

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ POMPALAMA  
SİSTEMİNİN DOĞRUDAN VE ENERJİ YEDEKLEMELİ ÇALIŞMA  
MODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Barış DURAK**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**OCAK 2014**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ POMPALAMA  
SİSTEMİNİN DOĞRUDAN VE ENERJİ YEDEKLEMELİ ÇALIŞMA  
MODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Barış DURAK**

**(301101005)**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Z.Fatih ÖZTÜRK**

**OCAK 2014**

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301101005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Barış DURAK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ POMPALAMA SİSTEMİNİN DOĞRUDAN VE ENERJİ YEDEKLEMELİ ÇALIŞMA MODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Yrd. Doç. Dr. Z.Fatih ÖZTÜRK** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Barış ÖNOL** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi : 16 Aralık 2013**  
**Savunma Tarihi : 22 Ocak 2014**



## **ÖNSÖZ**

Geçmişten bugüne eğitimim ve yaşantım için büyük fedakârlıklar gösteren aileme ve tezimin bütün aşamalarında bana destek ve yol gösterici olan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Z.Fatih Öztürk'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2014

Barış DURAK  
Elektrik Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Literatür Taraması .....	2
<b>2. GÜNEŞ ENERJİSİ</b> .....	<b>5</b>
2.1 Güneşin İç Yapısı ve Yaydığı Işınım .....	5
2.2 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	6
2.3 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları .....	9
2.3.1 Isıl uygulamalar .....	9
2.3.1.1 Düşük sıcaklık uygulamaları .....	9
2.3.1.2 Orta sıcaklık uygulamaları.....	10
2.3.1.3 Yüksek sıcaklık uygulamaları.....	10
2.3.2 Fotovoltaik uygulamalar .....	11
<b>3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER</b> .....	<b>13</b>
3.1 Fotovoltaik Sistem Türleri .....	14
3.1.1 Şebekeden bağımsız sistemler .....	14
3.1.1.1 Doğrudan (Direkt) bağlı sistemler .....	15
3.1.1.2 Bataryalı(Akülü) sistemler .....	16
3.1.2 Şebekeye bağlantılı sistemler .....	16
3.2 Fotovoltaik Sistem Bileşenleri .....	17
3.2.1 Fotovoltaik paneller .....	18
3.2.1.1 Fotovoltaik hücre elektriksel modeli.....	19
3.2.1.2 Güneş hücresinin karakteristiği ve verimi .....	22
3.2.2 Aküler (Bataryalar) .....	24
3.2.3 Şarj kontrol cihazı .....	27
3.2.4 İnverter (Evirici) .....	28
3.2.5 Yük.....	30
3.2.6 Güneş ölçüm sistemi .....	31
3.2.7 Denetim (Maximum Power Point Tracker-MPPT) .....	32
3.3 Fotovoltaik Sistemlerin Tarımsal Sulama Uygulamalarında Kullanılması .....	32
3.4 Fotovoltaik Sistemlerin Çevresel Etkileri .....	34
<b>4. UYGULAMA</b> .....	<b>37</b>
4.1 Uygulama Materyallerinin Seçimi .....	37

4.1.1 Özdeş panellerin seçimi .....	37
4.1.2 Akü seçimi.....	41
4.1.3 Şarj kontrol cihazı seçimi .....	42
4.1.4 Pompa seçimi .....	43
4.1.5 Diğer ekipmanlar.....	44
4.2 Yöntem ve Uygulama.....	44
4.3 Deney Sonuçları ve Bulgular .....	47
4.3.1 Üç farklı durum için sistemlerin karşılaştırılması .....	50
4.3.1.1 9 Ekim 2013 tarihinde alınan verilerin incelenmesi.....	50
4.3.1.2 11 Kasım 2013 tarihinde alınan verilerin incelenmesi.....	59
4.3.1.3 13 Kasım 2013 tarihinde alınan verilerin incelenmesi .....	65
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>73</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>77</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>81</b>



## **KISALTMALAR**

<b>EİE</b>	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
<b>DMİ</b>	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
<b>GEPA</b>	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
<b>PV</b>	: PhotoVoltaic
<b>MPPT</b>	: Maksimum Power Point Tracker
<b>CuInSe<sub>2</sub></b>	: Bakır İndiyum Diselenid
<b>CdTe</b>	: Kadmiyum Tellür
<b>GaAs</b>	: Galyum Arsenit

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1 :</b> Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgesel dağılımı .....	7
<b>Çizelge 2.2 :</b> Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli .....	7
<b>Çizelge 3.1 :</b> Fotovoltaik modül verimlilikleri .....	24
<b>Çizelge 4.1 :</b> Panellerin teknik özellikleri.....	37
<b>Çizelge 4.2 :</b> Panellerin akım-güç değerleri ve sapma yüzdeleri.....	39
<b>Çizelge 4.3 :</b> Akünün teknik özellikleri .....	41
<b>Çizelge 4.4 :</b> Şarj kontrol cihazının teknik özellikleri .....	42
<b>Çizelge 4.5 :</b> DC pompanın teknik özellikleri .....	43
<b>Çizelge 4.6 :</b> Akünün kapasite ve enerji değerleri ile her sistem tarafından pompalanan su miktarları .....	48
<b>Çizelge 4.7 :</b> Direkt ve akülü sistemin birim enerji başına pompaladıkları su ve verim karşılaştırması .....	49

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1	: Türkiye'nin şehirlere göre güneş ışınım yoğunluğu .....	8
Şekil 2.2	: İstanbul global radyasyon değerleri .....	8
Şekil 2.3	: İstanbul güneşlenme süreleri .....	9
Şekil 2.4	: Konut ısıtma .....	10
Şekil 2.5	: Parabolik oluk sistem .....	11
Şekil 2.6	: Merkezi alıcı sistem.....	11
Şekil 3.1	: PV hücre, modül, panel ve dizi .....	13
Şekil 3.2	: Fotovoltaik sistem türleri .....	14
Şekil 3.3	: Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem şeması .....	15
Şekil 3.4	: Fotovoltaik destekli ve depolu su pompalama sistemi .....	15
Şekil 3.5	: Akülü sistem.....	16
Şekil 3.6	: Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem diyagramı .....	17
Şekil 3.7	: Fotovoltaik hücre ve katmanları.....	18
Şekil 3.8	: Fotovoltaik hücre elektriksel eşdeğer devresi .....	20
Şekil 3.9	: Kısa devre akımı .....	21
Şekil 3.10	: Açık devre gerilimi.....	21
Şekil 3.11	: Akım-voltaj eğrisi üzerinde karakteristik voltaj ve akım noktalarının gösterimi .....	23
Şekil 3.12	: Deşarj durumunun akü enerji kapasitesine etkisi .....	24
Şekil 3.13	: Tipik bir kurşun-asit akünün güvenli deşarj sıcaklık ilişkisi grafiği .....	25
Şekil 3.14	: Şarj kontrol cihazının (regülatör) fotovoltaik sistemlerde kullanımı .....	28
Şekil 3.15	: İnverter dalga şekilleri.....	29
Şekil 3.16	: Fotovoltaik sistemlerin tarımsal sulama ve aydınlatmada kullanılması .....	30
Şekil 3.17	: Pirheliyometre .....	31
Şekil 3.18	: Difüze Işınım Piyranometresi.....	31
Şekil 3.19	: PV pompalama sisteminin şeması.....	33
Şekil 3.20	: Depolama tanklı fotovoltaik sistemli sulama .....	34
Şekil 4.1	: Paneller.....	38
Şekil 4.2	: Panellerin güç oranla .....	40
Şekil 4.3	: Panel-1 ve panel-2 akımları .....	40
Şekil 4.4	: Laboratuvar ölçüm sistemi ve akü bağlantısı .....	41
Şekil 4.5	: Şarj kontrol cihazı .....	42
Şekil 4.6	: Sabit miktanlı DC motorun moment-hız karakteristiği .....	43
Şekil 4.7	: Su deposu ve pompa bağlantısı .....	44
Şekil 4.8	: Sarıyer global radyasyon değerleri.....	45
Şekil 4.9	: Sarıyer güneşlenme süreleri .....	45
Şekil 4.10	: Sistemin şematik görünümü .....	46
Şekil 4.11	: 9 Ekim 2013 tarihinde şarj akımının zamanla değişimi .....	51
Şekil 4.12	: 9 Ekim 2013 tarihinde şarj geriliminin zamanla değişimi .....	52
Şekil 4.13	: 9 Ekim 2013 tarihinde akü kapasitesinin şarj sırasında zamanla değişimi .....	52

<b>Şekil 4.14</b> : 9 Ekim 2013 tarihinde gücün şarj sırasında zamanla değişimi .....	53
<b>Şekil 4.15</b> : 9 Ekim 2013 tarihinde şarj sırasında üretilen enerjinin zamanla değişimi .....	54
<b>Şekil 4.16</b> : 9 Ekim 2013 tarihinde akü geriliminin şarj sırasında kapasite ile değişimi .....	54
<b>Şekil 4.17</b> : 9 Ekim 2013 tarihinde deşarj akımının zamanla değişimi .....	55
<b>Şekil 4.18</b> : 9 Ekim 2013 tarihinde deşarj geriliminin zamanla değişimi.....	56
<b>Şekil 4.19</b> : 9 Ekim 2013 tarihinde akü kapasitesinin deşarj sırasında zamanla değişimi.....	57
<b>Şekil 4.20</b> : 9 Ekim 2013 tarihinde gücün deşarj sırasında zamanla değişimi.....	57
<b>Şekil 4.21</b> : 9 Ekim 2013 tarihinde deşarj sırasında tüketilen enerjinin zamanla değişimi.....	58
<b>Şekil 4.22</b> : 9 Ekim 2013 tarihinde akü geriliminin deşarj sırasında kapasite ile değişimi .....	58
<b>Şekil 4.23</b> : 11 Kasım 2013 tarihinde şarj akımının zamanla değişimi .....	59
<b>Şekil 4.24</b> : 11 Kasım 2013 tarihinde şarj geriliminin zamanla değişimi.....	60
<b>Şekil 4.25</b> : 11 Kasım2013 tarihinde akü kapasitesinin şarj sırasında zamanla değişimi.....	60
<b>Şekil 4.26</b> : 11 Kasım 2013 tarihinde gücün şarj sırasında zamanla değişimi.....	61
<b>Şekil 4.27</b> : 11 Kasım 2013 tarihinde şarj sırasında üretilen enerjinin zamanla değişimi.....	61
<b>Şekil 4.28</b> : 11 Kasım 2013 tarihinde akü geriliminin şarj sırasında kapasite ile değişimi .....	62
<b>Şekil 4.29</b> : 11 Kasım 2013 tarihinde deşarj akımının zamanla değişimi.....	63
<b>Şekil 4.30</b> : 11 Kasım 2013 tarihinde deşarj geriliminin zamanla değişimi .....	63
<b>Şekil 4.31</b> : 11 Kasım 2013 tarihinde akü kapasitesinin deşarj sırasında zamanla değişimi.....	64
<b>Şekil 4.32</b> : 11 Kasım 2013 tarihinde gücün deşarj sırasında zamanla değişimi.....	64
<b>Şekil 4.33</b> : 11 Kasım 2013 tarihinde deşarj sırasında tüketilen enerjinin zamanla ..	65
<b>Şekil 4.34</b> : 11 Kasım 2013 tarihinde akü geriliminin deşarj sırasında kapasite ile .....	65
<b>Şekil 4.35</b> : 13 Kasım 2013 tarihinde şarj akımının zamanla değişimi .....	66
<b>Şekil 4.36</b> : 13 Kasım 2013 tarihinde şarj geriliminin zamanla değişimi.....	67
<b>Şekil 4.37</b> : 13 Kasım 2013 tarihinde akü kapasitesinin şarj sırasında zamanla değişimi .....	67
<b>Şekil 4.38</b> : 13 Kasım 2013 tarihinde gücün şarj sırasında zamanla değişimi.....	68
<b>Şekil 4.39</b> : 13 Kasım 2013 tarihinde şarj sırasında üretilen enerjinin zamanla değişimi .....	68
<b>Şekil 4.40</b> : 13 Kasım 2013 tarihinde akü geriliminin şarj sırasında kapasite ile değişimi .....	69
<b>Şekil 4.41</b> : 13 Kasım 2013 tarihinde deşarj akımının zamanla değişimi.....	70
<b>Şekil 4.42</b> : 13 Kasım 2013 tarihinde deşarj geriliminin zamanla değişimi .....	70
<b>Şekil 4.43</b> : 13 Kasım 2013 tarihinde akü kapasitesinin deşarj sırasında zamanla ...	71
<b>Şekil 4.44</b> : 13 Kasım 2013 tarihinde gücün deşarj sırasında zamanla değişimi.....	71
<b>Şekil 4.45</b> : 13 Kasım 2013 tarihinde deşarj sırasında tüketilen enerjinin zamanla değişimi.....	72
<b>Şekil 4.46</b> : 13 Kasım 2013 tarihinde akü geriliminin deşarj sırasında kapasite ile değişimi .....	72

# GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ POMPALAMA SİSTEMİNİN DOĞRUDAN VE ENERJİ YEDEKLEMELİ ÇALIŞMA MODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

## ÖZET

Son yıllarda güneş hücreleri ve rüzgâr türbinleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının verimlerinin artırılmasında ve üretim maliyetlerinin düşürülmesinde önemli ilerlemeler sağlanmasına karşın, üretilen enerjinin ekonomik olarak yedeklenebilmesi önemli problemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Şebekeye bağlı olmayan yenilenebilir enerji sistemlerinde, enerji yedeklemesi için akülerin kullanılması durumunda, kurulan sistem maliyetlerinin önemli bir kısmını enerji yedeklemesi oluşturmaktadır. Akülerin zamanla yıpranması, hem belirli süreler ile değişimlerini gerektirmekte hem de arıza olasılıklarını arttırmaktadır. Ayrıca, mobil uygulamalarda akü ağırlıkları da önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, güneş enerjisi ile çalışan ve küçük ölçekte su teminine yönelik biri doğrudan pompaya bağlı diğeri ise kurşun-asit akü üzerinden pompayı besleyen iki ayrı sistemin çalışma modlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Deneyler sırasında İTÜ Enerji Enstitüsü çatısında bulunan güneş panelleri, zeminden çatıya dokuz metre yüksekliğe su pompalayan bir pompalama sistemi ve laboratuarda verilerin kayıt edildiği deney sistemi kullanılmıştır.

Deneyler Ekim ve Kasım aylarında farklı meteorolojik şartların olduğu on yedi günü içermektedir. Hem şarj hem de deşarj sırasında ölçülen akım ve gerilim değerleri yardımıyla aküde depolanan enerji ve kapasite değerleri hesaplanılmış, her bir sistem tarafından pompalanan su miktarları kayıt edilmiştir. Ayrıca, kayıt edilen veriler yardımıyla, her bir sistem için birim enerji başına pompalanan su miktarları ve verimler hesaplanılmıştır. Farklı ışınım değerlerinde ölçülen değerler ve buna bağlı olarak pompalanan su miktarları çok farklı olduğundan, seçilen üç güne ait şarj ve deşarj değerleri ayrıntılı olarak incelenerek gün boyunca akım, gerilim, güç, enerji, kapasite değerlerinin zamanla değişimi ile akü geriliminin kapasite ile değişimini içeren grafikler çizilmiştir. Özellikle açık günlerde, direkt sistem tarafından pompalanan su miktarının akülü sistem tarafından pompalanan su miktarının yaklaşık %90'ına kadar ulaştığı görülmektedir.

Sonuç olarak, güneş enerjili su pompalama sisteminin dizayn edileceği bölgenin şartları ve günlük talep edilen su miktarları göz önüne alınarak hem sistem maliyetlerinin azaltılabileceği hem de özellikle yaz şartlarında sıcaktan çok etkilenen aküler sebebiyle oluşabilecek arızaların ortadan kaldırılabilceği küçük ölçekli pompalama sistemlerinin tasarlanabileceği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjili pompalama sistemleri, fotovoltaik sistemler.

## **COMPARISON OF A DIRECT AND BATTERY BACKED UP MODES OF THE SMALL SCALE SOLAR PUMPING SYSTEM**

### **SUMMARY**

The economical energy storage is the most important problems of the renewable energy sources although advances in solar cells and wind turbines efficiencies have been achieved in recent years. For the off-grid renewable energy systems such as water pumping and lighting, the energy storage is one of the most expensive portion of the cost. Furthermore, since the failure probability of the systems are related to the degradation of the batteries, the degraded batteries must be replaced periodically.

In this work, the comparison of a direct and battery backed up (lead acid battery) modes of the small scale solar pumping system is examined. The experimental setup includes the solar panels positioned at ITU Energy Institute, pumping system with a nine meter head, measuring equipments and computers.

Experiment have been repeated seventeen times in October and November by considering different meteorological conditions which are sunny, partly cloudy and cloudy. Energy and capacity stored in the battery have been calculated through the charge/discharge cycle by using the measured current and voltage values and the amount of pumped water has been recorded. Also, by using the recorded and calculated data, the pumped water per unit energy and efficiencies have been calculated for both systems. Since the measured current/voltage and related pumped water values are different for different irradiance values, the charge/discharge data for selected three days have been investigated in detail and then the variation of current, voltage, power, energy and capacity with time and voltage versus capacity graphics have been plotted. Especially for some sunny days, the direct pumping system has pumped as much water as ninety-percent compared to battery backed up system.

As a result, by considering the specifications of the water pumping region and the average daily water demand, the pumping cost may be reduced by designing the solar power pumping system without batteries.

**Keywords:** Solar powered pumping systems, photovoltaic systems.

# 1.GİRİŞ

## 1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, küçük ölçekte su teminine yönelik fotovoltaik sistemle beslenen biri doğrudan pompaya bağlı, diğeri ise kurşun-asit akü bağlantılı olmak üzere iki ayrı bağlantının karşılaştırılması yapılmaktadır. Tezin ikinci bölümünde güneş enerjisi ve güneş enerjisi sistemleri ve bunların uygulama alanları incelenmiştir. Üçüncü bölümde fotovoltaik sistemlerden bahsedilerek sistem bileşenleri, türleri, kullanım alanları ve çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Tezin dördüncü bölümü ise deneysel çalışmanın yapıldığı uygulama bölümüdür. Bu uygulamada tek bir sistem üzerinden iki ayrı bağlantı test edilmiştir. Sistem, bir adet akupleli DC pompa, iki adet güneş paneli, bir adet solar şarj cihazı, bir adet kurşun asit akü, biri aşağıda pompaya bağlı diğeri ise yaklaşık 9 metrelik yükseklikteki çatıda bulunan iki adet 100 litrelik su deposu, sayaç, anahtar ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Sistemin beslemesi iki ayrı güneş panelinden gerçekleşmektedir. Birinci bağlantıda güneş paneli herhangi bir bağlantı elemanı olmadan direkt olarak akupleli DC pompaya bağlanmış ve bu şekilde gün içerisinde panelin pompayı ne ölçüde besleyebildiği ve dolayısıyla ne kadar miktarda suyu terfi ettirebildiği incelenmiştir. İkinci bağlantıda ise gün içerisinde diğer güneş panelinden gelen enerji kurşun-asit tip aküyü beslemekte ve ertesi gün deşarj ettirmek suretiyle pompayı çalıştırarak suyun terfi ettirilmesi sağlanmaktadır. Bağlantı geçişleri bir anahtar yardımıyla manuel olarak sağlanmaktadır. Böyle bir çalışma yapılarak su terfisinin yapıldığı alanlarda özellikle kırsal alanlarda tarımsal sulamada, bakım ve yakıt masrafları dezavantajlarına sahip dizel jeneratörlerin yerine doğrudan elektrik enerjisi üretebilen fotovoltaik sistemlerin kullanılmasının getireceği avantajların görülmesi ve bu fotovoltaik sistemlerdeki enerji depolanması çözümlerinin karşılaştırılması yapılarak avantaj-dezavantaj durumlarına göre optimum çözümün belirlenmesi hedeflenmiştir.

## 1.2 Literatür Özeti

Enerji, tüm dünyada ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişmelerinin sürükleyici unsuru ve en önemli gereksinimlerinden biridir ve bundan dolayı ülke yönetimlerini üstlenenler, enerjiyi kesintisiz, güvenilir, temiz ve ucuz yollardan bulmak ve bu kaynakları da mutlaka çeşitlendirmek durumundadırlar. Enerji kaynaklarının dengesiz dağılımı ve rezervlerin artan taleple birlikte giderek azalması ise ülkeleri farklı arayışlar içerisine itmektedir. Endüstriyel çağdan önce enerji ihtiyaçları doğada bulunan odun, rüzgâr, su gibi temel kaynaklardan ve insan ve hayvanın kas gücünden karşılanırken, kömürle çalışan buhar makinelerinin keşfi kullanılan enerji kaynaklarını tamamen değiştirmiştir. Enerji kaynakları, genel olarak bakıldığında üretildiği miktarlar da göz önüne alınarak, “birincil enerji kaynakları” ve “ikincil enerji kaynakları” olarak iki grupta incelenebilir. Birincil enerji kaynakları, fosil kaynaklar (kömür, petrol, v.s.), hidrolik enerji ve nükleer enerji, ikincil enerji kaynakları ise güneş enerjisi, jeotermal enerji, gel-git enerjisi, dalga enerjisi, rüzgâr enerjisi, fizyon enerjisi v.b. enerji kaynaklarıdır. Günümüzde dünyada tüketilen enerjinin %80’ine yakını fosil kaynaklardan temin edilmektedir. Fosil kaynaklar içerisinde de en çok kullanılan petroldür. Yapılan tahminlere göre fosil yakacaklar, bugünkü oranda tüketilmeye devam edilirse, yakın gelecekte tükenmeye başlayacaktır [1].

Artan enerji ihtiyacını karşılamak üzere, hava kirliliğine neden olan fosil yakıtlı ve tükenen türdeki enerji kaynaklı sistemlerin yerine yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sistemler geliştirilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlilerinden biri de güneş enerjisidir. Güneşten ışınımınla dünya üzerine bir yılda yaklaşık olarak 173 milyar MWh enerji gelmektedir. Bu enerji miktarı da dünyada bulunan fosil yakıt rezervlerinin yaklaşık 160 katına karşılık gelmektedir. Aynı zamanda bu enerji; yıllık olarak dünyada fosil yakıtlar, nükleer kaynaklar ve su gücü tarafından üretilerek kullanılan enerjinin 15.000 katına karşılık gelmektedir [2]. Bugün için güneş enerjisinin kullanımı, gündelik yaşam yapısından ve konutlarından başlamakta, iletişime, tarıma, endüstri kesimine, elektrik santrallerine, askeri hizmetlere ve uzay çalışmalarına dek uzanmaktadır. Güneş teknolojisi özellikle, düşük ve yüksek sıcaklık ısı uygulamalarına ve fotovoltaik uygulamalara dayanmaktadır [3].



Fotovoltaik (PV) modüller, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürdükleri için alternatif bir elektrik üretim aracı olarak tanımlanmaktadır. Yaygın olarak kullanılmakta olan fosil yakıtların çevreye verdikleri zararlar ve tükenme ihtimali nedeniyle diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra fotovoltaik enerji gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Türkiye, coğrafi konumu ve güneş kuşağında yer almasından dolayı oldukça yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olarak belirlenmiştir [4].

Günümüzde, su pompalama sistemleri PV sistemlerin enerji kaynağı olarak en fazla tercih edildiği uygulamalar arasında bulunmaktadır. PV'den beslenen su pompalama özellikle şehir su ve elektrik şebekesine bağlı olmayan kırsal yörelerde kuyu veya kanallardan su temininde veya zirai amaçlı arazilerde sulama kanallarından araziye su dağıtımında ekonomik olarak kullanılabilir. Türkiye'de özellikle tarıma dayalı ekonomik yapısı bulunan GAP Bölgesine ait illerde, sulama amaçlı tüketilen elektrik enerjisinin, toplam elektrik tüketimi içerisindeki payı, %20 ile %40 gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır [5]. GAP Bölgesinde sulama gereksiniminin yüksekliği dışında; güneş ışınım potansiyelinin ülke ortalamalarının üzerinde olması, şebeke bulunan sulama bölgelerinde aşırı yüklenmeler sebebiyle güvenilir elektrik temininin mümkün olmaması ve birçok kırsal arazide elektrik hattı bulunmaması gibi sebepler de PV kullanımına geçişi teşvik eder doğrultudadır. Uzun yıllar boyunca yapılan termoekonomik analizler, kırsal alanlarda; fotovoltaik destekli su pompaları (PVDSP) sistemlerin elektrik şebekesine bağlı su pompası uygulamasına nazaran daha ekonomik ve güvenli olduğunu gösterdiğinden günümüzde birçok gelişmiş ülkede bu sistemler kullanılmaktadır [5]. Bu sistemlerin en basit kombinasyonu; pompa sürücüsü olan motorun panellere hiçbir ara düzenleyici olmadan direkt bağlandığı direkt akupleli sistemlerdir. Direkt akupleli sistemlere ek olarak, PV panel ve motor arasında akünün yerleştirildiği akülü ve panel sisteminin akım-volt (I-V) çıktılarını maksimum elektriksel güç teminine uygun olarak düzenleyen bir elektronik kontrol cihazının bulunduğu maksimum çalışma noktası izleyicili (MPPT) gibi kombinasyonları da bulunmaktadır [6].

Fotovoltaik sistemlerden elde edilen enerjinin depolanması için yaygın olarak iki yöntem kullanılır. Bunlardan birincisi, yüksek yerde bulunan fiziki depoya su basmak ve suyun potansiyel enerjisinden faydalanılarak daha düşük seviyeye su taşımaktır. İkincisi ise akülerin kullanılıp elde edilen enerjinin kimyasal olarak depo edilmesi ve istenilen herhangi bir anda kullanılmasını sağlayan depolama yöntemidir. Akülerin kullanımı, sistemi daha güvenilir, verimli, düzenli ve yararlı hale getirmesine rağmen sistem maliyetlerini oldukça arttırmaktadır. Bu nedenle su deposunun olduğu fotovoltaik sulama sistemi, akülü sistemlere göre çok daha ekonomik olabilmektedir [7]. Kullanım ömürlerinin kısa oluşu (3-5 yıl), sulama yapılacak alanda sıcaktan koruma güçlüğü, ilk yatırım maliyetini artırma vb. sebeplerden dolayı fotovoltaik sistemlerde akülerden kaçınılır.

## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Dünya genelinde çevre kirliliğine sebep olan klasik fosil yakıt kaynaklı enerji üretim sistemleri ve konvansiyonel üretim sistemleri yerine, çevreye olan etkileri daha az olan, sürdürülebilirlik ve yenilenebilirlik sağlayan enerji kaynaklarını bulmak ve yeni teknolojiler geliştirmek zorunlu hale gelmiştir. Hem fosil kaynakların sınırlı ve yerine yenisi konulamayacak bir enerji kaynağı olması, hem de üretim ve tüketim yöntemlerinden kaynaklanan çevre kirliliği, yenilenebilir, sınırsız ve çevreye uyumlu kaynak ve teknolojilerin araştırılması ve geliştirilmesini gerekli hale getirmiştir. Bu sebeplerden dolayı güneş enerjisinin de dâhil olduğu yenilenebilir enerji kaynakları her geçen gün önem kazanmaktadır. Güneş enerjisi; sınırsız kaynağı, kullanım rahatlığı, temizliği, yenilenebilirliği ve çevre dostu olması gibi nedenler ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha kolay bir şekilde yaygınlaşabilecek durumdadır. Diğer enerji kaynaklarına nazaran kurulum maliyetlerinin yüksekliği, düşük verim, düşük kapasite faktörü ve benzeri bazı teknolojik ve ekonomik zorlukların aşılması, güneş enerjisini gelecekte daha da cazip hale getirecektir [8].

### 2.1 Güneşin İç Yapısı ve Yayıdığı Işınım

Güneş, yaşam kaynağı olarak doğal sistemin enerjisinin büyük bir bölümünü sağlamaktadır. Yaklaşık olarak 1,4 milyon kilometre çapında olan ve çok yoğun gazla ihtiva eden Güneş, Dünya'dan yaklaşık 150 milyon kilometre uzaklıktadır [9].

Güneş maddesinin % 84'ü Hidrojen, % 6'sı Helyum ve % 0.13'ü de diğer elementlerden (oksijen, karbon ve azot) oluşmaktadır. Doğal bir füzyon reaktörü olan güneşte saniyede 564 milyon ton H atomu 560 milyon ton He atomuna dönüşmektedir. Kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığında  $3,86 \times 10^{26}$  J enerji açığa çıkmakta ve bu enerji elektromanyetik ışınım (radyasyon) şeklinde uzaya saçılmaktadır [10].

Güneş'in tahmini yüzey sıcaklığı 5777K'dir. Reaksiyonlar etkisiyle sıcaklık merkeze doğru  $8 \times 10^6$ K civarında seyretmektedir. Güneş'in etrafına yaydığı enerji, çok derinlerinden (en merkezdeki iç bölgeden) gelmektedir. Burada yüksek basınç ve sıcaklığın etkisiyle çok büyük nükleer reaksiyonlar ortaya çıkar. Merkezdeki yüksek sıcaklık altında gerçekleşen (füzyon çekirdek kaynaşmasıyla) reaksiyonlarla hidrojenler birleşerek helyuma dönüşürler. Bu reaksiyonda mutlak kütle korunumu olmaz. Bir kısım parçacık enerjiye dönüşür. Nükleer füzyon isimli bu sentez reaksiyonu sırasında muazzam miktarda enerji açığa çıkarılır. Bu enerji uzay boşluğunda farklı yönlerde saçılır. Güneş'in enerjisinin ancak  $1370 \text{ W/m}^2$ 'si dünya atmosferinin dış yüzeyine ulaşmaktadır. Bu  $1370 \text{ W/m}^2$ 'lik ışımının yeryüzüne ulaşan miktarı  $0-1100 \text{ W/m}^2$  değerleri arasında değişmektedir. Bu enerjinin dünyaya gelen bu küçük bölümü bile, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır [11]. Gelen bu enerji, yeryüzünde güneş pilleri gibi belli bir açıyla yerleştirilmiş toplayıcı yüzeye direkt veya yansıtılarak difüze bir biçimde iki farklı biçimde ulaşmaktadır. Direkt ışığa, atmosferden geçerek gelir ve doğrudan yüzey üzerine düşer. Dolaylı ya da difüze ışımaysa coğrafi etmenlerden (dağ, bulut, vs.) yansıtılarak yüzey üzerine düşen ışıklardır [12].

## **2.2 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli**

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle birçok dünya ülkesine göre güneş enerjisi potansiyeli açısından şanslı sayılabilecek bir durumdadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMİ) mevcut bulunan 1966–1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti  $1311 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$  (günlük toplam  $3,6 \text{ kWh/m}^2$ ) olduğu tespit edilmiştir [4].

Çizelge 2.1'den de görüleceği gibi ülkemizin en fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi iken bu potansiyelin en düşük olduğu bölge Karadeniz Bölgesidir. Çizelge 2.2'de ise aylara göre Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri verilmiştir.

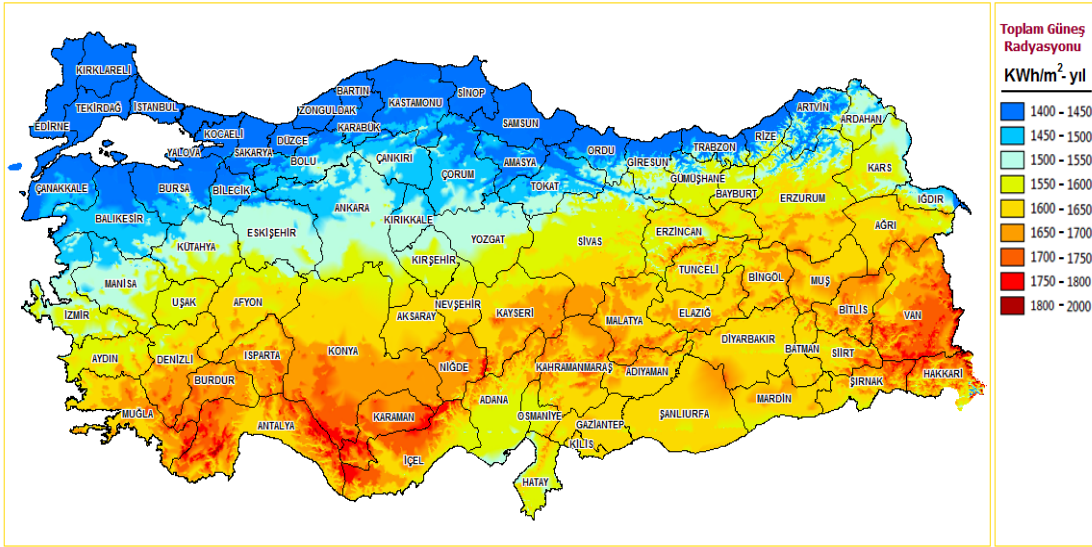
**Çizelge 2.1:** Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin dağılımı (EİE).

<b>BÖLGE</b>	<b>TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m<sup>2</sup>-yıl)</b>	<b>GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)</b>
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

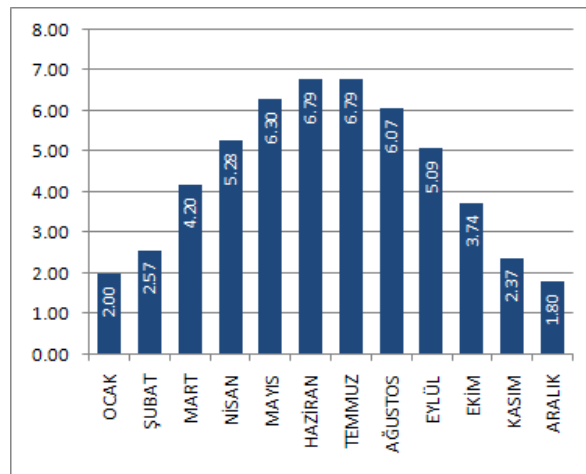
**Çizelge 2.2:** Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (EİE).

<b>AYLAR</b>	<b>AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ</b>		<b>GÜNEŞLENME SÜRESİ(Saat/Ay)</b>
	<b>(kcal/cm<sup>2</sup>-ay)</b>	<b>(kWh/m<sup>2</sup>-ay)</b>	
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

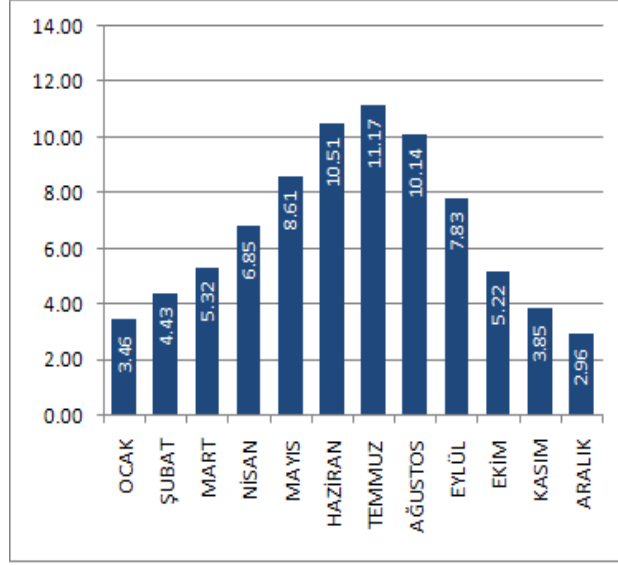
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı – Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin yapmış olduğu Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) çalışması sonucunda Türkiye'de 56,000 MW termik santral kapasitesine eşdeğer güneş enerji kapasitesi bulunduğu ve bu potansiyelden yararlanılması durumunda yıllık ortalama 380 milyar kWh elektrik enerjisi üretim imkânının olduğu belirlenmiştir. Oysaki bu potansiyelden çok az miktarda yararlanılmakta olup hali hazırda Türkiye'deki toplam güneş pili (PV) kapasitesi yaklaşık olarak 1 MW mertebesindedir [13]. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre Türkiye'nin şehirlere göre solar ışınım yoğunlukları Şekil 2.1'de ve İstanbul'un güneş ölçüm değerleri Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Türkiye'nin şehirlere göre güneş ışınım yoğunluğu [14].



Şekil 2.2: İstanbul global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [14].



Şekil 2.3: İstanbul güneşlenme süreleri (saat) [14].

## 2.3 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

### 2.3.1 Isıl Uygulamalar

Güneş enerjisi, daha çok binalarda ısıtma, soğutma ve sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Isıl çevrim yöntemi ile güneş enerjisinden yararlanma, günümüzde en fazla uygulama alanı bulmuş ve dolayısıyla en fazla gelişme göstermiş yenilenebilir enerji teknolojisidir [8]. Isıl çevrimler sonucunda ulaşılabilen sıcaklık limitlerini ve aynı zamanda kullanılan teknolojileri üç grupta toplamak mümkündür: Düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları.

#### 2.3.1.1 Düşük sıcaklık uygulamaları

Güneş enerjisinden, en basit ve en yaygın yararlanma yöntemi düzlemsel güneş kolektörleri yardımıyla güneş enerjisinin su, hava veya herhangi bir akışkana iletilmesidir. Düzlemsel güneş kolektörleri genel olarak saydam örtü, güneş ışınımını toplayan yutucu yüzey, yüzeye bütünleşmiş taşıyıcı borular, yalıtım malzemesi ve kasadan ibarettir [8]. Bu sistemler daha çok düzlem toplayıcılarla su ısıtılması, konut ve sera ısıtılması için kullanılmaktadır. Şekil 2.4'te konut ısıtılması uygulamasının bir örneği verilmiştir.



**Şekil 2.4:** Konut ısıtma [15].

### **2.3.1.2 Orta sıcaklık uygulamaları**

Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışınımı, odaklı toplayıcılarla toplanarak, sanayi için gerekli sıcak su veya buhar elde etmek için kullanılır. Genellikle bu tip toplayıcılarda, güneş ışınımının sürekli olabilmesi için güneşi izleyen mekanizmalara gerek vardır. 300 °C sıcaklık değerinin üzerine çıkabilen, geniş bir alana gelen güneş ışınımı bir noktaya odaklanarak, metal ergitme fırınları çalıştırılabilir [16].

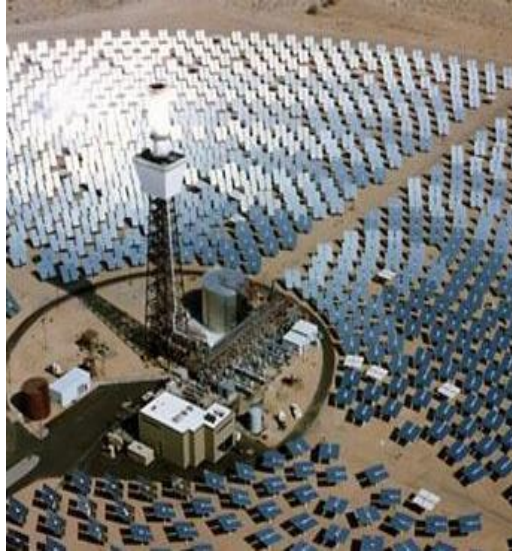
### **2.3.1.3 Yüksek sıcaklık uygulamaları**

Yüksek sıcaklık uygulamaları ise yoğunlaştırma yapan ısı sistemlerdir. Yoğunlaştırıcı sistemler güneş ışınlarını tek noktada toplayarak yüksek sıcaklıkta buhar üretirler ve elektrik üretiminde kullanılırlar. Yoğunlaştırıcı ısı sistemlerin en yaygını parabolik oluk kolektörlerdir. Kesiti parabolik olan kolektörlerin iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınlarını odakta yer alan ısıl boruya odaklarlar. Isıl boruda dolaştırılan sıvıda toplanan ısı ile elde edilen buhardan elektrik üretilir. Diğer bir tür yoğunlaştırıcı sistem olan parabolik çanak sistemler, iki ekseninde güneşi takip ederek, güneş ışınlarını odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Merkezi alıcı sistemlerde ise; tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen aynalar, güneş ışınlarını bir kule üzerine monte edilmiş ısı santraline yansıtarak yoğunlaştırma yaparlar [17]. Şekil 2.5'te parabolik oluk sistem ve Şekil 2.6'da merkezi alıcı sistem örnekleri görülmektedir.





**Şekil 2.5:** Parabolik oluk sistem [18].



**Şekil 2.6:** Merkezi alıcı sistem [18].

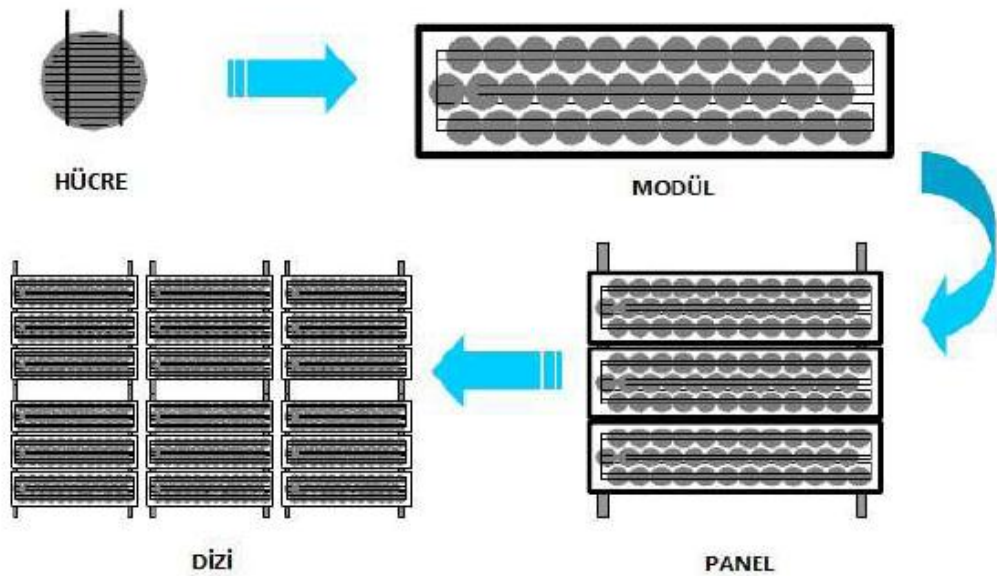
### **2.3.2 Fotovoltaik Uygulamalar**

Bir başka uygulama türü ise güneş hücreleri (pilleri) kullanarak yapılan fotovoltaik uygulamalardır. Üzerine düşen güneş radyasyonunu doğrudan elektrik enerjisine çeviren güneş pilleri bir yük üzerinde doğru akım üretirler. Bu piller, seri veya paralel bağlanarak, ürettikleri akım ve gerilim değerleri yükseltilebilir. Üretilen akımı depolayabilmek için bir akümülatöre gerek vardır. Bu konudan üçüncü bölümde ayrıntılı olarak bahsedilmiştir.



### 3.FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Fotovoltaik sistemler, güneş ışığını direkt olarak elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Bu enerji çevriminde herhangi bir hareketli parça bulunmaz. Güneş ışınımındaki fotonların, yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarparak atomlardan elektronları serbest bırakmaları ile ortaya çıkar. Güneş hücreleri ise bu sistemlerin en küçük birimidir. Hücreler yarı iletken malzemelerden meydana gelir. Kare, dikdörtgen ve daire biçimlerinde üretilirler. Silisyum, amorf silisyum, kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum selenoid (CIS), bakır indiyum galyum selenoid (CIGS) hücre yapımında yaygın olarak tercih edilen malzemelerdir [19]. Yarı iletken malzemenin güneş pili olarak çalışması; hücrenin ara yüzüne gelen fotonların serbest elektronlar oluşturması ve bu elektronların sahip oldukları enerjinin bir kısmının yük üzerinde harcanmasına dayanır. Bir silikon PV hücrenin açık devre gerilimi yaklaşık olarak 0,5 voltur. Güç çıkışını arttırmak için Şekil 3.1’de görüldüğü gibi çok sayıda hücre seri ya da paralel bağlanarak ‘modül’, modüller birleştirilerek ‘panel’ ve paneller birleştirilerek ‘dizi’ elde edilir [20].

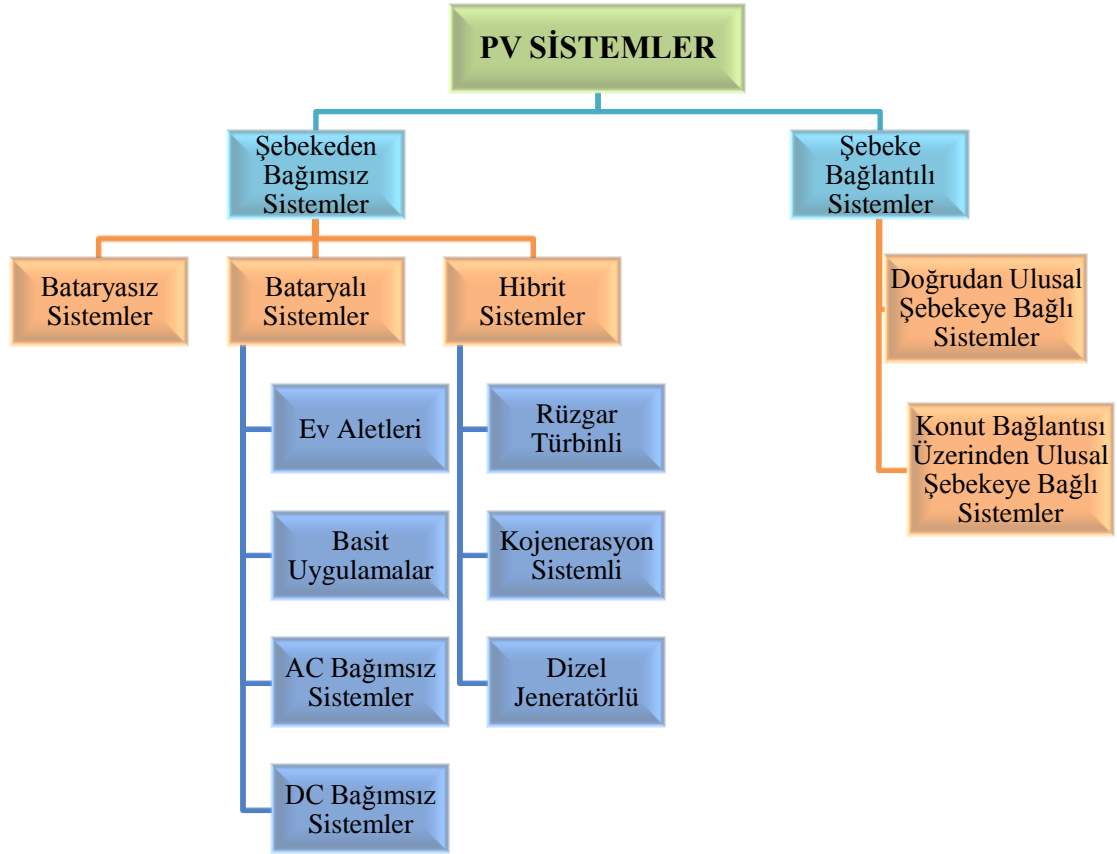


Şekil 3.1: PV hücre, modül, panel ve dizi [20].

### 3.1 Fotovoltaik Sistem Türleri

Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üreten sistemlerdir ve bu sistemler genel olarak şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Şekil 3.2’de fotovoltaik sistemlerin (PV) türleri görülmektedir.

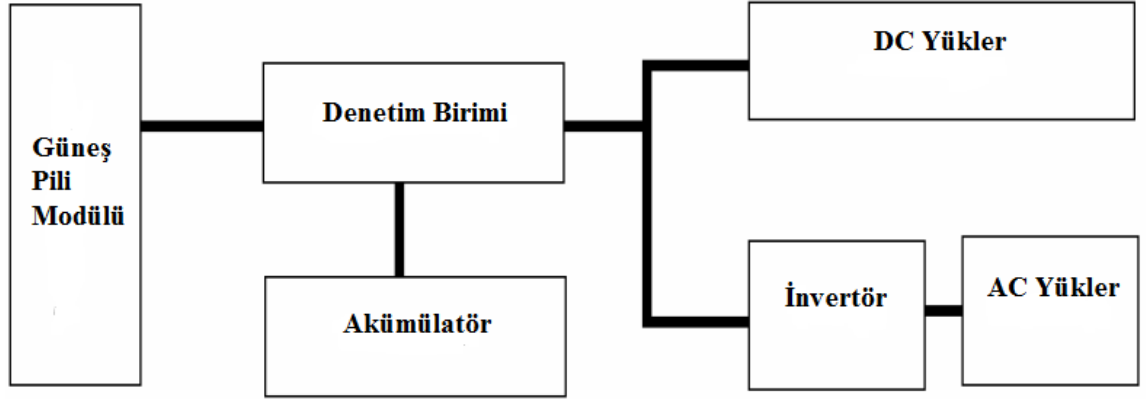


Şekil 3.2: Fotovoltaik sistem türleri [21].

#### 3.1.1 Şebekeden bağımsız sistemler

Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler genellikle yerleşim yerlerinden uzak olan bölgelerde enerji taleplerini karşılayan sistemlerdir. Bu sistemlerin güç aralıkları birkaç watt’tan birkaç yüz kW’lara kadar değişebilmektedir ve çok çeşitli türlerde yüklerin enerji talebini karşılayabilmektedirler. Bu sistemler, kullanılan depo elemanına (akü) ve yükün çeşidine göre birkaç çeşide ayrılabilir. Şekil 3.3’te şebekeden bağımsız sistem şeması görülmektedir [22]. Şebeke uyumlu alternatif akımın gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir evirici eklenerek akümülatördeki

DA gerilim, 220 V, 50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Birçok ülkede bu şekilde kurulmuş PV sistemlerinin, iletişim, denizcilik, gözetleme kuleleri, su pompaları, kara/deniz/hava yolları ile ilgili sinyaller, petrol ve gaz hatlarında korozyondan korunma, vb. uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır [23].



Şekil 3.3: Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem şeması [16].

### 3.1.1.1 Doğrudan(Direkt) bağlı sistemler

Direkt bağlı sistemler bağımsız fotovoltaik sistemlerin en basit çeşididir. Bu sistemde bir doğru akım yükü, fotovoltaik panele veya dizisine eksi ve artı uçları karşılıklı gelecek şekilde direkt olarak bağlanır. Elektrik depolayıcı barındırmayan bu sistem, fotovoltaik dizi tarafından üretilen gücün ve yükün aynı yerde olduğu durumlarda kullanılabilir. Bu sistemler Şekil 3.4'te görüldüğü gibi en çok tarımsal amaçlı su ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır.

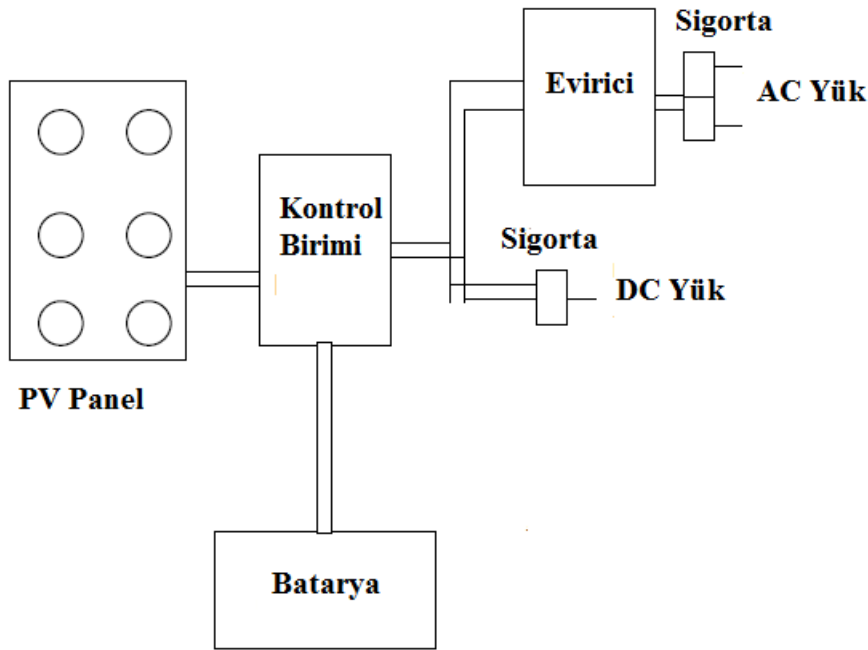


Şekil 3.4: Fotovoltaik destekli ve depolu su pompalama sistemi [24].

### 3.1.1.2 Bataryalı (Akülü) sistemler

Bu tür sistemlerde yeterli sayıda fotovoltaik modül, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akü bulundurulur. Fotovoltaik modüller gün boyunca elektrik enerjisi üretir, bunu aküler depolar, yüke gerekli olan enerji akülerden alınır.

Şekil 3.5'te akülü bir fotovoltaik sistemin blok diyagramı verilmiştir.



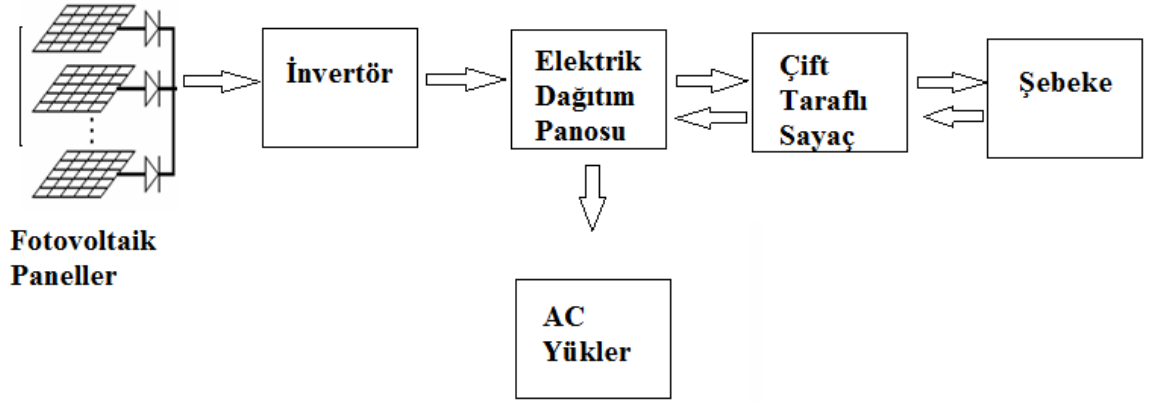
Şekil 3.5: Akülü sistem [23].

Akülü sistemlerde akü ile modül arasındaki akü sistemi güneş ışınım şiddetindeki değişimleri direkt olarak sisteme yansıtmadan sabite yakın bir gerilim ile sistemi çalıştırır ancak sisteme ulaştırılan akım ve gerilim değerleri maksimum güce karşılık gelen akım ve gerilim değerlerinin altında seyrederek. Söz konusu bu iki kombinasyona alternatif olarak ortaya çıkan maksimum güç noktası izleyicili (MPPT) sistemlerin, PV modüllerin her zaman maksimum güç üretecek noktada çalışmasını temin etmesinden dolayı çalışma performansları daha yüksektir [23].

### 3.1.2 Şebekeye bağlantılı sistemler

Bu tip fotovoltaik sistemler, elektrik şebekesine bağlı olacak şekilde tasarlanır. 10 kW ile onlarca MW güç aralığında değişen sistemler olup, daha çok yerel enerji

gereksinimlerine destek olmak üzere kurulmuşlardır. Özellikle enerji ihtiyacının fazla olduğu saatlerde devreye sokularak enerji sistemi rahatlatılmakta ve aynı zamanda enerji üretilen yerden fazla uzaklarda kullanılmadığı için kayıpların asgari seviyede kalması sağlanmış olmaktadır. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla elektrik çift yönlü sayaç kullanılarak şebekeye satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Bu sistemlerin en önemli parçası eviricidir. Fotovoltaik paneller DC elektrik üretirler. Fotovoltaik panellerde üretilen DC elektriğin AC elektriğe dönüştürülmesi ve şebekeye uyumlu olması gerekmektedir. Bunun için, DC/AC eviriciler kullanılır [23]. Şekil 3.6'da şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem diyagramı görülmektedir.



**Şekil 3.6:** Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem diyagramı.

Bu tip sistemlerde, eviricinin şebekeye aktardığı güç öncelikle yerel yükler tarafından tüketilmektedir. Artan güç ise elektrik şebekesine verilerek daha uzaklarda bulunan yükler tarafından tüketilmektedir. Genellikle 5 kW altındaki güçlerde tek-fazlı şebeke bağlantılı eviriciler, daha yüksek güçlerde ise 3-fazlı şebeke bağlantılı eviriciler kullanılmaktadır [25].

### 3.2 Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

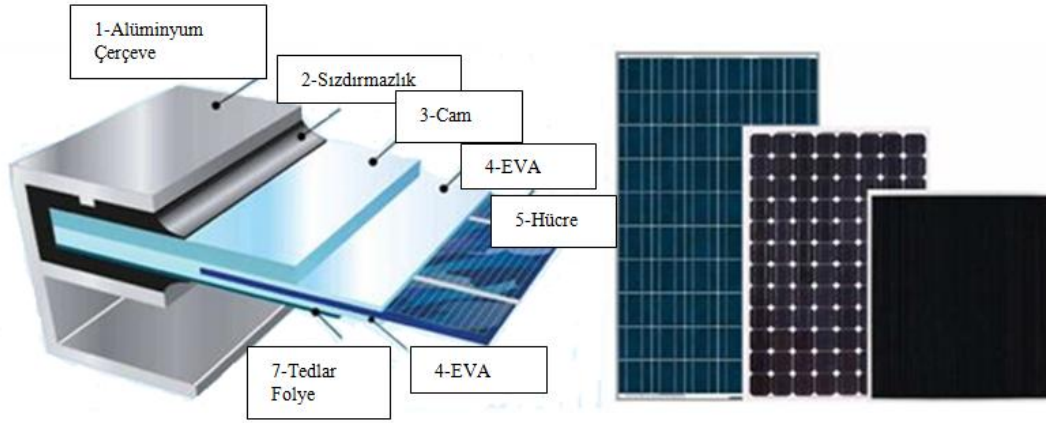
Bir fotovoltaik sistem genel olarak;

- Fotovoltaik hücre-modül-paneller
- Aküler
- Şarj kontrol cihazı

- DA-AC evirici
- Yük(Motor-Pompa Sistemi)
- Güneş Takip Sistemi
- Denetim (Maximum Power Point Tracker-MPPT) gibi birimlerden oluşur. Bu birimler aşağıda tanıtılmıştır.

### 3.2.1 Fotovoltaik paneller

Fotovoltaik hücreler, fotovoltaik modüllerin temel ünitesidir ve şekil 3.13'te gösterildiği gibi birleşerek modülleri; modüller de birleşerek panelleri ve böylece fotovoltaik sistemi meydana getirirler. Fotovoltaik hücreler, genellikle bir çerçeve içerisinde yerleştirilmiş ve dış etkenlerden korumak için yüzeyleri camlarla kapatılmıştır. Şekil 3.7'de hücre ve katmanları gösterilmiştir.



**Şekil 3.7:** Fotovoltaik hücre ve katmanları [26].

Güneş panelleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır:

Kristal silisyum paneller, önce büyütülüp daha sonra 150-200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen mono kristal silisyum bloklardan üretilir. Bu güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen poli kristal silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de %2-5 kadar daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır.



Galyum arsenit (GaAs) paneller, galyum arsenit malzemeyele üretilen güneş panelleri olup bu panellerden laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemli GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır.

Kristal yapı özelliği göstermeyen amorf silisyum pillerden elde edilen verim ise %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesinde. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum direkt güneş ışınımı az olan bölgelerde de santral uygulamalarında kullanılmaktadır. Amorf silisyumun bir başka önemli uygulama sahası ise binalara entegre yarı saydam cam yüzeyler, bina dış koruyucusu ve enerji üretici uygulamalarıdır.

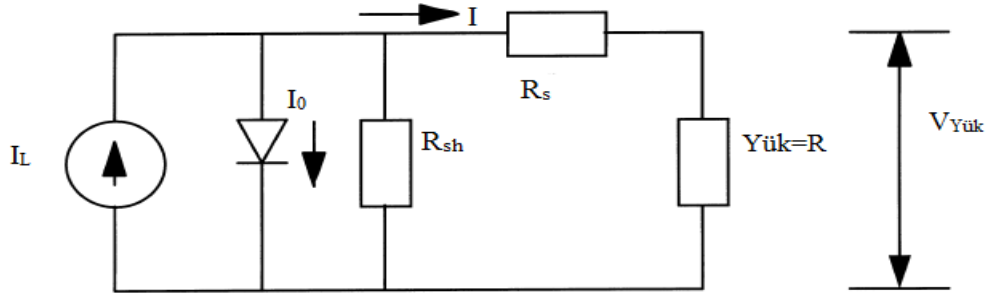
Bir diğer hücre malzemesi olan kadmiyum tellür (CdTe) çok kristal yapıda bir malzeme olup bu malzemeyele yapılan üretimlerin güneş hücre maliyetini çok aşağılara çekeceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

Bakır indiyum diselenid ( $CuInSe_2$ ) hücre, çok kristal hücre yapısında olup bu hücrelerden meydana gelen modüllerden laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülden ise %10,2 verim elde edilmiştir.

Son olarak, optik yoğunlaştırıcı hücrelerde, gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %20'nin, hücre verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden veya camdan yapılmaktadır [26].

### **3.2.1.1 Fotovoltaik hücre elektriksel modeli**

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi fotovoltaik hücreler, bir akım kaynağı, akım kaynağına paralel bağlı direnç ve diyot, oluşan yapıya seri bağlı bir direnç ile ifade edilirler.



**Şekil 3.8:** Fotovoltaik hücre elektriksel eşdeğer devresi [27].

Burada,

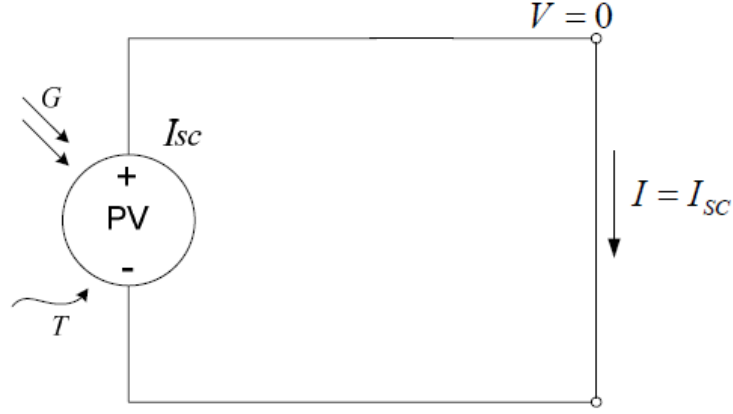
$$I = I_L - I_0 \left[ e^{q(V_0 + IR_s)/(A.k.T)} - 1 \right] \cdot V_0 + (I \cdot R_s / R_{sh}) \quad (3.1)$$

denklemini ile fotovoltaik hücrenin akım değeri bulunur. Denklem 3.1’de;  $I_L$  fotoakımını,  $I_0$  diyot akımını,  $R_{sh}$  paralel direnci,  $R_s$  seri direnci,  $R$ , yük direncini,  $V_{Yük}$  uç gerilimini,  $I$  yük akımını ifade etmektedir.

PV panel üreticileri modüle ait değerleri 25 °C ve güneş ışınım şiddeti 1000 W/m<sup>2</sup> iken yapılan testler sonucunda oluştururlar. Bu şartlar altında modül açık devre gerilimi ( $V_{OC}$ ), kısa devre akımı ( $I_{SC}$ ), MPP akımı ( $I_{MPP}$ ) ve MPP gerilimi ( $V_{MPP}$ ) değerleri alınarak modül bilgi dökümanları oluşturulur.

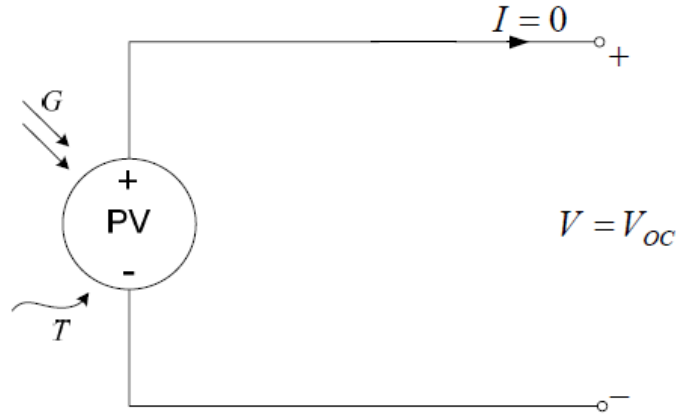
Yukarıda da belirtildiği gibi fotovoltaik hücrelerde karakteristikleri tanımlayan beş temel parametre vardır. Bunlar; kısa devre akımı ( $I_{SC}$ ), açık devre gerilimi ( $V_{OC}$ ), maksimum güç noktası ( $MPPT$ ), dolun faktörü ( $FF$ ) ve verimdir [27].

Kısa devre akımı, Şekil 3.9’da görüldüğü gibi devrenin uçları arasındaki potansiyel farkı, diyot uçlarının kısa devre edilmesiyle ( $V = 0$ ) devreden çekilen akım değeridir.  $I_{SC}$  ile gösterilir. İdeal bir diyotta kısa devre akımı diyot üzerine ışık düştüğü zaman oluşan akım değerine eşittir.



**Şekil 3.9:** Kısa devre akımı.

Açık devre gerilimi ise Şekil 3.10’da görüldüğü gibi diyot uçlarına yük bağlanmadığı anda ( $I = 0$ ) diyot uçlarından ölçülen gerilim değeri olup  $V_{oc}$  ile ifade edilir.



**Şekil 3.10:** Açık devre gerilimi.

Maksimum güç noktası, bir fotovoltaiik diyottan elde edilebilecek güç değeri, akım ve gerilim değerlerinin çarpımına eşittir. Maksimum güç  $P_{max}$ ,  $I \times V$  değerinin en büyük olduğu durumda elde edilir.  $V_{oc}$  ve  $I_{sc}$  değerlerinde sistemden herhangi bir güç elde edilemez.

Dolum faktörü ( $FF$ ), bağlantının kalitesinin ve diyotun seri dirençlerinin ölçümüdür. Azami gücün kısa devre akımı ile açık devre geriliminin çarpımına oranıdır.

Verimlilik, maksimum güç değeri  $P_{max}$ 'ın,  $PV$  diyot üzerine gelen ışının gücü  $P_{in}$ 'e, (total power of the incident light) olan oranı olarak tanımlanır.

### 3.2.1.2 Güneş Hücresinin Karakteristiği ve Verimi

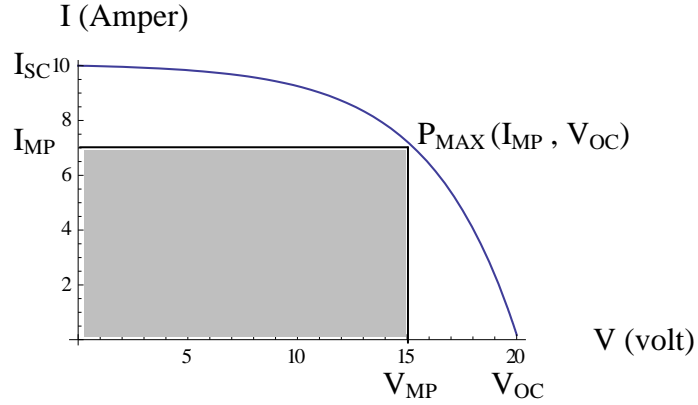
Günümüzde üretilen güneş hücrelerinin büyük kısmı silikondan üretilmekte ve tek bir bant aralığı içermektedir. Silikonun güneş radyasyonunu absorplama yeteneği az olmasına karşın tercih edilmesinin en önemli nedenleri; bol olması, yüksek verime sahip olması, ekoloji üzerinde olumsuz etkisinin az olması, kristalin silikonun güneş radyasyonu altında özelliğini yitirmemesi olarak sıralanabilir. Güneş hücrelerinde, solar radyasyon absorpsiyonunun arttırılabilmesi için görece kalın bir silikon tabakası kullanılmaktadır [29]. Güneş hücreleri, en az bant aralığı genişliğindeki enerjilere sahip foton enerjilerini elektriğe çevirirken, bant aralığından düşük enerjiye sahip fotonlar ise hücre için kayıptır. Valans bandındaki bir elektronun iletkenlik bandına geçebilmesi için soğurulan fotonun enerjisinin en az bant aralığı kadar olması gerekir. Bant genişliğinden daha yüksek enerjili fotonların enerjilerinin bir kısmı ise elektronların termalizasyonu sırasında ısıya dönüşür ve güneş hücresi tarafından elektrik enerjisine çevrilemez. Bu enerji kayıpları güneş hücrelerinin verimlerini sınırlayan en temel enerji kayıplarıdır.

İdeal durumda bir güneş hücresinin enerji dönüşüm verimi, hücre tarafından üretilen elektriksel gücün hücre üzerine düşen ışınımın gücüne oranı olarak tanımlanır ve

$$\eta = \frac{I_{SC} V_{OC} FF}{P_{IN}} \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;  $I_{SC}$  kısa devre akımı,  $V_{OC}$  açık devre gerilimi,  $FF$  doluluk oranı ve  $P_{IN}$  ise hücre üzerine düşen ışınımın gücünü göstermektedir. Güneş hücresinin önemli karakteristiklerinden biri olan doluluk oranı; kısa devre akımı, açık devre gerilimi, hücrenin maksimum güç ürettiği akım  $I_{MP}$ , ve voltaj,  $V_{MP}$ , değerlerine bağlıdır. Doluluk oranının yüksek olması hücrenin kalitesinin, yani ışınım ile üretilen serbest taşıyıcıların hücre tarafından ne kadar iyi toplandığının bir göstergesidir. Şekil 3.11’de bir güneş hücresinin akım-voltaj grafiği kullanılarak elde edilen doluluk oranı görülmektedir. Doluluk oranı formülü ise Denklem 3.3’te verilmiştir.

$$FF = \frac{I_{MP} V_{MP}}{I_{SC} V_{OC}} \quad (3.3)$$



**Şekil 3.11:** Akım-voltaj eğrisi üzerinde karakteristik voltaj ve akım noktalarının gösterimi.

İdeal tek bağlantılı basit bir güneş hücresi için farklı kayıp mekanizmaları dikkate alınarak hücrenin verimi,

$$\eta = \underbrace{\frac{\int_0^{\lambda_g} P(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} P(\lambda) d\lambda}}_1 \underbrace{E_g \frac{\int_0^{\lambda_g} N(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} P(\lambda) d\lambda}}_2 \underbrace{\frac{qV_{OC}}{E_g}}_3 \underbrace{FF}_4 \underbrace{(1-R)}_5 \underbrace{\frac{A_f}{A_t}}_6 \underbrace{\eta_d}_7 \underbrace{\eta_c}_8 \quad (3.4)$$

şeklinde verilebilir [30]. Bu kayıp mekanizmalarından bazıları önlenmesi mümkün olmayan kayıplar iken bir kısmı gelişen teknoloji ile iyileştirilmektedir. Denklem 3.4'te verilen kayıp mekanizmaları sırasıyla şu şekilde açıklanabilir: Bir numaralı kayıplar bant aralığından daha düşük enerjili yani elektron boşluk çifti oluşumuna bir katkısı olmayan fotonları temsil etmektedir. İki numaralı kayıp mekanizması, bant aralığından daha yüksek enerjili ve sadece bir adet elektron-boşluk çifti oluşumuna neden olan fotonlara aittir. Elektron-boşluk çiftinin oluşumu için harcanan enerjinin fazlası malzeme içinde ısı olarak yayılır. Bu kayıp mekanizmasının yeni teknikler ile iyileştirilmesi çalışma alanlarından biridir. Üç numaralı kayıp voltaj faktörüdür ve hücre tarafından üretilen maksimum voltajın, bant aralığı voltajına oranı olarak tanımlanır. Dört numaralı kayıp mekanizması ise doluluk oranına bağlı kayıpları içermektedir. İlk dört kayıp mekanizması temel kayıp mekanizmaları olarak adlandırılır. Beş numaralı kayıp mekanizması, hücre üzerine gelen solar radyasyonun nonmetalik yüzeyler tarafından yansımaya sebebiyle olan kayıplardır. Altı numaralı kayıp mekanizması, hücrenin ön yüzeyindeki metal kontaklar sebebiyle oluşan kayıp

mekanizmasıdır. Hücre ön yüzeyinde kaplanmamış alanın hücrenin toplam alanına oranıyla ifade edilir. Yedi numaralı kayıp mekanizması ise hücre kalınlığının sınırlı olması nedeniyle tam absorplamanın olmaması nedeniyle ortaya çıkar. Son kayıp mekanizması olan sekiz numaralı kayıp mekanizması, üretilen taşıyıcıların tamamının toplanamaması ve elektron-boşluk çiftinin yeniden birleşmesi (rekombinasyon) nedeniyle oluşmaktadır [31]. Son dört kayıp mekanizması hücrenin üretim teknolojisine bağlı kayıp mekanizmalarıdır ve değişen üretim teknikleri ile tamamı önlenemese bile azaltılabilecek kayıp mekanizmalarıdır.

Çizelge 3.1’de çeşitli modüllerin Standart Test Koşullarında standart ve maksimum modül verimlilik oranları verilmiştir.

**Çizelge 3.1:** Fotovoltaik modül verimlilikleri [32].

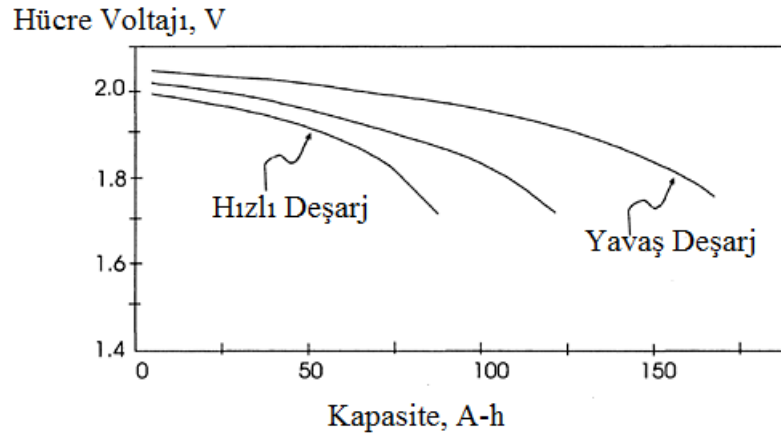
<b>Modül Tipi</b>	<b>Standart Modül Verimliliği (%)</b>	<b>Maksimum Modül Verimliliği (%)</b>	<b>Laboratuvar Verimliliği (%)</b>
<b>c-Si</b>	15-18	22,7	24,7
<b>mc-Si</b>	11-24	15,3	19,8
<b>A-Si</b>	5-7		12,7
<b>Cd-Te</b>		10,5	16
<b>CIGS</b>		12,1	18,2

### 3.2.2 Aküler (Bataryalar)

Fotovoltaik enerji sistemlerinde bilhassa bağımsız sistemlerde enerjinin depolanması ve ihtiyaç duyulan, istenilen herhangi bir anda yükün ihtiyacının giderilmesi için, hidrojen depolama, basınçlı hava, yakıt hücreleri gibi değişik yöntemler geliştirilmiştir. Kuşkusuz bunlar içinde günümüzde hala en kullanışlı ve ucuz olanı akülerdir. Aküler, çalışma prensibi olarak bağımsız sistemlerde değişik yollarla elde edilen enerjiyi, kimyasal olarak bünyesinde depolar ve gerektiğinde belirli miktarını sisteme vererek enerji ihtiyacını karşılar [11]. Fotovoltaik sistemlerde kullanılan akülerden, yüksek şarj/deşarj verimi, derin boşalma, hızlı şarj, düşük maliyet ve yüksek çevrim ömrü gibi özellikler beklenir. Kurşun-asit starter aküleri, ucuz olmalarına karşın derin boşalmaya izin vermedikleri ve en önemlisi düşük çevrim

sayısına sahip oldukları için fotovoltaik sistemlerde kullanılmaya pek uygun değildirler. Fotovoltaik sistemlerde daha çok, devir sayısı 1500'den fazla olan stasyonier tip kurşun-asit aküler tercih edilmektedir [27].

Çalışma sıcaklığı, şarj ve deşarj akımlarının büyüklüğü akülerin performansını ve verimini etkiler. Akülerin iç direnci sebebiyle şarj ve deşarjda kayıplar yaşanır. Kurşun-asit akülerde genellikle şarj ve deşarj prosesleri %95 verimlidir. Akünün bir çevrimdeki verimi yaklaşık %90 değerine sahiptir. İç direnç kayıpları akımın karesiyle orantılı olduğundan, akülerin yüksek akımla şarj ve deşarj edilmesi iç direnç sebebiyle olan kayıpları arttıracığından akünün veriminde de düşmeye neden olur. Şekil 3.12 'de hızlı ve yavaş deşarj durumuna göre akünün kapasite değişimi verilmektedir.



**Şekil 3.12** : Deşarj durumunun akü enerji kapasitesine etkisi [33].

Akülerde kapasite Amper-saat (Ah) olarak belirtilir. Ah kapasitesi ne kadar büyükse akü o kadar fazla enerji depolar.

Fotovoltaik sistemlerde kullanılan akülerden beklenen özellikler şöyle sıralanabilir:

- Yüksek deşarj yüzdesiyle yükü besleyebilme
- Ömürlerinin (saykıl sayısı) fazla olması
- Maliyetlerinin düşük olması
- Dış etkenlere olan tepkisinin çok fazla olmaması
- Şarj süresinin kısa olması ve şarj geriliminin ve akımının düşük olması
- Dış etkilere karşı koruma elemanlarının bulunması
- Kapasitelerini yüksek olması

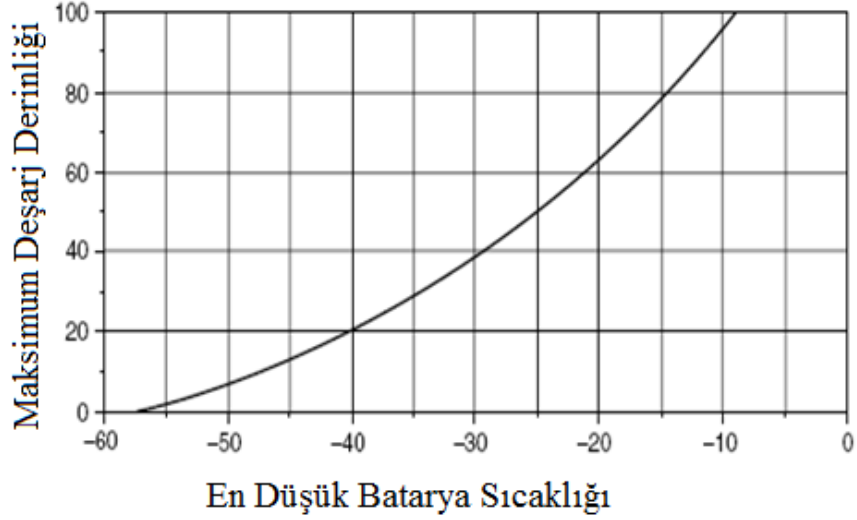
- Çevreyi kirletici etkisinin nispeten az olması
- Kısa zamanda yüksek akım ve gerilim verebilmesi

Yukarıda sayılan özellikleri en iyi karşılayan aküler derin deşarj akülerdir. Bu aküler daha geniş yüzeylidirler ve çok daha fazla elektrot içerirler. Kapasitelerinin %80 oranından fazlasını deşarj edilebilir ancak bu ömürlerini kısaltır [11].

Aküler seri bağlanarak gerilim ve paralel bağlanarak akım değeri artırılır. Her iki bağlantıda da enerji depolama (Wh) miktarı artar. Aküler paralel bağlandıklarında akımı eşit paylaşamama problemi ortaya çıkar. 4'ten fazla paralel bağlama tavsiye edilmez. İç direnç farklılıklarından ötürü yüklenme dengesizlikleri ortaya çıkar. Bundan dolayı akü ömrü çok kısalmaktadır. Kullanılan akü tipine göre akülerde müsaade edilen ve daha aşağıya düşmesinin istenilmediği bir deşarj sınırı (depth of discharge = DOD) değeri vardır. Genelde (%) yüzde olarak ifade edilir. Hiçbir Kurşun – Asit akünün tam boşalmasına müsaade edilmemelidir. Bu değer genelde 0,3–0,9 (%30 ile %90) arası değişen bir rakamdır ve seçilen akü türünün kataloguna bakılarak bulunmaktadır [27].

Akülerin şarj-deşarj süreleri dışında ömürleri, kapasitelerini ve çalışma verimlerini etkileyen en önemli etken sıcaklıktır. Özellikle sıvı asitli aküler (bataryalar), belirli sıcaklıkların altında donma tehlikesi geçirir ve kullanılsız duruma gelirler. Bu sıcaklık değerini belirleyen faktörse akünün şarj durumudur. Tam dolu bir akü, boş bir aküye göre çok daha düşük sıcaklık değerlerinde donar (-57°C altında). Bu sebepten dolayı özellikle de nispeten soğuk kış geçiren bölgelerde akülerin çok boşalmaları istenmez. Şekil 3.13'teki grafiği incelediğimizde sıcaklık arttıkça kapasitenin arttığı sonucuna ulaşılabilir. Ancak bu tam olarak doğru değildir. Sıcaklık 25–30°C'ye kadar kapasitenin daha verimli kullanılmasını sağlarken, bu dereceden itibaren her +10 °C akü ömrünü %50 azaltır. Bu sebeple aküler nispeten serin dış ortam etkilerinden korunaklı yerlere konulmalıdır [11].



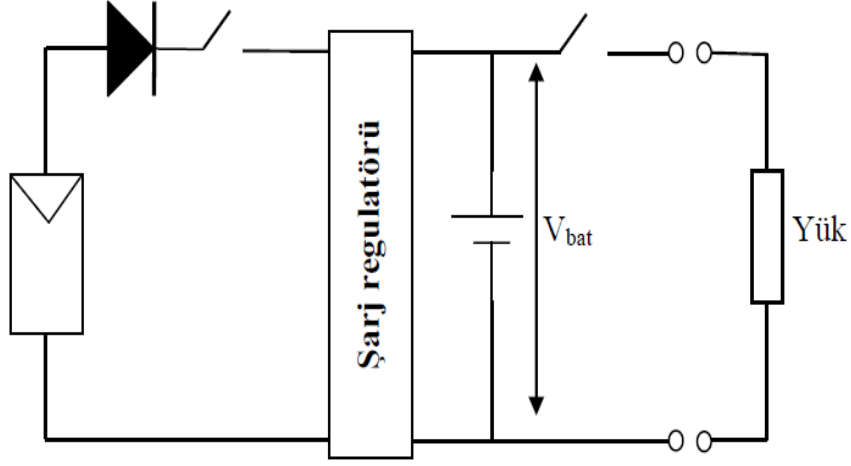


**Şekil 3.13:** Tipik bir kurşun-asit akünün güvenli deşarj sıcaklık ilişkisi grafiği [11].

Fotovoltaik sistem kurulumunda en önemli maliyet yüklerinden biri akülerdir. Özellikle yukarıda sayılan sıcaklık, çevrim sayısı vb. gibi akü ömrünü etkileyen sebeplerden dolayı akü yenilenmesi sık sık gerçekleşmekte ve bu da sistem maliyetini olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple özellikle sıcaklığın yüksek olduğu ve çalışma yoğunluğunun gündüz saatlerinde olduğu tarımsal sulama gibi uygulamalarda akülerden kaçınılarak ilk kurulum maliyeti ve işletme maliyetleri düşürülmektedir.

### 3.2.3 Şarj kontrol cihazı

Şarj kontrol cihazı, akünün şarj ve deşarj akımlarını kontrol altında tutmak ve akünün aşırı şarj olmasını engellemek için kullanılır. PV diziler aküye şarj kontrol cihazı aracılığıyla bağlanır. Şarj kontrol cihazı kullanılarak iki farklı şarj kontrolü yapılabilir. En basiti, akünün aşırı şarj olmasını engellemek için gerilimi sınırlamak şeklindedir. İkincisi de iki seviyeli olarak, gerilimin bir alt sınır ve bir üst sınır arasında tutulması şeklindedir. Bir alt sınırın konulma nedeni, akünün tamamen boşalmasını engellemektir [34]. Şekil 3.14'te şarj kontrol cihazının fotovoltaik sistemlerde kullanım şeması verilmiştir.



**Şekil 3.14:** Şarj kontrol cihazının (regülâtör) fotovoltaik sistemlerde kullanımı [34].

Şarj kontrol cihazı, akünün şarj durumunu (doluluk durumunu) kontrol ederek, ömrünü uzatır. Solar şarj kontrol cihazları ile piyasada satılan akü şarj cihazları farklıdır. Birbirlerinin yerine kullanılamazlar. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan şarj kontrol cihazları akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı veya yükün çektiği akımı keser [27].

### 3.2.4 İnvter (Evirici)

Fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisi doğru akım (DA, DC) elektrik enerjisidir ve sistem şebekeye bağlanmak istenildiğinde veya evsel araçlar için kullanılmak istenildiğinde doğru akımın alternatif akıma (AA, AC) çevrilmesi gerekir.

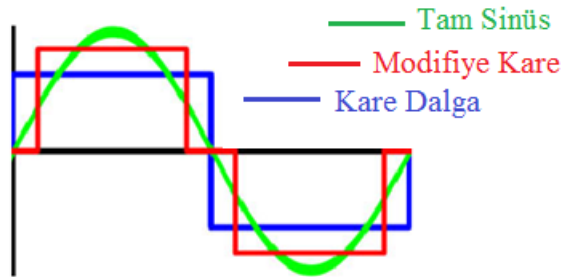
Bilindiği gibi alternatif akımı (AA, AC) uzak mesafelere taşımak kolaydır. Elektrikle çalışan cihazların çoğu AC ile çalışacak şekilde, dizayn edilmiştir. Yukarıda da bahsedildiği gibi fotovoltaik modüller DC akım üretirler ve aküler enerjiyi yalnızca DC akım şeklinde depolayabilirler. Bu yüzden DC akım ile AC akım arasında bir köprü gereklidir ve bu dönüşümü de sağlayan cihazlara evirici (inverter) denilmektedir.

İnvterleri dalga formuna göre; kare dalga, modifiye kare dalga ve tam sinüs invter olmak üzere 3'e ayırmak mümkündür [35].

Kare dalga inverterler, Şekil 3.15'te mavi renkli dalgadan da anlaşılacağı gibi kare şeklinde harmonik alternatif akım verirler. Bu tip inverterler küçük rezistanlı ısıtma yüklerinde ve bazı küçük uygulamalarda kullanılır. Endüstriyel ve bina uygulamalarında kullanılmaz. Eğer kullanılırsa motorların yanmasına neden olur.

Modifiye kare dalga inverterler, Şekil 3.15'te kırmızı renkli dalga gibi bir dalga oluşturmak suretiyle DC akımı direk AC akıma çevirirler. Bu tip inverterler karmaşık devrelerdeki büyük dalgalanmaları sönmüleyebilir ve daha az harmonik bozukluk gösterirler. Motorlarda, aydınlatmada, televizyon video müzik sistemi gibi elektronik cihazlarda geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bununla birlikte saat ve mikrodalga fırınlarda saatin hızlı veya yavaş çalışmasına neden olur ve bazı elektronik cihazlarda gürültü ve parazit oluşumuna neden olabilir. Bunun yanında akü şarjında bu tip inverterlerin kullanılması tavsiye edilmez.

Tam sinüs inverterler, yüksek kalitede dalga formu ürettiklerinden hassas elektronik cihazların çalışmasına uygundur. Şekil 3.15'te yeşil renkli dalgada görüldüğü gibi alternatif akım dalga formuna uygun harmonik üretirler. Günümüzde en çok kullanılan inverter tipidir. Şebeke bağlantılarında, mutlaka tam sinüs inverter kullanılmalıdır.



Şekil 3.15: İverter dalga şekilleri.

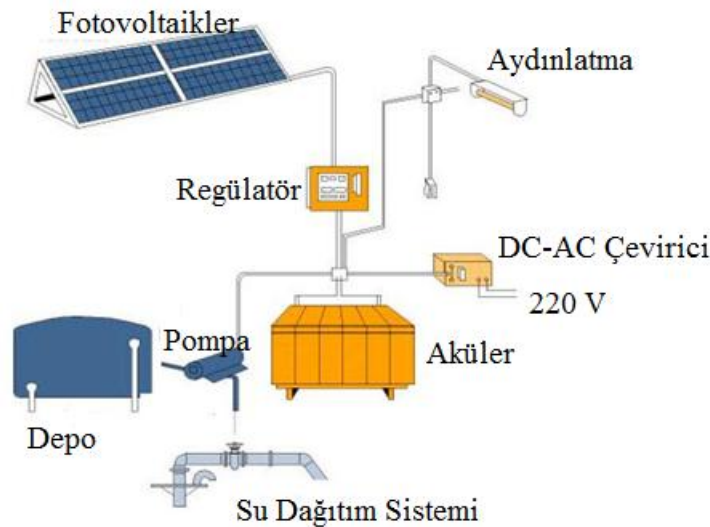
İyi bir inverter cihazından beklenen özellikler şöyle sıralanabilir [35]:

- Yüksek verimlilik
- Uyku veya bekleme modunda düşük kayıplar
- Frekans regülasyonu
- Harmonik düzen
- Servis kolaylığı
- Dayanıklılık
- Güç düzeltme faktörü dengesi

- Düşük ağırlık
- Uzaktan kontrol operasyonu ve verileri gösterme

### 3.2.5 Yük

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu ve ihtiyaç duyulan her alanda kullanılabilir. Bunlardan bazıları, haberleşme istasyonları, bina aydınlatmaları, dağ evleri, tarımsal sulama, orman gözetleme kuleleridir. Bununla beraber günümüzde özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar [16]. Bu sistemlerin en çok kullanılanlarından biri de sulama sistemleridir. Bu sistemlerde, güneş panellerine bağlı motor-pompa grupları kullanılır. Güneş panelleri ile beslenen pompaya hareketi sağlayan motor alternatif akım (AC) veya doğru akım (DC) ile çalıştırılabilir. PV panelin doğru akım üretmesi nedeniyle birçok uygulamada DC motorlar kullanılırken, kolay bulunabilmesi ve şebeke elektriği ile de çalışabilmesi nedeniyle AC motorların kullanıldığı uygulamalarda vardır. AC motorlar kullanıldığında doğru akımı alternatif akıma çevirmek için invertör kullanılmalıdır. İvertörün verimi yüke bağlı olarak %75 ile %96 arasında değişir. Alternatif akım motorunun verimi doğru akım motoruna göre daha düşüktür. Şekil 3.16'da fotovoltaik sistemlerin tarımsal sulama ve aydınlatmada kullanımını göstermektedir:



**Şekil 3.16:** Fotovoltaik sistemlerin tarımsal sulama ve aydınlatmada kullanılması [11].

### 3.2.6 Güneş Ölçüm Sistemi

Fotovoltaik hücreler güneş ışınımından etkilenerek elektrik enerjisi üretmektedir. Gelen ışınım miktarı değiştikçe üretilen gerilim ve akımın da değeri değişmektedir. Bu nedenle güneş ışınımının ölçülmesi fotovoltaik hücrelerin başarımını ölçmede önemli bir işlemdir. Fotovoltaik dizinin verimi, bir fotovoltaik sistemin genel başarımında büyük etki yaratmaktadır. Bu nedenle fotovoltaik sistemlerin başarımının tespitinde ışınım ölçümü önemli bir yer tutmaktadır [36].

Güneş ışınımı, direkt (doğrudan), difüze ve toplam (global) ışınım olmak üzere üç şekilde incelenmektedir. Doğrudan ışınım, pirheliyometre denen güneş izleyici yörünge sistemleri yardımıyla güneş ışınmasını sürekli dik alacak şekilde yerleştirilerek ölçülmektedir. Şekil 3.17’de pirheliyometre cihazı gösterilmiştir.



**Şekil 3.17:** Pirheliyometre.

Difüze ışınım, gölgelendirilmiş piyanometre ile ölçülmektedir. Bu sistemde aynı zamanda izleyici topları da bulunmaktadır. Şekil 3.18’de bir piyanometre örneği verilmiştir.



**Şekil 3.18:** Difüze ışınım piyanometresi.

### 3.2.7 Denetim (Maximum Power Point Tracker-MPPT)

Sistemin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan bir DC-DC dönüştürücüsüdür. Normal koşullarda her çalışma koşuluna denk gelen yalnızca bir tane maksimum güç noktası vardır. Güneş panellerinden maksimum verim elde edebilmesi için panelin bu maksimum güç noktasında çalıştırılması gerekmektedir [37].

Akım-gerilim grafiğinde maksimum güç ifadesi şu şekilde hesaplanır:

$$P_{MPP} = V_{MPP} I_{MPP} \quad (3.5)$$

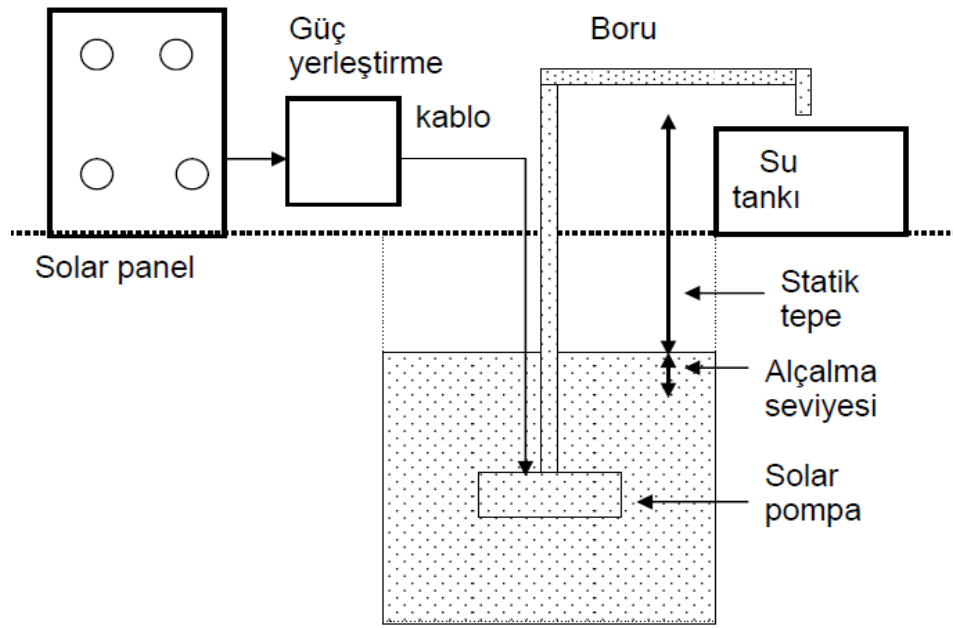
Güneş enerjisi üretim sisteminde her an maksimum verimin elde edilebilmesi için dönüştürücü devresinin modül çıkışını sürekli olarak takip etmesi ve sistemi maksimum güçte (*MPP*) tutması istenmektedir. Dönüştürücünün *MPP*'yi en iyi şekilde takip edebilmesi kullanılan maksimum güç noktası takip (*MPPT*) yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Literatürde uygulama zorluğu, maliyet, mikroişlemci kullanımı, karmaşıklık ve *MPP*'yi yakalayabilme hızı gibi tasarım özellikleri dikkate alınarak pasif ve aktif yöntemler olarak sınıflandırılabilen yöntemler geliştirilmiştir. Pasif yöntemler ışınım seviyesi, panel sıcaklığı, kısa-devre akımı, açık-devre gerilimi ve modül ile ilgili diğer bazı parametrelerin doğrudan veya matematiksel eşitliklerden faydalanılarak tahmin edilmesine dayanmaktadır. Kullanılan parametreler seçilen modül için önceden hesaplanır ve elde edilen parametreler kullanılarak *MPP* tespit edilmeye çalışılır. Bu yöntemlerin uygulanmaları basit olsa da, modülün yaşlanmasına bağlı olarak zamanla karakteristik özelliklerinin değişebilmesi, önceden belirlenen parametrelerin gerçek sonuçlar vermemesi gibi nedenler ile *MPPT* işlemi tam olarak yapılamayabilir. Aktif yöntemlerde ise PV modüllerin karakteristik özelliklerinin dikkate alınmadığı, modülden bağımsız olarak modül ve/veya dönüştürücü devresinin çıkış akımı, gerilimi veya gücü gibi parametrelerinin sürekli olarak takip edilmesi ile *MPPT* işlemi gerçekleştirilir. Aktif yöntemler modülden bağımsız olarak *MPPT* gerçekleştirdiği için pasif yöntemlere göre daha çok tercih edilir [38].

### 3.3 Fotovoltaik Sistemlerin Tarımsal Sulama Uygulamalarında Kullanılması

Türkiye'de tarımsal sulama; elektrik, mazot gibi konvansiyonel enerji kaynakları ile çalışan su pompaları kullanılarak yapılmaktadır. Elektrik olmayan veya elektrik

götürülmesi güç ve pahalı olan tarımsal alanlarda, mazot pompaları kullanılmaktadır. Bu tip sistemler daimi günlük bakım isterler ve ancak suyu bol olan yerlere değil, ulaşımı kolay olan yerlere kurulabilirler. Güneş enerjisi ile çalışan su pompası sistemleri ise günlük bakım istemedikleri gibi arzu edilen herhangi bir yerde, bol güneş olması şartı ile kurulabilirler. Bu tip pompaların ilk kuruluş masrafları yüksek olmasına rağmen, işletme ve bakım masrafları çok düşüktür [39].

PV su pompalama sistemleri genel olarak diğer pompalama sistemlerine benzemekle birlikte çalışma verimlerini ve kararlılığını arttırmak açısından bazı ilave kontrol ve depolama ünitelerine ihtiyaç duyulabilir. Şekil 3.19’da PV destekli su pompalama sistemine ait şema verilmiştir. PV destekli sulama sisteminin oluşturulması için minimum gerekli elemanlar; PV panel, pompa ve motordur [39].



**Şekil 3.19:** PV pompalama sisteminin şeması.

Şekil 3.20’de uygulamada kullanılan bir örnek verilmiştir. Sistemde su kaynağı olarak kuyu seçilmiş ve sulama hattına verilmek üzere bir depolama tankı kullanılmıştır. Depolama tankının potansiyel enerjisinden yararlanılarak suyun tarla, bahçe vb. araziye aktarılması sağlanmıştır.



**Şekil 3.20:** Depolama tanklı fotovoltaik sistemli sulama [40].

Tarım uygulamalarının yoğun olduğu yörelerde sulama amaçlı tüketilen elektrik enerjisinin toplam tüketim içerisindeki payı şehir merkezlerinde bile %20 ile %40 seviyeleri arasında olduğunu da düşünürsek güneşten karşılanan bu sistemin enerji ihtiyacının karşılanmasında ne kadar yararlı olabileceğini kolaylıkla anlarız. Bu sistemlerin en önemli yararları;

- Düşük bakım ücreti
- Kirlilik getirmemesi
- Kolay kurulum ve kullanılma
- Güvenilirlik ve devamlılık
- Dış kaynaklı etkilerden daha az etkilenme
- Yük ihtiyacına tam olarak doğru kapasitede cevap verebilme olarak sıralanabilir [41].

### **3.4 Fotovoltaik Sistemlerin Çevresel Etkileri**

Güneş enerji teknolojileri konvansiyonel enerji kaynakları ile kıyaslandıklarında çevresel avantajlara sahiptir. Bunların en önemlileri, hava emisyonlarının olmaması, işletme süresince atık ürün oluşturmaması, sera gazı etkisinin olmaması, elektrik şebekesi iletim hatlarının azalması, su kaynaklarının kalitesinin artırılmasıdır. Bu avantajlarının yanında elbette ki güneş enerji teknolojilerinin birtakım dezavantajları da bulunmaktadır. Ancak diğer enerji sistemleri ile karşılaştırıldığında bu



dezavantajlar küçük boyuttadır ve sistem iyileştirmeleri sayesinde minimize edilebilecek durumdadır.

Geniş ölçekte güneş enerji sistemleri kurulurken dikkat edilmesi gereken hususların başında alan kullanımı gelmektedir. Kurulacak alanın doğal bitki örtüsü ve yaşam alanına zarar vermeden alanla bütünleşmiş bir yerleşim olması çok önemlidir. Bunun yanı sıra sistemde kullanılan zehirli maddelerin kontrol altında tutulmaları, kaza anında derhal müdahale edebilecek ekip ve ekipmanın varlığı da mecburi olup zehirli maddeler kullanıldıktan sonra da bertaraf edilirken mevcut zehirli maddeleri bertaraf metotlarına göre kanun ve standartlara uygun olarak bertaraf edilmeleri gerekmektedir [42].



## 4.UYGULAMA

Bu bölümde, küçük ölçekte su teminine yönelik fotovoltaik sistemle beslenen biri doğrudan pompaya bağlı, diğeri ise kurşun-asit akü bağlantılı olmak üzere iki ayrı bağlantının karşılaştırılması yapılmaktadır.

### 4.1 Uygulama Materyallerinin Seçimi

Uygulamada kullanılan panel, akü, pompa, şarj kontrol cihazı vb. materyallerinin teknik özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

#### 4.1.1 Özdeş panellerin seçimi

Deney sisteminde, biri doğrudan pompayı besleyen, diğeri sistemdeki aküyü besleyen iki özdeş mono-kristal güneş paneli kullanılmıştır. Her bir panel 36 adet hücreden meydana gelmektedir. Panellerin teknik özellikleri Çizelge 4.1’de belirtilmiştir.

**Çizelge 4.1:** Panellerin teknik özellikleri.

Özellikler	Panel-1	Panel-2
Üretim Yılı	2008	2008
$P_{max}$	128	127.2
$V_{mp}$	16.4	16.6
$I_{mp}$	7.8	7.6
$I_{SC}$	8.5	8.2
$V_{OC}$	22.2	22.3

Kullanılan mono-kristal özellikteki paneller, Şekil 4.1’de görüldüğü gibi aynı açıyla yerleştirilmiştir. Paneller İTÜ Enerji Enstitüsünün çatısında sabit açılı (yaklaşık 35°) güney yönünde konumlandırılmıştır. Her iki panelin çatı ile laboratuardaki ölçüm

sistemine olan bağlantısı voltaj düşümlerinin aynı olması için eşit uzunluktaki özdeş kablolar ile (2.5 mm<sup>2</sup>) yapılmıştır. Ayrıca, kirlenmelerin yaratacağı etkileri azaltmak için her sabah ölçüm öncesi paneller yıkanarak temizlenmiştir.



**Şekil 4.1:** Paneller.

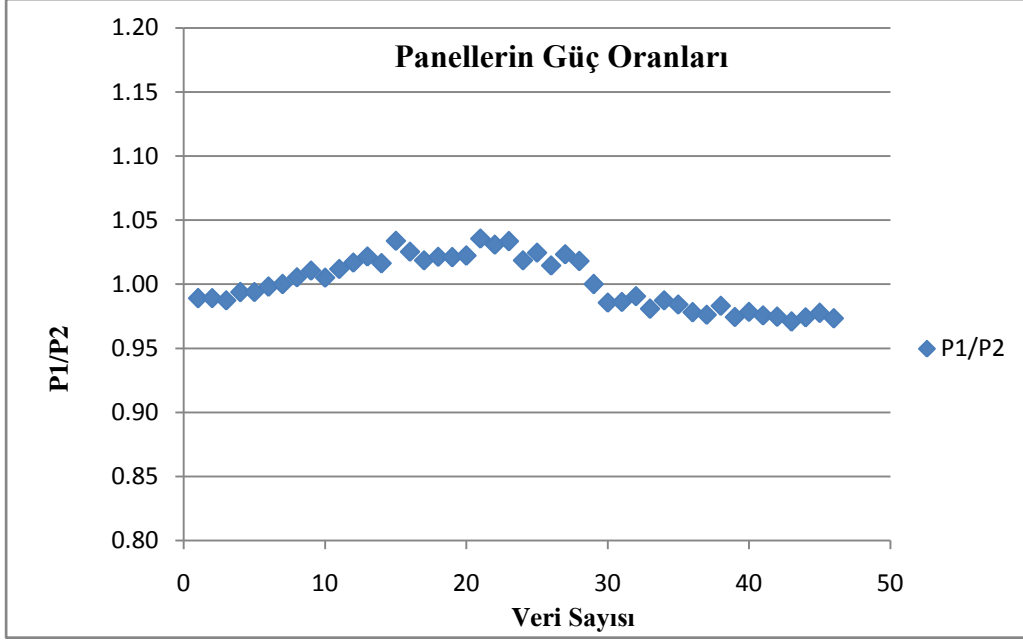
Her iki sistemin sağlıklı bir şekilde karşılaştırılabilmesi için panellerin özdeş olması en ideal durumdur. Ancak gerek üretim aşamasındaki her işlemin birebir aynı olmaması gerekse kullanılan panellerin yaşlanma hızlarının aynı olmaması panellerin aynı ışınımda farklı akım ve gerilim değerleri vermesine neden olmaktadır. Bu sebeple, öncelikle her iki sistemi besleyecek olan panellerin özdeş ne kadar yakın olduklarının belirlenmesi ve ürettikleri güç değerlerinin birbirlerinden ne kadar farklı olduklarının anlaşılması gerekmektedir. Panellerin ürettikleri güçlerin birbirlerinden yüzde olan sapmalarının hesaplanabilmesi için her iki panel aynı ışınım koşulları altında dijital ve hassas bir yüke bağlanarak 12V sabit gerilim altında ürettikleri akımlar ölçülmüş ve güç değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.2'deki veriler 3 gün içinde farklı ışınım koşullarında aynı anda alınmış panellerin birbirlerine göre sapmalarının %1 ile %3 arasında olduğu görülmektedir.

Deneylerde kullanılan iki panelin seçiminde, aynı model sekiz adet güneş paneline ait ölçümler yapılmış ve birbirine en yakın değerlere sahip iki panel seçilmiştir.

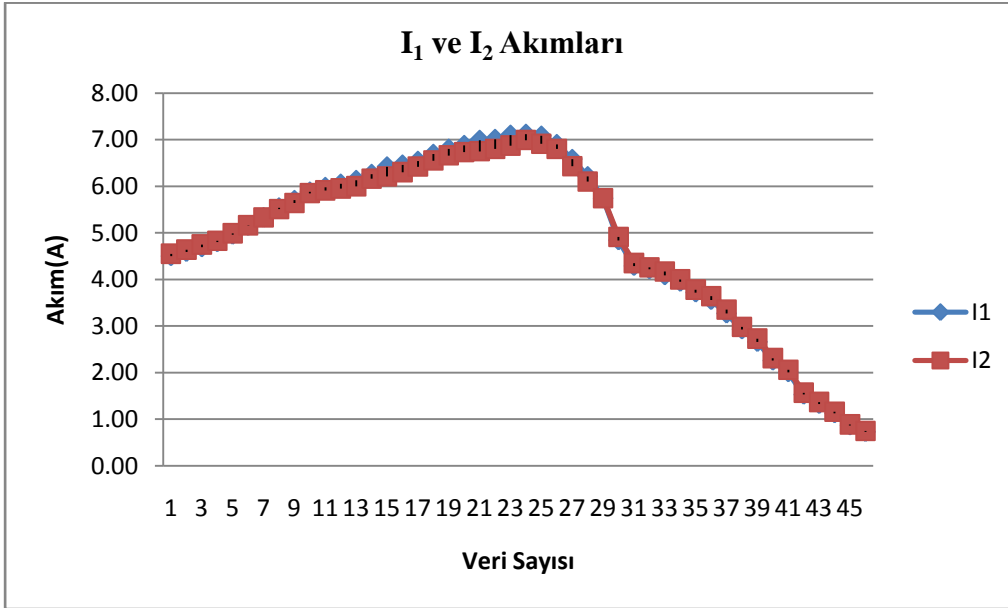
**Çizelge 4.2:** Panellerin akım-güç değerleri ve sapma yüzdeleri.

Panel 1			Panel 2			% sapma
Voltaj (12V)	Akım (A)	Güç (Watt)	Voltaj (12V)	Akım (A)	Güç (Watt)	
$V_1$	$I_1$	$P_1$	$V_2$	$I_2$	$P_2$	$(P_1 - P_2)/P_1$
12,00	4,50	54,00	12,00	4,55	54,60	-0,01
12,00	4,59	55,08	12,00	4,64	55,68	-0,01
12,00	4,69	56,28	12,00	4,75	57,00	-0,01
12,00	4,80	57,60	12,00	4,83	57,96	-0,01
12,00	5,15	61,80	12,00	5,16	61,92	0,00
12,00	5,33	63,96	12,00	5,33	63,96	0,00
12,00	5,54	66,48	12,00	5,51	66,12	0,01
12,00	5,70	68,40	12,00	5,64	67,68	0,01
12,00	5,88	70,56	12,00	5,85	70,20	0,01
12,00	5,98	71,76	12,00	5,91	70,92	0,01
12,00	6,05	72,60	12,00	5,95	71,40	0,02
12,00	6,13	73,56	12,00	6,00	72,00	0,02
12,00	6,26	75,12	12,00	6,16	73,92	0,02
12,00	6,42	77,04	12,00	6,21	74,52	0,03
12,00	6,46	77,52	12,00	6,30	75,60	0,02
12,00	6,54	78,48	12,00	6,42	77,04	0,02
12,00	6,80	81,60	12,00	6,66	79,92	0,02
12,00	7,08	84,96	12,00	6,91	82,92	0,02
12,00	6,58	78,96	12,00	6,43	77,16	0,02
12,00	5,74	68,88	12,00	5,74	68,88	0,00
12,00	4,29	51,48	12,00	4,35	52,20	-0,01
12,00	4,09	49,08	12,00	4,17	50,04	-0,02
12,00	3,56	42,72	12,00	3,64	43,68	-0,02
12,00	3,27	39,24	12,00	3,35	40,20	-0,02
12,00	2,01	24,12	12,00	2,06	24,72	-0,02
12,00	1,33	15,96	12,00	1,37	16,44	-0,03
12,00	0,87	10,44	12,00	0,89	10,68	-0,02

Şekil 4.2’de panellerin farklı ışınım koşullarında ürettikleri güçlerin oranları; Şekil 4.3’te ise panellerin akım verileri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.3 ve Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi hem yüksek hem de düşük akım değerlerinde her iki panele ait veriler uyum içindedir.



Şekil 4.2: Seçilen iki panelin aynı ışınım değerlerinde ürettikleri güçlerin oranları.



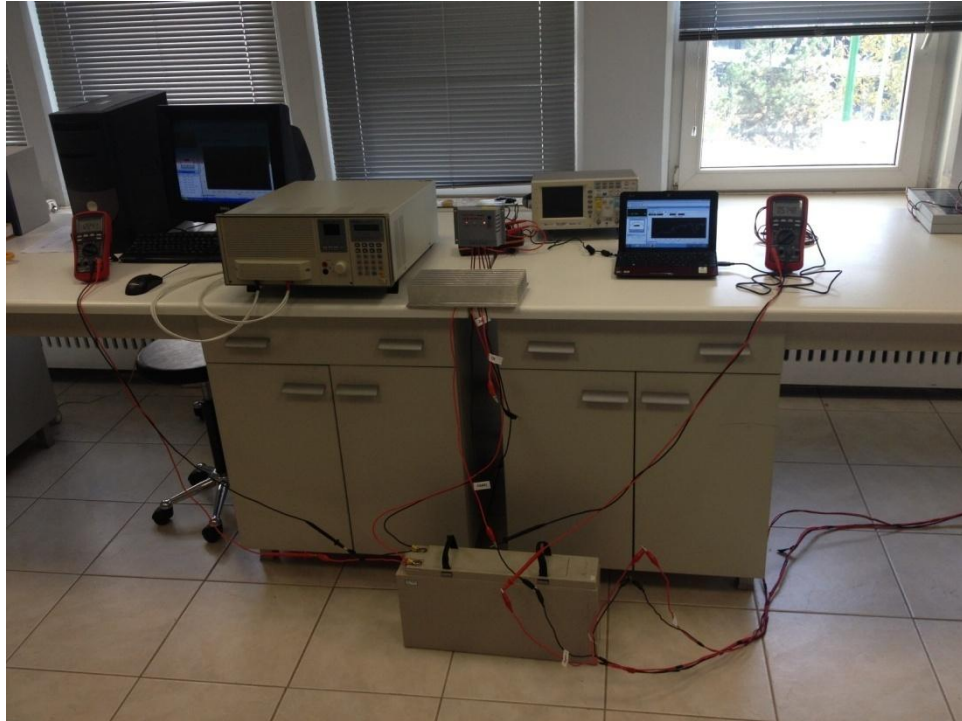
Şekil 4.3: Seçilen iki panele ait akımlar.

#### 4.1.2 Akü seçimi

Sistemde kullanılan akü, VRLA kurşun-asit akü olup 12 V ve 100 Ah değerindedir. Aküye ait teknik özellikler Çizelge 4.3'te belirtilmiştir. Şekil 4.4'te laboratuvar ölçüm sistemi ve akü bağlantısı verilmiştir.

**Çizelge 4.3:** Deneylerde kullanılan akünün teknik özellikleri.

<b>Nominal Gerilim</b>	12 V
<b>Kapasite</b>	100 Ah (25°C )
<b>Toplam Yükseklik (Bağlantılarıyla beraber)</b>	264 mm
<b>Yükseklik</b>	263 mm
<b>Uzunluk</b>	520 mm
<b>Genişlik</b>	108 mm
<b>Ağırlık</b>	Yaklaşık 39 kg



**Şekil 4.4:** Laboratuvar ölçüm sistemi ve akü bağlantısı.

### 4.1.3 Şarj kontrol cihazı seçimi

Uygulamada kullanılan şarj kontrol cihazı Şekil 4.5'te görüldüğü gibi MPPT15 özellikli, panel-yük-akü girişlerine sahip bir cihaz olup teknik özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4: Şarj kontrol cihazının teknik özellikleri.

<b>Model</b>	WS-MPPT15
<b>Anma Gerilimi</b>	12V / 24V / 48V
<b>Max Yük akımı</b>	10A
<b>Giriş gerilim aralığı</b>	12V ~ 20V / 24V ~ 40V / 48V ~ 80V
<b>Uzunluk <math>\leq</math> 1m Şarj döngü damla</b>	0.25V
<b>Uzunluk <math>\leq</math> 1m Deşarj döngü damla</b>	0.05V
<b>Voltaj koruması</b>	17V / 34V / 68V
<b>Tam şarj kesme</b>	13.7V / 27.4V / 54.8V
<b>Alçak gerilim kesme</b>	10.5V ~ 11V / 21V ~ 22V / 42V ~ 43V
<b>Sıcaklık kompanzasyonu</b>	-3mV / ° C / hücre
<b>Yüksüz kaybı</b>	$\leq$ 10mA
<b>Max tel alanı</b>	2,5 mm <sup>2</sup>
<b>Ortam sıcaklığı</b>	- 25 ° C ---- +55 ° C

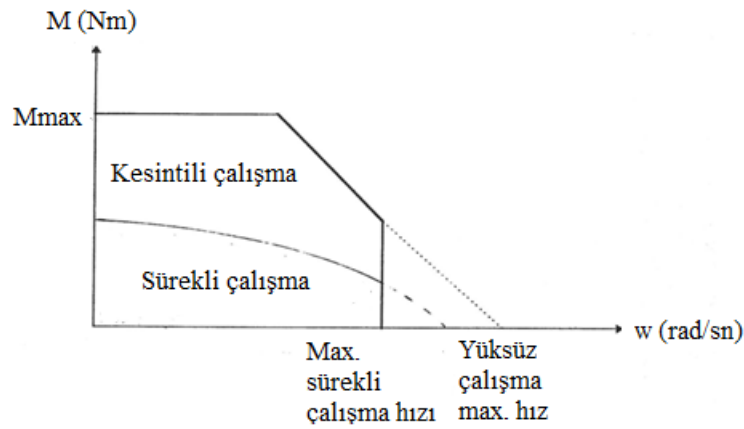


Şekil 4.5: Şarj kontrol cihazı.



#### 4.1.4 Pompa seçimi

Bu uygulamada, doğru gerilimle (DC) çalışan akupleli, kuru tip pompa seçilmiştir. Kullanılan pompanın motoru sabit miktanslı bir DC motor olup akı üretimi için sargı yerine sürekli mıknatıs malzeme kullanımı ile elde edilen makineler grubuna dâhildir. Bu tür motorların moment-hız karakteristikleri incelendiğinde Şekil 4.6'dan da görüleceği gibi hız arttıkça moment azalır. Bunun sebebi artan hız ile rotor manyetik kayıplarının da çoğalmasındır. Hız artışı gerilim ayarı ile yapılabilir. Gerilim ayarı eğrinin kesikli çalışma bölgesine yükselmesine neden olur.



Şekil 4.6: Sabit miktanslı DC motorun moment-hız karakteristiği.

Pompa, kendi içerisinde termal korumalı olup aşırı ısınmalara karşı pompanın devre dışı kalmasını sağlayan mekanizmaya sahiptir. Şekil 4.7'de pompa bağlantısı ve su deposu verilmiştir. Pompanın teknik özellikleri Çizelge 4.5'te görülmektedir. Pompa olası bir sıvı kaybı durumunda kuru çalışma özelliğine de sahip olduğundan susuz çalışmada hasar görmemektedir.

Çizelge 4.5: DC pompanın teknik özellikleri.

<b>Nominal Gerilim(V)</b>	12
<b>Debi(lt/dk)</b>	12.5
<b>Basınç(bar)</b>	2.4
<b>Nominal Akım(A)</b>	4.0
<b>Mak.Akım(A)</b>	8.0
<b>Motor Tipi</b>	Sabit Miktanlı DC Motor
<b>Koruma</b>	Termal Korumalı

Seçilen pompanın nominal çalışma akımı 4.0 amper (A) olup maksimum çalışma akımı ise 8.0 amper (A) değerindedir. Bu sebeple, motora zarar vermemek için, en iyi meteorolojik koşullarda bile 8.0 amper değerinin üzerinde akım üretmeyecek şekilde paneller boyutlandırılmıştır.



**Şekil 4.7:** Su deposu ve pompa bağlantısı.

#### 4.1.5 Diğer Ekipmanlar

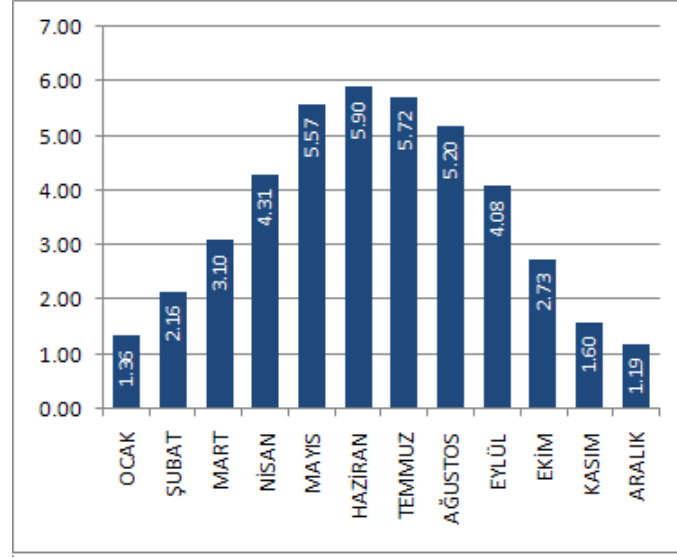
Kurulan sistemde, pompanın bastığı suyun miktarını ölçmek için çok huzmeli, kuru tip, litre hassasiyetinde ölçüm yapan, soğuk su sayacı kullanılmıştır.

Bunun yanı sıra, akünün şarj ve deşarj gerilimini ölçmek için voltmetre, yine akünün şarj ve deşarj akımını ölçmek için ampermetre kullanılmıştır. Ayrıca sistemin akım-gerilim değerlerini kaydetmek için 2 adet bilgisayar ölçüm sistemine bağlanarak verilerin gün içerisinde sürekli bir şekilde toplanması sağlanmıştır.

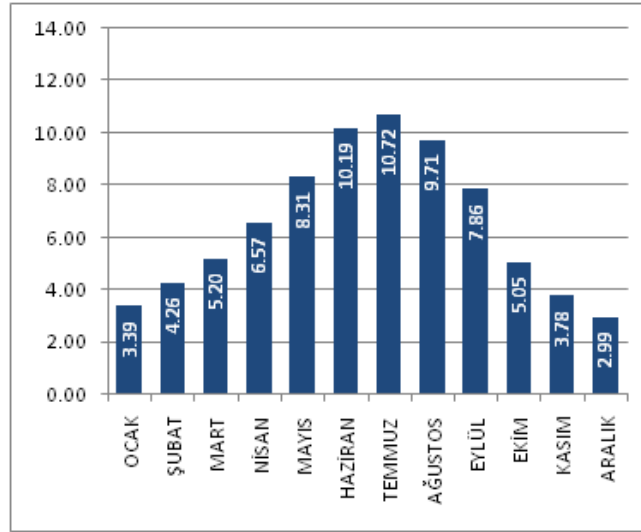
#### 4.2 Yöntem ve Uygulama

Bu çalışmada, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Enerji Enstitüsü binası çatısında bulunan 2 adet sabit açılı, mono kristal silisyum güneş panellerinden birinin doğrudan bir DC pompaya; diğerinin ise şarj kontrol cihazı üzerinden aküye ve akünün aynı DC pompaya bağlanması suretiyle fotovoltaik sistemlerin akülü ve direkt bağlantı yoluyla karşılaştırılması ve sistemlerden elde edilen güç değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İTÜ-Enerji Enstitüsü binası lokasyon olarak İstanbul ili

Sarıyer ilçesi Maslak semtinde bulunmaktadır ve bölgeye ait güneşlenme değerleri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

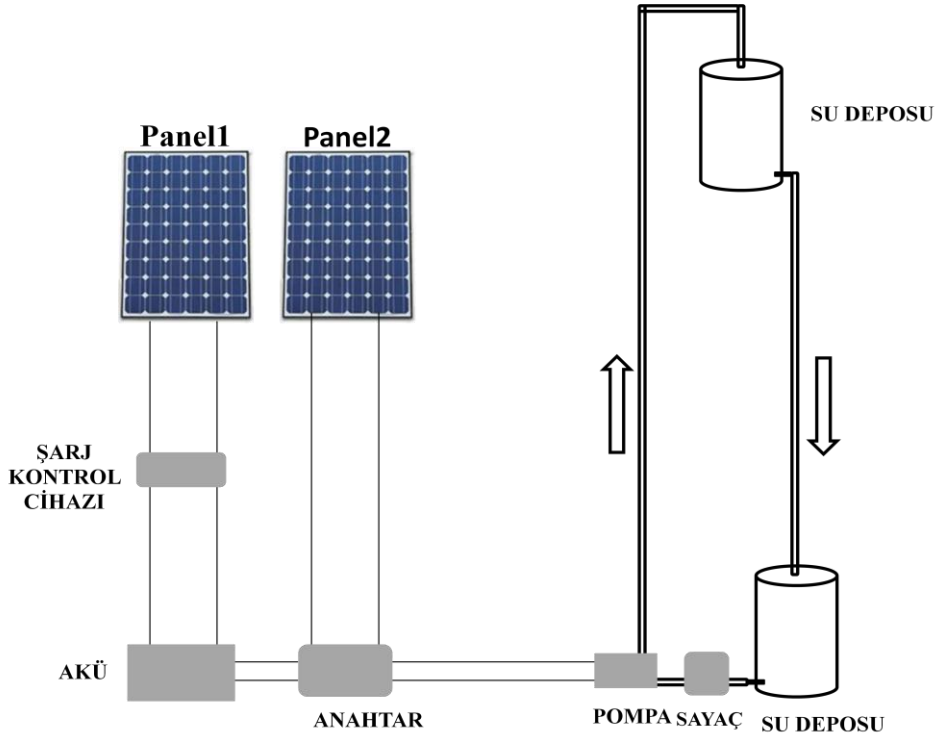


Şekil 4.8: Sarıyer global radyasyon değerleri (kWh/m<sup>2</sup>-gün).



Şekil 4.9: Sarıyer güneşlenme süreleri (Sa).

Kurulan deney sisteminin şematik görünümü Şekil 4.10’da verilmiştir. Sistem, çatıda bulunan iki adet güneş paneli ve su deposu; laboratuarda bulunan ölçüm cihazları, bilgisayarlar, akü ve şarj kontrol cihazı; zeminde bulunan pompa, su deposu ve sayaçtan meydana gelmektedir. Zeminden çatıya kadar pompalanan suyun yüksekliği 9 metredir.



**Şekil 4.10:** Deney sistemin şematik görünümü.

Panellerden biri direkt olarak pompaya bağlı olup gün içerisinde panelin ürettiği akım yaklaşık 4.0 Amper değerinin üzerine çıktığında direkt olarak su pompalamaya başlamaktadır. Akım değeri 4.0 Amper'in altına düştüğünde ise panel tarafından üretilen akım motorun su pompalamasına yetmediği için motor üzerinde ısıya dönüşmektedir. Denklem 3.4'te verilen verim sadece güneş hücresine ait kayıp mekanizmalarını içermektedir. Bu kayıplara ek olarak panel kayıpları, kablo kayıpları, borulardaki basınç düşümü nedeniyle oluşan kayıplar, motor kayıpları, akü kayıpları ve şarj kontrol cihazının tükettiği enerji kayıpları da dikkate alınmalıdır. Akülü sisteme bağlı panel tarafından üretilen akım 4.0 Amper'in altında da olsa üretilen enerji akü tarafından depolanmaktadır. Direkt sistemde akım değerinin 4.0 Amper'in altına düştüğü tüm değerler kayıp olacağından akülü sistemin direkt su pompalayan sisteme göre daha fazla su pompalayacağı beklenen bir sonuçtur. Ancak, farklı meteorolojik şartlarda her iki sistem tarafından pompalanan su miktarları arasındaki ilişki bu tezin amacını oluşturmaktadır. Birinci panel ile özdeş olan ikinci panelin şarj ettiği akü ise kablo, pompa, basınç kayıplarının da özdeş olması istendiğinden ertesi gün aynı pompa, hortum ve kablo sistemi kullanılarak deşarj edilmektedir. Akü deşarjının ertesi gün yapılmasının nedeni özellikle açık günlerde uzun süre şarj olan akünün deşarjının da uzun sürmesidir. Böylece, aynı gün her iki

panelde üretilen eşit miktardaki enerjiyle farklı sistemler kullanılarak ne kadar su pompalanabildiği karşılaştırılabilmektedir.

### **4.3 Deney Sonuçları ve Bulgular**

Deneyle, Ekim ve Kasım ayları içerisinde toplamda 17 farklı gün için alınmıştır. Ekim ayının 1, 3, 7, 9, 11, 18, 20, 22, 29 ve 31. günlerinde deney sistemi çalıştırılıp gözlemlenmiş ve günlük toplam basılan su miktarı, şarj akım ve gerilim değerleri ölçüm elemanları sayesinde kayıt altına alınmıştır. Bu deney günlerinde panellerden biri direkt bağlantı yoluyla pompayı çalıştırırken diğer panel akünün şarj edilmesini sağlamıştır. Şarj edilen aküler, ertesi gün pompaya bağlanıp sistemin akü üzerinden çalıştırılması gözlemlenmiş ve toplam pompalanan su miktarı kayıt edilmiştir.

Deneyle, Kasım ayı içerisinde de devam etmiş olup Kasım ayının 7, 11, 13, 18, 20, 25 ve 30. günlerinde sistem Ekim ayındakine benzer şekilde çalıştırılarak gerekli ölçümler yapıp basılan toplam su miktarı, akım ve gerilim değerleri kayıt altına alınmıştır. Yine şarj edilen aküler bir sonraki gün pompaya bağlanıp sistemin çalıştırılması ve basılan su miktarının hesaplanması sağlanmıştır.

Ekim ve Kasım ayları içerisinde belirlenen günlerde yapılan deneyle sonucunda elde edilen akım verilerinden hareketle akülere ait şarj ve deşarj kapasiteleri hesaplanmış, gerilim değerleriyle akım değerlerinin çarpılması sonucu enerji değerleri elde edilmiştir. Çizelge 4.6'da tüm günlere ait bu değerler verilmiştir.

**Çizelge 4.6:** Akünün kapasite ve enerji değerleri ile her sistem tarafından pompalanan su miktarları.

Tarih	Kapasite (Amper Saat)		Enerji (Watt Saat)		Pompalanan Su Miktarı (litre)	
	Şarj	Deşarj	Şarj	Deşarj	Akülü Sistem	Direkt Sistem
01.10.2013	9,60	9,07	113,46	102,47	680	80
03.10.2013	15,44	13,78	185,26	156,12	912	479
07.10.2013	37,53	34,48	462,79	399,33	2547	1945
09.10.2013	43,67	41,52	540,94	483,15	3093	2594
11.10.2013	39,59	38,07	487,24	442,44	2912	2325
18.10.2013	4,66	5,58	54,57	62,56	417	0
20.10.2013	44,65	39,45	553,45	457,22	2941	2720
22.10.2013	39,51	37,64	487,54	435,98	2830	2440
29.10.2013	33,70	30,98	413,27	358,31	2328	2049
31.10.2013	5,07	6,03	59,74	68,39	781	16
07.11.2013	14,59	13,15	174,38	148,86	967	534
11.11.2013	28,87	24,87	352,22	286,56	2023	1466
13.11.2013	3,98	4,01	48,4	45,26	301	0
18.11.2013	38,11	31,10	470,79	360,77	2596	2343
20.11.2013	19,83	18,57	239,46	213,50	1400	480
25.11.2013	5,07	6,03	59,74	68,39	437	0
30.11.2013	35,06	27,63	433,25	319,30	2062	1873

Çizelge 4.6'dan da anlaşılacağı gibi 18 Ekim, 13 Kasım ve 25 Kasım tarihlerinde panellerden yeterli enerji gelmemesinden dolayı direkt bağlı sistemde pompa çalışmamış ve herhangi bir su akışı gerçekleşmemiştir. Panellerden elde edilen akım 4.0 A'in altında olduğundan bu enerji sadece motor üzerinden ısıya dönüşmüştür. Ancak akülü sistemde bu enerji akünün şarj edilmesini sağlamıştır ve diğer günlere oranla az da olsa bir su pompalaması sağlanmıştır.

Elde edilen veriler doğrultusunda, direkt bağlı sistem ve akülü sistemlerin birim enerji başına pompalanan su miktarları karşılaştırmaları ve bu sistemlerin verim oranları hesaplanarak Çizelge 4.7'de tablo halinde sunulmuştur.

**Çizelge 4.7:** Direkt ve akülü sistemin birim enerji başına pompaladıkları su ve verim karşılaştırması.

Tarih	Pompalanan Su Miktarı (litre)		Birim Enerji Başına Pompalanan Su miktarı (lt/Wh)		Verim (%) ( $\mu$ )	
	Direkt Sistem	Akülü Sistem	Direkt Sistem ( $\gamma_0$ )	Akülü Sistem ( $\gamma_1$ )	Direkt Sistem ( $\mu_0$ )	Akülü Sistem ( $\mu_1$ )
01.10.2013	80	680	0,705	5,993	1,73	14,68
03.10.2013	479	912	2,585	4,922	6,33	12,06
07.10.2013	1945	2547	4,202	5,503	10,30	13,48
09.10.2013	2594	3093	4,795	5,717	11,75	14,01
11.10.2013	2325	2912	4,771	5,976	11,69	14,64
18.10.2013	0	417	0	7,641	0,00	18,72
20.10.2013	2720	2941	4,914	5,313	12,04	13,02
22.10.2013	2440	2830	5,004	5,804	12,26	14,22
29.10.2013	2049	2328	4,958	5,633	12,15	13,80
31.10.2013	16	781	0,267	13,073	0,66	32,03
07.11.2013	534	967	3,062	5,545	7,50	13,59
11.11.2013	1466	2023	4,162	5,743	10,20	14,07
13.11.2013	0	301	0	6,219	0,00	15,24
18.11.2013	2343	2596	4,976	5,514	12,19	13,51
20.11.2013	480	1400	2,004	5,846	4,91	14,32
25.11.2013	0	437	0	7,315	0,00	17,92
30.11.2013	1873	2062	4,323	4,759	10,59	11,66

Buna göre; birim enerji başına pompalanan su miktarı, denklem 4.1’de belirtilen şekilde formülize edilerek gün içerisinde pompalanan metreküp biriminden su miktarının günlük üretilen enerjiye bölünmesiyle elde edilmiştir. Bu hesap iki sistem için ayrı ayrı hesaplanmış ve su terfi yüksekliği olan 9 metreye göre baz alınmıştır.

$$\gamma = \frac{Q_w [m^3]}{E_c [Wh]} \quad (4.1)$$

Burada,  $\gamma$  birim enerji başına pompalanan su miktarını,  $Q_w$  gün içerisinde pompalanan toplam su miktarını ( $m^3$ );  $E_c$  gün içerisinde panellerden üretilen enerji miktarı (Wh) göstermektedir. Çizelge 4.7’de yer alan  $\gamma_0$  ve  $\mu_0$  değerleri panele direkt bağlı sisteme,  $\gamma_1$  ve  $\mu_1$  ise panele akü üzerinden bağlı sisteme ait özellikleri göstermektedir.

Verim hesabında ise denklem 4.2’deki formülasyon uygulanarak, pompalanan suyun hidrolik enerjisinin ( $E_{hidrolik}$ ) yine günlük üretilen enerjiye ( $E_c$ ) bölünmesi ile verim

hesabı sağlanmıştır. Burada  $E_{\text{hidrolik}}$  değeri hesaplanırken bulunan sonuç joule cinsinden olacağından joule-Wh dönüşümü yapılmıştır.

$$\eta = \frac{d \times Q_w \times g \times h}{E_c} \quad (4.2)$$

Burada,  $\mu$  verim;  $d$  suyun yoğunluğunu ( $1000 \text{ kg/m}^3$ );  $Q_w$  pompalanan su miktarını;  $g$  yerçekimi ivmesini ( $9,8 \text{ m/s}^2$ );  $h$  terfi yüksekliğini (9 metre) ve  $E_c$  gün içerisinde panellerden üretilen enerji miktarını (Wh) göstermektedir.

#### **4.3.1 Üç farklı durum için sistemlerin karşılaştırılması**

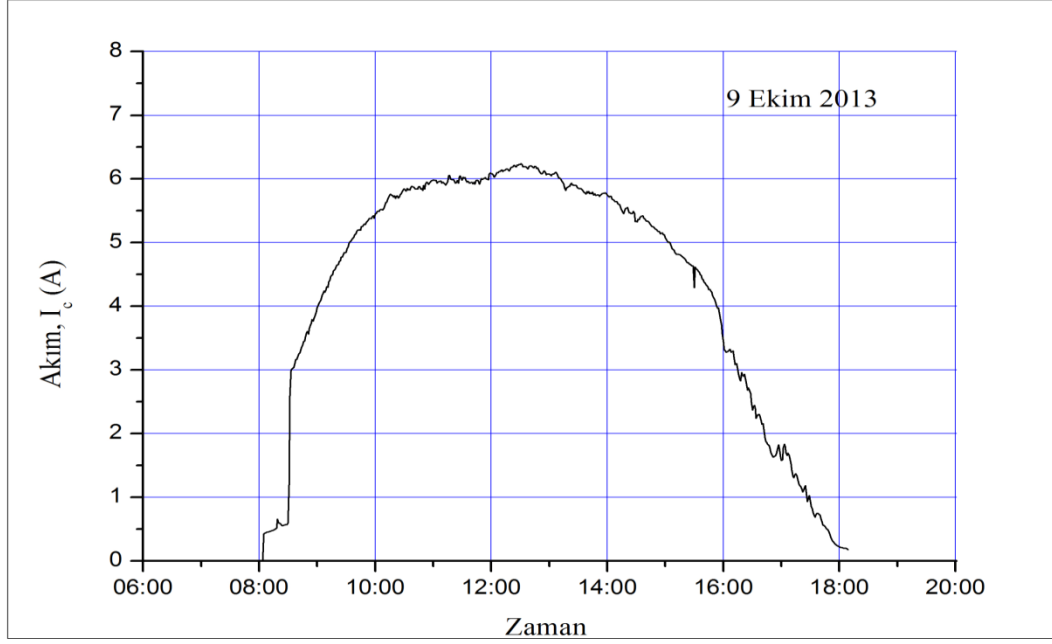
Ekim ve Kasım aylarında 17 güne ait kapasite, enerji ve pompalanan su miktarlarına ait veriler Çizelge 4.6'da, her bir sistemin üretilen birim enerji başına pompalayabildiği su miktarları ve verim hesapları Çizelge 4.7'de verilmiş olmakla beraber, gün içerisinde değişimlerin daha ayrıntılı incelenebilmesi için pompalanan su miktarlarının çok, ortalama ve az değerler aldığı üç güne ait grafikler çizilmiştir.

Yapılan deneylerde 9 Ekim 2013 tarihi havanın açık olduğu, 11 Kasım 2013 tarihi havanın parçalı bulutlu olduğu ve 13 Kasım 2013 tarihi de havanın kapalı olduğu örnekler olarak seçilmiş ve bu günlerde şarj akımı, şarj gerilimi, kapasite, anlık güç ve enerjinin zamanla değişimleri, akü geriliminin kapasite ile değişimleri hem şarj hem de deşarj durumları için ayrı ayrı incelenmiştir.

##### **4.3.1.1 9 Ekim 2013 tarihinde alınan verilerin incelenmesi**

9 Ekim 2013 tarihi havanın açık olduğu günler arasından seçilmiş ve şarj verileri kullanılarak üretilen grafikler Şekil 4.11-Şekil 4.16'da verilmiştir.

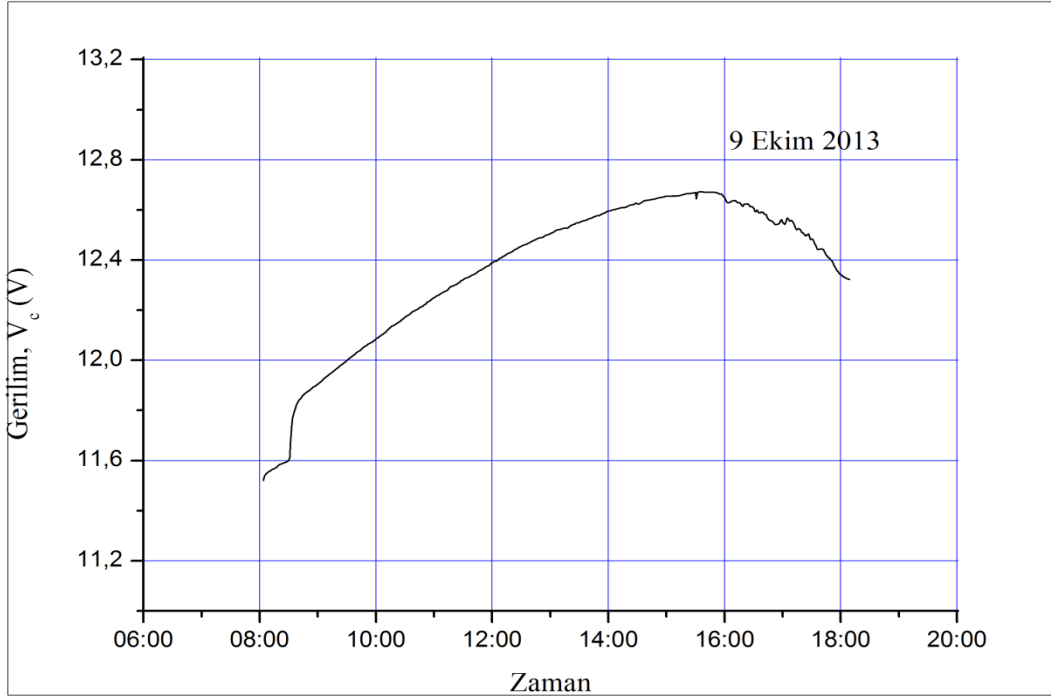




**Şekil 4.11:** 9 Ekim 2013 tarihinde şarj akımının zamanla değişimi.

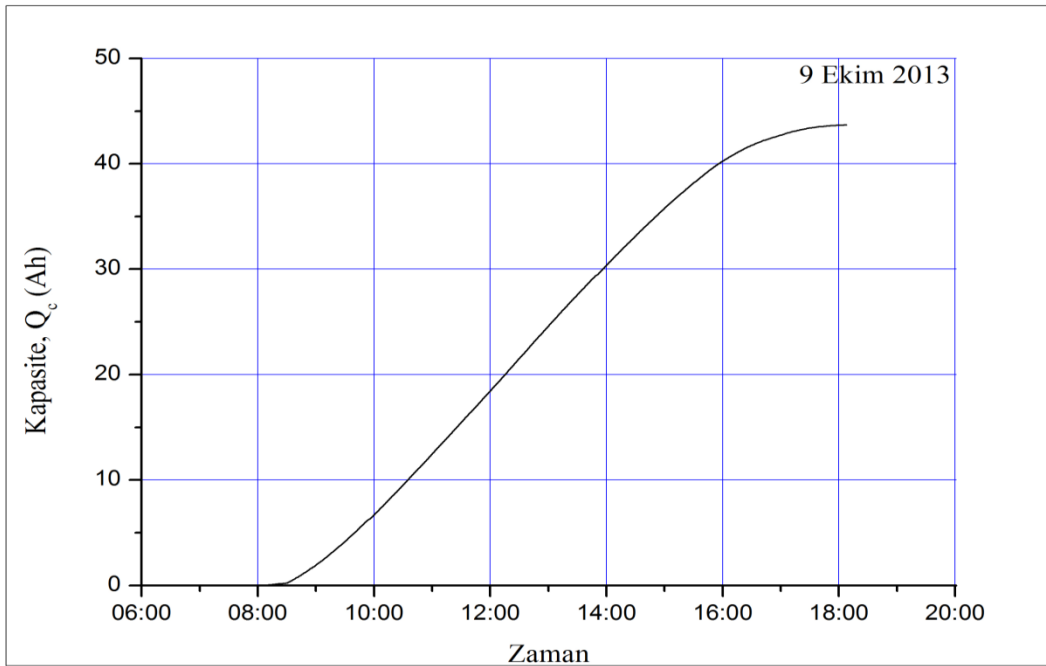
Akım ve voltaj değerleri ölçüm aletlerine bağlı iki adet bilgisayar tarafından anlık olarak ölçülmekte ve birer dakikalık veriler kayıt edilmektedir. Hesaplamalarda hem akım hem de gerilim değerleri için bir dakikalık verilerin ortalamaları kullanılmıştır. Akşam gün batımından sonra şarj akımı genellikle 0.2 amper değerinin altına indiğinde sistem kapatılmıştır. 9 Ekim 2013 tarihinde elde edilen maksimum şarj akımı yaklaşık 6.3 amper değerinde, akünün maksimum gerilimi ise Şekil 4.12’de görüldüğü gibi yaklaşık 12.7 volt değerine ulaşmıştır. Şarj akımı azaldığında veya şarj kesildiğinde akü voltajı azalarak bir değere oturmaktadır, bu beklenen bir sonuçtur.

Şekil 4.11 incelendiğinde sistemler açıldıktan sonra saat 08:00 ile 08:30 arasında kısa süreli bir bulutlanma yaşandığı daha sonra ise gökyüzünün gün boyu açık olduğu anlaşılmaktadır. Grafikteki ufak salınımlar ise, gökyüzü her ne kadar açık görünse de, panellere gelen radyasyonun, kirlilik, nem vb. atmosferin geçirgenliğini etkileyen faktörler nedeniyle saçılması ve şiddetinin değişmesine bağlıdır.



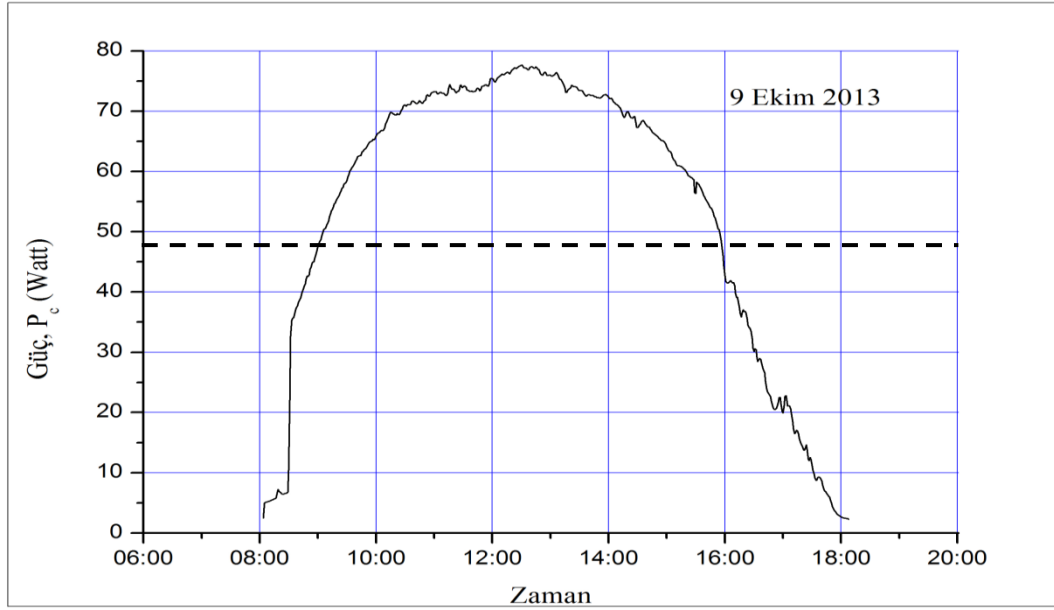
**Şekil 4.12:** 9 Ekim 2013 tarihinde şarj geriliminin zamanla değişimi.

Sisteme ait kapasite (Ah) -zaman grafiği ise Şekil 4.13'te verilmiştir. 9 Ekim 2013 tarihinde havanın açık olması enerji üretimini arttırmış ve aküde 43,67 Ah kapasitenin elde edilmesi sağlanmıştır.



**Şekil 4.13:** 9 Ekim 2013 tarihinde akü kapasitesinin şarj sırasında zamanla değişimi.

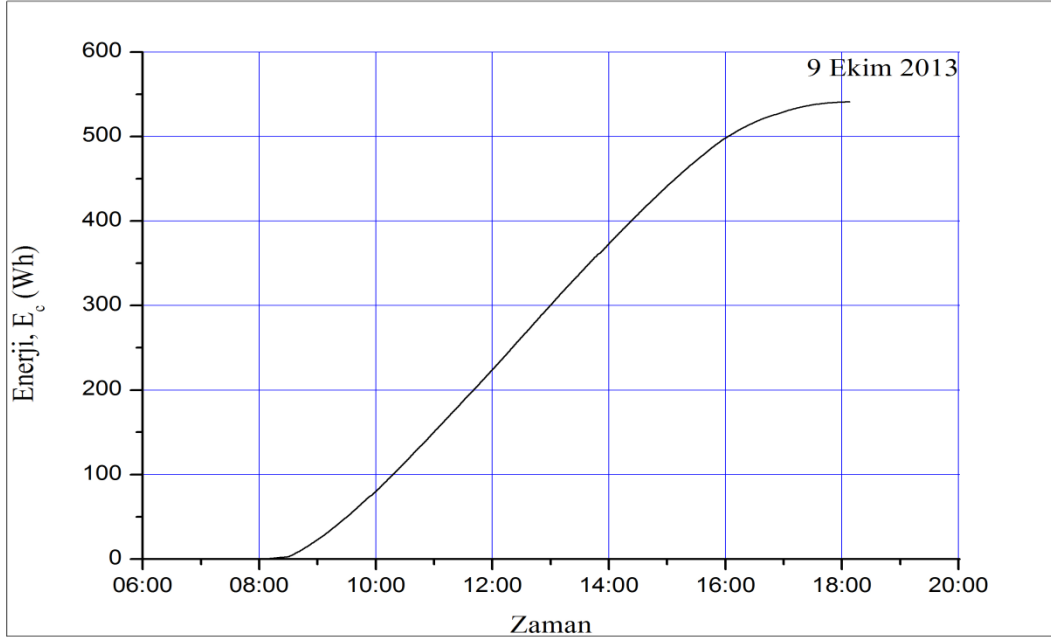
Şekil 4.14'te verilen grafikte ise ölçülen gerilim ve akım değerlerinin çarpılması sonucu elde edilen güç değerinin zamanla değişimi görülmektedir. Direkt sistemde kullanılan pompanın nominal akım ve gerilim değerleri 4 amper ve 12 volt olduğundan pompa 48 watt gücündedir. Pompanın günün hangi saatinde çalışabilecek gücü sağlayabildiği Şekil 4.14 yardımıyla görülebilir. Direkt sisteme bağlı olan pompa 48 watt'ın altındaki değerlerde su pompalayamamaktadır.



**Şekil 4.14:** 9 Ekim 2013 tarihinde gücün şarj sırasında zamanla değişimi.

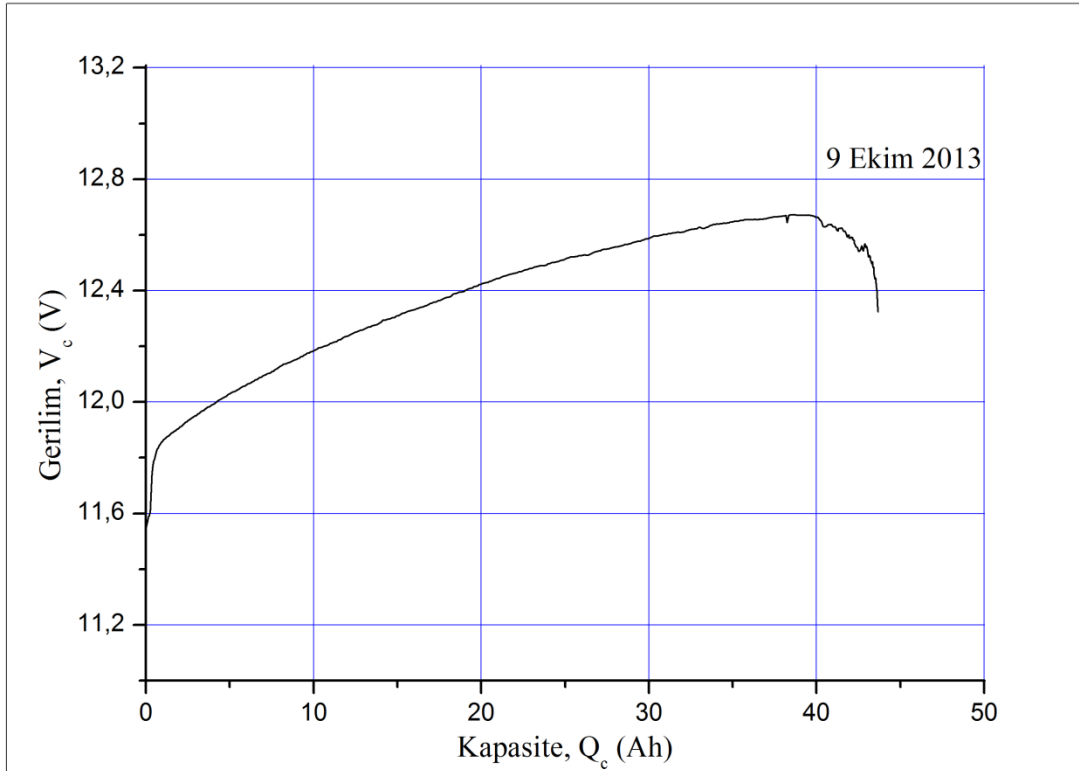
Şekil 4.15'te görüldüğü gibi 9 Ekim 2013 tarihinde her bir güneş paneli tarafından yaklaşık 541 Wh enerji üretilmiştir.

Şekil 4.14'te verilen kesikli çizgi gücün 48 watt olduğu değeri göstermektedir ( $12 V \times 4 A = 48 \text{ watt}$ ). Havanın açık olduğu 9 Ekim 2013 günü, panel tarafından pompaya su pompalamak için gerekli enerjinin yaklaşık saat 09:00 ve 16:00 saatleri arasında kesintisiz olarak sağlandığı görülmektedir.



**Şekil 4.15:** 9 Ekim 2013 tarihinde şarj sırasında üretilen enerjinin zamanla değişimi.

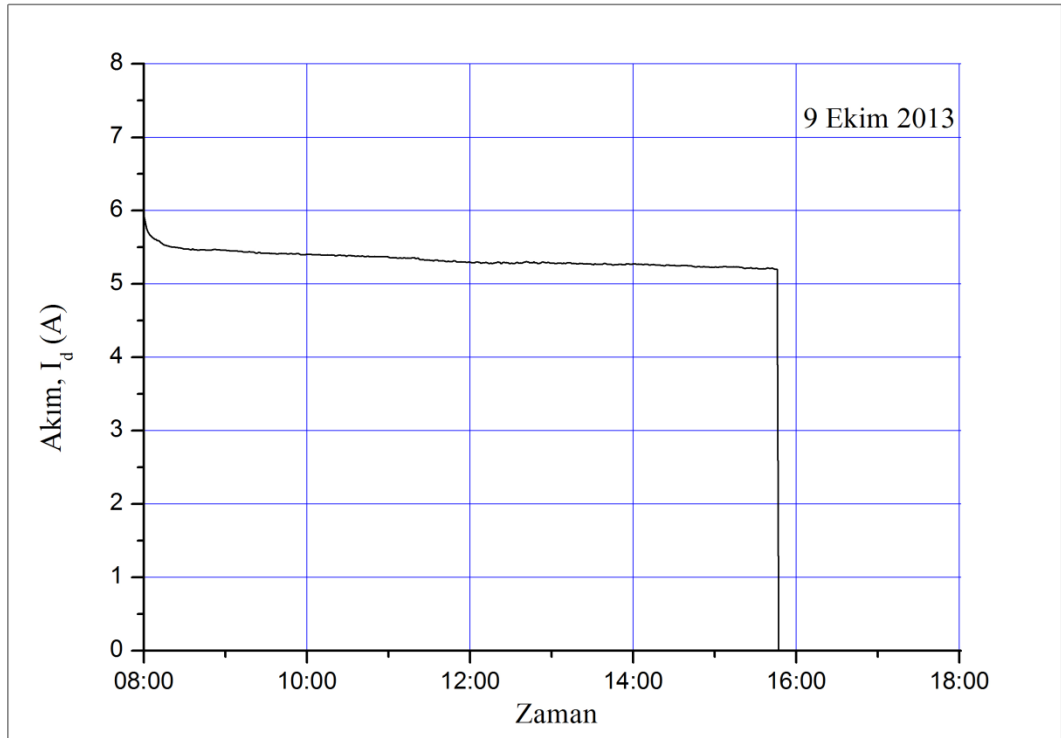
Son olarak, Şekil 4.16’da yine şarj durumu için, gerilim-kapasite ilişkisini gösteren grafik çizilerek sistemin amper-saat kapasitesinin gerilimle ilişkisi gösterilmiştir.



**Şekil 4.16:** 9 Ekim 2013 tarihinde akü geriliminin şarj sırasında kapasite ile değişimi.

Yukarıda verilen grafikler direkt sisteme bağlı güneş paneli tarafından üretilen enerji ile su pompalanması esnasında diğer güneş paneli tarafından üretilen enerjinin akü tarafından depolanmasına ait verileri içermektedir. Tüm gün boyunca aküde depolanan enerji ertesi gün aynı sistem kullanılarak pompa üzerinden deşarj edilmektedir. Havanın açık olduğu günlerde şarj süresi uzun sürdüğü için deşarj süresi de uzun sürmektedir. Bu sebeple deşarj ile ilgili deneyler ancak ertesi gün yapılabilmektedir. Deşarj sırasında da akım ve voltaj değerleri yardımıyla ilgili büyüklükler hesaplanmış ve 9 Ekim 2013 tarihine ait veriler Şekil 4.17-Şekil 4.22’de verilmiştir.

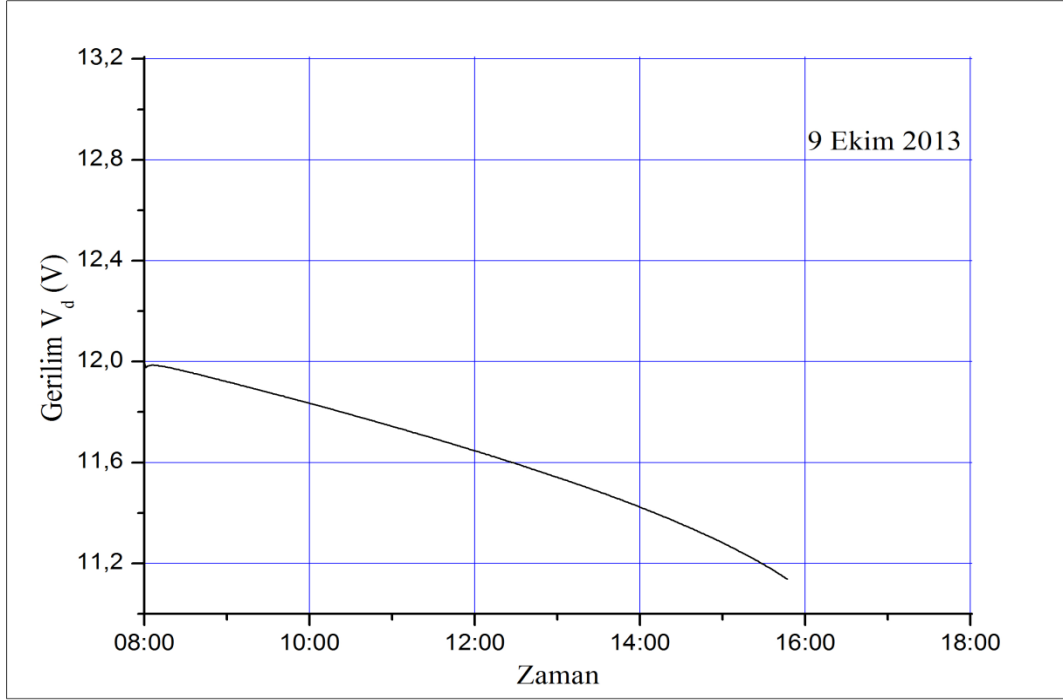
Şekil 4.17’de deşarj sırasında akımın zamanla değişimi verilmiştir. Akü voltajı azaldıkça pompanın aküden çektiği akımda yavaş bir şekilde azalmaktadır. Akü gerilimi 11.139 V olduğunda akü kontrol cihazı tarafından akım kesilmekte ve akünün daha fazla deşarj olması engellenmektedir. Deşarj akımının her bir deney için şarj kontrol cihazı tarafından aynı voltaj değerinde kesildiği unutulmamalıdır.



Şekil 4.17: 9 Ekim 2013 tarihinde deşarj akımının zamanla değişimi.

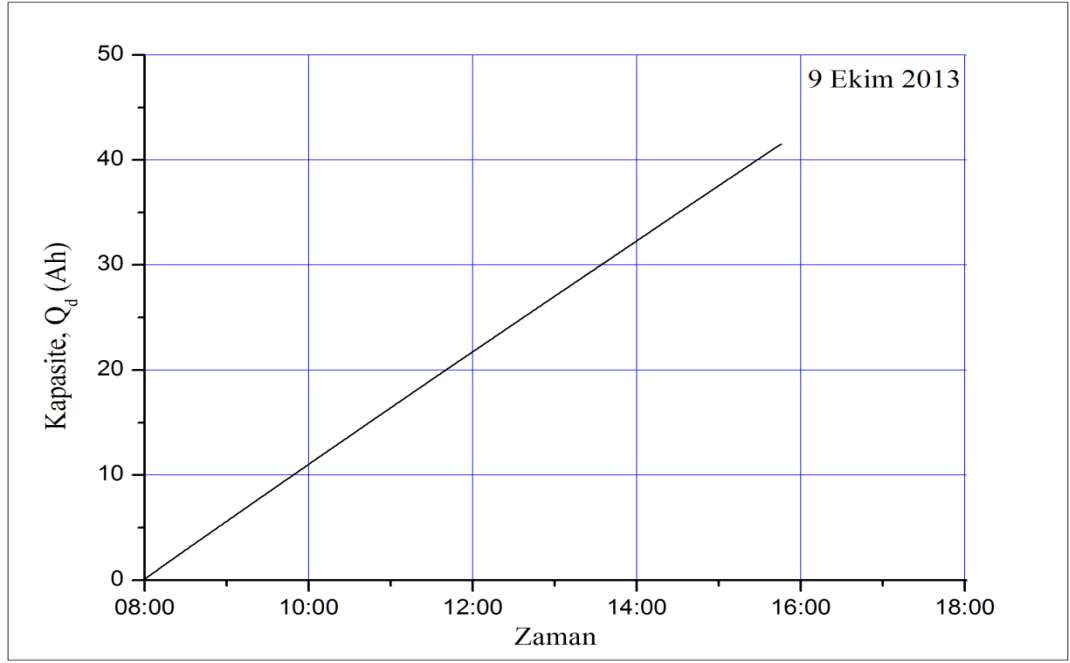
Şekil 4.18’de verilen grafik ise, deşarj edilen akünün gerilim-zaman ilişkisini göstermektedir. Motorun enerji tüketimi yaklaşık sabit olduğundan akü gerilim

düşümünün yaklaşık lineer olduğu görülmektedir. Akü şarj kontrol cihazının sistemde olmaması durumunda belirli bir gerilim değerinden sonra akü geriliminin daha hızlı düşeceği bilinmektedir.



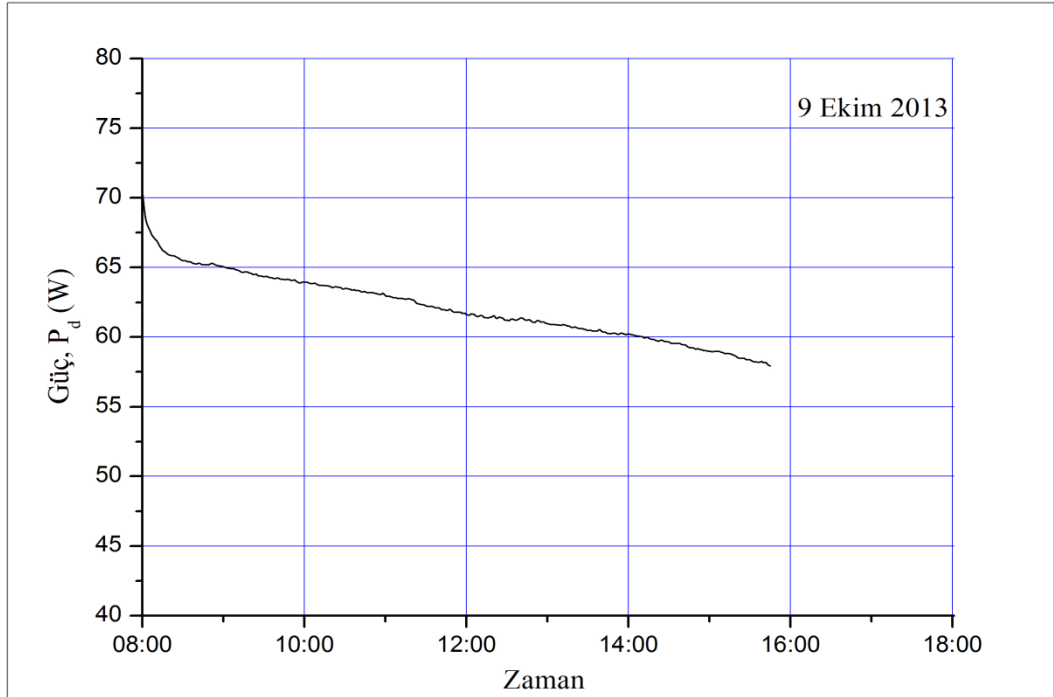
**Şekil 4.18:** 9 Ekim 2013 tarihinde deşarj geriliminin zamanla değişimi.

Şekil 4.19’da deşarj sırasında kapasitenin zamanla değişimi görülmektedir. Motorun çektiği akım yaklaşık sabit olduğundan deşarj esnasında aküden çekilen kapasite lineer değişim göstermektedir.



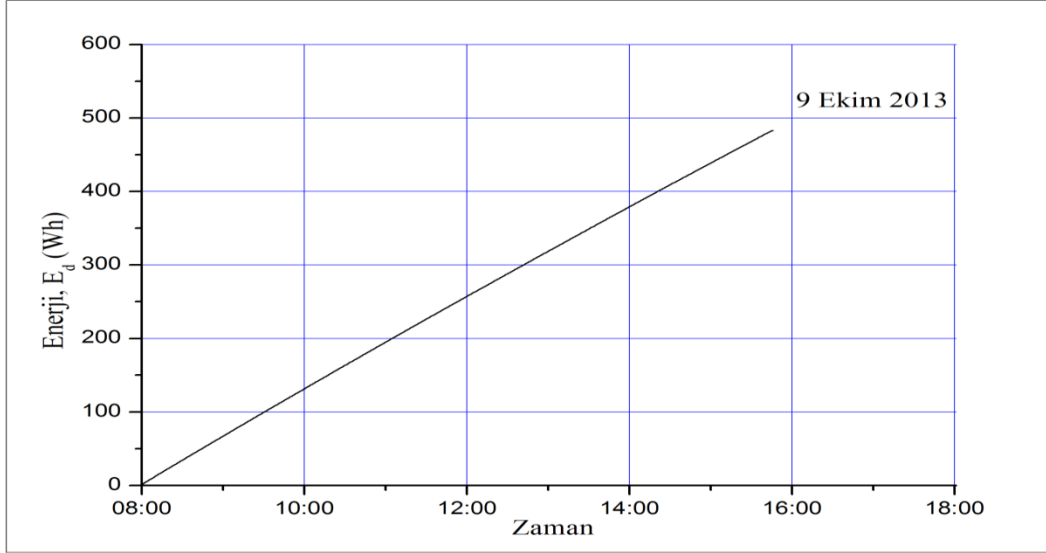
**Şekil 4.19:** 9 Ekim 2013 tarihinde akü kapasitesinin deşarj sırasında zamanla değişimi.

Şekil 4.20’de, gerilim ve akım değerleri sonucu elde edilen güç değerinin değişim grafiği verilmiştir. Görüldüğü gibi sistemin deşarj süresinde çektiğı güç gün içerisinde yaklaşık 70 watt ile 55 watt arasındadır.



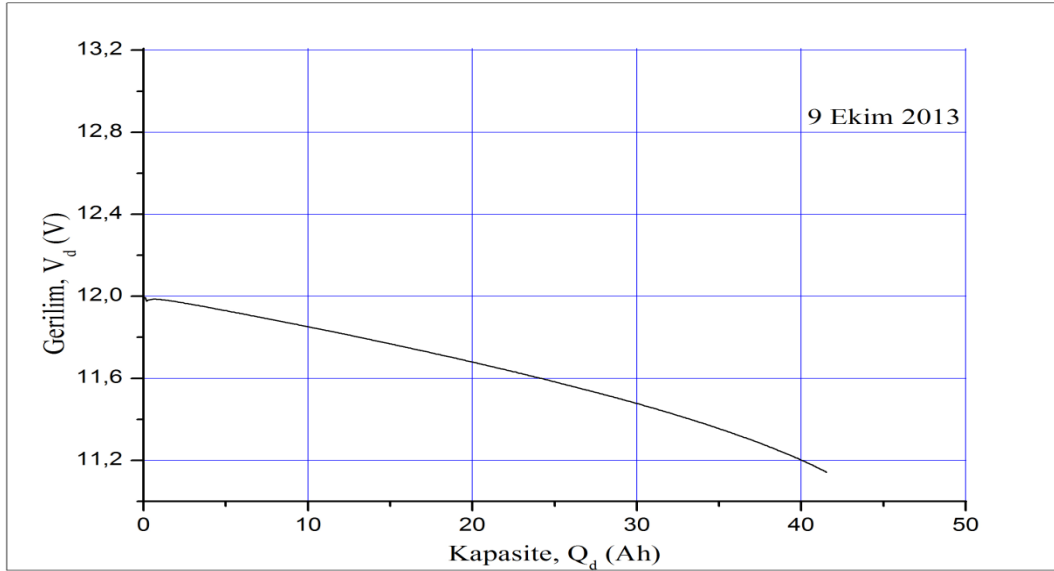
**Şekil 4.20:** 9 Ekim 2013 tarihinde gücün deşarj sırasında zamanla değişimi.

Hesaplanan son veri ise şarj durumunda olduğu gibi enerji değeridir. Güç değerinin zamanla çarpılması sonucu elde edilen enerjinin değişim durumu Şekil 4.21’de verilmiştir.



**Şekil 4.21:** 9 Ekim 2013 tarihinde deşarj sırasında tüketilen enerjinin zamanla değişimi.

Gerilim ve kapasite oranı Şekil 4.22’de gösterilerek deşarj durumundaki gerilim değişmelerinin seyrini göstermektedir.



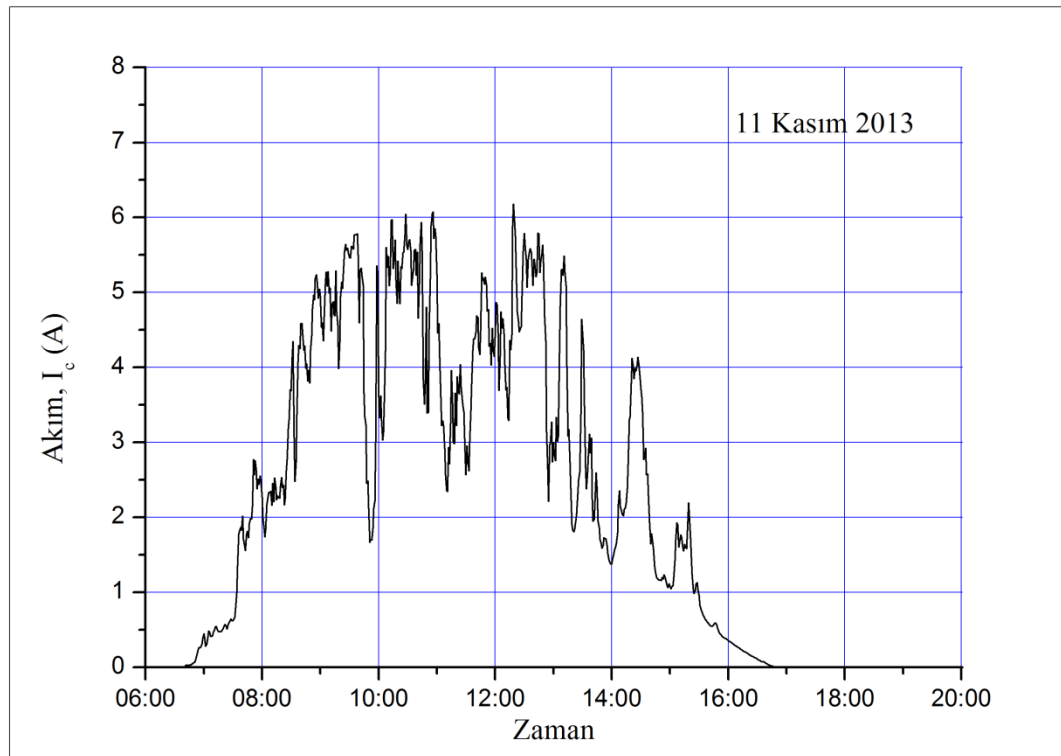
**Şekil 4.22:** 9 Ekim 2013 tarihinde akü geriliminin deşarj sırasında kapasite ile değişimi.



Grafikleri yukarıda verilen 9 Ekim 2013 tarihine ait ölçümler bulutlanma etkisinin çok az olduğu, açık havada alınan ölçümler olup ölçüm yapılan günler arasında su pompalama etkinliğinin en fazla olduğu günlerden biridir.

#### 4.3.1.2 11 Kasım 2013 tarihinde alınan verilerin incelenmesi

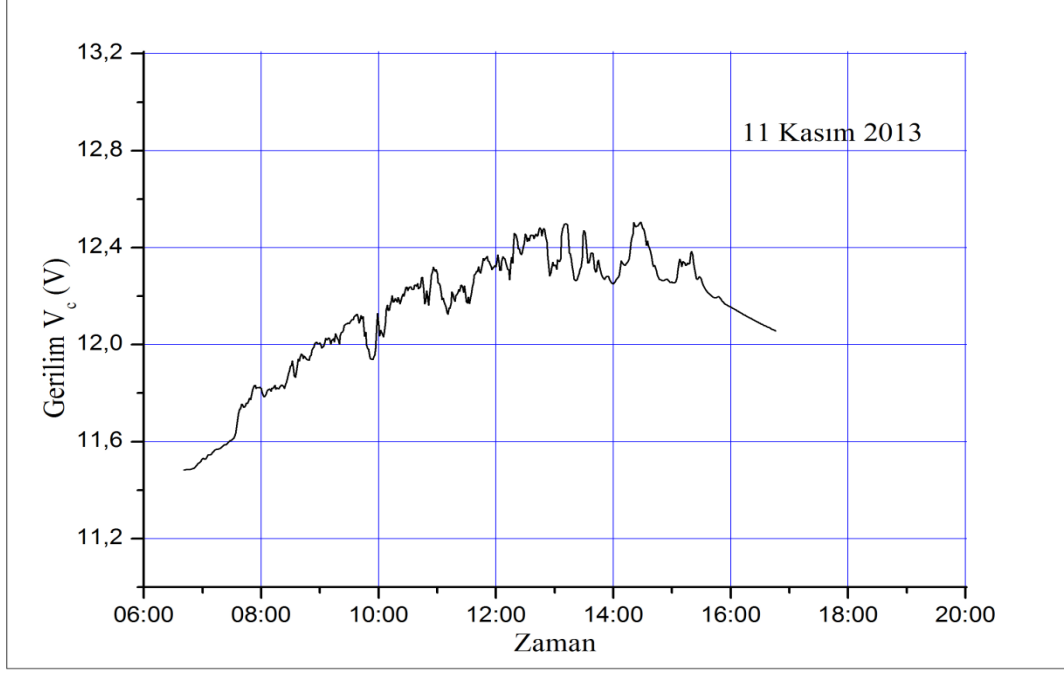
11 Kasım 2013 tarihi havanın yarı açık olduğu günler arasından seçilmiş olup şarj verileri kullanılarak üretilen gerilim, kapasite, güç ve enerjinin zamanla değişimleri ile akü geriliminin kapasite ile değişimi Şekil 4.23 – Şekil 4.28’de verilmiştir.



**Şekil 4.23:** 11 Kasım 2013 tarihinde şarj akımının zamanla değişimi.

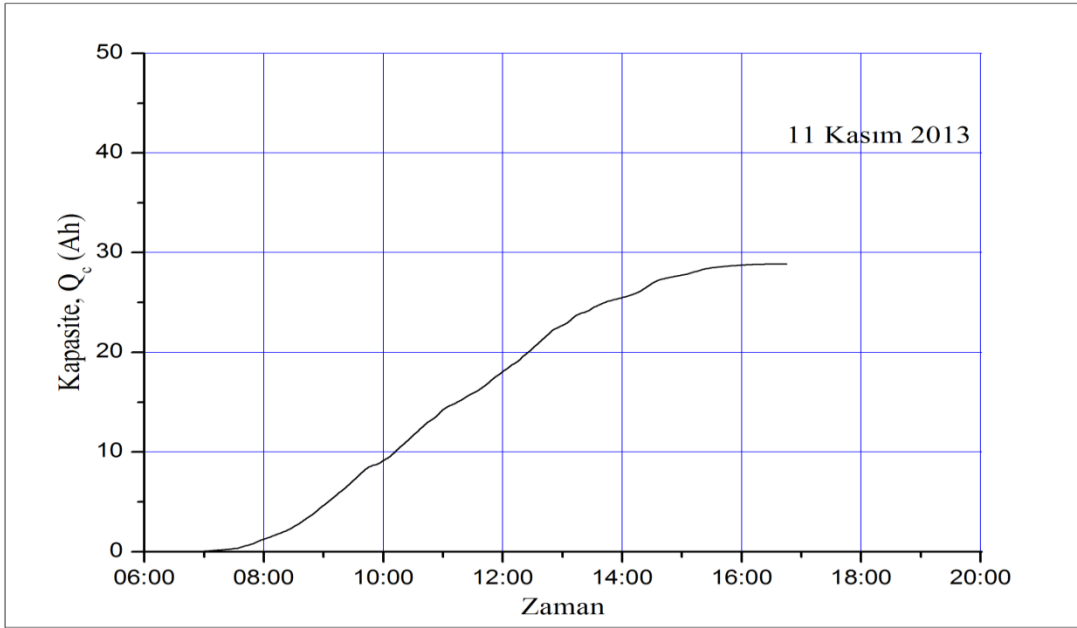
Şekil 4.23'te verilen şarj akımının zamanla değişimi incelendiğinde bulutlanmanın etkisiyle şarj akımının ve dolayısıyla direkt sisteme giden akımın sürekli değişim gösterdiği görülmektedir.

Şekil 4.24'te görüleceği gibi şarj akımındaki değişimin akü geriliminde de küçük salınımlara neden olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, akımın 4 amperin altına indiği değerler, direkt sistemin su pompalayamadığı değerlerdir.



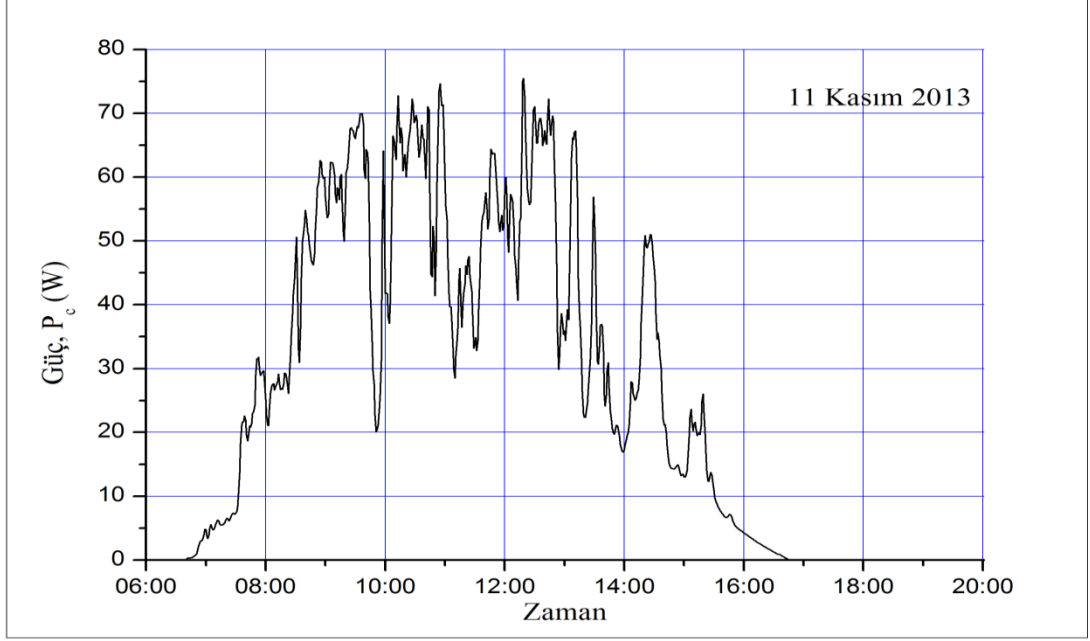
**Şekil 4.24:** 11 Kasım 2013 tarihinde şarj geriliminin zamanla değişimi.

Şekil 4.25'te zamanla akü kapasitesinin değişimi görülmektedir. 9 Ekim 2013 gününde verilen kapasite değerine göre kapasitenin önemli bir düşüş gösterdiği görülmektedir.



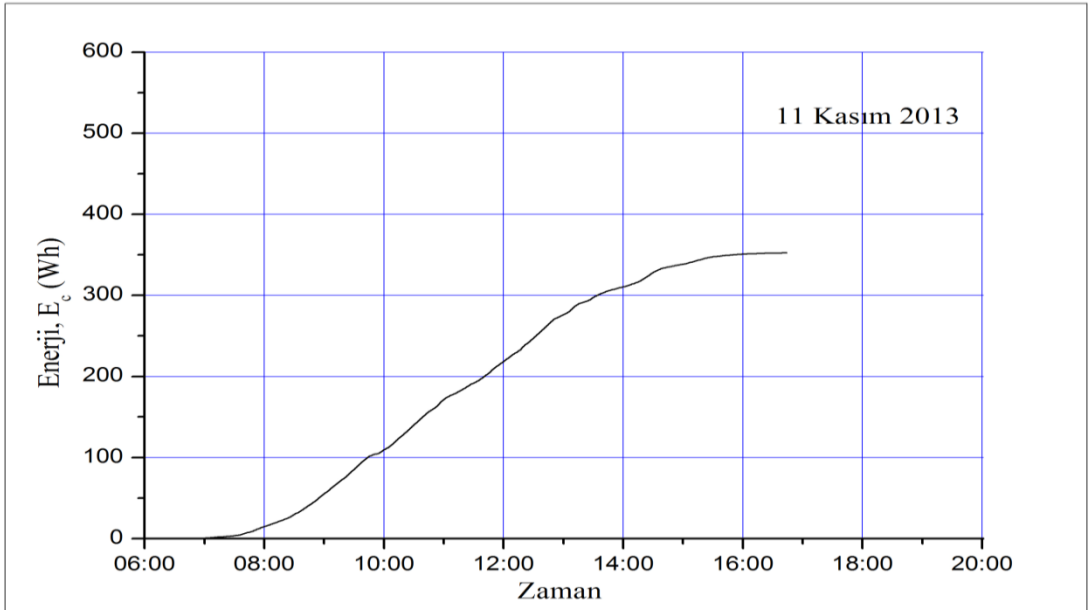
**Şekil 4.25:** 11 Kasım 2013 tarihinde akü kapasitesinin şarj sırasında zamanla değişimi.

Şekil 4.26'da gücün zamana bağlı değişimi görülmektedir. Gün içinde gücün, nominal çalışma gücü 48 watt'ın altına düştüğü ve direkt sistemin su pompalayamadığı zaman aralığının oldukça geniş olduğu görülmektedir.



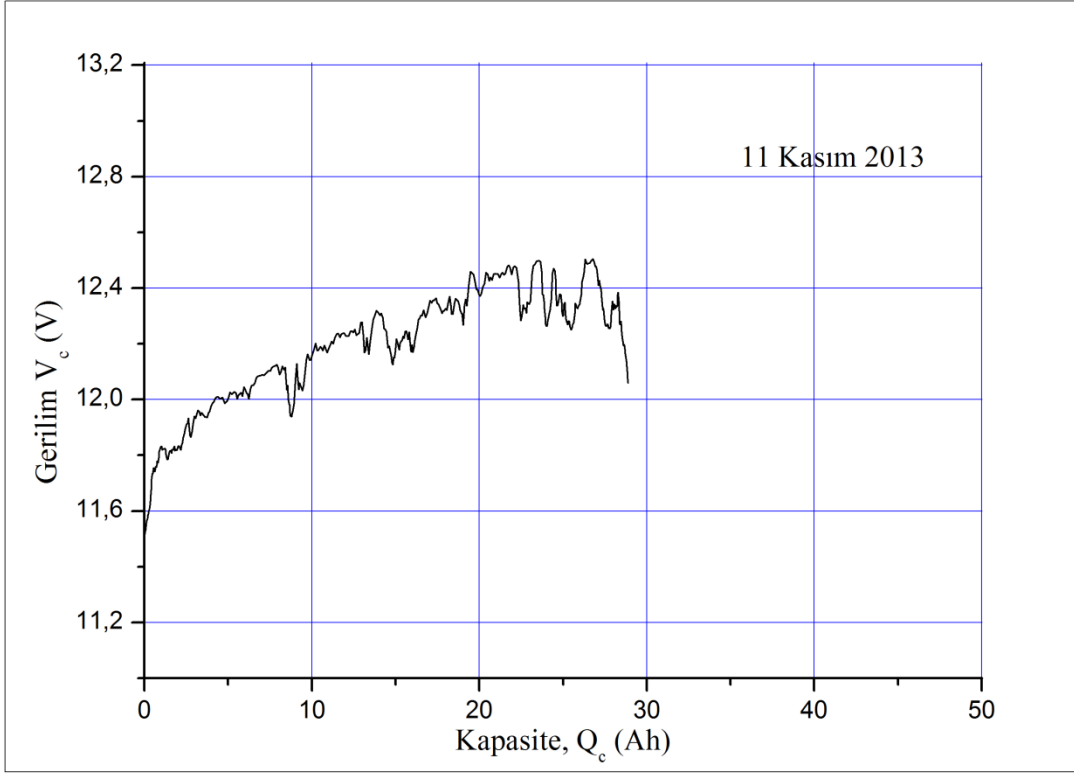
Şekil 4.26: 11 Kasım 2013 tarihinde gücün şarj sırasında zamanla değişimi.

Aküde depolanan enerjinin zamanla değişimi Şekil 4.27'de görülmektedir.



Şekil 4.27: 11 Kasım 2013 tarihinde şarj sırasında üretilen enerjinin zamanla değişimi.

Şekil 4.28, yukarıda ayrı ayrı grafiklerde gösterilen gerilim ve kapasite değerlerinin birbirleriyle olan ilişkisini göstermektedir.

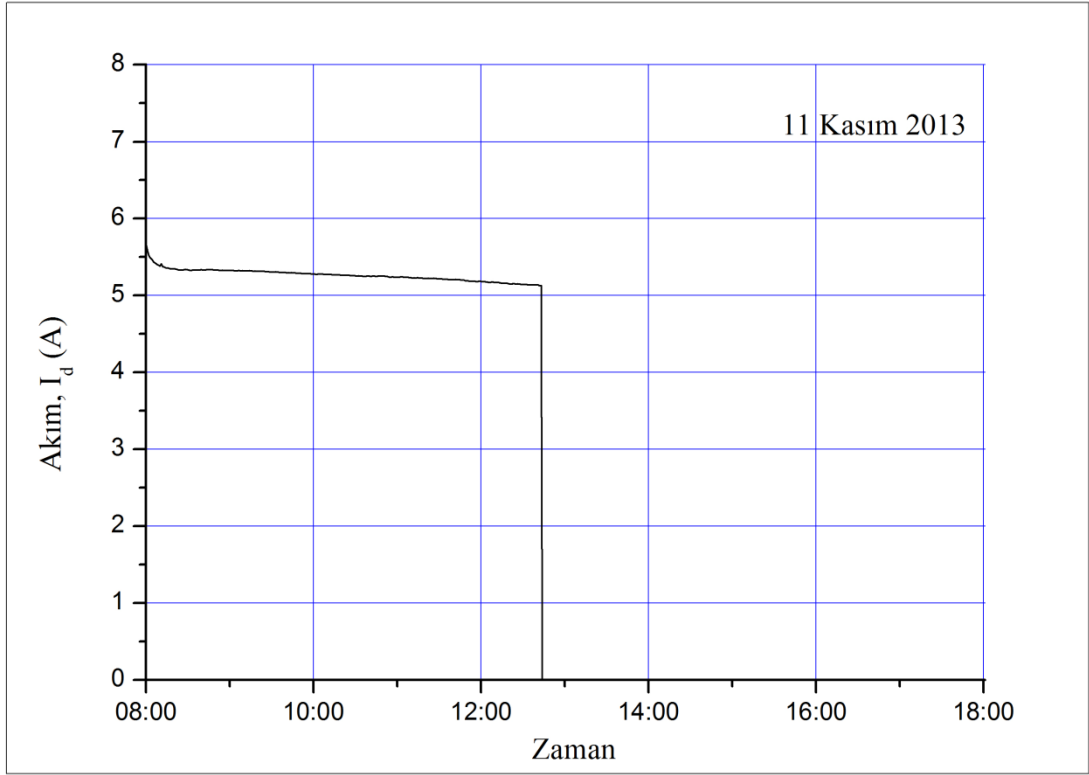


**Şekil 4.28:** 11 Kasım 2013 tarihinde akü geriliminin şarj sırasında kapasite ile değişimi.

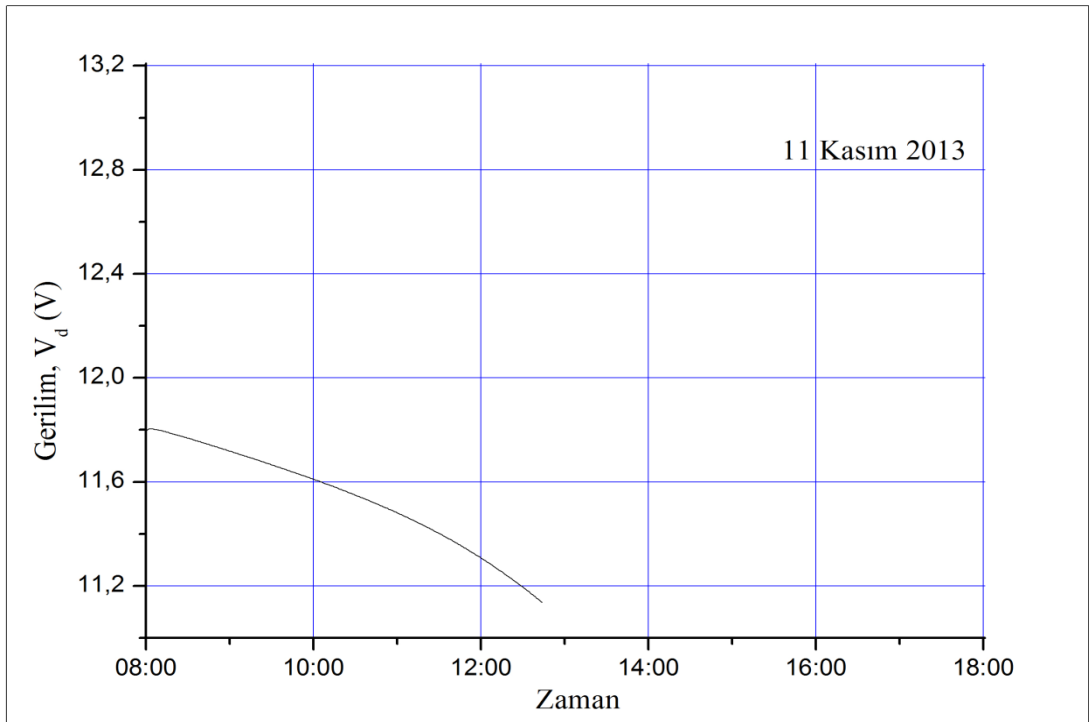
11 Kasım 2013 tarihinde aküde depolanan enerji ertesi gün deşarj edilmiş ve deşarj sırasında elde edilen akım, akü gerilimi, güç ve enerjinin zamanla değişimi ile akü geriliminin kapasite ile değişimi Şekil 4.29 – Şekil 4.34’te verilmiştir.

Şekil 4.29’da görüldüğü gibi akünün deşarjı yaklaşık 5 saat sürmüştür. Deşarj akımı 5.5 A ile 5.1 A arasında değişmiştir.

Şekil 4.30’da akü geriliminin deşarj sırasındaki değişimi görülmektedir. Şarj sırasında Şekil 4.24’te görüldüğü gibi 12.4 V değerinin üzerinde kadar çıkan akü gerilimi akünün deşarjına kadar geçen süre içinde 11.8 V değerine oturduğu görülmektedir.

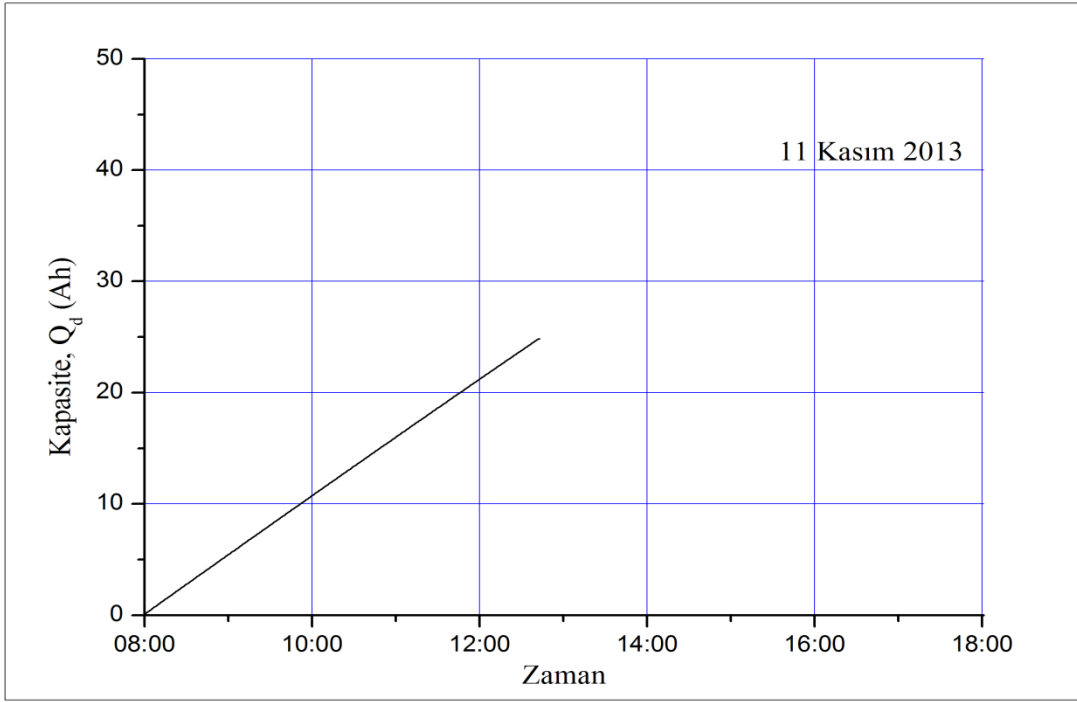


**Şekil 4.29:** 11 Kasım 2013 tarihinde deşarj akımının zamanla değişimi.

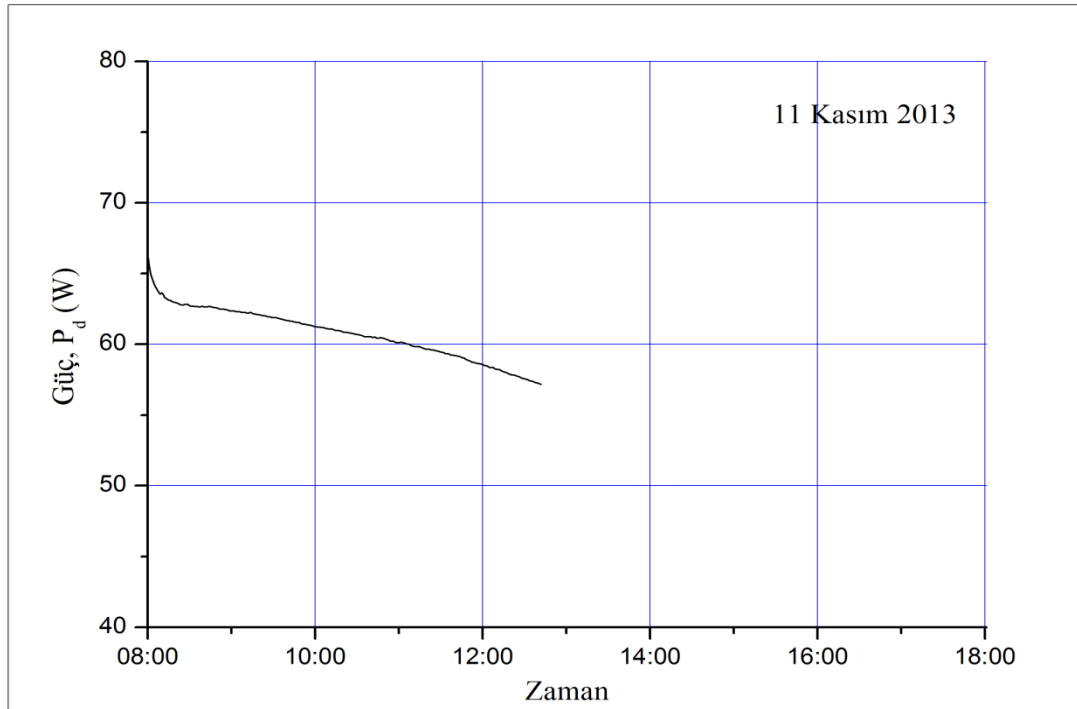


**Şekil 4.30:** 11 Kasım 2013 tarihinde deşarj geriliminin zamanla değişimi.

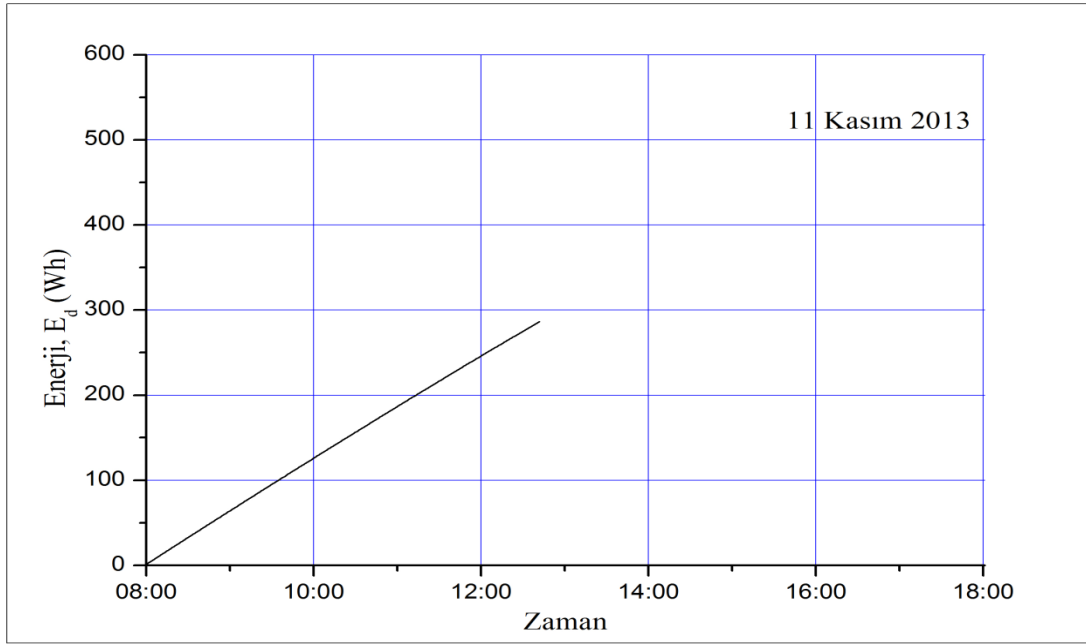
Şekil 4.31’de kapasitenin zamanla değişimi, Şekil 4.32’de ise gücün zamanla değişimi görülmektedir.



Şekil 4.31: 11 Kasım 2013 tarihinde akü kapasitesinin deşarj sırasında zamanla değişimi.

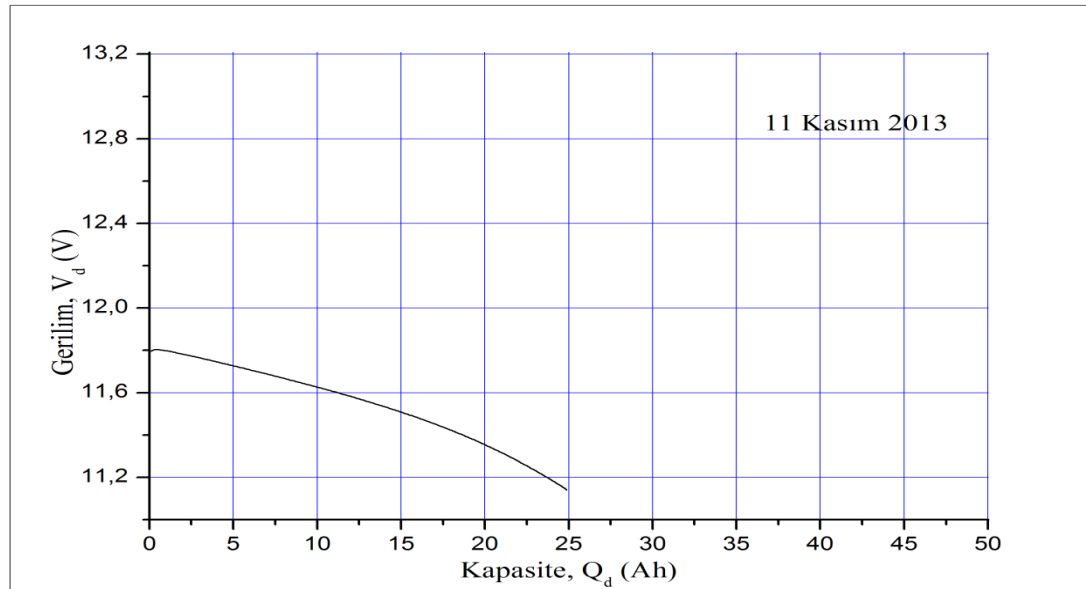


Şekil 4.32: 11 Kasım 2013 tarihinde gücün deşarj sırasında zamanla değişimi.



**Şekil 4.33:** 11 Kasım 2013 tarihinde deşarj sırasında tüketilen enerjinin zamanla değişimi.

Şekil 4.33'te motor tarafından harcanan enerjinin zamanla değişimi, Şekil 4.34'te ise akü gerilimi ile kapasite arasındaki ilişki görölmektedir.



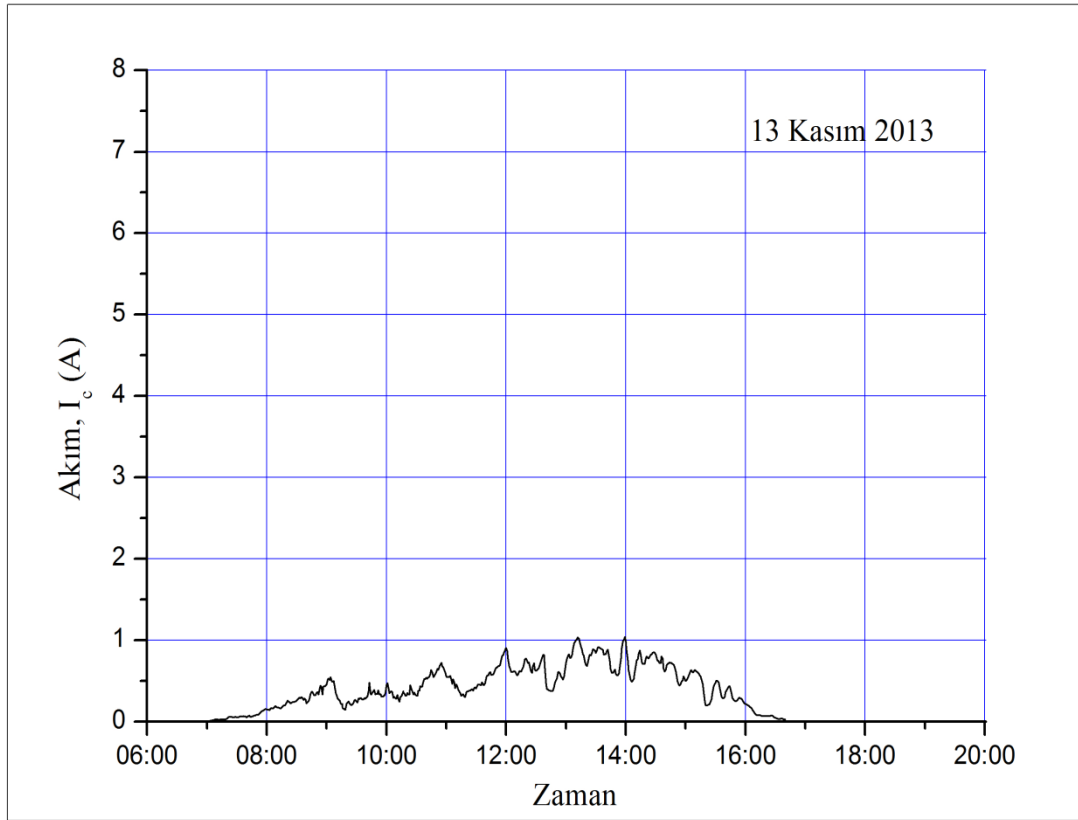
**Şekil 4.34:** 11 Kasım 2013 tarihinde akü geriliminin deşarj sırasında kapasite ile değişimi.

#### **4.3.1.3 13 Kasım 2013 tarihinde alınan verilerin incelenmesi**

13 Kasım 2013 tarihi, havanın tamamen kapalı olduğu ve güneş panellerinin pompanın nominal çalışma akımı olan 4.0 amperi gün boyunca hiç üretmediği

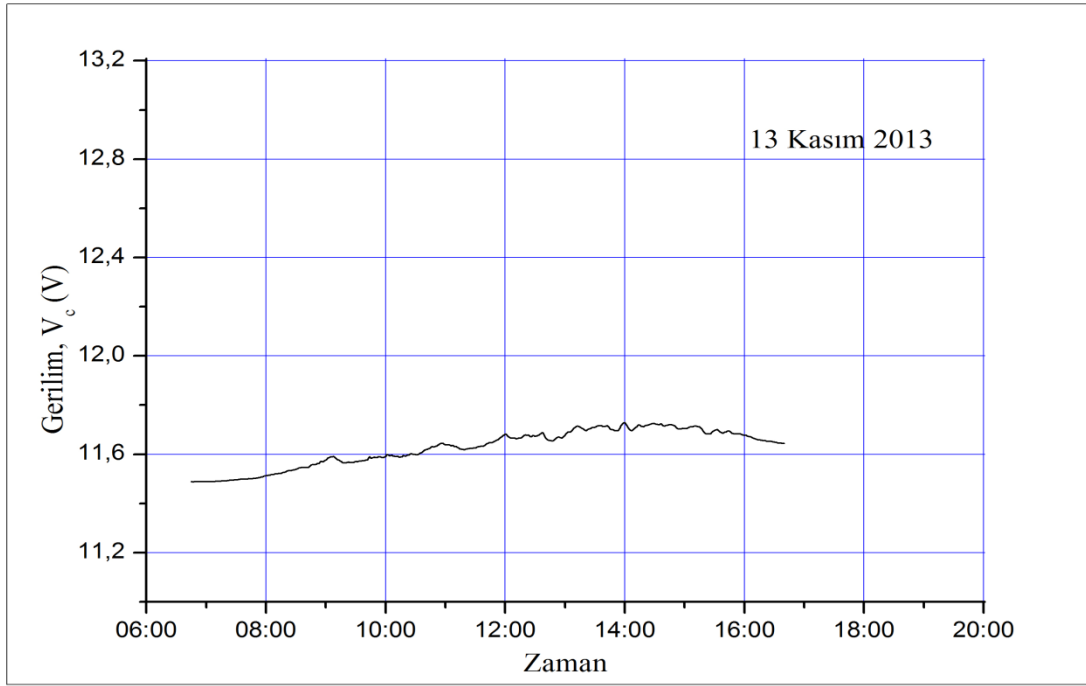
günler arasından seçilmiştir. Gün boyunca üretilen en yüksek akım değeri 1.0 amper civarındadır. Havanın tamamen kapalı olmasına rağmen, havanın geçirgenliği (bulut kalınlığı) sürekli değiştiğinden akım değeri de değişim göstermektedir. Direkt sisteme bağlı güneş paneli tarafından gün boyunca üretilen tüm enerji pompa üzerinde ısıya dönüşerek tüketilmiştir; akülü sistem ise düşük akım koşullarında şarj edilmiştir.

13 Kasım 2013 gününe ait şarj akımı, akü gerilimi, kapasite, güç ve enerjinin zaman ile değişimleri ile akü geriliminin kapasite ile değişimi Şekil 4.35 – Şekil 4.40’da verilmiştir. Şekil 4.35’te akımın zamanla değişimi görülmektedir. Şekil 4.36’da ise yine aynı tarihe ait şarj geriliminin değişimi görülmektedir.

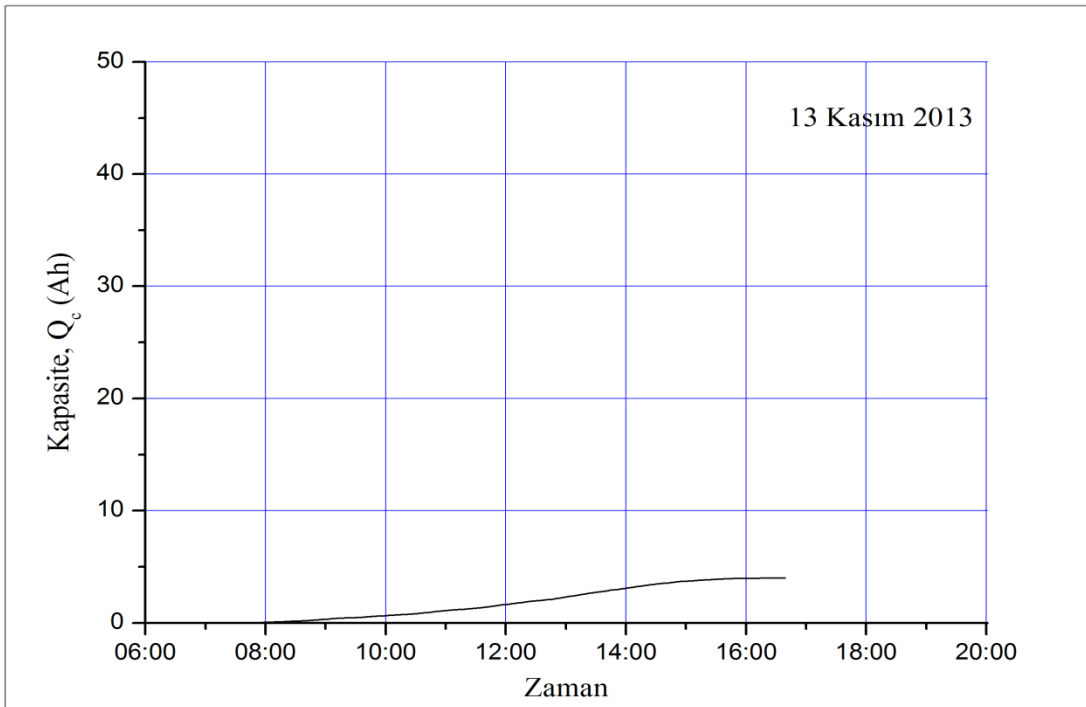


**Şekil 4.35:** 13 Kasım 2013 tarihinde şarj akımının zamanla değişimi.



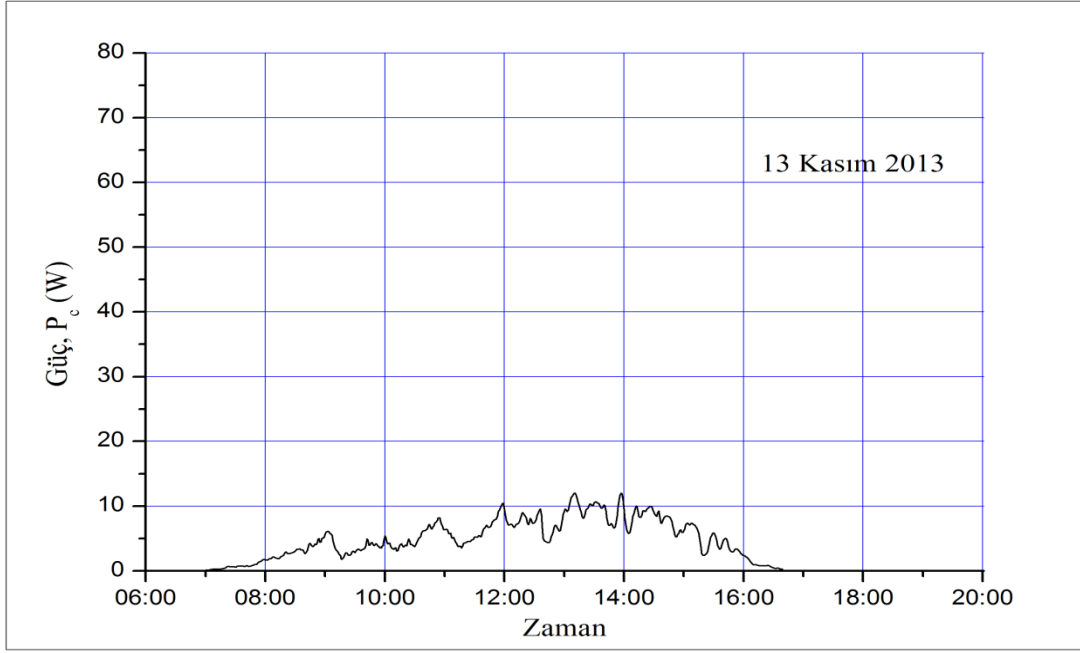


**Şekil 4.36:** 13 Kasım 2013 tarihinde şarj geriliminin zamanla değişimi.

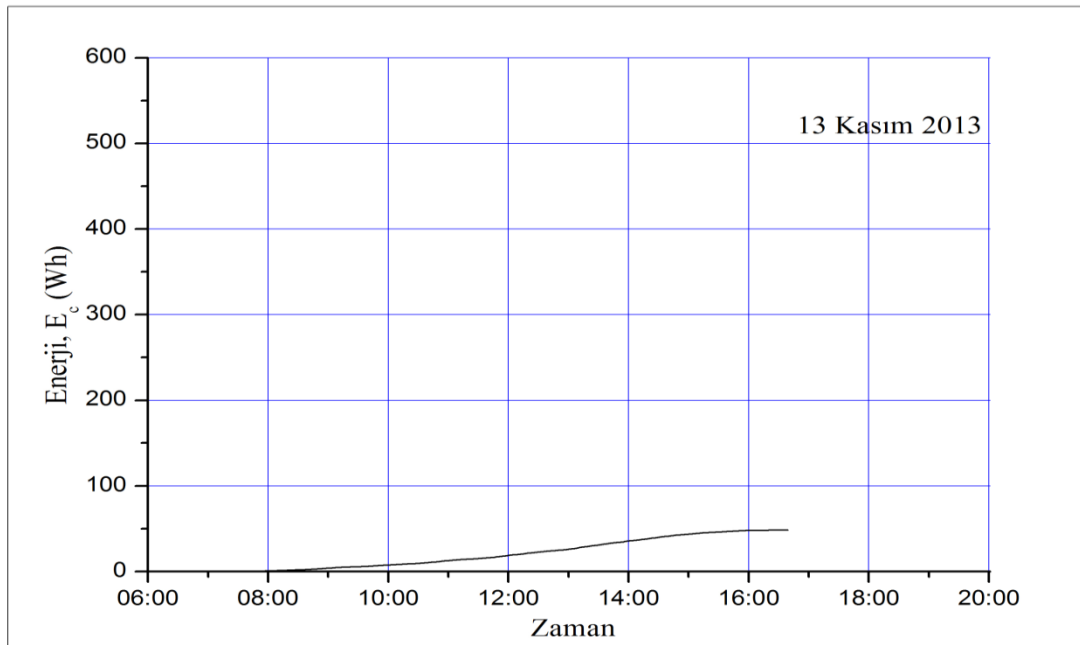


**Şekil 4.37:** 13 Kasım 2013 tarihinde akü kapasitesinin şarj sırasında zamanla değişimi.

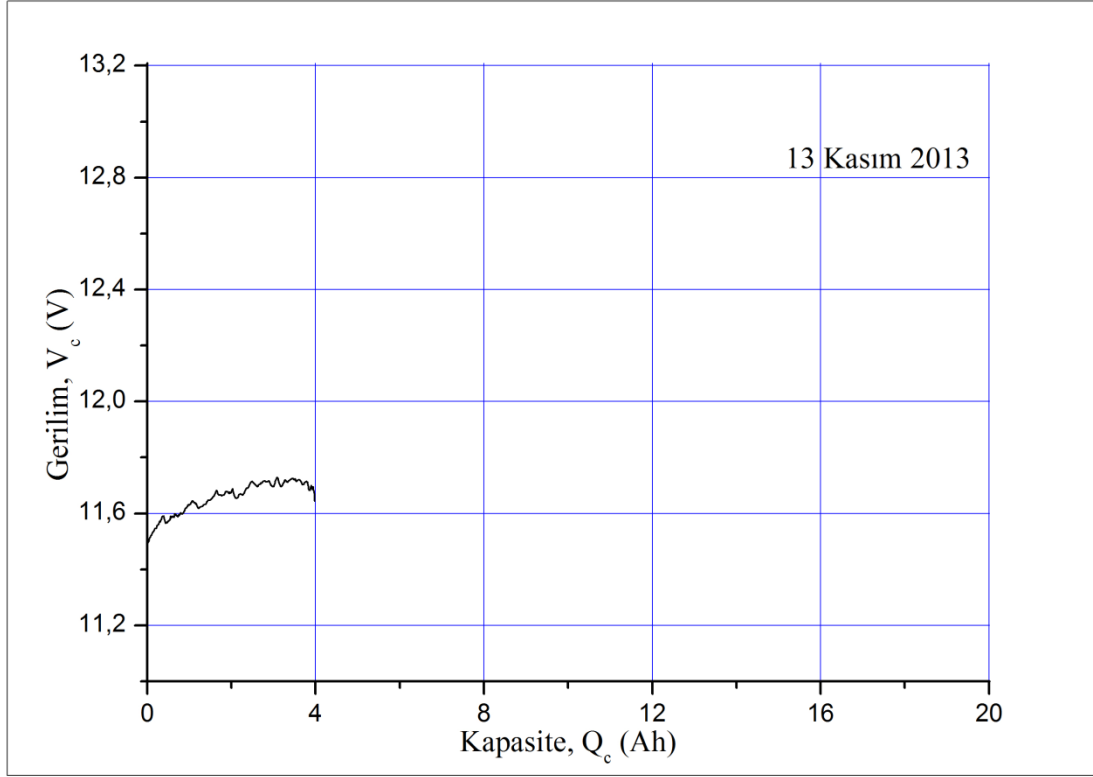
Şekil 4.37’de görüldüğü gibi 13 Kasım 2013 günü elde edilen yaklaşık 4 Ah’lik kapasite değeri, 9 Ekim 2013 günü elde edilen 44 Ah’lik kapasite değeriyle karşılaştırıldığında çok düşüktür. Şekil 4.38’den de görüleceği gibi güneş panellerinden gün boyunca elde edilen maksimum güç değeri 10 watt civarındadır. Şekil 4.39’da ise üretilen enerji değerinin değişimi görülmektedir. Son olarak Şekil 4.40’ta diğer günlerde olduğu gibi akü kapasitesinin şarj gerilimine bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 4.38: 13 Kasım 2013 tarihinde gücün şarj sırasında zamanla değişimi.



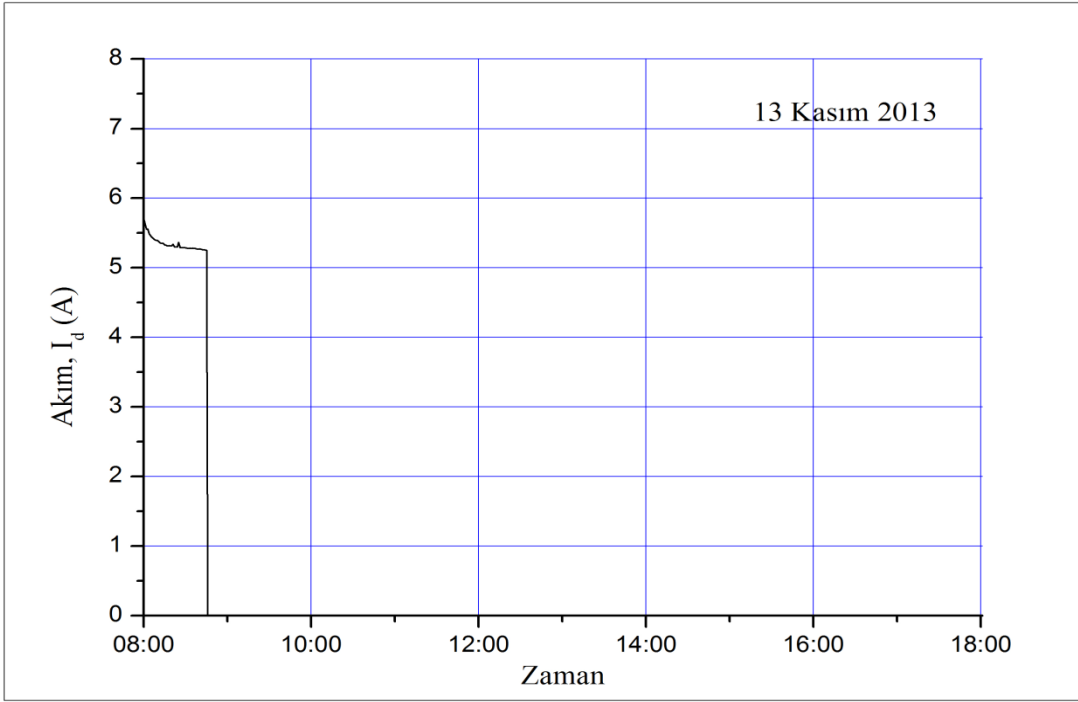
**Şekil 4.39:** 13 Kasım 2013 tarihinde şarj sırasında üretilen enerjinin zamanla değişimi.



**Şekil 4.40:** 13 Kasım 2013 tarihinde akü geriliminin şarj sırasında kapasite ile değişimi.

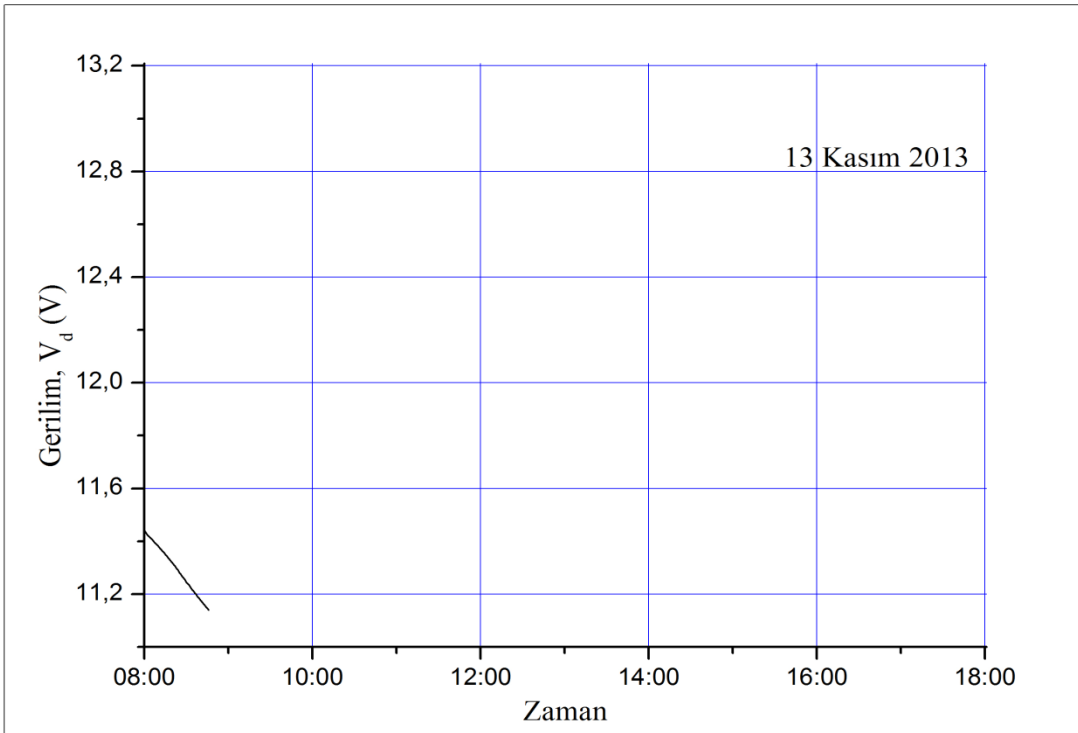
13 Kasım 2013 tarihli ölçümde, yukarıda da bahsedildiği gibi havanın kapalı olmasından dolayı yeterli enerji elde edilememiş ve pompa çalıştırılmamıştır. Bu durum, akü şarjı için de geçerli olmakla beraber düşük akım ve gerilim değerlerinde bile akünün şarj edilebilmesi neticesinde direkt bağlı sistemin aksine gün boyunca depolanan enerji ile akülü bağlantıda pompanın çalışması sağlanabilmiş ve diğer günlere oranla az da olsa bir su terfisi yapılabilmektedir.

13 Kasım 2013 tarihinde akünün deşarjı sırasında elde edilen veriler yardımıyla oluşturulan akım, gerilim, kapasite, güç ve enerjinin zamanla değişimi ile gerilimin kapasite ile değişimi Şekil 4.41 – Şekil 4.46’da verilmiştir. İlk grafik olan Şekil 4.41’de deşarj akımının değişimi görülmektedir.

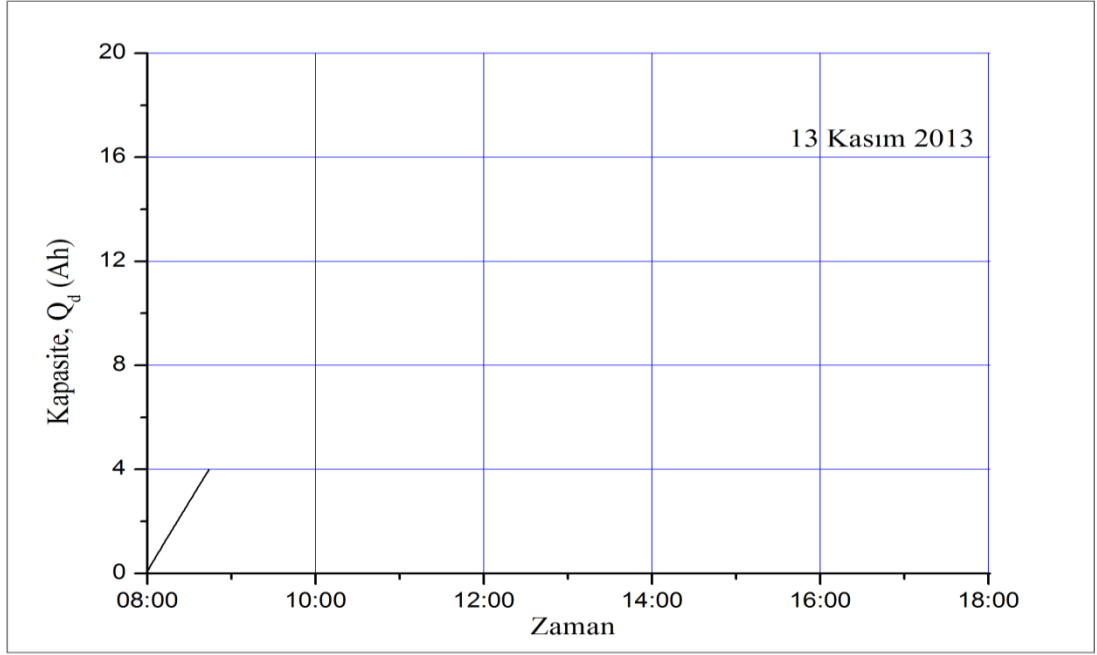


**Şekil 4.41:** 13 Kasım 2013 tarihinde deşarj akımının zamanla değişimi.

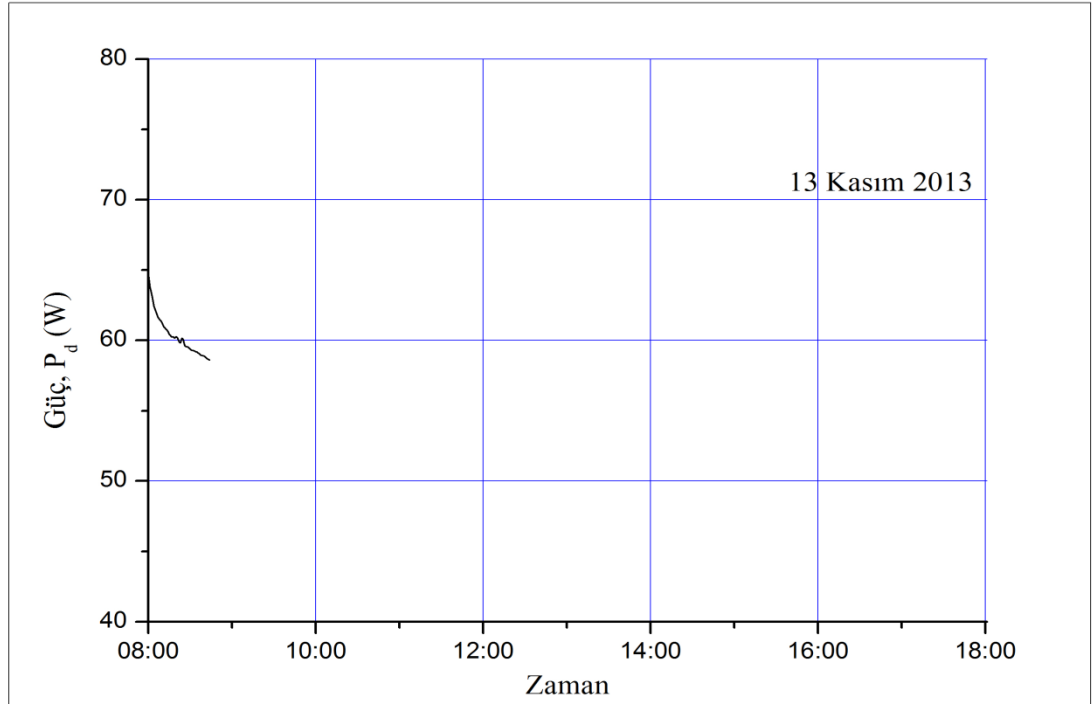
Grafiklerden de görüldüğü gibi, gün boyunca düşük akımla şarj edilen akünün deşarjı bir saatten az sürmüştür. Şekil 4.42’de şarj süresinin kısa sürmesi nedeniyle deşarj sırasındaki akü geriliminin kısa süre içerisinde boşaldığı görülmektedir.



**Şekil 4.42:** 13 Kasım 2013 tarihinde deşarj geriliminin zamanla değişimi.



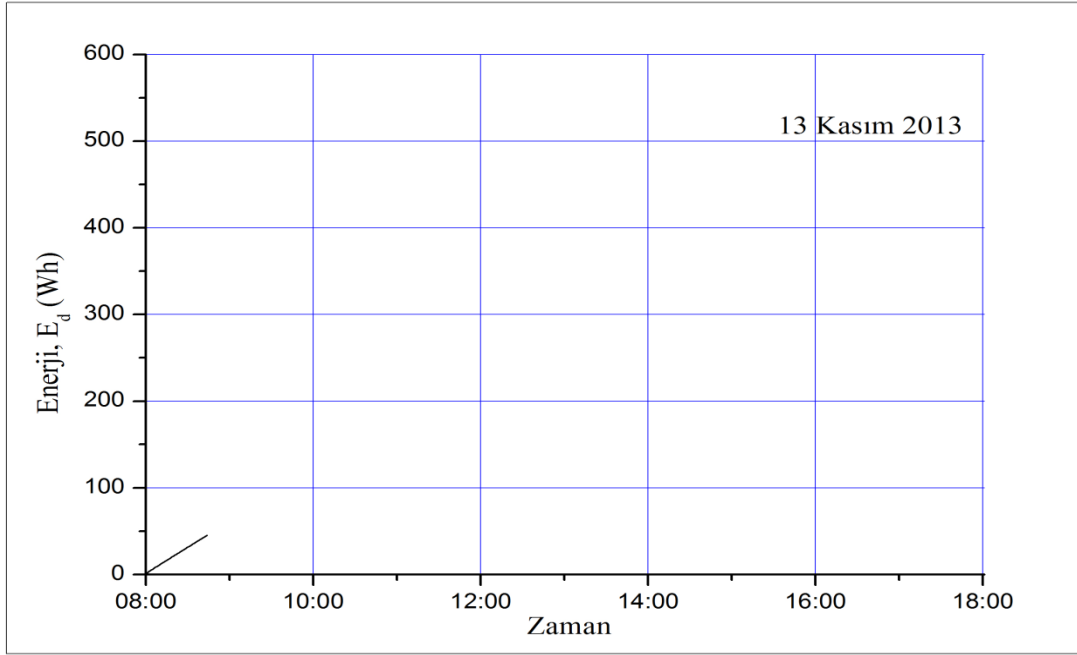
**Şekil 4.43:** 13 Kasım 2013 tarihinde akü kapasitesinin deşarj sırasında zamanla değişimi.



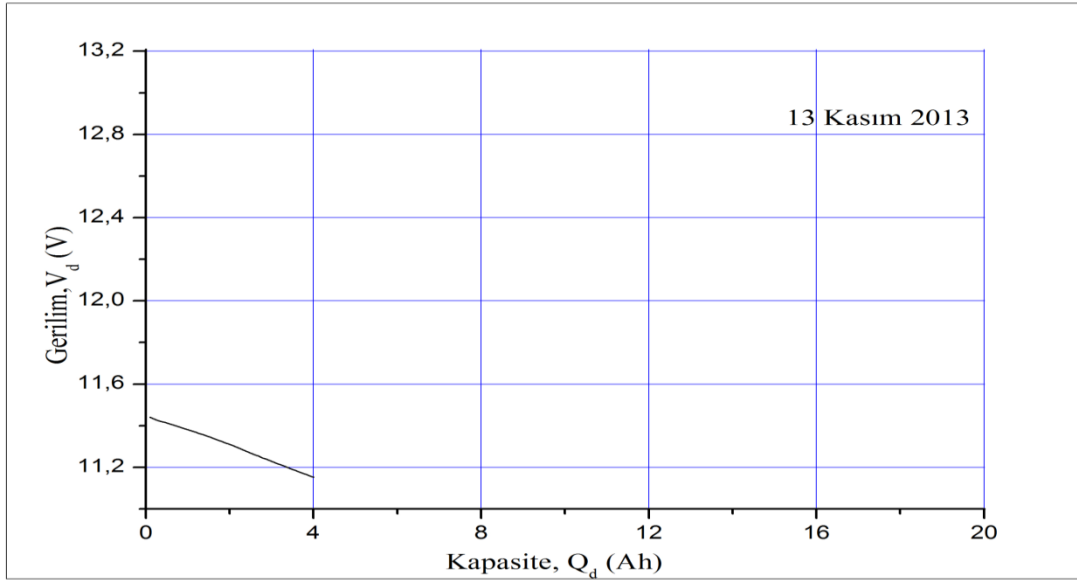
**Şekil 4.44:** 13 Kasım 2013 tarihinde gücün deşarj sırasında zamanla değişimi.

Şekil 4.43'te akü kapasitesinin değişimi ve Şekil 4.44'te gücün değişimi verilmiştir. Şekil 4.45'ten de görüleceği gibi gün boyunca elde edilen enerji değeri 50 Wh düzeylerine çıkabilmiştir. Havanın kapalı olması direkt sistemin gün boyunca hiç su pompalayamamasına neden olsa da akülü sistemde depolanan enerji ile 301 lt su

pompalanabilmiştir. Şekil 4.46’da akünün deşarj kapasitesinin deşarj gerilimiyle nasıl değiştiği verilmiştir.



Şekil 4.45: 13 Kasım 2013 tarihinde deşarj sırasında tüketilen enerjinin zamanla değişimi.



Şekil 4.46: 13 Kasım 2013 tarihinde akü geriliminin deşarj sırasında kapasite ile değişimi.

## 5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, güneş enerjisi ile çalışan ve küçük ölçekte su teminine yönelik biri doğrudan pompaya bağlı diğeri ise kurşun-asit akü üzerinden pompayı besleyen iki ayrı sistemin çalışma modlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Deneyler sırasında İTÜ Enerji Enstitüsü çatısında bulunan güneş panelleri, zemine kurulan pompalama sistemi ve Yeni Enerji Teknolojileri Laboratuvarı'nda kurulan deney sistemi kullanılmıştır.

Son yıllarda güneş hücreleri ve rüzgâr türbinlerinin verimlerinin arttırılmasında ve üretim maliyetlerinin düşürülmesinde önemli ilerlemeler sağlanmasına karşın üretilen enerjinin ekonomik olarak yedeklenebilmesi önemli problemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Şebekeye bağlı olmayan yenilenebilir enerji sistemlerinde, üretilen enerjinin akülerde depolanması durumunda, kurulan sistem maliyetinin önemli bir kısmını aküler oluşturmaktadır. Ayrıca, akülerin zamanla yıpranması, hem belirli süreler ile değişimlerini gerektirmekte hem de arıza olasılıklarını arttırmaktadır. Çalışmada incelenen sistemlerden, akü ile beslenen sistemin panelin direkt pompaya bağlı olduğu sisteme göre daha çok su pompalayacağı beklenen bir sonuçtur. Ancak, her iki sistemin performans değerleri incelenerek, tüketilecek su miktarları ve tüketim amacına göre, direkt sistemin tercih edilebileceği sistemler dizayn edilebilir. Mobil uygulamalarda akü ağırlıklarının da dezavantaj oluşturabileceği unutulmamalıdır.

Akü ile beslenen güneş enerjili pompalama sistemleri dizayn edilirken sistemin kullanılacağı bölgenin güneşlenme süreleri ve kullanılacak pompanın özellikleri dikkate alınarak boyutlandırmanın dikkatli yapılması gerekmektedir. Gereğinden fazla akü kullanılarak yapılan sistemlerde akü şarj seviyelerinin sürekli düşük kalması da akü ömrünü düşüren faktörlerdendir. Akülerin gereğinden az kapasiteli olması ise gün boyunca üretilen enerjinin bir kısmının depolanamayacağı anlamına gelir. Tez çalışmasında kullanılan güneş panellerinin deney sahasındaki en iyi meteorolojik şartlarda bile 100 Ah kapasite değerine sahip bir aküyü tam şarj

edemeyeceği hesaplanmış ve bu sebeple sadece bir adet 100 Ah kapasiteli akü kullanılmıştır. Ekim ve Kasım ayları deney sahası için güneşlenme sürelerinin en az olduğu aylar arasında yer aldığından, güneş paneli tarafından deneyler boyunca sağlanan akım değerleri ile en fazla yaklaşık 45 Ah'lık bir kapasite değerine ulaşılmıştır.

Deneyler boyunca pompalanan su miktarlarının verildiği Çizelge 4.6 incelendiğinde, özellikle açık günlerde, direkt sistem tarafından pompalanan su miktarının akülü sistem tarafından pompalanan su miktarının yaklaşık %90'ına kadar ulaştığı görülmektedir. Bilindiği gibi akülü sistem ile direkt sistem arasındaki tek fark akü ve şarj kontrol cihazıdır ve bunun haricindeki tüm sistem yaklaşık aynıdır. Direkt sistemin akülü sisteme bu kadar yakın miktarda su pompalayabilmesi, akü kayıpları da dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Parçalı bulutlu günlerde ise direkt sistemin pompalayabildiği su miktarları azalmakta ve akülü sisteme göre pompalanan su yüzdesi düşmektedir. Havanın tamamen kapalı olduğu ve pompanın nominal çalışma akımı olan 4.0 A değerinin güneş panelleri tarafından gün boyunca hiç üretilmemesi durumunda ise direkt sistem tarafından su pompalanamamıştır. Bununla beraber, havanın kapalı olduğu 18 Ekim, 13 Kasım ve 25 Kasım 2013 tarihlerinde akülü sistem tarafından sırasıyla 417 lt, 301 lt ve 437 lt su pompalanabilmiştir.

Deneyler boyunca akım ve voltaj değerleri bir dakikalık aralıklar ile alınmıştır. Çizelge 4.6 incelendiğinde, direkt sistem tarafından hiç su pompalanmadığı veya çok az pompalandığı kapalı günler olan 25 Kasım, 13 Kasım, 31 Ekim ve 18 Ekim 2013 tarihlerinde, aküye aktarılan kapasite ile aküden talep edilen kapasite değerlerinin birbirine çok yakın olmakla beraber hata içerdiği ve sanki depolanandan daha fazla bir kapasitenin kullanıldığı gibi yanlış bir sonuç çıkmaktadır. Bu durum, verilerin birer dakikalık aralıklar ile alınmasından kaynaklanan bir hatadır. Çizelge 4.7 incelendiğinde bu tarihlere ait verim hesaplarına da bu hatanın yansıdığı görülebilir.

Çizelge 4.7 incelendiğinde, hem akülü hem de direkt sistem verimlerinin düşük olduğu görülebilir. Direkt sistem veriminin düşük olması, üretilen akımın pompayı çalıştıramayacak kadar küçük olması durumunda ısıya dönüştüğü düşünüldüğünde normaldir. Ancak, her iki sistem veriminin de düşük olmasının en önemli nedeni hem küçük olan pompanın hem de pompaya uygun olan hortumun yüzey/hacim oranının yüksek olması sebebiyle oluşan basınç düşümleridir. Akülü sistem için şarj-deşarj



çevrimi de önemli bir kayıp mekanizmasıdır. Daha büyük sistemler kullanıldığında verimin artması literatürde de görülebileceği gibi beklenen bir sonuçtur.

Sonuç olarak, güneş enerjili su pompalama sisteminin dizayn edileceği bölgenin şartları ve talep edilen su miktarları göz önüne alınarak, hem sistem maliyetlerinin azaltılabileceği hem de özellikle yaz şartlarında sıcaktan çok etkilenen aküler sebebiyle oluşabilecek arızaların ortadan kaldırılabileceği küçük ölçekli pompalama sistemleri tasarlanabilir.

İleride benzer çalışmaları yapacak olan araştırmacılara; özellikle kapalı günlerde daha hassas sonuçlar elde edebilmeleri için, verileri bir dakikadan daha sık aralıklar ile almaları ve her bir sistem bileşeni nedeniyle (akü, pompa, hortumlar, kablo) oluşan kayıpları ayrı ayrı analiz edilebilmeleri için daha kapsamlı bir ölçüm sistemi oluşturmaları önerilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Kılıç, A, Öztürk, A. (1983). Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul.
- [2] Öztürk, H. (2013). Fotovoltaik Teknoloji, Haziran.
- [3] Okyay, Y. (2006). Kütahya Koşullarında Fotovoltaik Sistemin Deneysel İncelenmesi ve Ekonomik Analizi Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Temmuz.
- [4] Url-1 <<http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgues.html>> alındığı tarih: 12.10.2013.
- [5] Yeşilata, B, Aktacir A. (2001). Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması, Mühendis ve Makina Dergisi, 42, 493,29-34.
- [6] Duffie, J., Beckman, W.A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2<sup>nd</sup> edn., Wiley Interscience.
- [7] C. Gopal, M.Mohanraj, P.Chandramohan , P.Chandrasekar. (2013). Renewable energy source water pumping systems-A literature review, Elsevier Ltd.
- [8] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. (2009). Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi, Haziran.
- [9] Oktik, Ş. (2001). Güneş-Elektrik Dönüşümleri, Kasım.
- [10] Suda, C. (2007). 25,6 kWp Gücündeki Şebekeye Bağlı Binaya Entegre Fotovoltaik Güç Sisteminin Üç Yıllık Performansının Parametrelere Göre Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fizik Anabilim Dalı, Muğla Üniversitesi, Ekim.
- [11] Düzenli, A. (2010). Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Üniversitesi, Ocak.
- [12] Büyükkılıç, M. (2009). Yüksek Lisans Tezi, Enerji Enstitüsü, İTÜ, Haziran.
- [13] Varınca K. B, Gönüllü M. T. (2006). Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli Ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi Ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir; 21-23 Haziran.
- [14] Url-2 <<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>>, alındığı tarih: 14.10.2013.
- [15] Yang Y, Wang Q, Xiu D, Zhao Z, Sun Q. (2013). A building integrated solar collector: All-ceramic solar collector, Elsevier Ltd.

- [16] **Karamanav, M.** (2007). Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Mayıs.
- [17] **Kurşuncu, B.** (2010). Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [18] **Soteris, K.** (2009). Solar Energy Engineering: Processes and Systems. United States of America, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 978-0-12-374501-9, 756. United States of America.
- [19] **Green, M.A, Emery, K, Hisikawa, Y, Warta, W.** (2007). Solar cell efficiency tables, Progress in Photovoltaics: Research And Applications, Prog. Photovolt: Res. Appl. 2007, Published online in Wiley InterScience, 15:425–430.
- [20] **Çelebi, G.** (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak., Dergisi, Cilt 17, No 3, s.17-33.
- [21] **Jackson, F.** (2008). Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, architects and engineers, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie-2nd ed, Berlin.
- [22] **Kumbasar, A.** (2010). DA Çevirici Temelli Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin İncelenmesi ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [23] **Kılıç, I.M.** (2007). Fotovoltaik Sistem Eğitimi İçin Bir Simulink Araç Kutusu Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, , Eylül.
- [24] **Bassam, N, Maegaard, P, Schlichting, M.L.** (2013). Current Distributed Renewable Energy Rural and Urban Communities.
- [25] **Çalkoğlu, S, Özdemir, E, Uçar, M.** (2011). Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkileri, Mart.
- [26] **Url-3** <[http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx)>, alındığı tarih: 17.11.2013.
- [27] **Kou, Q, Klein, S. A, Beckman, W. A.** (1998). A Method For Estimating The Long-Term Performance Of Direct-Coupled PV Pumping Systems.
- [28] **Kaplan, Z.** (2012). Fotovoltaik Sistem Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Mart.
- [29] **Goetzberger A, Hoffman V.U.** (2005). Photovoltaic Solar Energy Generation.
- [30] **Dzimano, G.** (2008). Modelling of Photovoltaic Systems, Master Thesis, Ohio State University. USA.
- [31] **Marshall J.M, Malinovska D.D.** (2002). Photovoltaic and Photoactive Materials: Properties, Technology and Application, Kluwer.
- [32] **Eyigün, S.** (2010). Türkiye'nin Farklı Bölgelerinde Kurulacak Fotovoltaik Santrallerin Teknik ve Ekonomik Açından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Haziran.
- [33] **Roger A. Messenger.** (2010). Photovoltaic Systems Engineering, Third Edition.
- [34] **Çekinir, S.** (2012). Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Modellenmesi ve Benzetimi, Ege Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat.

- [35] **Aydöner, D.** (2010). Binaya Entegre Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Kurulumu, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- [36] **Bahtiyar, B.** (2006). Fotovoltaik Sistemler İçin Gerçek Zamanlı Bir İzleme Merkezi Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla Üniversitesi, Nisan.
- [37] **Özçelik M, Yılmaz, S.** (2012). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyicisinin Verimliliğe Etkisi, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programı.
- [38] **Ahmed M, Shoyama M.** (2011). Single Variable Based Variable Step Size Maximum Power Point Tracker for Stand-Alone Battery Storage PV Systems, IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 210-216.
- [39] **Atay, Ü, Işiker, Y, Yeşilata, B.** (2009). Fotovoltaik Güç Destekli Mikro Sulama Sistemi Projesi-1: Genel Esaslar, V. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI SEMPOZYUMU, DİYARBAKIR.
- [40] **Morales, D.** (2010). Design of Small PV Solar Powered Water Pump Systems, Technical Note, No:28, Portland, Oregon.
- [41] **Celal, S.** (2004). Tarımsal Sulama Yöntemleri, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Yayınevi, Ankara.
- [42] **Varınca, K, Varank, G.** (2006). Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.



## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Barış DURAK

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Diyarbakır, 1986

**Adres:** Cevizlik mah. Kartopu sok. No:34/1 Bakırköy/ İSTANBUL

**E-Posta:** barisdurak@gmail.com

**Lisans:** Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü