
Araştırma Makalesi / Research Article

Güneş Enerjili Sulamanın Tarım Sektöründe Uygulaması

Mustafa ATMACA^{*1}, Gökhan YUSUFOĞLU², Ahmet Berk KURTULUŞ¹

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, 34722, Kuyubaşı, Kadıköy
²Batman Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi, Batman

Özet

Bu çalışmada, Güney Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla, tüketicilerin tarımsal sulamada fotovoltaik sistemlerin kullanımı 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 modülden 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 için güneş panelleri ile uyumlu bir DC pompa seçilmiştir. Böylece, alternatif akımla çalışan pompaların yüksek güç çekmeleri güneş paneli sayısını arttıracığından ve akü ile invertör maliyetleri eklendiği zaman toplam maliyetin artması önlenmiş olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Tarımsal Sulama, Fotovoltaik Panel, Güney Doğu Anadolu Bölgesi

Application of Irrigation with Solar Energy in Agriculture Sector

Abstract

In this study, in order to evaluate the solar energy potential of the South Eastern Anatolia Region, the use of photovoltaic systems for irrigation were examined. With electrical energy produced from solar energy depending on the photovoltaic (PV) principle, in case of supply of necessary mechanical energy for the operation of submersible pump, some specifications of irrigation system with solar energy have been determined. With this aim, such as current, voltage and power electrical properties of the PV system including 4 modules which have totally $18 \times 2 = 36$ PV cells in each part have been calculated. In addition, PV system's efficiency, flow rate of the submersible pump and, hydraulic power rates have been calculated. In order to reduce the cost of the system, a DC pump is selected compatible with solar panels. So, the total cost including battery and inverter costs will be reduced. Because pump which work alternating current draw high power and will increase the number of solar cell.

Keywords: Solar energy, Agriculture Irrigation, Photovoltaic (PV) Panel, South Eastern Anatolia Region

1. Giriş

Ülkemizde 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 sahalarda, mazot ve petrol pompaları kullanılmaktadır [1]. Bu tip sistemlerde günlük bakım ihtiyacı vardır. Güneş enerjisi ile çalışan su pompası sistemleri ise günlük bakım istemedikleri gibi arzu edilen herhangi bir yerde, yeterince güneş olması şartı ile kurulabilirler. Bu tip sistemlerin ilk kuruluş masrafları yüksek olmasına rağmen, yakıt ve bakım ihtiyaçları olmadığından kısa zamanda ekonomik duruma geçerler.

*Sorumlu Yazar: matmaca@marmara.edu.tr

Sulama amacıyla suyun sağlanması 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.

Son yıllarda sulama uygulamalarında enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik olarak yapılan araştırmalarda sulama amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelilmiştir. Bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak 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. Fosil yakıtlı enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin bedelinin yüksek olması nedeniyle, tarımsal sulamanın yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma alternatifini büyük önem kazanmıştır. Geçmiş yüzyıllara dayanan sulama işlemi için insanoğlu tarafından en düşük derecede güç kullanılarak su pompalanması amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Su pompalama için uygulanan bu yöntemlerde, insan enerjisi, hayvan gücü, rüzgar, güneş ve fosil yakıtlar gibi değişik güç kaynaklarından yararlanılmıştır. Örnek olarak güneş enerjisiyle sulama sistemlerinin, bir fosil yakıt kaynaklı ürün olan içten yanmalı motorlar ile çalıştırılan sulama sistemlerine kıyaslanırsa; pratik olarak bakım gereksinimlerinin olmaması, kullanım sürelerinin uzun olması, yakıt gerektirmemeleri ve dolayısıyla çevreyi kirletmemeleri olarak sıralanabilir [2].

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'de verilmiştir.

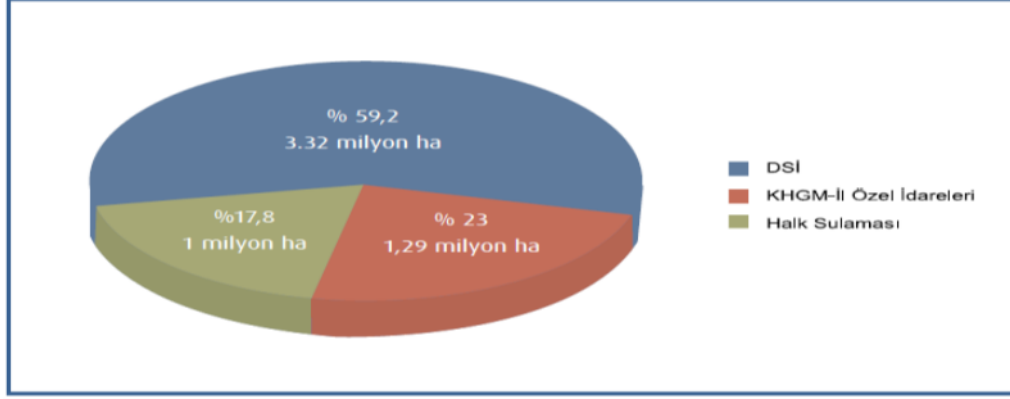
Tablo 1. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kW/m ² - yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G. Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1972

Bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmış olup günümüzde GEPA (Güneş Enerjisi Atlası) değerlerini güncelleme çalışmaları sürdürülmektedir. 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.

1.1. Türkiye’de Sulama Değerleri

78 milyon hektar genişliğe sahip olan Türkiye’de tarım arazileri bu alanın yaklaşık üçte birini yani 28 milyon hektar değerini oluşturmaktadır. Yapılan etütlere göre ekonomik olarak sulama yapılabilecek 8.5 milyon hektar alanın 2011 yılı sonu itibari ile toplam 5.61 milyon hektarı Şekil 2’de verildiği gibi sulamaya açılmıştır [3].



Şekil 2. Türkiye’de sulama oranları (5.61 milyon ha)

1.2. Tarımsal Sulamada Enerji Kullanımı

Genel enerji tüketimi Türkiye’de, tarım sektöründe tüketilen enerji miktarının 1990-2000 yılları arasındaki dönemde değişimi Tablo 2’de verilmiştir. Tarım sektöründe tüketilen enerji miktarı 1990 yılında 86.06 PJ seviyesinde gerçekleşirken, 1995 yılında 112.46 PJ ve 2000 yılında da 130.32 PJ düzeyine yükselmiştir. Tarım sektöründe tüketilen enerji miktarı belirli bir şekilde artmakla birlikte, toplam enerji tüketimi içinde tarım sektörünün payı düzenli bir değişim göstermemektedir. Toplam enerji tüketiminde tarımın payı, 1990-2000 yılları arasında ortalama % 3.77 olarak gerçekleşmiştir [4].

Tablo 2. Türkiye tarım sektöründe enerji tüketimi

Yıllar	Enerji Tüketimi (PJ)		Toplam Enerji Tüketiminde Tarımın Payı (%)
	Tarım	Toplam Tüketim	
1990	86.06	2331.42	3.69
1995	112.46	2801.87	4.01
2000	130.32	3573.72	3.64

Tarım sektöründe 1990–2000 yılları arasındaki dönemde, tarım alanı başına enerji tüketimi değerleri, Tablo 3’te verilmiştir. Tarım sektöründe işlenen hektar başına kullanılan enerji miktarı, 1990 yılında 3.96 GJ/ha değerindeyken 1995 yılında 5.30 GJ/ha ve 2000 yılında 6.20 GJ/ha düzeyine 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 [4].

Tablo 3. Tarım alanı başına enerji tüketimi

Yıllar	Ekili Alan (Milyon ha)	Tarım Alanı Başına Enerji Tüketimi (GJ/ha)
1990	21.7	3.96
1995	21.2	5.30
2000	21.0	6.20

1.3. Tarımsal Sulamada Alternatif Enerji Kaynaklarının Kullanımı

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 enerjisinden 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 [5-6].

Küresel ısınma nedeniyle enerji kaynaklarının verimli kullanılması gerekir. Özellikle güneş enerjisinden yararlanmamız son derece önemlidir. Bu çalışmadaki amaç güneş enerjini tarımsal sulamada kullanımının reel hayata aktarılma çabası ve veriminin incelenmesidir. Güneydoğu 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.

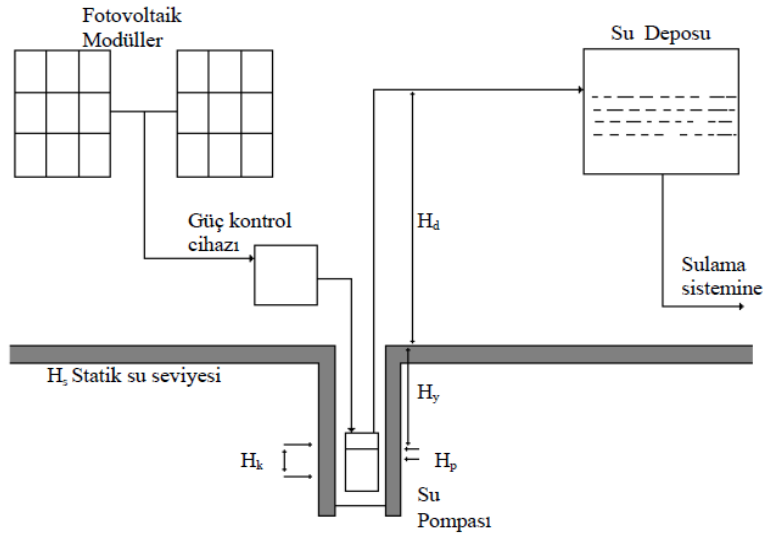
2. Fotovoltaik PV Sistem

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 3'te görülmektedir. PV sistemde, silisyum dioksitten (SiO_2) yapılmış olan $18 \times 2 = 36 \times 4 = 144$ adet PV hücre bulunmaktadır.



Şekil 3. 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 49.95V DC gerilim ile pompa devreye alınır ayrıca invertöre (dönüştürücüye) iletilerek 220V AC gerilime yükseltilir. Gerekirse elektrik enerjisi akümülatöre aktarılarak depolanır. Deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneğinin şematik resmi

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 4’te verilmiştir.

Tablo 4. PV panelin fiziksel ve elektriksel özellikleri

Özellikler	Değerler
Boyutlar	335x293x23 mm
1 m ² 'de verdiği güç	1000W
P _m (Maksimum güç miktarı)	10 W
V _{oc} (Açık Devre Gerilimi)	22 V
I _{sc} (Kısa Devre Akımı)	0.649 A
V _{mp} (Optimum Çalışma Gerilimi)	17.2 V
I _{mp} (Optimum Çalışma Akımı)	0.582 A

3. Deneysel Çalışma

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 Sistemin Ürettiği Akım ve Gerilim Değerleri

PV sistem tarafından üretilen akım (I) ve gerilim (V) değerleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan güç değerleri denklem (1) kullanılarak Tablo 5’te verilmiştir.

$$E_{PV} = I_{SC} V_{OC} \quad (1)$$

Tablo 5’e bakıldığında beş ölçüm sonucunun ortalaması, akım ve gerilim için sırasıyla 1.36 A ve 49.92 V olarak ölçülmüştür. Ölçülen değerlere göre, sistemin ürettiği ortalama güç 68,50 W olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5. PV panel sistem tarafında üretilen elektriksel değerler

ÖLÇÜM	AKIM [A]	GERİLİM [V]	GÜÇ [W]
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

Ayrıca yapılan ölçümler neticesinde dolun faktörleri sırasıyla; 0.879, 0.894, 0.905, 0.909 ve 0.910 olarak belirlenmiştir.

3.2. Fotovoltaik PV Panel Sistemin Verim

Batman iline ait haziran ayı güneş ışınımı katsayıları, Tablo 6'da verilmiştir. PV panel sisteminin verimi denklem (2)'ye göre hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 7'de gösterilmiştir.

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

Tasarlanan PV Panelin yüzey alanı 0.39 m² dir. 09:00-14:00 her saat başı yapılan beş ölçüm sonucunda PV sistemin verimliliği ortalama %41.82 hesaplanmıştır.

Tablo 6. Batman iline ait haziran ayı güneş ışınımı katsayıları (W/m²)

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

PV sistem tasarımı yapılırken; PV panellerin yüzey alanlarının küçük elektriksel değerleri yüksek seçilmesine dikkat edilmelidir.

Tablo 7. PV panel sistemin verimi

ÖLÇÜM	PV Sistemin Ürettiği Güç [W]	PV Sistem Yüzey Alanı [m ²] (A)	Toplam Güneş Işınımı [W/m ²] (S _t)	PV Sistemin Verimi [%] (N _{pv})
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

3.3. Debi Değerleri

PV sistemden üretilen elektrik enerjisiyle çalıştırılan Pompa 1m derinliğindeki depodan 2m yüksekliğindeki diğer bir depoya suyu aktaran pompanın debi değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Uygulamada kullanılan dalgıç pompanın çıkış çapı 1/2" ve iki kademesi mevcuttur. Yapılan ölçümler sonucunda pompanın 1. kademedeki ortalama debisi 0.89 m³/h 2. kademedeki ise 1.34 m³/h olarak ölçülmüştür.

Tablo 8. Ölçülen debi değerleri

ÖLÇÜM	(Q) Debi (m ³ /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

3.4. Pompa Hidrolik Gücü

Sistemin su kaynağı ile suyun yükseltildiği en yüksek noktalar arasında, manometrik yüksekliğe H_m , (Q) debisi ile iletilecek olan suyun özgül kütlesi (q) bilirse, pompanın suya birim zamanda verdiği enerji veya pompanın hidrolik gücü (P_h) aşağıdaki denklem ile belirlenir.

$$P_h = qQH/102 \quad (3)$$

Tablo 9. Birinci kademedeki pompa hidrolik güç değerleri

ÖLÇÜM	1. Kademedeki Debi [m ³ /h]	Toplam Basma Yüksekliği [m] (H_m)	Hidrolik Güç [W] (P_h)
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 10. İkinci kademede pompa hidrolik güç değerleri

ÖLÇÜM	2. Kademedeki Debi (m ³ /h)	Toplam Basma Yüksekliği (m) (H _m)	Hidrolik Güç (W) (P _h)
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

Tablo 9 ve Tablo 10'da birinci kademe ve ikinci kademede hidrolik güç değerleri verilmiştir. Sistemde kullanılan ½'' çapındaki dalgıç pompanın birinci kademesindeki ortalama debi 0.89 m³/h ölçülmüş, suyun aktarılmasında gerekli olan hidrolik güç ortalama 26.20 W hesaplanmıştır. İkinci kademesinde ise ortalama debi 1.34 m³/h ölçülmüş, suyun aktarılmasında gerekli olan hidrolik güç ortalama 39.45 W olarak hesaplanmıştır.

3.5. Pompa Sistem Verimi

Pompa sistem verimi (η_{ps}), denklem (4) ile hesaplanmıştır. Verimin 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_f) olarak adlandırılır ve denklem (5) ile hesaplanmıştır. Pompaj tesisinin fren gücü, tesisin çalıştırılması için gerekli olan enerji kaynağı büyüklüğünü belirler. Birinci ve ikinci kademede pompa sistem verim değerleri Tablo 11 ve Tablo 12'de verilmiştir.

$$\eta_{ps} = E_{PV} / P_h 100 \quad (4)$$

$$P_f = QH_m q / 102 \eta_{ps} \quad (5)$$

Pompa sistem verimi belirlenirken pompa verimi %70 seçilmiş ve yapılan ölçümlere göre pompa sistem verimi ortalama birinci kademede %38.26, ikinci kademede %57.60 olarak hesaplanmıştır. Yapılan ölçümler ve hesaplamalara göre pompanın ikinci kademede daha verimli çalıştığı görülmüştür. Aynı zamanda işin daha az enerji ile yapılmış olduğunu göstermektedir. Şekil 5 ve Şekil 6'da birinci ve ikinci kademede pompa sistem verim grafiği verilmiştir.

Tablo 11. Birinci kademede pompa sistem verim değerleri

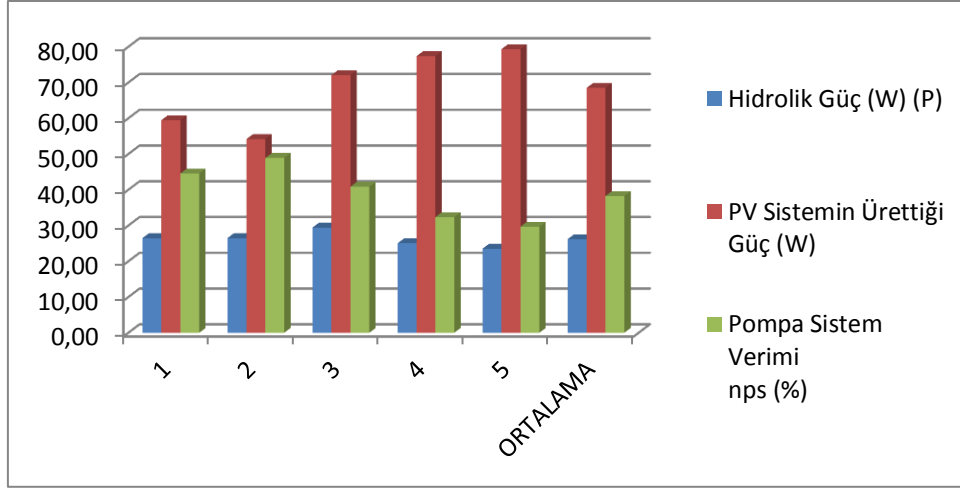
ÖLÇÜM	Hidrolik Güç (W) (P_h)	PV Sistemin Ürettiği Güç (W) (E_{PV})	Pompa Sistem Verimi n_{ps} (%)
1	26.50	59.48	44.55
2	26.50	54.19	48.90
3	29.44	72.08	40.84
4	25.03	77.37	32.35
5	23.55	79.35	29.68
ORTALAMA	26.20	68.49	38.26

Tablo 12. İkinci kademede pompa sistem verim değerleri

ÖLÇÜM	Hidrolik Güç (W) (P_h)	PV Sistemin Ürettiği Güç (W) (E_{PV})	Pompa Sistem Verimi n_{ps} (%)
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

PV panel sisteminin gücü arttıkça PV sistemin veriminin de arttığı, güneş ışınımı katsayısı arttıkça verimliliğin azaldığı görülmüştür. Tasarlanan PV Panelin yüzey alanı 0.39 m^2 dir. Yapılan beş ölçüm sonucunda PV sistemin verimliliği ortalama %41.82 olarak hesaplanmıştır. PV panel sistemin verimliliği yüksek olması için PV panel yüzey alanının küçük olmasına dikkat edilmesi gerektiği yapılan ölçümler ve hesaplanmalar sonucunda ortaya çıkmıştır.

Dalgıç pompanın 1. kademesindeki ortalama debi $0.89 \text{ m}^3/\text{h}$ ölçülmüştür. Suyun aktarılmasında gerekli olan hidrolik güç ortalama 26.20 W hesaplanmış, 2. kademesinde ise ortalama debi $1.34 \text{ m}^3/\text{h}$ ölçülmüş suyun aktarılmasında gerekli olan hidrolik güç ortalama 39.45 W hesaplanmıştır. Sonuçlarda görüldüğü gibi debi (m^3/h) ve kademe sayısı arttıkça pompanın hidrolik gücü artmaktadır.



Şekil 5. Birinci kademede pompa sistem verim grafiği

Şekil 5 ve 6'da görüldüğü gibi pompa kademe sayısı, debi ve hidrolik güç değerleri arttıkça pompa sistem verimi de artmaktadır.

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, deneysel çalışma için kullanılan PV sistemin ürettiği ve belli periyotlarla ölçülen gerilim (V), akım (I), güç (W), debi (m^3/h) ve pompa hidrolik güç gibi değerler elde edilmiş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- PV Panel sistemin ürettiği ortalama akım ve gerilim değerleri sırasıyla 1.36 A ve 49.95 V olarak bulunmuştur. Ölçülen değerlere göre sistemin ürettiği ortalama güç 68.50 W olarak bulunmuştur.

- PV sistemin elektriksel verimi ortalama %41.82 olarak hesaplanmıştır. Elektriksel güç arttıkça verimliliğin arttığı yüzey alanı ve güneş ışınımı katsayısı arttıkça verimliliğin azaldığı görülmüştür. 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. Pompanın ortalama debisi birinci kademede 0.89 m^3/h , ikinci kademede ise 1.34 m^3/h olarak bulunmuştur. Dalgıç pompanın kademe sayısı arttıkça debi (m^3/h) artmaktadır.

- Dalgıç pompanın birinci kademesindeki ortalama debideki suyun aktarılmasında gerekli olan hidrolik güç ortalama 26.20 W olarak hesaplanmış, ikinci kademesinde ise ortalama debideki suyun aktarılmasında gerekli olan hidrolik güç ortalama 39.45 W olarak hesaplanmıştır. Debi (m^3/h) ve kademe sayısı arttıkça pompanın hidrolik gücünün arttığı görülmüştür.

- Pompa sistem verimi birinci kademede %38.26, ikinci kademede %57.60 hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre pompa sistem verimi 2. kademede daha yüksek bulunmuş olup bu da işin

daha az enerji ile yapıldığını göstermektedir. Elde edilen verilerden, pompa kademe sayısı, debi ve hidrolik güç değerleri artıkça pompa sistem veriminin arttığı görülmüştür.

• 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. Gençoğlu MT., Cebeci M., Güneş M. 2002. Güneş enerjisi ile çalışan PLC kontrollü su pompası sistem tasarımı, 3e Electrotech, 94: 90-96.
2. Karamanav M. 2007. Güneş enerjisi ve güneş pilleri. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, Sakarya.
3. Devlet Su İşleri. 2011. 2011 Faaliyet Raporu, 287s. Ankara.
4. Öztürk H.H., Barüt Z.B. 2005. Türkiye Tarımında Enerji Kullanımı. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 1253-1264, 3-7, Ankara.
5. Ültanır M. 1998. 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, TÜSİAD Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği Yayını, 316s. İstanbul.
6. Yılkıran N. 2004. Türkiye'nin Alternatif Enerji Kaynakları ve Kullanım Potansiyeli. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 189 s., Ankara.

Geliş Tarihi: 30.10.2014

Kabul Tarihi: 17.12.2014