

**FOTOVOLTAİK ETKİ İLE ÇALIŞAN GÜNEŞ ENERJİLİ SULAMA SİSTEMİNİN
MODELLENMESİ**

Güneyhan TAŞKAYA

**Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

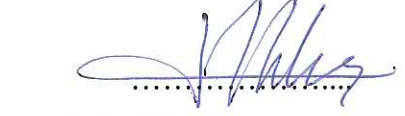
ZONGULDAK

Haziran 2015

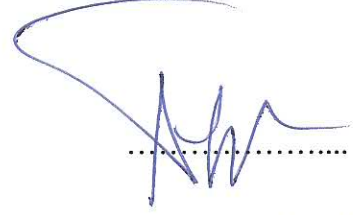
KABUL:

Güneyhan TAŞAKAYA tarafından hazırlanan “FOTOVOLTAİK ETKİ İLE ÇALIŞAN GÜNEŞ ENERJİLİ SULAMA SİSTEMİNİN MODELLENMESİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
29/06/2015

Başkan: Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ
Bülent Ecevit Üniversitesi



Üye : Doç. Dr. Adnan TOPUZ
Bülent Ecevit Üniversitesi



Üye : Doç. Dr. H. Alper ÖZYİĞİT
Bülent Ecevit Üniversitesi



ONAY:

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum. 3./7/2015



Prof. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Güneyhan TAŞKAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK ETKİ İLE ÇALIŞAN GÜNEŞ ENERJİLİ SULAMA SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Güneyhan TAŞKAYA

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Adnan TOPUZ

Haziran 2015, 75 Sayfa

Bu çalışmada Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin tasarım parametreleri araştırılmış ve bilgisayar ortamında modellenmesi yapılmıştır.

Bu amaçla, İç Anadolu Bölgesi'nin güneş enerjisi potansiyeli hesaplanmış ve bölgede özellikle de Niğde ilinde oldukça yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Bu potansiyelden yararlanmak üzere Niğde'de teorik olarak kurulan örnek bir pompaj tesisinin elektrik ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik sistemin kurulu gücü hesaplanmış, aynı hesaplamalar modelleme programına da yaptırılarak benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar değerlendirilerek Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin tasarımını oldukça pratik hale getiren bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiş ve geliştirilen yazılımının yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına katkısı açısından önemi vurgulanmıştır.

ÖZET (devam ediyor)

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Güneş Enerjisi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları.

Bilim Kodu: 625.05.00

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

MODELING AND EMPLOYEES SOLAR PHOTOVOLTAIC EFFECT OF THE IRRIGATION SYSTEM

Güneyhan TAŞKAYA

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Adnan TOPUZ

June 2015, 75 pages

In this study the design parameters of solar powered irrigation system that operates with photovoltaic effect have been researched and patterned in computer programming.

For this purpose, the potential of solar power in the Central Anatolia region has been calculated and it has been determined that there is a high potential of solar power in the region, particularly in Niğde. In order to benefit from this potential, installed power of photovoltaic system which will provide the required electricity of a sample pumping facility established by theory in Niğde has been calculated, and similar results have been obtained upon making the same calculations in the modelling programme. By assessing the outputs, a computer software, which renders the design of solar powered irrigation system that operates with photovoltaic effect quite practical, has been developed and the significance of the developed computer software in terms of its contribution to the utilization of renewable energy.

ABSTRACT (Continued)

Key Words: Photovoltaic, Solar Energy, Renewable Energy Sources.

Science Code: 625.05.00

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana “Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin Modellenmesi” konulu yüksek lisans tezini veren yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Adnan TOPUZ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım boyunca engin bilgi ve deneyimlerini paylaşarak yol gösterici olan değerli hocam Sayın Arş. Gör. Beytullah ERDOĞAN’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı’na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans ve lisans öğrenimim boyunca, idealist eğitim anlayışlarıyla daima kendime örnek aldığım tüm değerli Makine Mühendisliği bölüm hocalarıma, özellikle Sayın Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ, Sayın Doç. Dr. H. Alper ÖZYİĞİT ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa EĞRİBOYUN’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tanıştığımız günden beri, sevgileri katlanarak çoğalan ve bana benden çok inanan sevgili dostlarım Hitay YURTOĞLU ve Sümran MERKAN’a paha biçilmez dostlukları ve tez çalışmama verdikleri destekten dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doğduğum günden beri hiçbir fedakarlıktan kaçınmadan beni sabırla bu günlere getiren değerli anne-babam Saadet ve İbrahim ÖZDEMİR’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın gerçekleşmesinde bana sabırla yardımcı olan ve yol gösteren sevgili eşim Kerem TAŞKAYA’ya ve zaman zaman kitaplarımın üstünde sessizce uykuya dalarak fedakarlık gösteren biricik kızım Doğa TAŞKAYA’ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 ENERJİ KAVRAMI VE ENERJİ KAYNAKLARI	2
1.1.1 Dünya’ da ve Türkiye’ de Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	3
1.1.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi	5
1.2 GÜNEŞ ENERJİLİ SULAMA (GES) SİSTEMLERİ.....	8
1.2.1 Güneş Enerji İle Su Pompalama Yöntemleri	9
1.2.1.1 Güneş Enerjisi ile Su Pompalamada Fotovoltaik Yöntemi.....	10
1.3 GÜNEŞ ENERJİLİ SULAMA SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ	11
1.4 FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİSİ.....	13
1.4.1 Güneş Paneli	13
1.4.2 Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler.....	14
1.4.3 Fotovoltaik Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları	15
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	17
BÖLÜM 3 MATERYAL VE METOD.....	25

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.1 MATERYAL.....	25
3.1.1 Fotovoltaik Sistem Elemanları.....	25
3.1.2 Fotovoltaik Sulama Yapılacak İl ve Özellikleri.....	26
3.2 METOD.....	27
3.2.1 Fotovoltaik Sistem Tasarımı.....	27
3.2.1.1 Günlük Su İhtiyacı.....	27
3.2.1.2 Birim Ağırlıktaki Suyun Enerji İhtiyacı.....	28
3.2.1.3 Pompa Çıkış Gücü.....	31
3.2.1.4 Pompa Motor Gücü.....	32
3.2.1.5 Ekonomik Boru Çapı.....	32
3.2.1.6 Işınım Şiddeti.....	33
3.2.1.7 Fotovoltaik Sistem Gücü.....	34
3.2.1.8 Akü ve Şarj Regülatörü Kapasiteleri.....	35
3.2.1.9 Panel Sayısı ve Bağlantı Şekli.....	36
3.2.1.10 GES Sistem Verimi.....	36
3.2.2. MATLAB® Modellemesi.....	37
BÖLÜM 4 BULGULAR VE YORUMLAR.....	39
4.1 BULGULAR.....	39
4.1.1 Günlük Su İhtiyacı.....	39
4.1.2 Birim Ağırlıktaki Suyun Enerji İhtiyacı (Toplam Manometrik Yükseklik).....	39
4.1.3 Pompa Çıkış Gücü.....	41
4.1.4 Pompa Motor Gücü.....	41
4.1.5 Ekonomik Boru Çapı.....	41
4.1.6 Işınım Şiddeti.....	42
4.1.7 Fotovoltaik Sistem Gücü.....	44
4.1.8 Akü ve Şarj Regülatörü Kapasiteleri.....	45
4.1.9 Panel Sayısı ve Bağlantı Şekli.....	45
4.1.10 GES Sistem Verimi.....	46

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.1.11 GES Sistem Kurulum Maliyeti	46
4.1.12 GES Sisteminin MATLAB® ile Modellenmesi	48
4.2 YORUMLAR	53
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
5.1 SONUÇ.....	59
5.2 ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR.....	63
EK AÇIKLAMALAR A POMPA TEKNİK ÖZELLİKLERİ.....	67
EK AÇIKLAMALAR B PANEL TEKNİK ÖZELLİKLERİ.....	71
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası.....	7
1.2 Türkiye güneşlenme süreleri.....	7
1.3 Türkiye global radyasyon değerleri.....	8
1.4 Güneş enerjisiyle su pompalama yöntemleri.....	9
1.5 Aküsüz düzenleme.....	10
1.6 Akülü düzenleme.....	10
1.7 Akü ve dönüştürücülü düzenleme.....	11
1.8 Doğrudan bağlantılı PV su pompalama sisteminin başlıca bileşenleri ve enerji dönüşümü.....	12
1.9 Güneş enerjili sulama sistemi.....	12
1.10 Güneş pili, güneş modülü ve güneş paneli görünümleri.....	13
3.1 PV Sulama sistem elemanları.....	25
3.2 Fotovoltaik sistemde yükseklikler.....	28
3.3 Matlab' da herhangi bir uygulama.....	38
4.1 STM' nin boru iç çaplarına göre değişimi.....	49
4.2 Fotovoltaik sistem gücünün geometrik yükseklik ve günlük su ihtiyacına göre değişim grafiği.....	54
4.3 Güneş enerjili (GES) ve şebekeli (ŞS) sulama sistemi maliyetlerinin yıllar içindeki durumu.....	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.	3
1.2 Ülkeler bazında yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları	4
1.3 Türkiye birincil enerji kaynakları üretim ve tüketimi.....	5
1.4 Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli.....	6
1.5 Tiplerine göre en yüksek hücre verimleri	14
3.1 Bazı boru malzemelerinin pürüzlülük katsayıları.....	30
3.2 Boru bağlantı malzemelerinin kayıp katsayıları	30
3.3 Farklı derinlik ve pompaj uygulamalarında GES verimi.....	37
4.1 Ekonomik boru çapı analizi.....	42
4.2 İAB' nin güneş enerjisi potansiyeli.....	43
4.3 İAB' nin günlük toplam güneşlenme süresi	44
4.4 İAB' nin günlük ortalama sıcaklığı.....	44
4.5 Güneş enerjili sulama sisteminin kurulum maliyeti.....	47
4.6 Şebekeli sulama sisteminin maliyet analizi.....	47
4.7 Muhtelif günlük su ihtiyaçları ve manometrik yükseklikler için hesaplanan parametreler.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

H_m	: Birim ağırlıktaki suya verilen enerji
H_g	: Geometrik yükseklik
H_{dk}	: Düz boru kayıpları
H_{yk}	: Lokal kayıplar
f	: Boru sürtünme katsayısı
L	: Toplam boru uzunluğu
D_e	: Ekonomik boru çapı
V	: Hız
g	: Yer çekimi ivmesi
Q	: Pompa debisi
ν	: Suyun kinematik vizkositesi
$P_{pç}$: Pompa çıkış gücü
ρ	: Sulama suyunun yoğunluğu
ε	: Boru pürüzlülük katsayısı
K	: Boru bağlantı malzemesi kayıp katsayısı
P_m	: Elektrik motorunun gücü
α	: Emniyet faktörü
$S. E. M$: Senelik elektrik masrafı
T	: Pompanın günlük çalışma süresi
$E_{\ddot{u}}$: Elektrik ücreti
$S. S. M$: Senelik sabit masraf
K_f	: Kayıp faktörü
$B_{\ddot{u}}$: Boru birim boy ücreti
n	: Borunun kullanım süresi
i	: Boru birim boydaki fiyat artış yüzdesi
$S. T. S. M$: Senelik toplam sabit masraf

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

L	: Toplam boru uzunluğu
P_{PV}	: PV sistem gücü
I	: Işınım şiddeti
G_r	: Maximum ışınlanma (1000 W/m^2)
η_r	: Standart test koşullarındaki (1000 W/m^2 , 25°C) hücre verimi
A	: Toplam PV alanı
F_m	: Tesis kurulum kayıp faktörü
φ	: Hücre sıcaklık faktörü
T_c	: Günlük ortalama sıcaklık
T_r	: Standart test koşullarındaki sıcaklık
$AKAP$: Akü kapasitesi
$GEİ$: Günlük enerji ihtiyacı
AK	: Akü kayıpları
AV	: Akü voltajı
\mathcal{C}	: Şarj regülatörünün kapasitesi
GGS	: Günlük güneşlenme süresi

KISALTMALAR

GES	: Güneş enerjili sulama sistemi
PV	: Fotovoltaik
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İşletim A.Ş.
Mtep	: Mega Ton Eşdeğer Petrol
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
GEPA	: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
İAB	: İç Anadolu Bölgesi
KOSGEB	: Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Su, dünyadaki tüm canlılar için temel besin kaynağıdır. Dünyamızın ve vücudumuzun üçte ikisinin su olması, suyun canlı yaşamı için önemini vurgular niteliktedir. Sulama, yeryüzündeki bitkilerin normal gelişimini sürdürebilmek için ihtiyaç duydukları ve doğal yolla karşılanamayan suyun, doğru zaman ve miktarda bitki köklerine ulaştırılmasıdır.

Geçmişten günümüze kadar minimum güç sarf ederek su pompalayabilmek için pek çok yöntem geliştirilmiş, insan ve hayvan gücü, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve fosil yakıtlar gibi oldukça farklı güç kaynaklarından yararlanılmıştır. Yurdumuzun bazı bölgelerinin kurak ve yarı kurak iklim kuşağında olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu bölgelerde yetişen bitkilerin, yeterli yağış alamamaları durumunda verimin ve kalitenin maksimum olabilmesi için en uygun yöntemle sulanması gerekir. Ayrıca son yıllarda nüfusun hızla artması, artan nüfusa karşılık gelen enerjinin mevcut enerji kaynaklarından yeterli miktarda sağlanamaması ve özellikle tüm dünya ülkelerinin enerji yönünden dışa bağımlı olmamak, kendi enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yeni stratejilere yönelmesi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının araştırılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Güneş enerjisi en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Tarımsal sulamada güneş enerjisinden yararlanılması halinde, toplam üretim masrafları içerisinde en büyük paya sahip olan sulama masrafları azalacak dolayısıyla üretim maliyeti de azalacaktır.

Türkiye’de ve Dünyada güneş enerjisi, enerji ihtiyacının büyük çoğunluğunu sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Güneş enerjisi kaynağından yararlanılarak yapılan sulama işleminde kullanılan sisteme güneş enerjili sulama (GES) sistemi denir. GES sistemleri günlük bakım istemezler ve güneşin bol olduğu herhangi bir yerde kolayca kurulabilirler. Bu sistemlerin ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına karşın, yakıt ve bakım masrafı olmadığı için kısa sürede kendini amorti ederek ekonomik hale gelirler. Tarımsal sulama uygulamalarında suya

maksimum ihtiyaç duyulan zaman güneş ışınımının en yoğun olduğu zamandır. Bu durum GES sistemleri için avantaj sağlarken, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve GES sistem veriminin geçerli hava koşullarına göre değışiklik göstermesi bu sistemlerin en büyük dezavantajını oluşturur. Bunun yanı sıra, sistemin kurulumu sırasında oluşan gürültü kirliliği ve kurulduğu yerde kapladığı alan da sistemin çevreye verdiği olumsuz etkiler arasında gösterilebilir. Ancak GES sistemlerinin yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre çevreye çok daha az olumsuz etki verdiği bilinen bir gerçek olduğundan yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre çok daha fazla tercih edilmelidir.

1.1 ENERJİ KAVRAMI VE ENERJİ KAYNAKLARI

Günlük hayatımızın her aşamasında kullanılabilen enerji, genel olarak bir sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Doğada enerji, termal (ısı), kimyasal, mekanik (kinetik ve potansiyel), nükleer, hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, elektrik enerjisi gibi farklı şekillerde bulunmakta ve uygun yöntemler kullanılarak birbirlerine çevrilebilmektedirler.

Ekonomik olarak farklı yöntemlerle enerji elde edilen kaynaklara enerji kaynakları denir ve kullanılışlarına göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları olarak iki bölüme ayrılır. Yakın gelecekte tükenme tehlikesi olan yenilenemeyen enerji kaynakları, kendi içinde çekirdek kaynaklı ve fosil kaynaklı olarak sınıflandırılır. Enerji kaynakları dönüştürülebilir olmaları bakımından, birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları olarak iki grupta incelenir (Çizelge 1.1). Herhangi bir dönüşüm veya değışim geçirmeyen kömür, petrol, nükleer, biokütle, rüzgâr, güneş, deniz-dalga, hidrolik ve doğalgaz enerjileri birincil enerji kaynaklarından olup, birincil enerjinin dönüştürülmesi ile elde edilen hava gazı, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), ikincil kömür, elektrik, benzin, mazot, kok, petrokok ve motorin, gibi enerjiler ise ikincil enerji kaynaklarıdır.

Çizelge 1.1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.

ENERJİ KAYNAKLARI				
KULLANILIŞLARINA GÖRE			DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİRLİKLERİNE GÖRE	
YENİLENEBİLİR	YENİLENEMEYEN		BİRİNCİL	İKİNCİL
	ÇEKİRDEK	FOSİL		
Rüzgâr	Uranyum	Kömür	Kömür	Elektrik
Güneş	Titanyum	Petrol	Petrol	Mazot
Dalga		Doğalgaz	Doğalgaz	Benzin
Biokütle			Nükleer	Motorin
Jeotermal			Biokütle	İkincil Kömür
Hidrojen			Hidrolik	Kok
Hidrolik			Rüzgâr	Petrokok
			Güneş	Havagazı
			Deniz-dalga	LPG

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başlıca olanları rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, Dalga enerjisi, biokütle enerjisi, jeotermal enerji, hidrojen enerjisi, hidrolik enerjisidir.

1.1.1 Dünya’da ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Bütün ülkelerin en önemli sorunlarından biri olan enerji ihtiyacı pek çok nedenden dolayı giderek artmış ve bu sorun ülkelerin şahsi problemi olmaktan çıkıp küresel bir sorun haline gelmiştir. Bu nedenle özellikle 1973 yılında yaşanan petrol krizinin ardından araştırmacılar yeni enerji kaynakları arayışına girmişler ve doğada sonsuz ve temiz olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelerek bu kaynaklara daha çok önem vermişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınırsız, ekonomik ve çevre dostu olmaları, modern ülkelerin bu kaynaklara yatırım yapmalarını sağlamış ve teknolojilerinin hızla gelişmesine yardımcı olmuştur.

Dünya’nın ve Türkiye’nin enerji gündeminde önemini asla kaybetmeyen iklim değişikliği ve küresel ısınma konularındaki hassasiyetin her geçen gün artmasıyla birlikte yenilenebilir enerji konusundaki çalışmalar da hız kazanmaktadır. Bu çalışmaların merkezindeki yatırım ve yatırımcı hareketlerini incelemeye alan Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), “Yenilenebilir Enerji Yatırımında Küresel Trendler 2014” adlı raporu kamuoyuna sunmuştur.

Bu rapora göre 2013 yılında yenilenebilir enerji sistemlerine yapılan küresel yatırım 2012 yılına göre %14 oranında azalmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle %28, güneş enerjisi %20 ve rüzgâr enerjisi %1 oranında gerilemiştir. Bütün yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en yüksek yatırım jeotermal enerjiye yapılmıştır. Yatırım maliyetlerinin düşüş eğilimi göstermesine rağmen, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik miktarı, küresel güç üretimi payını artırmış, 2012 yılında %7,8 iken 2013 yılı sonunda %8,5 seviyesine ulaşmıştır (UNEP 2014). 2013 yılının yatırım miktarlarına ülkeler bazında bakıldığında Çin'in yenilenebilir enerji kaynaklarına tüm Avrupa'dan daha çok yatırım yaptığı görülmektedir (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2 Ülkeler bazında yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları (Vatansever 2014).

ÜLKELER	YATIRIM (ABD DOLARI)
ÇİN	56 MİLYAR
AVRUPA	48 MİLYAR
ABD	36 MİLYAR
HİNDİSTAN	6 MİLYAR

Ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çeşitliliği bakımından oldukça zengindir. Coğrafi durumu nedeniyle büyük ölçüde güneş alması bakımından da çok şanslı bir ülke olan Türkiye, enerji piyasası giderek gelişen ülkelerden biridir. TEİAŞ 2013 yılı verilerine göre toplam elektrik üretiminin %25'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayan Türkiye, mevzuatta belirtilen yenilikler ile lisanssız elektrik üretiminde kapasiteyi artırmayı hedeflemektedir (TEİAŞ 2015).

Bir ülkenin sosyal ve ekonomik kalkınmasının en önemli girdilerinden biri olan enerjiye talep, çeşitli nedenlerden dolayı her geçen gün hızla artmakta ve bu artış özellikle de gelişmekte olan ülkelerde belirgin olarak kendini göstermektedir. Gelişmekte olan diğer ülkeler gibi Türkiye de enerji talebinin yoğun olduğu bir ülkedir. Ülkemiz enerji yönünden ciddi manada dışa bağımlı bir ülke olup bu bağlamda teknolojisini hızla geliştirip, maliyetleri düşürücü çalışmalara yönelerek, sonsuz ve temiz olan yenilenebilir enerji kaynaklarına gereken yatırımı yapmayı amaç edinmelidir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Resmi internet sitesinde yayınlanan Mavi Kitap 2014 verilerine dayanılarak yapılan analizlere göre 2002 yılında 78,3 Mtep (Mega Ton Eşdeğer Petrol) olan birincil enerji kaynakları tüketimi,

2012 yılında 120,1 Mtep değerine ulaşmıştır. Aynı dönemde birincil enerji kaynakları üretimi ise 31,96 Mtep olmuştur. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarı toplam enerji arzının %10’unu oluşturmaktadır (Çizelge 1.3). Bu verilere göre gelecekteki yıllarda enerji talebinin 2015 yılı için 170,0 Mtep, 2020 yılında ise 222,0 Mtep düzeyine ulaşması öngörülmektedir (ETKB 2014).

Çizelge 1.3 Türkiye birincil enerji kaynakları üretim ve tüketimi (2012).

KAYNAK TÜRÜ	BİRİNCİL ENERJİ ÜRETİM VE TÜKETİMİ (BİN TEP)			
	ÜRETİM	ORAN (%)	TÜKETİM	ORAN (%)
Kömür	16.921	52,9	39.295	24,0
Doğalgaz	632	2,0	31.205	19,1
Petrol	2.375	7,4	44.242	27,0
Hidrolik	4.976	15,6	37.373	22,8
Biyokütle	3.488	10,9	4.238	2,6
Jeotermal ısı	1.463	4,7	247	0,2
Diğer yenilenebilir kaynaklar	2.045	6,5	6.966	4,3
TOPLAM	31.964	100	120.094	100

1.1.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Doğal enerji kaynaklarımızın tümünün kökeni olan güneş, dünyadaki en önemli enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi ısıtma ve elektrik üretme gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Temiz, sınırsız ve çevreci bir enerji kaynağı olup, fosil enerji kaynaklarına göre daha avantajlıdır.

Güneş hidrojen ve helyum gazlarından oluşan orta büyüklükte bir yıldızdır. Dünya ile güneş arasındaki mesafe 150 milyon km’dir. Dünyaya Güneşten gelen enerji dünyada bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır. Sıcaklığı merkeze doğru artar ve 2×10^6 °C’ yi bulur. Yüzey sıcaklığı ise 6000 °C’ dir. Güneşteki bu yüksek sıcaklık nedeni ile elektronlar atom çekirdeklerinden ayrılır. Bu nedenle güneşte atom ve molekül değil serbest elektronlar ve atom çekirdekleri bulunur (Öztürk 2014).

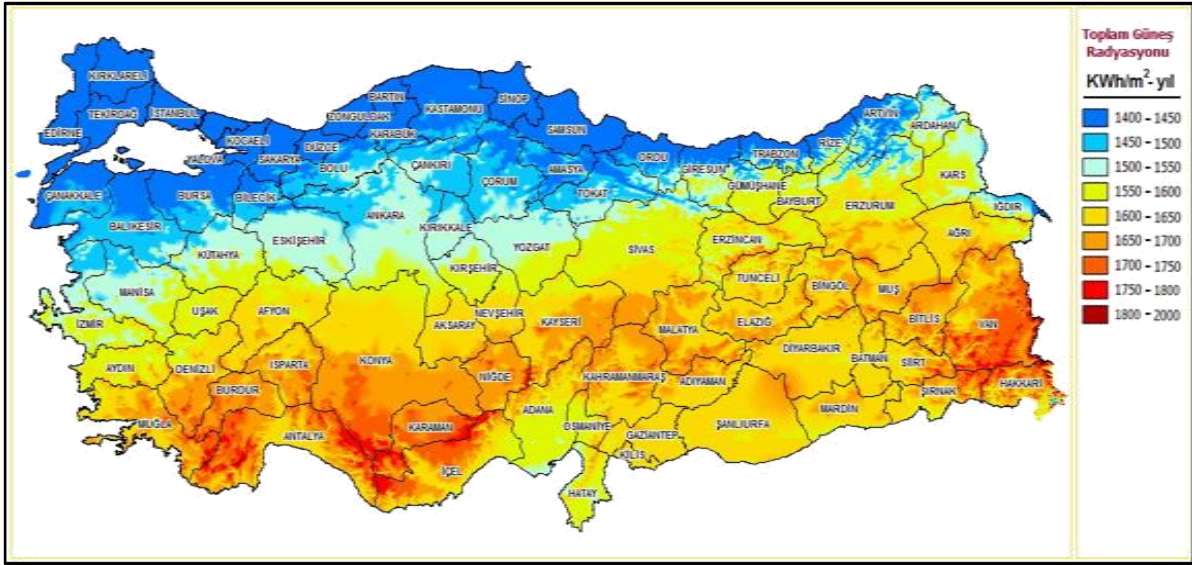
Türkiye’de yenilenebilir enerji kurulu gücü 25.592 MW (mega watt)’ tır. 8,5 MW olan mevcut güneş enerjisi kurulu gücünün 2023 yılında 3000 MW olması hedeflenmektedir (Çizelge 1.4). Ülkemizde hali hazırda kurulmuş olan, çoğu kamu kuruluşlarında olmak üzere küçük güçlerin karşılanması ve araştırma amaçlı kullanılan güneş enerjili elektrik sistemleri 3,5 MW kurulu güce ulaşmıştır (ETKB 2015).

Çizelge 1.4 Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli.

KAYNAK	HİDROLİK	RÜZGÂR	GÜNEŞ	BİYOKÜTLE	JEOTERMAL
Kurulu Güç (MW)	22.289	2.759,6	8,5	224	310,8
Elektrik Üretimi (GWh)	59.420,5	7.557,5	-	1.171,2	1.363,5
Isı (Bin Tep)	-	-	795	-	4,99
2023 Hedefi (MW)	36.000	20.000	3.000	1.500	600
Potansiyel	36.000 MW	48.000 MW	1.527 kWh/m ² . yıl	2.030,7 Milyon Tep	2.000 MW

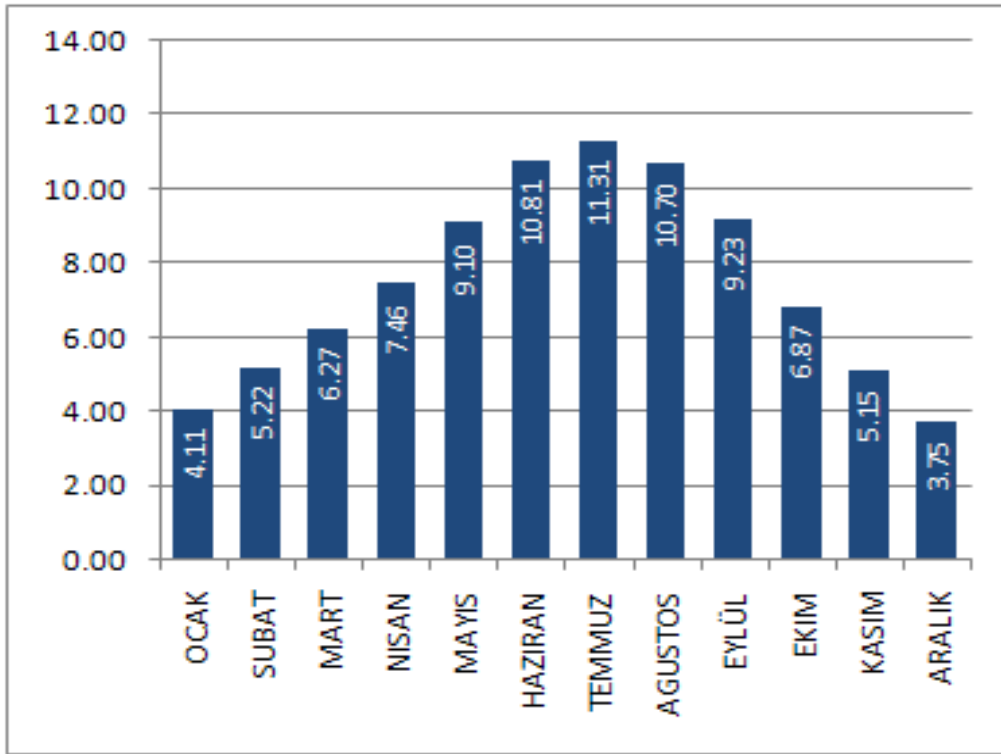
Türkiye 2012 yılı itibari ile toplam kurulu güneş kolektör alanı yaklaşık 18.640.000 m² olarak hesaplanmıştır. Yıllık düzlemsel güneş kolektörü üretimi 1.164.000 m², vakum tüplü kolektör ise 57.600 m² olarak hesap edilmiştir. Üretilen düzlemsel kolektörlerin %50’si, vakum tüplü kolektörlerin tamamı ülke içerisinde kullanıldığı bilinmektedir. 2012 yılında güneş kolektörleri ile yaklaşık olarak 768.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi üretilmiştir. Üretilen ısı enerjisinin, 2012 yılı için konutlarda kullanım miktarı 500.000 TEP, endüstriyel amaçlı kullanım miktarı 268.000 TEP olarak hesaplanmıştır (ETKB 2015).

2010 yılında EİE tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)’ ya göre ülkemizde yaklaşık 56.000 MW termik santral kapasitesine eşdeğer bir güneş enerjisi potansiyeli mevcuttur ve bu potansiyelden yararlanılması halinde yıllık ortalama 380 milyar kWh elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır (Yılmaz 2012). Ülkemiz coğrafi konumu gereği güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça şanslı bir ülkedir (Şekil 1.1).

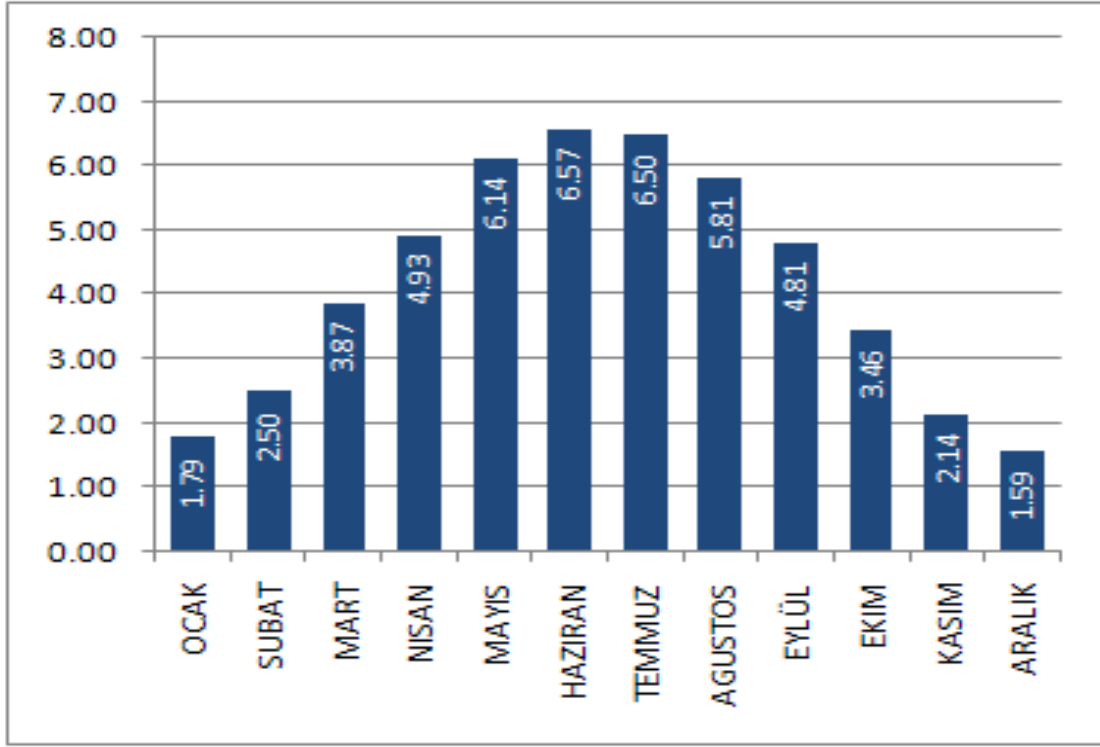


Şekil 1.1 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA).

Yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir (ETKB, 2015). Aylık ortalama güneşlenme süreleri bakımından Temmuz (365 saat), Ağustos (343 saat) ve Haziran ayları (325 saat) potansiyellerinin yüksek olduğu görülür (Şekil 1.2). Aylık ortalama radyasyon değerleri açısından da benzer bir durum söz konusudur (Şekil 1.3).



Şekil 1.2 Türkiye güneşlenme süreleri (saat).



Şekil 1.3 Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m².gün).

1.2 GÜNEŞ ENERJİLİ SULAMA (GES) SİSTEMLERİ

Tüm canlılarda olduğu gibi bitkiler de yaşamlarını sürdürebilmek için suya muhtaçtır. Muhtaç olunan su ise esas olarak topraktan bitki kökleriyle alınır. Alınan suyun bir bölümü terleme ile atmosfere verilirken, kalan kısmı ise fotosentez ve çeşitli bileşiklerin yapımında kullanılır.

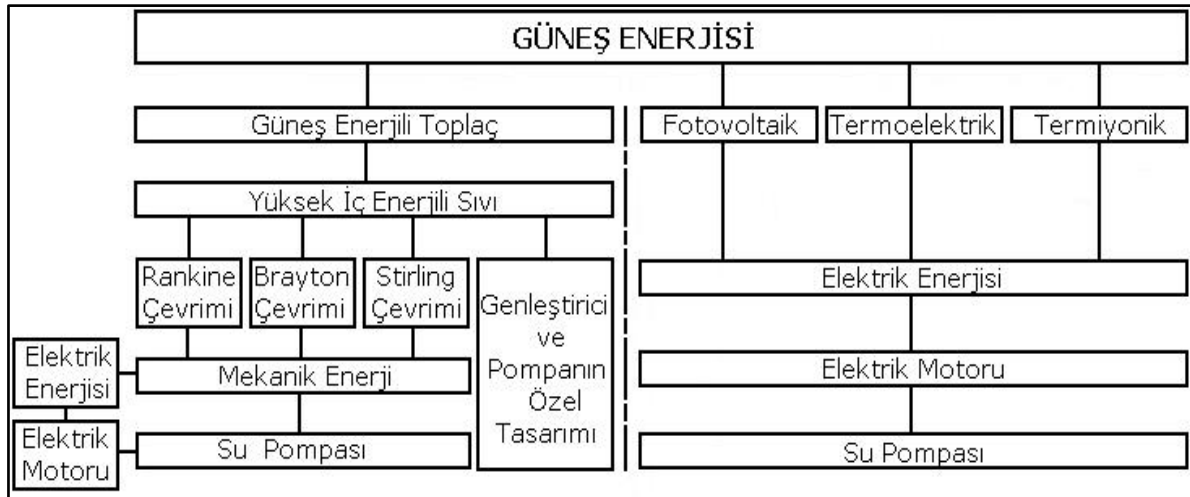
Tarım sektöründe enerji kullanımına ilişkin son gelişmeler, yoğun enerji tüketilen sulama uygulamalarında enerji korunumunda önemli bir yeri olduğunu göstermiştir. Son yıllarda sulama uygulamalarında enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik olarak yapılan araştırmalar; sulama amacıyla yeni ve yenilenebilir 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. Alaşılagelen enerji kaynaklarından elde edilen enerji bedellerinin

yüksek olması nedeniyle, tarımsal sulama amacıyla yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak büyük önem kazanmıştır.

Güneş enerjili sulama sistemleri (GES), özellikle elektriğin ulaştırılmadığı yerlerde su temini ve tarımsal sulama amacıyla tasarlanmaktadır. Özellikle ülkemiz gibi, çok fazla güneş ışınımı alan ülkelerde, (GES) sistemlerinin en ümit vadeden uygulama alanlarından birisi de, belli ürünlerin sulanması için, gereken suyun pompalanması amacıyla güç kaynağı olarak kullanılmalıdır.

1.2.1 Güneş Enerji İle Su Pompalama Yöntemleri

(GES) sistemleri tasarlanırken, sistemin toplam çalıştığı süre içinde pompalama sistemi, hidroloji, güç kaynağı, sulama, kuyu, tarım ve iklim gibi sistemin birer parçası olan tüm bileşenler dikkatlice değerlendirilir. GES sistemlerinde suyu pompalamak için gerekli olan hidrolik enerji, doğrudan dönüşüm veya termodinamik olarak iki farklı yöntem ile elde edilir (Şekil 1.4).



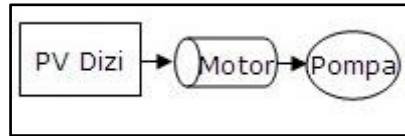
Şekil 1.4 Güneş enerjisiyle su pompalama yöntemleri (Öztürk ve ark. 2011).

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 üretilir. Üretilen elektrik ile DC motoru 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 yöntemlere göre çalışan herhangi bir güneş enerjisi dönüşüm sisteminde, yüksek sıcaklık ve basınçta bir akışkan üretebilmek için değişik özelliklerde güneş toplaçlarından yararlanır. Yüksek basınçtaki bu akışkan, Rankine, Brayton veya Stirling çevrimlerinin herhangi birinde doğrudan ve ikincil bir akışkan kullanılarak dolaylı olarak kullanılabilir. Üretilen mekanik enerji, herhangi bir pompayı çalıştırmak için kullanılabilir (Öztürk ve ark. 2011).

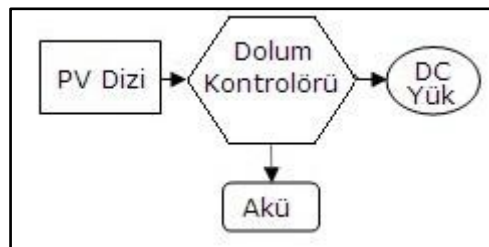
1.2.1.1 Güneş Enerjisi ile Su Pompalamada Fotovoltaik Yöntemi

Bağımsız uygulamalarda yaygın olarak kullanılan fotovoltaik (PV) sistemlerin başlıca uygulama alanları su pompalama uygulamalarıdır. Bu sistemlerde güneş ışığının yoğun olduğu saatlerde su pompalanır. PV etki ile çalışan sulama sistemleri için üç farklı düzenleme mevcuttur. Birinci düzenleme PV dizisi, motor ve pompadan oluşur (Şekil 1.5). Bu düzenlemede güneş ışınımının yoğun olduğu süre boyunca sistem su pompalar. Ancak güneş ışınımının olmadığı veya yetersiz olduğu durumlarda sistem çalışmayı durdurur. Bu sistemler son derece basit ve ucuzdur dolayısıyla bakım masrafları da yoktur.



Şekil 1.5 Aküsüz düzenleme.

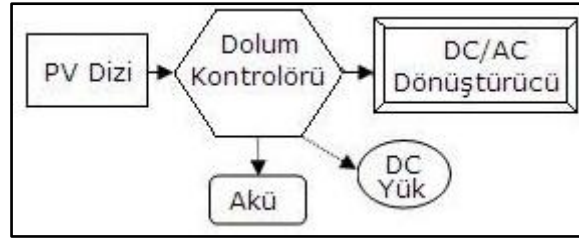
İkinci düzenlemede sisteme akü ile dolun kontrolü ilave edilmiştir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6 Akülü düzenleme.

Güneş ışınımının herhangi bir nedenle yetersiz veya hiç olmaması durumunda akü tarafından önceden depo edilen güç devreye girer ve sistemin çalışması devam eder. Akü bulunan sistemlerde akünün çalışmasını kontrol eden dolun kontrolünün de mutlaka bulunması gerekir. Bu sistemler aküsüz sistemlere göre biraz daha karmaşık ve bakım gereksiniminden ötürü pahalıdır.

Üçüncü düzenlemede ise, elektrik motoru, güç ihtiyacı ve akım şekline bağlı olarak seçilir. Eğer seçilen motor alternatif akım (AC) ile çalışıyor ise, sisteme DC/AC dönüştürücüsü yerleştirilmelidir (Şekil 1.7).

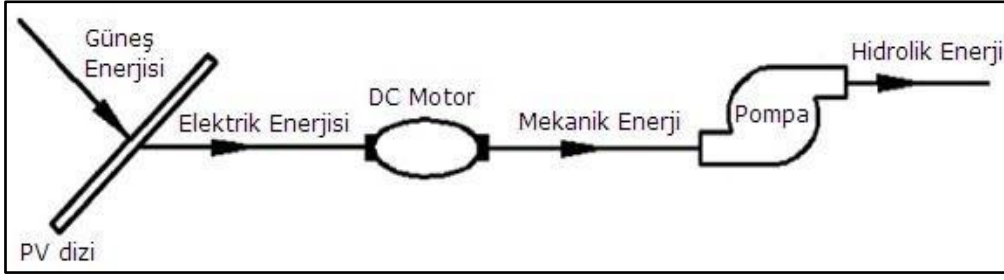


Şekil 1.7 Akü ve dönüştürücülü düzenleme.

Fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sistemleri tasarlanırken, kontrol elemanları, şarj regülatörü ve DC-AC dönüştürücüsü gibi elektrik devre elemanları seçilirken, bu bileşenlerin detaylı analizleri gerekmektedir. Bu bileşenler kullanım yerindeki su kalitesi, ihtiyaç duyulan günlük debi, pompanın statik ve dinamik yükleri ile kullanılma dönemini içine alan aylar ve bu aylardaki global radyasyona göre seçilmelidir.

1.3 GÜNEŞ ENERJİLİ SULAMA SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

GES sistemlerinin çalışma prensibi oldukça basit ve anlaşılırdır. PV panel dizisi doğru akımla (DC) çalışan bir motoru harekete geçirebilecek yeterli elektriksel gücü üretir. Böylece elektrik motoru elektriği mekanik enerjiye çevirerek bir su pompasını harekete geçirir. Mekanik enerji pompa yardımıyla kuyudan suyu çıkarmak için hidrolik enerjiye çevrilir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8 Doğrudan bağlantılı PV su pompalama sisteminin başlıca bileşenleri ve enerji dönüşümü (Yeşilata ve Fıratoğlu 2008).

YEGM tarafından Atatürk Orman Çiftliği'ne küçük ölçekli zirai sulamada kullanılabilecek olan su pompalama sistemi kurulmuş ve 2 yıl işletilmiştir (Şekil 1.9). Bu sistem bir kuyudan 7 m derinliğe daldırılan dalgıç pompa yardımıyla yılda yaklaşık 11.000 m² su pompalayarak şebekeden uzak yerlerde dizel motor pompalarıyla ekonomik olarak rekabet etmiştir.



Şekil 1.9 Güneş enerjili sulama sistemi.

Güneş enerjisi ile sulama sistemlerinin tasarım parametrelerinin araştırılarak modellenmesinin yapıldığı bu çalışmada, doğrusal dönüşüm yöntemleri arasından fotovoltaik etki ile su pompalama yönteminden yararlanılmış ve ikinci düzenleme olan akülü düzenleme kullanılmıştır.

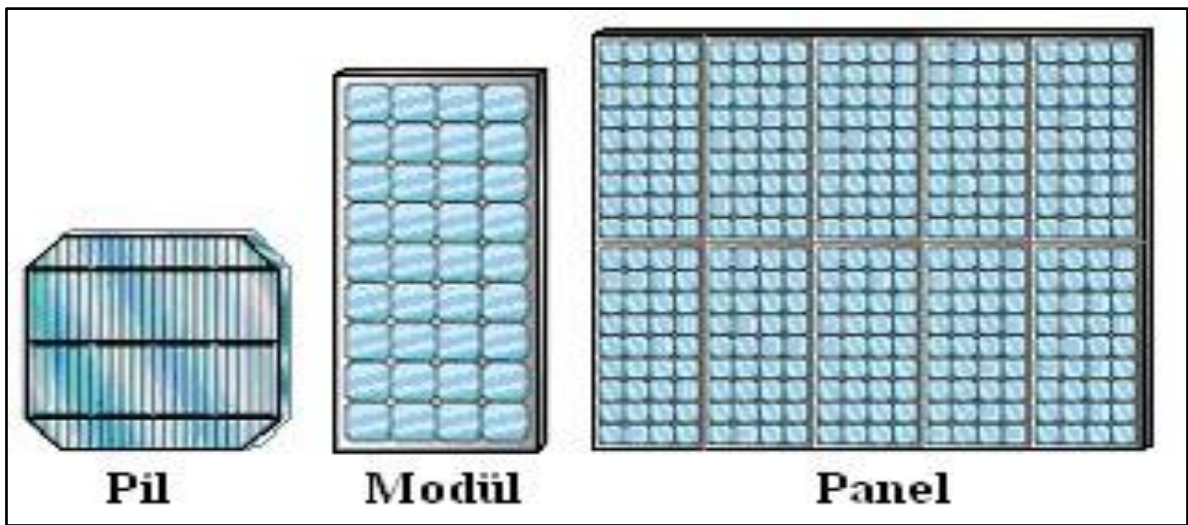
1.4 FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİSİ

1.4.1 Güneş Paneli

Fotovoltaik, görünür veya diğer ışık ışınlarına maruz kaldığında, elektriksel gerilim farkı (voltaj) üretimi yapabilme özelliğidir. “Fotovoltaik” sözcüğü, ışık anlamına gelen “foto” ve elektrik anlamına gelen “voltaik” sözcüklerinin birleşmesi ile oluşturulmuştur. Fotovoltaik teknolojisi, yani güneş enerjisini kullanılabilir güce çeviren donanımları açıklamak için kullanılan terim, ışıktan elektrik üretir.

Fotovoltaik hücreler, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş hücrelerinin yüzey alanları genellikle 100 santimetrekare civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır (YEGM 2015).

Güneş pilleri fotovoltaik prensibe bağlı olarak çalışırlar, üzerlerine güneş ışınları geldiği anda uç kısımlarında elektriklenme oluşmaya başlar. Güneş enerjisi, güneş pillerinin yapısal özelliklerine bağlı olarak %5 ile %30 arasında değişen bir verimle elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Çıkış gücünü artırmak için güneş pillerinin birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir yüzeye monte edilmesiyle oluşan yapıya güneş modülü, güneş modüllerinin aynı yöntemle bir araya getirilmesiyle oluşan yeni yapıya ise güneş paneli denir (Şekil 1.10).



Şekil 1.10 Güneş pili, güneş modülü ve güneş paneli görünüşleri.

1.4.2 Güneş Pillerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yapılabilmekle birlikte en çok tercih edilenlerden biri yarı iletkenlik özelliği taşıyan silisyumdur. Kristal silisyumdan yapılan güneş pilleri daha ucuza mal edilmelerine karşın verimleri de daha düşük olmaktadır.

Galyum arsenit kullanılarak yapılan güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır. Bu pillerin verimleri diğer pillere oranla daha yüksektir.

Amorf silisyum pillerden elde edilen verim %10 civarında, ticari modüllerde ise %5-7 dolaylarındadır. Daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum direkt güneş ışınımı az olan bölgelerde de santral uygulamalarında kullanılmaktadır.

Çok kristal yapıda bir malzeme olan kadmiyum tellürid ile güneş hücre maliyetinin çok düşürülebileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

Bakır indiyum diselenid malzemesinden yapılan güneş pilleri laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

Optik yoğunlaştırıcı güneş pilleri gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %20'nin, hücre verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemedен veya camdan yapılmaktadır. Çizelge 1.5'de 1 cm²'lik hücre alanı için laboratuvar şartlarında ulaşılan en yüksek hücre verimleri görülmektedir.

Çizelge 1.5 Tiplerine göre en yüksek hücre verimleri (Öztürk 2014).

Tip	Verim (%)
Kristal Si	24,5
Polikristal Si	19,8
Amorf Si	12,7
Çok katlı Güneş hücreleri	40

Ticari ortama girmiş olan geleneksel Si güneş hücrelerinin yerini alabilecek verimleri aynı ama üretim teknolojileri daha kolay ve daha ucuz olan güneş hücreleri üzerinde de son yıllarda çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bunlar, fotoelektrokimyasal çok kristalli Titanyum Dioksit hücreler, polimer yapılı Plastik hücreler ve güneş spektrumunun çeşitli dalga boylarına uyum sağlayacak şekilde üretilebilen enerji bant aralığına sahip kuantum güneş hücreleri gibi yeni teknolojilerdir (Öztürk 2014).

1.4.3 Fotovoltaik Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları

Tüm sistemlerde olduğu gibi fotovoltaik sisteminde avantaj ve dezavantajları vardır. Bu avantaj ve dezavantajları şu şekilde özetleyebiliriz.

Avantajlar;

1. Kullandığı enerji kaynağı sınırsız ve ücretsizdir.
2. Hareketli parçalara sahip olmadığından sistemde yıpranma ve harekete bağlı aşınma söz konusu değildir.
3. Çok düşük bir bakımla sistem çalışır vaziyetini sürdürebilir.
4. Sistemin modüler olması kolaylıkla nakledilmesini ve yeniden kurulmasını sağlar.
5. Sistemin çalışması sırasında gürültü ve çevre kirliliği yaşanmaz.

Dezavantajlar;

1. Kullandığı enerji kaynağı değişken ve dağınık durumdadır.
2. Enerji depolama sistemleri pahalıdır.
3. İlk yatırım maliyeti oldukça yüksektir.

İlk yatırım maliyeti ve enerji depolama sistemleri fiyatları yüksek olsa da bu sistemler kendini kısa sürede amorti ederek yatırımcılar için kısa sürede ekonomik hale gelebilmektedirler.

Dünyanın gündeminde olan ve yaşamın sürekliliği için çözüm bulunması gereken enerji sorunlarına, yapılan uluslararası konferanslarda çözüm yolları tartışılmakta, çıkan sonuçlar ve enerji kullanımı üzerine alınan kararlar, günümüz ihtiyaçlarının karşılanması yanında, gelecek nesillerin de ihtiyaçlarının göz önünde bulundurulması gerekliliği ile sürdürülebilir kalkınma kavramını ortaya çıkarmaktadır. Çevre sorunlarına neden olmadan enerji ihtiyacının sağlanması, yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak gerekliliği sonucunu çıkarmaktadır (Atik 2013).

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Güneş enerjisi ile su pompalama ve tarımsal sulama konusunda son on yıldan günümüze kadar, uluslararası düzeyde yapılan bazı çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir. Bu çalışmalar, araştırma sonuçlarının değerlendirilip karşılaştırılması ve yorumlanmasına katkı sağlayacaktır.

Bione ve ark. (2004) sabit PV sistemle, 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, su pompalama maliyetinin birim m³ için, güneşi izleyen sistem ile % 19, odaklayıcı sistem ile % 48 oranında azaldığını ortaya koymuşlardır.

Hrayshat ve Al-Soud (2004) Ürdün için, su pompalamada güneş enerjisinden yararlanma potansiyelini incelemişler, farklı potansiyellere bağlı olarak belirledikleri 10 değişik bölge için, güneş enerjisinin pompalanan su miktarını önemli düzeyde artırdığını belirlemişlerdir.

Çelik ve Abut (2005) PV sulama sistemindeki, PV modül, akü, elektrik motoru ve santrifüj pompa gibi çeşitli sistem bileşenlerinin zamana göre değişimlerini incelemişlerdir. Sistemde iki temel çalışma modu söz konusudur. Güneş ışınımının seviyesi sistem üzerinde etkilidir. Matematiksel model çalışma moduna bağlı 7 veya 4 diferansiyel denkleme sahiptir. Işınımın yoğun olduğu günlerde pil sıcaklığının yüksek olduğu görülmüş, bu durum düşük PV pil verimi ile karakterize edilmiştir. Kapalı havalarda ise pil sıcaklığı daha düşük ve pil verimi daha yüksektir. Kış aylarında güneşten kullanıcıya yansıyan verim daha yüksektir. PV sistemden elde edilen elektrik pompa motorunu harekete geçirmek için kullanılır. Akü tampon görevini üstlenir. PV güneş pilinin seri direnci akünün iki farklı rejimde çalışmasına sebep olur. Seri direnç büyük olduğunda, akü soğuk mevsimlerde ayda bir ya da iki kez deşarj olur. Seri direnç küçük olduğunda, ılık mevsimlerde akü ayda bir şarj olur.

Fiaschi ve ark. (2005) değişken hızlı santrifüj pompalardan yararlanarak, PV etki ile çalışan derin kuyu pompalarının verimlerini artırma imkanlarını araştırmış, 100 m derinliğindeki kuyudan su çekebilecek, 30 m² ve yaklaşık 3 kW güç üreten PV sistem dikkate alınarak karşılaştırmalar yapmışlardır.

Purohit ve Kandpal (2005) Hindistan ülkesinde su pompalama sisteminde kullanılabilen yenilenebilir enerji teknolojilerini araştırmış ve PV sistem, biyogaz ve rüzgar pervaneleri ile çalışan pompalardan oluşan sistemleri incelemişlerdir.

Ghoneim (2006) PV uygulamaların en etkin kullanım alanlarından birisi olarak su pompalama amacıyla güç kaynağı olarak kullanılmaları olduğunu savunmuştur. PV su pompalama sistemlerinin yaygın olarak kullanılmaya başlanmasının, güvenilir ve ekonomik bir uygulama gerçekleştirebilmek için bu sistemlerin tasarım ve etkin kullanımına daha fazla önem verilmesini zorunlu kıldığını belirtmiştir. Çalışmasında, Kuveyt iklimi koşullarında PV su pompalama sisteminin verimini değerlendirmiştir. 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 oluşan sistem tarafından pompalan su ile kırsal kesimdeki 300 kişinin su gereksinimini karşılayabilmiştir. Su tüketimi için kişi başına 40 L/gün değerini dikkate alarak, derin kuyudan yıl boyunca günlük olarak 12 m³ hacminde su pompalanmasına gereksinim duyulmuştur. Tasarımlanan sistemin Kuveyt iklimi koşullarında verimini belirleyebilmek için benzeşim programı geliştirmiştir. Benzeşim programı, PV dizi, DC motor ve santrifüj pompa bileşen modellerinden oluşmaktadır. Amorf silikon güneş pili modüllerinin verimini belirleyebilmek için beş adet değişken model uyarlamıştır. Tasarımlanan sistem için en uygun verime ulaşabilmek amacıyla; PV dizi büyüklüğü, PV dizinin yönlendirilmesi ve pompa- motor hidrolik sisteminin özelliklerini değiştirmiştir. PV su pompalama sisteminin ekonomik uygulanabilirliği için yaşam döngüsü maliyet analizi yapmıştır. PV modüllerin geçerli fiyatlarına bağlı olarak, tasarımılanan PV su pompalama sistemi, pompalama sistemlerinin, yakın gelecekte ekonomik olarak daha uygulanabilir sistemler olacağını belirtmiştir.

Glasnovic ve Margeta (2007) mevcut güneş enerjisi ve gerekli hidrolik enerji değerlerine göre, sulama yapmak için su pompalama amacıyla PV sistemlerin tasarım kriterlerini

inceleyerek model geliştirmişlerdir. Modele göre PV sulama sistemi, iklim, toprak ve ürün özellikleri, su kaynağı ile sulama yöntemi göz önünde bulundurulmuştur.

Yeşilata ve Fıratoğlu (2008) güneş ışınım şiddetine ilişkin birtakım değerleri göz önünde bulundurarak, PV su pompalama sisteminden elde edilen güç miktarının değişimini incelemişlerdir. Yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen bulguları, uzun dönemlik güneş ışınım şiddeti ölçümleri ile karşılaştırmışlardır. Güneş ışınım şiddetinin PV sistemlerin doğru bir şekilde tasarımlanabilmesi için önemli bir değişken olduğunu belirtmişlerdir.

Bouzidi ve ark. (2009) Cezayir’de bir PV pompalama sisteminin verimini belirlemek için bilgisayar yazılımı geliştirmişlerdir. Günde ortalama 60 m³ su pompalayabilecek sistem büyüklüğünü, yaşam döngüsü maliyet analizi ile ekonomik olarak değerlendirmişlerdir.

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

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

Gençoğlu ve ark. (2010) Doğu Anadolu Bölgesi’ndeki güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla, küçük güçlü tüketicilerin beslenmesinde fotovoltaiik sistemlerin kullanılmasını incelemişler, bu sistemlerin besleme sürekliliği açısından problem olması ihtimaline karşı PLC yardımıyla kontrol edilen yedek enerji kaynaklarından yararlanılmasını amaçlamışlardır. Bölgede fotovoltaiik bir kaynaktan beslenen su pompalama sistemlerinin kullanım olanaklarını araştırarak, bu konuda bilgi birikiminin sağlanması hedeflemişlerdir.

Öztürk (2010) PV sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasının, bu sistemlerin olabileğince doğru bir şekilde boyutlandırılmasını gerektirdiğini belirtmiştir. 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 gerektiğine vurgu yapmıştır. Çalışmasında, meyve bahçelerinde damla sulama amacıyla, su pompalama sistemi için gerekli PV tesisatın tasarım ölçütlerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Ürün su gereksinimi, toplam sulama gereksinimi, belirli bir yüksekliğe belirli bir hacimde su pompalamak için günlük olarak gerekli hidrolik enerji, PV panellerin sağlaması gereken en yüksek enerji miktarı, PV panellerin gücü ve güneş pili gereksinimi gibi tasarım ölçütlerinin belirlenmesi için izlenecek yöntemleri açıklamıştır.

Mokeddem ve ark. (2011) 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 değerlendirmişlerdir. Motor -pompa verimini, doğrudan bağlı PV pompalama sistemlerine 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 olabileceğini belirtmişlerdir. Sistemin, akümülatör ve karmaşık kontrol birimleri olmadan çalışabildiğinden, ilk yatırım maliyeti düşük olmakla birlikte, bakım, onarım ve tasarım giderlerinin de az olduğunu bildirmişlerdir.

Öztürk ve ark. (2011) 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 çalıştırıldığını belirtmişlerdir. Güneş enerjisinin doğrudan dönüşümünde, fotovoltaik, termoelektrik ve termiyonik işlemlerden yararlanarak doğrudan elektrik akımı üretilebileceğini, üretilen elektrik ile DC motoru çalıştırmak veya bir çevirici ile AC akıma çevirilerek daha sonra su pompalarını çalıştırmak için kullanılabileceğini savunmuşlardır. Doğrudan dönüşüm yöntemleri arasında, fotovoltaik ilkeye göre çalışan güneş enerjili sulama uygulamaları, kullanım sürelerinin uzun, bakım gereksinimlerini az ve kısmen daha kompakt bir yapıda olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Termodinamik yöntemlerin çalışması, güneş ışınımından kazanılan ısı enerjisinin, gaz veya buhar esaslı güç çevrimleri veya hidrojen adsorpsiyon/desorpsiyon çevrimleri ile işe dönüştürülmesi ilkesine dayanır. Termodinamik yöntemlere göre çalışan herhangi bir güneş enerjisi dönüşüm sisteminde, yüksek sıcaklık ve basınçta bir akışkan üretebilmek için değişik özelliklerde güneş toplacılarından yararlanır. Yüksek basınçtaki bu akışkan, Rankine, Brayton veya Stirling çevrimlerinin herhangi birinde doğrudan ve ikincil bir akışkan kullanılarak dolaylı olarak kullanılabilir. Üretilen mekanik enerji, herhangi bir pompayı çalıştırmak için kullanılabilir.

Belgacem (2012) özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal alanlarda, PV sistemlerle su pompalamanın ekonomik olarak uygulanabileceğini savunmuştur. Tunus koşullarında, yılda 3000 h güneşlenme süresi ve 6 kWh/m²gün 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.

Benghanem ve ark. (2013) helisel bir pompayı, PV ilkeye bağlı olarak güneş ışınımından üretilen DC elektrikle çalıştırabilmek için tasarım etmenlerini belirlemek amacıyla dört farklı PV dizi tasarımı gerçekleştirmişler ve 80 m basınç yüksekliğinde denemeler yapmışlardır. PV dizi tarafından üretilen elektrik ile çalıştırılan helisel pompa ile günlük ortalama olarak 22 m³ su basılabilmektedir.

Atik-Kıyga (2013) fotovoltajik etki ile çalışan su pompalarının dizayn esaslarını belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada yenilenebilir enerji çeşitleri arasında en ilgi çekenlerden bir tanesi olan güneş enerjisinin Türkiye ve dünyadaki mevcut durumu, mevcut güneş pili ve fotovoltajik bir kaynaktan beslenen su pompalama sistemlerinin dizayn esasları hakkında araştırma yapmıştır. Enerji, enerji kaynakları ve fotovoltajik pil kavramlarını ve güneş enerjisinin bu enerji kaynakları arasındaki yerini anlatmış, güneş enerjisi ve güneş enerjisinden yararlanma yöntemleri içerisinde bu yöntemlerden fotovoltajik pillerle su pompalama sistemlerinden fotovoltajik teknolojiden bahsetmiş ve uygulanması ile ilgili genel değerlendirmeler yapmıştır. Materyal ve yöntem seçiminde elde edilen bulguların nasıl

gerçekleştiğini anlatmış ve araştırma sonuçlarını değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre değerlendirme yaparak Türkiye'nin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli de göz önünde tutularak Fotovoltaik uygulamaların arttırılması ve önemi ile ilgili öneriler sunmuştur.

Shimy (2013) AC motorlu bir PV sulama sisteminin boyutlandırılması için optimizasyon çalışması yapmıştır. PV pompalama sistemini oluşturan değişik bileşenlerin etkileri ve PV dizinin eğim açısını dikkate almıştır. PV dizilerin eğim açısı, sistem verimini önemli düzeyde etkilediğinden, bir PV sistemin boyutlandırmasında PV panelin en uygun eğim açısının belirlenmesi gerektiğini savunmuştur. Yapılan çalışmanın, şebekeden bağımsız PV sistemlerle su pompalama uygulamaları için uygun sonuçlar vereceği bildirilmiştir.

Gökalp (2014) Güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) ilkeye bağlı olarak üretilen elektrik ile bir santrifüj pompanın çalıştırılması için yararlanılan güneş enerjisiyle sulama (GES) sisteminin bazı teknik özelliklerini incelemiştir. Bu amaçla, her birinde toplam 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 % 4.8-5.4 aralığında değişmiş olup, ortalama % 5,2 olarak hesaplanmıştır. Santrifüj pompanın miline uygulanan gücün 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 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 % 70 olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ise, Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin tasarım parametreleri araştırılmış ve bilgisayar ortamında modellenmesi yapılmıştır.

Bu amaçla, İç Anadolu Bölgesi'nin güneş enerjisi potansiyeli hesaplanmış ve bölgede özellikle de Niğde ilinde oldukça yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli olduğu belirlenmiştir.

Bu potansiyelden yararlanmak üzere Niğde’de teorik olarak kurulan örnek bir pompaj tesisinin elektrik ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik sistemin kurulu gücü hesaplanmış, aynı hesaplamalar modelleme programına da yaptırılarak benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar değerlendirilerek Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin tasarımını oldukça pratik hale getiren bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Bu çalışmanın yapılacak olan diğer çalışmalara sağlam bir kaynak teşkil edeceği ve literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 3

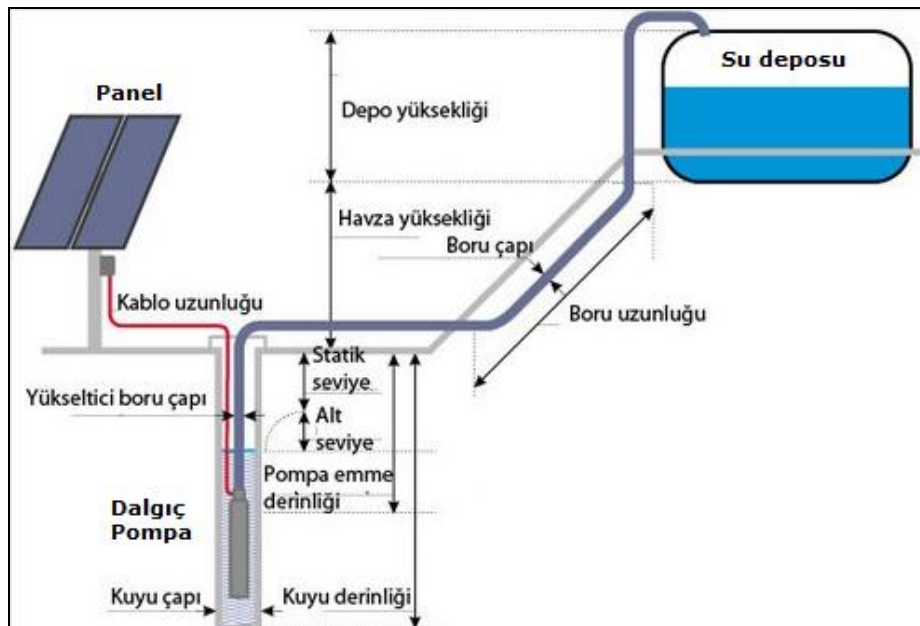
MATERYAL VE METOD

3.1 MATERYAL

Bu çalışma modelleme yöntemi ile yapılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan fotovoltaik etki ile çalışan sulama sisteminin tasarım parametreleri MATLAB® bilgisayar programı ile modellenerek örnek bir pompaj tesisinde kullanımına ilişkin hesaplamalar yapılmıştır.

3.1.1 Fotovoltaik Sistem Elemanları

Fotovoltaik (PV) etki ile çalışan GES sistemleri güneş panelleri, pompa, pompa motoru (DC), akü, şarj regülatörü (kontrol ünitesi) ve su deposundan (isteğe bağlı) oluşur (Şekil 3.1). Sistem tasarımında bu elemanların doğru seçilmesi çok önemlidir.



Şekil 3.1 PV Sulama sistem elemanları.

Pompa ve motor; güneş panellerinin ürettiği elektriksel gücü önce mekanik sonra hidrolik güce dönüştürürler.

Güneş panelleri; güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren doğru akım (DC) güç kaynakları olup, pompaya ilk hareketi vermek için gereken enerjiyi üretirler.

Akü; Güneş ışığının yetersiz olduğu durumlarda, PV sulama sistemin çalışmasını sürdürebilmesi amacıyla elektrik enerjisinin depo edildiği cihazlardır.

Şarj regülatörü; PV sulama sisteminin maksimum noktada çalışmasını sağlayan bir dönüştürücüdür. PV dizilerden gelen doğru akım dalgalanmalarını düzenli hale getirerek aküyü sarj eder.

Su deposu; Hidrolik enerjinin depo edildiği elemandır. Sistemde isteğe bağlı olarak bulundurulabilir. Bazı durumlarda pompa mevcut su deposuna bağlanır, sulama hattına direk bağlanmaz. Burada belirleyici olan sulanacak ürünün kuyu suyunun sıcaklığından etkilenip etkilenmeyeceğidir.

3.1.2 Fotovoltaik Sulama Yapılacak İl ve Özellikleri

İç Anadolu Bölgesi'nin Niğde ili için yüksek güneş enerjisi potansiyelinden yararlanarak fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sistemi kurulması düşünülmektedir. Niğde Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü' nün resmi internet sitesinden edinilen bilgilere göre, Niğde ili 37° 25' kuzey ve 38° 58' kuzey paralelleri ile batıda 33° 10' batı ve 35° 25' batı meridyenleri arasında yer almaktadır. Bozkır iklimine sahiptir ve yılda ortalama 347 mm yağış alır. Bu yağışın büyük bir bölümü kış aylarında meydana gelir. Türkiye 'nin en az yağış alan bölgelerinden biridir. Bu güne kadar ölçülen en düşük sıcaklık -27,5 °C ve en yüksek sıcaklık 38,6 °C' dir. Tarım oldukça yaygındır ve elma üretiminde Türkiye'de ilk sırayı alır.

Bölgede 1 hektar büyüklüğündeki arazi üzerine ekili elma için nisan ile ekim ayları arasında önerilen sistemden gerekli olan (günde yaklaşık 39 m³) su pompalanacaktır. Sulama işlemi DC pompa kullanılarak yapılacaktır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 13 yıllık (2000–2013) istatistiklerden yararlanılarak Niğde ilinin belirtilen aylar için günlük ortalama sıcaklığı 18,1 °C, günlük ortalama güneşlenme süresi 9,6 h ve ortalama güneş radyasyonu 6,7 kWh/m².gün olarak hesaplanmıştır.

3.2 METOD

3.2.1 Fotovoltaik Sistem Tasarımı

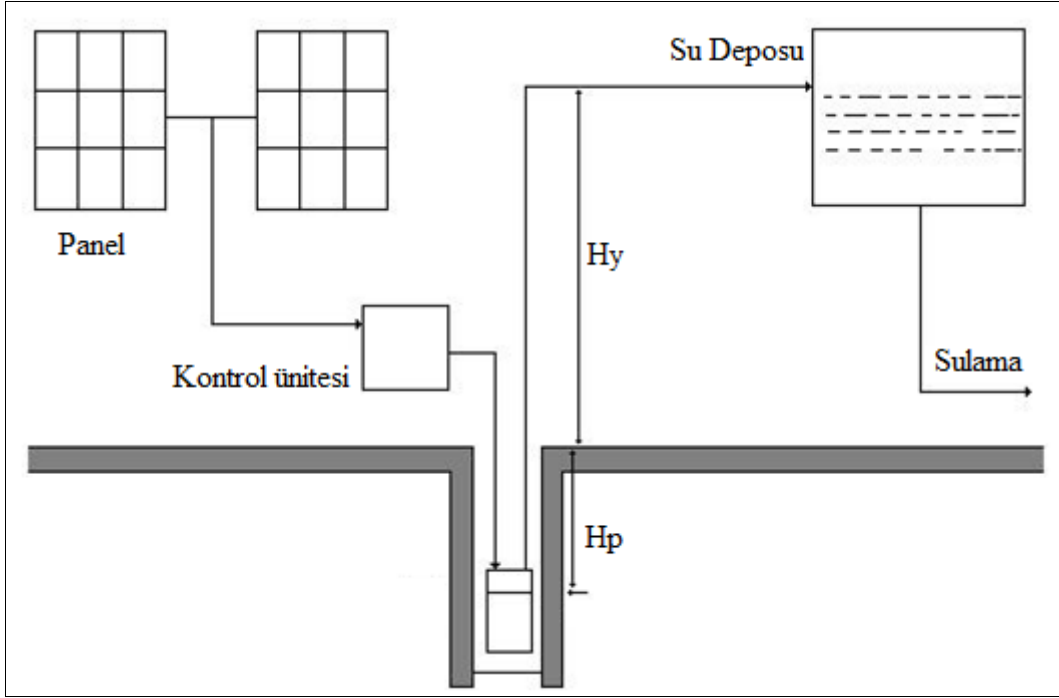
Fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sistemleri tasarımı yapılırken belirlenmesi gereken parametreler aşağıda sıralanmıştır.

1. Günlük su ihtiyacı.
2. Birim ağırlıktaki suyun enerji ihtiyacı (Toplam manometrik yükseklik).
3. Pompa çıkış gücü.
4. Pompa motor gücü.
5. Ekonomik boru çapı
6. Işınım şiddeti
7. Fotovoltaik sistem gücü.
8. Akü ve şarj regülatörü kapasiteleri
9. Panel sayısı ve bağlantı şekli
10. GES sistem verimi

3.2.1.1 Günlük Su İhtiyacı

Günlük su ihtiyacı kurulum yapılacak olan bölgenin toprak cinsi, ekili alanın büyüklüğü ve ekin cinsine göre belirlenmelidir.

3.2.1.2 Birim Ağırlıktaki Suyun Enerji İhtiyacı (Toplam Manometrik Yükseklik)



Şekil 3.2 Fotovoltaik sistemde yükseklikler.

Birim ağırlıktaki suyun enerji ihtiyacı, su çekilecek kaynağın derinliğine (H_p), depo yüksekliğine (H_y), düz boru kaybı ve yerel kayıplara bağlıdır.

$$H_m = H_g + H_{dk} + H_{yk} \quad (3.1)$$

Burada;

H_m : Birim ağırlıktaki suya verilen enerji (J/N)

H_g : Geometrik yükseklik (m)

H_{dk} : Düz boru kayıpları (m.s.s)

H_{yk} : Lokal kayıplar (m.s.s)

Düz boru kayıpları aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir.

$$H_{dk} = f \frac{L}{D_e} \frac{V^2}{2g} \quad (3.2)$$

Burada;

f : Boru sürtünme katsayısı

L : Toplam boru uzunluğu (m)

D_e : Ekonomik boru çapı (m)

V : Hız (m/s)

g : Yer çekimi ivmesi (m/s^2)

Hız aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$V = \frac{4Q}{\pi D_e^2} \quad (3.3)$$

Burada;

Q : Pompa debisi (m^3/s)

f sürtünme katsayısını hesaplamak için önce Reynolds (Re) sayısını bulmamız gerekir. Re sayısı aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$Re = \frac{VD_e}{\nu} \quad (3.4)$$

Burada;

ν : Suyun kinematik vizkositesi ($1,002 \times 10^{-6} m^2/s, 20^\circ C$).

Re sayısı akış tipini belirleyip f sürtünme katsayısını bulmamıza yarayan sabit bir sayıdır.

$Re < 2.300$ ise laminer akım söz konusudur. Bu durumda dairesel kesitli boru için f sürtünme katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.5)$$

$2.300 < Re < 4.000$ ise akış, geçiş akışıdır, $Re > 4000$ ise akış tipi türbülanslıdır. Bu durumda ise f sürtünme katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log_{10} \left(\frac{6,9}{Re} + \frac{(\epsilon/D_e)^{1,11}}{3,7} \right) \quad (3.6)$$

Burada;

ε : Boru pürüzlülük katsayısı

Boru pürüzlülük katsayısı boru malzemesinin cinsine göre belirlenir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Bazı boru malzemelerinin pürüzlülük katsayıları (Acakpovi et al. 2012).

Boru Malzemesi	Pürüzlülük Katsayısı
Paslanmaz Çelik	2×10^{-3}
PVC	$0,06 \times 10^{-3}$
Alüminyum	$0,06 \times 10^{-3}$
Galvanizli Demir	0,15
Plastik	$0,06 \times 10^{-3}$
Cam Yünü	$0,02 \times 10^{-3}$
Dökme Demir	0,26

Yerel boru kayıpları borulama sisteminde kullanılan bağlantı malzemelerinden kaynaklanan kayıplardır ve aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$H_{yk} = \Sigma K \frac{v^2}{2g} \quad (3.7)$$

Burada;

K : Boru bağlantı malzemesi kayıp katsayısı (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Boru bağlantı malzemelerinin kayıp katsayıları (Özgür 1977).

Boru Bağlantı Malzemesi	Kayıp Katsayısı
Dik klape + süzgeç	10
Genişleme elemanı	0,4
Daralma elemanı	0,012
Depo girişi	1
Vana	0,19
Açık kontrol valfi	2,5
45° Dirsek	0,6
90° Dirsek	1,12
Manşon	0,06

Bu durumda toplam birim ağırlıktaki suyun enerji ihtiyacı H_m aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$H_m = H_y + H_p + f \frac{L}{D_e} \frac{V^2}{2g} + \Sigma K \frac{V^2}{2g} \quad (3.8)$$

$$H_m = H_y + H_p + \frac{V^2}{2g} (f \frac{L}{D_e} + \Sigma K) \quad (3.9)$$

3.2.1.3 Pompa Çıkış Gücü

Herhangi bir kuvvet doğrultusunda yapılan yer değiştirmeye iş denir. Kuyudan su çekme işleminde ağırlık kuvvetine (G) karşı yer değiştirme yapıldığı göz önüne alınırsa;

$$W_{top} = G \cdot H_m \quad (3.10)$$

yazabiliriz. Burada ağırlık kuvvetini özgül ağırlık (birim hacimdeki ağırlık) cinsinden yazdığımızda ($G = \gamma \cdot \mathcal{V} = \rho \cdot g \cdot \mathcal{V}$);

$$W_{top} = \rho \cdot g \cdot \mathcal{V} \cdot H_m \quad (3.11)$$

elde ederiz. Güç; birim zamanda yapılan işi ifade eder. Denklem 11' de her iki tarafı zamana bölersek güç için bir bağıntı elde etmiş oluruz. Dolayısıyla pompa çıkış gücü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$P_{pç} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m \quad (3.12)$$

Burada;

$P_{pç}$: Pompa çıkış gücü (W)

ρ : Sulama suyunun yoğunluğu (1000 kg/m³)

g : Yer çekimi ivmesi (m/s²)

3.2.1.4 Pompa Motor Gücü

Elektrik motorunun pompa miline uyguladığı güç (P_e) efektif güç olarak adlandırılır ve pompa çıkış gücünün pompa verimine (η_p) oranlanması ile bulunur.

$$P_e = \frac{P_{pç}}{\eta_p} \quad (3.13)$$

Elektrik motorunun gücü ise;

$$P_m = \alpha \cdot P_e \quad (3.14)$$

İle hesaplanır.

Burada;

P_m : Elektrik motorunun gücü (W)

α : emniyet faktörü (1/elektrik motoru verimi).

$P_e < 6,8 \text{ kW}$ ise $\alpha = 1,3$

$6,8 \text{ kW} \leq P_e < 34 \text{ kW}$ ise $\alpha = 1,2$

$P_e \geq 34 \text{ kW}$ ise $\alpha = 1,1$

alınır.

3.2.1.5 Ekonomik Boru Çapı

Ekonomik boru çapını (D_e) belirlemek için, her bir boru çapı için senelik toplam maliyet hesaplanarak en düşük maliyetli boru çapı, ekonomik boru çapı olarak tayin edilir. Senelik toplam maliyet aşağıdaki bağıntılar yardımıyla bulunur.

$$S.E.M = P_m \cdot T \cdot E_{\ddot{u}} \quad (3.15)$$

Burada;

$S.E.M$: Senelik elektrik masrafı (TL/sene)

T : Pompanın günlük çalışma süresi (h)

$E_{\ddot{u}}$: Elektrik ücreti (TL/kWh)

$$S.S.M = K_f \cdot B_{\ddot{u}} \quad (3.16)$$

Burada;

$S.S.M$: Senelik sabit masraf (TL/sene)

K_f : Kayıp faktörü (1/sene)

$B_{\ddot{u}}$: Boru birim boy ücreti (TL/m)

$$K_f = \frac{i \cdot (i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \quad (3.17)$$

Burada;

n : Borunun kullanım süresi (sene)

i : Boru birim boydaki fiyat artış yüzdesi

$$S.T.S.M = S.S.M \cdot L \quad (3.18)$$

Burada;

$S.T.S.M$: Senelik toplam sabit masraf (TL/sene)

L : Toplam boru uzunluğu (m)

$$S.T.M = S.E.M + S.T.S.M \quad (3.19)$$

Burada $S.T.M$ senelik toplam maliyeti ifade eder ve minimum olduğunda ekonomik boru çapını verir.

3.2.1.6 Işınım Şiddeti

Işınım şiddetini hesap edebilmek için, bölgenin ortalama güneş enerjisi potansiyelinin meteoroloji istasyonundan alınan istatistiklerden yararlanılarak bulunması gerekir.

3.2.1.7 Fotovoltaik Sistem Gücü

Fotovoltaik sistem gücü aşağıdaki bağıntıyla bulunur (Acakpovi et al. 2012).

$$P_{PV} = G_r \cdot A \cdot \eta_r \quad (3.20)$$

Burada;

P_{PV} : PV sistem gücü (W)

G_r : Maximum ışınlanma (1000 W/m²)

η_r : Standart test koşullarındaki (1000 W/m², 25°C) hücre verimi

A : Toplam PV alanı (m²)

Fotovoltaik sistem tarafından üretilen elektriksel güç pompa motorunu harekete geçirmek için kullanılacaktır. Dolayısıyla pompa motorunun gücü sistemin ürettiği elektriksel güce eşittir.

$$E_{PV} = P_m \quad (3.21)$$

Fotovoltaik sistem verimi, sistemde üretilen elektrik miktarının sisteme gelen güneş enerjisi miktarına oranıdır (Köksal 2012). Bu tanımdan yararlanılarak;

$$\eta_{pv} = \frac{E_{PV}}{I \cdot A} \quad (3.22)$$

Dolayısıyla sistemin elektriksel gücünü veren bağıntı aşağıdaki gibidir (Acakpovi et al. 2012).

$$E_{PV} = I \cdot A \cdot \eta_{pv} \quad (3.23)$$

Burada;

I : Işınım şiddeti

G_r : Maximum ışınlanma (1000 W/m²)

η_r : Standart test koşullarındaki (1000 W/m², 25°C) hücre verimi

A : Toplam PV alanı (m²)

Bununla birlikte η_{pv} aşağıdaki formül ile de hesaplanabilir (Acakpovi et al. 2012).

$$\eta_{pv} = F_m \cdot [(1 - \varphi)(T_c - T_r)] \cdot \eta_r \quad (3.24)$$

Burada;

F_m : Tesis kurulum kayıp faktörü (~0,85)

φ : Hücre sıcaklık faktörü

(monosilikon paneller için 0,004-0,005 /°C, polisilikon paneller için 0,001-0,002 /°C)

T_c : Günlük ortalama sıcaklık (°C)

T_r : Standart test koşullarındaki sıcaklık (°C)

Sonuç olarak 3.20, 3.22 ve 3.24 no'lu eşitlikler kullanılarak fotovoltaik sistemin kurulu gücü aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$P_{PV} = G_r \cdot \frac{E_{PV}}{\eta_{pv} \cdot I} \cdot \eta_r \quad (3.25)$$

3.2.1.8 Akü ve Şarj Regülatörü Kapasiteleri

Akü kapasitesinin hesaplanabilmesi için öncelikle günlük ihtiyaç duyulan enerji belirlenmelidir. Akü kapasitesi günlük ihtiyaç duyulan enerjinin akü voltajına bölünmesiyle elde edilir. Ancak burada akü kayıplarını da dikkate almak gerekir. Akü kayıpları yaklaşık %10 civarındadır (Öztürk ve Dursun 2011). Ayrıca akülerin kullanım ömrünü uzatmak bakımından tam boşaltılmayacağı göz önünde bulundurulursa, akü kapasitesi hesaplanırken aşağıda hesap edilen değer %25 fazlasını almak uygun olacaktır.

$$AKAP = \frac{GEİ \cdot AK}{AV} \quad (3.26)$$

Burada;

$AKAP$: Akü kapasitesi (Ah)

$GEİ$: Günlük enerji ihtiyacı (Wh)

AK : Akü kayıpları

AV : Akü voltajı (V)

Akü voltajı ile şarj regülatörü voltajı birbiriyle uyumlu olmalıdır. Sisteme ilave edilmesi gereken şarj regülatörleri, güneş panellerinden gelen doğru akımı düzenleyerek akünün fazla dolmasını veya tamamen boşalmasını engeller ve kapasitesi aşağıdaki gibi hesaplanır (Öztürk ve Dursun 2011).

$$\mathcal{S}C = \frac{GE\dot{i}}{GGS} \quad (3.27)$$

Burada;

$\mathcal{S}C$: Şarj regülatörünün kapasitesi (W)

GGS : Günlük güneşlenme süresi (h)

3.2.1.9 Panel Sayısı ve Bağlantı Şekli

Fotovoltaik sistem gücü belirlendikten sonra, bu gücü karşılayacak özellikteki panel türü ve sayısı belirlenebilir. Ancak sistem geriliminin sağlanabilmesi için sistemde seri ve paralel bağlı panel sayısını net olarak belirlemek gerekir. Sistemdeki seri bağlı panel sayısı, pompa nominal geriliminin panelin maksimum gerilimine oranıyla bulunur (Öztürk ve Dursun 2011). Seri ve paralel bağlı panel sayısını veren eşitlikler aşağıda gösterilmiştir.

$$n_s = \frac{V_{nom}}{V_m} \quad (3.28)$$

$$n_p = \frac{P_{PV}}{P_{dizi}} \quad (3.29)$$

Sonuç olarak sistemde kullanılması gereken toplam panel sayısı aşağıdaki gibi belirlenir.

$$n_{tp} = n_s \cdot n_p \quad (3.30)$$

3.2.1.10 GES Sistem Verimi

GES sistemlerinin en büyük dezavantajı verimlerinin düşük olmasıdır. Bu sistemlerde istenilen verimi elde edebilmek için uygulamada kullanılacak olan pompaların verimlerinin

yüksek olması gerekir. Günümüzde GES uygulamaları için yeni nesil güneş enerjisi ile çalışan dalgıç pompalar geliştirilmiştir ve bu pompaların % 90 ve üzeri bir verimle çalıştığı bilinmektedir. GES sistemlerinin verimi yükseklik ve pompa tipine bağlı olarak yüzde 12 - 50 arasında değişmektedir (Khatip 2010).

Çizelge 3.3 Farklı derinlik ve pompaj uygulamalarında GES verimi.

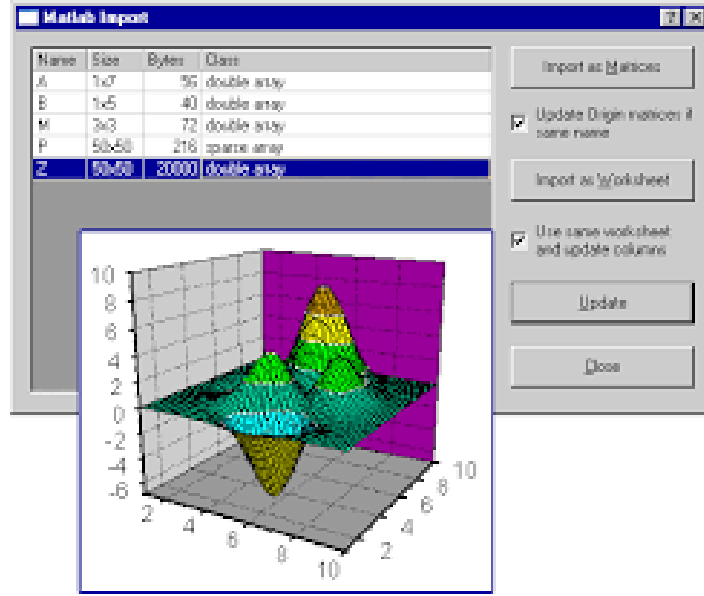
DERİNLİK (m)	POMPA TİPİ	VERİM (%)
0-5	Santrifüj	12-25
6-21	Jet dalgıç santrifüj	10-20 20-30
21-100	Dalgıç	30-40 40-45
>100	Dalgıç	35-50

3.2.2. MATLAB® Modellemesi

MATLAB®, temel olarak nümerik hesaplama, grafiksel veri gösterimi ve programlamayı içeren teknik ve bilimsel hesaplamalar için yazılmış yüksek performansa sahip bir yazılımdır. MATLAB® programının tipik kullanım alanları, matematik ve hesaplama işlemleri, algoritma geliştirme, modelleme, simülasyon (benzetim) ve ön tiplendirme, veri analizi ve görsel efektlerle destekli gösterim, bilimsel ve mühendislik grafikleri, uygulama geliştirme şeklinde özetlenebilir (YTÜ 2015).

Fotovoltaik etkili güneş enerjili sulama sisteminin tasarımı için gerekli olan tüm parametreler MATLAB® bilgisayar programına tanımlanmış, çeşitli derinliklerden farklı debilerde su çekebilmek için gereken panel sayısını ve sistemin kurulum maliyetini elde edecek şekilde bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım sistemde kullanılan boru için, ekonomik boru çapı hesabı yaparak minimum maliyeti hesaplar ve bu maliyete karşılık gelen boru çapını sistemin tasarımı için gerekli olan diğer parametrelerin hesaplanmasında kullanır. İstenilen derinlikten, gerekli olan debideki suyu elde etmek için boruda meydana gelen kayıpları, gerekli olan hidrolik enerjiyi, elektrik motorunun gücünü, akü ve şarj cihazının kapasitesini, seri ve paralel bağlı olmak üzere kaç adet panel kullanılması gerektiğini ve sistemin kurulum maliyetini kullanıcıya sunar.

Bu yazılım İAB'nin Niğde ili için geliştirilmiş olup, sistemde kullanılacak olan panel, pompa ve akü gibi sistem bileşenleri önceden belirlenerek bu bileşenlerin kullanım özellikleri yazılıma tanıtılmıştır. Ancak göreceli olarak seçilen sistem bileşenleri ve iller için yeni kullanım özellikleri yazılıma girildiği takdirde tüm farklı bileşen ve iller için kullanılabilir.



Şekil 3.3 Matlab' da herhangi bir uygulama.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE YORUMLAR

Bu bölümde İç Anadolu Bölgesi'nin Niğde ili için yüksek güneş enerjisi potansiyelinden yararlanarak fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sistemi kurulması düşünülmektedir. Bu amaçla 1 hektar alan üzerinde yetiştirilmesi düşünülen elma bitkisinin günlük su ihtiyacını karşılayacak olan sistem aşağıdaki gibi tasarlanmıştır.

4.1 BULGULAR

4.1.1 Günlük Su İhtiyacı

Niğde için 1 hektar alan üzerindeki elma bitkisi Nisan ve Mayıs ayları arasında sulanmaktadır. Yetişkin, tam gölge yapan ve damla sulama sistemiyle sulanan bir elma bahçesinde elma ağacının yıllık su tüketimi 1 hektar için 6000-9000 m³ arasında değişmektedir (URL-1 2015). Günlük su tüketiminin en fazla olduğu Temmuz ayında elma bahçesinin su tüketimi 50-60 m³/gün civarında olmaktadır. Sulama sezonu boyunca aylara göre günlük su tüketimleri, Nisan ayında 10-15 m³/gün, Mayıs ayında 25-30 m³/gün, Haziran ayında 30-40 m³/gün, Temmuz ayında 50-60 m³/gün, Ağustos ayında 40-50 m³/gün, Eylül ayında 30-40 m³/gün ve Ekim ayında ise 10-20 m³/gün arasında değişmektedir. Bu verilerden yararlanılarak elma bahçesinin 7 aylık ortalama su ihtiyacı hesaplanmış ve günlük su ihtiyacı 39 m³/gün olarak belirlenmiştir.

4.1.2 Birim Ağırlıktaki Suyun Enerji İhtiyacı (Toplam Manometrik Yükseklik)

Günlük su ihtiyacı, 98 m derinliğindeki bir kuyudan, yerden 2 m yüksekliğindeki bir su deposuna günde 39 m³ su pompalanarak sağlanacak, su pompalama işlemi ise günde 15 saat çalıştırılacak olan bir DC motorlu dalgıç pompa ile yapılacaktır. Birim ağırlıktaki suyun enerji ihtiyacını hesaplamak için gerekli olan tüm parametreler ilgili eşitlikler kullanılarak aşağıdaki

gibi hesaplanmıştır. Boru çapı olarak bölüm 4.5 'te hesaplanan ekonomik boru çapı kullanılmıştır.

$$V = \frac{4Q}{\pi D_e^2} = \frac{4 \cdot 0,00072}{\pi \cdot 0,023^2} = 1,733 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{VD_e}{\nu} = \frac{1,733 \cdot 0,023}{1,002 \cdot 10^{-6}} = 39.778$$

Boru tesisatı plastik boru ile tasarlanmış olup, uygun olan boru pürüzlülük katsayısı Çizelge 3.1'den seçilmiştir.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left(\frac{6,9}{Re} + \frac{(\epsilon/D_e)^{1,11}}{3,7} \right) = -1,8 \log \left(\frac{6,9}{39.778} + \frac{(0,000006/0,023)^{1,11}}{3,7} \right)$$

$$f = 0,0226$$

$$H_{dk} = f \frac{L}{D_e} \frac{V^2}{2g} = 0,0226 \cdot \frac{120}{0,023} \cdot \frac{1,733^2}{2 \cdot 9,81} = 18,05 \text{ m.s.s}$$

Boru tesisatında 30 adet manşon, 5 adet 90° dirsek, 2 adet 45 ° dirsek ve 1'er adet diğer bağlantı malzemelerinden kullanılmış ve Çizelge 3.2' den yararlanılarak kayıp katsayısı 22,70 olarak hesaplanmıştır.

$$H_{yk} = \Sigma K \frac{V^2}{2g} = 22,70 \cdot \frac{1,733^2}{2 \cdot 9,81} = 3,47 \text{ m.s.s}$$

$$H_m = H_g + H_{dk} + H_{yk} = 100 + 18,05 + 3,47 = 121,5 \text{ m.s.s}$$

Birim ağırlıktaki suya verilen enerji yaklaşık olarak 121,5 m.s.s olarak bulunmuştur.

4.1.3 Pompa Çıkış Gücü

Pompa çıkış gücü aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$P_{pç} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,00072 \cdot 121,5 = 858 \text{ W}$$

4.1.4 Pompa Motor Gücü

Pompa olarak güneş enerjisi ile uyumlu, DC motor pompa seçilmiştir. Bu pompaların % 90 ve üzeri verimlilikle çalıştıkları bilinmektedir (URL-2 2015).

$$P_e = \frac{P_{pç}}{\eta_p} = \frac{858}{0,9} = 954 \text{ W}$$

Buradan pompa motor gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_m = \alpha \cdot P_e = 1,3 \cdot 954 = 1.240 \text{ W}$$

4.1.5 Ekonomik Boru Çapı

Tesis tasarımında ekonomik ve uzun ömürlü olması bakımından plastik boru kullanılmıştır (URL-3 2015). Pompa günde 15 saat çalışacaktır ve elektrik ücreti 0,4 TL/kWh'tir.

$$S.E.M = P_m \cdot T \cdot E_{\ddot{u}} = 1.240 \cdot 15 \cdot 365,5 \cdot 0,4 = 2.719 \text{ TL/sene}$$

Borunun birim boy fiyatına yılda %15 zam geldiği ve borunun işletmede 30 yıl çalışacağı göz önünde bulundurularak,

$$K_f = \frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} = \frac{0,15(0,15+1)^{30}}{(0,15+1)^{30} - 1} = 0,1523$$

$$S.S.M = K_f \cdot B_{\ddot{u}} = 1,1523 \cdot 7,29 = 8,40 \text{ TL/sene}$$

$$S.S.T.M = S.M.M \cdot L = 8,40 \cdot 120 = 1.008 \text{ TL/sene}$$

$$S.T.M = S.E.M + S.S.T.M = 2.719 + 1.008 = 3.727 \text{ TL/sene}$$

hesaplanmıştır. Yukarıdaki hesaplamalar tüm boru çapları için yapıldığında minimum $S.T.M$ 'nin 3.727 TL / sene olduğu görülür (Çizelge 4.1).

Bu durumda ekonomik boru çapı DN 32 seçilir.

Çizelge 4.1 Ekonomik boru çapı analizi.

DIŞ ÇAP (mm)	ET KALINLIĞI (mm)	İÇ ÇAP (mm)	ÇAP (m)	BİRİM FİYAT (TL/m)	Pm (kW)	SEM (TL)	K	SSM (TL)	SSTM (TL)	STM (TL)
20,00	2,80	14,40	0,014	2,53	3,35	7.354	1,15	3	349	7.703
25,00	3,50	18,00	0,018	4,43	1,72	3.773	1,15	5	612	4.385
32,00	4,40	23,20	0,023	7,29	1,24	2.719	1,15	8	1.008	3.727
40,00	5,50	29,00	0,029	11,79	1,09	2.400	1,15	14	1.630	4.030
50,00	6,90	36,20	0,036	18,41	1,05	2.297	1,15	21	2.545	4.843
63,00	8,60	45,80	0,046	29,54	1,03	2.257	1,15	34	4.084	6.341
75,00	10,30	54,40	0,054	40,99	1,02	2.247	1,15	47	5.668	7.915
90,00	12,30	65,40	0,065	66,27	1,02	2.241	1,15	76	9.163	11.405
110,00	15,10	79,80	0,080	102,55	1,02	2.239	1,15	118	14.181	16.420
İÇ ÇAP = DIŞ ÇAP - 2 x ET KALINLIĞI										

4.1.6 Işınım Şiddeti

Bu bölümde İç Anadolu Bölgesi'nin (İAB) güneş potansiyeli araştırılmak üzere Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne başvurularak bölgede bulunan 14 ilin 13 yıllık (2000 - 2013) istatistikleri elde edilmiştir. Günlük ortalama global güneş radyasyon değerlerinin her il için aylık ortalamaları hesaplanmış ve 13 yılın ortalaması alınmıştır. Buna göre İAB' nin yıllık toplam gelen güneş enerjisi $1.569,5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$ (günlük toplam $4,3 \text{ kWh/m}^2$) olduğu tespit edilmiştir. Bu illerin radyasyon değerleri dikkatle incelendiğinde en büyük güneş enerjisi potansiyeline sahip olan ilin Niğde olduğu görülmektedir (Çizelge 4.2). Yıllık toplam güneşlenme süresi de aynı şekilde olup, 2.518 saat (günlük toplam $6,9 \text{ saat}$)'tir (Çizelge 4.3).

Niğde ilinde yetiştirilecek olan elma Nisan ve Ekim ayları arasında sulanacağı için burada yıllık ortalama yerine 7 aylık ortalama (6.749 Wh/m², 9,6 h) kullanılmıştır.

Bu durumda ışınım şiddeti,

$$I = \frac{\text{Günlük toplam güneş enerjisi}}{\text{Günlük ortalama güneşlenme süresi}} = \frac{6.749}{9,6} = 703 \text{ W/m}^2$$

olmaktadır.

Çizelge 4.2 İAB' nin güneş enerjisi potansiyeli.

Günlük Toplam Global Güneş Radyasyonu (cal÷cm ²)														
İL / AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.	Wh/m2
ANKARA	144	219	330	422	523	590	605	545	433	291	178	130	367	4.262
KONYA	201	298	411	473	563	642	644	581	482	354	238	178	422	4.896
CANKIRI	145	224	352	407	519	572	580	511	410	297	193	136	362	4.202
ÇORUM	145	225	321	401	495	558	558	496	398	269	179	127	348	4.035
SİVAS	165	237	326	397	505	595	595	528	440	307	198	137	369	4.282
KIRIKKALE	146	220	329	403	501	562	566	503	404	281	182	131	352	4.088
YOZGAT	160	230	315	396	490	557	506	455	366	258	175	123	336	3.896
KIRŞEHİR	196	291	387	447	554	616	611	550	459	332	228	186	405	4.694
AKSARAY	190	275	371	446	538	587	580	520	436	314	230	174	388	4.505
NEVŞEHİR	İstatistiklere ulaşlamamıştır.													
KAYSERİ	181	256	350	430	523	588	601	543	445	311	213	162	383	4.448
KARAMAN	191	268	380	469	550	622	607	552	465	324	217	164	401	4.648
NİĞDE	235	322	428	516	620	704	697	625	532	379	269	209	461	5.352
ESKİŞEHİR	92	148	210	269	337	350	421	333	261	173	108	77	231	2.685
İ.A.B.	168	247	347	421	517	580	582	519	425	299	201	149	371	4.307

Çizelge 4.3 İAB' nin günlük toplam güneşlenme süresi.

Günlük Toplam Güneşlenme Süresi (h)													
İL / AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
ANKARA	2,4	3,5	5,1	6,3	8,2	9,9	11,0	10,4	8,8	6,3	4,3	2,5	6,6
KONYA	1,7	5,1	6,6	7,1	8,8	10,4	11,1	10,9	9,5	7,5	5,6	3,5	7,3
CANKIRI	2,0	3,3	5,4	6,4	8,1	9,8	10,8	10,1	8,4	6,0	4,0	1,9	6,4
ÇORUM	2,2	3,2	4,8	6,3	7,9	9,4	10,4	10,2	8,2	5,4	4,0	2,1	6,2
SİVAS	2,7	3,2	5,0	6,3	8,7	10,0	11,9	11,8	9,7	6,4	4,2	2,6	6,9
KIRIKKALE	2,5	4,0	5,6	6,9	9,2	11,0	11,9	11,2	9,2	6,6	4,7	2,4	7,1
YOZGAT	3,0	4,3	5,5	6,7	8,9	10,9	11,8	11,5	9,4	6,8	5,0	3,1	7,2
KIRŞEHİR	3,3	4,5	5,8	6,8	9,0	11,1	12,2	11,3	9,6	7,2	5,5	3,7	7,5
AKSARAY	3,3	4,5	5,7	6,9	9,5	11,4	12,1	11,4	9,5	6,9	5,1	3,5	7,5
NEVŞEHİR	3,1	4,1	5,9	6,5	9,0	11,1	12,2	11,6	9,6	6,5	4,7	2,9	7,3
KAYSERİ	2,9	3,7	4,8	5,9	8,5	10,5	11,6	11,0	8,4	6,2	4,5	2,8	6,8
KARAMAN	İstatistiklere ulaşılamamıştır.												
NİĞDE	3,8	4,8	6,0	6,8	8,9	11,4	12,1	11,3	9,9	7,2	5,5	3,9	7,6
ESKİŞEHİR	2,1	3,3	5,1	6,0	8,0	9,1	10,7	9,8	7,9	5,5	3,9	2,1	6,1
İ.A.B.	2,7	4,0	5,5	6,5	8,7	10,5	11,5	11,0	9,1	6,5	4,7	2,8	6,9

4.1.7 Fotovoltaik Sistem Gücü

PV sistem gücünü hesaplayabilmek için öncelikle PV sistem verimi bulunmalıdır. Güneş paneli olarak monosilikon malzemeden yapılmış, 250 W güç ve %15,8 hücre verimine sahip panel seçilmiştir. Niğde ili Nisan ve Ekim ayları arası günlük ortalama sıcaklığı 18,1 °C olarak hesaplanır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 İAB' nin günlük ortalama sıcaklığı.

Günlük Ortalama Sıcaklığı (°C)													
İL / AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ORT.
ANKARA	0,7	2,5	7,2	11,6	16,8	21,3	25,1	25,0	19,6	13,5	7,0	2,6	12,7
KONYA	0,2	1,8	7,1	11,4	16,4	21,3	25,0	24,6	19,4	13,1	6,6	1,9	12,4
CANKIRI	-0,6	1,1	6,4	10,9	16,0	20,5	24,0	23,7	18,0	12,1	5,5	1,1	11,5
ÇORUM	İstatistiklere ulaşılamamıştır.												
SİVAS	-3,1	-1,5	4,3	9,1	13,7	17,9	21,4	21,5	17,0	11,4	4,7	-0,5	9,7
KIRIKKALE	0,6	2,4	7,7	12,3	17,4	22,1	25,9	25,7	20,3	14,0	7,1	2,1	13,1
YOZGAT	-1,5	-0,3	3,9	8,5	13,3	17,5	21,1	21,1	16,2	10,5	4,6	0,5	9,6
KIRŞEHİR	-0,1	1,4	6,2	10,7	15,6	20,4	24,2	24,2	18,8	12,8	6,3	1,8	11,9
AKSARAY	0,8	2,3	7,3	11,8	16,6	21,4	24,9	24,6	19,3	13,7	7,2	2,6	12,7
NEVŞEHİR	0,0	1,1	6,0	10,1	14,9	19,6	23,3	22,8	17,6	12,1	6,1	2,0	11,3
KAYSERİ	-1,3	0,7	6,2	10,8	15,1	20,0	23,4	23,1	17,7	12,1	5,6	0,6	11,2
KARAMAN	0,6	1,8	7,0	11,4	16,3	21,2	24,7	24,1	19,1	13,1	6,4	2,2	12,3
NİĞDE	-0,1	1,3	6,5	10,9	15,6	20,5	24,0	24,4	18,5	12,6	6,1	1,8	11,9
ESKİŞEHİR	-0,3	1,2	6,3	10,8	15,6	20,3	23,9	23,7	18,5	12,6	6,1	1,6	11,7
İ.A.B.	-0,3	1,2	6,3	10,8	15,6	20,3	23,9	23,7	18,5	12,6	6,1	1,6	11,7

$$\eta_{pv} = F_m \cdot [(1 - \varphi(T_c - T_r))] \cdot \eta_r = 0,85 \cdot [(1 - 0,0045(18,1 - 25))]0,158 = 0,138$$

PV sistem gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_{PV} = G_r \cdot \frac{E_{PV}}{\eta_{pv} \cdot I} \cdot \eta_r = 1000 \cdot \frac{1,240}{0,138 \cdot 703} \cdot 0,158 = 2.020 W$$

4.1.8 Akü ve Şarj Regülatörü Kapasiteleri

Akü kapasitesi için günlük enerji ihtiyacı $1.240 W \cdot 15 h = 18.600 Wh$ olarak hesaplanmıştır. Seçilen pompanın akü işletim voltajı 48 V olduğundan sistemde 48 V gerilim değerini karşılayacak akü veya akü grubu kullanılmalıdır.

$$AKAP = \frac{GEİ \cdot AK}{AV} = \frac{18.600 \cdot 1,1}{48} = 426 Ah$$

hesaplanır. Bu değer 1 günlük depolama için geçerlidir.

Şarj cihazının günlük kapasitesi ise günlük güneşlenme süresi hesaplanarak bulunur.

$$\mathcal{C} = \frac{GEİ}{GGS} = \frac{18.600}{9,6} = 1.938 W$$

4.1.9 Panel Sayısı ve Bağlantı Şekli

$$n_s = \frac{V_{nom}}{V_m} = \frac{72}{38} = 1,89$$

2 adet panel seri bağlanmalıdır.

$$n_p = \frac{P_{PV}}{P_{dizi}} = \frac{2.020}{500} = 4,04$$

5 adet panel paralel bağlanmalıdır.

$$n_{tp} = 2 \cdot 5 = 10 \text{ adet}$$

panel kullanılmalıdır.

4.1.10 GES Sistem Verimi

$$\eta_{GES} = \frac{\text{Çıkış gücü}}{\text{Giriş gücü}} = \frac{858}{2.020} = 0,425$$

Fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sisteminin verimi % 42,5 olarak bulunmuştur.

4.1.11 GES Sistem Kurulum Maliyeti

Sistem kurulumunda ekonomik olduğu için monosilikon malzemedan yapılmış güneş paneli ve klasik pompalara göre verimleri çok daha yüksek olan yeni nesil solar dalgıç pompa tercih edilmiştir. GES sistemlerinde genellikle 12 V gerilim değerine sahip aküler kullanıldığından 4 adet 12 V, 120 Ah kapasiteli aküler ve bu akülere uygun 48 V şarj regülatörü seçilmiştir. Boru tesisatında ekonomik ve uzun ömürlü olan PPR plastik boru ve boru bağlantı malzemeleri kullanılmıştır. Kabloleme ve diğer giderler için ayrıntıya girilmemiş ve tüm maliyetin %10'unu kapsadığı düşünülerek hesaplamaya eklenmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Güneş enerjili sulama sisteminin kurulum maliyeti.

MALZEME ADI	ÖZELLİKLERİ	ADET	BİRİM MALİYET	TOPLAM MALİYET
GÜNEŞ PANELİ	MONOSİLİKON 250 W	10	805 ₺	8.050 ₺
SOLAR DALGIÇ POMPA	130 m, 2,6 m ³ /h	1	6.384 ₺	6.384 ₺
SOLAR AKÜ	12 V, 120 Ah	4	880 ₺	3.520 ₺
ŞARJ REGÜLATÖRÜ	48 V	1	1.790 ₺	1.790 ₺
120 m BORU BAĞLANTISI	PLASTİK	1	1.137 ₺	1.137 ₺
DİĞER MALİYETLER	(KABLOLAMA VS.)	1	2.088 ₺	2.088 ₺
TOPLAM				22.969 ₺

Sulama uygulamasının şebeke elektriği ile yapılması durumunda sistemde kullanılacak pompa AC motorlu seçilmelidir. Bu pompaların verimleri % 78 dolaylarında olduğu için elektriksel güç ihtiyacı, dolayısıyla elektrik masrafı artmaktadır. Sistemde tek pompa ile istenilen manometrik yükseklik sağlanamadığı için aynı cins 3 adet pompa seri bağlı olarak kullanılmalıdır. Sistemde elektrik kesintisine karşı jeneratör kullanılacaktır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 Şebekeli sulama sisteminin maliyet analizi.

MALZEME ADI	ÖZELLİKLERİ	ADET	BİRİM MALİYET	TOPLAM MALİYET
DALGIÇ POMPA	45 m, 2,6 m ³ /h	3	1.200 ₺	3.600 ₺
ELEKTRİK	ŞEBEKEDEN	1 YIL	3.137 ₺	3.137 ₺
120 m BORU BAĞLANTISI	PLASTİK	1	1.137 ₺	1.137 ₺
SABİT GİDERLER	BORU ZAMMI, YIPRANMA PAYI VS.	1 YIL	1008 ₺	1008 ₺
JENERATÖR	1,5 kW	1	950 ₺	950 ₺
DİĞER MALİYETLER	(KABLOLAMA VS.)	1	953 ₺	953 ₺
TOPLAM				9.650 ₺

4.1.12 GES Sisteminin MATLAB® ile Modellenmesi

Örnek tesis tasarımı için yukarıdaki hesaplamalarda kullanılan değerler MATLAB® modellemesi ile geliştirilen programda kullanılarak yukarıdaki sonuçlarla yaklaşık değerlere ulaşılmıştır. Farklı il ve sulanacak ürünler için örnek tasarımlar yapılmış ve gereken panel sayıları elde edilmiştir.

Aşağıda sadece program girdileri ve bu girdilere karşılık gelen çıktılar verilmiştir.

Niğde'de 100 m derinlikten sağlanan su ile 1 hektar alandaki elma bahçesi sulama uygulaması:

Giriş

$$H_g = 100 \text{ m}$$

$$Q = 39 \text{ m}^3/\text{h}$$

Çıkış

$$D_e = 0,023 \text{ m}$$

$$V = 1,738 \text{ m/s}$$

$$R_e = 39.901$$

$$f = 0,0289$$

$$H_k = 26,72 \text{ m}$$

$$H_m = 126,72 \text{ m.s.s}$$

$$P_{pc} = 897 \text{ W}$$

$$P_e = 997 \text{ W}$$

$$P_m = 1.296 \text{ W}$$

$$N_{pv} = 0,139$$

$$P_{pv} = 2.105 \text{ W}$$

$$AKAP = 446 \text{ Ah}$$

$$SC = 2.026 \text{ W}$$

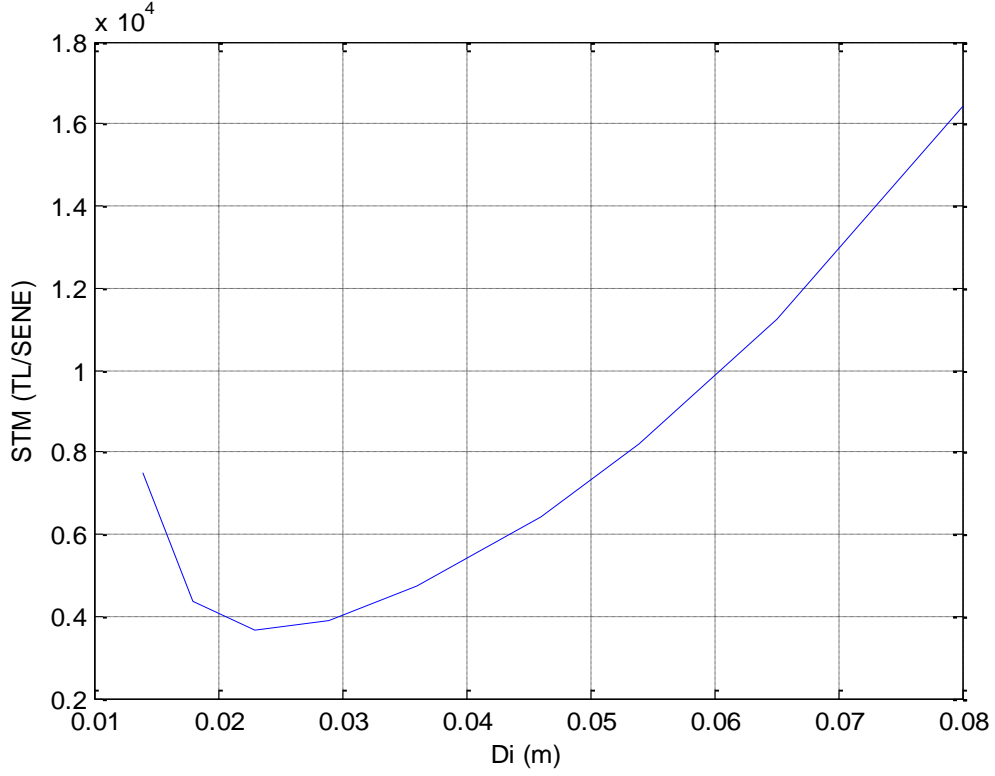
$$ns = 2$$

$$np = 5$$

$$ntp = 10$$

$$\eta_{GES} = 0,427$$

$$\text{Sistem Maliyeti} = 22.846 \text{ TL}$$



Şekil 4.1 STM'nin boru iç çaplarına göre değişimi.

İki farklı yöntemle yapılan hesaplamaların sonuçları birbiriyle kıyaslandığında sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Kayseri'de 50 m derinlikten sağlanan su ile 1 hektar alandaki patates tarlası sulama uygulaması:

Giriş

$$H_g = 50 \text{ m}$$

$$Q = 45 \text{ m}^3/h$$

Çıkış

$$D_e = 0,029 \text{ m}$$

$$V = 1,262 \text{ m/s}$$

$$R_e = 36.569$$

$$f = 0,028$$

$$H_k = 7,45 \text{ m}$$

$$H_m = 57,25 \text{ m. s. s}$$

$$P_{pc} = 468 W$$

$$P_e = 890 W$$

$$P_m = 1.157 W$$

$$N_{pv} = 0,137$$

$$P_{pv} = 2.120 W$$

$$AKAP = 398 Ah$$

$$SC = 1.669 W$$

$$ns = 2$$

$$np = 5$$

$$ntp = 10$$

$$\eta_{GES} = 0,377$$

$$Sistem\ Maliyeti = 22.766 TL$$

Aksaray'da 150 m derinlikten sağlanan su ile 1 hektar alandaki şeker pancarı sulama uygulaması:

Giriş

$$H_g = 150 m$$

$$Q = 40 m^3/h$$

Çıkış

$$D_e = 0,023 m$$

$$V = 1,783 m/s$$

$$R_e = 40.986$$

$$f = 0,029$$

$$H_k = 38,33 m$$

$$H_m = 188 m. s. s$$

$$P_{pc} = 1.369 W$$

$$P_e = 890 W$$

$$P_m = 1.157 W$$

$$N_{pv} = 0,136$$

$$P_{pv} = 2.344 W$$

$$AKAP = 398 Ah$$

$$SC = 1.607 W$$

$$ns = 2$$

$$np = 5$$

$$ntp = 10$$

$$\eta_{GES} = 0,342$$

$$Sistem\ Maliyeti = 23.334 TL$$

Niğde'de 100 m derinlikten sağlanan su ile 1 hektar alandaki üzüm bağları sulama uygulaması:

Giriş

$$H_g = 100 m$$

$$Q = 35 m^3/h$$

Çıkış

$$D_e = 0,023 m$$

$$V = 1,560 m/s$$

$$R_e = 35.862$$

$$f = 0,029$$

$$H_k = 16,70 m$$

$$H_m = 121,7 m.s.s$$

$$P_{pc} = 774 W$$

$$P_e = 860 W$$

$$P_m = 1.118 W$$

$$N_{pv} = 0,138$$

$$P_{pv} = 1.814 W$$

$$AKAP = 384 Ah$$

$$SC = 1.746 W$$

$$ns = 2$$

$$np = 4$$

$$ntp = 8$$

$$\eta_{GES} = 0,427$$

$$Sistem\ Maliyeti = 21.075TL$$

Eskişehir’de 100 m derinlikten sağlanan su ile 1 hektar alandaki elma bahçesi sulama uygulaması:

Giriş

$$H_g = 100 \text{ m}$$

$$Q = 39 \text{ m}^3/\text{h}$$

Çıkış

$$D_e = 0,023 \text{ m}$$

$$V = 1,738 \text{ m/s}$$

$$R_e = 39.961$$

$$f = 0,029$$

$$H_k = 26,72 \text{ m}$$

$$H_m = 128 \text{ m.s.s}$$

$$P_{pc} = 898 \text{ W}$$

$$P_e = 998 \text{ W}$$

$$P_m = 1.297 \text{ W}$$

$$N_{pv} = 0,139$$

$$P_{pv} = 3.360 \text{ W}$$

$$AKAP = 446 \text{ Ah}$$

$$SC = 2.402 \text{ W}$$

$$ns = 2$$

$$np = 7$$

$$ntp = 14$$

$$\eta_{GES} = 0,267$$

$$\text{Sistem Maliyeti} = 26.388\text{TL}$$

Niğde’de 180 m derinlikten sağlanan su ile 1 hektar alandaki elma bahçesi sulama uygulaması:

Giriş

$$H_g = 180 \text{ m}$$

$$Q = 39 \text{ m}^3/\text{h}$$

Çıkış

$$D_e = 0,023 \text{ m}$$

$$V = 1,738 \text{ m/s}$$

$$R_e = 39.961$$

$$f = 0,029$$

$$H_k = 26,72 \text{ m}$$

$$H_m = 222 \text{ m. s. s}$$

$$P_{pc} = 1.576 \text{ W}$$

$$P_e = 998 \text{ W}$$

$$P_m = 1.751 \text{ W}$$

$$N_{pv} = 0,138$$

$$P_{pv} = 3.694 \text{ W}$$

$$AKAP = 782 \text{ Ah}$$

$$SC = 3.556 \text{ W}$$

$$ns = 2$$

$$np = 8$$

$$ntp = 16$$

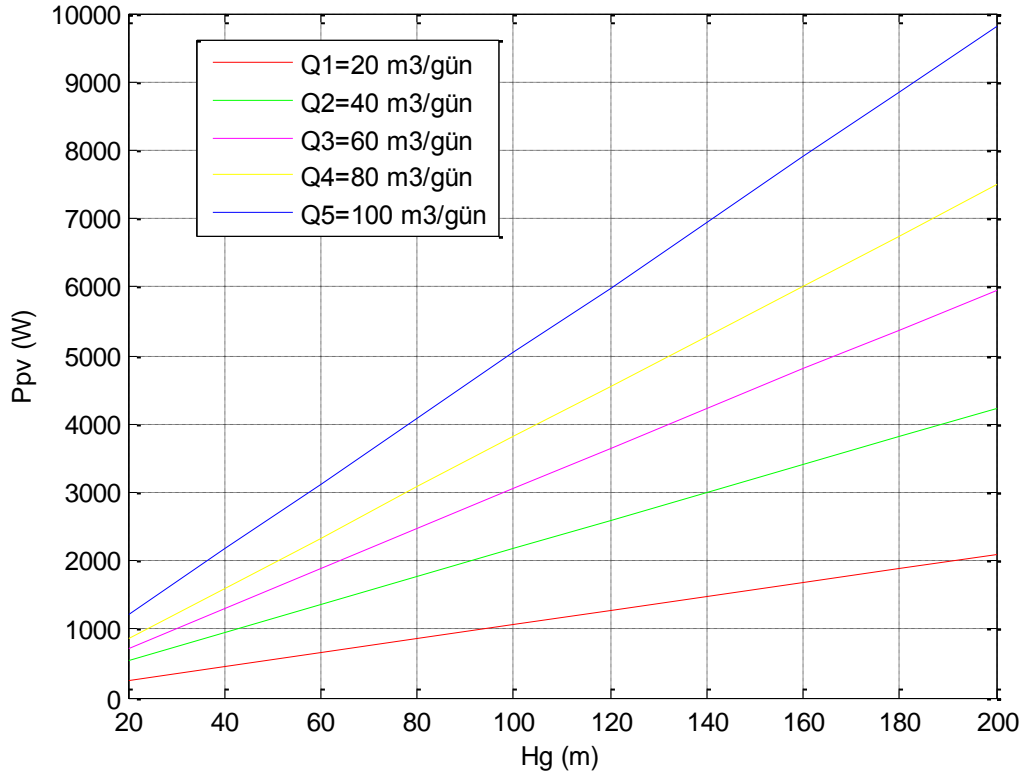
$$\eta_{GES} = 0,427$$

$$\text{Sistem Maliyeti} = 28.939 \text{ TL}$$

4.2 YORUMLAR

Bu çalışma İAB'nin Niğde ilinde elma sulama uygulaması için yapılmış olup, göreceli olarak seçilen sistem bileşenleri ve iller için yeni parametreler belirlenerek hesaplandığı takdirde tüm farklı bileşen ve iller için yapılabilmektedir.

Fotovoltaik sistem gücüne en çok etki eden parametreler günlük su ihtiyacı, ışınım şiddeti ve manometrik yüksekliktir. Dolayısı ile bu parametreler son derece dikkatli seçilmelidir. Günlük su ihtiyacı ve yükseklik arttıkça fotovoltaik sistem gücü de artmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Fotovoltaik sistem gücünün geometrik yükseklik ve günlük su ihtiyacına göre değişim grafiği.

Niğde ilinde üzüm yetiştirilmek istendiğinde, üzümün günlük su ihtiyacı daha düşük olduğundan ($35 \text{ m}^3/\text{gün}$) 100 m'den su çekebilmek için gerekli olan panel sayısı 8 adet bulunur. İAB'deki en düşük güneş radyasyonuna sahip olan Eskişehir'de elma yetiştirilmek istendiğinde ise 100 m'den su çekebilmek için gerekli olan panel sayısı 14 adet bulunmaktadır. Niğde ilinde yetiştirilecek olan elmanın günlük su ihtiyacı 100 m yerine 180 m derinlikten sağlanmak istendiğinde gereken panel sayısı 16 adet olmaktadır.

Ekonomik boru çapı, 200 m derinliğe kadar belli bir Q değeri için sabit olmakta, farklı Q değerleri için değişim göstermektedir. Boru kaybı, yükseklik arttıkça artmakta ve her 20 m'lik derinlik farkı için 3-4 m kadar bir değişim göstermektedir (Çizelge 4.7).

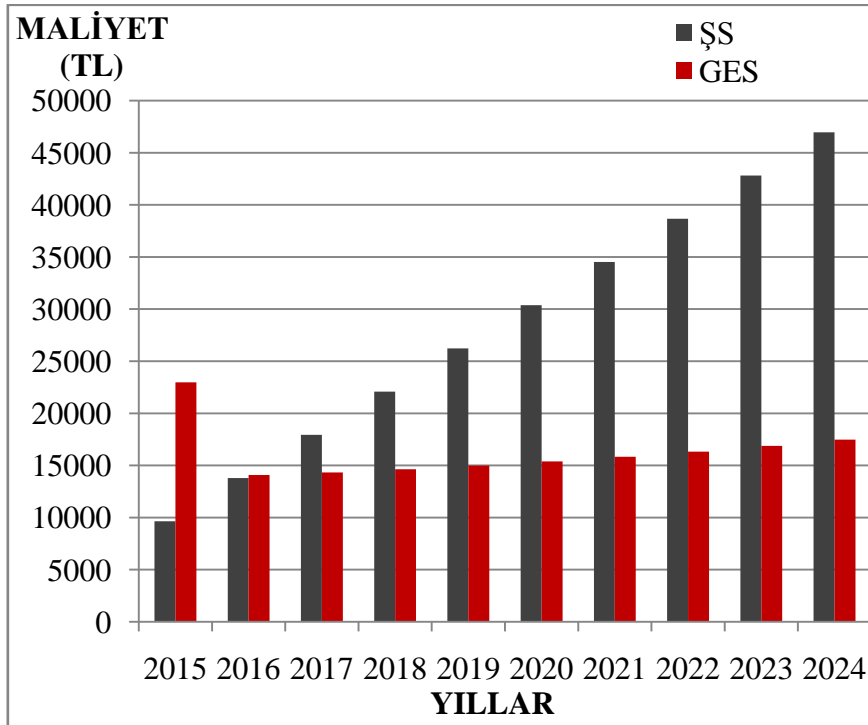
Çizelge 4.7 Muhtelif günlük su ihtiyaçları ve manometrik yükseklikler için hesaplanan parametreler.

Q = 20 m³/gün	Hg (m)	Hm (m.s.s)	Pm (W)	Ppv (W)	Ps (adet)	De (m)
	20	30	157	255	2	0,018
	40	54	282	458	2	0,018
	60	78	407	660	4	0,018
	80	101	532	863	4	0,018
	100	125	656	1.066	6	0,018
	120	149	782	1.269	6	0,018
	140	173	907	1.472	6	0,018
	160	197	1.032	1.675	8	0,018
	180	220	1.157	1.878	8	0,018
200	244	1.282	2.080	10	0,018	
Q = 40 m³/gün	Hg (m)	Hm (m.s.s)	Pm (W)	Ppv (W)	Ps (adet)	De (m)
	20	32	332	538	4	0,023
	40	56	585	949	4	0,023
	60	80	838	1.360	6	0,023
	80	104	1.091	1.771	8	0,023
	100	128	1.344	2.182	10	0,023
	120	152	1.597	2.592	12	0,023
	140	176	1.850	3.003	14	0,023
	160	200	2.103	3.414	14	0,023
	180	224	2.356	3.825	16	0,023
200	249	2.609	4.235	18	0,023	
Q = 60 m³/gün	Hg (m)	Hm (m.s.s)	Pm (W)	Ppv (W)	Ps (adet)	De (m)
	20	29	449	728	4	0,029
	40	51	807	1.310	6	0,029
	60	74	1.165	1.891	8	0,029
	80	97	1.523	2.472	10	0,029
	100	119	1.881	3.053	14	0,029
	120	142	2.239	3.634	16	0,029
	140	165	2.597	4.216	18	0,029
	160	188	2.955	4.797	20	0,029
	180	210	3.314	5.378	22	0,029
200	233	3.672	5.959	24	0,029	
Q = 80 m³/gün	Hg (m)	Hm (m.s.s)	Pm (W)	Ppv (W)	Ps (adet)	De (m)
	20	25	534	867	4	0,036
	40	47	987	1.602	8	0,036
	60	67	1.440	2.338	10	0,036
	80	91	1.893	3.073	14	0,036
	100	112	2.347	3.809	16	0,036
	120	133	2.800	4.544	20	0,036
	140	155	3.253	5.280	22	0,036
	160	177	3.706	6.015	26	0,036
	180	198	4.159	6.751	28	0,036
200	220	4.613	7.486	30	0,036	
Q = 100 m³/gün	Hg (m)	Hm (m.s.s)	Pm (W)	Ppv (W)	Ps (adet)	De (m)
	20	28	745	1.209	6	0,036
	40	51	1.334	2.165	10	0,036
	60	73	1.923	3.120	14	0,036
	80	96	2.511	4.076	18	0,036
	100	118	3.100	5.031	22	0,036
	120	141	3.689	5.987	24	0,036
	140	163	4.277	6.942	28	0,036
	160	185	4.866	7.898	32	0,036
	180	208	5.455	8.853	36	0,036
200	230	6.043	9.809	40	0,036	

Aynı sulama uygulamasında şebeke elektriğini tercih eden çiftçi 5.505 TL ilk yatırım maliyeti ile kurduğu sistem için her yıl 4.145 TL elektrik faturası ve sabit gider masrafı ödeyecek, sistem maliyeti zaman içinde giderek artacaktır. Ayrıca bu sistemlerin bakım onarım gereksinimleri de göz önüne alındığında şebekeli sulama sistemi, bu sistemi tercih eden çiftçi için oldukça zararlı hale gelecektir.

Günümüzde AR-GE ve endüstriyel uygulamalara devlet tarafından teşvikler verilmektedir. Niğde Türkiye yatırım haritasında 5. bölgede yer almaktadır ve % 60 teşvik oranına sahiptir. Üreticiye projesini uygulamaya alıp çalıştırması için bir yıl süre verilir ve bu süre dolduğunda hak ettiği teşvik tarafına ödenir (KOSGEB 2015).

Bu durumda, GES sistemi uygulamasını tercih eden çiftçi ilk önce 22.969 TL tutarındaki ilk yatırım maliyetini ödeyecek, bir yıl sonra devlet katkısı için KOSGEB'e başvurarak yaptığı masrafın % 60'ını geri alacaktır. Böylece ikinci yılın sonunda sistemin maliyeti yaklaşık % 50 oranında düşecektir. Sistemin bakım onarım gereksinimi fazla olmadığı için yıllara göre maliyeti minimum düzeyde artacaktır. . Böylece GES sistemi bir süre sonra kendini amorti ederek bu sistemi tercih eden çiftçi için oldukça ekonomik hale gelecektir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Güneş enerjili (GES) ve şebekeli (ŞS) sulama sistemi maliyetlerinin yıllar içindeki durumu.

GES sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Ancak bu sistemler kendini amorti ederek kısa zaman içinde ekonomik hale gelmekte ve elektriğin sağlanamadığı kırsal kesimlerde çiftçiye alternatif sunmaktadır. Ayrıca yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğu için de ülke ekonomisine ve kalkınmasına fayda sağlamaktadır.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 SONUÇ

Güneş enerjisi en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Tarımsal sulamada güneş enerjisinden yararlanılması halinde, toplam üretim masrafları içerisinde en büyük paya sahip olan sulama masrafları azalacak dolayısıyla çiftçinin üretim maliyeti de azalacaktır. Elektriğin sağlanamadığı kırsal kesimlerde çiftçiye alternatif sunan güneş enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğu için ülke ekonomisine ve kalkınmasına önemli ölçüde fayda sağlayacaktır.

Bu amaçla yapılan çalışmada, İç Anadolu Bölgesi'nin (İAB) güneş potansiyeli araştırılmak üzere Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne başvurularak bölgede bulunan 14 ilin 13 yıllık (2000 - 2013) istatistikleri elde edilmiştir. Günlük ortalama global güneş radyasyon değerlerinin her il için aylık ortalamaları hesaplanmış ve 13 yılın ortalaması alınmıştır. Buna göre İAB' nin yıllık toplam gelen güneş enerjisinin 1.569,5 kWh/m².yıl (günlük toplam 4,3 kWh/m²), yıllık toplam güneşlenme süresinin ise 2.518 saat (günlük toplam 6,9 saat) olduğu tespit edilmiştir. Bölgedeki en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olan Niğde aynı zamanda Türkiye elma üretiminde ilk sırada yer almaktadır. Dolayısıyla Niğde ilinde, 1 hektar alan üzerinde yetiştirilecek elmanın günlük su ihtiyacını (39 m³) karşılamak üzere örnek bir pompaj tesisi tasarlanmış ve 100 m derinlikten su elde etmek için gerekli kurulu güç 2,5 kW olarak tespit edilmiştir. Fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sistemi uygulamalarının yaygınlaşmasına katkı sağlamak amacıyla, sistem bilgisayar ortamında modellenmiş ve bilinen bir derinlikten, gerekli olan günlük su ihtiyacını karşılayacak panel sayısı veren bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım yardımıyla yapılan çalışmalara göre, Niğde ilinde üzüm yetiştirilmek istendiğinde, üzümün günlük su ihtiyacı daha düşük olduğundan (35 m³/gün) 100 m'den su çekebilmek için gerekli olan panel sayısı 8 adet bulunmuştur. İAB'deki en düşük güneş radyasyonuna sahip olan Eskişehir'de elma yetiştirilmek istendiğinde ise 100

m'den su çekebilmek için gerekli olan panel sayısı 14 adet bulunmuştur. Niğde ilinde yetiştirilecek olan elmanın günlük su ihtiyacı 100 m yerine 180 m derinlikten sağlanmak istendiğinde gereken panel sayısının 16 adet olduğu görülmüştür. Ekonomik boru çapının, 200 m derinliğe kadar belli bir Q değeri için sabit olduğu, farklı Q değerleri için değişim gösterdiği belirlenmiştir. Boru kaybının, yükseklik arttıkça arttığı ve her 20 m'lik derinlik farkı için 3-4 m kadar bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. Dolayısı ile panel sayısına en çok etki eden parametrelerin günlük su ihtiyacı, ışınlam şiddeti ve manometrik yükseklik olduğu tespit edilmiştir.

Son olarak fotovoltaiik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sistemi ile şebekeden beslenen sulama sistemi maliyetleri belirlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Buna göre;

Aynı sulama uygulamasında şebeke elektriğini tercih eden çiftçi 5.505 TL ilk yatırım maliyeti ile kurduğu sistem için her yıl 4.145 TL elektrik faturası ve sabit gider masrafı ödeyecek, sistem maliyeti zaman içinde giderek artacaktır. Ayrıca bu sistemlerin bakım onarım gereksinimleri de göz önüne alındığında şebekeli sulama sistemi, bu sistemi tercih eden çiftçi için oldukça zararlı hale gelecektir.

Günümüzde AR-GE ve endüstriyel uygulamalara devlet tarafından teşvikler verilmektedir. Niğde Türkiye yatırım haritasında 5. bölgede yer almaktadır ve % 60 teşvik oranına sahiptir. Üreticiye projesini uygulamaya alıp çalıştırması için bir yıl süre verilir ve bu süre dolduğunda hak ettiği teşvik tarafına ödenir (KOSGEB 2015).

Bu durumda, GES sistemi uygulamasını tercih eden çiftçi ilk önce 22.969 TL tutarındaki ilk yatırım maliyetini ödeyecek, bir yıl sonra devlet katkısı için KOSGEB'e başvurarak yaptığı masrafın % 60'ını geri alacaktır. Böylece ikinci yılın sonunda sistemin maliyeti yaklaşık % 50 oranında düşecektir. Sistemin bakım onarım gereksinimi fazla olmadığı için yıllara göre maliyeti minimum düzeyde artacaktır. . Böylece GES sistemi bir süre sonra kendini amorti ederek bu sistemi tercih eden çiftçi için oldukça ekonomik hale gelecektir.

“Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin Modellenmesi” konulu bu çalışmanın, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda daha sonra yapılacak olan çalışmalara teknik bilgi sağlayacağı ve uygulama konusunda yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşmasına olumlu etki ederek ülke ekonomisine yarar sağlaması beklenmektedir.

5.2 ÖNERİLER

Son yıllarda nüfus hızla artmakta, artan nüfusa karşılık gelen enerji mevcut enerji kaynaklarından yeterli miktarda sağlanamamaktadır. Bu nedenle tüm dünya ülkeleri enerji yönünden dışa bağımlı olmamak, kendi enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yeni stratejilere yönelmeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygın hale getirebilmek için yöntem geliştirmelidir.

Gelişmiş ülkeler, yasal zorunluluklar nedeniyle çevre dostu, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaya, oldukça fazla önem vermektedir. Bu yönüyle yeni yüzyıl, güneş enerjisi ve türevleri ile diğer tükenmez ve temiz enerji kaynakları kullanımında atılım yapılacak bir çağ olma görünümündedir. PV güç etkili sulama sistemlerinin, enerjiyi kesintisiz, güvenilir, ucuz ve temiz olarak verimli kullanması, bu sistemlere gereken önemin verilmesini gerektirmektedir. Buradan hareketle bu sistemlerin kullanılmasının önemini vurgulayacak, kullanımı kolaylaştırıp yaygınlaştıracak çalışmalara hız verilmelidir. Ülkede güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan bölgelerde güneş enerjisinin kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla eğitim programları düzenlenerek toplum bilinci geliştirilmelidir.

Bu bölgelere daha çok güneş enerjisi yatırımı yapılmalı, sulama ve diğer uygulama alanlarında güneş enerjisi kullanımı benimsetilmeli hatta zorunlu hale getirilerek devlet tarafından teşvikler arttırılarak desteklenmelidir.

Güneş enerjisinden sadece sulama alanında değil ısıtma ve soğutma gibi elektrik enerjisi gerektiren diğer uygulama alanlarında da yararlanılmalı, bu bağlamda bu alanlarda güneş enerjisi kullanımı araştırılmalı ve yöntem geliştirilmelidir. İlk etapta küçük güçlü sistemler kurulmalı ve daha sonra büyük güçlü santraller kurularak güneş enerjisinden maksimum ölçülerde yararlanılması hedeflenmelidir.

GES sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olduğu göz ardı edilmemeli, sistem mümkün olduğu kadar doğru boyutlandırılarak bileşenler dikkatli seçilmelidir. Günden güne gelişen fotovoltaik teknolojisi alanındaki çalışmalar hız kesmeden devam etmeli, sistemden en yüksek verimi en ekonomik şekilde sağlayacak yöntemler geliştirilmelidir.

Toplum olarak, enerji gereksiniminin, her ülkenin kendi iç sorunu değil, aslında bir dünya sorunu olarak hepimizin ortak sorunu olduğunun bilincine varmalıyız.

KAYNAKLAR

- Acakpovi A, Xavier F F and Awuah-Baffour R** (2012) Analytical Method of Sizing Photovoltaic Water Pumping System. *2012 IEEE 4th International Conference Adaptive Science & Technology (ICAST)*,65-69.
- Atik K P** (2013) Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Parametrelerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ, 38
- 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 and 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.
- Bione J, Vilel A O C and Fraidenraich N** (2004) Comparison of the Performance of PV Water Pumping Systems Driven by Fixed, Tracking and Vtrough Generators. *Solar Energy*, 76(6): 703–711.
- Birleşmiş Milletler Çevre Programı UNEP** (2014) <http://energyworld.com.tr/yenilenebilir-enerji-yatiriminda-kuresel-trendler-2014-raporu-ve-turkiye-icin-cikarimlar.html>. (Erişim tarihi, 13 Mayıs 2014).
- Bouzıdı B, Haddadı M and Belmokhtar O** (2009) Assessment of a Photovoltaic Pumping System in the Areas of the Algerian Sahara. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(4): 879–886.
- Çelik A ve Abut N** (2005) Fotovoltaik Pil, Akü, Elektrik Motoru ve Su Pompası İçeren Kompleks Sistemin Dinamik Modeli. II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, MBGAK 2005, İstanbul, 17–19 Kasım 2005.
- ETKB** (2014) Mavi Kitap, Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri, s.302
- ETKB** (2015) <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Erişim tarihi, 10 Mart, 2015).
- Fiaschi D, Graniglia R and Manfrida G** (2005) Improving the Effectiveness of Solar Pumping Systems by Using Modular Centrifugal Pumps With Variable Rotational Speed. *Solar Energy* 79: 234–244.
- Gençoğlu M T, Cebeci M ve Güneş M** (2010) Güneş Enerjisi ile Çalışan PLC Kontrollü Su Pompası Sistem Tasarımı.
- Ghoneim A A** (2006) Design Optimization of Photovoltaic Powered Water Pumping Systems. *Energy Conversion and Management*, 47(11–12): 1449-1463.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Glasnovic Z and Margeta J** (2007) A Model For Optimal Sizing of Photovoltaic Irrigation Water Pumping Systems. *Solar Energy*. 81: 904–916.
- Gökalp Y** (2014) Güneş Enerjisinden Yararlanarak Santrifüj Pompa ile Su Pompalama Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Adana, s. 37.
- Hrayshat E S and Al-Soud M S** (2004) Potential of Solar Energy Development For Water Pumping in Jordan. *Renewable Energy* 29:1393–1399.
- Kaldellis J K, Meidans E and Zafirakis D** (2011) Experimental Energy Analysis of a Stand-Alone Photovoltaic-Based Water Pumping Installation. *Applied Energy* 88(12): 4556–4562.
- Khatip T** (2010) Design of Photovoltaic Water Pumping Systems at Minimum Cost For Palestine: A Review. *2010 Journal of Applied Sciences*,10(22): 2773-2784.
- KOSGEB** (2015) <http://www.kobi-line.com.tr> (Erişim Tarihi: 12 Mart 2015).
- Köksal M A** (2012) Güneş Enerjisiyle Su Pompalama Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana, s.41.
- MGM** (2013) 2010-2013 Yılı Günlük Ortalama Sıcaklık, Günlük Toplam Global Güneş Radyasyonu, Günlük Güneşlenme Süresi İstatistikleri. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü.
- 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.
- Niğde İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü** (2015) <http://nigde.tarim.gov.tr>. Erişim Tarihi (15 Nisan 2015).
- Özgür C** (1977) Su Makinaları. *İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası*, s.226
- Öztürk A ve Dursun M** (2011) 2,10 ve 20 KVA' lık Fotovoltaik Sistem Tasarımı. *6th International Advanced Technologies Symposium (LAST'11)*, 16-18 May 2011, Elazığ.
- Öztürk H H** (2010) Güneş Pili ile Çalışan Tarımsal Sulama Sistemleri İçin Tasarım Ölçütlerinin Belirlenmesi. 4. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Bildiri Kitabı, 6-7 Kasım 2009, Mersin. s. 58–73.
- Öztürk H H, Eren Ö, Özsvran M ve Arslan M** (2011) Güneş Enerjisiyle Termo-mekanik Dönüşüm İlkesine Göre Çalışan Su Pompalama Uygulamalarının Değerlendirilmesi.5.Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı. MMO Yayın No: E/2011/562, Mersin, s.277–294.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Öztürk L** (2014) Fotovoltaik Modüllerin Verimine Modül Sıcaklığının Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, s. 42
- Purohit P and Kandpal T C** (2005) Renewable Energy Technologies For Irrigation Water Pumping in India: Projected Levels of Dissemination, Energy Delivery and Investment Requirements Using Available Diffusion Models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9(6): 592–607.
- Sallem S, Chaabene M and Kamoun, M B A** (2009) Energy Management Algorithm For an Optimum Control of a Photovoltaic Water Pumping System. *Applied Energy*.
- 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.
- TEİAŞ** (2015) <http://www.teias.gov.tr/ElektrikUretimPlani.aspx> (Erişim Tarihi, 20 Nisan 2015).
- URL- 1** (2015) http://ysmtarim.com/?Teknik_Bilgiler (Erişim Tarihi: 13 Mart 2015).
- URL-2** (2015) www.lorentz-turkey.com/solar-dalgic-pompalar.html (Erişim Tarihi: 05 Nisan 2015).
- URL-3** (2015) <http://www.dizayngrup.com>(2015) (Erişim Tarihi: 03 Nisan 2015).
- Vatansever H** (2014) Enerji Altyapısı ve Yatırımları İzmir Bölgesi Enerji Forumu. s.16
- YEGM** (2015) Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, www.eie.gov.tr (Erişim tarihi, 15 Mart 2015).
- Yeşilata B and Fıratoğlu Z A** (2008) Effect of Solar Radiation Correlations on System Sizing: PV Pumping Case. *Renewable Energy*. 33: 155–161.
- Yıldız Teknik Üniversitesi** (2015) www.yildiz.edu.tr (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2015).
- Yılmaz M** (2012) Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*. 4(2):33-54.

EK AÇIKLAMALAR A

POMPA TEKNİK ÖZELLİKLERİ

PS Sarmal Rotor Solar Pompa Sistemleri

4" ve 6" lik Kuyular için Dalgıç Pompa Sistemi



LORENTZ PS sarmal rotor (HR) pompaları içme suyu, hayvan sulama ve küçük arazi sulama alanlarında kullanılmak için dizayn edilmiş yüksek kaliteli ürünlerdir. PS HR pompalar suyu her yerde ekonomik olarak, temiz ve güvenilir bir şekilde edinmenizi sağlar.

LORENTZ PS doğru akım serisi sarmal rotorlu pompalar güneş enerjisini en verimli şekilde kullanarak su temini için kullanılmaktadır.

Sarmal Rotor pompaların kullanımı kolay, etkin ve güvenilirdir. Yerin 350 m derinliğine kadar çok düşük güneş enerjisiyle su çıkartma özelliğine sahiptir.

Her bir sistem pompa, pompa motoru ve denetleyici ekipmanlarından oluşmaktadır. Bu modüler konsept elektronik ekipmanı toprağın üstünde tutarak, kolay bakım, anında müdahale ve dolayısıyla ürünün genel maliyetinde (bakım, onarım giderleri hesaplandığında) düşüklüğü sağlamaktadır.

Avantajlar

- Uzun Ömür ve Servis kayıtlarında güvence.
- Uzak ve sert koşullarda kullanmaya uygunluk
- Basit Modüler yapıyla düşük maliyette bakım ve onarım imkanı
- Hızlı ve kolay kurulum
- Uygun maliyetlerde ek parça tedariki felsefesi
- Dizeli pompalara göre hızlı amortisman, ucuz üretim maliyetler
- Karbon ayak izini azaltarak çevreye yarar sağlama

Özellikler

- Alman Mühendisliği
- Su sıcaklığına özgü çeşitleri daha yüksek çıkış verimliliği sunar
- Yüksek kaliteli aşınmaz malzeme
- Dökme paslanmaz çelik bileşenler
- AC bağlantı özelliğiyle direk güneş bağlantısı
- FV modüllerin güç kullanımını MPPT teknolojisiyle maksimize etmek
- %90 üzeri verimlilikle çalışan güneş teknolojisi için tasarlanmış fırçasız ECDRIVE DC motorlar
- Opsiyonel Veri Saklama (Datalogger)

Pompa Sistemleri		PS200 HR	PS600 HR	PS1200 HR	PS1800 HR	PS4000 HR
Max Su Derinliği	[m]	50	180	240	250	350
Max. Debi	[m ³ /h]	2.6	2.6	2.5	3.9	2.5
SOLAR İŞLETİM						
Max. Güç Voltajı (Vmp)*	[VDC]	>34	>68	>102	>102	>238
Açık Devre Gerilimi (Voc)	[VDC]	max. 100	max. 150	max. 200	max. 200	max. 375
Nominal Voltaj	[VDC]	24-48	48-72	72-96	72-96	168-192
AKÜ İŞLETİM						
Nominal Voltaj	[VDC]	24 & 48	48	96	96	n.a.

*) *Standart Test Koşulları AM=1.5, E= 1000W/m², Hücre Sıcaklığı = 25 °C



EK AÇIKLAMALAR B

PANEL TEKNİK ÖZELLİKLERİ

250 W MONOSİLİKON GÜNEŞ PANELİ TEKNİK ÖZELLİKLER

1	Maksimum Güç (Pmax)	250 Watt
2	Güç tolerans değeri	%+0.3
3	Maksimum güçte akım değeri (Imp)	8.25 Amper
4	Maksimum güçte gerilim değeri (Vmp)	30.3 Volt DC
5	Kısa devre akımı (Isc)	8.76 Amper
6	Açık devre gerilimi (Voc)	37.3 Volt DC
7	Sıcaklığa bağlı güç değişimi (%/°C)	-0.47
8	İlk 10 yıl %90, ikinci 15 yıl %80 performans garantisi	
9	Bypass diyotlu (Gölgelemede sistem içerisinde paneli korur)	6 Adet
10	Tak-çalıştır bağlantı kutusu (Plug-Play Junction Box)	
11	Ebat	1640x992x40mm
12	Maksimum sistem voltajı	1000 Volt DC
13	Ağırlık	18.6 kg
14	İşletme sıcaklığı:	-40+85°C
15	MC4 konnektörlü ve 90mm kablo uzunluğu	
	Standart Test Koşulları	25°C, 1000 W/m ²



ÖZGEÇMİŞ

Güneyhan Taşkaya, 1983 yılında Trabzon ili Vakfikebir ilçesinde doğdu. İlk öğrenimini Trabzon, orta öğrenimini Kocaeli ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve eğitimini başarıyla tamamladı. 2007 yılında İstanbul Detay Mühendislik İnşaat-Taahhüt Ltd.Şti'de mekanik tesisat proje sorumlusu olarak göreve başladı. 2008 yılında Zonguldak ili Kdz.Ereğli ilçesine yerleşti ve 2009 yılında Ekosan Mühendislik firmasında doğalgaz proje sorumlusu olarak çalışmaya başladı. 2012 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği A.B.D'da yüksek lisans eğitimine başladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Müftü Mah. Yazar İlhami Soysal Cad.
No:5/7 Kdz.Ereğli/Zonguldak

Tel : (530) 435 52 51

E-posta : guneyhantaskaya@gmail.com