



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ŞEBEKE ELEKTRİĞİNİN BULUNMADIĞI  
TARIMSAL ALANLARDA GÜNEŞ  
ENERJİSİYLE SULAMANIN YAPILMASI**

---

**GÖKHAN YUSUFOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı  
Makine Eğitimi Programı

**DANIŞMAN**  
Doç. Dr. Mustafa ATMACA

**İSTANBUL, 2013**

---

## **TEŐEKKÜR**

Yüksek Lisans eğitiminin her safhasında yardımlarını eksik etmeyen ve bitirme proje konusunun belirlenmesinde olduğu gibi diğer aŐamalarında da yardımını esirgemeyen, değerli danışman hocam Doç. Dr. Mustafa ATMACA'ya teŐekkür ederim. Ayrıca tez çalıŐmalarımnda bana sürekli olarak destek veren Doç. Dr. Metin GÜMÜŐ ve Doç. Dr. Cenk SAYIN hocalarıma da teŐekkürlerimi sunarım. Prof. Dr. A. Korhan BİNARK, Prof. Dr. M. Osman ISIKAN, Prof. Dr. Mustafa KURT, Yrd. Doç. Gürcan ATAKÖK'e de tez çalıŐmalarım esnasında yol gösterdikleri için çok teŐekkür ederim.

Üniversite hayatım boyunca bana her zaman destek olan, benim bu günlere gelmemde en büyük katkısı olan bu günde olduğu gibi her konuda bana yardımcı olan aileme sonsuz teŐekkür ederim. Son olarak da tez çalıŐmam esnasında bana sabırla katlanan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen eŐime de çok teŐekkür ediyorum.

**Aralık, 2013**

**Gökhan YUSUFOĞLU**

# İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖNSÖZ	
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
SEMBOLLER	vii
KISALTMALAR	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi	3
1.3. Batman İlinin İklim Özellikleri	5
1.4. Türkiye’de Sulama Değerleri	6
1.4.1. Tarımsal Sulamada Enerji Kullanımı	7
1.4.2. Tarımsal Sulamada Alternatif Enerji Kaynaklarının Kullanımı	8
1.5. PV Panel Teknolojileri	10
1.5.1. Kristal Paneller	10
1.5.1.1. Monokristal Paneller	10
1.5.1.2. Polikristal Paneller	11
1.5.2. İnce Film Paneller	11
1.5.3. Esnek Paneller	11
1.6. PV Panel Teknolojisinin Uygulama Alanları	11
1.6.1. Doğrudan Bağlanmış Fotovoltaik Sistem	12
1.6.2. Tek Başına Uygulamalar	12
1.6.3. Şebekeye Bağlı Sistemler	13
1.6.4. Hibrit Sistemler	14
1.7. Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemi ve Tasarımı	14

1.7.1. Güneş Enerjisiyle Su Pompalama İçin Doğrudan Dönüşüm Yöntemleri	15
1.7.2. Fotovoltaik Etki İle Çalışan Güneş Enerjisiyle Sulama Sistemleri	15
1.8. Literatür Araştırması	17
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>23</b>
2.1. Deneysel Düzenek	23
2.1.1. Fotovoltaik PV Sistem	23
2.1.1.1. Fotovoltaik PV Panel	24
2.1.1.2. Regülatör (Güç Kontrol Cihazı)	25
2.1.1.3. İntertör (Dönüştürücü)	26
2.1.1.4. Akümülatör	26
2.1.1.5. Multimetre (Akım, Gerilim, OHM Ölçer)	26
2.1.1.6. Dalgıç Pompa (DC Pompa)	27
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMA</b>	<b>28</b>
3.1. Fotovoltaik PV Panel Sisteminde Ölçülen Değerler	28
3.1.1. Fotovoltaik PV Panel Sistemin Ürettiği Akım ve Gerilim Değerleri	28
3.1.2. Fotovoltaik PV Panel Sistemin Verimi	28
3.1.3. Ölçülen Debi Değerleri	30
3.1.4. Pompa Hidrolik Gücü	30
3.1.5. Pompa Sitem Verimi	32
3.2. Fotovoltaik PV Panel Sisteminde Ölçülen Değerlerin Grafikleri	33
3.2.1. Fotovoltaik PV Panel Sistemin Ürettiği Akım Gerilim Grafiği	33
3.2.2. Fotovoltaik PV Panel Sistemin Verim Grafiği	33
3.2.3. Ölçülen Debi Değerleri	34
3.2.4. Pompa Hidrolik Güç Grafiği	35
3.2.5. Pompa Sistem Verimi	36

<b>4. SONUÇLAR</b>	<b>37</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>39</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	



## **ÖZET**

# **ŞEBEKE ELEKTRİĞİNİN BULUNMADIĞI TARIMSAL ALANLARDA GÜNEŞ ENERJİSİYLE TARIMSAL SULAMANIN YAPILMASI**

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Tarımsal Sulama, Alternatif Enerji Kaynakları, Güneş Enerjisi ile Tarımsal Sulama

Bu çalışmada; Güney Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla, küçük güçlü tüketicilerin tarımsal sulamada fotovoltaik sistemlerin kullanılması incelenmiştir. Güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) ilkeye bağlı olarak üretilen elektrik enerjisi ile dalgıç pompaların çalıştırılması için gerekli mekanik enerjinin sağlanması durumunda, güneş enerjili sulama sisteminin bazı teknik özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla, her birinde toplam  $18 \times 2 = 36$  adet PV hücre bulunan 4 adet modül den oluşan PV sistemin; akım, gerilim, güç gibi elektriksel özellikleri ile PV sistemin verimi, dalgıç pompanın su pompalanması durumunda, pompalanan su debileri, hidrolik güç değerleri ve verimleri hesaplanmıştır. Bu sistemin düşük maliyette olması için kullanılacak olan pompa Güneş Panelleri ile uyumlu DC pompa seçilmiştir. Çünkü alternatif akımla çalışan pompaların yüksek güç çekmeleri güneş pili sayısını artırmakta ve bunun üzerine akü ve invertör maliyetleri de eklendiğinde maliyet oldukça artacaktır. Bu çalışmada akü ve invertör şehir şebekesiyle çalışan cihazların çalıştırılmasında kullanılmıştır. Ayrıca çalışmanın yapıldığı Batman ilinin iklim özellikleri, güneş enerji değışı ve güneşlenme süresi ile ilgili bilgiler verilmiştir.

**Aralık, 2013**

**Gökhan YUSUFOĞLU**

## **ABSTRACT**

### **MAKING AGRICULTURAL IRRIGATION WITH SOLAR POWER IN THE AREAS WHERE HAVE NO MAINS**

Key words: Solar Power, Agriculture Irrigation, Alternative Power Sources,  
Agriculture Irrigation With Solar Power

In this work ; minor powerful consumer's using the photovoltaic systems has been investigated in order to assess the potential of solar energy in the southeastern Anatolia Region. In the event of obtaining necessary mechanic power to set to work the electricity power which is generated depending on the policy of the photovoltaic in the solar power with submersible pump, some technical properties of the agriculture irrigating with the solar power are determined. With this aim, The PV system including 4 modules which have totally  $18 \times 2 = 36$  PV cells in each part; with its electrical features such as current, voltage and power and the PV system's efficiency, in the event of the submersible pump pumps water, pumped water flow, hydraulic power rates and efficiency have been calculated. To make this system in low price, the DC pump which is adaptable with Solar Panels has been chosen. Because the pumps' consuming too much power, which are worked by alternative power, increases solar cells' number and when we add the batteries' and the inverters' price on this, the cost will be much more. In this work the battery and inverter are used only with the devices worked with the mains. In addition the information about the climatic characteristics, the sunshine duration and the energy of Batman where the study made in has been given.

**December , 2013**

**Gökhan YUSUFOĞLU**

## SEMBOLLER

<b>A</b>	: Yüzey alanı ( $m^2$ )
<b>AC</b>	: Alternatif akım (A)
<b>DC</b>	: Doğru akım (A)
<b>E<sub>PV</sub></b>	: PV sistem tarafından üretilen elektriksel güç miktarı (W)
<b>H<sub>g</sub></b>	: Geometrik yükseklik (m)
<b>H<sub>m</sub></b>	: Manometrik yükseklik (m)
<b>I<sub>sc</sub></b>	: Kısa devre akımı (A)
<b>P<sub>f</sub></b>	: Pompa fren gücü (kW)
<b>P<sub>h</sub></b>	: Pompa hidrolik gücü (kW)
<b>P<sub>m</sub></b>	: Maksimum güç miktarı (W)
<b>PV</b>	: Fotovoltaik
<b>Q</b>	: Su debisi ( $m^3/h$ )
<b>St</b>	: Toplam güneş ışınımı ( $W/m^2$ )
<b>V<sub>oc</sub></b>	: Açık devre gerilimi (V)
$\rho_{su}$	: Suyun özgül kütlesi (kg/L)
<b>n<sub>p</sub></b>	: Pompa verimi (%)
<b>n<sub>ps</sub></b>	: Pompa Sistem Verimi (%)
<b>N<sub>PV</sub></b>	: PV sistem verimi (%)
<b>ha</b>	: Hektar
<b>P<sub>J</sub></b>	: Enerji Tüketimi
<b>G<sub>J</sub></b>	: Tarım Alanı Başına Enerji Tüketimi

## **KISALTMALAR**

- DMİ** : Devlet Meteroloji İşleri Genel Müdürlüğü  
**EİE** : Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü  
**DSİ** : Devlet Su İşleri  
**KHGM** : Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü  
**DİKA** : Dicle Kalkınma Ajansı  
**GAP** : Güney Doğu Anadolu Projesi

# ŞEKİL LİSTESİ

	<b>SAYFA</b>
Şekil 1.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Haritası	4
Şekil 1.2. Batman İline Ait Güneş Enerji Değişimi	6
Şekil 1.3. Batman İline Ait Güneşlenme Süresi (saat) Değişimi	5
Şekil 1.4. Türkiye' Sulama Oranları (5.61 milyon ha)	7
Şekil 1.5. PV Panel Teknolojileri	10
Şekil 1.6. Doğrudan Bağlanmış Fotovoltaik Sistem	12
Şekil 1.7. Tek Başına Uygulamalar	13
Şekil 1.8. Şebekeye Bağlı Sistemler	13
Şekil 1.9. Hibrit Sistemler	14
Şekil 1.10. Güneş Enerjisi ile Çalışan Tipik Bir Su Pompalama Sistemi	15
Şekil 1.11. Fotovoltaik Sistemler İçin Başlıca Düzenlemeler	16
Şekil 1.12. PV Su Pompalama Sisteminin Bileşenleri	17
Şekil 2.1. Fotovoltaik PV Sistem Ünitesi	23
Şekil 2.2. Deney Düzenliğinin Şematik Resmi	24
Şekil 2.3. Fotovoltaik PV Panel Sistem Ünitesi	25
Şekil 2.4. Fotovoltaik PV Sistemde Kullanılan Regülatör, İnvertör, Akümülatör	26
Şekil 2.5. Multimetre	27
Şekil 2.6. DC Dalgıç Pompa	27
Şekil 3.1. Gerim (V), Akım (I), Güç (W) Dağılımları	33
Şekil 3.2. PV Sistem Verimi Dağılımları	34
Şekil 3.3. Dalgıç Pompanın 1. Ve 2. Kademedeki Ölçülen Debi Dağılımları	34
Şekil 3.4. Dalgıç Pompanın 1. Kademedeki Debi ve Hidrolik Güç Dağılımı	35
Şekil 3.5. Dalgıç Pompanın 2. Kademedeki Debi ve Hidrolik Güç Dağılımı	35
Şekil 3.6. 1. Kademedeki Pompa Sistem Verim Grafiği	36
Şekil 3.7. 2. Kademedeki Pompa Sistem Verim Grafiği	36

# TABLO LİSTESİ

	<b>SAYFA</b>
<b>Tablo 1.1.</b> Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli	3
<b>Tablo 1.2.</b> Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerji Potansiyelinin Bölgelere Dağılımı	4
<b>Tablo 1.3.</b> Batman İlinin Sıcaklık ve Yağış Değerleri	5
<b>Tablo 1.4.</b> Türkiye Tarım Sektöründe Enerji Tüketimi	7
<b>Tablo 1.5.</b> Tarım Alanı Başına Enerji Tüketimi	8
<b>Tablo 1.6.</b> Türkiye'nin Alternatif Enerji Kaynakları Potansiyeli	9
<b>Tablo 2.1.</b> PV Panelin Fiziksel ve Elektriksel Özellikleri	25
<b>Tablo 2.2.</b> Regülatörün Fiziksel ve Elektriksel Özellikleri	25
<b>Tablo 2.3.</b> Multimetre'nin Özellikleri	27
<b>Tablo 3.1.</b> PV Panel Tarafından Üretilen Elektriksel Değerler	28
<b>Tablo 3.2.</b> Batman İline Ait Haziran Ayı Güneş Işınımı Kat Sayıları	29
<b>Tablo 3.3.</b> PV Panel Sistem Verimi	29
<b>Tablo 3.4.</b> Ölçülen Debi Değerleri	30
<b>Tablo 3.5.</b> 1. Kademedeki Pompa Hidrolik Güç Değerleri	31
<b>Tablo 3.6.</b> 2. Kademedeki Pompa Hidrolik Güç Değerleri	31
<b>Tablo 3.7.</b> 1. Kademedeki Pompa Sistem Verimi	32
<b>Tablo 3.8.</b> 2. Kademedeki Pompa Sistem Verimi	32

## 1. GİRİŞ

Bugün Türkiye’de tarımsal sulama; elektrik, mazot veya petrol gibi konvansiyonel enerji kaynakları ile çalışan su pompaları kullanılarak yapılmaktadır. Elektrik olmayan veya elektrik götürülmesi güç ve pahalı olan tarımsal alanlarda, mazot ve petrol pompaları kullanılmaktadır [1]. Bu tip sistemlere günlük bakım gerekmektedir. 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 sistemlerin ilk kuruluş masrafları yüksek olmasına rağmen, yakıt ve bakım ihtiyaçları olmadığından kısa zamanda ekonomik duruma geçerler. Sulama amacıyla suyun sağlanmasında temel yöntem, su kaynağı ile sulama yapılan tarla arasında suyun iletilmesidir. Suyun bu hareketi, bir enerji gerektirir. Suyun kaynak ile tarla arasında iletilmesinde kullanılan mekanik araç ve gereçlerin tümü pompaj tesisini oluşturur. Pompaj tesisinin projelenmesi, seçimi, kurulması, işletilmesi ve bakımı önemli mühendislik konularını içerir. Temel amaç, bitkinin gereksindiği suyu zamanında, yeterli miktarda, en az enerji ve işletme gideri ile sağlamaktır.

Tarım sektöründe enerji kullanımına ilişkin son gelişmeler, yoğun enerji tüketilen sulama uygulamalarının enerji korunumunun da önemli bir yeri olduğunu göstermiştir. Son yıllarda sulama uygulamalarında enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik olarak yapılan araştırmalar; sulama amacıyla yeni ve yenilenebilir doğal enerji kaynaklarının kullanılmasına ve fosil yakıtların tüketildiği geleneksel sistemlerine alternatif olarak, düşük maliyetli ve etkinliği yüksek sulama sistemlerinin geliştirilmesine yönlendirilmiştir. En önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden tarımsal sulama amacıyla yararlanılması durumunda, toplam üretim giderleri içerisinde büyük yer tutan sulama giderleri azalacak ve buna bağlı olarak üretim maliyeti de azalacaktır. Alışlagelen enerji kaynaklarından elde edilen enerji bedellerinin yüksek olması nedeniyle, tarımsal sulama amacıyla yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak büyük önem kazanmıştır. Sulama uygulamalarında, günümüz enerji varlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek amacıyla fosil enerji kaynakları yerine, doğal enerji kaynaklarından yararlanılması öncelikli bir gereksinimdir. Uzun bir geçmişi olan sulama işlemi için en az güç kullanarak su pompalama amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Su pompalama için uygulanan bu yöntemlerde, insan enerjisi, hayvan gücü, rüzgar, güneş ve fosil yakıtlar gibi değişik güç

kaynaklarından yararlanılmaktadır. Güneş enerjisiyle sulama sistemlerinin, içten yanmalı motorlar ile çalıştırılan sulama sistemlerine kıyasla başlıca üstünlükleri; pratik olarak bakım gereksinimlerinin olmaması, kullanım sürelerinin uzun olması, yakıt gerektirmemeleri ve dolayısıyla çevreyi kirletmemeleridir. Diğer önemli bir üstünlükleri de, enerji kaynağı olarak güneşten yararlanmalarındır [2]. Sulama uygulamalarında, suya en fazla gereksinim duyulan zaman, güneş ışınımının en fazla olduğu zamandır. Bu durum, bu sistemler için bir üstünlük olarak değerlendirilebilir. Bu sistemlerin başlıca olumsuzlukları ise; başlangıç maliyetlerinin yüksek olması ve sistemlerinin verimlerinin geçerli hava koşullarına bağlı olarak değişmesidir.

### **1.1. Tezin Amacı**

Küresel ısınma nedeniyle enerji kaynaklarının verimli kullanılması gerekir. Özellikle güneş enerjisinden yararlanmamız son derece önemlidir. Bu çalışmadaki amaç Güneş enerjini tarımsal sulamada kullanmayı özendirmeye ve yaygınlaştırmaktır. Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde yaz aylarında güneşli gün sayısının fazla olduğu tarımsal faaliyetlerde sulamaya yaz aylarında ihtiyaç olması bölgede tarımsal sulama için güneş enerjisini uygun hale getirmektedir. Oysa şebeke elektriğinin bulunmadığı tarımsal alanlarda sulama için jeneratör ya da mazot ile çalışan su motorları kullanılmaktadır. Kullanılan bu sistemlerin yakıt giderleri yüksek olması çiftçilere büyük sıkıntı vermektedir. Bu durum göz önüne alındığında PV Panelli Sulama uzun vadede en mantıklı ve masrafsız sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemin düşük maliyette olması için kullanılacak olan pompa PV sistem ile uyumlu DC pompa olması gerekmektedir. Bu sistemde alternatif akımla çalışan pompaların kullanılması tavsiye edilmemektedir. Çünkü alternatif akımla çalışan pompa kullanıldığında invertör ve akü grubuna da ihtiyaç olacaktır. Ekstra kullanılan bu cihazlardan kaynaklanan kayıplar ve alternatif akımla çalışan pompaların yüksek güç çekmeleri PV panel sayısını artırmakta ve bunun üzerine Akü ve invertör maliyetleri de eklendiğinde maliyet oldukça artacaktır.

## 1.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınlam şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınlam şiddeti 1311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo 1.1'de verilmiştir [3].

**Tablo 1.1.** Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

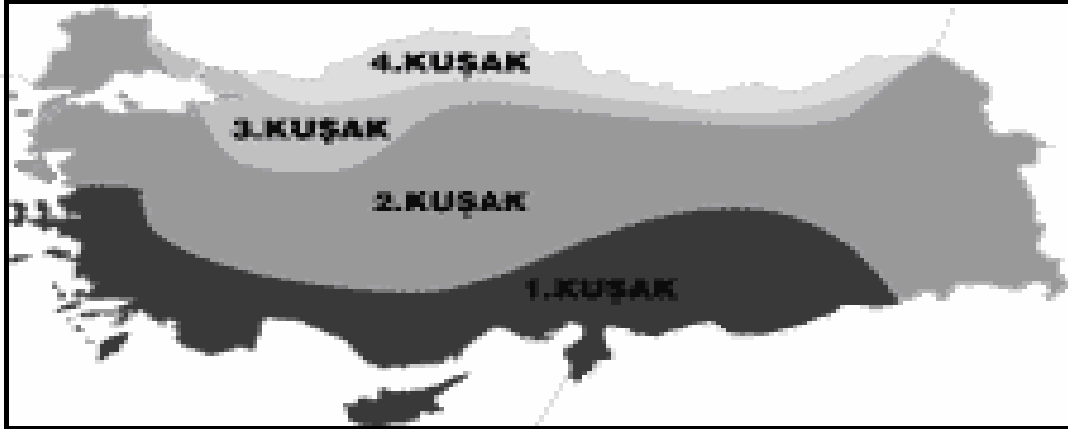
AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/Ay)
	(kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/cm <sup>2</sup> -ay)	
OCAK	4.45	51.75	103.0
ŞUBAT	5.44	63.27	115.0
MART	8.31	96.65	165.0
NISAN	10.51	122.23	197.0
MAYIS	13.23	153.86	273.0
HAZİRAN	14.51	168.75	325.0
TEMMUZ	15.08	175.38	365.0
AĞUSTOS	13.62	158.4	343.0
EYLÜL	10.6	123.28	280.0
EKİM	7.73	89.9	214.0
KASIM	5.23	60.82	157.0
ARALIK	4.03	46.87	103.0
TOPLAM	112.74	1311	2640.0
ORTALAMA	308.0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3.6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7.2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı Tablo 1.2'de verilmiştir.

**Tablo 1.2.** Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kw/m <sup>2</sup> - yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G. DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1972

Ancak bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir.



**Şekil 1.1.** Türkiye'nin güneş enerjisi haritası

Türkiye'nin güneş ışınlarını alma potansiyeli Şekil 1.1'de gösterilmiştir [3]. Bu haritaya göre güney bölgelerimizin güneş alma açısı kuzey bölgelerimize göre daha fazla olduğu görülmektedir. Haritada gösterilen 1. kuşak güneş alma açısı en fazla olan kuşaktır. 1. kuşağı sırasıyla 2. kuşak, 3. kuşak ve 4. kuşak takip etmektedir. Burada 4. Kuşak (Karadeniz, Doğu ve Kuzey Marmara) güneş alma açısı en düşük olan kuşaktır.

### 1.3. Batman İlinin İklim Özellikleri

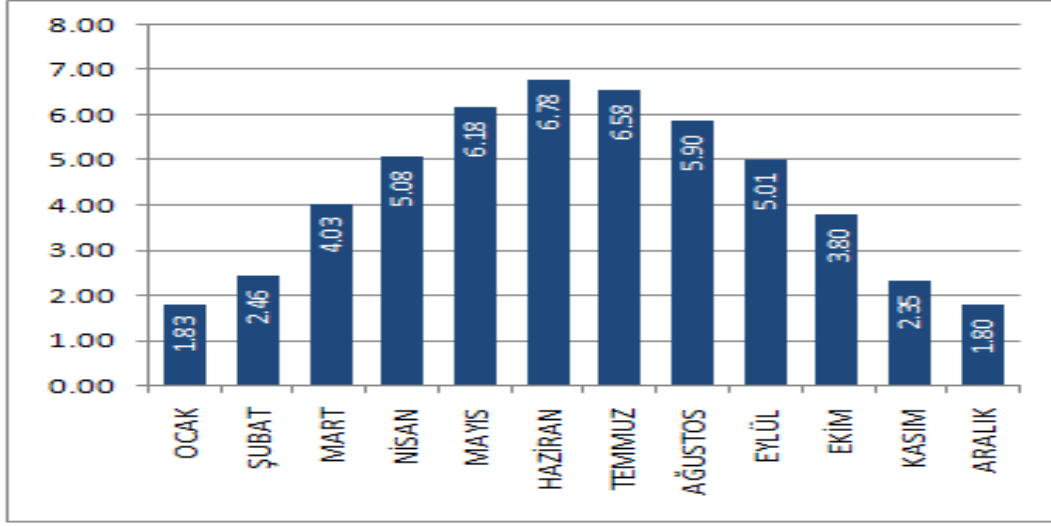
Batman'ın iklim özellikleri Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde oluşundan dolayı genel anlamda Uzak Akdeniz İklimi kapsamındadır. Yıllık ortalama yağış miktarı 750–1000 mm civarındadır. Kışlar bazı aralıklarda sert ve soğuk geçmektedir. 2007.01.01 tarihinde termometreler -32 dereceyi görmüştür. İlkbahar aylarında Beşiri ve Batman ovalarında bol otluk olup İç Anadolu ve Doğu Anadolu'dan mevsimlik küçükbaş ve büyükbaş hayvan besiciliği göçü almaktadır. Yaz aylarında bazı yıllarda şiddetli yağışlarda görülmektedir [4].

**Tablo 1.3.** Batman ilinin sıcaklık ve yağış değerleri (1975-2010)

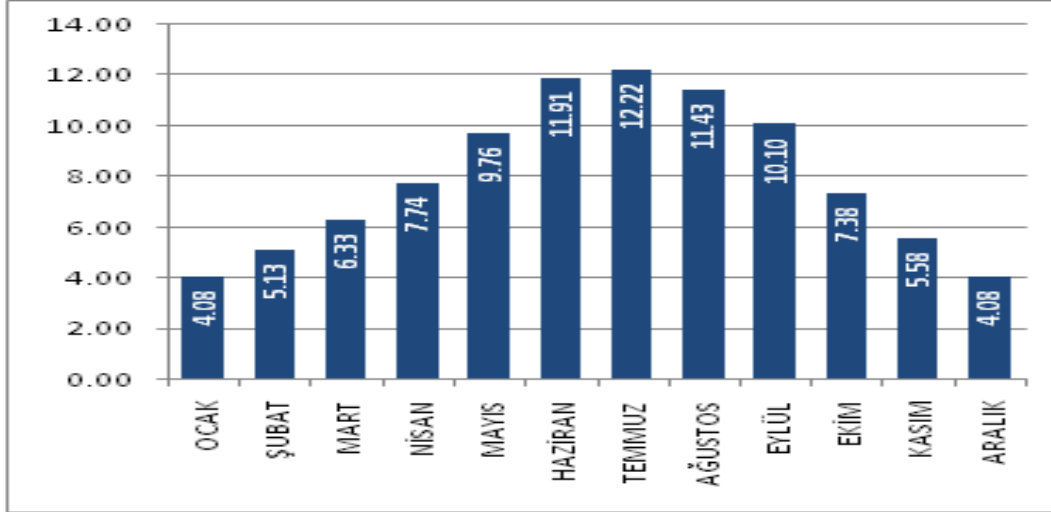
BATMAN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975 - 2010)											
Ortalama Sıcaklık (°C)	3.0	5.3	9.7	14.9	20.0	26.9	31.2	30.3	24.9	17.8	9.9	4.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	7.6	10.8	15.8	21.7	27.6	34.8	39.6	39.2	34.4	26.5	16.8	9.6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1.1	0.4	3.8	8.4	11.9	16.6	20.8	20.2	15.5	10.4	4.3	0.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	4.3	5.6	7.3	9.5	11.8	12.3	11.4	10.0	7.0	5.2	2.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.2	10.7	11.6	11.3	8.1	3.0	1.2	1.3	1.4	6.1	8.1	10.7
Ortalama Yağış Miktarı (kg/m <sup>2</sup> )	56.9	69.1	76.5	68.7	40.4	9.3	1.1	2.5	4.3	29.9	56.6	65.4
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975 - 2010)*												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	16.4	23.5	30.6	35.8	38.5	43.0	46.5	45.4	43.8	37.0	23.8	22.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-24.0	-16.0	-17.0	-9.0	0.9	5.7	11.8	11.5	4.4	-3.3	-6.4	-23.0
En Çok Yağış												
En Yüksek Kar												
En Hızlı Rüzgar												

	Tarih	Miktar
En Çok Yağış	01.04.1999	69.2 kg/m <sup>2</sup>
En Yüksek Kar	27.02.1985	21.0 cm
En Hızlı Rüzgar	11.12.2010	108.0 km/sa

Batman ilinde yaz ayları sıcak 46.5°C kış aylarında ise 16 °C ılık ve yağışlıdır. Tablo 1.3'de görüldüğü gibi 1975-2010 yıllarına ait aylık ortalama sıcaklık 30 °C derecedir. Bu özelliyle Türkiye'nin en sıcak bölgesidir. Ayrıca toplam güneş enerjisi 1.80 – 6.78 kWh/m<sup>2</sup> gün aralığında Güneşlenme süresi ise 4.08 – 12.22 saat aralığında değişmektedir. Bu değerler Şekil 1.2 ve Şekil 1.3'de verilmiştir.



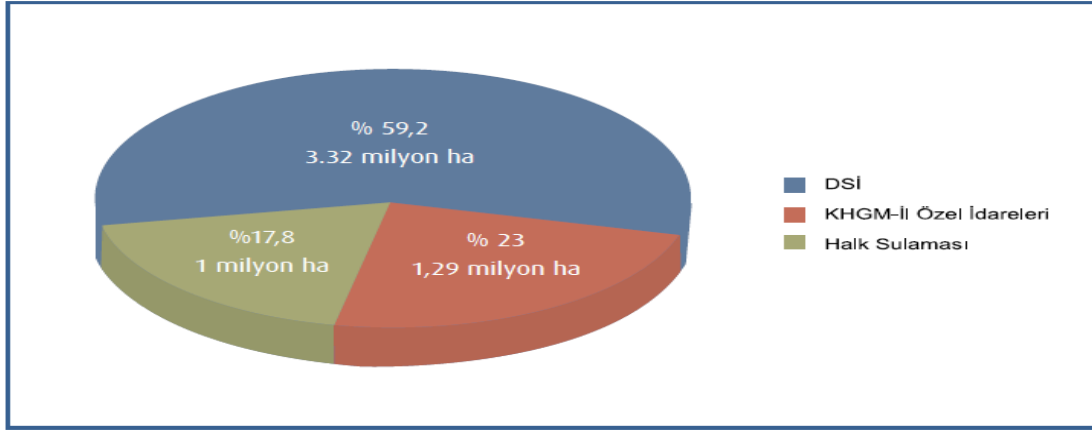
Şekil 1.2. Batman iline ait güneş enerji değişimi (kWh/m<sup>2</sup>)



Şekil 1.3. Batman iline ait güneşlenme süresi (saat) değişimi

#### 1.4. Türkiye’de Sulama Değerleri

Türkiye’nin yüzölçümü 78 milyon hektar (783.577 km<sup>2</sup>) olup, tarım arazileri bu alanın yaklaşık üçte biri yani 28 milyon hektar mertebindedir. Yapılan etütlere göre ekonomik olarak sulanabilecek 8,5 milyon hektar alanın 2011 yılı sonu itibari ile toplam 5,61 milyon hektarı Şekil 1.4’ de verildiği gibi sulamaya açılmıştır. Bu miktarın 3,32 milyon hektarı Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından inşa edilmiş modern sulama şebekesine sahiptir. 1,3 milyon hektarı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM) ve İl Özel İdareleri tarafından işletmeye açılmıştır. Ayrıca, yaklaşık 1 milyon hektar alanda halk sulaması yapılmaktadır [5].



**Şekil 1.4.** Türkiye’de sulama oranları (5.61 milyon ha)

#### 1.4.1. Tarımsal Sulamada Enerji Kullanımı

Türkiye’de genel enerji tüketimi içerisinde, tarım sektöründe tüketilen enerji miktarının 1990-2001 yılları arasındaki dönemde değişimi Tablo 1.4’de verilmiştir. Tarım sektöründe tüketilen enerji miktarı 1990 yılında 86.06 P<sub>J</sub> düzeyinde iken, 1995 yılında 112.46 P<sub>J</sub> ve 2001 yılında da 130.41 P<sub>J</sub> düzeyine yükselmiştir. Tarım sektöründe tüketilen enerji miktarı düzenli olarak artmakla birlikte, toplam enerji tüketimi içerisinde tarım sektörünün payı düzenli bir değişim göstermemektedir. Toplam enerji tüketiminde tarımın payı, 1990 yılında % 3.69, 1994 yılında % 4.19 ve 2001 yılında ise % 3.84 olarak Tablo 1.4’de verilmiştir. Toplam enerji tüketiminde tarımın payı, 1990-2001 yılları arasındaki dönemde ortalama % 3.77 olarak gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, 1994 yılından sonra toplam enerji tüketiminde tarımın payı azalmaya başlamıştır [6].

**Tablo 1.4.** Türkiye tarım sektöründe enerji tüketimi

Yıllar	Enerji Tüketimi (P <sub>J</sub> )		Toplam Enerji Tüketiminde Tarımın Payı (%)
	Tarım	Toplam Tüketim	
1990	86.06	2331.42	3.69
1991	86.94	2388.23	3.64
1992	87.73	2494.09	3.51
1993	107.80	2651.66	4.06
1994	109.12	2601.58	4.19
1995	112.46	2801.87	4.01
1996	119.41	3073.92	3.88
1997	124.21	3246.27	3.82
1998	124.38	3287.19	3.78
1999	128.61	3268.10	3.93
2000	130.32	3573.72	3.64
2001	130.41	3389.93	3.84

Tarım sektöründe 1990–2000 yılları arasındaki dönemde, tarım alanı başına enerji tüketimi değerlerinin yıllara bağlı olarak değişimi Tablo 1.5’de verilmiştir. Tarım sektöründe işlenen hektar (ha) başına kullanılan enerji miktarı, 1990 yılında 3.96 G<sub>J</sub>/ha iken, 1995 yılında 5.30 G<sub>J</sub>/ha ve 2000 yılında 6.20 G<sub>J</sub> /ha değerine ulaşmıştır. Tarım sektöründe mekanizasyon ve ileri teknoloji uygulamalarının sonucunda, enerji kullanımı giderek artacaktır. Bu nedenle tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve enerji kullanım etkinliğinin artırılması gereklidir [7].

**Tablo 1.5.** Tarım alanı başına enerji tüketimi

Yıllar	Ekili Alan (Milyon ha)	Tarım Alanı Başına Enerji Tüketimi (GJ/ha)
1990	21.7	3.96
1991	21.6	4.02
1992	21.6	4.06
1993	21.8	4.94
1994	21.5	5.07
1995	21.2	5.30
1996	21.3	5.60
1997	21.3	5.83
1998	21.5	5.78
1999	21.2	6.06
2000	21.0	6.20

#### 1.4.2. Tarımsal Sulamada Alternatif Enerji Kaynaklarının Kullanımı

Türkiye’nin alternatif enerji kaynakları potansiyeli Tablo 1.6’da verilmiştir. Günümüz Türkiye’sinde alternatif enerji kaynaklardan en çok klasik biyokütle enerji ve hidrolik enerji kullanılmaktadır. Jeotermal enerjiden yararlanma üçüncü sırada yer almakla birlikte, kullanımı sınırlıdır. Güneş enerjisi kullanımı düşük düzeyde iken, rüzgar enerjisi kullanımı giderek artış göstermektedir [8].

**Tablo 1.6.** Türkiye'nin alternatif enerji kaynakları potansiyeli

Alternatif Enerji Kaynakları	Brüt (MW)	Teknik (MW)	Ekonomik (MW)
Hidrolik Enerji	107500	53750	34862
Jeotermal Enerji	-	-	-
Isı	31500	7500	2483
Elektrik	4500	500	350
Güneş Enerjisi	111500000	1400000	116000
Rüzgar Enerjisi	-	-	-
Karasal (Elektrik)	220000	55000	20000
Denizsel (Elektrik)	-	60000	-
Deniz Dalga Enerjisi (Elektrik)	75000	9000	-
Biyokütle Enerjisi	--	-	-
Klasik (Yakıt, Mtep/yıl)	30	10	7
Modern (Yakıt, Mtep/yıl)	90	40	25

Uygulama alanı ve teknolojilerine bağlı olarak tarımda alternatif enerji kaynaklarının kullanılması durumunda:

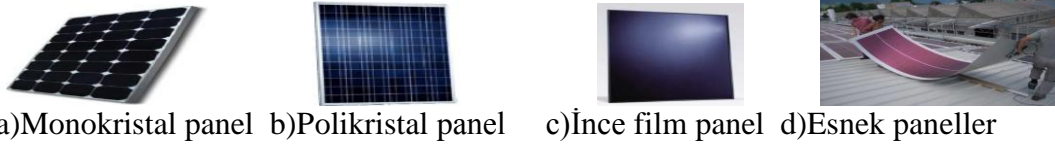
- İşletme giderleri azalır.
- Dış alım yapılan fosil enerjilere olan gereksinim azalır.
- Elektriksel güç için aşırı talep azalır.
- Çevre kirliliği azalır.
- Ekonomik gelişme sağlanır.

Tarımsal üretim işlemlerinde yararlanılabilecek alternatif enerji teknolojisinin seçimi, gerekli enerjinin çeşidi, alternatif enerji kaynağı, tarımsal yapı ve işlemlerin tasarımına bağlıdır. Tarımsal üretim işlemleri arasında çok fazla miktarda enerji tüketilen başlıca işlemler: sulama, ürün kurutma, sera ve hayvan barınaklarının ısıtma ve soğutulmasıdır. Bu işlemler sırasında yaygın olarak; motorin, doğal gaz, elektrik, sıvılaştırılmış petrol gazı veya propan gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Tarımda güneş enerjisi kullanımının planlı biçimde artırılması gereklidir. Tarımsal yapıların ısıtılmasında güneş enerjisiyle pasif ve/veya aktif olarak ısıtma uygulamalarından yararlanılmalıdır. Güneş enerjisi ile yüksek sıcaklıktaki uygulamalar, soğutma

uygulamaları, ve fotovoltaik teknoloji ile üretilen elektrikten tarımsal üretimde yararlanılabilir. Tarımsal sulama işlemlerinde güneş pillerinden yararlanılması durumunda: gerekli su miktarı, sulama için gereken zaman, su kaynağının durumu, gerekli su miktarı, kuyu derinliği, suyun kimyasal yapısı ve su depolama tanklarının kapasitesi gibi özellikler dikkate alınmalıdır [9].

### 1.5. PV Panel Teknolojileri

Fotovoltaik hücreler daha yüksek akım, gerilim veya güç seviyesi elde etmek için elektriksel olarak seri veya paralel bağlanırlar. Fotovoltaik modüller çevre etkilerine karşı sızdırmazlık sağlayacak şekilde birbirine eklenmiş fotovoltaik hücreler içerirler. Fotovoltaik paneller elektrik kabloları ile birbirine bağlanmış iki veya daha çok sayıda Fotovoltaik modül içerirler. Fotovoltaik diziler ise belli sayıda Fotovoltaik modül veya panel içeren enerji üretim ekipmanlarıdır [10].



Şekil 1.5. PV panel teknolojileri

#### 1.5.1. Kristal Paneller

Endüstriyel olarak kullanılan en yaygın panellerdir. Yaklaşık 90 yıl ömürleri vardır. Monokristal ve polikristal olmak üzere ikiye ayrılır.

##### 1.5.1.1. Monokristal Paneller

Kalite ve verimlilik açısından monokristal güneş pilleri yüksek verimli monokristal hücrelerden oluşmuşlardır. Bu paneller aynı gücü üreten polikristalin panellere göre %1-2 daha küçük alana sahiptir. Buna karşın üretiminde kullanılan teknoloji sebebiyle üretim süreci uzundur. Yine de monokristal güneş pilleri uzun vadeli yatırım için en iyi seçenektir. Güneş pilinin monokristal olması demek tüm hücrenin Şekil 1.5.a'da görüldüğü gibi sadece kristalden oluşması ve materyalin atomsal yapısının homojen olması demektir. Doğada bulunan tüm kristalin bileşimler aslında polikristalindir, sadece elmas neredeyse mükemmel monokristal özelliğe sahiptir.

### **1.5.1.2. Polikristal Paneller**

Kalite ve verimlilik açısından polikristalin güneş pilleri monokristalin güneş pillerinden biraz daha düşük verimli hücreler ile üretilmiştir. Ancak buna rağmen kullanım alanı daha yaygındır. Bunun en büyük nedeni ise daha kolay ulaşılabilir ve buna bağlı olarak daha uygun fiyatla bulunabilmesidir. Bu nedenle verimlilik/maliyet oranını hayli yüksektir. Polikristal şu anlama gelir: materyalin monokristale göre tek kristalden oluşmaması; yani materyalin tam olarak homojen olmaması demektir Şekil 1.5.b.

### **1.5.2. İnce Film Paneller**

Işık yutma oranı yüksek olan bu hücreler, düşük verimlilikleri nedeni ile pazar payının küçük bir bölümünü oluştururlar. İnce film fotovoltaiik malzeme genellikle çok kristalli malzemelerdir. Başka bir deyişle ince film yarıiletken malzeme, büyüklükleri milimetrenin binde birinden milyonda birine değin değışen damarlardan oluşmaktadır. Bu panellerin verimlilik oranları %7-14 arasında değışmektedir Şekil 1.5.c.

### **1.5.3. Esnek Paneller**

Geleneksel güneş panellerin alternatif olarak, özellikle çatı uygulamaları için geliştirilmiş bir teknolojidir. Şekil 1.5.d'de PV konstrüksiyonlarının çatıya entegresinin zor olduğu uygulamalarda çatı izolasyonuna zarar vermeden monte edilebilir. Birçok uygulamada enerji üretiminin yanında çatı membranı olarak da kullanılabilir. Kristal ve ince film hücrelerden oluşan çeşitleri mevcuttur. İnce film hücrelerden oluşan panellerin en önemli özelliğı esnek olması ve serme tipte uygulanabilmesidir. Herhangi bir konstrüksiyon ihtiyacı yoktur. Ayrıca kristal yapılı güneş panellerine göre ağırlık dağılımında avantaj sağlar. Cam içermediğı için kırılma tehlikesi yoktur. En büyük özelliğı ise taşınabilir olmasıdır.

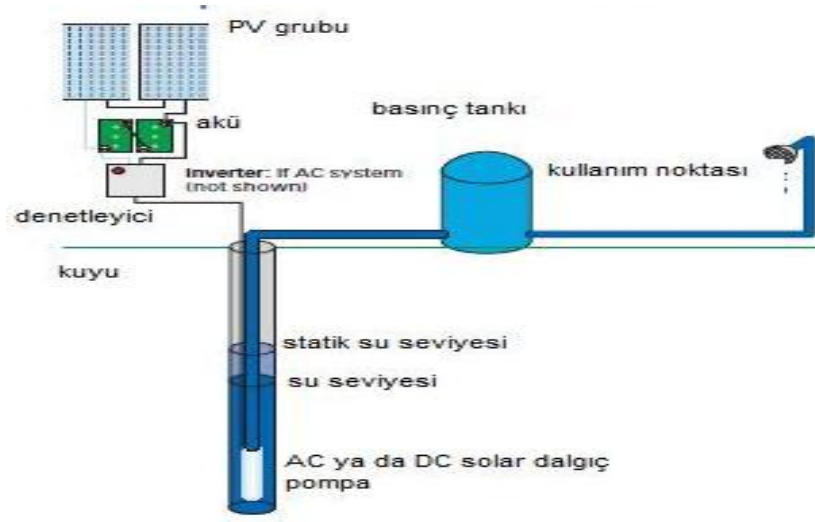
## **1.6. PV Panel Teknolojisinin Uygulama Alanları**

Fotovoltaiik uygulamalardan, elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her yerde yararlanılabilir. Güneş ışığından, bulutlu havalarda ve gece yararlanamama durumunun

üstesinden ise, daha önce üretilen enerjinin akülere depolanması ile gelinebilir. Uygulamalar aşağıda sıralanmıştır [11].

### 1.6.1. Doğrudan Bağlanmış Fotovoltaik Sistem

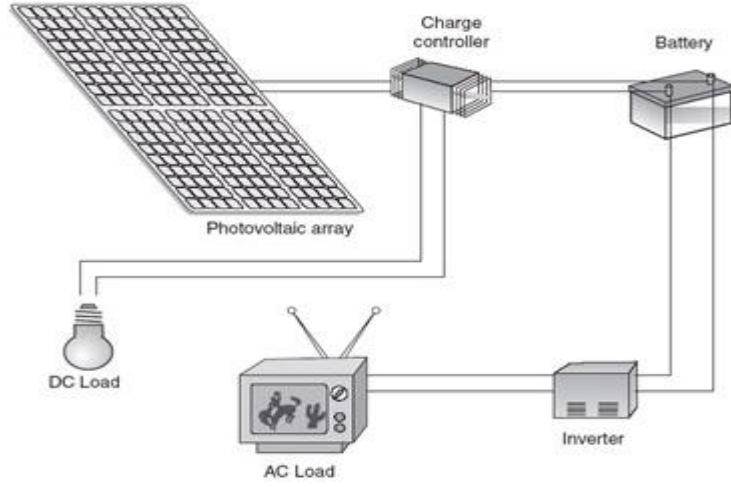
Doğrudan bağlanmış fotovoltaik sistemde; fotovoltaik panel, yapılan işle doğrudan bağlanmıştır. Bundan dolayı; enerji güneş ışığı olduğu sürece kazanılır bu nedenle çok sınırlı miktarda uygulama gerçekleştirilir. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi su pompalama sistemi sadece güneş olduğu sürece çalışır ve genellikle elektrik depolamak yerine su depolanır.



Şekil 1.6. Doğrudan bağlanmış fotovoltaik sistem

### 1.6.2. Tek Başına Uygulamalar

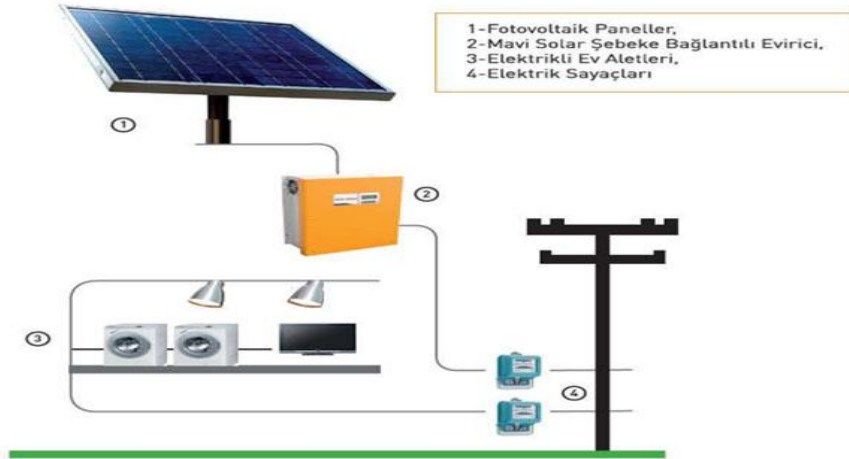
Tek başına fotovoltaik sistemler, elektrik şebekesine erişimin olmadığı veya zor olduğu yerlerde kullanılır. Böyle bir sistem, elektrik şebekesinden bağımsızdır ve üretilen enerji genellikle bataryalarda depolanır. Şekil 1.7'de görülen tipik bir tek sistem, fotovoltaik modüller, bataryalar ve şarj kontrolcüsünü içermektedir. Ayrıca, fotovoltaik modüller tarafından üretilen doğru akımı, normal uygulamalarda kullanabilmek için alternatif akıma çeviren bir invertör de sisteme dahil edilebilir.



Şekil 1.7. Tek başına uygulamalar

### 1.6.3. Şebekeye Bağlı Sistemler

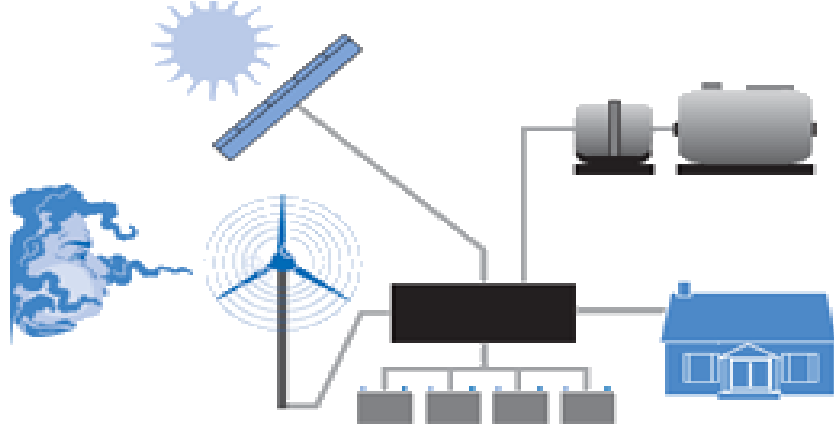
Bu tip fotovoltaik sistemler, Şekil 1.8’de görüldüğü gibi yerel elektrik enerjisi ağına bağlıdır. Gündüzleri, fotovoltaik sistem tarafından üretilen elektrik enerjisi hemen kullanılır ya da elektrik sağlayıcı firmalara satılır. Güneş ışığı olmadığı zamanlarda, elektrik enerjisi fotovoltaik sistem tarafından üretilmeyeceği için, kullanım için gerekli güç ağdan satın alınır. Sonuçta, şebeke, bataryalara ihtiyaç duymadan, bir çeşit elektrik depolama sistemi olarak görev yapmaktadır.



Şekil 1.8. Şebekeye bağlı sistemleri

#### 1.6.4. Hibrit Sistemler

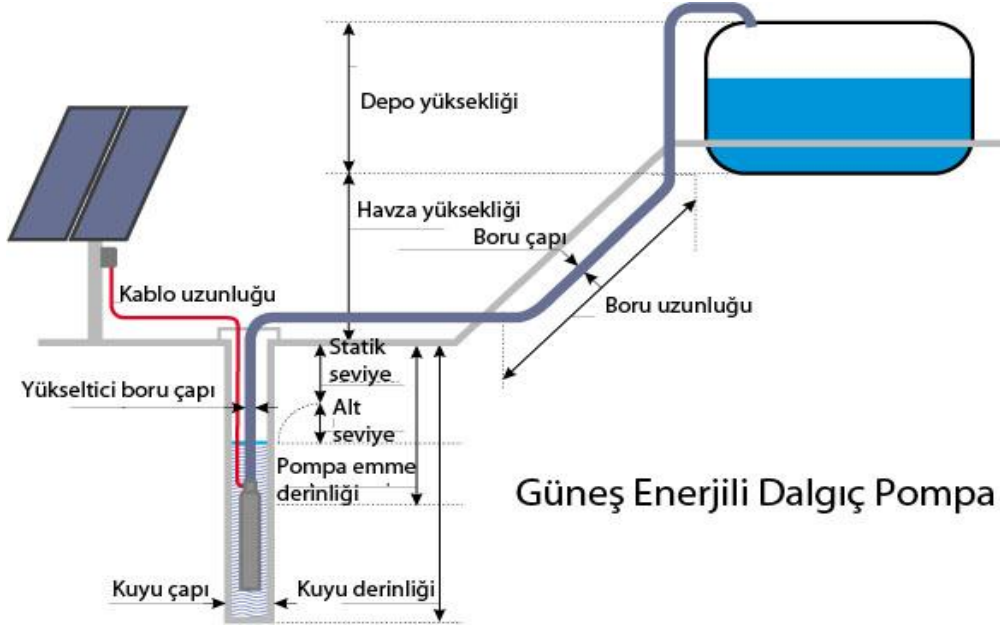
Hibrit sistemde, birden farklı tipte elektrik üreticisi mevcuttur. İkinci tip elektrik üretici sistem yenilenebilir bir enerji (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi) veya geleneksel enerji çeşidi (jeneratör ya da şehir elektrik şebekesi) olabilir.



Şekil 1.9. Hibrit sistemler

#### 1.7. Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemi ve Tasarımı

Güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemlerinin diğer pompalama sistemlerine göre, bakım istemeden kendi başına çalışmaları, yakıt gerektirmemeleri ve uzun ömürlü olmaları gibi önemli üstünlükleri vardır. Bu sistemlerin olumsuz yanları ise, sistem kuruluş fiyatının yüksek oluşu ve pompalanan su miktarının güneşe bağlı oluşudur [2]. Şekil 1.10.'da güneş enerjisi ile çalışan tipik bir su pompalama sistemi gösterilmiştir.



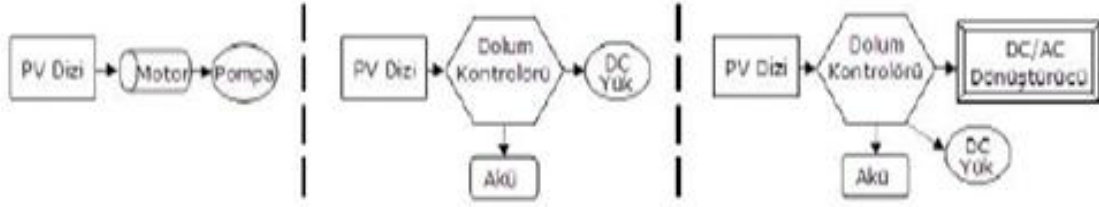
Şekil I.10. Güneş enerjisi ile çalışan tipik bir su pompalama sistemi

### 1.7.1. Güneş Enerjisiyle Su Pompalama İçin Doğrudan Dönüşüm Yöntemleri

Doğrudan dönüştürme yönteminde, güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisiyle, geleneksel bir pompanın motoru çalıştırılır. Güneş enerjisinin doğrudan dönüşümünde, fotovoltaik, termoelektrik ve termo iyonik işlemlerden yararlanarak doğrudan elektrik akımı üretilir. Üretilen elektrik ile DC motor çalıştırılabilir veya bir çevirici ile AC akıma çevriltilerek, daha sonra su pompalarını çalıştırmak için kullanılabilir. Doğrudan dönüşüm yöntemleri arasında, fotovoltaik ilkeye göre çalışan güneş enerjili sulama uygulamaları, kullanım sürelerinin uzun, bakım gereksinimlerini az ve kısmen daha kompakt bir yapıda olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 1.7.2. Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjisiyle Sulama Sistemleri

Fotovoltaik (PV) sistemler bağımsız uygulamalar için yaygın şekilde kullanılır. Bağımsız PV sistemleri için başlıca üç farklı düzenleme vardır Şekil 1.11. Su pompalama uygulamaları, PV sistemlerin başlıca uygulama alanıdır. Su pompalama uygulamalarında, güneş ışınımının bulunduğu sürelerde su pompalanır veya daha sonra kullanılmak üzere depolanır. Güneş ışınımının olmadığı sürelerde kullanılmak üzere akülerde güç depolanabilir. Akü dolun sistemi kullanılması durumunda, sistemin kontrolü için elektronik kontrol üniteleri gereklidir.



a) Akü kullanılmayan      b) Akü kullanılan      c) Akü ve İnvörtör kullanılan

**Şekil 1.11.** Fotovoltaik sistemler için başlıca düzenlemeler

Sulama amaçlı güneş enerji sistemleri;

- 1) PV paneller
- 2) Motor-pompa (M-P) ünitesi ve
- 3) Dönüştürücü (invertör)

olmak üzere başlıca üç bileşenden oluşur. Sistem tasarımının bağlı olarak, depolama aküleri ve şarj regülatörü kullanılabilir. Aküler, güneş ışınım şiddetinin düşük olması durumunda, sistemin çalışmasına olanak sağlar. Bununla birlikte; akü kullanılmayan, sistemler daha ucuz ve daha basittirler bakım gereksinimleri yoktur. Elektrik motoru, güç gereksinimi ve akım tipine bağlı olarak seçilmelidir. Alternatif akım (AC) ile çalışan motor kullanılması durumunda, sisteme DC/AC dönüştürücü yerleştirilmesi gerekir. Doğrudan bağlantılı bir sistemde başlıca bileşenleri Şekil 1.12'de şematik olarak verilmiştir. Güneş pilleri dizisi, bir doğru akım (DC) motoru çalıştırmak için yeterli miktarda elektriksel güç üretir. Elektrik motoru, elektriği mekanik enerjiye dönüştürür ve bir su pompasını çalıştırır. Mekanik enerji, daha sonra pompa aracılığıyla su kaynağından su çıkarmak için hidrolik enerjiye dönüştürülür. Güneş pilleri dizisi, DC motor-pompa ünitesi ile doğrudan bağlantılı olduğu için, bu tip düzenleme doğrudan bağlantılı PV su pompalama sistemi olarak tanımlanır [3].



**Şekil 1.12.** PV su pompalama sisteminin bileşenleri

### **1.8. Literatür Araştırması**

Güneş enerjisinin kullanımıyla ilgili literatürde birçok eski ve yeni çalışma mevcuttur.

Sıcaklık belli bir limiti aştığında fotovoltaiik hücrelerde bozulmalar meydana geldiğini bunu önlemek için hücreler üzerine su püskürtülmesi gerektiği üzerinde durulmuştur [12].

Güneş pilleri hakkında araştırma yapmıştır. Tasarım, yarı iletken teknolojisine dayalı, p-n junction (ikili) ve karmaşık yapılu güneş pilleri üzerinde yapılan son çalışmaları derlemiş ve genel olarak, bir güneş pilinin çalışma prensibi, Fotovoltaiik olay, ışık enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesi konuları anlatılmıştır [13].

Shorta, Burton J.D. (2003) küçük birimlerde güneş enerjisiyle sulamanın öneminden ve güneş enerjisiyle çalışan pompaların faydalarından bahsetmiştir [14]. Kala Meah, Sadrul Ula, Steven Barrett (2008) güneş fotovoltaiik su pompalama fırsatlarından bahsettiği ve merkezlere uzak yerleşim yerlerinde güneş enerjisiyle suyun pompalanmasının daha düşük maliyetlerde olduğu aynı zamanda gelişmiş ülkelerde güneş enerjisiyle elektrik üretiminin ekonomik ve güvenilir olması onu mükemmel bir seçim yaptığını açıklamıştır [15]. Odeh I., Yohanis Y.G., Norton B. (2006) PV panellerle pompalama sistemlerinin AC fotovoltaiik için bir simülasyon modeli geliştirmiş laboratuvar ile arazi verilerini karşılaştırmış sistem performansı üzerinde pompa özellikleri güneşlenme frekans dağılımının etkisini göz önünde bulundurarak PV boyutu simülasyon ile analiz ederek örnek bir çalışma ile göstermiştir [16]. Ggoneim A.A. (2006) su pompalama için güç kaynağı olarak güneş pillerinin kullanılması

gerektiğinin bu sistemlerin kullanımının artmasıyla maliyetlerinin düşeceğini güvenilir ve ekonomik bir çalışma elde etmek için kullanılacak pompanın PV panellerin ürettiği DC gerilimle uyumlu olması gerektiğinden bahsetmiştir [17]. Short T.D., Thompson P. (2003) gelişmekte olan ülkelerde insanlar bir çok durumda pompa teknolojilerini kullandıklarını bu da bakım ve yakıt maliyetlerini artırdığını bu çalışmada güneş enerjisi ile su pompalama üzerinde projeler geliştirerek toplum üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri anlatmıştır [18].

Türkiye'nin alternatif enerji kaynakları ve kullanım potansiyeli hakkında araştırmalar yapmıştır. Yılkıran, enerji ve Türkiye'deki alternatif enerji kaynakları ile bu kaynakların kullanım potansiyelini belirlemeye çalışmıştır. Alternatif enerji kaynaklarının öncelikle tespiti yapılarak bu enerji kaynakları incelenmiştir. Alternatif enerji kaynaklarının fosil yakıtlara göre daha çevre dostu oldukları, gelişen teknolojiyle birlikte değerlendirilme imkanlarının artmakta olduğunu tespit etmiştir. Alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisi, jeotermal enerjisi ve az da olsa rüzgar enerjisinin kullanılabilir potansiyelinin mevcut olduğu fakat yeterince kullanılmadığını tespit ederken, hidrojen enerjisi, biyogaz enerjisi ve dalga enerjilerinin ise potansiyel olmasına rağmen hemen hemen hiç kullanılmadığı tespit etmiştir [19].

Fotovoltaik güneş destekli ısı pompası sistemi üzerinde durmuşlar bir dizi performans testleri, hava koşulları ile günlük analiz etmişler ve besleme suyu sıcaklığını etkileyen faktörleri belirlemişler [20].

Oluklu Ç. (2001) güneş enerjisinden etkin olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik modüller, boyutlandırılmaları ve mimaride kullanım olanakları üzerine bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada coğrafi konumu nedeniyle güneş ışınımından optimum düzeyde yararlanabilecek bir konumda bulunmasına rağmen, bu konudaki çalışmalar sıcak su elde etmekten ileri gidememiş olan ülkemizde de PV paneller aracılığı ile elektrik enerjisi elde edilmesi çalışmalarının geliştirilmesine ve PV panellerin binalarda kullanım olanaklarının yaygınlaştırılmasına katkıda bulunması gerektiğini açıklamıştır [21]. Dike M.F. (2007) Güneş enerji sistemlerinin dam ve çatılarda oluşturmuş oldukları görüntü kirliliğini gidermek ve bu sistemde kullanılan devir daim pompasının elektrik ihtiyacını güneş pilleri ile güneşten elde edilmesi konusunda araştırmalar yapmıştır. Araştırmalarda insanlık için önemli olan elektriğin üretilmesinde alternatif yöntemden bahsedilmiştir. Araştırmalar sonucunda dam ve

çatılarda görüntü kirliliğinin giderileceği ve bu sistem de kullanılan devir-daim pompasının elektriğini güneşten üreterek çok ekonomik ve senelerce kullanılabileceğimiz bir sistem oluşturabileceğinden bahsetmiştir. Ayrıca güneşin, sadece sıcak su ihtiyacını karşılaması yanında yeni teknoloji güneş pilleri ile ihtiyaç duyulan elektriğin üretilerek damlardaki görüntü kirliliğinin önlenmesinde başarılı bir şekilde kullanılabileceği tespit etmiştir [22]. Öztürk R. (2003) bu çalışmada öncelikle güneş pilleri ile elektrik enerjisi üretim yöntemleri incelemiş daha sonra bir karavanın elektrik enerjisi gereksiniminin, güneş enerjisinden yararlanılarak güneş pilleri ile karşılanması teknik ve ekonomik analizi yapılarak, konvansiyonel sistemlerle karşılaştırılması yapmıştır [23]. Özgöçmen A. (2007) elektrik şebekesinin uzatılmasının mümkün olmadığı durumlarda ya da anlamlı olmadığı yerlerde güneş pillerinin kullanılması gerektiğini bir uygulama ile öne çıkarmıştır [24].

Vilela ve ark. (2003) su pompalama sistemine bağlı sabit ve güneşi tek eksende izleyen PV bir panel sistemi deneysel olarak incelemişleridir. Güneş ışınım enerjisinin 5000 ve 6000 Wh/m<sup>2</sup> olduğu koşullarda, güneşi izleyen sistem tarafından toplanan enerji % 19 ve % 24 oranında daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bu sistem tarafından pompalanan su miktarı % 37 ve % 41 oranında arttığını gözlemlemişlerdir [25]. Bione ve ark. (2004) su pompalama amacıyla güneşi izleme ve odaklama mekanizmaları bulunan PV sistemleri sabit PV sistem ile karşılaştırmışlardır. Sabit PV sistem ile karşılaştırıldığında bir yılda, güneşi izleyen sistem ile 1.41 kat ve odaklayıcı PV sistem ile ise 2.49 kat daha fazla su pompalanmıştır [26].

PV pompa sisteminin çeşitli bileşenlerinin (PV modül, akü, elektrik motoru ve santrifüj pompa gibi) zamana bağlı değişimini incelenmişlerdir. Sistem iki ana çalışma moduna sahiptir. Güneşin ışık yoğunluğunun seviyesi sistemi etkilemektedir. Matematik model çalışma moduna göre 7 ya da 4 diferansiyel denklem içerir. Işık yoğunluğunun yüksek olduğu açık günlerde pil sıcaklığı yüksektir. Bu durum düşük PV pil verimi ile karakterize edilmiştir. Kapalı havalarda pil sıcaklığı daha düşüktür ve bu durumda pil verimi daha yüksektir. Kış aylarında güneşten kullanıcıya yansıyan verim daha yüksektir. Güneş modülünden sağlanan elektrik motoru çalıştırmak için kullanılır. Akü tampon görevi görmektedir [27].

Bu çalışmada, Kuveyt iklimi koşullarında PV su pompalama sisteminin verimi değerlendirilmiştir. Doğrudan bağlı PV su pompalama sistemi; PV dizi, DC motor,

santrifuj pompa, akümülatörde depolama durumundaki gibi benzer amaç için kullanılan depolama tankı ve sistem veriminin artırılması amacıyla kullanılan maksimum güç noktası belirleyicisinden oluşmaktadır. Sistem tarafından pompalan su ile kırsal kesimdeki 300 kişinin su gereksinimini karşılanabilmiştir. Su tüketimi için kişi başına 40 L/gün değeri dikkate alınarak, derin kuyudan yıl boyunca günlük olarak 12 m<sup>3</sup> hacminde su pompalanmasına gereksinim duyulmaktadır. Tasarlanan sistemin Kuveyt iklimi koşullarında verimini belirleyebilmek için benzeşim programı geliştirilmiştir. Benzeşim programı, PV dizi, DC motor ve santrifuj pompa bileşen modellerinden oluşmaktadır. Amorf silikon güneş pili modüllerinin verimini belirleyebilmek için beş adet değişken model uyarlanmıştır. Tasarımlanan sistem için en uygun verime ulaşabilmek amacıyla; PV dizi büyüklüğü, PV dizinin yönlendirilmesi ve pompa motor hidrolik sisteminin özellikleri değiştirilmiştir. PV su pompalama sisteminin ekonomik uygulanabilirliği için yaşam döngüsü maliyet analizi yapılmıştır [28].

Yeşilata ve Fıratoğlu (2008) güneş ışınım şiddetine ilişkin bazı değerler kullanılarak, PV su pompalama sisteminden elde edilen güç miktarının değişimini incelemişlerdir. Yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenen bulgular, uzun dönemlik güneş ışınım şiddeti ölçümleri ile karşılaştırılmıştır [29]. Abdolzadeh ve Ameri (2009) PV su pompalama sisteminin verimini artırılması için araştırmalar yapılmış. PV su pompalama sistemlerinin verimlerini artırabilmek için, PV hücrenin sıcaklığını belirli bir sınırdan tutmak ve PV hücreden olan yansımayı olabildiğince azaltmak gereklidir. Bu amaçla tasarımı yapılan araştırmada, PV hücrelerin üzerine su püskürtülmüştür. Araştırma sonuçlarına bağlı olarak, PV hücreler üzerine su püskürtülmesi durumunda, elde edilen güç miktarı ve farklı basınçlarda pompalanan su miktarının arttığı belirlenmiştir [30]. Mokeddem ve ark. (2011) fotovoltaik (PV) üniteye doğrudan bağlı su pompalama sisteminin verimini değerlendirebilmek amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. PV su pompalama sistemi; 1.5 kW gücünde PV dizi, DC motor ve santrifuj bir pompadan oluşmaktadır. Motor-pompa verimi, doğrudan bağlı PV pompalama sistemlerin özgü bir düzey olan % 30 değerini geçmemesine karşın; bu tip sistemlerin, elektrik şebekesinin ulaşmadığı ve su temininin birincil öncelikte olduğu kırsal kesimlerde, düşük basınçlı sulama sistemleri için daha uygun olabileceği belirtilmiştir. Sistem, akümülatör ve karmaşık kontrol birimleri olmadan çalışabildiğinden, ilk yatırım maliyeti düşük olmakla birlikte, bakım, onarım ve tasarım giderleri de azdır [31].

Hamrouni ve ark. (2009) güneş ışınımındaki değişimin; PV üreteç, DC-AC dönüştürücü, dalgıç pompa ve depolama tankından oluşan bir PV su pompalama sisteminin verimine olan etkisini araştırmışlardır. Sistemin modellenmesi ve kontrolü için teorik bir inceleme yapmışlardır. Güneş ışınım şiddetinin azalması, PV su pompalama sisteminin verimini olumsuz olarak etkilemektedir. Yapılan incelemesinin geçerliliği, benzeşim ve deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. PV su pompalama sistemlerinin yaygın olarak kullanılması durumunda, kırsal alanda sadece yaşam koşullarının iyileşmekle kalmayacağı, aynı zamanda çevresel açıdan olumlu katkılar da sağlanacağı belirtilmiştir [32].

Su depolama tankı bulunan bir PV su pompalama sisteminin farklı bileşenlerinin kapasitelerini optimize etmek için, optimum boyutlandırma modeli geliştirmişlerdir. PV pompalama sisteminin boyutlandırılması optimizasyonu, sistemin güvenilirlik gereksinimlerine bağlı olarak teknik ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilir. Geliştirilen model, Cezayir’de içme suyu temini için tasarlanmış olan bir PV pompalama sisteminin değerlendirilmesi için kullanılmıştır [33].

Güneş pili (PV) sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, bu sistemlerin olabildiğince doğru bir şekilde boyutlandırılmasını gerektirmektedir. Güneş enerjisi ile çalışan tarımsal sulama sistemlerinin tasarımında; suyun pompalanacağı toplam yükseklik, gereksinim duyulan günlük su ve bölgedeki ortalama güneş enerjisi miktarlarının önceden hesaplanması veya tahmin edilmesi gerekir. Bu çalışmada, meyve bahçelerinde damla sulama amacıyla, su pompalama sistemi için gerekli PV tesisat tasarım ölçütlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; ürün su gereksinimi, toplam sulama gereksinimi, belirli bir yüksekliğe belirli bir hacimde su pompalamak için günlük olarak gerekli hidrolik enerji, PV panellerin sağlaması gereken en yüksek enerji miktarı, PV panellerin gücü ve güneş pili gereksinimi gibi tasarım ölçütlerinin belirlenmesi için izlenecek yöntemler açıklanmıştır [34].

PV pompalama sistemlerinde kullanılacak olan motor-pompa ünitelerinin özelliklerini belirleyen bir model geliştirmişlerdir. Modelde, farklı basınç değerleri için, motor-pompa ünitesine elektriksel güç girişine bağlı olarak, su debisi doğrudan hesaplanabilmektedir. Gerçek model, farklı teknolojiler ile değişik tiplerde tasarlanan motor-pompa üniteleri kullanılarak belirlenen deneysel sonuçlara bağlı olarak geliştirilmiştir. Santrifüj ve pistonlu pompalarla ilgili olarak araştırmaların

ayrıntıları verilmiştir. Geliştirilen modelde deneysel olarak belirlenen veriler kullanılmıştır. Motor-pompa alt modeline bağlı olarak, su pompalama amacıyla dizel yakıt kullanılan jeneratör yerine PV dizi kullanılması durumunda, CO<sub>2</sub> salınımındaki azalma miktarını belirleyen bir model geliştirilmiştir [35].

Ramos J.S., Helena M., Ramos (2009) gelişmekte olan ülkelerin köy ve kasabalarında tarımsal alanların tümüne şehir şebekesinin götürülmesi maliyetinin yüksek ve vergilerin toplanmasının zor olduğu için güneş enerjisiyle tarımsal sulamanın yapılması gerektiğinden bahsetmiştir [36]. Kavlak, Güngör (2006) çalışmalarında mazotlu pompa yerine fotovoltaik pillerle bir su pompalama sistemi uygulanıyor olsa daha temiz ve ekonomik yollar ile sulama işlemi yapılabilir olduğunu belirtmiştir [37].

Güneş enerjisi ile çalışan 300 W gücündeki 3 fazlı 12/8 kutuplu bir anahtarlamalı relüktans motor için boost konvertör tasarlanmışlardır. Tasarladıkları konvertörü, sistemden maksimum verim elde etmek amacıyla kullanılmışlardır. Bu sürücü sistemi sulama sistemindeki santrifüj su pompasının sürülmesinde kullanmışlardır. Ayrıca, tasarlanan sürme sistemi ile ilk hareket anındaki darbe akımları önlenmişlerdir. Sürücü sisteminde düşük maliyetli ve yeterli performansa sahip bulunan PIC16F877 mikro denetleyicisi kullanmışlardır [38].

Fotovoltaik (PV) güç sistemli su pompalarının dizayn esasları incelenmiş ve sistem bileşenlerinin kolaylıkla seçimine katkıda bulunacak bir yöntem takip ederek tasarım grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler yardımıyla sistem için gerekli fotovoltaik güneş paneli seçimi pratik olarak yapılabileceğini belirlemişlerdir [39].

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; güneş enerjisinde fotovoltaik (PV) paneller ile üretilen elektriğin tarımsal sulamada kullanılabilmesi için, tasarlanmış olan taşınabilir PV dizilerden oluşan PV sistemin tasarım özellikleri ve sistemde kullanılan ekipmanların (PV panel, regülatör, invertör, akümülatör, multimetre, dalgıç pompa) elektriksel ve fiziksel özellikleri açıklanmış. Düzenegın şematik resmi Şekil 2.2.'de verilmiştir.

### 2.1. Deneysel Düzenek

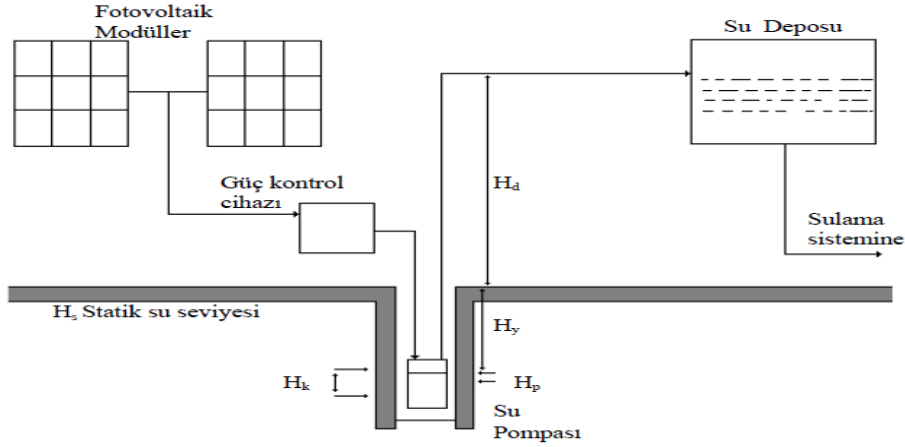
#### 2.1.1. Fotovoltaik PV Sistem

PV sistem, güneş ışınım enerjisinden doğrudan elektrik üreten ve ürettiği elektriği sistemde bulunan DC dalgıç pompanın çalıştırılması amacıyla güç kaynağı olarak kullanılabilir. PV sistem, her birinde toplam  $18 \times 2 = 36$  adet PV hücre bulunan 4 adet modülden oluşan sistem Şekil 2.1'de görülmektedir. PV sistemde, silisyum dioksitten ( $\text{SiO}_2$ ) yapılmış olan,  $18 \times 2 = 36 \times 4 = 144$  adet PV hücre bulunmaktadır.



Şekil 2.1. Fotovoltaik PV sistem ünitesi

PV paneller ikişer gruplar halinde paralel bu gruplarda kendi arasında seri bağlanarak modül oluşturulur. Modülün ürettiği elektrik enerjisi regülatöre iletilerek, akımdaki dalgalanmalar giderilir. Modülden elde edilen ortalama 49.95 V DC gerilim ile pompa devreye alınır ayrıca invertöre (dönüştürücüye) iletilerek 220 V AC gerilime yükseltilir. Gerekirse elektrik enerjisi akümülatöre aktarılarak depolanır.



Şekil 2.2. Deney düzeneğinin şematik resmi

- Fotovoltaik PV Panel
- Regülatör (Güç Kontrol Cihazı)
- Invertör (Dönüştürücü) Su Pompası (DC Pompa)
- Akümülatör
- Multimetre (Akım, Gerilim, OHM Ölçer)
- Dalgıç Pompa (DC Pompa)

#### 2.1.1.1. Fotovoltaik PV Panel

PV Panel 345\*293\*23 mm çerçeveler içerisinde tasarlanmıştır. Bir panelin verdiği güç 10 W olup, dört panel seri ve paralel bağlanarak oluşturulan modülünden üretilen güç 68.50 W dır. Sitemde kullanılan PV panellin fiziksel ve elektriksel özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

**Tablo 2.1.** PV Panelin fiziksel ve elektriksel özellikleri

Özellikler	Değerler
Boyutlar (mm)	335*293*23 mm
1 m <sup>2</sup> 'de verdiği güç	1000W
P <sub>m</sub> (W)	10 W
V <sub>oc</sub> (V)	22 V
I <sub>sc</sub> (A)	0.649 A
V <sub>mp</sub> (V)	17.2 V
I <sub>mp</sub> (A)	0.582 A



**Şekil 2.3.** Fotovoltaik PV panel ve sistem ünitesi

### 2.1.1.2 Regülatör (Güç Kontrol Cihazı)

Regülatör PV panelin ürettiği DC akım dalgalarını düzenli hale getirerek akümülatörü şarj eder. Sistemde kullanılan regülatörün fiziksel ve elektriksel özellikleri Tablo 2.2' verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Regülatörün fiziksel ve elektriksel özellikleri

ÖZELLİKLER	DEĞERLER
Maks. Giriş Kısa Devre Amper (Isc)	15 A
Maks. Çıkış Amperi	15 A
Sistem Voltaj	12 / 24 V
Tüketim	< 4 Ma
Boyut	80x100x32 mm



a) Regulator



b) Invertör



c) Akümülatör

**Şekil 2.4.** Fotovoltaik PV sistemde kullanılan regülatör, invertör, akümülatör

### 2.1.1.3. Invertör (Dönüştürücü)

Fotovoltaik PV Sistemin ürettiği DC gerilimi AC gerilime çevirmek için kullanılan bir cihazdır Şekil 2.4.b. AC gerilim önce konvertörde doğrultulur (DC' ye çevrilir) sonra da bu DC sinyal invertörde AC ye çevrilir. Inverter'i anlayabilmek için örneğin şehir şebekesi 12 V DC ye çeviren pil şarj adaptörün tersine, 12 V DC gerilimi 220 V şehir şebekesine çeviren bir adaptör gibi düşünülebilir. Ancak burada vurgulamak gerek en önemli husus şudur. Invertör elektrik üretmez, aküdeki 12 V DC gerilimi kullanarak 220 Volt AC'ye çevirir ve kullandığı kadar enerjiyi aküden çeker.

### 2.1.1.4. Akümülatör

Fotovoltaik PV Sistemin ürettiği elektrik enerjisini depolayarak güneşin olmadığı veya yetersiz olduğu zamanlarda sistemin çalışmasını sağlar Şekil 2.4 .c.

### 2.1.1.5. Multimetre (Akım, Gerilim, OHM Ölçer)

Fotovoltaik PV sistem tarafından üretilen elektriğin akım ve gerilim değerleri sayısal multimetre ile ölçülmüştür. Tablo 2.3'de. Multimetre, akım (Amper), gerilim (Volt), direnç (Ohm) ve kısa devre ölçebilen bir elektronik ölçme aletidir.



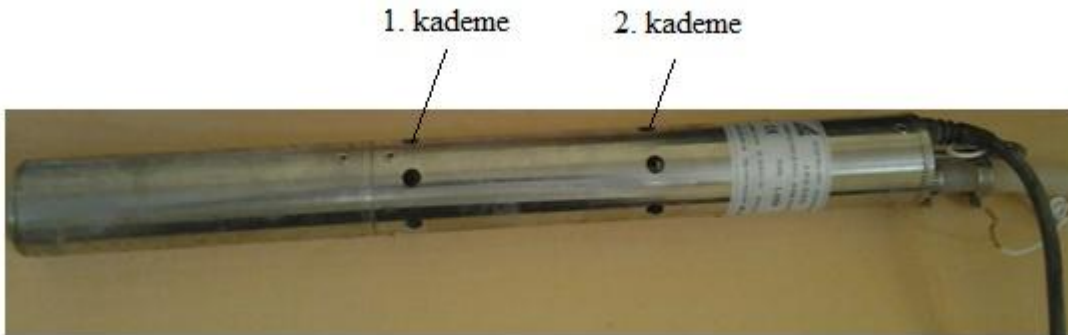
Şekil 2.5. Multimetre

Tablo 2.3. Multimetre'nin özellikleri

ÖZELLİKLER	DEĞERLER
DC Gerilim	400mA-400V 1000V
AC Gerilim	400mA-400V 1000V-750V
DC Akım	400mA-4mA 40mA-400mA 4A-20A
AC Akım	400mA-4mA 40mA-400mA 4A-20A
Direnç	400Ω-4MΩ 40MΩ
Kapasitans	4nF-400nF 4nF-200Nf
Frekans	4kHz-40MHz
Sıcaklık	(-)40 C°, 200 C°200 C°, 1200 C°
Süreklilik	<40 Ω
İndüktans	40mH-4H

#### 2.1.1.6.Dalgıç Pompa (DC Pompa)

PV sistemde kullanılan dalgıç pompa ½” çapında Şekil 2.6’da görüldüğü gibi iki kademedan oluşan direk DC 34 (V) gerilim, 1.2 (I) akım ve 40 (W) güç ile çalışan gövdesi paslanmaz çelikten yapılmıştır.



Şekil 2.6. DC Dalgıç pompa

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Dalgıç pompayı devreye almak için gerekli olan gerilim (V), akım (I) ve güç (W) elde etmek için PV paneller seri ve paralel (karışık devre) bağlanmıştır. Ölçümler haziran ayında saat 09:00 – 14:00 birer saat aralıkla yapılmış elde edilen sonuçlar tablolar ve grafikler halinde gösterilmiştir.

#### 3.1. Fotovoltaik PV Panel Sisteminde Ölçülen Değerler

##### 3.1.1. Fotovoltaik PV Panel Sistemin Ürettiği Akım ve Gerilim Değerleri

PV sistem tarafından üretilen akım (I) ve gerilim (V) değerleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan güç değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Elde edilen elektriksel güç eşitlik (IV.1) belirlenmiştir.

$$E_{pv} = I_{oc} * V_{sc} \quad (IV.1)$$

**Tablo 3.1.** PV panel sistem tarafında üretilen elektriksel değerler

ÖLÇÜM	AKIM (A) ( $I_{oc}$ )	GERİLİM(V) ( $V_{sc}$ )	GÜÇ (W) (P)
1	1.29	46.11	59.48
2	1.22	44.42	54.19
3	1.41	51.12	72.08
4	1.44	53.73	77.37
5	1.46	54.35	79.35
ORTALAMA	1.36	49.95	68.50

PV Panel sistemin ürettiği değerler beş ölçüm sonucunun ortalaması sırasıyla 1.36 A ve 49.92 V ölçülmüştür. Ölçülen değerlere göre sistemin ürettiği güç 68.50 W olarak hesaplanmıştır.

##### 3.1.2. Fotovoltaik PV Panel Sistemin Verimi

Sistemin elektriksel güç üretme verimi eşitlik (IV.2) belirlenmiş hesaplanan değerler Tablo 3.3’de verilmiştir.

$$N_{pv} = I_{nc} * V_{sc} / S_t * A \quad (IV.2)$$

**Tablo 3.2.**Batman iline ait haziran ayı güneş ışınımı kat sayıları (W/m<sup>2</sup>)

Saat		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
HAZİRAN	YATAY	97	244	406	531	614	697	747	753	725	650	544	419	278	119
	GÜNEY	30	93	181	269	342	413	456	460	429	362	276	187	105	37
	KUZEY	56	122	174	194	193	193	193	194	201	204	199	180	139	68
	BATI	0	0	7	40	97	181	280	372	442	464	434	360	246	106
	DOĞU	86	217	348	423	438	425	369	282	188	102	41	8	0	0

**Tablo 3.3.** PV panel sistemin verimi

ÖLÇÜM	PV Sistemin Ürettiği Güç (W)	PV Sistem Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> ) (A)	Toplam Güneş Işınımı (W/m <sup>2</sup> ) (S <sub>t</sub> )	PV Sistemin Verimi (%) (N <sub>pv</sub> )
1	59.48	0.39	342	44.60
2	54.19	0.39	413	33.65
3	72.08	0.39	456	40.53
4	77.37	0.39	460	43.13
5	79.35	0.39	429	47.43
ORTALAMA	68.50	0.39	420	41.82

Tasarlanan PV Panelin yüzey alanı 0.39 m<sup>2</sup> dir. 09:00-14:00 her saat başı yapılan beş ölçüm sonucunda PV sistemin verimliliği ortalama %41.82 hesaplanmıştır. PV sistem tasarımı yapılırken; PV panellerin yüzey alanlarının küçük elektriksel değerleri yüksek seçilmesine dikkat edilmelidir.

### 3.1.3. Ölçülen Debi Değerleri

PV sistemden üretilen elektrik enerjisiyle çalıştırılan Pompa 1m derinliğindeki depodan 2m yüksekliğindeki diğer bir depoya suyu aktaran pompanın debi değerleri Tablo 3.4’de verilmiştir.

**Tablo 3.4.** Ölçülen debi değerleri

ÖLÇÜM	(Q) Debi (m <sup>3</sup> /h)	
	Pompa Çapı 1/2" 1. Kademe	Pompa Çapı 1/2" 2. Kademe
1	0.9	1,2
2	0.9	1,2
3	1	1,3
4	0.85	1,5
5	0.8	1,5
ORTALAMA	0.89	1,34

Uygulamada kullanılan dalgıç pompanın çıkış çapı 1/2” ve iki kademe mevcuttur. Yapılan ölçümler sonucunda pompanın 1. kademede ortalama debi 0.89 m<sup>3</sup>/h 2. kademede ise 1.34 m<sup>3</sup>/h ölçülmüştür.

### 3.1.4. Pompa Hidrolik Gücü

Sistemin su kaynağı ile suyun yükseltildiği en yüksek noktalar arasında, manometrik yüksekliğe H<sub>m</sub>, (Q) debisi ile iletilecek olan suyun özgül kütlesi (q) bilinirse, pompanın suya birim zamanda verdiği enerji veya pompanın hidrolik gücü (P<sub>h</sub>), (IV.3) ile belirlenir.

$$P_h = q * Q * H / 102 \quad (IV.3)$$

**Tablo 3.5.** 1. Kademedeki pompa hidrolik güç değerleri

ÖLÇÜM	1. Kademedeki Debi (m <sup>3</sup> /h)	Toplam Basma Yüksekliği (m) (H <sub>m</sub> )	Hidrolik Güç (W) (P <sub>h</sub> )
1	0,9	3	26,50
2	0,9	3	26,50
3	1	3	29,44
4	0,85	3	25,03
5	0,8	3	23,55
ORTALAMA	0,89	3	26,20

**Tablo 3.6.** 2. Kademedeki pompa hidrolik güç değerleri

ÖLÇÜM	2. Kademedeki Debi (m <sup>3</sup> /h)	Toplam Basma Yüksekliği (m) (H <sub>m</sub> )	Hidrolik Güç (W) (P <sub>h</sub> )
1	1,2	3	35,33
2	1,2	3	35,33
3	1,3	3	38,27
4	1,5	3	44,16
5	1,5	3	44,16
ORTALAMA	1,34	3	39,45

Yapılan ölçümler sonucunda Tablo 3.5, Tablo 3.6'da sistemde kullanılan ½'' çapındaki dalgıç pompanın 1. kademesindeki ortalama debi 0.89 m<sup>3</sup>/h ölçülmüş Suyun aktarılmasında gerekli olan hidrolik güç ortalama 26.20 W hesaplanmış, 2. kademesinde ise ortalama debi 1.34 m<sup>3</sup>/h ölçülmüş Suyun aktarılmasında gerekli olan hidrolik güç ortalama 39.45 W hesaplanmıştır.

### 3.1.5. Pompa Sistem Verimi

Pompa verimi ( $\eta_p$ ), yüksek olması, alınan enerjiye karşılık, işin daha az enerji kaybı ile yapıldığını belirtir. Sulama pompalarının verimi; %70-90 arasında değişir. Pompanın miline uygulanması gerekli güç, fren gücü (P<sub>f</sub>, kW) olarak adlandırılır ve

eşitlik (IV.5) ile hesaplanır. Pompaj tesisinin fren gücü, tesisin çalıştırılması için gerekli olan enerji kaynağı büyüklüğünü belirler.

$$n_{ps} = E_{PV} / P_h * 100 \quad (IV.4)$$

$$Pf = Q * H_m * q/102 * n_{ps} \quad (IV.5)$$

**Tablo 3.7.** 1. Kademede pompa sistem verim değerleri

ÖLÇÜM	Hidrolik Güç (W) (P <sub>h</sub> )	PV Sistemin Ürettiği Güç (W) (E <sub>PV</sub> )	Pompa Sistem Verimi n <sub>ps</sub> (%)
1	26,50	59,48	44,55
2	26,50	54,19	48,90
3	29,44	72,08	40,84
4	25,03	77,37	32,35
5	23,55	79,35	29,68
ORTALAMA	26,20	68,49	38,26

**Tablo 3.8.** 2. Kademede pompa sistem verim değerleri

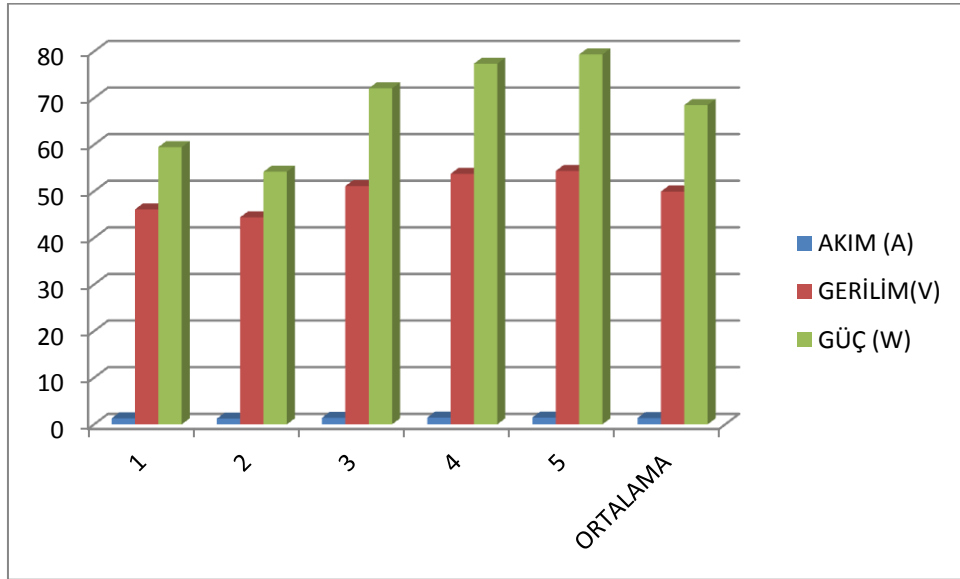
ÖLÇÜM	Hidrolik Güç (W) (P <sub>h</sub> )	PV Sistemin Ürettiği Güç (W) (E <sub>PV</sub> )	Pompa Sistem Verimi n <sub>ps</sub> (%)
1	35,33	59,48	59,40
2	35,33	54,19	65,20
3	38,27	72,08	53,09
4	44,16	77,37	57,08
5	44,16	79,35	55,65
ORTALAMA	39,45	68,49	57,60

Pompa sistem verimi belirlenirken pompa verimi %70 seçilmiş ve yapılan ölçümlere göre pompa sistem verimi ortalama 1. kademede %38,26 2. kademede %57,60 hesaplanmıştır Tablo 3.7, Tablo 3.8'de görülen verilere göre pompa sistem verimi 2. kademede yüksektir. Yapılan ölçümler ve hesaplamalara göre pompa 2. kademede verimli çalışmaktadır.

## 3.2. Fotovoltaik PV Panel Sisteminde Ölçülen Değerlerin Grafikleri

### 3.2.1. Fotovoltaik PV Panel Sistemin Ürettiği Akım ve Gerilim Grafiği

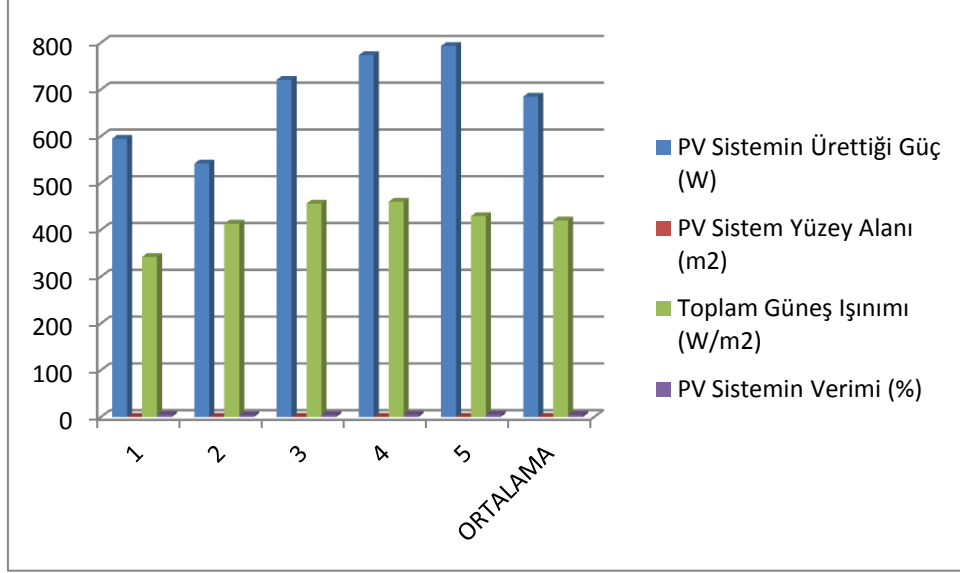
PV Panel sistemin ürettiği akım ve gerilim değerlerin ortalaması sırasıyla 1.36 A ve 49.95 V ölçülmüştür. Ölçülen değerlere göre sistemin ürettiği güç 68.50 W olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi akım (I), gerilim (V) değerleri arttıkça güç (W) artmaktadır.



Şekil 3.1. Gerilim (V), Akım (I), Güç (W) dağılımları

### 3.2.2. Fotovoltaik PV Panel Sistemin Verim Grafiği

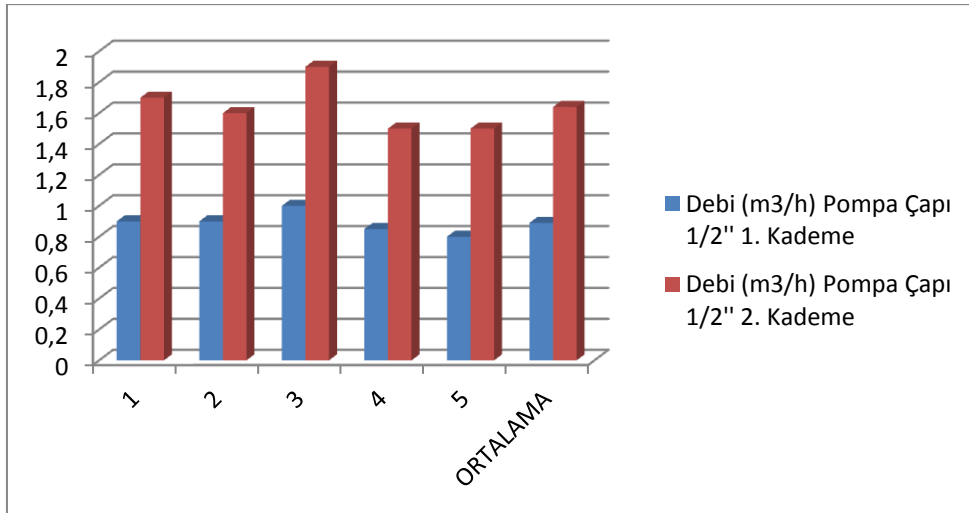
PV Panel sistemin verimi yapılan ölçümler sonucunda PV panel sisteminin gücü arttıkça PV sistemin verimi de artmakta güneş ışınımı kat sayısı arttıkça verimlilik azalmaktadır. Tablo 3.2’de görüldüğü gibi Tasarlanan PV Panelin yüzey alanı  $0.39 \text{ m}^2$  dir. Yapılan beş ölçüm sonucunda PV sistemin verimliliği ortalama %41.82 hesaplanmıştır. Yapılan ölçümler ve hesaplanmalar sonucunda PV panel sistemin verimliliği yüksek olması için PV panel yüzey alanının küçük olmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.2. PV sistem verimi dağılımları

### 3.2.3. Ölçülen Debi Değerleri Grafiği

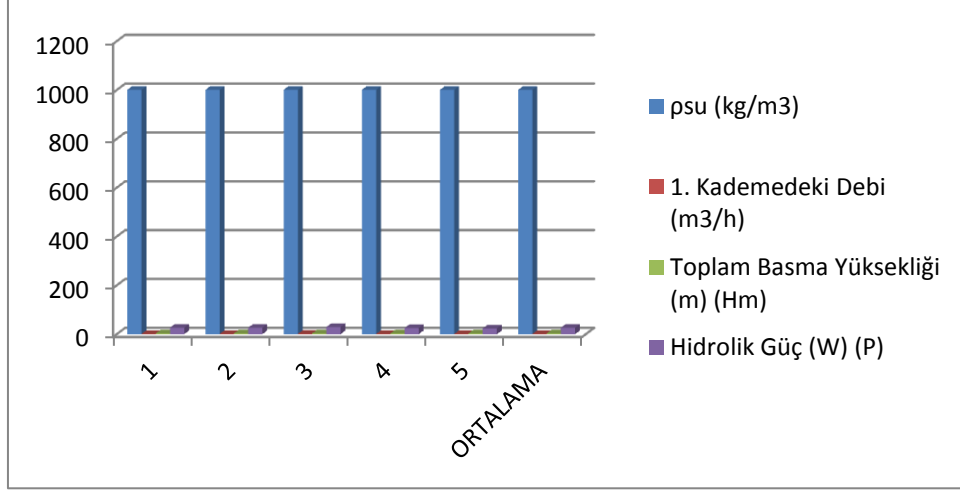
PV sistemden üretilen elektrik enerjisiyle çalıştırılan dalgıç pompa 1m derinliğindeki depodan 2m yüksekliğindeki diğer bir depoya suyu aktaran pompanın debi değerleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda pompanın 1. kademede ortalama debi  $0.89 \text{ m}^3/\text{h}$  2. kademede ise  $1.34 \text{ m}^3/\text{h}$  dır. Şekil 3.3’de görüldüğü gibi dalgıç pompanın kademe sayısı artıkça debi ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) artmaktadır.



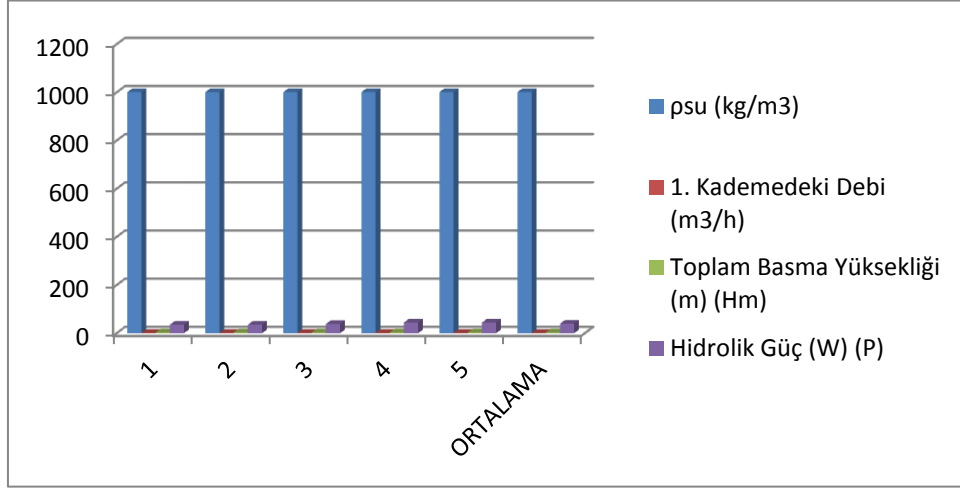
Şekil 3.3. Dalgıç pompanın 1. ve 2. kademede ölçülen debi dağılımları

### 3.2.4. Pompa Hidrolik Güç Grafikleri

Yapılan ölçümler sonucunda Tablo 3.4, Tablo 3.5'deki verilere göre sistemde kullanılan ½" çapındaki dalgıç pompanın 1. ve 2. kademelerinde debi (m<sup>3</sup>/h) değerleri ölçülmüş ve pompa hidrolik güç hesaplanmıştır.



Şekil 3.4. Dalgıç pompanın 1. kademedeki debi ve hidrolik güç dağılımları

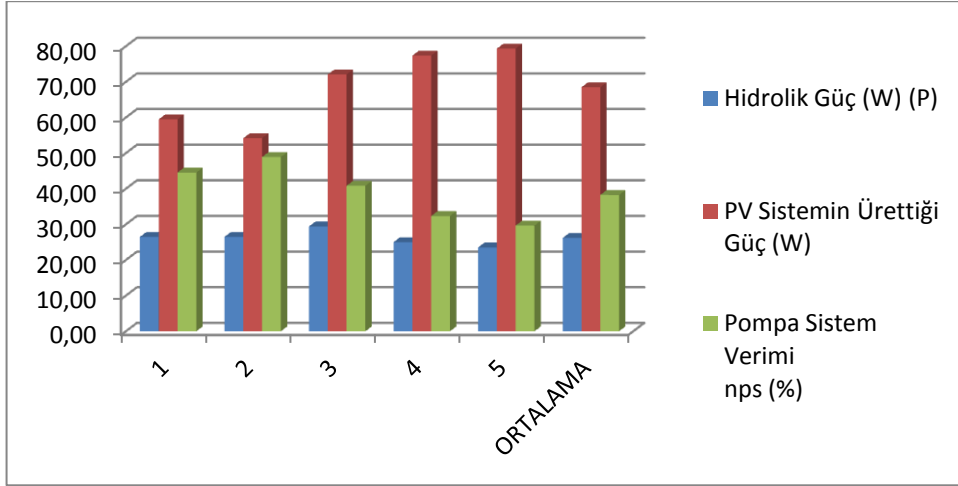


Şekil 3.5. Dalgıç pompanın 2. kademedeki debi ve hidrolik güç dağılımları

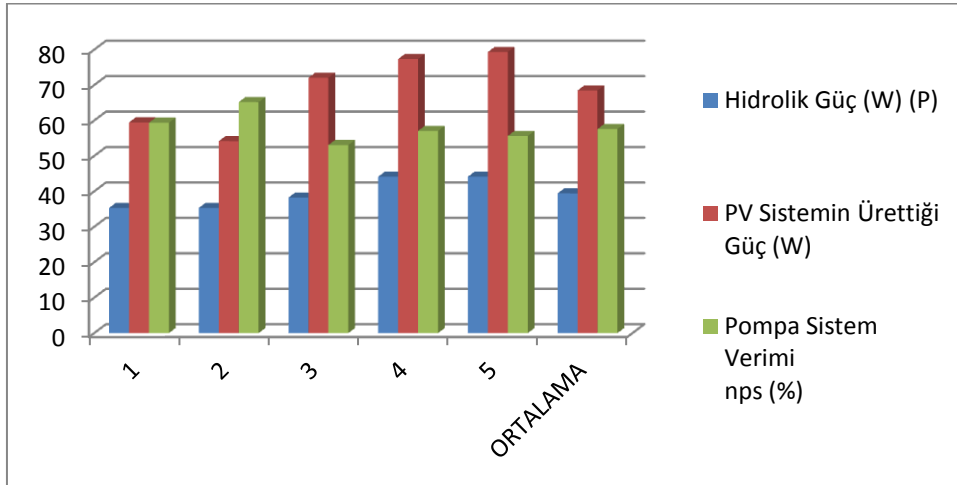
Dalgıç pompanın 1. kademesindeki ortalama debi 0.89 m<sup>3</sup>/h ölçülmüş Suyun aktarılmasında gerekli olan hidrolik güç ortalama 26.20 W hesaplanmıştır, 2. kademesinde ise ortalama debi 1.34 m<sup>3</sup>/h ölçülmüş suyun aktarılmasında gerekli olan hidrolik güç ortalama 39.45 W hesaplanmıştır. Şekil 3.4, Şekil 3.5'de görüldüğü gibi Debi (m<sup>3</sup>/h) ve kademe sayısı arttıkça pompanın hidrolik gücü artmaktadır.

### 3.2.5. Pompa Sistem Verim Grafikleri

Pompa sistem verimi 1. kademede %38.26 2. kademede %57.60 hesaplanmıştır Tablo 3.6, Tablo 3.7'deki verilere göre pompa sistem verimi 2. kademede yüksek olduğu buda işin daha az enerji ile yapıldığını belirtir.



Şekil 3.6. 1. kademede pompa sistem verim grafiği



Şekil 3.7. 2. kademede pompa sistem verim grafiği

Yapılan ölçümler ve hesaplamalara göre Şekil 3.6, Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi pompa kademe sayısı, debi ve hidrolik güç değerleri artıkça pompa sistem verimi de artmaktadır. Uygulamada kullanılan dalgıç pompanın verimi %70'dir. Yapılan hesaplamalara göre pompa sistem verimi 2. kademede ortalama %57.60 bulunmuştur. Bu da pompanın 2. kademede tam kapasitede çalıştığı anlamına gelir

## 4. SONUÇLAR

Güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkemizde öncelikle elektrik enerjisi olmayan veya ulaştırılması zor ve pahalı olan yörelerde, küçük ölçekli zirai sulama amaçları için güneş pilleri ile beslenen su pompalama sistemleri kurulmalıdır. Türkiye ekonomisi büyük ölçüde tarıma dayalıdır ve sulama uygulamalarında ciddi anlamda elektrik enerjisi tüketilmektedir. Gelişmiş ülkelerde PV sistemlere hızlı bir geçiş söz konusudur. Bu sistemlerin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen uzun yıllar bazında düşünüldüğünde PV sistemin daha ekonomik bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada PV sistemin ürettiği gerilim (V), akım (I), güç (W), debi (m<sup>3</sup>/h) ve pompa hidrolik güç incelenmiş ve belli periyotlarda ölçümler yapılmış sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- PV Panel sistemin ürettiği elektriksel değerler beş ölçümün ortalaması sırasıyla 1.36 A ve 49.95 V elde edilmiştir. Ölçülen değerlere göre sistemin ürettiği güç 68.50 W Tablo 3.1’de olduğu gibi hesaplanmıştır. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi akım (I), gerilim (V) değerleri artıkça güç (W) artmaktadır.
- PV sistemin elektriksel verimi ortalama % 41.82 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.3’deki ölçümlere göre elektriksel güç artıkça verimlilik artmakta yüzey alanı ve güneş ışınımı kat sayısı artıkça verimlilik azalmaktadır. Bu bilgilere göre PV panel tasarımı yapılırken yüzey alanı küçük elektriksel değerleri yüksek PV paneller seçilmelidir.
- PV sistemden üretilen elektrik enerjisiyle çalıştırılan dalgıç pompa 1m derinliğindeki depodan 2m yüksekliğindeki diğer bir depoya suyu aktaran pompanın debi değerleri ölçülmüştür. Tablo 3.4’de yapılan ölçümler sonucunda pompanın 1. kademedede ortalama debi 0.89 m<sup>3</sup>/h 2. kademedede ise 1.34 m<sup>3</sup>/h dır. Şekil 3.3’de görüldüğü gibi dalgıç pompanın kademe sayısı artıkça debi (m<sup>3</sup>/h) artmaktadır.
- Dalgıç pompanın Tablo 3.5, Tablo 3.6’da 1. kademesindeki ortalama debi 0.89 m<sup>3</sup>/h ölçülmüş suyun aktarılmasında gerekli olan hidrolik güç ortalama 26.20 W hesaplanmış, 2. kademesinde ise ortalama debi 1.34 m<sup>3</sup>/h ölçülmüş suyun aktarılmasında gerekli olan hidrolik güç ortalama 39.45 W hesaplanmıştır. Şekil

3.4, Şekil 3.5'deki verilere göre debi ( $m^3/h$ ) ve kademe sayısı artıkça pompanın hidrolik gücü artmaktadır.

- Pompa sistem verimi Tablo 3.7, Tablo 3.8'de verilere göre 1. kademede %38.26 2. kademede %57.60 hesaplanmıştır Şekil 3.6, Şekil 3.7'de Elde edilen verilere göre pompa sistem verimi 2. kademede yüksek bu da işin daha az enerji ile yapıldığını belirtir. Yapılan ölçümler ve hesaplamalara göre pompa kademe sayısı, debi ve hidrolik güç değerleri artıkça pompa sistem verimi de artmaktadır. Uygulamada kullanılan dalgıç pompanın verimi %70'dir. Yapılan hesaplamalara göre pompa sistem verimi 2. kademede ortalama %57.60 bulunmuştur. Bu da pompanın 2. kademede tam kapasitede çalıştığı anlamına gelir.

Bu çalışmanın ileriye dönük geliştirilmesi GAP projesi kapsamında büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde yapılması ön görülen büyük baraj ve sulama projeleri vasıtasıyla binlerce dönüm tarım arazisi sulamaya açılacaktır. GAP projesi kapsamında sulamaya açılacak tarım alanlarının büyük bir kısmında pompa yardımıyla sulama yapılacaktır. Bu tarım alanları için yapılacak olan elektrik hatları ülkemiz için ekonomik anlamda büyük yük demektir. Biran önce PV sistemli tarımsal sulama sistemlerine geçilmesi bu noktada çiftçilerin bilinçlendirilmesi aynı zamanda teşvik edilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Gençođlu M.T., Cebeci M., Güneş M.: “Güneş enerjisi ile çalışan PLC kontrollü su pompası sistem tasarımı”, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendislik Bölümü, Elazığ, 9, (2010).
- [2] Karamanav M.: “Güneş enerjisi ve güneş pilleri”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 86, (2007).
- [3] Köksal M. A.: “Güneş Enerjisiyle su pompalama üzerine bir araştırma”, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 47, (2012).
- [4] Dicle Kalkınma Ajansı: “ Çevre altyapı mevcut durum raporu ”, T.C. Dicle Kalkınma Ajansı Araştırma Strateji Geliştirme ve Programlama Birimi, Diyarbakır, (2010).
- [5] Devlet Su İşleri: “ 2011 yılı Türkiye’de sulama oranları raporu ”, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, (2011).
- [6] ETKB, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2004).
- [7] Öztürk H.H., Barüt Z.B.: “Türkiye Tarımda Enerji Kullanımı”, Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 1253-1264, 3-7, (2005).
- [8] Ültanır: “M.Ö. 21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi ”, TÜSİAD Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği Yayını, 98-12/239, (1998).
- [9] Öztürk H.H.: “Tarımda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı”, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü, 01330 Balcalı, Adana, (2010).
- [10] Koner P.K.: “Optimization Techniquesfor A Photovoltaic Water Pumping System”, Renewable Energy, vol.6, p.53-62, (1995).
- [11] Kalogirou, S.: “Solar Energy Engineering Processes and Systems”, Academic Pres, ISBN-13: 978-0-12-374501-9, (2009).
- [12] Abdolzadeh M., Ameri M.: “Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells”, Renewable Energy 34, 91–96 (2009).

- [13] Tasar, Z., “Güneş pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-5, 19-26, 37-41, 61, 62, (1987).
- [14] Short T.D., Burton J.D.: “The benefits of induced flow solar powered water pumps”, *Solar Energy* 74, 77–84, (2003).
- [15] Kala Meah, Sadrul Ula, Steven Barrett: “Solar photovoltaic water pumping opportunities and challenges”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 1162–1175, (2008).
- [16] Odeh I., Yohanis Y.G., Norton B.: “Influence of pumpinghead, insolation and PV arraysizeon PV water pumping system performance”, *Solar Energy* 80, 51–64, (2006).
- [17] Ghoneim A.A.: “Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems”, *Energy Conversion and Management* 47, 1449–1463, (2006).
- [18] Short T.D., Thompson P., Breakingthemould: “Solar water pumping the challenges and the reality”, *Solar Energy* 75, 1–9, (2003).
- [19] Yılkırkan, N.: “Türkiye’nin alternatif enerji kaynakları ve kullanım potansiyeli”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 10-12,43-45, (2004).
- [20] JieJi, Gang Pei, Tin-taiChow, KeliangLiu, Hanfeng He, Jianping Lu, Chongwei Han: “Experimental study of photovoltaic solar assisted heat pump system”, *Solar Energy* 82, 43–52, (2008).
- [21] Oluklulu, Ç.: “Güneş enerjisinden etkin olarak yararlanmada kullanılan Fotovoltaik modüller, Boyutlandırılmaları ve mimaride kullanım olanakları üzerine bir araştırma”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7, 18-21, 35-43, 46-51, 67-69, (2001).
- [22] Dike M.F.: “Devir Daim Pompasının Güneş Pili İle Tahrik Edilerek Güneş Enerjili Sıçak Su Hazırlama Sisteminin Deneysel İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2007).
- [23] Öztürk R.: “Güneş Pilleri İle Elektrik Enerjisi Üretimi Ve Karavanlarda Uygulamasının Teknik ve Ekonomik Analizi”, Tesisat Mühendisliği, (2003).

- [24] Özgeçmen A.: “Güneş Pilleri Kullanılarak Elektrik Üretimi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2007).
- [25] Vilela, O.C., Fraidenraich, N., Tiba, C.: “Photovoltaic pumping systems driven by tracking collectors. Experiments and simulation”, Solar Energy 74( 1), 45–52 (2003).
- [26] Bione, J., Vilela, O.C., Fraidenraich: “Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and Vtrough generators”, Solar Energy, 76(6), 703–711, (2004).
- [27] Çelik, A., Abut, N: “Fotovoltaik pil, akü, elektrik motoru ve su pompası içeren kompleks sistemin dinamik modeli”, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, MBGAK 2005, İstanbul, 17–19, (2005).
- [28] Ghoneim, A.A.: “Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems”, Energy Conversion and Management, 47, 11–12, 1449–1463, (2006).
- [29] Yeşilata, B., Fıratöğlü, Z.A.: “Effect of solar radiation correlations on system sizing, PV pumping case. Renewable Energy” 33, 155–161, (2008).
- [30] Abdolzadeh, M., Ameri, M.: “Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells”, Renewable Energy, 34(1), 91–96, (2009).
- [31] Mokeddem, A., Midoun, A., Said Hıadsı, D.K., Raja, I.A.: “Performance of a directly-coupled PV water pumping system”, Energy Conversion and Management, 52(10), 3089–3095, (2011).
- [32] Hamrouni, N., Jiraidı, M., Cherif, A.: “Theoretical and experimental analysis of the behavior of a photovoltaic pumping system”, Solar Energy, (2009).
- [33] Bakalli, Y., Arab A.H., Azoui, B.: “Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept”, Solar Energy, 85(2), 288–294, (2011).
- [34] Öztürk, H.H.: “Güneş pili ile çalışan tarımsal sulama sistemleri için tasarım ölçütlerinin belirlenmesi”, 4. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Bildiri Kitabı, Mersin, 58–73, 6-7, (2010).

- [35] Ould-Amrouche, S., Rekioua, D., Hamidat, A.: “Modelling photovoltaic water pumping systems and evaluation of their CO2 emissions mitigation potential’2, Applied Energy, 87(11), 3451–3459, (2010).
- [36] Ramos J.S., Helena M. Ramos,: “Solar powered pumps to supply water for rural or isolated zones’’, Energy for Sustainable Development 13, 151–158, (2009).
- [37] Kavlak İ., Güngör H.: “Fotovoltaik piller ve fotovoltaik pillerin tarımsal sulamada kullanılması’’, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Kongresi Bildiriler Kitabı, Eskişehir, 22–29, (2006).
- [38] Dursun M., Saygın A.: “Güneş Enerjisi ile çalışan bir sulama sistemi için Boost Konvertörlü Anahtarlamalı Relüktans Motor Sürücüsü’’,Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 2 (1-2) 57-65, (2006).
- [39] Yeşilata B., Aktacir A.: “Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması’’, Mühendis ve Makine Dergisi, 29-34, (2001).

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Gökhan YUSUFOĞLU  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Digor/KARS – 25.01.1985  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-Posta** : yusufoglugokhan@hotmail.com

### Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Lise	Mezuniyet Yılı
Lise	Elektrik-Elektronik	Atatürk Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	2002
Üniversite	Makine Eğitimi Bölümü / Enerji Programı	Marmara Üniversitesi	2008

### İş Deneyimi

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008-2009	Doğan Mühendislik	Teknik Servis Sorumlusu
2009-2010	Yakacık Tek. ve End. Mes. Lisesi	Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme Alan Öğretmeni
2010-	Batman Tek. Ve End. Mes. Lisesi	Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme Alan Şefi