ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Akif KÖKSAL

GÜNEŞ ENERJİSİYLE SU POMPALAMA ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

ADANA, 2012

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİYLE SU POMPALAMA ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Mehmet Akif KÖKSAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Bu Tez 03/02/2012 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

…….....	……..	…..…….....
Prof..Dr. H.Hüseyin ÖZTÜRK	Prof. Dr. Ali BAŞÇETİNÇELİK	Doç. Dr. Nigar YARPUZ BOZDOĞAN
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Tarım Makinaları Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç.Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: ZF2010YL5

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİSİYLE SU POMPALAMA ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Mehmet Akif KÖKSAL

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Danışman :Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK
Yıl: 2012, Sayfa: 47
Jüri :Prof.Dr. Ali BAŞÇETİNÇELİK
:Prof.Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK
:Doç.Dr. Nigar YARPUZ BOZDOĞAN

Bu çalışmada, güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) ilkeye bağlı olarak üretilen elektrik ile dalgıç pompaların çalıştırılması için gerekli mekanik enerjinin sağlanması durumunda, güneş enerjili sulama sisteminin bazı teknik özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla, her birinde toplam 12×6=72 adet PV hücre bulunan 4 adet modülden oluşan toplam 3 dizi halindeki PV sistemin; akım, gerilim ve güç gibi elektriksel özellikleri ile PV sistemin verimi belirlenmiştir. PV sistem tarafından üretilen elektrik ile çalıştırılan üç farklı dalgıç pompa ile su pompalanması durumunda, pompalanan su debileri, dalgıç pompaların hidrolik güç değerleri ve verimleri hesaplanmıştır.

PV sistemdeki bir adet modül tarafından akümülatöre aktarılan elektriksel güç miktarı, 656,23 W olarak hesaplanmıştır. PV sistem tarafından üretilen ortalama elektriksel güç 2982,72 W olarak hesaplanmıştır. PV sistemin elektriksel güç üretme verimi ortalama % 17,86 olarak hesaplanmıştır. Denemeye alınan dalgıç pompaların; ortalama debi, hidrolik güç ve verim değerleri sırasıyla 21,6–28,8 m^3/h, 1270,58–1694,11 W ve % 42–56,6 aralığında değişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisiyle sulama, Fotovoltaik, Dalgıç pompa

ABSTRACT

MSc THESIS

A RESEARCH ON WTER PUMPING WITH SOLAR ENERGY

Mehmet Akif KÖKSAL

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINEY

Supervisor :Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK
Year: 2012, Pages: 47
Jury :Prof. Dr. Ali BAŞÇETİNÇELİK
:Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK
:Assoc.Prof.Dr. Nigar YARPUZ BOZDOĞAN

Photovoltaic water pumping (PWP) systems are particularly suitable for water supply in remote areas where no electricity supply is available. Since the high initial costs of the PWP systems, it necessary to dimension photovoltaic installations as accurately as possible. In this study, some technical parameters of the photovoltaic (PV) water pumping system including submergible pumps have been investigated. For this purpose, the electrical properties such as current, voltage and power and efficiency of the PWP system consists of four array including 72 PV cells were determined. Water pumped, hydraulic powers and efficiencies of the submergible pumps worked with PV cells were calculated.

While the electrical power generated the single PV module was 656,23 W, the average electrical power of the PV system was 2982,72 W. The average electrical efficiency of the PV system was 17,86%. Water pumped, hydraulic powers and efficiencies of the submergible pumps were 21,6–28,8 m^3/h, 1270,58–1694,11 W ve % 42–56,6, respectively.

Key Words: Solar irrigation, Photovoltaic, submergible pump

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana "Çukurova Bölgesinde Meyve Bahçelerinde Güneş Pili İle Çalışan Damla Sulama Sistemlerinin Uygulanabilirliği Üzerine Bir Araştırma" konulu yüksek lisans tezini veren yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren danışman hocam Sayın Prof.Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkürler.

Yüksek lisans tezi jüri üyelerinden Sayın Prof.Dr. Ali BAŞÇETİNÇELİK'e ve Sayın Doç.Dr. Nigar YARPUZ BOZDOĞAN'a, yapıcı ve yönlendirici fikirleriyle katkıda bulundukları için teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölüm Başkanlığı'na, maddi destek veren Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje no**:** ZF2010YL5) içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ VI
ŞEKİLLER DİZİNİ VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR X
1. GİRİŞ 1
1.1. Güneş Enerjisiyle Sulama Sistemleri 3
1.1.1. Güneş Enerjisiyle Su Pompalama İçin Doğrudan Dönüşüm Yöntemleri 4
1.1.1.1. Fotovoltaik Etki İle Çalışan Güneş Enerjisiyle Sulama Sistemleri 4
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı 6
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 9
3. MATERYAL VE METOD 21
3.1. Materyal 21
3.1.1. Fotovoltaik (PV) Sistem 21
3.1.1.1. Fotovoltaik (PV) Modül 24
3.1.1.2. Regülatör-İnvertör-Akümülatör 24
3.1.2. Dalgıç Pompalar 25
3.1.2.1. Çapı 4″ Olan Dalgıç Pompa 25
3.1.2.2. Çapı 6″ Olan Dalgıç Pompalar 27
3.1.3. PV Sistemde Akım ve Gerilim Ölçümü İçin Multimetre 30
3.1.4. Mersin İlinin İklim Özellikleri 31
3.2. Metod 33
3.2.1. PV Sistemde Üretilen Elektriksel Güç 33
3.2.2. PV Sistemin Verimi 34
3.2.3. Pompaj Tesisinin Gücü 29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 37
4.1. PV Sistem Tarafından Üretilen Elektrik Değerleri 37

4.2. PV Sistem Verimi 38
4.3. Ölçülen Debi Değerleri 38
4.4. Pompa Hidrolik Gücü 39
4.5. Pompa Verimi 39
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 41
5.1. Sonuçlar 41
5.2. Öneriler 41
KAYNAKLAR 43
ÖZGEÇMİŞ 47

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 1.1. Sulamanın yararları 1
Çizelge 2.1. PV sulama sistemlerinin kullanımını etkileyen diğer etmenler 13
Çizelge 3.1. PV modülün bazı fiziksel ve elektriksel özellikleri ……. 24
Çizelge 3.2. Çapı 4″ olan dalgıç pompanın malzeme ve boyut özellikleri … 26
Çizelge 3.3. Çapı 4″ olan dalgıç pompanın teknik özellikleri …….....27
Çizelge 3.4. Çapı 6″ ve 3 kademeli olan pompanın malzeme ve boyut özellikleri....28
Çizelge 3.5. Çapı 6″ ve 3 kademeli olan dalgıç pompanın teknik özellikleri 29
Çizelge 3.6. Çapı 6″ ve 6 kademeli olan pompanın malzeme ve boyut özellikleri....29
Çizelge 3.7. Çapı 6″ ve 6 kademeli olan dalgıç pompanın teknik özellikleri ….. 30
Çizelge 3.8. Multimetrenin özellikleri…… 31
Çizelge 3.9. Mersin ili uzun yıllık (1975–2010) iklim verileri …… 32
Çizelge 4.1. PV modül tarafından üretilen değerleri…… 37
Çizelge 4.2. PV sistemdeki invertörün çıkışında elektrik akımı değerleri …… ...38
Çizelge 4.3. PV sistemin elektriksel güç üretme verimi ……. 38
Çizelge 4.4. Pompa debi değerleri ……..... 39
Çizelge 4.5. Pompa hidrolik güç değerleri …….....39
Çizelge 4.6. Pompa verim değerleri …….....40

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Güneş enerjisiyle su pompalama yöntemleri……..4
Şekil 1.2. Fotovoltaik sistemler için başlıca düzenlemeler 5
Şekil 1.3. Doğrudan bağlantılı PV su pompalama sisteminin başlıca bileşenleri. 6
Şekil 3.1. Fotovoltaik (PV) sistem..... 22
Şekil 3.2. PV sistemin yol konumundaki görünümü 23
Şekil 3.3. PV sistemin çalışma konumunda görünüşü……..23
Şekil 3.4. PV sistemdeki hücre, modül ve dizi ……. ..... .24
Şekil 3.5. PV sistemdeki regülatör, invertör ve akümülatör ……. 25
Şekil 3.6. Multimetre……..... 31
Şekil 3.7. Mersin ilinde güneş ışınım enerjisi değişimi ……...33

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Yüzey alanı (m^2)
AC	: Alternatif akım (A)
DC	: Doğru akım (A)
E_{PV}	: PV sistem tarafından üretilen elektriksel güç miktarı (W)
GES	: Güneş enerjisiyle sulama
h_k	: Yük kayıpları (m)
H_g	: Geometrik yükseklik (m)
H_m	: Manometrik yükseklik (m)
I_{sc}	: Kısa devre akımı (A)
P_f	: Pompa fren gücü (kW)
P_h	: Pompa hidrolik gücü (kW)
P_m	: Maksimum güç miktarı (W)
PV	: Fotovoltaik
Q	: Su debisi (m^3/h)
S_t	: Toplam güneş ışınımı (W/m^2)
V_{oc}	: Açık devre gerilimi (V)
γ	: Suyun özgül kütlesi (kg/L)
η_p	: Pompa verimi (%)
η_{PV}	: PV sistem verimi (%)

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. Bitkinin gereksinim duyduğu su miktarının, yağışlarla karşılanamadığı durumda, farklı sulama yöntem ve sistemleriyle toprağa uygulanmasına ***sulama*** denir. Sulama ürün verimini; bitki, toprak, kullanılan sulama yöntemi, iklim ve üretim koşullarına bağlı olarak 1 ile 5 kat arasında artırabilmektedir (Çizelge 1.1). Ancak, gereğinden fazla uygulanan sulama ise verimi azalttığı gibi; topraklarda drenaj, tuzluluk ve çoraklık (sodyumluluk) sorununa neden olabilmektedir.

Çizelge 1.1. Sulamanın yararları

Amaç	Yarar/Sonuç
Ø Tarımsal üretimi artırmak	• Ulusal geliri artırmak • İşsizliği azaltarak yeni iş olanakları yaratmak • Yaşam seviyesini artırmak
Ø Toprak ve çevre için olumlu etkiler geliştirmek	• Toprakta bazı olumsuzluklara karşı yıkama yapmak • Tuzlu ve sodyumlu toprakları ıslah etmek • Bitkileri dondan korumak
Ø Kuraklığın neden olabileceği olumsuzlukları azaltmak	• Gıda kıtlığına karşı önlem almak • Önemli ve pahalı ürün kayıplarını azaltmak
Ø Kurak ve nüfusu azalmış bölgelerde nüfus artışı sağlamak	• Ulusal savunma • Nüfus dağılımın dengeli olması

Sulama amacıyla suyun sağlanmasında temel yöntem, su kaynağı ile sulama yapılan tarla arasında suyun iletilmesidir. Suyun bu hareketi, bir enerji gerektirir. Suyun kaynak ile tarla arasında iletilmesinde kullanılan mekanik araç ve gereçlerin

tümü pompaj tesisini oluşturur. Pompaj tesisinin projelenmesi, seçimi, kurulması, işletilmesi ve bakımı önemli mühendislik konularını içerir. Temel amaç, bitkinin gereksindiği suyu zamanında, yeterli miktarda, en az enerji ve işletme gideri ile sağlamaktır.

Tarım sektöründe enerji kullanımına ilişkin son gelişmeler, yoğun enerji tüketilen sulama uygulamalarının enerji korunumun da önemli bir yeri olduğunu göstermiştir. Son yıllarda sulama uygulamalarında enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik olarak yapılan araştırmalar; sulama amacıyla yeni ve yenilenebilir doğal enerji kaynaklarının kullanılmasına ve fosil yakıtların tüketildiği geleneksel sistemlerine alternatif olarak, düşük maliyetli ve etkinliği yüksek sulama sistemlerinin geliştirilmesine yönlendirilmiştir. En önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden tarımsal sulama amacıyla yararlanılması durumunda, toplam üretim giderleri içerisinde büyük yer tutan sulama giderleri azalacak ve buna bağlı olarak üretim maliyeti de azalacaktır. Alışılagelen enerji kaynaklarından elde edilen enerji bedellerinin yüksek olması nedeniyle, tarımsal sulama amacıyla yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak büyük önem kazanmıştır. Sulama uygulamalarında, günümüz enerji varlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek amacıyla fosil enerji kaynakları yerine, doğal enerji kaynaklarından yararlanılması öncelikli bir gereksinimdir.

Uzun bir geçmişi olan sulama işlemi için en az güç kullanarak su pompalama amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Su pompalama için uygulanan bu yöntemlerde, insan enerjisi, hayvan gücü, rüzgar, güneş ve fosil yakıtlar gibi değişik güç kaynaklarından yararlanılmaktadır. Güneş enerjisiyle sulama (GES) sistemlerinin, içten yanmalı motorlar ile çalıştırılan sulama sistemlerine kıyasla başlıca üstünlükleri; pratik olarak bakım gereksinimlerinin olmaması, kullanım sürelerinin uzun olması, yakıt gerektirmemeleri ve dolayısıyla çevreyi kirletmemeleridir. Diğer önemli bir üstünlükleri de, enerji kaynağı olarak güneşten yararlanmalarıdır. Sulama uygulamalarında, suya en fazla gereksinim duyulan zaman, güneş ışınımının en fazla olduğu zamandır. Bu durum, bu sistemler için bir üstünlük olarak değerlendirilebilir. Bu sistemlerin başlıca olumsuzlukları ise;

başlangıç maliyetlerinin yüksek olması ve GES sistemlerinin verimlerinin geçerli hava koşullarına bağlı olarak değişmesidir.

1.1. Güneş Enerjisiyle Sulama Sistemleri

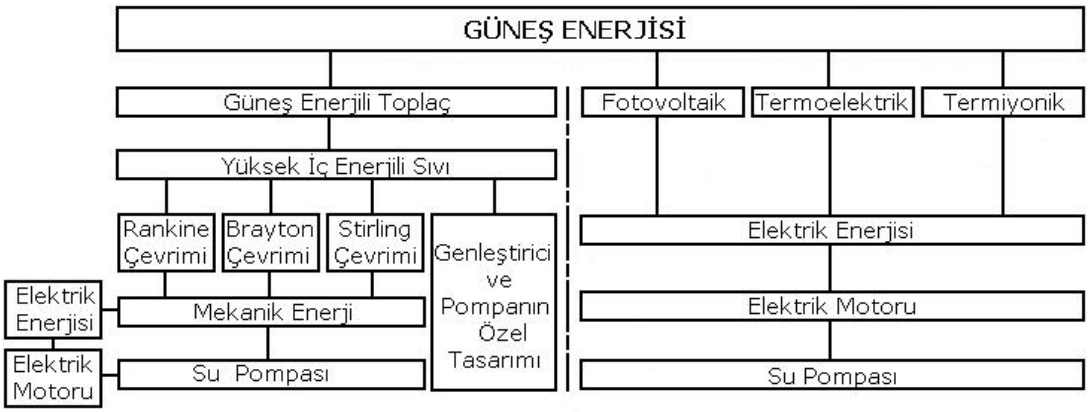
Uzun bir geçmişi olan sulama işlemi için en az çaba ile su pompalama amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Su pompalama için uygulanan bu yöntemlerde, insan enerjisi, hayvan gücü, rüzgar, güneş ve fosil yakıtlar gibi değişik güç kaynaklarından yararlanılmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri, özellikle elektriğin ulaştırılamadığı yerlerde su temini ve tarımsal sulama amacıyla tasarımlanmaktadır. Özellikle ülkemiz gibi, çok fazla güneş ışınımı alan ülkelerde, güneş enerjisi sistemlerin en ümit var uygulama alanlarından birisi de, belirli bir ürünün sulanması için, gerekli suyun pompalanması amacıyla güç kaynağı olarak kullanılmalarıdır. Güneş enerjisiyle sulama (GES) sistemlerinin tasarımında, sistemin çalıştığı süre boyunca, sistemdeki doğal etmenler de (iklim, hidroloji, kuyu, pompalama sistemi, sulama, tarım ve güç kaynağı) dahil olmak üzere sistemi oluşturan bütün bileşenler ayrıntılı olarak dikkate alınır.

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

Güneş enerjisiyle sulama, doğrudan dönüşüm yöntemleri veya termodinamik yöntemler ile uygulanabilen bir işlemdir. Su pompalama için gerekli olan mekanik enerji, termodinamik veya doğrudan dönüşüm yöntemleriyle sağlanabilir (Şekil 1.1).

1.1.1. Güneş Enerjisiyle Su Pompalama İçin Doğrudan Dönüşüm Yöntemleri

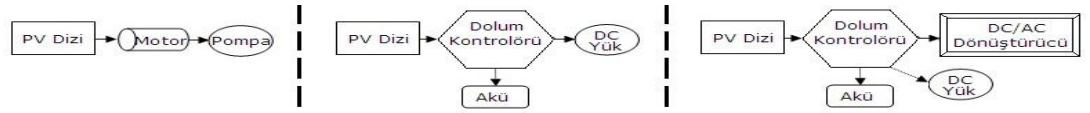
Doğrudan dönüştürme yönteminde, güneş enerjisinden üretilen elektrik akımıyla, geleneksel bir pompanın motoru çalıştırılır. Güneş enerjisinin doğrudan dönüşümünde, fotovoltaik, termoelektrik ve termoiyonik işlemlerden yararlanarak doğrudan elektrik akımı üretilir. Üretilen elektrik ile DC motor çalıştırılabilir 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.



Şekil 1.1. Güneş enerjisiyle su pompalama yöntemleri

1.1.1.1. Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjisiyle Sulama Sistemleri

Fotovoltaik (PV) sistemler bağımsız uygulamalar için yaygın bir şekilde kullanılır. Bağımsız PV sistemleri için başlıca üç farklı düzenleme vardır (Şekil 1.2). Su pompalama uygulamaları, PV sistemlerin başlıca uygulama alanıdır. Su pompalama uygulamalarında, güneş ışınımının bulunduğu sürelerde su pompalanır veya daha sonra kullanılmak üzere depolanır. Güneş ışınımının olmadığı sürelerde kullanılmak üzere akülerde güç depolanabilir. Akü dolum sistemi kullanılması durumunda, sistemin kontrolü için elektronik kontrol üniteleri gereklidir.



a) Akü kullanılmayan düzenleme b) Akü kullanılan düzenleme c) Akü ve dönüştürücü kullanılan düzenleme

Şekil 1.2. Fotovoltaik sistemler için başlıca düzenlemeler

GES sistemleri;

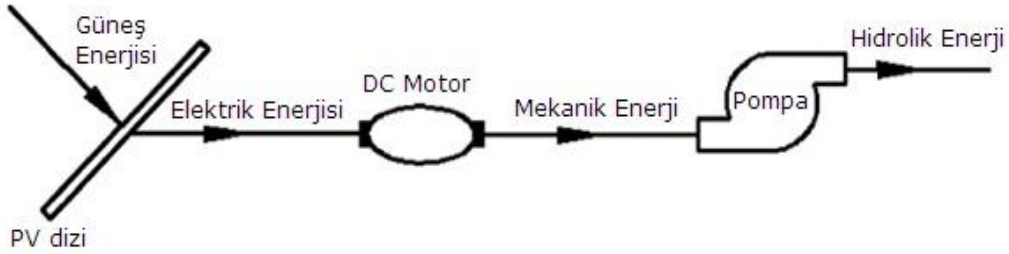
1) PV paneller

2) Motor-pompa (M-P) ünitesi ve

3) Dönüştürücü (invertör)

olmak üzere başlıca üç bileşenden oluşur. Sistem tasarımın bağlı olarak, depolama aküleri ve şarj regülatörü (dolum kontrolörü) kullanılabilir. Aküler, bulutlu günlerde güneş ışınım şiddetinin düşük olması durumunda, sistemin çalışmasına olanak sağlar. Bununla birlikte, akü kullanılmayan sistemler daha ucuz ve daha basittirler, bakım gereksinimleri pratik olarak yoktur. Elektrik motoru, güç gereksinimi ve akım tipine bağlı olarak seçilmelidir. Alternatif akım (AC) ile çalışan motor kullanılması durumunda, sisteme DC/AC dönüştürücü yerleştirilmesi gerekir.

Doğrudan bağlantılı bir GES sisteminin başlıca bileşenleri Şekil 1.3'de şematik olarak verilmiştir. Güneş pilleri dizisi, bir doğru akım (DC) motoru çalıştırmak için yeterli miktarda elektriksel güç üretir. Elektrik motoru, elektriği mekanik enerjiye dönüştürür ve bir su pompasını çalıştırır. Mekanik enerji, daha sonra pompa aracılığıyla su kaynağından su çıkarmak için hidrolik enerjiye dönüştürülür. Güneş pilleri dizisi, DC motor-pompa ünitesi ile doğrudan bağlantılı olduğu için, bu tip düzenleme doğrudan bağlantılı PV su pompalama sistemi olarak tanımlanır (Yeşilata ve Fıratoğlu, 2008).



Şekil 1.3. Doğrudan bağlantılı PV su pompalama sisteminin başlıca bileşenleri (Yeşilata ve Fıratoğlu, 2008)

Doğrudan bağlantılı GES sistemlerinde pompalanan su miktarı birçok etmene bağlı olarak değişir. Bu etmenler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- Meteorolojik etmenler: Işınım şiddeti, hava sıcaklığı
- PV dizinin özellikleri: Akım-gerilim (I-V) çıktıları, dönüşüm etkinliği, eğim
- DC motor-pompa-hidrolik sistem özellikleri: Boru hattının yüksekliği

İşletme noktaları, motor-pompa ünitesi ve PV dizinin her ikisinin de akım-gerilim (I-V) özelliklerine bağlıdır. I-V özellikleri, güneş ışınımı, hava sıcaklığı ve DC motor tarafından çekilen akıma bağlı olarak, doğrusal olmayan bir şekilde değişir (Yeşilata ve Fıratoğlu, 2008). Güneş pili (PV) sistemlerinin maliyetlerinin yüksek olması, bu sistemlerin olabildiğince doğru bir şekilde boyutlandırılmasını gerektirmektedir. GES sistemlerinin tasarımında; suyun pompalanacağı toplam yükseklik, gereksinim duyulan günlük su ve bölgedeki ortalama güneş enerjisi miktarlarının önceden hesaplanması veya tahmin edilmesi gerekir.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Özellikle Türkiye gibi, çok fazla güneş ışınımı alan ülkelerde, güneş enerjisi sistemlerinin en ümit var uygulama alanlarından birisi de, belirli bir ürünün sulanması için, gerekli suyun pompalanması amacıyla güç kaynağı olarak kullanılmalarıdır. Su pompalama amacıyla güneş enerjisinden yararlanmak üzere farklı ülkelerde birçok girişimde bulunulmuştur. Bu girişimlerde farklı yöntemler kullanılmış ve değişik düzeylerde başarılar elde edilmiştir.

Bu çalışmada, güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) ilkeye bağlı olarak üretilen elektrik ile dalgıç pompaların çalıştırılması için gerekli mekanik enerjinin sağlanması durumunda, GES sisteminin bazı teknik özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla, her birinde toplam 12×6=72 adet PV hücre bulunan 4 adet modülden oluşan toplam 3 dizi halindeki PV sistemin; akım, gerilim ve güç gibi elektriksel özellikleri ile PV sistemin verimi belirlenmiştir. PV sistem tarafından üretilen elektrik ile çalıştırılan üç farklı dalgıç pompa ile su pompalanması durumunda, pompalanan su debileri, dalgıç pompaların hidrolik güç değerleri ve verimleri hesaplanmıştır.

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.

Jafar (2000), PV sulama sistemi veriminin değerlendirilmesi için basit bir model geliştirmiştir. Geliştirilen modelde, kısmen kolay bir şekilde ölçülebilen veriler kullanılmaktadır. Geliştirilen model, bir sulama sisteminden belirlenen veriler kullanılarak denenmiş ve sonuçların gerçek değerler ile uygunluk gösterdiği saptanmıştır.

Al-Ali ve ark. (2001) otomatik sulama sistemlerinde PV ilke ile üretilen elektriğin kullanılmasını incelemişlerdir. 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 incelemişlerdir. PV sulama sistemleri; buğday, patates, domates ve ayçiçeği ürünlerinin sulanması için değerlendirilmiştir.

Vilela ve ark. (2003) su pompalama sistemine bağlı sabit ve güneşi tek eksende (doğu-batı) izleyen PV bir diziyi deneysel olarak incelemişleridir. Güneş ışınım enerjisinin 5000 ve 6000 Wh/m^2 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/m^2 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 m^3 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 m^2 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 m^3 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 pompa-motor hidrolik sisteminin özellikleri değiştirilmiştir. PV su pompalama sisteminin ekonomik uygulanabilirliği için yaşam döngüsü maliyet analizi yapılmıştır. PV modüllerin geçerli fiyatlarına bağlı olarak, tasarımlanan 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) fotovoltaik (PV) su pompalama sistemleri için bir benzeşim modeli geliştirmişler ve laboratuar 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 tasarımlanmış olan bir PV su pompalama sisteminden elde edilen gerçek veriler dikkate alınarak bir durum çalışması yapılmıştır.

Odeh ve ark. (2006b) 2.8–15 kW güç aralığında fotovoltaik (PV) ve dizel su pompalama sistemlerinin ekonomik uygulanabilirliklerini karşılaştırmışlardır. Durum çalışmasında, tasarımlanmış olan bir sistemden elde edilen gerçek verim değerleri kullanılmıştır. Sonuçların farklı bölge ve koşullara uyarlanabilmesi için duyarlılık analizi yapılmıştır. Gerekli olan ve sistem tarafından sağlanılan su miktarları arasındaki uyumsuzluk nedeniyle, sistemin büyük kapasitede tasarımlanmasının, 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 belirleniştir.

Meah ve ark. (2008a) güneş enerjisiyle PV ilkeyle su pompalama, gelişmiş ülkelerdeki uzak yerleşim bölgelerinde, ekonomik olarak uygulanabilir bir yöntemdir. Su kaynaklarının dağınık 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 tastarımlanabilmesi için önemli bir değişkendir.

Abdolzadeh ve Ameri (2009) PV su pompalama sisteminin verimini artırma olanaklarını araştırmışlardır. PV su pompalama sitemlerinin verimlerini artırabilmek için, PV hücrenin sıcaklığını belirli bir sınırda tutmak ve PV hücreden olan yansımayı olabildiğince azaltmak gereklidir. Bu amaçla tasarımlanan 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 m^3 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 değimin; 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 karşılamasını da araştırmışlardır. Uygun olarak tasarımlanmış 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 kullanımı dikkate alınmıştır.

Sallem ve ark. (2009) PV su pompalama sistemlerinin verimi, üretilen elektrik miktarı ve pompalanan su hacmi arasındaki uyuşuma 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.

Bakalli ve ark. (2010) su depolama tankı bunan bir PV su pompalama sisteminin farklı bileşenlerinin kapasitelerini optimize etmek için, optimum boyutlandırma modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde, pompalama sisteminin alt modelleri dikkate alınmıştır. Modelde, güvenilirlik için güç kaynağının kaybolma olasılığı ve ekonomik değerlendirme için yaşam döngüsü maliyetinden oluşan iki optimizasyon ölçütünden yararlanılmaktadır. PV pompalama sisteminin boyutlandırılması optimizasyonu, sistemin güvenilirlik gereksinimlerine bağlı olarak teknik ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilir. Geliştirilen model, Cezayir'de içme suyu temini için tasarımlanmış olan bir PV pompalama sisteminin değerlendirilmesi için kullanılmıştır.

Gençoğlu ve ark. (2010) Doğu Anadolu Bölgesindeki güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla, küçük güçlü tüketicilerin beslenmesinde fotovoltaik sistemlerin kullanılmasını incelemişlerdir. 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 olankları 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 tasarımlanan motor-pompa üniteleri kullanılarak belirlenen deneysel sonuçlara bağlı olarak geliştirilmiştir. Santrifüj ve pistonlu pompalarla ilgili olarak araştırmaların ayrıntıları verilmiştir. Geliştirilen modelde deneysel olarak belirlenen veriler kullanılmıştır. Motor-pompa alt modeline bağlı olarak, su pompalama amacıyla dizel yakıt kullanılan jeneratör yerine PV dizi kullanılması durumunda, CO_2 salımındaki 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.

Qoaider ve Steinbrecht (2010) elektrik şebekesi ulaşmayan kurak bölgelerde yapılan tarımsal üretimde PV teknolojinin ekonomik uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Dizel yakıt ile çalışan jeneratörle üretilen elektriğin maliyeti; fosil yakıt fiyatları, yakıt taşıma maliyeti ve bakım/onarım giderlerine bağlı olarak değişmektedir. PV sulama sisteminin teknik tasarımı ve yaşam döngüsü maliyeti incelenmiştir. PV sulama sistemi, 1260 ha alanı sulamak amacıyla günlük 111 000 m^3 su pompalayacak kapasitede tasarımlanmıştır. Tasarımlanan PV sulama sisteminin verimi ve elektrik üretim maliyeti, dizel jeneratörlü sistem ile karşılaştırılmıştır. Jeneratörle elektrik üretim maliyetini belirleyebilmek için, hesaplamalarda dizel yakıt fiyatı 86.55 c€/L olarak dikkate alınmıştır. Eşdeğer sistem büyüklüğü için, jeneratörle elektrik üretim maliyeti 39 c€/kWh iken, PV elektriğin maliyeti sadece 13 c€/kWh olarak hesaplanmıştır.

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 yönteme göre çalışan herhangi bir güneş enerjisi dönüşüm sisteminde, yüksek sıcaklık ve basınçta bir akışkan üretebilmek için değişik özelliklerde güneş toplaçlarından yararlanılır. 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. Bu çalışmada, güneş ışınımından kazanılan ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi ilkesine bağlı olarak çalışan güneş enerjisiyle su pompalama uygulamaları incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, güneş ısıl enerjisiyle çalışan değişik tasarımlardaki su pompalama sistemlerini ve bu sistemlerin verimlerini incelemektir. Bu çalışma, bu konuda yeni bir tasarım geliştirecek olan araştırmacılara yararlı referans bilgiler sağlayacaktır.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde; güneş enerjisinde fotovoltaik (PV) ilke ile üretilen elektriğin değişik uygulamalarda kullanılabilmesi için, SOMY Enerji ve Metal Sanayi Tic.Ltd.Şti.-Mersin tarafından tasarımlanmış olan ve taşınabilir PV dizilerden oluşan bir PV sistemin tasarım özellikleri açıklanmış ve PV sistem tarafından üretilen elektriğin su pompalama amacıyla kullanılması durumunda belirlenen değerler verilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Fotovoltaik (PV) Sistem

SOMY Enerji ve Metal Sanayi Tic.Ltd.Şti.-Mersin tarafından tasarımlanmış olan PV sistem, güneş ışınım enerjisinden, PV ilkeye bağlı olarak doğrudan elektrik üreten ve ürettiği elektriği sistemde bulunan akümülatörlerde depolayan, öne devirmeli, bir tarım römorku üzerine yerleştirilmiş olan 3 adet PV diziden oluşmaktadır. Akümülatörlerde depolanan elektrik, uygun tarımsal ekipmanların çalıştırılması amacıyla güç kaynağı olarak kullanılabilmektedir. PV sistem, her birinde toplam 12×6=72 adet PV hücre bulunan 4 adet modülden oluşan toplam 3 diziden oluşmaktadır (Şekil 3.1). PV sistemde, silisyum dioksitten yapılmış olan, 12×6=72×4=288×3=864 adet PV hücre bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Fotovoltaik (PV) sistem

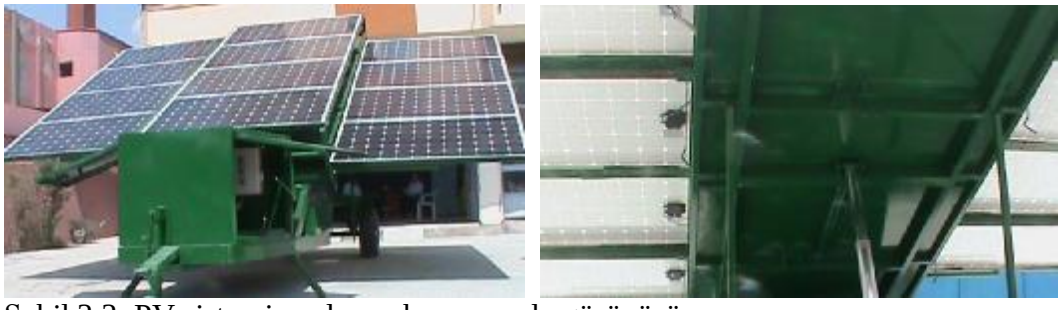
PV hücreler tarafından üretilen elektrik, hücrelerin arkasına yerleştirilmiş olan ikişer adet kablo ile seri veya paralel bağlanarak bir noktada toplanır. Toplanan elektrik iki adet kablo ile sistem üzerinde bulunan regülatöre iletilerek, akımdaki dalgalanmalar giderilir. Regülatörden geçen elektrik akımı, akümülatörlere aktarılarak burada depolanır. Akümülatörlerden gelen DC akım, invertöre (dönüştürücüye) iletilerek, AC şekline dönüştürülür ve 48 V olan elektrik akımı 380 V trifaze akıma yükseltilir. İnverterden alınan elektrik akımı, elektrikli cihazların çalışmasında kullanılır.

PV sistem, öne devirmeli bir tarım römorku üzerine yerleştirilmiştir. Dönüş lambaları ve reflektörlerle donatılmış olan römorkun ön tarafında, invertör, regülatör ve panonun muhafaza edildiği bir kabin bulunmaktadır (Şekil 3.1). PV sistem, her birinde toplam 4 adet PV modül bulunan toplam 3 adet PV diziden oluşmaktadır. PV sistem, sağ ve sol taraflarındaki akümülatörler, ortadaki akümülatörün altına kızaklı olarak hareket ettirilerek, yol konumuna getirilebilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. PV sistemin yol konumundaki görünümü

PV sistemin istenilen yere taşınabilmesi amacıyla, 3 adet PV dizi, öne devirmeli hidrolik pistonlu tarım römorkunun üst şasesi üzerine yerleştirilmiştir. PV sistem, hidrolik sistemle istenilen yüksekliğe getirildiğinde, alt şasi ile üst şasi arasında 2100 mm uzunluğunda 40×40×4'lük iki adet profilden imal edilmiş ve dört kademede ayarlı emniyet desteği bulunmaktadır. Sistemin taşınabilmesi için iki adet lastik tekerlek kullanılmıştır. Dingil, iki adet 75'lik köşebendin alından kaynaklanmasıyla oluşturulmuştur.



Şekil 3.3. PV sistemin çalışma konumunda görünüşü

3.1.1.1. Fotovoltaik (PV) Modül

Toplam 72 adet hücreden oluşan PV modül, 60×60×6 mm tasarımlanmış olan çerçeveler içerisine oturtulmuştur. PV modülün üzeri (Şekil 3.4), güneş ışınımını yansıtmayan temperli cam ile kaplanmıştır. Bir adet PV modül 260 W güç üretmekte olup, PV sitemdeki 12 adet modül tarafından üretilen toplam güç miktarı 3.12 kW'dır. PV modülün bazı fiziksel ve elektriksel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Hücre Modül Dizi

Şekil 3.4. PV sistemdeki hücre, modül ve dizi

Çizelge 3.1. PV modülün bazı fiziksel ve elektriksel özellikleri

Özellikler	**Değerler**
Boyutlar (mm)	Uzunluk =1960 Genişlik = 986 Kalınlık = 50
Kütle (kg)	23
P_m (W)	260
V_{oc} (V)	43.2
I_{sc} (A)	7.95
V_{mp} (V)	35.4
I_{mp} (A)	7.34
Sistemin en yüksek gerilimi (V)	1000
Güç çıkış toleransı	± % 5

3.1.1.2. Regülatör-İnvertör-Akümülatör

Regülatör (Şekil 3.5a), PV dizilerden gelen doğru akım dalgalanmalarını düzenli hale getirerek akümülatörlerin şarj olmasını sağlar.

İnvertör (Şekil 3.5b), PV dizilerden aldığı DC gerilimi, elektriksel tüketicinin kullanılacağı şekilde AC gerilime dönüştürerek, 380 V gerilim ve 8 kW güç değerine yükseltir.

Akümülatör (Şekil 3.5c), PV dizilerden gelen doğru akımı depolayarak, sistemin güneş olmadığı zamanlarda çalışmasını sağlar. Kapasitesi 200 Ah 12 V'luk 16 adet akümülatör bulunmaktadır.



Regülatör İnvertör Akümülatör

Şekil 3.5. PV sistemdeki regülatör, invertör ve akümülatör

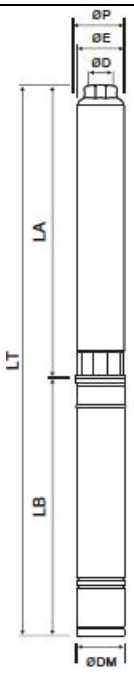
3.1.2. Dalgıç Pompalar

PV sistemin tarımsal sulama amacıyla kullanılabilirliğini araştırmak için 4″ ve 6″ çaplarında değişik özelliklerde 3 farklı dalgıç pompa kullanılmıştır. Bu amaçla PV sistem tarafında üretilen elektrik ile çalıştırılan dalgıç pompaların özellikleri aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

3.1.2.1. Çapı 4² Olan Dalgıç Pompa

Yüzer fanlı, paslanmaz gövdeli ve plastik aksamlı 4″ çapındaki dalgıç pompanın, devir sayısı 2900 d/dak ve dönüş yönü saat ibresinin tersinedir. Pompanın malzeme ve teknik özellikleri Çizelge 3.2 ve 3.3'de verilmiştir.

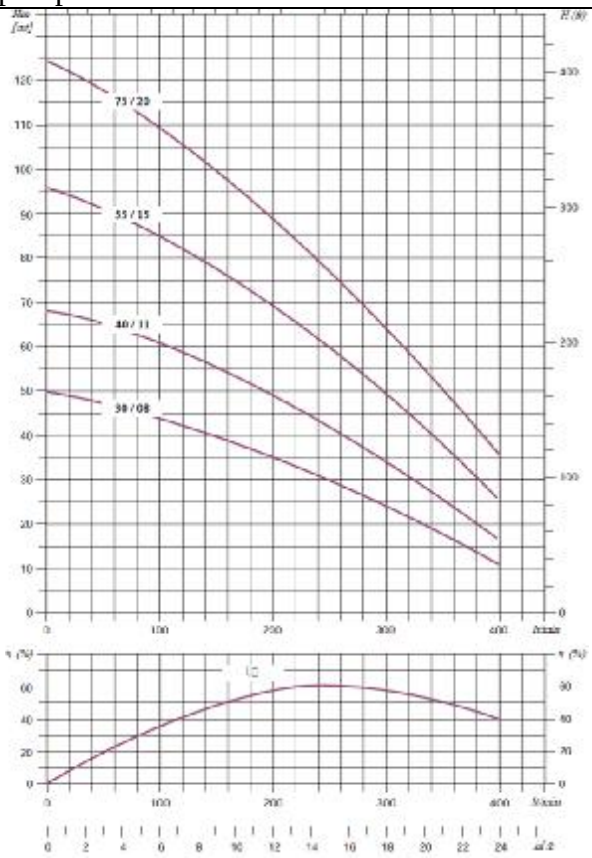
Çizelge 3.2. Çapı 4″ olan dalgıç pompanın malzeme ve boyut özellikleri

Pompa aksamı	**Malzeme özellikleri**	**Dalgıç pompa**
Pompa gövdesi	Paslanmaz çelik, AISI 304	 
Pompa mili	Paslanmaz çelik, AISI 420	
Difüzör	Plastik, Noryl (PPO)	
Difüzör çanağı	Paslanmaz çelik, AISI 304	
Fan	Plastik, Noryl (PPO)	
Kaplin	Paslanmaz çelik, AISI 304	
Filtre-kablo kanalı	Paslanmaz çelik, AISI 304	
Yatak takımı	Kauçuk, (NBR)	
Çanak yatağı	Plastik, Poliüretan	
Klape	Paslanmaz çelik, AISI 304	
Emiş gövdesi	Paslanmaz çelik, AISI 304	
Çıkış gövdesi	Paslanmaz çelik, AISI 304	

Ölçüler (mm)			Kütle (kg)		
	LA	880		Pompa	8,1
	LB	525		Motor	16
	LT	1405		Toplam	24,1

Çizelge 3.3. Çapı 4″ olan dalgıç pompanın teknik özellikleri

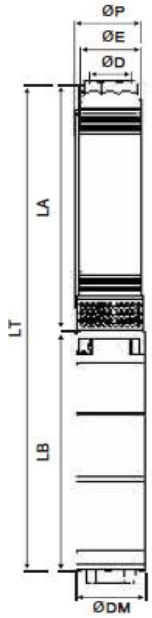
Kademe sayısı	**Motor gücü (kW)**
11	3
Debi (m^3/h)	**Manometrik yükseklik (m)**
0	70
8,4	57
9,6	54
10,8	52
12	49
13	47
14,4	44
16	41
17	38
18	34
19	31
20	28
22	24
23	21
24	18



3.1.2.2. Çapı 6[2] Olan Dalgıç Pompalar

Denemelerde, 3 ve 6 kademeli olmak üzere iki farklı tasarımda 6″ çapında dalgıç pompa kullanılmıştır. Paslanmaz gövdeli ve plastik aksamlı 6″ çapındaki 6 kademeli dalgıç pompanın, devir sayısı 2900 d/dak ve dönüş yönü saat ibresinin tersinedir. Çapı 6″ olan 3 ve 6 kademeli dalgıç pompaların, malzeme ve teknik özellikleri, sırasıyla Çizelge 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7'de verilmiştir.

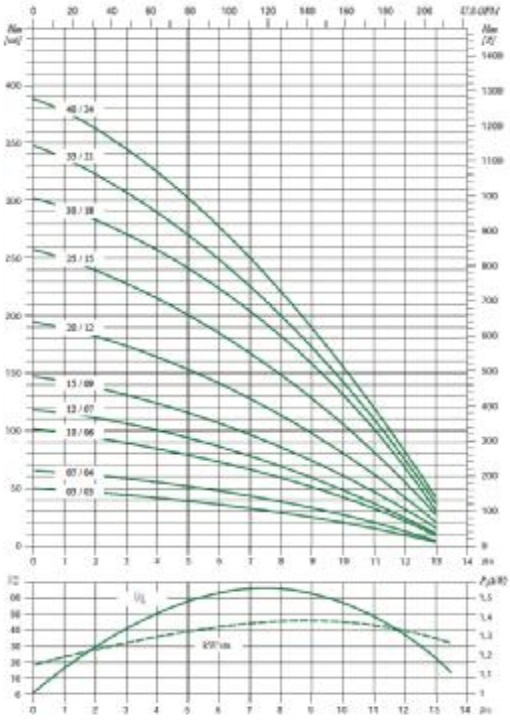
Çizelge 3.4. Çapı 6″ ve 3 kademeli olan pompanın malzeme ve boyut özellikleri

Pompa aksamı	**Malzeme özellikleri**	**Dalgıç pompa**
Pompa gövdesi	Paslanmaz çelik, AISI 304	 
Pompa mili	Paslanmaz çelik, AISI 420	
Difüzör	Plastik, Polikarbon (PC)	
Difüzör halkası	Paslanmaz çelik, AISI 304	
Fan	Plastik, Noryl (PPO)	
Kaplin	Paslanmaz çelik, AISI 304	
Filtre-kablo kanalı	Paslanmaz çelik, AISI 304	
Yatak takımı	Kauçuk, (NBR)+ Paslanmaz çelik, AISI 304	
Aşınma halkası	Paslanmaz çelik, AISI 304	
Klape	Plastik, Poliaesetal (PA)	
Emiş gövdesi		
Standart	Pik döküm (GG20)	
Seçenekli	Bronz (ASTM B415-4 A)	
Çıkış gövdesi		
Standart	Pik döküm (GG20)	
Seçenekli	Bronz (ASTM B415-4 A)	

Ölçüler (mm)	LA	510	Kütle (kg)	Pompa	11
	LB	735		Motor	25
	LT	1245		Toplam	36

Çizelge 3.5. Çapı 6″ ve 3 kademeli olan dalgıç pompanın teknik özellikleri

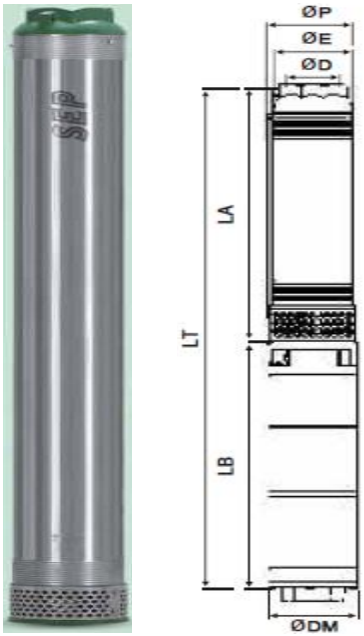
Kademe sayısı	**Motor gücü (kW)**
3	4
Debi (m^3/h)	**Manometrik yükseklik (m)**
0	50
7,2	47
10,8	45
14,4	42
18	39
21,6	36
25,2	33
28,8	29
32,4	25
36	20
39,6	15
43,2	10
46,8	4



Çizelge 3.6. Çapı 6″ ve 6 kademeli olan pompanın malzeme ve boyut özellikleri

Pompa aksamı	**Malzeme özellikleri**
Pompa gövdesi	Paslanmaz çelik, AISI 304
Pompa mili	Paslanmaz çelik, AISI 420
Difüzör	Plastik, Polikarbon (PC)
Difüzör halkası	Paslanmaz çelik, AISI 304
Fan	Plastik, Noryl (PPO)
Kaplin	Paslanmaz çelik, AISI 304
Filtre-kablo kanalı	Paslanmaz çelik, AISI 304
Yatak takımı	Kauçuk, (NBR)+ Paslanmaz çelik, AISI 304
Aşınma halkası	Paslanmaz çelik, AISI 304
Klape	Plastik, Poliaesetal (PA)
Emiş gövdesi	
Standart	Pik döküm (GG20)
Seçenekli	Bronz (ASTM B415-4 A)
Çıkış gövdesi	
Standart	Pik döküm (GG20)
Seçenekli	Bronz (ASTM B415-4 A)

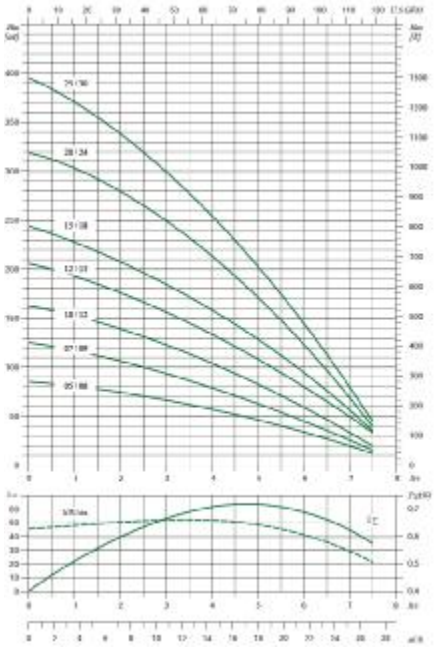
Dalgıç pompa



Ölçüler (mm)			Kütle (kg)		
	LA	681		Pompa	14
	LB	735		Motor	25
	LT	1416		Toplam	39

Çizelge 3.7. Çapı 6″ ve 6 kademeli olan dalgıç pompanın teknik özellikleri

Kademe sayısı	**Motor gücü (kW)**
6	4
Debi (m^3/h)	**Manometrik yükseklik (m)**
0	85
3,6	79,9
7,2	73,4
10,8	65
12,6	61
14,4	56
16,2	51
18	46
19,8	39
21,6	33
23,4	27,3
25,2	20
27	13



3.1.3. PV Sistemde Akım ve Gerilim Ölçümü İçin Multimetre

PV sistem tarafından üretilen elektriğin akım ve gerilim değerleri sayısal multimetre ile ölçülmüştür (Çizelge 3.8). Avometre olarak da adlandırılan multimetre, akım (Amper), gerilim (Volt), direnç (Ohm) ve kısa devre ölçebilen bir elektronik ölçme aletidir (Şekil 3.6). Avometre sözcüğü, Amper, Volt ve Ohm kelimelerinin baş harflerinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Avometreler, elektrik ve elektronik sektöründe kullanılırlar, analog ve sayısal olarak imal edilirler. Üzerindeki komutatörle istenilen ölçme değeri seçilerek ölçme yapılır. Günümüzde avometreler oldukça gelişmiş ve birçok yeni özellik eklenmiştir. Standart parametreler olan akım gerilim ve direnç dışında, frekans, sıcaklık, kapasitans, gibi birçok parametrenin daha ölçümünü yapabilmektedir. Birçok üretici multimetrenin ölçüm doğruluğunu şu şekilde belirtir: % 2+5. Bu ifade şu anlama gelmektedir. Toplam hata ölçülen değerin % 2'si ve çözünürlüğün 5 katının toplamı ile bulunur. Bu hesaplama yönteminden de anlaşılacağı üzere, çözünürlük ne kadar yüksek ise ölçüm hatası o kadar düşük olacaktır ve daha doğru bir ölçüm yapılacaktır.

Çizelge 3.8. Multimetrenin özellikleri

Özellikler	M-3850D	
DC Gerilim	400mA–400V	±0.3% + 1dgt
	1000 V	±0.5% + 1dgt
AC Gerilim	400mV–400V	±0.8% + 3dgts
	200V–750V	±1.0% + 3dgts
DC Akım	400μA to 4mA	±1.0% + 1dgts
	40mA–400mA	±0.8% + 1dgts
	4A–20A	±1.5% + 5dgts
AC Akım	400μA–4mA	±1.8% + 3dgts
	40mA–400mA	±1.5% + 3dgts
	4A–20A	±2.0% + 5dgts
Direnç	400Ω–4MΩ	±0.5% + 1dgt
	40MΩ	±1.0% + 2dgts
Kapasitans	4nF–400 nF	±2.0% + 3dgts
	4nF –200 nF	±3.0% + 5dgts
Frekans	4kHz–40MHz	±0.1% + 1dgt
Sıcaklık	-40°C~ 200°C	±3.0% + 5dgts
	200°C ~ 1200°C	±3.0% + 2dgts
Süreklilik	≤ 40 Ω	
İndüktans	40mH–4H	±3.0% + 20dgts



Şekil 3.6. Multimetre

3.1.4. Mersin İlinin İklim Özellikleri

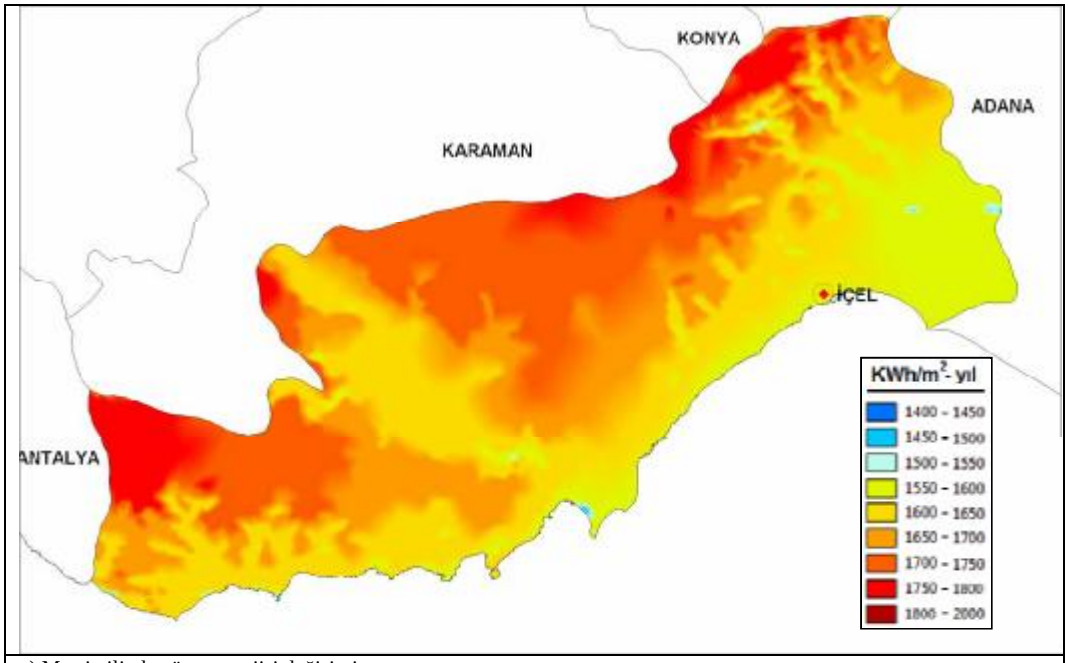
Mersin ili 36–37° kuzey enlemleri ve 33–35° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. İlin kara sınırı 608 km, deniz sınırı 321 km olup, yüzölçümü 15.953 km²'dir. Mersin ilinin büyük bir kısmını oldukça yüksek, engebeli ve kayalık Batı ve Orta Toros Dağları oluşturmaktadır. Ovalık ve hafif eğimli alanlar ise bu dağların denize doğru uzandığı il merkezi, Tarsus, Silifke gibi alanlarda gelişmiştir. Bunun dışında kalan düzlük veya hafif eğimli alanlar, kuzeyde dağların arasında veya yüksek kesimlerinde görülmektedir.

Mersin ve çevresinde, tipik sıcak ve ılıman astropikal iklimi hakimdir. Yaz ayları sıcak ve aşırı nemli, ortalama 28 °C nemlilik ise % 88'ler civarında kış ayları ise (15 °C) ılık ve yağışlıdır. Yıllık yağış ortalaması 1096 mm'dir. Mersin meteoroloji istasyonunun 1975–2010 yıllarına ait, 35 yıllık aylık ortalama sıcaklıklarını dikkate alındığında (Çizelge 3.9), ilin uzun yıllar sıcaklık ortalaması ise 23 °C derecedir ve bu özelliğiyle Türkiye'nin en sıcak kesimidir. Ancak, yaz aylarında özellikle aşırı nem bunaltıcı olabilmektedir. İl, en fazla yağışı Aralık - Ocak döneminde alır.

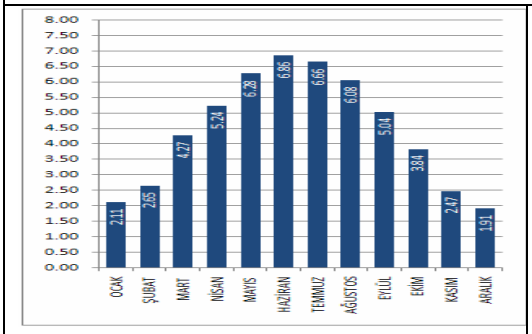
Çizelge 3.9. Mersin ili uzun yıllık (1975–2010) iklim verileri (EİEİ, 2012)

İklim Etmeni	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	10.3	11.1	13.9	17.7	21.5	25.2	28.0	28.4	25.8	21.5	15.9	11.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.9	15.6	18.3	21.6	24.8	28.0	30.7	31.4	30.0	26.9	21.3	16.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	6.6	7.2	9.7	13.4	17.2	21.2	24.4	24.6	21.5	17.0	11.8	8.1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	5.0	5.6	6.8	7.6	8.8	10.1	10.2	10.0	9.4	7.8	6.0	4.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	9.1	9.0	7.5	7.8	5.3	2.9	2.1	1.8	2.5	5.4	7.1	10.3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m^2)	98.1	78.0	52.8	39.2	22.7	10.2	11.9	6.9	9.6	40.3	80.6	132.8
Uzun Yıllar (1975 - 2010) İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.2	24.0	29.8	34.7	35.8	35.0	36.6	37.2	38.5	36.4	30.2	27.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.5	-3.6	-1.5	3.8	9.1	5.3	16.3	16.7	12.5	5.6	0.7	-3.0

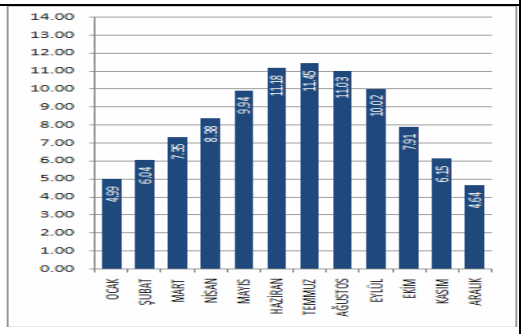
Mersin ilinde toplam güneş enerjisi 1,91–6,86 kWh/m^2gün aralığında, güneşlenme süresi ise 4,64–11,45 saat aralığında değişmektedir (Şekil 3.7b ve c).



a) Mersin ilinde güneş enerjisi değişimi



b) Mersin ilinde güneş enerjisi değişimi (kWh/m^{2}gün)



c) Mersin ilinde güneşlenme süresi (saat) değişimi

Şekil 3.7. Mersin ilinde güneş ışınım enerjisi değişimi

3.2. Metod

3.2.1. PV Sistemde Üretilen Elektriksel Güç

PV sistem tarafından üretilen elektriksel güç miktarı, sistemin açık devre akım ve kısa devre gerilim değerlerine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$E_{PV} = I_{oc} \times V_{sc} \quad \text{.....(3.1)}$$

Burada;

E_{PV} = PV sistem tarafından üretilen elektriksel güç miktarı (W),
I_{oc} = açık devre akım değeri (A) ve
V_{sc} = kısa devre gerilim değeridir (V).

3.2.2. PV Sistemin Verimi

PV sistemin elektriksel güç dönüşüm verimi (η_{pc}), sistem tarafından üretilen elektrik miktarının, PV yüzeye gelen güneş enerjisi miktarına oranı olarak tanımlanmış ve aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\eta_{PV} = \frac{I_{oc} \times V_{sc}}{S_t \times A} \quad \text{.....(3.2)}$$

Burada;

A = PV yüzey alanı (m^2),
I_{sc} = açık devre akım değeri (A),
S_t = toplam güneş ışınımı (W/m^2),
V_{oc} = kısa devre gerilim değeri (V) ve
η_{PV} = PV sistem verimidir (%).

3.2.3. Pompaj Tesisinin Gücü

Tesiste su kaynağı ile suyun yükseltildiği en yüksek noktalar arasında, (Q) verdisi ile manometrik yüksekliğe ($H_m = H_g + h_k$) iletilecek olan suyun özgül kütlesi (γ) bilinirse, pompanın suya birim zamanda verdiği enerji veya pompanın ***hidrolik gücü*** (P_h), aşağıdaki gibi belirlenir.

$$P_h = \frac{Q \times H_m \times \gamma}{102} \quad \text{.....(3.3)}$$

Eşitlik (3.3) ile belirlenen değer, faydalı güç veya çıkış gücü olarak bilinir. Bir iş makinası olan pompada, enerji değişimi sırasında çeşitli kayıplar oluşur. Diğer bir deyişle, enerjinin bir bölümü hidrolik enerji dışında çeşitli kayıpları karşılamak için kullanılır. Pompa miline uygulanması gerekli olan güç, hidrolik güçten daha fazladır. Bu iki değer arasındaki oran ise ***pompa verimi*** olarak adlandırılır.

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_f} \times 100 \quad \text{.....(3.4)}$$

Pompa verimi (η_p), tesiste kullanılan pompanın yapısal özellikleri ile tesisin işletme koşullarına bağlıdır. Pompa veriminin yüksek olması, alınan enerjiye karşılık, işin daha az enerji kaybı ile yapıldığını belirtir. Sulama pompalarının verimi; suyun çıkarıldığı düşey yükseklik, su hızı ve pompalanan su miktarına bağlı olarak % 70–90 arasında değişir.

Pompanın miline uygulanması gerekli güç, *fren gücü* (P_f, kW) olarak adlandırılır ve eşitlik (3.5) ile hesaplanır. Pompaj tesisinin *fren gücü*, tesisin çalıştırılması için gerekli olan enerji kaynağı büyüklüğünü belirler.

$$P_f = \frac{Q \times H_m \times \gamma}{102 \times \eta_p} = \frac{P_h}{\eta_p} \quad \text{.....(3.5)}$$

Burada;

H_m = toplam manometrik yükseklik (m),
Q = sulama suyu debisi (m^3/h),
P_f = pompanın fren gücü (kW),
P_h = pompanın hidrolik gücü (kW),
γ = sulama suyunun özgül kütlesi (kg/L) ve
η_p = sulama pompasının verimidir (%).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. PV Sistem Tarafından Üretilen Elektrik Değerleri

PV sistemdeki bir adet modül tarafından üretilen kısa devre akım ve gerilim değerleri ile be değerlere bağlı olarak hesaplanan elektriksel güç Çizelge 4.1'de verilmiştir. PV sistemdeki akümülatörün şarj kapasitesini artırmak için, PV modüller seri olarak bağlanarak kısa devre akımı ile çalıştırılmaktadır.

Çizelge 4.1. PV modül tarafından üretilen değerleri

Ölçüm	**Akım (A)**	**Gerilim (V)**	**Modülde Üretilen Güç (W)**
1. Ölçüm	7,95	83,6	664,62
2. Ölçüm	7,7	86,5	666,05
3. Ölçüm	7,8	81,8	638,04
Ortalama	*7,81*	*83,96*	*656,23*

PV sistemdeki bir adet PV modül tarafından üretilen elektriğin, üç adet ölçüm sonucunda, ortalama akım ve gerilim değerleri sırasıyla, 7,81 A ve 83,96 V olarak belirlenmiştir. Ortalama akım ve gerilim değerlerine bağlı olarak bir adet modül tarafından akümülatöre aktarılan elektriksel güç miktarı, 656,23 W olarak hesaplanmıştır.

PV sistemdeki akümülatörlerden invertöre gelen elektrik akımının, invertör giriş ve çıkışındaki değerlerinin belirlenmesi için üç adet ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlere bağlı olarak belirlenen sonuçlar Çizelge 4.2'de verilmiştir. PV sistemde, invertör girişindeki ortalama DC gerilim 46,16 V iken, invertör çıkışındaki AC gerilim 381,6 V olarak belirlenmiştir. Bu değerlere bağlı olarak, eşitlik (3.1) ile belirlenmiş olan, PV sistem tarafından üretilen ortalama elektriksel güç 2982,72 W olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. PV sistemdeki invertörün çıkışında elektrik akımı değerleri

Ölçüm	İnvertör girişinde (DC) gerilim (V)	İnvertör çıkışında (AC) Gerilim (V)	PV Sistemde Üretilen Güç (W)
1. Ölçüm	44,3	379,4	3016,23
2. Ölçüm	46,4	381,9	2940,63
3. Ölçüm	47,8	383,5	2991,3
Ortalama	*46,16*	*381,6*	*2982,72*

4.2. PV Sistem Verimi

PV sistemin elektriksel güç üretme verimi eşitlik (3.2) ile belirlenmiş olup, hesaplanan değerler Çizelge 4.3'de verilmiştir. PV sistemin elektriksel güç üretme verimi ortalama % 17,86 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. PV sistemin elektriksel güç üretme verimi

Ölçüm	PV Sistemde Üretilen Güç (W)	Toplam Güneş Işınımı (W/m^2)	PV Sistem Yüzey Alanı (m^2)	PV Sistemin Elektriksel Verimi (%)
1. Ölçüm	3016,23	720	23,19	18,06
2. Ölçüm	2940,63	750	23,19	16,90
3. Ölçüm	2991,3	690	23,19	18,69
Ortalama	*2982,72*	*720*	*23,19*	*17,86*

4.3. Ölçülen Debi Değerleri

PV sistemde üretilen elektrik ile çalıştırılarak, ortalama 6 m derinlikten su çekilen dalgıç pompaların ölçülen debi değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir. Çapı 4″ ve 11 kademeli olan dalgıç pompanın ortalama debisi 23,71 m^3/h olarak ölçülmüştür. Çapı 6″ olan dalgıç pompalardan 3 kademeli olanın ortalama debisi 28,8 m^3/h, 6 kademeli olanın ki ise 21,6 m^3/h olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. Pompa debi değerleri

Ölçüm	Debi (m^3/h)		
	Pompa Çapı (″)/Kademe Sayısı (Adet)/Gücü (kW)		
	4/11/3	**6/3/4**	**6/6/4**
1. Ölçüm	21,72	28,8	21,02
2. Ölçüm	24,45	29,91	21,6
3. Ölçüm	25,25	27,77	22,22
Ortalama	*23,71*	*28,8*	*21,6*

4.4. Pompa Hidrolik Gücü

Pompa tarafından suya aktarılan güç olarak tanımlanabilen güç olarak adlandırılan hidrolik güç değerleri eşitlik (3.3) ile hesaplanmış ve belirlenen değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir. Çapı 4″ ve 11 kademeli olan dalgıç pompanın hidrolik gücü ortalama 1394,7 W olarak hesaplanmıştır. Çapı 6″ olan dalgıç pompalardan 3 kademeli olanın ortalama hidrolik gücü 1694,11 W, 6 kademeli olanın ki ise 1270,58 W olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. Pompa hidrolik güç değerleri

Ölçüm	Hidrolik Güç (W)		
	Pompa Çapı (″)/Kademe Sayısı (Adet)/Gücü (kW)		
	4/11/3	**6/3/4**	**6/6/4**
1. Ölçüm	1277,64	1694,11	1236,47
2. Ölçüm	1438,23	1759,41	1270,58
3. Ölçüm	1485,29	1633,52	1307,05
Ortalama	*1394,70*	*1694,11*	*1270,58*

4.5. Pompa Verimi

Pompanın tükettiği güce karşılık, pompa tarafından suya aktarılan güç olarak tanımlanabilen pompa verimi değerleri eşitlik (3.4) ile hesaplanmış ve belirlenen

değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çapı 4″ ve 11 kademeli olan dalgıç pompanın verimi ortalama % 46 olarak hesaplanmıştır. Çapı 6″ olan dalgıç pompalardan 3 kademeli olanın ortalama verimi % 56, 6 kademeli olanın ki ise % 42 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Pompa verim değerleri

Ölçüm	**Pompa Verimi (%)**		
	Pompa Çapı (″)/Kademe Sayısı (Adet)/Gücü (kW)		
	4/11/3	**6/3/4**	**6/6/4**
1. Ölçüm	42	56	40
2. Ölçüm	48	59	43
3. Ölçüm	49	54	43
Ortalama	*46*	*56*	*42*

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

- PV sistemdeki bir adet modül tarafından akümülatöre aktarılan elektriksel güç miktarı, 656,23 W olarak hesaplanmıştır.
- PV sistem tarafından üretilen ortalama elektriksel güç 2982,72 W olarak hesaplanmıştır.
- PV sistemin elektriksel güç üretme verimi ortalama % 17,86 olarak hesaplanmıştır.
- Denemeye alınan çapı 4″ ve 11 kademeli olan dalgıç pompanın ortalama debisi 23,71 m^3/h olarak ölçülmüştür. Çapı 6″ olan dalgıç pompalardan 3 kademeli olanın ortalama debisi 28,8 m^3/h, 6 kademeli olanın ki ise 21,6 m^3/h olarak belirlenmiştir.
- Çapı 4″ ve 11 kademeli olan dalgıç pompanın hidrolik gücü ortalama 1394,7 W olarak hesaplanmıştır. Çapı 6″ olan dalgıç pompalardan 3 kademeli olanın ortalama hidrolik gücü 1694,11 W, 6 kademeli olanın ki ise 1270,58 W olarak belirlenmiştir.
- Çapı 4″ ve 11 kademeli olan dalgıç pompanın verimi ortalama % 46 olarak hesaplanmıştır. Çapı 6″ olan dalgıç pompalardan 3 kademeli olanın ortalama verimi % 56, 6 kademeli olanın ki ise % 42 olarak belirlenmiştir.

5.2. Öneriler

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.

GES sistemlerinde yıl boyunca sulama suyu için gereksinim duyulan su miktarının değişimi dikkate alınır. 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.

GES sistemlerinin tasarımında; bölgenin iklim verileri, bitki su tüketimine ilişkin özellikler, sulama sisteminin özellikleri ve su kaynağına ilişkin özellikler dikkate alınmalıdır. GES sisteminde kullanılacak olan elektrik motoru, güç gereksinimi ve akım tipine bağlı olarak seçilmelidir. Sulama sistemi ve PV üretecin enerji ve maliyet etkinliği için aşağıdaki etmenlerin dikkate alınması gerekir:

1) Su kaynağı etkin bir şekilde kullanılmalıdır. Sadece ürün için gereksinim duyulan su miktarı dikkate alınmalıdır. Bu miktar, yağış döneminde toprağın yağmursuyu tutma kapasitesine bağlı olarak belirlenir.
2) Ürün için gereksinim duyulan su miktarı, sulama başlıklarındaki basıncı dengeleyebilmek için toprak seviyesinin üstünde gerekli en düşük yükseklikte sağlanmalıdır.
3) Belirli bir ürün için en etkin sulama yöntemi uygulanmalıdır. Meyve ağaçları için en etkin sulama yöntemi, gömülü damlatıcılardan oluşan damla sulama yöntemidir.

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.

AL-ALI, A.R., REHMAN, S., AL-AGILI, S., AL-OMARI, M.H., AL-FAYEZI, M. (2001). Usage of photovoltaics in an automated irrigation system. *Renewable Energy* 23: 17–26.

AMER, E.H., YOUNES, M.A. (2006). Estimating the monthly discharge of a photovoltaic water pumping system: Model verification. *Energy Conversion and Management* 47(15-16): 2092–2102.

BAKELLI, Y., ARAB, A.H., AZOUI, B. (2011). Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept. *Solar Energy* 85(2): 288–294.

BETKA, A., ATTALİ, A. (2010). Optimization of a photovoltaic pumping system based on the optimal control theory. *Solar Energy* 84(7): 1273–1283.

BIONE, J., VILELA, O.C., FRAIDENRAICH, N. (2004). Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators. *Solar Energy*, 76(6): 703–711.

BOUZIDI, B., HADDADI, M., BELMOKHTAR, O. (2009). Assessment of a photovoltaic pumping system in the areas of the Algerian Sahara. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(4): 879–886.

CUADROS, F., LOPEZ-RODRIGUEZ, F., MARCOS, A., COELLO, J. (2004). A procedure to size solar-powered irrigation (photoirrigation) schemes. *Solar Energy* 76: 465–473

ÇELİK, 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.

FIASCHI, D., GRANIGLIA, R., MANFRIDA, G. (2005). Improving the effectiveness of solar pumping systems by using modular centrifugal pumps with variable rotational speed. *Solar Energy* 79: 234–244.

GENÇOĞLU, M.T., CEBECİ, M., GÜNEŞ, M. (2010). Güneş enerjisi ile çalışan PLC kontrollü su pompası sistem tasarımı.

GHONEIM, A.A. (2006). Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems. *Energy Conversion and Management*, 47(11–12): 1449–1463.

GLASNOVIC, Z., MARGETA, J. (2007). A model for optimal sizing of photovoltaic irrigation water pumping systems. *Solar Energy* 81: 904–916.

HAMİDAT, A., BENYOUCEF, B., HARTANİ, T. (2003). Small-scale irrigation with photovoltaic water pumping system in Sahara regions. *Renewable Energy* 28(7): 1081–1096.

HAMİDAT, A., BENYOUCEF, B. (2008). Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems. *Renewable Energy* 33(5): 933–942.

HAMİDAT, A., BENYOUCEF, B. (2009). Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system, using water tank storage. *Energy Policy* 37(4): 1489–1501.

HAMROUNI, N., JRAIDI, M., CHERIF, A. (2009). Theoretical and experimental analysis of the behavior of a photovoltaic pumping system. *Solar Energy*

HRAYSHAT, E.S, AL-SOUD, M.S. (2004). Potential of solar energy development for water pumping in Jordan. Renewable Energy 29:1393–1399.

JAFAR, (M. 2000). A model for small-scale photovoltaic solar water pumping. *Renewable Energy* 19: 85–90.

KALDELLIS, J.K., SPYROPOULOS, G.C., KAVADIAS, K.A., KORONAKI, I.P. (2009). Experimental validation of autonomous PV-based water pumping system optimum sizing. *Renewable Energy* 34(4): 1106–1113.

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.

MEAH, K., ULA, S., BARRETT, S. (2008a). Solar photovoltaic water pumping—opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12: 1162–1175.

MEAH, K., FLETCHER, S., ULA, S. (2008b). Solar photovoltaic water pumping for remote locations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12(2): 472–487.

MOKEDDEM, A., MIDOUN, A., SAID HIADSI, D.K., RAJA, I.A. (2011). Performance of a directly-coupled PV water pumping system. *Energy Conversion and Management* 52(10): 3089–3095.

ODEH A.I., YOHANIS, Y.G., NORTON, B. (2006a). Influence of pumping head, insolation and PV array size on PV water pumping system performance. *Solar Energy* 80(1): 51–64.

ODEH A.I., YOHANIS, Y.G., NORTON, B. (2006b). Economic viability of photovoltaic water pumping systems. *Solar Energy* 80(7): 850–860.

OULD-AMROUCHE, S., REKIOUA, D., HAMIDAT, A. (2010). Modelling photovoltaic water pumping systems and evaluation of their CO_2 emissions mitigation potential. *Applied Energy* 87(11):3451–3459.

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.

PUROHIT, P., KANDPAL, T.C. (2005). Renewable energy technologies for irrigation water pumping in India: projected levels of dissemination, energy delivery and investment requirements using available diffusion models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9(6): 592–607.

RAMOS, J.S., RAMOS, H.M. (2009). Sustainable application of renewable sources in water pumping systems: pptimized energy system configuration. *Energy Policy* 37(2: 633–643.

QOAIDER, L., STEINBRECHT, D. (2010). Photovoltaic systems: A cost competitive option to supply energy to off-grid agricultural communities in arid regions. *Applied Energy* 87(2): 427–435.

SALLEM, S., CHAABENE, M., KAMOUN, M.B.A. (2009). Energy management algorithm for an optimum control of a photovoltaic water pumping system. A*pplied Energy*.

VILELA, O.C., FRAIDENRAICH, N., TIBA, C., (2003). Photovoltaic pumping systems driven by tracking collectors. Experiments and simulation. *Solar Energy* 74(1): 45–52.

VİLELA, O.C., BİONE, J., FRAİDENRAİCH, N. (2004). Simulation of grape culture irrigation with photovoltaic V-trough pumping systems. *Renewable Energy* 29(10): 1697–1705.

YESILATA, B., FIRATOGLU, Z.A. (2008). Effect of solar radiation correlations on system sizing: PV pumping case. *Renewable Energy* 33: 155–161.

ÖZGEÇMİŞ

20/04/1979 yılında Osmaniye Bahçe İlçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Düziçi'nde tamamladı. Lise öğrenimini ise Osmaniye Teknik Lisesi'nde tamamladı. 2000 yılında başladığı Dicle Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Öğretmenliği Bölümü'nden 2007 yılında mezun oldu. 2001 yılından beri, Sağlık Bakanlığı'na bağlı değişik hastanelerde elektrik teknisyeni olarak çalışmakta iken, 2009 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı. Halen Adana Kadın Doğum ve Çocuk Hastalıkları Hastanesi'nde Elektrik Teknisyeni olarak çalışmaktadır.