



T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NİĞDE BÖLGESİNDE TARIMSAL SULAMA AMAÇLI GÜNEŞ ENERJİSİ
POTANSİYELİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

REMZİ GÖZYUMAN

Temmuz 2016

TC.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NİĞDE BÖLGESİNDE TARIMSAL SULAMA AMAÇLI GÜNEŞ ENERJİSİ
POTANSİYELİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Remzi GÖZYUMAN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Mustafa BAYRAK

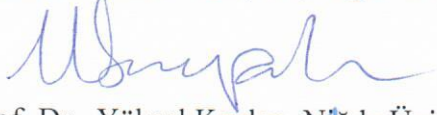
Temmuz 2016

Remzi GÖZYUMAN tarafından **Prof. Dr. Mustafa BAYRAK (1. Danışman)** ve **Yrd. Doç. Dr. Burak ŞEN (2. Danışman)** danışmanlığında hazırlanan “**Niğde Bölgesinde Tarımsal Sulama Amaçlı Güneş Enerjisi Potansiyelinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr., Hasan Hüseyin Öztürk, Çukurova Üniversitesi



Üye : Prof. Dr., Mustafa Bayrak, Niğde Üniversitesi



Üye : Prof. Dr., Yüksel Kaplan, Niğde Üniversitesi



Üye : Yrd. Doç. Dr., Burak Şen, Niğde Üniversitesi



Üye : Yrd. Doç. Dr., Fuat Karakaya, Niğde Üniversitesi



ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Remzi GÖZYUMAN



ÖZET

NİĞDE BÖLGESİNDE TARIMSAL SULAMA AMAÇLI GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİN TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ

GÖZYUMAN, Remzi

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Mustafa BAYRAK

İkinci Danışman : Yrd. Doç. Dr. Burak ŞEN

Temmuz 2016, 116 sayfa

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelme son yıllarda giderek artmaktadır. Bu yöneliş, öncelikle potansiyel hesaplamalarıyla başlamış, zamanla teknolojilerin uygulamasına geçilmiştir. Teknolojik anlamda güneş enerjisi uygulamaları; genelde ısıtma, elektrik üretme ve tarımsal sulama amaçlı olmaktadır. Elektrik üretimde fotovoltaik pil (PV) uygulamaları, dünya çapında büyük ivme kazanmıştır. Fotovoltaik sulama sistemlerinde boyut analizi yapılırken, kullanılan eski metotlar, sadece üretilen hidrolik enerjinin gereksinimlerini dikkate alırdı. Bu metotların aksine bu çalışmada problem, sistematik olarak ele alınıp, sistemin bütün elemanlarının ve bileşenlerinin analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada, öncelikle Niğde'nin tarımsal yapısı tespit edilip, uygulama yapılan alanın enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Söz konusu çalışmalar göstermiştir ki; tarımsal amaçlı sulamada, çok büyük bir enerji ihtiyacı bulunmaktadır. Çalışmada, bu sorunlar derinlemesine irdelenmiştir. Güneş elektriğinin yeni gelişmekte olan bir sektör olduğu, ancak zamanla tarım ve tarıma dayalı sanayi dallarında son derece yoğun şekilde kullanılabilir bir enerji çeşidi olması nedeniyle, yapılan bu çalışmanın önemli bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Enerji, güneş enerjisi, fotovoltaik pil, hidrolik enerji, Niğde, tarım.

SUMMARY

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SOLAR ENERGY OF AGRICULTURAL IRRIGATION APPLICATION POTENTIAL IN NIGDE DISTRICT

GÖZYUMAN, Remzi

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa BAYRAK

Co-Advisor : Assist. Prof. Dr. Burak ŞEN

July 2016, 116 pages

In recent years, renewable energy resources towards increasing steadily. In time, this orientation began primarily potential calculations enable the technologies. In technological applications of solar energy in general, heating, electricity generation and agricultural irrigation purposes are. Electricity-generating photovoltaic cells (PV) applications have gained tremendous momentum worldwide. The previous methods for optimal sizing of photovoltaic irrigation water pumping systems separately considered the demand for hydraulic energy. Unlike such methods, this work approaches the subject problem systematically, meaning that all relevant system elements and their characteristics have been analyzed.

In this study, first detected in agricultural structure of Niğde, energy needs to be determined of the application field. The studies have shown that there is a very big energy need irrigation for agricultural purposes. In this study, these problems have explicated in depth. Solar electricity is a new developing industry however, due to agricultural and agricultural based industry is a highly intensive energy, this study will fill an important gap.

Keywords: Energy, solar energy, photovoltaic cell, hydraulic energy, Nigde, field.

ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasında, Niğde bölgesinde tarımsal sulama amaçlı güneş enerjisi potansiyeli, teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Güneş enerjili tarımsal sulama, yenilenebilir enerji kaynakları arasında kullanılan en cazip uygulamadır. Fakat bu uygulamayı yaparken, teknik ve ekonomik fizibilitenin çok iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, teknik ve ekonomik fizibilite uygun bir şekilde yapıp, şebeke destekli elektrik sistemleri ve güneş enerjili sistemlerin maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Mustafa BAYRAK ve 2. Danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Burak ŞEN' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam esnasında, tecrübelerine başvurduğum Öğretim Görevlisi Oğuzhan YILDIZ' a müteşekkir olduğumu ifade etmek isterim. Çalışmanın yapıldığı araziye tahsis eden, Patates Araştırma Enstitüsü Müdürü Sayın Uğur PIRLAK, Ziraat Yüksek Mühendisi Sayın Murat NAM ve müdürlüğün bütün çalışanlarına sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca fotovoltaiik sistemin kurulumundan itibaren, maddi ve teknik yardımlarını esirgemeyen Gookir Global Ltd. Şti. sahibi Makine Mühendisi Sayın Gökhan KIRMALI ve ekibine, aynı zamanda değerli dostum Adem YÜRÜTMEN'e teşekkür ederim.

Bu tezi, çalışmam boyunca bana desteğini esirgemeyen eşime, oğluma ve kızıma ithaf ediyorum.

Bu çalışmaya FEB 2014/18 numaralı proje ile finansal destek sağlayan Niğde Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ÖN SÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xv
SİMGE VE KISALTMALAR	xvi
BÖLÜM I GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç.....	2
1.2 Kapsam	2
1.3 Önceki Çalışmalar	4
BÖLÜM II GÜNEŞ ENERJİSİ	11
2.1 Genel Bilgiler	11
2.1.1 Güneş enerjisinin kullanım alanları	14
2.1.1.1 Isıl uygulamalar	14
2.1.1.1.1 Düşük sıcaklık uygulamaları (20 °C ile 100 °C)	15
2.1.1.1.2 Orta sıcaklık uygulamaları (100 °C ile 300 °C).....	15
2.1.1.1.3 Yüksek sıcaklık uygulamaları (300 °C ve Üzeri)	15

2.1.1.2 Fotovoltaik uygulamalar	16
2.1.2 Dünyada güneş enerjisi	16
2.1.3 Türkiye'de güneş enerjisi	20
2.2 Güneş Pilleri.....	22
2.2.1 Tarihsel gelişimi	23
2.2.2 Güneş pillerinden elektrik üretimi:	24
2.2.2.1 Maddenin yapısı ve yarı iletkenler	24
2.2.2.2 N tipi yarı iletken	26
2.2.2.3 P tipi yarı iletken.....	27
2.2.2.4 P – N kavşağı.....	28
2.2.2.5 Yarı iletkenlerin katkılanması	29
2.2.2.6 Fotovoltaik pil	30
2.2.3 Güneş pillerinin çalışma ilkeleri.....	31
2.2.3.1 Güneş pillerinin yapısı	32
2.2.3.2 PV modüllerin üretim süreci	34
2.2.4 Güneş pili çeşitleri	36
2.2.4.1 Kristal silisyum güneş pilleri.....	36
2.2.4.2 Monokristal silisyum güneş pilleri	36
2.2.4.3 Semikristal (yarı kristal) silisyum güneş pilleri.....	36
2.2.4.4 Ribbon silisyum güneş pilleri.....	36
2.2.4.5 Polikristal silisyum güneş pilleri	37

2.2.4.6 İnce film güneş pilleri	37
2.2.4.7 Amorf silisyum güneş pilleri	37
2.2.4.8 Bakır indiyum diselenoid güneş pilleri	37
2.2.4.9 Diğer yapılar	38
BÖLÜM III GÜNEŞ ENERJİSİNİN TARIMSAL SULAMA AMACIYLA KULLANIMI.....	39
3.1 Niğde’de Güneş Enerjisi	39
3.2 Niğde’de Tarım	41
3.3 Niğde’nin İklim Özellikleri.....	42
3.4 Sulama Yöntemleri.....	43
3.4.1 Yüzey sulama yöntemleri.....	44
3.4.1.1 Salma sulama yöntemi	44
3.4.1.2 Tava (göllendirme) sulama sistemi	45
3.4.1.3 Karık sulama yöntemi	45
3.4.2 Basınçlı sulama sistemi	46
3.4.2.1 Yağmurlama sulama yöntemi	46
3.4.2.2 Mikro yağmurlama sulama yöntemi	48
3.4.2.3 Damla sulama yöntemi.....	48
BÖLÜM IV MATERYAL VE YÖNTEM.....	50
4.1 Sulama Gereksinimleri	53
4.2 Toprak Nemi Ölçümleri.....	53
4.3 Bitki Su Tüketimi ve Sulama Suyunun Saptanması.....	53

4.4 Güneş Enerjisi Şiddetinin Belirlenmesi.....	54
4.5 Teknik Fizibilite	58
4.6 Ekonomik Fizibilite	59
4.7 Sistem Bileşenleri.....	61
4.7.1 Fotovoltaik güneş panelleri	61
4.7.2 Şebekeden bağımsız invertör.....	63
4.7.3 MPPT solar şarj regülâtörü	64
4.7.4 65 AH gel akü.....	65
4.7.5 AC su pompası	66
4.7.6 Debimetre.....	67
BÖLÜM V BULGULAR VE TARTIŞMA	68
5.1 Uygulama	68
5.1.1 Sulama suyu hesabı.....	69
5.1.2 Pompa hesabı.....	72
5.2 Sistemin Kurulumu.....	77
5.2.1 Kurulan fotovoltaik sistemin maliyeti ve ürettiği enerji.....	80
5.3 Sulama Dönemi Boyunca Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Analiz	81
5.3.1 Sistem sadece sulama dönemi boyunca kullanıldığında ekonomik analiz	81
5.3.2 Sistem elektrik şebekesine bağlandığı durumda ekonomik analiz	81
5.3.3 Tüm yıl boyunca üretilen elektriğin kullanılması durumunda ekonomik analiz	82

5.3.4 PV sistemin Patates Araştırma Enstitüsü'nde tarımsal sulama ve resmi dairelerin tüm elektrik enerjisi ihtiyacı için kullanılması durumunda ekonomik analiz.....	82
BÖLÜM VI SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR.....	92
ÖZ GEÇMİŞ.....	97



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. 2040 yılına kadar yenilenebilir enerji gelişim tahmini	19
Çizelge 2.2. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	21
Çizelge 2.3. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	22
Çizelge 3.1. TR71 Bölgesi tarla bitkileri ekiliş alanları	42
Çizelge 3.2. Sulama yöntemleri	43
Çizelge 4.1. Niğde'de günlük güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu değerleri	55
Çizelge 4.2. Niğde ili YAS kooperatif sulama sahalarında fiili sulama suyu kullanımı	61
Çizelge 4.3. Panel karakteristik özellikleri	62
Çizelge 4.4. Gesper KS 4K teknik özellikleri.....	64
Çizelge 5.1. Sahaya ait genel ve teknik veriler	69
Çizelge 5.2. Tansiyometre ve class a pan ile sulama ihtiyacı belirlenmesi	71
Çizelge 5.3. Vana ve armatürlerin aynı direnç kaybına tekabül eden eşdeğer düz boru boyları	73
Çizelge 5.4. Borularda sürtünme kayıpları tablosu	76
Çizelge 5.5. 2014 yılı aylık toplam radyan değerlerine göre sistemin yıllık ürettiği enerji	80
Çizelge 5.6. Patates araştırma enstitüsünün 2014 yılı için tarımsal sulamada gece ve gündüz tükettiği enerji miktarı ve ödenen fatura bedeli	83
Çizelge 5.7. Patates araştırma enstitüsünün 2014 yılı için resmi dairelerde gece ve gündüz tükettiği enerji miktarı ve ödenen fatura bedeli	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dünyada kurulu güneş pilinin kullanım alanlarına göre dağılımı	17
Şekil 2.2. Silisyum ve germanyum yarı iletkenlerinin yapısı	25
Şekil 2.3. Enerji bandları	26
Şekil 2.4. N tipi yarı iletken	27
Şekil 2.5. P tipi yarı iletken	27
Şekil 2.6. P – N kavşağının oluşumu	28
Şekil 2.7. P – N kavşağı ve iç akım	29
Şekil 2.8. Fotovoltaik pilin yapısı	31
Şekil 2.9. Fotovoltaik pil eşdeğer elektrik devresi	31
Şekil 2.10. Güneş pilinin yapısı	32
Şekil 2.11. Fotovoltaik hücre, modül, panel ve diziler	33
Şekil 2.12. Güneş pili ile akünün şarj edilmesi	34
Şekil 2.13. Güneş panellerinin üretim süreci	35
Şekil 2.14. Güneş pillerinde kullanılan silikon tabakalarına uygulanan işlemler	35
Şekil 3.1. Niğde global radyasyon değerleri	39
Şekil 3.2. Niğde global radyasyon değerleri	40
Şekil 3.3. Niğde güneşlenme süreleri	40
Şekil 3.4. Niğde PV tipi-alan-üretilebilecek enerji	41
Şekil 3.5. Damla sulama yöntemi	49

Şekil 4.1. Doğrudan bağlantılı PV su pompalama sisteminin başlıca bileşenleri.....	51
Şekil 4.2. Fotovoltaik sistemler için başlıca düzenlemeler	52
Şekil 4.3. Fotovoltaik sulama sisteminin şematik gösterimi	53
Şekil 5.1. Çalışmanın şematik gösterimi	72



FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 3.1. Karık sulama yöntemi.....	46
Fotoğraf 3.2. Yağmurlama sulama yöntemi	47
Fotoğraf 4.1. Fotovoltaik paneller	62
Fotoğraf 4.2. İnvertör ve şarj regülâtörünün görünüşü	65
Fotoğraf 4.3. Gel akü.....	66
Fotoğraf 4.4. AC su pompası	67
Fotoğraf 4.5. Debimetre.....	67
Fotoğraf 5.1. Patates Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nün üstten görünüşü.....	68
Fotoğraf 5.2. 30 cm ve 60 cm tansiyometreler	70
Fotoğraf 5.3. Plüviyometre ve class a pan.....	70
Fotoğraf 5.4. Fotovoltaik sistemin kurulacağı yer	77
Fotoğraf 5.5. Sistem bileşenlerinin sistemin kurulacağı yere getirilmesi	77
Fotoğraf 5.6. Fotovoltaik panellerin montajı	78
Fotoğraf 5.7. Montajı yapılan fotovoltaik paneller	78
Fotoğraf 5.8. Pompaların havuzun üstüne montajı	79
Fotoğraf 5.9. Fotovoltaik sistemin kurulumundan sonra elde edilen su	79
Fotoğraf 5.10. Arazinin sulanması	80

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

°C	Celsius derece
Cd	Kadmiyum
Ga	Galyum
eV	Elektron volt
Ge	Germanyum
ha	Hektar
I	Akım
°K	Kelvin
Si	Silisyum
R	Direnç
Te	Tellür

Kısaltmalar

Açıklama

AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EÜ	Erciyes Üniversitesi
GW	Gigawatt

GW _{th}	Gigawatt termal
Kcal	Kilokalori
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattsaat
kWh/m ² /gün	1 günde metrekareye gelen kilowattsaat
m ²	Metre kare
m ³	Metre küp
MFOs	Pazar Kolaylaştırma Organizasyonları
MPPT	Maksimum Güç Noktası İzleyici
MTA	Maden Tetkik ve Arama
MW	Megawatt
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
PLC	Programlanabilen Mantıksal Denetleyici
PV	Fotovoltaik Pil
PVP	Fotovoltaik Pompalama
RPS	Renewable Portfolio Standards
TEP	Ton eşdeğer petrol
W	Watt
Wh/m ²	Metre kareye düşen watt saat.

BÖLÜM I

GİRİŞ

Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının, hızla bitme noktasına gelmesi, bakım onarım fiyatlarının yüksek olması, insanlara, diğer canlılara ve doğal çevreye zarar vermesi, mevcut enerji kaynaklarının pahalı olması, son dönemlerde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi artırmış ve yeni çalışmalar yapılmasını gerektirmiştir.

Öncelikle güneş enerjisi; bütün canlılar için ve doğal çevre için temiz ve hiçbir şekilde atık madde içermeyen, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Kömür, petrol gibi nükleer ve fosil yakıtlar, çevreye büyük miktarda zarar vermektedir. Güneşten enerji üretim sistemi, hem modülerdir, hem de çevreye hiçbir zararı bulunmamaktadır. Modüler olmasından dolayı montajı, istenildiği zaman, istenildiği yere yapılabilir. Gerekli görüldüğü taktirde fotovoltaik sisteme yeni modüller, çok kısa bir sürede monte edilebilir. Bu durum, geleneksel enerji sistemleri için söz konusu değildir. Özellikle su kaynağına ve sulanacak araziye yakın bir yerde kurulan fotovoltaik sistemler, birçok ekipman ihtiyacını azalttığından dolayı, daha ekonomik olabilmekte ve daha güvenli enerji üretimi sağlamaktadır.

Güneş enerjisi sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri dışındaki bakım ve işletme maliyetleri, geleneksel enerji sistemlerine oranla yok denecek kadar az miktardadır. Özellikle kırsal bölgelerde, fotovoltaik sistemlerle daha ucuz ve daha çevre dostu enerji üretmek mümkündür.

Güneş enerjisinin; ilk yatırım maliyetinin fazla olması, çok fazla miktarda panele gereksinim duyulması, enerjinin sürekli olarak değişken olması ve henüz yaygınlaşmaması dışında, işletme ve bakım masraflarının çok az olması, doğrudan ısı enerjisi olarak kullanılması, enerji kaynağının hiçbir zaman tükenmemesi ve tam bir çevre dostu olması dolayısıyla, diğer enerji sistemlerine göre bir çok avantajları mevcuttur.

1.1 Amaç

Bu çalışmanın amacı, gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de çiftçiler için, fotovoltaik enerji uygulamalarının sürdürülebilirliğini sağlamak, daha ekonomik ve çevre dostu olan bu sistem konusunda araştırmalar yapmaktır. Gelecekte, dünyada yaklaşık %60 ek gıda ihtiyacı, sulu tarımdan karşılanacaktır (FAO, 1999). Dünya gıda üretiminin %40'ı toplam ekili alanın %17' lik kısmı olan sulu tarımdan sağlanır. Üçüncü dünya ülkelerinin sahip olduğu tarım arazisi, dünyanın toplam sulanan alanın dörtte üçü kadardır (260 milyon hektar). Çiftçiler, bu tarım arazisinin yarısından fazlasını ekerler. Dünya gıda güvenliğinin sağlanması için, küçük işletmelerin yaptığı tarımda kullanılan sulama tekniklerinin geliştirilmesi gerekir (FAO, 1999).

İnsanlarda ve hayvanlarda olduğu gibi, bitkiler de yaşamak için suya ihtiyaç duyarlar. Bitkiler, ihtiyaç duyduğu suyu, kökleri aracılığıyla topraktan alırlar. Bitkilerin aldığı su, hem fotosentez işlemi olarak, hem de çeşitli bileşiklerin yapımında kullanılmakta olup, büyük bir çoğunluğu ise transpirasyon işlemiyle atmosfere verilmektedir. Özellikle tarımla uğraşan bir ülke olmamız dolayısıyla, yağmur suyunun yeterli olmadığı durumlarda, çiftçilerin tarlalarına gerekli olan suyu sağlamaları için, yeni ve güvenilir teknolojiyle suyun belli bir kaynaktan çekilmesi gerekmektedir.

Sulama amacıyla suyun sağlanmasında temel yöntem, su kaynağı ile sulama yapılan tarla arasında suyun iletilmesidir. Suyun bu hareketi, bir enerji gerektirir. Suyun kaynak ile tarla arasında iletilmesinde kullanılan mekanik araç ve gereçlerin tümü, pompaj tesisini oluşturur. Pompaj tesisinin projelenmesi, seçimi, kurulması, işletilmesi ve bakımı önemli mühendislik konularını içerir.

1.2 Kapsam

Fosil yakıtlı enerjiler, karbon temelli iklim değişikliğine ve hava kirliliğine neden olurlar. Ayrıca, fosil yakıtların artan maliyetleri ve enerjinin sürdürülebilir olması için, dünyanın birçok yerinde temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi temel alınmıştır. Tarımsal sulama yapmak için, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yoğun enerji sağlayan fotovoltaik sistemli pompalama (PVP) öne sürülmüştür (Barlow vd.,1993).Ancak, fotovoltaik sistemin diğer enerji uygulamaları gibi; hem teknik, hem de ekonomik olarak uygulanabilir olması gerekir. Bu yüzden yapılacak uygulama için, iyi bir fizibilite çalışması yapmak gerekmektedir. Etkin bir sulama için gerekli olan bu

fizibilite çalışmaları; ürün türü, yeri, su derinliği, enerji maliyetleri, devlet teşvikleri ve karbon vergileri gibi birçok faktöre bağlıdır.

Son yıllarda yapılan araştırmalar göstermiştir ki; tarım alanında çok fazla miktarda enerji kullanılmaktadır. Bu yüzden enerji korunumu da dikkate alınmalıdır. Yapılan birçok araştırma; tarımda kullanılan geleneksel enerji sistemlerinin çok fazla miktarda enerji harcaması, bu sistemlerin çok pahalı olması ve çevreyi sürekli olarak kirletiyor olmasından dolayı, daha az enerji tüketen, düşük maliyetli ve daha etkin bir sulama yapılabilmesini sağlayan, yeni ve tükenmez doğal enerji kaynaklarına olan yönelimi artırmıştır. En önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden tarımsal sulama amacıyla yararlanılması durumunda, toplam üretim giderleri içerisinde büyük yer tutan sulama giderleri azalacak ve buna bağlı olarak üretim maliyeti de düşecektir (Odeh vd.,2006). Geleneksel enerji kaynaklarının pahalı olması daha doğrusu gelen fatura bedellerinin yüksek olmasından dolayı, işilerin sulamalarını daha ucuza yapabilmeleri için yenilenebilir enerji kaynakları çok önemli bir noktaya gelmiştir. Tarımsal sulamada, enerji korunumunun sağlanması ve çevreye olan zararın en az seviyeye çekilebilmesi amacıyla, geleneksel enerji kaynakları yerine temiz, evre dostu ve hiçbir zaman tükenmeyen doğal enerji kaynaklarından faydalanılması önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Sulama ihtiyaının optimal yapılabilmesi amacıyla, daha az enerji harcayarak suyun sağlanması için birçok metot uygulanmıştır. Suyun pompalanarak iletilmesinde kullanılan bu metotlarda insanlardan, hayvanlardan, rzgrdan ve fosil yakıtlardan faydalanılmıştır. Fotovoltaik enerji sistemlerinin, geleneksel enerji sistemlerine göre temel avantajları;

1. Bakım ve işletme masraflarının olmaması ya da çok az olması
2. Uzun bir kullanım sürelerinin olması
3. Yakıtı ihtiyaç duymamaları
4. evre dostu olmaları.

Sulama uygulamalarında, suya en fazla gereksinim duyulan zaman, güneş işınımının en fazla olduğu zamandır. Bu durum, bu sistemler için bir üstünlük olarak değerlendirilebilir (Vilela vd.,2003).

Ülkemizin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyelini, gerek ısıtmada, gerekse de elektrik üretip tarımsal sulamada kullanmak için metotlar geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, çiftçiler için ekonomik, çevre dostu ve uygulanması kolay bir sulama metodu sağlayarak, sürdürülebilir fotovoltaik enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmektir.

1.3 Önceki Çalışmalar

Fotovoltaik teknoloji ile enerji üretilmesi, üretilen enerjinin tarımsal sulama ve özellikle kırsal kesimlerde içme suyunun pompalanması konusunda, eski yıllardan şimdiye kadar birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalar aşağıda belirtilmiştir. Yapılan çalışmalar, kurulan sistemin değerlendirilmesine ve yorumlanmasına yardımcı olacaktır.

Jafar (2000), fotovoltaik sistemle üretilen enerjinin ne kadar verimli olduğunu göstermek amacıyla geliştirdiği modelde, fotovoltaik sistemden elde ettiği verileri kullanarak, bunların gerçek değerlerle uygunluğunu araştırmıştır.

Al-Ali ve arkadaşları (2001), tarımsal sulamada fotovoltaik teknolojiye yararlanarak enerji üretilmesini ve üretilen enerjinin pompayı çalıştırarak suyun iletilmesini araştırmışlardır. Çalışmada fotovoltaik panel, akümülatör, pompa ve düzenleyici kullanarak, seçtikleri bir ürünün yeteri kadar sulandığını incelemiştir.

Hamidat ve arkadaşları (2003), fotovoltaik teknolojiyi inceleyerek, kullandıkları pompanın verimini; güneş panellerinin sayısının fazlalığına ve böylece yüzey genişliğine ne kadar bağlı olduğunu araştırmışlardır. Fotovoltaik teknolojinin birçok bitkinin sulanmasındaki önemini incelemiştir. Ayrıca fotovoltaik sistemin, diğer enerji üreten sistemlere göre daha ekonomik ve çevre dostu olduğunu, bundan dolayı yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisinin önemini vurgulamışlardır.

Vilela ve arkadaşları (2003), su pompalama sistemine bağlı, sabit ve güneşi tek eksenle (doğu batı) izleyen PV bir diziyi deneysel olarak incelemiştir. Güneş ışınlam enerjisinin 5000 ve 6000 Wh/m² olduğu koşullarda, güneşi izleyen sistem tarafından toplanan enerjinin % 19 ve % 24 oranında daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bu sistem tarafından pompalanan su miktarı % 37 ve % 41 oranında artmıştır. Sayısal simülasyon sonuçlarına bağlı olarak, güneş ışınlam enerjisinin 275–575 W/m² aralığında olması durumunda, pompalanan su hacmi 1,29 ve 1,53 arasında artmıştır.

Cuadros ve arkadaşları (2004), İspanya’da zeytin ağaçlarının sulanması için kurduğu fotovoltaiik sistemin gücünü bulmak amacıyla; belirli bir bölgede herhangi bir bitkinin su ihtiyacının tespitini, kuyu derinliğine ve sulanacak arazinin su kaynağına olan uzaklığına bağlı olarak seçilecek pompa için gerekli olan enerjinin belirlenmesini ve kurulacak sistemin tüm verimini dikkate alarak, çalışmanın yapılacağı 100 dönümlük arazi için gereksinim duyulan toplam fotovoltaiik gücün ne kadar olduğunun belirlenmesi için bir metot geliştirmişlerdir.

Fotovoltaiik teknolojiden yararlanarak geliştirdikleri bu metodun, zeytin ağaçlarının sulanmasında ne kadar önemli olduğunu, yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisinin daha ucuz, temiz ve çevre dostu olduğunu, suyun daha etkin bir şekilde kullanıldığını tespit etmişlerdir.

Fiaschi ve arkadaşları (2005), fotovoltaiik sistemle çalışan farklı hızdaki yüzey tipi pompaların verimlerini artırmak amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Küçük yüzeye sahip panellerle, daha geniş yüzeye sahip paneller kullanarak, ikisi arasındaki farkı ortaya koymuş ve gerekli karşılaştırmaları yapmışlardır.

Purohit ve Kandpal (2005), Hindistan’da tarımsal sulamada kullanılacak pompalama sistemi için, yenilenebilir enerji kaynaklarını incelemişlerdir. Fotovoltaiik sistem, rüzgâr enerjisi sistemleri ve organik hammaddelerden elde edilen biyogaz sistemlerini inceleyerek, pompaların çalıştırılmasını ve yenilenebilir enerji kaynaklarının günümüzde ne kadar önemli olduklarını araştırmışlardır.

Amer ve Younes (2006), tasarlamış oldukları fotovoltaiik sistemi, akü ünitesi olmadan araştırmışlardır. Akü kullanılmadan tasarlanan sistemin, daha uzun dönemde verimliliğini saptamak için bir metot geliştirmişlerdir. Bu metotta ilk başlarda, elde edilen su debisi ile güneş radyasyon değerleri arasında lineer olmayan bir ilişki saptamışlardır.

Ghoneim (2006), fotovoltaiik sistemlerin su pompalama amacıyla, güç kaynağı olarak kullanılmalarını araştırmıştır. Çalışmada, Kuveyt iklimi koşullarında PV su pompalama sisteminin verimi değerlendirilmiştir. PV su pompalama sisteminde; PV dizi, DC motor, santrifüj pompa, akümülatörde depolama durumundaki gibi benzer amaç için kullanılan depolama tankı ve sistem veriminin artırılması amacıyla maksimum güç noktası belirleyicisi kullanılmıştır. Sistem tarafından pompalanan su ile kırsal kesimdeki 300

kişinin su gereksinimi karşılanabilmiştir. Tasarımlanan sistemin Kuveyt iklimi koşullarında verimini belirleyebilmek için, benzeşim programı geliştirmiştir. Benzeşim programı için PV dizi, DC motor ve santrifüj pompa bileşen modellerini kullanmıştır. 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 analizini yapmıştır. PV modüllerin geçerli fiyatlarına bağlı olarak, tasarımlanan PV su pompalama sisteminin, geleneksel yakıtların kullanıldığı sistemlerden daha az pahalı olduğunu bulmuştur. Önümüzdeki yıllarda, PV modül fiyatlarının giderek ucuzlamasıyla birlikte, PV su pompalama sistemlerinin, yakın gelecekte ekonomik olarak daha uygulanabilir sistemler olacağını belirtmiştir.

Odeh ve arkadaşları (2006a), su pompalama amacıyla, güneş enerjisi teknolojisini kullanarak, bir model üzerinde çalışmışlardır. Laboratuvar koşullarında yaptıkları araştırmalardan elde ettikleri sonuçları, arazide sulama için kurdukları sistemden elde ettikleri verilerle karşılaştırarak, bütün sonuçları değerlendirmişlerdir. Güneş radyasyonunun; kullanılan dalgıç pompanın, kuyu derinliğinin ve sistemin başka koşullarda çalışmasının tüm fotovoltaik sistemin verimini ne kadar etkilediğini incelemişlerdir. Ayrıca fotovoltaik sistemin maliyet analizini yaparak, fotovoltaik sistemin olması gereken yüzey genişliğini saptamak ve diğer sistemlerden farkını ortaya koyabilmek amacıyla çalışmalar yapmışlardır.

Odeh ve arkadaşları (2006b), belirli bir güç aralığında, fotovoltaik sistemlerden üretilen enerji ile geleneksel yöntemlerden elde edilen enerjinin maliyet analizini çıkarmışlardır. Bu amaçla kurmuş oldukları sistemden elde ettikleri sonuçları kullanarak, daha değişik bölgelere adapte edilebilmesi için, farklı çalışmalar ve analizler geliştirmişlerdir. Sistemden üretilen enerji ile pompalar çalıştırılarak sağlanan su miktarının yetersiz olmasından dolayı, fotovoltaik sistemin yüzey genişliğinin artırılmasının, sistemin maliyetini ne kadar etkileyeceğini araştırmışlar, farklı sulama bölgelerinden farklı yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde incelemeler yapmışlar ve gerçek maliyet analizini ortaya koymuşlardır.

Karamanav (2007), fotovoltaik işlem ve güneş pillerinin ilkelerini inceleyerek, yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi hakkında istatistiksel bilgileri

değerlendirmiş, ayrıca güneş pilleriyle ilgili deneysel çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verileri kullanarak, ışık açısına bağlı olarak güneş pilinin akım ve gerilim değişim grafiklerini elde etmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımının, gelecekte alınacak önlemler hakkında genel bir değerlendirmesini yapmıştır.

Glasnovic ve Margeta (2007), güneş enerjisinden elektrik üreterek, gereksinim duyulan mekanik enerjiyi pompalara aktarmak ve böylece tarımsal sulama yapmak amacıyla, bir fotovoltaiik teknolojiye dayalı sistem tasarlamışlardır. Tasarladıkları sistemde; güneş radyasyon değerlerini, bitkinin su ihtiyacını, bölgenin iklim yapısını, toprak özelliklerini ve arazinin su kaynağına olan uzaklığını araştırmışlardır.

Yeşilata ve Fıratoğlu (2008), güneş ışıının şiddetine ilişkin bazı değerler kullanarak, PV su pompalama sisteminden elde edilen enerji miktarının değişimi konusunda çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalar neticesinde elde ettikleri verileri, değişen güneş radyasyon değerlerine bağlı olarak kıyaslamışlardır. Güneş radyasyon değerlerinin, fotovoltaiik sistemlerin daha verimli çalışabilmesi için önemli olduğunu saptamışlardır.

Abdolzadeh ve Ameri (2009), su pompalamak için kullanılan fotovoltaiik teknolojilerin yüksek verimde çalışmalarını sağlamak konusunda çalışmalar yapmışlardır. Fotovoltaiik sistemlerden daha yüksek verim alabilmek amacıyla, kurulan panellerin sıcaklığını belli bir değerde tutma ve daha az yansımalarını sağlama yoluna gitmişlerdir. Yansımayı azaltmak ve panel sıcaklığını belli bir değerde tutmak için, belirli zamanlarda panellerin üstüne su dökmüşlerdir. Yapılan bu çalışmalar neticesinde; panellerin üzerine su dökülmesinin, elde edilen enerjiyi daha da arttığını ve daha fazla su pompalandığını tespit etmişlerdir. Su dökme uygulamasının, sistemin optik verimini artırdığını gözlemlemişlerdir.

Hamidat ve Benyoucef (2009), içme suyunun sorunlu olduğu kırsal bölgelerde, pompalama sistemiyle su ihtiyacını sağlamak amacıyla tasarımılanan fotovoltaiik sistemin verimini araştırmışlardır. Verim değerlendirilirken, kişi başına düşen su ihtiyacı, su kaynağı ve yüksekliği ve fotovoltaiik sistemin gücü, bir bütün olarak değerlendirilmiştir.

Sallem ve arkadaşları (2009), fotovoltaiik teknolojiye dayalı olarak tasarımılanan sulama sisteminin verimini, sistemden elde edilen güç ile gereksinim duyulan su miktarının ne kadar olduğuna bağlı olarak çalışma yapmışlardır. Akü kullanarak tasarladıkları

sistemde, fotovoltaik sistemin günlük güneş ışınımını aldığı süre ile elde edilen su debisi miktarını karşılaştırmışlardır.

Yalçın (2010), Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin teorik, saha ve teknik güneş enerjisi potansiyelini belirlemiş, saatlik detayda elektrik tüketim veri setini oluşturmuş ve elektrik tüketiminin 2 farklı işletim tipinde ve 3 farklı fotovoltaik yapıda simülasyonunu yapmış, fotovoltaik güç elektriği sistemleriyle karşılanma durumunu değerlendirmiştir. Bölgenin yıllık toplam güneşlenme süresini 2607 saat ve saha güneş enerjisi potansiyelini 1743 kWh/m² olarak hesaplamıştır. Yıllık toplam teorik güneş enerjisi potansiyeli 2918 kWh/m² olan işletmede, 15 derece açıyla yerleştirilen fotovoltaik panellerle kurulacak bir güneş elektriği üretim sisteminin teknik güneş enerjisi potansiyelini 1891 kWh/m²/yıl bulmuştur. Kurulu gücü 400 kW olan işletmenin yıllık elektrik tüketimini 334 MWh olarak belirlemiştir.

Betka ve Attalı (2010), santrifüj pompayı çalıştırmak ve daha yüksek debili su elde edebilmek amacıyla, kurulan fotovoltaik sistemin verimli bir şekilde çalışması konusunda araştırmalar yapmışlardır. Pompanın verimini artırabilmek için, fotovoltaik sistemin güç hesaplamalarının uygun bir şekilde yapılması gerektiğini ve günlük güneşlenme miktarının önemini belirtmişlerdir.

Gençoğlu ve arkadaşları (2010), Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki güneş ışınım şiddetini araştırmak için, çiftçilerin su tüketiminde fotovoltaik teknolojiye dayalı pompalama sistemlerini incelemişlerdir. Ayrıca, su temininde süreklilik sağlamak açısından herhangi bir sorunla karşılaşılmaması için, yedek enerji kaynaklarından yararlanılmasını amaçlamışlardır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde, fotovoltaik teknolojiye dayalı su pompalama sistemlerinin önemine dikkat çekerek, bu teknolojinin geliştirilmesi gerektiğini hedeflemişlerdir.

Öztürk (2009), fotovoltaik sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, bu sistemlerin olabildiğince doğru bir şekilde boyutlandırılması gerektiğini incelemiştir. Güneş enerjisi ile çalışan tarımsal sulama sistemlerinin tasarımında; suyun pompalanacağı toplam yükseklik, gereksinim duyulan günlük su miktarı ve bölgedeki ortalama güneş enerjisi miktarlarının önceden hesaplanması veya tahmin edilmesi gerektiğini araştırmıştır. Çalışmada, meyve bahçelerinde damla sulama amacıyla, su pompalama sistemi için gerekli PV tesisatın tasarım ölçütlerinin belirlenmesini

amaçlamıştır. Bu amaçla; ürün su gereksinimi, toplam sulama gereksinimi, belirli bir yükseklığe belirli bir hacimde su pompalamak için günlük olarak gerekli hidrolik enerjiyi, PV panellerin sağlaması gereken en yüksek enerji miktarını, PV panellerin gücünü ve güneş pili gereksinimi gibi tasarım ölçütlerinin belirlenmesi için izlenecek yöntemleri açıklamıştır.

Öztürk ve arkadaşları (2011), su pompalama için gerekli olan mekanik enerjinin, termodinamik veya doğrudan dönüşüm yöntemleriyle elde edilebileceğini araştırmışlardır. Güneş enerjisiyle su pompalamanın, doğrudan dönüşüm yöntemleri veya termodinamik yöntemler ile uygulanabilen bir işlem olduğunu belirtmişlerdir. Doğrudan dönüştürme yönteminde, güneş enerjisinden üretilen elektrik akımıyla, geleneksel bir pompanın motorunu çalıştırmışlardır. Güneş enerjisinin doğrudan dönüşümünde, fotovoltaik, termoelektrik ve termoiyonik işlemlerden yararlanarak doğrudan elektrik akımı üretmişlerdir. Doğrudan dönüşüm yöntemleri arasında, fotovoltaik ilkeye göre çalışan güneş enerjili sulama uygulamalarının; kullanım sürelerinin uzun, bakım gereksinimlerinin az ve kısmen daha kompakt bir yapıda olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. Termodinamik yöntemlerin çalışmasını, güneş ışınlamından kazanılan ısı enerjisinin, gaz veya buhar esaslı güç çevrimleri veya hidrojen adsorpsiyon/desorpsiyon çevrimleri ile işe dönüştürülmesi ilkesine dayandığını belirtmişlerdir. Termodinamik yöntemlere göre çalışan herhangi bir güneş enerjisi dönüşüm sisteminde, yüksek sıcaklık ve basınçta bir akışkan üretebilmek için değişik özelliklerde güneş toplaçlarından yararlanmışlardır. Yüksek basınçtaki bu akışkanın, Rankine, Brayton veya Stirling çevrimlerinin herhangi birinde doğrudan ve ikincil bir akışkan kullanılarak dolaylı olarak kullanılabildiğini göstermişlerdir. Üretilen mekanik enerjinin, herhangi bir pompayı çalıştırmak için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmada, güneş ışınlamından kazanılan ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi ilkesine bağlı olarak, çalışan güneş enerjisiyle su pompalama uygulamalarını incelemişlerdir.

Mokeddem ve arkadaşları (2011), güneş enerjisiyle çalışan ve doğru akım üreten fotovoltaik sisteme bağlı su pompalama ünitesinin verimini incelemek amacıyla, bilimsel araştırmalar yapmışlardır. Tasarladıkları fotovoltaik sistemin bileşenleri olarak, fotovoltaik paneller, doğru akım motoru ve yüzey tipi santrifüj pompalar kullanmışlardır. Belli bir süre sonunda kurmuş oldukları fotovoltaik sistemin verimini,

değişik iklim şartlarına bağlı olarak incelemiş ve değerlendirmişlerdir. Değerlendirme sonucunda fotovoltaik sistemlerin, daha düşük basınçlarda su pompalanması gereken durumlarda ve su probleminin daha fazla olduğu kırsal bölgelerde kullanılmasının daha uygun olacağı sonucuna varmışlardır. Ayrıca fotovoltaik sistemin, diğer enerji üreten sistemlere göre bakım ve işletme masraflarının olmaması, çevre dostu olması ve karışık bileşenlerin olmamasından dolayı, rahatlıkla kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Köksal (2012), tarımsal sulama yapabilmek amacıyla güneş enerjisinden yararlanarak, bir fotovoltaik sistem kurmuştur. Kurduğu fotovoltaik sistemden üretilen elektrik enerjisinin dalgıç pompaları çalıştırarak, kuyudan su çekilmesini ve yine pompalarla suyun araziye aktarılmasını incelemiştir. Yapılan araştırma sonucunda fotovoltaik sistemden üretilen akımın, gerilimin ve enerjinin ne kadar olduğunu tespit etmiş ve bütün sistemin verimini değerlendirmiştir. Ayrıca kullanılan pompaların verimlerini ve pompaların çektiği suyun debilerini hesaplamıştır.

Dalkılıç (2012), çalışmasında enerji nakil hatlarının uzak olduğu ya da elektriğin göreceli pahalı olduğu alanlarda rüzgâr, fosil yakıt veya güneş yoluyla elektrik üretme çalışmalarını incelemiştir. Çalışmada enerji hatlarının uzakta olduğu örnek bir tarım arazisinde, damla sulama ve gübreleme için gerekli olan elektrik enerjisinin güneş pilleri vasıtasıyla üretildiği bir sistemin hidrolik aksamı ve arazi için, bu yöntemin uygunluğunu incelemiştir.

Yusufoğlu (2013), Güney Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki güneş enerjisine dikkat çekmek amacıyla, çiftçilerin fotovoltaik teknolojiye dayalı su pompalama sistemlerini incelemiştir. Güneş enerjisinden fotovoltaik (PV) ilkeye bağlı olarak üretilen elektrik enerjisi ile dalgıç pompaların çalıştırılması için gerekli mekanik enerjinin sağlanması durumunda, güneş enerjili sulama sisteminin bazı teknik özelliklerini belirlemiştir. Bu amaçla, her birinde toplam $18 \times 2 = 36$ adet PV hücre bulunan 4 adet modülden oluşan PV sistemin; akım, gerilim, güç gibi elektriksel özellikleri ile PV sistemin verimini, dalgıç pompanın su pompalanması durumunda, pompalanan su debilerini, hidrolik güç değerlerini ve verimlerini hesaplamıştır. Bu sistemin düşük maliyette olması amacıyla kullanılacak olan pompa için, güneş panelleri ile uyumlu bir DC pompa seçmiştir. Böylece, alternatif akımla çalışan pompalar kullanılmadığı için güneş paneli sayısının azalacağını ve akü ile invertör maliyetleri eklenmediği için, toplam maliyetin azaldığını incelemiştir.

BÖLÜM II

GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1 Genel Bilgiler

Güneş enerjisi, güneş kaynağından elde edilen, yenilenebilir bir enerjidir. İnsanların yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli olan güneş, doğal sistemde en büyük paya sahiptir. Güneşin çapı, yaklaşık olarak 1,4 milyon kilometredir. Yeryüzünden yaklaşık 150 milyon km uzaklıktadır. Güneş enerjisi, güneşin merkezinde bulunan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ısınım enerjisidir. Güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki, füzyon sürecinden kaynaklanır (<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html>). Yaklaşık 10 milyar yıl sonra, güneşteki Hidrojen yakıtı bitip reaksiyonların son bulması sonucu güneşin, çekim kuvveti etkisiyle büzüşüp beyaz cüce adı verilen ölü bir yıldızla dönüşebileceği tahmin ediliyor. Güneşte açığa çıkan enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyine ulaşan enerji 173104 kW değerindeyken, yeryüzüne ulaşan değer 1395 kW'a düşmektedir. Yeryüzüne ulaşabilen ısınımın değerinin bu kadar düşük olmasının nedeni, atmosferdeki karbondioksit, su buharı ve ozon gibi gazların ısınımı absorbe etmelerinin yanı sıra kat etmesi gereken yolun uzunluğudur. Dış yüzey sıcaklığı 6000K olarak kabul edilen ve bilinen en büyük siyah cisim olan güneşin yaydığı ısınımın yeryüzüne ulaşabilen miktarı %70 kadardır. Güneş radyasyonu dünyanın atmosferine dik ise, ısınım değeri 1367 W/m^2 'dir (Şen, 2007). Bu değer güneş sabiti olarak alınır. Pratik olarak yeryüzüne ulaşan güneş ısınım değeri 1000 W/m^2 olarak kabul edilmektedir (<http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/gunes/pilleri/giris.html>).

Güneş merkezindeki sıcaklık, milyonlarca dereceye ulaşırken, yayımlanan ısınımın spektrumunu belirleyen yüzey tabakasının (fotosfer) sıcaklığı 6000 K'dir. Işınım, elektromagnetik özelliğe sahip olup, gücün spektral dağılımı, (birim dalga boyunda birim alana, birim zamana gelen enerji) sıcaklığın bir fonksiyonudur. Diğer yıldızlardan yeryüzüne elektromagnetik spektrumun değişik aralıklarında enerji gelmektedir ancak, yer kürenin temel enerji kaynağı güneş olup, yer küreye gelen ısınımın büyükçe bir

bölümü görünür bölgededir. Enerji taşıyan birimler gibi düşünülebilecek “fotonlar”, spektrumun görünür bölgesinin kırmızı yanında daha küçük enerji, mavi-mor yanında daha büyük enerji taşırlar. Seçilen bir dalga boyundaki fotonun taşıdığı enerji ve o dalga boyunda birim yüzeye birim zamanda gelen foton sayısı, seçilen dalga boyundaki gücü tanımlar. Dünyamıza güneşten gelen spektrumun, kırmızının ötesinde kalan kızılötesi ve morötesi bölgelerinde bulunan ışınlamında toplam enerjiye önemli bir katkısı vardır. Güneşin gücü, bir saniyede güneş sistemine verdiği enerji çok büyük olmasına rağmen, yerküre atmosferinin dışına ulaşan tutar, yalnızca küçük bir bölümdür. Güneş ışınlamı atmosferi geçerken uğradığı değişimin bağlı olduğu değişkenlerin sayısı oldukça çok olmasına karşın en önemli değişken, ışığın atmosferde aldığı yolun uzunluğudur. Genellikle güneş ışınlamı değerlendirilirken atmosfer dışındaki seçilen nokta olarak ele alınıp buna hava kütle sıfırı (air mass 0) adı verilir. Havaküre dışında birim yüzeye gelen toplam güç, tüm spektrumun üzerinden entegre edilirse, ulaşılan değer 1367 W/m^2 olup bu değer “güneş değişmezi” olarak kullanılır. Güneş ışınları havaküreyi geçerken, spektrumları önemli ölçüde değişikliğe uğrar. Bulutsuz ve güneşli bir havada bile güneş ışınları havaküreyi geçerken su buharı, oksijen, karbondioksit, ozon, azot, metan gibi gaz moleküllerinin yanında aerosol ve toz zerreciklerine saçılarak yeryüzüne ancak havaküre dışındaki enerjinin %70’i ulaşır (Karamanav, 2007).

Deniz seviyesinde açık bir havada optiksel hava-kütle; güneş ışınlarının aldığı gerçek yolun, güneş tam tepedeyken aldıkları yola oranı olarak tanımlanır. Dünyamıza gelen güneş ışınları, güneşten direkt gelebildiği gibi, hava kürede yayılmış bir şekilde de gelebilir. Havanın açık veya kapalı oluşuna göre, yeryüzüne gelen ışınların direkt veya yayılmış olması değişmektedir. Mesela, havanın kapalı olduğu bir günde yeryüzüne gelen ışınların çoğu yayılmış güneş ışını iken, havanın açık olduğu bir günde yeryüzüne gelen güneş ışınlarının büyük çoğunluğu direkt ışınlardan meydana gelmektedir. Direkt ve yayılmış ışınlam toplamına, küresel ışınlam denilmektedir. Fotovoltaik teknolojiler kullanılırken, ışınlam değerleri çok önemlidir. Güneş enerjisi, bilinen en eski birincil enerji kaynağıdır. Temizdir, yenilenebilir ve dünyamızın her tarafında fazlasıyla mevcuttur. Hemen hemen bütün enerji kaynakları direkt veya endirekt olarak güneş enerjisinden türemişlerdir. Güneş enerjisi, rüzgâr ve dalga enerjisi, hidroelektrik enerji ve biokütle ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük bölümünü oluşturur. Dünyamıza gelen bir dakikalık güneş enerjisi, dünyamızın bir yıllık enerji tüketimini

karşılamaya yeterli olmasına karşın, günümüz teknolojileri, bu enerjiyi verimli bir biçimde kullanma konusunda yetersiz kalmaktadırlar.

Güneş enerjisi, en çok sıcak su elde edilmesinde, ısıtmada ve soğutmada kullanılmaktadır. En fazla kullanım alanı, birçok evin çatısında bulunan kolektörlerden görüldüğü üzere, sıcak su elde edilmesidir. Isıtma ve soğutmada ise, özellikle yeni teknolojilerin geliştirilmesiyle, kullanım alanları önümüzdeki dönemlerde daha da artacaktır.

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre çok sayıda avantajı mevcuttur. Her şeyden önce, bol ve tükenmeyen tek enerji kaynağıdır. Temiz enerji türüdür. Çevreyi kirletici duman, gaz, karbonmonoksit, kükürt, radyasyon gibi atıkları yoktur. Enerjiye ihtiyaç duyulan çoğu yerde güneş enerjisinden yararlanılabileceğinden, yerel uygulamalar için elverişlidir. Bir çakmağın, bir hesap makinesinin, bir saatin, bir deniz fenerinin veya bir orman gözetleme kulesinin enerji ihtiyacı yerinde karşılanabilir. Dışa bağlı olmadığından doğabilecek ekonomik bunalımdan bağımsızdır. Birçok uygulaması için karmaşık teknolojiye gerek duyulmadığından, yerli teknoloji ile gerçekleştirilebilir. İşletme masrafları çok azdır. Güneş enerjisinin bu avantajlarına rağmen az uygulanmasının en büyük sebebi; birim düzleme gelen güneş ışıını miktarının az olması ve dolayısıyla büyük yüzeylere ihtiyaç duyulmasıdır. Güneş ışıını sürekli olmadığından depolama gerekmektedir. Depolama imkânları ise sınırlıdır. Ayrıca, enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında güneş ışıını az ve geceleri ise hiç yoktur. Bunların dışında, güneş enerjisinden faydalanan sistemin güneş ışıınıını sürekli alabilmesi için çevresinin açık olması, gölgelenmemesi gerekir. Bu nedenle de, her yere uygulanamaz. Güneş enerjisinden elektrik üretimi teknolojisi yeni geliştiği için de, ilk yatırım masrafları çok fazladır (<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html>).

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre çok sayıda üstünlüğü bulunmaktadır. Bunlar;

1. Hiçbir zaman tükenmeyen tek enerji kaynağıdır.
2. Mahalli uygulamalara elverişlidir.
3. Temiz ve çevre dostu bir enerjidir, çevreyi kirletici duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon gibi atıkları yoktur.

4. Enerjiye ihtiyaç duyulan hemen hemen her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür.
5. Dışa bağımlı olmadığından doğabilecek ekonomik bunalımlardan bağımsızdır.
6. Birçok uygulaması için karmaşık bir teknolojiye gerek duyulmamaktadır.
7. İşletme masrafları çok düşüktür. Ekonomiktir.

Güneş enerjisinin bu kadar avantajlı olmasının yanında, çok fazla kullanılamamasının belli başlı sebepleri ise;

1. Birim alana gelen güneş ışıınım şiddeti düşük olduğundan geniş yüzeylere gerek duyulmaktadır.
2. Güneş enerjisinden faydalanarak kurulacak sistemin sürekli olarak güneş ışıını alması ve hiçbir şekilde gölgelenme olmaması gerekmektedir.
3. Güneş enerjisi ile kurulacak sistemlerde bakım masrafları olmamasına rağmen, ilk yatırım tutarları çok pahalıdır.
4. Güneş ışıınıımı süreksiz olduğu için depolamak gerekir.
5. Enerjiye en çok gereksinim duyulan kış aylarında güneş ışıınıımı az olup, akşamları ışıınıım hiç yoktur.

2.1.1 Güneş enerjisinin kullanım alanları

Güneş enerjisinin kullanım alanlarını, kendi aralarında ısıı uygulama ve fotovoltaiik (güneş pili) uygulamalar olarak sınıflandırabiliriz. Isıl uygulama; güneş ışıınıımı doğrudan kullanarak yapılan uygulama, fotovoltaiik (güneş pili) uygulamalar ise güneş ışıınıımı elektrik enerjine çevirerek yapılan uygulamalardır. Yeryüzünde var olan bütün enerjiler güneş enerjisinin, maddeler üzerinde fiziksel ve kimyasal değışimlere yol açması sonucu meydana gelmektedir. Güneş enerjisinden, dolaylı olarak kullanılması sonucu ortaya çıkan enerjiler; hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi vb. enerjilerdir. Güneş enerjisinin doğrudan kullanılması sonucu ortaya çıkan enerjiler; mekanik enerji, elektrik enerjisi ve ısıı enerjisidir.

2.1.1.1 Isıl uygulamalar

Güneş enerjisinin doğrudan kullanılması sonucu ortaya çıkan ısıı uygulamalar, sistemin özelliğine ve kullanım amacına göre düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak üç kısma ayrılmaktadır.

2.1.1.1.1 Düşük sıcaklık uygulamaları (20 °C ile 100 °C)

Düşük sıcaklık uygulamalarında güneş ışıını, bir ısı toplayıcı (genellikle kollektör) aracılığıyla bir akışkana (su, hava, hidrojenli hidrokarbon vb.) aktarılır ve sıcaklığı artan akışkandan faydalanma prensibine göre depolanır veya sisteme gönderilir. Belirtilen bu uygulamalar; sıcak su temini, konut ısıtması ve sera ısıtması için kullanılan diğer uygulamalara göre daha ekonomiktir.

Bu uygulamalar;

- Evlerde sıcak su sağlanması,
- Mekân ısıtması,
- Sera ısıtması,
- Güneş havuzları,
- Güneş bacaları,
- Su arıtma sistemleri,
- Ürün kurutması,
- Tuz üretimi,
- Güneş ocakları,
- Güneş pompaları,
- Soğutma sistemleridir.

2.1.1.1.2 Orta sıcaklık uygulamaları (100 °C ile 300 °C)

Güneş ışıınının yansıtılarak veya kırılarak bir noktaya veya eksene odaklamak için toplayıcılar kullanılır. Gelişmiş ülkeler, güneş enerjisi teknolojilerinde ışığı odaklayan ve güneşi izleyen sistemlere önem vermektedir.

Bu uygulamalar;

- Büyük soğutma ve ısıtma sistemleri,
- Sanayi için gerekli olan sıcak su ve buhar temin eden sistemlerdir.

2.1.1.1.3 Yüksek sıcaklık uygulamaları (300 °C ve Üzeri)

Gelişmiş ülkelerde güneş enerjisi teknolojilerinde öncelik, çizgisel odaklayıcıya ve güneşi izleyen sistemlere verilmiştir. Çizgisel odaklayıcılar, parabolik bir yalaktan yani

güneş ışınlarını yüksek verimle odaklayan bir ayna spot sisteminden ve bu yalağın odak noktasından geçen bir borudan yani saydam ikinci borudan oluşmaktadır. Bu iki boru arası, konveksiyon kayıplarını en aza indirmek için vakumlanmıştır. Bu modüller, genellikle kuzey-güney veya doğu-batı doğrultusunda yerleştirilip, güneşi izlenmesi sağlanır ve ısı transfer akışkanının sıcaklığını 350 °C–400 °C’ye kadar çıkarabilir. Güneş fırınları, yansıtıcı aynalardan yararlanılarak sıcaklığı 3500 °C’ye kadar çıkartılabilir. Bu fırınlarda metallerin eritilmesi, kesilmesi ve kalıplanması yapılabilir.

Bu uygulamalar;

- Güneş fırınları,
- Metal ergitme fırınlarıdır.

2.1.1.2 Fotovoltaik uygulamalar

Fotovoltaik (photovoltaic) terimi, ışıktan gerilim üretilmesi anlamına gelir ve genellikle ‘‘PV’’ ile gösterilir. Fotovoltaik piller için kullanılan ortak terim güneş pilleri olmakla birlikte, piller her türlü ışık altında elektrik üretebilirler. Güneş pilleri, enerjinin korunumu yasasına göre, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır ancak, enerjiyi depolayamazlar. Işık kaynağı (güneş) ortadan kalktığında, pilin ürettiği elektrik kesilir.

2.1.2 Dünyada güneş enerjisi

Dünya’daki son uygulamalara bakıldığında, güneş sisteminden faydalanarak enerji üretiminde büyük artış olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle 2007 yılından günümüze kadar, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımda büyük bir artış sağlanmıştır. Güneş enerjisinden enerji elde edilmesi konusunda yapılan araştırmalar, fizibilite çalışmaları, tasarımlar konusunda milyarlarca dolar harcama yapılmıştır. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ve özellikle güneş enerjisine olan bu yönelim, dünyada büyük bir değişime yol açmıştır. 2007 yılından sonra, dünyada üretilen yenilenebilir enerji miktarı, ortalama olarak 300 GW’a yaklaşarak, eski yıllara oranla müthiş bir artış göstermiştir. 2007 yılından günümüze kadar yapılan üretim, küresel enerji üretiminin yaklaşık olarak % 4’ünü sağlamaktadır (Anonymous, 2009).

2007 yılı itibariyle, dünyada en çok kullanılan yenilenebilir enerji türü, rüzgâr enerjisi olup, enerji üretim kapasitesi 100 GW'lara kadar yükselmiştir. 2007 yılında üretilen rüzgâr enerjisi miktarı, diğer yıllara oranla yaklaşık % 50 civarında artmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük kapasiteye sahip olan rüzgâr enerjisinin yanında, dünyada hızlı bir şekilde artış gösteren enerji türü, güneş enerjisi sistemleridir. Güneş enerjisi sistemleri kullanımı 2006 ve 2007 tarihlerinde, yaklaşık olarak % 50 artarak 10 GW 'a yaklaşmıştır. Bu rakam, dünyada 2 milyona yakın evin güneş enerjisi kullanarak, kendi elektriklerini ürettiği demektir (Anonim, 2009).



Şekil 2.1. Dünyada kurulu güneş pilinin kullanım alanlarına göre dağılımı (Anonim, 2009)

Güneş enerjisinden yararlanarak elde edilen enerjiyle, milyonlarca eve ve dolayısıyla insanlara hem sıcak su sağlanmakta, hem de ısıtma olarak faydalanılmaktadır. Ayrıca dünyada milyonlarca insan, güneş enerjisinden faydalanarak elektrik üretmekte ve aydınlatma sağlamaktadır. Dünya'da güneş enerjisi ile sıcak su kullanımından en çok faydalanan ülkeler, gelişmekte olan ülkelerdir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının artışına paralel olarak, dünyada bu işle ilgili olarak yeni yeni büyük şirketler kurulmuş ve öz sermayelerini çok ciddi boyutlara çıkarmışlardır. Bu tür büyük şirketlerin sermayesi, 100–150 milyar dolar civarındadır. Ayrıca bu tür şirketlerin en büyük hedefi, yeni gelişen pazarlara girmektir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük atılımı sağlayan güneş enerjisi olduğu için, bu tür şirketlerin birinci hedefi, bu sektöre girmektir. Özellikle teknolojinin ilerlemesiyle

beraber, teknolojik gelişmelere çok uygun olan güneş panellerinin araştırma-geliştirme maliyetleri büyük oranda düşmüştür. Bu durum, büyük şirketlerin bu sektöre girmesini kolaylaştırmış ve hızlandırmıştır. Bu tür büyük şirketlerin güneş enerjisi sektörüne girmesiyle beraber, binlerce insan da yeni iş sahibi olmuşlardır. Ayrıca, dünyada birçok ülke yeni ve yenilenebilir enerji üretim konusunu kendi siyasi hedefleri içine almıştır. Hedef yılı, genellikle bütün ülkeler için 2020 yılıdır. Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde ve Çin’de, bu hedefler çok büyüktür. Avrupa Birliği ülkeleri ve Çin’in, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak, enerji üretim hedefi % 20 civarındadır. Bu ülkeler dışındaki diğer gelişmekte olan ülkeler de, yenilenebilir enerji kaynakları konusundaki hedeflerini belirlemişlerdir.

Dünya’da gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin birçoğu, yeni ve yenilenebilir enerjiyi destekleyici ve teşvik edici birçok politika sunmaktadırlar. Çünkü bütün ülkeler, günümüzde kullanılan geleneksel enerjilerin (kömür, petrol gibi fosil yakıtların) bir gün tükeneceğini ve enerjinin bütün dünya ülkeleri için önemli bir sorun olacağını tahmin edebilmektedirler. Bu yüzden, bütün dünya ülkeleri için güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji ve biokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını desteklemek ve teşvik etmek kaçınılmaz bir hal almıştır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin, yenilenebilir enerjiyi teşvik etmek üzere geliştirdikleri en önemli politika, garantili alım tarifesidir. Garantili alım tarifesi, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin, devlet tarafından daha önceden saptanmış bir fiyatla enerji dağıtım şirketleri aracılığıyla alınması anlamına gelmektedir. Dünya ülkelerinin yenilenebilir enerjiyi teşvik edici diğer önemli politika da, yenilenebilir enerji portfolyo standartlarıdır. Bu standartla, üretilen enerjinin belli bir kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi öngörülür.

Dünya ülkelerinin yenilenebilir enerji kaynaklarını desteklemek ve teşvik etmek amacıyla geliştirdikleri politikalar arasında, sübvansiyonlar ve indirimler de mevcuttur. Bütün bunlar ülkelerin maliyet düşürücü politikalarıdır. Devletlerin uyguladığı bir diğer önemli politika da, vergi indirimleri olmuştur. Dünyada gelişmekte olan ülkelerin büyük çoğunluğu bu politikaları ve mekanizmaları destekleyerek, çok önemli teşvik elemanlarını oluşturmuşlardır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında özellikle güneş enerjisine olan yatırım, günden güne artmaktadır. Son yıllarda en çok artış gösteren uygulamalar, güneşten sıcak su elde edilmesini sağlayan uygulamalardır. Birçok

gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, güneşten sıcak su elde edilmesini destekleyici ve teşvik edici programları hayata geçirmişlerdir.

Yenilenebilir enerji kaynakları özellikle güneş enerjisi; temiz ve çevre dostu bir enerji olduğu için, pek çok ülkenin yerel yönetimleri de, destekleyici birçok uygulama getirmiştir. Birçok ülkenin belediyelerinin de hedefinde, yenilenebilir enerji kaynakları bulunmaktadır. Çünkü geleneksel yakıtların yakılması sonucu, bütün dünya ülkeleri için bir tehdit olan küresel ısınma sorunu meydana çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli özelliği, temiz bir enerji olmasıdır. Bu enerji kaynakları kullanıldığı zaman, sera gazı salımına sebebiyet vermeyip, hiçbir şekilde çevreyi kirlilemezler.

Bütün dünya ülkelerinin en temel hedefi, gelecekte tükenme noktasına gelecek olan fosil yakıtlı enerjilerin yerine, temiz, çevre dostu ve hiçbir zaman tükenmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olmak ve bu enerjinin üretilmesi için destekleyici ve teşvik edici politikalar geliştirmektir.

Çizelge 2.1.2040 yılına kadar yenilenebilir enerji gelişim tahmini (Anonymous, 2009)

	2001	2010	2020	2030	2040
Birincil Enerji Tük.(Mtep)	10038.5	11752	13553	15547	17690
Biyokütle	1080	1291	1653	2221	2843
Büyük Hidroelektrik	222.7	255	281	296	308
Küçük Hidroelektrik	9.5	16	34	62	91
Rüzgâr	4.7	35	167	395	584
Fotovoltaik	0.2	1	15	110	445
Güneş Isıl	4.1	11	41	127	274
Güneş Isıl Enerji	0.1	0.4	2	9	29
Jeotermal	43.2	73	131	194	261
Deniz(Gel-git/dalga)	0.05	0.1	0.4	2	9
Toplam	1364.5	1682.5	2324.4	3416	4844

2.1.3 Türkiye'de güneş enerjisi

Yeryüzüne bir yıl boyunca gelen güneş radyasyonu sonucu elde edilebilecek güneş enerjisi miktarı, yaklaşık olarak 1-1000 ton eşdeğer petrol (TEP) civarındadır. Yani yeryüzüne bir yılda gelen güneş enerjisi, dünya petrol rezervinin yaklaşık 800-850 katı kadardır.

Türkiye’de üretilen enerjinin büyük bir kısmı, motorin ve fueloil kullanılarak küçük ölçeklerde sağlanmaktadır. Türkiye’nin sahip olduğu coğrafik özelliklerden dolayı düz bir yapıya sahip olmaması, etrafının dağlarla çevrili olması ve yerleşim yerlerinin birbirine yakın olmaması enerji iletilmesini zorlaştırmaktadır. Özellikle dağlık ve kırsal bölgelere elektrik enerjisi götürmek konusunda büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. Ülkemizin sahip olduğu bu tür problemlerden dolayı her bölgeye aynı oranda enerji dağıtımı yapılamamaktadır. Bu yüzden Türkiye’nin sahip olduğu güneş potansiyelini düşünürsek, güneş enerjisinden elektrik üretmenin ülkemiz açısından ne kadar önemli olduğunu görebiliriz. Türkiye’de güneş enerjisiyle ilgili olarak 1970’li yıllarda yapılan çalışmalara göre Türkiye’nin, önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu, günlük güneşlenme süresinin çok yüksek olduğu ve bu konuda dünyanın sayılı ülkeleri arasında olduğunu görebiliriz.

Türkiye, sahip olduğu coğrafi özelliklerden dolayı, birçok dünya ülkelerine nazaran çok yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahip durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınlam şiddeti verilerinden yararlanarak, Elektrik İşleri Etüt İdaresi(EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınlam şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Güneşlenme süresine göre en fazla güneş alan bölgemiz Güneydoğu Anadolu Bölgesi’dir. Aylara göre Türkiye’nin güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri çizelge 2.2.’de verilmiştir (<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html>).

Çizelge 2.2. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli
(<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html>)

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ [kWh/m ² ay]	GÜNEŞLENME SÜRESİ [Saat/ay]
OCAK	51.75	103.0
ŞUBAT	63.27	115.0
MART	96.65	165.0
NİSAN	122.23	197.0
MAYIS	153.86	273.0
HAZİRAN	168.75	325.0
TEMMUZ	175.38	365.0
AGUSTOS	158.40	343.0
EYLÜL	123.28	280.0
EKİM	89.90	214.0
KASIM	60.82	157.0
ARALIK	46.87	103.0
TOPLAM	1311	2640
ORTALAMA	3.6 kWh/m ² gün	7.2 Saat/gün

Türkiye'nin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyelini düşünürsek, çizelge 2.2.'de verilen değerlerin, aslında gerçek değerleri yansıtmadığı, daha sonra yapılan araştırmalar neticesinde belirlenmiştir. Nitekim Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ile Elektrik İşleri Etüt İdaresi bu değerleri gerçeğe daha yakın ve sağlıklı bulabilmek için yeni ölçümler yapmışlardır. Bu kapsamda, toplam 10 istasyon ile yurdun çeşitli yerlerinde halen ölçüm alınmaktadır. Yeni alınan veriler, çizelgede verilen değerlerden ortalama %25 daha yüksek çıkmaktadır. Ölçümler sona ermemiş olmakla birlikte, Çizelge 2.3'de verilen güneş enerjisi değerleri, gerçek güneş enerjisi potansiyelinin, bu değerlerden %25 kadar daha fazla olduğu düşünülmelidir (Yılankıran, 2004).

Çizelge 2.3. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html>)

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ [kWh/m² yıl]	GÜNEŞLENME SÜRESİ Saat/yıl
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Yapılan ölçümler neticesinde, Türkiye'nin hemen hemen bütün bölgelerinde güneşten faydalanarak enerji üretilmesi mümkün olmaktadır. Zaten birçok bölgemizde güneşten sıcak su elde edilmesi için kullanılan güneş kolektörlerinin sayısı çok fazladır (Demirbilek ve Ecevit, 2000).

Türkiye'de güneş enerjisi çalışmaları, 1960'lı yıllarda başlamıştır. 1965-1975 döneminde bazı üniversitelerde (ODTÜ, EÜ vb.) yapılan ve bir kısmı da TÜBİTAK tarafından desteklenen çalışmalar yapılmışsa da, bunların uygulama alanı bulunduğu söylenemez. Güneş enerjisi çalışmalarını daha etkin kılmak ve ülke koşullarına uygun protipler geliştirmek amacı ile 1976 yılında MTA Enstitüsü'ne bağlı "Marmaris Güneş Enerjisi Araştırma Merkezi" kurulmuştur. Bu yıldan sonra çalışmalar, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının aldığı kararla Elektrik İşleri Etüt İdaresine devredilmiştir. Bugün yurdumuzda güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar, kamu kuruluşları ve bilimsel kuruluşlar ve özel sektör tarafından değişik alanlarda yürütülmektedir. Ayrıca güneş enerjisi çalışmaları, IV. ve V. Kalkınma planlarında ele alınmış ve bu alanda yararlı olacağı tedbirler belirtilmiştir.

2.2 Güneş Pilleri

Fotovoltaik piller de denilen güneş pilleri, üzerine güneş ışınlarının düşmesiyle, direkt elektrik üreten pillerdir. Güneş pillerinin çalışma ilkesi, fotovoltaik olayına dayanır. Pil

yüzeyine gelen güneş ışığı, uçlarda elektrik gerilimi oluşturur. Fotovoltaik piller, kurulan sisteme göre çok yüksek değerlere ulaşan enerji üretebilirler.

2.2.1 Tarihsel gelişimi

Güneş pillerinin çalışma prensibi, fotovoltaik olayına dayanır. Fotovoltaik olayıyla ilgili ilk çalışmalar çok eski yıllara dayanmaktadır. Nitekim 1839 yılında Fransız araştırmacı Becquerel, elektrik akımının metal plakalar arasındaki etkileşim sonucu ortaya çıktığını ve ışık şiddetini ölçen bir alet geliştirerek fotovoltaik olayını tanıtmıştır. Fransız araştırmacı Becquerel, %1 civarında güneşten elektrik üretmiştir. Bundan sonraki araştırmalarda bilim adamları, bu durumu daha da ileriye taşımaya çalışmışlardır. 1876 yılında İngiliz araştırmacılar G.W. Adams ve R.E. Day fotovoltaik olayı, katı selenyumda inceleyerek yeni çalışmalar yapmışlardır. Bundan sonraki çalışmalar, özellikle fotoğrafçılık alanında ışık metrelerin yaygınlaşmasını sağlayan katı selenyum ve bakır oksit konusunda olmuştur. Bu dönemlerde, güneşten elektrik üretmedeki verimlilik % 1'i geçmemesine karşın, ilk olarak 1954 yılında Daryl Chapin silikon güneş pilini yaparak, güneş enerjisinden elektrik üretme verimini % 6'lara çıkarmıştır (Karamanav, 2007). 1970 yıllarında sonra, dünya genelinde yaşanan petrol krizi, enerji sıkıntısını beraberinde getirmiş ve bu yüzden yenilenebilir enerjiye ve özellikle güneş enerjisi kaynaklarına yönelim artmıştır. Özellikle güneş teknolojisinde maliyetlerin düşmesi ve verimin artmasıyla beraber, güneş enerjisi uygulamaları daha fazla ön plana çıkmıştır.

Temiz ve çevre dostu olan güneş enerjisinden elektrik üretilmesi olayı, daha önce hep araştırma nitelikli olmuş, bu konuda somut adımlar pek atılamamıştı. Fakat daha sonraki yıllarda global dünyada meydana gelen yeni değişimler, büyük ülkelerin fosile dayalı enerjilere sahip olamaması, çevre temizliği konusunda kamuoyu tarafından baskıların artması dünya ülkelerini, fosile dayalı olmayan, yeni ve yenilenebilir enerjiyi kullanmaya zorlamışlardır. Özellikle büyük şirketlerin güneş enerjisi alanına girmesi, global dünyadaki teknolojik gelişmeler, üretimin sürekli olarak artması güneş teknolojisindeki maliyetlerin düşmesine olanak sağlamıştır. Geleneksel yöntemlerle elde edilen enerji sistemleriyle kıyaslandığı zaman, yüksek maliyetli olarak değerlendirilen fotovoltaik sistemler, günümüzde daha makul fiyatlardadır. Özellikle çevre temizliği konusunda, elektrik enerjisi üretilirken pek dikkat edilmeyen bir maliyet olan “sosyal maliyet” düşünüldüğü zaman, fotovoltaik güç sistemleri geleneksel

yöntemlerle elde edilen enerji sistemlerine göre daha ekonomiktir (Karamanav, M. 2007).

2.2.2 Güneş pillerinden elektrik üretimi

Güneş pilleri, yarı iletken maddeler olup, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürürler. Genellikle güneş pillerinin yüzeyleri kare, dikdörtgen ve daire biçimindedir. Güneş pillerinin alanları da, ortalama 100 cm² civarında olup, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. En yaygın kullanılan güneş pili, silisyum güneş pili'dir (<http://myo.mersin.edu.tr/UZAK/TP/Bilgisayar/bp-109temel-elk>).

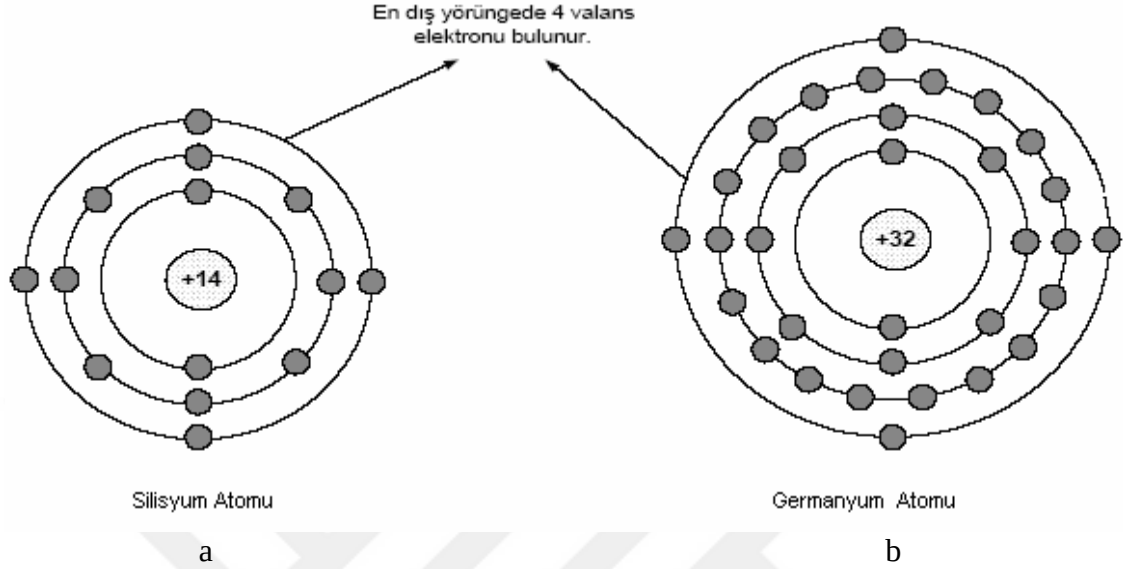
Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürürler, yani, fotovoltaiik ilkeye göre çalışırlar. Güneş pilleri elektrik üretirken tek kaynağı, sadece güneştir. Açık bir günde güneş ışıının şiddeti en fazla 1000 W/m² civarındadır. Bulunduğı yere bağılı olarak m²'ye düşen güneş enerjisi kapasitesi yılda, ortalama olarak 800–2600 kWh arasındadır. Kullanılan güneş pili çeşidine ve yapısına bağılı olarak güneş enerjisi, %5 - %70'lik bir verimle elektrik enerjisine dönüştürülebilir.

Güneş enerjisi teknolojisinde en önemli durum, yüzey alanının geniş tutulmasıdır. Gücü artırabilmek amacıyla, güneş pillerini paralel ve seri bağlayarak, geniş bir yüzey meydana getirilebilir. Bu yapıya fotovoltaiik modül denir. Fotovoltaiik modüller de paralel ve seri bağlanarak fotovoltaiik diziyi meydana getirirler.

2.2.2.1 Maddenin yapısı ve yarı iletkenler

Madde, pozitif yüklü çok ağır bir çekirdekle, onun etrafında belirli yörüngelerde dolanan elektronlardan meydana gelmiştir. Bu yükler, dış tesir yoksa birbirini dengeler. Elektronlar, yörüngelerinin bulunduğu yarıçapa, orantılı olarak potansiyel ve kinetik enerji taşırlar. En dış yörüngede maksimum 2, sonrakinde 8 ve üçüncüde 18 elektron bulunabilir. Elektronlar, ard arda gelen ve her biri belli sayıda elektron bulunduran enerji bandlarında bulunurlar. Dışarıdan enerji alan bir elektron, bir üst seviyedeki banda çıkabilir. Daha düşük banda geçen elektron da, dışarı enerji yayar. Son tabaka elektronlarına, valans (denge) elektronları denir ve cisimlerin kimyasal bileşikler yapmalarını temin eder. Son tabakası dolmamış bir atomun, bir başka cisme ait komşu atomdan elektron kapmaya yatkınlığı vardır. İç tabaka elektronları ise çekirdeğe çok sıkı bağılıdırlar. Termik enerji verilirse, elektronun yörüngesi etrafında titreşimi arttırır.

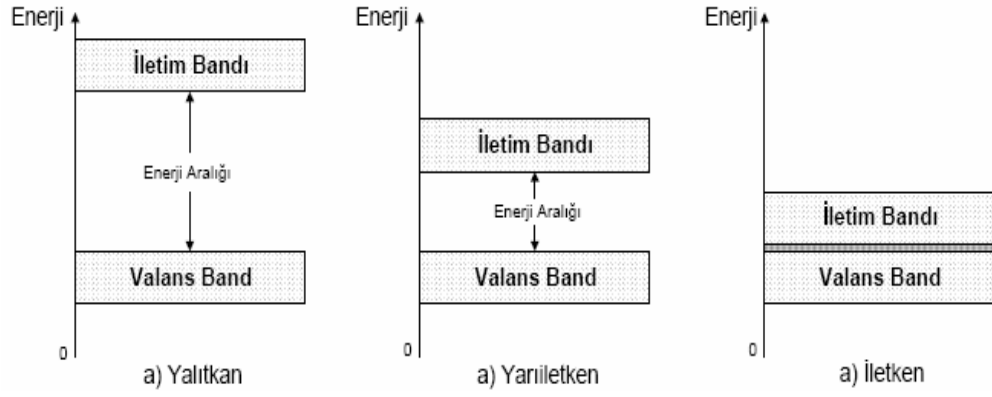
Elektron, yörüngesini muhafaza ettiği müddetçe ne enerji yayar, ne de absorbe eder. Bir elektron, uyarımla, atomu terk edecek enerji kazanıp ayrılabilir. Atom (+) iyon şekline geçer (Şekil 2.2.) (Karamanav, 2007).



Şekil 2.2. Silisyum (a) ve germanyum (b) yarı iletkenlerinin yapısı

İzoleli atomda (gazlarda) elektronlar, belirli bir enerji bandını işgal ederler. Bir kristalin atomları, kristal içinde muntazam diziler halinde yer alırlar. Atomlar, birbirlerine çok yakındırlar ve elektronlar, birbirine yakın enerjileri temsil eden enerji bandları üzerinde bulunurlar. Örneğin; bir germanyum atomunda, tek bir atom ele alınırsa, atom temel haldedir. Mutlak sıfır sıcaklıkta elektron, minimum enerji seviyesine sahiptir.

Germanyum kristalinde ise, mutlak sıfır sıcaklıkta, temel seviyenin yerini valans bandı alır. Bundan sonra, hiçbir elektronun bulunmadığı yasak bölge ve sonra da yüksek enerjili iletkenlik bandı bulunur. Bu sıcaklıkta Ge kristalinde iletkenlik bandında hiçbir elektron bulunmaz, yani kristal ideal bir yalıtkandır. Yalıtkan, yarı iletken, iletken maddelerin enerji bandları şekil 2.3.'de görülmektedir.



Şekil 2.3. Enerji bandları

Ge kristalinin iletkenlik kazanabilmesi için, iletkenlik seviyesine elektron temin edilmelidir. Bunun için gerekli enerji 0,7 eV civarındadır. Buna karşı, bir metalik kristalde yasak band yoktur, iletkenliği temin edecek, iletkenlik bandında çok sayıda elektron bulunur. Elmas için $E=7$ eV' luk enerji ile elektron yasak band geçilebilir. Bunun için malzemeye büyük elektrik voltajı uygulanması gerekir. Bu ise malzemeyi tahrip eder.

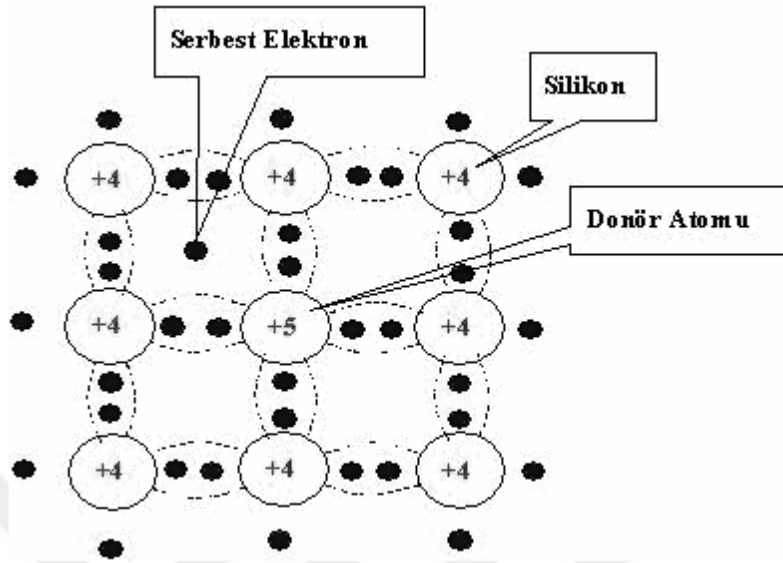
Yarı iletkenlerde, yasak bandı geçmek için 1 eV yeterlidir. Oda sıcaklığında kristal atomlarından birkaç tanesinin elektronları, iletkenlik bandına geçer ve iletkenliği sağlar. Geride bıraktığı boşluğa da başka bir elektron gelir ve o da iletkenliğe katılmış olur.

Bir kristal, ortak elektronla birbirine bağlı atomların düzgün olarak yerleşimiyle meydana gelmiştir. İyonik bağdan farklı olan bu birleşmeye “Kovalent” bağ denir. Valans elektronlar, kovalent bağ içinde, bir atomdakinden daha düşük enerji seviyesindedir. Kristali bozmak için, bu enerji farkı kadar enerji gerekir. Bu, kristalin kararlılığını gösterir (Karamanav, 2007).

2.2.2.2 N tipi yarı iletken

Kristal haldeki silisyum atomuna arsenik, bor ve fosfor atomlarının ilave edilmesiyle, yarı iletken malzeme elde etme işlemidir. Silisyum kristaline arsenik atomu eklenirse, silisyumla bir kovalent bağ oluşturur. Fakat arseniğin son yörüngesinde 5 elektron, silisyumun son yörüngesinde 4 elektron bulunmaktadır. Oluşan kovalent bağda 1 adet arsenik elektronu açıkta kalır ve böylece elektriksel iletim oluşur. Yani iletkenlik artmış

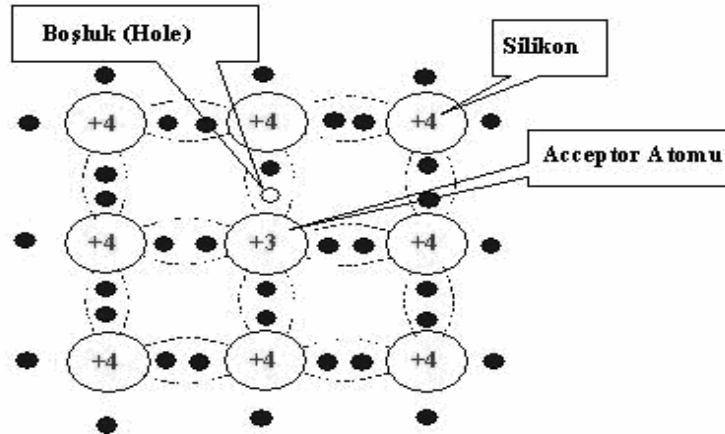
olur. Bu olaya N tipi yarı iletken denir. Fazladan elektron veren atomlara ise donör yani bağışlayıcı atom denilmektedir.



Şekil 2.4. N tipi yarı iletken

2.2.2.3 P tipi yarı iletken

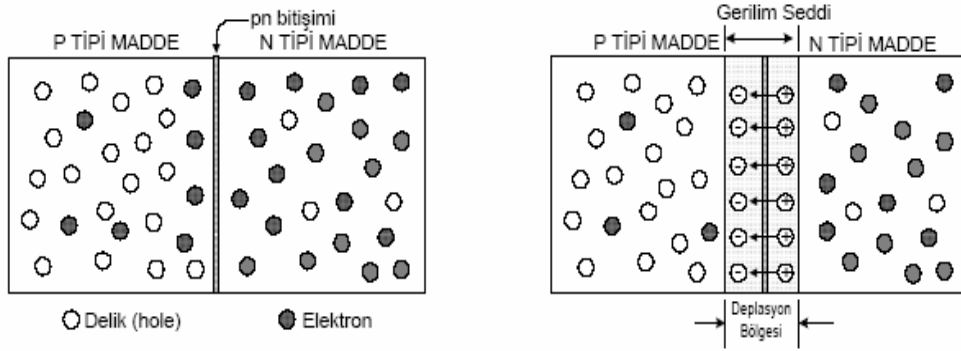
Saf silisyuma, III. gruptan 3 valans elektrona sahip galyum, bor ve alüminyum gibi elementlerin eklenmesiyle kristal bir yapı oluşturulur. Bu oluşturulan yeni yapıda delik (boşluk) sayısı artmıştır. Saf silisyuma bor elementi eklenirse, silisyumun ve borun 3 valans elektronu kovalent bir bağ oluşturur. Ama silisyumun 1 valans elektronu bağ oluşturmaz ve 1 elektron açığı oluşur. Buna boşluk denir. Silisyuma katkı maddeleri eklenerek boşluklar kontrol edilir. Bu şekilde oluşan yeni malzemeye, P tipi yarı iletken malzeme denir.



Şekil 2.5. P tipi yarı iletken

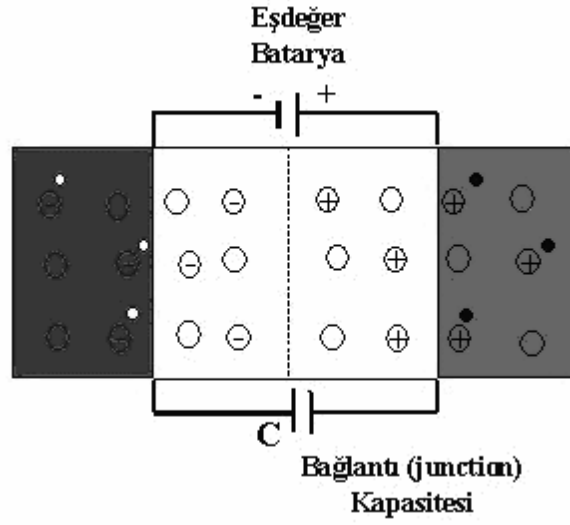
2.2.2.4 P – N kavşağı

P ve N tipi malzemelerin bir araya gelmesiyle oluşan birleşime, PN birleşimi denir. Yarı iletkenlik P tipinden N tipine geçmektedir. P bölgesinde az miktarda elektron, çok miktarda elektron boşluğu ve negatif iyonize atom bulunmaktadır (Şekil 2.6.).



Şekil 2.6. P – N kavşağının oluşumu

N bölgesinde ise, bol miktarda elektron yükü, az miktarda boşluk elektronlar ve pozitif iyonize atomlar bulunmaktadır. P bölgesi ve N bölgesinin teması anında P'deki boşluk elektronlar N'ye, N'deki elektronlar da P'ye geçerler. Bu şekilde P bölgesindeki atomlar negatif, N bölgesindeki atomlar da pozitif iyonlaşmış olurlar. Serbest yüklerin bulunmadığı, geçiş bölgesi olarak adlandırılan birleşmenin olduğu yerde iyonize olan atomlar, N bölgesinden P bölgesine doğru elektriksel bir alan oluştururlar. Geçiş bölgesinde meydana gelen bu gerilim farkı, N bölgesinden P bölgesine geçen elektronlar ve P bölgesinden N bölgesine geçen boşluk elektronlar için potansiyel bir duvar oluşturur. N bölgesinden ayrılan her bir elektron, arkasında bir boşluk (delik) meydana getirirken, P bölgesindeki negatif yükler de elektron fazlalığından dolayı, elektronu püskürtürler (Şekil 2.7.) (Yıldırım vd., 1995).



Şekil 2.7. P – N kavşağı ve iç akım

2.2.2.5 Yarı iletkenlerin katkılanması

Yarı-iletken malzemenin içerisine, çok az tutarda uygun, seçilmiş yabancı atom katkılanması ile yarı-iletkenin elektriksel özellikleri önemli ölçüde değiştirilebilir. Saf yarı-iletkenin yapısal özelliklerini bozmayacak tutarda ve denetimli bir biçimde yarı-iletken kristale yerleştirilen yabancı atomlara “safsızlık-atomları” ve bu işlemede “katkılama” adı verilir.

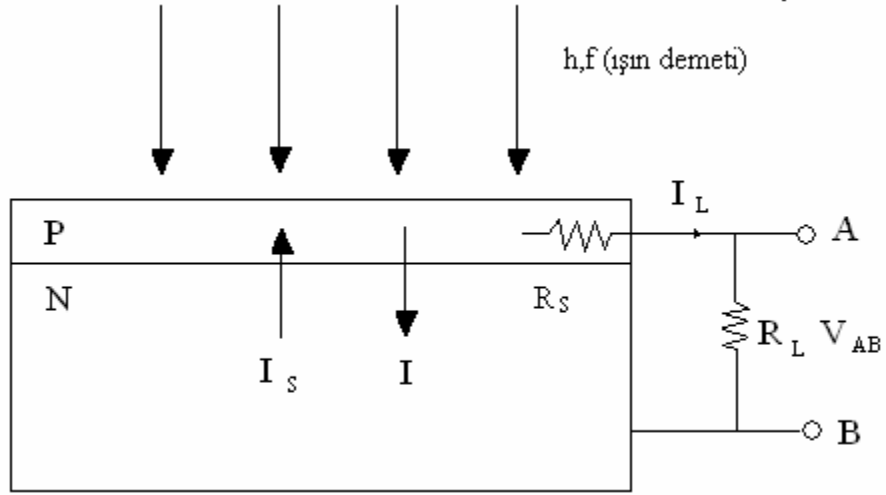
Katkılamayı daha iyi açıklamak için çoğunlukla kullanılan örnek, silisyum kristalidir. Saf silisyum kristalinde her atom 14 elektrona sahip olmakla birlikte, en dış yörüngedeki dört elektron, komşu atomlarla olan ilişkileri belirler. Değerlik elektronları adını verdiğimiz bu dört elektronun her biri, en yakınındaki dört silisyum atomu ile bağ yaparak, silisyum kristalindeki ana yapı taşı oluşturur. Ana yapı taşı, küpün merkezindeki bir silisyum atomu ve küpün birbirine komşu olmayan köşelerinde birer silisyum atomu yerleşmesi ile kurulur. Silisyum kristali, bu yapı taşlarının yinelenerek uzayı doldurması ile oluşur.

Saf silisyum kristali içerisinde değerlik elektron sayısı beş olan fosfor atomu katkılanırsa, fosfor atomu, silisyum atomunun yerine oturup dört değerlik elektronu ile silisyum daha önce kristal içerisinde yaptığı bağları sağlar iken, fosforun beşinci değerlik elektronu açıkta kalacaktır. Fosfor atomuna çok zayıf olarak bağlı olan bu elektron çok küçük bir enerji ile atomundan ayrılarak silisyum kristalinin iletkenlik

bandına çıkacaktır. Fosfor atomunda olduğu gibi, katıldığı kristal yapıya elektron veren safsızlık atomlarına verici denir. Bu şekilde katılanmış yarı-iletkenlerde elektriksel yük, elektronlar ile iletkenlik bandında taşınır ve bu nedenle bu yarı iletkenler n-tipi olarak sınıflandırılır. Saf silisyum kristali içerisinde değerlik elektron sayısı üç olan bor atomu katıladıgımızı düşünelim. Silisyum atomunun yerini alan bor atomu, silisyum kristalindeki üç atomla bağ yaparken dördüncü atomla paylaşacağı elektronu olmadığı için, bir eksik bağ ortaya çıkacaktır. Değerlik bandının kıyı enerjisine yakın bulunan bu enerji düzeylerine çok küçük enerjilerle bile, değerlik bandından elektronla doldurularak, değerlik bandında boşluklar oluşacaktır. Bu şekilde katılanmış yarı-iletkenlerde, değerlik bandındaki boşlukların sayısı iletkenlik bandındaki serbest elektron sayısından daha çok olduğundan, çoğunluk taşıyıcıları artı yükleri gibi düşünülen boşluklardır. Boşlukların çoğunluk taşıyıcısı olduğu bu tür malzemelere, p-tipi yarı-iletken adı verilir. Yarı iletken ister n-tipi isterse p-tipi olsun, kendi içlerinden nötrdür. Yani dışarıya karşı herhangi net bir elektrik yükü göstermezler; ancak, dışarıdan bir elektrik alan uygulandığında, elektrik alana tepki veren çoğunluk taşıyıcılarıdır. N-tipi yarı-iletkendeki çoğunluk taşıyıcıları, elektronlar ve azınlık taşıyıcıları boşluklar, p-tipi yarı iletkenlerde rol değiştirirler. Elektronlar, elektrik alan ile ters yönde hareket ederken, boşluklar elektrik alan doğrultusunda hareket ederler (Karamanav, 2007).

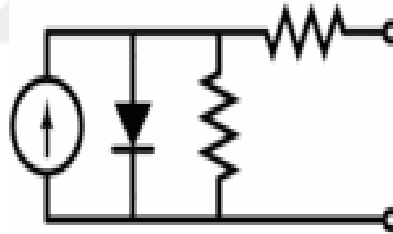
2.2.2.6 Fotovoltaik pil

Yük taşıyıcıları, foton absorbe edilmesiyle çoğunlukta oldukları alanlara geçerler. P bölgesiyle N bölgesinin bulunduğu kavşakta I_s akımı oluşur. Böylece N bölgesi negatif, P bölgesi pozitif yüklenir. Akım, P bölgesi ve N bölgesi kavşağının kutuplaşmasına ve kavşaktaki gerilimin düşmesine neden olur. Eğer akım yoksa yani dış devre açıksa P bölgesinden N bölgesine akım geçer. Böylece P bölgesi ve N bölgesi kavşağındaki gerilim duvarı tekrar artar. P bölgesi negatif, N bölgesi ise pozitif yüklenir. Daha sonra foton absorblanması devam ederek olay sürüp gider. Böylece $I_s = I$ olur.



Şekil 2.8. Fotovoltaik pilin yapısı

Dış devreden akım geçtiği anda $I_s = I - I_L$ durumu oluşacak ve elektrik enerjisi meydana gelecektir. Bir ışık demeti, P-N kavşağına düşürülürse elektriksel bir alan oluşabilir. P-N kavşağında bulunan temas potansiyeli, bir batarya rolü oynayarak elektron potansiyelini artırabilir. Şekil 2.9.'da, bu pilin elektrik eşdeğer devresi görülmektedir.

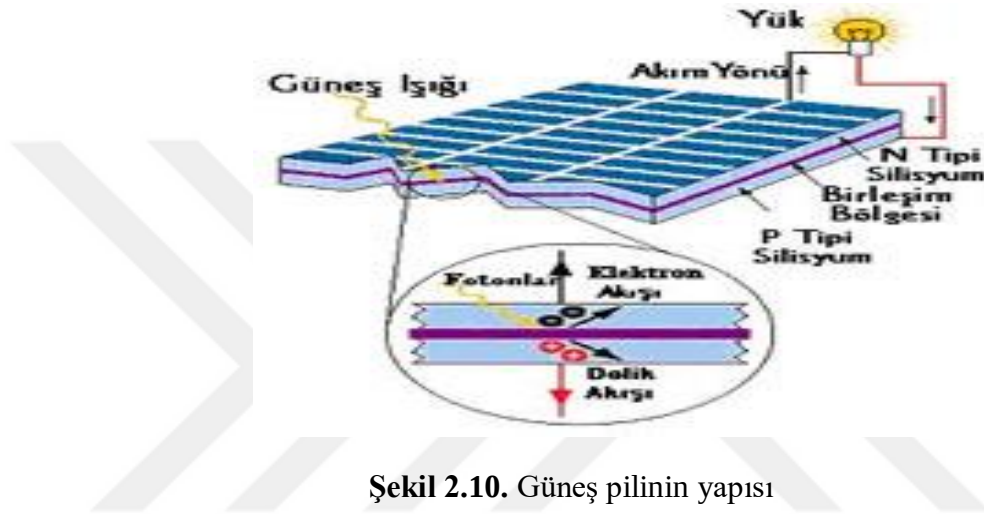


Şekil 2.9. Fotovoltaik pil eşdeğer elektrik devresi

2.2.3 Güneş pillerinin çalışma ilkeleri

Kullanılan birçok güneş pili, amorf veya çok kristalli silisyumdan meydana gelmektedir. Güneş ışığı pilin üzerine düştüğü zaman, silisyumun son yörüngesinde bulunan valans elektronunu negatif yükler. Enerji partiküllerinden yani fotonlardan oluşan güneş ışığı silisyum atomuna çarptığı anda, atomun tümünde bir enerji oluşur. Daha sonra silisyum atomunun son yörüngesinde bulunan valans elektronu kopmaya en meyilli olduğu için anında kopar ve böylece serbest kalan bu valans elektronda bütün elektriksel özellikler ortaya çıkarak, potansiyel bir enerji meydana gelir. Elde edilen bu enerjiyle bir aküyü şarj edebiliriz. Fakat burada dikkat edilmesi gereken durum, serbest

kalan elektronları pilin dış tarafına almaktır. Güneş pilleri üretilirken, pilin ön tarafında iç elektrostatik bölge oluşturulur ve son yörüngedeki elektronun serbest duruma geçmesi sağlanır. Silisyum kristali içinde bulunan diğer elementler, kristalin elektriksel dengesini bozar. Fotonlar güneş piline aktarıldığı zaman, bu elementler serbest elektronların başka bir yere gitmeleri için pilin yüzeyine doğru iterler. Fotonlar güneş pilinin içine doğru girerler ve böylece enerji kazanırlar. Son yörüngede bulunan elektronlar ise güneş pili içindeki elektro-statik bölgeye doğru geçerek pilin dışına akarlar. Böylece elektrik akımı meydana gelir.



Şekil 2.10. Güneş pilinin yapısı

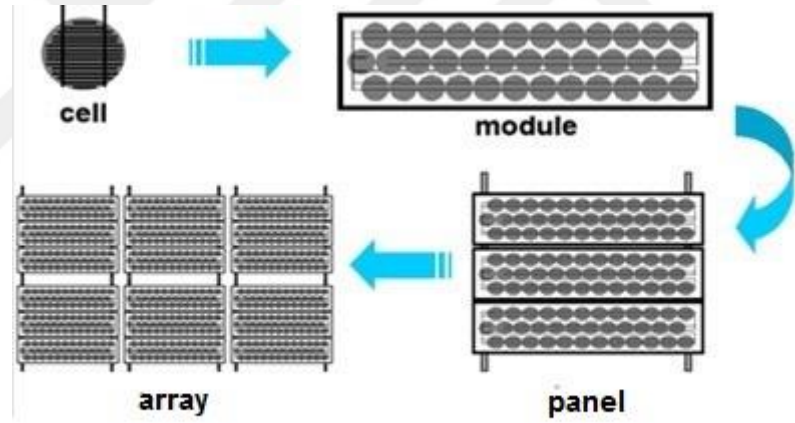
2.2.3.1 Güneş pillerinin yapısı

Güneş pilleri, kullanılan hücrenin yapısına göre ortalama olarak % 5–20 verimlilikle enerji üreten pillerdir. Gücü artırmak amacıyla birçok güneş pili seri ya da paralel bağlanarak güneş hücresi modülü denen yapı oluşturulur. En çok kullanılan kristalli silisyum güneş pilinin ortalama ağırlığı 10 gram civarındadır. Güneş pilinin üst tarafında, çoğunlukla malzemesi bakırdan olan ön kontak denilen negatif kontaklar mevcuttur. Negatif kontaklar akımı toplayan kontaklardır. Bu kontakların alt yüzeyinde pilden olan yansımayı engelleyen bir kaplama tabakası bulunmaktadır. Bu kaplama tabakası silisyum elementinin üstüne gelen güneş ışığının yansımalarını engelleyen bir tabakadır. Güneş pilinin ön tarafı daha fazla güneş ışığı alabilmek amacıyla piramit ve konik olarak yapılmıştır. Güneş ışığını tutucu özelliğe sahip olan katmanın alt kısmında elektrik akımının meydana geldiği farklı iki katman bulunmaktadır. Bu katmanlar N-katmanı ve P-katmanıdır. N-katmanı, pilin negatif kısmını oluşturan fosfor ilave edilmiş silisyumdan oluşur. P-katmanı ise, pilin pozitif kısmını oluşturan bor atomu ilave edilmiş silisyumdan oluşmaktadır. Bu iki katman, P-N kavşağını oluşturur. Böylece

pozitif ve negatif yüklü elektronların olduğu bir bölge meydana gelir (http://www.ezincmetal.com/tr/urunler_gunes_pilleri.php).

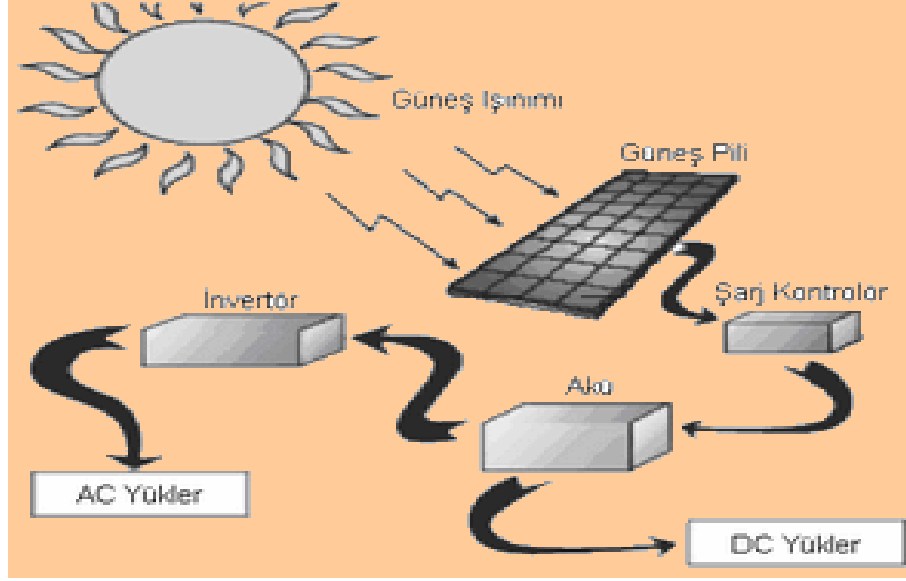
Üretilen piller, 25 °C sıcaklıkta, güneş ışınım şiddeti 1000 W/m² ve hava- kütle oranı 1,5 olan test koşullarında test edildikten sonra piyasaya sunulur.

Kristalli silisyum güneş pilinin bir adedinden, 0,5 volt kadar elektrik üretmek mümkündür. Gerilim miktarını yükseltmek amacıyla güneş pilleri seri ya da paralel bağlanabilir. Yaklaşık 35 adet güneş pili birbirine bağlandığı zaman ortalama olarak 17 voltluk bir enerji elde ederiz. Bu da 12 voltluk bir aküyü şarj edebilir. Şekil 2.11.'de görüldüğü gibi, silisyum hücreleri bir araya gelerek modülleri oluştururlar. Modüllerin de birbirine bağlanmasıyla fotovoltaik dizi meydana gelir. İstenilen gücü elde etmek amacıyla diziler, birbirine seri ya da paralel bağlanarak güneş paneli dizilerini oluştururlar. Bu şekilde tüketicilerin istedikleri farklı güçleri elde etmek mümkün olmaktadır.



Şekil 2.11. Fotovoltaik hücre, modül, panel ve diziler

Güneş pillerinin en büyük dezavantajı, kolayca kırılabilmesidir. Güneş pili kırıldığı zaman verimi ve dolayısıyla ürettiği enerji de düşer. Güneş pillerinin birbirlerine bağlanmasıyla meydana gelen modüller, koruyucu çerçeve içine alınmıştır. Bir modülde ne kadar çok pil varsa çıkış gücü de o kadar fazla olur. Şekil 2.12.'de görüldüğü gibi, güneş pilinin birbirine bağlanmasıyla oluşan bir modül ve buna bağlanmış olan bir aküyle meydana getirilmiş bir sistemden, güneş ışınımının modülün yüzeyine gelmesiyle enerji elde edilebilir.



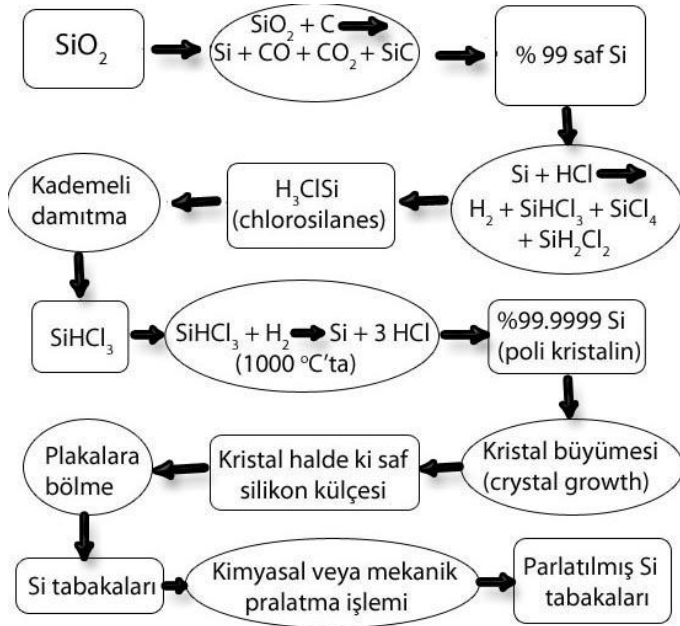
Şekil 2.12. Güneş pili ile akünün şarj edilmesi

Güneş kaynağından daha fazla güç elde etmek amacıyla modüllerin birbirine bağlanmasından PV diziler meydana gelmektedir. Bir modülün gücünü daha da üst seviyelere çıkarabilmek için panellerin kullanılması uygun olmaktadır. Böylece dizi çıkış gücünü, 12, 24, 48 V değerine kadar çıkarabiliriz. Kapasitesine göre bir araya gelen dizilerin oluşturduğu bir sistemde paneller, kontrol sistemine bağlanarak enerji üretebilirler. Fakat her panelin kontrol sistemine tek olarak bağlanması da mümkündür.

Fotovoltaik modüllerin bir araya gelmesiyle, güneş paneli dizileri meydana gelir. Güneş kaynağından yüksek enerji elde etmek amacıyla diziler, alt-dizi gruplarına ayrılarak, kurulumu daha kolay ve çıkış enerjisi daha fazla olmaktadır. Dizi, bir modülden meydana gelebileceği gibi, binlerce modülün birbirine bağlanmasıyla da meydana gelebilir (Karamanav, 2007).

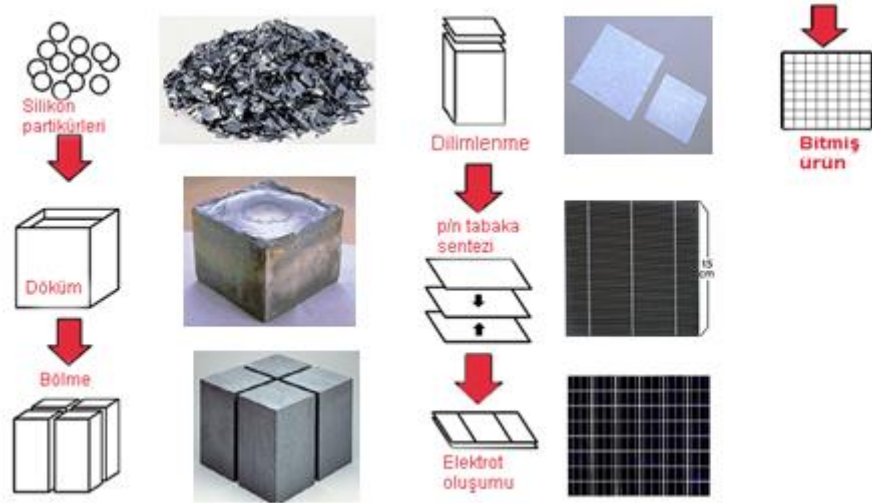
2.2.3.2 PV modüllerin üretim süreci

Panellerin üretiminde ilk iş, silisyumun saf olarak elde edilmesidir. Bu yüzden doğada fazla miktarda mevcut olan SiO_2 'in saf hale getirilmesi gerekmektedir. Şekil 2.13.'te görüldüğü gibi, SiO_2 'in saf hale getirilmesi işlemi çok uzun süreçten geçmektedir. Güneş enerjisi teknolojisinde kullanılması için hazırlanan silisyum, birçok işlemten geçtikten sonra, en son tabakalara ayrılması süreci oldukça maliyetlidir.



Şekil 2.13. Güneş panellerinin üretim süreci

Doğal ortamlardan elde edilen silisyumun saf hale getirilmesi için ilk başta eritme işlemine tabi tutulur. Eriyikte oluşan temiz tabaka ayrılarak saf silisyumlar alınır. Bu tabakalar uygun biçimde kesilir ve ince bir şekilde dilimlenirler. Dilimlenmiş olan plakalardan, N-tipi ve P-tipi tabakalar oluşturularak kullanıma hazır hale getirilir.



Şekil 2.14. Güneş pillerinde kullanılan silikon tabakalarına uygulanan işlemler

N tipi ve P tipi tabakalara elektronlar eklenerek bir elektrik akımı oluşturması sağlanır. Böylece, oluşturulan güneş pili kullanıma hazır olup, voltajı daha fazla artırmak için oluşturulan plakalar birbirlerine seri olarak bağlanırlar.

2.2.4 Güneş pili çeşitleri

Güneşten enerji elde edilmesi için kullanılan güneş pillerinin, kullanılan malzemeler bakımından çok sayıda çeşidi bulunmaktadır. Güneş pili yapımında kullanılan birçok malzeme olmasına karşın, gelişen teknoloji ile birlikte daha fazla malzeme üzerinde de incelemeler yapılmaktadır. En çok kullanılan güneş pili çeşitleri (Günkaya, 2001).

2.2.4.1 Kristal silisyum güneş pilleri

Güneş pili teknolojisinde kullanımı en fazla olan element silisyumdur. Yarı iletken özelliği en iyi olan silisyum doğal çevrede çok fazla miktarda bulunan bir elementtir. Teknolojik özelliği de fazla olan silisyuma ulaşmak zor olmadığından dolayı fotovoltaik teknolojide en çok kullanılan doğal bir elementtir. Fakat silisyum doğada saf halde olmadığı için saflaştırma süreci maliyetli olabilir. Bu durum güneş pilinin maliyetini de yükseltebilir.

2.2.4.2 Monokristal silisyum güneş pilleri

Atomik yapısı homojen olan monokristal silisyum pilleri fotovoltaik teknolojide en fazla tercih edilen güneş pili çeşididir. Fakat üretimleri diğer güneş pili çeşitlerine göre, daha uzun zaman aldığı ve daha zor olduğu için maliyeti fazladır. Maliyeti fazla olmasına rağmen, verimi en iyi olan güneş pili çeşidi olmasından dolayı piyasada çok tercih edilmektedir. Monokristal silisyum güneş pillerinin verimleri yaklaşık olarak % 20 civarındadır.

2.2.4.3 Semikristal (yarı kristal) silisyum güneş pilleri

Yarı kristal haldeki güneş pilleri, sıvı halde bulunan silisyumun soğutulması sonucu oluşan silisyum kristallerinden meydana gelmektedir. Semikristal güneş pillerinin verimleri yaklaşık olarak %14 civarındadır.

2.2.4.4 Ribbon silisyum güneş pilleri

Ribbon silisyum güneş pilleri, güneş enerjisi teknolojisinde henüz gelişim safhasında olup, ortalama verimlerinin %13–14 civarında olduğu düşünülmektedir. Laboratuvar çalışmaları devam eden bu piller, levha olarak silisyum tabakalarından üretilirler.

2.2.4.5 Polikristal silisyum güneş pilleri

Atomik yapısı homojen olmayan bu pillerin verimleri yaklaşık olarak %16 civarındadır. Fakat maliyeti monokristal güneş piline göre daha uygun olduğu için, piyasada fazla miktarda kullanılan güneş pili çeşididir.

2.2.4.6 İnce film güneş pilleri

Güneş enerjisi sisteminde temel amaç, kullanılan pillerin yüzeyine düşen güneş ışığının emilimini en yüksek noktada tutmaktır. İnce film güneş pilleri tekniğinde, fazla kalın olmayan daha ince güneş pilleri üretilmektedir. Bu teknikte kullanılan malzemeler ise, absorbe edici özelliği fazla olan malzemelerdir. Bundan dolayı absorpsiyon katsayısı yüksek olan güneş pillerinin üretimi son derece önemlidir. İnce film güneş pili teknolojisinde en çok kullanılan güneş pili amorf silisyum güneş pilidir. Bu tür güneş pillerinde kullanılan malzeme daha az olup, montaj işlemi yapılırken büyük bir kolaylık sağlar.

2.2.4.7 Amorf silisyum güneş pilleri

İnce film güneş pili tekniğinde en fazla kullanılan amorf silisyum güneş pilleri, kristal yapı özelliği göstermez. Amorf silisyum güneş pillerinin üretiminde çöktürme metodu uygulanır. İşlem, kalay oksitle kaplanmış bir iletken yüzeye çöktürme metodu uygulanarak yapılır. Amorf silisyum güneş pillerinin verimleri ortalama olarak %5–8 arasındadır. Fakat bu güneş pillerinin zamanla bozunuma uğrama sıkıntıları vardır.

2.2.4.8 Bakır indiyum diselenoid güneş pilleri

Bakır indiyum diselenoid güneş pilleri, monokristal güneş pilleri ve polikristal güneş pillerine nazaran daha ince kalınlıkta olan güneş pilleridir. İnce tabakalı güneş pili olmasından dolayı, diğer güneş pili çeşitlerine göre maliyeti daha düşük olmaktadır. Bakır indiyum diselenoid güneş pilleri havanın kapalı olduğu durumlarda da çok fazla kullanılıp, ortalama verimleri % 12–13 civarındadır. Bakır indiyum diselenoid güneş pilleri yarı şeffaf özelliğe sahip olduğu için, gelecek yıllarda evlerde veya işyerlerinde pencerelerde de kullanılabilir.

Bakır indiyum diselenoid güneş pilleri teknolojisinin en büyük dezavantajı, indiyumun dünyada fazlaca bulunmaması durumudur. Fakat bu güneş pilleri üretilirken, çok az miktarda indiyumun kullanılması bu dezavantajı tolere edebilir.

2.2.4.9 Diğer yapılar

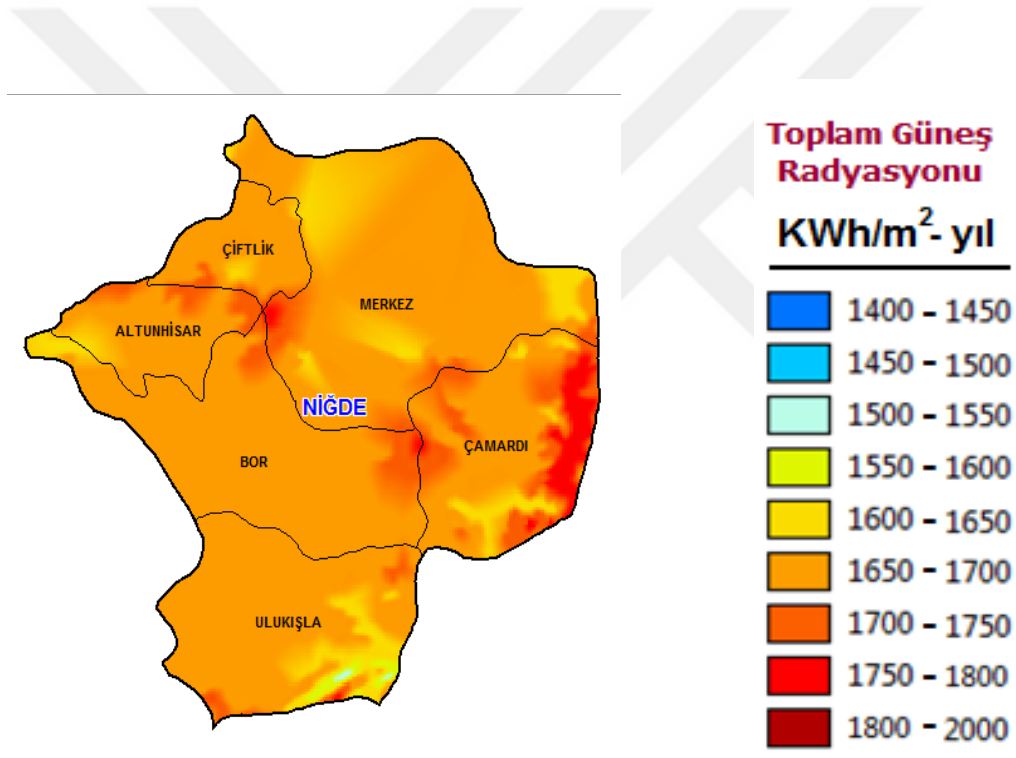
Güneş pillerinin verimliliği açısından en yüksek verime sahip olan güneş pilleri galyum arsenitten yapılan güneş pilleridir. Bu pillerin ortalama verimleri % 24 civarında olup, maliyetleri çok yüksektir. Absorbe edici özelliği fazla olan bakır indiyum diselenoid maddesinden elde edilen güneş pilleri, güneş enerjisi teknolojisinde halen gelişme aşamasında olup ortalama verimleri %13 civarındadır. Üretilen bu güneş pilleri dışında kullanılan başka bir metot ise, birkaç ince filmin birbiri üstüne yerleştirilmesiyle elde edilen güneş pilleridir. Ayrıca, güneş ışığını yansıtan madde kullanan ve güneş ışığını pillerin üstüne optik bir şekilde yoğunlaştıran piller üzerinde araştırmalar devam etmektedir.

BÖLÜM III

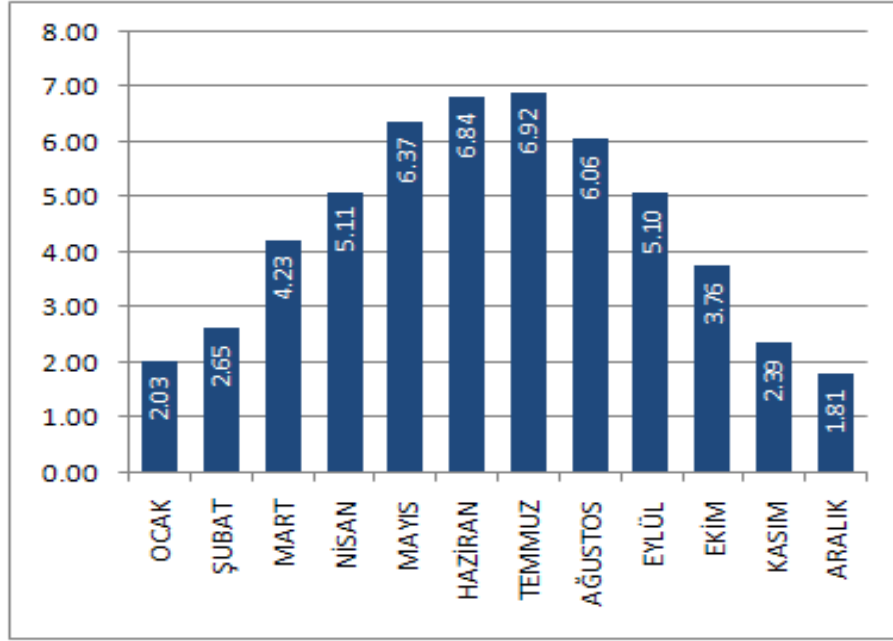
GÜNEŞ ENERJİSİNİN TARIMSAL SULAMA AMACIYLA KULLANIMI

3.1 Niğde’de Güneş Enerjisi

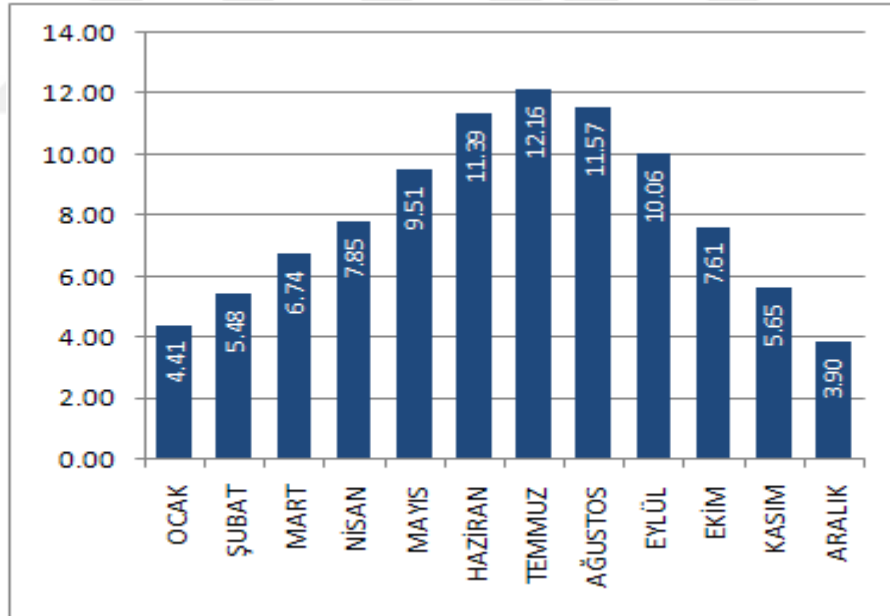
Niğde ilinin, Niğde Meteoroloji Müdürlüğünden alınan değerlere göre, ortalama günlük güneşlenme süresi 7,98 saat olup, ortalama yıllık güneşlenme miktarı 1396 kWh/m²’dir. Bu değer, Türkiye ortalamasına göre yüksek bir değerdir. Bu veriler, Niğde ‘nin güneş panelleri için uygun bir bölge olduğunu göstermektedir.



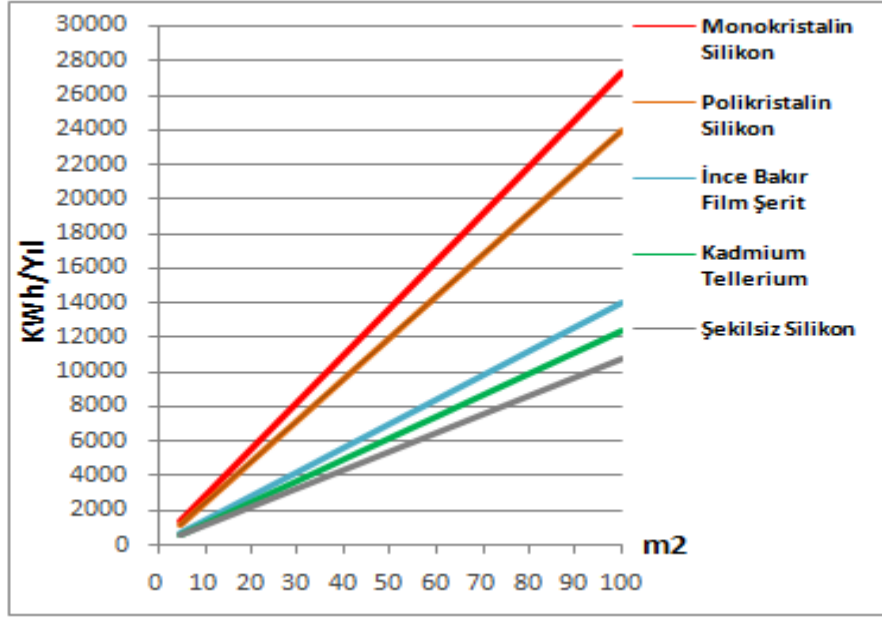
Şekil 3.1. Niğde global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün)
(<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html>)



Şekil 3.2. Niğde global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün)
(<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html>)



Şekil 3.3. Niğde güneşlenme süreleri (saat)
(<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html>)



Şekil 3.4. Niğde PV tipi-alan-üretilebilecek enerji (kWh-yıl)
(<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html>)

3.2 Niğde’de Tarım

Niğde, Nevşehir, Aksaray, Kırıkkale ve Kırşehir illerini içeren TR71 Bölgesi’nde tarım, toplam ekonomideki payı %19 ve istihdam içerisindeki payı %36 olan, önemli bir sektördür. Bölge, bazı tarım ürünleri açısından, ülkede önemli bir konumdadır. Türkiye’de üretilen 4,8 milyon ton patatesin 802 bin tonu, Niğde ilinde üretilmektedir. Niğde bölgesi, patates üretiminde Türkiye ‘de büyük bir paya sahiptir.

2011 yılı itibariyle, Türkiye’de bulunan patates ekim alanlarının yaklaşık %26’sı ve üretimin yaklaşık %30’u Aksaray, Kırıkkale, Kırşehir, Niğde ve Nevşehir’i kapsayan TR71 Bölgesinde gerçekleşmektedir.

TR71 Bölgesi’nde, gerek ekim alanı ve gerekse de üretim miktarı açısından ön plana çıkan başlıca ürünler; tahıllardan buğday, arpa, çavdar ve mısır; baklagillerden nohut, kuru fasulye ve yeşil mercimek; endüstri bitkilerinden patates, ayçiçeği, seker pancarı ve aspir; yem bitkilerinden ise yonca, korunga, fiğdir.

Çizelge 3.1. TR71 Bölgesi tarla bitkileri ekiliş alanları (ha) (TUİK, 2012)

Bölge/İl		Tahıllar	Yağlı Tohumlar	Endüstriyel Bitkiler	Yenelik Tane Baklagiller	Yem Bitkileri	Yumru Bitkileri	Toplam
Türkiye	a	11.903.435	1.371.159	1.592.210	860.339	1.508.292	222.844	17.458.279
	%	68.18	7.85	9.12	4.93	8.64	1.28	100
TR71	a	891.369	41.934	27.101	74.652	35.903	40.397	1.111.355
	%	80.21	3.77	2.44	6.72	3.23	3.63	100
Aksaray	a	182.916	15.895	14.458	17.779	17.292	7.532	255.872
	%	71.49	6.21	5.65	6.95	6.76	2.94	100
Kırıkkale	a	157.753	14.050	1.163	4.840	1.653	80	179.539
	%	87.87	7.83	0.65	2.7	0.92	0.04	100
Kırşehir	a	217.963	10.878	4.620	36.584	5.960	2.555	278.560
	%	78.25	3.91	1.66	13.13	2.14	0.92	100
Nevşehir	a	208.965	651	4.423	6.379	4.284	9.314	234.016
	%	89.3	0.28	1.89	2.73	1.83	3.98	100
Niğde	a	123.445	442	2.427	9.044	6.702	20.908	162.968
	%	75.75	0.27	1.49	5.55	4.11	12.83	100

Çizelge 3.1.'de görüldüğü gibi, Niğde bölgesinde patates ekim alanı toplam üretim açısından önemli bir yer tutmaktadır. Çizelge 3.1.'de verilen çeşitli bitki su kullanımlarına göre; patates, şekerpancarı, yonca, hayvan pancarı en yüksek su kullanımına sahip bitkilerdir (Anonim, 2012). Ekim alanı ve su kullanımları beraber değerlendirildiğinde, bölgede en yüksek sulama suyu ve dolayısıyla enerji kullanımı, patates üretiminde ihtiyaç duyulmaktadır.

3.3 Niğde'nin İklim Özellikleri

Niğde'de karasal iklim görülür. Karasal iklimin nedenleri ise; etrafının dağlarla çevrili olması, deniz seviyesinden 1200 m yükseklik göstermesi, denizin bunaltıcı etkilerini ve denizden gelen rüzgârları alamaması, kuzeyden gelen soğuk rüzgârlara açık olmasındandır. Bu durumda Niğde'nin genel iklim özelliği; yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlıdır. Yağışlara kar halinde kışın, yağmur halinde ilkbaharda rastlanmaktadır.

Niğde kuzey yarımkürenin orta kuşağında bulunmaktadır, en sıcak ay ortalaması Temmuz ayına, en soğuk ay ortalaması ise Ocak ayına rastlar. Gerek mevsimler

arasındaki sıcaklık farkı, gerekse gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkı kara iklimin en açık örneğidir. Bu durumda, Niğde’de 16 yılda yapılan gözlemlere göre sıcaklık ortalaması 10 °C dir. Tespit edilen maksimum sıcaklık (en yüksek 37,7 °C dir) temmuz ayına, minimum sıcaklık (en düşük 21 °C dir) şubat ayına rastlar.

Kış aylarında yüksek basıncın etkisiyle Niğde’de değişik bir yağış rejimi görülür. İlkbaharda yüksek basıncın etkisi altında ve batıdan gelen alçak basınç merkezleri Niğde’yi etkisi altında bırakır. İlkbaharın gelmesiyle gölgede sıcaklık derecesi yavaş yavaş yükselir. Yüksek basıncın hâkimiyeti doğuya çekilir. Bu çekiliş ilkbaharda yağışların meydana gelmesine sebep olur. Nisan, Mayıs ve Haziran’ın ilk yarılarna kadar sağanak halinde, bazen de sürekli yağış yapan şartları görülür. Niğde’de yağış ortalaması 0,9 mm(milimetre) dir. Yağışın en fazla olduğu ay 78,5 mm ile nisan, en az olduğu ay ise 0,2 mm ile temmuz ayıdır.

Niğde’de ortalama nisbi nem % 56’dır. Nemin en fazla olduğu ay % 80 ile şubat, en düşük olduğu ay % 28 ile ağustos ayıdır.

3.4 Sulama Yöntemleri

Sulama işlemi, kaynaktan gelen suyun toprağa ve bitki köküne verilmesine denilmektedir.

Çizelge 3.2. Sulama yöntemleri (<http://www.agplastik.gov.tr>)

SULAMA YÖNTEMLERİ	
YÜZEY SULAMA YÖNTEMLERİ	BASINÇLI SULAMA YÖNTEMLERİ
-Salma Sulama Yöntemi	-Yağmurlama Sulama Yöntemi
-Tava (göllendirme) Sulama Yöntemi	-Mikro Yağmurlama Sulama Yöntemi
-Karık Sulama Yöntemi	-Damla Sulama Yöntemi

Sulama yöntemi, kaynaktan alınan suyun araziye dağıtılması işlemlerini sağlayan bütün araç, gereç ve ekipmana denilmektedir.

Her sulama yönteminin kendine özgü bir sulama sistemi vardır. Bu nedenle uygulamada önce; mevcut su kaynağı, toprak, topografya, bitki, iklim, ekonomik durum, sosyal ve kültürel durum gibi etkenler dikkate alınarak, koşullara en uygun sulama yöntemi seçilir ve daha sonra bu sulama yönteminin gerektirdiği sulama sistemi planlanır, sistem unsurları boyutlandırılır (projelendirilir), kurulur ve işletilir (<http://www.agplastik.gov.tr>).

3.4.1 Yüzey sulama yöntemleri

Yüzey sulama yöntemlerinde su, tarla başı kanalları ya da lateral boru hatlarından tarla parsellerine alınır ve arazi yüzeyinde belirli bir eğim doğrultusunda yerçekiminin etkisi ile ilerler. Su, bu ilerlemesi sırasında bir yandan da toprağın suyu alması (infiltrasyon) ile toprak içine girer ve bitki kök bölgesinde depolanır.

Yüzey sulama yöntemlerinin uygulandığı alanlarda, suyun tarla parsellerine iletimi ve dağıtımı genellikle açık kanal sistemleri ile yapılmaktadır. Ancak, topografik koşullar nedeniyle bazen düşük basınçlı boru sistemleri de kullanılabilir. Yüzey sulama yöntemleri; salma, tava (göllendirme) ve karık sulama yöntemi olarak sınıflandırılabilir.

3.4.1.1 Salma sulama yöntemi

Salma sulama yönteminde, tarla başı kanalından tarla parseline alınan su, parsel boyunca arazi üzerinde rastgele yayılmaya bırakılır. Su, toprak yüzeyinde ilerlerken, bir yandan da toprağın su alması (infiltrasyon) ile toprak içine girer. Bu uygulama biçiminde, sulama doğrultusunda eğimin % 3'ü geçmemesi, sulamaya dik yönde olmaması ve tarlanın tesviyeli olması gerekir.

Salma sulama yönteminin bir değişik uygulaması, tarla başı kanalından suyun şişirilerek taşırılması ve taşan suyun tarla parseli boyunca yayılmasıdır.

Teorik olarak, suyun toprak yüzeyini bir tabaka biçiminde kaplayarak akacağı öngörülür. Ancak, uygulamada bu koşul genellikle gerçekleşmez. Su, eğim doğrultusunda düzensiz olarak ilerler ve çoklukla eş olmayan bir su dağılımı meydana gelir. Başka bir deyişle, tarla parselinin belirli kesiminde gereğinden daha fazla, belirli kesiminde ise gereğinden daha az bir su uygulaması söz konusu olur. Bu nedenle, su uygulama randımanı son derece düşüktür.

Salma sulama yönteminin tek avantajı, ilk tesis masrafının çok düşük olmasıdır. Buna karşın, tarla parseli boyunca eş su dağılımının sağlanamaması, su uygulama randımanının son derece düşük olması, toprakta tuzluluk ve sodyumluluk sorununun ortaya çıkmasına neden olabilmesi gibi sakıncaları dikkate alındığında, bu yöntemin uygulanması pek önerilmemektedir.

3.4.1.2 Tava (göllendirme) sulama sistemi

Tava sulama yönteminde, sulanacak tarla parseli, toprak seddelerle çevrilerek eğimsiz alt parsellere ayrılır. Bu alt parsellere, tava adı verilir. Tarla başı kanalı ya da lateral boru hattından su, tavalara bir ya da birkaç yerden alınır. Tava debisi, suyun tava içerisinde olanaklar ölçüsünde kısa sürede göllenmesini sağlayacak kadar yüksek olur. Tavada göllenen su, zaman boyutunda toprağın suyu alması (infiltrasyon) ile toprak içerisine girer ve bitki kök bölgesinde depolanır.

Tava sulama yönteminin tesis maliyeti, salma sulama yöntemi gibi düşüktür. Su, salma sulama yöntemine göre daha iyi kontrol edilebilir, ancak bu yöntemde de, sulama randımanı düşüktür. Ayrıca, tavaların eğimsiz olması gerektiğinden, arazi tesviyesi gerektirir. Tava debisi yüksek olduğundan, tava başında erozyonu önlemek için, özel yapılar gerekebilir, derine sızmayı önlemek için kontrollü sulama yapılmasını gerektirir, aksi durumda toprakaltı drenaj sistemi kurmak gerekebilir, bu da maliyeti artırır.

3.4.1.3 Karık sulama yöntemi

Karık sulama yönteminde, bitki sıraları arasına, karık adı verilen küçük kanalcıklar açılır ve su, bu karıklara verilir. Su, karık boyunca ilerlerken, toprağın suyu içine alması (infiltrasyon) ile bitki kök bölgesinde depolanır.

Sulama sırasında, aynı anda çok sayıda karığa su verilir. Aynı anda su verilen karık sayısı, bir karık sulama grubu oluşturur. Karık sulama sistemlerinde, tarla başı kanalı ya da lateral boru hattından sonra, her karık sulama grubuna hizmet eden eğimsiz dağıtım kanalları ya da delikli (musluklu) karık sulama borularına gerek vardır. Bu borular, taşınabilir olup, bir karık sulama grubunun sulaması tamamlandığında, diğer gruba taşınır.



Fotoğraf 3.1. Karık sulama yöntemi

Karık sulama yönteminin üstünlükleri arasında; ilk tesis masrafının diğer yüzey sulama yöntemlerine göre daha yüksek olmakla birlikte yine de düşük olması, iyi bir arazi tesviyesi ve sulama işletmesi ile iyi sayılabilecek bir sulama randımanının elde edilebilmesi, ağır bünyeli topraklarda emniyetle uygulanabilmesi sayılabilir.

Yöntemin uygulanmasını kısıtlayan etmenler ise; karıktan çıkan suyu uzaklaştırmak için, yüzey drenaj kanallarının gerekebileceği, kabul edilebilir düzeyde eş su dağılımı sağlayabilmek için, iyi bir arazi tesviyesinin gerekli olması, karık sırtlarında birikebilecek tuzun, toprak tuzluluğuna duyarlı bitkiler için sorun olabilmesi, düşen yağışın yüzey akışı oluşturduğu koşullarda, yüzey akışının karıklarda yoğunlaşarak, erozyon sorunu oluşturması şeklinde sayılabilir.

3.4.2 Basınçlı sulama sistemi

Yüzey sulama yöntemlerinde, tarla parselinde suyun yerçekimi ile ilerlemesi esassen, basınçlı sulama yöntemlerinde su, tarla parselinin içindeki kapalı borulara belli bir basınçla iletilir ve sulama yöntemine bağlı olarak yağmurlama, mikro yağmurlama veya damlama yöntemi ile bitkilere uygulanır.

Basınçlı sulama yöntemlerinde; yağmurlama ve mikro yağmurlama yöntemi, yüksek basınca gerek duyarken, damla sulama yöntemi daha düşük basınçla uygulanabilir.

3.4.2.1 Yağmurlama sulama yöntemi

Yağmurlama sulama yönteminde, sulanacak araziye yerleştirilen borular üzerine, belirli aralıklarla yağmurlama başlıkları yerleştirilir. Sulama suyu, yağmurlama başlıklarından

basınç altında püskürtülerek, atmosfere verilir. Su, buradan toprak yüzeyine düşer, toprağın suyu alması ile (infiltrasyon) toprak içerisine girer ve bitki kök bölgesinde depolanır. Sulama işlemi, istenen miktarda su, bitki kök bölgesinde depolanıncaya kadar sürdürülür. Bu yöntem, bir yerde doğal yağışa benzediğinden, yöntemle yağmurlama sulama yöntemi adı verilmektedir.



Fotoğraf 3.2. Yağmurlama sulama yöntemi

Sulama suyunun başlıklardan basınç altında püskürtülebilmesi için, suyun kaynaktan başlayarak, yağmurlama başlıklarına kadar basınçlı boru hatları ile iletilmesi ve tarla içinde dağıtılması, sistem basıncının ise, pompa ya da yerçekimi (cazibe) ile sağlanması gerekmektedir (Kara, 1983; Yazar vd., 1990; Keller ve Bliesner, 1990; Pereira, 1990).

Yağmurlama sulama sistemleri, kurulum ve işletme durumuna göre; sabit sistemler, taşınabilir sistemler ve hareketli sistemler olarak gruplanır.

Yağmurlama sistemin üstünlükleri arasında; yüzeyi düzgün olmayan tarım alanlarında tesviyeye gerek olmaksızın uygulanabilmesi, su alma hızı yüksek hafif bünyeli topraklarda, yüksek su uygulama randımanı elde edilebilmesi, sulanan arazinin her yerinde daha eş bir su dağılımı sağlanabilmesi, su kayıpların daha az olması, dondan koruma uygulaması yapılabilmesi sayılabilir.

Yağmurlama sulama yönteminin uygulanmasını kısıtlayan bazı etmenler de söz konusudur. Tesis maliyetinin yüksekliği, iyi bir projelendirme gerektirir. Gerekli işletme basıncını sağlamak için, genellikle bir pompa birimine ve dolayısıyla, sürekli enerjiye ihtiyaç vardır, bu da işletme masraflarını artırır. Yüksek veya düzensiz rüzgâr alan alanlarda su dağılımı, dengesiz olur. Yüksek sıcaklık, buharlaşma kayıplarını ve

kullanılan su miktarını artırır. Bitkilerin tozlaşma dönemlerinde sulama yapılamaz. Bitki yaprakları ıslatıldığından, bazı bitki hastalıklarının yayılma riski artar.

3.4.2.2 Mikro yağmurlama sulama yöntemi

Genellikle meyve ağaçlarının sulanmasında kullanılır. Bu yöntemde, her ağacın altına, bir adet küçük yağmurlama başlığı yerleştirilir. Yalnızca, ağacın altında belirli bir kesim ıslatılır. Sulama suyu, kaynaktan yağmurlama başlıklarına kadar basınçlı boru hatları ile iletilir.

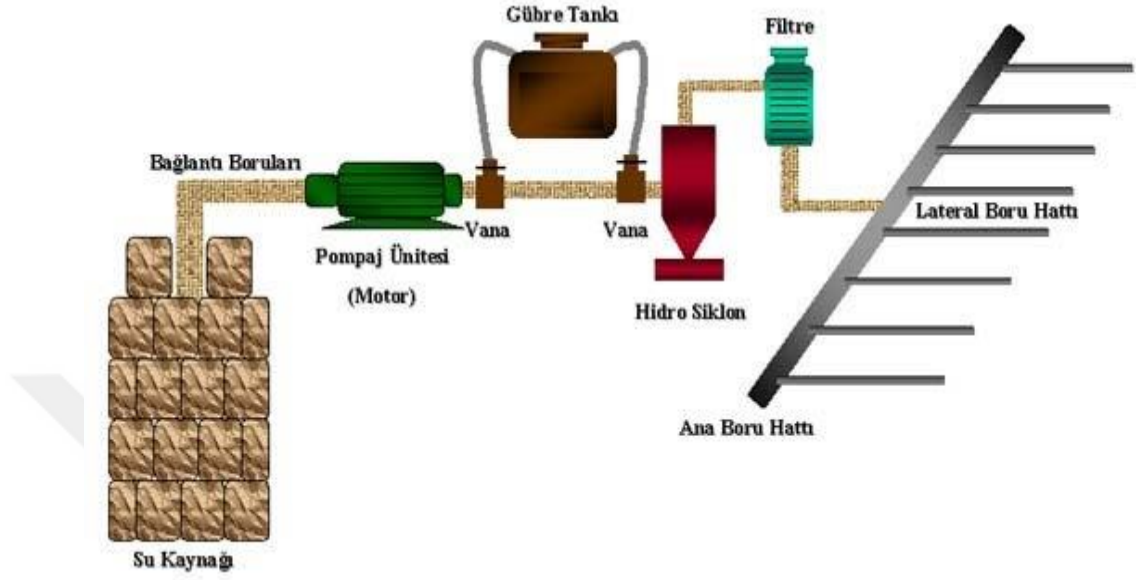
Meyve ağaçlarının sulanmasında, öncelikle damla sulama yöntemi göz önüne alınır. Damla sulama yöntemi ile her ağaç sırasına iki damla sulama borusu hattı çekimi biçiminde bile, yeterli ıslatma oranı elde edilemeyen çok geniş dikim aralıklarına sahip meyve ağaçlarında, sulama yöntemi seçeneği olarak, ağaç altı mikro yağmurlama sulama yöntemi kullanılabilir.

3.4.2.3 Damla sulama yöntemi

Damla sulama yönteminde temel ilke, sık aralıklarla ve her defasında az miktarda, sulama suyu uygulamasıdır. Sulamaya, toprak nemi kaybolmadan başlanır ve bitkiye, günlük ya da birkaç günlük su gereksinimi karşılayacak su verilir. Böylece, yetiştirilen bitkide topraktaki nem eksikliğinden veya aşırı nemden-sudan kaynaklanan bir gerilim (su stresi) yaratılmaz. Damla sulama yöntemi ile yalnızca, yeterli düzeyde bitki köklerinin gelişmesini sağlayacak ortama su verilir.

Bu yöntemde, kaynaktan alınan sulama suyu, bir kontrol biriminde, kum, sediment, yosun vb. yüzücü cisimlerden arındırılır. İstenildiğinde, bitki besin elementleri sulama suyuna karıştırılır, daha sonra su, son bir süzme (filtrasyon) işlemine tabi tutulur. Sistem debisi ve basıncı denetlenerek sulama suyu, basınçlı borularla bitki sıraları arasına yerleştirilen ve düşük basınç ve düşük debi ile çalışan, özel damla sulama borularına verilir. Su, bu borulardaki damlatıcılardan damlalar biçiminde toprak yüzeyine verilir ve toprak tarafından toprak bünyesine alınır. Toprak bünyesine alınan su, yerçekimi ve kapillar kuvvetlerin etkisi ile dağılır ve bitki kılcal köklerinin geliştiği toprak hacmini ıslatır. Genellikle, bitki sıraları boyunca eşit şekilde ıslatılmış ıslak bir şerit elde edilir, sıralar arasındaki yüzey, kuru kalır. İyi bir tasarım ve uygulama ile derine sızma ya da

yüzey akışı söz konusu olmaz. Böylece, mevcut su kaynağından en etkin şekilde faydalanılmış olunur (<http://www.agplastik.gov.tr>).



Şekil 3.5. Damla sulama yöntemi

BÖLÜM IV

MATERYAL VE YÖNTEM

Birçok araştırma konusu olan fotovoltaik su pompalama sistemlerinin temel hedefi, öncelikle sistem maliyetini düşürmek, sistem bileşenlerinin karşılıklı uyumu ve etkili kullanılmalarının geliştirilmesini sağlamaktır (Avicenne Programme Papers for distribution,1997).

Fotovoltaik sistemlerin optimal boyutlandırılması yapılırken, sistemin çıkış hidrolik enerjisi hesaplamaları en aza indirilmeye çalışılır. Fotovoltaik su pompalama sistemleri için gerekli olan hidrolik enerji, gerekli olan su miktarı verilerine dayalı olarak hesaplanır (Kenna and Gillet, 1985).

Hidrolik enerji ihtiyacı bütün aylar boyunca sabit bir değeri olmayıp, kritik ay dışında maksimum değere ulaşmaz. Kuyu içindeki su miktarı, aydan aya farklılık gösterir. Bu yüzden suyun statik seviyesi çok önemlidir.

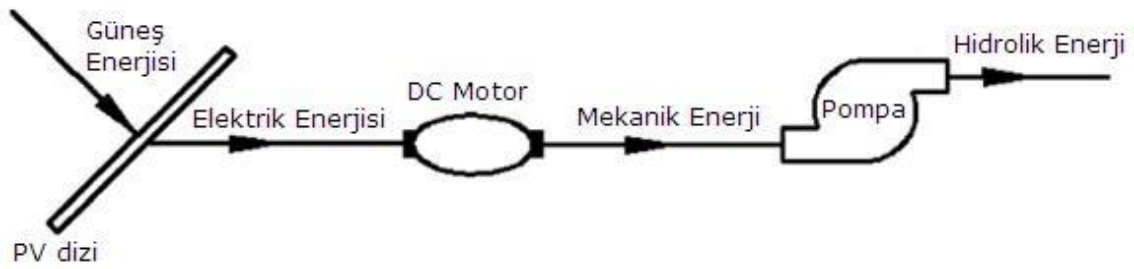
Güneş enerjili sulama sisteminde kullanılan başlıca bileşenler:

1. Fotovoltaik panel
2. Kontrol ünitesi
3. Doğru akımı alternatif akıma çeviren invertör
4. Aküler ve şarj regülâtörü.

Aküler, güneşli günlerde sistem çalıştırıldığında elde ettiği enerjiyi depolayarak, güneşin olmadığı bulutlu günlerde sistemin çalışmasına olanak sağlar.

Diğer yaklaşımların aksine bu çalışma, fotovoltaik uygulamalarda kullanılan bütün materyal ve bileşenleri sistematik bir bütünlük içerisinde ele alır (Bahaj and Mohammed, 1994). Bu bütünlük, sistem çalışırken tüm dönem boyunca doğal süreçler de dahil olmak üzere (iklim, hidroloji, sondaj kuyuları, pompalama sistemleri, sulama, tarım ve güç kaynağı), bütün bileşenleri kapsar.

Güneş enerjisiyle su pompalama yönteminde, güneş enerjisinden üretilen elektrik, hidrolik enerjiye dönüştürülür ve böylece pompayı çalıştırır. Güneş enerjisinin doğrudan dönüşümünde, fotovoltaik, termoelektrik ve termoiyonik işlemlerden yararlanarak doğrudan elektrik akımı üretilir. Üretilen elektrik, doğrudan DC motoru çalıştırabilir ya da bir invertörle AC akıma çevrilerek, pompanın çalıştırılmasında kullanılabilir. Doğrudan dönüşüm yöntemleri arasında güneş enerjili sulama ilkesi uygulamaları, bakım ihtiyacının az, kullanımının uzun olması nedeniyle en çok tercih edilen yöntemdir.

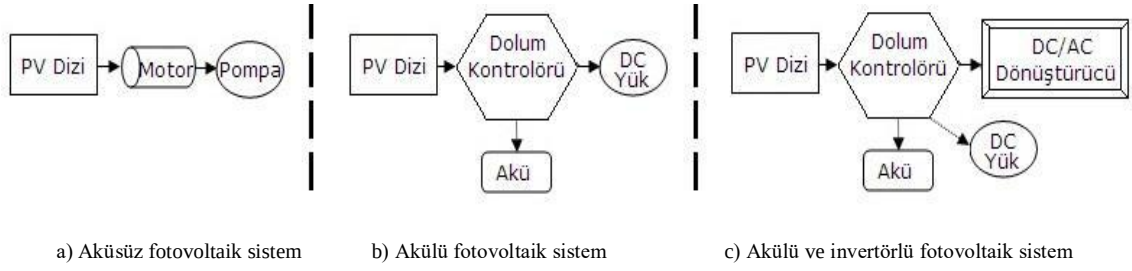


Şekil 4.1. Doğrudan bağlantılı PV su pompalama sisteminin başlıca bileşenleri (Yesilata ve Fıratoglu, 2008)

Güneş enerjisiyle su pompalama yönteminde 3 farklı metot kullanılmaktadır.

1. Akü kullanılan yöntem
2. Akü kullanılmayan yöntem
3. Akü ve dönüştürücü kullanılan yöntem

Fotovoltaik sistemlerde kullanım amacına uygun olarak aküler ve düzenleyiciler kullanılabilir. Aküler, özellikle güneş ışınımının az olduğu zamanlarda ve akşam güneş ışınımının hiç olmadığı durumlarda depolanan enerjiyi kullanmak için önemli bir bileşendir. Fakat akü kullanılmadan tasarlanan fotovoltaik sistemler hem daha ucuz olur hem de daha basit bir yapıya sahiptir. Ayrıca fotovoltaik sistemden üretilen doğru akımın, alternatif akıma dönüştürülmesi isteniyorsa sisteme bir invertörün de eklenmesi gerekmektedir.

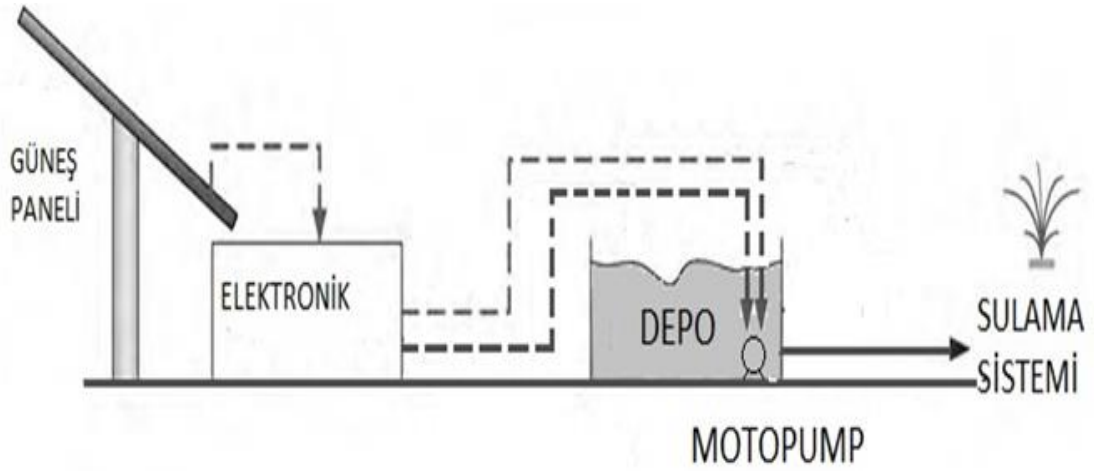


Şekil 4.2. Fotovoltaik sistemler için başlıca düzenlemeler

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, fotovoltaik sistemlerin tasarlanmasında üç farklı metot vardır. Akü kullanılmadan tasarlanan sistemlerde enerji, sadece güneş ışınımının olduğu zamanlarda üretilip, kullanılır. Akü kullanılan sistemlerde, güneş ışınımının olduğu zamanlarda enerji depolanır ve gerekli olduğu durumlarda bu enerji kullanılır. İnvertörlü fotovoltaik sistemlerde ise, üretilen doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi istenen durumlarda kullanılan sistemlerdir. Bu tür sistemlerde mutlaka kontrol ünitelerin bulunması gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada, bazı varsayımlar yapılmıştır. Bu varsayımlar;

Çalışmada, fotovoltaik dizilerden güneş enerjili su pompalama sistemi kurulmuştur. Sistemin kurulduğu yer, suyun doygun olduğu bölge kabul edilip, uzak mesafelere su taşınmamıştır. Yerin altındaki doygun suyun, uygun kalitede olduğu varsayılp, herhangi bir su muayenesi yapılmamıştır. Buna ek olarak, yağışların yeterli olduğu kabul edilmiştir. Belirli bir yer için, uygun bir ürün tipi seçilip, arazinin sağlıklı bitkiler üretmek için yeteri kadar humus ve gübreyle sahip olduğu kabul edilmiştir.

Şekil 4.3., basit bir PVP sulama sistemini göstermektedir. Sistem, fotovoltaik güneş dizisi, kontrol elektroniği, bir DC motor veya AC motorla çalışan pompa ve bir invertörden oluşur. Şekilde, sadece bir kuyu ve pompa gösterilmesine rağmen, daha büyük alanların sulanması için genellikle daha çok kuyu ve pompaya ihtiyaç vardır (Karrasik vd.,2008). Sulama hendekleri ve boru ağları gibi sulama bileşenleri, şekilde gösterilmemiştir. Geleneksel enerji sistemlerinin karşılaştırılması için gerekli olan bu bileşenler, analize dâhil edilmemiştir. Bu analiz için, su çekilen havuzun kapalı olduğu kabul edilmiş, böylece buharlaşma göz ardı edilmiştir.



Şekil 4.3. Fotovoltaik sulama sisteminin şematik gösterimi

4.1 Sulama Gereksinimleri

Bazı arazilerde sulama, sadece ürünün yetiştiği kuru dönemlerde gerekli olabilir. Başka arazilerde ise yıl boyunca sulama gerekebilir. Sulama türüne göre ihtiyaçlar, yerel güneş ışığı, yer altı suyu, yağmur, toprak koşulları ve ürün türüdür. Bitkinin su gereksinimi, bitkinin ihtiyacı olan miktardır. Toprak nemine dayalı belirlenmek istenirse, tarla kapasitesi nem değeri ile mevcut nem değeri arasındaki fark olarak tanımlanır. Diğer bir yöntemle dayalı olarak sulama suyu gereksinimi, bitkinin tükettiği su miktarından, varsa düşen yağışın etkili olan kısmının çıkartılması sonucunda, geriye kalan miktardır. Ülkemizde, sulamanın yoğun olduğu yaz aylarında, birçok bölgeye yağış düşmemekte veya sulama suyu miktarına kıyasla önemsenmeyecek miktardadır (Önder vd.,2005). Dolayısıyla, yağışsız dönemlerdeki sulama suyu gereksinimi, doğrudan doğruya bitkinin su tüketimine eşittir.

4.2 Toprak Nemi Ölçümleri

Toprak nemi, ilk sulama suyunun hesabında 30 cm derinliğinde, toprak nem ve sıcaklık ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Ölçülen nem ve solma noktasına göre toprak su içeriği tam kapasiteye getirilip, ondan sonraki sulamalar CLAS A PAN buharlaşma kabı ölçümlerine göre hesaplanmıştır.

4.3 Bitki Su Tüketimi ve Sulama Suyunun Saptanması

Bitki su tüketimi, 30 cm toprak derinliğindeki nem değişimleri dikkate alınarak;

$$ET=(Pe + I) + S \quad (4.1)$$

Su dengesi eşitliği (Kanber vd., 2003) ile beş günlük periyotlar için hesaplanmıştır.

Eşitlikte;

ET = Bitki su tüketimi (mm),

Pe = Etkili yağış (mm),

I = Uygulanan sulama suyu miktarı (mm),

S = Profilde tutulan nem miktarındaki değişme (mm) değerlerini göstermektedir.

Araştırmada, bitki büyüme mevsimi boyunca düşen yağışın tamamı etkili yağış olarak alınmıştır. Sulama suyu hesabında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Önder vd., 2006).

$$I = K \cdot E_o \cdot A \cdot C \quad (4.2)$$

I = Sulama suyu miktarı (lt),

K = Sulama suyu katsayısı (1.00),

E_o = Toplam Class A-pan buharlaşma değeri (mm)

A = Parsel Alanı (m²)

C = Örtü Yüzdesi (%) dir.

4.4 Güneş Enerjisi Şiddetinin Belirlenmesi

Güneş yoğunluğu, bir gün boyunca yeryüzüne gelen güneş ışınımının toplamıdır ve kWh/m²/gün olarak ölçülür. Açık bir güne göre, kapalı bir günde güneş ışığı daha dağınıktır, bu yüzden yüzeye gelen ışık miktarı azdır. Bitkiler, ilkbahar ve yazın yetişip büyürler, bu yüzden bu zamanlarda aylık ortalama güneşlenme süresi büyük önem taşır. Büyüme dönemindeki güneşlenme, güneş enerjili sulamada hazırlanan fizibilite çalışmaları için önemli bir faktördür.

Çizelge 4.1. Niğde’de günlük güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu değerleri (Niğde Meteoroloji Müdürlüğü)

Tarih	Güneşlenme Süresi (saat)	Global Güneş Rad. (kW/m ²)
23.06.2013	9.5	533
24.06.2013	9.5	524
25.06.2013	9.4	436
26.06.2013	7.8	442
27.06.2013	8.5	536
28.06.2013	7.8	539
29.06.2013	9.5	502
30.06.2013	8.6	483
01.07.2013	9.3	475
02.07.2013	5.9	373
03.07.2013	9.6	472
04.07.2013	9.6	476
05.07.2013	9.6	478
06.07.2013	9.6	470
07.07.2013	8.9	458
08.07.2013	9.8	466
09.07.2013	10.0	476
10.07.2013	10.0	476
11.07.2013	10.0	469
12.07.2013	9.7	432
13.07.2013	9.5	423
14.07.2013	9.7	425
15.07.2013	9.1	452
16.07.2013	9.0	406
17.07.2013	9.2	448
18.07.2013	7.6	361
19.07.2013	3.6	330
20.07.2013	10.9	469
21.07.2013	10.9	471
22.07.2013	10.4	458
23.07.2013	11.0	466
24.07.2013	11.1	473
25.07.2013	11.2	466
26.07.2013	11.4	466
27.07.2013	10.4	452
28.07.2013	10.3	432
29.07.2013	12.0	460
30.07.2013	12.5	457
31.07.2013	12.4	445

Çizelge 4.1. (Devam) Niğde’de günlük güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu değerleri (Niğde Meteoroloji Müdürlüğü)

01.08.2013	12.4	374
02.08.2013	8.6	426
03.08.2013	11.2	443
04.08.2013	11.2	446
05.08.2013	12.5	454
06.08.2013	12.0	451
07.08.2013	12.5	439
08.08.2013	12.5	438
09.08.2013	12.4	437
10.08.2013	12.4	438
11.08.2013	12.4	437
12.08.2013	12.4	416
13.08.2013	11.4	412
14.08.2013	12.2	430
15.08.2013	12.4	429
16.08.2013	11.9	429
17.08.2013	10.0	414
18.08.2013	10.7	423
19.08.2013	10.5	425
20.08.2013	10.5	412
21.08.2013	12.2	412
22.08.2013	12.3	408
23.08.2013	12.2	391
24.08.2013	10.8	340
25.08.2013	8.4	396
26.08.2013	11.9	405
27.08.2013	12.2	391
28.08.2013	12.2	395
29.08.2013	12.2	390
30.08.2013	12.0	369
31.08.2013	10.3	360
01.09.2013	10.5	295
02.09.2013	7.6	378
03.09.2013	11.7	367
04.09.2013	10.9	330
05.09.2013	8.1	397
06.09.2013	11.8	382
07.09.2013	11.0	381
08.09.2013	16.3	374

Çizelge 4.1. (Devam) Niğde’de günlük güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu değerleri (Niğde Meteoroloji Müdürlüğü)

09.09.2013	11.7	315
10.09.2013	8.9	379
11.09.2013	11.0	359
12.09.2013	11.0	356
13.09.2013	11.5	351
14.09.2013	11.4	348
15.09.2013	11.2	355
16.09.2013	11.4	358
17.09.2013	11.1	270
18.09.2013	6.4	327
19.09.2013	9.1	322
20.09.2013	9.4	334
21.09.2013	5.6	202
22.09.2013	3.9	227
23.09.2013	7.4	359
24.09.2013	10.7	360
25.09.2013	10.7	352
26.09.2013	10.9	352
27.09.2013	10.8	343
28.09.2013	10.7	326
29.09.2013	9.9	313
30.09.2013	9.5	329
01.10.2013	9.8	319
02.10.2013	9.8	215
03.10.2013	3.4	903
04.10.2013	0.4	125
05.10.2013	3.6	223
06.10.2013	3.2	237
07.10.2013	4.3	331
08.10.2013	9.9	337
09.10.2013	10.2	333
10.10.2013	10.2	325
11.10.2013	10.2	314
12.10.2013	10.1	294
13.10.2013	9.9	306
14.10.2013	9.9	301
15.10.2013	9.4	297
16.10.2013	9.8	299
17.10.2013	9.8	259

Çizelge 4.1. (Devam) Niğde’de günlük güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu değerleri (Niğde Meteoroloji Müdürlüğü)

18.10.2013	7.6	113
19.10.2013	2.1	129
20.10.2013	1.6	278
21.10.2013	8.9	282
22.10.2013	9.5	280
23.10.2013	9.7	274
24.10.2013	9.6	274
25.10.2013	9.4	255
26.10.2013	9.6	262
27.10.2013	9.7	276
28.10.2013	9.6	272
29.10.2013	9.6	258
30.10.2013	9.1	254
31.10.2013	9.4	245
01.11.2013	9.3	242
02.11.2013	9.5	240
03.11.2013	9.5	244
04.11.2013	9.4	243
05.11.2013	9.0	260
06.11.2013	1.3	263
07.11.2013	1.2	257
08.11.2013	0.5	129
09.11.2013	0.0	126
10.11.2013	2.4	219

4.5 Teknik Fizibilite

Bir PVP sulama sisteminde, güneş dizisi monte etmek için yeterli arazi varsa, teknik olarak uygulanabilir olduğu kabul edilir. Burada güneş panelleri için gereken arazi, yaklaşık olarak güneş panellerinin alanı ile aynı olduğu varsayılır (Cuadros vd.,2004).

Gerekli güneş paneli dizisi alanı,

$$A_s = \frac{P_p}{I_p \eta_{sa}} \quad (4.3)$$

P_p , su pompalamak için gereken güç (W), I_p güneşin yoğun olduğu saatlerde güneş radyasyon olayının ortalama miktarı (W/m²), η_{sa} güneş dizisi ve elektronik verimliliğidir.

Su pompalamak için gereken güç,

$$P_p = \frac{\rho g h Q}{\eta_p} \quad (4.4)$$

Q, maksimum hacimsel debi (m³/s), ρ suyun yoğunluğu, g yerçekimi sabiti, h toplam dinamik yükseklik (m) η_p pompa/motor verimliliğidir.

Toplam dinamik yükseklik, suyun çekilmesi gereken yükseklikten ve boru sürtünme kayıplarından dolayı, metre olarak enerji kayıplarından oluşur. 10 metreden daha yüksek kuyularda pompalama için toplam dinamik yükseklik h, yaklaşık olarak doygun bölgenin derinliğidir. Yüzey pompalama için, dinamik yükseklik boru sürtünme kayıplarından hesaplanır.

Gerekli olan maksimum akış hızı,

$$Q = \frac{ET \times A_f}{3600t} \quad (4.5)$$

ET m/gün olarak, ürün için en yüksek su tüketim oranı, A_f tarla alanı (m²), t saatlik pompalama sayısıdır. Çalışmada, havuzdan pompayla yağmurlama sulama sistemine verilen su miktarı, pompa çıkışında debimetre ile ölçülmüştür.

4.6 Ekonomik Fizibilite

PVP sistemler, tüm yaşam döngüsü boyunca, dizel ve şebekeden destekli elektrikli sistemlere nazaran daha düşük maliyetli ise, ekonomik olarak uygulanabilir olduğu kabul edilir.

Sistemin yaşam döngüsü maliyeti; sermaye maliyeti, bakım maliyeti, işletme maliyeti, yakıt maliyeti ve ekipman hurda değerini kapsar. Buradaki yaklaşım, karşılaştırmalı indirgenmiş nakit akım metodunun kullanılmasıdır (White.,2010).

Çalışmada sadece alternatif güç sistemleri arasındaki farklılıklar karşılaştırılıp, güneş enerjili ve şebekeden destekli elektrikli sulama sistemlerinin maliyetleri kıyaslanmıştır. Fakat bütün sulama sistemlerinin bileşenleri buna dâhil değildir. Patates Araştırma Enstitüsü'nde hâlihazırda bulunan kuyudan, şebeke destekli dalgıç pompayla, havuza su çekilmektedir. Bu çalışmada, havuzda biriken su, yüzey tipi pompalarla araziye pompalanmaktadır. Bu yüzden dalgıç pompanın fiyatı ve kullanılan yüzey tipi bahçe

pompalar fiyata eklenmemiştir. Benzer şekilde, su deposu, su dağıtım sistemi ve kuyu kazma maliyetleri de dâhil değildir. Bunlar, güç kaynağından bağımsız olarak düşünülmüştür.

Çalışmada, proje bütçesine bağlı olarak, yaklaşık 17280 m²'lik bir alanın sulama ihtiyacına göre ve yüzey su kaynağından su elde edilerek yağmurlama sulama sistemi kullanılması koşullarına bağlı olarak, bir fotovoltaiik sistem planlaması ve uygulaması yapılmıştır. Ancak, deneme sonucunda ölçüm verilerine göre, işletme büyüklüğü ve su kaynağı göz önüne alınarak, işletmenin tüm sulama suyu enerjisini karşılayacak bir sistemin planlaması da yapılmıştır.

Çalışmada, İç Anadolu Bölgesi'ni temsilen, Niğde ili ve en yüksek su tüketimine sahip bitkilerden, patates bitkisi referans alınmıştır. Böylece, en yüksek enerji ihtiyacına göre sistem tasarımı yapılmıştır.

Çizelge 4.2. Niğde ili YAS kooperatif sulama sahalarında fiili sulama suyu kullanımı (2011)

Ürün Adı	Fiili uygulanan sulama suyu miktarı (mm)	Ekilen Alan (da)	Fiili uygulanan sulama suyu miktarı (m ³ /yıl)	Ekiliş Oranı(%)
Buğday, arpa ve diğer serin iklim tahılları	500	49.172	24.586.000	24.3
Mısır (Dane)	850	157	133.086	0.1
Seker pancarı	1.200	5.911	7.093.774	2.9
Fasulye (Kuru)	1.000	11.491	11.491.429	5.7
Fiğ (Dane)	200	721	144.200	0.4
Nohut	300	7.412	2.223.500	3.7
Ayçiçeği (Çerezlik) (Yağlık)	500	70	35.167	0.0
Fiğ (Yeşil Ot)	200	4.247	849.400	2.1
Korunga (Yeşil Ot)	750	268	201.000	0.1
Mısır (Silajlık)	850	5.689	4.835.286	2.8
Yonca (Yeşil Ot)	1.200	8.997	10.796.571	4.4
Hayvan Pancarı	1.200	10	11.955	0.0
Patates (Diğer)	1.200	73.249	87.898.286	36.2
Sarımsak (Kuru)	800	199	159.396	0.1
Soğan (Kuru)	800	901	721.077	0.4
Sebzeler	1.000	4.000	3.999.714	2.0
Meyveler	1.000	29.806	29.805.857	14.7
TOPLAM		202.300	184.985.697	100

4.7 Sistem Bileşenleri

1. Fotovoltaik Güneş Panelleri
2. Şebekeden Bağımsız İnvertör
3. MPPT Solar Şarj Regülâtörü
4. Gel Akü
5. AC Su Pompası
6. Debimetre
7. Tamamlayıcı Bileşenler

4.7.1 Fotovoltaik güneş panelleri

Gookir Global Ltd. Şti tarafından kurulumu yapılan fotovoltaik sistem, güneş enerjisinden, fotovoltaik ilkeye bağlı olarak doğrudan elektrik üreten, ürettiği elektriği tarımsal sulama yapmak amacıyla, doğrudan pompaları çalıştıran sistemdir. PV sistem,

Fotoğraf 4.1.'de görüldüğü gibi, her bir modüldeki hücre sayısı 60 adet olup, kurulan 2 sistemde toplam 1920 adet PV hücreden oluşmaktadır.



Fotoğraf 4.1. Fotovoltaik paneller

Seri ve paralel olarak bağlanan PV hücreler tarafından üretilen elektrik, kablolar aracılığıyla bir noktada toplanır. Toplanan elektrik, iki adet kablo ile sistem üzerinde bulunan regülâtöre iletilerek, akımdaki dalgalanmalar giderilir. Regülâtörden geçen DC elektrik akımı invertöre (dönüştürücü) iletilerek, AC akım şekline dönüştürülür ve 48 V olan elektrik akımı 380 V akıma yükseltilir. İnvertörden alınan elektrik akımı, doğrudan pompalara aktarılır.

Çizelge 4.3. Panel karakteristik özellikleri

Elektriksel Karakteristikler	WP – 230
Güç (PM) Watt (nominal)	230
Açık devre voltajı(V_{oc}) Volt	36
Kısa devre akımı (I_{sc}) amper	8.52
Maksimum güçteki voltaj (V_{mp})	29
Maksimum güçteki akım (I_{mp})	7.93
V	1000/600V
Toplam güç	7.36 kW
Her Bir modüldeki hücre sayısı	60
mm	1660 x 990 x 42
kg	20.50
mm	1000
mm	942
m ²	1.163
	IP 65 / 4T with 3 diodes

4.7.2 Şebekeden bağımsız invertör

Şebekeden bağımsız invertörler, fotovoltaik panellerden aldığı doğru akımı, tüketicinin kullanacağı alternatif akıma çeviren cihazlardır. Şebekeden bağımsız invertörler; 12, 24 veya 48 DC akü voltajını, 230 V AC 50 Hz voltaja çevirirler.

Gesper 4 K şebekeden bağımsız invertör özellikleri:

1. Tam sinüs invertör
2. Seçilebilir çıkış voltaj aralığı
3. Uygulamaya göre seçilebilir akü şarj amperi
4. LCD ekrandan ayarlanabilen AC/Solar besleme ve şarj önceliği
5. Şebeke veya jeneratör voltajı ile uyumlu çalışma
6. Gesper KS 4KVA/5KVA modellerinde 4 üniteye kadar paralel çalışabilme özelliği
7. AC şebeke voltajı geldiğinde otomatik tekrar çalışma özelliği
8. Aşırı yük ve kısa devre koruması
9. Akü performansını arttırmak için akıllı şarj özelliği

Çizelge 4.4. Gesper KS 4K teknik özellikleri

MODEL	Gesper 1K	KS	Gesper KS 2K	Gesper KS 3K	Gesper KS 4K	Gesper KS 5K
Güç	1000VA / 800W	/	2000VA/1600W	3000VA / 2400W	4000VA / 3200W	5000VA / 4000W
GİRİŞ						
Voltaj	230 VAC					
Seçilebilir Voltaj Aralığı	170-280 VAC (Kişisel bilgisayarlar için) 90-280 VAC (Evde kullanılan elektrikli cihazlar için)					
Frekans	50 Hz/60 Hz (Otomatik ayarlanır)					
ÇIKIŞ						
AC Voltaj Regülasyon (Akü modunda)	230VAC ± 5 %					
Aşırı Gerilim	2000VA		4000VA	6000VA	8000VA	10000VA
Elektriksel Verim (Pik)	90%		93%			
Transfer Süresi	10 ms (Kişisel bilgisayarlar için) 20 ms (Evde kullanılan elektrikli cihazlar için)					
Dalga formu	Tam Sinüs Dalgası					
AKÜ						
Akü Voltajı	12 VDC		24 VDC		48 VDC	
Yüzer Şarj Voltajı	13.5 VDC		27 VDC		54 VDC	
Aşırı Şarj Koruma	15 VDC		30 VDC		60 VDC	
Maksimum Şarj Akımı	10 A veya 20 A		20 A veya 30 A		20 A veya 30 A	
SOLAR ŞARJ KONTROL						
Şarj Akımı	50A					
Maksimum PV Açık Devre Voltajı	30 VDC		60 VDC		90 VDC	
Bekleme Modunda Güç Tüketimi	1 W		2 W		2W	
FİZİKSEL ÖZELLİKLER						
Boyutlar, Boy x En x Yükseklik (mm)	95 x 240 x 316		100 x 272 x 355		120 x 295 x 468	
Net Ağırlık (kg)	5.0		6.4	6.9	9.8	9.8
ÇALIŞMA KOŞULLARI						
Çalışma Ortam Nemi	5% ile 95% Arası Nisbi Nem (Yoğuşmasız)					
Çalışma Ortam Sıcaklığı	0°C - 55°C					
Depolama Sıcaklığı	-15°C - 60°C					

4.7.3 MPPT solar şarj regülâtörü

Gün içerisinde güneş ışınlarının yeryüzüne gelme açısı değiştiği için, fotovoltaik hücrelerin absorbe ettiği ışın miktarı değişir. Bu yüzden, elde edilen enerji, her zaman aralığında farklıdır. MPPT solar şarj regülâtörü, fotovoltaik hücreye gelen enerjiyi düzenli hale getirerek, farklı zamanlarda elde edilen farklı güç değerlerinin en büyük olduğu anları tespit ederek bir dizi işlem yapar.

Teknik Özellikleri:

1. MPPT Akü Şarj Kontrol Cihazı 3 kW
2. Model: GE-MPPT-3kW
3. Marka: Gookir Global
4. Akü Voltajı: 12 – 24 – 48 V DC seçilebilir
5. Akıllı Maksimum Güç Noktası İzleme teknolojisi ile verimliliği% 25 ~% 30 artırır
6. 12V, 24V veya 48V PV sistemleri için uyumlu
7. Üç aşamalı şarj batarya performansını optimize eder
8. 60A Maksimum şarj akımı
9. 98 maksimum verimlilik sağlar
10. Akü sıcaklık sensörü (BTS) ile otomatik olarak sıcaklık kontrolü sağlar
11. Islak, AGM ve jel aküleri dâhil kurşun-asit bataryalar geniş destek verir
12. Çok fonksiyonlu LCD ekran ile ayrıntılı bilgiler sağlar.



Fotoğraf 4.2. İnvertör ve şarj regülâtörünün görünüşü

4.7.4 65 AH gel akü

PV panellerden elde edilen enerjiyi depolayarak, sistemin güneş ışınımının olmadığı durumlarda çalışmasını sağlar. Çalışmada kullanılan akü, sistem ilk çalışmaya başladığı zaman, daha rahat çalışabilmesi ve pompalara fazla yük binmeden ilk akımı rahat çekebilmesi için kullanılmıştır.

Teknik Özellikleri:

1. Uzun ömürlü solar enerjisi sistemine uygun bakım gerektirmeyen
2. Tamamen Gel teknolojisi
3. Derin deşarja girmeyecek yapı
4. Güvenilir sabit çıkış akımı
5. %100 bakım gerektirmeyecektir. Kullanım dışındaki zamanda deşarj olmaz



Fotoğraf 4.3. Gel akü

4.7.5 AC su pompası

Sisteme bağlanan 4 adet pompa, panellerden gelen enerjiyle, suyu havuzdan çekerek borulara iletir ve böylece, arazinin sulanması sağlanır.

Teknik Özellikleri:

1. Motor gücü (kW): 1,5
2. Gerilim / frekans (V/Hz): 230/50
3. Maksimum su akışı (m³/h): 7,0
4. Maksimum basınç (bar): 6,0
5. Emiş derinliği (m): 9,0
6. Max. basma yüksekliği (m): 60
7. Ağırlık (kg): 15,0



Fotoğraf 4.4. AC su pompası

4.7.6 Debimetre

Arazide yapılan sulamanın, anlık ve toplam debisini gösterir.

Teknik Özellikleri:

1. Anlık ve toplam debiyi LCD ekranda görebilme
2. Yüksek hassasiyet
3. Ters Akış ve boş boru ikazı
4. Harici Sd Kart sayesinde sulama takvimi boyunca yapılan tüm su tüketimini kaydedilme



Fotoğraf 4.5. Debimetre

BÖLÜM V

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Uygulama

Çalışma; Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Niğde Patates Araştırma Enstitüsü'nün Niğde merkezdeki uygulama alanında yürütülmüştür. Araştırma Enstitüsü'nce, üretim amaçlı patates ekimi yapılan arazinin 2014 sezonu için, yaklaşık 17280 m²' lik kısmı, çalışma için tahsis edilmiştir. Tüm ekim ve yetiştiricilik faaliyetleri, Araştırma Enstitüsü'nce yürütülmüş olup, sadece sulama programı ve uygulaması, çalışma ekibince yürütülmüştür. Çalışmanın amacına bağlı olarak, patates üretiminde sulama suyu için gerekli olan enerji, fotovoltak sistemle karşılanmıştır.



Fotoğraf 5.1. Patates Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nün üstten görünüşü

Çizelge 5.1. Sahaya ait genel ve teknik veriler

Sahaya Ait Genel Veriler		
Sahanın Adı		Patates Araştırma Enstitüsü
Saha Yeri	İl	Niğde
	İlçe	Merkez
	Mevkii	-
Fidere Uzaklık		≈ 100 m
Şehir Merkezine Uzaklık		1 km
Sahaya Ait Teknik Veriler		
Koordinatlar	Enlem	37.58' 28.79'' ° Derece Kuzey
	Boylam	34.41'.30.77'' ° Derece Doğu
Rakım		1226 metre
Bölgesel Saat Farkı		+2 Saat
Barometrik Basınç		- mb
Ozon Kalınlığı		0,314 cm
Su Buharı Kalınlığı		2,39 cm
Zemin Albedo Değeri		0,2
Aerosol Optik Derinlik (500nm)		0,34 nm
Aerosol Optik Derinlik (380nm)		0,34 nm
Atmosferik Türbidite		1,89

5.1.1 Sulama suyu hesabı

Ekimi yapılan patates için, bir dönem boyunca 5 günde 1 defa olmak üzere, 16 sulama yapılmıştır. Sulama 23.06.2014 tarihinde başlayıp, 21.09.2014 tarihinde bitmiştir. Toprağın nem miktarını ölçebilmek amacıyla, araziye 30cm (kPa) ve 60cm (kPa) tansiyometreler yerleştirilmiştir.



Fotoğraf 5.2. 30 cm ve 60 cm tansiyometreler

Yağış miktarının ölçülmesi için, fotovoltaik sistemin yanına; plüviyometre ve arazinin her sulama esnasında gerekli olan su hacminin ölçülmesi için ise, Class A Pan yerleştirilmiştir.



Fotoğraf 5.3. Plüviyometre ve class a pan

Tansiyometrelerin ölçümü ve Class A Pan ile her sulama için ölçülen su hacimleri, çizelge 5.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Tansiyometre ve class a pan ile sulama ihtiyacı belirlenmesi

	Tarih	Tansiyometre Sulama Öncesi		Yağış	Class A Pan (lt)	Sulama (m ³)*3,456
		30cm (kPa)	60cm (kPa)			
1	23.06.2014	-			30	104
2	01.07.2014	15	30		62	214
3	07.07.2014	16	18		58	200
4	12.07.2014	14	16		42	145
5	17.07.2014	18	18		46	159
6	22.07.2014	14	16		34	118
7	27.07.2014	12	14		38	131
8	01.08.2014	14	16		50	173
9	06.08.2014	-	-	Yağış(51,0 mm)	0	0
10	11.08.2014	19	14		26	90
11	16.08.2014	15	16		38	131
12	21.08.2014	18	18	Yağış(12,0 mm)	35	121
13	26.08.2014	17	17		37	128
14	01.09.2014	17	17		41	142
15	06.09.2014	16	10		36	124
16	11.09.2014	15	12		26	90
17	16.09.2014	15	11		22	76
18	21.09.2014	-	-	Yağış(45,0mm)	0	0
HASAT	10.11.2014					
	TOPLAM				621	2146

Yapılan çalışmada sulanan arazi alanı, 17280 m² dir. Sulama aralığı, 5 günde 1 olarak programlanmıştır. Arazide 3 lateral hat mevcut olup, her bir hatta 8 yağmurlama başlığı bulunmaktadır.

Patatesin 1000 m² alan için sulama gereksinimi, 900 mm olarak alınmış olup, bu da 1 dönüm için 900 m³ su demektir. Patates ekimi, Patates Araştırma Enstitüsü tarafından yapılmış olup, bir dönem için toplam 16 sulama yapılması hedeflenmiştir.

Her sulama için su ihtiyacı = $900 \div 16 = 56,25$ m³ (1 dönüm için)

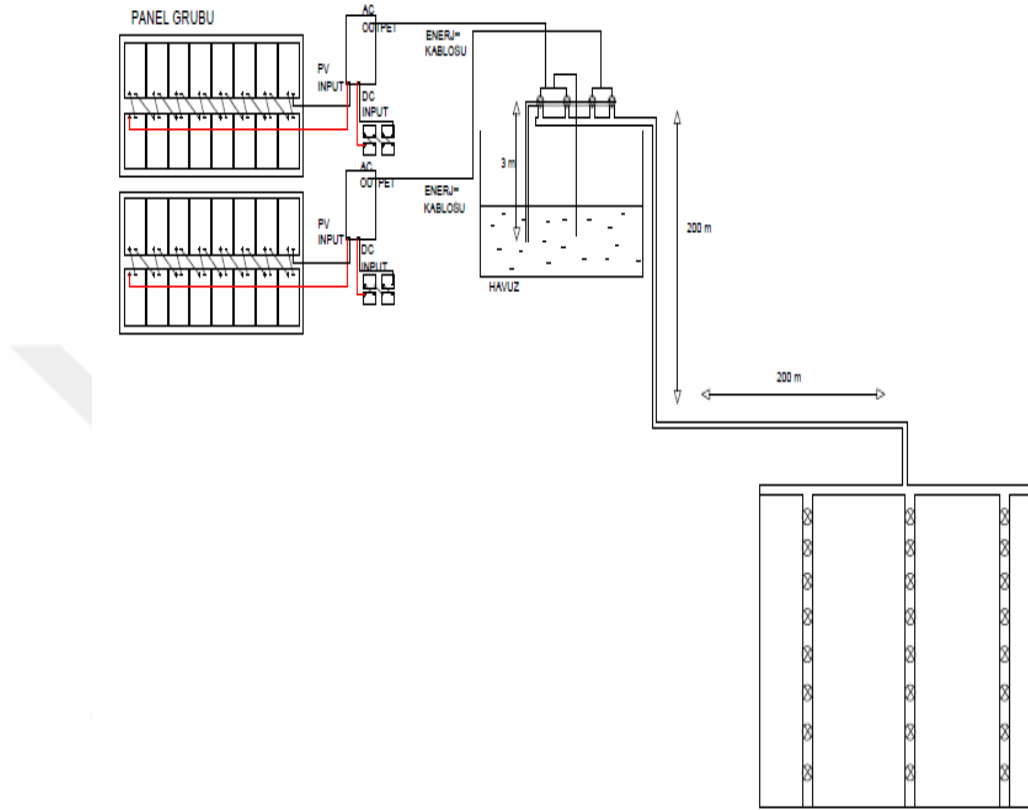
Toplam alan için su ihtiyacı = $56,25 \times 17,280 = 972$ m³ olarak bulunur.

Her bir sulama için su ihtiyacı = $972 \div 5 = 194,4$ m³ (5 günde 1 sulama yapılacak)

1 saatlik su ihtiyacı = $Q = 194,4 \div 8 = 24,3$ m³/h (Her bir sulama 8 saatte yapılacak)

5.1.2 Pompa hesabı

Kurulan fotovoltaik sistem, elektronik sistemler, pompalar, havuz, pompaların emiş yüksekliği, sulama yapılan arazi ve havuzun araziye olan uzaklıkları şekil 5.1.'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Çalışmanın şematik gösterimi

Pompanın gücünü hesaplamak için, sistemdeki toplam manometrik yüksekliği hesaplamak gerekir.

$$H_m = H_g + h_{ke} + h_{kb} \quad (5.1)$$

H_g : Geometrik yükseklik

h_{ke} : Emme hattındaki basınç kayıpları

h_{kb} : Basma hattındaki basınç kayıpları

Sistemde kullanılan bütün malzemelerin (emiş klapesi, standart dirsek, çekvalf, sürgülü vana, standart T) direnç kaybına tekabül eden eşdeğer düz boru boyları, çizelge 5.3.'e göre hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3. Vana ve armatürlerin aynı direnç kaybına tekabül eden eşdeğer düz boru boyları(<http://www.ekipmuhendislik.com.tr/teknik-bilgiler>)

Adı	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	8"
Sürgülü Vana	0,2	0,25	0,3	0,35	0,45	0,5	0,75	0,9	1,2	1,5
Buhar Vanası	8	11	14	17	19	25	32	40	50	65
Çek valf	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16
Emiş Klapesi	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16
Deve Boynu	0,6	0,8	0,8	1,1	1,3	1,6	2,1	2,8	3,5	4,5
Standart T	2	2,5	3	4	4,5	5,5	7	9,5	12	16
Standart Dirsek	0,8	1	1,4	1,6	2	2,5	3,5	4,5	5	6,5

Sistemin geometrik yüksekliği aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$H_g = h_{sb} + h_{se} = 0 + 3 = 3 \text{ mSS}$$

H_g : Sistemin geometrik yüksekliği

h_{sb} : Statik basma yüksekliği

h_{se} : Statik emme yüksekliği

Emme hattındaki basınç kayıplarının hesabı ise aşağıdaki gibidir.

$$3^{1/2} \text{'' Emiş tarafı toplam boru boyu} = 3 \text{ m}$$

$$3^{1/2} \text{'' Emiş klapesi eşdeğer düz boru boyu } 1 \text{ adet} \times 7 \text{ m} = 7 \text{ m}$$

$$3^{1/2} \text{'' Standart dirsek eşdeğer düz boru boyu } 1 \text{ adet} \times 3 \text{ m} = 3 \text{ m olup, toplam } 13 \text{ m'dir.}$$

$$h_{ke} = 13 \times \frac{1,530}{100} = 0,20 \text{ mSS}$$

h_{ke} hesaplanırken, çizelge 5,4.' te, $3^{1/2}$ '' borunun sürtünme kaybı değeri alınmıştır.

Basma hattındaki basınç kayıplarının hesabı yapılırken pompalardan araziye kadar olan borular ile arazideki sulama borularının hesabı ayrı ayrı yapılır. Pompalardan araziye kadar olan boruların basınç kayıp hesabı aşağıdaki gibidir.

$$3^{1/2} \text{'' Basınç tarafı toplam boru boyu} = 400 \text{ m}$$

$$3^{1/2} \text{'' Çek valf eşdeğer düz boru boy ve eşdeğeri } 1 \times 7 \text{ m} = 7 \text{ m}$$

3^{1/2}" Standart dirsek eşdeğer düz boru boyu eşdeğeri 3×3= 9 m

3^{1/2}" Sürgülü vana eşdeğer düz boru boyu eşdeğeri 3×0,6= 1,8 m

3^{1/2}" Standart T eşdeğer düz boru boyu eşdeğeri 3×6= 18 m olup, toplam 435,8m'dir.

$$h_{kb} = 435,8 \times \frac{1,530}{100} = 6,67 \text{ mSS}$$

h_{kb} hesaplanırken, çizelge 5.4.'te, 3^{1/2}" borunun sürtünme kaybı değeri alınmıştır.

Arazideki sulama borularının basınç kayıp hesabı ise aşağıdaki gibidir.

2^{1/2}" Lateral Boru boyu= 270 m

2^{1/2}" Standart dirsek eşdeğer düz boru boyu 24×2= 48 m olup, toplam 318 m'dir.

$$h_{kb} = 318 \times \frac{6,828}{100} = 21,7 \text{ mSS}$$

h_{kb} hesaplanırken, çizelge 5.4.' te, 2^{1/2}" borunun sürtünme kaybı değeri alınmıştır.

Toplam $h_{kb} = 6,67 + 21,7 = 28,37 \text{ mSS}$

Sistemin tüm basınç kayıp toplamı = TDP=3+0,2+28,37=31,57 mSS

Sistemin basma yüksekliği, sistemin tüm basınç kayıplarının toplamı ve akma basıncının eklenmesiyle aşağıdaki gibidir.

$$H = h + \text{TDP} + P_A \quad (5.2)$$

H: Sistemin basma yüksekliği

h: Basılacak sıvının serbest sıvı yüzeyi ile basıldığı yer arasındaki statik yükseklik farkı

TDP: Tüm basınç kayıplarının toplamı

P_A : Akma basıncı (31 mSS alınır)

$$H = 0 + 31,57 + 31$$

H= 62,57 mSS olur.

Sistemin basma yüksekliğinin ve sistem için gerekli olan debi miktarının belirlenmesiyle beraber, sistemde kullanılacak pompanın güç hesabı aşağıdaki gibidir.

$$P = \frac{Q.H}{367.\eta} \quad (5.3)$$

$$P = \frac{24,3 \times 62,57}{367 \times 0,7} = 5,92 \text{ kW pompanın gücü.}$$

Buna göre her biri 1,5 kW gücü olan ve birbirine paralel bağlanan 4 adet toplam 6 kW gücü olan Elektro Maschinen Wpem 7000R Bahçe Pompası seçilmiştir.



Çizelge 5.4. Borularda sürtünme kayıpları tablosu
(<http://www.ekipmuhendislik.com.tr/teknik-bilgiler/borularda-surtunme-kayıplari.htm>)

Su Miktarı			Normal Borularda Su Sütunu Kayıplar (Her 100 metrede)						
			İnç cinsinden nominal boru çapı						
m ³ /h	Litre/dak.	Litre/sn	2 ^{1/2"}	3"	3 ^{1/2"}	4"	5"	6"	
			68,00	80,25	92,50	105,0	130,0	155,5	
3,0	50	0,83	0,229 0,159						
3,6	60	1,00	0,275 0,218						
4,2	70	1,12	0,321 0,287	0,231 0,131					
4,8	80	1,33	0,367 0,363	0,263 0,164					
5,4	90	1,50	0,413 0,449	0,269 0,203					
6,0	100	1,67	0,459 0,542	0,329 0,244	0,248 0,124				
7,5	125	2,08	0,574 0,809	0,412 0,365	0,310 0,185	0,241 0,101			
9,0	150	2,50	0,668 1,124	0,494 0,506	0,372 0,256	0,289 0,140			
10,5	175	2,92	0,803 1,488	0,576 0,670	0,434 0,338	0,337 0,184			
12	200	3,33	0,918 1,901	0,659 0,855	0,496 0,431	0,385 0,234	0,251 0,084		
15	250	4,17	1,147 2,860	0,823 1,282	0,620 0,646	0,481 0,350	0,314 0,126		
18	300	5,00	1,377 4,009	0,988 1,792	0,744 0,903	0,577 0,488	0,377 0,175	0,263 0,074	
24	400	6,67	1,836 6,828	1,317 3,053	0,992 1,530	0,770 0,829	0,502 0,294	0,351 0,124	
24	500	8,33	2,295 10,40	1,647 4,622	1,240 2,315	0,962 1,254	0,628 0,445	0,439 0,187	
30	600	10,0	2,753 14,62	1,976 6,505	1,488 3,261	1,155 1,757	0,753 0,623	0,526 0,260	
36	700	11,7	3,212 19,52	2,306 8,693	1,736 4,356	1,347 2,345	0,879 0,831	0,614 0,347	
42	800	13,3	3,671 25,20	2,635 11,18	1,984 5,582	1,540 3,009	1,005 1,066	0,702 0,445	
48	900	15,0	4,130 31,51	2,964 13,97	2,232 6,983	1,732 3,762	1,130 1,328	0,790 0,555	
54	1000	16,7	4,589 38,43	3,294 17,06	2,480 8,521	1,925 4,595	1,256 1,616	0,877 0,674	
60	1250	20,8		4,117 26,10	3,100 13,00	2,406 7,010	1,570 2,458	1,097 1,027	
75	1500	25,0		4,941 36,97	3,720 18,42	2,887 9,892	1,883 3,468	1,316 1,144	
90	1750	29,2			4,340 24,76	3,368 13,30	2,197 4,665	1,535 1,934	
105	2000	33,3			4,960 31,94	3,850 17,16	2,511 5,995	1,754 2,496	
120	2500	41,7				4,812 26,26	3,139 9,216	2,193 3,807	

5.2 Sistemin Kurulumu

Fotovoltaik sistem, Patates Araştırma Enstitüsü'nün mevcut havuzuna yakın bir yere kurulmuştur. Havuzdan araziye kadar olan mesafe, yaklaşık olarak 400 metredir. Havuzla arazi arasında kot farkı bulunmamakta olup, pompanın basma yüksekliği, sıfırdır. Pompanın emme yüksekliği ise, 3 metredir. Sistemin kurulacağı yer ve malzemelerin buraya taşınması, fotoğraf 5.4. ve fotoğraf 5.5.'de görülmektedir.



Fotoğraf 5.4. Fotovoltaik sistemin kurulacağı yer



Fotoğraf 5.5. Sistem bileşenlerinin sistemin kurulacağı yere getirilmesi

Niğde Patates Araştırma Enstitüsü tarafından, 80 metre derinliğindeki kuyudan, şebeke elektriği kullanılarak, havuza su basılmaktadır. Havuzda biriken su, yine şebeke elektriği kullanılarak araziye verilmektedir. Fotovoltaik sistem fotoğraf 5.6.'da görüldüğü gibi havuzun yanına kurulmuştur.



Fotoğraf 5.6. Fotovoltaik panellerin montajı

Fotoğraf 5.7.'de görüldüğü gibi, sistemin panel-panel ve panel-pompa bağlantıları yapıldıktan sonra, sistem elektrik üretir duruma gelmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken konu, panellerin birbirlerini gün ve yıl içerisinde gölgelemeyecek aralıkta yerleştirilmesidir.



Fotoğraf 5.7. Montajı yapılan fotovoltaik paneller

Fotoğraf 5.8.'de görülen 4 adet AC su pompalarının montajı yapılmıştır. Bu pompalardan 1 ve 2 nolu pompa birinci sisteme, 3 ve 4 nolu pompa ikinci sisteme bağlanmıştır. Sistemden üretilen DC elektrik akımı invertör aracılığıyla AC elektrik akımına dönüştürülür. AC elektrik akımı pompaları çalıştırarak havuzda bulunan suyu çeker ve böylece arazinin sulanmış olması sağlanır.



Fotoğraf 5.8. Pompaların havuzun üstüne montajı

AC elektrik akımının çalıştırdığı pompalarla havuzdan çekilen su, 400 metre uzaklıkta bulunan araziye sulamak için kullanılmaktadır. Havuzdan çekilen su ve sulamanın yapıldığı arazi fotoğraf 5.9. ve fotoğraf 5.10.'da görülmektedir.



Fotoğraf 5.9. Fotovoltaik sistemin kurulumundan sonra elde edilen su



Fotoğraf 5.10. Arazinin sulanması

5.2.1 Kurulan fotovoltaik sistemin maliyeti ve ürettiği enerji

1 kW gücündeki sistemin piyasa ortalama fiyatı, 1500 dolardır. Dolar/TL 2,7 alındığında, kurulan 7,36 kW sistem için maliyet;

$1500 \text{ USD/kW} \times 2,7 \text{ TL/USD} \times 7,36 \text{ kW} = 29.808,00 \text{ TL'}$ dir.

Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi, kurulan 7,36 kW'lık fotovoltaik sistemin ürettiği enerji, Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi tarafından oluşturulan fotovoltaik coğrafi bilgi sistemine bağlı olarak, Niğde'ye gelen toplam radyan değerlerine göre yıllık 13910,4 kWh'dir.

Çizelge 5.5. 2014 yılı aylık toplam radyan değerlerine göre sistemin yıllık ürettiği enerji(re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php)

AYLAR	AYLIK TOPLAM RADYAN (kWh/m ²)	KURULU GÜÇ (kWp)	TOPLAM ÜRETİM (kWh/m ²)
OCAK	99	7,36	728,64
ŞUBAT	107	7,36	787,52
MART	169	7,36	1243,84
NİSAN	164	7,36	1207,04
MAYIS	192	7,36	1413,12
HAZİRAN	196	7,36	1442,56
TEMMUZ	204	7,36	1501,44
AĞUSTOS	198	7,36	1457,28
EYLÜL	193	7,36	1420,48
EKİM	164	7,36	1207,04
KASIM	112	7,36	824,32
ARALIK	92	7,36	677,12
TOPLAM	1890		13910,4

5.3 Sulama Dönemi Boyunca Elektrik Tüketimi ve Ekonomik Analiz

6 kW gücündeki pompaların, günde 8 saat çalışarak, 90 gün boyunca ürettiği güç;

$$6 \text{ kW} \times 8 \text{ h} \times 90 \text{ gün} = 4320 \text{ kWh}$$

1 kWh elektrik tüketiminin birim fiyatı 0,29 TL (<http://www.epdk.gov.tr>) olup;

$$4320 \text{ kWh} \times 0,29 \text{ TL/kWh} = 1252,8 \text{ TL}$$

Çalışmada fotovoltaiik sistem kullanılsaydı, 6 kW gücündeki pompalar şebekeye bağlı olup, 90 gün için harcanan 4320 kWh enerjinin yıllık maliyeti 1252,8 TL olacaktı. Bu tutara dağıtım sistem kullanım bedeli ve diğer bedeller dâhil değildir.

5.3.1 Sistem sadece sulama dönemi boyunca kullanıldığında ekonomik analiz

Sistem maliyetini, sulama dönemindeki elektrik tüketim fiyatına bölerek, sistemin kaç yılda kendini amorti edeceği bulunur.

$$29.808,00 \text{ TL} \div 1252,8 \text{ TL/yıl} = 23,8 \text{ yıl}$$

5.3.2 Sistem elektrik şebekesine bağlandığı durumda ekonomik analiz

a. Sistemde kullanılan modüller ithal ise;

Sistemden üretilen yıllık 13910,4 kW enerjiden, 90 günlük ihtiyaç duyulan 4320 kW enerji kullanıldıktan sonra 9590,4 kW enerji fazlası oluşur. Buna göre, güneş enerjisi için ödenen 13,3 ABD dolar cent/kWh (<http://epdk.gov.tr>) destek bedeli ödemesi üzerinden destekleme bedeli hesaplandığında;

$$13910,4 \text{ kW} - 4320 \text{ kW} = 9590,4 \text{ kW}$$

$$9590,4 \text{ kW} \times 0,133 \text{ USD/kW} \times 2,7 \text{ TL/USD} = 3443,9 \text{ TL. Buna göre;}$$

Yıllık, ihtiyaç fazlası enerjiden 3443,9 TL destek ödemesi ve 90 gün için kullanılacak olan 4320 kW enerji bedeli olan 1252,8 TL tasarruf edilmiş olur.

Toplam Tasarruf = 3443,9 TL + 1252,8 TL = 4696,7 TL yıllık tasarruf edilir.

Sistem maliyetini toplam tasarrufa bölersek;

$$29.808,00 \text{ TL} \div 4696,7 \text{ TL/yıl} = 6,3 \text{ yıl.}$$

b. Sistemde kullanılan modüller yerli üretim ise:

Bu durumda 0,133 USD/kW destek bedeline ek olarak 0,008 USD/kW ilave edilir(<http://epdk.gov.tr>).

$$9590,4 \text{ kW} \times (0,133 \text{ USD/kW} + 0,008 \text{ USD/kW}) \times 2,7 \text{ TL/USD} = 3651 \text{ TL}$$

$$\text{Toplam Tasarruf} = 3651 \text{ TL} + 1252,8 \text{ TL} = 4903,8 \text{ TL yıllık tasarruf edilir.}$$

Sistem maliyetini Toplam Tasarrufa bölersek;

$$29.808,00 \text{ TL} \div 4903,8 \text{ TL/yıl} = 6 \text{ yıl}$$

5.3.3 Tüm yıl boyunca üretilen elektriğin kullanılması durumunda ekonomik analiz

Sistemden üretilen yıllık toplam enerjinin tamamının kullanıldığını ve şebekeye enerji satılmaması durumunda;

$$13.910,4 \text{ kW} \times 0,29 \text{ TL/kW} = 4034 \text{ TL}$$

Sistem maliyetini bu bedele bölersek;

$$29.808,00 \text{ TL} \div 4034 \text{ TL/yıl} = 7,4 \text{ yıl}$$

5.3.4 PV sistemin Patates Araştırma Enstitüsü'nde tarımsal sulama ve resmi dairelerin tüm elektrik enerjisi ihtiyacı için kullanılması durumunda ekonomik analiz

a. Yıllık tüketilen enerjiye göre;

Çizelge 5.6. ve 5.7.'de görüldüğü gibi, Patates Araştırma Enstitüsü'nün 2014 yılı tarımsal sulama için gece-gündüz yıllık toplam 17550 kWh enerji harcanması sonucu toplam 9402,4 TL fatura bedeli ödenmiştir. 2014 yılı resmi daireler için yıllık 3703 kWh enerji harcanıp, toplam 1499 TL fatura bedeli ödenmiştir. Toplam harcanan enerji miktarı, yıllık 21.253 kWh'tır. Ödenen fatura bedeli ise, yıllık 10.901,40 TL'dir.

Çizelge 5.6. Patates araştırma enstitüsünün 2014 yılı için tarımsal sulamada gece ve gündüz tükettiği enerji miktarı ve ödenen fatura bedeli

TARİH	GÜNDÜZ TÜKETİM(kWh)	GECE TÜKETİM(kWh)	BİRİM FİYAT	TOPLAM ÖDENEN
Ocak 14	45	163	0,216131	183,4
Şubat 14	39	149	0,208279	184,2
Mart 14	38	127	0,208279	158,8
Nisan 14	38	134	0,208279	165,1
Mayıs 14	1638	1275	0,206668	1.465,75
Haziran 14	1375	1709	0,206668	1.671,45
Temmuz 14	1627	1750	0,208279	1.891,90
Ağustos 14	2170	2200	0,207333	1.575,70
Eylül 14	1103	810	0,207333	1.163,70
Ekim 14	199	460	0,207333	478,10
Kasım 14	58	184	0,207333	224,00
Aralık 14	83	176	0,207333	240,30
TOPLAM	8413	9137		9402,4

Çizelge 5.7. Patates araştırma enstitüsünün 2014 yılı için resmi dairelerde gece ve gündüz tükettiği enerji miktarı ve ödenen fatura bedeli

TARİH	GÜNDÜZ TÜKETİM(kWh)	GECE TÜKETİM(kWh)	BİRİM FİYAT	TOPLAM ÖDENEN
Ocak 14	1030	0	0,251649	384,1
Şubat 14	346	0	0,243929	138
Mart 14	237	0	0,243929	97,1
Nisan 14	266	0	0,243929	100,4
Mayıs 14	240	0	0,242828	99,20
Haziran 14	207	0	0,242828	87,30
Temmuz 14	185	0	0,242828	79,00
Ağustos 14	192	0	0,243509	81,9
Eylül 14	186	0	0,243509	79,80
Ekim 14	239	0	0,243509	98,90
Kasım 14	343	0	0,268046	148,50
Aralık 14	232	0	0,268046	104,80
TOPLAM	3703			1499

Kurulan fotovoltaik sistem, yaklaşık olarak 17 dönümlük arazi sulanması için kullanılmıştır. Patates Araştırma Enstitüsü'nün toplam sulanan alanı 30 dönümün üstünde olduğu için ve resmi dairenin de harcayacağı enerjiyi düşünürsek kurulacak olan yeni bir fotovoltaik sistemin yaklaşık olarak 15 kW olması gerekmektedir. Patates Araştırma Enstitüsü'nün gece-gündüz tarımsal sulama ve resmi daireler için yıllık ortalama tükettiği enerji miktarı 21.253 kWh olup, bu miktar ekimi yapılan ürün çeşidi,

yağış ve arazi durumuna göre değişmektedir. Bu yüzden ihtiyacımız olan enerjiyi yıllık ortalama 25.000 kWh olarak, kaç kWh'lık bir sistem kurabileceğimizi hesaplarız. Niğde ili için yıllık güneşlenme süresi 5,2 saattir.(<http://www.mgm.gov.tr>)

$$25000 \text{ kW} \div 365 \text{ gün} = 68,49 \text{ kW/gün}$$

$$68,49 \text{ kW/gün} \div 5,2 \text{ saat/gün} = 13,1 \text{ kW/saat}$$

Patates Araştırma Enstitüsü'nün tüm alanı ve resmi daireler için tasarımı düşünülen 13,1 kW fotovoltaik sistemin kayıpları da düşünülürse ortalama olarak 15 kW'lık bir sistem kurmak gerekmektedir. 15 kW fotovoltaik sistemin maliyeti;

$$15 \text{ kW} \times 1500 \text{ USD/kW} \times 2,7 \text{ TL/USD} = 60.750,00 \text{ TL.}$$

Patates Araştırma Enstitüsü'nün 2014 yılı tarımsal sulama ve resmi daireler için ödediği elektrik tutarı 10.901,40 TL olup,

$$60.750,00 \text{ TL} \div 10.901,40 \text{ TL/yıl} = 5,57 \text{ yıl.}$$

b 1.Mevcut anlık maksimum enerji ihtiyacına göre;

Patates Araştırma Enstitüsü'nde mevcut kuyudan havuza su çekmek için biri 22 kW, diğeri 37 kW gücünde 2 adet dalgıç pompa ve havuzdaki suyu araziye basmak için biri 22 kW, biri 18,5 kW ve diğeri de 4,5 kW gücünde olmak üzere 3 adet pompa bulunmaktadır. Tasarlanacak yeni güneş enerjisi sistemi, hem bu pompaları çalıştıracak hem de resmi dairelerin enerji ihtiyacını sağlayacak güçte olmalıdır.

Çekme ve basma pompaları toplam gücü;

$$22+37+22+18,5+4,5=104 \text{ kW}$$

Resmi dairelerin yıllık enerji ihtiyacı 3703 kWh olup, günlük enerji ihtiyacı 10 kWh'tır.

Anlık toplam enerji ihtiyacı ise aşağıdaki gibi olur.

$$104+10=114 \text{ kWh}$$

Kurulacak olan yeni fotovoltaik sistemin en az 115 kWh'lık anlık enerji sağlayacak kapasitede olması gerekmektedir. Bu sistemin maliyeti;

$$115 \text{ kW} \times 1500 \text{ USD/kW} \times 2,7 \text{ TL/USD} = 465.750,00 \text{ TL.}$$

Patates Araştırma Enstitüsü'nde elektrik faturalarına göre en fazla tüketim ağustos ayında olmuştur. Çizelge 5.6 ve 5.7'ye göre ağustos ayı için gündüz tarımsal sulama ve resmi daireler toplamı 2362 kWh olup, günlük 76,19 kWh, gece tarımsal sulama toplamı 2200 kWh olup günlük 71 kWh'tır.

Planlanan 115 kW'lık sistem 0,66 saat çalışarak gündüz tarımsal sulama ve resmi daire ihtiyacını karşılamaktadır. Gece tarımsal sulama ihtiyacını ise, 0,62 saat çalışarak karşılamaktadır.

$$115 \div 76,19 = 0,66 \text{ saat}$$

$$115 \div 71 = 0,62 \text{ saat}$$

Patates Araştırma Enstitüsü'nde gece de sulama yapıldığı için, gündüz üretilen enerjinin akülerde depolanıp, gece kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden sistem maliyetine akü maliyeti de eklenmelidir.

115 kW sistem, günde ortalama 0,62 saatte 71,3 kWh (71300 watt) enerji üretir.

$$P = I \times V \quad (5.4)$$

$$71300 = I \times 12$$

$$I = 5942 \text{ A}$$

Akülerde depolanan enerjinin tamamını hatta %70'inde fazlasını kullanmak akünün yapısını kısa zamanda bozmaktadır. Bu yüzden hesaplanan 5942 A'lık akü akımını %30 artırırsak;

$$I \times 30/100 = 5942 \times 30/100 = 1783 \text{ A}$$

$$\text{Akü kapasitesi} = 5942 + 1783 = 7725 \text{ A.}$$

$$12 \text{ V } 200 \text{ A/h 'lik akü ihtiyacı} = 7725 \div 200 = 38,6 \text{ adet}$$

12 V 7725 A/h'lik akü sistem için yeterli olacaktır. Bu yüzden sistem için 39 adet 12 V 200 A/h'lik akü kullanılmalıdır. Akülerin piyasa fiyatı yaklaşık 1000 TL olup, toplam akü maliyeti 39.000,00 TL olmaktadır.

Toplam maliyet=Fotovoltaik sistem maliyeti+Akü maliyeti

Toplam maliyet=465.750,00 TL+39.000,00 TL=504.750,00 TL.

Patates Araştırma Enstitüsü'nün 2014 yılı tarımsal sulama ve resmi daireler için ödediği elektrik tutarı 10.901,40 TL olup,

$504.750,00 \text{ TL} \div 10.901,40 \text{ TL/yıl} = 46,3 \text{ yıl}$

b 2. Optimum enerji ihtiyacına göre;

Patates Araştırma Enstitüsü'nde önce kuyudan havuza su çekilip, sonra araziye su basma işleminin yapıldığı ve sulama işleminin gün içerisinde daha uzun vadeye yayıldığı koşullarda, sistemin planlanması durumunda maliyet daha da düşecektir.

Patates Araştırma Enstitüsü'nde sulanan arazi alanı, 30.000 m²' dir. Sulama aralığı, 5 günde 1 olarak düşünülürse, bir günde sulanacak arazi için sulama suyu ihtiyacı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

Patatesin 1000 m² alan için sulama gereksinimi, 900 mm olarak alınmış olup, bu da 1 dönüm için 900 m³ su demektir. Patates ekimi, Patates Araştırma Enstitüsü tarafından yapılmış olup, bir dönem için toplam 16 sulama yapılması hedeflenmiştir.

Her sulama için su ihtiyacı = $900 \div 16 = 56,25 \text{ m}^3$ (1 dönüm için)

Toplam alan için su ihtiyacı = $56,25 \times 30 = 1687,5 \text{ m}^3$ olarak bulunur. (30 dönüm için)

Her bir sulama için su ihtiyacı = $1687,5 \div 5 = 337,5 \text{ m}^3$ (5 günde 1 sulama yapılacaktır)

337,5 m³ suyu mevcut 37 kW'lık pompa (debisi 65 m³/h) ile havuza çekmek için gereken süre = $337,5 \text{ m}^3 \div 65 \text{ m}^3/\text{h} = 5,2 \text{ saat}$

Mevcut 22 kW ve 18,5 kW'lık iki pompa arazide toplam 164 m³/h'lik debi ile su basmaktadır. 337,5 m³'lük suyu araziye basmak için gerekli süre;

$337,5 \text{ m}^3 \div 164 \text{ m}^3/\text{h} = 2,1 \text{ saat}$ olarak bulunur.

Bu durumda 41 kW'lık sistem, gerekli enerji ihtiyacını sağlayacaktır. Bu sistem için maliyet hesabı;

$$41 \text{ kW} \times 1500 \text{ USD/kW} \times 2,7 \text{ TL/USD} = 166.050,00 \text{ TL}$$

Yaz ayları için güneşlenme süresi 8 saat olarak alındığında resmi daire ve sistem yedeği için gerekli akü hesabı;

$$\text{Sistemin toplam günlük üretimi} = 41 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 328 \text{ kWh}$$

$$\text{Pompaların toplam günlük tüketimi} = (37 \text{ kW} \times 5,2 \text{ h}) + (40,5 \text{ kW} \times 2,1 \text{ h}) = 277,5 \text{ kWh}$$

$$\text{Akülerde kullanılacak olan enerji} = 328 \text{ kWh} - 277,5 \text{ kWh} = 50,5 \text{ kWh}$$

Tarımsal sulama için sistem çalıştırıldıktan sonra geriye 50,5 kWh'lık enerji kalır. Bu enerjinin akülerde depolandıktan sonra kullanılabilecek miktarı %30 kayıp düşürüldüğünde;

$$50,5 \text{ kWh} \times 0,70 = 35 \text{ kWh olacaktır.}$$

Bu miktar günlük resmi daire kullanımı (6 kWh) ve pompa yedek gücünü ($29 \div 40,5 = 0,71$ saat) karşılamaya yeterli gelecektir.

Akü maliyeti:

50,5 kW, 50500 watt eder.

$$P = I \times V \quad (5.5)$$

$$50500 = I \times 12$$

$$I = 4208 \text{ A}$$

$$12 \text{ V } 200 \text{ A/h 'lik akü ihtiyacı} = 4208 \div 200 = 21 \text{ adet}$$

12 V 4208 A/h'lik akü sistem için yeterli olacaktır. Bu yüzden sistem için 21 adet 12 V 200 A/h'lik akü kullanılmalıdır. Akülerin piyasa fiyatı yaklaşık 1000 TL olup, toplam akü maliyeti 21.000 TL olmaktadır.

$$\text{Toplam maliyet} = \text{Fotovoltaik sistem maliyeti} + \text{Akü maliyeti}$$

$$\text{Toplam maliyet} = 166.050,00 + 21.000,00 = 187.050,00 \text{ TL.}$$

Patates Araştırma Enstitüsü'nün 2014 yılı tarımsal sulama ve resmi daireler için ödediği elektrik tutarı 10.901,40 TL olup,

$187.050,00 \text{ TL} \div 10.901,40 \text{ TL/yıl} = 17,2 \text{ yıl}$



BÖLÜM VI

SONUÇ VE ÖNERİLER

Patates Araştırma Enstitüsünde mevcut kuyudan çekilen su havuza doldurulmakta, yine pompa aracılığıyla arazinin su ihtiyacı buradan karşılanmaktadır. 7,36 kW gücündeki fotovoltaik sistem, havuzun hemen yanına kurulup, 6 kW gücündeki santrifüj pompaları çalıştırarak ekimi yapılan patatesin sulanmasında kullanılmıştır. Ekimi yapılan arazinin sulanması için gereken su miktarı, class a pan ile hesaplanmış, sulama dönemi boyunca yağın yağışın tamamı etkili yağış olarak alınmıştır.

Çalışmada Agria (Yemeklik-Sanayilik) çeşidi 04.06.2014 tarihinde ekilmiştir. Yetiştirme uygulamaları olarak taban gübresi: 100 kg/da 15.15.15+Zn (dikim öncesi), Üst gübre 14.07.2014 tarihinde 30 kg/da Amonyum Sülfat (%21 N), Üst Gübre 26.07.2014 tarihinde 15 kg/da Potasyum Nitrat (13-0-46), Üst Gübre 08.08.2014 tarihinde Amonyum Nitrat 10 kg/da (%33) verilmiştir. 16 kez sulama uygulaması yapılmıştır. 10.11.2014 tarihinde hasat edilmiştir. Pazarlanı verim: 3281 kg/da, pazarlanmaz verim: 150,6 kg/da olarak belirlenmiştir.

Kurulan sistemin teknik ve ekonomik fizibilite çalışması yapıp, özellikle ekonomik olup olmadığını saptayabilmek için 4 farklı senaryo üzerinde çalışılmıştır.

1. Sistem, sadece sulama dönemi boyunca kullanıldığı zaman, kendini amorti etme süresi 23,8 yıl çıkmıştır. Bu durum, sistemin bu şekilde kullanıldığı zaman ekonomik olmadığını göstermektedir.

2. Sistemden sulama ihtiyacımızı karşılayacak olan 90 günlük enerji kullanıldıktan sonra geri kalan enerjinin şebekeye satılmasıdır. Sistem 2 şekilde düşünülmüştür. Birincisi; kullanılan paneller ithal ise, destek bedeli ödemesi 0,133 usd/kWh olur. Bu durumda yapılan hesaplamalar sonucunda sistemin kendini amorti etme süresi 6,3 yıl olmaktadır. İkincisi; kullanılan paneller yerli ise, destek bedeli ödemesi 0,141 usd/kWh olur. Bu durumda yapılan hesaplamalar sonucunda sistemin kendini amorti etme süresi 6 yıl olmaktadır.

Sistemin çalışılan her 2 durumunda da kendini amorti etme süresinin uygun ve ekonomik olduğunu göstermiştir.

3.Sistemden üretilen yıllık toplam enerjinin tamamının kullanıldığı ve şebekeye enerjinin satılmaması durumunda kendini amorti etme süresi 7,4 yıl çıkmıştır. Bu durum, sistem bu şekilde kullanıldığı zaman ekonomik olduğunu göstermektedir.

4. Sistem Patates Araştırma Enstitüsü'nde hem tarımsal sulamanın enerji ihtiyacı için, hem de resmi dairelerin enerji ihtiyacı için düşünülmüştür. Bu durumda sistem 3 şekilde planlanmıştır. Birincisi; Patates Araştırma Enstitüsü'nün yıllık tükettiği enerji ihtiyacına göre yapılan hesaplamalarda sistemin kendini amorti etme süresi 5,57 yıl olmaktadır. Bu durumda sistemin kendini amorti etme süresi bakımından ekonomik olduğu görülmektedir. İkincisi; sistemin mevcut pompaları çalıştırmak için ihtiyacı olan anlık maksimum enerjiye göre yapılan hesaplamalar sonucunda sistemin kendini amorti etme süresi 46,3 yıl çıkmaktadır. Bu durum sistemin ekonomik olmadığını göstermektedir. Üçüncüsü; sistemin mevcut pompaları kullanarak optimum işletme politikası uygulanmasıyla ihtiyacı olan anlık maksimum enerjiye göre yapılan hesaplamalar sonucunda sistemin kendini amorti etme süresi 17,2 yıl olarak belirlenmiştir. Sistemin ekonomik ömrünün 25 yıl olduğu düşünüldüğünde,(fazla üretilen elektriğin satılmadığı veya harcanmadığı koşullarda) karlı bir yatırım olarak gözükme de çevreci ve yenilenebilir enerji kaynağı olması, dışarıya enerji bağımlılığını azaltma konusunda katkı sağlaması da göz önüne alındığında, uygulanabilir olarak değerlendirilmiştir.

Tüm olasılıklarda hiç teşvik/hibe yardımı alınmadığı varsayımına göre hesaplamalarda bulunulmuştur. Eğer bakanlıklardan, kalkınma ajanslarından veya yurtdışı kaynaklı fonlardan tüzel veya ticari işletmelere sağlanan teşvik ve hibe programlarından yararlanılacak olunursa, amortisman süresinin 3 yıla kadar düşeceği öngörülmüştür (%50 hibe/teşvik).

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları açısından iyi bir potansiyele sahiptir. Özellikle güneş enerjisi bakımından dünyada sayılı ülkeler arasında bulunmaktayız. Fakat gelişmiş ülkelere nazaran ülkemizde fotovoltaiik sistemlere geçişin daha yavaş olduğunu söylemek gerekmektedir. Ülkemizde ilk etapta, elektrik enerjisinin olmadığı veya

ulaştırılması zor olduğu bölgelerde, k      ekli tarım arazilerinin sulanma amaçları için güneş pilleri ile beslenen su pompalama sistemleri kurulmalıdır.

Bu çalışmanın ileriye d n  k geliştirilmesi, b      ekli tarım arazilerinin sulanması ve b  lece çiftçilerin refah seviyelerinin arttırılması açısından b        m taşımaktadır. Türkiye’de tarımın ekonomideki payı %30 olması sebebiyle önemli bir tarım ülkesidir. Tarım devam ettiği sürece, sürekli olarak sulamaya ihtiyaç duyulacaktır. Sulamanın yapılabilmesi için b       oranda enerjiye gereksinim vardır. Tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de mevcut olan enerji karmaşasının     m nde güneş enerjisi önemli bir rol oynayabilir. B  lece hem çevreye daha az zarar veririz, hem de sonsuz bir enerji kaynağımız olur. Bu yüzden zaman kaybetmeden fotovoltaiik sistemli tarımsal sulama sistemine geçilmesi ve devlet tarafından teşvik edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Abdolzadeh, M. and Amerı, M.,“Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells”, **Renewable Energy** 34(1), 91–96, 2009.

Al-Alı, A.R., Rehman, S., Al-Agılı, S., Al-Omarı, M.H. and Al-Fayezı, M.,“Usage of photovoltaics in an automated irrigation system”, **Renewable Energy** 23, 17–26, 2001.

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

Anonim, Türkiye Enerji Raporu, **Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi(0013/2009)**, Ankara, s.98, 2009.

Anonymous, World Energy Outlook 2008, **International Energy Agency**, Paris, s.578, 2009.

Anonim,KOP Bölgesinde DSİ YAS Eylem Planı ve Kuyulara Su Tahsis Uygulaması Genel Değerlendirme ve Öneriler Raporu,**TC. Kalkınma Bakanlığı KOP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı**, Konya, s.62,Aralık 2012.

Avicenna Programme Papers for distribution, Prepared by it power as part of the concerted action for the testing and cost reduction of PV water pumping systems, **Contract AVI-CT094–0004**, IT Power Ref. 95501, 1997.

Bahaj, A. and Mohammed, A., “Sizing of a photovoltaic pumping system and its storage capacity to meet crop water requirements in remote areas”, **Proceedings of the 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference**, Amsterdam, s.1969-1972, 1994.

Barlow, R., Mclenis B. and Derrick A, “Solar Pumping: An introduction and update on the technology, performance, costs, and economics”, **Intermediate Technology Publications Ltd.**, London, s.4-17, 1993.

- Betka, A. and Attali, A., “Optimization of a photovoltaic pumping system based on the optimal control theory”, **Solar Energy** 84(7), 1273–1283, 2010.
- Cuadros, F., Lopez Rodriguez, F., Marcos, A. and Coello, J. A., “Procedure to size solar powered irrigation (photirrigation) schemes”, **Solar Energy** 76, 465–473, 2004.
- Dalkılıç, E., Güneş enerjisiyle çalışan damla sulama projesinde hidrolik aksamı, Bitirme Tezi, **Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi**, Sakarya, s. 62, 2012.
- Demirbilek, F.N. ve Ecevit, A., “Güneş Evleri” **ODTÜ Yayınları 2**, Ankara, 2000.
- FAO, The state of food insecurity in the World, **Food and Agricultural Organization of the United Nations**, Roma, İtalya, 1999.
- Fiaschi, D., Graniglia, R. and Manfreda, G., “Improving the effectiveness of solar pumping systems by using modular centrifugal pumps with variable rotational speed”, **Solar Energy** 79, 234–244, 2005.
- Gençoğlu, M.T., Cebeci, M. ve Güneş, M., Güneş enerjisi ile çalışan PLC kontrollü su pompası sistem tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, **F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 2010.
- Ghoneim, A.A., “Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems”, **Energy Conversion and Management**, 47(11–12), 1449–1463, 2006.
- Glasnovic, Z. and Margeta, J., “A model for optimal sizing of photovoltaic irrigation water pumping systems”, **Solar Energy** 81, 904–916, 2007.
- Günkaya, E., Güneş enerjisinden yararlanarak elektrik üretimi, Bitirme Ödevi, **S.D.Ü. Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü**, Isparta, 2001.
- Hamidat, A., Benyoucef, B. and Hartani, T., “Small-scale irrigation with photovoltaic water pumping system in Sahara regions”, **Renewable Energy** 28(7), 1081–1096, 2003.
- Jafar, M., “A model for small-scale photovoltaic solar water pumping”, **Renewable Energy** 19, 85–90, 2000.

Kanber,R., Köksal,H., Ünlü,M., Şenyiğit, U., Onaran, H., Ünlenen,A.L., Özekici,B., Sezen, M.S. ve Ortaç,İ., Nevşehir Yöresinde Farklı Sulama Yöntemleriyle Sıvı Gübre Uygulamalarının (Fertigation) Patates Verimi ve Azot Kullanımına Etkileri, **TUBİTAK TARP- 2256 nolu proje sonuç raporu**, Adana, 2003.

Kara, M., Sulama-Kurutma Cilt:1, Tarım Arazilerinin Sulanması, **A.Ü. Isparta Mühendislik Fakültesi Yayınları No:5**, Isparta, 1983.

Karamanav, M., Güneş enerjisi ve güneş pilleri, Yüksek Lisans Tezi, **S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, s.90, 2007.

Karrasik, I., Messina, J., Cooper, P. and Heald, C., The Pump Handbook, Çeviri Editörü/Editörleri **Mc Graw Hill**, New York, 2008.

Keller, J. and Bliesner, R.D., Sprinkle and Trickle Irrigation, **AVI Book, Van Nostrand Reinhold**, Newyork, 1990.

Kenna, J. and Gillet, B., Solar Water Pumping: A Handbook, **Intermediate Technology Publications**, London, 1985.

Köksal, M.A., Güneş enerjisiyle su pompalama üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, **Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 2012.

Mokeddem, A., Midoun, A., Said Hiadsi, D.K. and Raja, I.A.,“Performance of a directly-coupled PV water pumping system”,**Energy Conversion and Management** 52(10), 3089–3095, 2011.

Odeh A.I., Yohanis, Y.G. and Norton, B., “Influence of pumping head, insolation and PV array size on PV water pumping system performance”, **Solar Energy** 80(1), 51–64, 2006a.

Odeh A.I.,Yohanis, Y.G. and Norton, B.,“Economik viability of photovoltaic water pumping systems”, **Solar energy** 80(7), 850–860, 2006b.

Önder, S., “Patateste su verim ilişkileri makalesi”, **4. Patates Kongresi**, Niğde, s.194–199, 2006.

Önder, S., Çalışkan, M.E., Önder, D. ve Çalışkan, S., “Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components”, ***Agricultural Water Management*** 73(2005), 73–86, 2005.

Öztürk, H.H., “Güneş pili ile çalışan tarımsal sulama sistemleri için tasarım ölçütlerinin belirlenmesi”, ***4. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı***, Mersin, s. 58–73, 6-7 Kasım 2009.

Öztürk, H.H., Eren, Ö., Özsavran, M. ve Arslan, M., “Güneş enerjisiyle termo-mekanik dönüşüm ilkesine göre çalışan su pompalama uygulamalarının değerlendirilmesi”, ***5. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı***, Mersin, s.277–294, 6-7 Ekim 2011.

Pereira, L. S., Sprinkle and trickle irrigation system, design and evaluation, notes for students, ***Agricultural Engineering of Technical University of Lisbon***, Bari, 1990.

Purohit, P. and Kandpal, T.C., “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, 2005.

Sallem, S., Chaabene, M. and Kamoun, M.B.A., “Energy Management algorithm for an optimum control of a photovoltaic water pumping system”, ***Applied Energy*** 86, 2671–2680, 2009.

Şen, Z., Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques: Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy, ***Springer-Verlag London Limited***, İstanbul, 2007.

Vilela, O.C., Fraidenraich, N. and Tiba, C., “Photovoltaic pumping systems driven by tracking collectors. Experiments and simulation”, ***Solar Energy*** 74(1), 45–52, 2003.

White, J.A., Case, K.E. and Pratt, D.B., “Principles of engineering economic analysis. Haboken NJ”, ***Wiley Higher Education***, 2010.

Yesilata, B. ve Firatoglu, Z.A., “Effect of solar radiation correlations on system sizing: PV pumping case”, ***Renewable Energy*** 33, 155–161, 2008.

Yalçın, L., Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve güneş enerjisinden yararlanabilme olanakları, Doktora Tezi, **A.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, s. 220, 2010.

Yazar, A., Gençdoğan, C. ve Diker, D., Sulama Sistemlerindeki Son Gelişmeler, **Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 5(2)**, Adana, 1990.

Yılankıran, N., Türkiye'nin alternatif enerji kaynakları ve kullanım potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, **G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, s. 10-12, 43-45, 2004.

Yıldırım, B., Akkoyunlu, T. ve Sezer, A., Bir binanın güneş pili destekli güneş kolektörleriyle ısıtılması, Bitirme Ödevi, **S.D.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü**, Isparta, s. 40-44, 1995.

Yusufoğlu, G., Şebeke elektriğinin bulunmadığı tarımsal alanlarda güneş enerjisiyle sulamanın yapılması, Yüksek Lisans Tezi, **M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 55, 2013.

<http://www.ekipmuhendislik.com.tr/teknik-bilgiler>, 2015.

<http://www.ekipmuhendislik.com.tr/teknik-bilgiler/borularda-surtunme-kayıplari.htm>, 2015.

<http://www.epdk.gov.tr>, 2016.

[http://myo.mersin.edu.tr/UZAK/TP/Bilgisayar/bp-109\(temel-elk\)/te08.pdf](http://myo.mersin.edu.tr/UZAK/TP/Bilgisayar/bp-109(temel-elk)/te08.pdf), 2015.

<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/pvilke.html>, 2016.

<http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/veri.html>, 2016.

http://www.ezincmetal.com/tr/urunler_gunes_pilleri.php, 2014.

<http://www.mgm.gov.tr>, 2014.

<http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayınlar/enerji/güneşpilleri/giriş.html>, 2015.

re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php, 2016.

<http://www.agplastik.gov.tr>, 2015.

ÖZ GEÇMİŞ

Remzi GÖZYUMAN...../...../..... tarihinde Şanlıurfa'nın Siverek ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Siverek'te tamamladı. 1998 yılında girdiği Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2002 yılında mezun oldu. 2002-2010 yılları arasında kamuda sağlık memuru olarak çalıştı. 2005 yılında girdiği Hacettepe Üniversitesi Sağlık İdaresi Bölümü'nden 2010 yılında mezun oldu. 2010 yılında kadrosunu değiştirerek kamuda Makine Mühendisliği'ne başladı. 2012 yılında Niğde Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

