

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK ENERJİ DESTEKLİ AKILLI TARIMSAL
SULAMA SİSTEMİ

MERVE SEZGİNER ÖKMEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: ÖĞR. ÜYESİ SALİH ÖZEN ÜNVERDİ

OCAK 2024

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜST EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK ENERJİ DESTEKLİ AKILLI
TARIMSAL SULAMA SİSTEMİ

MERVE SEZGİNER ÖKMEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ SALİH ÖZEN ÜNVERDİ

OCAK 2024

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**PHOTOVOLTAIC ENERGY BASED SMART
IRRIGATION SYSTEM**



MERVE SEZGİNER ÖKMEN

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE IN
MECHANICAL ENGINEERING**

ADVISOR: ASSIST. PROF. SALİH ÖZEN ÜNVERDİ

JANUARY 2024

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 15/01/2024 tarih ve 2024/06 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 30/01/2024 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Merve SEZGİNER ÖKMEN'in tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :DR. ÖĞR. ÜYESİ SALİH ÖZEN ÜNVERDİ

ÜYE

:DOÇ. DR.GAMZE GEDİZ İLİŞ:

ÜYE

:DR. ÖĞR.ÜYESİ MERVE NAZLI BORAND:

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

.....tarih ve.....sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR



*Sonsuz destek ve inancından
dolayı sevgili eşime*

ÖZET

Dünyamızın karşı karşıya kaldığı küresel ısınma ve su kıtlığı riski hayatımızın temelini oluşturan suyun önemini bir kez daha gözlerimizin önüne sermektedir. Su kaynaklarını verimli kullanabilmede en önemli faktör verimli sulama yapabilmektir.

Güneş enerjisi en yaygın ve temiz enerji kaynaklarından olmasının yanı sıra akıllı tarım sistemleri için de çok uygun bir alternatiftir. Tarımsal sulama sistemlerinde güneş enerjisinden yararlanılması sulama ve dolayısıyla üretim maliyetini düşürebilmekte, aynı zamanda güç kaynağı olarak sınırsız bir enerji kaynağını kullanmak sistemin sürdürülebilirliğini sağlamakta, ülkenin dışa bağımlılığını ve çevre kirliliğini azaltmaktadır.

Sistemde güneş enerjisinin kullanımı bizlere sınırsız, kesintisiz bir enerji sağlamakta, şebekeye bağlanması zor ve pahalı olan engebeli tarımsal alanlarda bile kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Yerleşim bölgelerinden uzak arazilere su temininde fotovoltaik enerji destekli bir sulama sistemi diğer sistemlere göre daha ekonomik ve güvenilirdir.

Bu çalışmalarda çeşitli pompalama ve sulama sistemleri kullanılmaktadır. Ancak bu sistemlerden en verimlisi ve zorlu araziler için uygun olanı Damla Sulama Sistemi'dir. Su kaynaklarının yetersiz olduğu, uzak ve diğer sulama sistemlerinin kullanımının zor olduğu bölgelerde tercih edilir. Bu yöntem doğrudan bitkinin köklerini sulama imkânı vererek, diğer yöntemlerdeki sulama kayıplarının önüne geçmekte, böylece verimli sulama sağlanmaktadır. Türkiye'de su kaynaklarının büyük çoğunluğunun tarımda kullanıldığı düşünülürse, tarımsal sulamanın verimliliği bir zorunluluktur.

Bu tez çalışmasında kullanıcının uzaktan verileri izleyerek kontrol edebileceği off-grid (şebeke bağlantısı olmayan), fotovoltaik enerjili, akıllı bir tarım sistemi tasarlanmış, fotovoltaik ışınlam, güç, panel ve su pompası hesaplamaları yapılmış ve sulama modellenerek, sürdürülebilir ve verimli bir akıllı tarımsal sulama sistemi tasarlanmıştır. Seçilen mekanik elemanların (pompa, filtre, DC motor vb.) yanı sıra elektronik elemanlar (sensörler, Lora Gateway, vb.) hakkında da bilgi verilmiştir. Gerçekleştirilen prototip uygulama için kodlama yapılarak tasarlanan sistemin küçük ölçekte yapılabilirliği test edilmiştir. Bu tez mevcut ticari uygulamalar ve kişisel kullanımlar için bir kılavuz olup, gelecekte yapılacak bilimsel çalışmalara yol gösterici niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Tarım, Güneş Enerjisi, Modelleme, OIT, Off-grid, Damla Sulama Sistemi.

ABSTRACT

From the risks which is getting from global warming and water shortage we understand that the most important thing is water in human life. The energy and water shortage that we are facing is directing us the most reliable and sustainable sources. The most efficient way to use the water sources derives from efficient watering.

The solar energy is not only one of the most common clean energy types, but it is also very convenient alternative for the smart agricultural systems. Using the solar energy for watering systems could decrease the production cost, and using the endless power systems like solar energy could make the system as sustainable as possible. And this could be the reason to decrease of the dependency to outside financial sources and it also decreases the pollution. The main goal of the thesis is to create sustainable and efficient smart agricultural system with solar energy.

Using the solar energy in that system could supply endless power and it can be used in off grid and the areas that have expensive transporting cost for the electricity. The water needs of agricultural areas depending on the radiation of the location changes directly and proportionally. The far away fields from the city, using the solar systems create better, more economic, and reliable solutions.

In these studies, researchers generally work on different type of watering and pumping systems. The most efficient and suitable system for rough fields is drip irrigation systems. The main purpose of this project is efficiency. Drip irrigation system is preferred to use in far fields from water sources and in the areas where it is difficult to use other type of irrigation systems. This method could enable to irrigation of roots therefore it prevents the loss of water. As most of the water resources in Turkey are used in agricultural systems, using efficient ways in watering systems is mandatory. Besides, drip irrigation system requires less labor when it is compared to other systems.

This project will be a pathfinder for researchers for efficient system designs and farmers for efficient system setup. The method of that project is based on modelling and literature review. In this project an off-grid smart solar systems will be envisaged, photovoltaic radiation, power, and panel calculations, water and pump calculations will be made, and this sustainable and efficient smart system will be modelled. In addition to the mechanical elements (pump, filter, DC motor, etc.) the information about electronic elements (sensors, Lora Gateway, etc.) will also be provided in this study. This study will be a guide for current commercial applications, personal uses, and future scientific studies.

Key Words: Smart Agricultural Systems, Solar Systems, Photovoltaic Systems, Modelling, IOT, Off Grid, Drip Irrigation.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmam sırasında, her türlü akademik, manevi desteğini benden esirgemeyen, akademik çalışmalarının bir parçası olmama izin veren saygıdeğer hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Salih Özen ÜNVERDİ 'ye sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım. Bu zorlu süreç boyunca bana destek ve inançlarını eksik etmeyen sevgili eşim Berk ÖKMEN, değerli arkadaşların Ece DUMAN, Hazal KÜÇÜKÇOBAN 'a minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Ve beni her koşulda destekleyen, maddi manevi her ihtiyacım da bir an bile tereddüt etmeyen, sevgi ve sabırlarıyla her daim arkamda olan canım aileme varlıkları, destekleri, sevgileri kısacası her şey için sonsuz minnet ve teşekkürleri sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
TABLolar/ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1.GİRİŞ	17
1.1.Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	18
1.2.Güneş Enerjisi	18
1.3.Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli	20
1.4.Önceki Çalışmalar	25
2.GÜNEŞ ENERJİSİ	28
2.1.Güneş Hücresi Teknolojisine Giriş	28
2.2.Fotovoltaik Dönüşüm, Güneş Pilleri	29
2.3.Fotovoltaik Güneş Hücrelerinin Çalışma İlkesi	35
2.3.1.Fotovoltaik Güneş Hücrelerinin Elektriksel Özellikleri	36
2.3.2.Fotovoltaik Güneş Hücresinin Eşdeğer Devresi	36
2.4.Off Grid ve On Grid Sistemler	38
2.4.1.On-grid Sistemler	38
2.4.2.Off-grid Sistemler	39
3.SULAMA SİSTEMLERİ	40
3.1.Sulama Çeşitleri	40
3.2.Damla Sulama Sistemi	41
3.2.1.Damla Sulama Sistemi Uygulaması için Gerekli Formüller	43
3.2.2.Damla Sulama Sistem Formülasyonları	45
3.3.Damla Sulama Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları	46
3.4.Damla Sulama Sistemi Elemanları	47
3.5.Damla Sulama Sistemi Tasarımı ve İşletimi Sırasında Önemli Kısımlar	49
4.MATERYAL VE YÖNTEM	50
4.1.Akıllı Tarımsal Sistemin Tasarımı ve Sistem Algoritması	50
4.1.1.Sulama İhtiyacı	53
4.1.2.Toplam Dinamik Yükseklik	53
4.2.Pompa Hidrolik ve Mekanik Gücü	53
4.2.1.Sisteme Su Çekilebilmesi için Off-grid Güneş Enerjisi Sistemi Tasarlanması	55

4.3.Kocaeli İlinde Off-grid Akıllı Tarım Sistemi Boyutlandırılması	58
5.SİSTEM ELEMANLARI	66
5.1.Güneş Paneli	66
5.2.MPPT	67
5.3.İnvertör	68
5.4.Akü	68
5.5.Sensörler ve Lora Gateway Örneği	68
5.5.1.UG65 LoRaWAN® Gateway	69
5.5.2.EM300-TH Sıcaklık ve Nem Sensörü	70
5.5.3.UC511 Motor Kontrol Cihazı	70
5.5.4.EM 500-SMTC Toprak Sensörü	72
5.6.Dalgıç Pompa	73
6.WEB ARAYÜZ TASARIMI	74
7.SULAMA SİSTEMİNİN MATLAB SİMULİNK TASARIMI	76
8.UYGULAMA	81
9. SONUÇ	83
10.KAYNAKÇA	84
11.ÖZGEÇMİŞ	89
12.TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR	90
13.EKLER	91

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

γ	:	Yayılmı sabiti
G_{sc}	:	Güneş Sabiti
ρ	:	Albedo (yayılmı ışınım)
CdTe	:	Kadmiyum Tellürid
GaAs	:	Galyum arsenik
CdS	:	Kadmiyum sülfür
CdTe	:	Kadmiyum tellür
CuInSSe ²	:	Bakır İndiyum Diselenid
Si	:	Silisyum
P	:	Fosfor
E_v	:	En Üst Enerji Seviyesi
E_c	:	En Alt Enerji Seviyesi
E_g	:	Enerji Bandı
ev	:	Elektro Volt
μs	:	Mikro Saniye
P	:	P Tipi (Pozitif Yarı İletken)
N	:	N Tipi (Negatif Yarı İletken)
P-N	:	P-N Eklemlı Diyot
E_{yap}	:	Yapısal Elektrik Alan
e.m.k	:	Elektro Motor Kuvveti
R_{sh}	:	Şönt Direnci
R_L	:	Yük Direnci
R_s	:	Güneş Pilinin İç Seri Direnci
JL	:	Yük Akım Yoğunluğu
J_{kd}	:	Kısa Devre Akım Yoğunluğu
J_f	:	Foto Akım Yoğunluğu
V_{ad}	:	Açık Devre Gerilimi
ET	:	Evapotranspirasyon
ET_o	:	İklimsel evapotranspirasyon (mm/ay)
K_c	:	Bitki katsayısı
K_r	:	Gelişim Katsayısı
R_d	:	Kullanılabilen Su Rezervi
PEL	:	Toprak Tarafından Kullanılabilir Değer

R_m	:	Topraktaki Su Rezervi
GIR	:	Günlük Su İhtiyacı
NIR	:	Sulama İhtiyacı
η_s	:	Verim
S_e	:	İki damlatıcı arası uzaklık (m)
q	:	Damlatıcının debisi (L/ h)
I	:	Birim zamanda toprağa giren su miktarı, su alma Hızı (mm/h)
S_p	:	Bitki Sıraları Arası Mesafe (m)
S_r	:	Bitki Sıraları Üzeri Mesafe (m)
LA	:	Boru Sayısı (Lateral)
A_w	:	Doygunluk, Toprak su tutma (mm/m),
D_{rz}	:	Ekin Kök Derinliği
MAD	:	Nemsizlik oranı
SA	:	Sulama aralığı
T_a	:	Sulama Süresi
h_f	:	Yük Kaybı
L_l	:	Lateral boru boyu
t	:	Sulama Süresi
Q	:	Sistem debisi
TDY	:	Toplam dinamik yükseklik
η	:	Pompa verimi
η_{mot}	:	Motor verimi
PPV	:	PV panel Gücü
η_{PV}	:	PV panel verimi
ISC	:	Kullanılan Panel Kısa devre akımı
PS	:	Kocaeli İli İçin En Uygun Panel Açısında Peak Saat (Haziran- Temmuz- Ağustos)
V_{NOM}	:	Kullanılan panel nominal voltajı
$Q_{akü}$	:	Kullanılan akü kapasitesi ve gerilimi
$V_{akü}$	:	Akü voltajı
V_{DC}	:	Sistem Voltajı
η_{Bat}	:	Akü verimi
DOD	:	Akü deşarj derinliği
KGG	:	Kapalı Geçen Gün Sayısı:
η_{inv}	:	Evirici verimi

$EBat$	:	Akülerin toplam enerji kapasitesi
EL	:	PV sistemden çekilecek ortalama günlük enerji
IL	:	Sistemden çekilen ortalama yük akımı
ηAC	:	Fotovoltaik sistem çıkış verimi
EAh	:	Sistem toplam akü kapasitesi
$Npakü$	:	Sistemde kullanılan paralel akü sayısı
ETc	:	Bitki su ihtiyacı
T	:	Hesaplanmış bitki su tüketimi
Ps	:	Biber için gölgelenen alan yüzdesi
P	:	Yağış
Pe	:	Etkili yağış
Ea	:	Yüzey damla sulama yöntemi için su uygulama Verimi
Ec	:	Basınç Kullanan Sulama Sistemlerinde Suyun İletim Verimi
dn	:	Net Su İhtiyacı
dt	:	Toplam Su İhtiyacı
S_w	:	Damlaticının suladığı alan

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1: Güneş Enerjisi Potansiyeli	19
Şekil 1.2: Dünya Genelinde Güneş Işınımını En Fazla Alan Bölgeler- Güneş Kuşağı.	21
Şekil 1.3: Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli [kWh/m ² -yıl]	21
Şekil 1.4: Kocaeli İlinin Güneş Haritası	23
Şekil 1.5: Kocaeli İlinin Radyasyon Değerleri	24
Şekil 2.1: Güneş Hücresi	28
Şekil 2.2: Fotovoltaik Eleman	29
Şekil 2.3: Elektron-Boşluk Çifti	31
Şekil 2.4: A- Bor (B) B- Fosfor (P) Katkılanmış Silisyum Atomu	32
Şekil 2.5: Homo eklemi Meydana Getiren, B- Hetero eklemi Meydana Getiren Yarıiletken Malzemelerin Bant Yapıları	33
Şekil 2.6: P-N tipi yarı iletkenler gösterimi ve. Güneş ışığı altındaki bir p-n eklemli diyotun çalışması (fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi).	34
Şekil 2.7: Fotovoltaik enerji dönüşümü ve. Fotovoltaik dönüşüm	34
Şekil 2.8: Fotovoltaik Güneş Hücrelerinin Çalışma Prensibi.	35
Şekil 2.9: P-N Eklemli Güneş Hücresinin Gösterimi	36
Şekil 2.10: Güneş Hücresinin Devresi Gösterimi	37
Şekil 2.11: İdeal Bir Fotovoltaik Güneş Pilinin Eşdeğer Devresi	38
Şekil 3.1: Damla sulama sistemi	42
Şekil 3.2: Damla sulama sistemi kontrol birimi elemanları	48
Şekil 3.3: Damla sulama sistemi dalgıç pompalar	48
Şekil 4.1: Güneş Enerjisi ile Çalışan Akıllı Sulama Sistemleri	50
Şekil 4.2: Güneş Enerjisi ile Çalışan Akıllı Sulama Sistemleri	50
Şekil 4.3: Güneş Enerjisi ile Çalışan Akıllı Sulama Sistemi Algoritması	51
Şekil 5.1: Güneş Panelleri Bağlantı Şekilleri	66
Şekil 5.2: Seçilen Güneş Panelleri Özellikleri	67
Şekil 5.3: Sistem Ekipmanlar	68
Şekil 5.4: LoRaWAN® Gateway	69
Şekil 5.5: TH Sıcaklık ve Nem Sensörü	70
Şekil 5.6: Motor Kontrol Cihazı	71
Şekil 5.7: Toprak Sensörü	72
Şekil 5.8: Dalgıç Pompa	73
Şekil 6.1: Web arayüzü tasarımı ve web arayüzü tasarımı arazi gösterimi	74
Şekil 6.2: Web arayüzü tasarımı panel & akü gösterimi ve web arayüzü tasarımı pompa durum gösterimi	74
Şekil 6.3: Web arayüzü tasarımı toprak nem durumu gösterimi ve web Arayüzü Tasarımı Su Deposu Durumu Gösterimi	75
Şekil 7.1: Sulama Sisteminin Matlab Simulink Modeli	76
Şekil 7.2: Panel Matlab Simulink Modeli	77
Şekil 7.3: İnverter Simulink Modeli	77
Şekil 7.4: DC Motor ve Pompa Simulink Modeli	78
Şekil 7.5: Pompa Simulink Modeli	78
Şekil 7.6: Pompa Debisi Eğrisi	79

Şekil 7.7:	Panel Işıma, Güç ve Çevirici Güç eğrisi	79
Şekil 7.8:	DC Motor Stator Akımı, Elektromotor Kuvveti, Hız, Elektromanyetik Tork Eğrileri	80
Şekil 8.1:	Devre Modeli	82
Şekil 8.2:	Devre Görselleri	82



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo:1.1: Türkiye'nin Aylara Göre Güneş Enerjisi Potansiyeli.	22
Tablo:1.2: Türkiye'nin bölgelerine göre güneş enerjisi potansiyeli.	23
Tablo:4.1: Sistem girdileri.	52
Tablo:4.2: Derinlik, pompa tip ve verim ilişkisi	54
Tablo:4.3: Kocaeli ili Gebze ilçesi B biber bitkisi 10 günlük sulama suyu ihtiyacı	58
Tablo:4.4: Tasarlanacak sistem verileri.	60
Tablo:5.1: LoraWan Özellikleri.	69
Tablo:5.2: LoraWan Sıcaklık ve Nem Sensörü özellikleri.	70
Tablo:5.3: LoraWan Motor Kontrol Cihazı özellikleri.	71
Tablo:5.4: Toprak Sensörü özellikleri.	72

1. GİRİŞ

Türkiye ekonomisinin büyük bir bölümü tarımsal faaliyetlerden oluşmaktadır. Tarımda kullanılan elektrik enerjisi ve harcanan su, günümüzde ülkemizde çok ciddi seviyelere ulaşmıştır. Devlet Su İşleri 2022 faaliyet raporuna göre ülkemiz su kaynaklarının %77' si sulama, geriye kalan %23'ü ise içme suyu ve endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Raporda sulama suyu oranının bu kadar yüksek olması sebebiyle verimli sistemlere geçilmesi ve kayıpların minimum düzeye düşürülmesi tavsiye edilmektedir. Bu sayede ülkede yetişen ekin çeşitliliğinin sağlanabileceği, enerji kayıplarının ve maliyet artışının önüne geçilebileceği ve ülke ekonomisine katkı sağlanabileceği vurgulanmaktadır [6]. Türkiye'de enerjinin önemli bir kısmı tarımsal sulamada harcanmaktadır. Günümüze kadar olan sulama sistemlerinde genellikle geleneksel enerji kaynakları olan benzin, mazot gibi fosil temelli yakıtlar kullanılmaktaydı. Günümüz modern teknolojisi yenilenebilir enerji kaynaklarının sulama faaliyetlerinde kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Güneş enerjisinin tarımsal sulamada kullanılması ilerde dünyada olabilecek bir enerji krizine karşı koruma sağlamaktadır. Türkiye'nin güneşlenme süresi de göz önünde bulundurulduğunda, özellikle tarımsal sulama alanında yenilebilir enerji kaynaklarından Güneş enerjisinin tercihi kullanıcılar için sürdürülebilir ve güvenilir bir kaynak yaratmaktadır. Geleneksel yakıtlardan enerji elde edilen alanlar için yenilebilir enerji kullanımı ekonomik rahatlık sağlayacak, olası enerji kesintilerinin sebep olduğu kayıpları en aza indirecek, ülkemizin dışa bağımlılığının azalmasına katkı sağlayacaktır.

Ürün ve arazi için uygun sulama yönteminin seçilmesi ve yenilebilir enerji tüketen bir sistem kurulması sulama ve enerji maliyetini azaltacak ve dolayısıyla toplam üretim maliyetini azaltacaktır. Aynı zamanda güneş enerjinin tarımsal sulamada kullanımı şebekeden uzakta bulunan, elektrik iletiminin zor ve maliyetli olduğu bölgeler için ekonomik ve güvenilir bir çözümdür. Kurulacak şebekeden bağımsız güneş enerjili sulama sistemleri bu bölgelere yeni elektrik şebekesi götürmenin yaratacağı yatırım maliyetini ve önemli bir bakım onarım gerektirmemesi sebebiyle işletme maliyetini ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca teknolojik ilerlemeye açık olan bu sistemlere günümüzde uzaktan izleyerek müdahale edilebilmektedir. Bu da çiftçinin yaşam

kalitesini arttırmakta, zaman kayıplarının önüne geçebilmekte ve aynı zamanda ekin kalitesini de arttırmaktadır.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Bu çalışma, özellikle ulaşımı ve sulanması zor ve engebeli olan araziler için verimli, sürdürülebilir ve tasarruf sağlayan bir sulama sistemi oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu tezde sürdürülebilir enerji ile çalışan, uzaktan izleme ve kontrol olanağı sunan akıllı bir tarımsal sulama sistemi tasarlanarak modellenmiştir. Bu sayede tasarlanan sistem inşa edilmeden en verimli hale getirilerek, hatalı kurulumun sebep olabileceği verim, zaman ve ekonomi kayıplarının önlenmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda bu tez ile daha sonra yapılacak araştırma çalışmalara kaynak oluşturmak, yol göstermek ve sistem kurulumu yapacak kişilere de kılavuzluk amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasının kapsamı:

Arazi koşulları için en uygun ve verimli sulama sisteminin seçilmesi ve araştırmanın sunulması,

Uzaktan kontrol ve izleme için mekanik ve elektronik parçaların seçimi,

Solar panel ve güç hesaplamasının yapılması,

Pompa ve su ihtiyacı hesaplaması yapılması,

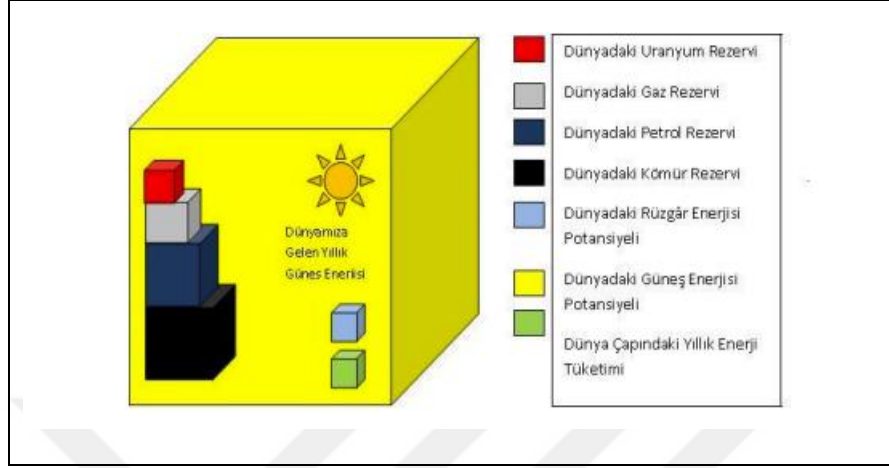
Sistemin Matlab-Simulink programında modellenmesi.

Tasarlanacak sistemin hem akademisyenlere hem de uygulamak isteyen kişilere yol gösterecek bir kılavuz olacağı düşünülmektedir. Bu tez ile yenilenebilir enerji ve tarım gibi kritik alanlar birleştirilmiş, fosil yakıt kullanımından kaçınarak ve tarımsal sulama kayıpları en aza indirilerek ekosisteme katkı sağlanmıştır. Aynı zamanda akıllı, verimli ve tasarruflu sulama yapabilen bir tarım sistemini hayata geçirebilmek amaçlanmıştır.

1.2. Güneş Enerjisi

Başlangıçtan süre gelen enerji kaynaklarını incelersek insanlığın kullandığı tüm enerji kaynaklarının temelini Güneş Enerjisine bağlı olduğunu görürüz. Aynı zamanda dünya üzerinde yaşamını sürdüren tüm canlıların hayat kaynağı da Güneş Enerjisidir. Güneş dünyanın yer ve atmosfer koşullarının oluşmasında en önemli etkidir. Dünya üzerinde kullanılabilir güneş enerjisi potansiyelini Şekil 1.1 de şematik olarak

görebilirsiniz. Güneş enerjisi dönüşümlerini de **Tablo 1.1**'deki gibi gösterebilmekteyiz.



Şekil 1.1: Güneş enerjisi potansiyeli [28].

Fotovoltaik bir sistem kurmak istediğimizde kurulum için önemli olan iki unsur vardır; sistemin kuracağımız bölgenin güneş ışınlamı ve güneşlenme süresi. Bu unsurlar doğrudan Güneş ile alakalıdır. Bu önemli parametreleri algılayabilmek için öncelikli olarak Güneş ve Güneş Enerjisinden bahsetmek gerekir.

Güneş, yapısında sürekli füzyon reaksiyonlarının gerçekleştiği bir yıldızdır. Güneşte bu füzyon reaksiyonları sırasında kütle enerjiye dönüşmektedir. Güneşin ısınımasını uzun yıllar daha sürdüreceği düşünülmektedir Güneşten dünyaya gelen güneş gücü, 178 trilyon kW düzeyindedir. Güneşten gelen bu büyük güç ise insanlığın şu an hali hazırda çalışmakta olan enerji santrallerinin toplam gücünün 61.000 katından, şu ana kadar dünyada belirlenmiş olan fosil yakıt rezervlerinden 160 kat ve hidroelektrik tesislerin üreteceği enerjiden 15.000 kat daha fazladır [26]. Bu büyük gücü ise çok tartışmalı bir enerji çeşidi olan nükleer enerji ile kıyaslarsak nükleer enerji santrallerinin ürettiği enerjinin 525.000 katı kadar büyük olduğu görülmektedir.

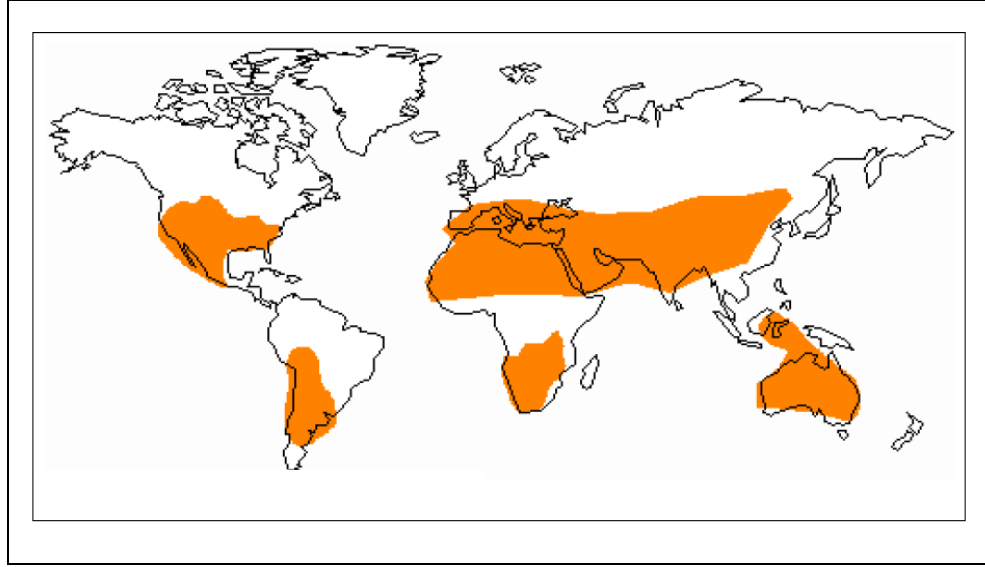
Güneş enerjisi günümüzde en fazla kullanıldığı alan güneş kolektörleri kullanılarak sıcak su elde edilmesidir. Düzlem kolektörler yardımıyla konut ve seraların ısıtılması düşük sıcaklık uygulamalarıdır. Sanayi için gerekli olan sıcak suyun temininde ise odaklı kolektörler kullanılmakta ve bu uygulamaya orta sıcaklık uygulaması adı verilmektedir. Odaklı kolektörlerde güneş ışınlamından sürekli olarak en yüksek

enerjiyi toplayabilmek için güneş takip sistemlerine gereksinim vardır. Yüksek sıcaklık uygulamalarında geniş bir alana gelen ışınlar odaklanır. Yüksek sıcaklık uygulamaları 300 C nin üzerindeki sıcaklıklarda çalıştırılabilmektedir. Bu şekilde metal ergitme fırınları çalıştırılabilmektedir. Güneş panelleri üzerlerine gelen güneş ışınımını elektrik enerjisine çevirirler. Işınımın elektrik enerjisine dönüşümünde doğru akım üretilir. Güneş panelleri seri ya da paralel bağlanarak üretilen akım ve gerilim değiştirilebilmektedir. Panellerde üretilen elektrik enerjisi akümülatörlerde depolanabilir [27].

1.3. Türkiye’ de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Enerji kaynağımız olan Güneşten Dünyaya yaklaşık olarak 170 milyar MW ışınım ulaşır. Güneşten dünyaya ulaşan enerji ülkemizde kurulu enerji santralleri ile üretilenin 1.700 katı kadardır [28]. DMI’ nin (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü) 1966-1982 yılları arasında güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri ölçümleri YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü) tarafından değerlendirilmiş ve şu değerler ortaya çıkmıştır: Türkiye’nin güneş ışınımı ortalaması 13011 kWh/m²-yıl, yıllık güneşten yararlanma süresi ise 2640 saattir. Günlük enerji 3,6 kWh/m², günlük güneşlenme süresi 7,2 saat, yıllık toplam güneşlenme süresi 110 gün olarak hesaplanmıştır [28].

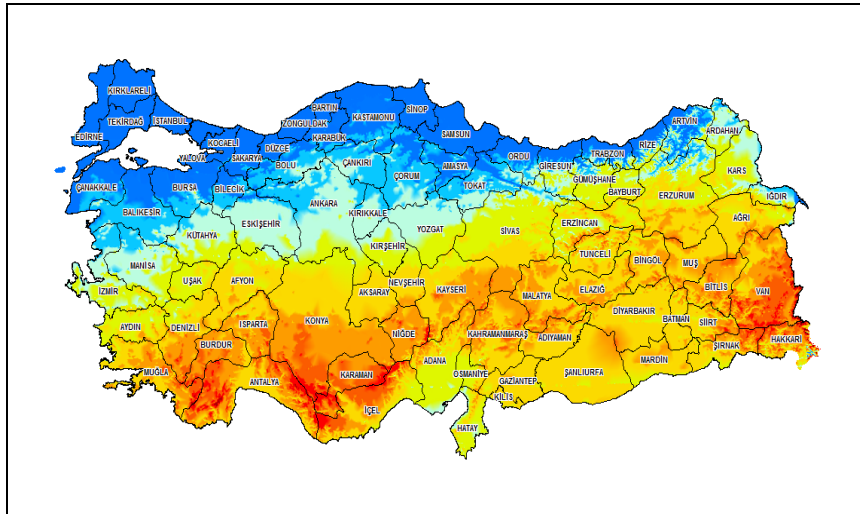
Türkiye bulunduğu konum sebebiyle güneş enerjisini aktif olarak kullanan pek çok ülkeye göre daha verimli bir konumdadır. Türkiye güneş kuşağında yer alan, konumu güneş enerjisinden yararlanmak için çok elverişli bir ülkedir. Güneş kuşağı şekil 1.2’de gösterilmiştir [30].



Şekil 1.2: Dünya Geneline Güneş Işınımını En Fazla Alan Bölgeler- Güneş Kuşağı [29].

YEGM’ nin yapmış olduğu çalışmalar göz önüne alındığında, bir yılda Güneşten elde edilebilecek elektrik enerjisi 3517 EJ olarak hesaplanmıştır. Başka ifade ile açıklarsak ülkemizin yıllık güneş enerjisi toplam 80 milyar TEP olup 80 milyar TEP, 115.5 TW’ a karşılık gelmektedir [30]. Türkiye’ye ulaşan güneş gücü hali hazırda ülkemizde var olan elektrik santrallerinin toplam gücünden çok daha fazladır.

Şekil 1.3 ‘de gösterilen Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) illerimizin güneşlenmesi hakkında fikir vermektedir [33].



Şekil 1.3: Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli. [kWh/m²-yıl] [33].

Tablo 1.1: Türkiye'nin Aylara Göre Güneş Enerjisi Potansiyeli [33].

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi
	(kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	(saat/ ay)
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	363
Ağustos	13,62	158,4	343
Eylül	10,6	123,28	280
Ekim	7,73	89,9	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
Toplam Ortalama	112,74	1311,16	2638
	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/ gün

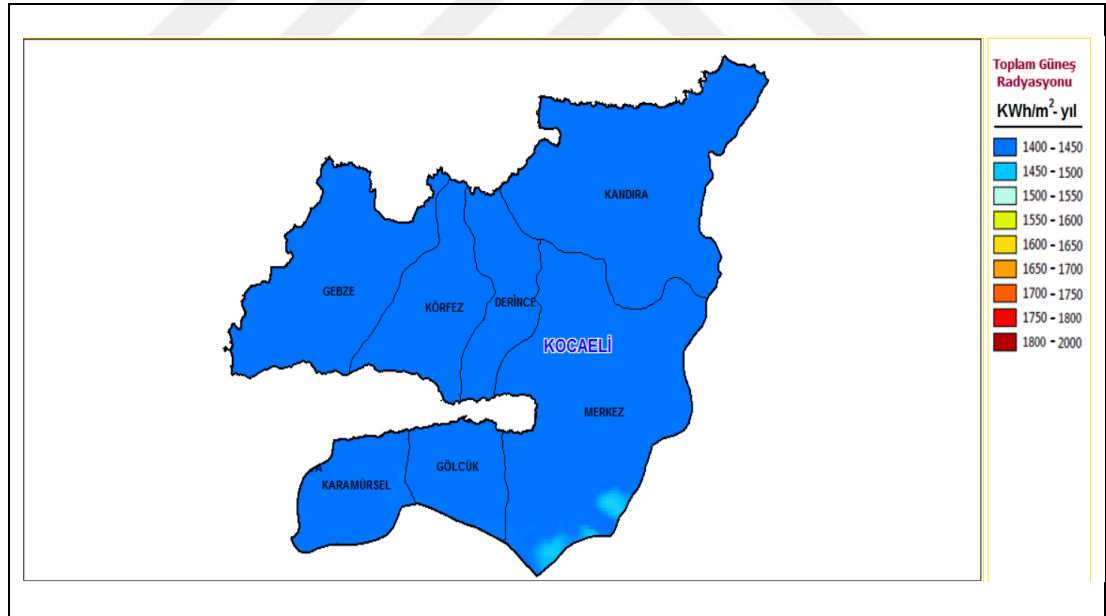
Haziran Ayı ülkemizde en çok güneş ışınlamından yararlanılabilen aydır. Aralık ayı ise güneş ışınlamından en az yararlanabildiğimiz aydır. En az güneş ışınlamına maruz kalan bölgesi Güneydoğu Anadolu, en fazla ışınlamaya maruz kala bölge ise Akdeniz sahilleridir.

Fotovoltaik sistemler için Doğu Karadeniz Bölgesi dışındaki kalan Türkiye'nin tüm bölgelerinin uygun olduğu bilinmektedir. Tablo 1,3'de Türkiye'nin enerji potansiyelini aylara göre göstermektedir

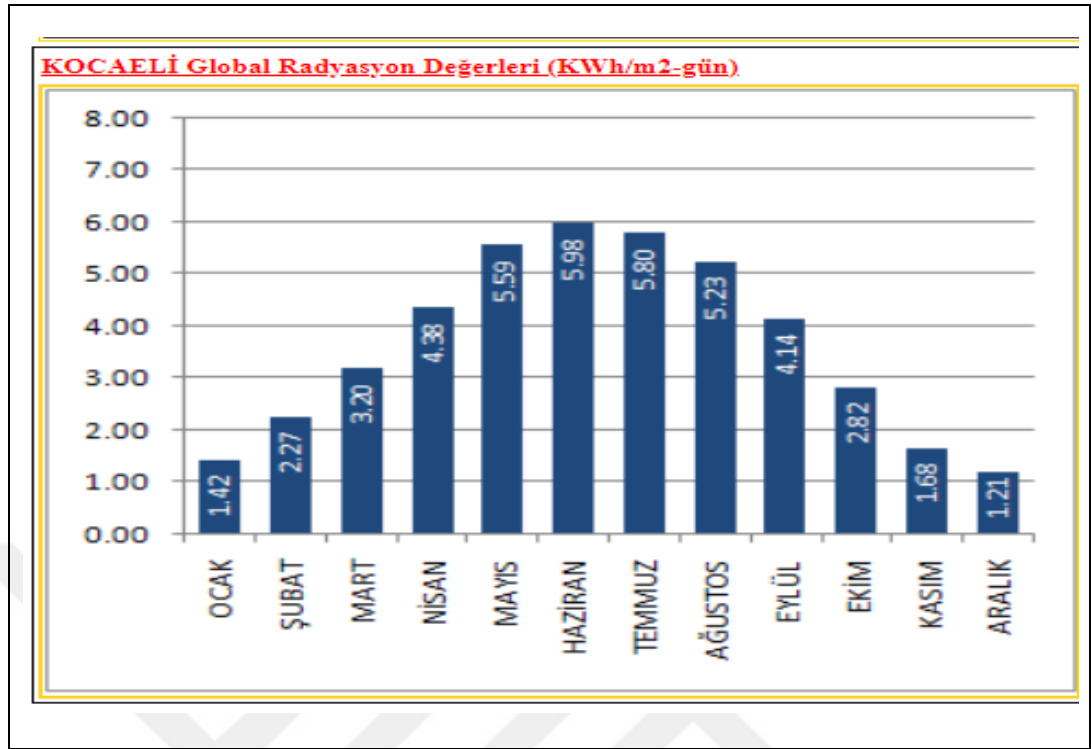
Tablo 1.2: Türkiye'nin bölgelerine göre güneş enerjisi potansiyeli [33].

Bölge	Toplam Ortalama Güneş Enerjisi	En Çok Güneş Enerjisi (Haziran)	En Az Güneş Enerjisi (Aralık)	Ortalama Güneşlenme Süresi
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628
Ege	1.304	1.723	420	2.738
Marmara	1.168	1.529	345	2.409
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971

Ayrıca fikir vermesi açısından Kocaeli'nin Güneş Haritası ve Güneşlenme Süresi ve Radyasyon Değerleri Şekil 1.4, 1.5 de verilmiştir.



Şekil 1.4: Kocaeli İlının Güneş Haritası [33].



Şekil 1.5: Kocaeli İlinin Radyasyon Değerleri [34].

1.4. Önceki Çalışmalar

Bu tezin araştırma aşamasında yararlanılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir.

Atay, Işıker ve Yeşilata (2009), tarafından yapılan çalışmada güneş enerjisi ile çalışan bir damla sulama sistemi geliştirilmiş, seçilen ürünün sulama gereksinimine göre arazi boyutlandırılmış ve ayrıca DC ve AC pompaların kıyaslanması yapılmıştır. [1]

Topuz, Erdoğan ve Taşkaya (2017), güneş enerjili bir sulama sistemi için tasarım ve modelleme yapılmıştır. Güneş enerjisi potansiyelinden yararlanabilmek için Niğde ilinde bir arazinin sulama sisteminin elektrik enerjisini karşılayacak şekilde teorik hesaplamalar yapılmış, en uygun pompa seçimi yapılmış ve Matlab programında modelleme gerçekleştirilmiştir. [2]

Yeşilata, Aydın ve Işıker (2009), tarafından yapılan çalışmada güneş enerjisinden yararlanan bir sulama sisteminin çalışması için gerekli parametreler incelenmiş ve güneş panellerinin çalışma parametrelerinin ve sulama suyunun arasındaki bağlantının doğrusal olmadığı olduğu ortaya konulmuştur. [4]

Aras (2006) Sulama yöntemlerinden damla sulama sistemi hakkında geniş bilgi iletilmiş, diğer yöntemler ile kıyaslama yapılmış, sulama yönteminin elemanları hakkında bilgi verilmiştir. Tasarımda yapılması gereken hususlar hakkında yapılan araştırmalar paylaşılmıştır. [5]

Peren, Kuyumcu, Türker (2020) Tarımsal sulama alanında kullanılacak güneş enerjisi sisteminin tasarım ve Matlab simulink programında modellenmesi yapılmıştır. Su gereksinimi, panellerin boyutlandırılması ve panel hesabı yapılmıştır. [7]

Çağlayan, Ertekin (2011), fotovoltaik enerji üzerine araştırmalar paylaşılmış, Tarımsal sulama alanına güneş enerjisi kullanımı ve tasarımı hakkında bilgi ve öneriler iletilmiştir. [8]

Idoko, Anaya-Lara, McDonald (2018), Güneş panellerinin verimliliği, güç çıkışı ve enerji kaybı güneş ışınlamına bağlı olarak değişmektedir. Multi- konsept soğutma tekniği 3 farklı soğutma çeşidi içermektedir. Alüminyum soğutucular ile, su ve hava ile soğutma. Verim ölçümü için 250 watt'lık iki güneş paneli 37 cm yüksekliğe yerleştirilmiş ve soğutma için bir oda oluşturulmuştur. Yüzey sıcaklığı su ile soğutma yöntemi ile 20 dereceye kadar düşmüştür. Modüllerden biri alüminyum soğutucular

ile soğutulurken, diğeri su püskürtme yöntemi ile soğutulmuş. Panel çıkış gücünün 20.96-watt olduğu ve enerji kaybının %3 azaldığı görülmüş. [35]

Sharma, Haque, Jaffery (2019), Çalışmada wireless sensör ağının güneş panelleri ile maksimize edilmeye çalışılmış. Bu amaçla simülasyon kurulmuş ve similasyon verileri yorumlanmış. [10]

Obaideen, Yousef, AlMallahi, Tan, Mahmoud, Jaber, Ramadan (2022) Akıllı sulama yöntemleri suyun efektif kullanımı için çok önemlidir. Tarım ve çiftçilik faaliyetlerinde IOT ve otomasyon kullanımı, tüm süreçleri çok daha etkili ve verimli hale getirmek için çok önemlidir. Akıllı sistemler ekinlerin daha iyi gelişimini sağlıyor ve çevre kirlenmesini önüyor ve kaynakları koruyor. IOT sistemlerinin tarımda kullanımının suyun kullanımının optimize edilmesine katkı sağladığı görülmüştür. Aynı zamanda sulama maliyetini de düşürmektedir. [12]

Hassanien, Li, Lin, (2015) Seralar için güneş enerjisinden yararlanan çevresel kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler ısıtma, soğutma ve elektrik enerjisini kontrol etmektedir. Bu amaçla solar kollektör ve sulama pompaları kullanan bir sistem geliştirilmiş, sistemin ekonomik analizi yapılmıştır. [9]

Işıker, Yeşilata, Bulut (2006) Fotovoltaik sistemlerin tasarımında eğim açısı ve yük direnci için optimum değerlere ulaşmanın mümkün olduğunu ve güneş paneli üzerindeki farklı noktalardaki sıcaklık dağılımını belirlemişler ve ölçüm yapılan noktalardaki sıcaklık farklarının 7-8 derece kadar olduğunu ortaya koymuşlardır. [5]

Al-Ali, Al Nabulsi, Mukhopadhyay, Awal, Fernandes, Ailabouni, (2019) Güneş enerjisinin elde edilen enerjinin kontrol edilmesi ve izlenmesi için IOT sistemlerinden yararlanılmıştır. Bu amaçla deney düzeneği kurulmuş, panel gücü takibi için ve wifi bağlantısı için FPGA kullanılmıştır. Sistem aynı zamanda toprak nemi, yer altı suyu seviyesi ve nem ve sıcaklık değerlerini de gösterecek şekilde hazırlanmış ve kullanıcının isteği üzerine mobil telefon ya da bilgisayardan erişim sağlayabilmektedir. Bu sistem dizayn edilmiş, kurulmuş ve test edilmiştir. [11]

Gorjiyan, Calise, Kant, Ahamed, Copertaro, Najafi, Zhang, Aghaei, Shamschiri, (2020), Seralar için solar termal sistemler üzerine bir çalışma yapılmıştır. Güneş takip sistemleri ve termal solar sistemler arasında mukayese yapılmış, termal kollektör kullanan güneş enerjisi sistemlerinin ısı ve enerjinin beraber kullanılması gereken

sistemlerde güneş kolektörleri kullanımının %29 verim artışı sağladığı görülmüştür. [44]

Abdolzadeh, Ameri (2008), güneş enerjisinden yararlanan su pompalama sistemlerinin performansının artırılması için bir araştırma yapılmıştır. Güneş panellerinin yüzeyine su sıkılmış ve performans gözlemlenmiş, geleneksel yöntemler ile mukayese edilmiştir. Bu yöntemin panel, alt sistemlerin performanslarını ve pompa akış hızını olumlu etkilediği gözlemlenmiş ve kısa devre akımının neredeyse sıcaklıktan bağımsız olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu yöntemin sistem performansını optimum düzeye çıkardığı belirlenmiştir. [45]

Krishna, Silver, Malende, Anuradha, (2017); Wireless ve IOT sistemleri kullanan robotlar tasarlanarak tarımsal alanlarda kullanılmıştır. Bu robotlar üzerlerine yerleştirilen sensörler sayesinde toprağın nemi, pH değerleri ölçülebilmekte ve aynı zamanda robot üzerindeki kamera modülü ile gerçek zamanlı çekim yaparak çiftçilere tarımsal alanın durumu hakkında bilgi iletebilmektedir. Bu amaçla tasarımı gerçekleştirilen robot hayata geçirilmiş ve deneyler yapılmıştır. [22]

Rajkumar, Abinaya, Kumar, (2017), Sensörler vasıtasıyla toprağın nemini ölçen bir sistem geliştirilmiş, bu sistem nem miktarına göre otomatik olarak açılıp kapanmakta ve kullanıcıların telefonuna sıcaklık, nem ve rutubet bilgilerini kullanıcılara mesaj olarak iletebilmektedir. [46]

Tseng, Cho, Wu (2016), Tarımsal alanlarda çevresel faktörlerin gözlemlenebilmesi için IOT çözümleri kullanılmıştır. Bu amaçla algoritma geliştirilmiş, çalışmanın fizibilitesi yapılmıştır. [47]

Fahmi, Sarkar, Mishra, Gulshan, (2020), Toprak neminin ölçülmesi ve buna istinaden sulama yapılması esasına dayanan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için GSM modül, mikro kontroller ve sensörler kullanılmıştır. Çalışma kullanıcının, tarımsal alanın durumu hakkındaki anlık bilgilerin mesaj olarak telefonuna ulaşmasını amaçlamaktadır. [19]

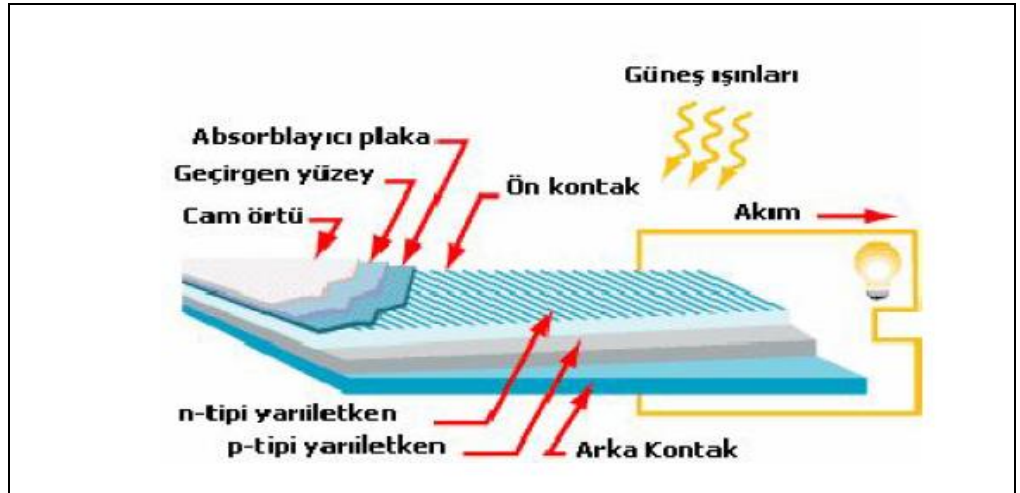
Frenjo, Wogasso, Rjesh, Muthiya, (2017), Bu çalışmada, güneş enerjili akıllı tarım ve pompalama sisteminin geliştirilmesi için küçük ölçekli bir tarım sahası belirlenmiş ve tasarlanmış ve deney yapılmıştır. [48]

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1. Güneş Hücresi Teknolojisine Giriş

Fotovoltaik hücre güneşten gelen ve soğurulan ışınımı elektriğe çevirmektedir. Güneş hücreleri genellikle yerleşime uzak noktalarda veya küçük alanlar için (trafik tabelaları, ışıkları gibi) kullanılan ekonomik ve güvenilir bir enerji üretim teknolojisidir. Günümüz dünyasının dikkatini son derece çekmiş bulunmaktadır. Ve her geçen gün teknik olarak gelişme ve ilerleme aşamasındadır. Bir fotovoltaik hücre binanızın çatı tasarımına eklendiğinde, binanın enerji ihtiyacını karşılayabilir aynı zamanda şebeke ile iki yönlü çalışabilir. Yani az enerji ürettiği zaman şebekeden enerji kullanabilir ve ihtiyaçtan fazla enerji ürettiği durumda ise şebekeye enerji transferi yapabilir.

Güneş Hücreleri ya da fotovoltaik hücrelerin üst yüzeyine gelen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken yapıları dönüştürücülerdir. Genel olarak dış yüzeylerinin kare, dikdörtgen veya daire şeklinde olabildiğini ve alanlarının 100 cm² ve kalınlıklarının da 0,2- 0,4 mm olduğunu söyleyebiliriz. [39]



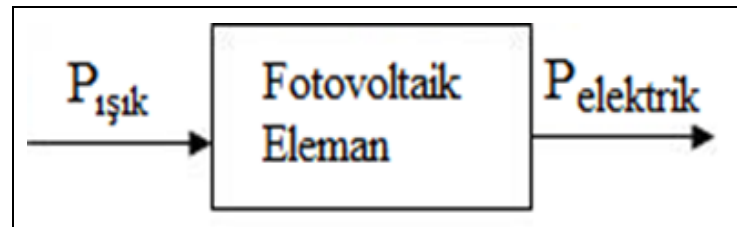
Şekil 2.1: Güneş Hücresi. [39].

Bir fotovoltaik güneş hücresinin yapısında en sık tercih edilen yarı iletkenler, Si (Silisyum), GaAs (Galyum Arsenik), (CdS) Kadmiyum Sülfür ve CdTe (kadmiyum tellür)' dir. Şekil 2.2 de güneş hücresinin yapısı verilmiştir.

Tek kristalli silisyum güneş hücresi yapısında en dıştan içe doğru cam örtü tabakası, geçirgen yüzey, absorblayıcı (ışınımı emen) tabaka, genellikle güneş hücresi tarafından elde edilen akımı toplayacak ön kontaklar yer almaktadır bu bakır tabaka negatif kontaklardır. Bu kontağın altında ise, fotonları yapısında tutabilme özelliği olan bir iç kaplama tabakası vardır. Bu iç kaplamanın olmaması silisyumun üzerine düşen fotonların büyük bir kısmını yansıtacağı anlamına gelmektedir. Bu kısım, güneş hücresi yüzeyinden ışınlamaların yansımalarını önler. Güneş ışınlarının emildiği yapının altında ise elektrik akımı meydana gelir. Burası iki ayrı tabakadır. İki ayrı yarıiletkenler demek daha doğru bir deyiş olsa gerek. N tipi yarı iletken, silisyuma fosfor atomları katkılanmış bir yarı iletkenlerdir. Bu yarı iletken, silisyum kristaline elektron verdiği için negatif yüklenmiştir ve güneş hücresinin negatif kısmını meydana getirir. P tipi yarı iletken, ise silisyuma bor atomları katkılanmış bir yarı iletkenlerdir. Bu yarı iletken ise bir elektronunu silisyum kristaline verdiği için pozitif yüklenmiş bir yarıiletken olup güneş hücresinin pozitif kısmını meydana getirir. Bu pozitif ve negatif yarı iletkenler arasında yani P-N yarı iletkenleri arasında bu yarı iletkenlerin birleştiği bir nokta bulunur bu noktaya deplasyon bölgesi denilmektedir. Elektron transferinin olduğu yer burasıdır. [6].

2.2. Fotovoltaik Dönüşüm, Güneş Pilleri

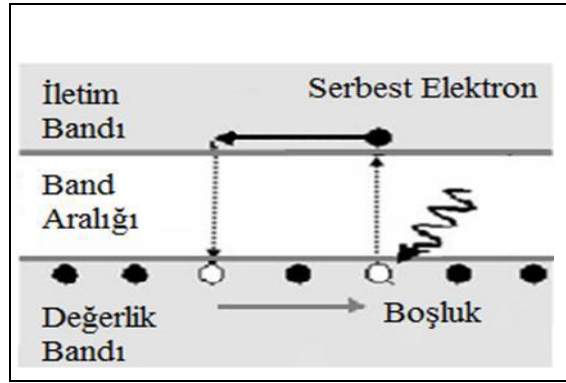
Fotovoltaik (photovoltaic) denildiğinde, ışık yardımı ile elektrik meydana getiren eleman olarak tanım yapılmaktadır. Ve genellikle "PV" ile gösterilir. Güneşten gelen güneş ışığının taşıdığı enerjiyi, fotovoltaik olaylardan yararlanarak doğru akıma dönüştüren dönüştürücülere fotovoltaik eleman adı verilir. [9]



Şekil 2.2: Fotovoltaik eleman [40].

Fotovoltaik eleman için diyottur denilebilir. Fotovoltaik etki ile güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren yapılara fotovoltaik eleman adı verilir. Aynı zamanda bu

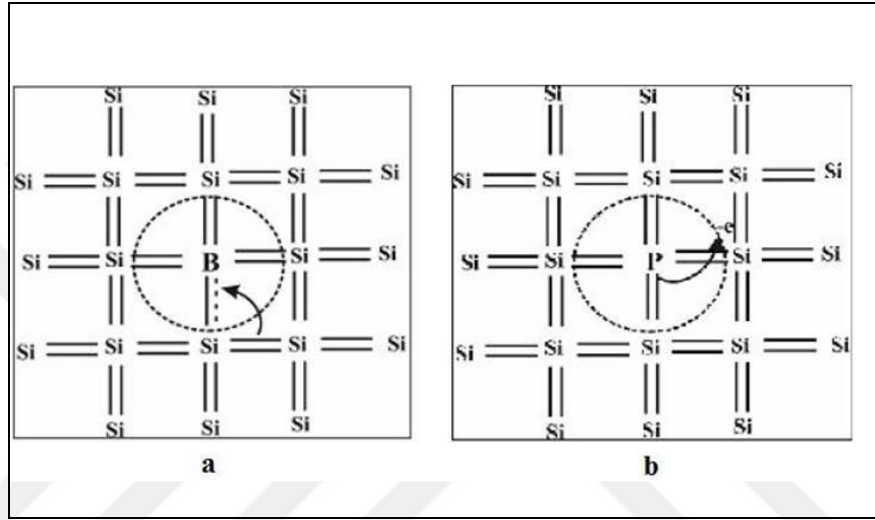
yapı her türlü ışık altında çalışabilen dönüştürücülerdir. Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da iç yapısı belirtilen fotovoltaik elemanlar için yaygın olarak güneş hücresi terimleri kullanılmaktadır. Fotovoltaik etki prensibinin temelinde yarı iletkenler vardır. Yarı iletkenlere verilebilecek en iyi örnek silisyumdur. IV. Grup elementi olan silisyumun atomları kristal yapıdadır ve bu atoma elektron katkılama ve elektron koparma son derece kolaydır. Silisyum atomunun kristal yapısı son yörüngesinde bulunan dört değerlik elektronunun (valans elektron) birbirleri ile yaptıkları kovalent bağ ile meydana gelen bir yapıdır. Bu valans elektronların enerji seviyeleri değerlik elektron bandını meydana getirmektedir. Değerlik elektron bandının en üst enerji seviyesi E_v ile gösterilir ve bu valans elektronların bulabileceği enerji bandı iletkenlik bandı adını alır. E_v seviyesinin (iletkenlik bandı) altındaki enerji seviyesi ise E_c , olarak ifade edilir. E_v ve E_c enerji seviyeleri arasında kalan bölgede serbest taşıyıcılarının bulunamadığı bölgeye yasak enerji bandı denilmektedir ve E_g ile ifade edilmektedir. E_v ve E_c , E_g aralığı ile birbirinden ayrılmaktadır. E_g bandının genişliği yani iletkenlik bandı ile değerlik elektron bandının birbirine yakınlığı maddelerin yarı iletkenliğini veya yalıtkanlığını ifade eder. Genel olarak E_g (yasak bant aralığı) 3 eV' dan büyük olan maddelere yalıtkan maddelerdir denilebilir. Şekil 2.3' de görüldüğü gibi fotonların enerjisi, E_g ' ye (yasak bant enerjisine) eşit ya da daha büyük ise, değerlik bandındaki bir elektrona enerjisini vererek bu elektronun E_v (iletkenlik bandı) seviyesine çıkmasını sağlar. Elektron bulunduğu atomdan hareket edeceğinden dolayı bu hareket ettiği atom pozitif yüklenecektir. Değerlik elektronunu vererek pozitif yüklenen kristaldeki elektron eksikliğine "boşluk" ya da hol adı verilir. Bu yarıiletkenlerin üzerine gelen fotonun enerjisi, E_g ' ye (yasak bant enerjisine) eşit ya da yüksek olduğunda, bir elektron-hol çifti meydana gelir. Gelen fotonun enerjisi E_g ' den (yasak bant enerjisinden) daha düşük enerjiye sahip ise elektron-boşluk çifti yaratmaya yeterli gelmeyeceğinden fotovoltaik dönüşüme herhangi katkıları yoktur.



Şekil 2.3: Elektron-boşluk çifti [40].

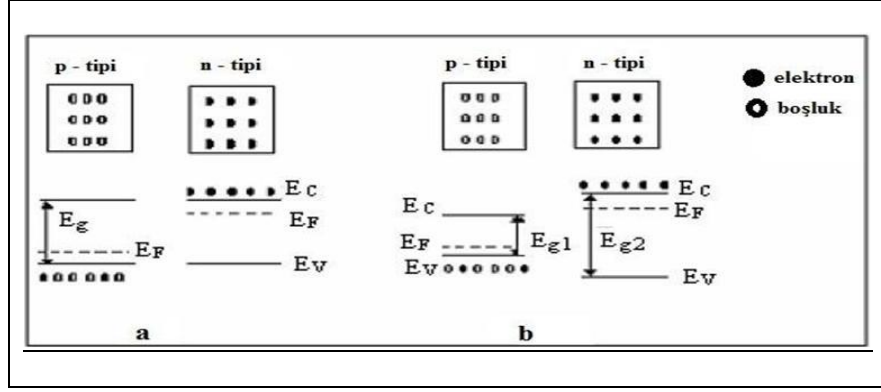
İletkenlik bandına ulaşan elektronlar, burada çok kısa (μs) bir süre kalırlar ve değerlik bandına geri dönerler. Elektronların bu hareketleri ile E_c (iletkenlik bandı) bulundukları zaman “ömür süresi” olarak adlandırılmaktadır. Güneş hücrelerinde elektrik akımının oluşabilmesi için, elektron-boşluk (hol) çiftlerinin birbirlerinden ayrılması gerekmektedir. Bu ayrışma, yarı iletkenlerin iletkenlik özelliklerinin farklılıklarından yararlanarak iki yarı iletken arasındaki band aralığında meydana gelen elektrik alan ile gerçekleşir. Yarıiletken tercih edilmesinin en önemli sebebi yarı iletkenlerin bu gibi yöntemler ile iletkenlik ya da yalıtkanlığın dış etkilere ile değiştirilebilir oluşudur. Malzemelerin bu şekilde birbiri ile birleştirilerek elektriksel özelliklerinin değişmesi olayına “katkılama” denilir. Yarıiletken katkılanan atomlar ya elektron verici (donör) ya da elektron kabul edici (akseptör) olarak çalışmaktadır. Silisyuma, periyodik cetvelin 5. grup elementi olan fosfor gibi son yörüngesinde beş elektron bulunduran atomlar katkıldığında aşağıdaki şekilde b kısmında da görüleceği gibi katkılanan atomun dört değerlik elektronu ve silisyum bir bağ oluşturacaktır. Katkılanan atom, (burada katkılanan atom fosfor elementi) son yörüngesindeki elektron zayıf bir bağ yapar ancak yine de yaptığı bu bağdan dolayı düşük miktarda da olsa bir ısı enerjisi meydana gelir. Bu zayıf bağ ve enerji sayesinde kararsız olan bu atom bir üst seviye olan E_v (iletkenlik bandı) seviyesine geçebilir olacaktır. Böylelikle silisyum saf yarıiletken özelliğini kaybeder, bünyesine elektron alır. Böylece fazlalık yük taşııcısı hale gelen, yani elektron kazanan yarıiletkenler n-tipi yarıiletkenler olarak ifade edilir. Benzer şekilde yine silisyum elementine bu sefer periyodik cetvelin 3. grup elementlerinden olan bor indiyum gibi atomlar katkıldığında, katkı atomunun yani (burada katkı atomu bor elementi) son

yörüngesindeki üç valans elektronu aşağıdaki şekilde a kısmında da görüleceği üzere silisyum atomunun üç elektronu ile bağ yapacak, bor atomu dördüncü bağı yapabilmek için ise en yakın komşu atomdan bir elektron alarak, geride yani silisyum kristalinde bir boşluk bırakacaktır. Böylece kristal yani silisyum saflığını kaybedecek ve pozitif yükü yani boşlukları bünyesinde taşıyacaktır. Katkılanarak elektriksel özelliği bu yönde değiştirilen yarıiletkenler p-tipi yarıiletken olarak ifade edilir.



Şekil 2.4: a: Bor (B) b: Fosfor (P) katkılanmış silisyum atomu [40].

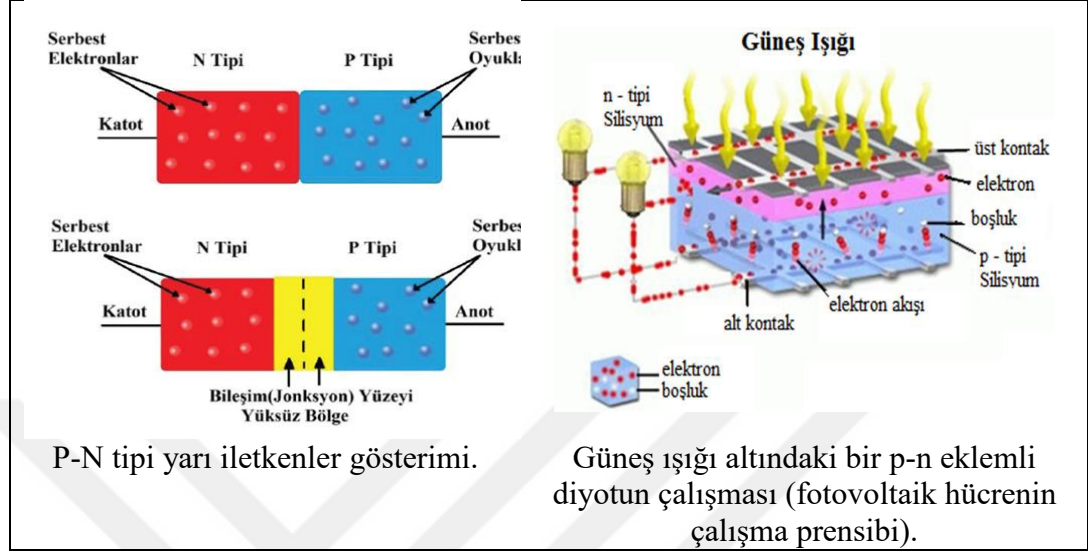
P tipi yarı iletkenler yani çoğunluk yük taşıyıcısı boşluk olan yarı iletkenler ile N tipi yarı iletkenlerin yani çoğunluk yük taşıyıcıları elektron olan yarıiletkenlerin kristale katkılanarak birleşimi ile oluşan p-n eklemli diyotlar, homoeklem (homojunction) veya heteroeklem (heterojunction) olmak üzere ayrılır. Aynı tür yarıiletken malzemeler aynı bant aralığına sahip olacaklarından bu yapıların birleşmesi ile oluşan elemanlar homoeklem, farklı türdeki yarıiletken malzemelerin de aynı mantıkla birbirlerinden farklı bant aralıklarına sahip olacağını düşünürsek bunların birleşmesi ile oluşan elemanlar ise heteroeklem olarak isimlendirilir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi heteroeklem yapılarıdaki malzemelerin farklı bant aralıkları ve dolayısı ile de farklı enerji aralıkları vardır bu şekilde bir araya gelen eklem ara yüzeyinde süreksizlikler meydana gelmektedir. Homoeklem elemanlarda bant aralığı ve dolayısı ile enerji aralıkları birbirlerine benzer olduğundan dolayı bu süreksizlikler meydana gelmez.



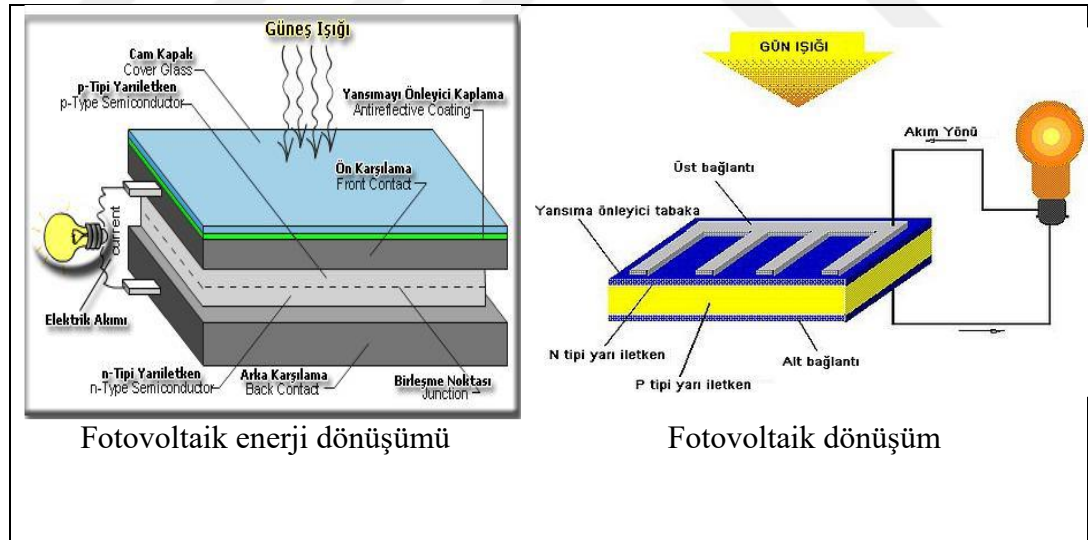
Şekil 2.5: a:Homo eklemi meydana getiren, b: Hetero eklemi meydana getiren yarıiletken malzemelerin bant yapıları [40].

Genellikle kullanılmakta olan fotovoltaik güneş hücreleri tek bant aralığı içeren p-n eklemli yarıiletkenlerden oluşmaktadır. Bir fotovoltaik hücre güneş ışınlarını aldığı anda, gelen fotonların enerjisi E_g 'den, enerjisi az ise bu fotonlar, güneş ışınlarının fotovoltaik dönüşümüne yardımcı olamazlar. Yasak enerji bandı seviyesine denk bir enerjiye sahip fotonlar serbest bir elektrik akımı oluştururlar. Güneş hücresinde fotonlar p-n eklemden yarıiletkenler tarafından soğurularak değerlik elektron bandından E_V 'ye (iletkenlik bandına) ilerlerler. Bu şekilde elektron-boşluk çifti oluşur. P-n ekleminde, akımı meydana getiren yük taşıyıcıların konsantrasyonlarındaki değişimdir. Akımı meydana getiren aslında bu konsantrasyon farkından kaynaklanan elektron hareketidir. P tipi bölgede foton soğurulması sonucu yarı iletkenin elektron vermesi sebebi ile bir fazlalık oluşur. P tipi yarıiletkende bulunan boşluk-hol sayısı, içerisindeki elektronlardan daha fazladır. N tipi yarıiletkende de bulunan elektron sayısı boşluk sayısından daha fazladır. Katkılanan yarı iletkeneler gördüğümüz gibi boşluk veya elektronları yapılarında daha fazla veya az bulundurma eğilimindedirler. Yarı iletkenin yapısında bulunan bu fazla boşluk ve elektronlara "Çoğunluk Taşıyıcılar", az boşluk ve elektronlara ise "Azınlık Taşıyıcılar" denilmektedir. Azınlık yük taşıyıcısı elektron (yapısında az olarak boşluk ve elektron bulunduran elektron), deplasyon bölgesinde bulunan yüksek bir elektrik alan nedeniyle, çoğunluk yük taşıyıcısı elektron olan (yapısında fazla olarak boşluk ve elektron bulunduran elektron) bölgeye hareket eder. Dolayısı ile deplasyon bölgesi içerisinde bir azınlık yük taşıyıcısı çoğunluk yük taşıyıcı bölgeye doğru sürüklenir. Fotovoltaik hücre modülünün n ve p tipi tabakalarına iletken noktalar yapılır ve fotonların emilimi ile

meydana gelen azınlık yük taşıyıcıları iletken noktalar vasıtasıyla devre içinde taşınırlar. [40]



Şekil 2.6 : P-N tipi yarı iletkenler gösterimi ve. Güneş ışığı altındaki bir p-n eklemli diyotun çalışması (fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi) [40].

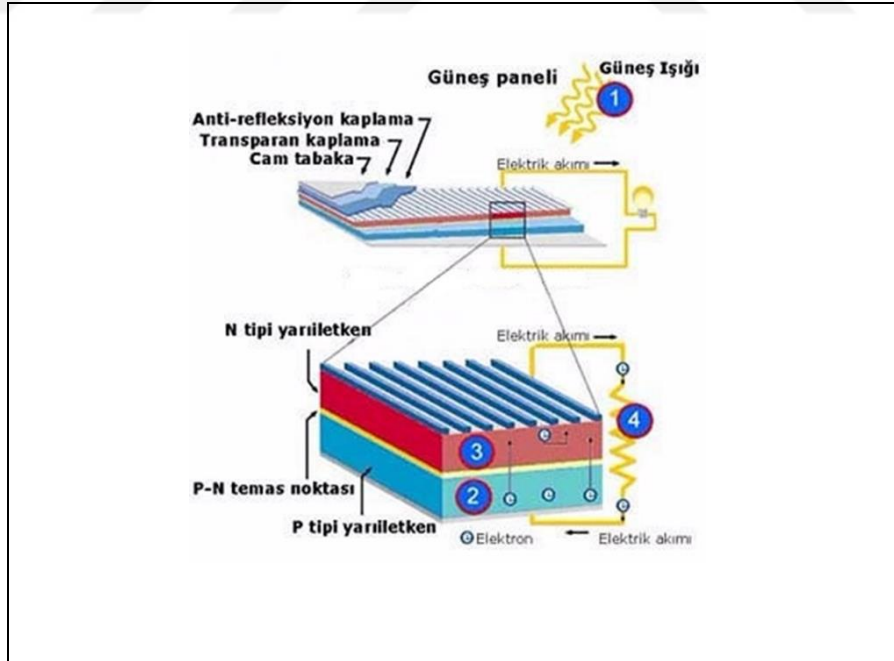


Şekil 2.7: Fotovoltaik enerji dönüşümü ve. Fotovoltaik dönüşüm [41].

2.3. Fotovoltaik Güneş Hücrelerinin Çalışma İlkesi

Fotovoltaik güneş hücreleri; yüzeyine gelen güneş ışığını, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen dönüştürücülerdir. Yarı iletkenlerin yapısını oluşturan malzemeler ve bu malzemelerin katkılanma şekilleri, diyotların çalışma prensipleri ile örtüşmekte olup fotovoltaik enerji dönüşümüne dayanmaktadır. Fotovoltaik dönüşümünde kullanılacak yarıiletken, güneş ışığını absorbe eden bir yarı iletken ve E_g aralığı güneş spektrumuna uygun göre çalışacak ve elektrik yüklerinin ayrılmasını sağlayabilecek bir uzunlukta E_g genişliğine sahip olarak seçilmelidir. [41]

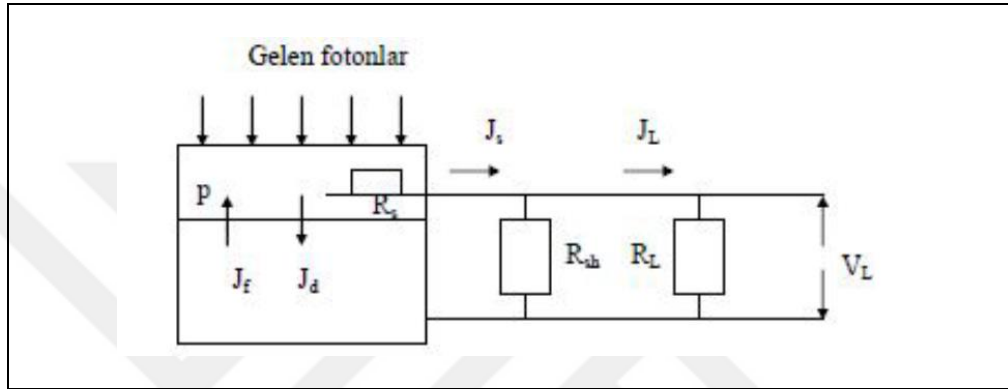
Fotovoltaik olay, fotovoltaik dönüşüm, iki aşamada gerçekleşir. Elektron-boşluk çiftinin meydana gelmesi ve ayrılması. Fotovoltaik bir güneş hücresi; uygun bir yarıiletkende katkılama yapılarak n-tipi ve p-tipi bölgeler meydana getirilerek yapılır. Bu n-tipi ve p-tipi yarı iletken bölgelerinin deplasyon kısmında, elektrik alan meydana gelir. Deplasyon bölgesinde meydana gelen elektrik alan, yapısal elektrik alan (Eyap) adını alır. P-N tipi eklemün güneş hücresi gibi çalışabilmesi için bu bölgede fotovoltaik dönüşümün olması gereklidir.



Şekil 2.8: Fotovoltaik Güneş Hücrelerinin Çalışma Prensibi [43].

2.3.1. Fotovoltaik Güneş Hücrelerinin Elektriksel Özellikleri

Fotovoltaik güneş hücreleri; hücre yüzeyince emilen fotonların meydana getireceği akımı, iletecek büyük bir diyot gibi davranır. Aşağıda yer alan şekilde de gösterilen foton emilimi ile birlikte eklemde, elektron-boşluk fazlalıkları meydana gelir. P-N eklemdeki elektronlar difüzyon ve P-N tipi eklem bölgesinde oluşan elektrik alanının sebebi ile hareket ederler ve bir fotoakım oluşur. [41]

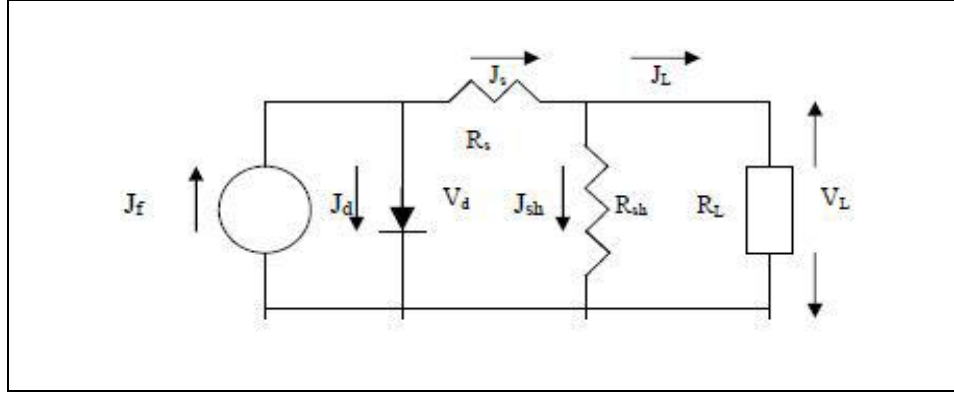


Şekil 2.9: P-N Eklemlili Güneş Hücresinin Gösterimi [41].

2.3.2. Fotovoltaik Güneş Hücresinin Eşdeğer Devresi

Fotovoltaik güneş hücresinde fotonların akımını geçiren bir diyot bulunur bu diyotun uçları arasında, gerilim oluşur. (Potansiyel farkı) ve elektrostatik elektromotor kuvveti (e.m.k) olarak ifade edilir. Bu değer silisyum güneş hücreleri için 0.5 volt, germanyumdan yapılmış güneş hücreleri için ise yaklaşık 1 volt düzeyindedir.

Aşağıda yer alan şekilde güneş hücresinin devresi gösterilmiştir. Gösterimdeki R_s güneş hücresinin iç seri direnci, R_{sh} şönt direncini, R_L yük direncini, J_L ise yük direnci içinden geçen akım yoğunluklarını ifade eder.



Şekil 2.10: Güneş Hücresinin Devresi Gösterimi [41].

Güneş hücresi üzerinden geçen akımın sıfır olduğu durumda yani açık devre gerilimi durumunda ölçülen potansiyel farkı sıfırdır.

Pilin kısa devre akımı, üzerinde gerilim olmadığı ve ışık altında pilden geçen akımdır. Bu akımın şiddeti, seri direnç etkilerinin ihmal edildiği ideal durumda ışığın meydana getirdiği akıma eşit olup, ışıma şiddetine bağlıdır. İdeal bir güneş hücresi düşünecek olursak, $R_s=0$ ve $R_{sh}=\infty$ olduğu kabul edilir. Bu durumda hücrenin kısa devre şartı altında, ($V_d=0$) olması halinde; pilin kısa devre akım yoğunluğu (J_{kd}) ve fotoakım yoğunluğu (J_f) birbirine eşit olur. Yani;

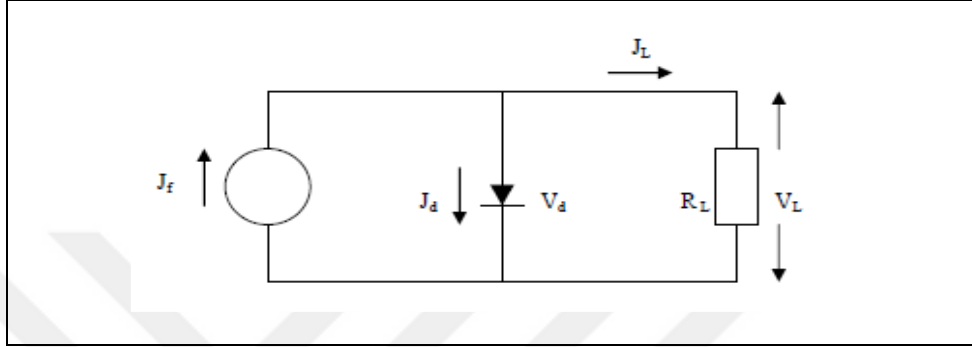
$$J_{kd} = J_f \quad (2,1)$$

Olur. Açık devre şartı altında, yük direnci sonsuz olacağından ($R_L = \infty$) için güneş hücresi içerisinde geçen toplam akım sıfır olacaktır; $J(\lambda) = 0$ alındığında, açık devre gerilimi V_{ad} için,

$$V_{ad} = \left(\frac{A_0 k T}{e} \right) \ln \left(1 + \frac{j_f}{j_0} \right) \quad (2.2)$$

Bağıntısı bulunur. Burada A_0 , p-n eklemının ideal olma faktörüdür, J_0 ise karanlık doyum akım yoğunluğunu ifade eder. Düzgün olmayan bir eklem bölgesi, kristalin yapısında bulunan ve istenmeyen safsızlıklar, kristaldeki boşluklar, J_0 akım

yoğunluğunun artmasına sebep olur. Güneş hücresinin açık devre voltajı fotovoltaik elektromotor kuvvetine (e.m.k) eşittir. Fotovoltaik emk, yarıiletken malzemenin yasak enerji bant aralığının ve şönt direnci ile doğru orantılı olarak artar; J_0 akım yoğunluğunun ve sıcaklığın artması ile de ters orantılı olarak azalır. İdeal bir fotovoltaik güneş pilinin eşdeğer devresi Şekil 2.13. 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11: İdeal Bir Fotovoltaik Güneş Pilinin Eşdeğer Devresi. [41].

2.4. Off Grid ve On Grid Sistemler

2.4.1. On Grid Sistemler

On grid sistemler güneş enerjisi sisteminin doğrudan şebeke ile bağlantılı olduğu sistemlerdir. Bu sistemler enerjinin üretim ve tüketim bölgesinin aynı olabileceği yerlerde kullanılır. Sistem doğrudan elektrik şebekesine bağlantılı olup herhangi bir enerji depolama bileşenine ihtiyaç duyulmamaktadır. Sistem enerjinin fazlasını merkezi şebekeye vererek aynı zamanda enerji ticareti yapabilmektedir.

Şebekeye direkt bağlantılı güneş enerjisi sistemlerinde enerjinin depolanması için aküler kullanılmadığından kurulumda bu maliyet söz konusu değildir. Enerji üretildiği yerde tüketildiğinden enerji kayıpları çok azdır. Enerjinin fazlası şebekeye verilebileceği gibi üretimin yetersiz olması durumunda şebekeden enerji alınabilmektedir. Kurulum yapılacak alana göre tasarım imkânı sunmaktadır. Kurulu güç istenilirse değiştirilebilir. [37]

2.4.2. Off Grid Sistemler

Elektrik şebekesinden uzak ve şebekenin kurulumunun çok maliyetli olduğu yerlerde kurulan sistemlerdir. Bu sistemler enerjinin depolanabilmesi için akü içerirler. Bu sistemler sistemin enerji ihtiyacının hesaplanması ile kurulur, kurulumu kısa ve ihtiyaca göre arttırılabilir. Kurulacak sistem için günlük enerji tüketimi bilinmeli, fizibilite yapılmalı, iklim şartları göz önünde bulundurulmalı, uygun kesitte kablo kullanılmalı, seçilecek akü ve invertörler hesaplanan ihtiyaca göre seçilmelidir. [38]



3. SULAMA SİSTEMLERİ

Dünya'nın nüfus artışı ve küresel ısınma ile birlikte su kaynakları her geçen gün daha da azalmakta ve Dünya kuraklık riski ile karşı karşıya kalmaktadır. Su hayat kaynağımız olmasının yanı sıra gıda zincirinde de önemli bir yere sahiptir. Tüm bu nedenler su kaynaklarının doğru kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Devlet Su İşleri 2022 faaliyet raporunda suyun %77'sinin tarım alanlarının sulanmasında, %23'nün içme suyu ihtiyacı ve diğer ihtiyaçlar için kullanıldığını bildirilmektedir. Raporda, sulama suyunun oranının bu kadar yüksek olması sebebi ile özellikle modern ve verimli sistemlere geçilmesi ve kayıpların minimum düzeye düşürülmesi tavsiye edilmektedir. Damla sulama sisteminin sulama sistemi olarak kullanılmasının verimi %65 oranında arttırdığı bildirilmektedir. [6]

Tarımsal sulamada verimi sağlayabilmek için en uygun sulama yöntemi seçilmelidir. Günümüzde daha ekonomik, toprağın yapısında tuzluluk sorunu yaratmayacak ve verimliliği arttıracak yöntem kullanımı önem arz etmektedir. Yöntemin belirlenmesi için gerekli parametreler:

Sulama yapılacak toprağın özellikleri;

Sulama yapılacak suyun miktar ve kalitesi,

İklim,

Tarımsal alanda yetiştirilecek bitki ve özellikleri,

Su kaynağının araziye uzaklığı,

Su kısıtı,

Maliyet,

Toprağın kalitesi, derinlik ve taban suyu, tuzluluk oranı, taşlılık,

Arazinin eğimi, Erozyon

Rüzgâr, Sıcaklık, Bağlı Nem, Güneşlenme ve Don tehlikesi, [50]- [51]

3.1. Sulama Çeşitleri

Pek çok farklı sulama sistemi vardır ancak hangi yöntem kullanılacak olursa olsun, sulanacak alan için en uygun olan seçilmelidir. Bu şekilde yüzey kayıplarının ve derine sızma sorunlarının önüne geçilebilir.[49]

Sulama eşitleri yüzeysel ve basınçtan yararlanılan temel yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Yüzeysel sulama yöntemleri; salma, uzun tava, gölgelendirme, karıl sulama olarak ayrılır. Basınçlı sulama yöntemleri ise sıçratarak, yağmurlama ve damla sulama yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır.[54]

Yüzey sulama yöntemleri; arazi yapısından yararlanılarak (eğim vs.) yapılan sulama şeklidir. Bu yöntem pasif bir sulama yöntemi olduğundan enerji ve basınç gerektirmez.

Basınçlı sulama yöntemleri ise arazinin yapısından yararlanılarak elde edilen bir enerji ve gten yararlanılarak sulama yapılan yöntemlerdir.

Yüzey altı sulamada ise kılcallıktan yararlanılarak sulama yapılmaktadır. (Su molekülleri arasındaki çekimden yararlanılarak) [54]

3.2. Damla Sulama Sistemi

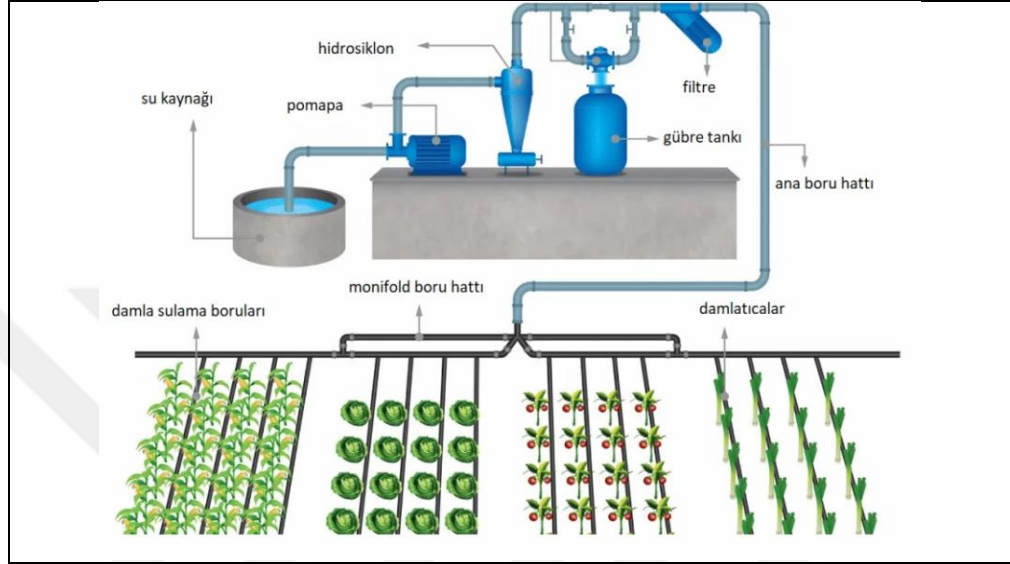
Son yıllarda hem enerji hem de su tasarrufu sağlayan sulama sistemlerinin kullanılması enerji ve su sıkıntısı yağayan Dünyamız için çok büyük önem arz etmektedir. Damla sulama yöntemi bu iki önemli parametreyi de karşılamakta ve sebze, meyve yetiştiriciliğinde en verimli yöntemdir.

Bu yöntemin temel amacı, bitki köklerinde herhangi bir gerilim oluşturmadan az ve sıklıkla bitki köklerine su vermektir. Saf su basınçlı borular vasıtasıyla, köklere yakın olarak konumlandırılan damlatıcılara verilir. Bu yöntem ile tüm arazi sulanmaz. Su kayıplarının önüne geçen ve diğer yöntemler ile mukayese edildiğinde verimli bir sistemdir. Kayıplar minimize edildiğinde verim %70-95 arası değişmektedir.[52]

Damla sulama sisteminde su, içerisinde bulunması istenmeyen partiküllerden temizlenir ve damlatıcılara bu şekilde verilir. Bu suyun basıncı ve debisi azaltılmıştır. Su damlatıcıdan bitkinin kök kısmına verilir ve burada yer çekimi ve aynı zamanda kapılar kuvvetinin etkisi ile hareket eder. Damla sulamada temel amaç bitki için gerekli gübre gibi ihtiyaçlarını sulama ile vermek ekstra sulama gereksinimi yaratmadan ürün yetiştirebilmeye yardımcı olmaktır. Az ve sık olarak sulama yapılmakla birlikte, debi 2-15 L/h arasındadır.[55]

Buharlaşma, toprak ve iklim koşullarına bağlı olarak değişir. Toprakta su eksikliği olması ürün yetişmesinde olumsuz etki meydana getirmektedir. Terleme ve buharlaşma toplamına evapotranspirasyon denilmekle ve ET ile gösterilmektedir. Su

ihtiyacının belirlenmesinde önemli bir role sahip olup yağışlar ile ET ihtiyacının karşılanması gerekmektedir. Dolayısı ile ekinlerin seçilmesinde ET değerleri önem arz etmektedir. Su kaybı genelde yüzeyde buharlaşma ve terleme, toprak yüzeyinde ise buharlaşma ile olmaktadır. [55]



Şekil 3.1: Damla sulama sistemi [53].

Ürün su ihtiyacının belirlenebilmesi için öncelikle ET hesaplanmalıdır.

$$ET = ET_o \times K_c \times K_r$$

$$ET_o = \text{İklimsel evapotranspirasyon (mm/ay)} \quad (3.1)$$

$$K_c = \text{Bitki katsayısı}$$

$$K_r = \text{Gelişim katsayısıdır.}$$

Toprakta depolanan su toprağın su tutma kapasitesine, alanın bulunduğu bölgenin iklimine ve toprağın cinsine bağlı olarak değişmektedir. Yağış alan ve bu yağış sonrası suyu tutma kapasitesi olan toprakların su ihtiyacı daha az olacaktır. Toprağın kullanabildiği yağış miktarına etkin yağış miktarı denilmektedir.

Toraktaki su rezervi;

$$R_m = Pe - ET \quad (3.2)$$

Kullanılabilen su rezervi ise R_d ' dir. Toprak tarafından kullanılabilir değer ise PEL olarak gösterilmektedir. [55]

Yıllık su ihtiyacının belirlenebilmesi için ise;

$$ACWR = A(ET - Pe) - AR \quad (3.3)$$

Burada; $A(ET - Pe)$ evatranspirasyon ve etkin yağış arası farktır. Günlük su ihtiyacı, sulama ihtiyacı ve verime bağlıdır.

$$GIR = \frac{NIR}{\eta_s} \quad (3.4)$$

3.2.1. Damla Sulama Sistemi Uygulaması için Gerekli Formüller

Damlaticılar arası mesafe;

$$S_e = 0.9 \times \sqrt{\frac{q}{I}} \quad (3.5)$$

Burada;

S_e : İki damlatıcı arası uzaklık(m),

q : Damlatıcı debisi (L/ h)

I : Birim zamanda toprağa giren su miktarı, su alma hızı (mm/h)

Damlatıcının suladığı alan;

$$S_w = \frac{S_e}{0,8} \quad (3.6)$$

Damlatıcı sayısı;

$$n = \frac{S_r}{S_p} \times LA \quad (3.7)$$

Burada;

S_p : Bitki Sıraları Arası Mesafe (m) (m)

S_r : Bitki Sıraları Üzeri Mesafe (m)

LA: Boru Sayısı (lateral)

Damlatıcı adeti

$$N = \frac{1000}{S_p \times S_r} \times n \quad (3.8)$$

Burada;

S_p : sıra sayısı,

S_r : Mesafe

n : adet

Islak alan yüzdesi;

$$P_w = \frac{n \times S_e \times S_w}{S_p \times S_r} \times 100 \quad (3.9)$$

Uygulanacak su miktarı;

$$d_n = A_w \times D_{rz} \times MAD \times P_w \quad (3.10)$$

Burada;

A_w : Doygunluk Toprak su tutma (mm/m),

D_{rz} : Kökün derinliği (m)

Günlük su tüketimi;

$$ET_d = 0.1 \times ET \times (P_d)^{0.5} \quad (3.11)$$

Sulama aralığı;

$$SA = \frac{d_n}{ET_d} \quad (3.12)$$

d : Proje amacı için seçilen sulama aralığı $\times$ Damla sulamada günlük su tüketimi

Sulama süresi;

$$T_a = \left[\frac{(1000 \times d_t)}{(q \times N)} \right] \quad (3.13)$$

3.2.2. Damla Sulama Sistem Formülasyonları

Yük kaybı;

$$h_f = h_{is} \times 0.30 \quad (3.14)$$

Damla sulamanın hidrolik tasarımı için;

$$h_f = h_{is} \times 0.20 \quad (3.15)$$

Lateral boru hattı üzeri damlatıcı sayısı;

$$n_e = \frac{L_l}{S_e} \quad (3.16)$$

Burada;

n_e : adet

L_l : lateral boru boyu

S_e : Damlatıcılar arasındaki mesafe

Lateral Boru debisi;

$$Q_L = n_e \times q \quad (3.17)$$

[55]

3.3. Damla Sulama Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajlar:

Bitkinin sadece kök kısmı sulandığından su israfının önüne geçilmektedir. Diğer yöntemlere göre aynı miktarda su ile daha fazla ekin sulanabilmektedir. Su uygulama verimi yüksektir.

Köklerde sulanan kısım sürekli olarak nemli kalmakta bu sayede nem gerilimi düşmektedir. Köklerin nemli kalması bitkinin ürün verimini ve sayısını arttırmaktadır. Sulama esnasında arazide başka çalışma yapılabilmesine olanak sağlar.

Bitkinin kök harici kısımları sulanmadığından zararlı organizma ve hastalık gelişimi azdır.

Zararlı ot gelişimi azdır.

Gübreleme sulama ile birlikte belirlenen oranda yapılabilmekte ve bu sayede verim arttırılabilmektedir.

Bu sulama yöntemi ile toprakta bulunan mineraller (tuzlar) köklerin dış kısmında birikmektedir. Bu sayede ozmoz sebebi ile suyun çekilmesinin önüne geçilebilmektedir.

Bu sulama yöntemi uzak, engebeli arazilerde ekin ekmek için son derece uygundur.

Dezavantajlar:

Bu yöntemi sınırlayan en önemli kriter sulama suyu içerisinde bulunan mineral, kum, silikat vs. gibi maddelerin damlatıcıları tıkaşmasıdır. Bu sebeple iyi bir filtre kullanmak gerekir.

Köklerin sulanması toprakta bulunan minerallerin kök dışına itilmesini sağlar ancak yağışlar toprakta biriken bu maddelerin uzaklaşması için yeterli değil ise toprağın yıkanması ihtiyacı oluşabilir.

Bu sulama yönteminde kök gelişimi sadece ıslatılan alanda olur. Dolayısı ile meyve ağaçları için uygun bir sulama yöntemi değildir.

İlk kurulum maliyeti nispeten fazladır

3.4. Damla Sulama Sistemi Elemanları

Sistem elemanları, su kaynağı, pompa, kontrol elemanları, boru, manifold, lateral ve damlatıcıdır.

Damla sulama sistemlerinde su kaynağı olarak, göller, yeraltı suları, su depoları kullanılabilir.

Pompalar suyun borular içerisinde geçerek damlatıcılara ulaşabilmesi için gerekli olan basıncı oluşturmaktadır. Elektrikli olarak tercih edilmektedir ancak elektrik enerjisine ulaşımın zor olduğu bölgelerde dizel ve benzinli seçenekleri de kullanılmaktadır. Eğer sistemin kurulduğu bölge eğimli bir bölge ve yeterli kot farkı varsa (15-20m) bu bölgelerde pompa kullanımına gerek yoktur.

Damla sulama sisteminin en büyük dezavantajı olan damlatıcıların tıkanma sorununu ortadan kaldırmak suyun çok iyi bir şekilde tıkayıcı maddelerden arındırılmasına bağlıdır. Bunun için de kontrol elemanlarından meydana gelen bir kontrol birimi kurulur ve bu birim şu elemanları kullanır:

Hidrosiklon, su içerisinde olabilecek ve damlatıcıları tıkayabilecek maddelerin damlatıcıya girmesini engeller.

Kum Çakıl Filtre Tankı (Yosun Tankı), verilen suda bulanık yüzen cisim ve yosunların tutulmasını sağlar.

Gübre Tankı, gübreleme yapılacağı zaman kullanılır.

Elek Filtre, Kum çakıl filtre tankında süzilemeyen maddelerin süzülmesini sağlar.

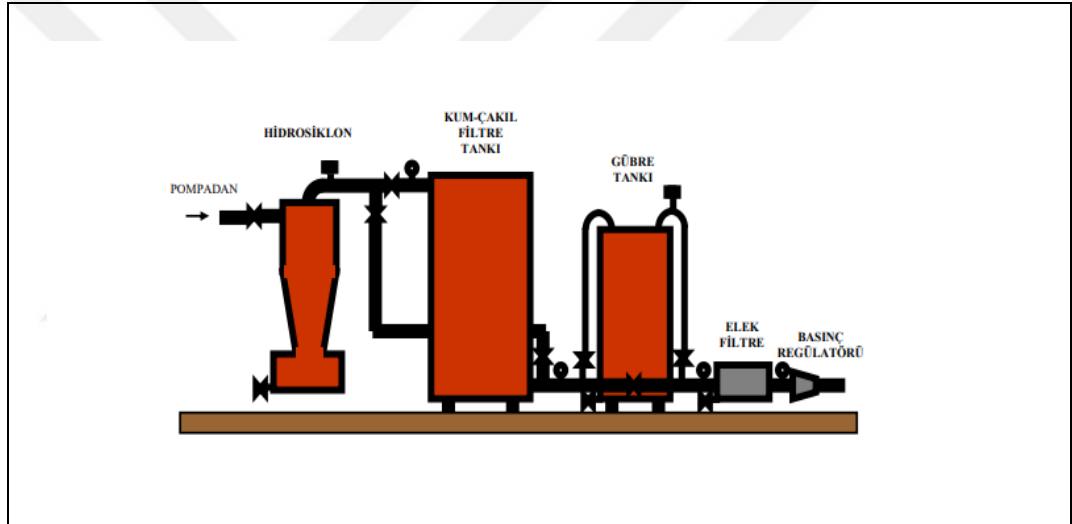
Basınç düzenleyici, suyun sabit bir basınçta damlatıcıya ulaşmasını sağlar.

Ana boru, suyu su kaynağından alıp yan borulara iletir.

Yan borular (manifolt) suyu laterallere iletir.

Lateraller, arazi boyunca döşenen ve üzerindeki damlatıcılar vasıtası ile sulamayı gerçekleştiren boru sistemi.

Damlatıcılar, laterallerden gelen basınçlı suyun basıncını kırar ve suyun damlalar halinde düşmesini sağlar.



Şekil 3.2: Damla sulama sistemi kontrol birimi elemanları. [5]



Şekil 3.3: Damla sulama sistemi dalgıç pompalar. [55]

3.5. Damla Sulama Sistemi Tasarımı ve İşletimi Sırasında Önemli Kısımlar

Damla sulama sistemi kurulacak arazinin yapısı, kullanılacak su kaynağı, ekilecek ekin ve bölge iklim koşullar göz önünde bulundurularak proje hazırlanmalıdır.

Sulamada temiz su kullanılmalı ve eğer temiz su kullanılamıyorsa hidrosiklon kullanılmalıdır.

Filtre tankı mutlaka belirli aralıklarla kontrol edilmeli, üzerindeki manometrede basınç değişimi oluyor ise filtrelerin temizliği yapılmalıdır.

Kontrol elemanlarında paslanmanın önüne geçmek için çelik malzeme yerine plastik malzeme kullanılmalıdır.

Yan borular laterallere dik olarak yerleştirilmelidir.

Eğimli araziler için kendiliğinden basınç ayarı olan damlatıcılar tercih edilmelidir.

Filtre temizlik ve bakımına önem verilmelidir.

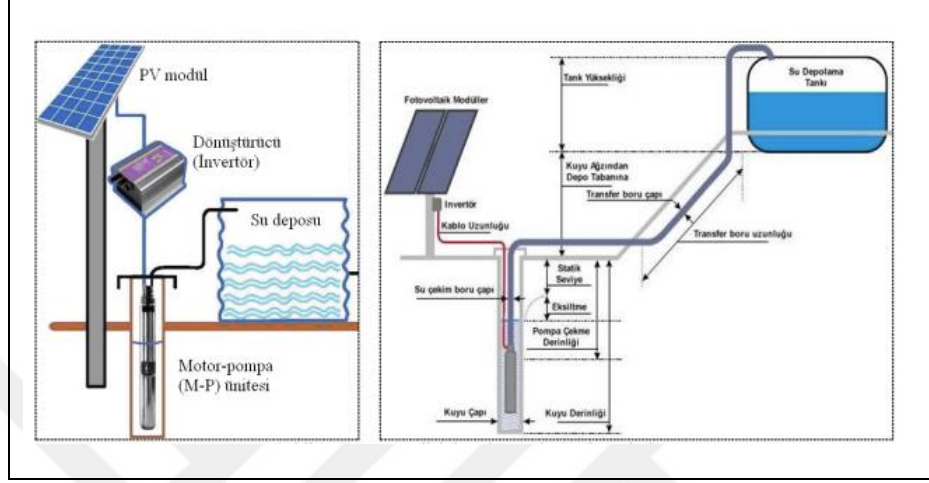
Sistemin kaç birimden oluşacağı ve sulama süresi ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Toprak nem tansiyometresi kullanılabilir.

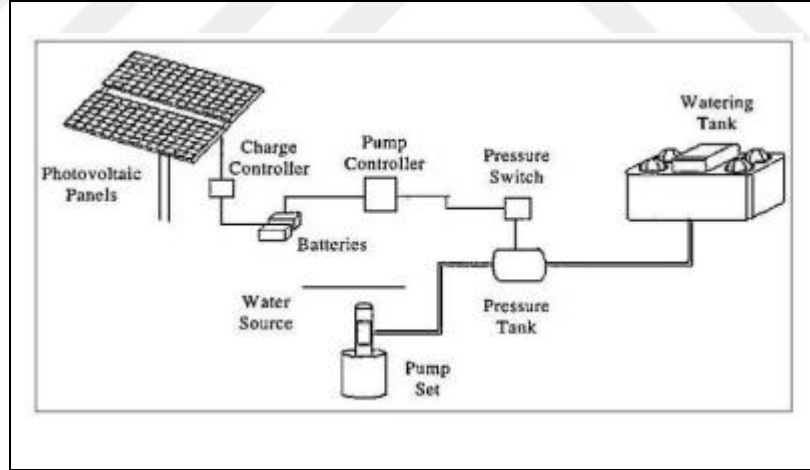
Her sulamanın son 15-20 dk'sında 10-20 ppm arasında klor uygulanmalıdır. Bu sayede oluşabilecek alglerin önüne geçilebilir. [5]

4. MATERİYAL VE YÖNTEM

4.1. Akıllı Tarımsal Sistemin Tasarımı ve Sistem Algoritması



Şekil 4.1: Güneş Enerjisi ile Çalışan Akıllı Sulama Sistemleri [55].



Şekil 4.2: Güneş Enerjisi ile Çalışan Akıllı Sulama Sistemleri [24].

Akıllı ve sürdürülebilir tarım için güneş enerjisi, IOT ve en verimli sulama yöntemlerinden olan damla sulama yöntemi birlikte kullanılacaktır. Bu çalışma enerji ihtiyacı olan ancak bu ihtiyacı karşılamanın maliyetli olduğu bölgeler için çözüm üretmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç ile Güneş enerjisi paneli, fırçasız dalgıç pompa, invertör, akü, ısıma- sıcaklık- nem ve toprak iletkenlik sensörleri, mppt, damla sulama

Panelde çıkan enerji MPPT' ye (düzenleyici) çıkmaktadır. MPPT' den çıkan enerji Aküye gitmekte ve aküden çıkan enerji ise su kaynağından suyu çekecek olan dc motor ve pompaya enerji vermektedir.

Dc motor ve pompa su kaynağından suyu çekmekte, su gelirken debi ölçerden geçmekte ardında hidrosiklon ve gübre tankından geçmektedir. Bu sayede su içerisinde bulunmaması gereken partiküllerden arınan suya istenirse istenilen miktarda gübre eklenebilmektedir. Sonrasında bir kez daha filtreden geçen su en son tarlaya iletilmektedir.

Tasarlanacak sistem için gerekli su ihtiyacı, seçilen pompanın debisi ve toplam dinamik yükseklik belirlenecek ve gerekli hesaplamalar yapılacak, pompa tayini yapılacak ve off grid akıllı bir sistem tasarımı yapılacaktır.

Tablo 4.1: Sistem girdileri

Suyun öz kütlesi	ρ	$10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Yer çekimi ivmesi	g	$9,8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$
Sulama Süresi	t	3 saat
Debi	Q	$4 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$
Toplam dinamik yükseklik	TDY	40m
Dalgıç Pompa verimi	η_p	$0,55$
Motorun verimi	η_{mot}	$0,92$
Güneş Paneli Gücü	PPV	325 Wp
Fotovoltaik panel verimi	η_{PV}	$0,81$
Kullanılan Fotovoltaik Panel Kısa Devre Akımı	I_{SC}	$9,06\text{A}$
Kocaeli yaz ayları için üç aylık (Haziran- Temmuz- Ağustos) maksimum peak saat	PS	$6,22 \text{ h}$
Seçilen Panel Nominal Voltajı	V_{NOM}	24 V
Seçilen Akü Kapasitesi	$Q_{akü}$	150 Ah
Akü Voltajı	$V_{akü}$	12 V
Sistem Voltajı	V_{DC}	24 V
Akü Verimi	η_{Bat}	$0,80$
Akü Deşarj Derinliği	DOD	$0,70$
Bulutlu Gün Sayısı: (Kapalı)	KGG	3 gün
Dönüştürücü Verimi	η_{inv}	$0,90$

4.1.1. Sulama İhtiyacı

Sulama yapılacak arazi koşulları, bulunduğu iklim, arazi şekli ve ekilecek ekine göre sulama ihtiyacı değişiklik göstermektedir. Bu çalışma için 3 saat sulama ve 4 m³/saat debi ile çalışan bir sistemin, su ihtiyacını karşılayacağı varsayılmaktadır.

4.1.2. Toplam Dinamik Yükseklik

Toplam dinamik yükseklik, pompa çarkının ağırlığının yapmış olduğu iştir. Suyun en yüksek ve en alçak noktası arası mesafe farkı statik yükseklik olup. Dinamik yükseklik geometrik yükseklik, su kaynağından kaynaklı seviye farkı, sistemin basıncı, suyun enerjisi ve kayıpların toplamıdır. Toplam Dinamik Yükseklik TDY ile ifade edilir ve Formül 4.1’de gösterilmektedir. [55]- [58]

$$TDY = H_g + H_d + H_p + H_f + H_v \quad (4.1)$$

H_g geometrik yükseklik, H_d su kaynağında debi nedeniyle oluşan seviye farkı, H_p sistemin basıncı, H_f sistemdeki borularda meydana gelecek sürtünme kayıpları H_v ise suyun enerjisidir. Derin kuyulardan su çekilirken eğer debi büyük basınç küçük ise TDY <60m kabul edilir. Bu göz önünde bulundurularak tasarlanacak sistem için TDY 40m olarak düşünülmektedir [55]- [58]

4.2. Pompa Hidrolik ve Mekanik Gücü

Pompanın mekanik gücü (P_{mek}), pompanın hidrolik gücü ve seçilen pompanın verimi (η_p) ile bağlantılıdır. Pompanın hidrolik gücü (P_h), ise suyun özkütlesi (ρ), yer çekimi ivmesi (g), suyun debisi (Q) ve TDY ile bağlantılıdır. Ve formül 4.2’de gösterilmiştir. Pompaya verilmesi gereken mekanik güç ise formül 4.3’de gösterilmiştir.[56]-[60]

$$P_h(W) = Q \left(\frac{m^3}{s} \right) \cdot TDY(m) \cdot \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot g \left(\frac{m}{s^2} \right) \quad (4.2)$$

$$P_{mek} = \frac{P_h}{\eta_p} \quad (4.3)$$

Günümüzde güneş enerjisi ile çalışan dalgıç pompaların motor verimleri %90'ın üzerindedir. Pompa tipine göre verim 12-50 arasında değişiklik göstermekte olup, tablo 4.2'de derinlik, pompa tip ve verim ilişkisi gösterilmektedir. [2]

Tablo 4.2: Derinlik, pompa tip ve verim ilişkisi [2]

Derinlik(m)	Pompa Tipi	Verim (%)
0-5	Santrifüj	12-25
6-21	Jet dalgıç santrifüj	15-25
21-100	Dalgıç	35-45
>100	Dalgıç	35-50

Tablodan yola çıkarak pompa ve motor verimleri sırası ile η_p %55, η_{mot} ise %92'dir. Günlük sulama süresinin 3 saat ve sistem debisinin $4 \frac{m^3}{h}$ olması durumunda sistemin su ihtiyacının karşılanabileceği varsayılmıştır. Pompa hidrolik gücü ve mekanik güç hesabı formül 4.4'de gösterilmiştir.

$$4 \frac{m^3}{h} = 0,0011 \frac{m^3}{s}$$

$$P_h = 0,0011 \left(\frac{m^3}{s} \right) \cdot 40(m) \cdot 10^3 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right) = 0,431kW \quad (4.4)$$

$$P_{mek} (kW) = \frac{0,431}{0,55}$$

$$P_{mek} (kW) = 0,78kW$$

Sistemin elektriksel giriş gücü (P_{elk}) mekanik gücün motor verimine (η_{mot}) bölünmesiyle hesaplanır. Formül 4.5'de ifade edilmiştir.

$$P_{elk} = \frac{P_{mek}}{\eta_{mot}}$$

$$P_{elk} = \frac{0,78}{0,92} \quad (4.5)$$

$$P_{elk} = 0,847kW$$

4.2.1. Sisteme Su Çekilebilmesi için Gerekli Off Grid Güneş Enerjisi Sistemi Tasarlanması

Fotovoltaik sistem çıkış verimi η_{AC} Formül 4.6'da hesaplanmıştır.

$$\eta_{AC} = \eta_{inv} \cdot \eta_{Bat} \cdot \eta_{pv}$$

$$\eta_{AC} = 0,90 \cdot 0,80 \cdot 0,81 \quad (4.6)$$

$$\eta_{AC} = 0,58$$

Güneş panelinde alınan ortalama enerji EL , formül 4.7 ile hesaplanılmıştır

$$E_L(Wh) = \frac{P_{elk}(W)}{\eta_{AC}} \cdot t(h) \quad (4.7)$$

$$E_L = \frac{4381Wh}{gün}$$

Sistemden çekilen ortalama yük akımı I_L formül 4.8 ile gösterilmektedir.

$$I_L = \frac{E_L}{24 \cdot V_{DC}} \quad (4.8)$$

$$I_L = \frac{4381Wh}{24h \cdot 24V}$$

$$I_L = 7,605A$$

Fotovoltaik panellerden çekilen akım I_{PV} formül 4.9 ile gösterilmiştir.

$$I_{PV} = \frac{24h \cdot I_L}{P}$$

(4.9)

$$I_{PV} = \frac{24h \cdot 28,8A}{6,22h}$$

Paralel bağlı fotovoltaik panel sayısı (N_P) formül 4.10'da hesaplanmıştır.

$$N_P = \frac{I_{PV}}{I_{SC}}$$

$$N_P = \frac{111.12A}{9,06A}$$

$$N_P \cong 13Adet$$

(4.10)

$$N_S = \frac{V_{DC}}{V_{NOM}}$$

$$N_S = \frac{24V}{24V}$$

$$N_S = 1$$

Sistemde kullanılan toplam panel sayısı formül 4.11'de gösterilmiştir.

$$N_P \cdot N_S = 13 Adet$$

(4.11)

Sistemin fotovoltaik gücü 4225 Wp olarak hesaplanmıştır. Kullanılması öngörülen akülerin enerji kapasitesi (E_{Bat}) formül 4.12 ile ifade edilmiştir.

$$E_{Bat} = \frac{E_L(Wh)}{DOD} \cdot KGG$$

$$E_{Bat} = \frac{4381Wh}{0,7} \cdot 3 \text{ gün} \quad (4.12)$$

$$E_{Bat} = 18775Wh$$

Sistem toplam akü kapasitesi E_{Ah} olup formül 4.13 ile ifade edilmiştir.

$$E_{Ah} = \frac{E_{Bat}}{V_{DC}}$$

$$E_{Ah} = \frac{18775Wh}{24V} \quad (4.13)$$

$$E_{Ah} = 782,32Ah$$

Sistemde kullanılacak paralel akü sayısı $N_{pakü}$ ile ifade edilir.

$$N_{pakü} = \frac{E_{Ah}}{Q_{akü}}$$

$$N_{pakü} = \frac{782,32Ah}{150Ah} \quad (4.14)$$

$$N_{pakü} = 5,21Ah$$

$$N_{pakü} \cong 6Adet$$

Çalışmada kullanılan seri bağlı akü sayısı aşağıda hesaplanmaktadır.

$$N_{sakü} = 24V/12V = 2Adet \quad (4.15)$$

Bu çalışmada kullanılan toplam panel sayısı seri ve paralel akü sayılarının çarpımı ile bulunmaktadır.

$$N_{sakü} \cdot N_{pakü} = 12det \quad (4.16)$$

Şarj düzenleyici için 24 V / 118 A'den yüksek değerli bir ürün kullanılmalıdır. Kullanılacak Şarj Düzenleyicisi 24V 200A olabilir. Pompamızın gücü 0,847 kW olduğundan 2 kW dönüştürücü kullanılabilir.

4.3. Kocaeli İlinde Off Grid Akıllı Tarım Sistemi Boyutlandırılması

Bu çalışmada Kocaeli ilinin Gebze ilçesinde 0,5 dönümlük bir arazide, enerjisini güneşten alan, uzaktan izlenebilen ve kontrol edilebilen akıllı bir tarım sistemi ile biber bitkisi yetiştiriciliği yapıldığı varsayılmıştır. Çalışmanın tercih edildiği Kocaeli ilinde sulanamayan tarımsal alanların oranı %89,6'dır. Bu oran bize tarımsal sulamanın önemini bir kez daha göstermektedir. [59]

Tablo 4.3: Kocaeli ili Gebze ilçesi biber bitkisi 10 günlük sulama suyu ihtiyacı.

Bitki su ihtiyacı	ET_c	50,11mm
Hesaplanmış bitki su tüketimi	T	$ET_c \cdot P_s/85 = 16,03 \cdot 70/85 = 15,08$
Biber için gölgelenen alan yüzdesi	P_s	%80
Yağış	P	22,32mm
Etkili yağış	P_e	17,856
Yüzey damla sulama yöntemi için su uygulama verimi	E_a	%87,5
Basınç Kullanan Sulama Sistemlerinde Suyun İletim Verimi	E_c	%98

Damla sulama yöntemi tercih edilmesi halinde hesaplanmış bitki su tüketimi aşağıdaki şekildedir. [56]- [59].

$$T = ET_c \cdot \left(\frac{P_s}{85} \right)$$

$$T = \frac{50,11 \cdot 80}{85} \quad (4.17)$$

$$T = 47,162\text{mm}$$

Bitkiler için gölgelenen alan yüzdesi biber gibi tarla bitkileri için %80 olarak belirtilmiştir [56]- [59]. Damla sulama yöntemi için net su ihtiyacı (dn aşağıda hesaplanmıştır.

$$dn = T - Pe$$

$$dn = 47,162 - 17,856 \quad (4.18)$$

$$dn = 29,306$$

Etkili yağış Pe ile ifade edilmekte olup, bu çalışmada etkili yağış bölgenin yağışının %80'i olarak varsayılmıştır. 10 günlük 0.5 ha biber ekim alanı için toplam su ihtiyacı (dt) ile ifade edilir. [56]- [59].

$$dt \left(\frac{m^3}{ha} \right) = \frac{dn}{(Ea \cdot Ec)} \cdot 10$$

$$dt = \frac{29,306}{(0,875 \cdot 0,98)} \cdot 10 \quad (4.19)$$

$$dt = 341,760 \frac{m^3}{ha}$$

$Ea = \%87,5$ (Damla sulama yöntemi veririmi) varsayılmıştır [56]- [59].

Tablo 4.4: Tasarlanacak sistem verileri.

Suyun öz kütlesi	ρ	$10^3 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$
Yer çekimi ivmesi	g	$9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right)$
Sulama Süresi	t	6 saat
Debi	Q	5,7 $\left(\frac{m^3}{h} \right)$
Toplam dinamik yükseklik	TDY	10 m
Dalgıç Pompa verimi	η_p	0,55
Motorun verimi	η_{mot}	0,92
Güneş Paneli Gücü	P_{pv}	325 Wp
Fotovoltaik panel verimi	η_{pv}	0,81
Kullanılan Fotovoltaik Panel Kısa Devre Akımı	I_{SC}	9,06 A
Kocaeli yaz ayları için üç aylık (Haziran- Temmuz- Ağustos) maksimum peak saat	PS	6,22 h
Seçilen Panel Nominal Voltajı	V_{nom}	24 V
Seçilen Akü Kapasitesi	$Q_{akü}$	150 Ah
Akü Voltajı	$V_{akü}$	12 V
Sistem Voltajı	V_{DC}	24 V
Akü Verimi	η_{Bat}	0,80
Akü Deşarj Derinliği	DOD	0,70
Bulutlu Geçen Gün Sayısı:	KGG	3 gün
	η_{inv}	0,90

0,5ha biber ekimi için gerekli su miktarı günlük 34.2 m³/gün olarak bulunmuştur. Yukarda yer alan veriler göz önünde bulundurularak günde 6 saat damla sulama uygulanması durumunda sistem debisi $Q = 5,7 m^3/h$ hesaplanmıştır, Yükseklik farkı 3 metre ve sürtünmeden kaynaklı yük kayıpları ile birlikte toplam dinamik yükseklik 8m olarak kabul edilirse; Hidrolik güç P_h , aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$P_h(W) = Q \left(\frac{m^3}{s} \right) \cdot TDY(m) \cdot p \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot g \left(\frac{m}{s^2} \right) \quad (4.20)$$

$$P_h = 0,00158 \left(\frac{m^3}{s} \right) \cdot 10(m) \cdot 10^3 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right) = 0,154kW$$

Mekanik güç (P_{mek}) pompa miline aktarılan enerji, (P_h) ve (η_p) belirlenir ve Denklem (4.21) ile hesaplanır.

$$P_{mek} = \frac{P_h}{\eta_p}$$

$$P_{mek} (kW) = \frac{0,154}{0,55} \quad (4.21)$$

$$P_{mek} (kW) = 0,285kW$$

Elektriksel giriş gücü (P_{elk}) mekanik gücün motor verimine (η_{mot}) bölünmesiyle Denklem (4.22) ile hesaplanır.

$$P_{elk} = \frac{P_{mek}}{\eta_{mot}}$$

$$P_{elk} = \frac{0,285}{0,92} \quad (4.22)$$

$$P_{elk} = 0,309kW$$

PV sistem çıkış verimi (η_{AC}) aşağıdaki şekildedir.

$$\eta_{AC} = \eta_{inv} \cdot \eta_{Bat} \cdot \eta_{pv}$$

$$\eta_{AC} = 0,90 \times 0,80 \times 0,81 \quad (4.23)$$

$$\eta_{AC} = 0,58$$

Fotovoltaik sistemin ortalama günlük enerjisi (E_L).

$$E_L(Wh) = \frac{P_{elk}(W)}{\eta_{AC}} \cdot t(h) \quad (4.24)$$

$$E_L = 3196$$

Yük akımı (I_L), jeneratör en azından bu yük ihtiyacı kadar enerji üretmelidir.

$$I_L = \frac{E_L}{24 \cdot V_{DC}}$$

$$I_L = \frac{3196Wh}{24h \cdot 24V} \quad (4.25)$$

$$I_L = 5.548A$$

$$N_s = \frac{V_{DC}}{V_{NOM}} \quad (4.28)$$

$$N_s = \frac{24V}{24V}$$

$$N_s = 1$$

Panellerden çekilen akım I_{pv} , aşağıda hesaplanmıştır.

$$I_{PV} = \frac{24h \cdot I_L}{PS}$$

$$I_{PV} = \frac{24h \cdot 5.548A}{6,22h} \quad (4.26)$$

$$I_{PV} = 21,41A$$

$$N_P = \frac{I_{PV}}{I_{SC}}$$

$$N_P = \frac{21,41A}{9,06A} \quad (4.27)$$

$$N_P \cong 3 \text{ Adet}$$

N_s Seri bağlı panel sayısı , N_p ise paralel bağlı panel sayısıdır.

Toplam panel sayısı seri ve paralel bağlı panel sayısının çarpılması ile bulunmaktadır.

$$N_P \cdot N_S = 3 \text{ Adet} \quad (4.29)$$

Sistem toplam PV gücü 975 Wp olarak hesaplanmıştır.

E_{Bat} akülerin toplam enerjisi kapasitesidir.

$$E_{Bat} = \frac{E_L(Wh)}{DOD} \cdot KGG(\text{gün}) \quad (4.30)$$

$$E_{Bat} = \frac{3196Wh}{0,7} \cdot 3 \text{ gün}$$

$$E_{Bat} = 13.697Wh$$

Sistem toplam akü kapasitesi aşağıdaki şekilde hesaplanır. (E_{Ah})

$$E_{Ah} = \frac{E_{Bat}}{V_{DC}}$$

$$E_{Ah} = \frac{13.697Wh}{24V} \quad (4.31)$$

$$E_{Ah} = 570,70Ah$$

Paralel akü sayısı ($N_{pakü}$) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$N_{pakü} = \frac{E_{Ah}}{Q_{aku}}$$

$$N_{pakü} = \frac{570,70Ah}{150Ah} \quad (4.32)$$

$$N_{pakü} \cong 4Adet$$

Sistemde kullanılan seri bağlı akü sayısı aşağıda hesaplanmıştır.

$$N_{sakü} = \frac{V_{DC}}{V_{akü}}$$

(4.33)

$$N_{sakü} = \frac{24V}{12V}$$

$$N_{sakü} = 2Adet$$

Sistemde kullanılan toplam panel sayısı seri ve paralel bağlı akülerin sayılarının çarpımı ile bulunur.

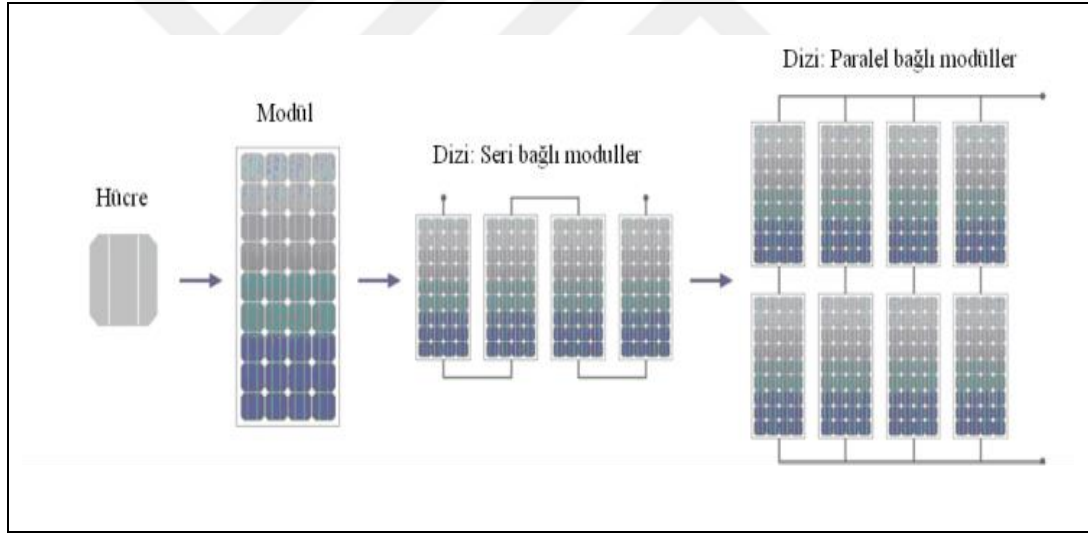
$$N_{sakü} \cdot N_{pakü} = 8 Adet \quad (4.34)$$

Şarj Düzenleyicisi 24 V / 27,18 A'den yüksek değerli seçilmelidir. Kullanılacak Şarj düzenleyicisi 24V 30 A olarak kullanılabilir. Kullanılacak pompa gücü 309 W olduğundan 1000 W'lık dönüştürücü kullanmak doğru olacaktır.

5. SİSTEM ELEMANLARI

5.1. Güneş Paneli

Güneş enerjisi hakkında geniş bilgi bölüm 2’de verilmiştir. Güneş panelleri birden fazla fotovoltaik hücrenin bir araya gelmesi ile oluşturulur ve kurulacak bölgenin ihtiyacına göre seri ya da paralel bağlanabilir. Bu sayede ihtiyaca göre seri bağlanması durumunda gerilim, paralel bağlanması durumunda ise akım artırılabilir. Güneş panelleri silikon yarıiletkeninden yapılmaktadır. Yapılarında tek kristal bulunan güneş panellerine monokristal, çok kristal bulunduranlara ise polikristal güneş panelleri denilmektedir. Monokristal güneş panellerinin verimi daha yüksek olup daha pahalıdır. [55]-[63]



Şekil 5.1: Güneş Panelleri Bağlantı Şekilleri [55]

Bu çalışma için seçilen güneş paneli ve özellikleri aşağıdaki şekildedir:

ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER			
Model Tipi	CWT260 BPIV12	CWT325 BPIV12	CWT390 BPIV12
Maksimum Güç (P_{max})	260Wp	325 Wp	390 Wp
Maksimum Güç Gerilimi (V_{mp})	30.35	37.94	45.53
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	8.57	8.57	8.57
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	35.80	44.75	53.70
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	9.06	9.06	9.06
Güç Toleransı	0→+5W		
Maks. Sistem Anma Gerilimi	1000V DC / 1500V DC		
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 ~ +85°C		
Güvenlik Sınıfı	C		
Maks. Seri Sigorta Akımı	15A / 20A		

MEKANİK ÖZELLİKLER			
Hücre Boyutu(mm)	105 x 210		
Hücre Sayısı(adet)	52 (4x13)	65 (5x13)	78 (6x13)
Ağırlık(kg)	57.0 (260BPIV)	68.70 (325BPIV)	81.85 (390BPIV)
Panel Boyutu(mm) (260BPIV)	980x1635x71		
Panel Boyutu(mm) (325BPIV)	1200x1635x71		
Panel Boyutu(mm) (390BPIV)	1635x1440x71		
Maks. Rüzgar/Kar Yüğü Dayanımı (Pa)	2400/5400		
Bağlantı Kutusu Koruma Sınıfı	IP67 / IP68		

SICAKLIK KATSAYISI	
Sıcaklık Katsayısı (I_{sc})	0.05%/°C
Sıcaklık Katsayısı (V_{oc})	-0.28%/°C
Sıcaklık Katsayısı (P_{max})	-0.35%/°C

Şekil 5.2: Seçilen Güneş Panelleri Özellikleri [68].

5.2. MPPT

MPPT maksimum güç noktası kontrol ve takibi olarak ifade edilmektedir. Fotovoltaik panelin maksimum güç üretebildiği gerileme maksimum güç noktası adı verilmektedir. MPPT belirli koşullar altında fotovoltaik panelden alınabilecek maksimum gücü alabilmek için kullanılan bir algoritmadır. Genellikle fotovoltaik paneller 25 °C sıcaklıkta 17V maksimum güç voltajı ile güç üretir, çok sıcak günlerde 15V'a düşebilir ve soğuk günlerde ise 18V olarak ölçülmektedir.

MPPT, panelin çıkışını kontrol edip akü voltajı ile karşılaştırır. Buna göre panelin bataryayı şarj edebileceği en iyi gücü hesaplayarak bataryaya maksimum akımı verebilecek optimum panel voltajını ayarlar. Ayrıca doğrudan aküye bağlı bir DC yüküne güç sağlayabilir.

Fotovoltaik paneller, soğuk havalarda verimli çalışmakta olup maksimum güç için MPPT kullanılır.

Akünün şarj durumu düşükse MPPT daha fazla akım çekebilir ve bataryayı şarj edebilir. [57]

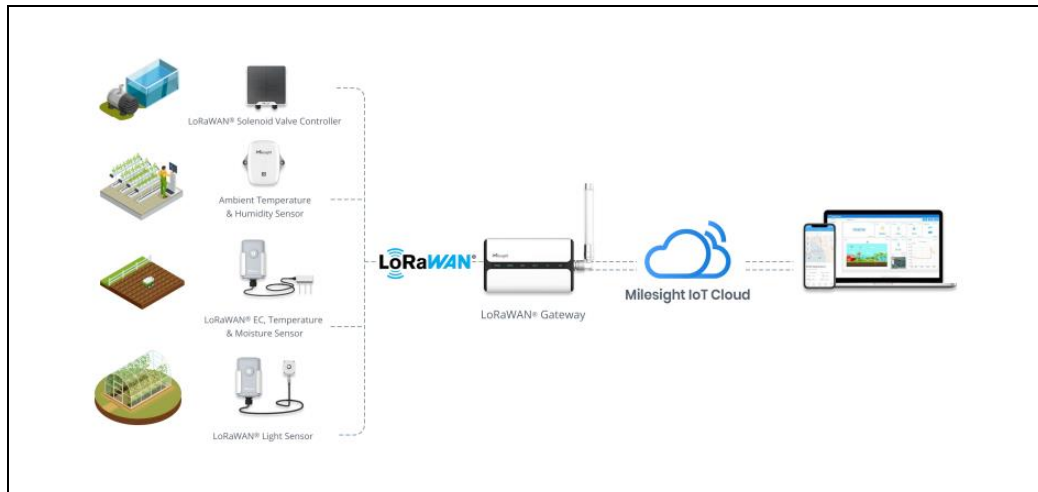
5.3. İnvörtör

İnvörtörler, DC -AC, AC- DC akımı alternatif akıma veya alternatif akımı doğru akıma çeviren çeviricilerdir. Güneş panelleri doğru akım üretirler. Doğru akımın evlerde ve üretimde kullanılabilmesi için alternatif akıma çevrilmesi gerekmektedir. İnvörtörler Off Grid, On Grid ve Solar invörtörler olarak üç ana gruba ayrılır. Solar invörtörler güneş enerjisinin yeterli olduğu durumlarda üretilen fotovoltaik enerjiyi kullanırken enerjinin yetersiz olduğu durumlarda akü enerjisini kullanan anahtarlar gibi çalışırlar. Solar invörtörler aynı zamanda akımı da düzelterek sabit tutmaktadır. Bu sayede şebeke bağlantısının olmadığı yerlerde enerji depolanması, dönüştürülmesi ve kullanılmasında büyük kolaylık sağlamaktadır. Şebekeye bağlantı olan yerlerde akü yerine de kullanılabilir. [64]

5.4. Akü

Güneş enerjisi için akü seçimi yapılırken sulu tip akü kullanılması genellikle tercih edilmez. Genellikle jel akü veya valf regülatörlü kurşun asit akü kullanımı tercih edilmektedir ancak bu da performans için akünün boşalma derinliği de önem arz etmektedir. Bu değerin %80'in üzerinde olması istenir. Kapasite ve çevrim sayısı göz önüne alınarak uygun sistem tasarımı gerçekleştirilse uzun süre kullanım mümkündür. [65]

5.5. Sensörler ve Lora Gateway Örneği



Şekil 5.3: Sistem Ekipmanları.

5.5.1. UG65 LoRaWAN® Gateway

LoraWan, bir iletişim protokolüdür. Düşük kapasiteli, uzun mesafeli (10-15Km) sinyalleri iletmek için kullanılan bir iletişim ağıdır. Gateway, LoraWan ile çalışan sensörlerden gelen sinyalleri, Wifi ya da GSM kullanarak internet ortamına aktaran sinyal toplayıcı ve dağıtıcı bir cihazdır. Seçilen LoraWan özellikleri aşağıdaki şekildedir. [70]

Tablo 5.1: LoraWan Özellikleri.

LoRaWAN	
Anten	2 × Dahili Anten + 1 × 50 Ω N Harici Dışı Konnektör
Kanal	8 (Half/Full-duplex)
Arayüz	
Ethernet çıkış	1 × 10/100/1000Mbps (PoE PD) —
Hücresel Arayüz	1 × SIM Card (2FF)
Wi-Fi Arayüzü	802.11 b/g/n(2.4GHz), AP or Client Mode
Fiziksel Karakteristikler	
Güç Kaynağı	9-24 VDC or 802.3 af PoE
Çalışma Sıcaklığı	-40°C to +70°C
Giriş Koruma	IP65
Boyutlar	180 × 110× 56.5 mm
Uygulama	Masaüstü, Duvara Monte



Şekil 5.4: LoRaWAN® Gateway.

5.5.2. EM300-TH Sıcaklık ve Nem Sensörü

Seçilen Sıcaklık ve nem sensörü özellikleri aşağıdaki şekildedir. Tasarlanan sistemde panel sıcaklığı ölçümü ve ortam nemi ölçümü için yararlanılmaktadır. [70]

Tablo 5.2: LoraWan Sıcaklık ve Nem Sensörü özellikleri.

Ölçümler	
Sıcaklık Aralığı	-30°C to + 70°C
Sıcaklık Doğruluğu	0°C to + 70°C ($\pm 0.3^\circ\text{C}$), -30°C to 0°C($\pm 0.6^\circ\text{C}$)
Nem Aralığı	0% to 100% RH
Nem Doğruluğu	$\pm 3\%$ RH from 10% to 90%, $\pm 5\%$ RH below 10% and above 90%
Fiziksel Karakteristikler	
Güç Kayanğı	4000 mAh Değıştirilebilir Li-SOCL2 Batarya
Giriş Koruma	IP67
Boyutlar	88.5 × 85.3 × 27 mm
Uygulama	Duvara Monte



Şekil 5.5: Sıcaklık ve Nem Sensörü.

5.5.3. UC511 Motor Kontrol Cihazı

Motor pompasının Gateway üzerinden çalıştırılıp kontrol edilmesi için kullanılan cihazdır. Özellikleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. [70]

Tablo 5.3: LoraWan Motor Kontrol Cihazı özellikleri

Arayüz	
Solenoid Arayüzü	2 × Solenoid Interfaces, Supporting 2 Wires 5/9/12V DC Latching Solenoids
Titreşim Arayüzü	2 × Pulse Interfaces, Supporting 2 Pulse Meters
Fiziksel Karakteristikler	
Güç Kaynağı	Güneş enerjili (5V, 1.6W) + 5100 mAh Değiştirilebilir Batarya
Çalışma Sıcaklığı	-20°C to +60°C
Giriş Koruma	IP67
Ölçüler	116 × 116× 45.5 mm
Uygulama	Duvar ya da Direklere Montaj



Şekil 5.6: Motor kontrol cihazı.

5.5.4. EM 500-SMTC Toprak Sensörü

Torak iletkenlik ve nem durum bilgisinin alınabilmesi için seçilen sensördür. Özellikleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. [70]

Tablo 5.4: Toprak sensörü özellikleri.

Ölçümler		
Sıcaklık	Aralık	-40°C ~80°C
	Doğruluk	±0.5°C
	Kararlılık	0.1°C
Nem	Aralık	0% to 100% RH
	Doğruluk	±2%(0~50%), ±3%(50%~100%)
	Kararlılık	0.01%
İletkenlik	Aralık	0~20000 µs/cm
	Doğruluk	±3%(0~10000 µs/cm), ±5%(10000~20000 µs/cm)
	Kararlılık	1 µs/cm
Fiziksel Özellikleri		
Kablo Uzunluğu		2 m
Güç Kaynağı		19000 mAh Li-SOCL2 Battery
Çalışma Sıcaklığı		-30°C to +70°C
Giriş Koruma		IP67 (Transiver)/IP68(Toprak Sensörü)
Boyutlar		Transiver: 105.4 × 71 × 69.5 mm Toprak Sensörü: 88 × 68 × 26 mm (Probe Length: 50mm)
Uygulama		Pole, Wall or DIN Rail Mounting



Şekil 5.7: Toprak Sensörü

5.6. Dalgıç Pompa

Dalgıç pompalar motorla çalışan bir pompa çeşididir. Sulama, depodan veya kuyudan su çekimi, seviye kontrolü, ısı pompası gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Dalgıç pompalar bu çalışma için yer altı sularının kullanılabilmesi için önerilmektedir. Dalgıç pompalarda, motor pervaneyi çalıştırır, pervane hareketi ile oluşan basınç ile de sıvı hızlanır ve hareket eder. Dalgıç pompalar; sulama sistemlerinde, su kaynağından uzakta ya da kaynakların yetersiz sayılabileceği alanlarda kullanılmaktadır. Yapıları gereği su altında çalışabilmektedirler ve kuyunun dibine inilmeden suyun alınmasına olanak sağlarlar. [69]



Şekil 5.8: Dalgıç pompa.

6. WEB ARAYÜZ TASARIMI

Kullanıcıların uzaktan erişiminin sağlanabilmesi için kullanıcı dostu, kolay bir ara yüz tasarlanmıştır. Arayüz Arazinin bulunduğu konum, panel sıcaklığı, akü doluluk durumu, pompa çalışma durumu, su deposu doluluk oranı, toprak nem oranı ve sensörlerin durumlarını göstermektedir. Aşağıda yer alan şekiller 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6’da arayüz tasarımları yer almaktadır.



Şekil 6.1: Web arayüzü tasarımı ve web arayüzü tasarımı arazi gösterimi.



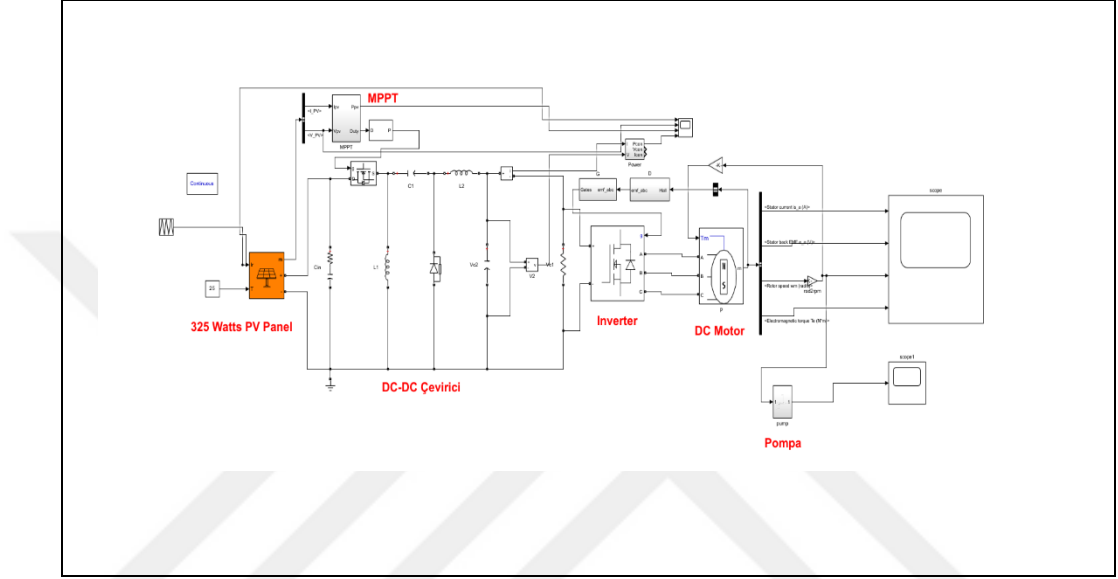
Şekil 6.2: Web arayüzü tasarımı panel & akü gösterimi ve web arayüzü tasarımı pompa durum gösterimi.



Şekil 6.3: Web arayüzü tasarımı toprak nem durumu gösterimi ve web arayüzü tasarımı su deposu durumu gösterimi.

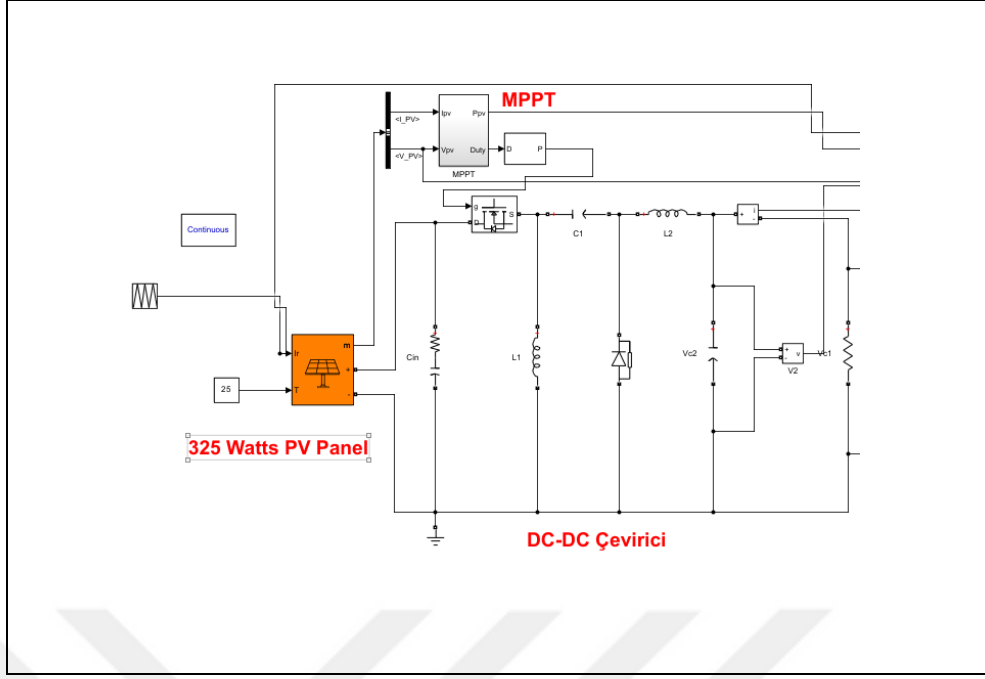
7. SULAMA SİSTEMİNİN MATLAB SİMULİNK TASARIMI

Şekil 7.1’de tasarlanan sistemin Matlab Simulink programında hazırlanan modeli görülmektedir.

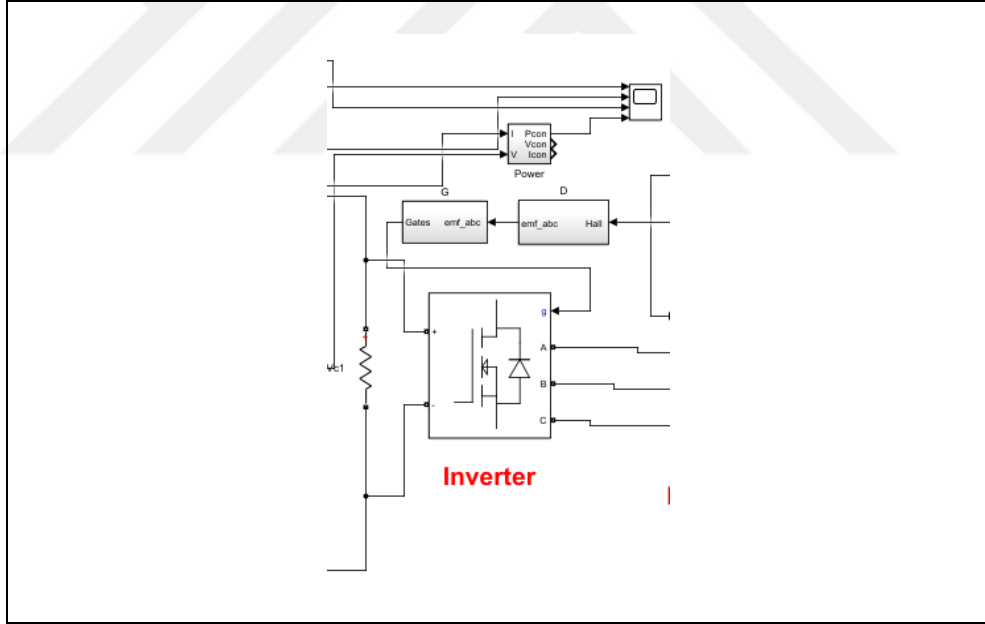


Şekil 7.1: Sulama sisteminin matlab simulink modeli.

Şekil 7.2’de görülen panel modeli ışıma değeri gün içerisinde değişen ışıma göz önüne alınarak tasarlanmıştır. Sıcaklık 25 derece olarak sabit alınmıştır. 3 paralel bağlı panelin bağlanması ile 975 Watt’lık bir sistem tasarlanmıştır. Seçilen panelin bilgileri bölüm 5’de ayrıca belirtilmiştir. Panelden elde edilen enerji regüle edilmek için DC-DC çeviriciye iletilmekte ve çıkan enerji de pompaları çalıştırmaktadır. Panel ve DC-DC çevirici çıktıları şekil 7.7’de gösterilmektedir.

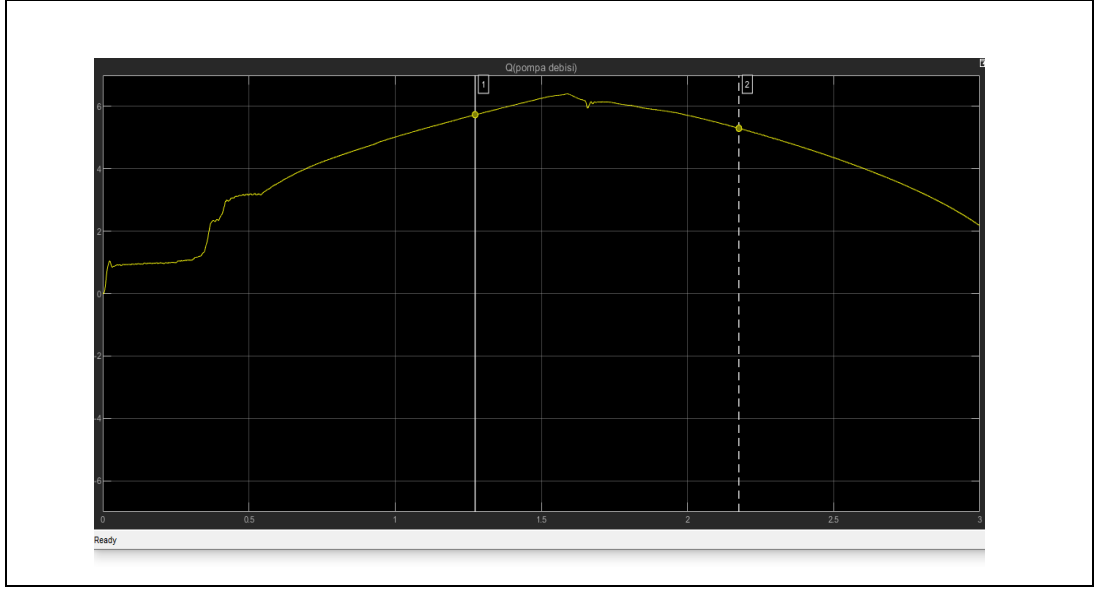


Şekil 7.2: Panel matlab simulink modeli.

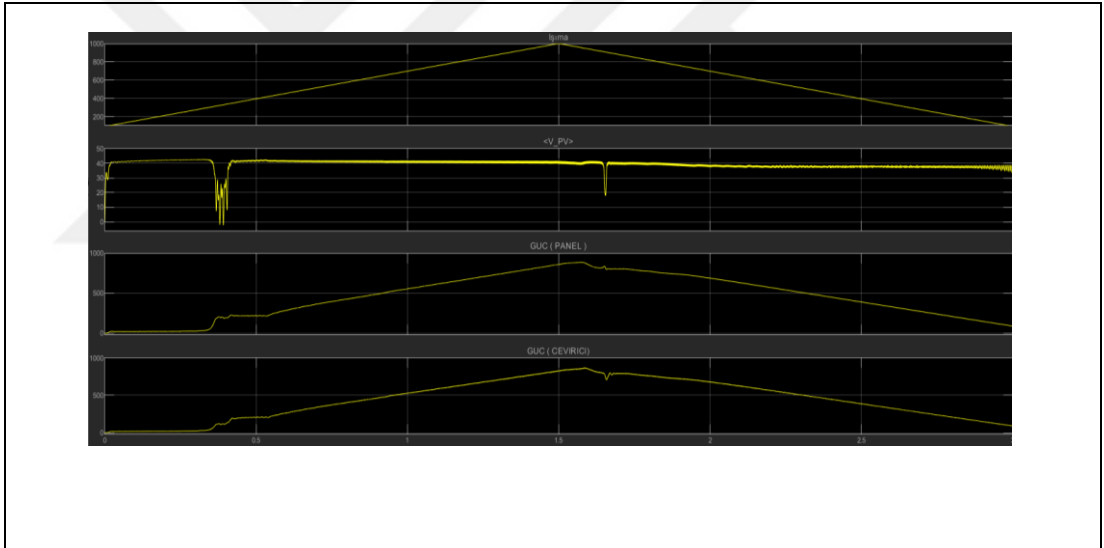


Şekil 7.3: İnverter simulink modeli.

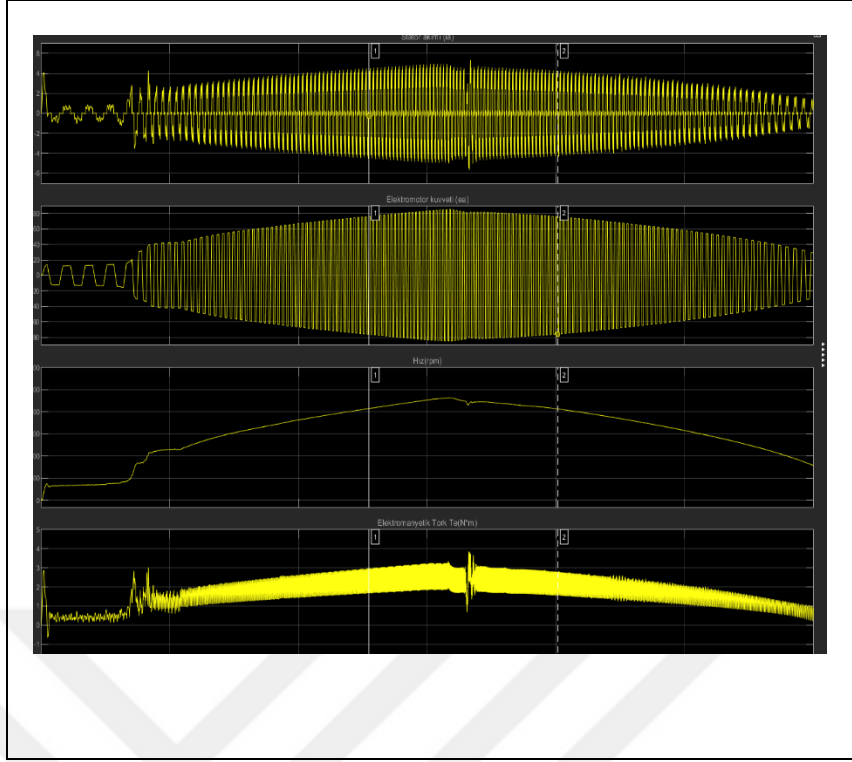
Şekil 7.4’de fırçasız DC motorun matlab simulink programında yapılan modeli görülmektedir. DC motor için bir hız seçilmiş olup pompanın yük momentini sisteme girilmiştir. Mekanik hız bilgisi ile moment motora iletilmektedir. Pompa bu kuvvet ile çekilen suyu iletmektedir. Boru çıkışına bir akış sensörü eklenerek debi ölçümü gerçekleştirilebilir.



Şekil 7.6: Pompa debisi eğrisi.



Şekil 7.7: Panel ısıma, güç ve çevirici güç eğrisi.



Şekil 7.8: DC Motor stator akımı, elektromotor kuvveti, hız, elektromanyetik tork eğrileri.

8. UYGULAMA

Tasarımı ve matlab simulink programında sulama sisteminin modellemesi yapılan çalışma için ufak bir prototif hazırlanmıştır. Bu uygulamada kullanılan komponentler şu şekildedir ve kullanım şekilleri aşağıdaki şekildedir.

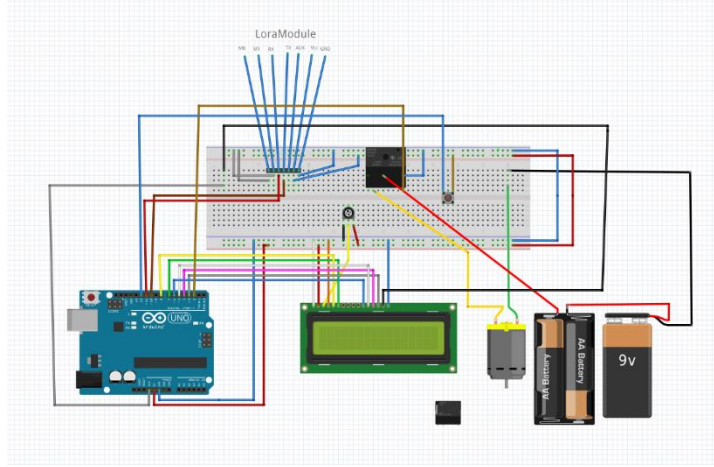
Haberleşme için 2 tane E32433t20d serisi lora modül kullanılmıştır. Veri alışı için 433mhzlik 2 tane anten kullanıldı. Antenler hem sensör kartında hem de anakartta kullanılmıştır.

Sensör kartı üzerinde; toprak nemini ölçmek için dht11 nem sensörü, datayı iletmek ve yönetmek için Arduino nano kullanıldı, 12 volt 100mA'lık iki tane güneş paneli ve 12V'u 5V'a düşürmek için voltaj regülatörü kullanılmıştır.

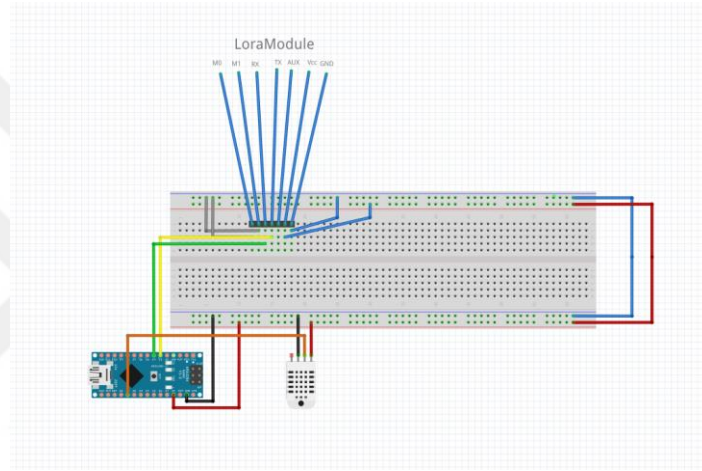
Ana kartta ise datayı yönetmek için Arduino uno kullanıldı, anlık nem durumunu gözlemlemek için 2x16 LCD kullanıldı. Anlık sulama yapmak için switch buton kullanıldı. Motor kontrolü için de 5 Voltluk bir röle kullanıldı.

Çalışmanın ilk başında deneme amaçlı öncelikle 12V'luk bir adaptör kullanıldı daha sonra ise güneş paneline geçiş yapıldı.

Uygulama deneyi için küçük bir saksıya sensörler yerleştirildi. Ve röleye bağlı olan pompanın su çıkışı saksıya verilmişti, pompaya da sus kaynağı olması için bir kavanozdan su çekilmiştir. Sensörden gelen data Arduino nano'da işlendikten sonra Lora modüller aracılığı ile ana kartta bulunan Arduino uno'ya iletilmektedir. Gelen nem değeri %40'ın altında olursa röleye sinyal yollanmakta ve pompayı çalıştırarak sulama gerçekleşmektedir. Anlık nem değerleri sayesinde nem değeri %40 altına düştüğü anda sulama gerçekleşecektir. Anlık gelen nem değerleri LCD üzerinde görüntülenebilmekte olup sulama olduğunda ekran bilgisi görülmektedir. Ek olarak, nem değerinden bağımsız olarak devremize bağlı olan buton sayesinde istenilen zamanda sulama yapılabilmektedir.

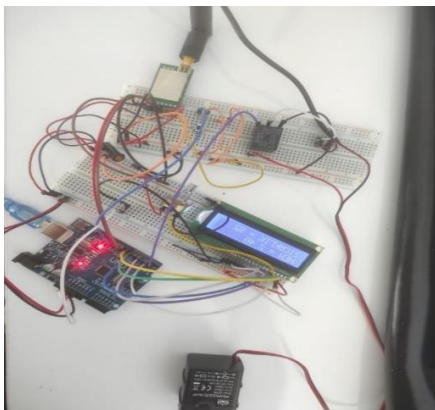


Devre ana kart modeli

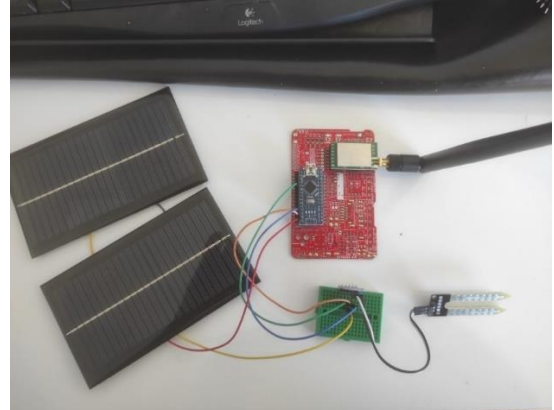


Devre sensör kartı modeli

Şekil 8.1: Devre modeli.



Devre ana kart görseli



Devre sensör görseli.

Şekil 8.2: Devre görselleri.

9. SONUÇ

Bu çalışmada Kocaeli ilinde güneş enerjisi ile çalışan bir akıllı tarım sistemi tasarımı, bu şekilde bir uygulama yapılacak olursa uygun elemanların seçimi, matematiksel hesaplaması ve Matlab Simulink programında sulama sisteminin modellenmesi yapılmıştır. Prototip uygulaması yapılmış ayrıca bu uygulama için kodlama yapılmıştır. Bu sayede tasarlanan sistemin ufak boyutta yapılabilirliği test edilmiştir. Tasarlanan sistem, şebekeden bağımsız, kullanıcılarına uzaktan sistemi izleyebilme ve erişim olanağı sunan, verimli sulama yapabilen bir sistemdir. Aynı zamanda iş gücü ve zamandan da tasarruf sunmaktadır.

Güneş enerjisinin bu şekilde kullanımı ülkemizde yeni yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu çalışmanın daha sonra yapılacak uygulamalara örnek olması ve modern bir sistem kurulumu amaçlanmaktadır. Bu çalışma için, kullanıcı dostu bir web arayüzü tasarlanmıştır. Ayrıca sistem kullanılan sensörler vasıtasıyla ortam sıcaklık, nem, toprak özellikleri tayin edilebilmekte ve bu şekilde uzaktan bir sulama yapılabilmektedir. Bu sayede sistem verimliliği artacak olup, su israfının önüne geçilmiştir. Aşırı sulama yapılmayacağı ve ürünlere uygun sulama ve gübreleme yapılacağı için ürünlerin verimliliği de artacaktır. Çalışma, şebeke bağlantısı olmayan alanlar için ideal bir kullanım sunmakta enerjisini Güneş Enerjisinden almaktadır. Bu sayede kurulum ve yakıt maliyetlerinin de önüne geçilmiş, sınırsız bir kullanım amaçlanmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Atay, Ü., & Işıker, Y., & Yeşilata, B., (2009),“Fotovoltaik Güç Destekli Mikro Sulama Sistemi Projesi-1: Genel Esaslar”. V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır, Haziran.
- [2] Topuz, A., & Erdoğan B., & Taşkaya, C., (2017), “Fotovoltaik Etki İle Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin Modellenmesi”. Karaelmas Fen ve Müh. Derg. 7(2):356-363.
- [3] Atay, Ü., & Işıker, Y., & Yeşilata, B., (2012), “Güneş Enerjili Damla Sulama Sistemi Arazi Performansının Deneysel Değerlendirmesi”. Mühendis ve Makina, cilt 53, sayı 634, s. 15-20.
- [4] Yeşilata, B., & Aydın, M., & Işıker, Y., (2009), “Küçük Ölçekli Bir Pv Pompalama Sisteminin Deneysel Analizi”. Mühendis ve Makina, cilt 47, sayı 553, s. 31-38.
- [5] Aras, İ., (2006),“Damla Sulama Yöntemi”. Dergi park, Cilt 15, Sayı 1-2, 49 – 60.
- [6] Web 1 (2023),
<https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/Sayfa/759/1107/DosyaGaleri/dsi2022faaliyetraporu.pdf#page=46> (Erişim Tarihi: 14.06.2023)
- [7] Peren, V.& Kuyumcu, F., E., & Türker, Ç., G., (2019), “Fotovoltaik Enerjinin Sulama Amaçlı Uygulama İçin Kurulacak Bir Sistemin Sayısal Tasarımı Ve Model Çalışması” EMO Bilimsel Dergi YEKSEM.,59-64
- [8] Çağlayan, N., Ertekin, N., (2011), “Photovoltaic Water Pumping Systems: A Study Onpv Water Pumping Systems Installation”. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı 2, 115- 123.
- [9] Hassanien, R., Hassanien, E., Li, M., Lin, W., D., (2016), “Advanced Applications Of Solar Energy In Agricultural Greenhouses”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54,989-1001.
- [10] Sharma, H., Haque, A., Jaffery, Z., A., (2019), “Maximization Of Wireless Sensor Network Lifetime Using Solar Energy Harvesting For Smart Monitoring”. Ad Hoc Networks, 94, 101966.
- [11] Al-Ali, A., R., Nabulsi, A., A., Mukhopadhyay, S., Awal, M., S., Fernandes, S., Ailabouni, K., (2019),” Iot-Solar Energy Powered Smart Farm Irrigation Systems”. Journal of Electronic Science and Technology, 17, 100017.
- [12] Obaideen, K., Yousef, B., A., A.,Almallahi, M., N., Tan, Y., C., MAHMOUD, m., Haber, H., Ramadan, M., (2022),” An Overview Of Smart Irrigation Systems Using Iot”. Energy Nexus, 7, 100124.
- [13] Liakos, K., G., Busato,P., Moshou,D., Pearson, S., Bochtis, D., (2018), “Machine Learning In Agriculture: A Review”, Sensors 18, 2674.

- [14] Khan, N., Ray, R., L., Sargani, G., R., Ihtisham, M., Khayyam, M., Ismail, S., (2021), "Current Progress And Future Prospects Of Agriculture Technology: Gateway To Sustainable Agriculture". *Sustainability* 13, 4883.
- [15] Nasiakou, A., Vavalis, M., Zimeris, D., (2016), "Smart Energy For Smart Irrigation". *Comput. Electron. Agric.* 129, 74–83.
- [16] Ojha, T., Misra, S., Raghuwanshi, N., S., (2015), "Wireless Sensor Networks For Agriculture: The State-Of-The-Art In Practice And Future Challenges". *Comput. Electron. Agric.* 118, 66–84.
- [17] Elijah, O., Rahman, T., A., Orikumhi, I., Leow, C., Y., Hindia, M., N., (2018), "An Overview Of Internet Of Things (Iot) And Data Analytics In Agriculture: Benefits And Challenges". *IEEE Internet Things J.* 5, 3758–3773.
- [18] Kodali, R., K., Kuthada, M., S., Borra, Y., K., (2018), "LORA BASED SMART IRRIGATION SYSTEM". 4th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA). 1–5. India, 16-18 August,
- [19] Fahmi, A., (2020), "Advanced Internet Of Things Irrigation Mechanism", *Int. J. Eng. Res.* V9 07/16.
- [20] Abagissa, A., T., Behura, A., Pani S., K. (2018), "Iot Based Smart Agricultural Device Controlling System" Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT), IEEE, 26–30.
- [21] Pernapati, K., (2018). "Iot Based Low Cost Smart Irrigation System". Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT), IEEE, 1312–1315.
- [22] Krishna, K., L., Silver, O., Malende, W., F., Anuradha, K., (2017). "Internet Of Things Application For Implementation Of Smart Agriculture System". International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), 54–59.
- [23] Chandrasekar, B., Vasanth, K., Selvaraj, S., M., (2018). "Smart Solar Energy Based Irrigation System With GSM", Third International Conference on Intelligent Information Technologies, ICIIT, 75–85.
- [24] García, A., M., García, I., F., Poyato, Barrios, E., C., P.M., Díaz, J., R., (2018). "Coupling Irrigation Scheduling With Solar Energy Production In A Smart Irrigation Management System". *J. Clean. Prod.* 175, 670–682.
- [25] Buschermohle, M., Burns, R.T., (1999), "Solar-Powered Livestock Watering Systems." U.S. Department of Agriculture, Machinery Department. *Trakia J Sci.* 1914
- [26] Varınca B, Gönüllü T., (2006), Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, *Ughek’ I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerji Kongresi*, 270-275, Eskişehir, 21-23 Haziran 2006

- [27] Karamanav M,(2007), Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi
- [28] Salmanoğlu F. (2009), Rüzgâr – Fotovoltaik Otonom Hibrid Güç Sistemlerinin Algoritmik Bir Yaklaşımla Optimal Tasarımı, , Güneş Enerjisi Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi.
- [29] Web 2 (2023), <http://www.gunessistemleri.com/potansiyel.php> (Erişim tarihi:20.07.2023)
- [30] Altuntop N., Erdemir D,(2013), Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler, Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 639, s. 69-77.
- [31] Ültani M.,(1999),“21.Yüzyıl Eşiğinde Güneş Enerjisi”, Bilim ve Teknik Dergisi,340,
- [32] Iqbal M., (1983), “An Introduction to Solar Radiation”, 9780323151818, Elsevier
- [33] Web 3 (2023), <http://www.eie.gov.tr/mycalculator/default.aspx>(Erişim Tarihi: 20.07.2023)
- [34] Web 4 (2023), <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/41.aspx> (Erişim Tarihi: 21.06.2023)
- [34] Idoko L., Mcdonald A., Anaya-Lara, O., (2017), “Enhancing PV Modules Efficiency And Power Output Using Multi-Concept Cooling Technique”, Energy Reports, 357–369.
- [36] Sezginer M., Baran S., (2015), “Karbon Nanotüp Üzerine Zno Yarıiletkenlerinin Büyütülerek Optik Elektronik Özelliklerinin İncelenmesi Ve Yüksek Verimde Fotovoltaik Hücre Üretilmesi”, Lisans Bitirme Tezi, Yalova Üniversitesi.,
- [37] Web 5 (2023), <https://www.tekniksolar.com/on-grid-sistem-sebekeye-bagli-sistem> (Erişim Tarihi:10.09.2023)
- [38] Web 6 (2023), <https://www.tekniksolar.com/off-grid-akulu-sistem/> (Erişim Tarihi:10.09.2023)
- [39] Acar C., Kılınçdemir İ., (2010), Güneş Takip Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi
- [40] Yanıktepe B., Özalp C, Savrun M, Köroğlu T, Cebeci Ç, 2011, Rüzgâr-Güneş Hibrid Güç Sistemi Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Uygulama Örneği, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11).
- [41] Boz O.H., (2011), Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi
- [42] Yalova Üniversitesi (2018),Enerji Sistemleri Mühendisliği Fotovoltaik Hücre Teknolojisi Ders Notları
- [43] Web 7 (2023), http://www.robotiksistem.com/gunes_pilleri_nedir.html (Erişim Tarihi:11.10.2023)

- [44] Gorjian S., Calise F., Kant K., Ahamed Md,S., Corpertaro B., Najafi G., Zhang X., Aghaei M., Shamshiri R. R., (2020), “A Review On Opportunities For Implementation Of Solar Energy Technologiesin Agricultural Greenhouses” Journal of Cleaner Production 285, 124807.
- [45] Abdolzadeh M., Ameri M., (2008), “Improving The Effectiveness Of A Photovoltaic Water Pumping Systems By Spraying Water Over The Front Of The Photovoltaic Cells” Renewable Energy 34, 91-96.
- [46] Rajkumar M. N., Abinaya S., Kumar V. V., (2017), “Intelligent Irrigation Systems An Iot Based Approach” Ieee International Conference on Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (ICIGEHT’17).
- [47] Tsheng F.H., Cho H., Hsin A., Wu T. (2019), “Applying Big Data for Intelligent Agriculture-Based Crop Selection Analysis” IEEE Transactions And Journals, 2935564.
- [48] Frenjo, A., Wogasso, A., Rajesh, R., et al. (2017) “Designing And Developing Solar Energy Operated Water Pump For Small Scale Irrigation” International Journal of Chemical Sciences. 15(4):194
- [49] Şener, S., Ertas, R., Öğretir, K., Apan, A., (1995), Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Sulama Teknikleri. KGHM. APK Daire Bşk.Yayın no:89. Menemen.
- [50] Web 8 (2023), <https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/assets/upload/dosyalar/9ae1c1617c44ab747fec6f7c11ca87968301.pdf> (Erişim Tarihi: 10.06.2023)
- [51] Çetin, Ö., (2004), “Tarımsal Sulama Yöntemleri” Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Yayın Dairesi Başkanlığı. No:2004/7, Ankara
- [52] Westrap, S., Chieng,S., Schreier, H., (2003), “ A Comparison between low-cost drip irrigation conventional drip irrigation, and hand watering in Nepal.” Agricultural Water Managment 64 (2004) 143-160
- [53] Web 9 (2023), <https://esular.com/sulama/damla-sulama/damla-sulama-2/> (Erişim tarihi:10.06.2023)
- [54] Web 10 (2023), <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=88> (Erişim tarihi:10.06.2023)
- [55] Web 11 (2023), <https://docplayer.biz.tr/68409758-Gunes-enerjisiyle-damla-sulama-sistemleri-icin-tasarim-olcutleri.html> (Erişim Tarihi:12.06.2023)
- [56]Peren. V., (2016), “Fotovoltaik su pompalama sistemi tasarımı ve modellenmesi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye,
- [57] Web 12 (2023), https://www.leonics.com/support/article2_14j/articles2_14j_en.php (Erişim Tarihi:15.08.2023)

[58] Goncaoglu, B., “Pompa Seçimi Nasıl Yapılır” – Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü – İSTANBUL,2010

[59] Web 13 (2023),

<https://kocaeli.tarimorman.gov.tr/Lists/KutuMenu/Attachments/2/Kocaeli%20Tar%204%B1m%20%C4%B0statisti%C4%9Fi.pdf> (Erişim Tarihi:12.06.2023)

[60] Çetinçalı O. M., (2017), “Düzce İli Şartlarında Güneş Enerjisi İle Akıllı Tarımsal Sulama Uygulaması” Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi.

[61] Web 14 (2023),

<https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/Tu%CC%88rkiyede%20Sulanan%20Bitkilerin%20Bitki%20Su%20Tu%CC%88ketimleri.pdf> (Erişim Tarihi:12.06.2023)

[62] Meah, K., Ula, S., Barrett, S., (2008), “Solar Photovoltaic Water Pumping Opportunities and Challenges”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 1162–1175

[63] Web 15 (2023), <https://www.aydinlatma.org/en/what-is-the-difference-between-monocrystalline-and-polycrystalline-solar-panels.html> (Erişim tarihi:10.10.2023)

[64] Web 16 (2023), <https://tureco.com.tr/blog/gunes-paneli-invertoru-nedir> (Erişim tarihi:10.10.2023)

[65] Web 17 (2023), <https://mundasolar.com/2018/10/01/solar-aku-gunes-enerjisi-sistemi-jel-aku-secimi/#:~:text=Solar%20ak%C3%BC%20se%C3%A7imi%20yaparken%2C%20sul u,%2C%20ak%C3%BCn%C3%BCn%20kullanabilece%C4%9Finiz%20kapasitesin i%20belirler.> (Erişim tarihi:10.10.2023)

[66] Web 18 (2023), <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KOCAELI> (Erişim tarihi:14.07.2023)

[67] Web 19 (2023),

<https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/Tu%CC%88rkiyede%20Sulanan%20Bitkilerin%20Bitki%20Su%20Tu%CC%88ketimleri.pdf> (Erişim tarihi:12.07.2023)

[68] Web 20 (2023), <https://cw-enerji.com/tr/urun/cw-enerji-325wp-65pm-bipv-gunes-paneli-1366.html> (Erişim tarihi:15.10.2023)

[69] Web 21 (2023), <https://plus.alarko-carrier.com.tr/havadan-sudan/dalgic-pompa-nedir-nasil-calisir> (Erişim tarihi:15.10.2023)

[70] Web 22 (2023), <https://www.milesight.com/solution/smart-agriculture> (Erişim tarihi:15.10.2023)

ÖZGEÇMİŞ

Merve Sezginer 2009 yılında İstanbul Üsküdar Anadolu Lisesinden mezun olmuştur. 2014 Yılında Polonya'nın Opole kentinde Erasmus programı kapsamında Politeknika Opolska 'da Makine Mühendisliğinde eğitim görmüştür. 2016 yılının Ocak ayında Türkiye'nin Yalova ilinde yer alan Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünden Enerji Sistemleri Mühendisliği ünvanını elde etmiştir. Gebze Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde almış olduğu yüksek lisans eğitiminin sonucunda bu tezi hazırlamıştır. Demsay Elektronik firmasında Satış Destek Mühendisliği, Saha Uygulama Mühendisliği, Satış Destek Ekip lideri olarak çalıştıktan sonra KMC Elektronik şirketinde İş Geliştirme Yöneticisi olarak çalışmış olup, hali hazırda EBV Elektronik firmasında İç satış Mühendisi olarak çalışmaktadır. Yazarın ana çalışma alanı Güneş Enerjisidir



TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

[1] Sezginer Ö.M., Ünverdi Ö.S., (2023) “SMART SOLAR IRRIGATION SYSTEM WITH FOTOVOLTAIC ENERGY”, INTERNATIONAL IZMIR CONGRESS ON LIFE, ENGINEERING, AND APPLIED SCIENCES,27, İZMİR, TR,29-31 July.



Ek-A: YAYIN İÇERİĞİ

FOTOVOLTAİK ENERJİ DESTEKLİ AKILLI TARIMSAL SULAMA SİSTEMİ

SMART SOLAR IRRIGATION SYSTEM WITH FOTOVOLTAIC ENERGY

Dr. Öğr. Üyesi SALİH ÖZEN ÜNVERDİ

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Merve Sezginer Ökmen

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü



Ek B: ARDUİNO SENSÖR KODLARI

```
#include <LoRa_E32.h>

#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial(3,4);
LoRa_E32 e32ttl(&mySerial);


const int sensorInput = A1;
int nem1023 = 0;


struct Signal {
    char type[15];
    byte Nem[4];
} data;


void setup() {
    Serial.begin(9600);
    e32ttl.begin();
    delay(500);
}


void loop() {

    nem1023 = analogRead(sensorInput);
    Serial.print("sensor = ");
    Serial.println(nem1023);

    //Gönderilecek paket veri hazırlanıyor
    struct Signal {
        char type[15] = "Biber bölgesi";
        byte Nem[4];
```

```
} messageSS;
```

```
*(int*)(messageSS.Nem) = nem1023;
```

```
ResponseStatus rs = e32ttl.sendFixedMessage(0,2,6, &messageSS, sizeof(Signal));  
Serial.println(rs.getResponseDescription());
```

```
delay(500);
```

```
}
```

Ek C: Arduino Anakart Kodları

```
#include <LoRa_E32.h>
```

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
#define Switch 12
```

```
# define motor 2
```

```
SoftwareSerial mySerial(10, 11);
```

```
int sicaklik = 25;
```

```
int nem1023 = 0 ;
```

```
int nem = 0;
```

```
int switchStatus = 0 ;
```

```
const int rs = 8, en = 7, d4 = 6, d5 = 5, d6 = 4, d7 = 3, a= 2;
```

```
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
```

```
LoRa_E32 e32ttl(&mySerial);
```

```
struct Signal {
```

```

char type[15] = "Data Basla";
byte Nem[4];
} data;

```

```

void setup() {

```

```

    Serial.begin(9600);
    e32ttl.begin();

```

```

    lcd.begin(16,2);
    pinMode(Switch, INPUT);
    pinMode(motor, OUTPUT);
    delay(500);

```

```

}

```

```

void loop() {

```

```

    switchStatus = digitalRead(Switch);

```

```

    while (e32ttl.available() > 1) {
        ResponseStructContainer rsc = e32ttl.receiveMessage(sizeof(Signal));
        struct Signal data = *(Signal*) rsc.data;
        *(int*)(data.Nem) = nem1023;
        nem = 100 - ((100*nem1023)/1023);
        Serial.print("Sebze çeşidi ");
        Serial.println(data.type);
    }

```

```
Serial.print("Toprak Nemi: ");
Serial.println(nem1023);
    Serial.print("Toprak Nemi yüzde: ");
Serial.println(nem);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("NEM = %");
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print(nem);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("SICAKLIK =");
lcd.setCursor(11,1);
lcd.print(sicaklik);

rsc.close();
}
```

```
if(switchStatus == 1){
    digitalWrite(motor, HIGH);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("SULANDI");
    delay(200);
}
else{
    digitalWrite(motor, LOW);
}
```

```
if(nem <= 40){
    digitalWrite(motor, HIGH);
```

```
    delay(2500);  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("SULANDI");  
    delay(400);  
}
```

```
delay(500);
```

