

**FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLİ SU
POMPALARININ DİZAYN ESASLARININ
ARAŞTIRILMASI
Pelin ATİK KIYGA**

**Yüksek Lisans Tezi
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Poyraz Ülger**

2013

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLİ SU POMPALARININ DİZAYN
ESASLARININ ARAŞTIRILMASI**

Pelin ATİK KIYGA

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Poyraz ÜLGER

TEKİRDAĞ-2013

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLİ SU POMPALARININ DİZAYN ESASLARININ ARAŞTIRILMASI

Pelin ATİK KIYGA

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Poyraz ÜLGER

Bu çalışmada yenilenebilir enerji çeşitleri arasında en ilgi çekenlerden bir tanesi olan güneş enerjisinin Türkiye ve dünyadaki mevcut durumu, mevcut güneş pili ve fotovoltaik bir kaynaktan beslenen su pompalama sistemlerinin dizayn esasları hakkında araştırma yapılmıştır.

Birinci bölümde enerji, enerji kaynakları ve fotovoltaik pil kavramlarına ve güneş enerjisinin bu enerji kaynakları arasındaki yeri anlatılıp güneş enerjisi ve güneş enerjisinden yararlanma yöntemleri içerisinde bu yöntemlerden fotovoltaik pillerle su pompalama sistemlerinden fotovoltaik teknolojiden bahsedilmiş ve uygulanması ile ilgili genel değerlendirmeler yapılmıştır. Enerji kaynaklarından yenilenebilir ve yenilemeyen enerji kaynakları açıklanmıştır.

İkinci bölümde güneş enerjisiyle tarımsal sulama ve içme suyu pompalama konusunda, son on yıldan günümüze kadar, uluslararası düzeyde yapılmış olan bazı çalışmaların tanıtımını literatür içeriği özetler halinde verilmiştir.

Üçüncü bölümde materyal ve yöntem seçiminde elde edilen bulguların nasıl gerçekleştiği anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde ise araştırma sonuçları değerlendirilmiştir.

Beşinci ve son bölümde ise elde edilen sonuçlara göre değerlendirme yapılarak Türkiye'nin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli de göz önünde tutularak Fotovoltaik uygulamaların arttırılması ve önemi ile ilgili öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi, fotovoltaik pil, dalgıç pompa,

2013, 38 Sayfa

ABSTRACT

MATHESES

SEARCHING THE DESIGN PRINCIPLES OF PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM WATER PUMPS

Pelin ATİK KIYGA

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystem Engineer

Supervisor: Prof. Dr. Poyraz ÜLGER

In this study, a research was done on the current state of solar energy (one of the most favourite types of renewable energy) both in Turkey and in the world, and on the design principles of water pumping systems which are fed by a solar cell and a photovoltaic source.

In the first part, concepts of energy, energy sources, photovoltaic batteries and the position of solar energy among these sources were described. Furthermore, while giving information about solar energy utilization methods, photovoltaic battery based water pumping systems and photovoltaic technology were also mentioned and general evaluations about their implementation were done. Also, renewable and nonrenewable energy resources were described.

In the second part, some of the studies, that have been made at the international level from the last ten years to the present on agricultural irrigation and drinking water pumping with solar energy, were given as abstracts.

In the third part, the realization process of the findings in the selection of material and the method was described.

In the fourth part, the research results were evaluated.

In the fifth and the last part, evaluations were made according to the results and the recommendations about increasing photovoltaic applications and about their importance were presented by taking into consideration Turkey's solar energy potential.

Keywords: renewable energy sources, solar energy, photovoltaic battery, submersible pump,

ÖNSÖZ

Yenilenebilir enerji kaynakları; çevre dostu ve sonsuzdur. Yenilenebilir olmayan enerji kaynakları ise hem çevreye zarar vermekte hem de dünyamızda sınırlı miktarda bulunmaktadır. Bu sebeple elde edilmesi ucuz ve rezervini yenileyebilen çevreye zararsız alternatif enerji kaynaklarının kullanılması günümüzde önem kazanmıştır. Güneş pilleri (fotovoltaik diyotlar) üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Bu çalışmada alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisine değinilmiş ve Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esasları araştırılmıştır.

Tez çalışmamın ve öğrenim sürem her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana “Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması” konulu yüksek lisans tezini veren yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Poyraz ÜLGER’e sonsuz teşekkürler.

Çalışmalarım boyunca engin bilgi ve deneyimleri ile yol gösterici olan ve benden yardımlarını, desteğini, sabrını ve bilgisini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Birol Kayışoğlu’ na sonsuz teşekkürler.

Yüksek lisans eğitimim ve çalışmalarım sırasında bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölüm Başkanlığı’na ve değerli hocalarıma içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde bana sabırla yardımcı olan, görüş ve önerileri ile araştırmalarımın sonuca ulaşmasında yol gösteren, sevgili eşim Kenan KIYGA ’ya, her zaman desteklerini hissettiğim, yaşamımın anlamı olan, annem, babam ve kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

SİMGELER DİZİNİ

| | |
|-------|---|
| A | Yüzey alanı (m ²) |
| AC | Alternatif akım (A) |
| DC | Doğru akım (A) |
| EPV | PV sistem tarafından üretilen elektriksel güç miktarı (W) |
| GES | Güneş enerjisiyle sulama |
| hk | Yük kayıpları (m) |
| Hg | Geometrik yükseklik (m) |
| Hm | Manometrik yükseklik (m) |
| Isc | Kısa devre akımı (A) |
| Pf | Pompa fren gücü (kW) |
| Ph | Pompa hidrolik gücü (kW) |
| Pm | Maksimum güç miktarı (W) |
| PV | Fotovoltaik |
| Q | Su debisi (m ³ /h) |
| St | Toplam güneş ışınımı (W/m ²) |
| Voc | Açık devre gerilimi (V) |
| W | Watt |
| kW | Kilowatt |
| MW | Megawatt |
| kWh | Kilowattsaat |
| pv | Fotovoltaik(photovoltaic) |
| DMİ | Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü |
| EİE | Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü |
| AB | Avrupa Birliği |
| TMMOB | Türkiye Mühendis ve Mimarlar Odası Birliği |

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| ÖNSÖZ | iii |
| SİMGELER DİZİNİ..... | iv |
| İÇİNDEKİLER..... | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | viii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Enerji, Enerji Kaynakları ve Fotovoltaik Piller Kavramlarına Genel Bakış | 2 |
| 1.2. Enerji Kavramı | 3 |
| 1.3. Enerji Kaynakları | 3 |
| 1.3.1. Yenilenebilir enerji kaynakları..... | 3 |
| 1.3.2. Yenilenemeyen enerji kaynakları | 5 |
| 1.3.3. Türkiye’ de enerji kaynakları | 6 |
| 1.4. Fotovoltaik Piller | 7 |
| 1.4.1. Fotovoltaik Teknolojisinin Avantajları ve Dezavantajları | 9 |
| 1.4.2. Fotovoltaik Sistemin Genel Bölümleri | 9 |
| 1.4.3. Fotovoltaik Teknolojisinin Dünyadaki Durumu | 12 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR | 14 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 24 |
| 3.1. Materyal..... | 24 |
| 3.1.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımı | 24 |
| 3.1.2. Fotovoltaik Güç Sistemli Sulama Yapılacak Arazi Yapısı ve Özellikleri | 25 |
| 3.2. Yöntem | 27 |
| 3.2.1. PV Sistem Elemanları ve Tasarımı | 26 |
| 3.2.1.1. Toplam manometrik yükseklik | 26 |
| 3.2.2. Günlük Su Gereksinimi | 27 |
| 3.2.3. Hidrolik Enerjinin Hesaplanması..... | 27 |
| 3.2.4. Nominal Fotovoltaik Pil Gücü ve Batarya Kapasitesinin Hesaplanması | 28 |
| 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI | 30 |
| 4.1. Toplam Manometrik Yükseklik | 30 |
| 4.2. İşletmenin Su Gereksinimi | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3. Pompaj Tesisi İçin Gerekli Hidrolik Enerji..... | 31 |
| 4.4. İşletme İçin Gerekli Nominal Fotovoltaik Pil Gücü ve Batarya Kapasitesi..... | 31 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER | 33 |
| 6. KAYNAKLAR..... | 36 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1. Güneş ışınlarının yer yüzüne gelişi..... | 5 |
| Şekil 1.2. Güneş pilinin genel bir gösterimi | 8 |
| Şekil 1.3. Fotovoltaik modül | 10 |
| Şekil 1.4. Panel uygulamaları | 10 |
| Şekil 1.5. Güneş pili, modül ve panele ait görünüm | 11 |
| Şekil 1.6. Su pompalamada güneş pillerinin kullanımı | 11 |
| Şekil 1.7. Yıllara göre fotovoltaik enerji kapasitesi | 12 |
| Şekil 1.8. 2012 yılına kadar dünya genelinde fotovoltaik kurulu gücü değişim öngörüsü | 13 |
| Şekil 1.9. 2008 yılı fotovoltaik pazarının dünya ülkelerine dağılımı..... | 13 |
| Şekil 3.1. PV ünitesi sistem elemanları | 24 |
| Şekil 3.2. Güneş enerjisi ile çalışan tipik bir sulama sisteminde yükseklikler | 26 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Çizelge 1.1.Türkiye'nin yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli (MTEP:Mega Ton Eşdeğer Petrol)..... | 6 |
| Çizelge 2.1. PV sulama sistemlerinin kullanımını etkileyen diğer etmenler | 19 |

1. GİRİŞ

Bütün canlılarda olduğu gibi, bitkiler öncelikle yaşamlarını devam ettirebilmeleri için suya gereksinim duyarlar. Gereksinim duyulan su ise, esas olarak bitki kökleriyle topraktan alınır. Bitkiler tarafından alınan suyun bir kısmı, çeşitli bileşiklerin yapımında ve başta fotosentez için kullanılır. Çok önemli bir kısmı ise, terleme yoluyla atmosfere verilir. Bitki bünyesinde kalan ve çeşitli fizyolojik süreçlerde kullanılan su miktarı, transpirasyon işlemiyle atmosfere verilen su miktarının yanında dikkate alınmayacak kadar az miktardadır. Bu nedenle, sulama tarımda çok önemli bir girdi olup, verimi artıran en önemli faktörlerden birisidir.

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.

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. Bu tip sistemler daimi günlük bakım isterler ve ancak suyu bol olan yerlere değil, ulaşımı kolay olan yerlere kurulabilirler. Güneş enerjisi ile çalışan su pompası sistemleri ise günlük bakım istemedikleri gibi arzu edilen herhangi bir yerde, bol güneş olması şartı ile kurulabilirler. Bu tip pompaların ilk kuruluş masrafları yüksek olmasına rağmen, yakıt ve bakım ihtiyaçları olmadığından kısa zamanda ekonomik duruma geçerler.

Güneş enerjisi hem ülkemizde hem de dünyada enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Bu önemli enerji kaynağından faydalanmak için kullanılan sistemlerin başında güneş enerjisi sistemleri gelmektedir. Bu tür sistemlerin sağladığı çok önemli yararlarla birlikte bazı olumsuzluklar da bulunmaktadır. Güneş enerji sistemlerinin sağladığı yararları toplumsal ve sosyoekonomik olmak üzere iki başlık altında inceleyebiliriz.

Toplumsal yararlar;

- Sera gazı ve zehirli gaz yayılımını azaltmaktadır,
- Arazilerin tarıma elverişli duruma getirilmesine katkı sağlamaktadır,
- Elektrik iletim hatlarına olan gereksinimi azaltmaktadır,
- Su kaynaklarının kalitesinin artmasına katkı sağlamaktadır.

Sosyoekonomik yararlar;

- Bölgesel ve ulusal enerji bağımsızlığı artmaktadır,
- Yeni iş imkanları sağlamaktadır,
- Yeni teknolojik gelişmelere bağlı olarak enerji pazarı yeniden yapılanmakta ve bunun sonucu olarak yeni üretim aktiviteleri artmaktadır,
- Enerji kaynaklarının güvenilirliği ve çeşitliliği artmaktadır,
- Kırsal toplumlara elektrik ulaştırma hızlanmaktadır,
- Dışa bağımlılığı azaltmakta ve tasarruf sağlamaktadır.

Güneş enerji sistemlerinin çevreye verdiği negatif etkiler ise;

- Sistemin üretimi, kurulumu, bakımı ve yıkımından kaynaklanan kirlilikler,
- Yapımı sırasındaki gürültü kirliliği,
- Yerleştirildiği yerde kapladığı alan,
- Görsel kirlilik olarak sıralanabilir.

Bu zararlı etkiler teknik gelişmelerle birlikte zaman içinde en aza indirilecektir (Abu-Zour ve Riffat 2006).

Yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre güneş enerjisi sistemlerinin çevreye verdiği zararlı etkilerin çok daha az olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle güneş enerji sistemlerine gereken önemin verilmesi gerekmektedir.

1.1. Enerji, Enerji Kaynakları ve Fotovoltaik Piller Kavramlarına Genel Bakış

“Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması” incelenen bu çalışmada “enerji ve enerji kaynakları” kavramlarının tanımları ve yaşamımızla etkileşimlerinin incelenmesi, konunun öneminin vurgulanması açısından önem kazanmaktadır.

1.2. Enerji Kavramı

Enerji “Bir sistemin iş yapma yeteneğini veya gücünü niteleyen bir kavramdır” (Çepel 1995).

“Enerji, elle tutulamayan gözle görülemeyen, bir anlamda maddesel varlığı olmayan bir güç olarak tanımlanır. Enerjinin fizikte en basit tanımı “iş yapabilme gücüdür”. Bu tanım çok basit olmakla birlikte pratik açıdan anlamlıdır. Çok geniş anlamda ise enerji “madde” demektir. Uzaydaki enerjinin devamlı olarak maddeye, maddenin de tekrar enerjiye dönüştüğünü göz önünde bulundurursak; madde, somutlaşmış bir enerji biçimidir, ancak kendi başına hareket edemez” (Göksu 1999).

Konut, sanayi, ulaştırma ve tarım sektörlerinde en önemli girdi haline gelen enerji, gelişmişliğin de göstergesi olarak kabul edildiğinden dolayı çevreye etkileri çok önemlidir.

1.3. Enerji Kaynakları

Üretim-tüketim ve talep söz konusu olduğunda enerji, birincil ve ikincil kaynaklar olarak incelenmektedir. Birincil kaynaklar doğada mevcut olan fosil yakıtlar (petrol, kömür ve doğalgaz), uranyum, toryum (nükleer enerji), hidrolik kaynaklar, jeotermal enerji, güneş ve rüzgar, deniz kökenli enerjilerdir. İkincil enerji kaynakları ise elektrik enerjisi, kok, briket ve havagazı olarak sıralanabilir (Sancar 1992).

Çevreye etkileri ve tükenebilirlikleri açısından dünyadaki enerji kaynakları, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır.

1.3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyokütle enerjisi, hidroelektrik enerjisi, hidrojen enerjisi, jeotermal enerji ve deniz enerjilerinden oluşmaktadır.

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970’lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme

ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (EİE 2000).

Kolay elde edilen ve basit teknolojiler yardımıyla kullanımı olanaklı olan güneş enerjisi, dünyanın her yerinde varolması ve çevreyi kirletmemesi açısından önem kazanmaktadır (Göksu 1999).

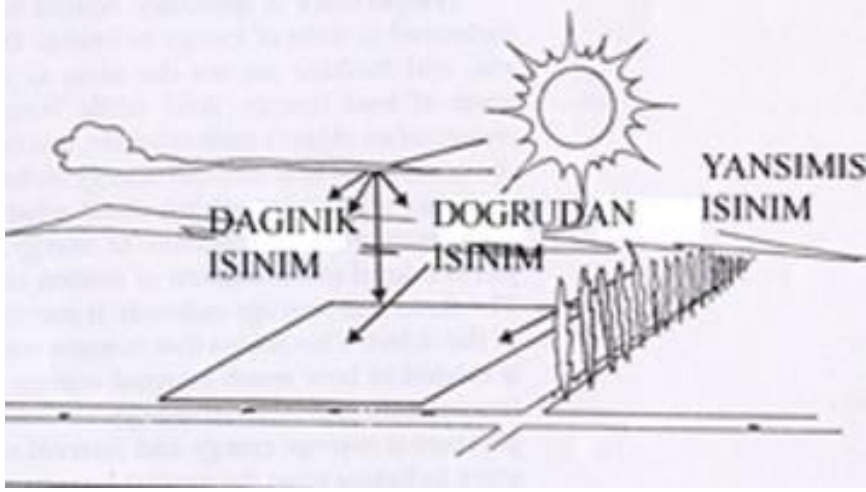
Dünyaya Ulaşan Güneş Enerjisi:

Güneşten yaklaşık 150 milyon km. uzaklıkta bulunan dünyamız, kendi etrafında dönerken, güneşin etrafında da eliptik bir yörüngede dönmekte ve güneşten dünyaya gelen enerji her gün değişmekte, bu da mevsimlerin oluşumuna sebebiyet vermektedir. Dünyanın kendi çevresinde dönme eksenini, güneş çevresindeki dolanma yörüngesi düzlemiyle 23.50° lik bir açı yaptığı için, yeryüzüne gelen güneş şiddeti dünyanın güneş çevresindeki yörüngesi boyunca değişmekte, mevsimler ve gece-gündüz uzunluğundaki farklılıklar gerçekleşmektedir.

Güneşten dünyamıza saniyede yaklaşık olarak 1.7×10^{17} joule'lük enerji (170 milyar megawatt) ulaşmaktadır. Bu enerji dünyada kullanılan toplam enerjinin yaklaşık 15-16 bin katıdır.

Güneş değişmezi olarak adlandırılan ve dünyanın yani hava kürenin dışında güneş ışınlarına dik, bir metrekare alana bir saniyede gelen güneş enerjisi miktarı 1357 joule'dür. Bu değer yıl boyunca sabit olarak varsayılmaktadır.

Güneşten yeryüzüne dağınık olarak yani bulutlar ve toz parçacıkları etkisiyle saçılmış ve bu etkilere uğramamış doğrudan gelen ışınlar ulaşırlar (Fisk ve Anderson, 1982).



Şekil 1.1. Güneş ışınlarının yer yüzüne gelişi

1.3.2. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Yenilenemeyen (geleneksel, dönüşümsüz) enerji kaynakları milyonlarca yıl öncesinden depolanan güneş enerjisi olan fosil yakıtlar; petrol, doğal gaz, kömür, turba, petrolü kayalar ve nükleer enerji olarak sıralanmaktadır.

1987 yılı tüketimi itibariyle dünya fosil yakıt rezervlerinin %70.4'ünü oluşturan katı yakıtların 226 yıl, %16.3'ünü oluşturan petrolün 41 yıl ve %13.3'ünü oluşturan doğal gazın 59 yıl içinde tükeneceği varsayılmaktadır.

19. yüzyıl sonlarında ve 20. yüzyıl başlarında Avrupa'nın temel enerji kaynağını oluşturan kömürün kullanımı, 20. yüzyılın ikinci yarısında nükleer sanayinin hızla kurularak büyümesi ilkesine dayanan enerji kullanımını sürdürmüştür.

İkinci Dünya Savaşı'nın ardından Orta Doğu'daki petrol kaynaklarının kullanılmaya başlanması kömürün yerine petrole yönelimi sağlamıştır. 1960'lı yıllar ile 1974'deki ilk petrol krizine kadar olan dönem henüz petrolün nispeten ucuz ve kolay temin edilebilir olduğu zamanlardı. 1974 ve 1979 yıllarında yaşanan enerji krizlerinin ardından, Avrupa ve dünya ülkeleri petrolün yerini alabilecek yakıt ve yeni enerji kaynaklarına yönelimin gerekliliğini kavramaya başlamışlardır (Müezzinoğlu 2001).

1.3.3. Türkiye’ de Enerji Kaynakları

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemiz birçok ülkede bulunmayan jeotermal enerji de dünya potansiyelinin %8’ ine sahiptir. Ayrıca coğrafi konumu nedeniyle büyük ölçüde güneş enerjisi almaktadır. Türkiye hidrolik enerji potansiyeli açısından da dünyanın sayılı ülkeleri arasındadır. Rüzgar enerjisi potansiyeli yaklaşık 160 TWh olarak tahmin edilmektedir (Dönmez ve Özyurt, 2003).

Çizelge 1.1 de Türkiye’nin yenilenebilir enerji türleri; güneş enerjisi, hidrolik enerji, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji olarak gösterilmiştir. Enerji potansiyeli bakımından ilk sırayı güneş enerjisi alıp, bunu hidrolik enerji takip etmektedir.

Çizelge 1.1. Türkiye’nin yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli (MTEP: Mega Ton Eşdeğer Petrol)

| Yenilenebilir Enerji Türü | Kullanım Enerji Türü | Doğal Potansiyel | Teknik Potansiyel | Ekonomik Potansiyel | |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|----|
| Güneş Enerjisi | Elek.Enj.(milyarkWh) | 977000 | 6105 | 305 | |
| | Isı (MTEP) | 80000 | 500 | 25 | |
| Hidrolik Enerji | Elek.Enj.(milyarkWh) | 430 | 215 | 124.5 | |
| Rüzgar Enerjisi | Direkt Rüzgar Enj.Karasal | Elek.Enj.(milyarkWh) | 400 | 110 | 50 |
| | Direkt Rüzgar Enj. Denizsel | Elek.Enj.(milyarkWh) | - | 180 | - |
| | Deniz Dalga Enj. | (Milyar kWh) | 150 | 18 | - |
| Jeotermal Enerji | Elek.Enj.(milyarkWh) | - | - | 1,4 | |
| | Isı (MTEP) | 31500 | 7500 | 2843 | |
| | Yakıt Modern (MTEP) | 90 | 40 | 25 | |

Türkiye'nin temel enerji kaynakları petrol, linyit, kömür, doğalgaz, jeotermal ve hidrolik enerji olarak gözükmektedir. Türkiye'nin kendi üretimi tüm enerji ihtiyacının ancak % 48' ini sağlayabilmektedir.

Yenilenebilir olmayan fosil yakıtlar bakımından fakir bir ülke olan ülkemiz direkt elektrik, doğalgaz, petrol ve yüksek kalitede kömür alımı için her yıl milyarlarca dolar ödemektedir. En çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları hidrolik enerji ve güneş kolektörleridir.

Güneş enerji sistemlerinin bir avantajı, herhangi bir enerji maddesinden tam bağımsızlık, doğal afetlere karşı güvenlik, enerji kaynağının çeşitlendirilmesi ve merkezi enerji üretiminden kurtulmak olarak sıralandırılabilir.

FV sistemin, güneşi ve rüzgarı çok bol olan Türkiye için çok önemli kriterler olan taşınabilirliği, bakım ihtiyacı olmaması, ihtiyacın olduğu yerde üretimi, hiçbir açık çıkmaması, sessiz üretim ve modüler yapı özellikleri ile merkezci enerji üretimi ve dağıtımından uzak olması diğer avantajları arasındadır. Bu avantajlar yerli enerji üretim modellerine geçişi sağlamakta önemli etkenlerdendir.

Sınırsızca ve sorumsuzca enerji tüketiminin yerini, bilinçli ve çevreye saygılı ve ihtiyacı karşılamaya yönelik enerji kullanımı alacaktır. Böyle bir ortamda da, refah düzeyini en fazla tüketen sistem yerine, en verimli enerji kullanan sistemler belirleyecektir. Türkiye'de benzeri bir anlayışın hakim olması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha da artacaktır (Sağlam 2000).

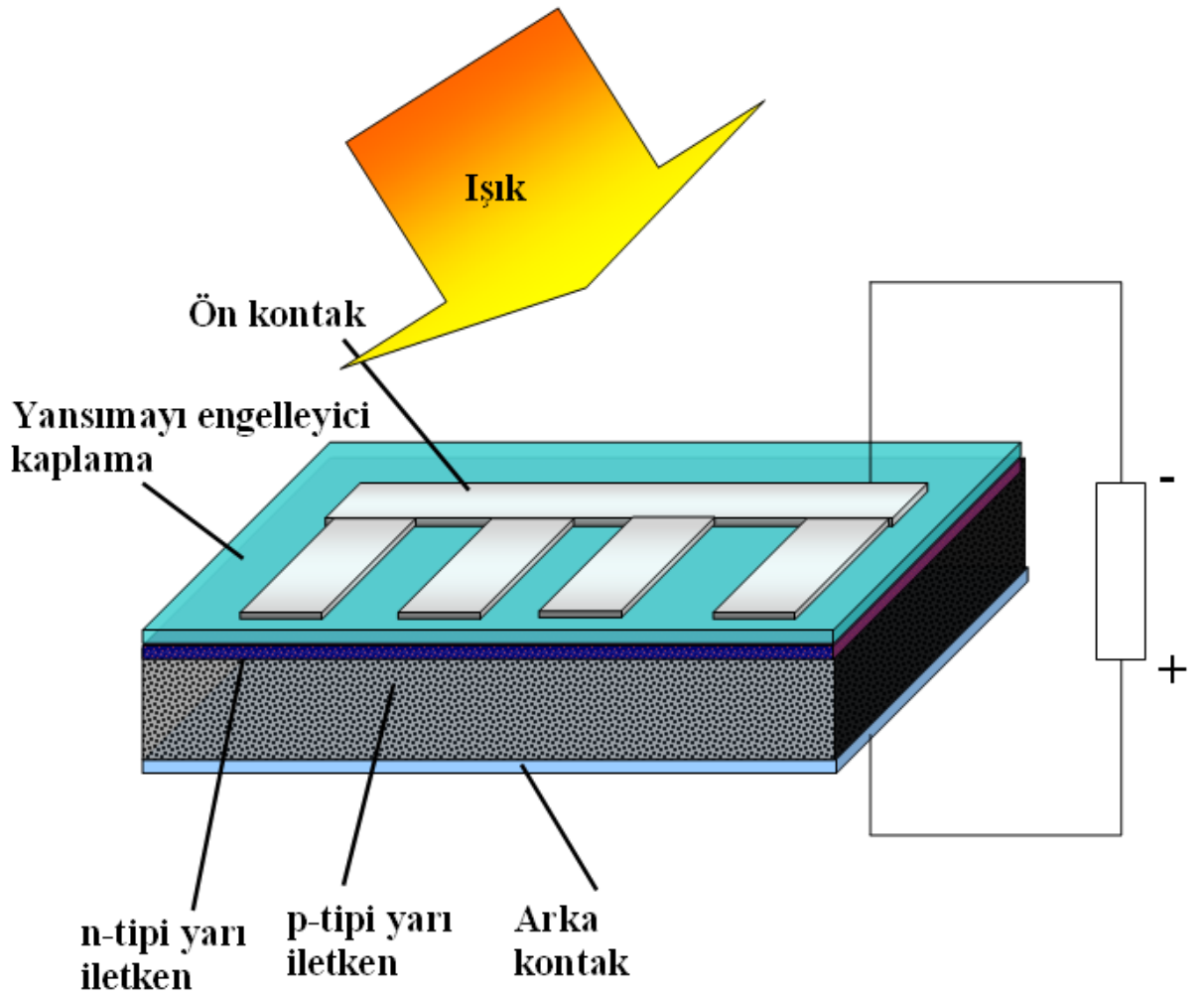
Yenilenebilir enerji kaynakları; çevre dostu ve sonsuzdur. Yenilenebilir olmayan enerji kaynakları ise hem çevreye zarar vermekte hem de dünyamızda sınırlı miktarda bulunmaktadır.

1.4. Fotovoltaik Piller

Fotovoltaik, görünür veya diğer ışık ısınlarına maruz kaldığında, elektriksel gerilim farkı (voltaaj) üretimi yapabilme özelliğidir. "Fotovoltaik" sözcüğü, ışık anlamına gelen "foto" ve elektrik anlamına gelen "voltaik" sözcüklerinin birleşmesi ile oluşturulmuştur. Fotovoltaik teknolojisi, yani güneş enerjisini kullanılabilir güce çeviren donanımları açıklamak için

kullanılan terim, ışıktan elektrik üretir.“Fotovoltaik pil” ise fotovoltaik özellik sonucu elektrik enerjisi üreten yapılardır. Yaygın olarak “Fotovoltaik pil” tanımlaması kullanılmasına rağmen, “bariyer tabakalı fotopil”, “kendi kendine üreten pil”, “güneş pili”, “fototronik fotopil” gibi isimlerle de adlandırılmaktadır (Graf 1999).

Dolayısıyla güneş pilleri (Şekil 1.2), yüzeylerine gelen güneş ışığını kullanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletkenleri içeren ve mevcut yenilenebilir enerji kaynakları arasında en temizlerden birisi olan yapılardır (Ventre 2004).



Şekil 1.2.Güneş pilinin genel bir gösterimi

1.4.1. Fotovoltaik Teknolojisinin Avantajları ve Dezavantajları

Fotovoltaik teknolojinin avantajlarını ve dezavantajlarını şu şekilde özetleyebiliriz.

Avantajları

- Kullanılacak enerji kaynağı sonsuz ve bedavadır.
- Sistemi yıpratıcı veya sistemin bozulmasına neden olacak hareket eden parçalar yoktur.
- Sistemi çalışır halde tutmak için çok düşük düzeyde bakım gerekir.
- Sistemler modülerdir ve her yere kolayca monte edilebilir.
- Çalışırken gürültü, zararlı emisyonlar ve kirletici gazlar açığa çıkarmaz.

Dezavantajları

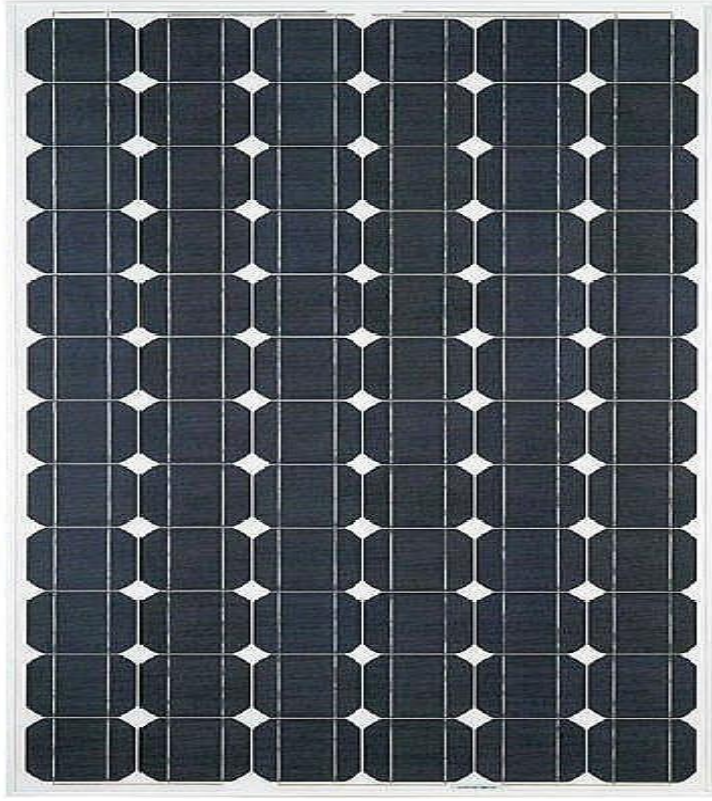
- Enerji kaynağı dağınık durumda ve sabit değildir.
- Ekonomik enerji depolama sistemleri yoktur.
- Kurulum maliyeti yüksektir.

1.4.2. Fotovoltaik Sistemin Genel Bölümleri

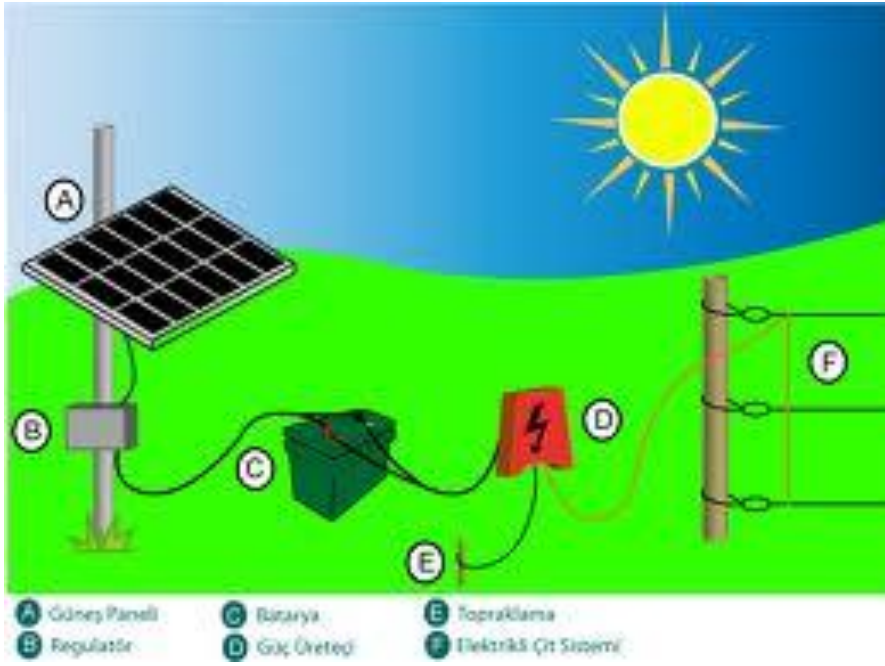
Bir güneş pili, aktif fotovoltaik malzeme, metal ızgaralar, yansımayı önleyici tabakalar ve destekleme malzemesinden oluşur. Tamamlanmış bir güneş pili, güneş pili içerisine giren güneş ışığını maksimum yapmak ve pilden en yüksek verimi elde etmek için optimize edilmektedir. Güneş pilleri ve bağlantı telleri kırılabilir ve aynı zamanda, nem ve uygulanacak baskı ile kolayca taşınabilecek bir yapıdadır. Tek bir güneş pilinin gerilimi 0,5 V civarındadır, bu nedenle çoğu uygulamada yeterli olmamaktadır (Kalogirou 2009)

Fotovoltaik modüller, güneş pillerinin paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilirler. İki güneş pili paralel bağlandığında, voltaj sabit kalırken akım iki katına çıkar, seri bağlandığında ise, akım sabit kalırken, voltaj iki katına çıkar. Bu şekilde, gerilimi 14-16 volta çıkarmak mümkündür. Fotovoltaik modüller, sert dış ortam şartları için tasarlanmaktadır. Güneş pillerinin ve elektriksel bağlantıların dış ortamdan korunması için modüller kapsüllenirler.

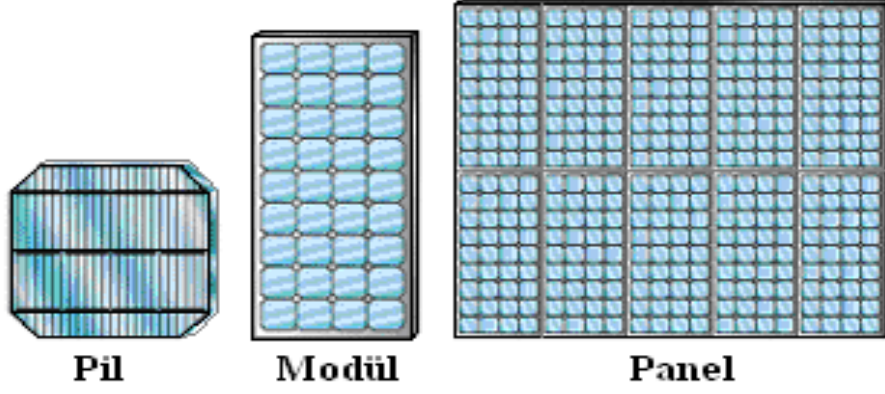
Fotovoltaik paneller, fotovoltaik modüllerin, paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilirler. Bu şekilde 12-600 V arasında gerilim elde etmek mümkün olabilmektedir (Kalogirou 2009).



Şekil 1.3. Fotovoltaik modül



Şekil 1.4. Panel uygulamaları



Şekil 1.5. Güneş pili, modül ve panele ait görünüm



Şekil 1.6. Su pompalamada güneş pillerinin kullanımı

Fotovoltaik modüllerin birlikte kullanıldıkları cihazlar arasında, batarya (battery), şarj kontrolcileri (charge controller), evireç (inverter) ve tepe güç noktası takipçisi (peak-power trackers) bulunmaktadır.

Bataryalar, fotovoltaik sistemlerde, geceleri veya fotovoltaik sistemler talebi karşılayamadığı zamanlarda, güç sağlamak için kullanılır.

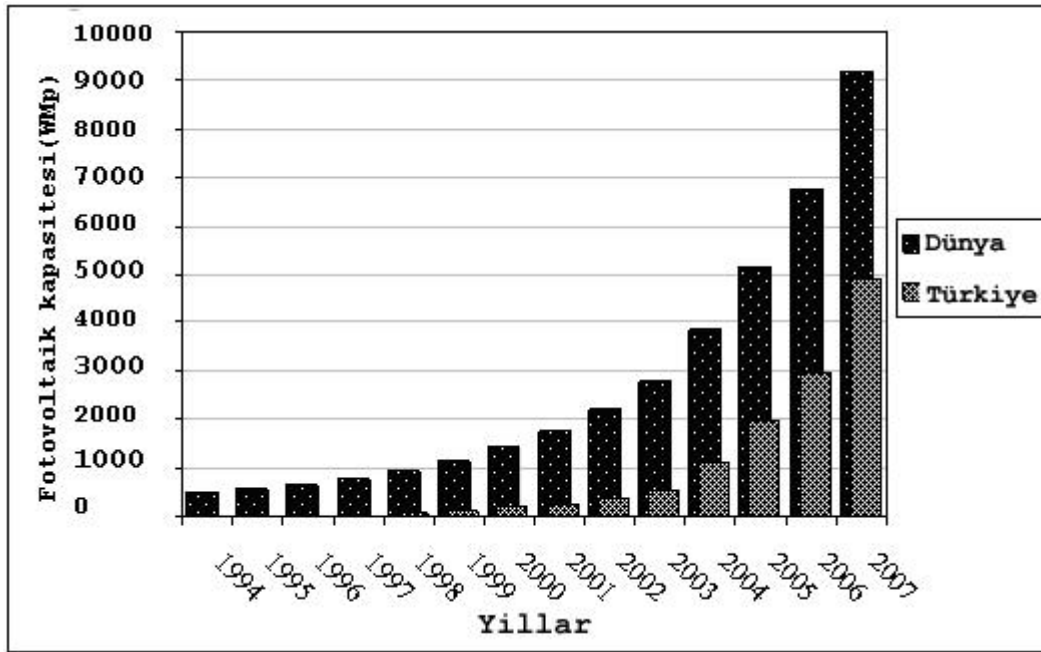
Evireç, doğru akımı alternatif akıma dönüştüren cihazdır.

Şarj kontrolcöleri, fotovoltaik modöllerden gelen gücü, bataryaları fazla yüklenmeden korumak için, ayarlamak amacıyla kullanılır.

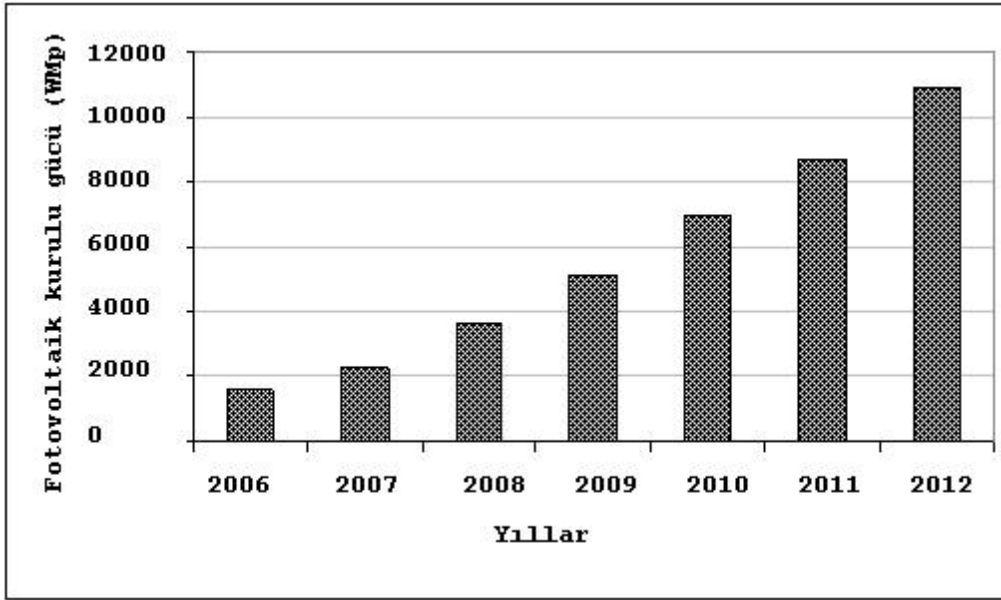
Tepe güç noktası takipçisi, akımı maksimum yapmak için, fotovoltaik sistem tarafından üretilen gerilimi optimize etmek amacıyla kullanılır (Kalogirou 2009).

1.4.3. Fotovoltaik Teknolojisinin Dünyadaki Durumu

Dünya genelinde, fotovoltaik teknoloji pazarı hızla büyümektedir ve yapılan çalışmalar önümüzdeki yıllarda da bu büyümenin devam edeceğini göstermektedir.(Balaguer 2009)Tüm dünya genelinde, toplam kapasite, 2007 sonunda, 9 GWp (gigawatt-peak) miktarını aşmıştır. Avrupa'da yaklaşık 1,5 milyon konutun elektriği fotovoltaik sistemler ile üretilen elektrik enerjisi ile karşılanabilmektedir.(EPIA 2008) Sekil 1.7. ve Sekil 1.8. de mevcut durum ve ileriye dönük fotovoltaik gelişimi görölmektedir.



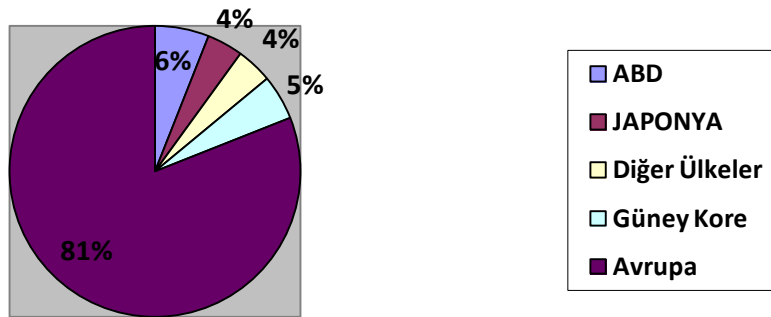
Şekil 1.7. Yıllara göre fotovoltaik enerji kapasitesi



Şekil 1.8. 2012 yılına kadar dünya genelinde fotovoltaik kurulu gücü değişim öngörüsü

Geçtiğimiz son beş yılda, dünya genelinde fotovoltaik pil üretimi, yıllık bazda yaklaşık %30 oranında bir büyüme göstermiştir. 2007 yılı dünya fotovoltaik pil üretim pazarı 2826 MW'a ulaşmıştır (EIE 2008).

2008 yılında ise (Şekil 1.9.), fotovoltaik piyasasında, dünya genelinde Avrupa'nın %81'lik bir paya sahip olduğu görülmektedir. Avrupa'yı %6 ile ABD v %5 ile Güney Kore izlemektedir (EPIA 2009).



Şekil 1.9. 2008 yılı fotovoltaik pazarının dünya ülkelerine dağılımı

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Güneş enerjisiyle tarımsal sulama ve içme suyu pompalama konusunda, son on yıldan günümüze kadar, uluslararası düzeyde yapılmış olan bazı çalışmalar aşağıdaki paragraflarda özetlenmiştir. Bu çalışmalar, araştırma sonuçlarının değerlendirilmesi, karşılaştırılması ve yorumlanmasına katkıda bulunacaktır.

Al-Ali ve ark. (2001) otomatik sulama sistemlerinde PV ilke ile üretilen elektriğin kullanılmasını incelemiştir. PV paneller, kontrol vanaları, aküler ve algılayıcılardan oluşan deneysel tasarımda yapılan değerlendirmeler sonucunda, belirli bir ürün için gerekli su miktarının en uygun bir şekilde kullanılabileceği bildirilmiştir.

Hamidat ve ark. (2003) PV sulama sistemindeki santrifüj pompanın verimini, yükseklik ve PV dizinin büyüklüğüne bağlı olarak incelemiştir. PV sulama sistemleri; buğday, patates, domates ve ayçiçeği ürünlerinin sulanması için değerlendirilmiştir.

Vilela ve ark. (2003) su pompalama sistemine bağlı sabit ve güneşi tek ekseninde (doğu-batı) izleyen PV bir diziyi deneysel olarak incelemiştir. Güneş ışınım enerjisinin 5000 ve 6000 Wh/m² 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 artmıştır. Sayısal simülasyon sonuçlarına bağlı olarak, güneş ışınım enerjisinin 275-575 W/m² aralığında olması durumunda, pompalanan su hacmi 1.29 ve 1.53 arasında artmıştır.

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. Birim m³ su pompalama maliyeti, sabit PV sisteme kıyasla, güneşi izleyen sistem ile % 19 ve odaklayıcı PV sistem ile ise % 48 oranında azalmıştır.

Cuadros ve ark. (2004) İspanya'daki zeytin bahçelerinde damla sulama sistemi için gerekli PV tesisatın kapasitesini belirlemek amacıyla bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntem üç ana aşamadan oluşmaktadır:

- 1) Toprak tipi ve iklim özelliklerine bağlı olarak belirli bir bölgedeki belirli bir ürünün sulama gereksiniminin belirlenmesi
- 2) Aküfer derinliği ve su dağıtım şebekesindeki basıncı dengelemek için gerekli yüksekliğe bağlı olarak pompalama sisteminin hidrolik analizi
- 3) PV pompa-sulama sisteminin toplam verimini dikkate alarak 10 ha alanı sulamak için gerekli en yüksek PV güç miktarının belirlenmesi

Geliştirilen yöntem; zeytin ve üzüm bahçeleri gibi ekonomik açıdan önem taşıyan ürünlerin sulanması için su kaynaklarının etkin kullanımı, güneş enerjisinden yararlanma konularında ve aynı zamanda çevre korunumu açısından yararlı olacaktır.

Hrayshat ve Al-Soud (2004) Ürdün'de su pompalama için güneş enerjisinden yararlanma potansiyelini incelemişlerdir. Güneş enerjisi potansiyellerine bağlı olarak 10 değişik bölge belirlenmiştir. Dikkate alınan bütün bölgelerde, güneş enerjisinin pompalanan su miktarını önemli düzeyde artırdığı belirlenmiştir.

Vilela ve ark. (2004) bağ alanlarında PV sulama sistemlerinden yararlanılması üzerine yaptıkları araştırmada, 2,11 ha bağ alanının sulanması için 1,3 kW günde PV dizi kullanmışlardır.

Çelik ve Abut (2005) 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. PV güneş pilinin seri direnci akünün iki farklı rejim altında çalışmasına neden olur. Seri direnç, büyük olduğu zaman, akü soğuk mevsimde ayda bir veya iki kez deşarj olur. Seri direnç küçük olduğunda ise, akü ılık mevsimlerde ayda bir şarj olur.

Fiaschi ve ark. (2005) değişken hızlı santrifüj pompalar kullanarak, güneş enerjisiyle çalışan derin kuyu pompalarının verimini artırma olanaklarını araştırmışlardır. Yaklaşık 3 kW

güç üreten 30 m² alanında PV sistem ve 100 m derinlikteki kuyu dikkate alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Purohit ve Kandpal (2005), Hindistan'da sulama suyu pompajı için; PV sistem, rüzgar pervaneleri ve biyogazla çalışan pompalardan oluşan yenilenebilir enerji teknolojilerini değerlendirmişlerdir.

Amer ve Younes (2006), akü ünitesi bulunmayan bir PV pompalama sisteminin uzun dönemlik verimini belirlemek için basit bir algoritma geliştirmişlerdir. Yöntemde girdi olarak sadece aylık ortalama güneş enerjisi kullanılmaktadır. Su debisi ve güneş ışınım enerjisi arasında ilk aşamada doğrusal olmayan bir ilişki deneysel olarak belirlenmiştir.

Ghoneim (2006) PV uygulamaların en etkin kullanım alanlarından birisi de su pompalama amacıyla güç kaynağı olarak kullanılmalarıdır. PV su pompalama sistemlerinin yaygın olarak kullanılmaya başlanması, güvenilir ve ekonomik bir uygulama gerçekleştirebilmek için bu sistemlerin tasarım ve etkin kullanımına daha fazla önem verilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, Kuveyt iklimi koşullarında PV su pompalama sisteminin verimi değerlendirilmiştir. Doğrudan bağlı PV su pompalama sistemi; PV dizi, DC motor, santrifüj 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 m³ hacminde su pompalanmasına gereksinim duyulmaktadır. Tasarımlan sistemin Kuveyt iklimi koşullarında verimini belirleyebilmek için benzeşim programı geliştirilmiştir. Benzeşim programı, PV dizi, DC motor ve santrifüj 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 pompamotor hidrolik sisteminin özellikleri değiştirilmiştir. PV su pompalama sisteminin ekonomik uygulanabilirliği için yaşam döngüsü maliyet analizi yapılmıştır. PV modüllerin geçerli fiyatlarına bağlı olarak, tasarımılanan PV su pompalama sistemi, geleneksel yakıtların kullanıldığı sistemlerden daha az pahalı bulunmuştur. Önümüzdeki yıllarda, PV modül fiyatlarının giderek ucuzlamasıyla birlikte, PV su

pompalama sistemlerinin, yakın gelecekte ekonomik olarak daha uygulanabilir sistemler olacağı belirtilmiştir.

Odeh ve ark. (2006a) fotovoltaiik (PV) su pompalama sistemleri için bir benzeşim modeli geliştirmişler ve laboratuvar ve tarla koşullarında belirlenen veriler ile geçerliliğini kontrol etmişlerdir. Pompa ve kuyu sisteminin özelliklerinin sistem verimine olan etkilerini belirlemek, farklı çalışma koşullarında sistemin ortalama verimini saptamak, güneş ışınım enerjisi dağılımının sistem verimine olan etkisini belirlemek ve yaşam döngüsü maliyet analizi yaparak PV dizinin optimum büyüklüğünü belirlemek amacıyla modelleme çalışmaları yapılmıştır. Ürdün'de tasarılanmış olan bir PV su pompalama sisteminden elde edilen gerçek veriler dikkate alınarak bir durum çalışması yapılmıştır.

Odeh ve ark. (2006b) 2.8x15 kW güç aralığında fotovoltaiik (PV) ve dizel su pompalama sistemlerinin ekonomik uygulanabilirliklerini karşılaştırmışlardır. Durum çalışmasında, tasarılanmış olan bir sistemden elde edilen gerçek verim değerleri kullanılmıştır. Sonuçların farklı bölge ve koşullara uyarlanabilmesi için duyarlılık analizi yapılmıştır. Gerekli olan ve sistem tarafından sağlanan su miktarları arasındaki uyumsuzluk nedeniyle, sistemin büyük kapasitede tasarılanmasının, PV su pompalama sisteminin ekonomik uygulanabilirliğine olan etkileri, sekiz adet sulama istasyonundan üç yıllık çalışma sonucunda deneysel olarak elde edilen gerçek verilere bağlı olarak değerlendirilmiştir.

Glasnovic ve Margeta (2007) gerekli hidrolik enerji ve mevcut güneş enerjisi değerlerine bağlı olarak, sulama amacıyla su pompalama için PV sistemlerin tasarımını incelemişlerdir. Geliştirdikleri modelde; PV su pompalama sistemi, iklim, su kaynağı, toprak ve ürün özellikleri ile sulama yöntemi dikkate alınmıştır.

Hamidat ve Benyoucef (2008), bir PV dizinin pik gücünü optimize etmek ve uygun büyüklükte motor/pompa seçebilmek için, PV pompalama sistemlerinin boyutlandırılması çok önemli bir aşamadır. Bu amaçla, PV pompalama sistemlerinin boyutlandırılmasına yardımcı olabilmek için iki matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerde; elektrikse güç, su debisi ve toplam yükseklik dikkate alınmıştır. Modeller, deneysel olarak test edilmiş ve tatmin edici sonuçlar belirlenmiştir.

Meah ve ark. (2008a) güneş enerjisiyle PV ilkeyle su pompalama, gelişmiş ülkelerdeki uzak yerleşim bölgelerinde, ekonomik olarak uygulanabilir bir yöntemdir. Su kaynaklarının dağılık bir şekilde bulunduğu ülkelerde, jeneratör kullanarak yapılan sulama uygulamaları, ekonomik olmaktan uzaklaşmaktadır. PV su pompalama uygulamalarının, özellikle işletme ve bakım açısından, çok önemli üstünleri bulunmaktadır. Belirli bir bölgede, PV su pompalama yöntemini uygulanabilir bir teknoloji durumuna getirebilmek için, geliştirilmesi gereken politikalar tartışılmıştır. PV sulama sistemlerinin yaygın kullanımını etkileyen diğer etmenler çizelge 2.1'deki gibi gruplandırılmıştır.

Çizelge 2.1. PV sulama sistemlerinin kullanımını etkileyen diğer etmenler

| Teknik Etmenler | Sosyal ve Çevresel Etmenler |
|--|------------------------------------|
| PV hücrenin verimi | Sağlık |
| Yedek parça temini | Mülkiyet |
| Bakım/onarım için yetenekli teknisyen durumu | Hırsızlık |
| Bölgesel mevcut ürünlerin uyarlanması | Toplum |
| İşletme ve bakım giderleri | Uygulama ve eğitim |

Meah ve ark. (2008b) tarafından yapılan bir araştırmada, gücü 1 kW ve toplam yüksekliği 50 m olan bir GES sistemi ile gücü 2 kW ve yüksekliği 50 m olan dizel jeneratörlü bir sulama (DJS) sistemi, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin ekonomik koşulları esas alınarak karşılaştırılmıştır. GES sistemindeki PV modül maliyeti 4.5 \$/W olarak dikkate alınmıştır. GES ve DJS sistemlerinde kullanılan orijinal ekipmanların maliyetleri, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde aynıdır. İnsan işgücü ve ulaşım giderleri, gelişmekte olan ülkelerde daha ucuzdur. DJS sistemindeki dizel jeneratörün, açma/kapatma ve yakıt doldurulması amacıyla her gün kontrol edilmesi gereklidir. Diğer taraftan, GES sisteminin haftada bir kez kontrol edilmesi yeterlidir. GES ve DJS sistemlerinin işletme ve bakım maliyetleri proje süresince sabit olarak dikkate alınmıştır. Her iki sistemdeki M-P ünitelerinin 10 yılda bir, DJS sistemindeki jeneratörün 5 yılda bir yenilenmesi öngörülmüş ve bunların maliyetleri proje süresince sabit olarak dikkate alınmıştır. Dizel yakıtı fiyatlarında her yıl % 10 artış öngörülmüştür. PV modül kullanım süresine bağlı olarak projenin 25 yıllık ömrü boyunca, M-P ünitesi ve dönüştürücünün 2 kez, jeneratörün ise 4 kez yenilenmesi gereklidir. Her iki

sistem için yenileme maliyetlerinin tamamı dikkate alınarak 25 yıl için toplam yatırım giderleri hesaplanmıştır. GES sisteminin toplam yatırım giderleri DJS sisteminin giderleri ile karşılaştırılabilir değerlerdedir. Bununla birlikte, GES sistemi ile karşılaştırıldığında, DJS sisteminin yakıt ve işletme/bakım maliyeti çok yüksektir. GES sisteminin net şimdiki değeri, ABD için 3777 \$, Bangladeş için 166 \$ olarak belirlenmiştir. Bu sistemin iç karlılık oranı (IRR), ABD için % 11.47, Bangladeş için % 7.24 olarak hesaplanmıştır. Bu ekonomik değerlendirme ölçütleri, GES sisteminin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, DJS sisteminin ilk yatırım giderleri düşüktür. Fakat, birkaç yıl sonra yenileme giderleri ve değişken giderler, bu sistemin daha maliyetli duruma gelmesine neden olmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, DJS sisteminin maliyeti 10 yıldan daha az bir sürede GES sisteminin maliyetini geçer. Yapılan ekonomik analiz sonucunda, GES sisteminin uzun yıllık çalışma için tercih edilebilir olduğu belirlenmiştir.

Martire ve ark. (2008) enerji özellikleri dikkate alınarak bir PV pompalama sisteminin boyutlandırılması için bir yöntem geliştirmişlerdir. PV pompalama sistemi; 3 fazlı bir indüksiyon motoru, voltaj değiştirici ve bir santrifüj pompadan oluşmaktadır. Geliştirilen modele bağlı olarak günlük olarak pompalanan su miktarı tahmin edilebilmektedir.

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. Güneş ışınım şiddeti PV sistemlerin doğru bir şekilde tasarımılanabilmesi için önemli bir değişkendir.

Abdolzadeh ve Ameri (2009) PV su pompalama sisteminin verimini artırma olanaklarını araştırmışlardır. PV su pompalama sistemlerinin verimlerini artırabilmek için, PV hücrenin sıcaklığını belirli bir sınırdan tutmak ve PV hücreden olan yansımayı olabildiğince azaltmak gereklidir. Bu amaçla tasarımılanan 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. PV modülün kısa devre akımı yaklaşık olarak sıcaklıktan bağımsızdır. Su püskürtme uygulaması sistemin optik verimini artırmıştır.

Bouzidi ve ark. (2009) Cezayir koşullarında bir PV pompalama sisteminin verimini belirlemek için bir bilgisayar yazılımı geliştirmişlerdir. Günde ortalama 60 m³ su pompalayabilmek için gerekli sistem büyüklüğü, yaşam döngüsü maliyet analizi ile ekonomik olarak değerlendirilmiştir.

Hamidat ve Benyoucef (2009) kırsal alanlarda içme suyu temini için PV sistemin verimini incelemişlerdir. Toplam yükseklik, su tüketimi, depo kapasitesi ve PV dizinin gücü dikkate alınmıştır. PV pompalama sisteminin verimi, toplam pompalama yüksekliği ve PV dizinin pik gücüne bağlı olarak önemli düzeyde değişmiştir.

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.

Kaldellis ve ark. (2009) şebekeden bağımsız bir PV sistemin, su pompalama ile birlikte elektrik gereksinimini karşılama da araştırmışlardır. Uygun olarak tasarlanmış 610 W gücündeki bir PV pompalama sistemi ile uzakta bulunan birçok yerleşim birimlerinde, en fazla 2 kWh/gün elektrik ve 400 L/h su gereksiniminin karşılanabileceği belirlenmiştir.

Ramos ve Ramos (2009), su pompalama sistemleri için şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistemleri denemişlerdir. Şebekeden bağımsız sistemden üretilen elektriğin maliyeti, ulusal elektrik şebekesinden alınan elektrik maliyeti ile karşılaştırılmıştır. Şebekeye bağlı sistemde, su türbini kullanımını dikkate alınmıştır.

Sallem ve ark. (2009) PV su pompalama sistemlerinin verimi, üretilen elektrik miktarı ve pompalanan su hacmi arasındaki uyuma bağlıdır. PV panel, su pompası ve aküden oluşan bir PV su pompalama sisteminin kontrolü için bir algoritma geliştirmişlerdir. PV sistemin günlük çalışma süresi ile pompalanan su hacmi arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir.

Betka ve Attali (2010) santrifüj bir pompayı çalıştıran indüksiyon motoru kullanılan bir PV pompalama sisteminin optimum çalışma koşulunu araştırmışlardır. Optimizasyon problemi, motor verimi artırılarak günlük pompalanan su miktarının en yüksek düzeye çıkarılması olarak tanımlanmıştır. Düzenlenen algoritmanın verimi, simülasyon ve elde edilen sonuçlara bağlı olarak belirlenmiştir.

Gençoğlu ve ark. (2010) Doğu Anadolu Bölgesindeki güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla, küçük güçlü tüketicilerin beslenmesinde fotovoltaik sistemlerin kullanılmasını incelemiştir. Bu sistemlerin besleme sürekliliği açısından problem olması ihtimaline karşı PLC yardımıyla kontrol edilen yedek enerji kaynaklarından yararlanılması amaçlanmıştır. Ayrıca, bölgede fotovoltaik bir kaynaktan beslenen su pompalama sistemlerinin kullanım olanakları araştırılarak, bu konuda bilgi birikiminin sağlanması hedeflenmiştir.

Kordzadeh (2010) PV sistemlerin kullanımındaki başlıca sorun, PV hücrelerin enerji dönüşüm verimlerinin düşük olmasıdır. PV hücrelerin verimi, hücre sıcaklığının belirli bir sınırı aşması durumunda önemli düzeyde azalır. Verimin artırılabilmesi için, PV dizinin çalışma sıcaklığının azaltılması gereklidir. Sistemin daha etkin olarak çalışmasını sağlayabilmek için, PV hücreler ince bir su filmi ile serinletilebilir. Bu çalışmada, PV hücrelerin ince bir su filmi ile serinletilmesi durumunda, PV diziden kazanılan güç miktarındaki değişim incelenmiştir.

Ould-Amrouche ve ark. (2010) 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 tasarımılanan 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, CO₂ salınımindaki azalma miktarını belirleyen bir model geliştirilmiştir. PV su pompalama sistemlerinin yaygın olarak kullanılması durumunda, kırsal alanda sadece yaşam koşullarının iyileşmekle kalmayacağı, aynı zamanda çevresel açıdan olumlu katkılar da sağlanacağı belirtilmiştir.

Öztürk (2010), 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 tesisatın 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.

Bakelli ve ark. (2011) su depolama tankı kullanılan PV su pompalama sisteminde yer alan değişik ünitelerin kapasitelerinin belirlenmesi konusunda bir modelleme çalışması yapmışlardır. Önerilen modelde, sistemin güvenilirliği için güç üretiminde oluşabilecek olan kesiklilik ve ekonomik değerlendirme için yaşam döngüsü maliyeti olmak üzere iki önemli optimizasyon ölçütü dikkate alınmıştır. PV su pompalama sisteminin teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilmesi için; su tüketimi, toplam basınç, depo kapasitesi ve PV diziden üretilebilecek en fazla güç miktarı dikkate alınmıştır. Cezayir (Ghardaia; 32°29'N, 3°40'E, 450 m) küçük yerleşim birimlerine içime suyu sağlanması amacıyla oluşturulan, PV pompalama projesinin değerlendirilmesine ilişkin bir durum çalışması yapılmıştır.

Mokeddem ve ark. (2011) doğru akım (DC) üreten 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 santrifüj bir pompadan oluşmaktadır. Dört ay süren denemeler sonucunda, sistemin verimi farklı iklim koşulları ve iki farklı statik basınç düzeyinde değerlendirilmiştir. 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.

Öztürk ve ark. (2011), su pompalama için gerekli olan mekanik enerji, termodinamik veya doğrudan dönüşüm yöntemleriyle elde edilebilir. Güneş enerjisiyle su pompalama, doğrudan dönüşüm yöntemleri veya termodinamik yöntemler ile uygulanabilen bir işlemdir. Doğrudan dönüştürme yönteminde, güneş enerjisinden üretilen elektrik akımıyla, geleneksel bir pompanın motoru çalıştırılır. Güneş enerjisinin doğrudan dönüşümünde, fotovoltaik, termoelektrik ve termiyonik işlemlerden yararlanarak doğrudan elektrik akımı üretebilir. Üretilen elektrik ile dc motorunu çalıştırılabilir veya bir çevirici ile ac akıma çevirilerek 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. Termodinamik yöntemlerin çalışması, güneş ışınımından kazanılan ısı enerjisinin, gaz veya buhar esaslı güç çevrimleri veya hidrojen adsorpsiyon/desorpsiyon çevrimleri ile işe dönüştürülmesi ilkesine dayanır. Termodinamik yöntemlere göre çalışan herhangi bir güneş enerjisi dönüşüm sisteminde, yüksek sıcaklık ve basınçta bir akışkan üretebilmek için değişik özelliklerde güneş toplaçlarından yararlanır. Yüksek basınçtaki bu akışkan, Rankine, Brayton veya Stirling çevrimlerinin herhangi birinde doğrudan ve ikincil bir akışkan kullanılarak dolaylı olarak kullanılabilir. Üretilen mekanik enerji, herhangi bir pompayı çalıştırmak için kullanılabilir.

‘Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması’ incelenen bu çalışmada, bu konuda yeni bir tasarım geliştirecek olan araştırmacılara yararlı referans bilgileri sağlayacaktır.

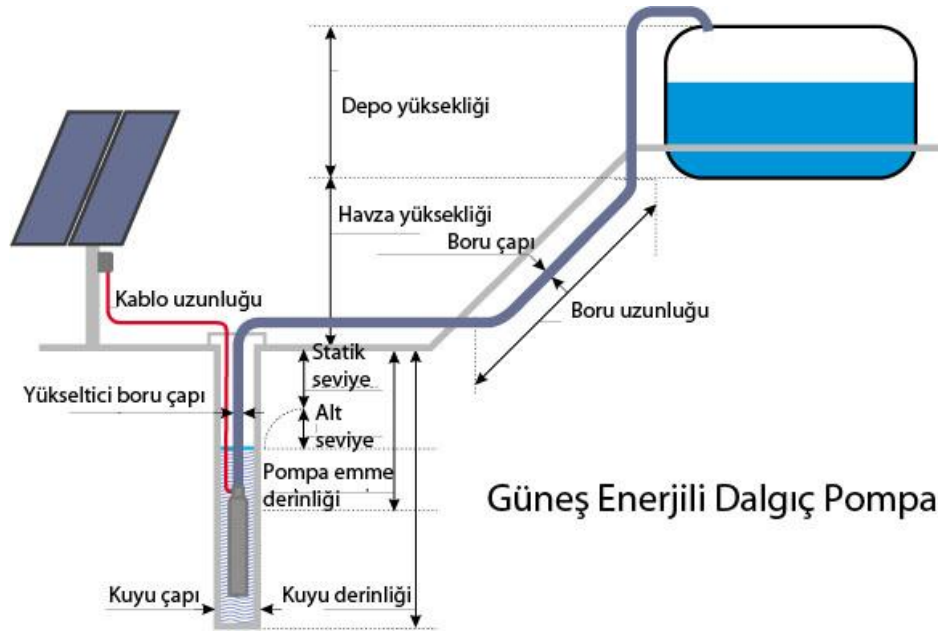
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışma kaynak tarama yöntemi ile yapılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından fotovoltaik güç sistemli su pompalarının dizayn parametreleri ve örnek bir pompaj tesisinde kullanılması ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır.

3.1.1. Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Fotovoltaik (PV) destekli sulama sistemlerinin (SS) çalışma prensibi ve bileşenlerine yönelik şema Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Sistemde, sulama (dağıtım) hattına kadar kullanılan bileşenler, PV-pompa ünitesini oluşturur ve bu bileşenlerin doğru seçimi büyük önem taşır. Bir PV pompa ünitesi; aşağıdaki bileşenlerin birkaçını veya hepsini içerir (Al-Karaghoulı ve Al-Sabounchi, 2000).



Şekil 3.1. PV ünitesi sistem elemanları

PV paneller; Güneş ışınımını direkt elektrik enerjisine dönüştüren doğru akım (DC) güç kaynakları olup, pompanın tahriki için gerekli enerjiyi üretirler.

Motor-Pompa İkili; panel tarafından üretilen elektriksel gücü önce mekanik sonra hidrolik güce dönüştüren elemanlardır.

Batarya; Gece veya güneşin olmadığı anlarda, sistemin çalışmasını temin etmek amacıyla elektrik enerjisinin depolandığı cihazlardır.

Su deposu; Amaç olarak batarya ile benzer bir görevi görmekte birlikte, bir nevi hidrolik enerjinin depolandığı bir elemandır.

Maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT); Sistemin maksimum noktada çalışmasını sağlayan bir DC-DC dönüştürücüsüdür.

Kontrol elemanları şarj regülatörü, DC-AC dönüştürücüsü gibi elektrik devre elemanları PV-SS tercihinde göz önüne alınması gerekli birçok faktör söz konusudur. Bu faktörler kullanım yerindeki günlük su ihtiyacı, su kalitesi, pompa statik ve dinamik yükleri, kullanılma sezonunu kapsayan aylar ve bu aylardaki güneş ışınım şiddeti olup, uygulama öncesi bu faktörlerin detaylı olarak analizi gerekmektedir (Yeşilata ve Aktacir, 2001, Yeşilata ve vd. 2006).

3.1.2. Fotovoltaik Güç Sistemli Sulama Yapılacak Arazi Yapısı ve Özellikleri

Bu bölümde Çanakkale ilinin Yenice ilçesi Davutköy köyünde yüksek güneş enerjisi potansiyelinden yararlanılarak fotovoltaik (PV) güçle çalışan bir mikro sulama sistemi (MSS) kurulumu önerilmektedir. Yenice Çanakkale – Balıkesir yolunun 95. Kilometresinde 39° 55' Kuzey enleminde 27° 15' Doğu boylamında olup denizden yüksekliği 273 m dir. İlçede yıllık ortalama yağış 596.3 mm dir.

Yıllık ortalama sıcaklık Çanakkale için 14.7 °C'dir. En yüksek sıcaklık Ağustos ayında 39.0 °C ve en düşük sıcaklık ise Ocak ayında -8.8 °C olarak saptanmıştır. Bölgede 40 yıllık verilere göre ortalama günlük güneşlenme süresi 7.15 h/gün olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, ortalama güneş radyasyon şiddeti 3.84-3.97 kWh/m².gün olarak verilmiştir.

İşletmede Kapyra Biberi yetiştirilmesi planlanmıştır. DC akımlı pompa kullanılacaktır.

Pompa, sulama hattına direk bağlanmamış mevcut su deposuna bağlanmıştır. Bunun sebebi yazın yerin altından çıkardığımız suyun soğukluk derecesinin ürüne zarar vermemesinden olup, hesaplanan debide sulama yapılacaktır. Pompa ile ilgili hesaplanan

veriler kullanılmıştır; Mayıs ve Eylül ayları arasında mevcut sistemden hedeflenen miktarda su pompalanması önerilmektedir.

Öncelikle PV güç sistemli sistem bileşenlerinin kolaylıkla seçimine katkıda bulunacak bir yöntem takip edilerek tasarım grafikleri (abakları) oluşturulmuştur. Bu grafikler yardımıyla da sistem için gerekli fotovoltaik güneş paneli seçimi pratik olarak yapılmıştır.

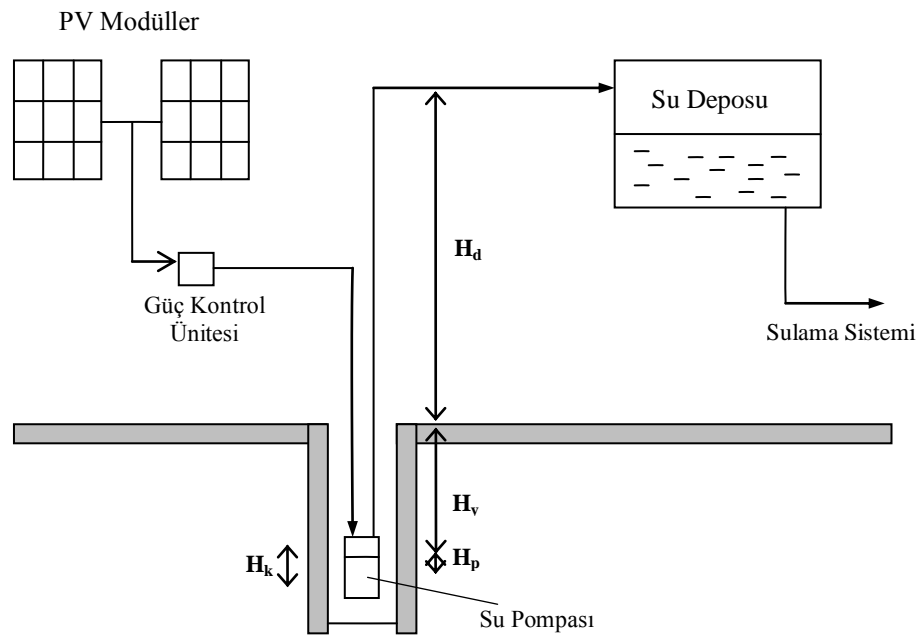
3.2. Yöntem

3.2.1. PV Sistem Elemanları ve Tasarımı

Güneş enerjisi ile çalışan tarımsal sulama sistem tasarımı yaparken aşağıdaki üç faktörün önceden hesaplanması veya tahmin edilmesi gerekir.

1. Toplam manometrik yükseklik ya da sulama yükü
2. Günlük su gereksinimi
3. Bölgedeki ortalama güneş enerjisi yoğunluğu

3.2.1.1. Toplam manometrik yükseklik



Şekil 3.2. Güneş enerjisi ile çalışan tipik bir sulama sisteminde yükseklikler

Toplam manometrik yükseklik, pompanın kuyu içerisindeki derinliğine, su yüzeyinin derinliğine ve deponun yüksekliğine bağlıdır. Su yüzeyinin derinliği genellikle mevsime göre ve kuyudan su çekildikçe düşer. Su derinliğinde büyük değişiklik olması bekleniyorsa ortalama yüksekliği almak gerekir.

Toplam yükseklik aşağıdaki formülden hesaplanabilir;

$$H = H_d + H_y + H_p + H_k \quad (1)$$

H_k , boru hattında oluşan kayıplardır (yaklaşık 1.5 m/100 m alınacaktır)

3.2.2. Günlük Su Gereksinimi

Tarımsal sulamada günlük su ihtiyacı; ekili alanın büyüklüğü, ekinin günlük su ihtiyacı, mevsim ve hava durumu (yağmur, sıcaklık ve güneşlenme miktarı), toprağın özellikleri gibi faktörlere bağlıdır.

1. Toplam boru uzunluğu,
2. Toplam meme sayısı,
3. Meme başına ortalama debi

3.2.3. Hidrolik Enerjinin Hesaplanması

Kuyudan su çekmek için gerekli olan hidrolik enerji aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir (Aligah, 2011);

$$HE = \frac{V \times H \times \rho \times g}{(3.6 \times 10^6)} \quad (2)$$

Burada,

HE : Gerekli hidrolik enerji (kWh/gün)

H_m : Manometrik yükseklik (m)

V : Günlük su debisi (m^3 /gün)

ρ : Sulama suyunun yoğunluğu ($1000 \text{ kg}/m^3$)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

Yukarıdaki bağıntı sabit değerler yazılıp sadeleştirme yapıldığında aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$HE = 0.002725 \times V \times H_m \quad (3)$$

3.2.4. Nominal Fotovoltaik Pil Gücü ve Batarya Kapasitesinin Hesaplanması

Gerekli olan fotovoltaik pil ihtiyacını hesaplamak için, sistemi kuracağımız bölgedeki ortalama güneş enerjisi dağılımı bölgeye en yakın olan meteoroloji istasyonundan elde edilmiştir.

Güneşten en verimli yararlanma süresi (Peak Sun Hours) aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunmaktadır (Brooks ve Dunlop, 2012);

$$PSH \text{ (h/gün)} = \frac{\text{Günlük ortalama ışınlanma miktarı (kWh/m}^2 \cdot \text{gün)}}{\text{Maksimum ışınlanma (1 kW/m}^2)} \quad (4)$$

$$P_{pv} = \frac{HE}{PSH \times F \times E} \quad (5)$$

Burada,

P_{pv} : Standart test koşullarında gerekli nominal PV gücü (kWp)

F : Tesis kurulum kayıp faktörü (~ 0.85)

E : Alt sistem verimi (0.25-0.40 dolayında)

Gerekli nominal güç saptandıktan sonra abaklar ve çizelgeler yardımıyla PV sisteminde hangi boyutta ve kaç adet modül kullanılacağı saptanmaktadır.

Sistemde üretilen elektrik enerjisi sulama sistemi kullanılmadığı zaman depolanacaksa gerekli batarya kapasitesi aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır (Brooks ve Dunlop, 2012);

$$BC = \frac{HE \times d \times 1000}{BV \times 0.42} \quad (6)$$

Burada,

BC : Batarya kapasitesi (Ah)

d : Depolama süresi (gün, genellikle 3 gün alınmaktadır)

BV : Batarya voltajı (Volt)

0.42 katsayısı %85 batarya verimliliği ve %50 maksimum deşarj derinliği olduğu varsayılarak kullanılmaktadır. Bataryalar 12, 24 ve 48 volt nominal voltaj değerlerine sahip olmakla birlikte, genellikle 12 volt bataryalar tercih edilmektedir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Fotovoltaik güneş pilleri ile çalışan sulama pompaj tesisi kurulması düşünülen örnek işletme ile ilgili hesaplanan değerler aşağıda verilmiştir.

4.1. Toplam Manometrik Yükseklik

H_m değeri kayıplar dikkate alınmadan 50 m olarak kabul edilmiştir. Hk değeri sistemdeki boru uzunluğuna bağlı olarak 0.75 m olarak alınmıştır. Kayıpları dikkate alarak toplam manometrik yükseklik değeri 50.75 m olarak kabul edilmiştir.

4.2. İşletmenin Su Gereksinimi

Toplam Boru Uzunluğu :

Biber tohumları nisan ayının ilk haftası civarında yastıklara ekilecek daha sonra mayıs ayı başlarında sıra araları 70 cm, sıra üzeri 40 cm olacak şekilde tarlaya dikilecektir. Parselde aynı çeşit ve özellikte yerli kapyra biber ekilecek olup tüm yetiştirme şartları eşit olacaktır. Parsel 99 m uzunluğunda, 70 m genişliğinde ve $70/0,70 = 100$ sıradan oluşturulacaktır. Lateral borunun uzunluğu $99 \times 70 = 6930$ m olacaktır.

Toplam Meme Sayısı:

Lateral boruda iki damlacık arası mesafe 0.33 m dir. Buradan $99 / 0.33 = 300$ ad $300 \times 100 = 3.000$ memeye ihtiyaç vardır.

Meme Başına ortalama debi (cm^3/dak):

Meme başına ortalama debinin tayini için, sistem çalışır durumda iken, değişik hatların değişik memelerinden birer dakika süre ile akan su bir bardakta toplanıp ölçüldü. Her memeden ayrı ve aynı süre için ölçüm yapıldı. Ölçüm yapılan meme sayısı ne kadar fazla olursa yaptığımız işlem o derece doğru olur. Değişik memelerden yapılan ölçümler arasında fazla bir farklılık olmamalıdır. Aksi takdirde sistemde tıkanma veya başka bir arıza var demektir.

Sonuç olarak ortalama meme verimi (debi) bulunur ve toplam meme sayısı ile çarpılarak tüm sistemden bir dakikada boşaltılan su miktarı bulunur. 10 memeden yapılan ölçümler sonucu ortalama meme verimi 34 cc/dk. olarak bulunmuş ve tüm sistemde 3.000 adet meme mevcuttur, bir memenin saatteki debisi: $0.034 \times 60 = 2.04$ cc (2 L/h), sistemin saatteki debisi ise; $3000 \times 2 = 6000$ L/h olarak hesaplanmıştır.

Bu veriler ışığında sistem için gerekli pompa debisi en az 6 ton/h olmaktadır. Ancak, güneş ışınımındaki günlük değişken davranış göz önüne alınarak, yaklaşık %25 seviyesinde bir emniyet katsayısı uygulanmıştır. Bu şartlarda ortalama debi için 7.5 ton/h değeri seçilmiştir.

Damla sulama sistemi ile uygulanacak su miktarı, diğer kültürlerde olduğu gibi biberde de bitkinin boyuna, mevsimin sıcaklığına, mevsimin şartlarına ve toprak tipine göre değişir. Ancak, bir gün içinde maksimum 4 saat sulama yapılacağı kabul edilerek 30 m³/gün sulama gereksinimi kabul edilmiştir.

4.3. Pompaj Tesisi İçin Gerekli Hidrolik Enerji

Örnek işletme için gerekli hidrolik enerji 2 no'lu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

$$HE = \frac{V \times H_m \times \rho \times g}{(3.6 \times 10^6)} = \frac{30 \times 50.75 \times 1000 \times 9.8}{(3.6 \times 10^6)} = 4.14 \text{ kWh/gün}$$

4.4. İşletme İçin Gerekli Nominal Fotovoltaik Pil Gücü ve Batarya Kapasitesi

İhtiyaç duyulan hidrolik enerjiyi karşılamak için gerekli olan nominal PV gücü 4 ve 5 no'lu eşitlikler yardımıyla bulunmuştur;

$$PSH \text{ (h/gün)} = \frac{\text{Günlük ortalama ışınlanma miktarı (kWh/m}^2 \cdot \text{gün)}}{\text{Maksimum ışınlanma (1 kW/m}^2)}$$

$$PSH \text{ (h/gün)} = \frac{3.85 \text{ (kWh/m}^2 \cdot \text{gün)}}{\text{Maksimum ışınlanma (1 kW/m}^2)} = 3.85 \text{ (h/gün)}$$

$$P_{pv} = \frac{HE}{PSH \times F \times E}$$

$$P_{pv} = \frac{4.14}{3.85 \times 0.85 \times 0.30} = 4.2 \text{ kWp}$$

Batarya kapasitesi 3 günlük depolama süresi ve 48 volt nominal voltaja sahip batarya kullanılacağı farz edilerek 6 no'lu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

$$BC = \frac{HE \times d \times 1000}{BV \times 0.42}$$

$$BC = \frac{4.14 \times 3 \times 1000}{48 \times 0.42} = 616 \text{ Ah}$$

175 Wp güce sahip PV paneli kullanılacak olursa $4200/175=24$ adet PV panelinin kullanılması gerekmektedir. Bir panelin fiyatı yaklaşık 800 \$ civarında olduğu düşünülürse $24 \times 800 = 19200$ \$ panel maliyeti olacaktır. Panellerin kurulumu için gerekli inşaat maliyetleri 6000 \$ civarında olursa toplam 25000-26000 \$ civarında bir yatırım maliyeti ortaya çıkacaktır. Bataryalı sistemde batarya maliyetlerinin de bu tutara eklenmesi gerekmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, PV sistemlerinin önemi ve sulama gibi önemli bir tarımsal faaliyette kullanım parametreleri anlatılmaya çalışılmıştır. PV sisteminin örnek bir işletmede pompa tesisine güç kaynağı olarak kullanılması ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır.

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.

Güneş enerjisi sistemlerinde yıl boyunca sulama suyu için gereksinim duyulan su miktarının değişimi dikkate alınmalıdır. Su dağıtma sistemi ve sulanacak ürününün özelliklerine özel önem verilmesi gerekir. Su dağıtım sistemi, pompalama sistemi için ek bir yükseklik oluşturmadan su kayıplarını en aza indirmeli ve maliyeti düşük olmalıdır.

Güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında; bölgenin iklim verileri, bitki su tüketimine ilişkin özellikler, sulama sisteminin özellikleri ve su kaynağına ilişkin özellikler dikkate alınmalıdır.

Fotovoltaik sistemler, güneşten aldığı enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Bu çalışmada da güneşten aldığımız enerji su pompasını çalıştırarak, mikro sulama sistemi ile sulama yapılması planlanan işletmede, çevreyi kirletmeden çalışan doğaya dost bir PV sistemi için fizibilite çalışması yapılmıştır.

Örnek işletmede sulama sisteminde kurulması düşünülen PV sistemi için 4.2 kWp kurulu güç hesaplanırken, bu güce karşılık 25000-26000 \$ civarında kurulum maliyeti ortaya çıktığı görülmüştür. PV sistemlerinin yüksek kurulum maliyetleri en olumsuz yönleridir. Ancak, panellerin ekonomik ömürlerinin yüksek olması (yaklaşık 10 yıl), tamir ve bakım masraflarının çok az olması bu olumsuz yönünü ortadan kaldırmaktadır.

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından, 1966-1982 yıllarında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMI) tarafından ölçülen güneşlenme süresi ve ısınım şiddeti verilerinden de yararlanılarak yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin

ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti yılda 1311 kWh/m² (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Güneş Enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu potansiyel, toplam 56.000 MW kurulu güce sahip doğal gaz çevrim santrali elektrik enerjisi üretimine eşdeğerdir.

Gelişmiş ülkeler; yasal zorunluluklardan hareketle çevre dostu, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaya, olağanüstü bir önem vermektedir. Bu yönüyle yeni yüzyıl, güneş ve onun türevleri ile diğer tükenmez ve temiz enerji kaynakları kullanımında atılım yapılacak bir çağ olma görünümündedir. Bu nedenle bu çalışmada PV güç sistemli su pompalarının, enerjiyi kesintisiz, güvenilir, ucuz ve temiz olarak verimli kullanması önemli olmuştur.

Dünyanın gündeminde olan ve yaşamın sürekliliği için çözüm bulunması gereken enerji sorunlarına, yapılan uluslararası konferanslarda çözüm yolları tartışılmakta, çıkan sonuçlar ve enerji kullanımı üzerine alınan kararlar, günümüz ihtiyaçlarının karşılanması yanında, gelecek nesillerin de ihtiyaçlarının göz önünde bulundurulması gerekliliği ile sürdürülebilir kalkınma kavramını ortaya çıkarmaktadır. Çevre sorunlarına neden olmadan enerji ihtiyacının sağlanması, yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak gerekliliği sonucunu çıkarmaktadır.

Güneş enerjisinden su ısıtma, konut ısıtma, pişirme, kurutma, soğutma, proses ısısı sağlama gibi ısı kullanımlara ağırlık verilmeli, güneş enerjisinden elektrik üretimi uygulamaları teşvik edilmelidir. İlk etapta küçük güçlerde fotovoltaik uygulamalara yer verilmeli, uzun dönem için güneş termik santralleri planlanmalıdır. Sulama uygulamalarında tüketilen elektrik enerjisi tarıma dayalı ekonomik yapısı bulunan ülkemizde de çok ciddi seviyelerdedir. Tarım uygulamalarının yoğun olduğu yörelerde sulama amaçlı tüketilen elektrik enerjisinin toplam tüketim içerisindeki payı şehir merkezlerinde bile %20 ile %40 seviyeleri arasındadır.

Fotovoltaik teknolojisi, diğer enerji kaynakları arasında, sahip olduğu avantajlar nedeniyle, ilgi çekmeye ve gelişmeye devam edecektir. Türkiye'nin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli de göz önünde tutulursa, diğer birçok dünya ülkesinde olduğu gibi, yasal düzenlemeler, üreticiyi ve kullanıcıyı teşvik edici girişimler gerçekleştirildiği takdirde,

Ülkemizde fotovoltaik teknolojiyi yatırımları ve kullanımı daha da yaygınlaşacaktır. Fotovoltaik teknolojiyi, pek çok uygulama alanı olabilecek, tek basına çeşitli fonksiyonların gerçekleştirilmesi için gerekli enerjiyi üretebilecek bir sistemdir. Fotovoltaik teknolojisinde ortaya çıkan yeni malzemeler ve yöntemler sayesinde, önümüzdeki yıllarda, mevcut ticari fotovoltaik ürünlerin maliyetleri düşecek ve kullanımları daha da yaygınlaşacaktır.

‘‘Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması’’ konulu bu çalışmanın, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda daha sonra yapılacak çalışmalara teknik bilgi ve uygulama konusunda yol gösterici olması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması yönünde yardımcı olması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdolzadeh M, Ameri M (2009). Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells. *Renewable Energy* 34(1): 91–96.
- Aligah, MA (2011). Design of Phovoltaic Water Pumping System and Compare it with diesel Powere Pump, *JJMIE*, Volume 5, Number 3, ISSN 1995-6665, Pages 273-280
- Atay Ü, İşiker Y, Yeşilata, B (2009), “Fotovoltaik Güç Destekli Mikro Sulama Sistemi Projesi Genel Esasları”, V.Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Diyarbakır
- Avrupa Fotovoltaik Endüstrisi Kurumu [EPIA], “Global Market Outlook for Photovoltaics Until
- Bedeloglu A (2009). “Fotovoltaik Etki Olusturan Lif Gelistirilmesi”
- Bedeloglu A (2010). Demir B., Bozkurt Y. “Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller ” *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2010, 4(2) 43-58
- http://www.benkold.com/suyapo/TemizEnerji/Gunes_Elektrik/gunes_enerji1.
(erişim tarihi,02.01.2012)
- Bezir N Ç, Dönmez O, Kayalı R., Özek N (2008). Numerical and experimental analysis of a salt gradient solar pond performance with or without reflective covered surface. *Applied Energy* 85, 1102–1112.
- Bozdoğan B (2003). “Mimari Tasarım ve Ekoloji”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Bozkurt İ (2012) Güneş Toplaçları ve Havuzdan Oluşan Entegre Bir Sistemin Performansının İncelenmesi” Doktora Tezi Adana
- Brooks V, J Dunlop (2012). Phovoltaic (PV) Installer Resourche Guide, NABCEP, Usa.
- Çelik A, Abut N (2005). Fotovoltaik pil, akü, elektrik motoru ve su pompası içeren kompleks sistemin dinamik modeli. II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, MBGAK 2005, İstanbul, 17–19 Kasım 2005.
- Çıtıroğlu, A, Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, Makale, Mühendis ve Makine, Cilt: 41, Sayı: 485
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (2011). 2010 Yılı İklim Verilerinin Değerlendirmesi
- <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/pvilke.html> (erişim tarihi 24.12.2011)
- <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html> (erişim tarihi 24.12.2011)

- Elektrik İdaresi Etüt Müdürlüğü [EİE],(2008) “Yenilenebilir enerji kaynakları”,
<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/gunespv.html>, (erişim tarihi, 19.11.2011)
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Elektrik İdaresi Etüt Müdürlüğü [EİE] (2010), “2009 Yılı faaliyet raporu”
<http://www.gunessistemleri.com/fotovoltaikekipman.php>, Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi ve Ekipmanları, (erişim tarihi, 24.12.2011)
- Fıratoğlu Z A, Yeşilata B (1994). “Dinamik Çevre Koşullarının Fotovoltaik Destekli Su Pompası Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, Mühendis ve Makine Dergisi, cilt:46, sayı:544, s:17-24
- Gençoğlu M T, Cebeci M, Güneş M (2010). Güneş Enerjisi ile Çalışan PLC Kontrollü Su Pompası Sistem Tasarımı.
- Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi ve Ekipmanları, <http://www.gunessistemleri.com/fotovoltaikekipman.php>,
- Güneş ve Rüzgar Enerjisi. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Çalışmaları (erişim tarihi 20.11.2011)
- Güneş M (1999). “Fotovoltaik Sistemin Sağladığı Elektrik Enerjisi İle Çalışan Bir Uygulama Sisteminin Tasarımı”, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ,
- Günkaya E (2011). Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, S.D.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi,ISPARTA
http://www.igatas.com.tr/yek_taslak. (erişim tarihi 02.02.2012)
- Joshi V, KISHORE V V N (1985). A Numerical Study of The Effects of Solar Attenuation Modelling on the Performance of Solar Ponds. Solar Energy 35, 4, 377-380.
- Kordzadeh A (2010). The effects of nominal power of array and system head on the operation of photovoltaic water pumping set with array surface covered by a film of water. Renewable Energy 35(5): 1098–1102.
- Köksal M A (2012). Güneş Enerjisiyle Su Pompalama Üzerine Araştırma, Adana
- Oktay Y (2006) “ Kütahya Koşullarında Fotovoltaik Sistemin Deneysel incelenmesi ve Ekonomik Analizi” Yüksek Lisans Tezi
- Özel, S. “Fotovoltaik Güneş Enerjisi Ve Aydınlatma Sistemlerinde Kullanılması”.
- Öztürk H H (2010). Güneş pili ile çalışan tarımsal sulama sistemleri için tasarım ölçütlerinin belirlenmesi. 4. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Bildiri Kitabı: 58–73, 6-7 Kasım 2009, Mersin.

Öztürk H H, Eren Ö, Özsavran M, Arslan M (2011). Güneş enerjisiyle termo-mekanik dönüşüm ilkesine göre çalışan su pompalama uygulamalarının değerlendirilmesi. 5. Güneş enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı: 277–294, MMO Yayın No:E/2011/562, 6-7 Ekim 2011, Mersin.

<http://elektrikci.hypermart.net/pv/pv.htm> (erişim tarihi,03.01.2012)

www.teknolojikarastirmalar.com (erişim tarihi 24.12.2011)

Rustemli S, Dinçadam F, Demirtaş M., (2009) “Güneş Pilleri ile Sıcak Su Elde Etme ve Sokak Aydınlatması”, V.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır

http://www.tubitak.gov.tr/btpd/btspd/platform/enerji/bolum6_3.html “TÜBİTAK, Güneş Enerjisi” (erişim tarihi, 24.12.2011)

<http://www.tubitak.gov.tr/btspd/platform/enerji/bolum6.html> (erişim tarihi 24.12.2011)

UYAR T S, “Yenilenebilir Enerji”, <http://bugday.org/category.php> (erişim tarihi, 24.12.2011)

Varınca, Kamil B, Gönüllü M, (2006) “Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma”, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi 21-23 Haziran 2006

Yeager K.E (1992). “Electric Vehicles and Solar Power: Enhancing the Advantages of Electricity”, IEEE Power Engineering Review, Vol. 2, No.10

Yeşilata B, Aydın M, Işiker Y (1994). “Küçük Ölçekli Bir PV Su Pompalama Sisteminin Deneysel Analizi”, Mühendis, Makine Dergisi,cilt:47, sayı:553,s:31 -38,

Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM 2003)

Yeşilkaya, M.A (1998). “Güneş Pillerinin Mikroişlemci ile Konum Kontrolünün Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yeşilata B (2011). Foltavoltaik Güç Sistemli Su Pompasının Dizayn Esaslarının Araştırılması

Zahedi A (2006). “Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated.

ÖZGEÇMİŞ

Pelin ATİK KIYGA, 09.07.1983 tarihinde Bingöl ili Kiğı ilçesinde doğdu. 1985 yılından itibaren Tekirdağ'da yaşamaya başladı. İlk, orta ve lise öğrenimini Tekirdağ'da tamamladı. 2001 yılında Trakya Üniversitesi Tekirdağ Meslek Yüksekolulu İklimlendirme ve Soğutma Teknolojileri bölümünü kazandı. 2003 yılında tekniker olarak mezun oldu. Unilever San. Ve Türk Tic. A.Ş. de AR-GE bölümünde görev yaptı. Daha sonra Tekirdağ Türk Standartları Enstitüsünde (TSE) Tekniker ve Denetmen olarak 3 yıl görev yaptı. 2006 yılında Dikey Geçiş Sınavı ile Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Enerji ve Tesisat Öğretmenliğini bölümünü kazandı 2009 yılında mezun oldu. 2009 yılı bahar döneminde Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları A.B.D. da yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı yıl Tekirdağ Muratlı Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezinde öğretmenlik görevine başladı. 2012 yılında Tekirdağ Valiliği tarafından başlatılan "İnsanlar Yetişir, Kurumlar Gelişir" adlı proje kapsamında, Merkezi Finans ve İhale Birimi, Kalkınma Ajansları, TÜBİTAK, AB Komisyonu vb. gibi kurumlara proje hazırlama ve yönetme teknikleri eğitimini başarı ile tamamladı.