yerleştirilecek modül içerisinde bireysel şekilde birbiriyle bağlı olacak şekilde yapılırken, ince film güneş panelleri tek bir parça olarak yapılabilir. Cam ve plastik gibi malzemelerin üstlerine yapılacak olan ince film güneş paneli için ilk önce yarı iletken malzeme daha sonra arka elektrik kontaktları ve en son olarak ta yansıtmayan ve iletken oksit katmanlar eklenerek

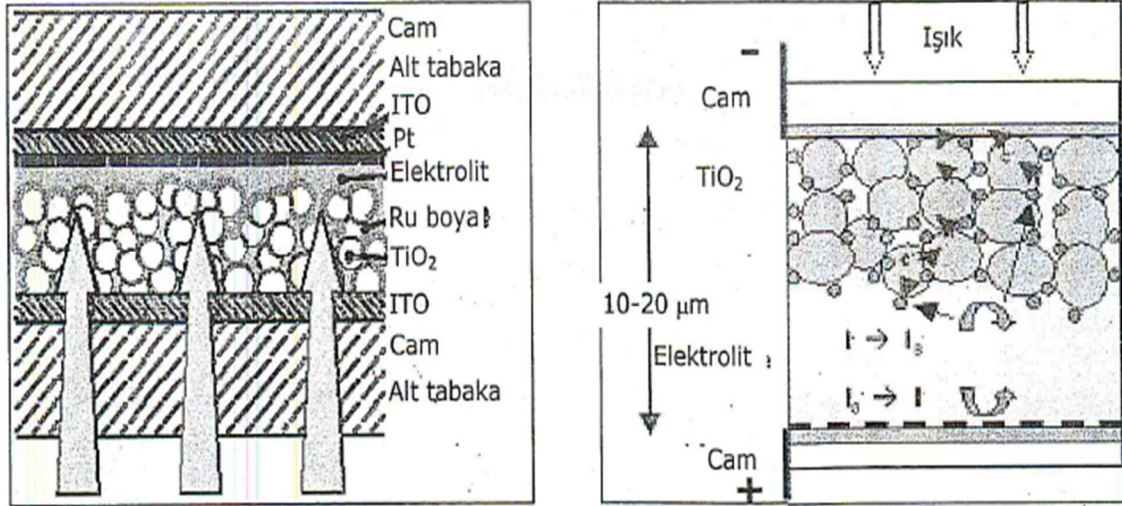
güneş paneli tamamlanır. İnce film güneş panellerinde bireysel hücreler ise her bir katman lazer ışını ile oluşturularak şekillendirilir (Öztürk 2008). Şekil 3.9’da ince film güneş panelinin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.9 İnce film güneş panelinin yapısı (İnt.Kay.5).

İnce film güneş panellerinde, tek kristal silikon hücrelerde olduğu gibi elektrik kontağı için metal ızgaralar kullanılmaz. Metal ızgaralar yerine, ince şeffaf bir iletken olan oksit katmanı kullanılır (Öztürk 2008). Bu oksit katman çok iyi bir akım iletimi sağlamaktadır. Bu katmanda kalay oksit, indiyum kalay oksit ve çinko oksit gibi çok iyi akım ileten malzemeler kullanılır. Bu oksitler, hücrenin en üst kısmından elektrik akımını etkin bir şekilde toplarlar. Oksit tabakanın direnci metal ızgaraya göre düşük olduğundan kayıplar azalmaktadır. İnce film güneş panelinin en üst kısmında ise yansıtmayan ayrı bir kaplama veya şeffaf bir iletken oksit tabakası kullanılarak kayıplar en az seviyeye çekilebilir (Gürsoy 1999).

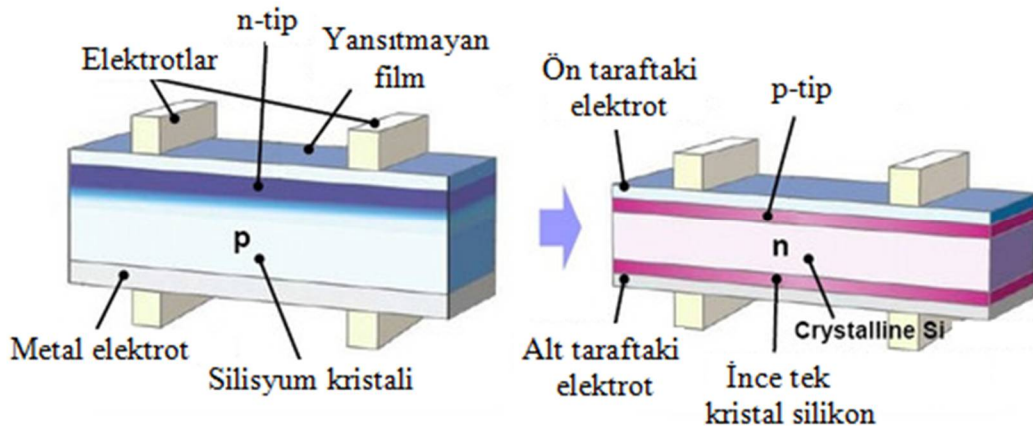
İnce film güneş panellerinde kullanılan yarı iletken malzeme, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden milyonda birine kadar değişen damarlardan oluşmaktadır. Bu kadar ince bir malzeme metal veya plastik esaslı bir malzeme üzerine düşük maliyetle kaplanabilmektedir. Şekil 3.10’da güneş pilleri için nanokristal malzeme yarı iletken uygulamasında gösterilmektedir. Şekil 3.10’da görüldüğü gibi uygulama sonrası iki cam arasındaki kalınlık 10-20 µm kalınlığındadır (Hough 2006).



Şekil 3.10 Güneş pilleri için nanokristal yarı iletken uygulamasında (Öztürk 2008).

Güneş pillerinde kullanılan yarı iletken malzeme damarlardan oluşmaktadır. Tek kristal silikonlar homojenken çok kristallide homojen değildir. Başka bir ifadeyle; tek kristalli silikonlarda damarlar her yerde aynı kalınlıkta ve süreklilikte iken çok kristallide kalınlıklar bazen değişmektedir. İnce film güneş panelleri de genellikle çok kristalli malzemelerden yapılıdır (Gordan 2011).

Yarı iletken malzemenin içindeki her damar; elektriksel, optiksel ve yapısal özellikleri fotovoltaik uygulamalar için çok uygundur. İnce film güneş panellerinin çok kristalli yapısından dolayı bu damarlar arasında mikro düzeyde yapısal kusurlar olmaktadır. Bu kusur ince film güneş panelinin en önemli sorunudur (Öztürk 2008). Uygun optik özellikte yarı iletken bir malzeme, mikron düzeyde bir kalınlık içerisinde güneş ışınlarının tamamına yakın bir bölümü soğurabilir. Bundan dolayı; ince film güneş pillerinde kalınlık, silisyum üzerinde yapılan pillere göre daha az yer kaplamaktadır (Geveorkion 2006). Şekil 3.11’de kristal silikon güneş pilindeki yapısal bozukluklar gösterilmektedir.



Şekil 3.11 Kristal silikon güneş pilindeki yapısal bozukluklar (İnt.Kay.6).

İnce film güneş panellerinde yarı iletken malzeme çok farklı malzemeler üzerine ve geniş yüzeylere uygulanabilmektedir. Silisyum pillerde ise büyütülen kristalin büyüme kadar uygulama yapılabilmektedir. PV modül ve dizi tasarımında ince filmlerin kullanımı daha kolay ve uygundur (Yaman 2007) Şekil 3.12’de ince film güneş panelleri ve dizisi gösterilmektedir.



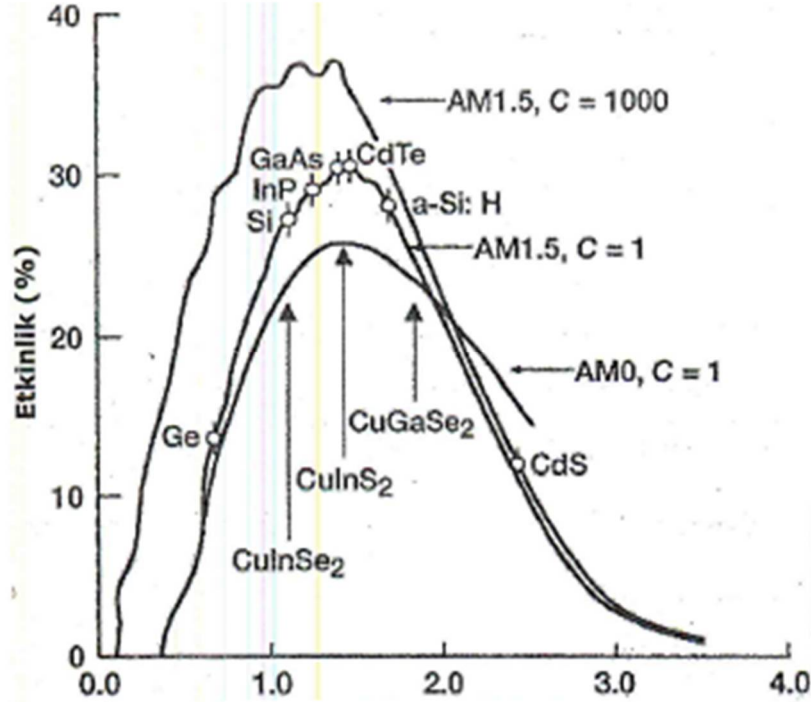
Şekil 3.12 İnce film güneş panelleri ve dizisi (İnt.Kay.7).

İnce film güneş pili teknolojisi yarı iletken teknolojisine paralel olarak ilerlemektedir. Günümüzde organik esaslı güneş pillerinin laboratuvar koşullarında verimlilikleri %18 düzeylerine kadar çıkmış durumdadır (Öztürk 2008).

3.5 Güneş Pili Seçimi İçin Temel Ölçütler

Güneş pili üretiminde en önemli madde soğurma işleminin yapan yarı iletken malzemedir. Soğurucu tabaka olarak kullanılan yarı iletkenin kalınlığı tabaka μm düzeyinde bir kalınlıkta olmalıdır.

Güneş spektrumunda kırmızı ışığın enerjisi yaklaşık olarak 1.7 eV iken mavi ışığın enerjisi 2.7 eV dolayındadır. Bununla birlikte bu değerlerin altında 0.5 eV ve üstünde 3.3 eV değerine kadar spektrumlarda önemli derecede enerji bulunmaktadır. Yasak enerji aralığı 0.5 – 3.3 eV arasında olan malzemeler, güneş pili yapımında kullanılır. Şekil 3.23’de çeşitli malzemelerin bant boşluk enerjileri gösterilmektedir. Bu elementler arasında silisyum 1.1 eV ve germanyum 0.6 eV boşluk enerjisine sahip olarak güneş pili üretiminde tercih edilen yarı iletken malzemelerdendir. Güneş pili üretimi için kullanılacak yasak enerji aralığına sahip elementler, birleşik yarı iletken malzemelerdir. Örnek verirsek; galyum ve arsenik elementlerinden oluşan GaAs kristalinin yasak enerji aralığı 1.43 eV değerinde olup, bu enerji veya daha fazla enerjiye sahip fotonları soğurarak ellektron boşluk çifti yaratır (Öztürk 2008). Şekil 3.13’de çeşitli malzemelerin bant boşluk enerjileri gösterilmektedir.



Şekil 3.13 Çeşitli malzemelerin bant boşluk enerjileri (Öztürk 2008).

GaAs kristalinin diğer elektronik özellikleri, silisyumdan daha uygundur. Güneş spektrumundaki en düşük enerjiyi soğuracak bir yarı iletkeni kullanarak, spektrumunun tamamı değerlendirilir. Bant aralığının küçülmesi fotovoltatik sistemden elde edilecek açık devre geriliminin düşmesine neden olacaktır. Güneş pilinden yüksek gerilim elde etmek için; bant aralığını genişletmek gerekmektedir. Bant aralığının genişletip yüksek gerilim elde etmek yöntemi dezavantajı ise akımın düşmesine neden olacaktır. En iyi bant aralığı 1.5 eV dolayındadır. Ticari olarak kullanılan güneş pillerinde bant aralığı 1 – 1.8 eV aralığında olan malzemelerde etkin olarak kullanılmaktadır.

Fotovoltatik malzeme seçimi için diğer önemli bi husus ise; yarı iletken malzemenin mikro yapısıdır. Yarı iletken malzemedeki kusurlar, taşıyıcıların iletilmesini önemli lde etkilemektedir. Tek kristalli malzemelerde yapısal özellikler maddenin tamamında aynıdır. Çok kristalli malzemelerde ise, yapısal özellikleri birbirinden farklı olan ve damar adı verilen bölgeler vardır. Bir damardan diğerine geçerken karşılaşılan süreksizlik ve buna bağlı olarak mikro-yapıda oluşan kusurlar, elektriksel iletkenliği olumsuz yönde etkiler. Tek kristalli malzemeler üretilen güneş panellerinin verimi çok kristalli malzemedeki üretilen güneş paneline göre daha verimlidir. Çok kristalli malzemeden üretilen güneş panellerinde verim damar büyüklükleri ile doğru orantılıdır (ztrk 2008).

3.6 Sistemde Kullanılan Güneş Panelleri

Gerçekleştirilen sistemde ticari olarak en çok kullanılan mono-kristal, poli-kristal ve ince film güneş paneli olmak üzere üç çeşit güneş paneli kullanılmıştır. Seçilen güneş panellerinde kullanılan yarı iletkenler malzemeler birbirlerinden farklı oldukları için aynı güneş enerjisine verdikleri tepkide farklı olmaktadır. Sistemde kullanılan güneş panellerinde karşılaştırma yapılacağı için üç güneş paneli de aynı güçte 100W olarak seçilmiştir. İnce film güneş paneli tek parça halinde 100 W olarak bulunmadığından 50W'lık iki parça olarak kullanılmıştır. Güneş panellerinin aynı güneş ışınımını alması için yan yana montajı yapılmıştır.

3.6.1 Mono-kristal Silisyum Güneş Paneli

Mono-kristal fotovoltaik paneli en eski panel çeşididir. Bu panel çeşidi en eski olmasına rağmen verimlilik açısından en iyi seviyededir. Fakat üretim aşamasının uzun ve maliyetli olması fiyatlarını etkilemektedir. Mono-kristal demek; silisyumun paneli oluşturan güneş hücresinin her tarafta aynı düzeyde olması anlamına gelmektedir. Bu özelliğinde dolayı mono-kristal güneş panelinde verim en yüksek seviyededir. Çizelge 3.1’de mono-kristal güneş panelinin teknik verileri gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 Mono-kristal silisyum güneş panelinin teknik verileri.

Açıklama	Değer
Yükte en yüksek voltajı	18,75 V
Yükte en yüksek akımı	5.35 A
Açık devre en yüksek voltajı	22,35 V
Kısa devre akımı	5,70A
Çalışma sıcaklığı aralığı	-40 - +85 °C
Ön cam	Tamperli
Hücre sayısı	36
Gücü	110 Watt



Resim 3.1 Mono-kristal güneş paneli.

3.6.2 Poli-kristal Silisyum Güneş Paneli

Poli-kristal fotovoltaik güneş paneli ticari olarak en çok kullanılan güneş paneli çeşididir. Poli-kristal güneş panelinin verimliliği mono-kristal güneş paneline çok yakın değerdedir. Buna rağmen yapımındaki kolaylıktan dolayı fiyatları mono-kristal güneş panelinden uygundur. Fiyatının uygun olması ve verimliliğinin iyi seviyede olmasından dolayı tercih edilmektedir. Çizelge 3.2’de poli-kristal güneş panelinin teknik verileri gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 Poli-kristal silisyum güneş panelinin teknik verileri.

Açıklama	Değer
Yükte en yüksek voltajı	17,50 V
Yükte en yüksek akımı	5.72 A
Açık devre en yüksek voltajı	21,50 V
Kısa devre akımı	6,34A
Çalışma sıcaklığı aralığı	-40 - 85
Ön cam	Tamperli
Hücre sayısı	36
Gücü	110 Watt



Resim 3.2 Poli-kristal güneş paneli.

3.6.3 İnce Film Güneş Paneli

İnce film güneş panellerinin çıkış voltajları çok yüksek olmasına karşın çıkış akımları çok düşüktür. Bu panellerinin verimlilikleri çok düşük seviyede olmasına rağmen cam ve plastik malzemeler üzerine uygulanabilmektedir. İnce film güneş panellerinin kalınlıkları çok ince olduğunda, cam ve plastik malzemeler üzeri uygulamaların da tercih edilmektedir. Çizelge 3.3’de ince film güneş panelinin teknik verileri gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 İnce film güneş panelinin teknik verileri.

Açıklama	Değer
Yükte en yüksek voltajı	45,05 V
Yükte en yüksek akımı	1,11 A
Açık devre en yüksek voltajı	61,8 V
Kısa devre akımı	1,44A
Çalışma sıcaklığı aralığı	-40 - 85
Ön cam	Tamperli
Gücü	110 Watt



Resim 3.3 İnce film güneş paneli.

3.7 Kullanılan Depolama Birimi

Gerçekleştirilen çalışmada tüketicini sürekli olarak elektrik enerjisi ile beslenmesi yapılmıştır. Bilindiği gibi, güneş panelleri güneşin olduğu zamanlarda elektrik enerji üretirken tüketici devamlı olarak elektrik enerjisi tüketmektedir. Bunun için güneş panellerinin tüketicinin ihtiyacından fazla üretmiş olduğu elektrik enerjisi akülerde depolanmıştır. Depolanan bu elektrik enerjisi güneş panellerinin üretiminin tüketicinin ihtiyacı olan elektrik enerjisini karşılayamadığı zaman devreye girmektedir. Böylelikle tüketici elektrik enerjisiz kalmıyor aynı zamanda üretilen fazla elektrik enerjisinin boşa gitmesi engellenerek verimlilik arttırılmış olmaktadır.

Elektrik enerjisinin depolanması için kullanılan aküler çok çeşitli olmaktadır. Bu çeşitlilik akü yapımında kullanılan malzemelerden kaynaklanmaktadır. Kullanılan malzemeye göre akülerin verimlilikleri ve depolama sınırı değişmektedir. Fotovoltaik sistemlerde kullanılan akü çeşitleri aşağıda verilmiştir.

Lityum- İyon Bataryalar

Kurşun-Asit Bataryalar

Nikel-Kadmiyum Bataryalar

Ultra-kapasitörler

Jel aküler

3.7.1 Lityum- İyon Bataryalar

Lityum-iyon bataryaların laptoplar, MP3 çalarlar ve cep telefonları gibi taşınabilir elektronik cihazlardaki kullanımının son derece yaygın olmasının yanı sıra elektrikli taşıtlarda ve alternatif enerji kaynakları bazlı uygulamalarda bu teknolojinin kullanımının yakın gelecekte daha da hızlı bir şekilde artacağı beklenmektedir. Bu açıdan yıllık olarak milyarlarca lityum- iyon batarya ünitesi üretilmektedir (Nair *et al.* 2007)

Lityum-iyon bataryalar %100'e yakın bir enerji depolama verimliliğine ve diğer batarya teknolojilerine kıyasla en yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Lityum-iyon bataryalar

hafif bir yapıya, hücre başına yaklaşık 4 V'luk nispeten yüksek bir gerilim seviyesine ve 100-150 Wh/kg'lık bir enerji seviyesine sahiptir. Ancak bu teknolojinin dezavantajları yüksek ilk yatırım maliyeti ve hassas çalışma limitlerinden ötürü karmaşık şarj yönetim sistemidir (Scrosati *et al.* 2007).

Lityum-iyon bataryaların maliyeti 360-1000 Euro/kWh arasında değişmektedir (Divya *et al.* 2007). Lityum- bataryaların en büyük dezavantajlarından biriside kurulum maliyeti ve kapasitesinden fazla şarj olma tehlikesidir (Hammerschlag *et al.* 2007).

Lityum-iyon bataryaların hassas kimyasal yapılarını iyileştirmek ve özellikle elektrikli taşıt ve alternatif enerji kaynaklı uygulamalarda, dayanıklılığın ön planda olduğu yapılarda daha sık kullanım sağlamak açısından araştırma çalışmaları günümüzde oldukça yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bu çalışmalar özellikle lityum-iyon bataryaların elektrot yapısında kullanılmak üzere alternatif materyallerin geliştirilmesi ve maliyet azaltıcı üzerine yoğunlaşmış durumdadır (Divya *et al.* 2007).

Ayrıca lityum-iyon bataryaların yapısındaki grafit ve lityum kobalt oksit materyallerinin daha yüksek kapasiteli ve daha düşük maliyetli alternatifleri ile değiştirilmesi sıklıkla üzerinde durulan bir husustur.

3.7.2 Kurşun-Asit Bataryalar

Kurşun-asit bataryanın temelleri Carl Wilhelm Siemens ve Wilhelm Josef Sinsteden'in 1852 ve 1854 yıllarındaki çalışmalarına dayanmaktadır (Bakeret *et al.* 2008). Pratikte kullanılacak kurşun-asit tabanlı ilk tekrar şarj edilebilir batarya ise Fransız fizikçi Gaston Planté tarafından 1860 yılında geliştirilmiştir (Kurzweil *et al.* 2010). Bu bilgiler ışığında en eski ve teknoloji bakımından en olgun batarya çeşidi kurşun-asit bataryalardır.

Düşük yatırım maliyeti, bütün tekrar şarj edilebilir bataryalar arasında en düşük self-deşarja sahip olması ve nispeten daha kolay bakımı gibi avantajları sayesinde birçok

alandaki depolama sorununun çözümlenmesinde kurşun-asit bataryalar oldukça yüksek bir yoğunlukta kullanılmaktadırlar (Nair *et al.* 2007).

Bu teknolojinin dezavantajları ise sınırlı çevrim ömrü, nispeten düşük enerji yoğunluğu, düşük ve yüksek ortam sıcaklıklarında azalan performans, derin deşarja karşı hassasiyet ve çevresel olarak zararlı kurşun bileşenini ve asit elektroliti bünyesinde barındırmasıdır (Divya *et al.* 2007).

Kurşun-asit bataryaların fiyatları ise 50-150 Euro/kWh arasında değişiklik göstermektedir. %72-78'lik verime sahip olan kurşun-asit bataryalar kullanılarak oluşturulan en büyük uygulama ABD'nin Kaliforniya eyaletindeki tesistir.

Her ne kadar yeni batarya teknolojileri üzerine birçok çalışma gerçekleştirilse de kurşun-asit bataryaların, sahip olduğu geniş kullanım alanını birçok uygulamada daha uzun bir süre koruyacağı öngörülmektedir.

3.7.3 Nikel-Kadmiyum Bataryalar

Nikel-kadmiyum bataryalar kurşun-asit bataryalara kıyasla yüksek enerji yoğunlukları, uzun çevrim ömrü ve düşük bakım gereksinimleri sayesinde günlük uygulamalarda kullanışlı bir alternatif olmuştur (Nair *et al.* 2007). Yüksek çevrim ömrü, yüksek enerji yoğunlukları ve düşük bakım gereksinimleri ile kurşun-asit bataryalar ile yarışır konuma gelmişlerdir.

Geçmiş yıllarda nikel-kadmiyum bataryalar taşınabilir cihazlarda, elektrikli taşıt ve alternatif enerji uygulamalarında kullanım alanı bulmuşlardır. Ancak kadmiyum maddesinin çevresel etkileri ve buna bağlı olarak yeniden dönüşüm işleminin olumsuzlukları nikel kadmiyum bataryaların bahsi geçen alanlardaki kullanımını oldukça azaltmıştır (Bakeret *et al.* 2008).

3.7.4 Jel Aküler

Kurşun asit akü, enerji depomla gerektiren birçok sistemde en çok tercih edilen akü çeşididir. Farklı alanlarda yapılan uygulamalarda yüksek performansa sahip akü ihtiyaçlarının giderilmesi amacıyla bu ihtiyaca karşılık vermeyen sulu kurşun aküler yerine jel aküler tercih edilmektedir. Jel aküler yüksek performansı nedeniyle yenilenebilir enerji sistemleri başta olmak üzere bir geniş bir kullanım alanına sahiptir. Jel aküler dönüşüm prensibi ile çalışır ve içindeki gaz fazına geçen elementler daha sonra yoğunlaşarak kimyasal reaksiyona dâhil olurlar.

Bu işlemlerden dolayı, jel akülerde güvenlik nedeniyle sadece yüksek basınçta açan özel valf sistemi bulunur. Bu sistem gazların aküden uzaklaşmasını engelleyerek su kaybını en aza indirir.

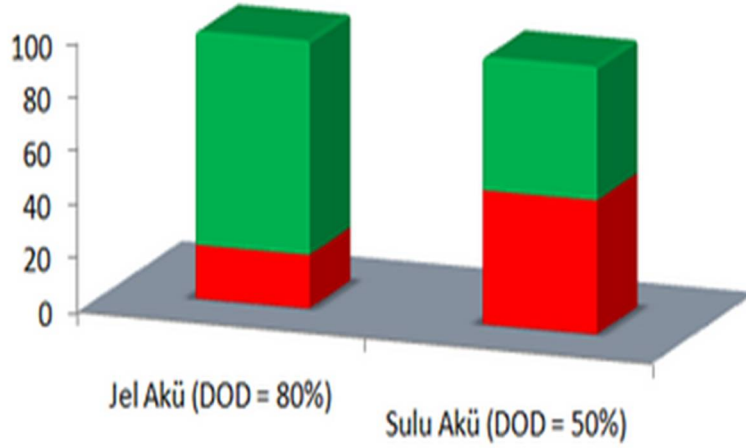
Jel aküler bakımsız tip aküler olduğundan hiçbir zaman jel akülere saf su vb. ilave edilmez. Akü valflarını zorlayarak açmak, akü içinde bulunan gazların uzaklaşmasına neden olur. Aküden ayrılan gazda akünün ömrünün kılmasına neden olur.

Gaz çıkışı ancak yüksek basınç uygulandığında meydana gelir, normal şartlarda akü içindeki gazların tekrar reaksiyona girmesinden dolayı akülerde gaz çıkışları en düşük düzeydedir. Bundan dolayı jel akülerin kullandıkları alanlarda ortaya çıkan gazları uzaklaştırmak için sulu akülerde kullandıkları alanlara göre çok daha küçük havalandırma pencereleri yeterli olacaktır.

Jel akülerin avantajları arasında biri de bünyesinde sıvı elektrolit bulundurmıyışdır. Bu nedenle herhangi bir şekilde elektrolitin akıp akünün bulunduğu ortama zarar vermesi engellenmiştir. Jel akülerin sülfürik asit belli bir oranda silika ile karıştırılarak jel kıvamı elde edilir. Akü içindeki iyon transferi de bu jel elektrolit ortamda gerçekleşir.

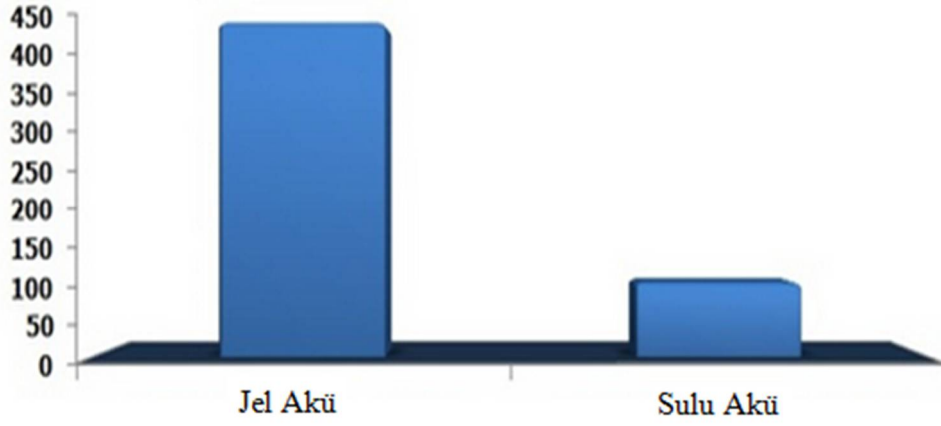
Yenilenebilir enerji sistemlerinde en çok jel akülerin kullanılmasının sebebi; jel akülerinin kullanılabilir kapasiteleridir. Kullanılabilir kapasite; akünün üzerinde depoladığı enerji miktarının ne kadarının kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Bu

oran sulu akülerde %50 mertebesindeyken, jel akülerde bu değer %80'ler seviyesindedir. Bu şu anlama gelmektedir; 100Ah'lik bir sulu aküden 50 Ah kullanabilirken, 100 Ah'lik bir jel aküden ise akünü 80 Ah'lik kısmı kullanılabilir. Şekil 3.14'de 100 Ah'lik kuru ve jel akülerin kullanılabilirlik kapasiteleri gösterilmiştir.



Şekil 3.14 100 Ah'lik kuru ve jel akülerin kullanılabilirlik kapasiteleri (İnt.Kay.6).

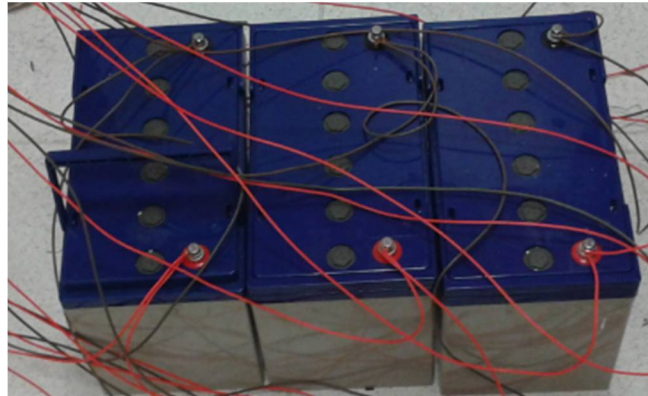
Jel akülerin geniş kullanım alanı bulmasının en önemli diğer bir nedeni çevrim ömürlerinin uzun olmasıdır. Çevrim ömrü; bir akünün karakteristik özelliklerinin bozulmadan şarj ve deşarj olma süresidir. Aynı kapasitede jel akü ve sulu akü incelendiğinde; aynı kullanım koşullarında jel akülerin 4-5 kat daha fazla çevrim ömrüne sahip oldukları saptanmıştır. Şekil 3.15'de %80 oranında şarj edilmiş jel akü ile sulu akünün çevrim ömrü gösterilmiştir. Sulu akünün çevrim ömrü 100 iken, jel akünün 450 olmuştur. Diğer bir ifadeyle; sulu akü 100 defa şarj ve deşarj olduktan sonra karakteristik özelliği bozulurken nu oran jel akülerde 450 defa şarj ve deşarj olduktan sonra olmaktadır.



Şekil 3.15 %80 oranında şarj edilmiş jel akü ile sulu akünün çevrim ömrü (İnt.Kay.6).

3.7.5 Sistemde Kullanılan Aküler

Gerçekleştirilen sistemde tüketicinin çalışması planlanmıştır. Bunun gerçekleşmesi için tüketicinin enerjisinin kesilmemesi gerekmektedir. Güneş panelleri güneş olduğu zaman elektrik enerjisi üretmekte, güneş olmadığı zaman elektrik enerjisi üretimi olmamaktadır. Güneş olmadığı zaman yani güneş panelleri elektrik enerjisi üretmediği zaman tüketicinin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için aküler kullanılmıştır. Akü çeşitleri arasında jel akü seçilerek kullanılmıştır. Jel akü seçilmesinin sebebi; akü kapasitesinin kullanılabilirlik oranının yüksek olması ve şarj-deşarj oranının fazla olmasıdır. Böylelikle akünün ömrü uzun olurken tüketicilerin ihtiyacı olan elektrik enerjisinin daha fazla depolayabilmektedir. Şekil 3.16'da sistemde kullanılan aküler gösterilmektedir.



Şekil 3.16 Sistemde kullanılan aküler.

Sistemde akü kullanılmasının diğer büyük sebebi de güneş panellerinin üretmiş olduğu elektrik enerjisi tüketicilerin ihtiyacından fazla olduğunda üretilen fazla enerji boşa gitmektedir. Akü kullanılarak üretilen fazla enerji depolanmaktadır. Güneşin etkili olduğu gündüz saatlerinde üretilen fazla enerji akülerde depolanarak elektrik üretiminin olmadığı gece saatlerinde tüketicinin ihtiyacı olan elektrik enerjisi akülerden sağlanmaktadır. Çizelge 3.4’de akülerin verileri gösterilmektedir.

Çizelge 3.4 Akülerin teknik özellikleri.

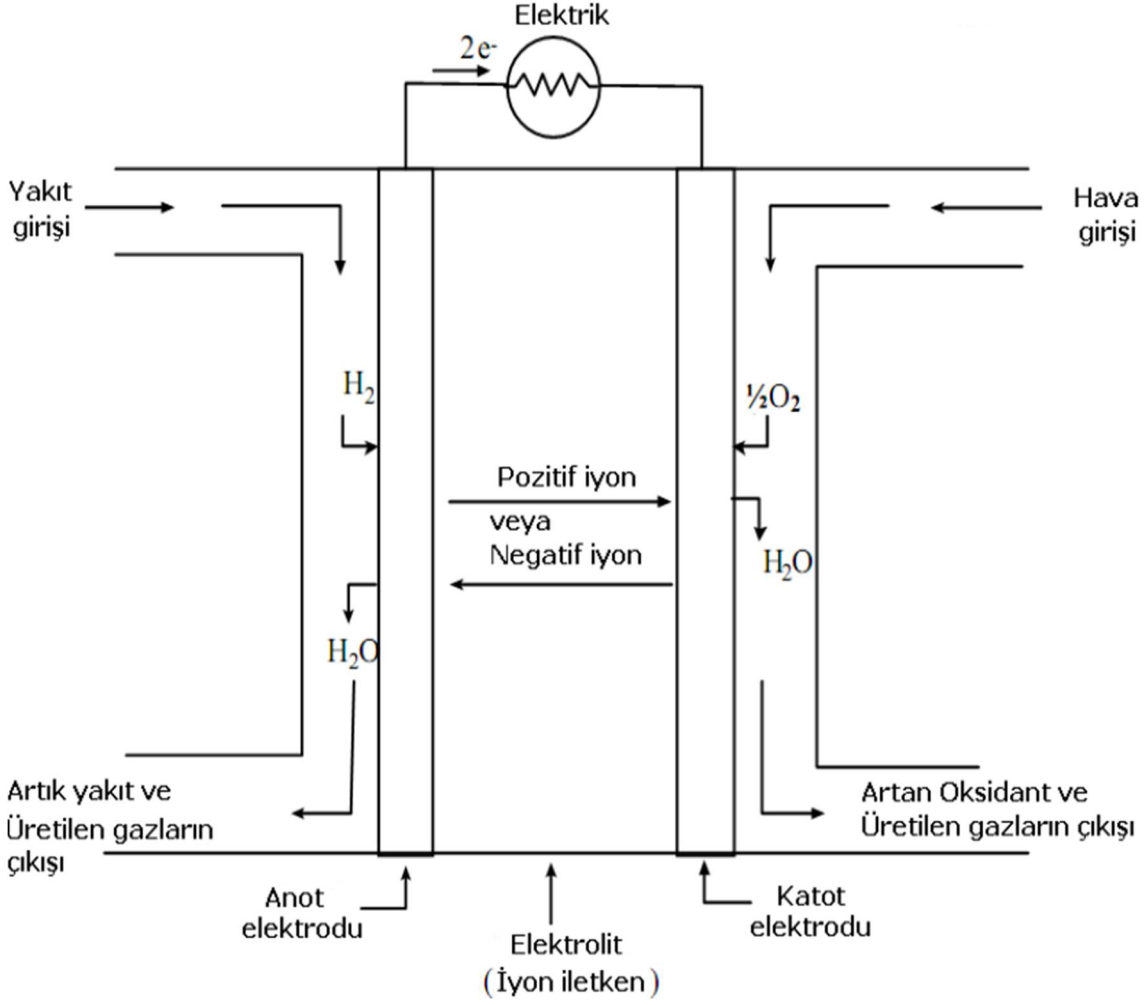
Açıklama	Değer
Voltajı	12 V
Kapasite	85 Ah
Kısa devre akımı	21 A
Tipi	Jel akü

Sistemde üç farklı tipte güneş paneli kullanılmıştır. Güneş panellerinin üretiminde kullanılan yarı iletken farklıdır. Bundan dolayı güneş panellerinin elektrik enerjisi üretimleri birbirlerinde farklı olmaktadır. Fazladan üretilen elektrik enerjileri de aküde depolanmaktadır. Depolanan enerjilerin karşılaştırılması için üç tane birbirinde bağımsız jel akü kullanılmıştır.

3.8 Yakıt Pili

Yakıt olarak hidrojen veya oksitlendiricinin kullanıldığı ve elektrokimyasal reaksiyon sonucu doğrudan elektrik enerjisi üreten sisteme yakıt pili denir. Yakıt pillerinde hidrojen ile oksijenin bir araya gelmesi ile kimyasal bir reaksiyon meydana gelmektedir. Kimyasal reaksiyon sonucu elektrik enerjisi, ısı ve su ortaya çıkmaktadır.

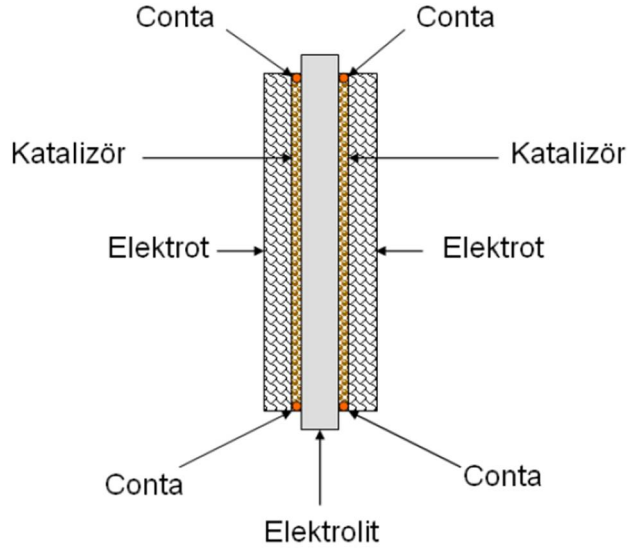
Yakıt pilleri, aküler ve pillerin ortak özelliği kimyasal reaksiyon sonucu elektrik enerjisi üretilmesidir. Yakıt pillerini akü ve pillerden ayıran en büyük özellik; yakıt pillerinde elektrik enerjisi üretimi hidrojen ve oksijenin sağlandığı sürece devam etmekte iken akü ve pillerde depolarında ki enerji miktarı ile sınırlıdır (Yılmaz 2011). Şekil 3.17’de bir yakıt pili ve işleyişi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.17 Bir yakıt pili ve işleyişi (Öztürk 2012).

Yakıt pillerinde elektrik enerjisi üretiminin sağlanabilmesi için anot elektroduna yakıt dediğimiz hidrojen, katot elektroduna oksitlendirici dediğimiz hava yada oksijen gönderilmelidir. Hidrojen ve oksijenin birleşmesi sonucu bir elektrokimyasal reaksiyon oluşmaktadır. Bu elektrokimyasal reaksiyon sonucu anot ve katot elektrotları arasında potansiyel bir fark oluşmaktadır. Oluşan bu potansiyel fark ile elektrik gerilimi meydana gelmektedir. Ayrıca reaksiyon sonrası H_2O yani su açığa çıkmaktadır.

Şekil 3.17'den anlaşılacağı gibi yakıt pili anot elektrodu, elektrolit ve katot elektrodundan oluşmaktadır. Bu üçünün oluşturduğu gruba yakıt hücresi adı verilmektedir. Şekil 3.18'de yakıt hücresi gösterilmektedir. Bir yakıt hücresinde oluşan gerilim 1 Volt'un altında oluşmaktadır. Yüksek gerilimler elde etmek için yeterli sayıda yakıt hücresi seri bağlanabilmektedir (Altan 2012).

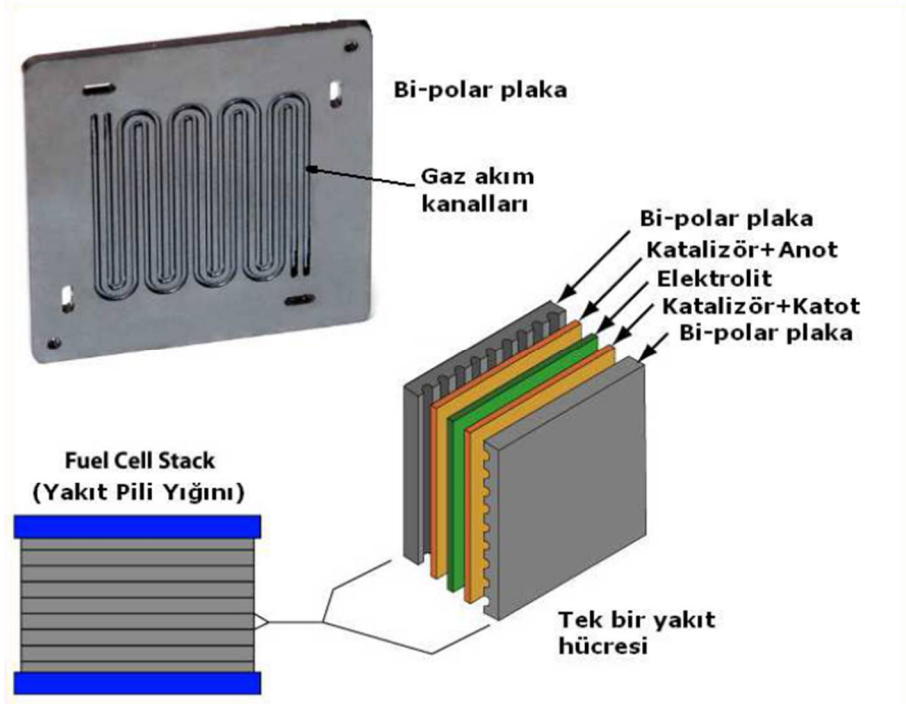


Şekil 3.18 Yakıt hücresi (Yıldırım 2011).

Yakıt pillerinde kimyasal reaksiyonun oluşabilmesi için hidrojen ve havanın akışının yönlendiren ve hücreler arası bağlantıyı sağlayan kısımlara “Akım Toplayıcı Plakalar (bipolar plaka)” denir (Mahmut 2012). Şekil 3.19’da Bir yakıt pili yığını ve bipolar plakaların detaylı görünümü gösterilmektedir.

Akım toplayıcı plakaların üretiminde çeşitli malzeme kullanılmakla birlikte en çok grafit tercih edilmektedir. Grafik malzemenin tercih edilmesinin nedeni; iyi bir ısıl ve elektriksel iletken, mekanik olarak katı ve kimyasal olarak kararlı olmasıdır. Son yıllarda grafit yerine çelik ve benzeri karbon içerikli metallere kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise grafitin işleme güçlüğü ve maliyetinin çok yüksek olmasıdır.

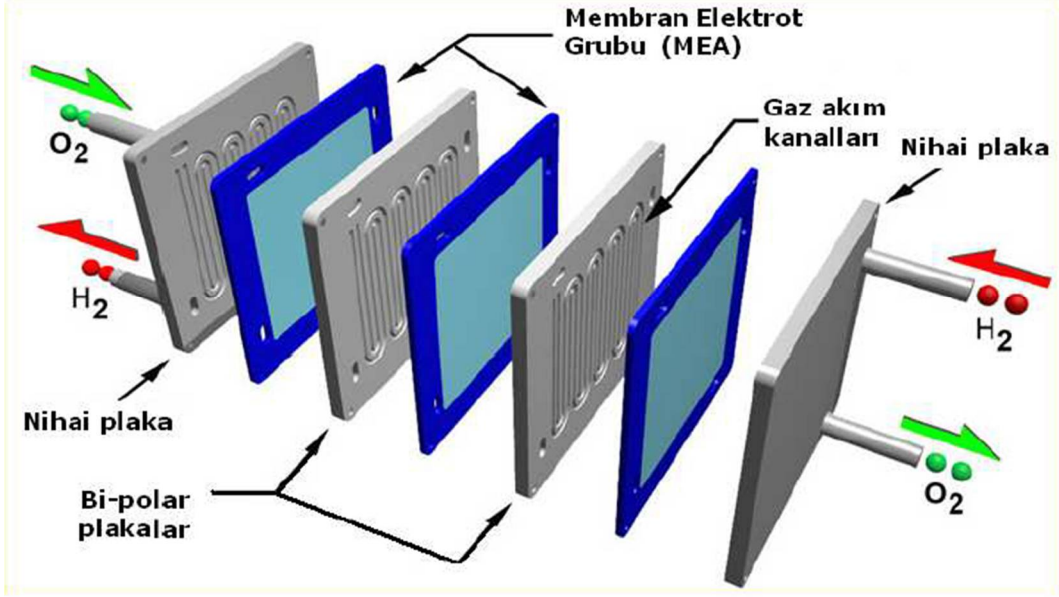
Yakıt hücrelerinde reaksiyon ne kadar hızlı olursa elektrik enerjisi üretimi de o kadar iyi olmaktadır. Yakıt hücrelerinde reaksiyonu hızlandırmak için katalizör kullanılır. Kullanılan katalizör reaksiyonu hızlandırabilmesi için anot ve katot elektrotlarına temas etmesi gerekmektedir. Yakıt hücrelerinde kullanılan katalizörler aynı olmamakla birlikte yakıt pilinin tipine göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 3.19 Yakıt pili yığını ve bi polar plakaların detaylı görünümü (Yıldırım 2011).

Bir yakıt hücresi anot ve katot elektrodu ortada ise elektrolit tabakadan meydana gelmektedir. Reaksiyonu hızlandırmak için ve bir elektroda temas halinde katalizörde kullanılmaktadır. Yakıt hücrelerin bir araya gelmesi ile yakıt pili yığını oluşmaktadır. Yakıt pili yığınının oluşturmanın nedeni; kullanılan yere ve ortama göre voltaj değişmektedir. Bundan dolayı istenilen voltajı elde etmek için yeterli sayıda yakıt hücresi bir araya getirilerek yakıt pili yığını oluşturulur. Böylelikle istenilen yere uygun yakıt pili oluşturularak değişik amaçlarda kullanılmaktadır.

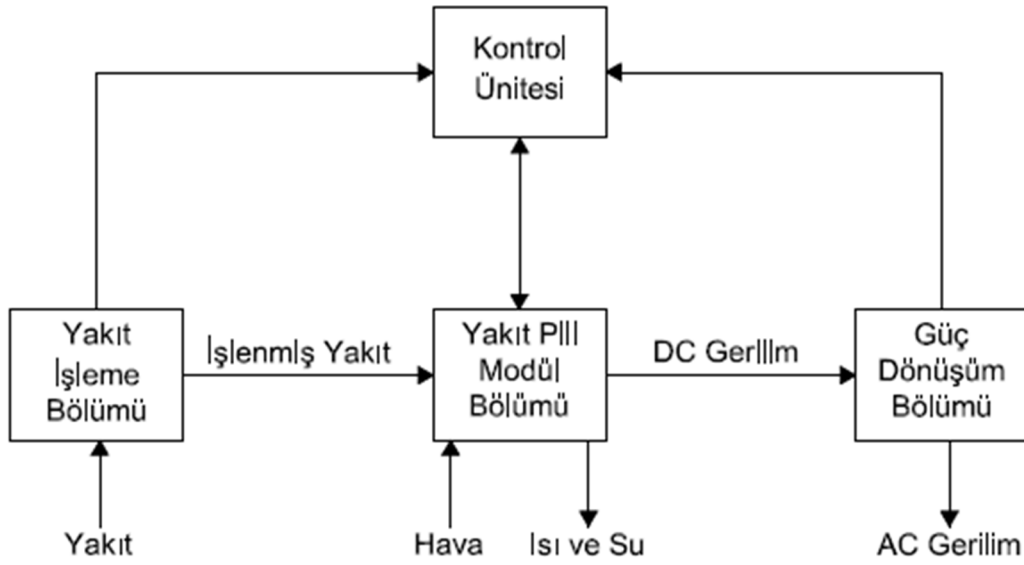
Yakıt pilinin performansında temel faktörler olarak yakıt pilinin her bir biriminde kullanılan elemanların yapısı, malzemesi ve bunlara bağlı olarak performansları sayılabilir. Ayrıca yakıt pilinin performansını önemli bir etkide işletme şartlarıdır. Bu nedenle yakıt pilinde kullanılan malzemeler ve ekipmanlarla ilgili olarak yapılan çalışmalar yakıt pilinin performansının artırılmasında önemli bir yer tutmaktadır (Yıldırım 2011). Şekil 3.20’de ise yakıt pilinin yığınınını ve elemanların detaylı görünümü gösterilmektedir



Şekil 3.20 Yakıt pilinin yığılmasını ve elemanların detaylı görünümünü gösterilmektedir (Yıldırım 2011).

Yakıt pillerinde birkaç watt'tan megawatt seviyelerine kadar güç çıkışı sağlanabilmektedir. Bunun için çok sayıda hücrenin bir araya getirilmesi yeterli değildir. Bu hücrelerin yanına yakıt işleme ünitesi, güç dönüştürücü, kontrol ünitesi gibi kısımları eklenerek istenilen güçte çıkış sağlanabilmektedir. Yakıt pilleri çıkış gerilimi doğru akımdır. İstenildiği takdirde gerilimin düzenlenmesi için regülatör, doğru akımın alternatif akıma dönüşümü için ise dönüştürücü kullanılabilir (Çalışır 2014).

Yakıt pilleri sadece yakıt pilinden oluşmamaktadır. Yakıt pilinin yanında yakıt pilini tamamlayan yada bir sisteme dönüştüren ekipman yada ilave üniteler kullanılması gerekebilir. Bu şekildeki yani yakıt pili ve yardımcı üniteler ile birlikte oluşan sistem "Yakıt Pili Sistemi" şeklinde adlandırılabilir. Bu yönden bir yakıt pili sistemi, temel olarak 4 ünitelerden oluşmaktadır. Şekil 3.21'de bir yakıt pili sistemi oluşturan dört temel ünite ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir. Bu temel üniteler; yakıt işleme ünitesi, güç üretim ünitesi (yakıt pili grubu-modül), güç dönüşüm ünitesi ve kontrol ünitesi grubundan oluşmaktadır (Yıldırım 2011).



Şekil 3.21 Bir yakıt pili sistemi oluşturan dört temel ünitenin gösterimi (Öztürk 2012).

Yakıt işleme bölümü; yakıtın yakıt piline gönderilmesi öncesinde hazırlandığı, eğer doğrudan hidrojen kullanılmıyorsa, kullanılan yakıttan hidrojenin ayrıştırıldığı, saflaştırıldığı ve koşullandırıldığı ünedir.

Güç üretim sistemi; olarak isimlendirilen bölüm bir veya birden fazla yakıt pili modülünden meydana gelebilmektedir. Sistemde güç üretiminin gerçekleştirildiği ünedir.

Güç dönüşüm bölümünde hücrede üretilen doğru akım ticari kullanım için düzenlenir (regüle edilir) ya da dönüştürücüler (inverter) yardımı ile alternatif akıma çevrilir.

Kontrol sistemi bölümünde, sistemin tüm işleyişi denetlenir ve kontrol edilir. Bu noktada en önemli kontrol; başta nemlendirme, yakıt pili sıcaklık kontrolü, yakıt-hava debi kontrolü, gerilim-akım çıktı kontrolü, atık ısı, atık su kontrolü, soğutucu akışkan kontrolü vb. gibi sıralanabilir (Yıldırım 2011).

Ayrıca pek çok yakıt pili sisteminde yardımcı elemanlar olarak adlandırılacak bazı ekipmanlar da söz konusudur. Bunlar; fan, kompresör, nem ünitesi, ısı değiştiriciler vb. olarak sayılabilir.

3.8.1 Yakıt Piliinin Özellikleri

Yakıt pilleri fosil yakıtlar kullanılarak elektrik enerjisi elde eden sistemlerden farklı olarak yakıttaki kimyasal enerjiyi %80'lere yakın bir seviyede elektrik enerjisine çevirebilmektedir. Bu oran diğer sistemlerin göre çok yüksek verim anlamına gelmektedir. Fosil yakıtlar kullanılarak elektrik enerjisi elde eden sistemler çıktı olarak sadece elektrik enerjisi vermezler. Elektrik enerjisinin yanında çevreyi kirletici gaz, partiküller ve karbondioksit (CO₂) yaymaktadır. Yakıt pillerinde ise elektrik enerjisinin yanında su ortaya çıkmaktadır. Yakıt pilleri başta partikül madde olmak üzere kükürt dioksiti ve azot dioksiti sifıra indirirken, CO₂ emisyonunu da oldukça azaltırlar. Yakıt pillerinin bir diğer önemli özelliği ise mekanik aksam içermemeleri sebebiyle oldukça gürültüsüz çalışmaları ve gürültü kirliliğine neden olmamalarıdır. Mekanik aksam içermemeleri aşınma ve yıpranma gibi sorunları ortadan kaldırmaktadır ve bu aşınmalardan ortaya çıkan partikül maddeler yok sayılacak kadar azdır. Oldukça basit bir yapıya sahip dayanıklı sistemlerdir ve kolaylıkla pek çok alanda kullanılabilirler. Teorik olarak yakıt beslendiği sürece, bakım gerektirmeden sürekli elektrik üretebilme kapasitesine sahiptirler (Yıldırım 2011).

3.8.2 Yakıt Pili Çeşitleri

Günümüzde yakıt pillerinin sınıflandırılması daha çok yakıt pilleri elektrolit kısmını oluşturan malzeme cinsine göre yapılır. Bu sınıflandırma ile yakıt pillerinin temel çalışma prensibini etkilemez, ancak performansları çalışma koşulları ve uygulama alanlarının farklılaşmasına yol açar. Çizelge 3.5'de yakıt pili çeşitleri ve özellikleri görülmektedir (Yıldırım 2011).

Çizelge 3.5 Yakıt pili çeşitleri ve özellikleri.

Yakıt pili	Elektrolit	Çalışma Sıcaklığı	Elektriksel Verim	Yakıt Oksitleyici
Alkali	Potasyum Hidroksit Çözeltisi	Oda Sıcaklığı - 250 °C	% 60 - 70	H ₂ O ₂
PEM	Proton İletken Elektrolit Mebran	Oda Sıcaklığı - 80 °C	% 40	%60 H ₂ O ₂ Hava
Direkt Metanol	Proton İletken Mebran	Oda Sıcaklığı - 130 °C	% 20 - 30	CH ₃ OH/O ₂ Hava
Fosforik Asit	Sıvı Fosforik Asit	160 – 220 °C	% 55	Doğalgaz Biyogaz H ₂ O ₂ , hava
Erimiş Karbonat	Alkali Karbonatlar	620- 660 °C	% 65	Doğalgaz Biyogaz, kömür H ₂ O ₂ , hava
Katı Oksit	Erimiş Alkali Metal Karışımı	800 – 1000 °C	% 60 - 65	Doğalgaz Biyogaz, kömür H ₂ O ₂ , hava

3.8.2.1 Proton Değişim Membranı (PEM) Yakıt Pili

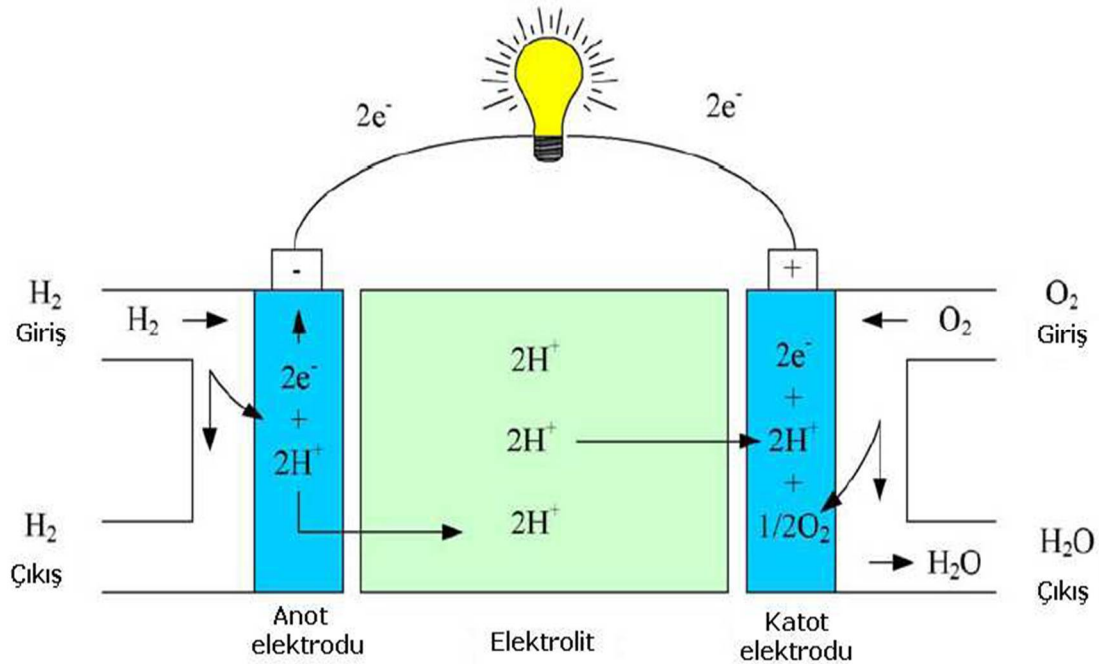
Proton değişim membranı yakıt pili (PEM), tasarım ve işletim bakımından en zarif yakıt hücresidir. İlk PEM General Electric tarafından 1960’larda NASA için geliştirilmiştir. Burada bir katı polimer elektrolit membran iki platin katalizörlü gözenekli elektrolit arasına yerleştirilmektedir. Polimer elektrolit membran (zar) yakıt pili olarak da adlandırılır. Diğer yakıt pillerine göre daha fazla güç yoğunluğu, düşük hacim ve düşük ağırlığa sahiptir (Pratihari 1999). Yakıt pilinde elektrolit olarak ince polimer bir zar kullanılır. Mikron düzeyinde kalınlığa sahip olan membran, proton geçirgen bir yapıdadır. Çalışma sıcaklıkları 100°C’in altında olup genellikle 60-80°C aralığındadır. Katalizör olarak soy metallerden platinyumun kullanılması maliyetini arttırmaktadır. Platinyum katalizörlerin karbonmonoksit karşı aşırı duyarlı oluşları, yakıtta yer alabilecek karbondioksitin ayrıştırılmasını gerektirir. Bu ise ilave maliyete neden olur.

Şekil 3.22’de Proton değişim membranı yakıt pilinin genel çalışma prensipleri gösterilmektedir. Aşağıda verilen reaksiyon denklemlerinde, PEM yakıt pilinde gerçekleşen reaksiyonlar görülmektedir (Yıldırım 2011).

Anot Reaksiyonu: $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

Katot Reaksiyonu: $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Toplam Reaksiyon: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{Elektrik enerjisi}$

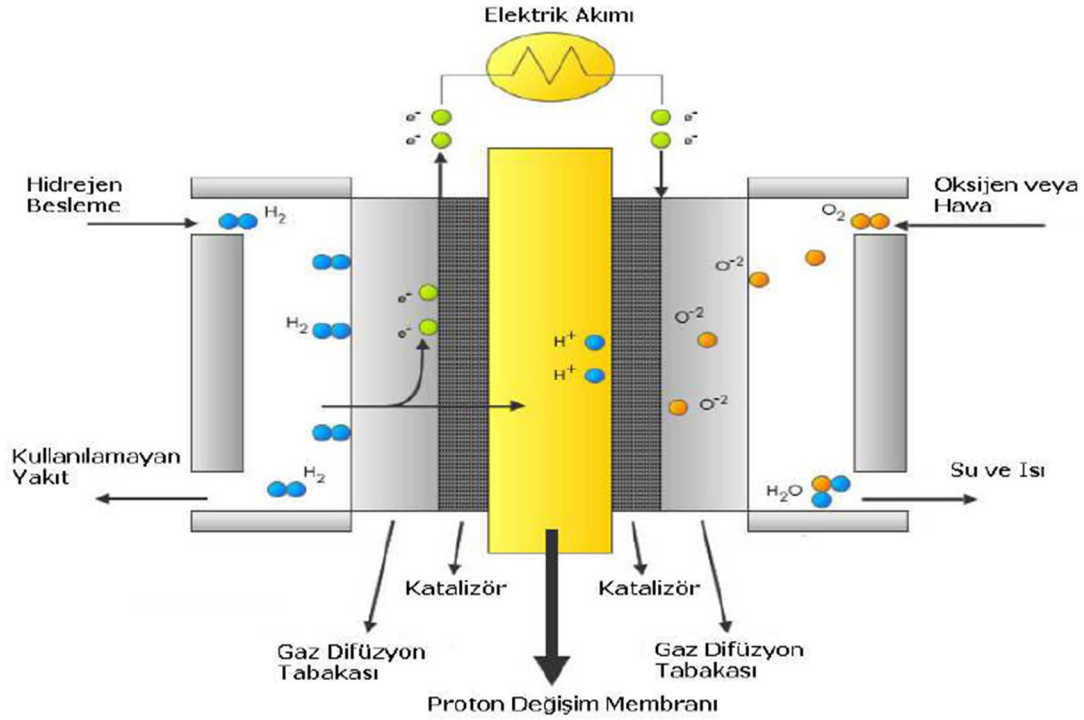


Şekil 3.22 Proton değişim membranı yakıt pilinin genel çalışma prensipleri.

Anod elektroduna gönderilen hidrojen (H_2) elektrodun ayrılması sonucu proton (2H^+) oluşmaktadır. Proton geçirgen bölgeden geçen protonlar ile katot elektroduna gönderilen hava/oksijen ve yük üzerinden gelen elektronlar ile reaksiyona girmektedir. Reaksiyon sonucu olarak su açığa çıkmaktadır. Bu yakıt pilinin performansı membranın nemliliği ile doğru orantılıdır. Bunda dolayı membran belli bir nem seviyesinde tutulmalıdır. Bu nemlilik sağlanmasa performansta önemli düşüşler görülmekte ve membran zarar görmektedir. Bundan dolayı katot elektroduna gönderilen hava/oksijen karışımı bir nem ünitesinde geçirilerek gönderilmektedir.

3.8.2.2 Elektrolit (Membran)

Membranın temel fonksiyonu anot ve katot arasındaki iyonik etkileşimi gerçekleştirmektir. Aynı zamanda reaksiyona giren iki gazı (hidrojen ve hava) birbirinden ayırır. PEM yakıt pilinde kullanılan membranın en önemli niteliği kuruması ile proton ya da hidrojen iyonu iletiminin azalmasıdır. Su miktarının fazlalığı ise elektrotlarda su taşması ve geri basınç oluşumuna neden olmaktadır. Bunlar ise yakıt pili performansını önemli ölçüde etkiler. Bu yüzden membranda iyi bir su yönetiminin yapılması gereklidir. Şekil 3.23’de PEM yakıt pili elemanlarının detaylı gösterimi ve çalışma prensipleri gösterilmektedir.



Şekil 3.23 PEM yakıt pili elemanlarının detaylı gösterimi ve çalışma prensipleri (Öztürk 2012).

3.8.2.3 Bipolar Plaka

Birçok PEM yakıt pili uygulamasında akım toplama, dağıtım ve ısı yönetimi amacıyla karbon/grafit plakalar kullanılmaktadır. Kalınlığı ~350 μ m seviyesindedir. Çoğu zaman yakıt pili soğutması için gerekli olan soğutucu yüzeyler bipolar plaka ile entegre

durumdadır. Soğutucu akışkan olarak kullanılan hava ya da su bu yüzeylerden geçirilerek soğutma gerçekleştirilir. Yakıt pili verimliliği için bipolar plakaların temas direncinin minimum, elektriksel iletkenliğinin ise maksimum olması istenir.

PEM yakıt hücreleri, kompakt yapılarından dolayı taşıtlar ve cep telefonlarına kadar diğer mobil uygulamalar için başlıca aday olarak görülmektedir. Fakat su yönetimi performans açısından hayati önem arz etmektedir: çok fazla su membranı ıslatırken çok azı kurutmaktadır, her iki durumda da güç çıkışı düşmektedir. PEM sistemlerinde su yönetimi çok zordur. Su yönetimi için elektro-ozmotik pompaların entegrasyonu gibi değişik çözümler mevcuttur. Ayrıca membran üzerindeki platin katalizör CO ile kolayca zehirlenmektedir ve membran, metalik bipolar levhaların korozyonundan kaynaklanan metal iyonları gibi maddelere karşı hassastır.

3.8.3 Yakıt Hücresi Membranlarda Aranılan Özellikler

Membranın yüksek proton iletkenliğine, düşük elektrik direncine sahip olması ve bünyesindeki su miktarının mümkün olduğunca düşük olması istenir. Ayrıca sisteme verilen diğer kimyasallara karşı dayanıklı olmalı ve onlarla kimyasal tepkimeye girmemelidir. Membran uzun süreli ve sürekli çalışmaya, sistemdeki yüksek sıcaklık ve basınç gibi çalışma koşullarına, mekanik dayanıklılığa sahip olmalıdır. Membran sentezinin parasal boyutu göz önünde bulundurulursa; membran için seçilen ve yapıyı oluşturan maddeler ucuz ve kolay sağlanabilir olmalıdır (Yıldırım 2011).

İletkenlik, iyon değiştiren membranların kullanımını etkileyen en önemli özelliklerden biridir. İyon değiştiren membranların iletkenliğini etkileyen birkaç faktör vardır.

Bunların en önemlileri; iyon boyutu, iyon tipi ve membranın taşıyıcı kısmıdır. En çok iletkenliğe sahip membran elektrolitler, hareketli iyonu hidrojen olan ve taşıyıcısı su olanlardır. Yakıt hücreleri için gözlenen en iyi membran tipi, gerekli güç miktarına çıkabilmek için, hareketli iyonu hidrojen olan ve taşıyıcısı su olan membran elektrolitlerdir.

Yakıt hücreleri uygulamalarında su geçirgenliği verimi etkileyen önemli parametrelerden biridir. Su, hücrede temas halindeki iyonların sebep olduğu elektro-ozmotik geçişle ve hücrenin anot ve katot bölgelerinde oluşan konsantrasyon farkından dolayı difüzyon ile iletilir.

İyon değiştiren membranların değişik kimyasal ortamlardaki dayanıklılıkları hakkında bilgi literatürde çok azdır. Bununla birlikte yakıt hücrelerinde oksitleyicilere karşı dayanıklılıkları çok önemlidir. Membran, yakıt olarak saf hidrojen kullanmayan sistemlerde yan ürün olarak açığa çıkan CO ve CO₂ gibi maddelerle aktifliğini kaybetmektedir ve yakıt hücresinde kullanılamaz hale gelmektedir.

Proton iletkenliğini sağlayan aktif grupların membran bünyesindeki yüksek konsantrasyonu, membranda mekanik zayıflık yaratmaktadır. Bu sebeple yakıt hücreleri uygulamalarında bir avantaj sağlayan yüksek yoğunluktaki aktif grup bulunduran membranların mekanik olarak güçlendirilmeye ihtiyacı vardır.

3.8.4 Yakıt Hücrelerinin Uygulama Alanları

Çevreye zarar vermeyen, elektrik üretim verimi oldukça yüksek, sesiz çalışan, atık olarak sadece su, elektrik akımı ve ısı üreten yakıt hücrelerinin, çevre kirliliğinin oldukça yüksek boyutlara ulaştığı günümüzde ulaştırma sektöründe de yerini alması yakın gözükmektedir. Dünya çapında hala testleri devam etmekte olan ve yakıt hücreleri ile çalışan otobüs, tren, otomobil ve denizaltı gibi taşıt uygulamaları da mevcuttur. Kullanılan elektrolit tipine göre çeşitli isimler alan yakıt hücre tipleri arasında birim hacim başına üretilen güç miktarı en yüksek olan değişken proton membranlı yakıt pili oldukça sık kullanılmaktadır (Jannasch 2003).

Yakıt hücresi ile çalışan otomobiller diğer akülü araçlara göre daha fazla ilgi görmektedir. Akülü araçların avantajlarını sunmaları yanında, yakıt hücreli araçlar daha çabuk yakıt ikmali yapıp ikmal aralığını artırırlar. Yakıt hücreli arabalar, içten yanmalı motorlu araçlara göre daha az bakım gerektirirler ve daha sessizdirler. Aynı zamanda standart bir motora göre daha az hareketli parçası bulunur. PEMYP'nin işletim ömrü,

araba ömründen daha uzundur. Yakıt hücreli araba hurdaya çıktığı zaman PEMYP çalışır durumdadır ve kullanılabilir.

Ayrıca yakıt hücreleri hidrojen kullanımı ile araçlarda sıfır emisyon ve diğer yakıtların kullanımı ile de yaklaşık sıfır emisyon sağlanabilir. Yakıt hücreleri bir ızgara – güçlü aküsü olan araçtan daha etkili çalışma sağlayabilir. Yakıt hücreli arabalar türlü gazların oluşumundan daha az bir sistem genişliği sağlarlar. Çevresel etmenler göz önüne alındığında enerji verimi ve çıkan zararlı madde oranları karşılaştırıldığında yakıt hücreleri en iyi durumdadır (Yıldırım 2011).

3.9 Sistemde Kullanılan Yakıt Pili

Gerçekleştirilen sistemde ana elektrik üretici güneş panelleri oluşturmaktadır. Güneş panellerinde elektrik enerjisi üretimi olmadığında bataryalar devreye girmekte tüketicinin ihtiyacı olan elektrik enerjisi karşılanmaktadır. Yüksek güçlü tüketicilerde ve bataryanın şarjının bittiği durumlarda tüketicinin ihtiyacı olan elektrik enerjisinin karşılanması için yakıt pili kullanılmıştır.

Sistemde polimer elektrolit membranlı yakıt pili tercih edilmiştir. Bunun nedeni; yüksek güç yoğunluğuna sahip olması, değişken güç çıkışına sahip olması ve taşınabilir olmasıdır. Sistemde kullanılan PEFC 500W yakıt pilinin resmi Resim 3.3'de gösterilmektedir.

PEFC 500W yakıt pilinin çalışma gerilim aralığı 20-36 volttur. Normal çalışma gerilimi 24 Volttur. Verimi %50'lerde olan yakıt pilinin çalışma akımı ise 21 A seviyesindedir. Yakıt pilinin çalışabilmesi için yakıt girişine 0,5 – 0,6 bar basınca hidrojen verilmesi gerekmektedir. Tam yük altında yakıt pili dakikada 6,3 lt/dk hidrojen tüketimi gerçekleştirmektedir. Yakıt olarak kullanılacak hidrojen en az % 99,95 oranında saf olması gerekmektedir.

Çizelge 3.6 PEFC 500W yakıt pili teknik özellikleri.

Açıklama	Değer
Gücü	500 W ^x
Çalışma Gerilimi	24 V
Akım	21 A
Gerilim Aralığı	20 – 36 V
Verim	> %50
Yakıt Hidrojen Saflığı	> %95
Yakıt Çalışma Basıncı	0,5 – 0,6 bar
1 dk. Hidrojen Tüketimi	
Oksidant Soğutma Şekli	Hava
Oksidant Basıncı	Ortam Soğutması
Ağırlık	4,2 kg
Ebatlar (Boy x En x Yükseklik)	251 x 132 x 135 mm
Çalışma Sıcaklığı	-5 °C – 40 °C
Çalışma Nemi	%10 - %95

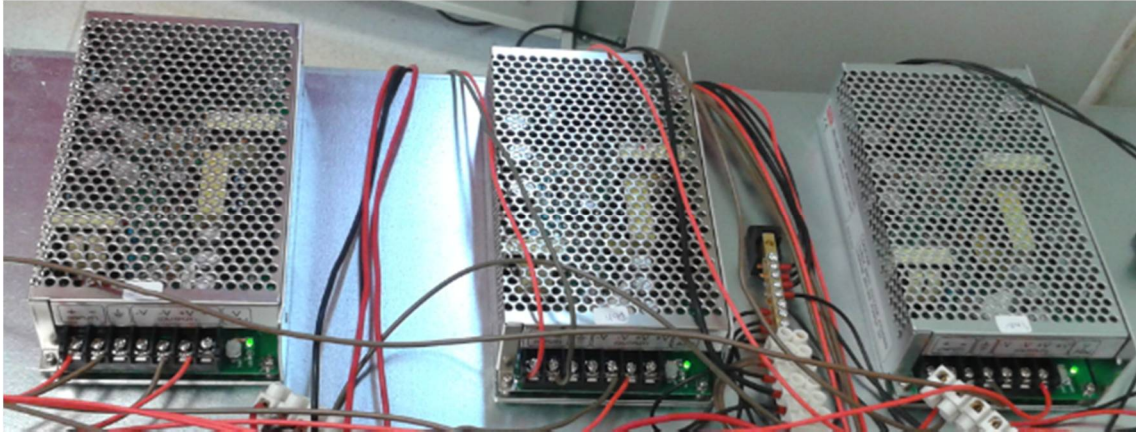
^x Sıcaklık 15 – 30 °C ve nem oranı %30 - %60 arasında geçerlidir.



Resim 3.4 Sistemde kullanılan yakıt pili.

3.10 DC-DC Konvertör

Güneş panellinin üretmiş oldukları gerimler güneş ışınlarının şiddetine, havanın sıcaklığına ve bulutlardan etkilenmektedir. Tüketicinin çalışma gerilimi ise sabit 12 voltur. Tüketicinin sağlıklı bir şekilde çalışması için güneş panellerinin çıkışına DC-DC konvertör kullanılmıştır. Böylelikle güneş panellerinin gerilim dalgalanmalarından tüketici hiçbir şekilde etkilenmemiştir. Resim 3.4’de sistemde kullanılan DC-DC konvertör görünmektedir.



Resim 3.5 DC-DC konvertör.

Sistemde kullanılan monokristal ve polikristal güneş panellerinin maksimum volt çıkışları 30 voltur. İnce film güneş panelinin ise 60 voltur. Bundan dolayı giriş voltajları farklı olan iki tane DC-DC konvertör kullanılmıştır. Çizelge 3.7’de sistemde kullanılan DC-DC konvertörlerin teknik özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.7 DC-DC konvertörlerin teknik özellikleri.

Açıklama	Monokristal ve Polikristal Konvertörü	İnce Film Konvertörü
Gücü	150 Watt	150 Watt
Giriş Gerilimi	16-36 Volt	36-72 Volt
Çıkış Akım	12,5 A	6,3 A
Aşırı Yük Koruması	% 105-135	% 105-135
Verim	% 77	% 77

3.11 DC-AC İnverter (Evirici)

Sistemde verimlilik artışını sağlamak için üretilen fazla enerjinin AC yükte kullanılması yapılmıştır. Güneş panellerinin üretim DC volt olduğundan sistemde DC-AC konvertör kullanılmıştır. Resim 3.5’de sistemde kullanılan DC-AC konvertör görünmektedir.



Resim 3.6 DC-AC inverter.

Gerçekleştirilen sistemde farklı algoritmalar kullanıldığından 1000 Waatlık inverter tercih edilmiştir. İnverter 12 volt giriş gerilimini 220 volt alternatif gerilime çevirmektedir. Giriş gerilimin değişmesi durumunda çıkış gerilimi de değişmektedir. Bundan dolayı güneş panelinin çıkış direk olarak invertere bağlanmamıştır. Konverter çıkışı bağlanarak çıkış geriliminin sabit kalması sağlanmıştır.

Çizelge 3.8 DC-ACinverterin teknik özellikleri.

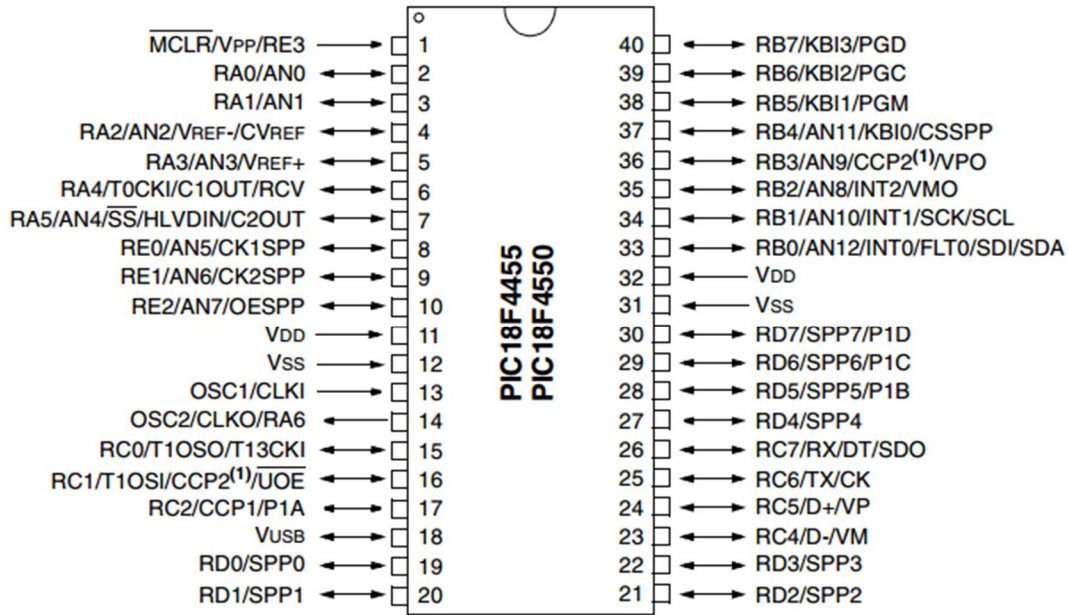
Açıklama	Değerler
Gücü	1000 Watt
Giriş Gerilimi	10-15 Volt
Giriş Akım	0,65 A
Verim	% 85
Çıkış Frekansı	50 ile 60 Hz arası
Hassasiyet	% 5

3.12 Mikro - Denetleyici

PIC18F4550, PIC18FXXX mikrodenetleyici ailesinin üyesidir. Bu ailenin ve PIC18F4550'nin bazı özellikleri: 10 Bit analog-dijital dönüştürme, 40 MHz'e kadar çalışma frekansı, 64 KByte'a kadar program bellek kapasitesi, 3,968 Byte'a kadar RAM bellek kapasitesi, 1024 Byte Data EEPROM kapasitesi, 25mA giriş-çıkış akımı, 5 taneye kadar yakala/karşılaştır/PWM modülü, SPI ve 2 taneye kadar USART modülüne sahip olmasıdır.

Bunlara ek olarak PIC18F serisi mikrodenetleyiciler şu modüllere de sahiptirler: USB, CAN, LCD, TCP/IP, Ethernet, ZigBee ve motor kontrol modülü (İbrahim, 2012).

PIC18F4550 mikrodenetleyicisi Şekil 3.24'de görüldüğü gibi 40 bacadan oluşmaktadır. A, B, C, D, E olmak üzere 5 farklı giriş - çıkış portu bulunmaktadır.



Şekil 3.24 PIC18F4550 mikrodenetleyicisi bacak yapısı.

Çizelge 3.9 PIC18F4550'nin özellikleri.

Açıklama

40 MHz'e kadar çalışma frekansı
64 KB Flash program belleği
65536 komut saklama kapasitesi
3968 Byte RAM bellek,
1024 Byte EEPROM bellek
36 tanesi giriş/çıkış bacağı olmak üzere toplam 40 bacak
13 kanallık, 10 bitlik ADC
20 tane Interrupt kaynağı
A, B, C, D, E olmak üzere 5 farklı giriş - çıkış portu
4 adet timer modülü (Timer0, Timer1, Timer2, Timer3)
Yakalama / Karşılaştırma / PWM modülü
SPI, Seri haberleşme arabirimi
Paralel haberleşme (PSP)
2V ile 5,5V gerilimleri arasında çalışabilme
Watchdog Timer devresi

Gerçekleştirilen çalışmada PIC18F4550 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Program belleği, komut saklama kapasitesi, RAM'ı ve 10 bitlik ADC'si ile bu mikrodenetleyicinin uygun olacağı tespit edilmiştir.

3.13 Osilatör

Mikroişlemci ve mikrodenetleyicilerin çalışması için clock (darbe) sinyali dediğimiz; frekansı belli bir kare sinyaline ihtiyaç vardır. Zaman bakımından hassas uygulamalarda clock sinyali devreye dışardan bağlanan bir kristal ile sağlanmaktadır. PIC18FXXXX mikrodenetleyiciler içerisinde clock sinyali üreten devreler yer almaktadır. Hassas zamana ihtiyaç duymayan uygulamalarda mikrodenetleyicinin içindeki devre kullanılabilir. Hassas olmayan uygulamalarda mikrodenetleyicinin içindeki clock devresi haricinde; dıştan direnç ve kapasitörle clock sinyali oluşturulabilir (İbrahim, 2012).

Hız belirlemede genellikle kristal kullanılmaktadır. Mikrodenetleyici FOSC/4 şekilde çalışmaktadır. Örneğin, 4 MHz'lik bir kristal kullanan mikrodenetleyici $4/4 = 1$ MHz frekansında çalışır. Bu durumda komutun $1\mu s$ 'de okunması anlamına gelmektedir. Çizelge 3.10'da PIC18F4550 'nin osilatör özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.10 PIC18F4550'nin osilatör özellikleri.

Açıklama

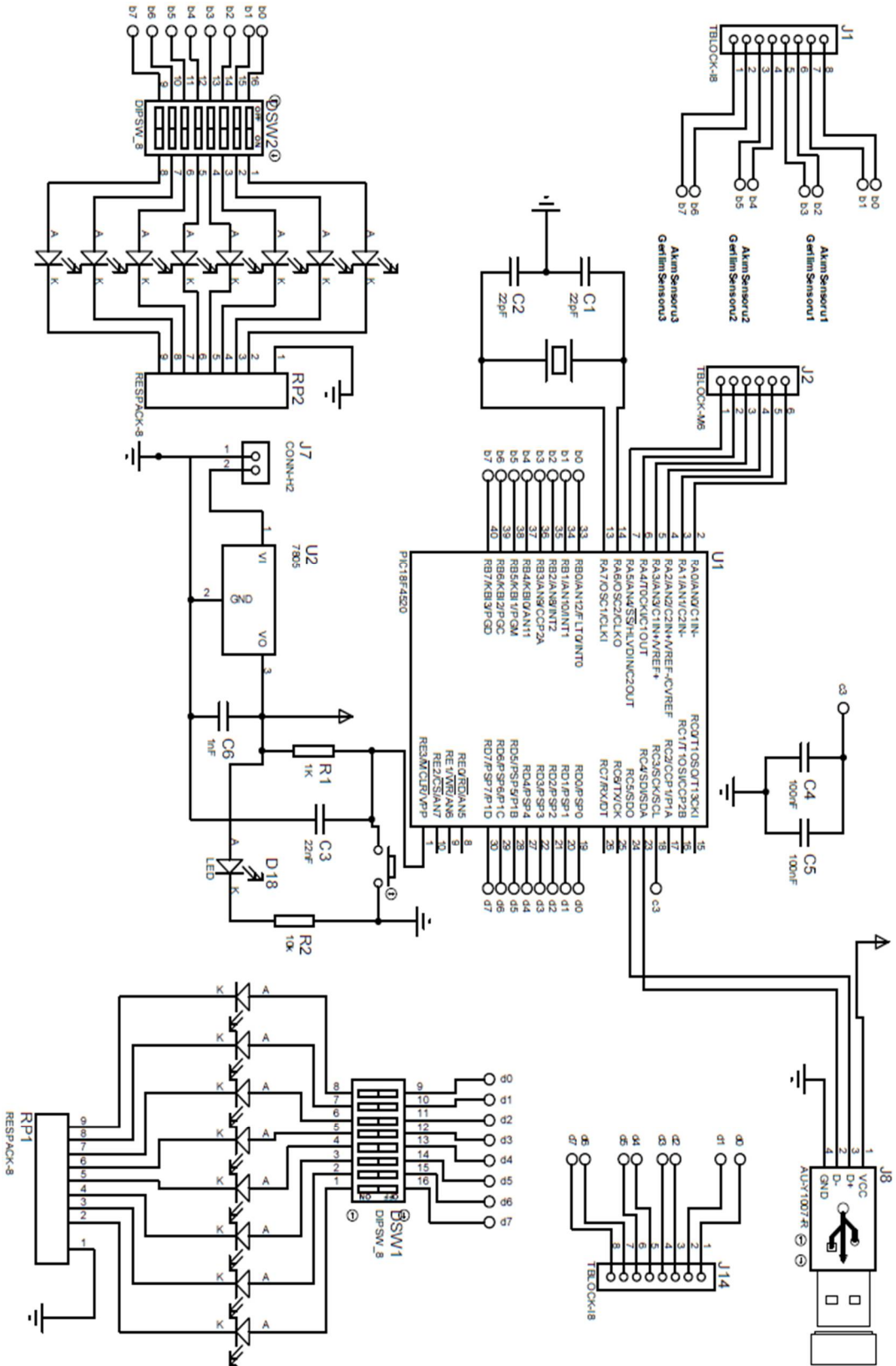
LP: Düşük güç (Low Power) kristali kullanarak
XT: Kristal/Rezonatör kullanarak
HS: Yüksek Hız (High Speed) / Rezonatör kullanarak
HSPLL: PLL ile Çalışan Yüksek Hız Kristal/ Rezonatör kullanarak
RC: Çıkışı FOSC/4 olan harici RA6 bacağına bağlanan direnç / kapasitör kullanarak
RCIO: Harici RA6 bacağında G/Ç olarak bağlanan harici direnç / kapasitör
INTIO1: RA6 bacağından çıkış FOSC/4 ve RA7 bacağından G/Ç olan dahili osilatör
INTIO2: RA6 ve RA7 bacağından G/Ç olan dahili osilatör bağlanarak
EC: Çıkışı FOSC/4 olan harici Clock kullanarak
ECIO: RA6 bacağından G/Ç olan harici Clock kullanarak.

Osilatör mod seçimleri PIC mikrodenetleyiciyi programlarken program içinde yazılan komutlarla ya da programlama cihazına uygulanan komutlarla gerçekleştirilebilmektedir. Çizelge 3.11'da kristal frekansları için uygun kapasite değerleri verilmiştir (Microchip, 2014).

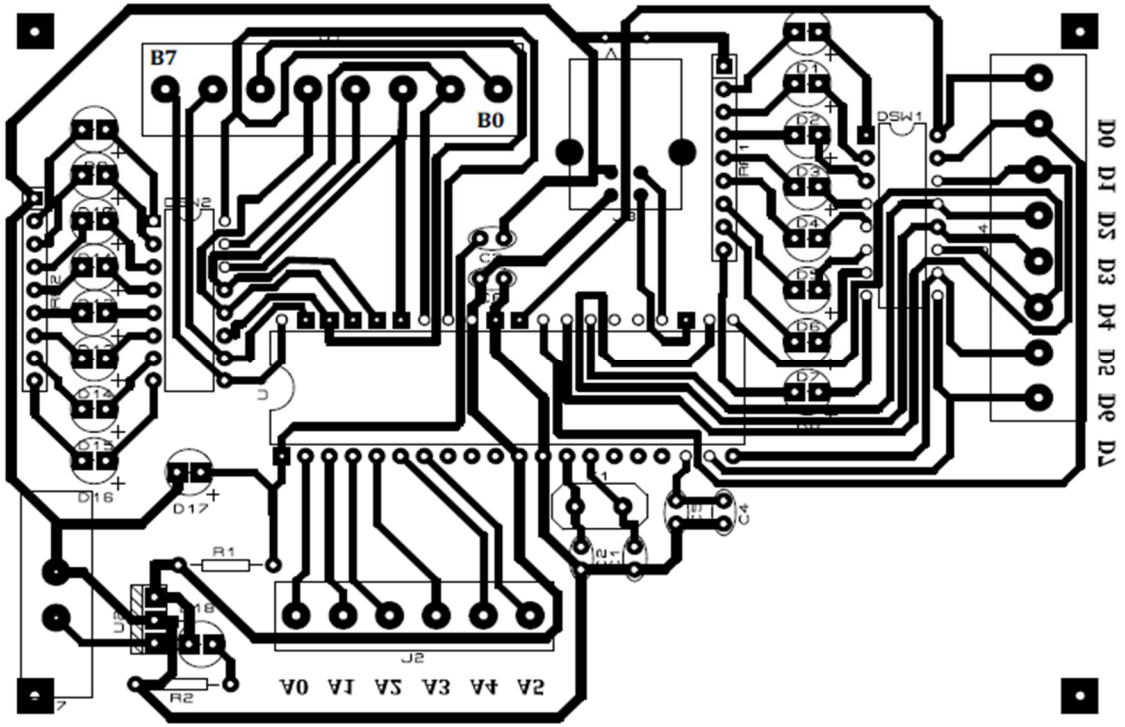
Çizelge 3.11 Kristal için uygun kapasite değerleri.

Osilatör Modu	Kristal Frekansı	Kapasitör Değerleri	
		C1	C2
LP	32 kHz	33 pF	33 pF
	200 kHz	15 pF	15 pF
XT	200 kHz	47 – 68 pF	47 – 68 pF
	1 Mhz	15 pF	15 pF
	4 Mhz	15 pF	15 pF
HS	4 Mhz	15 pF	15 pF
	8 Mhz	15 – 33 pF	15 – 33 pF
	20 Mhz	15 – 33 pF	15 – 33 pF

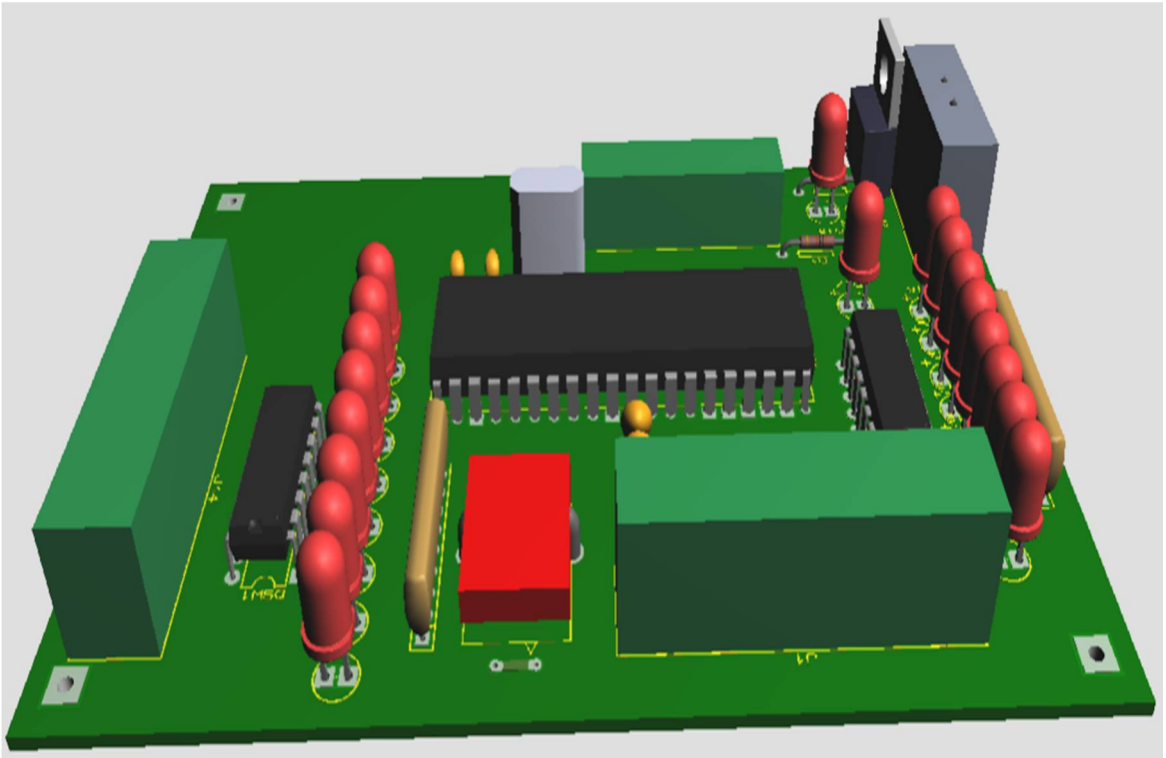
Hibrit enerji üretim sisteminde enerji akış kontrolü için sensörelere gelen verileri işleyerek, önceden yüklü algoritmaya göre giriş çıkışlarını aktif veya pasif eden ve bütün verileri USB ile bilgisayara gönderen mikrodenetleyici kartın ISIS görüntüsü Şekil 3.25'de gösterilmektedir.



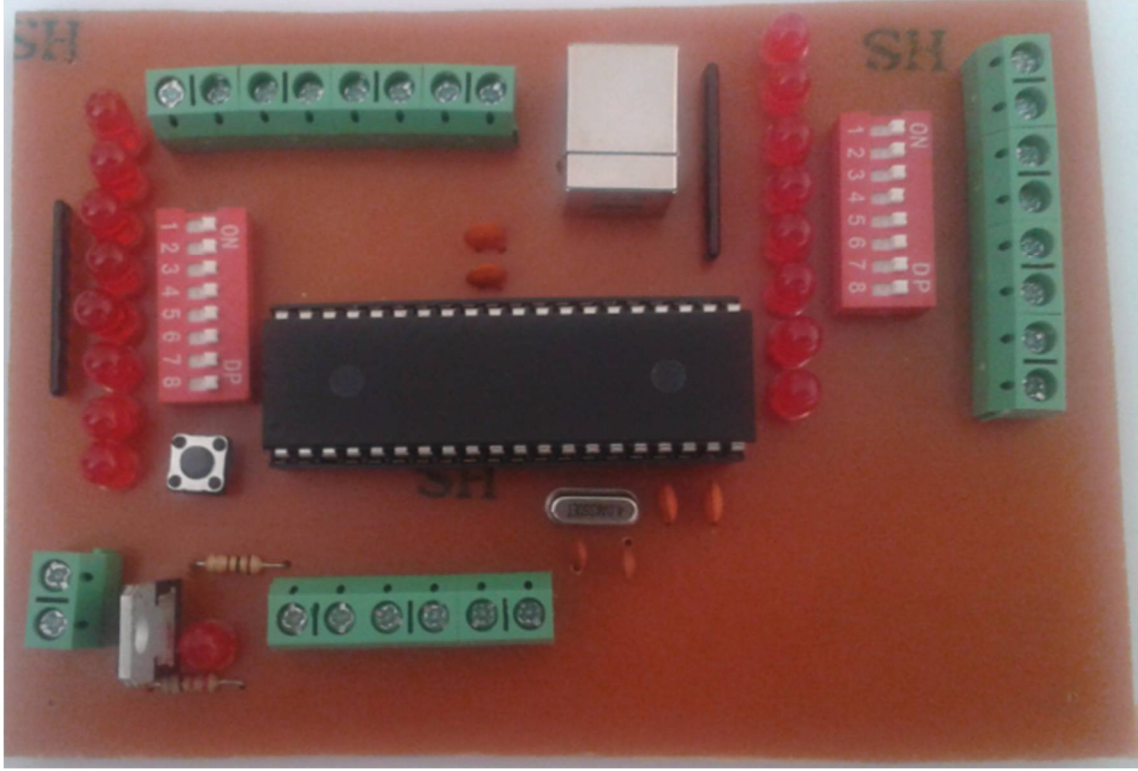
Şekil 3.25 Hibrit enerji üretim sisteminde enerji akış kontrolü için tasarlanan mikrodenetleyici karın İSİS görüntüsü.



Şekil 3.26 Mikrodenetleyici kartın ares baskı devre görüntüsü.



Şekil 3.27 Mikrodenetleyici kartın 3 boyutlu görüntüsü.



Şekil 3.28 Mikrodenetleyici kartın görüntüsü.

3.14 Analog Dijital Dönüştürücü Kartın Kullanımı

Isı, sıcaklık, basınç gibi durumlar analog bilgidir. Bu analog bilgiyi, mikrodenetleyicinin anlayabileceği hale getirmek için Analog/Dijital (A/D) donanım birimi kullanılır. Analog/Dijital donanım birimi, analog bir değeri mikroişlemcinin işleyebileceği şekilde ikilik sayı sistemine dönüştürür.

PIC18F4550 mikrodenetleyicisinde bulunan analog-dijital dönüştürücü 13 kanala sahiptir. Bunlar AN0'dan AN12'ye kadar olan; RA0, RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RE0, RE1, RE2, RB2, RB3, RB1, RB4, RB0 girişleridir. Analog/Dijital dönüştürücünün çözünürlüğü 10 bittir. 10 bitlik bir ADC, 0 ile 1023 arasında değerler alabilmektedir. Bit sayısı ne kadar fazlaysa çözünürlük o kadar iyidir.

Analog/Dijital dönüştürücülerde önemli olan adım büyüklüğüdür. Adım büyüklüğü bulunurken öncelikle $V_{ref}(+)$ ve $V_{ref}(-)$ belirlenmelidir. Ölçüm bu iki değer arasında

alınmaktadır. Bu aralık dışındaki değerler için ölçüm yapılmaz, fakat Vref(+) ve Vref(-) kullanılması zorunlu değildir. İstenilirse VDD ve VSS kullanılarak da ölçüm yapılabilir. VDD ve VSS kullanıldığında, değer olarak da regülatör çıkışından elde edilen 5V ve 0V baz alınabilir. Bu değerler göz önüne alındığında adım büyüklüğünün denklemi (3.1)'de görülmektedir.

$$\text{Adım Büyüklüğü} = (V_{DD} - V_{SS}) / 2^{\text{çözünürlük}} = 5 / 2_{10} = 0,0048875855327468 \text{ V} \quad (3.1)$$

Bu değer ADC'nin hassasiyetini temsil etmektedir. Yani Analog / Dijital dönüştürücüsü 4.8mV'luk değişimi hissedebilmektedir. Örneğin mikrodenetleyiciye bağlı olan bir sensörden analog bilginin okunduğunu varsayıp, ADC'nde bu analog bilgiyi, 400 değerine dönüştürdüğünü düşünürsek (3.1a)'daki denklem sonucu ortaya çıkmış olur.

$$400 * 0,0048875855327468 = 1,95\text{V} \quad (3.2)$$

Mikrodenetleyiciye bağlı olan sensörden okunan gerilim değeri yaklaşık 1,95 voltur. Sensörden okuna değer 5V iken ADC bunu 1023 değerine dönüştürecektir. Çizelge 3.12 0-5V aralığında ölçülen analog bilgi ile 10 bitlik ADC'deki karşılığının ne olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 3.12 0-5V aralığında ölçülen analog bilgi ile 10 bitlik ADC'deki karşılığı.

0-5V Arasında Ölçülen Analog Değer	10 bitlik ADC karşılığı
0	0
0,0244	5
0,0488	10
0,0733	15
0,0976	20
0,4887	100
0,9775	200
2,4437	500
2,9325	600
4,8875	1000
4,9364	1010
4,9853	1020
5	1023

3.15 LA-55P Akım Sensörü

Galvonik izolasyona sahip olan sensör 0-50A aralığındaki akımları ölçebilmektedir. LA55-P akım sensörü, doğrusal RMS çıkışına sahip, hızlı, 4-20 mA standart bir akım çıkışı olan bir sensördür. Tel üzerinden geçen akım sekonder sargı üzerinde bir gerilim indükleyerek sekonder sargıdan bir akım geçmesine neden olmaktadır. Geçen akım değerini algılamak için sensör çıkışına bir direnç (R_M) bağlanmaktadır (Ünlü ve Bayır, 2009).

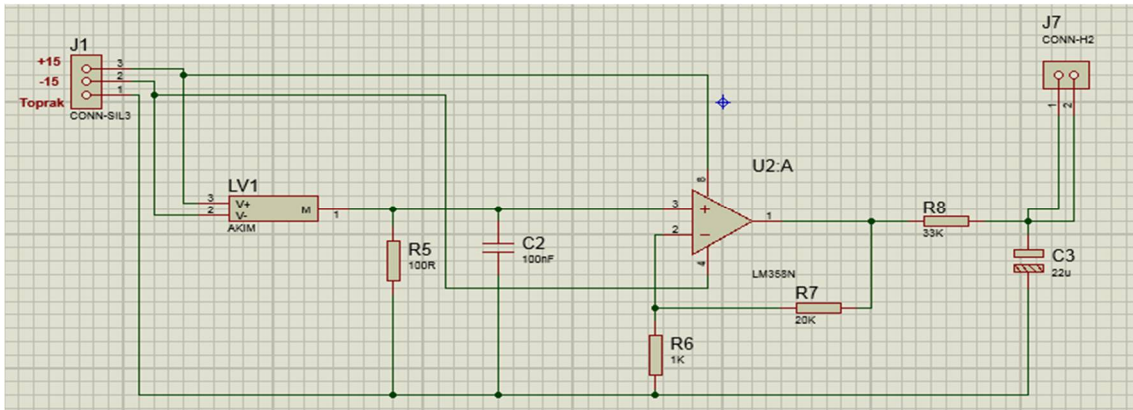
Şekil 3.29’da görüldüğü LA-55P akım sensörünün M ucu mikrodenetleyicinin analog portuna bağlanarak akım ölçümü yapılmaktadır. Artı (+) ve eksi (-) uçlar ise simetrik besleme için kullanılmaktadır. Sensör, 12V veya 15V ile beslenmektedir. Bu sensör, 50A’e kadar olan akımları 1:1000 oranı ile ölçebilmektedir (Lem, 2013).



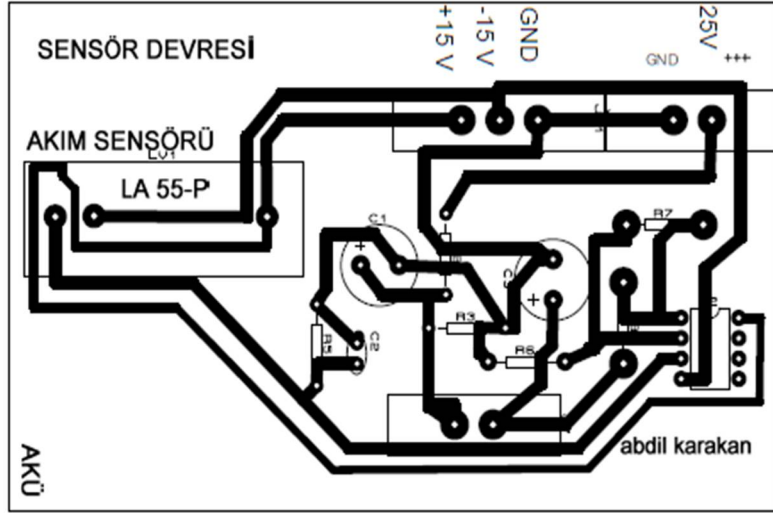
Şekil 3.29 LA 55P Akım sensörü.

3.15.1 Akım Sensörü Kartı

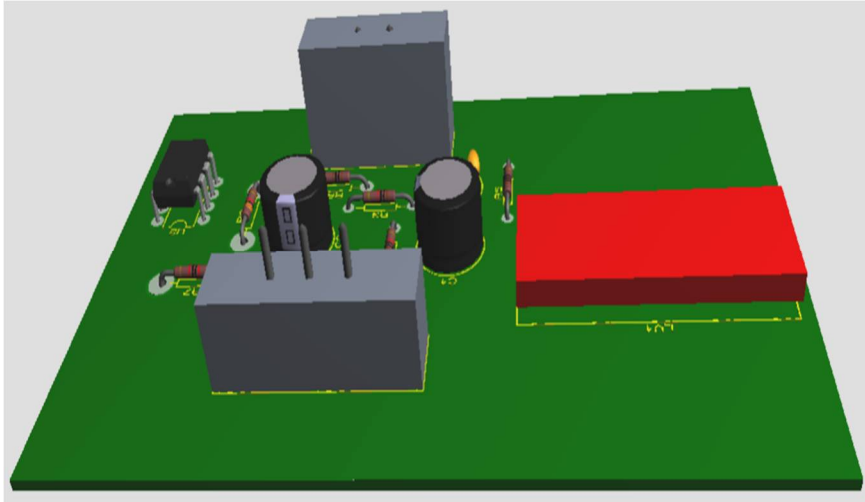
Sensör kartında üzerinde LEM firmasının LA-55P akım sensörü kullanılmıştır. Şekil 3.30’da isis programında hazırlanan akım sensör kartı gösterilmektedir



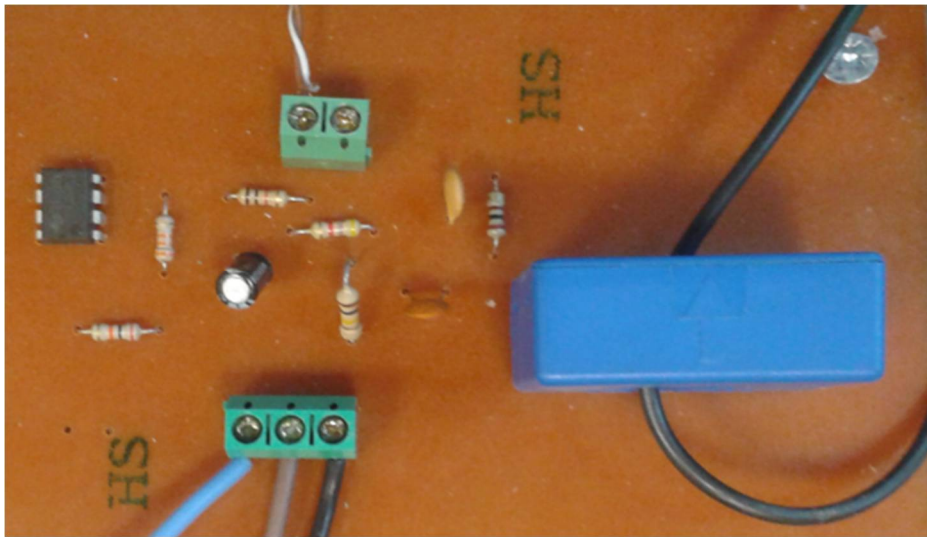
Şekil 3.30 Akım sensörü kartın İSİS programı görüntüsü.



Şekil 3.31 Akım sensörü kartın ares baskısı görüntüsü.

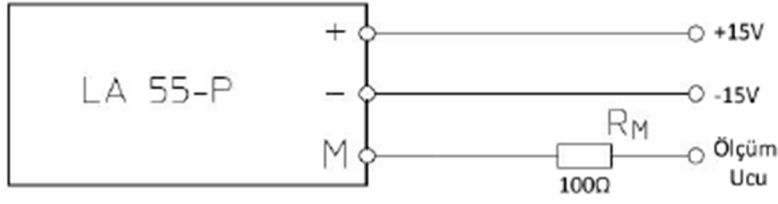


Şekil 3.32 Akım sensörü kartın 3 boyutlu görüntüsü.



Şekil 3.33 Akım sensör kartı.

Akım sensörü ile tüketicilerin çektiği akım ölçülmüştür. Akım sensörü nüve içinden geçen akımı 1000 kat azaltmaktadır. Örneğin 3A çeken bir tüketicinin, sensör çıkışındaki değeri 3mA olur. Şekil 3.34’de görüldüğü gibi bu akımı, 100Ω ‘luk R_M direnci üzerinden geçirdiğimizde, bu direncin üzerine düşen gerilim 0,3V olur. Bu gerilim, mikro denetleyici üzerindeki ADC ile sayısalara dönüştürüldüğünde aldığı değer 49’dur. Tüketicinin maksimum değerde çalışsa bile, sensör çıkışında düşürme oranından dolayı çok küçük bir değer oluşmaktadır. Bundan dolayı evirmeyen yükselteç kullanılarak çıkış sinyali yükseltilmelidir.



Şekil 3.34 Akım sensörü ve R_M direnci.

$$\left(\frac{3}{1000}\right) = 0,003 \text{ A} = 3\text{mA} \quad (3.3)$$

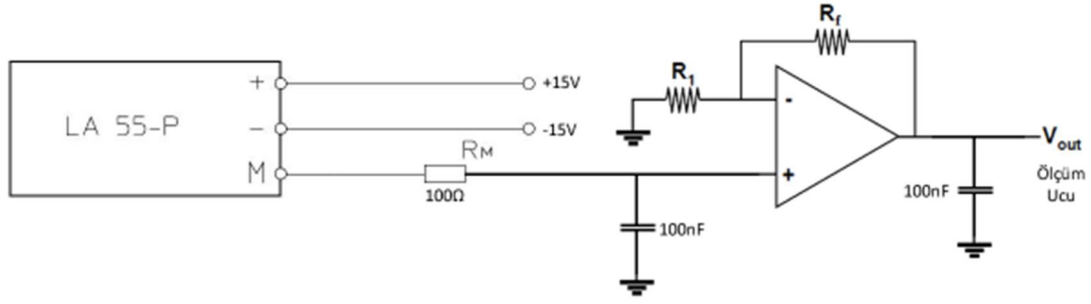
$$V = I \times R \quad V = 0,003 \times 100 = 0,3\text{V} \quad (3.4)$$

$$\text{Ölçülen Değer} = \frac{0,3 \times 1023}{5} = 61,38 \quad (3.5)$$

Bu akım sensörünün çıkışı en çok 0,3V’tur. Bu değeri mikrodenetleyicinin en yüksek çalışma gerilimi olan 5V’a çekmek için sinyali yükseltmemiz gerekmektedir.

$$\text{Yükselme Katsayısı} = \frac{5}{0,3} = 16,66 \quad (3.6)$$

Şekil 3.35’de akım sensörünün çıkışındaki evirmeyen yükselteç görülmektedir. Bu evirmeyen yükseltecin R₁ ve R_F direnç değerleri 1KΩ ve 16KΩ olacaktır.



Şekil 3.35 Akım sensörü ve evirmeyen yükselteç devresi.

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \times V_i \quad (3.7)$$

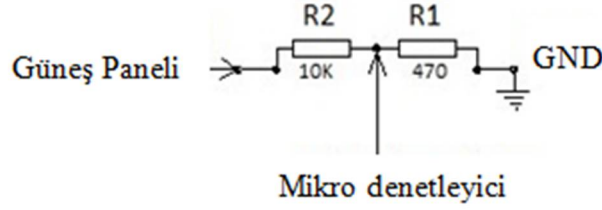
$$V_o = \left(1 + \frac{16}{1}\right) \times 0,3 \quad (3.8)$$

$$V_o = 17,03 \quad (3.9)$$

$$V_o = 5 \quad (3.10)$$

Bu şekilde evirmeyen yükselteç kullanılarak sensör çıkışındaki çok küçük olan sinyal yükseltilmiştir. Devredeki kondansatörler ise sinyali daha düzenli hale getirmek için kullanılmıştır.

Tüketicinin çektiği gerilimi ölçmek için dirençlerden oluşan gerilim sensörü kullanılmıştır. İki direnç seri bağlanarak basit bir gerilim bölücü devre yapılmıştır. Şekil 3.36'de yapılan sistemde kullanılan iki seri dirençten oluşan gerilim bölücü devre gösterilmektedir. Devrede bir tane 100kΩ ve bir tane 10kΩ'luk direnç gerilimi ölçülmek istenen güneş paneline paralel bağlanmıştır. Güneş panelinin üretmiş olduğu veya tüketicinin üzerine düşen gerilim 1/11'i 10kΩ'luk direnç üzerine düşmektedir. Gerilim sensörü ile 55 Volta kadar ölçüm yapılabilir. Ölçüm hassasiyeti 0,053 Volt olarak hesaplanmıştır. Monokristal ve polikristal güneş panelleri için kullanılan gerilim sensörlerinin hassasiyetini arttırmak için 100kΩ'luk direnç yerine daha düşük 50kΩ'luk direnç kullanılarak hassasiyeti artırılmıştır.



Şekil 3.36 Gerilim sensörü.

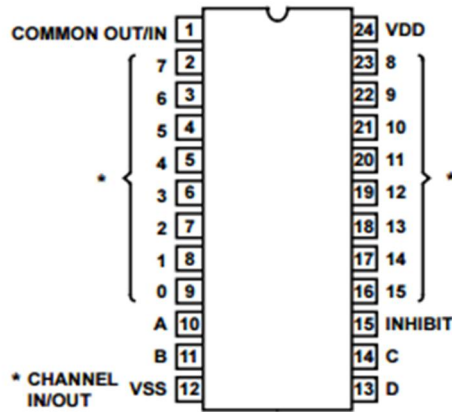
$$\text{Hassasiyet} = \frac{55}{1023} = 0,053V \quad (3.11)$$

$$\text{Hassasiyet} = \frac{30}{1023} = 0,029V \quad (3.12)$$

Yapılan hesaplamalardan anlaşıldığı gibi ölçüm aralığı daraldıkça hassasiyet artmaktadır. Gerçekleştirilen projede de bu husus dikkate alınarak dirençler kullanılmıştır.

3.16 CD4067

Hibrit enerji üretim sisteminde 12 adet analog veri alınmaktadır. Sistemde kullanılan PIC18F4550'nın bacakları yükleri kontrol etmek için kullanıldığından bütün analog veriyi okuması için RA1 portu kullanılmıştır. 12 analog veriyi PIC18F4550'nin tek bir bacağından okuyabilmek için Şekil 3.39'de görünmekte olan CD4067 multiplexers/demultiplexers (çoklayıcılar/tekleyiciler) kullanılmıştır.



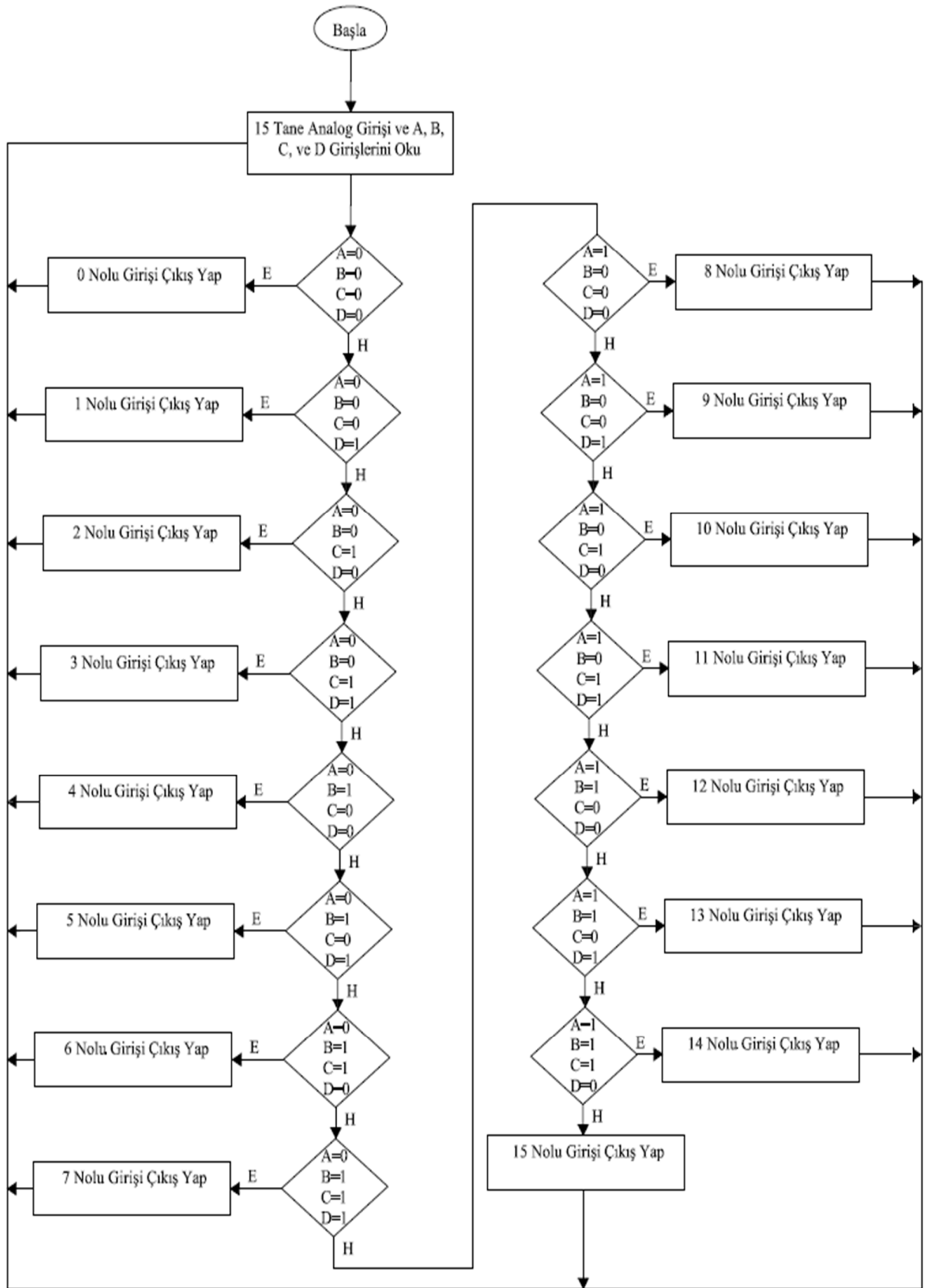
Şekil 3.37 CD4067'nin gösterimi.

Şekil 3.37’de görünmekte olan CD4067’nin A,B,C,D uçlarına gelen sinyal ile 12 tane bağlı olan analog veri PIC18F4550’ye gönderilmektedir. Sistemin çok hızlı çalışması istenildiğinden A,B,C,D uçları PIC18F4550’nin RA2,RA3,RA4ve RA5 uçlarına bağlanmıştır. Çizelge 3.13’de CD4057’nin çalışma özelliği gösterilmektedir.

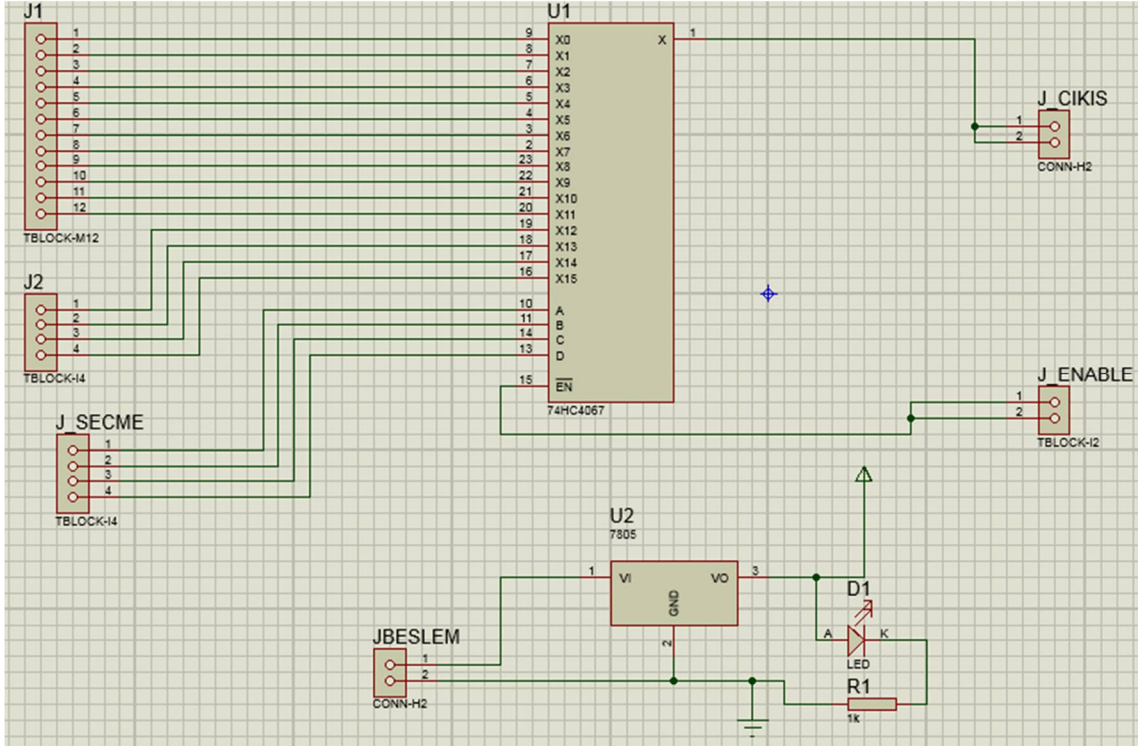
Çizelge 3.13 CD4057’nin çalışma özelliği.

Girişler				Seçilen Giriş Kanalı
A	B	C	D	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	1	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	1	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

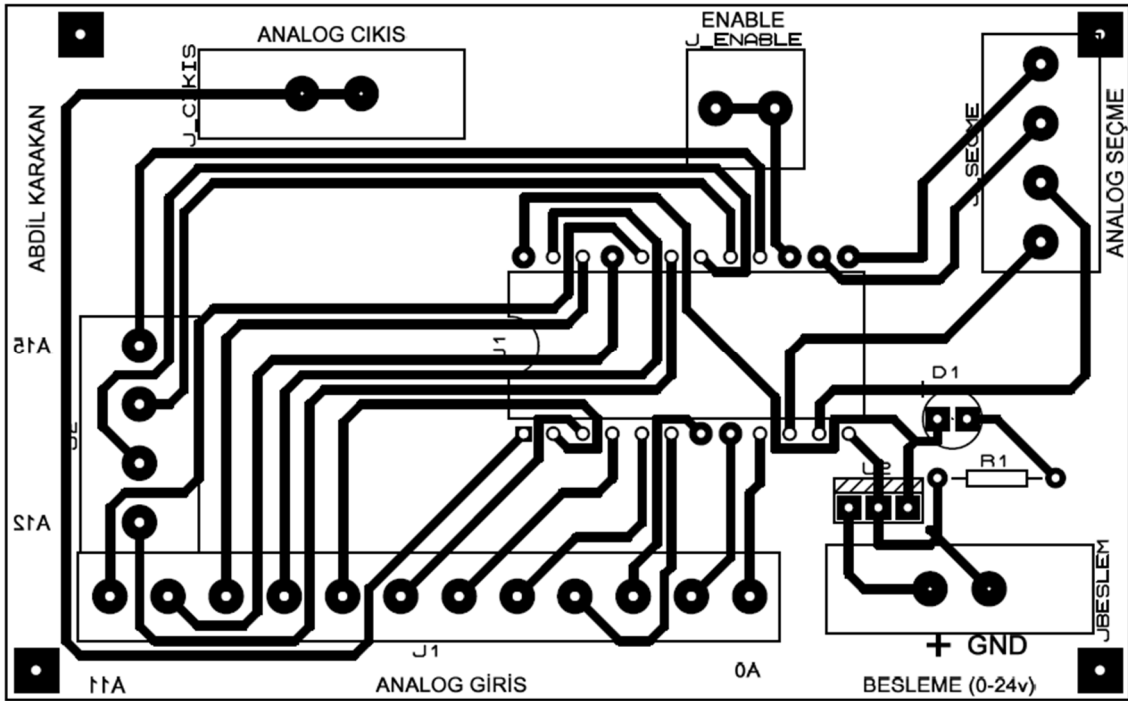
Kodlarda görüldüğü gibi her 1 ms’de PIC18F4550’nin RA2,RA3,RA4 ve RA5 uçları değişmekte RA0’bağlı olan analog veri okunmaktadır. Okunma işlemi 30ms sürmektedir. Sistem 30ms’lik bir gecikme ile çalışmaktadır Şekil 3.38’de CD4067’nin çalışma algoritması görünmektedir.



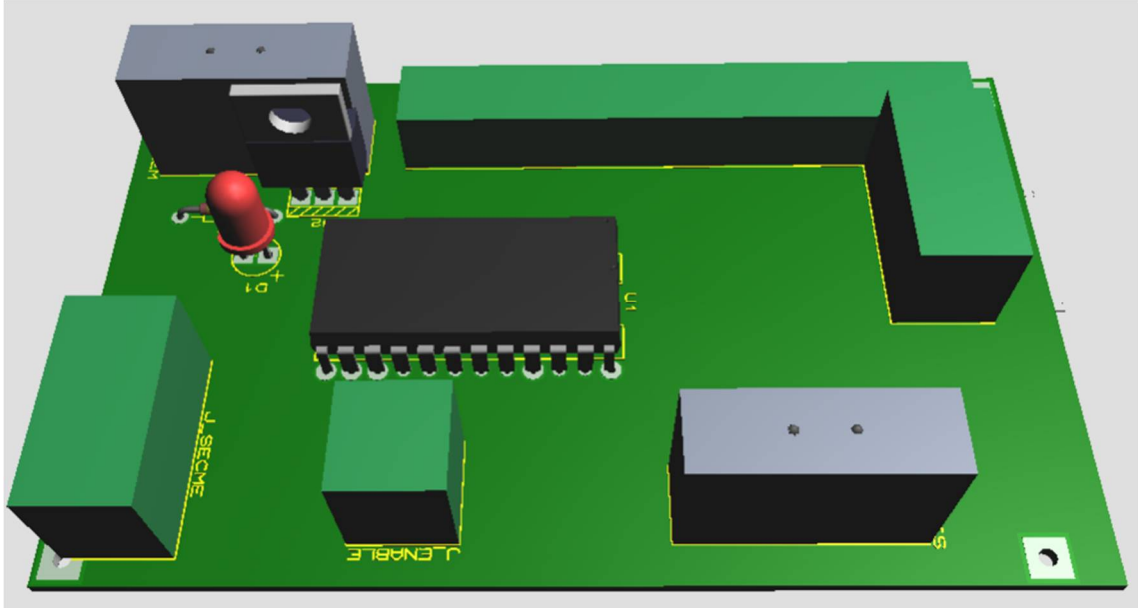
Şekil 3.38 CD4067'nin çalışma algoritması.



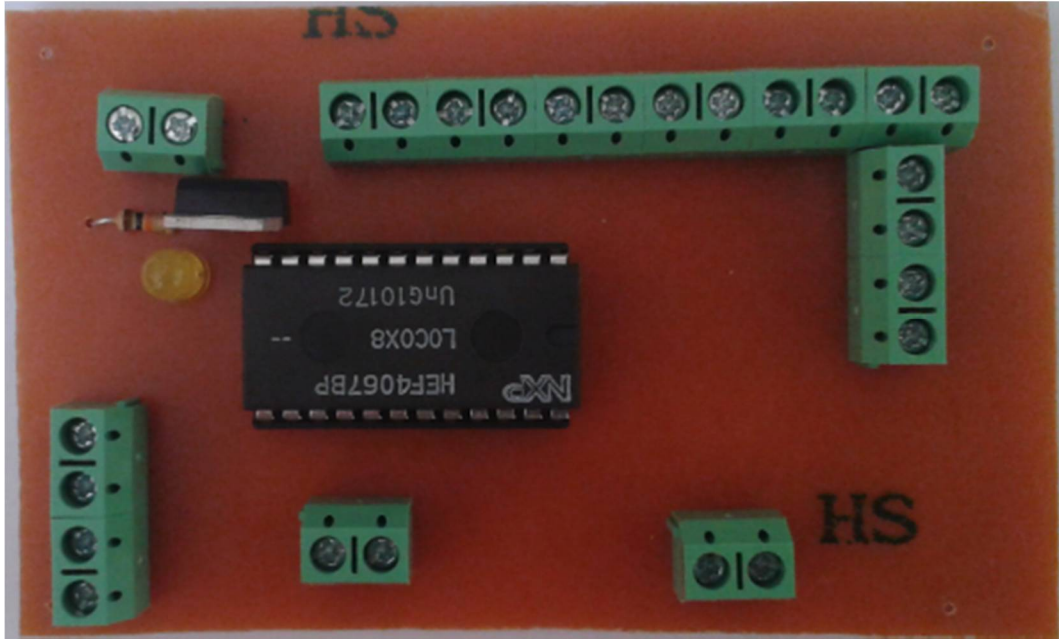
Şekil 3.39 Analog veri tekleyici kartın isis program görüntüsü.



Şekil 3.40 Analog veri tekleyici kartın ares baskı devre görüntüsü.



Şekil 3.41 Analog veri tekleyici kartın 3 boyutlu görüntüsü.

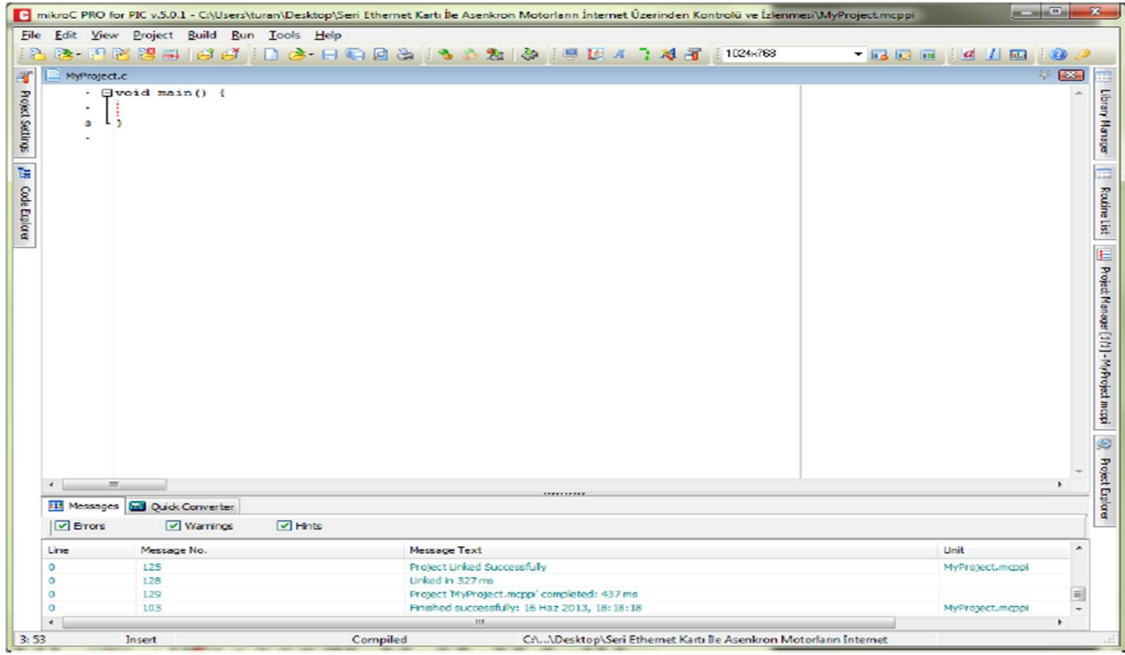


Şekil 3.42 Analog veri tekleyici kart.

3.17 MikroC Mikrodenetleyici Programlama Dili

MikroC, PIC mikrodenetleyicileri için güçlü ve zengin bir kütüphaneye sahip, yazılım geliştirme programıdır. Yazılım geliştiricilerin, performans ve kontrolden taviz vermeden, gömülü sistemlere uygulama geliştirilmesi için tasarlanmıştır (Atbaş, 2009).

MikroC, C programlama dili temelli bir mikrodenetleyici programıdır. C programlama dili bilen birisi, kolaylıkla MikroC’de uygulamalar geliştirebilir. MikroC, C programlama dilinden türetildiği için, C programlama dilinin temel özelliklerini ve yazım kurallarını içeren bir dildir (Şahin ve Dedeoğlu, 2013). MikroC’nin ara yüzü Şekil 3.43’de görülmektedir.



Şekil 3.43 MikroC programının ara yüzü.

3.18 Sistem için gerekli kullanılan güç kaynağı

Yapılan sistemde kullanılan güç kaynağı Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Gerçekleştirilen sistemde çeşitli malzemeler ve sensörler kullanıldı. Çizelge 3.14’de yapılan sistemde kullanılan malzemeler ve sensörlerin çalışma voltajları gösterilmektedir.



Resim 3.7 Güç kaynağı.

Çizelge 3.14 Yapılan Sistemde kullanılan malzemeler ve sensörlerin çalışma voltajları.

Malzemenin veya Sensörün adı	Çalışma Voltajı
Mikrodenetleyici kart	5 Volt
Sensör Kartı	-12 – 0 – 12 Volt
Sensör Seçici Kart	5 Volt
Çıkış Kartı	5 Volt

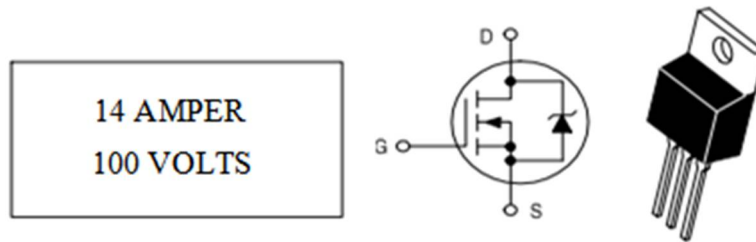
Çizelge 3.14’de görüldüğü gibi PIC18F4550 mikrodenetleyici ve CD4067 multiplexers/demultiplexers (çoklayıcılar/tekleyiciler) entegresi 5 Voltla çalışmasına rağmen LA 55P akım sensörü için -12V-0V-12V gerekmektedir. Sistemde birden fazla güç kaynağı kullanmak yerine hepsini bir arada sunan Çizelge 3.15’de karakteristik özellikleri gösterilen Meanwell firmasının üretmiş olduğu 60W 4 Çıkışlı Kutulu Tip Switch Mode Power Supply (SMPS) kullanılmıştır.

Çizelge 3.15 Güç kaynağı karakteristik özellikleri.

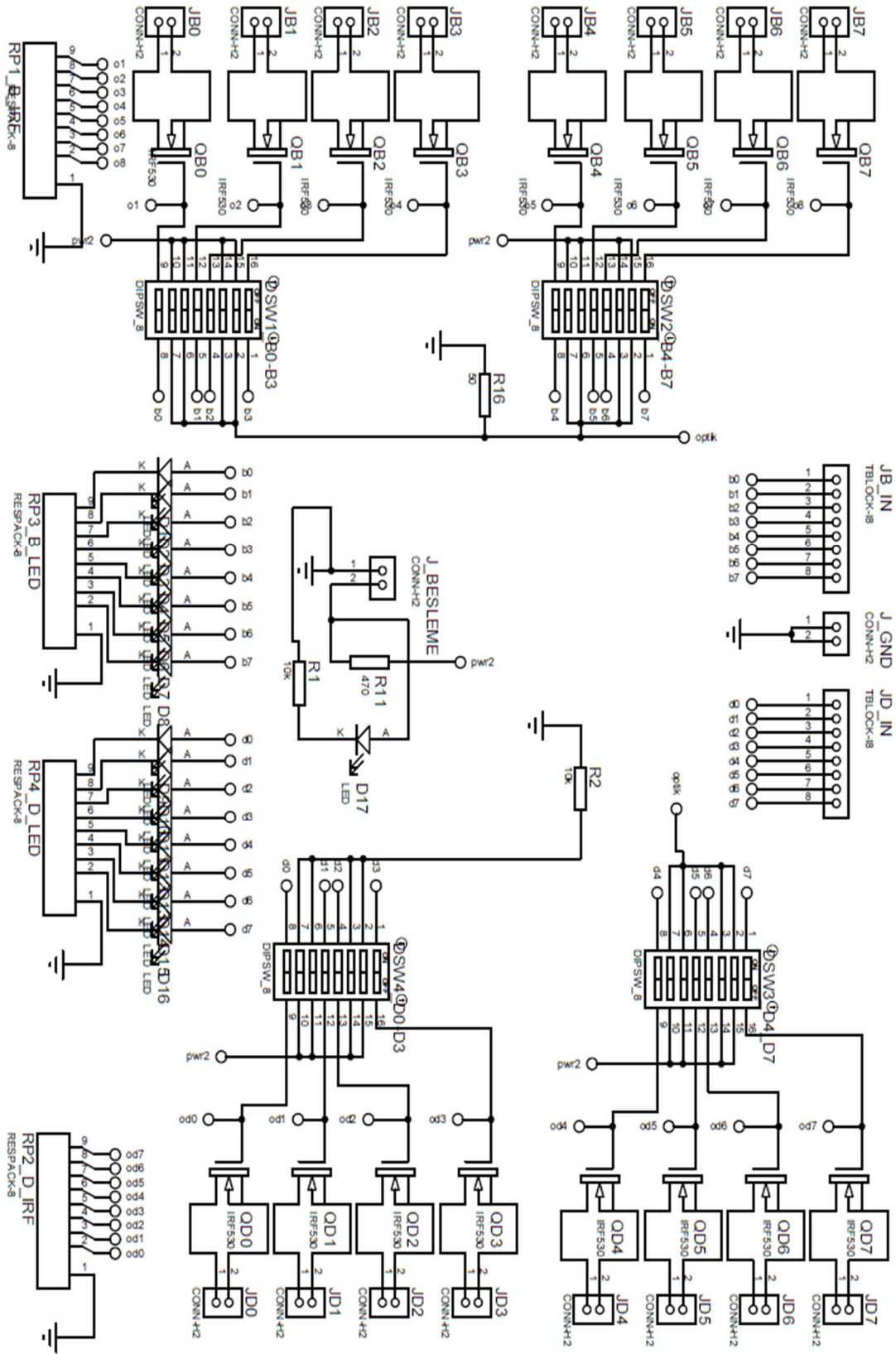
Çıkış Numarası	CH1	CH2	CH3	CH4
DC Voltaj	5V	12V	-5V	-12V
Akım Aralığı	0.5 ~ 8A	0.1 ~ 3A	0 ~ 1A	0 ~ 1A
Güç	60 Watt			
Voltaj Toleransı	± 2.0 %	± 6.0 %	± 5.0 %	± 5.0 %

3.19 Yük kontrolü

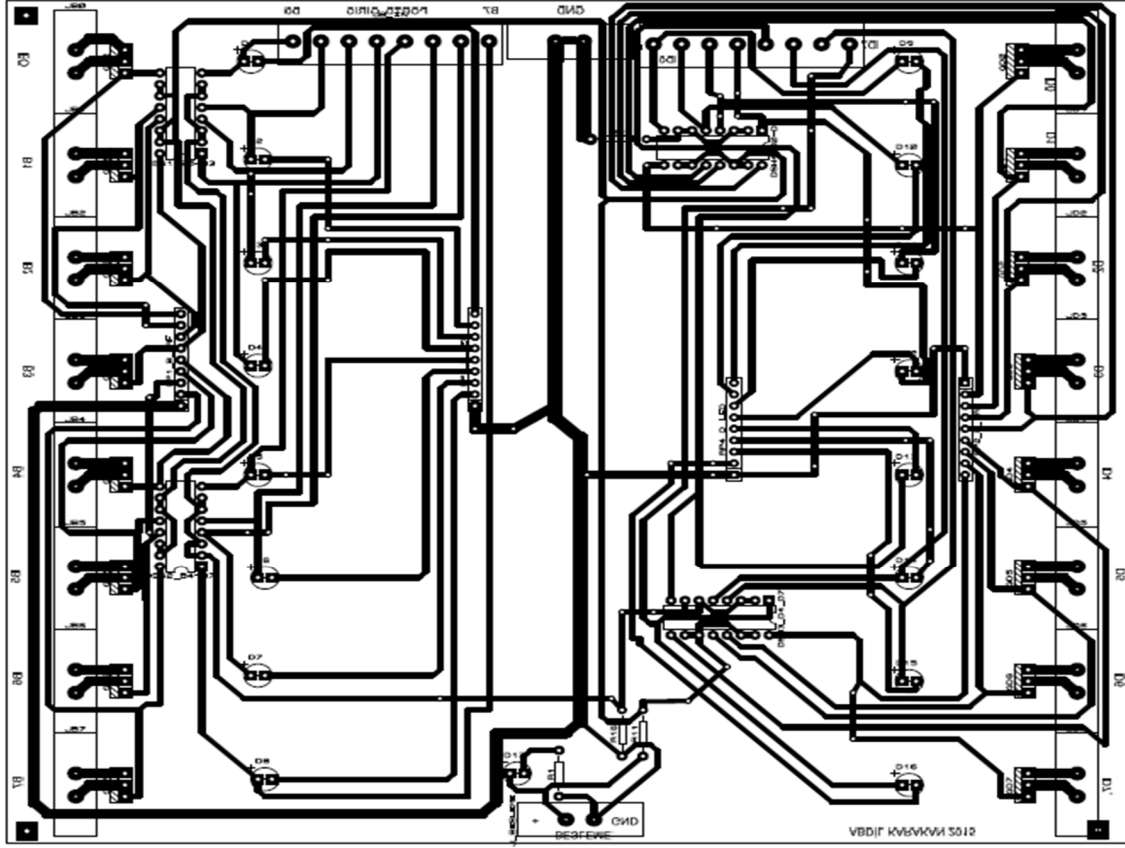
Sistemde enerjinin akışını kontrol etmek için röle yerine yarı iletken teknolojisinde üretilmiş olan Şekil 3.44’de gösterilen IRF530 mosfet kullanılmıştır. Böylelikle daha hızlı bir tepkime alınmıştır.



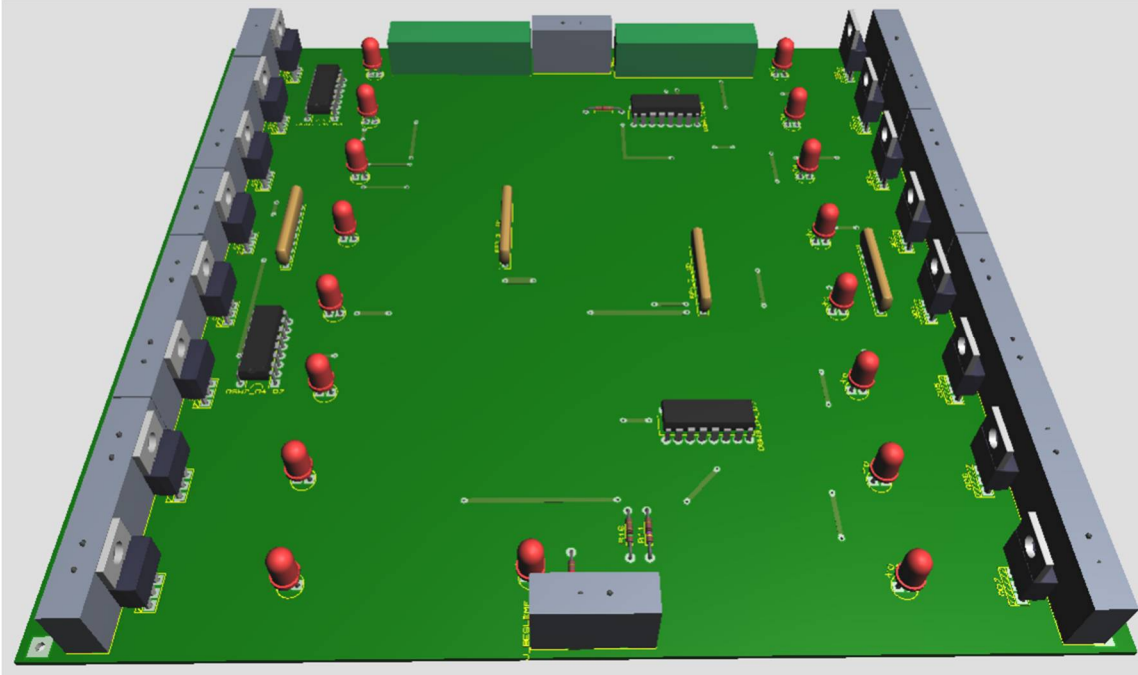
Şekil 3.44 IRF530 mosfet.



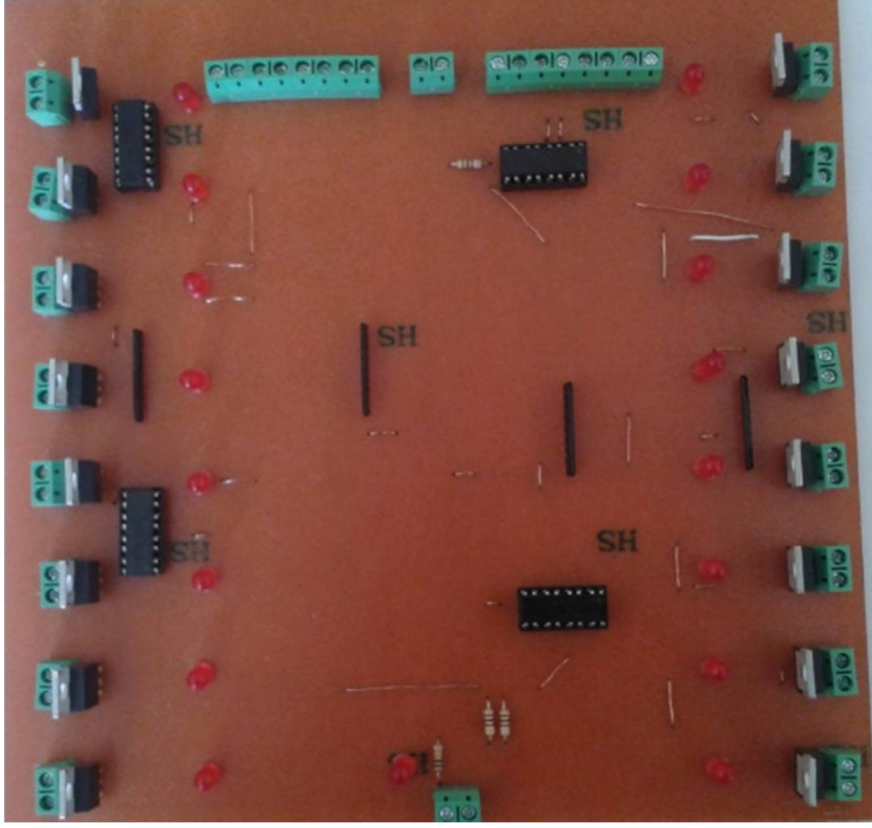
Şekil 3.45 Hibrit enerli üretim sisteminden beslenecek yüklere ait yük kontrol kartının İSİS görüntüsü.



Şekil 3.46 Yük kontrol kartının ares baskı devre görüntüsü.



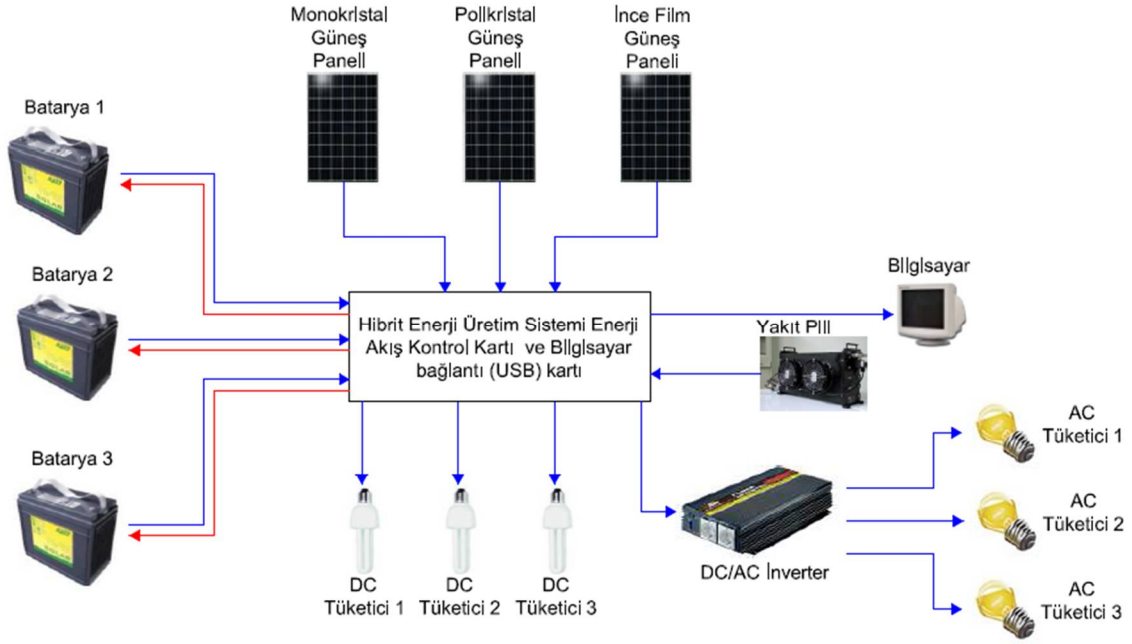
Şekil 3.47 Yük kontrol kartının 3 boyutlu görüntüsü.



Şekil 3.48 Yük kontrol kartı.

3.20 Enerji Akış Kontrolü İçin Tasarlanan Algoritmalar Ve Sistemin Uygulanması

Gerçekleştirilen hibrit enerji üretim sisteminde (HEÜS), birbirinden bağımsız monokristal, polikristal ve ince film güneş panellerinden oluşmuş üç fotovoltaik sistemin ürettiği enerjinin akış kontrolü için çeşitli algoritmalar uygulanmıştır. Bu algoritmalar ile üretilen enerjinin en etkin ve verimli kullanılması gerçekleştirilmiştir. HEÜS’de enerji üretimi için monokristal, polikristal ve ince film güneş panelleri bulunmaktadır. Her bir güneş paneli 110 Watt gücündedir. Her bir fotovoltaik sistemin bir tane 85 A/h’lik akü bulunmaktadır. Güneş panellerinin enerji üretimlerinin az olduğunda tüketicinin enerjisini karşılamak için bir tane yakıt pili kullanılmıştır. Uygulanan algoritmalara göre her bir fotovoltaik sisteme DC tüketici ve AC tüketici eklenmiştir. Şekil 3.49’da HEÜS’de kullanılan malzemeler ve enerji akışı gösterilmektedir.

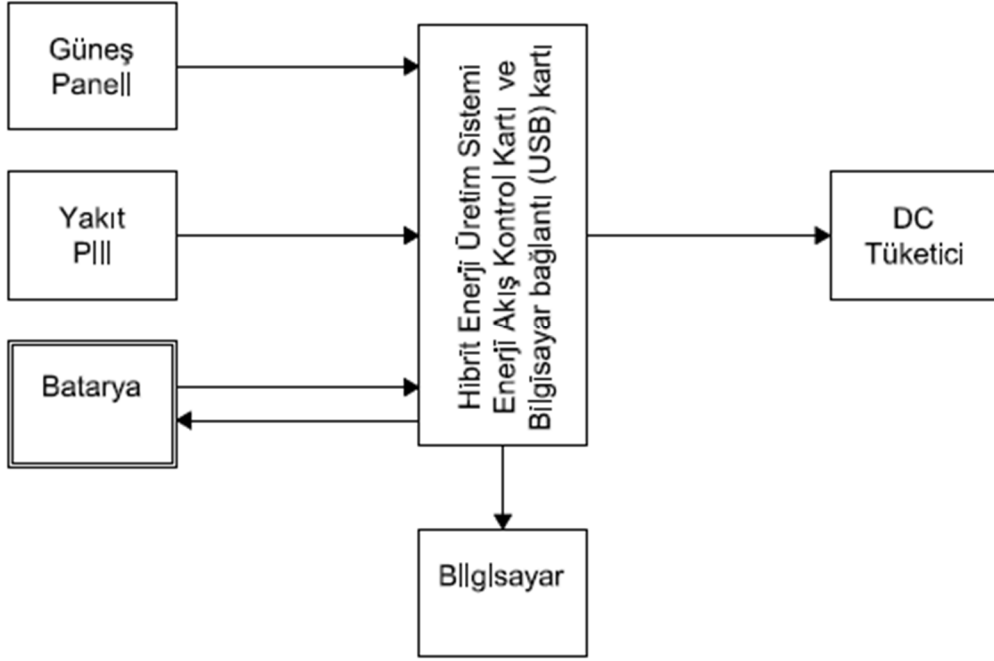


Şekil 3.49 HEÜS’de kullanılan malzemeler ve enerji akışı.

HEÜS’de enerji akışına bakıldığında sadece bataryalarda çift yönlü akış bulunmaktadır. Üretilen enerjinin tüketicinin talep ettiği enerjiden fazla olması durumunda, ihtiyaç fazlası enerji bataryada depolanmaktadır. Her bir sistemin bataryası ayrı olmakla birlikte güneş panelinin üretmiş olduğu enerji miktarına göre şarj oranları farklılık göstermektedir.

3.20.1 HEÜS İçin Tasarlanan Algoritma I.

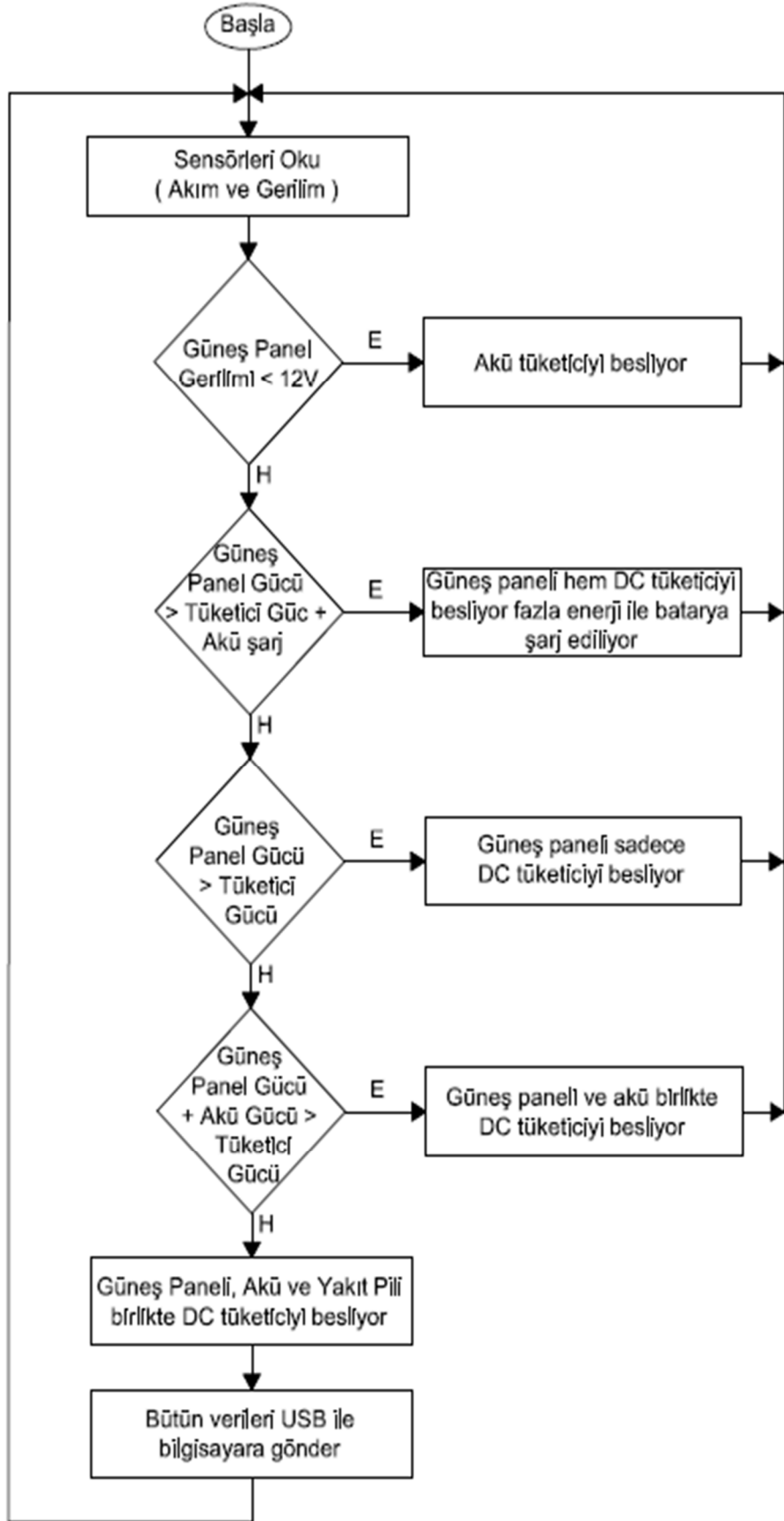
HEÜS’de enerjinin en etkin ve verimli çalışması için tasarlanan I. algorithmada tüketici olarak DC yük kullanılmıştır. Üretilen enerjinin optimal bir şekilde kullanılması için üretilen enerji kadar tüketicinin talep ettiği enerjinin de bilinmesi gerekmektedir. Bunun için her bir fotovoltaik panelin üretmiş olduğu enerji, tüketicilerin talep ettiği enerji ve akülerin şarj durumları sensörleri ile ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda üretilen enerji ile tüketicinin talep ettiği enerji karşılaştırılarak enerjinin akışı en etkin ve verimli olacak şekilde kontrolü sağlanmıştır. Şekil 3.50’de HEÜS için tasarlanan I. algoritmanın enerji akış kontrol şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.50 HEÜS için tasarlanan I. algoritmanın enerji akış kontrol şeması gösterilmektedir.

HEÜS’de enerji akışının çift yönlü olduğu tek yer bataryalardır. Bataryalarda üretilen enerji ve tüketicinin enerji ihtiyacına çift yönlü enerji akışı olmaktadır. HEÜS’de kullanılan diğer bütün malzemelerde enerji akışı tek yönlüdür.

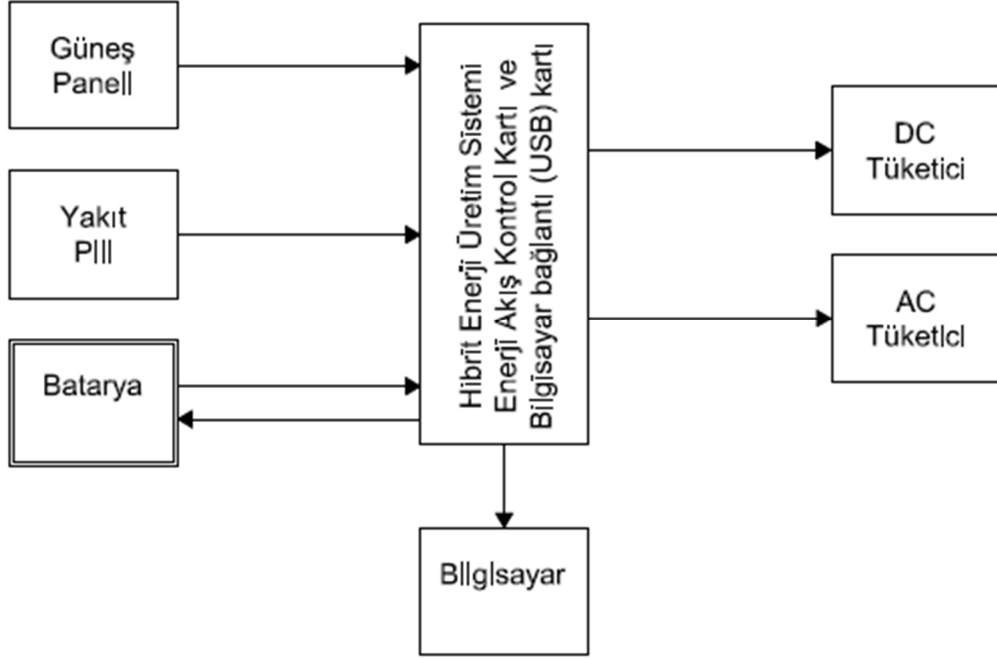
I. algoritmada temel amaç DC tüketicinin enerji ihtiyacının karşılanmasıdır. Bunu sağlamak için ilk önce güneş panelinin üretmiş olduğu enerji ile tüketicinin enerji ihtiyacı karşılaştırılır. Güneş panelinin enerji üretimi tüketicinin enerji talebini karşılıyorsa, güneş panelinde üretilen enerji ile tüketicinin enerji ihtiyacı karşılanır. Güneş panellerinde üretilen enerji tüketicinin enerji ihtiyacından fazla olması durumunda, üretilen enerji ile hem tüketici enerji ihtiyacı karşılanırken aynı anda bataryada şarj edilmektedir. Güneş panelinden üretilen enerjinin az olması durumunda tüketicinin enerji ihtiyacını karşılamak için ilk önce bataryada depolanan enerji kullanılır. Bataryanın şarj durumunun düşmesi durumunda yakıt pilinin enerjisi kullanılır. Şekil 3.51’de HEÜS için tasarlanan çalışma algoritması I gösterilmektedir.



Şekil 3.51 HEÜS için tasarlanan çalışma algoritması I.

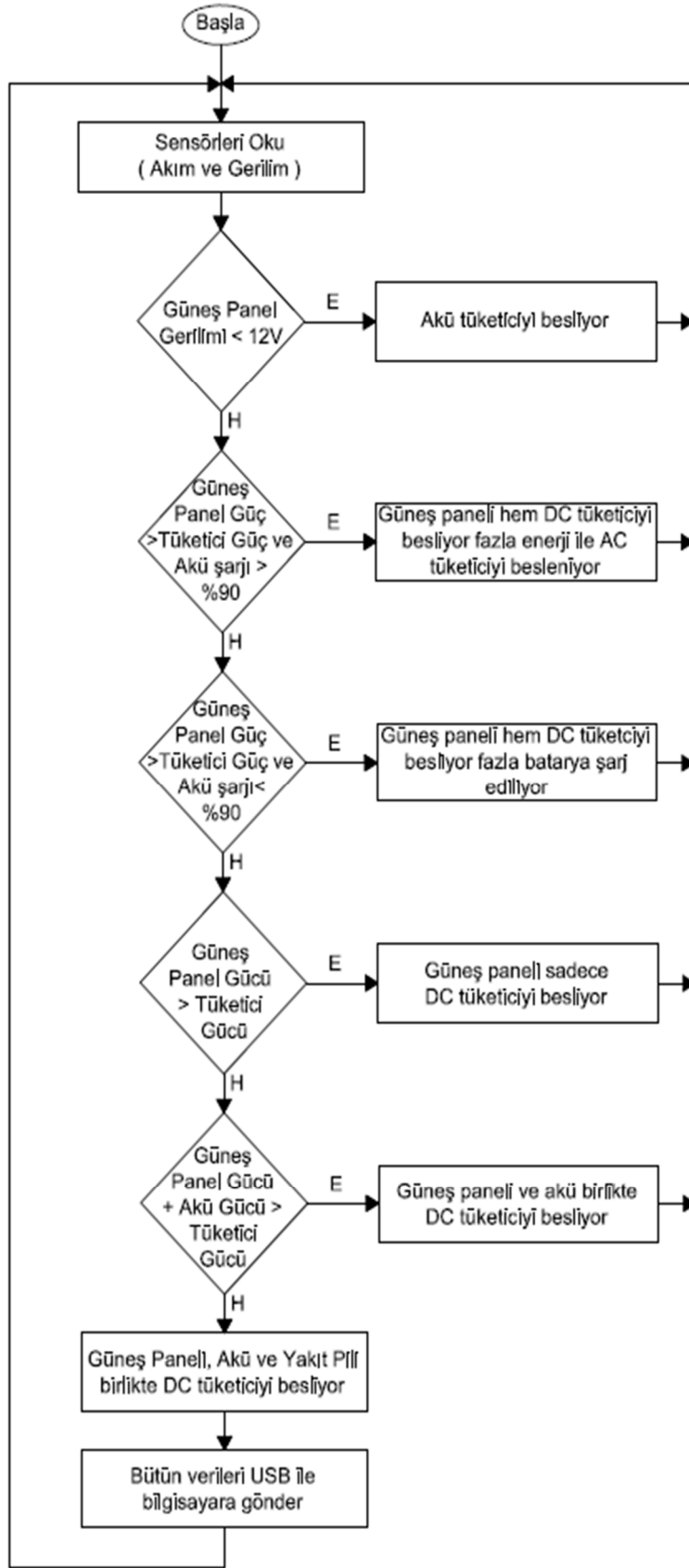
3.20.2 HEÜS İçin Tasarlanan Algoritma II.

HEÜS’de üretilen enerjinin en optimal şekilde kullanılması için II. algoritmada sisteme tüketici olarak DC yükün yanında AC yük ilave edilmiştir. Şekil 3.52’de HEÜS için tasarlanan II. algoritmanın enerji akış kontrol şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.52 HEÜS için tasarlanan II. algoritmanın enerji akış kontrol şeması gösterilmektedir.

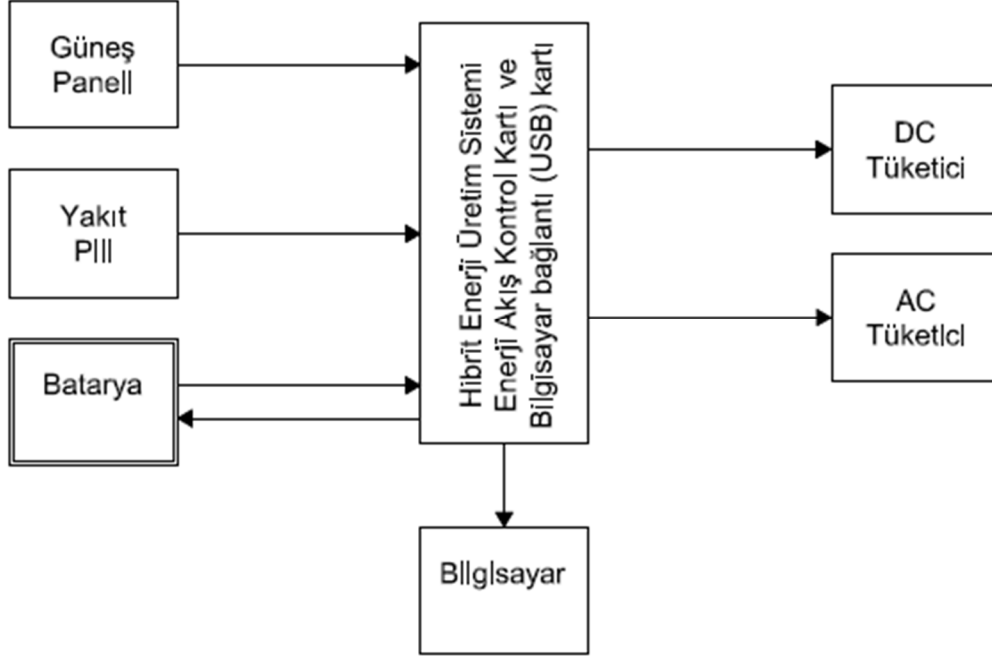
Güneş panellerinin özellikle yaz aylarında enerji üretimi çok fazla artmaktadır. Üretilen bu enerji DC tüketicinin enerji ihtiyacından ve bataryanın şarjı için gerekli enerjinin de üstündedir. Bu ihtiyaç fazlası enerji kullanılmamaktadır. İhtiyaç fazlası enerjiyi kullanmak için sisteme AC tüketici eklenmiştir. Güneş panellerinin enerji üretimi DC olduğundan AC tüketicinin çalışması için sistemde DC/AC inverter kullanılmıştır. Böylece ihtiyaç fazlası enerjinin bir kısmı AC tüketiciler de kullanılarak üretilen enerjinin en etkin ve verimli şekilde kullanılması gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.53’de HEÜS için tasarlanan çalışma algoritması II gösterilmektedir.



Şekil 3.53 HEÜS için tasarlanan çalışma algoritması II.

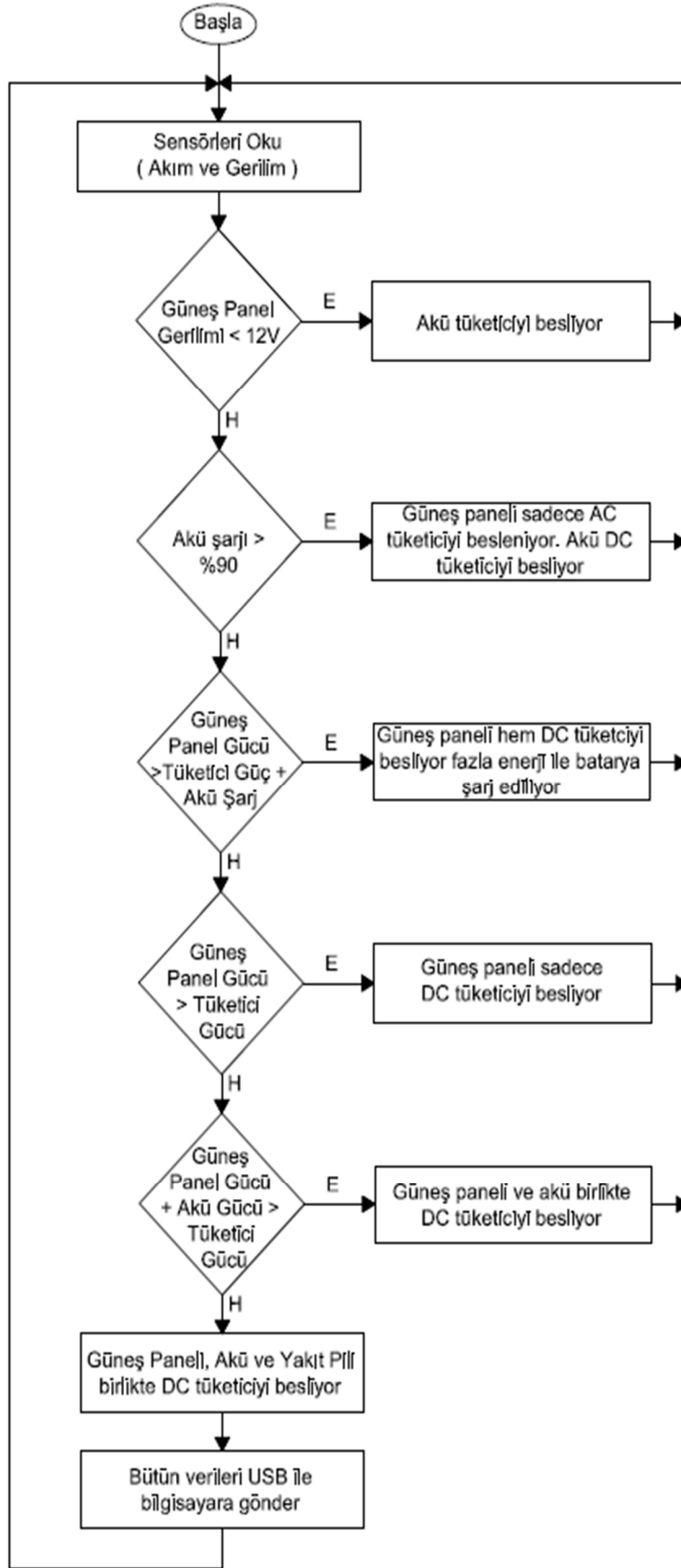
3.20.3 HEÜS İçin Tasarlanan Algoritma III.

HEÜS’de üretilen enerjinin en etkin ve verimli şekilde kullanılması için tasarlanan III. algoritmada II. algoritmada olduğu gibi sisteme tüketici olarak DC yükün yanında AC yükte kullanılmıştır. Şekil 3.54’de HEÜS için tasarlanan III. algoritmanın enerji akış kontrol şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.54 HEÜS için tasarlanan III. algoritmanın enerji akış kontrol şeması gösterilmektedir.

III. algoritma ile özellikle yaz aylarında üretilen ihtiyaç fazlası enerjiden daha çok faydalanılması için tasarlanmıştır. III algoritmanın diğer algoritmalarından farkı; bataryanın şarj oranı %90’dan büyük olduğu zaman, güneş panelinin üretmiş olduğu enerji sadece AC tüketiciyi beslemekte, DC tüketiciyi ise batarya beslemektedir. Bataryanın şarj oranı %90’dan aşağıya düştüğünde güneş panelinin üretmiş olduğu enerji ile hem DC tüketici beslenmekte aynı anda akü şarj edilmektedir. AC tüketici ise enerjisiz kalmaktadır. Böylece HEÜS için tasarlanan ve uygulaması gerçekleştirilen III. algoritma ile üretilen enerjiden en optimal şekilde faydalanması gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.55’de HEÜS için tasarlanan çalışma algoritması III gösterilmektedir.



Şekil 3.55 HEÜS için tasarlanan çalışma algoritması III.

3.20.4 HEÜS'nin Genel Görünüşü

HEÜS'nin çalışması için mikrodenetleyici ve bilgisayar bağlantısı (USB) kartı başta olmak üzere, akım sensör kartı, analog/dijital dönüştürücü kart, analog veri tekleyici kart ve yük kontrol kartı tasarlanmış ve uygulanmıştır. Güneş panellerinin çıkış gerilimlerinin düşürmek için DC/DC konverter, yapımı gerçekleştirilen kartları beslemek için güç kaynağı ve AC tüketiciyi beslemek için DC/AC inverter satın alınarak sisteme entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.56'da HEÜS'de üretilen enerjinin en optimal şekilde enerji akışı gerçekleştirmek için yapılan sistemin genel görünüşü gösterilmektedir.



Şekil 3.56 HEÜS'nin genel görünüşü.

3.20.5 Bilgisayar Arayüzü Görünüşü

HEÜS'deki tüm veriler bilgisayar bağlantı (USB) kart ile bilgisayara gönderilmektedir. Bilgisayara gelen tüm veriler C# programında hazırlan ara yüz ile ekranda gösterilmektedir. Ara yüz programı ile ekranda görüntülenen tüm veriler ister manuel ister ayarlanan süre ile otomatik olarak access veri tabanına kayıt yapmaktadır. HEÜS'de tüm veriler 10'ar saniye aralıklarla access veri tabanına kayıt yapılmaktadır. Kaydedilen verilerin analizi yapılarak her bir güneş panelinin ürettiği enerji miktarları, uygulanan her bir algoritmalar ile enerjiden faydalanma oranları ve aynı zamanda bataryada depolanan enerji ile tahmini olarak tüketicinin ne kadar besleneceği

hesaplanmıştır. Şekil 3.57’de HEÜS için C# programı ile yapılmış ara yüz gösterilmektedir.

PIC18F4550 PortB
1 Bit İşlem
B0 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7

USB Cihaz Bilgileri
USB Cihaz Vendor ID: 4660
USB Cihaz Product ID: 4660
OK

Sistem	Panel Gerilimi (U)	Konvertör Çıkış Gerilimi (U)	Üretilen Güç (P)	Alıcı Akımı (I)	Alıcı Gücü (P)	Batarya Gerilimi (U)	Batarya Şarj Oranı (%)
MONOKRİSTAL PANEL SİSTEM	21,2165	12,1014	75,6251	1,8966	20,7962	12,0098	85,21
POLİKRİSİTAL PANEL SİSTEM	28,2152	11,8092	76,0122	1,8952	20,6823	12,8325	88,04
İNCE FİLM PANEL SİSTEM	55,2562	12,1021	31,0982	1,8898	20,3345	12,5324	87,05
TOPLAM			182,7355				

ÜRETİLEN GÜÇLER
Monokristal Panel Gücü: P = 75,6251
Polikristal Panel Gücü: P = 76,0122
İnce Film Panel Gücü: P = 31,0982

YAKIT PİLİ
Çıkış Gerilimi (U): 24,1258
Gücü (P): 200,1247

Otomatik Kaydetme
Tarih/Saat: 14/04/2015 10:35:12
Manuel Kaydet
Kaydetme Aralığı: 10 Saniye
Süre Aralığını Değiştir
Otomatik Kaydetme Aktif Et
Otomatik Kaydetme Pasif Et

Hikko USB HID (PIC18F4550) Cihazı bağlandı!

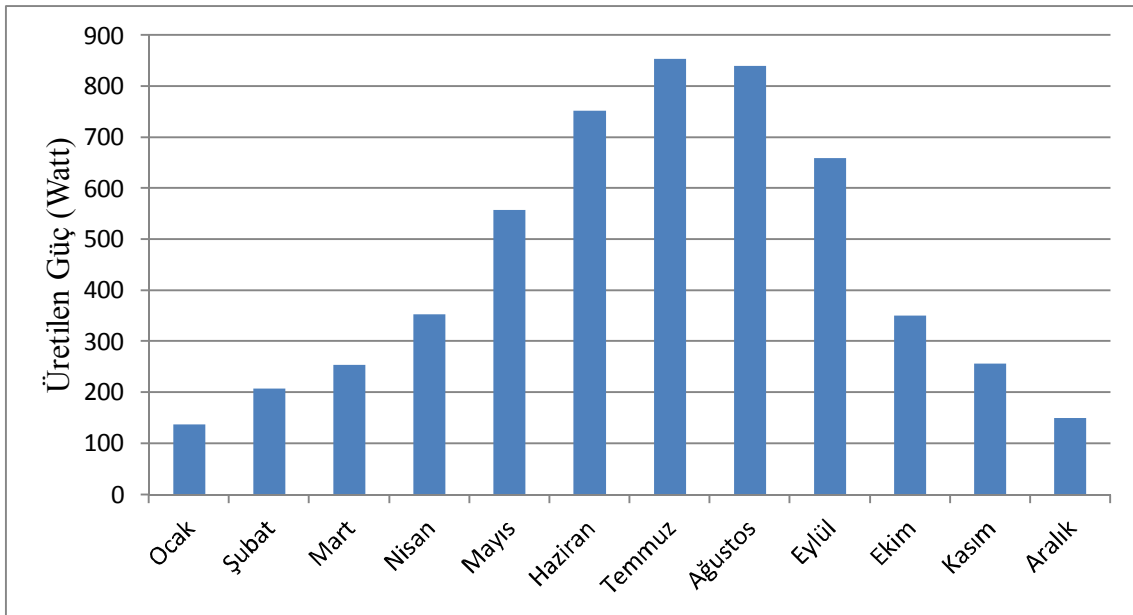
Şekil 3.57 HEÜS için C# programı ile yapılmış ara yüz.

4. BULGULAR

Yapılan çalışmada üç farklı güneş panelinin monokristal, polikristal ve ince film güneş panellerinin enerji üretimlerinin karşılaştırılması ve üretilen enerjinin en optimal şekilde kullanılması için farklı algoritmalarının denenmesi çalışmaları yapılmıştır. Güneş panellerinin ürettiği oldukları enerjilerde meydana gelecek kayıpları en aza indirmek için; kablo uzunlukları, aparatlar ve ek parçaları aynı seçilmiştir. Ayrıca aynı ışık şiddetine maruz kalmaları için yan yana montajları yapılmıştır. Üretilen enerjiler mikro-denetleyici ve USB kartı ile bilgisayara gönderilmektedir. USB ile bilgisayara gelen veriler ekranda gösterilmektedir. Bilgisayar ekranındaki veriler 10 saniye aralıklarla access veri tabanına kayıt yapılmaktadır. Yapılan çalışmada 01/05/2014 ile 30/04/2015 tarihleri arasında ki veriler kullanılmıştır.

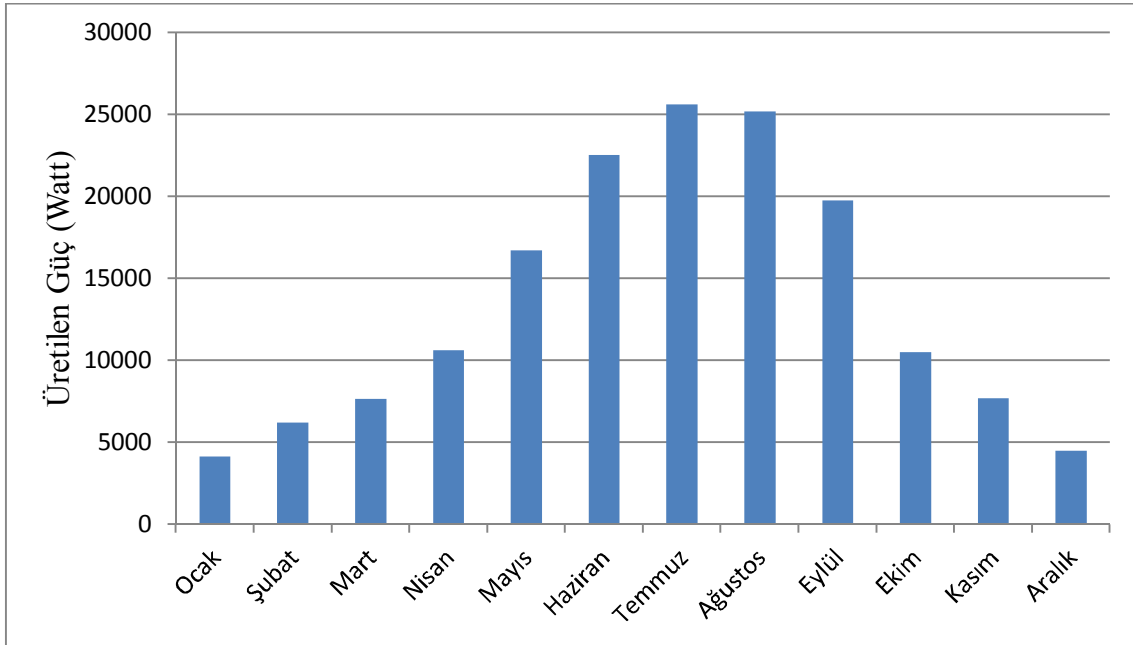
4.1 Güneş Panellerinin Ürettiği Oldukları Enerjiler

Gerçekleştirilen hibrit enerji üretim sistemde (HEÜS) üç farklı; monokristal, polikristal ve ince film güneş panelleri kullanılmıştır. Bu güneş panellerinin yapılarında kullanılan yarı iletken malzemeye göre ürettiği oldukları enerjilerde farklılıklar meydana gelmektedir. Şekil 4.1’de monokristal güneş panelinin ürettiği olduğu günlük ortalama enerji miktarları gösterilmiştir.



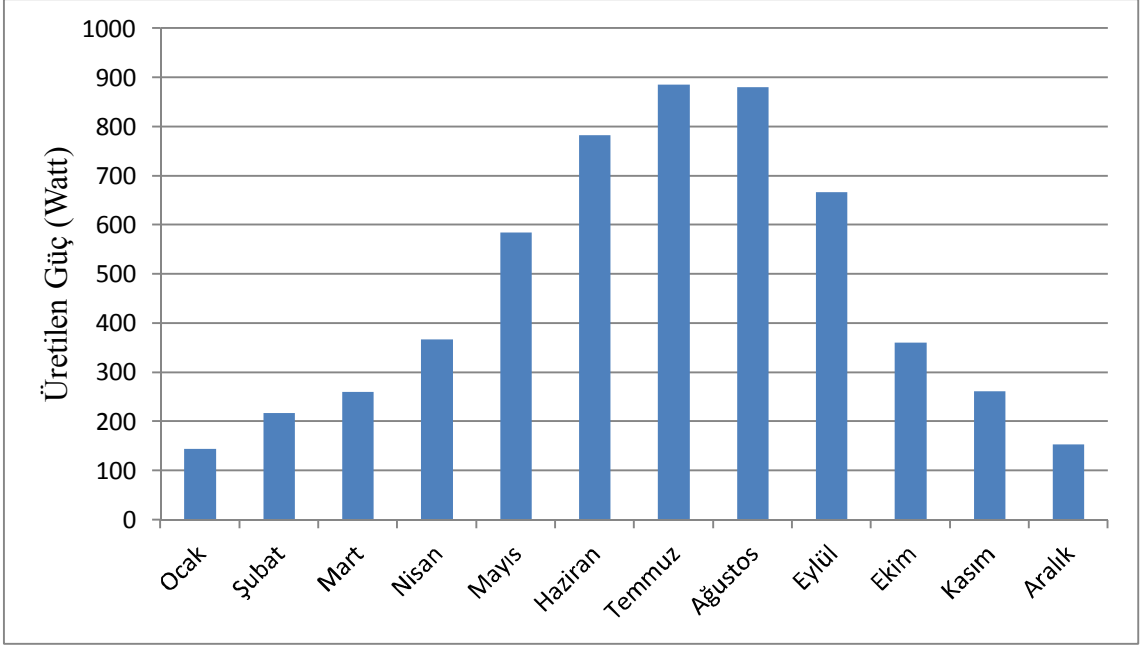
Şekil 4.1 Monokristal güneş panelinin günlük ortalama enerji üretimi.

Monokristal güneş panelinin bir günde üretmiş olduğu toplam enerji miktarı incelendiğinde; en az üretim 130 watt ortalama ile ocak ayında gerçekleşmiştir. En yüksek üretim ise 830 watt ortalama ile temmuz ve ağustos aylarında olmuştur. Monokristal güneş panelinin enerji üretiminin yıl içinde bu kadar değişken olmasının sebebi: güneşlenme süresidir. Güneş panelleri ne kadar uzun süre güneş ışınlarına maruz kalırsa enerji üretimi de artmaktadır. Afyonkarahisar ilinin kış aylarında güneşlenme süresi ortalaması 3-4 saat iken bu süre yaz aylarında 11-12 saatte kadar çıkmaktadır. Güneş panellerinin enerji üretimi, güneşlenme süresine paralel olarak değişim göstermektedir. Şekil 4.2’de monokristal güneş panelinin üretmiş olduğu aylık toplam enerji miktarı gösterilmiştir.



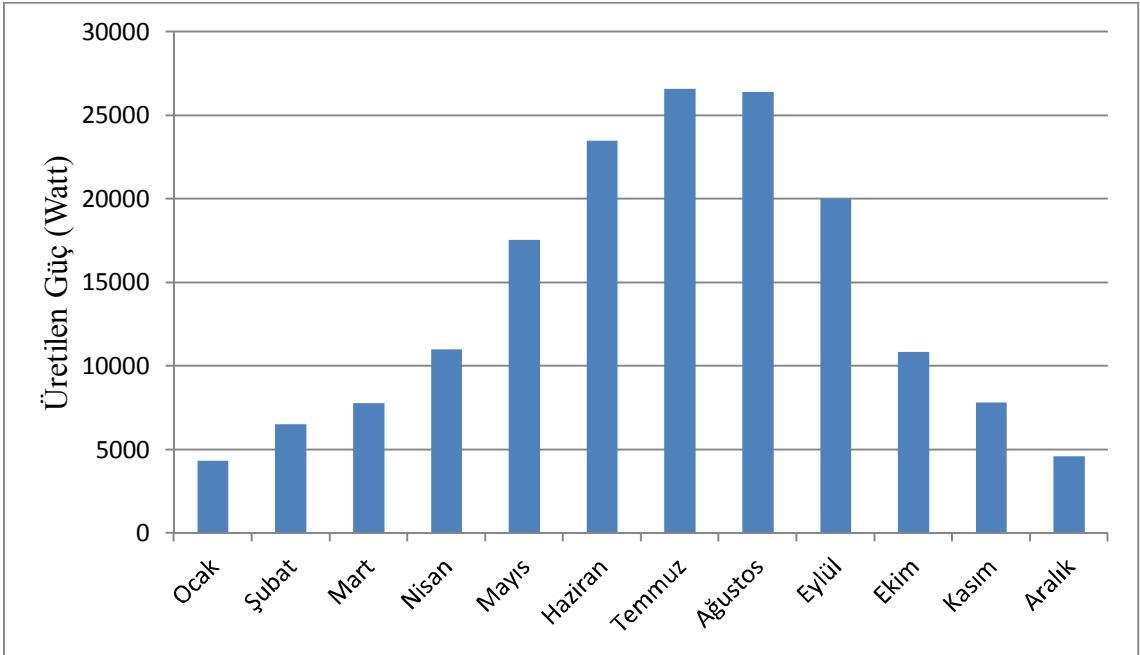
Şekil 4.2 Monokristal güneş panelinin aylık toplam üretilen enerji.

Monokristal güneş panelinin aylık toplam enerji miktarı incelendiğinde; en az üretim 4000 watt ortalama ile ocak ayında gerçekleşmiştir. En yüksek üretim ise 25000 watt ortalama ile temmuz ve ağustos aylarında olmuştur. Monokristal güneş panelinin aylık ortalama enerji üretimi 13000 watt seviyesinde gerçekleşmiştir. Şekil 4.3’de polikristal güneş panelinin üretmiş olduğu günlük ortalama enerji miktarları gösterilmiştir.



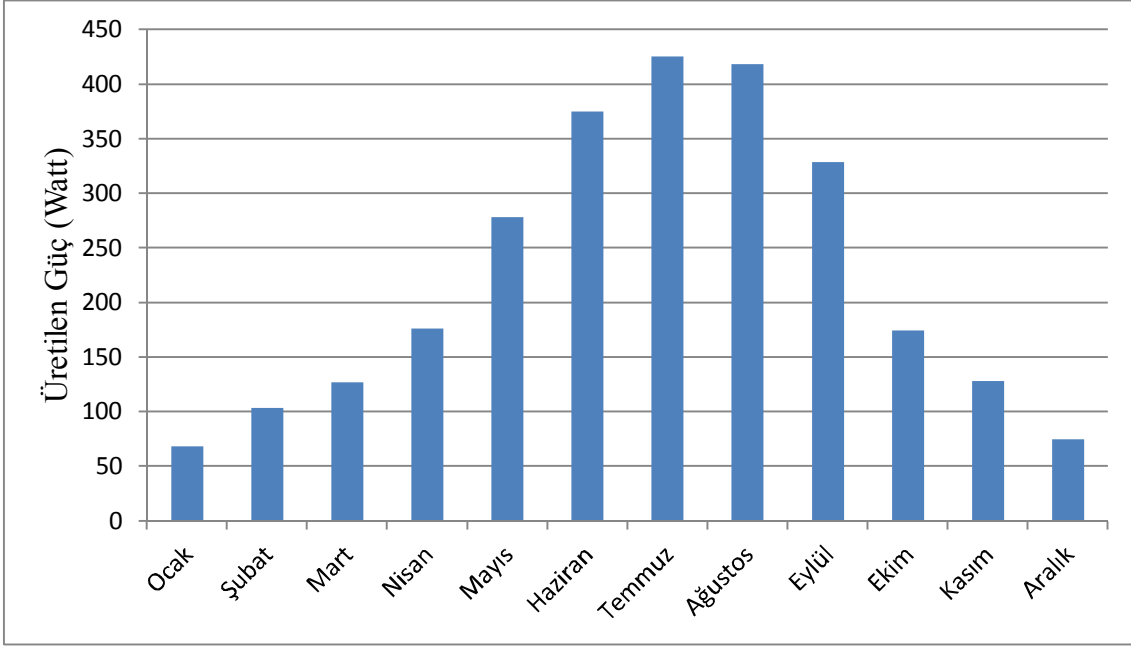
Şekil 4.3 Polikristal güneş panelinin günlük ortalama enerji üretimi.

Polikristal güneş panelinin bir günde üretmiş olduğu toplam enerji miktarı incelendiğinde; en az üretim 140 watt ortalama ile ocak ayında gerçekleşmiştir. En yüksek üretim ise 860 watt ortalama ile temmuz ve ağustos aylarında olmuştur. Şekil 4.4’de polikristal güneş panelinin üretmiş olduğu aylık toplam enerji miktarı gösterilmiştir.



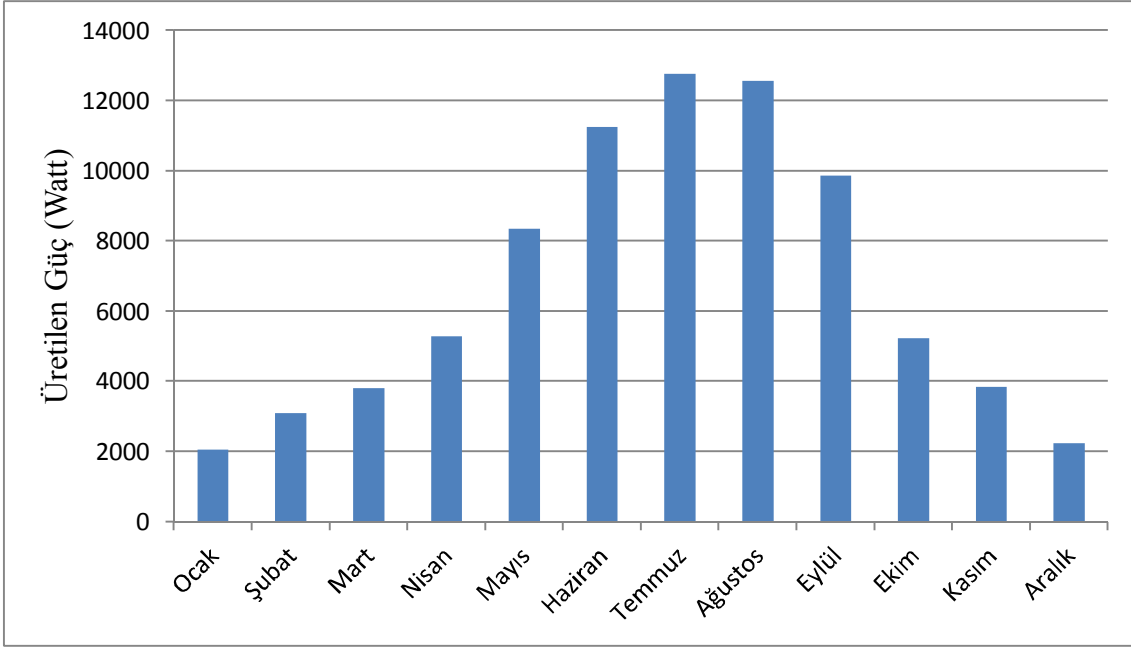
Şekil 4.4 Polikristal güneş panelinin aylık toplam üretilen enerji.

Polikristal güneş panelinin aylık toplam enerji miktarı incelendiğinde; en az üretim 4300 watt ortalama ile ocak ayında gerçekleşmiştir. En yüksek üretim ise 26000 watt ortalama ile temmuz ve ağustos aylarında olmuştur. Polikristal güneş panelinin aylık ortalama enerji üretimi 13500 watt seviyesinde gerçekleşmiştir. Şekil 4.5’de ince film güneş panelinin üretmiş olduğu günlük ortalama enerji miktarları gösterilmiştir.



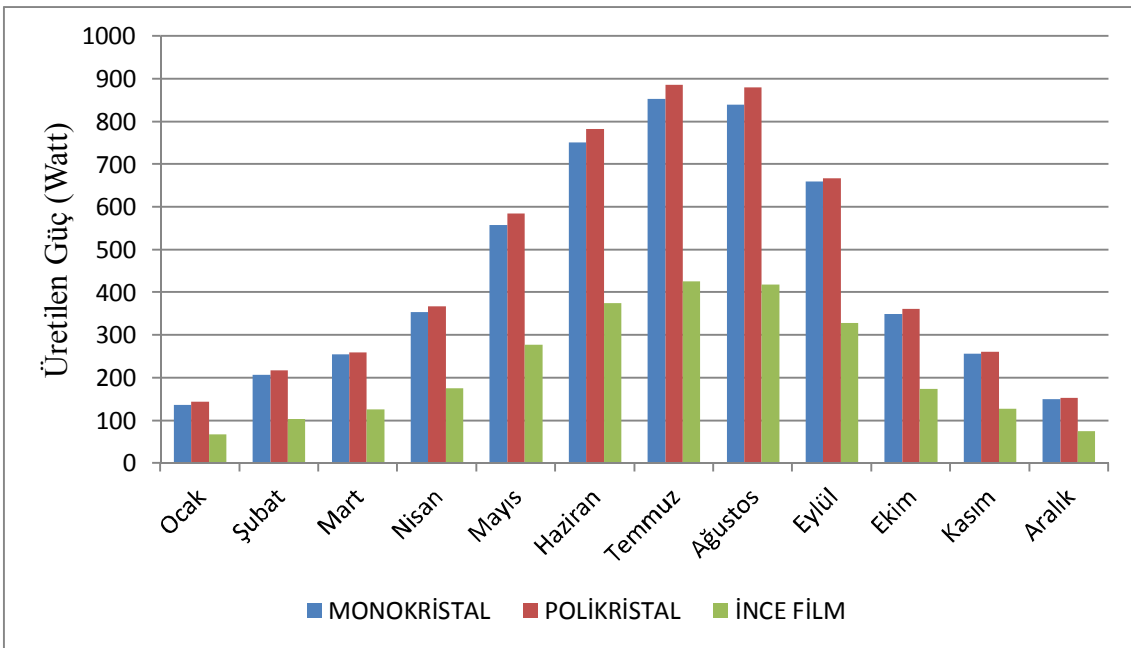
Şekil 4.5 İnce film güneş panelinin günlük ortalama enerji üretimi.

Güneş panelleri arasında en az enerji üretimi ince film güneş panelinde gerçekleşmiştir. İnce film güneş panelinin bir günde üretmiş olduğu toplam enerji miktarı incelendiğinde; en az üretim 60 watt ortalama ile ocak ayında gerçekleşmiştir. En yüksek üretim ise 400 watt ortalama ile temmuz ve ağustos aylarında olmuştur. Yıl içinde günlük ortalama enerji üretimi ise 200 watt seviyesindedir. 4.6’de ince film güneş panelinin üretmiş olduğu aylık toplam enerji miktarı gösterilmiştir.



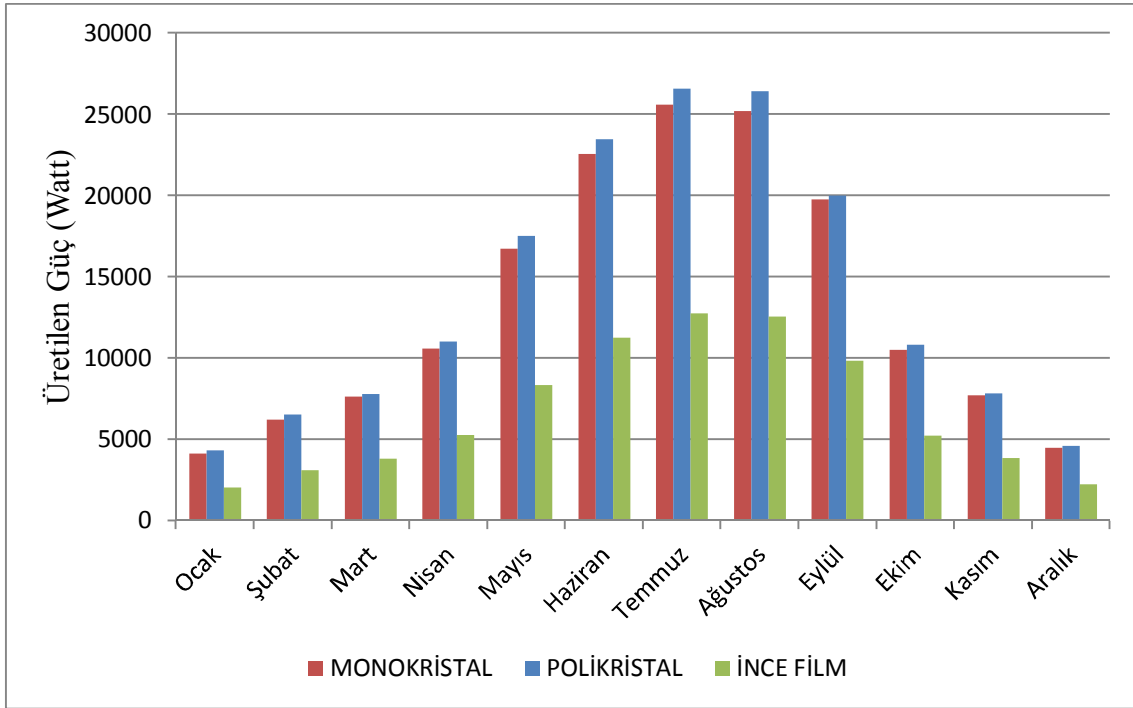
Şekil 4.6 İnce film güneş panelinin aylık toplam enerji üretimi.

İnce film güneş panelinin aylık toplam enerji miktarı incelendiğinde; en az üretim 2000 watt ortalama ile ocak ayında gerçekleşmiştir. En yüksek üretim ise 12500 watt ortalama ile temmuz ve ağustos aylarında olmuştur. İnce film güneş panelinin aylık ortalama enerji üretimi 6000 watt seviyesinde gerçekleşmiştir. Şekil 4.7’de üç farklı güneş panelinin günlük ortalama enerji üretimlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Üç güneş panelinin günlük ortalama enerji üretiminin karşılaştırılması.

Monokristal, polikristal ve ince film güneş panellerinin ocak ayında ki günlük ortalama enerji üretimleri yaklaşık olarak bir birlerine çok yakındır. Yaz aylarında monokristal ve polikristal güneş panellerinin günlük ortalama enerji üretimlerinde çok yüksek artış gerçekleşmiştir. İnce film güneş panelinde ise artış çok düşük seviyede kalmıştır. Şekil 4.8’de üç farklı güneş panelinden üretilen aylık toplam enerjilerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Üç farklı güneş panelinden üretilen aylık toplam enerjilerinin karşılaştırılması.

Güneş panellerinin yapımında kullanılan yarı iletkenler, güneş panellerinin enerji üretimlerini ve verimliliklerini çok etkilemektedir. Yapılan çalışmada piyasada en çok kullanılan üç farklı monokristal, polikristal ve ince film güneş panelleri seçilmiştir. Güneş panellerinin yapımında kullanılan yarı iletkenler ve üretim teknikleri farklı olduğundan; enerji üretimleri, verimlilikleri ve boyutları farklıdır.

Güneş panellerinin enerji üretim grafikleri incelendiğinde monokristal ve polikristal güneş panellerinin yaklaşık olarak aynı olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni ise iki güneş panelinin yapısında silisyum yarı iletkeni kullanılmasıdır. Monokristal güneş panelinde kullanılan silisyum saflaştırma işlemine tabii tutulurken, polikristal güneş panelinde

kullanılan silisyum saflaştırma işlemine tabii tutulmaz. Silisyum monokristal güneş panelinin her yerinde eşit miktarda iken, polikristal güneş panelinde eşit değildir. Bundan dolayı monokristal güneş panelinin boyutu %1-2 kadar polikristal güneş panelinden daha düşüktür.

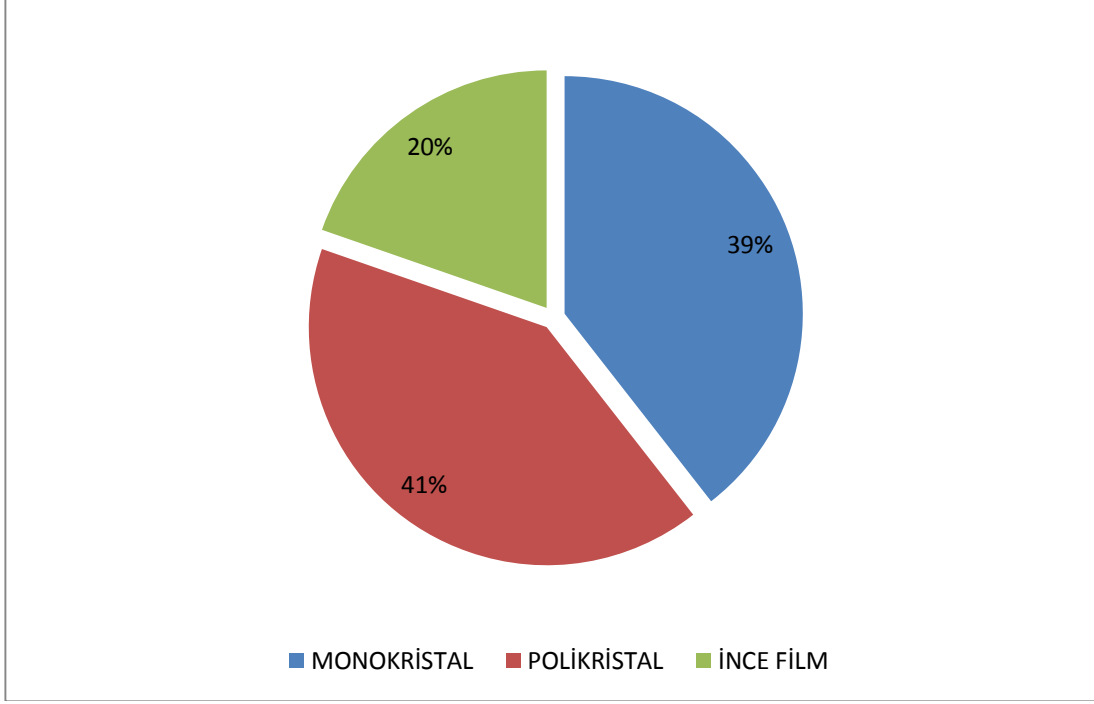
Güneş panelleri arasında en az enerji üretimi ince film güneş paneline aittir. Yaklaşık olarak monokristal güneş panelinin yarısı kadar üretim gerçekleştirmiştir. İnce film güneş panellerinde kullanılan amorf silisyum yarı iletkeni; çok yüksek gerilim çıkışı vermesine karşılık olarak çok düşük akım çıkışına sahiptir. Bundan dolayı ince film güneş panellerinin enerji üretimleri düşük seviyede kalmaktadır. Çizelge 4.1’de üç güneş panelinin aylık toplam enerji üretimleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Üç güneş panelinin aylık toplam enerji üretimleri (watt).

Aylar	Monokristal	Polikristal	İnce Film
Ocak	4118,33	4344,44	2052,98
Şubat	6223,39	6250,71	3102,34
Mart	7697,79	7790,98	3807,42
Nisan	10608	11009	5288,08
Mayıs	16738,1	17537,8	8343,92
Haziran	22561,3	23478,4	11246,7
Temmuz	25617,42	26585,6	12770,2
Ağustos	25186,7	26422,2	12555,5
Eylül	19780,6	20020,7	9860,58
Ekim	10508,7	10836	5238,58
Kasım	7704	7841,43	3840,42
Aralık	4502,03	4604,8	2244,25
TOPLAM	161186,34	166692,03	8350,93

Monokristal ve polikristal güneş panellerinin yıllık toplam enerji üretimleri birbirlerine çok yakın değerde gerçekleşmiştir. İnce film güneş panelinin yıllık enerji üretimi

monokristal ve polikristal güneş panellerinin toplam enerji üretimlerinin yaklaşık olarak yarısında kalmıştır. Şekil 4.10'da üç farklı güneş panelinin toplam enerji üretimindeki oranları gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Üç farklı güneş panelinin toplam enerji üretimdeki oranları.

Üç farklı güneş panelinin boyutları incelendiğinde, en düşük boyut monokristal güneş panelinde mevcuttur. Polikristal güneş paneli ise monokristale göre %1-2 arasında daha büyük alanı kapsamaktadır. İnce film güneş paneli ise en büyük alanı kapsamaktadır. İnce film tek parça bulamadığımızdan iki tane ince film güneş paneli paralel bağlanmıştır. İnce film güneş panelinin boyutu yaklaşık olarak monokristal güneş paneline göre 3 kat daha büyük alanı kaplamaktadır.

Güneş panellerinin enerji üretimlerinin en yüksek olduğu aylar yaz aylarıdır. Üç farklı güneş panelinin enerji üretiminde ciddi artışlar gözükmemektedir. Ocak ayı ile temmuz ayları arasında enerji üretimlerinde yaklaşık olarak 6 kat artış görünmektedir. Artışın bu kadar yüksek olmasının başında güneşlenme süresi gelmektedir. Ocak ayında yaklaşık olarak güneşlenme süresi 3-4 saat iken temmuz ayında bu süre yaklaşık olarak 11-12

saat olmaktadır. Güneşlenme süresine ek olarak güneş ışınlarının şiddeti de güneş panellerinin enerji üretimlerine etki etmektedir.

4.2 I. Algoritmanın Uygulanması

Yapılan çalışmada güneş panellerinin enerji üretimlerinin karşılaştırılması kadar üretilen enerjinin en etkin ve verimli bir şekilde kullanılması gerçekleştirilmiştir. Bunun için farklı algoritmalar tasarlanmış ve uygulanmıştır. I. algoritma uygulamasında sadece DC yük kullanılmıştır. Algoritmanın temel çalışması aşağıda maddeler halinde ifade edilmiştir.

- Güneş panelinin üretmiş olduğu gerilim 12 voltun altında ise tüketici akü tarafından beslenmektedir.
- Güneş paneli tarafından üretilen enerji tüketicinin ihtiyacı olan enerjiden fazla ise bu enerji ile hem akü şarj etmekte hem de tüketiciyi beslemektedir.
- Güneş paneli tarafından üretilen enerji tüketicinin ihtiyacından fazla değilse ise bu enerji ile sadece tüketici beslenmektedir.
- Güneş paneli tarafından üretilen enerji tüketicinin ihtiyacından az ise bu enerjiye ek olarak aküden takviye yapılarak tüketici beslenmektedir.
- Güneş paneli tarafından üretilen enerji tüketicinin ihtiyacından az ve akünün şarj durumu çok düşük ise güneş paneli tarafından üretilen enerjiye ek olarak akü ve yakıt pilinin enerjisi eklenerek tüketici beslenir.

Bu algoritmada, temel amaç tüketicinin enerjisiz kalmaması ve enerjinin imkânlar ölçüsünde etkin ve verimli kullanılmasıdır. Çizelge 4.2’de monokristal güneş panelinin I. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 Monokristal güneş panelinin I. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Üretim (Watt)	Kayıp (Watt)	Net Üretim (Watt)	Tüketici DC Yük (Watt)	Batarya (Watt)	Yakıt Pili (Watt)	Fazla Enerji (Watt)	Verim (%)
Ocak	4118,33	1482,6	2625,25	4952	1019	1154,75	0	0,63746
Şubat	6223,39	2240,42	3920,05	4450	817,03	0	0	0,62989
Mart	7697,79	2749,61	4878,02	4780	-98,02	0	0	0,63867
Nisan	10608	3818,9	6789,15	4902	-1887,2	0	867,15	0,55826
Mayıs	16738,1	6025,73	10712,4	4765	-5947,4	0	4927,41	0,34562
Haziran	22561,3	8122,06	14439,2	4965	-9474,2	0	8454,22	0,26528
Temmuz	25617,4	9222,23	16395,1	4790	-11605	0	10585,1	0,2268
Ağustos	25186,7	9067,2	16119,5	4950	-11169	0	10149,5	0,23703
Eylül	19780,6	7121,02	12659,6	4800	-7859,6	0	6839,6	0,29423
Ekim	10508,7	3783,15	6725,59	4959	-1766,6	0	746,59	0,59896
Kasım	7704	2773,44	4902,01	4720	182,01	0	0	0,63629
Aralık	4502,03	1620,73	2881,3	4925	1005	898,7	0	0,64

Monokristal güneş panelinin aylık enerji üretimleri incelendiğinde kış aylarında çok düşük seviye de yaz aylarında ise en yüksek seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Kış aylarında güneş panelinin üretmiş olduğu enerji miktarı tüketicinin ihtiyacı olan enerji miktarından düşük seviyede kalmaktadır. Tüketicinin ihtiyacı olan enerji talebi aküden karşılanmadığı durumlarda yakıt pilinden karşılanmaktadır. Aralık ve ocak aylarında monokristal güneş panelinin enerji üretimi çok düşük olduğundan, tüketicinin ihtiyacı olan enerji miktarı akülerde depolanan enerjiden daha yüksek olduğundan yakıt pili kullanılmaktadır. Bu şekilde tüketicinin enerji ihtiyacı yakıt pili kullanılarak karşılanmaya çalışılmıştır.

Şubat ve kasım aylarında güneş panelinin üretmiş olduğu enerji tüketicinin ihtiyacı olan enerjiden biraz düşük seviyede kalmaktadır. Bu aylarda tüketicinin talep ettiği enerjinin bir kısmı akülerden karşılanmaktadır. Yakıt pili bu aylarda kullanılmamaktadır.

Mart ve ekim ayları arasında güneş panelinin üretmiş olduğu enerji tüketicinin ihtiyaç duyduğu enerjiden çok yüksek seviyededir. Bu enerji ile tüketicinin enerji ihtiyacı karşılandığı gibi akünün şarjı da sağlanmıştır.

Monokristal güneş panelinin etkin ve verimli kullanılması incelendiğinde kış aylarında en yüksek seviyede yaz aylarında ise en düşük seviyededir. Kış aylarında güneş panelinin üretmiş olduğu enerji tüketicinin talep ettiği enerjiden düşük seviyededir. Tüketicinin enerji ihtiyacının karşılanması için güneş panelinin üretmiş olduğu bütün enerji kullanılmakta ve bu enerjinin yetmediği durumlarda akü ve yakıt pilinin enerjisinden takviye yapılmaktadır. Kış aylarında güneş panelinin üretmiş olduğu tüm enerji kullanıldığından verim en yüksek seviyededir.

Monokristal güneş panelinin yaz aylarında etkin ve verimli kullanılması çok düşüktür. Yaz aylarında güneş panelinin üretmiş olduğu enerji miktarı tüketicinin talep ettiği enerji miktarının çok üstündedir. Monokristal güneş panelinin üretmiş olduğu enerji ile öncelikli olarak tüketicinin enerji ihtiyacı karşılanmakta ihtiyaç fazlası enerji ile batarya şarj edilmektedir. Her bir güneş panelinin tek bir bataryası bulunmaktadır. Yaz aylarında güneş panelinin üretmiş olduğu enerji çok fazla olduğundan, tüketicinin enerji ihtiyacı karşılanmak da birlikte bataryada şarj edilmektedir. Batarya şarj olduktan sonra ihtiyaç fazlası enerji boşa gitmektedir. Bu ihtiyaç fazlası enerji kullanılmadığından verim yaz aylarında düşmektedir.

Monokristal güneş panelinin kış aylarında verim %60'larda iken yaz aylarında verim %22 seviyesine kadar düşmektedir. En büyük verim düşüklüğü monokristal güneş panelinin enerji üretiminin en yüksek seviyede olduğu temmuz ve ağustos ayında gerçekleşmiştir. Çizelge 4.3'de polikristal güneş panelinin I. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 Polikristal güneş panelinin I. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Üretim (Watt)	Kayıp (Watt)	Net Üretim (Watt)	Tüketici DC Yük (Watt)	Batarya (Watt)	Yakıt Pili (Watt)	Fazla Enerji (Watt)	Verim (%)
Ocak	4344,44	1526,42	2818,02	4955	1015	1121,98	0	0,64865
Şubat	6520,71	2262,29	4258,43	4472	221,57	0	0	0,65306
Mart	7790,98	2564,73	5226,25	4790	-436,25	0	0	0,67081
Nisan	11009	3750,32	7258,68	4965	-2313,7	0	1293,68	0,54183
Mayıs	17537,8	6084,55	11453,3	4765	-6688,3	0	5668,27	0,32986
Haziran	23478,4	8040,53	15437,8	4925	-10513	0	9492,82	0,25321
Temmuz	26585,6	9056,62	17528,9	4792	-12737	0	11716,9	0,21861
Ağustos	26422,2	9187,93	17234,3	4925	-12309	0	11289,3	0,225
Eylül	20020,7	6485,58	13535,1	4732	-8803,1	0	7783,12	0,2873
Ekim	10836	3645,3	7190,73	4927	-2263,7	0	1243,73	0,54882
Kasım	7841,43	2569,88	5271,55	4792	479,55	0	0	0,67227
Aralık	4604,8	1524,24	3080,56	4937	1010	859,44	0	0,66899

Polikristal güneş paneli incelendiğinde monokristale göre enerji üretiminin biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle kış aylarında tüketicinin enerji ihtiyacını karşılamak için yakıt pili biraz daha az kullanılmaktadır.

Polikristal güneş panelinin kış aylarında üretilen enerji miktarı tüketicinin ihtiyaç duyduğu enerji miktarından düşük seviyededir. Bunun karşılanması için güneş panelinin ürettiği enerjiye ek olarak akü ve yakıt pilinin enerjileri kullanılmaktadır. Kış aylarında güneş panelinin ürettiği enerjinin büyük bir kısmını tüketiciler kullanmaktadır. Bu şekilde kış aylarında verim yüksek seviyede olmaktadır.

Polikristal güneş panelinin yaz aylarında enerji üretimi monokristal güneş panelinde göre daha yüksek seviyede olmaktadır. Üretilen bu enerji tüketicinin ihtiyacından ve bataryanın şarjı için gerekli enerjinin üstünde bir enerjidir. Bu ihtiyaç fazlası enerji kullanılmadığından yaz aylarında verim çok düşmektedir. Çizelge 4.4'de ince film

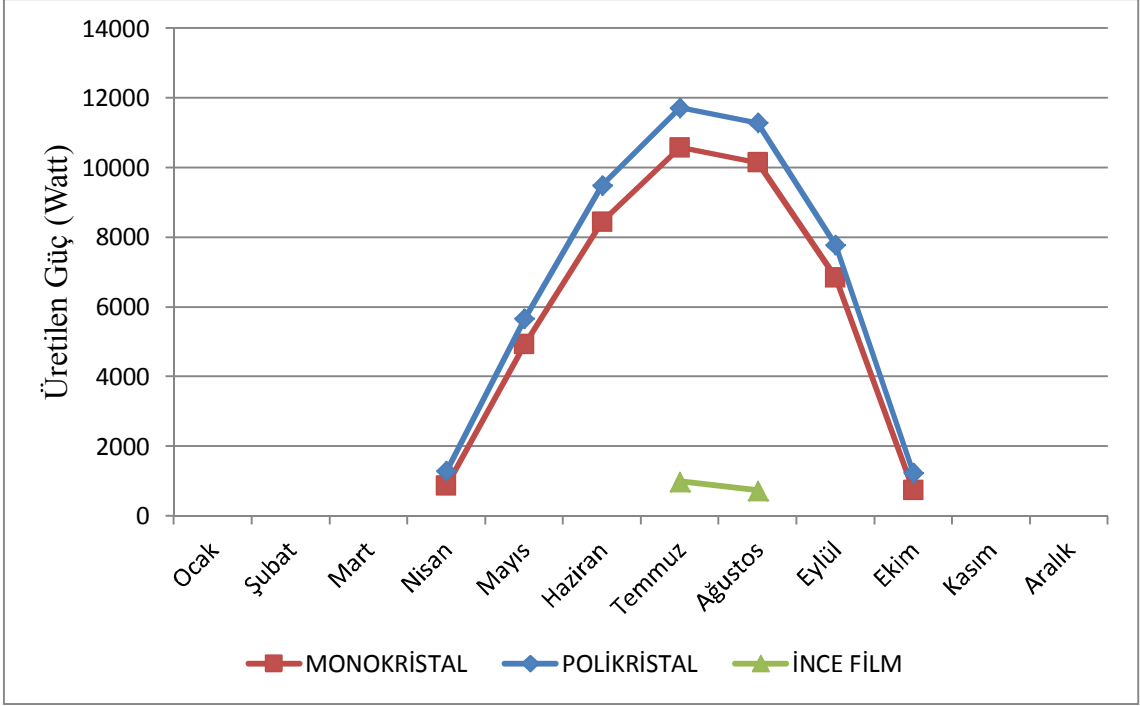
güneş panelinin I. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 İnce film güneş panelinin I. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Üretim (Watt)	Kayıp (Watt)	Net Üretim (Watt)	Tüketici DC Yük (Watt)	Batarya (Watt)	Yakıt Pili (Watt)	Fazla Enerji (Watt)	Verim (%)
Ocak	4105,95	3012,25	1050,02	4965	1000	2894,98	0	0,25573
Şubat	6204,68	4551,94	1600,25	4425	1005	1804,75	0	0,25791
Mart	7614,84	5586,47	2024,58	4768	1012	1723,42	0	0,26587
Nisan	10576,2	7758,98	2800,14	4936	1007	1115,86	0	0,26476
Mayıs	16687,8	12242,7	442,36	4765	322,64	0	0	0,2662
Haziran	22493,5	16501,9	5978,05	4921	-1057,1	0	0	0,26577
Temmuz	25540,3	18737,1	6803,19	4791	-2012,2	0	992,19	0,22752
Ağustos	25111	18422,1	6803,19	4940	-1748,8	0	728,82	0,23735
Eylül	19721,2	14468	5235,24	4769	-466,24	0	0	0,26546
Ekim	10477	7686,35	2700,2	4943	1018	1222,8	0	0,25772
Kasım	7680,84	5634,89	2001,58	4798	1003	1776,42	0	0,26059
Aralık	4488,49	3292,89	100,25	4937	1007	2911,75	0	0,22396

İnce film güneş panellerinin çok yüksek çıkış gerilimlerine karşın çok düşük çıkış akımları olduğundan enerji üretimi çok düşük seviyede kalmaktadır. Yılın sadece 4 ayı üretilen enerji, tüketicinin ihtiyaç duyduğu enerjiden yüksek seviyede olmaktadır. Bu dört ayın sadece yarısında aküler tam şarj olup fazladan enerji üretilmektedir.

İnce film güneş panelinin verimliliği yıl içinde yaklaşık olarak aynı seviyededir. Sadece yazın iki ay biraz düşme olmaktadır. Bu düşüşte ihtiyaç fazla enerjiden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.10'da üç farklı güneş panelinden aylık ihtiyaç fazlası üretilen enerji miktarları gösterilmektedir.

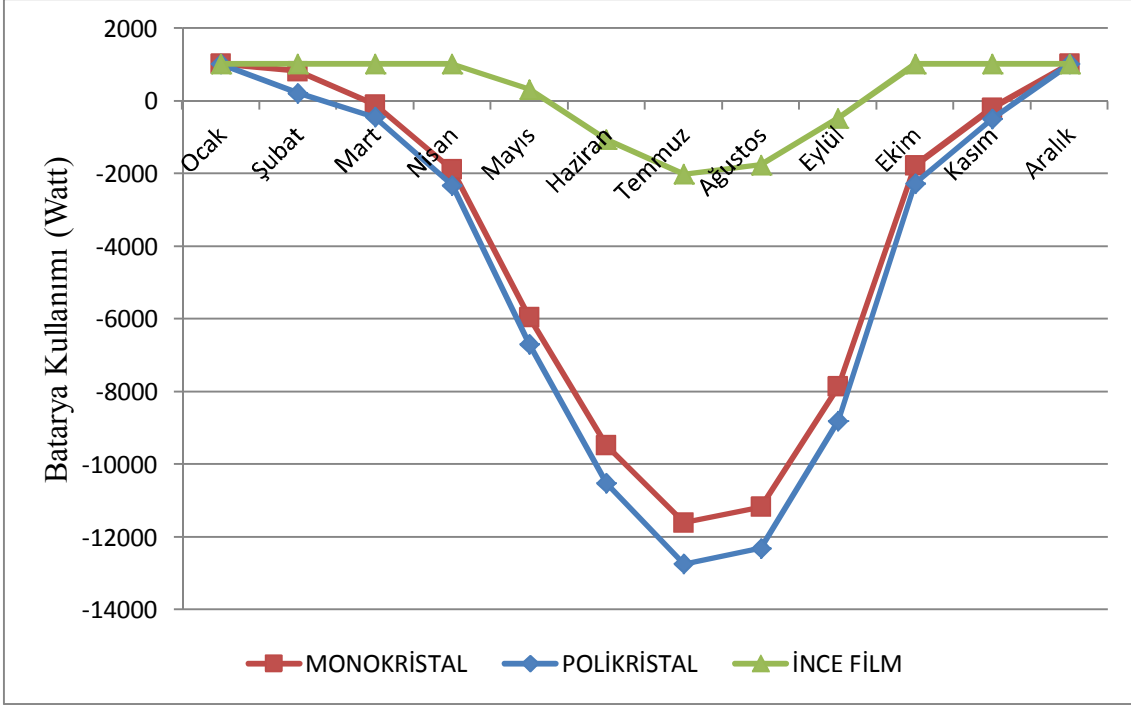


Şekil 4.10 Üç farklı güneş panelinden aylık ihtiyaç fazlası üretilen enerji miktarları .

Üç farklı güneş panelinden aylık ihtiyaç fazlası üretilen enerji miktarları incelendiğinde; monokristal ve polikristal güneş panellerinin yaklaşık olarak aynı miktarda ihtiyaç fazlası enerji ürettikleri görülmektedir. İnce film güneş panelinde ihtiyaç fazlası enerji yılın sadece iki ayında ve çok düşük seviyede kalmıştır.

En yüksek ihtiyaç fazlası enerji yaklaşık olarak 11000 Watt ile polikristal güneş panelinde gerçekleşmiştir. En düşük ihtiyaç fazlası enerji yaklaşık olarak 2000 Watt ile ince film güneş panelinde olmuştur. Monokristal güneş panelinde ihtiyaç fazlası enerji yaklaşık olarak 10500 Watt'dır.

İhtiyaç fazlası enerji polikristal ve monokristal güneş panellerinde yılın yedi ayında olurken ince film güneş panelinde ise yılın sadece iki ayında meydana gelmektedir. Şekil 4.11'de üç farklı güneş panelinin aylık batarya kullanım enerji miktarları gösterilmektedir.

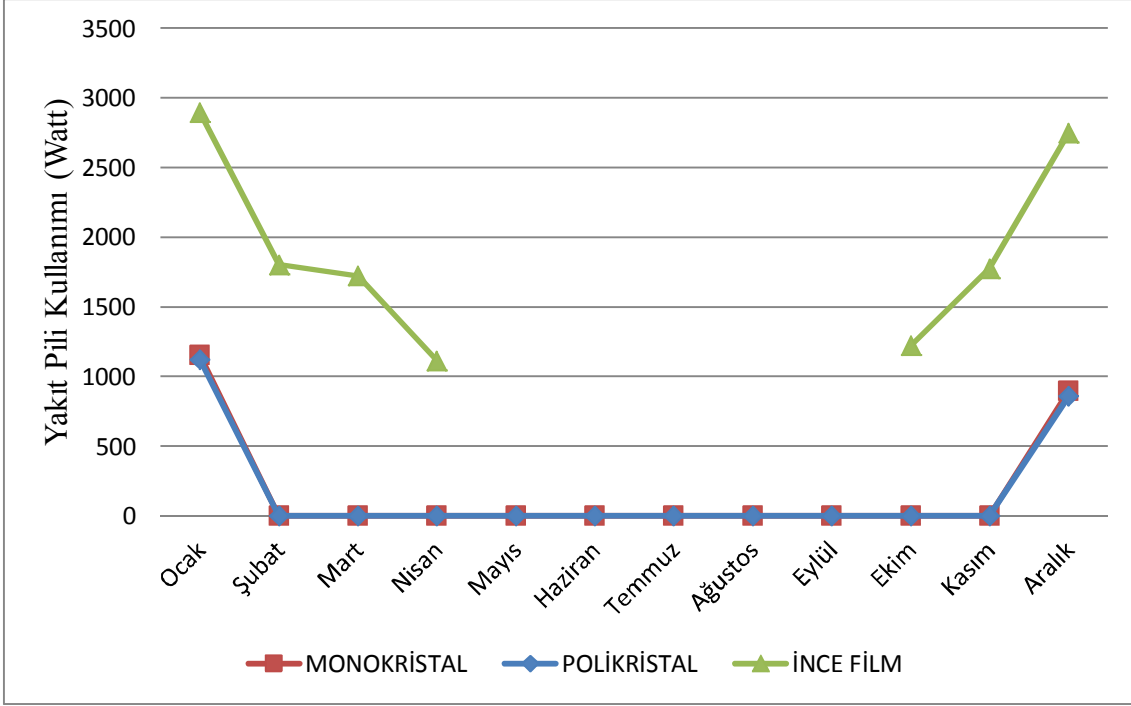


Şekil 4.11 Üç farklı güneş panelinin aylık batarya kullanım enerji miktarları.

Güneş panellerinde batarya kullanımı güneş panellerinin enerji üretimleri ile ters orantılı bir şekilde değişmektedir. Güneş panellerinin enerji üretimleri arttıkça batarya kullanımı azalmaktadır. Güneş panelinin enerji üretimi tüketicinin talep ettiği enerjiden fazla olması durumlarında bataryalar şarj edilmektedir. Şekil 4.11’de (+) bataryalarda depolanan enerjinin kullanıldığını, (-) ise batarya enerji depolandığını göstermektedir.

Monokristal ve polikristal güneş panellerinin enerji üretimleri yaklaşık olarak birbirlerine benzediğinden batarya kullanımları da hemen hemen aynıdır. Monokristal ve polikristal güneş panellerinin enerji üretimlerinin fazla olduğu yaz aylarında bataryalar şarj durumunda, enerji üretimlerinin düştüğü ve tüketicinin talep ettiği enerjiyi karşılamadığı kış aylarında deşarj durumundadır.

İnce film güneş panelinin ihtiyaç fazlası enerji üretimi çok fazla olmadığından yılın sadece 4 ayı aküler şarj durumundadır. Bu dört ayın sadece iki ayında ihtiyaç fazlası enerji üretimi olmaktadır. Şekil 4.12’de üç farklı güneş panelinin aylık yakıt pili kullanım miktarları gösterilmektedir.

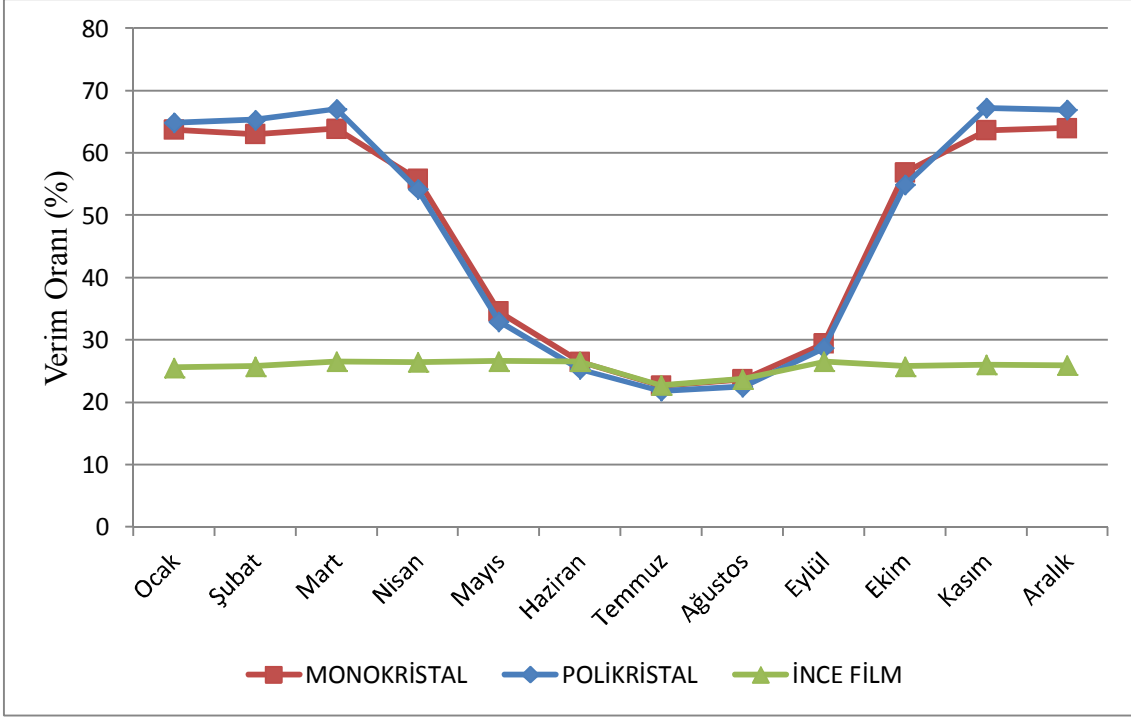


Şekil 4.12 Üç farklı güneş panelinin aylık yakıt pili kullanım miktarları.

Güneş panellerinin enerji üretimi tüketicinin talep ettiği enerjiden az olması durumunda öncelikli olarak ihtiyaç duyulan enerji bataryalarda depolanan enerji ile karşılanacak. Bataryanın şarj durumun düşük olması durumunda tüketicinin enerji ihtiyacı yakıt pilinden karşılanacaktır. Bu şekilde güneş panelinin enerji üretiminin tüketicinin ihtiyacından düşük olduğu kış aylarında yakıt pili çoğunlukla kullanılmıştır.

Monokristal ve polikristal güneş panellerinin enerji üretimleri yaklaşık birbirlerine benzediğinden yakıt pili kullanımları da yaklaşık olarak aynıdır. Monokristal ve polikristal güneş panellerinde yılın sadece iki ayı olan aralık ve ocak aylarında yakıt pili kullanılmıştır. İnce film güneş panelinin enerji üretimi çok düşük seviyede kaldığında yılın büyük bir kısmında kullanılmak zorunda kalmıştır.

En az yakıt pili kullanımı yaklaşık 850 Watt ile polikristal güneş panelinde, en yüksek yakıt pili kullanımı ise yaklaşık 3000 Watt ile ince film güneş panelinde olmuştur. Monokristal güneş panelinde yakıt pili kullanımı 900 Watt olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.13’de üç farklı güneş panelinin aylık olarak etkin kullanım oranları gösterilmektedir.



Şekil 4.13 Üç farklı güneş panelinin aylık olarak etkin kullanım oranları.

Üç farklı güneş panelinden aylık olarak etkin kullanım oranları incelendiğinde; monokristal ve polikristal güneş panellerinde kış aylarında çok yüksek olduğu yaz aylarında ise çok düştüğü görülmektedir. Kış aylarında güneş panellerinde üretilen enerji tüketicinin talep ettiği enerjiden düşük olduğu için güneş panelinin ürettiği enerjiye ek olarak akü ve yakıt pili enerjileri kullanarak tüketicinin ihtiyacı karşılanmaktadır. Bu durumda güneş panelinin ürettiği enerjinin büyük bir kısmı kullanıldığı için verim artmaktadır. Yaz aylarında üretilen enerji tüketicinin ihtiyacından fazla olduğu gibi akünün şarjı için gerekli enerjiden de fazladır. Bu ihtiyaç fazlası enerji kullanılmadığından yaz aylarında verim düşmektedir. Özellikle monokristal ve polikristal güneş panellerinde temmuz ve ağustos aylarında verim en düşük seviyededir.

İnce film güneş panelinin veriminde ise yaz aylarında çok az bir düşüş olmaktadır. Bunun nedeni; yaz aylarında sadece iki ay ince film güneş panelinde fazla enerji olmaktadır. Bu ihtiyaç fazlası enerjinin miktarı da çok düşük olduğundan verime çok etki etmemektedir.

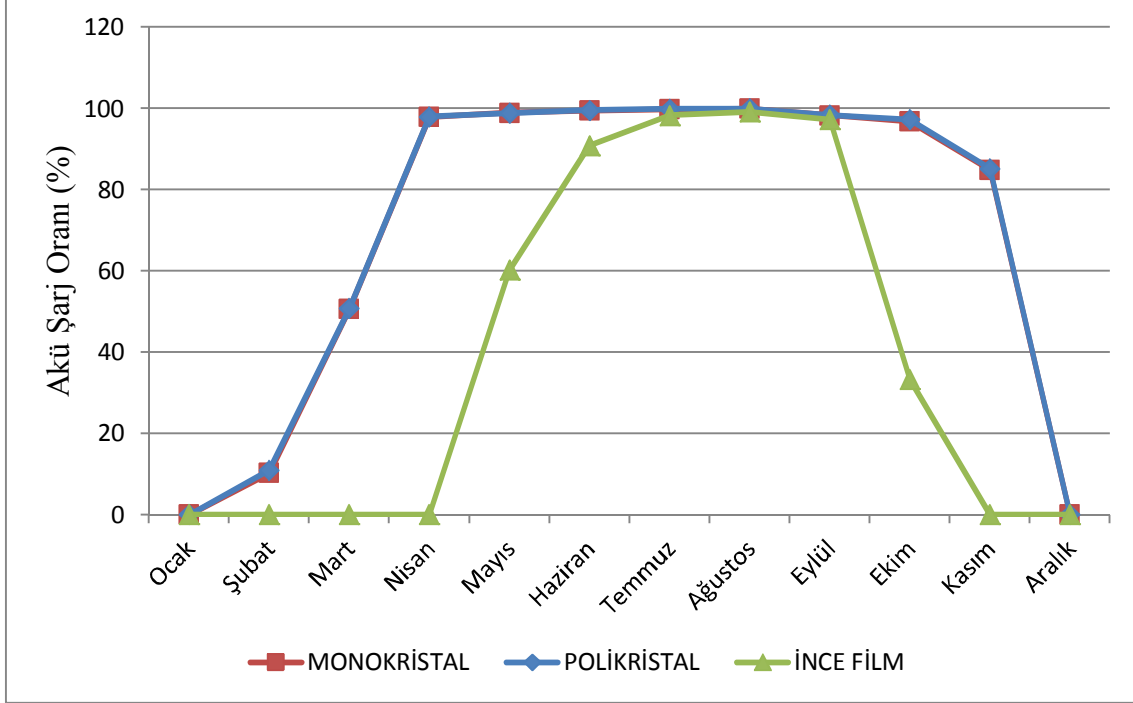
Yapılan çalışmada akülerin şarj oranlarının izlenmesi de yapılmıştır. Akülerin üzerinde depolanan enerji ile tüketicinin ne kadar beslenebileceği tahmini olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.5’de üç güneş panelinin ortalama aylık olarak şarj durumları yüzde olarak ve yaklaşık olarak tüketicileri ne kadar saat besleyebileceği gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Akülerin şarj oranları ve aküde depolanan enerji ile tüketicinin tahmini olarak kaç saat beslenebileceği grafiği.

Aylar	Monokristal Akü Şarj Oranı (%)	Tüketicinin Beslenme Süresi (Saat)	Polikristal Akü Şarj Oranı (%)	Tüketicinin Beslenme Süresi (Saat)	İnce Film Akü Şarj Oranı (%)	Tüketicinin Beslenme Süresi (Saat)
Ocak	0	0	0	0	0	0
Şubat	10,25	5,1	10,98	5,1	0	0
Mart	50,58	25,5	50,73	25,5	0	0
Nisan	97,87	49,9	97,91	49,93	0	0
Mayıs	98,89	50,43	98,82	50,39	60,25	30,72
Haziran	99,45	50,71	99,53	50,76	90,87	46,34
Temmuz	99,78	50,88	99,81	50,93	98,25	50,10
Ağustos	99,89	50,94	99,92	50,95	99,12	50,55
Eylül	98,25	50,10	98,32	50,14	97,25	49,59
Ekim	96,78	49,35	97,25	49,59	33,25	16,95
Kasım	84,87	43,28	85,15	43,42	0	0
Aralık	0	0	0	0	0	0
Ortalama	69,64	35,52	69,72	35,56	39,91	20,35

Monokristal ve polikristal güneş panellerinin enerji üretimlerine paralel olarak akülerin şarj oranları da artmıştır. İki güneş panelinin de akü şarj oranları ve tüketicilerin besleme saatleri birbirlerine çok yakındır. İnce film güneş panelinin enerji üretimi çok düşük olduğundan bu akülerin şarj oranlarına yansımıştır. İnce film aküsü sadece yazın dört ay dolu seviyedir. Diğer aylar üretilen enerji tüketicinin ihtiyacının çok çok altında olup kış aylarında akülerde depolanan enerji de yetmediğinden yakıt pilinden takviye

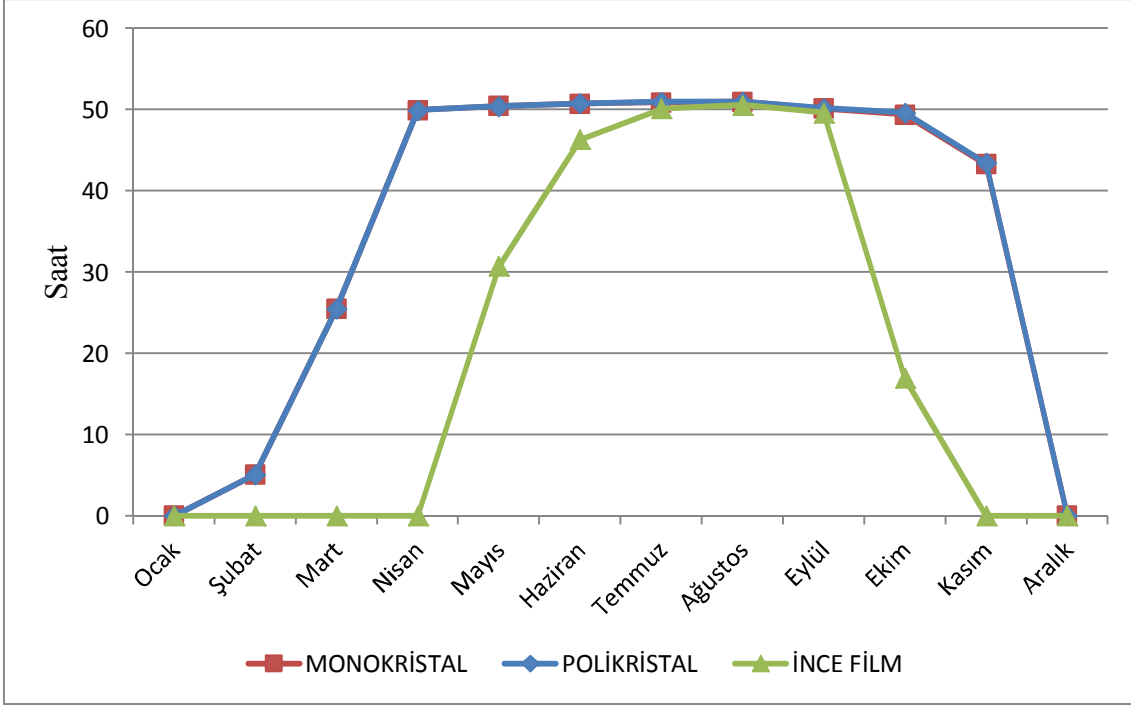
yapılmaktadır. Şekil 4.14’de üç farklı güneş panelinin aylık olarak akü şarj durumları yüzde (%) olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Üç farklı güneş panelinin aylık olarak akü şarj durumları.

Üç farklı güneş panelinin aylık akü şarj oranları; güneş panellerinin enerji üretimlerine paralel olarak değişmektedir. Monokristal ve polikristal güneş panelleri enerji üretimleri birbirlerine çok yakındır. Monokristal ve polikristal güneş panellerine ait 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 güneş panelinin enerji üretimi çok düşük olduğundan akü şarj oranları da yıl içinde çok düşük seviyede kalmıştır. Temmuz ve ağustos aylarında aküler tam şarj edilebilmiştir. Şekil 4.15’de üç farklı güneş panelinden üretilen enerjinin yetersiz olduğu durumlarda akülerin tüketicileri besleme süreleri gösterilmiştir.



Şekil 4.15 Üç farklı güneş panelinden üretilen enerjinin yetersiz olduğu durumlarda akülerin tüketicileri besleme süreleri.

Akülerde depolanan enerjinin durumu incelenerek tahmini olarak tüketicilerin ne kadar saat besleneceği hesaplanmıştır. Monokristal ve polikristal güneş panellerinde depolanan enerji yaklaşık olarak eşit olduğundan tüketicileri besleme süreleri de yaklaşık olarak aynıdır.

İnce film güneş panelinde depolanan enerji az olduğundan tüketicileri besleme süreleri de az olmuştur. Tüketiciyi en yüksek besleme süresi, güneş panelinin en yüksek enerji ürettiği temmuz ve ağustos aylarında olmuştur.

4.3 II. Algoritmanın Uygulanması

I. algoritmada tüketici olarak sadece DC yük kullanılmıştı. Güneş panellerinin yaz ayı üretimleri incelendiğinde, tüketicinin ihtiyacını karşılamakla birlikte aküleri de şarj etmekte ve fazla enerji üretimi olmaktadır. Bu ihtiyaç fazlası enerji kullanılmamaktadır. İhtiyaç fazlası enerjiyi kullanmak için devreye DC yük yanına ek olarak AC yük ilave edilmiştir. AC yükün çalışabilmesi içinde inverter kullanılmıştır. AC yük sadece yaz aylarında fazladan üretilen enerjiyi kullanmıştır. Algoritmanın temel çalışması bir

önceki algoritma ile aynı olup sadece güneş panelinin üretmiş olduğu enerji tüketicinin ihtiyacından fazla olup aynı zamanda akünün şarjı tam ise fazla enerji ile AC yükte çalıştırılmaktadır. Çizelge 4.6’da monokristal güneş panelinin II. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.6 Monokristal güneş panelinin II. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Üretim (Watt)	Kayıp (Watt)	Net Üretim (Watt)	DC Yük (Watt)	Batarya (Watt)	Yakıt Pili (Watt)	Fazla Enerji (Watt)	AC Yük (Watt)	Verim (%)
Ocak	4118,3	1482,6	2625,2	4952	1019	1154,7	0	0	0,637
Şubat	6223,3	2240,4	3920,0	4450	817,03	0	0	0	0,629
Mart	7697,7	2749,6	4878,0	4780	-98,02	0	0	0	0,638
Nisan	10608	3818,9	6789,1	4902	-1887,2	0	867,15	346,8	0,59
Mayıs	16738	6025,7	10712	4765	-5947,4	0	4927,4	1970,9	0,463
Haziran	22561	8122,0	14439	4965	-9474,2	0	8454,2	3381,6	0,415
Temmuz	25617	9222,2	16395	4790	-11605	0	10585	4234	0,392
Ağustos	25186	9067,2	16119	4950	-11169	0	10149	4059,7	0,398
Eylül	19780	7121,0	12659	4800	-7859,6	0	6839,6	2735,8	0,432
Ekim	10508	3783,1	6725,5	4959	-1766,6	0	746,59	298,6	0,597
Kasım	7704	2773,4	4902,0	4720	182,01	0	0	0	0,636
Aralık	4502,0	1620,7	2881,3	4925	1005	898,7	0	0	0,64

II. algoritma çalıştırılmadan önce kış aylarında ortalama %60’larda olan verim yaz aylarında %22 seviyelerine kadar düşmekteydi. II. algoritmanın uygulanması sonrası yaz ayındaki en düşük verim %39 seviyesine kadar yükselmiştir. Bunun en büyük nedeni fazladan üretilen enerjinin bir kısmının AC tüketicilerde kullanılmasıdır. Boşa giden enerjinin bir kısmı kullanılarak verim yükseltilmiştir. Çizelge 4.7’de polikristal güneş panelinin II. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 Polikristal güneş panelinin II. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Üretim (Watt)	Kayıp (Watt)	Net Üretim (Watt)	DC Yük (Watt)	Batarya (Watt)	Yakıt Pili (Watt)	Fazla Enerji (Watt)	AC Yük (Watt)	Verim (%)
Ocak	4344,4	1526,4	2818,0	4955	1015	1121,9	0	0	0,648
Şubat	6520,7	2262,2	4258,4	4472	221,57	0	0	0	0,653
Mart	7790,9	2564,7	5226,2	4790	-436,25	0	0	0	0,67
Nisan	11009	3750,3	7258,6	4965	-2313,7	0	1293,6	517,47	0,588
Mayıs	17537	6084,5	11453	4765	-6688,3	0	5668,2	2267,3	0,459
Haziran	23478	8040,5	15437	4925	-10513	0	9492,8	3797,1	0,414
Temmuz	26585	9056,6	17528	4792	-12737	0	11716,	4686,7	0,394
Ağustos	26422	9187,9	17234	4925	-12309	0	11289,	4515,7	0,395
Eylül	20020	6485,5	13535	4732	-8803,1	0	7783,1	3113,2	0,442
Ekim	10836	3645,3	7190,7	4927	-2263,7	0	1243,7	497,4	0,594
Kasım	7841,4	2569,8	5271,5	4792	479,55	0	0	0	0,672
Aralık	4604,8	1524,2	3080,5	4937	1010	859,44	0	0	0,668

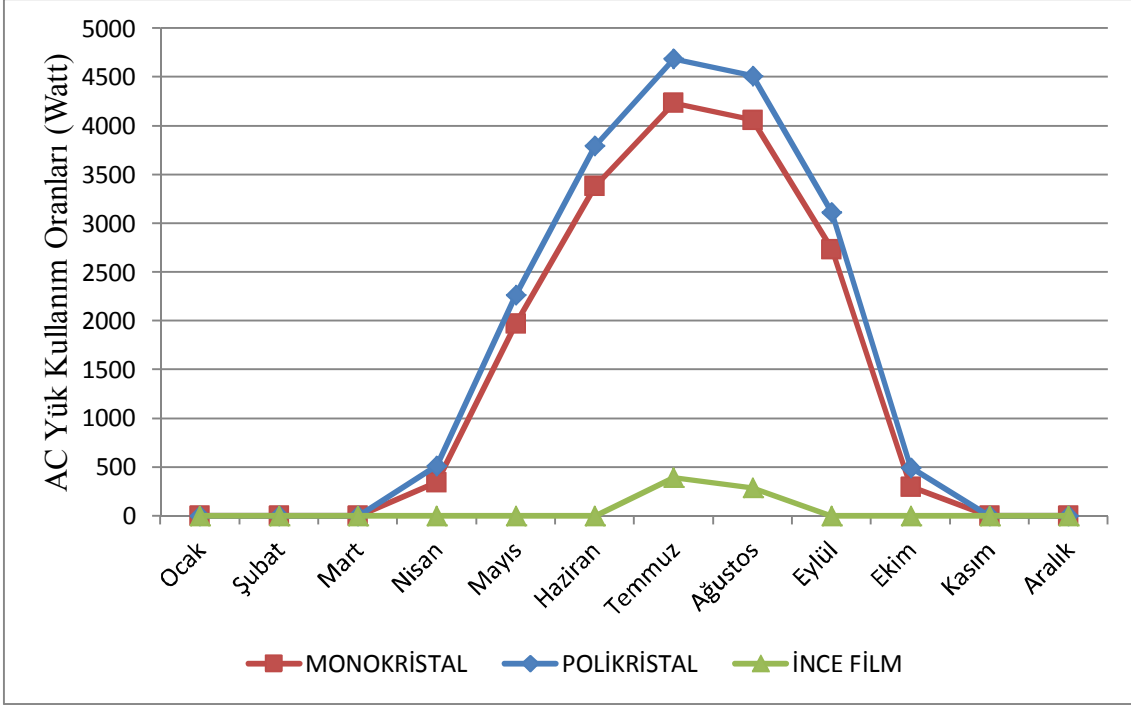
Polikristal güneş panelinden elde edilen enerji üretimi tüketicinin ihtiyaç duyduğu enerjiden fazla olduğundan dolayı enerjiden etkin bir şekilde yararlanılamamaktadır. II. algoritmanın kullanılması sonrası yaz ayındaki en düşük verim %21'den %39 seviyesine yükseltilmiştir. Çizelge 4.8 ince film güneş panelinin II. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.8 İnce film güneş panelinin II. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Üretim (Watt)	Kayıp (Watt)	Net Üretim (Watt)	DC Yük (Watt)	Batarya (Watt)	Yakıt Pili (Watt)	Fazla Enerji (Watt)	AC Yük (Watt)	Verim (%)
Ocak	4105,9	3012,2	1050,0	4965	1000	2894,9	0	0	0,255
Şubat	6204,6	4551,9	1600,2	4425	1005	1804,7	0	0	0,257
Mart	7614,8	5586,4	2024,5	4768	1012	1723,4	0	0	0,265
Nisan	10576	7758,9	2800,1	4936	1007	1115,8	0	0	0,264
Mayıs	16687	12242	442,36	4765	322,64	0	0	0	0,266
Haziran	22493	16501	5978	4921	-1057,1	0	0	0	0,265
Temmuz	25540	18737	6803,1	4791	-2012,2	0	992,19	396,84	0,243
Ağustos	25111	18422	6803,1	4940	-1748,8	0	728,82	291,53	0,248
Eylül	19721	14468	5235,2	4769	-466,24	0	0	0	0,265
Ekim	10477	7686,3	2700,2	4943	1018	1222,8	0	0	0,257
Kasım	7680,8	5634,8	2001,5	4798	1003	1776,4	0	0	0,26
Aralık	4488,4	3292,8	100,25	4937	1007	2911,7	0	0	0,223

İnce film güneş panellerinde fazla enerji üretimi yılın sadece iki ayında olmaktadır. Algoritmanın uygulanması ile sadece bu iki ayda bir verim artışı sağlanmıştır. Fazla üretim az olduğundan AC yükün kullandığı enerji de az miktarda olmuştur. Normalde kış aylarında verim %25 seviyelerinde iken yaz ayında bu oran %21 seviyesine kadar düşmektedir. Algoritmanın uygulanması sonrası yaz ayındaki en düşük verim %24 seviyesine yükselmiştir.

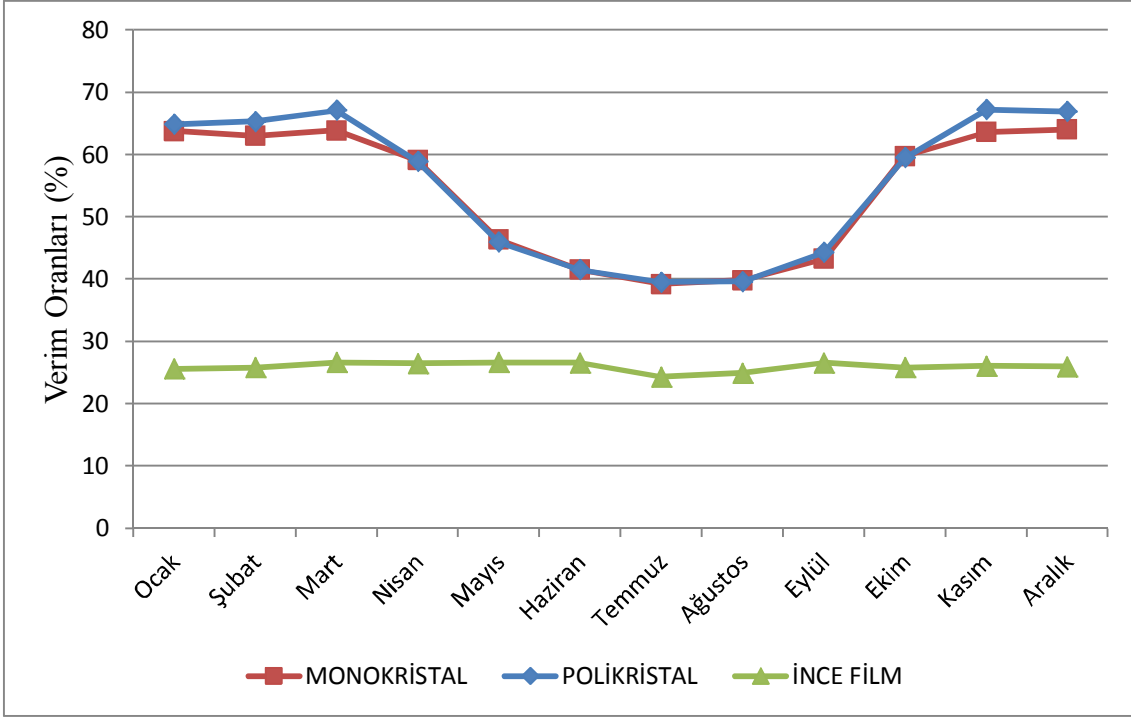
En yüksek verim artışı %18 ile polikristal güneş panelinde olurken, monokristal güneş paneli de %17 verim artışı ile ikinci sırada yer almaktadır. Bu oran ince film güneş panellerinde %2 ile en düşük seviyede kalmıştır. Şekil 4.16 üç farklı güneş panelinden aylık AC yükler için kullanılan enerji miktarı gösterilmektedir.



Şekil 4.16 Üç farklı güneş panelinden aylık AC yükler için kullanılan enerji miktarı.

I. algoritma ile yaz aylarında güneş panelinin üretmiş olduğu enerji, tüketicinin enerji ihtiyacından ve akünün şarj enerjiden fazla olduğundan kullanılamamaktaydı. II. algoritma ile ihtiyaç fazlası enerjinin bir kısmı AC yükte kullanılmaktadır. AC yüklerin enerji kullanım miktarları güneş panellerinde üretilen ihtiyaç fazlası enerji miktarlarına göre değişmektedir. En fazla AC yükte enerji kullanımı, ihtiyaç fazlası enerji üretimi en büyük olan polikristal güneş panellerinde olmaktadır. En düşük AC yükün enerji kullanımı, en az enerji üretimi olan ince film güneş panellerinde olmuştur. Monokristal güneş panelinin ihtiyaç fazlası enerji üretimi polikristal güneş panelinin çok az altında olduğundan dolayı monokristal güneş panelinin AC yükün enerji kullanımı da polikristal güneş panelinin çok az altında kalmıştır.

Güneş panellerinin enerji üretimlerinin en yüksek olduğu temmuz ayı incelendiğinde AC yükün yaklaşık olarak 4500 Watt ihtiyaç fazlası enerji kullanmıştır. Monokristal güneş paneli yaklaşık olarak 4300 Watt ihtiyaç fazlası enerji kullanmıştır. En az ihtiyaç fazlası enerji kullanımı yaklaşık olarak 450 Watt ile ince film güneş panelinde meydana gelmiştir. Şekil 4.17’de üç farklı güneş panelinin aylık verimleri gösterilmektedir.



Şekil 4.17 Üç farklı güneş panelinin aylık verimleri.

Güneş panellerinde üretilen enerjinin en etkin ve verimli kullanılmasını gerçekleştirmek için çeşitli algoritmalar uygulanmıştır. II. algoritmada yaz aylarında üretilen ihtiyaç fazlası enerjinin bir kısmı kullanılarak verimlilik arttırılmıştır. II. algoritma ile monokristal ve polikristal güneş panellerinde ihtiyaç fazlası enerjinin AC yükte kullanımları yaklaşık olarak aynı gerçekleşmiştir. Böylece monokristal ve polikristal güneş panelinde de verimlilik artışı yaklaşık olarak aynı kalmıştır. İnce film güneş panelinde yılın sadece iki ayı ihtiyaç fazlası enerji üretimi gerçekleşmektedir. Bu aylarda ihtiyaç fazlası enerji miktarı düşük olduğundan AC yükte kullanılan enerji miktarı da düşük olmuştur. Bundan dolayı ince film güneş panelinde verimlilik artışı çok düşük gerçekleşmiştir.

4.3 III. Algoritmanın Uygulanması

Gerçekleştirilen algoritmalar ile üretilen ihtiyaç fazlası enerjinin bir kısmı kullanılarak enerjinin boşa gitmesi engellenmiştir. Böylece yaz aylarında güneş panellerinde üretilen enerjinin talep edilen enerjiye göre yüksek olduğundan dolayı meydana gelen verim

düşüklüğü engellenmiştir. Yapılan III. algoritma ile üretilen fazla enerji için daha fazla işe yarar bir şekilde kullanılması gerçekleştirilmiştir. Algoritmanın temel çalışması aşağıda maddeler halinde ifade edilmiştir.

- Akünün şarj oranı %90'nın üstünde ise üretilen tüm enerji AC'yüğü beslemekte, DC yük ise aküden beslenmektedir.
- Akünün şarj oranı %90'nın altında ise üretilen tüm enerji ile akü şarj edilmekte ve tüketicinin ihtiyacı olan enerji karşılanmaktadır.

Çizelge 4.9'da monokristal güneş panelinin III. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir

Çizelge 4.9 Monokristal güneş panelinin III. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Üretim (Watt)	Kayıp (Watt)	Net Üretim (Watt)	DC Yük (Watt)	Batarya (Watt)	Yakıt Pili (Watt)	Fazla Enerji (Watt)	AC Yük (Watt)	Verim (%)
Ocak	4118,3	1482,6	2625,2	4952	1019	1154,7	0	0	0,637
Şubat	6223,3	2240,4	3920,0	4450	817,03	0	0	0	0,629
Mart	7697,7	2749,6	4878,0	4780	-98,02	0	0	0	0,638
Nisan	10608	3818,9	6789,1	4902	-1887,2	0	867,15	650,36	0,619
Mayıs	16738	6025,7	10712	4765	-5947,4	0	4927,4	3695,5	0,566
Haziran	22561	8122,0	14439	4965	-9474,2	0	8454,2	6340,6	0,546
Temmuz	25617	9222,2	16395	4790	-11605	0	10585	7938,8	0,536
Ağustos	25186	9067,2	16119	4950	-11169	0	10149	7612,1	0,539
Eylül	19780	7121,0	12659	4800	-7859,6	0	6839,6	5129,7	0,553
Ekim	10508	3783,1	6725,5	4959	-1766,6	0	746,59	559,94	0,622
Kasım	7704	2773,4	4902,0	4720	182,01	0	0	0	0,636
Aralık	4502,0	1620,7	2881,3	4925	1005	898,7	0	0	0,64

III. algoritmanın uygulanması sonrasında yaz ayındaki en düşük verim %22'den %53 seviyesine yükselmiştir. Bu oran bir önceki algortmada %39 seviyelerinde kalmıştır. Bu algoritma ile kış aylarındaki verim kadar olmasda ona yakın bir verim seviyesine yükselmiştir. Çizelge 4.10 polikristal güneş panelinin III. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.10 Polikristal güneş panelinin III. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Üretim (Watt)	Kayıp (Watt)	Net Üretim (Watt)	DC Yük (Watt)	Batarya (Watt)	Yakıt Pili (Watt)	Fazla Enerji (Watt)	AC Yük (Watt)	Verim (%)
Ocak	4344,4	1526,4	2818,0	4955	1015	1121,9	0	0	0,648
Şubat	6520,7	2262,2	4258,4	4472	221,57	0	0	0	0,653
Mart	7790,9	2564,7	5226,2	4790	-436,25	0	0	0	0,67
Nisan	11009	3750,3	7258,6	4965	-2313,7	0	1293,6	970,26	0,62
Mayıs	17537	6084,5	11453	4765	-6688,3	0	5668,2	4251,2	0,572
Haziran	23478	8040,5	15437	4925	-10513	0	9492,8	7119,6	0,556
Temmuz	26585	9056,6	17528	4792	-12737	0	11716,	8787,7	0,549
Ağustos	26422,	9187,9	17234	4925	-12309	0	11289,	8466,9	0,545
Eylül	20020	6485,5	13535	4732	-8803,1	0	7783,1	5837,3	0,578
Ekim	10836	3645,3	7190,7	4927	-2263,7	0	1243,7	932,79	0,634
Kasım	7841,4	2569,8	5271,5	4792	479,55	0	0	0	0,672
Aralık	4604,8	1524,2	3080,5	4937	1010	859,44	0	0	0,668

Algoritmanın uygulanması sonrasında yaz ayındaki en düşük verim %21'den %54 seviyesine yükselmiştir. Bu oran bir önce ki algortmada %39 seviyelerinde kalmıştır. Bu algoritma ile kış aylarındaki verim kadar olmasa ona yakın bir verim seviyesine yükselmiştir. Polikristal güneş panelinde algoritmanın uygulanması ile üretilen enerjiden optimal şekilde faydalanılmıştır. Çizelge 4.11 ince film güneş panelinin III. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler gösterilmektedir.

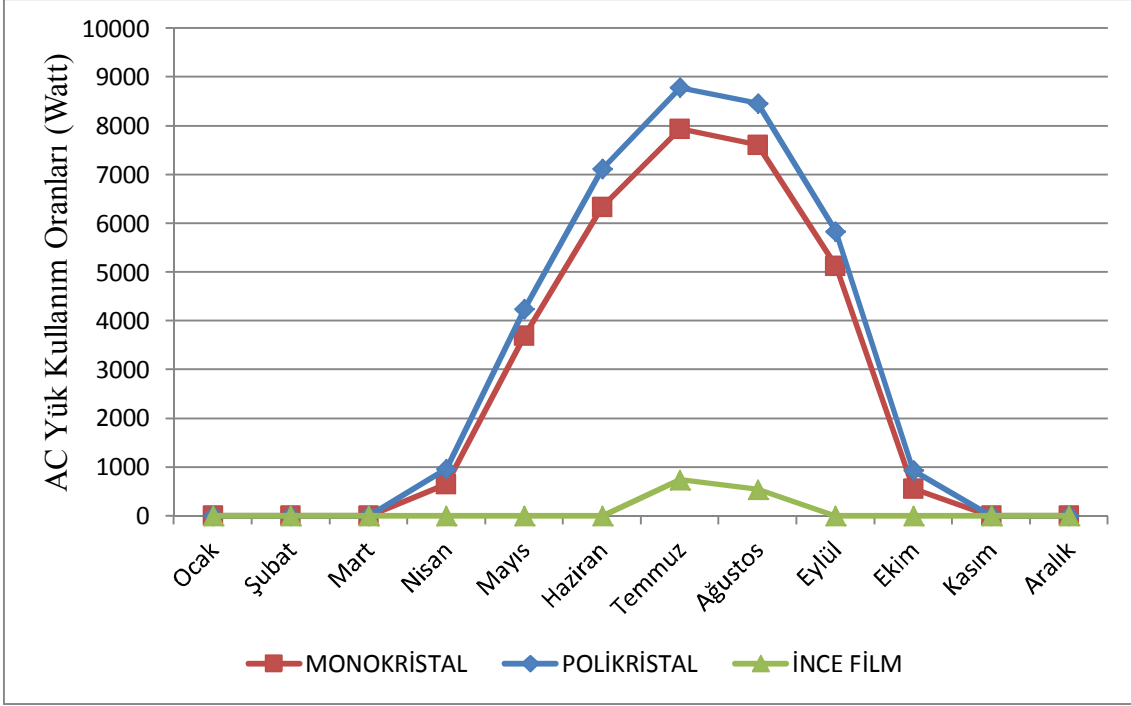
Çizelge 4.11 İnce film güneş panelinin II. algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen veriler.

Aylar	Üretim (Watt)	Kayıp (Watt)	Net Üretim (Watt)	DC Yük (Watt)	Batarya (Watt)	Yakıt Pili (Watt)	Fazla Enerji (Watt)	AC Yük (Watt)	Verim (%)
Ocak	4105,9	3012,2	1050,0	4965	1000	2894,9	0	0	0,255
Şubat	6204,6	4551,9	1600,2	4425	1005	1804,7	0	0	0,257
Mart	7614,8	5586,4	2024,5	4768	1012	1723,4	0	0	0,265
Nisan	10576	7758,9	2800,1	4936	1007	1115,8	0	0	0,264
Mayıs	16687	12242	442,36	4765	322,64	0	0	0	0,266
Haziran	22493	16501	5978	4921	-1057,1	0	0	0	0,265
Temmuz	25540	18737	6803,1	4791	-2012,2	0	992,19	744,14	0,256
Ağustos	25111	18422	6803,1	4940	-1748,8	0	728,82	546,61	0,259
Eylül	19721	14468	5235,2	4769	-466,24	0	0	0	0,265
Ekim	10477	7686,3	2700,2	4943	1018	1222,8	0	0	0,257
Kasım	7680,8	5634,8	2001,5	4798	1003	1776,4	0	0	0,26
Aralık	4488,4	3292,8	100,25	4937	1007	2911,7	0	0	0,223

İnce film güneş panellerinde fazladan üretilen enerji az olduğundan algoritmanın uygulanması sonucu bir artış olsa da diğer güneş panellerinin yanında çok düşük oranda kalmıştır. Bu oran %1 seviyesinde olmuştur.

III. algoritmanın uygulanması sonrası bütün güneş panellerinde verim artışı sağlanmıştır. En büyük verim artışı %33 ile polikristal güneş panelinde olurken monokristal güneş paneli %31 ile ikinci sırada yer almaktadır. İnce film güneş paneli ise %3 verim artışı ile son sıradadır.

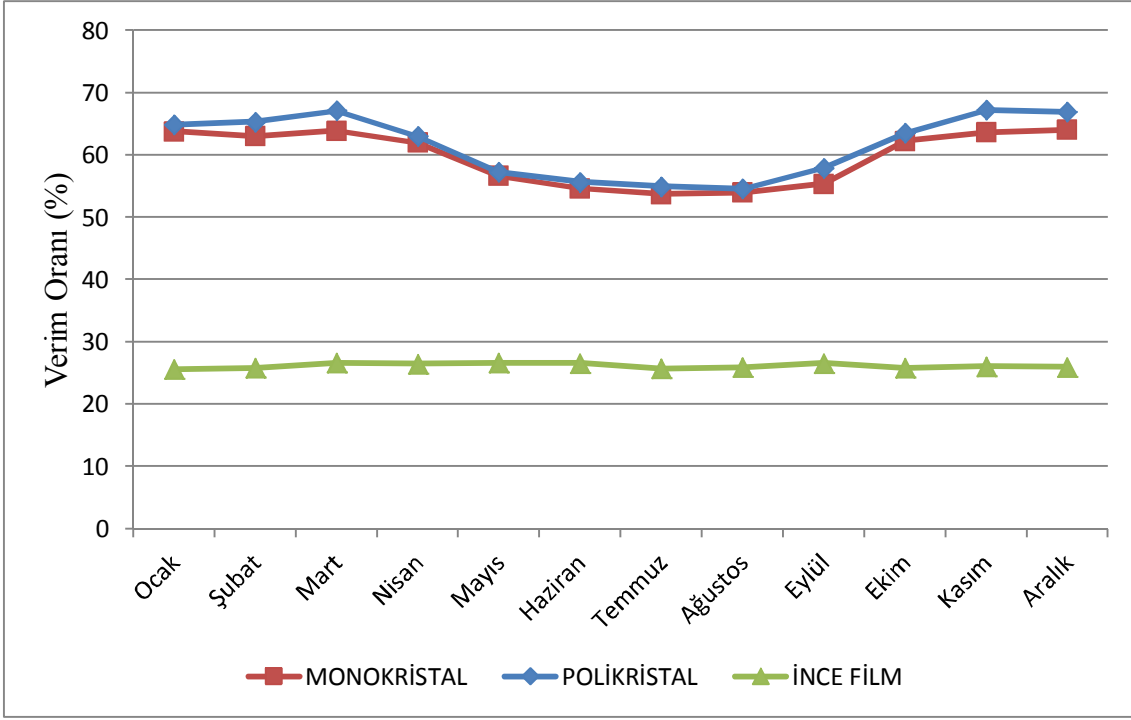
Polikristal güneş panelinin fazla enerji üretimi algoritma ile tüketime yansıtılarak en yüksek kullanım sağlanmıştır. Bu oran monokristal güneş panelinde biraz daha az iken ince filmde en düşük seviyede olmuştur. Şekil 4.17 üç farklı güneş panelinden aylık AC yükler için kullanılan enerji miktarı gösterilmektedir.



Şekil 4.18 Üç farklı güneş panelinden aylık AC yükler için kullanılan enerji miktarı.

III. algoritmanın uygulanması ile yaz aylarında güneş panelleri tarafından üretilen ihtiyaç fazlası enerjinin büyük bir kısmı AC yüklerde kullanılmıştır. III. algoritma ile en yüksek ihtiyaç fazlası enerji kullanımı polikristal güneş panelinde meydana gelmiştir. İnce film güneş panelindeki ihtiyaç fazlası enerji kullanımında artış olsa da enerji üretimi polikristal güneş paneline göre çok düşük olduğundan AC yükte enerji kullanımı çok düşük seviyede kalmıştır. Monokristal güneş panelinde ihtiyaç fazlası enerjinin AC yükte kullanımı polikristal güneş panelinin çok az altında 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 8500 Watt ile en yüksek seviyede olmuştur. En düşük AC yükte ihtiyaç fazlası enerji kullanımı yaklaşık olarak 850 Watt ile ince film güneş panelinde meydana gelmiştir. Monokristal güneş panelinde AC yükte ihtiyaç fazlası enerji kullanımı yaklaşık olarak 8000 Watt ile polikristal güneş panelinin çok az bir altında gerçekleşmiştir. Şekil 4.19'da üç güneş panelinin aylık verimleri gösterilmektedir.



Şekil 4.19 Üç güneş panelinin aylık verimleri.

Güneş panellerinde üretilen ihtiyaç fazlası enerji kullanımı yükseldikçe üretilen enerjinin en etkin ve verimli kullanılması artmaktadır. En yüksek verim artışı ihtiyaç fazlası enerji kullanımı en çok olan polikristal güneş panelinde meydana gelmiştir. Polikristal güneş panelinde I. algoritmanın uygulanması sonucu verim %21’de iken III. algoritmanın uygulanması sonucu %54’e yükselmiştir. En düşük verim artışı en düşük ihtiyaç fazlası enerji kullanımı ile ince film güneş panelinde olmuştur. İnce film güneş panelinde I. algoritmanın uygulanması sonucu verim %21’de iken III. Algoritmanın uygulanması sonucu %24’e yükselmiştir.

Monokristal güneş panelinde ihtiyaç fazlası enerji üretimi, polikristal güneş panelinin çok az altında gerçekleşmektedir. Verimlilik artışı da buna paralel polikristal güneş panelinin çok az bir altında olmuştur. Monokristal güneş panelinde I. algoritmanın uygulanması sonucu verim %22’de iken III. Algoritmanın uygulanması sonucu %53’e yükselmiştir. Çizelge 4.12’de monokristal güneş panelinin üç algoritmaya göre aylık verimlilikleri gösterilmektedir.

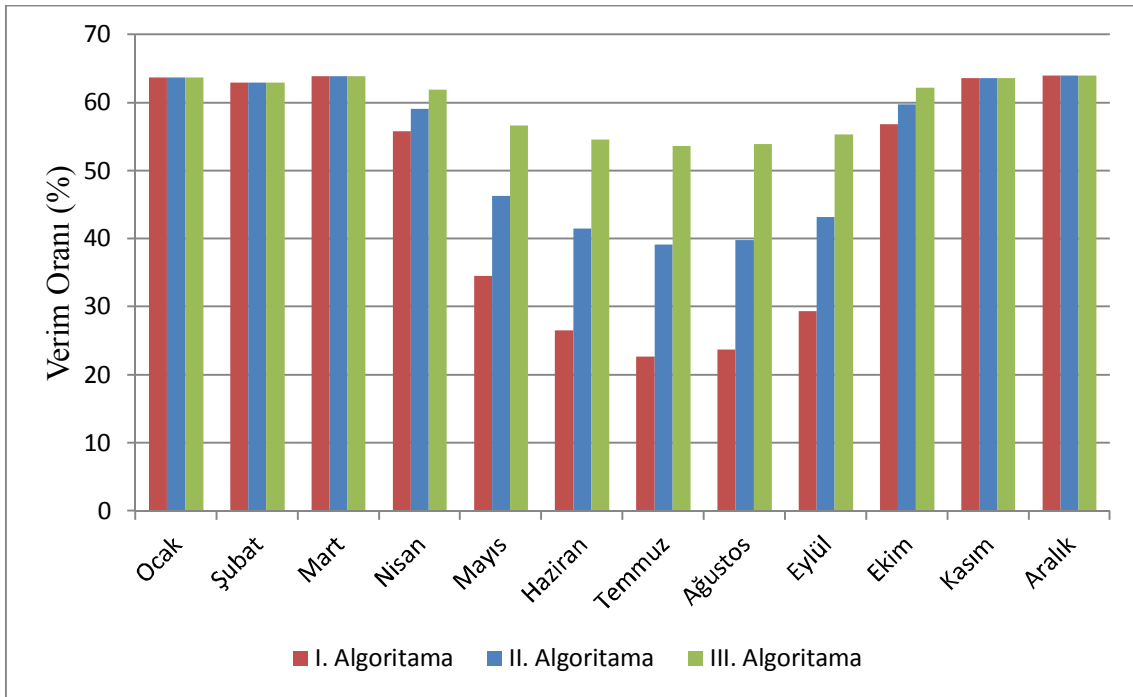
Çizelge 4.12 Monokristal güneş panelinin üç algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen verimler.

Aylar	I. Algoritma Verim (%)	II. Algoritma Verim (%)	III. Algoritma Verim (%)
Ocak	63,74	63,74	63,74
Şubat	62,98	62,98	62,98
Mart	63,86	63,86	63,86
Nisan	55,82	59,09	61,95
Mayıs	34,56	46,33	56,64
Haziran	26,25	41,51	54,63
Temmuz	22,68	39,2	53,67
Ağustos	23,70	39,82	53,92
Eylül	29,42	43,25	55,35
Ekim	56,89	59,73	62,22
Kasım	63,62	63,62	63,62
Aralık	64	64	64
Ortalama	47,32	53,93	59,72

I. algoritmada hibrit enerji üretim sistemine tüketici olarak sadece DC yük bağlanmıştır. Güneş panellerinin kış aylarında enerji üretimi tüketicinin ihtiyacının çok altında olduğundan, güneş panellerinde üretilen enerji direk olarak tüketicilerde kullanılmaktadır. Bundan dolayı kış aylarında verim en yüksek seviyededir. Yaz aylarında güneş panellerinin üretmiş olduğu enerji tüketicinin ihtiyacından ve bataryanın şarj için gerekli enerjinin üstünde bir miktarda olmaktadır. Bu ihtiyaç fazlası enerji kullanılmadığından verim çok düşmektedir. Monokrsital güneş panelinde kış aylarında ortalama %60'larda olan verim, temmuz ayında %22'e kadar düşmektedir. Güneş panelinden üretilen enerjinin en etkin ve verimli kullanmak için II. algoritma uygulanmıştır.

II. algoritmada hibrit enerji üretim sistemine, DC tüketicinin yanında AC tüketicisi eklenmiştir. AC tüketicide güneş panellerinde üretilen ihtiyaç fazlası enerji kullanılmıştır. Monokristal güneş panelinde kış aylarında ihtiyaç fazlası enerji üretilmediğinden verimde bir değişiklik olmamıştır. İhtiyaç fazlası enerjinin en çok üretildiği yaz aylarında verim yükselmiştir. Temmuz ayında %22’de olan verim %39’a kadar yükselmiştir. Monokristal güneş panelinin ürettiği enerjiyi daha etkin ve verimli kullanmak üzere III. algoritma uygulanmıştır.

III. algoritmanın uygulanması ile monokristal güneş panelinin yaz aylarındaki verim daha da yükselmiştir. Temmuz ayındaki %22’lik verim %53 seviyesine kadar yükselmiştir. Şekil 4.20’de monokristal güneş panelinin üç algoritmanın uygulanması sonucu aylık olarak elde edilen verimler gösterilmektedir.



Şekil 4.20 Monokristal güneş panelinin üç algoritmanın uygulanması sonucu aylık olarak elde edilen verimler.

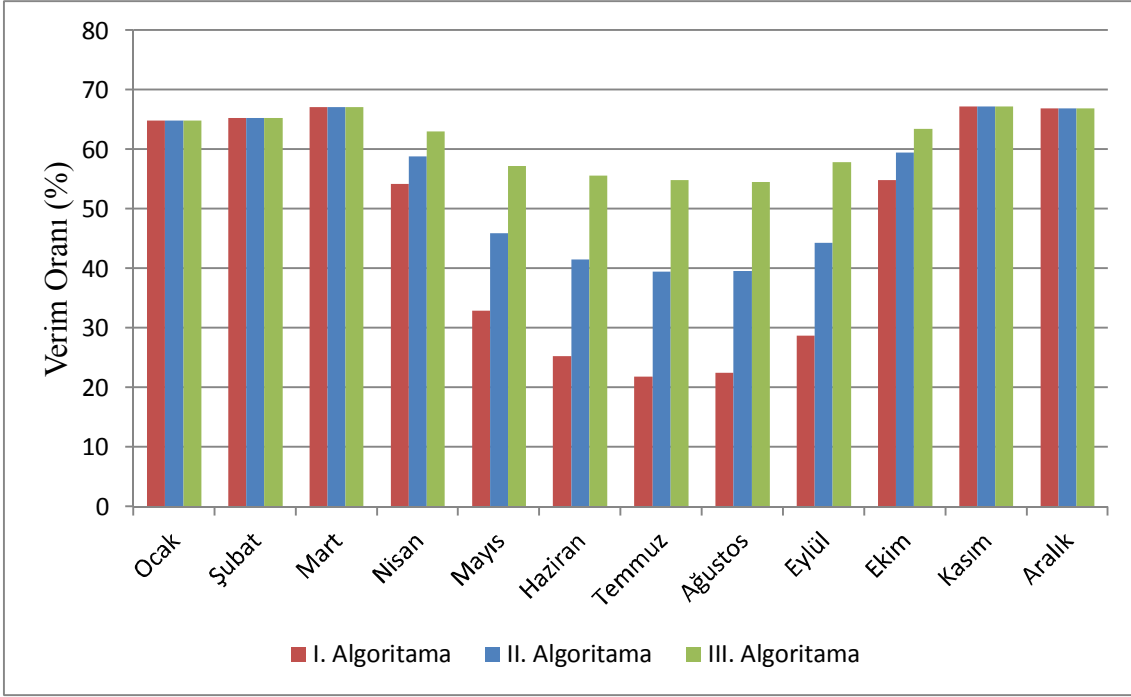
Monokristal güneş panelinin ürettiği enerjinin, tüketicinin ihtiyacının altında olduğu kış aylarında üç algoritmada aynı sonucu vermektedir. İhtiyaç fazlası enerjinin olduğu yaz aylarında en fazla verimi III. algoritmada olmuştur. En düşük verim ise I. algoritmada gerçekleşmiştir. II. algoritmada ise verimde önemli bir artış olsa da III.

algoritma kadar olmamıştır. Çizelge 4.13’de polikristal güneş panelinin üç algoritmaya göre aylık verimlikleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.13 Polikristal güneş panelinin üç algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen verimler.

Aylar	I. Algoritma Verim (%)	II. Algoritma Verim (%)	III. Algoritma Verim (%)
Ocak	64,86	64,86	64,86
Şubat	65,3	65,3	65,3
Mart	67	0,67	67
Nisan	54,18	54,18	54,18
Mayıs	32,98	45,91	57,22
Haziran	25,32	41,49	55,64
Temmuz	21,86	39,49	54,54
Ağustos	22,5	39,59	54,91
Eylül	28,73	44,28	57,88
Ekim	54,88	59,47	63,49
Kasım	67,22	67,22	67,22
Aralık	66,89	66,89	66,89
Ortalama	47,65	55,04	61,05

Polikristal güneş panelinde üç algoritmanın uygulanması sonucu özellikle yaz aylarında verimde önemli artışlar olmuştur. I. algoritma sonucu temmuz ayında %21 olan verim, II. algoritma ile %39’a, III. algoritma ile %54’e yükselmiştir. Şekil 4.21’de polikristal güneş panelinin üç algoritmanın uygulanması sonucu aylık olarak elde edilen verimler gösterilmektedir.



Şekil 4.21 Polikristal güneş panelinin üç algoritmanın uygulanması sonucu aylık olarak elde edilen verimler.

Polikristal güneş panelinde III. algoritmanın uygulanması sonucu yaz aylarında verimde ciddi artışlar olmuştur. Bu artış haziran, temmuz ve ağustos aylarında I. Algoritmaya göre yaklaşık iki kat gerçekleşmiştir. Böyle yüksek verim artışında en büyük etken ihtiyaç fazlası enerji kullanımıdır.

I. algoritmada yaz aylarında polikristal güneş panelinin üretmiş olduğu enerji miktarı, tüketicinin talebi ve akü şarjı için gerekli enerjinin çok üstünde bir enerjidir. Her sistemde tek bir batarya kullanıldığından ihtiyaç fazlası enerji ise kullanılamamaktadır. Bu kullanılmayan ihtiyaç fazlası enerjiden dolayı verimde ciddi düşüşler olmaktadır. İhtiyaç fazlası enerji kullanmak için hibrit enerji üretim sistemine II. algoritma uygulanmıştır

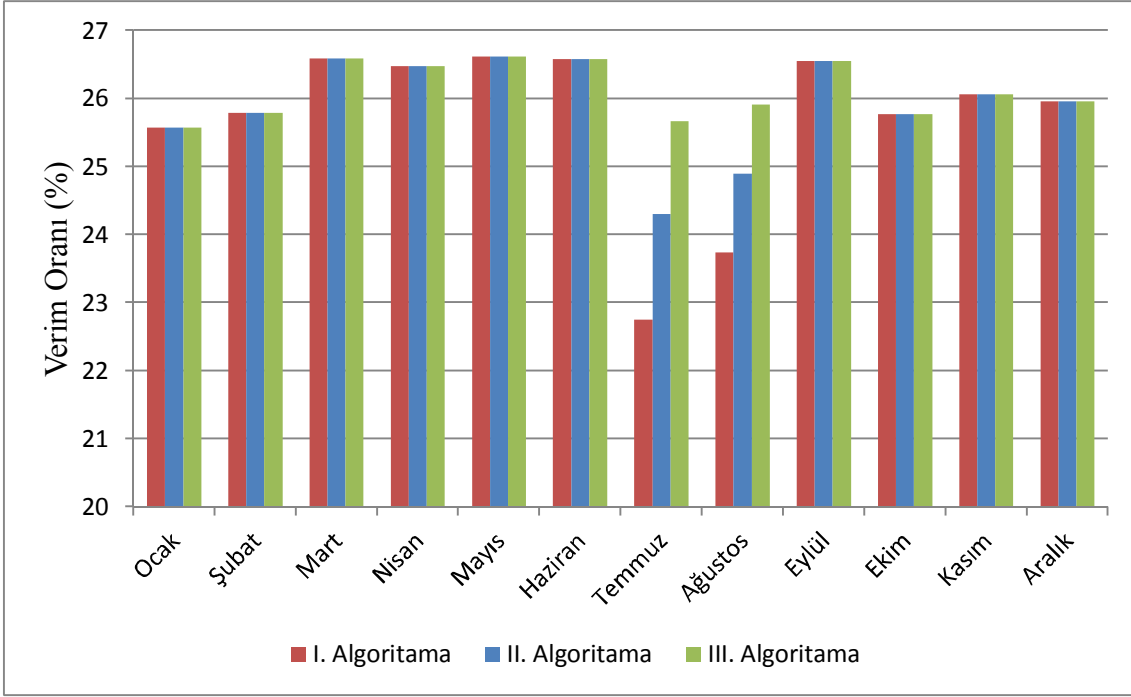
II. algoritmanın uygulanması sonucu yaz aylarında önemli bir artış olmuştur. Temmuz ayındaki %21'lik verim II. algoritmanın uygulanması sonucu %39 seviyesine yükselmiştir. Bu verim artışı ile ihtiyaç fazlası enerjinin bir kısmı kullanılmıştır. Polikristal güneş panelinin üretmiş olduğu enerjinin en etkin ve verimli kullanmak üzere III. algoritma uygulanmıştır.

III. algoritmanın uygulanması sonucu polikristal güneş panelinin veriminde önemli bir artış olmuştur. Temmuz ayındaki verim %21'den %54 seviyesine yükselmiştir. Çizelge 4.14'de ince film güneş panelinin üç algoritmaya göre aylık verimleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.14 İnce film güneş panelinin üç algoritmanın uygulanması sonucu elde edilen verimler.

Aylar	I. Algoritma Verim (%)	II. Algoritma Verim (%)	III. Algoritma Verim (%)
Ocak	25,57	25,57	25,57
Şubat	25,79	25,79	25,79
Mart	26,58	26,58	26,58
Nisan	26,47	26,47	26,47
Mayıs	26,62	26,62	26,62
Haziran	26,57	26,57	26,57
Temmuz	22,75	24,3	25,66
Ağustos	23,73	24,89	25,91
Eylül	26,54	26,54	26,54
Ekim	25,77	25,77	25,77
Kasım	26,05	26,05	26,05
Aralık	25,98	25,98	25,98
Ortalama	25,4	25,63	25,83

İnce film güneş panelinin enerji üretimi çok fazla olmadığından, ihtiyaç fazlası enerji üretimi yılın sadece iki ayı olmaktadır. Bundan dolayı yaz aylarında verim düşümü çok az olmaktadır. İnce film kış aylarında ortalama %25 olan verim yaz aylarında %22 seviyesine kadar düşmektedir. Şekil 4.22'de ince film güneş panelinin üç algoritmanın uygulanması sonucu aylık olarak elde edilen verimler gösterilmektedir.



Şekil 4.22 İnce film güneş panelinin üç algoritmanın uygulanması sonucu aylık olarak elde edilen verimler.

İnce film güneş panelinde algoritmaların uygulanması sonucu verimde, yılın sadece iki ayında değişiklik olmuştur. En yüksek verim artışı %2 ile III. algorithmada gerçekleşmiştir. II. algorithmada verim artışı yaklaşık olarak %1 seviyesinde kalmıştır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Hibrit güç üretim sisteminde enerjinin üretimi kadar üretilen enerjinin en etkin ve verimli şekilde kullanılması gerekmektedir. Enerjinin optimal şekilde kullanılması için üretilen enerjinin bilinmesinin yanında tüketicinin de ihtiyacı olan enerjinin saptanması gerekmektedir. Gerçekleştirilen sistemde sensörler ile üretilen enerji, tüketicinin ihtiyaç duyduğu enerji ve yedek enerji kaynağı olarak kullanılan akülerin enerjileri ölçülmüştür. Ölçülen veriler PIC18F4550'ye gönderilmektedir. Mikro denetleyicide tüm veriler USB ile bilgisayara aktarılmakta ve bilgisayar ekranında görüntülenmektedir. Mikro denetleyici sistemin işleyişine uygun olan algoritmaya göre enerjinin akışı kontrol edilmektedir. Üretilen enerjinin en optimal şekilde kullanılması için üç farklı algoritma uygulanmıştır.

Üç farklı güneş panelinin enerji üretimlerinin toplam enerjideki oranları incelendiğinde; ince film güneş paneli % 20 ile en düşük seviyede iken polikristal güneş paneli %41 ile en yüksek seviyededir. Monokristal güneş paneli %39 ile polikristal güneş panelinin toplam enerjideki oranına yakın bir değerdedir. Güneş panellerinin enerji üretimleri kış aylarında güneşlenme süresinin düşük olması nedeniyle en düşük seviyede iken yaz aylarında güneşlenme süresinin uzaması ile enerji üretimi en yüksek seviyeye çıktığı görülmüştür.

Enerji akış kontrolü için kullanılan ilk algoritmada tüketici olarak sadece DC yük kullanılmıştır. Kış aylarında üretilen enerji tüketicinin ihtiyacı olan enerjiden çok düşük olmaktadır. Üretilen enerji direk tüketicinin ihtiyacı olan enerjiyi karşılamak için kullanıldığından verim yüksek değerdedir. Yaz aylarında üretilen enerji tüketicinin ihtiyacını karşılamakla birlikte aküleri de şarj etmekte ve fazla gelmektedir. İhtiyaç fazlası olan enerji depolanmadığından dolayı boşa gitmektedir. İhtiyaç fazlası olan enerji etkin bir şekilde kullanılmadığından verimi düşürmektedir. Bu verim düşüklüğü en fazla enerji üretimi olan polikristal güneş panelinde meydana gelmiştir. Polikristal güneş panelinin kış aylarında ortalama verimi %60'larda iken yaz aylarında %21'e kadar düşmektedir. Monokristal güneş panelinin kış aylarında ortalama verimi %60'larda iken yaz aylarında %22'e kadar düşmektedir. En az verim düşüklüğü enerji üretimi az olan ince film güneş panellerinde meydana gelmiştir. İnce film güneş

panelinin kış aylarında ortalama verimi %26'larda iken yaz aylarında %22'e kadar düştüğü görülmektedir.

II. Algoritmayı çalıştırmadan önce hibrit güç üretim sistemine AC bara eklenerek ihtiyaç fazlası üretilen enerjinin etkin bir şekilde kullanılması gerçekleştirilmiştir. Bu algoritmanın özelliği üretilen enerji tüketicinin ihtiyacından fazla ve akülerin şarj oranları %90 ise ihtiyaç fazlası enerji ile AC yükün beslenmesi sağlanmıştır. II. algoritmanın sisteme uygulandığında kış aylarında enerji üretim miktarı tüketicinin talep ettiği enerji miktarından düşük olduğu için verimde bir değişiklik olmamıştır. Yaz aylarında II. algoritma sayesinde enerjinin etkin ve verimli kullanılması oranı artmıştır. En fazla verim artışı polikristal güneş panelinde olup, verim %21'den %39'a yükselmiştir. Bu yükselme monokristal güneş panelinde %22'den %39'a olmuştur. En az verim artışı %22'den %24 ile yılın sadece iki ayında üretilen enerjinin tüketicinin ihtiyacından fazla olması nedeniyle ince film güneş panellerinde olmuştur.

III. algoritmada üretilen enerji tüketicinin ihtiyacı olan enerjiden fazla olma durumunda ve akünün şarj oranı %90'dan fazla ise DC tüketicinin enerji ihtiyacı batardan karşılanmaktadır. Güneş panellerinin ürettiği enerji ise DC-AC inverter aracılığıyla AC tüketiciye bağlanmaktadır. Güneş panelinin ürettiği enerjinin hepsi AC tüketiciye bağlandığından üretim fazlası enerji olmamaktadır. Bataryanın şarj durumu %90'dan aşağıya düştüğünde AC tüketici devreden çıkarak güneş panelinde üretilen enerji ile hem DC tüketiciyi ihtiyacı olan enerji karşılamakta ve aynı anda batarya şarj olmaktadır. Bu durumda polikristal güneş panelinin verimi %54'e, monokristal güneş panelinin verimi ise %53'e yükselmiştir. İnce film güneş panelinde ise verim %25'de kalmıştır.

Ayrıca akülerde depolanan enerji ile DC tüketicilerin ne kadar besleneceği tahmini olarak hesaplanmıştır. Üç güneş panelinin de kış aylarında enerji üretimi çok az olduğundan tüketicinin enerji ihtiyacının karşılanması için akü kullanılmıştır, akülerin yetersiz kaldığı durumda yakıt pili ile tüketicinin enerji ihtiyacı karşılanmıştır. Yaz aylarında güneş panellerinin enerji üretim miktarı arttığından fazla olan enerji akülerde depolanmıştır. Monokristal güneş paneline ait olan akünün ortalama şarj değeri %69,64

iken polikristal güneş paneline ait olan akünün ortalama şarj değeri %69,72 değerindedir. İnce film güneş paneline ait olan akünün ortalama şarj değeri %39,91 ile en düşük değerindedir. Monokristal ve polikristal güneş panellerinin enerji üretimleri birbirlerine çok yakın değerde olduğundan akülerde depolanan enerjilerde birbirlerine çok yakın değerde olduğu görülmüştür. Akülerde depolanan enerji ile monokristal güneş paneline ait olan akü ortalama 35,52 saat yükün enerji ihtiyacını karşılarken bu oran polikristal güneş paneline ait olan akü ile ortalama 35,56 saat karşılanmıştır. En düşük enerji üretimine sahip olan ince film güneş paneline ait olan akü de ise bu oran 20,35 saat ortalama ile en düşük değere sahip olduğu görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Agency, E., (2002).The Future for Renewable Energy 2 Prospects and Pirections.Published by James & James Science Publishers, London, England.
- Akgün, A., (2006). Mikrodenetleyici Tabanlı Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Sistemlerinin Tasarlanması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altenneh, N., (2012). Güneş Pili Ve Hidrojen Yakıt Pilinden Beslenen Küçük Bir Elektrikli Araç İçin Batarya Şarj Sistemi Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi.Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Atbaş, H., (2009). PIC Mikrodenetleyicileri İçin MikroC Derleyici. Beti Bilişim Teknolojileri, İstanbul, Türkiye.
- Aygün, D,O., (2012). Mevcut Konut Yapılarına Fotovoltaik Panel Sistemlerin Entegre Edilmesi, İzmir Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Baker J., (2008). New technology and possible advences in energy storage. *Energy Policy*, **36(12)**, 4368-4373 .
- Çalışır, O., (2014). Termodinamik Jeneratörlerde Atık Isı Kullanımına Bir Uygulama: Pem Yakıt Pili Atık Isısının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Çekinir, S., (2012).Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Modellenmesi ve Benzetimi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çetin, E., (2010). Fotovoltaik-Rüzgar-Yakıt Pili Hibrit Güç Üretim Sistemi İçin Bir Mikro Doğru Akım DAğıtım Şebekesi Tasarlanması, Uygulanması ve Analizi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Divya, K. C., Qstergaard J., (2009). Battery energy stroge tecnology for power systems-An overview. *Electric Power Systems Research*, **79(4)**, 511-520 .

- Erdiñ, O., (2012). Şebekeden Bağımsız Uygulamalar İçin Hibrit Bir Rüzgar Türbini/Fotovoltaik/Yakıt Hücresi/Batarya Sisteminin Optimizasyonu, Tasarımı ve Uygulaması. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erkul, A., (2010). Monokristal, Polikristal Ve Amorf-Silisyum Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi Ve Aydınlatma Sistemi Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Geveorkion, P., (2006). Sustainable Energy Systems Engineering the Complete Green Building Desing Resource. The McGraw – Hill Companies, New York, America.
- Gordan, J., (2011). Solar Energy the State of the ArtIses Position Papers. Published by James & James Science Publishers, London, England.
- Gürsoy, U., (1999). Dikensiz Gül Temiz Enerji. İskenderun Çevre Koruma Derneği Yayını, İskenderun, Türkiye.
- Hammerschlag, R., Schaber C.P., (2007). Chapter 15 Energy Storage Technologies, Energy Conversion, Toylor & Francis Group, LLC
- Hough, P. T., (2006). Solar Energy New Research. Nova Science Publishers, New York, America.
- İbrahim, D., (2010). PIC18 Compact Flash Uygulamaları. Papatya Yayıncılık, İstanbul, Türkiye.
- Jannasch, P., (2003). Recent developments in high temperature proton conducting polymer electrolyte membranes, *Current Opinion in Colloid and Interface Science***8**, 96-106.
- Kaltschmitt, M., Streicher, W., Wiese, A., (2007).Renewable Energy Technology, Economics and Environment.Published Springer, Hamburg, Germany.
- Kaplan, Z., (2012). Fotovoltaik Sistem Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Kıyancıçek, E., (2013). Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması İçin PVS² Paket Programının Gerçekleştirilmesi.Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Kurzweil, P., (2009). Gaston Plante and his invention of the lead-acid battery- The genesis of the first practical rechargeable battery *J. Power Sources* , **195(14)**, 4424-4434 .
- Mahmut, T., (2012). Li-Ion Pil Destekli Yakıt Pili Güç Sisteminin Su Üstü Platforma Uygulanması. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Morgan, S., (2003). Alternative Energy Source. Published Heinemann Library, Chicago, America.
- Nair, N. K. C., Garimella, N., (2010). Battery energy storage system: Assessment for small-scale renewable energy integration. *Energy and Building*, **42(11)**, 2124-2130
- Özsoy, M. F., (2011). Hibrit Rüzgar-Güneş Enerji Üretim Sistemi İle Bir Elektrik Laboratuvarının Genel Aydınlatma Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Öztürk, E., (2014). Fotovoltaik Panellerin Verimine Modül Sıcaklığının Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Öztürk, H., (2008). Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Birsen Yayınları, İstanbul, Türkiye.
- Sözer, A. T., (2012). Karabük Üniversitesi Güneş Enerjisi Ölçüm Laboratuvarı İçin Veri Edinim ve Depolama Sistem Tasarımı ve Kullanıma Geçirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Scrosati, B., Garche J., (2010). FLithium batteries: Status, prospects and future. *J Power Sources*, **195(9)**, 2419-2430 .
- Şahin, H., Dedeoğlu K. S., (2013). MikroC ve PIC18F4550. Altaş Yayınları, İstanbul, Türkiye.
- Ünlü, Ü., Bayır, R., (2009). Peñçe Tipi Alternatörlerin Mikrodenetleyici Temelli Kondisyon İzleme ve Arızların Tespiti. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*. 105-110.

Yaman, Y., (2007). Enerji Tasarrufu ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Birsen Yayınları, İstanbul, Türkiye.

(2000). Proton Conducting Composite Membranes from polyether ether ketone and heteropolyacids for Fuel Cell Applications. *Journal of Membrane Science*, **173**: 17- 34.

6.1 İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

1- http://www.paradoksenerji.com/gunes-enerjisi-614611	01/12/2014
2- http://en.wikipedia.org/wiki/Czochralski_process	12/12/2014
3- http://www.altenergy.org/renewables/solar/solartechnolgy.html	29/12/2014
4- http://www.circuitstoday.com/thin-film-solar-cell	25/12/2014
5- http://en.wikipedia.org/wiki/Transparent_conducting_film	20/12/2014
6- http://blog.inciaku.com/neden-jel-aku/	15/01/2015

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdil Karakan
Doğum Yeri ve Tarihi : Antalya 04/01/1982
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 507 118 12 48 abdikarakan@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Antalya Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü - 1999
Lisans :Gazi Üniversitesi Teknik Eğit. Fak. Elektrik Öğret. - 2005
Anadolu Üniversitesi İşletme Fak. İşletme Bölümü - 2012
Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği - 2015
Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

2005-2006 Alesta Yat Elektriği ve Elektroniği
Şirketi
2006-2006 Sentez Asansör
2007-2010 Antalya-İbradı Kaymakamlığı V.H.K.İ.
2010 Ekim'den beri Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dazkırı Meslek Yüksekokulu Elektrik Bölümünde
Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Yayımları (SCI ve diğer) :

Oğuz, Y., Karakan, A., Uslu, B., (2015).Comparison of Energy Generated on Different Solar Panels, Energy Flow Control and Efficiency Analysis. *International Journal of Electrical Energy*. Vol3N1 Pages 37 - 42

Karakan, A., Oğuz, Y., (2015).Investigation of the Photovoltaic Systems Applied to Existing Buildings: The Case of Afyonkarahisar.*2nd International Sustainable Building Symposium*. Pages 887 - 897

- Karakan, A., Oğuz, Y., (2015).Dünya Üzerinde Mevcut Binalarda Uygulanan Temiz (Rüzgar ve Güneş) Enerji Sistemlerinin İncelenmesi ve Afyonkarahisar’da Uygulanabilirliğinin Araştırılması.3. *Uluslararası Yeşil Çağ Sempozyumu*. Sayfa 220 – 235
- Karakan, A., Oğuz, Y., Uslu, B., (2015).Afyonkarahisar’da Kurulu Olan Monokristal, Polikristal ve İnce Film Güneş Panellerinin Verimliliklerinin İncelenmesi. 12. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Sempozyumu*. Sayfa 577–590
- Karakan, A., Uslu, B., Şihab, R.,(2015). Web Tabanlı Olarak Laboratuvarlarda İş Güvenliğinin Arttırılması.VIII. *Ulusal İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Kongresi*. Sayfa 597
- Uslu, B.,Karakan, A., (2015). Bilgisayar Destekli Sera Kontrol Sistemi. *I.Endüstriyel Otomasyon Kongresi*. Sayfa 203-208
- Karakan, A., Uslu, B., Turan, G., (2014). Akıllı Telefon ile Asansör Çağırma veDurum Kontrolü.*Asansör Sempozyumu ve Sergisi*,Sayfa: 201-205.
- Karakan, A., Oğuz, Y., Uslu, B., (2014).Üç Farkli Malzemedden Üretilmiş Güneş Panellerinin Elektrik Enerjisi Üretimlerinin Karşılaştırılması. *II. Ulusal Kop Bölgesel Kalkınma Sempozyumu*.
- Karakan, A., Uslu, B., Turan, G., (2014). Web Cam ile Renkli Nesne Takibi. *II. Ulusal Kop Bölgesel Kalkınma Sempozyumu*.
- Uslu, B.,Turan, G., Karakan, A., (2014). Kablosuz Ağ Kullanarak Akıllı Ev Otomasyon Tasarımı Ve Uygulaması. *II. Ulusal Kop Bölgesel Kalkınma Sempozyumu*.
- Karakan, A., Uslu, B., Şihab, R.,(2014). Akıllı Telefon ile Beton Çeşidi Dökümü Deney Seti Tasarımı. *II. Ulusal Kop Bölgesel Kalkınma Sempozyumu*.
- Turan, G., Karakan, A.,Uslu, B.,(2014). Arduino İle Sera Otomasyonu. *II. Ulusal Kop Bölgesel Kalkınma Sempozyumu*.
- Şihab, R., Karakan, A., (2014).The History Of Houses And The Architectural Knowlodge In Mesopotamia. *II. Ulusal Kop Bölgesel Kalkınma Sempozyumu*.
- Karakan, A., Yönetken, A., (2013). Rüzgar ve Güneş Enerji Santrallerinde Enerji Depolama Yöntemleri.3e *Electrotech Dergisi*,