



**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELİ İLE ÇALIŞTIRILACAK
BİR SULAMA SİSTEMİNİN PROJELENDİRİLMESİ, KURULMASI
VE PERFORMANSININ SAPTANMASI**

İbrahim ALTIN

Yüksek Lisans Tezi

**Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU**

2021

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELİ İLE ÇALIŞTIRILACAK
BİR SULAMA SİSTEMİNİN PROJELENDİRİLMESİ, KURULMASI
VE PERFORMANSININ SAPTANMASI**

İbrahim ALTIN

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU

TEKİRDAĞ-2021

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi
FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELİ İLE ÇALIŞTIRILACAK
BİR SULAMA SİSTEMİNİN PROJELENDİRİLMESİ, KURULMASI
VE PERFORMANSININ SAPTANMASI

İbrahim ALTIN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU

Bu çalışmada, sulama sisteminde kullanılmak üzere bir PV sistemi tasarlanmış, kurulmuş ve performans testleri yapılmıştır. Sistemin kurulduğu işletmenin günlük su gereksinimi 35 m^3 ve manometrik yükseklik 40 mSS olarak belirlenmiştir. İşletme 41° kuzey enleminde Tekirdağ ili sınırları içerisinde bulunmaktadır. Sulama işlemlerinin gerçekleştirileceği Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında PV panel yüzeyine gelen ortalama ışınım miktarı $4,98 \text{ kWh/m}^2$.gün olarak hesaplanmıştır. Sulama yapılan işletmenin bulunduğu bölgenin güneşlenme verilerinden yararlanılarak tasarlanan PV sisteminde 10 adet 280 W nominal güce sahip PV panel kullanılmıştır. PV paneller birbirlerine seri olarak bağlanmışlardır. PV panel sistemi kurulduktan sonra yapılan ölçümlerde; Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında çıkartılan ortalama su miktarları sırasıyla $35,99 \text{ m}^3/\text{gün}$, $32,13 \text{ m}^3/\text{gün}$ ve $27,11 \text{ m}^3/\text{gün}$ olmuştur. Sistem kapasitesini kullanım oranları ise aynı aylar için sırasıyla %102,8, %91,8 ve %77,5 olmuştur. Araştırma sonucunda kurulan PV panel sisteminin performansının yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Sulama sistemlerinde güneş enerjisinden yararlanmanın sağlayacağı ekonomik ve çevresel katkılar nedeniyle yaygınlaştırılması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: güneş enerjisi, sulama sistemleri, fotovoltaik panel
yenilenebilir enerji

2021, 29 Sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis
DESIGN, INSTALLATION AND DETERMINATION
OF PERFORMANCE OF AN IRRIGATION SYSTEM OPERATED
WITH A PHOTOVOLTAIC SOLAR PANEL

İbrahim ALTIN

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of BIOSYSTEM ENGINEERING

Supervisor: Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU

In this study, a PV system was designed, installed and performance tests were carried out to be used in the irrigation system. The daily water requirement of the establishment where the system was installed was determined as 35 m³ and the manometric height was determined as 40 mSS. The enterprise is located within the borders of Tekirdağ province at 41° northern latitude. The average amount of radiation coming to the surface of the PV panel in July, August and September, when irrigation operations are carried out, was calculated as 4.98 kWh/m².day. 10 PV panels with 280 W nominal power were used in the PV system, which was designed by using the solar data of the region where the irrigation facility is located. PV panels are connected in series with each other. In the measurements made after the PV panel system is installed; The average water amounts obtained in July, August and September were 35.99 m³/day, 32.13 m³/day and 27.11 m³/day, respectively. System capacity utilization rates were 102.8%, 91.8% and 77.5% for the same months, respectively. As a result of the research, it has been determined that the performance of the PV panel system installed is at a sufficient level. It has been suggested that the use of solar energy in irrigation systems should be expanded due to the economic and environmental contributions.

Keywords: solar energy, irrigation systems, photovoltaic panel, renewable energy

2021, 29 Pages

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iv
ŞEKİL DİZİNİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR	vi
TEŞEKKÜR	vii
1. GİRİŞ	1
1.1.PV sistemlerinin bileşenleri	2
1.2.Sulama sistemlerinde güneş enerjisinden faydalanma	5
1.3.Tezin amacı	6
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1.Materyal	14
3.1.1. Araştırma alanının konum ve iklim özellikleri	14
3.1.2. Araştırma alanının güneş enerjisi potansiyeli	15
3.1.3. Sulama amaçlı kurulan PV panel sistemi	17
3.1.4. Dalgıç pompa	19
3.2.Yöntem	19
3.2.1. PV panel yüzeyine gelen ortalama günlük ışınım miktarının hesaplanması	19
3.2.2. Sulama sisteminin güç gereksiniminin hesaplanması	20
3.2.3. PV sisteminin kurulu gücünün hesaplanması	20
3.2.4. PV panel sayısının hesaplanması	21
3.2.5. Kurulan PV panel sisteminin performansının saptanması	21
3.2.6. Verilerin değerlendirilmesi	21
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	22
4.1.PV sisteminin kurulduğu bölgedeki güneşlenme verileri	22
4.2.Panel yüzeyine gelen günlük ortalama ışınım miktarları	22
4.3.Su çıkartmak için gerekli enerji miktarı	23
4.4.PV sistem kapasitesi	23
4.5.PV sisteminin performansı	24
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	25
KAYNAKLAR	26
ÖZGEÇMİŞ	29

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Araştırma alanına ilişkin bazı iklim verilerinin uzun yıllar (1987-2017) ortalamaları	15
Çizelge 3.2. Güneş panellerinin standart test koşullarındaki elektriksel özellikleri	18
Çizelge 4.1. Bölgenin güneşlenme verileri.....	22
Çizelge 4.2. PV panel yüzeyine gelen ışınım miktarları	23
Çizelge 4.3. PV sulama sisteminin performansı.....	24

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1.	PV sisteminde hücre, modül ve panel yapısı..... 2
Şekil 1.2.	Bağımsız (off-grid) PV sisteminin üniteleri..... 3
Şekil 1.3.	Hibrit PV sisteminin üniteleri 4
Şekil 1.4.	Şebekeye bağlı (on-grid) PV sisteminin üniteleri 5
Şekil 1.5.	Güneş enerjisi ile çalışan tipik bir sulama sisteminin üniteleri 5
Şekil 3.1.	Araştırma alanının coğrafik konumu..... 14
Şekil 3.2.	Tekirdağ ili yıllık güneş enerjisi ve güneşlenme süresi değişimi..... 15
Şekil 3.3.	Tekirdağ iline ait güneşlenme süresi (saat) 16
Şekil 3.4.	Tekirdağ iline ait radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün) 16
Şekil 3.5.	Sulama amaçlı kurulan PV panel sistemi..... 17
Şekil 3.6.	Panellerin teknik ölçüleri 18
Şekil 3.7.	Dalgıç pompa boyutları ve teknik özellikleri 19

SİMGELER ve KISALTMALAR

- \bar{I}_K : Panel yüzeyine gelen ışınım enerjisi (kWh/m².gün)
 \bar{I}_d : Direk ışınım (kWh/m².gün)
 \bar{I}_y : Yaygın (difüz) ışınım (kWh/m².gün)
 \bar{R}_b : Geometrik açı faktörü
 β : Panel eğim açısı (°C)
 \bar{K}_T : Bulutluluk indeksi
 HE : Pompa güç gereksinimi (kWh/gün)
 Q : Debi (m³/gün)
 H_m : Manometrik yükseklik (mSS)
 N_{PV} : PV panel sisteminin kurulu gücü (kW)
 AF : Sistem kayıp faktörü
 E : Alt sistem verimi
 t_g : Maksimum güneşlenme süresi (h/gün)

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimime başlamamda ve eğitim sürecimde bana her türlü konuda ilgi ve desteğini eksik etmeyen ve katkılarıyla bana ilerleme imkanı sağlayan, sabrını, zamanını esirgemeyen ve sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmama ışık tutan danışmanım Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU'na, çalışma süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, materyal konusunda daima destek olan Ziraat Yüksek Mühendisi Özgür BAHARLI'ya, yardım istediğim her dakika yanımda olan desteğini hep hissettiğim Biyosistem Yüksek Mühendisi Seray KUYUMCU'ya teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, her konuda desteklerini gördüğüm Biyosistem Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına da teşekkür ederim.

Araştırmam sırasında, deneme alanı tahsisi ve yardımları için BİBERCİ ailesine teşekkür ederim. Son olarak bugünlere gelmemde çok büyük emek ve fedakarlık gösteren, hayatım boyunca attığım her adımda, her koşulda yanımda olan, benden maddi manevi desteklerini ve sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen başta annem Nadire ALTIN ve babam Faruk ALTIN olmak üzere tüm aileme en derin duygularım ile teşekkür ederim.

Haziran 2021

İbrahim ALTIN
Biyosistem Mühendisi

1. GİRİŞ

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 sistemlere çare olarak, düşük maliyetli ve etkinliği yüksek sulama sistemlerinin geliştirilmesine yöneliktir. En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri 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. Alışılabilen 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, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması öncelikli bir gereksinimdir [1].

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekli olarak devam eden doğal olaylar sonucunda ortaya çıkan enerji akışından elde edilir. Genel olarak, yenilenebilir enerji kaynağının tanımı; enerji kaynağından elde edilen enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha hızlı bir şekilde kendini yenileyebilmesidir [2]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi, günümüzde fosil kaynaklı yakıtlara alternatif olarak, giderek artmaktadır. Bu kaynakların yenilenebilir olması, maliyetlerinin daha düşük olması ve kullanımlarından dolayı olumsuz çevresel faktörlerin daha az olması, talebin artmasına neden olmaktadır. Başta güneş enerjisi olmak üzere, rüzgâr, jeotermal, biyokütle enerjileri belli başlı yenilenebilir enerji kaynaklarıdır [3].

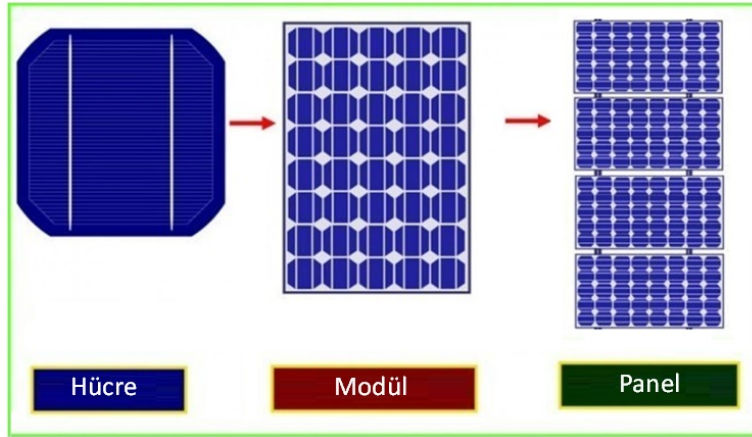
Güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üretilmesi, yenilenebilir enerji kaynağı uygulamaları arasında en çok kullanılan yöntemdir. Fotovoltaik sistemler ve güneş bacası gibi uygulamalar güneş enerjisi ile elektrik üretme yöntemlerindedir. Güneş

enerjisi, güneş tarafından sağlanan enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle farklı şekillerde kullanılmasını sağladığı için son yıllarda giderek önem kazanmıştır.

Türkiye’de tarımsal sulama; elektrik, mazot veya petrol gibi konvansiyonel enerji kaynaklarıyla çalışan su pompaları kullanılarak yapılmaktadır. Elektrik olmayan veya elektrik götürülmesi güç ve pahalı olan tarımsal alanlarda, mazot ve petrol pompaları kullanılmaktadır. Bu tip sistemler daimi günlük bakım isterler ve ancak suyu bol olan yerlere değil, ulaşımı kolay olan yerlere kurulabilirler. Güneş enerjisiyle çalışan su pompası sistemleri ise günlük bakım istemedikleri gibi arzu edilen herhangi bir yerde, bol güneş olması şartıyla kurulabilirler. Bu tip pompaların ilk kuruluş masrafları yüksek olmasına rağmen, işletme ve bakım masrafları çok düşüktür, özellikle güneş ışınım potansiyeli yüksek yerlerde çok kısa sürede daha ekonomik duruma geçmektedirler [4].

1.1. PV sistemlerinin bileşenleri

Fotovoltaik güneş panelleri güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Modüler sistemdir, modüller halinde yerleştirilerek çok geniş güç aralıklarında elektrik enerjisi elde edilebilir (1 W - 300 W/modül). Hesap makinesi gibi çok az güç gerektiren alanlarda kullanılabilirdiği gibi bir kaç megawatt güce sahip güneş enerjisi santrallerinde de kullanılabilirler. PV panel sisteminde hücre, modül ve panel yapısı bileşenleri Şekil 1.1’de verilmiştir [5].



Şekil 1.1. PV sisteminde hücre, modül ve panel yapısı

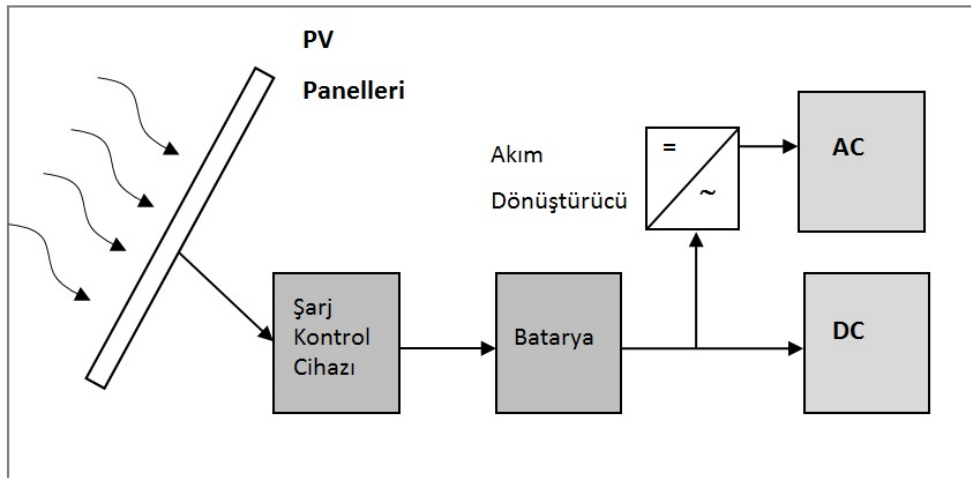
PV panel sistemlerinde üretilen elektrik enerjisi, doğrudan depolanabildiği gibi, bir bataryaya şarj edilerek daha sonra kullanılmak üzere depolanabilir. Bu uygulamada optimum performansı sağlayabilmek için PV sisteminin üreteceği elektrik enerjisi miktarı ile bataryanın kapasitesinin çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Ancak bazı sistemlerde, örneğin sulama sistemlerinde, batarya ile enerji depolamaya gerek duyulmayabilir. Bu sistemlerde güneşin yoğun olduğu anlarda elektrik motoru çalıştırılarak çıkartılan su bir depoda biriktirilir ve gerekli olduğu zaman kullanılabilir.

PV sistemlerini üç grup altında toplamak mümkündür [5];

- Bağımsız sistemler (Off-grid)
- Hibrit sistemler (Off-grid ya da On-grid)
- Şebekeye bağlı sistemler (On-grid)

Bağımsız (Off-grid) sistemler

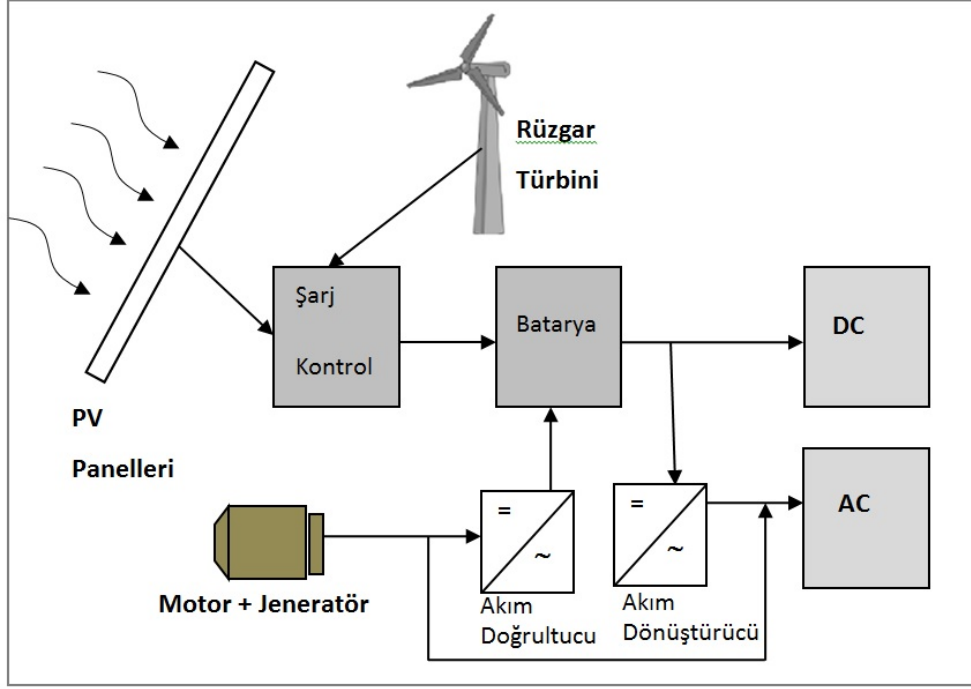
Bataryalı ve bataryasız olarak kullanılabilirler. Güvenilir bir şekilde güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Daha öncede belirtildiği gibi bir batarya ile sistemin depoladığı enerji depolanabilir ve güneş ışıklarının olmadığı zaman ya da gece kullanılabilir. Ancak, sulama üniteleri gibi sistemlerde batarya kullanmak gerekmez (Şekil 1.2) [5].



Şekil 1.2. Bağımsız (off-grid) PV sisteminin üniteleri

Hibrit sistemler

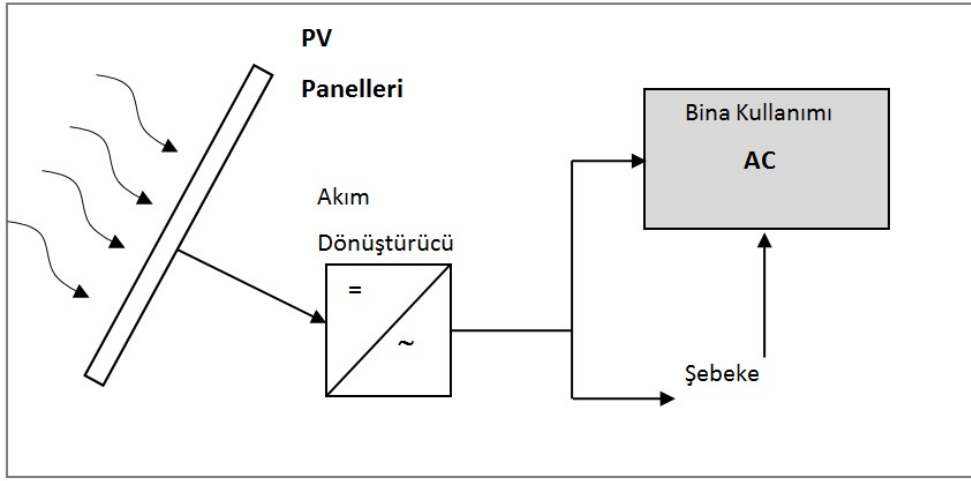
Bu sistemlerde bağımsızdır, PV sistemi rüzgar enerjisi ve fosil yakıt kullanan motorlarla birlikte kullanılmaktadır. Bu sistemler devamlı belirli bir enerjiye ihtiyaç duyan büyük işletmeler için iyi bir seçenektir (Şekil 1.3) [5].



Şekil 1.3. Hibrit PV sisteminin üniteleri

Şebekeye bağlı (On-grid) sistemler

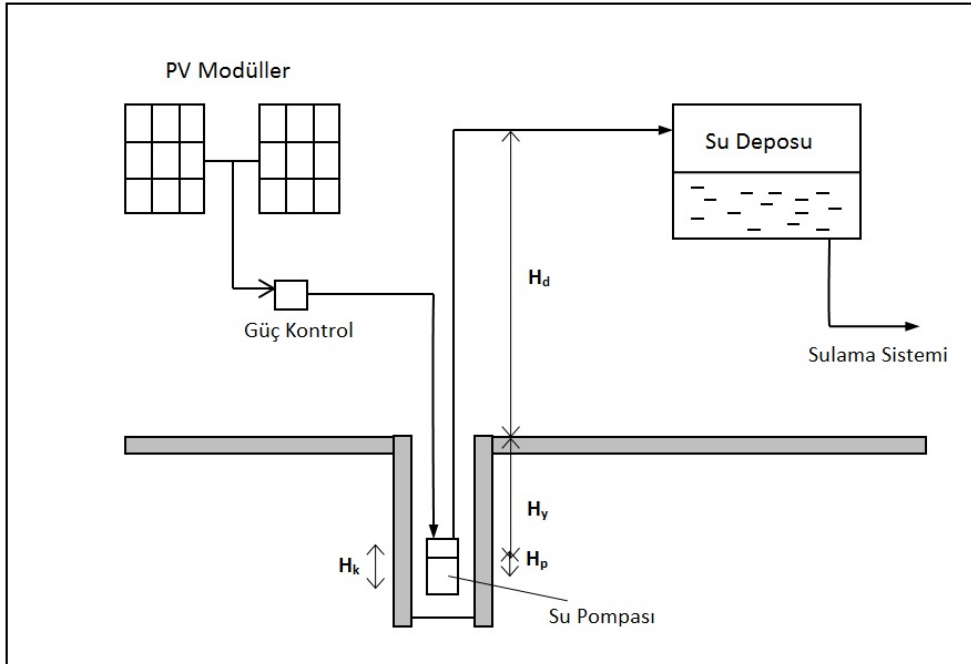
Bu PV sistemleri kendi elektrik enerjisini üretir ve fazla olan kısmını şebekeye verir. Bu sistemler doğru akımı alternatif akıma dönüştüren bir dönüştürücüye sahiptir. Bu dönüştürücüler akımı aynı zamanda şebeke frekansına dönüştürürler ve elektrik sayacı bulunmaktadır. Bu sayaçlar çift yönlü çalışmaktadır. Aşırı elektrik enerjisi üretiminde şebekeye verilen enerjiyi, ihtiyaç duyulduğunda şebekeden çekilen enerjiyi ölçüp, dönem dönem aradaki farkı çıkartmaktadırlar. Böylece şebekeyle sistem arasındaki enerji alışverişini belirlemiş olur. Burada şebeke sınırsız bir batarya kaynağı gibi kullanılmaktadır (Şekil 1.4). Bu sistemler daha çok ticari amaçla elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılmaktadırlar [5].



Şekil 1.4. Şebekeye bağlı (on-grid) PV sisteminin üniteleri

1.2. Sulama sistemlerinde güneş enerjisinden faydalanma

Son yıllarda özellikle kırsal alanlarda sulama sistemlerinin güç ihtiyacını karşılamak amacıyla PV panel sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır (Şekil 1.5) [5].



Şekil 1.5. Güneş enerjisi ile çalışan tipik bir sulama sisteminin üniteleri

Sulama sistemlerinde güneş enerjisi yardımıyla su çıkartılmasında sistemin kapasitesini etkileyen en önemli parametreleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [5];

- Sulama sisteminin kurulduğu yörenin güneşlenme verileri,
- Günlük sulama suyu gereksinimi,
- Manometrik yükseklik

1.3. Tezin amacı

Bu tezde küçük ölçekli bir sulama sisteminde su çıkartmak amacıyla PV panel sisteminin tasarımı ve kurulması ile sistemin çalışma koşullarında elde edilen verilerin kurulum parametreleri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Tez Giriş, Kaynak Özetleri, Materyal ve Yöntem, Araştırma Bulguları ile Tartışma ve Sonuç olmak üzere 5 ana bölümden oluşmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Gençoğlu ve ark. [6] güneş enerjisi ile çalışan PLC kontrollü su pompası sistem tasarımı konulu çalışmalarında düşük güce ihtiyaç duyan tüketicilerin beslenmesinde fotovoltaiik (PV) sistemlerin kullanılmasını araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonunda, elektrik enerjisinin bulunmadığı veya elektrik enerjisinin taşınmasının çok zor ve pahalı olduğu alanlarda pompaj tesislerinin ihtiyaç duyacağı elektrik enerjisinin güneş pilleri ile sağlanabileceğini bildirmişlerdir.

Bione ve ark. [7] sabit PV sistemler ile su pompalama amaçlı güneşi izleme ve odaklama mekanizmalarına sahip PV sistemleri karşılaştırmışlar ve bir yılda, güneşi izleyen sistem ile 1,41 kat, odaklayıcı PV sistem ile 2,49 kat daha fazla su pompalandığını belirtmişlerdir. Su pompalama maliyetinin ise birim m³ için, güneşi izleyen sistem ile %19, odaklayıcı sistem ile %48 oranında azaldığını ortaya koymuşlardır.

Yeşilata ve ark. [8] küçük ölçekte su teminine yönelik direkt-akupleli prototip bir PV panel dalgıç pompa sistemini deneysel olarak analiz etmişlerdir. Araştırmada, sistemin günlük çalışması sırasında etkili olan parametrelerin anlık ve ortalama değerler bazında değişimlerine ait ölçüm sonuçları sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, dinamik çevre koşullarının PV panele ait parametrelerin anlık değerlerinde büyük dalgalanmalara sebep olduğunu, pompa debisindeki dalgalanmanın ise çok düşük seviyelerde kaldığını, PV panel çalışma parametreleri ile pompalanan su debisi arasında lineer bir ilişki olmadığını göstermiştir.

Kelley ve ark. [9] yaptıkları çalışmada, güneş enerjisi ile çalışan sulama sistemlerinin teknik ve ekonomik olarak uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre PV sulamada güneş panelleri için yeterli alan bulunması şartıyla hem ekonomik açıdan hem de teknik açıdan uygun olduğunu kanıtlamışlardır.

Öztürk [10] PV sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı, bu sistemlerin olabildiğince doğru bir şekilde boyutlandırılması gerektirdiğini bildirmiştir. Ayrıca, 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 gerektiğini belirtmiştir. Çalışmasında, meyve bahçelerinde damla sulama kullanılması durumunda, su pompalama sistemi için gerekli PV tesisatın tasarım ölçütlerinin belirlenmesi için izlenecek yöntemleri açıklamıştır.

Qoaidar ve Steinbrecht [11] elektrik şebekesinin ulaşamadığı kurak bölgelerde yapılan tarımsal üretimde ihtiyaç duyulan elektrik ihtiyacının PV teknolojisi ile karşılanmasının ekonomik uygulanabilirliğini araştırmışlar, PV sulama sisteminin teknik tasarımı ve yaşam döngüsü maliyeti incelemiştir. PV sulama sistemini, 1260 ha alanı sulamak amacıyla günlük 111 000 m³ su pompalayacak kapasitede tasarlayarak, verimi ve elektrik üretim maliyeti, dizel jeneratörlü sistem ile karşılaştırmışlardır. Eşdeğer sistem büyüklüğü için, jeneratörle elektrik üretim maliyeti 0,39 € kWh⁻¹ iken, PV elektriğin maliyeti sadece 0,13 € kWh⁻¹ olarak hesaplamışlardır.

Atay ve ark. [12] Şanlıurfa ilinde yaptıkları çalışmada; güneş enerjisinden yararlanılarak tasarlanan sulama sisteminin arazi koşullarındaki performansını incelemiştir. Sistem, PV panellere bağlı, doğru akım ile çalışan fırçasız pompadan oluşmakta olup, damla sulama sistemi ile sulanan bir arazinin sulanmasında kullanmışlardır. AC ile çalışan bir pompa ile de iki sistem arasında karşılaştırma yapmışlardır. Yapılan deney sonucunda, DC pompa ile çalışan sistemin batarya sistemi ile birlikte kullanıldığından güneşin olmadığı durumlarda da 16,76 saat kesintisiz çalıştığı ve bu süre içinde 68,7 ton su pompaladığını gözlemlemişlerdir. Özellikle sık sık yaşanan elektrik kesintileri sebebiyle AC pompa kesintiye uğrarken, DC pompanın sorunsuz bir şekilde çalışmaya devam ettiğini görmüşlerdir. Herhangi bir işletme masrafı olmayacağından elektrik şebekesinin uzanmadığı kırsal bölgelerde de yüksek yatırımlara kıyasla daha ekonomik bir çözüm olarak ortaya sunmuşlardır.

Öztürk ve ark. [13] su pompalama için gerekli olan mekanik enerjinin, termodinamik veya doğrudan dönüşüm yöntemleriyle elde edilebileceğini, güneş enerjisiyle su pompalamanın, doğrudan dönüşüm yöntemleri ya da termodinamik yöntemler ile uygulanabilen bir işlem olduğunu ve doğrudan dönüştürme yönteminde,

güneş enerjisinden üretilen elektrik akımıyla, geleneksel bir pompa motorunun çalıştırılabileceğini belirtmişlerdir.

Mokeddem ve ark. [14] doğru akım (DC) üreten fotovoltaik (PV) üniteye doğrudan bağlı su pompalama sisteminin verimini değerlendirebilmek amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. Gücü 1.5 kW olan PV dizi, DC motor ve santrifüj bir pompadan oluşan PV su pompalama sistemi ile yapılan dört aylık denemeler sonucunda, sistemin verimini farklı iklim koşulları ve iki farklı statik basınç düzeyinde değerlendirmişlerdir. 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 belirtmişlerdir.

Köksal [1] güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) ilkeye bağlı olarak üretilen elektrik ile dalgıç pompaların çalıştırılması için güneş enerjili sulama sisteminin bazı teknik özelliklerini belirlemek amacıyla yaptığı bir çalışmada, her birinde toplam $12 \times 6 = 72$ adet PV hücre bulunan 4 adet modülden oluşan toplam 3 dizi halinde bir PV sistemi kurmuştur. PV sistem tarafından üretilen elektrik ile çalıştırılan üç farklı dalgıç pompa ile su pompalanması durumunda, pompalanan su debileri, dalgıç pompaların hidrolik güç değerleri ve verimlerini hesaplamıştır. PV sistemin elektrikselsel güç üretme verimi ortalama %17,86 olarak hesaplamış, denemeye alınan dalgıç pompaların; ortalama debi, hidrolik güç ve verim değerleri sırasıyla 21,6-28,8 m³/h, 1270,58-1694,11 W ve %42-56,6 aralığında değiştiğini bildirmiştir.

Şenol [15] Türkiye’de sulama sistemlerinde güneş enerjisi kullanımını ve çeşitli tarım bölgeleri için dizel jeneratörler yerine fotovoltaik destekli pompaların kullanılması durumunda pompalanabilecek su miktarlarını incelemiştir. Ayrıca seçilen optimum bölge için farklı dinamik yükseklik değerlerine göre pompalanabilecek su miktarları incelemiştir. Son olarak optimum yükseklik ve istenilen su miktarı için ömür maliyet analizi yapmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda, sistemin geri kazanım süresi mevcut yasal duruma göre 6 yıl bulmuş olup Fotovoltaik sistemin dizel sisteme olan yatırım oranı tasarrufu (SIR) yaklaşık %4,6 olarak hesaplamıştır.

Benghanem ve ark. [16] helisel bir pompayı, PV sistemiyle güneş ışınımından üretilen DC elektrikle çalıştırabilmek için tasarım etmenlerini belirlemek amacıyla dört farklı PV dizi tasarımı gerçekleştirmişler ve 80 m basma yüksekliğinde denemeler yapmışlardır. PV dizi tarafından üretilen elektrikle çalıştırılan helisel pompa ile günlük ortalama olarak 22 m³ su basabilmişlerdir.

Atmaca ve ark. [17] araştırmalarında, Güney Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki fotovoltaik enerji potansiyelini değerlendirmek amacıyla, tarımsal sulamada fotovoltaik sistemlerin kullanımını incelemişlerdir. Bu amaçla, her birinde toplam 36 adet PV hücre bulunan 4 adet modülden oluşan PV sistemin; akım, gerilim, güç gibi elektriksel özellikleri ile PV sistemin verimi, dalgıç pompanın su pompalanması durumunda, pompalanan su debileri, hidrolik güç değerleri ve verimleri hesaplamışlardır. Elde edilen verilerden, pompa kademe sayısı, debi ve hidrolik güç değerleri arttıkça pompa sistem veriminin arttığını bildirmişlerdir.

Gokalp [18] yaptığı araştırmada, güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) ilkeye bağlı olarak üretilen elektrik ile santrifüj bir pompanın çalıştırılması için yararlanılan GES sisteminin bazı teknik özelliklerini incelemiştir. Her birinde toplam 72 adet PV hücre bulunan 5 adet modülden oluşan, 3 dizi halindeki PV sistem üzerine güneşten gelen toplam güneş ışınım gücüne karşılık, PV sistemin elektriksel güç üretme verimi (hPV; %) %4.8-5.4 aralığında değişmiş, ortalama %5,2 olarak hesaplamıştır. 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 belirlemiştir. Bu durumda, pompa hidrolik gücü (P_h); 700 W, 1050 W, 1400 W ve 2100 W olarak hesaplamıştır.

Yılmaz ve ark. [2] Kahramanmaraş ili iklim koşullarını göz önüne alarak bitkisel üretime yönelik yapılan sulama pompaj tesislerindeki elektrik enerjisi ihtiyacının fotovoltaik güneş panelleri ile karşılanması ve fotovoltaik panel sistemleri ile yapılan sulama pompaj tesislerinin maliyeti üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada, 1500 m²'lik bir badem bahçesine kurulan 245 W gücünde 24 adet fotovoltaik güneş paneli ile üretilen elektrik enerjisi kullanılarak, 1800 W gücündeki bir DC pompa çalıştırılarak sulama yapılmış ve güneş panelleri ile üretilen elektrik enerjisinin, şebeke elektriğine göre daha ekonomik olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca,

uygulamada kullanılan güneş paneli sisteminin kendisini 6.5 yıl içerisinde amorti edeceğini bildirmişlerdir.

Gençoğlu [19] PLC kontrollü, şebekeden bağımsız güneş pilli bir su pompalama sisteminin tasarlayarak ve sistem kurulumunu gerçekleştirmiştir. Önce ele alınan pilot bir bölgeye (Elazığ, Gözebaşı Köyü, Yeşilyurt Mezrası) enerji iletim hattının sadece sulama amaçlı götürülmesi durumunda maliyet hesabı yapmış, daha sonra bu bölgede şebekeden bağımsız güneş enerjili bir su pompalama sistemi kurulması durumunda maliyet hesabı yaparak, bu iki durumu karşılaştırmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda, güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkemizde öncelikle elektrik enerjisi olmayan veya ulaştırılması zor ve pahalı olan yörelerde, küçük ölçekli zirai sulama amaçları için güneş pilleri ile beslenen su pompalama sistemlerinin kurulmasını önermiştir.

Dündar [20] enerji nakil hatlarına uzak olan tarım arazileri ve işletmelerinde sulama pompaj tesislerinin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin, alternatif enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi sistemi (PV) ile karşılanması amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Sistemin ürettiği elektrik enerjisi ve su pompasının verim değerleri bir yıl süre ile ölçmüştür. Güneş panellerinden alınan elektrik enerjisi kontrol cihazından geçirerek doğrudan dalgıç pompaya (300 W'lık) iletmış ve suyun devir-daim işlemini sağlamıştır. Araştırma sonucunda; fotovoltaik kaynaklı sulama pompaj tesisinde yaklaşık 824 kWh yıl⁻¹ elektrik enerjisi üretilmiş ve bu enerjinin yaklaşık olarak %68.7'lik kısmı pompanın çalışması için kullanılmıştır. Dalgıç pompa ile 9 625 ton yıl⁻¹ su pompalandığını saptamış, sistem için gerekli olan enerji ihtiyacının PV sistem ile karşılanması sonucunda yıllık 402.94 kg CO₂'nin atmosfere salınmasının önleniği belirtmiştir.

Peren [21] güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) ilkeye bağlı olarak üretilen elektrik enerjisi ile dalgıç pompaların çalıştırılması için gerekli mekanik enerjinin sağlanması amacıyla kurduğu, her birinde toplam 96 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 belirlemiştir. Ayrıca pompalanan su debileri, pompanın hidrolik güç ve motorun elektriksel güç değerlerini hesaplamıştır. PV panellerden elde edilen enerji DC/DC dönüştürücü üzerinden

pompa motorunun (Fırçasız DC motor) sürücüsü beslenmiştir. Sistem simülasyonu sonucunda, güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisi, boost dönüştürücü üzerinden fırçasız DC motoru besleyerek pompanın öngörülen miktarda yaklaşık 15,26 m³/saat su pompaladığını saptamış, panel verimini %18,7 ve pompanın verimini % 55 olarak bulmuştur.

Çetinçalı [22], Düzce ili şartlarında kullanılabilir şebekeye bağlı olmayan akıllı tarımsal sulama sistemini tasarlayarak, uygulamasını yapmıştır. Çalışmasında, PV enerji dönüşümü ile akıllı tarımsal sulamaya yönelik bir sistemin tasarım aşamalarını ve gerekli hesaplamalarını farklı senaryolar üzerinde ayrıntılı olarak vermiştir. PV tarımsal sulama sisteminin nasıl kurulacağını ve sağladığı faydalarını örnek modeller ile açıklayarak tarım alanında çalışanlar için uygulanabilir bir model olarak tavsiye etmiştir.

Topuz ve ark. [23], fotovoltaik etki ile çalışan çüneş enerjili sulama sisteminin tasarım parametrelerini araştırmış ve bilgisayar ortamında modellemesini yapmışlardır. Bu amaçla, İç Anadolu Bölgesi'nin güneş enerjisi potansiyelini hesaplamış ve bölgede özellikle de Niğde ilinde oldukça yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli olduğu belirlemişlerdir. Bu potansiyelden yararlanmak üzere Niğde'de teorik olarak kurulan örnek bir pompaj tesisinin elektrik ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik sistemin kurulu gücünü hesaplamış, aynı hesaplamaları modelleme programına da yaptırarak benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca araştırmada, panel sayısına en çok etki eden parametrelerin günlük su ihtiyacı, ışınım şiddeti ve manometrik yükseklik olduğu tespit etmişlerdir. Fotovoltaik sulama sistemlerinin çiftçi için daha ekonomik olduğunu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması sağlandığında ülke ekonomisine olumlu yönde etki edeceğini gözlemlemişlerdir.

Wazed ve ark. [24], Sahra bölgesinde uzak kırsal çiftliklerin sulanması için su pompalamak adına PV ve güneş termal teknolojileri üzerine araştırmalar yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda, PV ile çalışan sistemin maliyetini ve tasarımını optimize etmenin en iyi yolunun, mahsulün gereksinimlerini anlamak ve sistemin çalışma koşullarını analiz etmek için kapsamlı saha araştırması yapmak olduğunu göstermişlerdir. PV sistemin maliyetinin diğer motorlu sistemlere göre daha düşük

olduğu, çevresel sorunlar üzerinde etkili olduğu ve karbon ayak izini azalttığını görmüşlerdir. Bu çalışma, güneş enerjisi teknolojisinin küçük ölçekli kırsal çiftliğin gereksinimlerini karşılaması için büyük bir potansiyel bulundurduğunu tespit etmişlerdir.

Yılmaz [25], fotovoltaik panel sistemini, Karadeniz koşullarında fındık bahçelerinin sulanması için test etmiştir. Yaptığı çalışma için, 6 adet panel, 4 adet akü olmak üzere yaklaşık 5 kWh'lik bir sistem oluşturmuştur. Sistemdeki akülerin şarj sürelerinin fındıkta sulama aralığına uyumlu olduğunu saptamıştır. Elde ettiği bulgular sonucunda, fotovoltaik panel sisteminin bölgedeki tarımsal sulamalarda güvenle kullanılabileceğini bildirmiştir.

Demirbaş [26] yaptığı çalışmada, tarımsal sulamada suyu kontrollü bir şekilde kullanacak aynı zamanda bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarını tespit ederek otomasyonlu sulama yapacak, ihtiyaç duyduğu elektriği yenilebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi ile karşılayacak bir sulama sistemi tasarımı gerçekleştirmiştir. Tasarlanan sistemi, domates ve biber bitkilerinin ekili olduğu tarımsal arazide deneysel çalışmaları yapılarak otomasyonsuz sulanan damla sulama sistemi ile karşılaştırmasını yapmıştır. Elde edilen bulgulara göre otomasyonlu sulanan sistemde su tüketim miktarında azalma olduğu ve bitki verimliliğine de olumlu yönde katkı yaptığını saptamıştır. Sistem ihtiyaç duyduğu enerjiyi güneş panelleriyle karşıladığı için hem çevre dostu olduğunu hem de elektriğin olmadığı arazilerde kullanım imkanı sunduğunu bildirmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma alanının konum ve iklim özellikleri

Araştırma, Tekirdağ ilinde yer alan Süleymanpaşa ilçesine bağlı Karacakılavuz Mahallesi'nde bulunan, 15.000 da büyüklüğündeki tarım arazisinde yürütülmüştür. Alan, 41°08' Kuzey enlemi ile 27°24' Doğu boylamı arasında kesişen koordinatlarda yer almaktadır, denizden olan ortalama yüksekliği 156 m'dir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Araştırma alanının coğrafik konumu

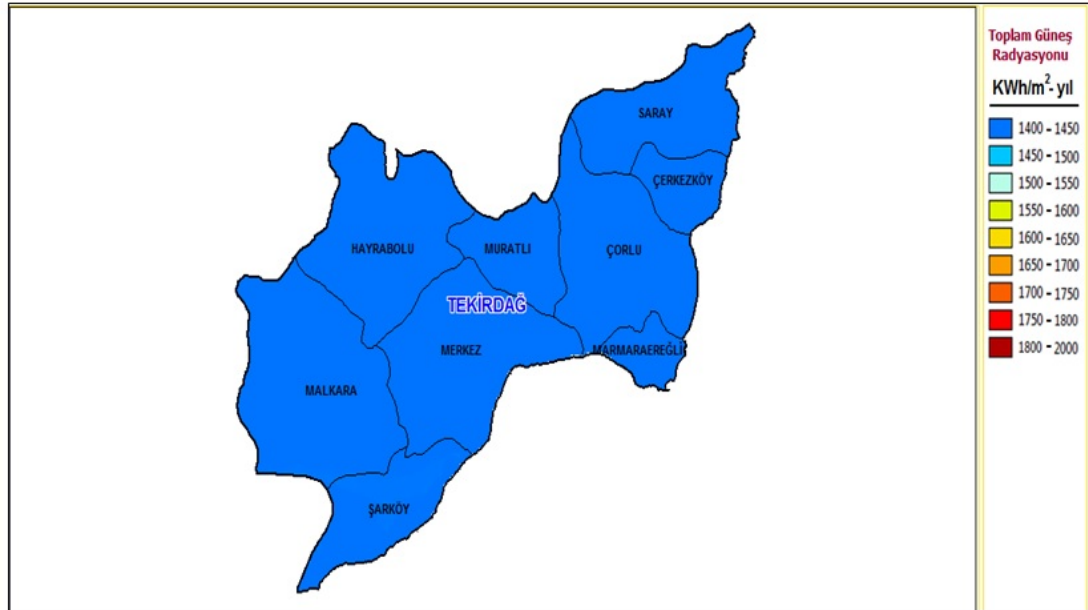
Araştırma alanı yarı kurak iklim özelliklerine sahiptir. Araştırma alanına en yakın olan Tekirdağ Meteoroloji İstasyonu'ndan sağlanan 1987-2017 yılları arasındaki uzun yıllar ortalamalarına göre, yıllık ortalama sıcaklık değeri 14,8 °C 'dir. En soğuk ay 6,0 °C ile Ocak, en sıcak ay ise 24,8 °C ile Ağustos ayıdır. Yıllık ortalama yağış miktarı 643,8 mm'dir. Araştırmanın yürütüldüğü Temmuz ve Eylül arasındaki iklim verilerinin uzun yıllar (1987-2017) ortalamaları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Araştırma alanına ilişkin bazı iklim verilerinin uzun yıllar (1987-2017) ortalamaları

İKLİM VERİLERİ	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ort.
Ortalama Sıcaklık (°C)	24,59	24,75	20,89	23,41
Ortalama Güneşlenme Süresi (h/gün)	11,44	10,48	7,85	9,92
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	2,39	3,48	6,26	4,04
Aylık Toplam Yağış Miktarı (mm)	19,96	24,10	40,77	28,28
Ortalama Bağıl Nem (%)	67,93	69,53	71,10	69,52
Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	2,57	2,61	2,32	2,50

3.1.2. Araştırma alanının güneş enerjisi potansiyeli

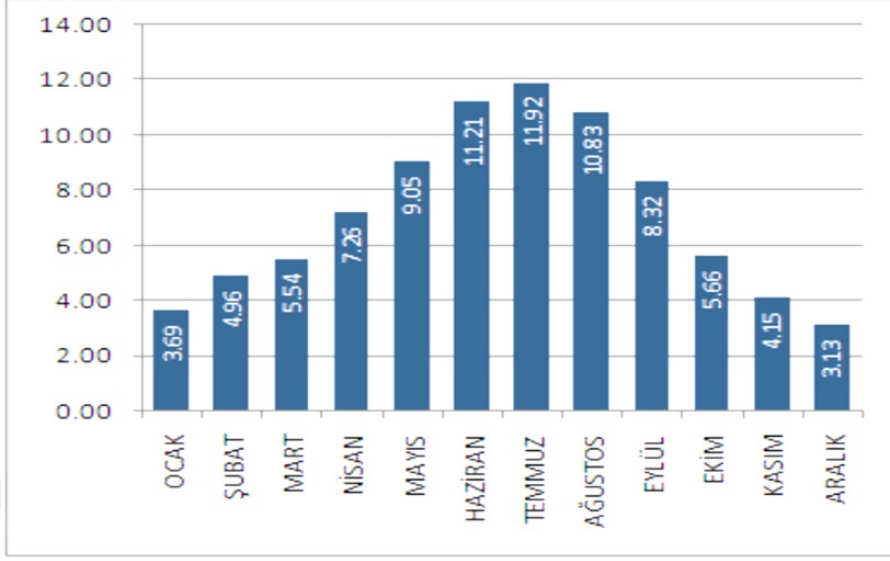
Tekirdağ iline ait güneş enerjisi potansiyel yer değişim haritası, güneş radyasyon değerleri ve aylık güneşlenme süreleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü Web sayfasından alınmış ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Tekirdağ ili enerji potansiyeli yer değişim haritasından da görüldüğü üzere 1400-1450 kWh/m²-yıl aralığındadır.



Şekil 3.2. Tekirdağ ili yıllık güneş enerjisi ve güneşlenme süresi değişimi

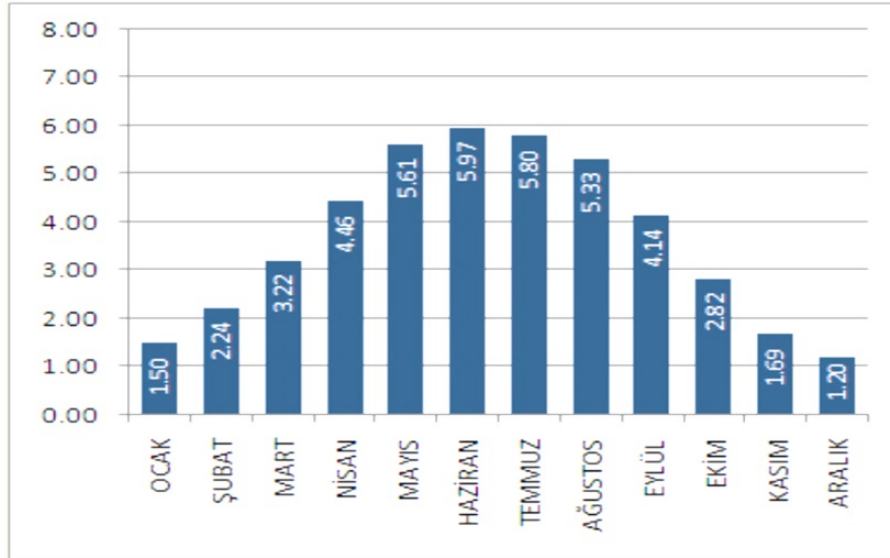
Şekil 3.3’de verilen güneşlenme süreleri incelendiğinde, Tekirdağ ilinin ortalama güneşlenme süresinin 11,92 saat ile en fazla Temmuz ayında, en az ise 3,13 saat ile Aralık ayında gerçekleştiği görülmektedir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi ise 7,14 saattir. Güneşlenme sürelerine ait grafik incelendiğinde, en fazla güneşlenme

süresinin Haziran ve Temmuz aylarında gerçekleştiği, en az güneşlenme süresinin ise Aralık ve Ocak aylarında gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3.3. Tekirdağ iline ait güneşlenme süresi (saat)

Tekirdağ iline ait yıllık güneş radyasyonunun aylara göre dağılımına bakıldığında, en az güneş ışınımının yine Aralık ve Ocak aylarında en fazla güneş ışınımının ise Haziran ve Temmuz aylarında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Tekirdağ iline ait radyasyon değerleri (kWh/m²-gün)

3.1.3. Sulama amaçlı kurulan PV panel sistemi

Güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemi Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Tasarımda sulama için ihtiyaç duyulan su, fotovoltaik su pompalama yöntemi ile sağlanmıştır. Sistemin kurulduğu işletmede günlük su talebi 35 m^3 'dür. Sistemde 280 W gücünde 10 adet panel kullanılmıştır. Sistemin kurulu gücü $2,8 \text{ kW}$ 'dır. Sistemde bulunan güneş panelleri, doğru bir akım (DC) ile motoru çalıştırmak için yeterli miktarda elektriksel güç üretmektedir. PV dizisinden sonra sırasıyla DC/AC invertör, motor-pompa yerleştirmiştir. Elektrik motoru, elektriği mekanik enerjiye dönüştürerek su pompasını çalıştırmaktadır. Mekanik enerji daha sonra pompa aracılığıyla su kaynağından su çıkarmak için hidrolik enerjiye dönüşmekte ve su depoya aktarılmaktadır.



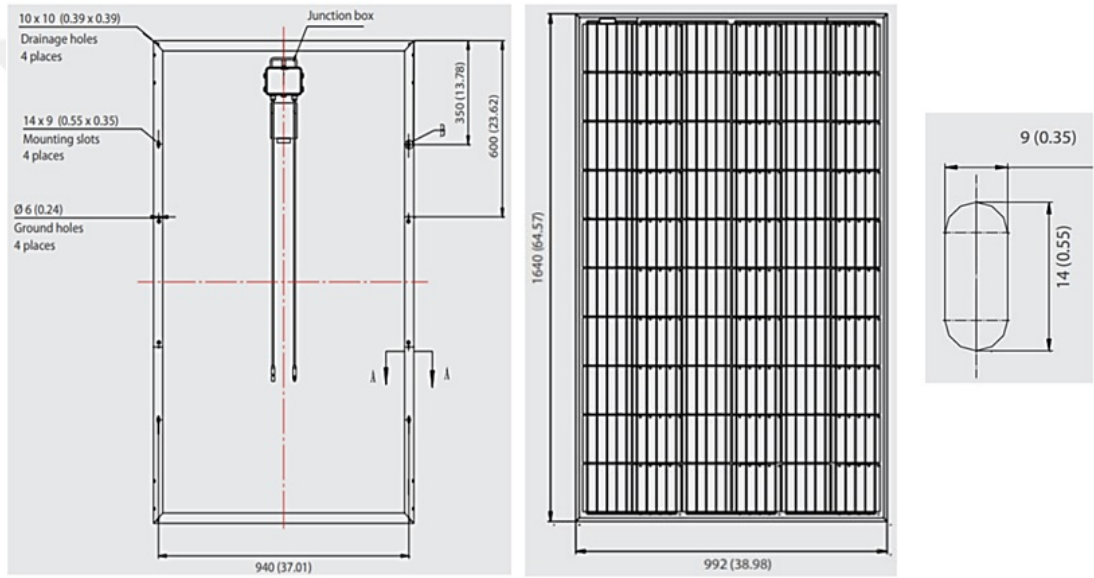
Şekil 3.5. Sulama amaçlı kurulan PV panel sistemi

PV sisteminde LEXRON marka LXR-280P model fotovoltaik güneş paneli kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan güneş panellerinin standart test koşullarındaki elektriksel özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Panellerde, polikristalinden yapılmış olup $10 \times 6 = 60 \times 10 = 600$ adet PV hücre bulunmaktadır. Paneller birbirlerine seri olarak bağlanmıştır ve eğim açıları 40°C olarak ayarlanmıştır.

Çizelge 3.2. Güneş panellerinin standart test koşullarındaki elektriksel özellikleri

Elektriksel özellik	Değer
Güç	280 W
Hücre sayısı	60 adet
Açık devre gerilim	37,60 V
Nominal gerilim	31,10 V
Kısa devre akımı	9,43 A
Nominal akım	9,00 A
Panel verimi	%19

PV sisteminde kullanılan panellerin teknik ölçüleri Şekil 3.6'da verilmiştir.

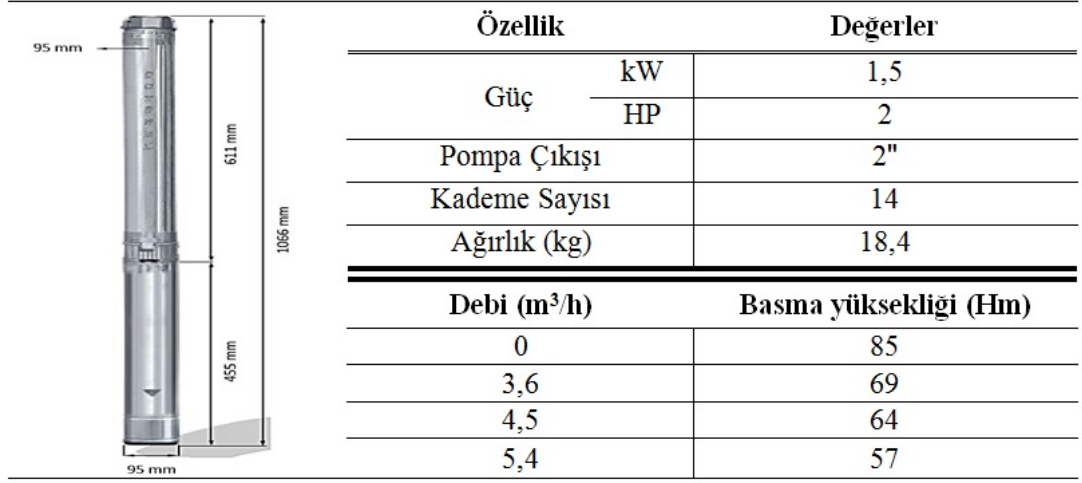


Şekil 3.6. Panellerin teknik ölçüleri

Panelden çekilen gücün kontrolü ve DC gerilimin AC gerilime dönüştürülerek, AC yükün beslenmesi için Siemens Sinamics v20 model invertör kullanılmıştır. Giriş voltaj aralığı 200-240 V civarındadır. nvertörün çıkış voltajı, bağlı olduğu motorun giriş voltajı olmaktadır. Bu nedenle, araştırmada kullanılan motorun gücü 1,5 kW olduğundan, çıkış gücü 1,5 kW olan invertör tercih edilmiştir.

3.1.4. Dalgıç pompa

PV sistemin tarımsal sulama amacıyla kullanılabilirliğini araştırmak için gücü 1,5 kW olan bir dalgıç pompa kullanılmıştır. PV sistem tarafında üretilen elektrik ile çalıştırılan dalgıç pompanın özellikleri ve boyutları Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Dalgıç pompa boyutları ve teknik özellikleri

3.2. Yöntem

3.2.1. PV panel yüzeyine gelen ortalama günlük ışınım miktarının hesaplanması

Bir bölgede düz yüzeyli güneş kolektörünün yüzeyine bir günde gelen toplam ışınım miktarı, uzun yıllar ortalaması aylık güneşlenme verilerinden yararlanarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır [27];

$$\bar{I}_K = \bar{I}_d \bar{R}_b + \bar{I}_y \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \bar{I}\rho_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (3.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte; \bar{I}_K (kWh/m².gün) hesaplanan aya ait panel yüzeyine bir günde gelen toplam ışınım enerjisi, \bar{I}_d , \bar{I}_y ve \bar{I} (kWh/m².gün) sırasıyla yeryüzüne ulaşan direk ışınım, yaygın (dağınık) ışınım ve toplam ışınım miktarları, \bar{R}_b ortalama geometrik açı faktörü, ρ_g yansımaya oranı ve β derece cinsinden panel eğim açısıdır.

Ortalama geometrik açı faktörü (\bar{R}_b) enlem derecesi, deklinasyon açısı, güneş saat açısı ve panelin eğim açısı yardımıyla hesaplanmaktadır [27].

Yeryüzüne ulaşan direk ve yaygın ışınım miktarları Erbs ve ark. [28] tarafından geliştirilen model yardımıyla hesaplanmıştır;

$$\frac{\bar{I}_y}{\bar{I}} = 1,311 - 3,022\bar{K}_T + 3,427(\bar{K}_T)^2 - 1,821(\bar{K}_T)^3 \quad (3.2)$$

3.2 no'lu eşitlikte \bar{K}_T bulutluluk indeksi olup aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır;

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{I}}{\bar{I}_0} \quad (3.3)$$

Yukarıdaki eşitlikte \bar{I}_0 (kWh/m².gün) atmosferin dış yüzeyine gelen ışınım miktarıdır.

3.2.2. Sulama sisteminin güç gereksiniminin hesaplanması

Sulama suyunun kuyudan çekilmesi için gerekli olan enerji aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır [29];

$$HE = \frac{Q \cdot H_m \cdot \rho \cdot g}{3,6 * 10^6} \quad (3.4)$$

Yukarıdaki eşitlikte HE (kWh/gün) suyun çekilmesi için gerekli günlük enerji miktarı, Q (m³/gün) günlük su gereksinimi, H_m (mSS) manometrik yükseklik, ρ (1000 kg/m³) suyun yoğunluğu ve g (9,81 m/s²) yerçekimi ivmesidir.

3.2.3. PV sisteminin kurulu gücünün hesaplanması

Sulama amaçlı kurulacak PV sisteminin kurulu gücü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır [5];

$$N_{PV} = \frac{HE}{t_g \cdot AF \cdot E} \quad (3.5)$$

Burada; N_{PV} (kW) PV sisteminin kurulu gücü, t_g (h/gün) günlük maksimum güneşlenme süresi, AF PV sistemi kayıp faktörü (invertör vb. Maks. 0,70) ve E alt sistem verimidir (Maks. 0.40).

3.5 no'lu eşitlikte kullanılan günlük maksimum güneşlenme süresi (t_g) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır;

$$t_g = \frac{\bar{I}_K}{G_{maks}} \quad (3.6)$$

Burada; G_{maks} maksimum ışınım şiddetidir ve değeri 1000 W/m^2 ya da 1 kW/m^2 'dir.

3.2.4. PV panel sayısının hesaplanması

Panel sisteminin kurulu gücü hesaplandıktan sonra aşağı bağıntı ile gerekli panel sayısı hesaplanmıştır;

$$n = \frac{N_{PV}}{n_{PV}} \quad (3.7)$$

Burada; n gerekli PV panel sayısı ve n_{PV} (kW) bir panelin nominal gücüdür.

3.2.5. Kurulan PV panel sisteminin performansının saptanması

Gerekli teorik hesaplamalar yapıldıktan sonra sulama amaçlı kurulan PV panel sisteminin performansını saptamak amacıyla, sulamanın etkin olarak yapıldığı Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında birer hafta pompanın bastığı günlük su miktarları ölçülmüştür. Ölçüm işlemi pompa çıkışına konulan bir su saatiyle yapılmıştır. Ölçülen su debilerinin ortalamaları, sistemin teorik kapasitesiyle karşılaştırılmıştır.

3.2.6. Verilerin değerlendirilmesi

Bölgeye ait güneşlenme verilerinin değerlendirilmesi, panel yüzeyine gelen ışınım enerjisi miktarının hesaplanması ve karşılaştırmalar Excel'de hazırlanan hesap tablolarıyla yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. PV sisteminin kurulduğu bölgedeki güneşlenme verileri

Uzun yıllar ortalaması olarak meteorolojik kaynaklardan alınan ortalama günlük güneş ışınım miktarları ve 3.3 no'lu eşitlik yardımıyla hesaplanan bulutluluk indeksi değerleri (\bar{K}_T) Çizelge 4.1'de görülmektedir. Atmosferin dış yüzeyine gelen ortalama ışınım miktarı (\bar{I}_0) ve yeryüzüne ulaşan toplam ışınım miktarı (\bar{I}) Çizelge 4.1'de (kWh/m².gün) olarak verilmiştir. Yeryüzüne ulaşan toplam ışınım miktarı ve bulutluluk indeksi değerleri yaz aylarında daha yüksek olmuştur.

Çizelge 4.1. Bölgenin güneşlenme verileri

Aylar	\bar{I}_0	\bar{I}	\bar{K}_T	\bar{R}_b
Ocak	4,06	1,50	0,37	2,320
Şubat	5,54	2,24	0,40	1,830
Mart	7,50	3,22	0,43	1,402
Nisan	9,54	4,46	0,47	1,076
Mayıs	11,01	5,61	0,51	0,886
Haziran	11,61	5,97	0,51	0,812
Temmuz	11,29	5,80	0,51	0,844
Ağustos	10,11	5,33	0,53	0,988
Eylül	8,22	4,14	0,50	1,259
Ekim	6,11	2,82	0,46	1,673
Kasım	4,41	1,69	0,38	2,173
Aralık	3,66	1,20	0,33	2,492

4.2. Panel yüzeyine gelen günlük ortalama ışınım miktarları

Panel yüzeyine gelen günlük ortalama ışınım miktarları Çizelge 4.1'den sağlanan verilerden yararlanarak hesaplanmıştır ve Çizelge 4.2'de verilmiştir. Performans ölçümlerinin yapıldığı Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında PV panel yüzeyine ortalama 4,98 (kWh/m².gün) güneş ışınım enerjisi gelmektedir. En yüksek ortalama ışınım miktarı 5,166 kWh/m².gün ile Ağustos ayında gerçekleşirken, en az ışınım miktarı 1,860 kWh/m².gün ile Aralık ayında gerçekleşmiştir. Yaygın (difüz)

ışınım miktarı (\bar{I}_y) kış aylarında direk ışınım miktarlarından (\bar{I}_d) daha fazla olurken, yaz aylarında bunun tersi olmuştur.

Çizelge 4.2. PV panel yüzeyine gelen ışınım miktarları

Aylar	\bar{I}_y	\bar{I}_d	\bar{I}_K
Ocak	0,811	0,689	2,350
Şubat	1,112	1,128	3,099
Mart	1,614	1,606	3,752
Nisan	2,057	2,403	4,507
Mayıs	2,356	3,254	5,096
Haziran	2,481	3,489	5,162
Temmuz	2,414	3,386	5,125
Ağustos	2,149	3,181	5,166
Eylül	1,763	2,377	4,647
Ekim	1,318	1,502	3,742
Kasım	0,882	0,808	2,574
Aralık	0,720	0,480	1,860

4.3. Su çıkartmak için gerekli enerji miktarı

Sulama amaçlı PV sisteminin kullanıldığı işletmede günlük 35 m³ su ihtiyacı ve 40 mSS manometrik yükseklik verilerine göre günlük enerji gereksinimi 3.4 no'lu eşitlik yardımıyla 3.82 kWh/m².gün olarak hesaplanmıştır.

4.4. PV sistem kapasitesi

Sulama işlemlerinin yapıldığı Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında panel yüzeyine ulaşan ortalama enerji miktarı 4,98 (kWh/m².gün) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2). Bu değer yardımıyla 3.5 no'lu eşitlik kullanılmış ve PV sisteminin kurulu gücü 2,74 kW olarak hesaplanmıştır. Sistemde kullanılan bir PV panelinin nominal gücü 0.28 kW olduğundan panel sayısı 3.7 no'lu eşitlik yardımıyla 9,79 (yaklaşık 10 adet) hesaplanmıştır.

Teorik hesaplamalardan sonra sulama yapılacak işletmede 10 adet seri bağlanmış toplam kurulu gücü 2,8 kW olan panel sistemi kurulmuştur.

4.5. PV sisteminin performansı

PV sistemi kurulduktan sonra sulama yapılan Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında art arda 5'şer gün su çıkartma potansiyelleri ölçülmüş ve Çizelge 4.3'de verilmiştir. Temmuz ayında ortalama kapasite kullanım oranı %102,8, Ağustos ayında %91,8 ve Eylül ayında %77,5 olmuştur. Sulamanın yoğun olarak yapıldığı Temmuz ve Ağustos aylarında kurulan PV sistemi gerekli su ihtiyacının hemen hemen tamamını karşılamaktadır. Ancak, Eylül ayında kapasite kullanım oranı daha düşük olmuştur.

Çizelge 4.3. PV sulama sisteminin performansı

Aylar	Ölçüm No	Debi (m ³ /gün)	Gerçekleşme oranı (%)
	1	35,27	100,8
	2	34,61	98,9
Temmuz	3	35,97	102,8
	4	36,32	103,8
	5	37,38	107,9
Ortalama		35,99	102,8
	1	37,10	106,0
	2	35,82	102,3
Ağustos	3	25,701	73,4
	4	31,56	90,2
	5	30,49	87,1
Ortalama		32,13	91,8
	1	27,03	77,2
	2	26,45	75,6
Eylül	3	28,17	80,5
	4	27,10	77,4
	5	26,79	76,5
Ortalama		27,11	77,5

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sulama amacıyla güneş enerjisinden yararlanarak kurulan PV sisteminin kapasitesinin belirlendiği bu çalışmada, sulamanın yoğun olarak yapıldığı Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarının ortalama güneşlenme verileri kullanılmıştır. Kurulan PV sisteminin bu üç aylık süreçte kapasite kullanım oranı ortalama %90,7 olmuştur. Işınım şiddetinin düşük olduğu Eylül ayına göre hesaplama yapılması durumunda kapasite kullanım oranı %100'ün üzerinde olacaktır, ancak bu durum sistemde kullanılan PV panel sayısı ve maliyetin de artmasına neden olacaktır. Kurulan PV sisteminin sulama ihtiyacını karşılamak için yeterli olduğunu söylemek mümkündür.

Araştırmanın sonucunda bölgede güneş enerjisinden sulama amacıyla yararlanmanın başarılı bir şekilde uygulanabileceği görülmüştür. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden başta sulama olmak üzere tarımsal alanda enerji gereksiniminin karşılanması amacıyla yararlanılması, üreticilerin ve ülkemizin ekonomisine katkı sağlayacağı gibi, olumlu çevresel etkileri nedeniyle teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] M. Köksal, “Güneş enerjisiyle su pompalama üzerine bir araştırma,” Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana., 2012.
- [2] Ş. Yılmaz, H. Özçalık, B. Gedik, and C. Karapınar, “Kahramanmaraş Şartlarında Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sisteminin Ekonomik Analizi,” in *12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu*, Tekirdağ, 2014, pp. 15–20.
- [3] B. Kayışoğlu and B. Diken, “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kullanımının Mevcut Durumu ve Sorunları,” *Journal of Agricultural Machinery Science*, vol. 15, no. 2, pp. 61–65, 2019.
- [4] B. Yeşilata and A. Aktacir, “Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması,” *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, vol. 42, no. 413, pp. 29–34, 2001.
- [5] B. Kayışoğlu, *Güneş enerjisi sistemleri tasarımı*. Tekirdağ Namık Kemal Ün. Ziraat Fak. Ders Notu, 2019, p. 120.
- [6] M. Gençoğlu, M. Cebeci, and M. Güneş, “Güneş Enerjisi ile Çalışan PLC Kontrollü Su Pompası Sistem Tasarımı,” in *III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Cilt I*, İstanbul, 2000, pp. 207–215.
- [7] J. Bione, O. Vilela, and N. Fraidenraich, “Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators,” *Solar Energy*, vol. 76, pp. 703–711, 2004.
- [8] B. Yeşilata, M. Aydın, and Y. Işıker, “Küçük Ölçekli Bir PV Su Pompalama Sisteminin Deneysel Analizi,” *Makine Mühendisliği Dergisi*, vol. 553, pp. 31–38, 2006.
- [9] L. Kelley, E. Gilbertson, A. Sheikh, S. Eppinger, and S. Dubowsky, “On the feasibility of solar-powered irrigation,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 669–2682, 2010.
- [10] H. Öztürk, “Güneş pili ile çalışan tarımsal sulama sistemleri için tasarım ölçütlerinin belirlenmesi,” in *4. Gün.En. Sis. Semp. ve Ser. Bild. Kitabı*, Mersin, 2009, pp. 58–73.
- [11] L. Qoaidar and D. Steinbrecht, “Photovoltaic systems: A cost competitive option to supply energy to off-grid agricultural communities in arid regions,” *Applied Energy*, vol. 87, no. 2, pp. 427–435, 2010.
- [12] Ü. Atay, Y. Işıker, and B. Yeşilata, “Güneş Enerjili Damla Sulama Sistemi Arazi Performansının Deneysel Değerlendirilmesi,” *Mühendis ve Makine Dergisi*, vol. 53, no. 634, pp. 15–20, 2011.

- [13] A. Öztürk and M. Dursun, “2,10 ve 20 KVA’lık Fotovoltaik Sistem Tasarımı,” in *6th International Advanced Technologies Symposium (LAST’11)*, Elazığ, 2011, pp. 21–28.
- [14] A. Mokeddem, A. Midoun, D. Said Hiadsi, and I. Raja, “Performance of a directly-coupled PV water pumping system. Energy Conversion and Management,” *Energy Conversion and Management*, vol. 52, no. 10, pp. 3089–3095, 2011.
- [15] R. Şenol, “Tarımsal Sulama ve Güneş Enerjisi,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 27, no. 3, pp. 519–526, 2012.
- [16] M. Benghanem, K. Daffallah, A. Joraid, S. Alamri, and A. Jaber, “Performances of solar water pumping system using helical pump for a deep well: A case study for Madinah, Saudi Arabia,” *Energy Conversion and Management*, vol. 65, pp. 50–56, 2013.
- [17] M. Atmaca, G. Yusufoglu, and A. Kurtulus, “Güneş Enerjili Sulamanın Tarım Sektöründe Uygulaması,” *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 3, no. 2, pp. 142–153, 2014.
- [18] Y. Gökalp, “Güneş Enerjisinden Yararlanarak Santrifüj Pompa ile Su Pompalama Üzerine Bir Araştırma,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Adana., 2014.
- [19] E. Gençoğlu, “Güneş Pili İle Çalışan Bir Su Pompalama Sisteminin Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, 2015.
- [20] A. Dünder, “Sulama Pompaj Tesisinde Gerek Duyulan Elektrik Enerjisinin Güneş Pilleri ile Elde Edilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, K.Maraş, 2016.
- [21] V. Peren, “Fotovoltaik Su Pompalama Sistemi Tasarımı ve Modellenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 2016.
- [22] M. Çetinçalı, “Düzce ili Şartlarında güneş enerjisi ile akıllı tarımsal sulama uygulaması,” Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce, 2017.
- [23] A. Topuz, B. Erdoğan, and G. . Taşkaya, “Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin Modellenmesi,” *Karaelmas Fen ve Müh. Dergisi*, vol. 7, no. 2, pp. 356–363, 2017.
- [24] S. Wazed, B. Hughes, D. O’Connor, and J. Calautit, “A review of sustainable solar irrigation systems for Sub-Saharan Africa,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1206–1225, 2018.
- [25] A. Yılmaz, “Fotovoltaik Sistem ve Damla Sulama Yöntemiyle Sulanan Fındıkta Sulama Uygulamalarının Verim ve Verim Bileşenlerine Etkisi,” Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Ordu, 2019.

- [26] H. Demirbaş, “Güneş Enerjili Otomatik Bitki Sulama Sistemi,” Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Muğla, 2021.
- [27] G. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, 1st ed. New Jersey: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004, p. 654.
- [28] D. G. Erbs, S. A. Klein, and J. A. Duffie, “Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation,” *Solar Energy*, vol. 28, no. 4, pp. 293–302, Jan. 1982.
- [29] M. Aligah, “Design of Phovoltaic Water Pumping System and Compare it with Diesel Powered Pump,” *JJMIE*, vol. 5, no. 3, pp. 273–280, 2011.

