ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yakup GÖKALP

GÜNEŞ ENEJİSİNDEN YARARLANARAK SANTRİFÜJ POMPA İLE SU POMPALAMA ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

ADANA, 2014

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİNDEN YARARLANARAK SANTRİFÜJ POMPA İLE SU POMPALAMA ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Yakup GÖKALP

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Bu Tez 23/01/2014 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

…….....	……..	…….....
Prof..Dr. H.Hüseyin ÖZTÜRK	Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN	Prof.Dr. Mahmut ÇETİN
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

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

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç.Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: ZF2012YL44

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 ENERJİSİNDEN YARARLANARAK SANTRİFÜJ POMPA İLE SU POMPALAMA ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Yakup GÖKALP

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK
Yıl: 2014, Sayfa: 37
Jüri : Prof. Dr. Ali BAŞÇETİNÇELİK
: Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
: Prof. Dr. Mahmut ÇETİN

Bu çalışmada, güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) ilkeye bağlı olarak üretilen elektrik ile santrifüj bir pompanın çalıştırılması için yararlanılan güneş enerjisiyle sulama (GES) sisteminin bazı teknik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, her birinde toplam 12×6=72 adet PV hücre bulunan 5 adet modülden oluşan, 3 dizi halindeki PV sistemin; akım, gerilim ve güç gibi elektriksel özellikleri ile PV sistemin toplam verimi belirlenmiştir. PV sistem tarafından üretilen elektrik ile çalıştırılan bir santrifüj pompa ile su pompalanması durumunda, su debisi, pompanın hidrolik güç değeri ve verimi hesaplanmıştır.

PV sistem üzerine güneşten gelen toplam güneş ışınım gücüne karşılık, PV sistemin elektriksel güç üretme verimi (h_{PV}; %) % 4.8- 5.4 aralığında değişmiş olup, ortalama % 5,2 olarak hesaplanmıştır. Santrifüj pompanın miline uygulanan gücün (P_f); 1000 W, 1500 W, 2000 W ve 3000 W değerlerinde olması durumunda, pompa debisi sırasıyla 4,76 L/s, 7,14 L/s, 9,52 L/s ve 14,28 L/s olarak belirlenmiştir. Bu durumda, pompa hidrolik gücü (P_h); 700 W, 1050 W, 1400 W ve 2100 W olarak hesaplanmıştır. Farklı debi ve fren gücü değerlerinde, manometrik yüksekliği (H_m=15 mSS) sabit kabul edilen santrifüj pompanın ortalama verimi (h_p) % 70 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisiyle sulama, Fotovoltaik, Santrifüj pompa

ABSTRACT

MSc THESIS

A RESEARCH ON WATER PUMPING WITH CETRIFUGAL PUMP USING SOLAR ENERGY

Yakup GÖKALP

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

Supervisor : Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK
Year: 2014, Pages: 37
Jury : Prof. Dr. H. Hüseyin ÖZTÜRK
: Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
: Prof. Dr. Mahmut ÇETİN

In this study, some technical parameters of irrigation system powered with solar energy (PVWP) used to run a centrifugal pump have been investigated. For this purpose, the electrical properties such as current, voltage and power and efficiency of the PVWP system consists of 5 modules including 72 PV cells were determined. Water pumped, hydraulic powers and efficiencies of the centrifugal pump run with electricity generated PV cells were calculated.

The efficiency of electricity generation of the PV system varied from 4.8 % to 5.4% and the average electrical efficiency was 5.2 %. When the power given to shaft of pump are 1000 W, 1500 W, 2000 W and 3000 W, the flow rates of the pump were determined as 4,76 L/s, 7,14 L/s, 9,52 L/s and 14,28 L/s, respectively. In this case, hydraulic powers of the pump were calculated as 700 W, 1050 W, 1400 W and 2100 W, respectively. The average efficiency of the centrifugal pump was 70% at different flow rates and shaft powers and constant total head (H_m= 15 mSS)

Key Words: Solar irrigation, Photovoltaic, Centrifugal pump

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana “Güneş Enerjinden Yararlanarak Santrifüj Pompa ile Su Pompalama 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 teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tezi jüri üyelerinden Sayın Prof.Dr. Serdar ÖZTEKİN’e ve Sayın Prof.Dr.Mahmut ÇETİN’e, yapıcı ve yönlendirici fikirleriyle katkıda bulundukları için teşekkür ederim.

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**:** ZF2012YL44) içten teşekkürlerimi sunarım.

SİMGE VE KISALTMALAR

A : Yüzey alanı (m^2)

AC : Alternatif akım (A)

DC : Doğru akım (A)

A_{PV} : PV yüzey alanı (m^2)

DJS : Dizel jeneratörlü bir sulama sistemi

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_{mpp} : Anma akımı (A)

I_{oc} : Açık devre akım değeri (A)

IRR : İç karlılık oranı

I_{sc} : Kısa devre akımı (A)

I_t : Toplam güneş ışınımı (W/m^2)

I-V : Akım-gerilim

M-P : Motor-pompa

P_f : Pompa fren gücü (kW)

P_h : Pompa hidrolik gücü (kW)

P_m : Maksimum güç miktarı (W)

P_{max} : Anma gücü (W)

P_{PV} : PV sistemin gücü (W)

PV : Fotovoltaik

Q : Su debisi (m^3/h)

S_t : Toplam güneş ışınımı (W/m^2)

U_{mpp} : Anma gerilimi (V)

V_{oc} : Açık devre gerilimi (V)

V_{sc} : Kısa devre gerilim değeridir (V)

Q : Sulama suyu debisi (m^3/h)

γ : Suyun özgül kütlesi (kg/L)

Ω : Direnç (Ohm)

η_h : PV hücre verimi (%)

η_m : PV modül verimi (%)

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 önemli düzeyde artırabilmektedir. Ancak, gereğinden fazla uygulanan sulama ise verimi azalttığı gibi; topraklarda drenaj, tuzluluk ve alkalilik (sodyumluluk) sorununa neden olabilmektedir.

Sulama amacıyla suyun sağlanmasında temel yöntem, su kaynağı ile sulama yapılan tarla arasında suyun iletilmesidir. Topografik durumunu uygun olmadığı koşullarda, 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 uygulamalarında enerji korunumunda 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 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 (Köksal, 2012).

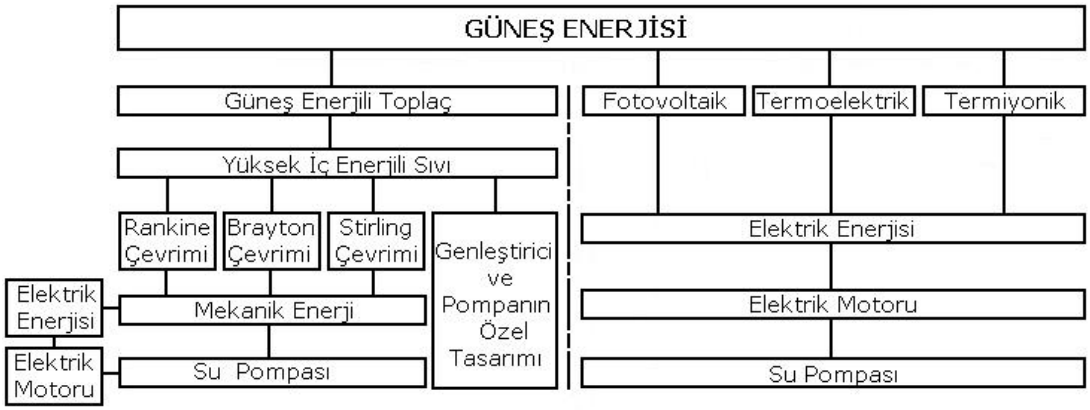
Uzun bir geçmişi olan sulama işlemi için en az güç kullanarak su pompalama amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Su pompalama için uygulanan bu yöntemlerde insan enerjisi, hayvan gücü, rüzgar, güneş ve fosil yakıtlar gibi değişik güç kaynaklarından yararlanılmaktadır. Güneş enerjisiyle sulama (GES) 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 üstünlüğü 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 hava koşullarına bağlı olarak değişmesidir (Öztürk, 2010).

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.

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).



Şekil 1.1. Güneş enerjisiyle su pompalama yöntemleri (Öztürk ve ark., 2011)

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 dönüştürülerek daha sonra su pompalarını çalıştırmak için kullanılabilir. Doğrudan dönüşüm yöntemleri arasında, fotovoltaik ilkeye göre çalışan güneş enerjili sulama uygulamaları, kullanım sürelerinin uzun, bakım gereksinimlerinin 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,

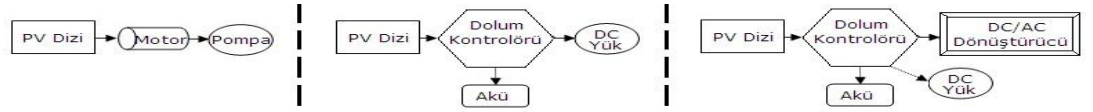
Rankine, *Brayton* veya *Stirling* çevrimlerinin herhangi birinde doğrudan ve ikincil bir akışkan kullanılarak dolaylı olarak kullanılabilir. Üretilen mekanik enerji, herhangi bir pompayı çalıştırmak için kullanılabilir (Öztürk ve ark., 2011).

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.

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.

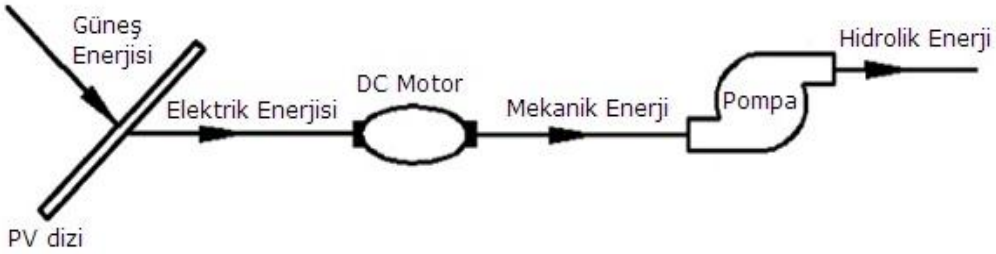


a) Akü kullanılmayan düzenleme b) Akü kullanılan düzenleme c) Akü ve dönüştürücü kullanılan düzenleme

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 tasarımına 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 basit olup, 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 ve enerji dönüşümü 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 ve enerji dönüşümü (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 santrifüj bir pompanın çalıştırılması için yararlanılan GES sisteminin bazı teknik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, her birinde toplam 12×6=72 adet PV hücre bulunan 5 adet modülden oluşan toplam 3 dizi halindeki PV sistemin; akım, gerilim ve güç gibi elektriksel özellikleri ile PV sistemin toplam veriminin belirlenmesi amaçlanmıştır. PV sistem tarafından üretilen elektrik ile çalıştırılan bir santrifüj pompa ile su pompalanması durumunda, pompalanan su debisi, pompanın hidrolik güç değeri ve verimi 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 katkı sağlamıştır.

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.

Ghoneim (2006) PV uygulamaların en etkin kullanım alanlarından birisi olarak su pompalama amacıyla güç kaynağı olarak kullanılmaları olduğunu bildirmiştir. 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.

Meah ve ark. (2008) 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 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

Betka ve Attali (2010) santrifüj bir pompayı çalıştıran indüksiyon motoru kullanılan 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.

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.

Boutelhig ve ark. (2011), Cezayir'de, yer altı su kaynaklarının çok ve güneşin bol olduğu bir çöl bölgesinde yaptıkları araştırmada, hayvan ve sulama suyu ihtiyacını karşılamak için PV su pompalama sistemleri tek başına uygun bir çözüm olduğu sonucuna varmışlardır. Bu araştırmada, günlük en fazla su gereksiniminin karşılanabilmesi için manometrik yüksekliğin 10- 40 m arasında değiştiği koşullarda, doğrudan bağlantılı bir PV su pompalama sisteminin tasarımlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, denemelerde DC elektrik ile çalışan 130 W ve 300 W güçlerinde iki adet dalgıç pompa kullanılmıştır. Pompalan günlük toplam su miktarı ve PV su pompalama sisteminin toplam verimi dikkate alınarak, doğrudan bağlantılı iki farklı tasarım yapılmıştır. Gücü 300 W olan ve 2´2 PV modülden oluşan PV diziden beslenen DC pompanın günlük ortalama debisinin 6- 8 m^3 arasında değiştiği belirlenmiş ve gereksinimi karşılamak amacıyla uygun bulunmuştur. Gücü 130 W

olan ve 2´ 1 PV modülden oluşan PV diziden beslenen diğer DC pompanın günlük ortalama debisinin ise 4 m^3'den daha az olduğu saptanmıştır.

Kaldellis ve ark. (2011), günümüzde gelişmiş PV teknolojisinin birçok uygulamada kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu uygulamalardan birisi de özellikle kırsal bölgelerde sulama ve içme suyu ihtiyaçlarını karşılamak için su pompalamaktır. PV sulama sistemlerinin, tasarımı ve kullanımı için verim değerlerinin incelenmesi gerekir. Bu amaçla, sistemin etkinliği ve su basma özellikleri belirlenir. Sonuç olarak, çevre dostu bir uygulama olan PV su pompalama sisteminin, kırsal alanlarda ihtiyaç duyulan su tüketimini karşılayacak düzeyde olması gerekir.

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.

Vick ve Clark (2011), güneş enerjisiyle çalışan değişik tip su pompalama sistemlerini değerlendirmişlerdir. Diyaframlı ve helisel pompa sistemlerinin verim ve güvenilirliklerini tartışmışlardır. En yüksek hidrolik verim, diyaframlı pompa için % 48 düzeyinde iken, helisel pompa için % 60 olarak belirlenmiştir. PV modüllerin verimi % 12 olarak dikkate alındığında, sistemin toplam verimi diyaframlı pompa için % 7, helisel pompa için % 5 olarak hesaplanmıştır. Plastik malzemeden tasarımlanan diyaframlı pompanın verimi metal malzemeden tasarımlanmış olana kıyasla daha yüksek olarak belirlenmesine karşın, kullanım süresi daha uzundur.

Belgacem (2012), özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal alanlarda, PV sistemlerle su pompalamanın ekonomik olarak uygulanabileceğini bildirmiştir.

Tunus koşullarında, yılda 3000 h güneşlenme süresi ve 6 kWh/m^2/gün değerindeki güneş enerjisinden, su pompalama amacıyla yararlanılabileceği vurgulanmıştır. Bu amaçla, Tunus'un 150 km güneyindeki Kairouan bölgesine (36.5° N, 10.11° E), dört adet dalgıç pompa istasyonu kurulmuştur. Bu pompa istasyonlarının üçü, 2.1 kW birisi ise 2.8 kW güçlerindeki PV modüllerle çalıştırılmıştır. İşletme koşullarında yapılan araştırmalar sonucunda, sistem etkinliği en yüksek ve ortalama olarak sırasıyla, % 3.7 % 2.5 düzeylerinde belirlenmiştir.

Boutelhig ve ark. (2012), PV su pompalama sistemlerinden, kırsal kesimlerdeki tavuk çiftliklerinde etkin olarak yararlanılabileceğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada, bir DC pompayı (120 W, $I_m = 4$ A, $V_m = 24$ V) çalıştırabilecek, PV modüllerden (110 W/24 V) oluşan bir PV dizi tasarlanmıştır. Tasarımlanan PV dizi ile çalıştırılan su pompalama sisteminin, tavuk çiftliklerinin günlük en fazla su gereksinimini karşılaması beklenmektedir.

Rehman ve Sahin (2012), Suidi Arabistan koşullarında su pompalama için, güneş PV ve rüzgar enerjisi ile çalışan hibrit bir sistemin verimini incelemişlerdir. Hibrit sistem tarafından üretilen enerji maliyeti, 0.212- 0.504 $/kWh arasında değişmiştir. Diğer taraftan, yeraltı su pompalama maliyetinin, 6 ila 12 $/ m^3 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Şenol (2012), Türkiye'de sulama sistemlerinde güneş enerjisi kullanımını incelemiştir. Şebekeden bağımsız PV sistemleri, su pompalama uygulamaları için giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. PV su pompalama sistemleri, özellikle elektrik şebekesinin ulaşmadığı uzak bölgelerde su temini için uygundur. Bu sistemlerin tasarımı basit ve bakım/onarım giderleri düşüktür. Bu, çalışmada PV su pompalama sistemlerinin teknik ve ekonomik uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Bu amaçla, Eğirdir-Isparta bölgesinde 5 da elma bahçesindeki damla sulama sistemi örnek olarak dikkate alınarak, küçük ve orta ölçekli mobil uygulamalar incelenmiştir. PV modüllerin ekonomik yaşam süresini belirlemek için yaşam döngüsü maliyet analizi yöntemi uygulanmıştır.

Wade ve Short (2012), PV su pompalama sistemlerinde kaldırma kuvveti sağlamak amacıyla doğrusal hareket ettirici mekanizmanın kullanımını araştırmışlardır. PV panelde sağlanılan güç ve uygulamanın hidrolik gereksinimleri

dikkate alınarak, sistem için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Geliştirilen model ile mevcut su pompalama sisteminden belirlenen sonuçlarla benzer sonuçlar belirlenmiştir.

Benghanem ve ark. (2013), PV su pompalama sistemleri, evlerde kullanım ve hayvan sulama için kırsal bölgelerde su pompalamak amacıyla enerji kaynağı olarak potansiyel bir seçenek oluşturmaktadır. Bununla birlikte, PV su pompalama sistemlerinin yaygın olarak kullanılması ve sistem tasarımı için doğru bilgi ve deneyimlere gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmanın amacı, helisel bir pompayı, PV ilkeye bağlı olarak güneş ışınımından üretilen DC elektrikle çalıştırabilmek için tasarım etmenlerini belirlemektir. Bu amaçla, dört farklı PV dizi tasarımı gerçekleştirilmiş ve 80 m basınç yüksekliğinde denemeler yapılmıştır. PV dizi tarafından üretilen elektrik ile çalıştırılan helisel pompa ile günlük ortalama olarak 22 m^3 su basılabilmiştir.

Campana ve ark. (2013), PV sistemleri ile kırsal bölgelerde güneş enerjisi ile su pompalama için cazip bir çözüm olacağını belirtmişleridir. Bu sistemlerin tasarımı, sulama sezonundaki su ihtiyacı ve sulama zamanı ve güneş ışınım miktarı dikkate alınır. Pompa büyüklüğü arazi kullanım durumu ve bitki su ihtiyacına göre belirlenir. Bu çalışmada; PV su pompalama sisteminin tasarımı için dinamik bir modelleme aracı geliştirilmiştir. Model çalışmasında, AC ve DC pompalar kullanılmıştır. Çalışmada dikkate alınan farklı alternatifler arasında, sabit durumdaki AC pompa sistemi maliyet bakımından uygulanabilir bir çözüm olarak belirlenmiştir.

Kumar ve ark. (2013), PV su pompalama sistemi için bulanık mantık ilkesine bağlı olarak çalışan en yüksek güç takip sisteminin (MPPT) verimini incelemişler ve değişken iletkenlik ve sabit voltaj kontrol üniteleri ile karşılaştırmışlardır. Santrifüj pompayı çalıştırmak için bir indüksiyon motoru kullanılmıştır. Sistem verimi farklı hava koşullarında incelenmiştir. Bulanık tabanlı MPPT algoritmasının, PV pompalama sistemi için daha iyi sonuçlar sağlayabileceği bildirilmiştir.

Parajuli ve ark. (2013) Nepal'deki köylere içme suyu pompalamak amacıyla dizel, biyodizel ve PV sistemden yararlanmışlardır. PV sistem (motor, PV panel ve pompalar), yıllık toplam su gereksinimine bağlı olarak tasarımlanmıştır. Farklı değişkenler dikkate alınarak, su pompama maliyeti hesaplanmıştır. 1 L su

pompalama maliyeti, jatropadan üretilen biyodizel ile daha yüksek olarak belirlenmiştir. Teknik açıdan güvenilirlik ve tasarım kolaylığı dikkate alındığında, güneş enerjili su pompalama sistemi, proje alanında içme suyu pompalamak için en uygun çözüm olarak bulunmuştur.

Shimy (2013), bir AC motoru kullanılan PV su pompalama sisteminin boyutlandırılması için optimizasyon çalışması yapmıştır. PV pompalama sistemini oluşturan değişik bileşenlerin etkileri ve PV dizinin eğim açısı dikkate alınmıştır. PV dizilerin eğim açısı, sistem verimini önemli düzeyde etkilediğinden, bir PV sistemin boyutlandırmasında PV panelin en uygun eğim açısı belirlenmelidir. Yapılan çalışmanın, şebekeden bağımsız PV sistemlerle su pompalama uygulamaları için uygun sonuçlar vereceği bildirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde; güneş enerjisinde fotovoltaik (PV) ilke ile üretilen elektriğin değişik uygulamalarda kullanılabilmesi için, ESPA Enerji Sistemleri San. Ve Tic.Ltd.Şti.-Adana tarafından tasarımlanmış olan ve taşınabilir 3 adet 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

ESPA Enerji Sistemleri San. Ve Tic.Ltd.Şti.-Adana tarafından tasarımlanmış olan PV sistem, güneş ışınım enerjisinden, PV ilkeye bağlı olarak doğrudan elektrik üreten ve yana devirmeli, bir tarım römorku üzerine yerleştirilmiş olan 3 adet PV diziden oluşmaktadır. PV sistem, her birinde 12×6=72 adet PV hücre bulunan 5 adet modülden oluşan toplam 3 diziden oluşmaktadır (Şekil 3.1). PV sistemde, silisyum dioksitten yapılmış olan, 12×6=72×5=360×3=1080 adet PV hücre bulunmaktadır.

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 DC elektrik akımı, invertöre (dönüştürücüye) iletilerek, AC şekline dönüştürülür ve 48 V olan elektrik akımı 380 V trifaze akıma yükseltilir. İnvertörden 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 5 adet PV modül bulunan toplam 3 adet PV diziden oluşmaktadır.







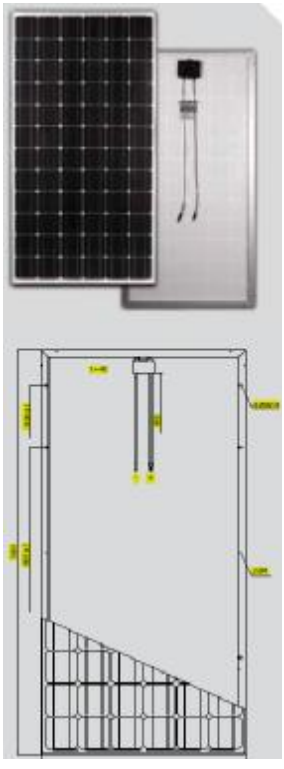
Şekil 3.1. Fotovoltaik (PV) sistem

3.1.1.1. Fotovoltaik (PV) Modül

Toplam 72 adet hücreden oluşan PV modül, 125×125×6 mm tasarımlanmış olan çerçeveler içerisine oturtulmuştur. PV modülün üzeri, güneş ışınımını yansıtmayan temperli cam ile kaplanmıştır. Bir adet PV modül 200 W güç üretmekte olup, PV sitemdeki 15 adet modül tarafından üretilen toplam güç miktarı 3000 W'dır. PV modülün, standart test koşullarında (güneş ışınımı şiddeti=1000 W/m^2; hücre sıcaklığı =25 °C ve hava kütlesi AM=1,5) bazı fiziksel ve elektriksel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. PV modülün bazı fiziksel ve elektriksel özellikleri (Anonim, 2013)

Özellikler	**Değerler**
Model	LCS-M200-JA/SI
Modül boyutları (mm)	Uzunluk =1580 Genişlik = 808 Kalınlık = 40
Hücre boyutları (mm)	125´ 125
Modüldeki hücre sayısı (adet)	72(=6´ 12)
Modül kütlesi (kg)	15,5
Anma gerilimi (U_{mpp}; V)	37,26
Anma akımı (I_{mpp}; A)	5,37
Anma gücü (P_{max};W)	200
Açık devre akımı (V_{oc}; V)	45,62
Kısa devre akımı (I_{sc}; A)	5,65
Sistemin en yüksek gerilimi (VDC)	1000
Güç çıkış toleransı	± % 5
Hücre verimi (h_h; %)	18
Modül verimi (h_m; %)	15,67
Sıcaklık katsayısı (P_m)	-0,44 %/°C
Sıcaklık katsayısı (I_{sc})	-0,040 %/°C
Sıcaklık katsayısı (V_{oc})	-0,30 %/°C
Hücre sıcaklığı için NOCT değeri	45 °C± 2 °C
Ön yüzey cam tipi ve kalınlığı	Temperli cam, 3,2 mm
En yüksek çalışma sıcaklığı	-0.40- 85 °C
En yüksek yüzey yükü	Kar yükü için uygun 5400 Pa
En fazla dolu yükü	25 mm çapındaki dolu için 83 km/h çarpma hızına dayanıklı



3.1.2. Santrifüj Pompa

PV sistemin tarımsal sulama amacıyla kullanılabilirliğini araştırmak için basma basıncı 1.5 atm olan bir santrifüj pompa kullanılmıştır. PV sistem tarafında üretilen elektrik ile çalıştırılan santrifüj pompanın özellikleri Çizelge 3.2'de, denemeler sırasında pompa çalışmasını gösteren resimler Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Santrifüj pompanın özellikleri

Özellikler	**Değerler**
Emme Flanşı	SN 60 15,24 cm
Basma Flanşı	SN 60 15,24 cm
En yüksek debi (m^3/h)	225
Basma basıncı (atm)	1,5
Pompa hızı (d/dak)	600- 3000
Çalışma sıcaklığı	-10 C'den +85 C'ye kadar
Gövde basıncı (bar)	4
Mil sızdırmazlığı	mekanik salmastra



Şekil 3.2. PV sistemle santrifüj pompa denemeleri

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 3.3). Avometre olarak da adlandırılan multimetre, akım (Amper), gerilim (Volt), direnç (Ohm) ve kısa devre ölçebilen bir elektronik ölçme aletidir (Şekil 3.3). 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 % 2+5 şeklinde belirtir: 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 3.3. 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 3.3. Multimetre

3.1.4. Adana İlinin İklim Özellikleri

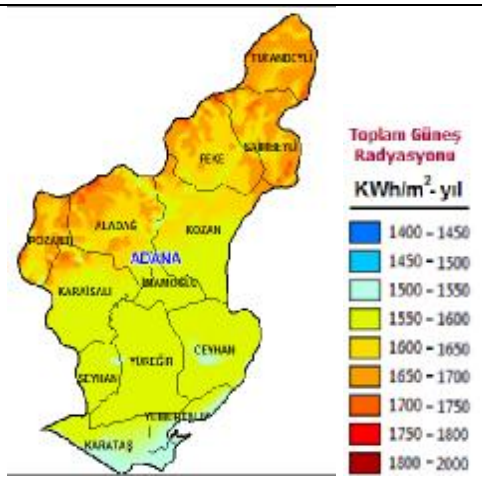
Adana ili 37- 01° kuzey enlemleri ve 35- 18° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Adana, Akdeniz ikliminin özelliklerini taşır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Ortalama yağış miktarı 625 mm'dir (Çizelge 3.4). Yılın ortalama 74 günü yağışlı geçer. Yağışlar % 51 kışın, % 26 ilkbaharda, % 18 sonbaharda, % 5 yazın düşer. Yazın havanın nemle yüklü olmasına karşılık, bazı yıllarda hiç yağış düşmediği görülür. Yazın bir alçak basınç merkezi olan Çukurova'ya denizden ve Toroslar'dan hava akımı olur. Böylece, dinamik nedenli bir yüksek basınç merkezi oluşur. Bir taraftan denizden gelen nemli hava, diğer taraftan barajlar ve ovanın sulanması nedeniyle nem artar. İklimin ve enlemin etkisiyle ısınan hava, birikim nedeniyle ağırlaştığı için yükselemez ve doyma noktasına ulaşamaz. Böylece yazın nem yüklü sıcak bir hava görülür. Ortalama bağıl nem % 66 olmakla beraber, yazın % 90'nın üzerine çıkar. 37 yıllık ortalama sıcaklık 18,7 ˚C'dir. En soğuk ay ocak, en sıcak ay ağustos'tur. Ocak ayı ortalaması 9,5 ˚C, ağustos ayı ortalaması 28 ˚C'dir. Ovanın sıcak olmasına karşılık, ilin topraklarında yükselti ve yüzey şekillerine göre iklim şartları çok değişir. Yağışlarda da değişme görülür. Dağlık kesimde yağışlar doğal olarak fazladır (Feke'de 930,5 mm,

Saimbeyli'de 805 mm). Ovada ender olarak görülen kar, dağlarda erken başlar ve bazen aylarca kalır. Adana'da yılın 195,6 günü yaz günüdür. Bu günlerin 134,4'ü tropik gün olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.4).

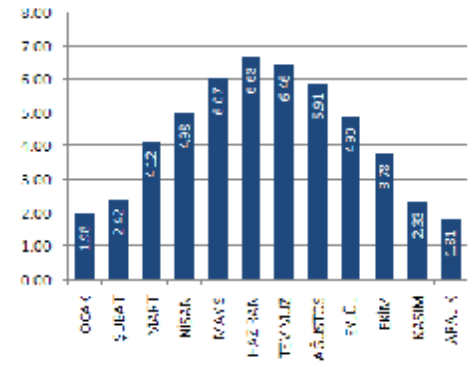
Çizelge 3.4. Adana yöresinin uzun yıllık iklim verileri (DMİ, 1975- 2008)

AYLAR	**O**	**Ş**	**M**	**N**	**M**	**H**	**T**	**A**	**E**	**E**	**K**	**A**
Ortalama Sıcaklık (°C)	9,5	10,4	13,5	17,6	21,8	25,7	28,3	28,5	26,1	21,7	15,3	11,0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	14,9	16,1	19,4	23,6	28,1	31,7	33,8	34,3	33,0	29,1	22,0	16,6
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	5,3	5,9	8,4	12,3	16,1	20,2	23,6	23,9	20,7	16,2	10,6	7,0
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4,6	5,1	5,8	6,8	9,0	10,4	10,5	10,1	8,6	7,1	5,7	4,3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10,1	9,8	9,9	9,7	6,8	2,9	1,0	0,7	2,9	5,8	7,7	10,3
Ortalama Yağış Miktarı (kg/m^2)	110,3	85,8	62,0	56,0	43,8	18,5	9,8	6,0	14,7	48,7	84,7	119,9
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975- 2008)											
En Yüksek Sıcaklık (°C)	23,0	25,0	32,0	37,5	40,6	41,3	44,0	43,8	43,2	39,4	33,3	27,4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-4,2	-6,4	-3,6	-1,3	5,6	13,7	16,8	16,8	10,9	4,8	-1,0	-3,5

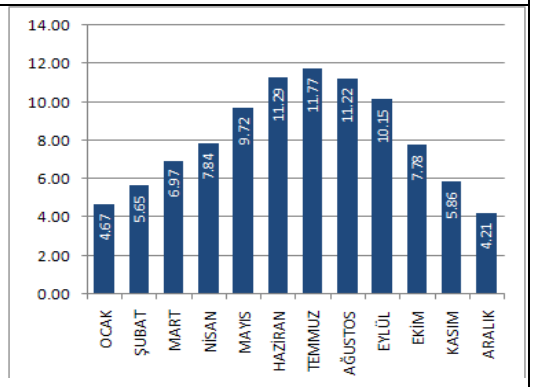
Adana ilinin yüksek bölgelerine yıllık olarak gelen güneş enerjisi miktarı, yükseltisi kısmen daha az olan bölgelere kıyasla daha yüksektir (Şekil 3.4a). Adana ilinde toplam güneş enerjisi 1,81- 6,68 kWh/m^{2}gün aralığında (Şekil 3.4b), güneşlenme süresi ise 4,21- 11,77 saat aralığında değişmektedir (Şekil 3.4c).



a) Adana İli güneşlenme haritası



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



c) Adana ilinde güneşlenme süresi (saat) değişimi

Şekil 3.4. Adana ilinde yıllık güneş enerjisi ve güneşlenme süresi değişimi (DMİ, 1975- 2008)

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.

$$P_{PV} = I_{oc} \acute{} V_{sc} \tag{3.1}$$

Burada;

P_{PV} : PV sistem tarafından üretilen elektriksel güç miktarı (W),

I_{oc} : açık devre akım değeri (A),

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.

$$\eta_{PV} = \frac{P_{PV}}{I_t \acute{} A_{PV}} \tag{3.2}$$

Burada;

A_{PV} : PV yüzey alanı (m^2),

I_t : toplam güneş ışınımı (W/m^2),

P_{PV} : PV sistemin gücü (W),

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 (Tezer, 1978).

$$P_h = \frac{Q' \; H_m' \; g}{102} \tag{3.3}$$

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 (Tezer, 1978).

$$h_p = \frac{P_h}{P_f}' \; 100 \tag{3.4}$$

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.

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

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).

η_p : sulama pompasının verimidir (%).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. PV Sistem Tarafından Üretilen Elektrik Değerleri

Dört farklı etkin yüzey alanı düzenlemesi yapılan PV sistemde, invertöre gelen elektrik akımının, invertör giriş ve çıkışındaki değerleri multimetre ile ölçülmüştür. Bu ölçümlere bağlı olarak belirlenen sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir. PV sistemde, invertör girişindeki ortalama DC gerilim 44,75 V iken, invertör çıkışındaki AC gerilim 378 V olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. PV sistemdeki invertörün çıkışında elektrik akımı değerleri

PV sistemin etkin yüzey alanı (m^2)	**İnvertör girişinde (DC) gerilim (V)**	**İnvertör çıkışında (AC) gerilim (V)**	**PV Sistemde üretilen güç (P_{PV}; W)**
6,38	44	379	1000
9,57	46	381	1500
12,77	45	377	2000
19,15	44	375	3000

4.2. PV Sistem Verimi

PV sistemin elektriksel güç üretme verimi (η_{PV}; %) eşitlik (3.2) ile belirlenmiş olup, hesaplanan değerler Çizelge 4.2'de verilmiştir. PV sistemin verimi (η_{PV}; %), PV sistem üzerine güneşten gelen toplam güneş ışınım gücüne (I_t; W/m^2) karşılık, PV sistemin ürettiği elektriksel güç (P_{PV}; W) olarak tanımlanmıştır. Denemenin yapıldığı dönemde, PV sistem üzerine güneşten gelen toplam güneş ışınım gücü (I_t; W/m^2) 780- 845 W/m^2 arasında değişmiştir. PV sistem üzerine güneşten gelen toplam güneş ışınım gücüne karşılık, PV sistemin elektriksel güç üretme verimi (η_{PV}; %) % 4,8- 5,4 aralığında değişmiş olup, ortalama % 5,2 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. PV sistemin elektriksel güç üretme verimi

PV sistemin etkin yüzey alanı (m^2)	**Toplam güneş ışınımı (I_t; W/m^2)**	**PV sistemde üretilen güç (P_{PV}; W)**	**PV sistemin elektriksel verimi (h_{PV}; %)**
6,38	830	1000	5,3
9,57	845	1500	5,4
12,77	820	2000	5,2
19,15	780	3000	4,8

4.3. Ölçülen Debi Değerleri

PV sistemde üretilen elektrik ile çalıştırılan santrifüj pompanın ölçülen debi değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir. Santrifüj pompanın debisi, PV sistem etkin yüzey alanının diğer bir deyişle, PV sistem tarafından üretilen elektriksel güç miktarının artmasına bağlı olarak artmıştır. PV sistem etkin yüzey alanın 6,38 m^2 (P_{PV}= 1000 W) olması durumunda, 200 L hacmindeki varil 42 saniyede dolmasına karşın, etkin yüzey alanının 19,15 m^2 (P_{PV}= 3000 W) olması durumunda, 14 saniyede dolmuştur. Bu durumda, santrifüj pompanın debisi sırasıyla, 4,76 L/s ve 14,28 L/s olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Santrifüj pompa debi değerleri

PV sistemin etkin yüzey alanı (m^2)	**PV sistemde üretilen güç (P_{PV}; W)**	**Pompa debisi**	
		200 L için geçen süre (s)	**(Q; L/s)**
6,38	1000	42	4,76
9,57	1500	28	7,14
12,77	2000	21	9,52
19,15	3000	14	14,28

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 4.4'de verilmiştir. Hidrolik güç hesaplamalarında, basıncı 1.5 atm olan santrifüj pompanın manometrik yüksekliği 15 mSS olarak dikkate alınmıştır. Pompa hidrolik gücü, debi değerlerinin diğer bir deyişle, pompa fren gücü (P_f=P_{PV}; W) artışına bağlı olarak artmıştır. PV sistem tarafından üretilen elektriksel gücün (P_{PV}= 1000 W) olması durumunda, pompa hidrolik gücü (P_h) 700 W olmasına karşın, P_{PV}= 3000 W olması durumunda, 2100 W değerine yükselmiştir.

Çizelge 4.4. Pompa hidrolik güç değerleri

PV sistemin etkin yüzey alanı (m^2)	**PV sistemde üretilen güç (P_{PV}; W)**	**Pompa debisi (Q; L/s)**	**Manometrik yükseklik (H_m; mSS)**	**Hidrolik güç (P_h; W)**
6,38	1000	4,76	15	700
9,57	1500	7,14	15	1050
12,77	2000	9,52	15	1400
19,15	3000	14,28	15	2100

4.5. Pompa Verimi

Pompanın tükettiği güce (P_f=P_{PV}; W) karşılık, pompa tarafından suya aktarılan güç (P_h; W) olarak tanımlanabilen pompa verimi (η_p= P_h/P_f; %) değerleri eşitlik (3.4) ile hesaplanmış ve belirlenen değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir. Farklı debi (Q; L/s) ve fren gücü (P_f; kW) değerlerinde, manometrik yüksekliği (H_m=15 mSS) sabit kabul edilen santrifüj pompanın ortalama verimi (η_p; %) % 70 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. Santrifüf pompa verim değerleri

Pompa fren gücü (P_f; W)	**Pompa debisi (Q; L/s)**	**Manometrik yükseklik (H_m; mSS)**	**Hidrolik güç (P_h; W)**	**Pompa verimi ($h_p = P_h/P_f$; %)**
1000	4,76	15	700	70
1500	7,14	15	1050	70
2000	9,52	15	1400	70
3000	14,28	15	2100	70

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

- PV sistemde, invertör girişindeki ortalama DC gerilim 44,75 V iken, invertör çıkışındaki AC gerilim 378 V olarak belirlenmiştir.
- PV sistemin elektriksel güç üretme verimi (η_{PV}; %) % 4.8- 5.4 aralığında değişmiş olup, ortalama % 5,2 olarak hesaplanmıştır.
- PV sistemin etkin yüzey alanının (A_{PV}); 6,38 m^2, 9,57 m^2, 12,77 m^2 ve 19,15m^2 olması durumlarında; santrifüj pompanın debisi (Q) sırasıyla 4,76 L/s, 7,14 L/s, 9,52 L/s ve 14,28 L/s olarak ölçülmüştür.
- PV sistem tarafından üretilen elektriksel gücün (P_{PV}= 1000 W) olması durumunda, pompa hidrolik gücü (P_h) 700 W olmasına karşın, P_{PV}= 3000 W olması durumunda, 2100 W değerine yükselmiştir.
- Farklı debi (Q; L/s) ve fren gücü (P_f; kW) değerlerinde, manometrik yüksekliği (H_m=15 mSS) sabit kabul edilen santrifüj pompanın ortalama verimi (η_p; %) % 70 olarak hesaplanmıştır.

5.2. Öneriler

Suyun pompalanacağı toplam yükseklik ve gereksinim duyulan günlük su miktarı, PV sistem tarafından üretilmesi gereken güç miktarını etkileyen başlıca iki önemli etmendir. Bu nedenle, güneş enerjisi ile çalışan tarımsal sulama sistemlerinin tasarımında bu iki etmenin olabildiğince doğru bir şekilde hesaplanması gerekir. Bu çalışmada denemelerde kullanılan santrifüj pompanın çalışma basıncı 1,5 atm olduğundan, manometrik yükseklik 15 m olarak dikkate alınmıştır. GES sisteminin taşınabilir durumda tasarımlanması, tarımsal işletmeler için çok amaçlı kullanım olanağı sağlamakla birlikte, sistemin ekonomikliğinde tasarım maliyetlerinin dikkate alınması gerekir. GES sisteminde kullanılacak olan elektrik motoru, güç gereksinimi ve akım tipine bağlı olarak seçilmelidir.

KAYNAKLAR

ANONİM, 2013. Monocrystalline PV-Modules, LCS M200-JA/SI, Solarstrom AG Renewable Energy Solutions.

BELGACEM, B.G. 2012. Performance of submersible PV water pumping systems in Tunisia. *Energy for Sustainable Development* 16(4): 415–420.

BENGHANEM, M., DAFFALLAH, K.O., JORAID, A.A., ALAMRI, S.N., JABER, A.2013. Performances of solar water pumping system using helical pump for a deep well: A case study for Madinah, Saudi Arabia. *Energy Conversion and Management* 65: 50–56.

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

BOUTELHIG, A., HADJARAB, A., BAKELLI, Y. 2011. Comparison study to select an optimum photovoltaic pumping system (PVPS) configuration upon experimental performances data of two different dc pumps tested at Ghardaïa site. *Energy Procedia* (6): 769- 776.

BOUTELHIG, A., BAKELLI, Y., HADJ MAHAMMED, I., HADJ ARAB, A. 2012. Performances study of different PV powered DC pump configurations for an optimum energy rating at different heads under the outdoor conditions of a desert area. *Energy* 39(1): 33- 39.

CAMPANA, P.E., LI, H., YAN, J. 2013. Dynamic modelling of a PV pumping system with special consideration on water demand. *Applied Energy* 112: 635–645.

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.

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

KUMAR, B., CHAUHAN, Y.K., SHRIVASTAVA, V. 2013. A comparative study of maximum power point tracking methods for a photovoltaic-based water pumping system. *International Journal of Sustainable Energy*, DOI: 10.1080/14786451.2013.769990.

KALDELLIS, J.K., MEIDANIS, E., ZAFIRAKIS, D., 2011. Experimental energy analysis of a stand-alone photovoltaic-based water pumping installation. *Applied Energy* 88(12): 4556–4562.

KÖKSAL, M.A. 2012. Güneş enerjisiyle su pompalama üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Sayfa (41), Adana.

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.

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.

PARAJULI, R., POKHAREL, G.J., ØSTERGAARD, P.A. 2013. A comparison of diesel, biodiesel and solar PV-based water pumping systems in the context of rural Nepal. DOI: 10.1080/14786451.2012.761221.

REHMAN, S., ŞAHİN, A.Z. 2012. Wind-solar pv hybrid power system with battery backup for water pumping in remote localities. *International Journal of Green Energy*, DOI:10.1080/15435075.2012.729169.

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.

SHIMY, M.E. 2013. Sizing optimisation of stand-alone photovoltaic generators for irrigation water pumping systems. *International Journal of Sustainable Energy* 32(5): 333–350.

ŞENOL, R., 2012. An analysis of solar energy and irrigation systems in Turkey. *Energy Policy* 47: 478–486.

TEZER, E. 1978. Sulamada Pompaj Tesisleri. T.C. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.

VICK, B.D., CLARK, R. N. 2011. Experimental investigation of solar powered diaphragm and helical pumps. *Solar Energy* 85(5): 945–954.

WADE, N.S., SHORT, T.D. 2012. Optimization of a linear actuator for use in a solar powered water pump. *Solar Energy* 86(3): 867–876.

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

ÖZGEÇMİŞ

10/02/1965 yılında Kırıkkale İli Çelebi İlçesi Karaağaç Köyünde doğdu. İlköğrenimini Karaağaç'ta, orta öğrenimini Keskin'nde, Lise öğrenimini ise Aydın Söke Ziraat Teknik Lisesi'nde tamamladı. 1984 yılında başladığı Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü'nden 1989 yılı şubat döneminde mezun oldu. 1990 yılından beri, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'na bağlı değişik İl Tarım Müdürlüklerinde Ziraat Mühendisi olarak çalışmakta iken, 1996 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı. Halen Adana Zirai Üretim İşletmesi, Tarımsal Yayım ve Hizmetiçi Eğitim Merkezinde Ziraat Mühendisi (Eğitmen) olarak çalışmaktadır.