

T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖKHAN ÇAYIR

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN UYGULAMA
ALANLARI VERİMLİLİĞİ VE MALİYET ANALİZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADYAMAN, 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN UYGULAMA ALANLARI VERİMLİLİĞİ VE MALİYET ANALİZİ

Gökhan ÇAYIR

Adıyaman Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Abdulcelil BUĞUTEKİN

Yıl :2022, Sayfa sayısı:

Jüri :Prof. Dr. Abdulcelil BUĞUTEKİN

:Prof. Dr. Refet KARADAĞ

:Prof. Dr. Hüsamettin BULUT

Dünya ve ülkemizde fosil enerji kaynakların sürekli tükendiği ve doğaya ve insana zararlar verdiği bilinmektedir. Güneş, rüzgar, biyokütle, dalga gel-git, jeotermal, hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları fosil enerji kaynaklarına alternatif olmakta ve zararlarını ortadan kaldırmaktadır. Bu çalışmada fotovoltaik güneş enerjisi uygulamaları olarak fotovoltaik tarımsal sulama ve off-grid sistem üzerinde bir program yazılarak; mevcut sulama sistemlerinin ve off-grid sistemlerin verimliliği, modellemesi ve maliyet hesapları yapılarak mevcut sistemlerin şebeke elektriği ve jeneratör kullanımı ile kıyaslanması yapılmış amortisman süreleri hesaplanmıştır. Fotovoltaik tarımsal sulamada ve off-grid sistemlerde ihtiyaca göre kullanılması gereken cihazların kapasiteleri hesaplanmıştır. Fotovoltaik sistemlerin elektrik şebekesi ve jeneratör kullanımına göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Fotovoltaik sistemler, Güneş enerjisi ile Sulama sistemleri, Off-grid sistemler.

ABSTRACT

MSc Thesis

APPLICATION AREAS EFFICIENCY AND COST ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY SYSTEMS

Gökhan ÇAYIR

Adıyaman University

Graduate School of Education

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Abdulcelil BUĞUTEKİN

Year : 2022 , Number of pages:

Jury :Prof. Dr. Abdulcelil BUĞUTEKİN

:Prof. Dr. Refet KARADAĞ

:Prof. Dr. Hüsamettin BULUT

It is known that fossil energy sources are constantly depleted in the world and in our country and cause harm to nature and people. Renewable energy sources such as sun, wind, biomass, wave tide, geothermal, hydraulic energy are alternatives to fossil energy sources and eliminate their damages. In this study, by writing a program on photovoltaic agricultural irrigation and off-grid system as photovoltaic solar energy applications; Efficiency, modeling and cost calculations of existing irrigation systems and off-grid systems have been made, and amortization periods have been calculated by comparing the existing systems with the use of mains electricity and generators. The capacities of the devices that need to be used in photovoltaic agricultural irrigation and off-grid systems have been calculated. It has been determined that photovoltaic systems are more advantageous than the use of electricity network and generator.

Keywords: Solar energy, Photovoltaic systems, Solar irrigation systems, Off-grid systems.

BEYAN

“FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN UYGULAMA ALANLARI VERİMLİLİĞİ VE MALİYET ANALİZİ” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Gökhan ÇAYIR

TEŐEKKÖR

Bu tezi hazırlamamda emeği geçen, bana destek olan ve yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Abdulcelil BUĞUTEKİN' e daha sonra manevi desteklerini esirgemeyen eőime ve aileme teőekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
BEYAN.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Enerjinin Önemi ve Enerji.....	1
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	4
1.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Çeşitleri	4
1.2.1.1. Hidrolik Enerji	4
1.2.1.2. Rüzgar Enerjisi	5
1.2.1.3. Jeotermal Enerjisi	5
1.2.1.4. Biyokütle Enerjisi	6
1.2.1.5. Dalga Gel-Git Enerjisi	7
1.2.2. Dünyada Yenilenebilir Enerji	7
1.2.3. Türkiye’ de Yenilenebilir Enerji	9
1.3. Güneş Enerjisi	10
1.3.1. Güneş Enerjisinin Tarihi	12
1.3.2. Dünya’ da Güneş Enerjisi	13
1.3.3. Türkiye’ de Güneş Enerjisi	15
1.4. Güneş Enerjisi Kullanım Alanları	17
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	20
3. MATERYAL VE YÖTEM.....	24
3.1. Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri	25

3.1.1.	Fotovoltaik Enerji Çeşitleri ve Kullanım Alanları	26
3.1.1.1.	Fotovoltaik On-Grid Sistemler	27
3.1.1.2.	Fotovoltaik Off-Grid Sistemler.....	29
3.1.1.3.	Fotovoltaik Tarımsal Sulama Sistemleri.....	30
3.2.	Fotovoltaik Sistemlerde Kullanılan Cihaz Ve Ekipmanlar	31
3.2.1.	Panel.....	31
3.2.2.	Panel Üretimi	37
3.2.2.1.	Kum	37
3.2.2.2.	Ingot (Silikon Kütük/Külçeler).....	38
3.2.2.3.	Wafers (Yongalar)	38
3.2.2.4.	Güneş hücreleri (Solar cells).....	39
3.2.3.	Monokristal Güneş Pili (Mono-Si)	43
3.2.4.	Polikristal Güneş Pili (Multi-Si)	44
3.2.5.	İnce (Thin) Film Güneş Pili (TFSC)	44
3.3.	Aküler.....	45
3.3.1.	Jel Akü	46
3.3.2.	Kuru Aküler	47
3.3.3.	Sulu Aküler	48
3.3.4.	Lithium Ion (Li-Ion) Aküler.....	48
3.3.5.	Kristal Aküler.....	50
3.4.	İnverterler	51
3.4.1.	Off-Grid İnverterler.....	53
3.4.2.	On-Grid İnverterler	54
3.4.2.1.	Merkezi İnverterler	55
3.4.2.2.	Dizi İnverterler.....	56
3.4.2.3.	Mikro İnvörtörler	57
3.4.3.	Hibrit İnverterler	58
3.5.	Solar Pompa Sürücüler	59

3.5.1.	Solar Dalgıç Pompa Sistemleri Sensörleri	62
3.5.2.	Solar Hibrit Pompa Sistemleri ve Hibrit Pompa Sürücüleri	63
3.6.	Pompalar.....	64
3.6.1.	Solar Yüzey Pompalar.....	64
3.6.2.	Solar Dalgıç Pompalar	65
3.6.3.	Santrifüjlü Dalgıç Solar Pompalar	65
3.6.4.	Diyafram Dalgıç Solar Pompalar	66
3.6.5.	Sarmal (Helezonik) Tipli Dalgıç Solar Pompalar	67
3.6.6.	Solar Sürücü Kontrollü Dalgıç Pompa Uygulamada Kullanılan Bazı Örnekler ve Teknik Değerleri	67
3.7.	Kablolar	71
3.7.1.	AC Dalgıç Motor Kablo Hesapları	74
3.7.2.	DC Kablo Hesapları	76
3.8.	Konstrüksiyon	76
3.8.1.	Sehpa Çeşitleri	76
3.8.2.	Konstrüksiyon Elemanları.....	78
3.9.	Konnektörler.....	80
3.10.	Topraklama ve Paratoner	84
3.11.	Şarj Kontrol Cihazları (Solar Şarj Regülatörü).....	87
3.12.	Fotovoltaik Enerjili Tarımsal Sulama.....	89
3.12.1.	Dalgıç Pompa Güç Hesabı	90
3.12.2.	Fotovoltaik Panel Gücü Hesabı	92
3.12.3.	Dalgıç Pompa Sürücü Kapasitesi Hesabı	93
3.12.4.	Kablo Hesabı	94
3.12.5.	Konstrüksiyon	95
3.12.6.	Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sistem Tasarım.....	96
3.12.7.	Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sistemlerin Program Modellenmesi	96
3.12.8.	Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sistemlerin Maliyet Analizi	99

3.12.8.1. Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sistemlerin Jeneratör Kullanımı İle Karşılaştırılması	100
3.12.8.2. Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sistemlerin Elektrik Şebekesi İle Karşılaştırılması	102
3.13. Fotovoltaik Off-Grid Sistem.....	107
3.13.1. Akü Kapasitesi Hesabı	107
3.13.2. Fotovoltaik Sistem Gücü Hesabı	108
3.13.3. İnverter Gücü Hesabı.....	108
3.13.4. Kablo Hesabı	109
3.13.5. Off-Grid Sistem Tasarımı.....	110
3.13.6. Güneş Enerjili Off-Grid Sisteminin Program İle Modellenmesi....	111
3.13.7. Güneş Enerjili Off-Grid Sistemlerinin Maliyet Analizi	112
3.13.8. Güneş Enerjili Off-Grid Sistemlerin Jeneratör Kullanımı İle Karşılaştırılması	113
3.13.9. Güneş Enerjili Off-Grid Sistemlerin Elektrik Şebekesi İle Karşılaştırılması.....	114
3.14. Fotovoltaik Sistemlerin Verimliliği	117
3.14.1. Maksimum Güç Noktası İzleme Etkisi.....	117
3.14.2. Sıcaklığın Etkisi	118
3.14.3. Kablo Seçimi Etkisi.....	118
3.14.4. Fotovoltaik Panel Yerleşimi	119
3.14.5. Verimlilik Hesabı	119
3.15. CO ₂ Karbondioksit Emisyon Hesabı.....	120
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	121
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	123
KAYNAKLAR	125
KİŞİSEL BİLGİLER	131

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Solar kablo seçim tablosu	73
Çizelge 3.2 Dalgıç pompa kablo seçim kesit tayin tablosu.....	75
Çizelge 3.3 Dalgıç pompa seçim tabloları	92
Çizelge 3.5 Güneş enerjili sulama sistem bağlantı şeması değerleri	96
Çizelge 3.6 Dalgıç pompa fiyatları	99
Çizelge 3.7 Sürücü fiyatları.....	100
Çizelge 3.8 Güneş paneli fiyatları.....	100
Çizelge 3.9 Genel toplam fiyatlar	100
Çizelge 3.10 Motor gücüne göre jeneratör seçimi	101
Çizelge 3.11 7,5 kVA gücünde farklı marka model dizel jeneratör fiyatları.....	101
Çizelge 3.12 Tarımsal sulama sistemleri jeneratör kullanımı fiyatları	102
Çizelge 3.13 Tarımsal Sulama Sistemlerin Elektrik Şebekesi fiyatları	102
Çizelge 3.14 Güneş enerjili tarımsal sulama 5 yıllık maliyet tablosu.....	103
Çizelge 3.15 Adıyaman ili ortalama güneşlenme süresi (h-saat).....	107
Çizelge 3.16 Örnek bir off-grid sistemin elektrik ihtiyacı	107
Çizelge 3.17 400Wp polikristal bir panel değerleri	108
Çizelge 3.18 Off-grid sistem fotovoltaiik güneş enerji sistemi tasarım değerleri.....	110
Çizelge 3.19 Off-grid sistem maliyet tablosu	113
Çizelge 3.20 2400 W inverter fiyatları.....	113
Çizelge 3.21 Akü fiyatları.....	113
Çizelge 3.22 Off-grid sistemlerin jeneratör kullanımı maliyet tablosu.....	114
Çizelge 3.23 Off-grid sistem elektrik şebekesi maliyet tablosu.....	114
Çizelge 3.24 Off-grid sistem 5 yıllık maliyet tablosu	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Enerji kaynaklarının genel sınıflandırılması.....	2
Şekil 1.2 Türkiye kurulu elektrik güç santralleri dağılımı MW.....	3
Şekil 1.3 Elektrik, ısı ve ulaşımda enerji talebi ve yenilenebilir enerji üretimindeki değişim, 2019-2020 turkuaz, toplam enerji talebi değişimi ve mavi, yenilenebilir enerji çıktısı değişimi	8
Şekil 1.4 Dünyada toplam üretim ana durum ve öngörülen durum	8
Şekil 1.5 Türkiye’ de yenilenebilir enerji dağılımı	10
Şekil 1.6 Güneşin yeryüzüne ulaşan enerji durumu	12
Şekil 1.7 Güneş silahlarının bir figürü	13
Şekil 1.8 Güneş silahları kullanıldığı bir anın tasviri.....	13
Şekil 1.9 Dünyada güneş enerjisi kullanımının fotovoltaiik ve Konsantre güneş teknolojileri durumu	14
Şekil 1.10 2018 yılı itibari ile güneş enerjisinden elektrik üretimi dünya sıralamaları ve payları.....	15
Şekil 1.11 Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlasına (GEPA).....	16
Şekil 1.12 Türkiye’ de aylık ışıınım değerleri (kWh/m ²).....	16
Şekil 1.13 Eylül 2020 sonu itibariyle güneş enerjisine dayalı Türkiye’ de kurulu elektrik gücü.....	17
Şekil 3.1 On-grid sistem, Off-grid sistem, Güneş Enerjili Tarımsal Sulama.....	27
Şekil 3.2 On-grid bir sistem	28
Şekil 3.3 On-grid bir GES santrali	29
Şekil 3.4 Fotovoltaiik off-gird bir sistemin şematik gösterimi	30
Şekil 3.5 Solar sulama ile sulama sistemi	31
Şekil 3.6 1873' te Willoughby Smith tarafından yapılan ilk ilkel fotovoltaiik pv panel	32
Şekil 3.7 Bir fotovoltaiik güneş pilinin yapısı.....	34
Şekil 3.8 Fotovoltaiik panel üretiminde kullanılan silika kum	37
Şekil 3.9 Dilimlenmiş silikon ingotlar	38

Şekil 3.10 Monokristal ve polikristal wafer	39
Şekil 3.11 Polikristal ve monokristal güneş paneli hücreleri	39
Şekil 3.12 Çoklu / tel baralar – Multi busbar hücreler dizilimleri	40
Şekil 3.13 Yaygın (P tipi) bir silikon güneş hücresinin temel yapı şeması.....	41
Şekil 3.14 Fotovoltaik panellerin üretim aşamaları	42
Şekil 3.15 Silikondan PV panele üretim süreci.....	42
Şekil 3.16 Monokristal panel	43
Şekil 3.17 Polikristal panel	44
Şekil 3.18 Thin(İnce) film panel	45
Şekil 3.19 Jel aküler örnekleri 12V, 2V, 30 Ah, 50 Ah,75 Ah , 100 Ah, 150 Ah, 200 Ah.....	46
Şekil 3.20 Kuru akü örnekleri	47
Şekil 3.21 Sulu aküler.	48
Şekil 3.22 Lithium ion aküler örnekleri	49
Şekil 3.23 Kristal aküler.....	51
Şekil 3.24 Tam sinüs ve modiye sinüs dalga eğrileri	52
Şekil 3.25 5000VA gücünde bir Off-grid inverter	53
Şekil 3.26 Off-grid inverter elektriksel değerleri	53
Şekil 3.27 72000W On-grid bir inverter	54
Şekil 3.28 On-grid bir inverter elektriksel değerleri	55
Şekil 3.29 5MVA yani 4 MW gücünde bir merkezi SINACON inverter.....	56
Şekil 3.30 Bir Dizi inverter	57
Şekil 3.31 Dizi inverter elektriksel değerleri	57
Şekil 3.32 Panel aksanında bir mikro inverter	58
Şekil 3.33 Bir Hibrit inverter	58
Şekil 3.34 Hibrit inverter elektriksel değerleri	59
Şekil 3.35 Örnek bir solar pompa sürücüsü 10 hp, 7,5 kw gücünde şematik gösterimi	59
Şekil 3.36 Örnek PS150C solar pompa sürücüsü	61
Şekil 3.37 PS9k AC yüksek güç ve derinlikli solar pompa sürücüsü	62
Şekil 3.38 Bazı sensör tipleri	63

Şekil 3.39 PSk2 solar hibrit pompa sürücüsü	64
Şekil 3.40 PV ve dizel jeneratör ile beslenen hibrit sistem ve hibrit solar pompa sürücüsü	64
Şekil 3.41 Santrifüj pompa kesit gösterimi içyapısı.....	66
Şekil 3.42 Diyafram dalgıç solar pompalar.....	66
Şekil 3.43 Sarmal (helezonik) tipli dalgıç solar pompalar	67
Şekil 3.44 Lorentz marka PS150 C-SJ5-8 model solar sarmal dalgıç pompası ve sürücüsü	68
Şekil 3.45 Lorentz marka PS150 C-SJ5-8 model solar dalgıç tablosu	68
Şekil 3.46 PS9k AC Santrifüjlü Dalgıç Solar Pompa	69
Şekil 3.47 Lorentz marka PS9k model solar dalgıç pompa tablosu.....	70
Şekil 3.48 PS7k C-SF12-9 model solar yüzey pompası ve sürücü	70
Şekil 3.49 PS7k C-SF12-9 model solar yüzey pompası tablosu.....	71
Şekil 3.50 Solar kablolar kırmızı pozitif (+) siyah negatif(-) temsil eder.....	73
Şekil 3.51 AC motor monofaze ttr solar kablo bir örnek	74
Şekil 3.52 Sırasıyla çatıya paralel montaj, çatı üzerine yakın montaj, çatı üzerine sıfır montaj.....	77
Şekil 3.53 Sırasıyla düz çatı üzeri sehpa, arazi sehpa	78
Şekil 3.54 Montaj rayı ve kelepçe montajı yapılmış bir örnek	78
Şekil 3.55 PV panel tutucu kelepçe	79
Şekil 3.56 Akıllı ve sivri uçlu vida.....	79
Şekil 3.57 Kiremit çatı kancası ve uygulaması	80
Şekil 3.58 Bir Panel ve montaj rayı ve kelepçe bağlantı uygulaması	80
Şekil 3.59 MC4 Konnektör bağlantı çeşitleri.....	81
Şekil 3.60 MC4 branş paralel kablolu konnektörler 1 dişi 1 erkek	81
Şekil 3.61 Kablolu MC4 üçlü paralel bağlantı konnektörü 3 dişi 1 erkek, 1 erkek 3 dişi	82
Şekil 3.62 MC3 güneş konektörü erkek ve dişi	82
Şekil 3.63 MC3 konektörü ikili paralelleme erkek ve dişi	82
Şekil 3.64 MC3 konnektörden MC4' e geçiş adaptörü.....	83
Şekil 3.65 PV panellerde kullanılan konnektör bağlantı pensesi	83

Şekil 3.66 Fotovoltaik panel, konnektör, kablo paralel ve seri bağlantı örnekleri	84
Şekil 3.67 Örnek yıldırım korumasında; küre yarıçapı, d: paratonerler arası mesafe, p: küre penetrasyon derinliği.....	86
Şekil 3.68 Bir çatıda paratoner uygulaması ve topraklama.....	87
Şekil 3.69 Solar şarj kontrol cihazı şematik gösterimi.....	88
Şekil 3.70 Adıyaman global güneş radyasyonu değerleri GEPA	89
Şekil 3.71 Kuyu algoritması ve ölçüler.....	90
Şekil 3.72 Arazi tipi fotovoltaik sulama sistemi konstrüksiyon	95
Şekil 3.73 Güneş enerjili sulama sistem bağlantı şeması.....	96
Şekil 3.74 Örnek bir uygulamanın program ara yüzünde hesaplaması.....	98
Şekil 3.75 Tarımsal sulama sistemlerinin yıllara göre maliyet değişimleri	104
Şekil 3.76 Güneş enerjili tarımsal sulamanın jeneratör ve elektrik şebekesine göre amortisman süreleri.....	104
Şekil 3.77 Bir sulama sistemi şematik gösterimi	105
Şekil 3.78 Farklı tip mobil solar sulama sistemi	105
Şekil 3.79 Afrika ülkesinde çölde solar sulama sistemi ile çölde tarım yapılması ..	106
Şekil 3.80 Su kaynağı olmayan doğada yaşayan hayvanların su ihtiyacı için bir solar sulama sistemi	106
Şekil 3.81 Off-grid fotovoltaik güneş enerji sistemi tasarımı	110
Şekil 3.82 Fotovoltaik off-grid sistemde örnek uygulamanın program ile hesabı ve program arayüzü.....	112
Şekil 3.83 Off-grid sistemlerin yıllara göre maliyet değişimleri	115
Şekil 3.84 Off-grid sistem güneş enerjili sistemin jeneratör ve elektrik şebekesine göre amortisman süreleri.....	116
Şekil 3.85 Fotovoltaik off-grid sistemin bileşenleri.....	116
Şekil 3.86 Örnek bir off-grid uygulaması	117
Şekil 3.87 Maksimum güç noktası izleme teknolojisinin fotovoltaik sistemlere etkisi	118

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

M	: Metre
M ³ /kg	: Metre küp/kilogram
kWh	: Kilowatt saat
Wp	: Watt pik
P ₁	: Pompanın mile uygulaması gereken güç
H _m	: Birim Ağırlıktaki Suya Verilenmesi Gereken Enerji Miktarı
P _{PV}	: PV panel gücü
kWh/m ² /gün	: Kilowatt saat/metrekaare/gün
AK	: Akü Kapasitesi
Ah	: Amper saat

Kısaltmalar

GEPA	: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
PV	: Fotovoltaik
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
MGN	: Maksimum Güç Noktası İzleme
GES	: Güneş Enerji Santrali
RES	: Rüzgar Enerjisi Santrali
YEGM	: Yenilebilir Enerji Genel Müdürlüğü
TEP	:Ton Eşdeğer Petrol
On-Grid	: Şebekeye bağlı sistemler
Off-Grid	: Şebekeye bağlı olmayan sistemler
CSP	:Konsantre güneş enerjisi

1. GİRİŞ

1.1. Enerjinin Önemi ve Enerji

İnsanların yaşamalarını sürdürebilmesi ve ülkelerin kalkınması için enerjinin yeri tartışılmaz bir gerçektir. Halihazırda enerji ihtiyacının önemli bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Enerji, uluslararası alanda önemli bir güçtür. Enerji alanında güçlü ve bağımsız olan ulusların daha istikrarlı olacağı anlaşılmıştır. Ülkelerin enerji ihtiyacı artan teknoloji ile her geçen yıl artmaktadır. Enerjiye olan bu ihtiyaç ve enerji kaynakların tükenmesi insanları yeni tükenmeyen enerji kaynaklarına yönlendirmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları insanların bu enerji ihtiyacını doğanın kendi döngüsü içerisinde sunmaktadır. Yenilebilir enerji kaynakları tükenmemesi ve doğaya zarar vermemesi ve bütün insanlığa adaletli olması ile fosil yakıtlara büyük bir alternatif olmaktadır.

Güneş enerjisi, sınırsız yenilenebilir bir enerji kaynağı olanağı sunmaktadır. Dünya var olduğundan beri var olmuş ve insanlık olduğu sürece olacaktır. Güneş enerjisinden gelen günlük enerji bütün ülkelerin enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Bu durumda güneş enerjisini en verimli şekilde kullanmak gerekmektedir.

Güneş enerjisi teknolojilerinden en önemlileri arasında yer alan fotovoltaik güneş teknolojileridir. Şuan ki teknoloji ile yapılan tasarımlardaki eksiklikler ve verim açısından dezavantajlar teknolojinin gelişmesi ile her geçen gün pozitif duruma evirilmektedir. PV paneller ile güneş enerjisinden direkt elektrik üretilmekte olup bu elektrik enerjisi kullanılabilirlerdir.

Tarım alanında ve off-grid sistemlerde fosil temelli enerjiye son vermek artık kaçınılmaz zorunluluk haline gelmiştir. Milli gelir içindeki tarımsal pay 2019 yılsonu

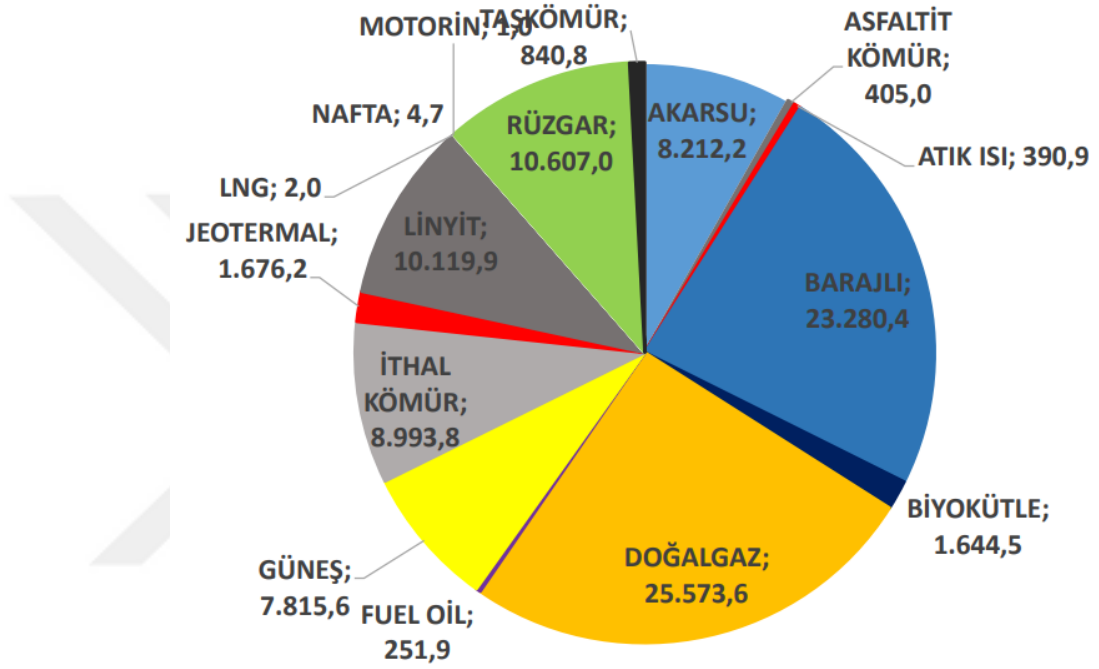
275 milyar TL'ye çıkmıştır. Gerçekleştirilen yatırımlarla 2019 yılında 53.000 hektar tarım alanı suya kavuşmuştur. (1 ha 10 dönüm (dekar)) toplam istihdam yaklaşık 5097000 kişidir [1]. Özellikle şebeken uzak yerlerdeki off-grid sistemlere elektrik şebeke tedarikinin zor ve güç olması bu sistemlere zorunlu bir şekilde kullanılmasına itmektedir.

Enerjinin herhangi bir forma dönüşmemiş ilk hali birincil (primer) enerji olarak tanımlanır. Petrol, kömür, doğal gaz, nükleer, hidrolik, biyokütle, dalga-gelgit, güneş ve rüzgâr birincil enerji kaynaklarıdır. Birincil enerjinin dönüştürülmesi neticesinde elde edilen enerji ise ikincil (sekonder) enerjilerdir. Bunlar; elektrik, benzin, mazot, motorin, kok kömürü, ikincil kömür, petrokok, hava gazı ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG)' dir [2].



Şekil 1.1 Enerji kaynaklarının genel sınıflandırılması [2]

2021 yılı aralık ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzü kaynaklara göre ayırırsak yaklaşık; hidrolik enerji 31.500 MW, doğal gaz 25.573,6 MW, kömür 20.000 MW, rüzgâr 10.607,9 MW, güneş 7.815,6 MW, jeotermal 1.676,2 MW ve diğer kaynaklar şeklindedir(Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Türkiye kurulu elektrik güç santralleri dağılımı MW [3]

Diğer taraftan elektrik üreten santral sayısı, 2021 yılı Aralık ayı sonu itibarıyla 10.457' ye (lisanssız olanlarda mevcut) çıkmıştır. Kurulu santrallerin 745 tanesi hidroelektrik, 67 tanesi kömür, 355 tanesi rüzgâr, 63 tanesi jeotermal, 352 tanesi doğal gaz, 8.389 tanesi güneş, 486 tanesi ise diğer kaynaklı santrallerdir.

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Ülkemizde kişi başına düşen enerji tüketimi 1,736 TEP/kişi yani 20.137 kWh/kişi' dir. Kişi başına düşen elektrik tüketimi ise 3.648 kWh/kişi' dir [4].

Yenilenebilir enerji; evrenin kendi içinde bir sonraki zamanlarda da varlığını koruyabilen enerji kaynaklarıdır. Dünya var olduğundan beri insanoğlu ihtiyaçlarını doğal kaynaklardan karşılamıştır. Mesela; yiyeceklerini güneşte kurutmuşlar, buğdaylarını değirmenlerde öğüterek yiyecek elde etmişlerdir. Fakat nüfusları hızla artınca yeni kaynaklar aramaya başlamışlardır. Bulunan bu yeni kaynakların çevreye ve doğaya zarar vermeye başladığı fark edilince tekrar doğal yenilenebilir kaynaklara dönmeye başlanmıştır [5].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının faydaları;

- Atmosfer, su kirliliğini ve erozyonunu azaltması,
- Doğada hep var olması,
- Milli olması,
- Ekonomik yani ucuz olması,
- İş alanlarının çok olması,
- Ekolojik doğal özelliktedir,
- Toplumsal ve ekonomik olarak gelişmeler sağlar,

Gelecek insanların haklarına riayet ediyor olması nedeni ile tercih edilmelidir.

1.2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Çeşitleri**1.2.1.1. Hidrolik Enerji**

Hidroelektrik santraller hareketli suyun potansiyelini elektriğe çevirirler. Suyun sahip olduğu enerji miktarı suyun akış ya da düşüş hızı ile orantılıdır. Büyük bir nehirde akan su büyük enerji ihtiva eder. Diğer taraftan su yüksek bir noktadan akarken de yine büyük miktarda enerji açığa çıkarır. Her iki durumda borular içinde

hareket eden su, türbinlere doğru hareket eder, elektrik üretimi için pervane kollara sahip türbinleri çevirirler. Türbinler jeneratörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler [6].

1.2.1.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi rüzgarın hareket kuvveti ile rüzgar türbinleri vasıtasıyla bu kuvvetin dönme mekanik tahrik kuvvetine dönüştürülmesidir. Sonuç olarak bu dönme kuvvetinin çeşitli yollar ile enerji olarak kullanılmasıdır.

Rüzgar türbinleri, rüzgar enerji santrallerinin en önemli unsuru olup hareket eden havanın kinetik enerjisini ilk olarak mekanik enerjiye ve akabinde elektrik enerjisine çeviren makinelerdir. Bu türbinler dönme eksenlerinin doğrultusuna göre yatay veya düşey eksenli olarak iki şekilde üretilirler. Bunlardan en çok kullanılanlar 3 kanatlı ve yatay eksenli rüzgar türbinleridir [7].

1.2.1.3. Jeotermal Enerjisi

Bu enerji yer kabuğundaki kayalar içinde var olan ısı enerjisinin akışkanlar vasıtasıyla taşınarak depolanması ile meydana gelmiş sıcak su, buhar ve kuru buhar ile kızgın kuru kayalardan yapay yöntemler ile elde edilen ısı enerjilerinin bütünüdür. Jeotermal enerji en çok aktif kırık faylar ile volkanik ve magmatik yer kabuklarının etrafında meydana gelmektedir [8].

Jeotermal enerji; dünya yer tabakasının derinliklerinde var olan ısı ve basıncın meydana getirdiği yüksek sıcaklıkların; atmosferik sıcaklıktan fazla olan ve diğer yeraltı ve yerüstü sulara oranla çok fazla çözülmüş mineraller, çeşitli tuzlar ve gazlar içeren sıcak su, buhar ve gazlar yoluyla atmosfere taşınan ısı enerjisi kaynaklarıdır.

Jeotermal enerjinin kullanıldığı yerler;

- Elektrik enerjisi; jeotermal alanlarda kazılan kuyulardan ele edilen akışkan seperatörlerde buhar ve su olmak üzere ayrıldıktan sonra türbin ve jeneratör vasıtasıyla elektrik üretimi sağlanır.
- Isı eldesi; düşük sıcaklık, basınç ve debideki akışkanın sera, organik tarım, ürün kurutma, bazı düşük ısı enerjisi ihtiyaçlarının karşılanması maksadıyla kullanılması.
- Turizm ve sağlık sektöründe kullanımı; insan sağlığına faydalı mineraller ihtiva edebilen düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklı suların sağlık için kullanımıdır.

1.2.1.4. Biyokütle Enerjisi

Biyogaz denilince, organik malzemelerin; gübre, ağaçlar bitkiler, atık çöpler, yiyecek artıkları, kimyasal atıklar, vb. biyolojik kimyasal fermentasyon ve mikrobiyolojik durumlar sonucunda oluşan ağırlık olarak havanın %20' si olduğu bilinen, yanma ısı değeri 20 MJ/m^3 , yapısında %40–75 metan (CH_4), %25–60 karbon dioksit (CO_2) ve %2 (H_2S), azot (N) mevcut olan yanıcı gaz olarak tanımlanabilir [9].

Biokütle, bitkilerin güneş ışığını fotosentez yardımı ile kimyasal enerjiye çevirerek depolaması sonucu oluşan ve canlı organizmalardan meydana gelen organik madde kaynakları olarak ifade edilebilir. Temel yapısı, karbo-hidrat bileşikleri olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan meydana gelen enerji ise, biokütle enerjisidir [10].

Ana biyokütle enerjisi kaynakları aşağıda sıralanmıştır;

- Yağlı tohumlu bitkiler (kanola, ayçiçek, soya v.b.)
- Şeker ve nişasta bitkileri (patates, buğday, mısır, şeker pancarı v.b.)
- Elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus, v.b.)
- Protein bitkileri (bezelye, fasulye v.b.)

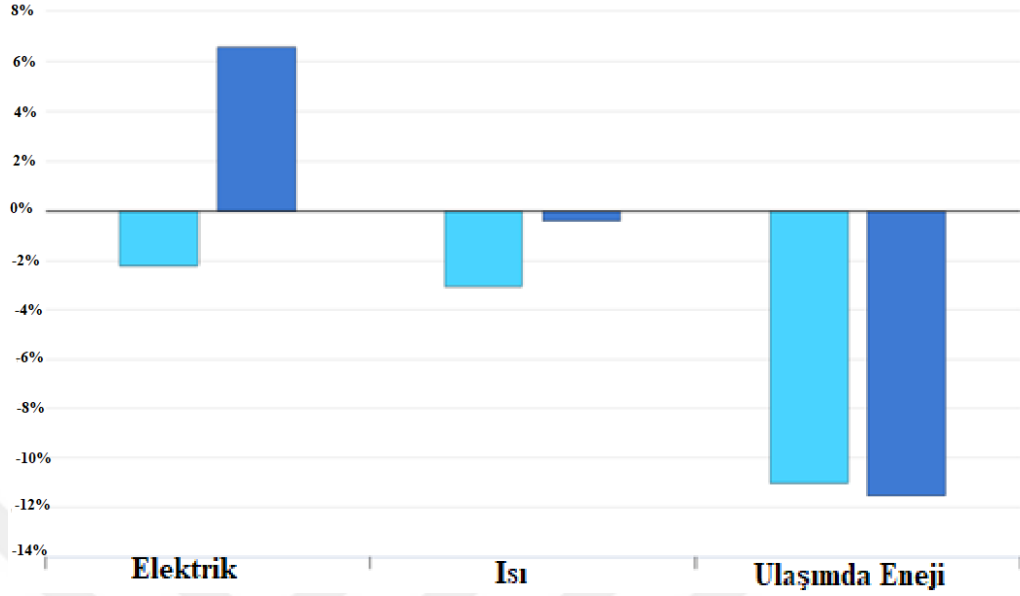
- Bitkisel ve tarımsal çöpler (dal, sap, saman, kök, kabuk, v.b.)
- Odun ve orman çöpleri(enerji ormanları ve enerji bitkileri, çeşitli ağaçlar)
- Bazı hayvanların dışkıları, atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi neticesinde meydana gelen atıklar.
- Kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt, sanayi ve gıda sanayi çöpleri, sanayi bazlı ve konut atık suları, büyük sanayi tesisleri atıkları [11].

1.2.1.5. Dalga Gel-Git Enerjisi

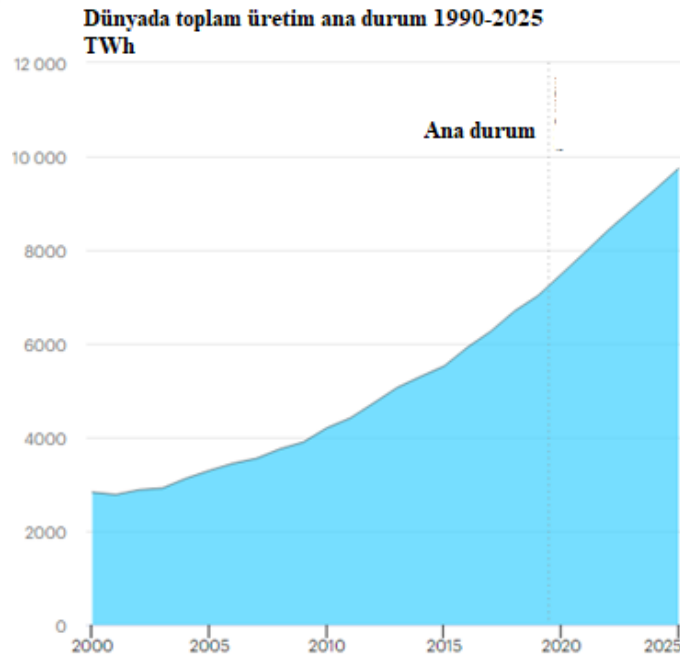
Dalga enerjisi, okyanuslar ve denizler üstündeki rüzgârdan meydana gelen bir enerji türüdür. Potansiyel ve kinetik enerjiye ikisine sahiptir. Kaynağını güneşten alan rüzgâr; dünyanın yaklaşık % 80' ini kaplayan milyonlarca km²' lik okyanusların ve denizlerden hareket ederek okyanuslarda büyük dalgalar oluştururlar. Her saniye tonlarca su, dalga halinde bir noktadan diğer bir noktaya enerji yüklü olarak hareket eder. Yarımkürelerde 30° ve 60° enlemler arasında dalga hareketleri batı rüzgarlarının etkisiyle ile yüksektir [12]. Archimet prensibi ve yer çekimi etkisiyle ortaya çıkan enerjiye dalga enerjisi denilebilir. Gelgit enerjisi tabanlı santraller ile ilgili mevcut tasarımlar, gelgit genliğinin büyük olduğu belirli kıyı kesimindeki ırmak girişlerine ya da deniz girişlerine bir baraj yapılması prensibine dayanır [6].

1.2.2. Dünyada Yenilenebilir Enerji

Diğer tüm kaynakların tam tersine, elektrik üretmek için kullanılan yenilenebilir kaynaklar 2020' de neredeyse % 7 oranında büyüdü. Küresel enerji talebi % 5 düştü ancak uzun vadeli sözleşmeler, şebekeye öncelikli erişim ve yeni tesislerin sürekli kurulması bunların hepsi yenilenebilir elektrikte güçlü büyümenin temelini oluşturdu. Sonuç olarak 2020' de yenilenebilir enerji talebinde genel olarak % 1'lik bir artış olmuştur [13].



Şekil 1.3 Elektrik, ısı ve ulaşımda enerji talebi ve yenilenebilir enerji üretimindeki değişim, 2019-2020 turkuaz, toplam enerji talebi değişimi ve mavi, yenilenebilir enerji çıktısı değişimi [13]



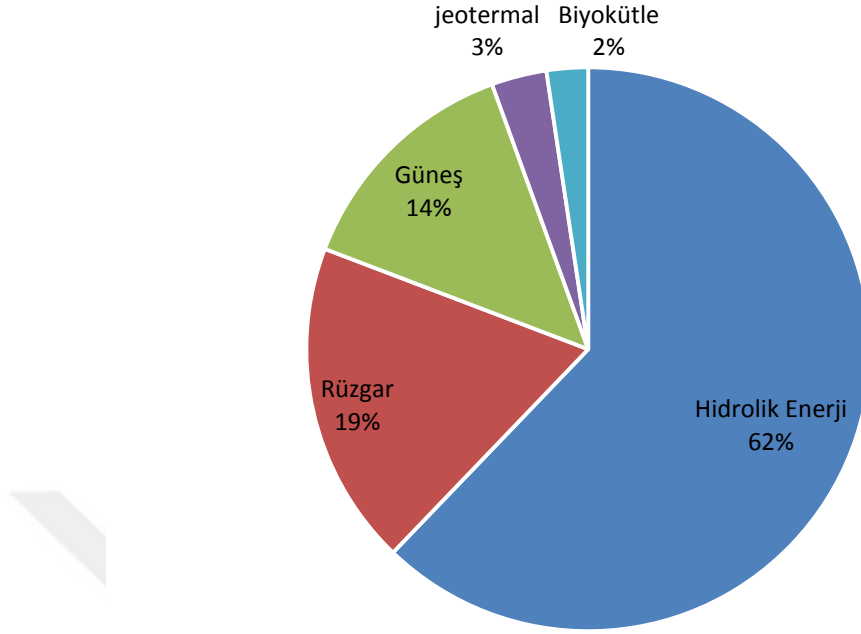
Şekil 1.4 Dünyada toplam üretim ana durum ve öngörülen durum [13]

Yenilenebilir enerji, özellikle fotovoltaik teknolojisi ve rüzgar enerjisi için politika desteği ve maliyet indirimleriyle son yıllarda hızla büyüdü. Son yıllarda fotovoltaik teknolojisi ve rüzgar enerjisinin büyümesi ile elektrik sektörü yenilenebilir enerjiler için dönüm noktası oldu. Ancak elektrik, küresel enerji tüketiminin yalnızca beşte birini oluşturuyor ve ulaşım ve ısıtma sektörlerinde yenilenebilir kaynakların rolü, enerji geçişinde kritik önemini korumaktadır.

1.2.3. Türkiye’ de Yenilenebilir Enerji

Ülkemizde özellikle son yıllarda uygulanan politika destekleri ile yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki payları fark edilir düzeyde artmıştır. 2021 yılı sonu itibarıyla yenilenebilir enerji kaynakları payı 52 GW’ ı geçmesi beklenerek dünya sıralamasında yükselmesi beklenmektedir. Öncelikle hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle enerjisinde G20 ülkeleri içinde % 31’lik oranla Brezilya ve Kanada’dan sonra üçüncü sıradayken ülke elektrik enerjisi üretiminin % 12’sini rüzgar ve güneş enerjisinden sağlayarak bu şekilde G20 ülkeleri içinde 5. sıraya çıkmıştır.

Ülkemizde Nisan 2021 itibarıyla 97 GW’ tan fazla kurulu santrallerin 31.490 MW’ı HES, 9.397 MW’ı RES; 6.928 MW’ı GES ve 1.696 MW’ı JES, 1.136 MW’ı Biyokütle santralı olmak üzere 50.647 MW’ı yenilenebilir kaynaklarından oluşur.



Şekil 1.5 Türkiye’ de yenilenebilir enerji dağılımı [14]

1.3. Güneş Enerjisi

“Paramı güneşe ve güneş enerjisine yatırırdım. Ne büyük bir güç kaynağı! Umarım bunu ele almak için petrol ve kömürün bitmesini beklemeyiz (1931 Thomas Edison).”

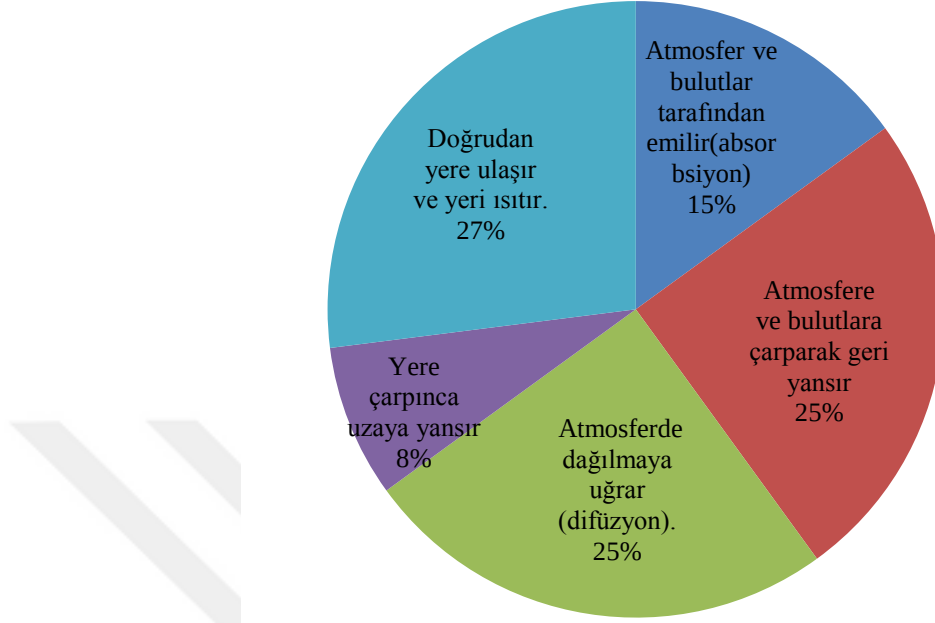
Güneş sarı cüce yıldız ailesindendir. 695.508 km yarıçapındadır. Güneşimiz büyük bir yıldız değildir - çoğu yıldızlar kat kat daha büyüktür - ama yine de ana gezegenimizden çok daha büyüktür. 332.946 tane Dünya Güneş'in kütlesine anca eş değerdir. Güneş'in içini hacimsel olarak doldurmak için 1.3 milyon Dünya'ya gerek vardır. Güneş ile Dünya arası mesafede 150 milyon kilometredir.

Güneş, diğer yıldızlar benzeyen, gazdan oluşan bir toptur. Atomsal sayı olarak % 91.0 hidrojen ve % 8.9 helyumdan oluşmaktadır. Kütlesel olarak, Güneş yaklaşık % 70,6 hidrojen ve % 27,4 helyumdan oluşur.

Merkez çekirdekte sıcaklık, termonükleer füzyonunun devamı için yaklaşık 15 milyon santigrat derecedir. Bu, atomların daha büyük atomlar oluşturmak için birleştiği ve bu süreçte çok büyük miktarlarda enerji saldıdığı bir süreçtir. Özellikle, Güneş'in çekirdeğinde, hidrojen atomları helyum oluşturmak için birleşir. Güneş'in yüzeyi - görebildiğimiz kısım yaklaşık 5000 santigrat derece kadardır. Güneş'in yüzeyi, yani fotosfer 500 kilometre kalınlığında bir tabakadır ve Güneş'in radyasyonunun dışarıya verildiği yerdir. Bu, gezegenlerin yüzeyleri gibi katı bir yüzey değil bunun yerine, bu gazlı yıldızın dış tabakasıdır. Güneş'ten ayrıldıktan yaklaşık sekiz dakika sonra Dünya'ya ulaştığında fotosferden çıkan radyasyonu güneş ışığı olarak görmekteyiz. Fotosferin sıcaklığı yaklaşık 5.500 santigrat derece'dir [15].

Her saniye 600 milyon ton Hidrojenden 596 milyon ton Helyum meydana gelir. Aradaki 4 milyonluk kütle kaybı $E=mc^2$ ilkesine göre enerjiye dönüşür [16].

Yeryüzüne gelen bir dakikalık enerji miktarı insanlığın enerji gereksiniminin 20.000 katıdır.



Şekil 1.6 Güneşin yeryüzüne ulaşan enerji durumu [16]

Nihai olarak: Yeryüzü atmosferden % 4 kadar uzun dalgalı ışınlar da alır. Yeryüzünde kalan enerji miktarı %39 oranındadır [17].

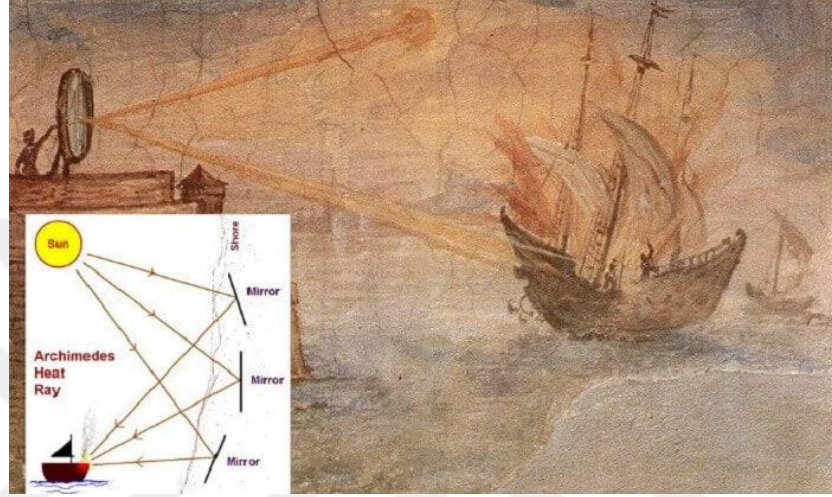
Güneş, ışınlar ile gönderdiği $3,9 \times 10^{26}$ W enerji ile dünyadaki bütün enerji ihtiyacını (2017 yılı için 13.730 MTEP) karşılayacak kadar büyük enerji verir. Atmosferin dış kabuğuna her metrekareye yaklaşık olarak 1367 W güç gelmektedir.

Güneş ışıınımlarından dünyaya ulaşan bir dakikalık enerji dünya genelinde bir yılda harcanan enerjiden çok daha fazladır [17].

1.3.1. Güneş Enerjisinin Tarihi

M.Ö. 3. yy. Romalıların, İtalyan şehri Sirakuza' ya saldırmışlardır. Kuşatma devam ederken Arşimet' in ölüm ışını diye adlandırılan güneş silahları icat etmiştir. Bu silahla Arşimet Roma filolarına ait gemileri yakmıştır. Bu sistem noktasal

heliostalı güneş kulesi sistemlerine çok benzemektedir. Bu sistem güneş ışınlarının bir noktada toplanması ve yüksek sıcaklıkları ulaşması ve tamamen ahşap ve kumaştan oluşan gemileri ateşe vermesi ile çalışmaktaydı. Şekil 1,6'da bu tarihi sistemlerin bir çizimin görmekteyiz [18].



Şekil 1.7 Güneş silahlarının bir figürü [18]

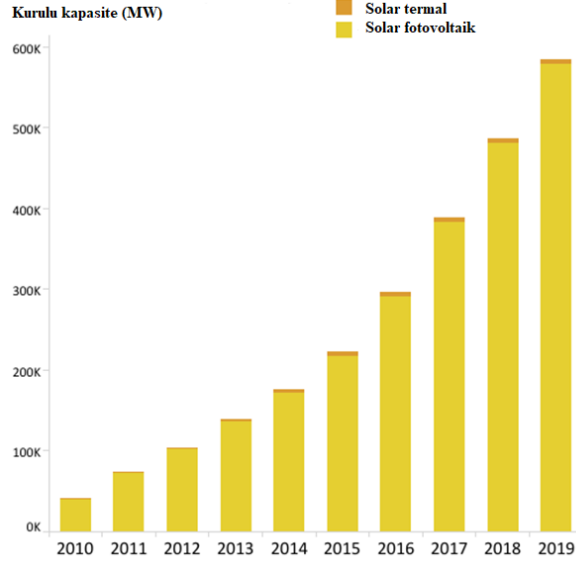


Şekil 1.8 Güneş silahları kullanıldığı bir anın tasviri [18]

1.3.2. Dünya' da Güneş Enerjisi

Dünyada güneş enerjisi kullanımı PV fotovoltaik panel sistemleri 578.553 MW iken ve konsantre güneş enerjisi (CSP) 6.289 MW' dır. Şekil 1.9' da daha net

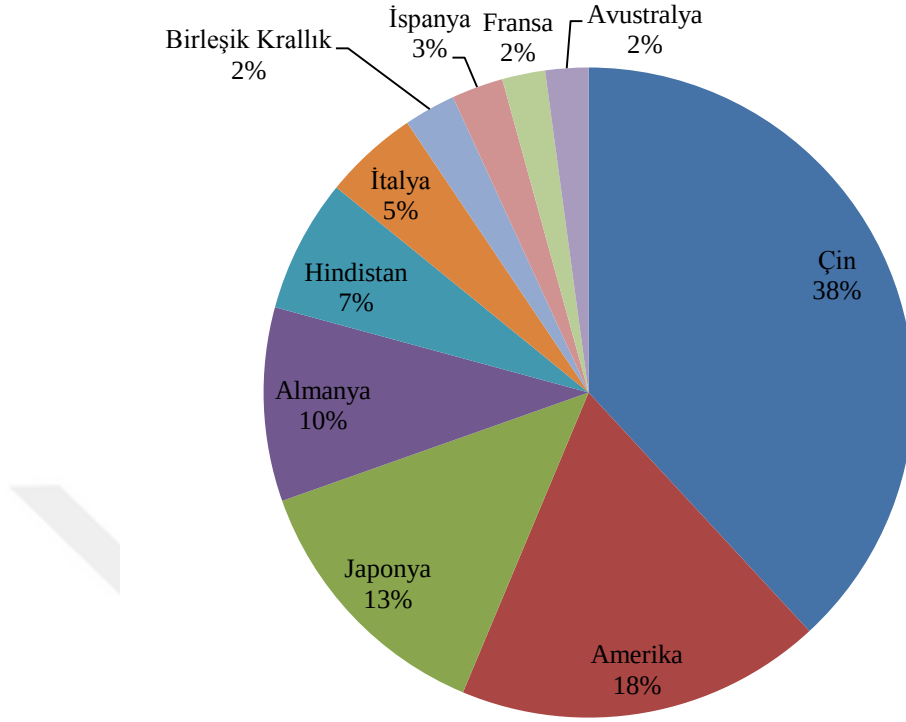
görmekteyiz. Dünya geneli enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Az gelişmiş yoksul ülkelerin enerji ihtiyacı çok fazla olmasına rağmen enerji tedarikinde ciddi sorunlar yaşanmaktadır.



Şekil 1.9 Dünyada güneş enerjisi kullanımının fotovoltaiik ve Konsantre güneş teknolojileri durumu [19]

Konsantre güneş enerjisinde (CSP) KGE, güneş ışınlarını yoğunlaştırmak amacıyla aynalardan faydalanılır. Bu ışınlar, bir türbini döndürmek ve elektrik üretmek için kızgın buhar meydana getiren sıvıyı kızgın hale getirir. CSP, büyük enerji santrallerinde elektrik enerjisi meydana getirmek amacıyla kullanılır.

Konsantre güneş enerjisi sistemlerinde dağınık halde gelen güneş ışınları aynalar yardımı ile bir noktada yoğunlaştırılarak yüksek sıcaklıklar elde edilir. Bu yüksek sıcaklıklar ile sistemde dolaşan çalışma sıvıları yüksek sıcaklıklara getirilerek kızdırılır. Bu sıvılar genellikle sentetik yağlar ya da erimiş tuzlardan oluşabilir. Günümüzde birçok çalışma sıvısı vardır. Sonuç olarak kızgın haldeki yağ eşanjörler yardımı ile suya enerji aktararak suyu kızgın buhar haline getirir. Kızgın buhar halindeki su buharı türbinleri çevirerek mekanik enerjisi ile jeneratörlerden elektrik üretmiş olur. Bu çevrimler genellikle Rankine çevrimi olarak bilinir.

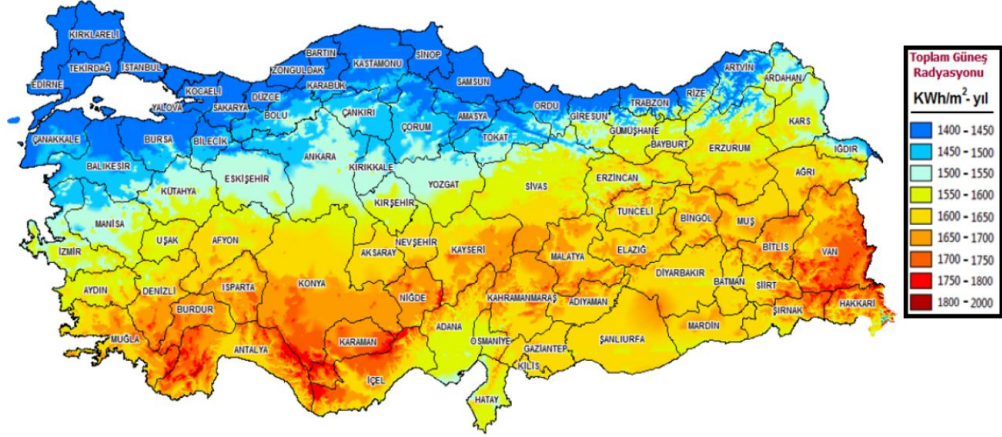


Şekil 1.10 2018 yılı itibari ile güneş enerjisinden elektrik üretimi dünya sıralamaları ve payları [19]

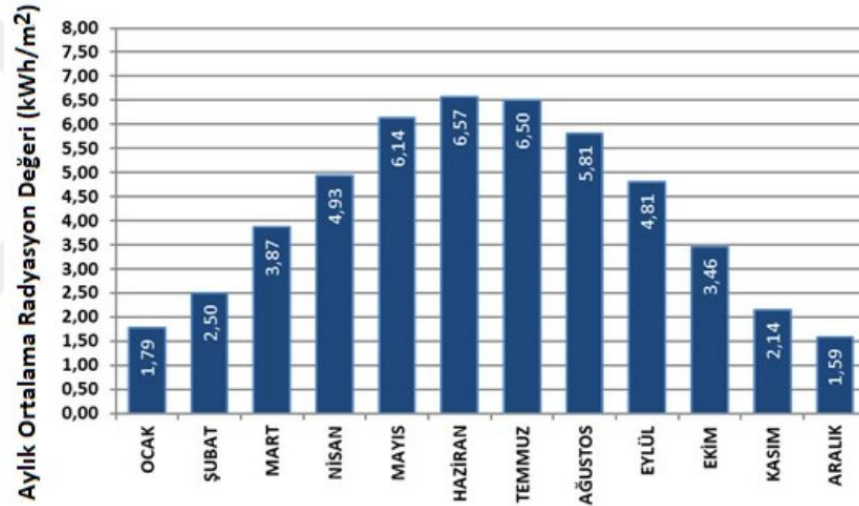
Dünya geneli kullanım; Çin: 178.070,754 GWh, Amerika: 85.184,000 GWh, Japonya: 62.667,671 GWh, Almanya: 45.784,000 GWh, Hindistan : 31.066,803 GWh, İtalya : 22.666,313 GWh, Birleşik Krallık: 12.857,351 GWh, İspanya: 12.744,000 GWh, Fransa : 10.568,737 GWh, Avustralya : 9.930,000 GWh.

1.3.3. Türkiye’ de Güneş Enerjisi

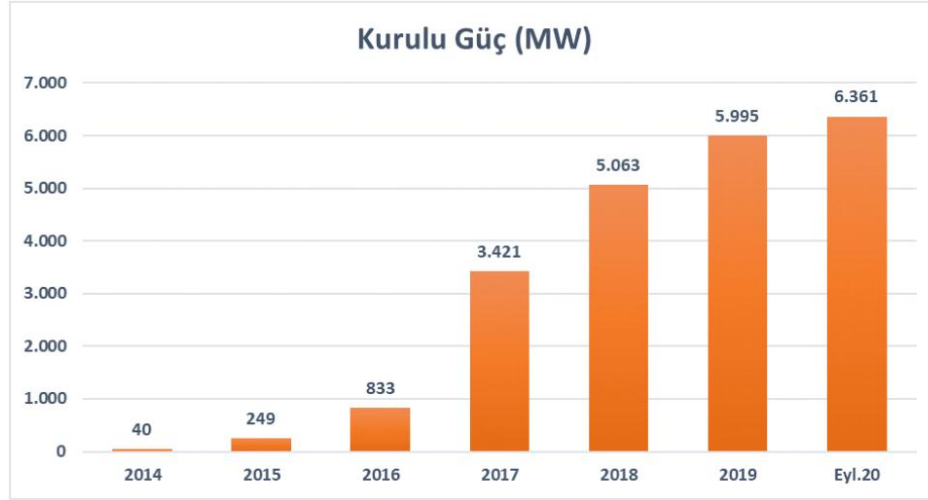
Türkiye, coğrafi konumu sebebiyle çok fazla güneş enerjisi potansiyeline haizdir. Ülkemizin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741,07 saat olup ortalama yıllık toplam ısınım değeri 1.527,46 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir. GEPA’ da mevcut genel potansiyel ve aylık ortalama global radyasyon dağılımı şekil 1.11’ de yer almaktadır [17].



Şekil 1.11 Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlasına (GEPA)



Şekil 1.12 Türkiye’ de aylık ışıınım değerleri (kWh/m²)



Şekil 1.13 Eylül 2020 sonu itibariyle güneş enerjisine dayalı Türkiye’ de kurulu elektrik gücü [17].

2020 Eylül sonu itibariyle güneş enerjisi kaynaklı kurulu elektrik gücümüz 6.361 MW olup yıl bazlı kurulu güç değişimleri şekil 1.13’ de yer almaktadır.

1.4. Güneş Enerjisi Kullanım Alanları

Günümüzde, çok hızlı ilerleyen teknolojik ilerlemeler ile birlikte güneş enerjisinin kullanım alanlarında da hızlı ilerlemeler olmuştur. Güneş enerjisinden yararlanma yöntem ve teknolojileri artmakta ve farklı alanlarda kullanımlar söz konusu olmaktadır [20]. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Konutların, bağ bahçelerin ve diğer binaların elektrik enerjisi gereksinimlerinin karşılanmasında
- Kış bahçesi mimari uygulamalar ve bina, ev ve seralar gibi çeşitli mekânların ısıtılması
- Evlerde sıcak su temininde kullanılan kollektör sistemleri
- Güneş enerjili soğutma işlemlerinde
- Kurutma işlemlerinde ve gıda sektöründe

- İçme suyunun eldesi için tuzlu ve kirli sudan Örn: Deniz suyu gibi, damıtma işlemlerinde
- Bahçe ışıklandırmalarında, taşıt yollarının ve sokakların ışıklandırmalarında
- Trafik işaret ışıklarının elektrik enerji ihtiyaçlarının sağlanmasında
- Hesap makinelerinde ve kol saatlerinde ve bazı küçük elektronik cihazlarda
- Telefonların ve diğer taşınabilir cihazların şarj işlemlerinde
- Uydularda ve güneş kulelerinde
- Solar arabalarında ve Engelli araçlarda
- Uçaklarda ve Hava taşıtlarında
- Yiyecek pişirmede (Parabolik çukur aynalar ile)
- Odaklama ile metal ve cam eritme işlemlerinde
- Sulama sistemlerinde vb.

Bunlar gibi birçok uygulama sayılabilir. Gelişen teknoloji ile birçok uygulama olması beklenmektedir.

- Düzlemsel Güneş Kolektörler
- Vakumlu Güneş Kolektörler
- Güneş Bacaları
- Güneş Havuzları
- Su Arıtma Sistemleri
- Güneş Mimarisi
- Ürün Kurutma
- Sera Sistemleri
- Pişirme Sistemleri
- Yoğunlaştırıcı Isıl Kullanım Sistemleri
- Fotovoltaik Güneş Enerjisi

Bu tez çalışmasında, fotovoltaik güneş enerjileri araştırılmış, güncel teknolojilerin durumlarının analizi, off-grid PV sistemleri ile tarımsal sulama ve güneş panelleri ile off-grid sistem ihtiyacının karşılanması üzerine bilgiler verilmiştir. Bu sistemlerde kullanılan malzemeler ve cihazlar tanıtılmıştır.

Son bölümlerde gerçek tüketim değerleri ile örnek sistemler üzerinden tasarımsal modellemeler yapılmış. Bütün bu çalışmalar kapsamında PV güneş enerjili tarımsal sulama ve fotovoltaik off-grid bir sistemin modellenmesi, projelendirilmesi ve ihtiyaç duyulan inverter, sürücü, PV panel, akü boyutlandırılması için bir program hazırlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışma ile ilgili yapılan literatür çalışmalarında bazı bilimsel çalışmalara ve araştırmalara rastlanmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında son yıllarda fotovoltaiik tarımsal sulama sistemleri ve off-grid sistemler üzerine birçok çalışma olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmalar kronolojik sıraya göre şu şekildedir.

Bagher, Vahid ve Mohsen (2015) en son teknolojik güneş hücreleri ve üretim çeşitleri hakkında bilgi vermiş. Şu anda kullanılan üstün teknoloji üretim yöntemleri ve güneş hücrelerinin yapısı ile alakalı bilimsel çalışma icra etmişlerdir.

Altın, (2016) solar yapılar çalışmasında FV panellerin bina ve konutlarda nasıl konumlandırılacağı FV panel ve mimarinin nasıl bütünleşeceği hakkında bilgi vermiştir.

Özçelik, (2016) fotovoltaiik (FV) panel çeşitleri laboratuvar çalışmasında panel hücre çeşitleri ve en yeni teknolojik üretim yöntemlerinden söz etmiştir.

Dikilitaş, Balak ve Karakaş, (2016) ses dalgalarının tarımsal ürünlerin muhafazası ve bitki gelişimi üzerine etkileri detaylı bir deneysel çalışmayla incelemiş ve yüksek sesin bitkiler üzerindeki zararlarını ve tahribatlarını ispatlamışlardır.

Kutlu, (2016) Isparta ilinde bir evin elektrik ihtiyacını karşılayacak panel sayısı, verimi ve ekonomik analizini bilimsel çalışmasında aylara göre hesaplamalar ile yapmıştır. Gerekli sistem araçlarının kapasitelerini nümerik olarak hesaplamıştır. Aynı zamanda illerin güneşlenme süreleri dikkatle alınarak hesaplamalar oluşturulmuştur.

Kyi, Maw ve Tun (2016) Myanmar’ da bir şehir olan Mandalay’ da sulaması için su pompalama sisteminin solar PV boyutlandırması çalışmasında başarılı bir modelleme yapmışlardır. Bu çalışmada sayılar hesaplamalar ve güneş radyasyonundan sulama sistemlerine birçok hesaplama yapılmıştır.

Topuz, Erdoğan ve Taşkaya (2017) fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sisteminin modellenmesi araştırmasında formüller gösterilmiştir. Aynı zamanda solar sulama sistemlerinde kullanılan kuyu algoritması şekille gösterilmiştir.

Uluğ ve Bingöl (2017) PV tabanlı su pompalama sisteminde maksimum güç noktası izleyicisi uygulaması bilimsel çalışmasında bir uygulama üzerinde sayısal verilerin analizi yapılarak solar sulama sistemlerinin bileşenleri olan PV panel, dalgıç pompa, sürücü hakkında bilgiler verilmiştir.

Giessen, Roek, Bom, Abric ve Vuik (2017) Benin ve Mali’ de güneş enerjili bir sulama sisteminin hesaplamalarını, günlük su ihtiyacını, elektriksel hesapları, verimlilik ve maliyet analizlerini yapmıştır.

Boztepe, (2017) fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler üzerine araştırma yapmış ve nihayetinde bu sistemlerin verimliliğini artıran ve azaltan parametreler hakkında deneysel sonuçlar sunmuştur.

Bisvas ve Iqbal, (2018) Bangladeş'te sulama için güneş enerjili su pompalama sisteminin boyutlandırılması ve dinamik modellenmesi çalışmasında solar sulama sistemindeki dalgıç pompa, varsa akü, FV panel vb. gibi bileşenleri nümerik olarak hesaplamıştır.

Özaydın, (2018) fotovoltaik panel seçimi üzerine bir derleme yapmış ve bu çalışma ile güneş enerjili fotovoltaik sistemlerde kullanılan panel çeşitleri ve kullanımına göre faydaları hakkında bilgi vermiştir.

Szyszka, Kogut, Skrzypczak ve Kokoszka (2018) trombe duvarında seçici iç ısı dağıtımı bilimsel çalışmalarında güneş enerjisinin mimaride kullanımı, binalarda aktif ve pasif kullanımı hakkında detaylı analizler ve tasarımlar sunmuşlardır.

Yılmaz, (2019) sulama amaçlı kurulan 2.2 kw fotovoltaik sistemin uzaktan denetimi ve verimini belirlemiştir. Bu çalışmada örnek bir sistem üzerinden hesaplar yapılmıştır. Program yazılmış ve bu program yardımı ile analizler sağlanmıştır.

Gül ve Akyüz, (2019) fotovoltaik-termal (pv/t) bir sistemin deneysel performansının incelenmesinde fotovoltaik panellerin sıcaklıkla üretim verimlerini ve güç değişimlerini sıcaklığın etkilerini deneysel bir düzenele araştırmışlardır.

Sarı, (2019) pvsyst yazılımı kullanılarak örnek bir güneş enerjili su pompalama sistemi tasarlanması ve konvansiyonel sistemlerle karşılaştırılması bilimsel araştırılmasında detaylı bir çalışma yaparak sulama sistemlerinin bileşenlerini, verimliliklerini ve motor, FV panel grubunu, akü bankası hesaplarını göstermiştir. Ve ek olarak pvsyst yazılımı ile bunları karşılaştırmıştır.

Şen, Gözyuman, Bayrak ve Yıldız (2019) Niğde ilinde tarımsal sulama amaçlı güneş enerjisi potansiyelinin teorik ve deneysel incelenmesi adı bilimsel çalışmalarında sulama sistemlerinin teorik hesaplamalarından ve bir ilin sulama sistemindeki faktörü olan güneş ışıınının formüle eklenmesinden bahsetmişlerdir. Örnek bir sistem üzerinden maliyet hesapları yapılmıştır.

Demir, Arslan ve Günerhan, (2020) Fotovoltaik (PV) Pompa Sisteminin Bileşenlerinin Hesabı araştırmasında bitki sulama çeşitlerini göstermiş ve aynı zamanda dalgıç pompa, kuyu algoritması hesaplarını yapmıştır.

Akcan, Kuncan ve Minaz (2020) çalışmasında PVsyst yazılımı ile şebekeye bağlı (on-grid) 30 kW bir sistemin modellenmesi ve simülasyonunu yapmıştır. Kullanılan bileşenlerin detaylı izahını yapmıştır. Performans ve kayıplar ele alınmıştır. Program ile analizler yapılmıştır.

Evain, (2020) solar pompaların elektriksel dizaynları ve montajları adlı yazısında Sudan’ da sulama sistemleri hakkında detaylı bir hesaplama yapmıştır. Bu çalışmada bir sulama sisteminin bileşenleri ve boyutlandırması hesapları yapılmıştır.

Bütün bu çalışmalar incelendiğinde fotovoltaik güneş enerjili tarımsal sulamada ve fotovoltaik güneş enerjili off-grid sistemlerde kullanılan ekipmanların ve bu ekipmanların en doğru şekilde dizayn edilmesine yönelik birçok yöntem ve araştırma bulunmaktadır. Kullanılan birçok yöntem bazı durumlarda ihtiyaca gereken hızda ve doğrulukta cevap vermemektedir. Öncelikle bu sistemlerde kullanılan bileşenler iyi tanınmalı ve kullanım durumlarında nasıl çalışacakları iyi bilinmelidir. Bu çalışmaların çoğunda bu detaylara ve maliyet hesaplarına gidilmemiştir. Bu tez kapsamında bu sistemlerde kullanılan bu bileşenlerin hepsi tanıtılmış ve detaylı anlatılmıştır. Sonuçlara daha hızlı ve hatasız ulaşmak için gerçek uygulamalar üzerinden hem nümerik hesaplar yapılmış hem de hesaplamalar için ayrıca bir program yazılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma genel olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada dünyada fosil ve yenilenebilir enerji kullanımı durumu ikinci aşamada ülkemizde fosil ve yenilenebilir enerji kullanım durumu incelenmiştir. Üçüncü aşamada yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ile sulama ve off-grid bir sistemin tasarımı yapılmıştır. Bu veriler literatür çalışmaları ile desteklenmiştir. Gerek yurtiçi gerek yurtdışı birçok kütüphanelerden faydalanılmıştır. Bu bilimsel kaynakların bir kısmı kaynak olarak verilmişken bir kısmı verilerin doğruluğu için kullanılmıştır.

Yoğun literatür taraması yapılarak bu çalışmanın daha sağlam bir bilgi birikimine sahip olması sağlanmıştır. Bir program yazılmış bu program yardımı ile fotovoltaik enerjili tarımsal sulama tasarımı, off-grid sistem tasarımı, bunların maliyet analizleri, nümerik analizler ve amortisman süreleri hesaplanmıştır.

Fotovoltaik enerjili tarımsal sulama ve fotovoltaik off-grid sistemlerin modellemesi ve bütün hesaplamaları doğru ve iyi hesaplanırsa kullanılan malzemelerin maliyeti düşer, enerji açısından iyi verim yakalanacağı için sistem daha ucuz, sürdürülebilir ve verimli olur.

3.1. Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri

Günümüzde en çok kullanılan güneş enerji teknolojileridir. Genellikle ticari olarak GES santralleri kurulur. Kurulan bu GES santrallerinde üretilen elektrik şebeke hatlarına ticari amaçlı satılır. PV paneller kurulu güç halinde yüksek miktarlarda elektrik enerjisi üretebilirler. Bu kurulu santrallere aynı zamanda güneş tarlaları da denmektedir. Fotovoltaik güneş teknolojilerinin günümüzde birçok kullanım alana haizdir. Arazide GES santralleri olarak kullanımında konutlarda çatı üstlerine kadar birçok kullanım alanları vardır. Fotovoltaik güneş enerji sistemleri gerek montaj yerlerine yani arazi yapısı gerek montaj ekipmanları gibi birçok faktörden etkilenecek elektrik üretiminde değişik karakteristikler sergilerler. Bu durumlar göz önüne alınarak önlemler alınmalıdır. Fotovoltaik güneş enerji sistemleri kullanım durumlarına ve ihtiyaçlara göre üçe ayrılırlar; on-grid sistemler, off-grid sistemler ve sulama sistemleri olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir. On-grid sistemler; genellikle şebeke ile bağlantısı olan sistemlerdir. Şebekeye elektrik satışı ile ticaret yapılır. Örnek olarak GES santralleri gösterilebilir. Off-grid sistemler; şebeke elektriğinin ulaşmadığı yerlere ve elektrik enerjisinin temin edilmesinin mümkün olmadığı veya daha pahalı olduğu durumlarda kullanılan sistemdir. Şebeke ile bağlantısı yoktur. Örnek olarak off-grid bir sulama sistemi gösterilebilir. Sulama sistemleri; bunlar ise tarımsal sulamada şebeke elektriğinin olmadığı veya elektrik enerjisine ulaşmanın başka bir yolunun olmaması olsa bile elektrik enerjisinin çok pahalıya mal olması veya çok kirlitici olumsuz etkilerinin olması durumunda kullanılan fotovoltaik güneş enerji sistemidir. Bu sistemler elektrik enerjisini güneşten gelen ışınların PV paneller üzerinde elektrik enerjisine dönüştürerek sağlarlar.

Fotovoltaik güneş enerji sistemleri ile sulama ve off-grid sistemlerinin temel avantajları;

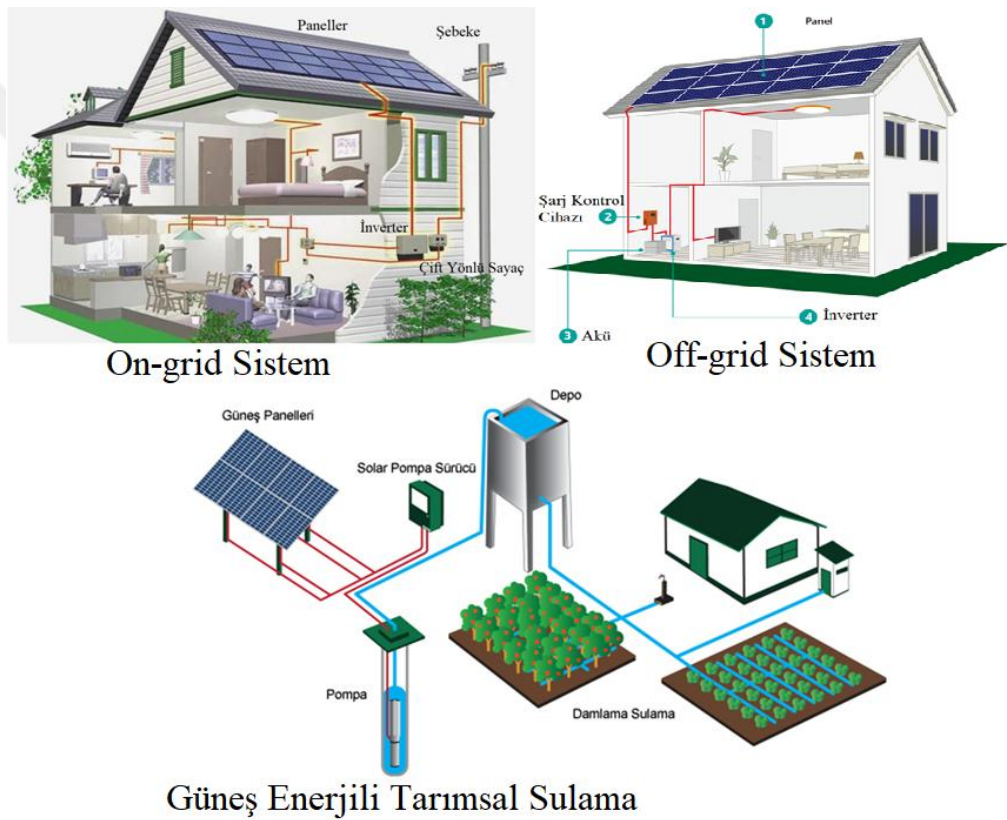
- Sadece ilk yatırım maliyeti mevcuttur, uzun ömre sahiptirler.
- Bakım gider ve işletme giderleri yoktur.

- Elektrik enerjisi kayıpları düşük, çok verimlidirler.
- Kurulumları kolay, hızlı, basit ve pratiktir.
- Kurduktan sonra hemen çalışır ve düşünmeden kullanma konforu sağlar.
- Modüler olmalarıyla beraber ölçeklenebilir yapıları vardır.
- Şebekeye zorunluluğu yoktur, elektrik faturası masrafı yoktur.
- Taşınabilirler, ortak kullanıma uygundurlar.
- İhtiyacına göre AC veya DC elektrik üretebilme seçeneği mevcuttur.
- İstenilen sulama seçeneği, depolama vb. uygulamalar için geniş bir kullanım alanı sunar.
- Otomasyona uygundurlar, kendi kendine çalışabilir.
- Konfor ve bedava su sağlamaktadır.
- Doğa dostu olmakla beraber fosil yakıtlara bağımlılık yoktur.
- Konveksiyonel yöntemlerde gürültüden doğan psikolojik hasar ve zararların bitki hücre ve yapılarında oluşan hasarların önüne geçer [21].
- Sera ve zehirli gaz salınımını azaltmaktadır.
- Tarlaların tarıma uygun duruma getirilmesine ve verimli olmasını sağlamaktadır.
- Şebeke hatlarına olan ihtiyacı azaltmaktadır,
- Su kaynaklarının kalitesinin artmasını sağlamaktadır.
- Ulusal enerji bağımsızlığı gücünü vermektedir.
- Yeni iş alanları sağlamaktadır.
- Yeni teknolojik gelişmelere bağlı olarak enerji pazarı yeniden yapılanmakta ve bunun sonucu olarak yeni üretim aktiviteleri artmaktadır.
- Enerji kaynaklarının güvenilirliği ve çeşitliliği sağlanmaktadır.
- Kırsal kesimlere elektrik ulaştırma imkanı vermektedir,
- Yabancı ülkelere bağımlılığı yok etmekte ve tasarruf sağlamaktadır.

3.1.1. Fotovoltaik Enerji Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Fotovoltaik enerji çeşitleri üçe ayrılmaktadır. Bunlar; on-grid, off-grid, sulama sistemlerdir. Yukarıda da açıklandığı gibi şebeke elektriği ile bağlantı söz

konusu ise şebeke elektriğine ticari olarak üretilen elektriğin satılması söz konusu ise on-grid sistem kullanılır. Şebeke elektriğine ulaşmak mümkün değilse ya da elektrik enerjisi çok pahalı ise bu durumda off-grid sistem kullanılır. Bu sistemlerde şebeke elektriği yoktur. Bu sisteme örnek vermek gerekirse off-grid örneği çok isabetli olmaktadır. Tarımsal sulamada şebeke elektriği çok uzak olabilir ya da elektrik enerjisinde kesintiler nedeniyle tarımsal üretimde aksamalar olabilir. Şebeke elektriği çok pahalı olabilir. Bu gibi durumlar da fotovoltaik güneş enerji sistemleri kullanılır.



Şekil 3.1 On-grid sistem, Off-grid sistem, Güneş Enerjili Tarımsal Sulama [22]

3.1.1.1. Fotovoltaik On-Grid Sistemler

On-grid sistemler şebeke elektriği ile bağlantısı olan sistemlerdir. Fotovoltaik panellerden üretilen enerji kullanılır ihtiyaç fazlası elektrik şebeke hattına verilir. Fotovoltaik panellerin ürettiği elektrik yetmediğinde şebeken elektrik alınır. Bu sistemde çift sayaçlar kullanılır. Sistemde bağlı olarak iki ayrı sayaç ile veya çift

yönlü tek sayaç ile bütün elektrik alış-verişi kayıt altına alınabilir, mahsuplaşabilir. Büyük sistemlerde ise trafolar ile OG ve YG hatlarına bağlantı yapılır. On-grid sistemlerde akü veya benzeri depolama cihazlarına gerek yoktur. Üretilen elektrik anında kullanılır. On-grid sistemlerde kullanılan inverterler MPPT (maksimum güç noktası izleme) ve şebeke elektriği kalitesini ve harmoniklerini karşılayabilecek özellikte olması lazım [23].

Yüksek güçte olanlarına, OG(Orta gerilim) ve YG(Yüksek Gerilim) düzeyinde olanlarına GES (Güneş Enerji Santrali) denir.

On-grid sistemlerin bazı kullanım alanları; müstakil evler, tatil evleri ve yazlıklar, çiftlikler, toplu konut evler, siteler örnek verilebilir. Gündüzleri elektrik enerjini fazla tüketen okullar, kamu kurumları, otel, motel, tatil beldeleri, AVM, hastane, iş merkezi vb. yapı ve kurumlar örnek olarak verilebilir. Fabrika, atölye, endüstri vb. tesislerin çatı ve damları; Elektrikli otomobil araç şarj istasyonları, Güneş Enerji Santralleri (GES) vb. gibi kullanım alanları vardır.



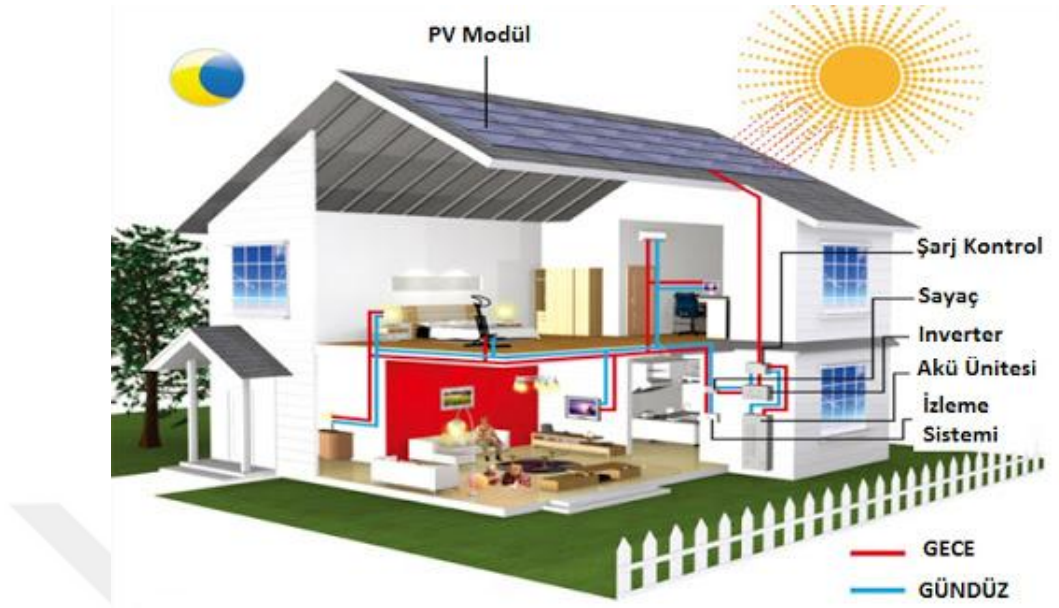
Şekil 3.2 On-grid bir sistem [24]



Şekil 3.3 On-grid bir GES santrali [25]

3.1.1.2. Fotovoltaik Off-Grid Sistemler

Off-grid sistemler şebeke elektriği ile bağlantısı olmayan kendi içerisinde kapalı bir sistem şeklinde kendi enerjisini PV paneller ile kendi üreten sistemlerdir. Bu sistemler ve bu sistemlerde kullanılan cihazlar ve özellikleri detaylı bir şekilde diğer konularda açıklanmıştır. Bu sistemlerde şebeke elektriği çok pahalı, kalitesiz, kesintili veya elektrik enerjisini üreten fosil kaynaklı bir sistem ise çevreyi kirlletici olması vb. gibi olumsuz durumların hepsinin önüne geçmektedir. Sürdürülebilir kesintisiz, kendine yetebilen yenilebilir bir enerji sistemi olmaktadır.



Şekil 3.4 Fotovoltaik off-grid bir sistemin şematik gösterimi [26]

3.1.1.3. Fotovoltaik Tarımsal Sulama Sistemleri

Tarımsal üretim insanlar için hayati derecede öneme sahiptir. Tarımsal üretim sanayi sektörünün bel kemiği can damarıdır. Tarım üretiminin en önemli bileşeni sulamadır. Su yoksa tarımsal canlılarda yok olur. Haliyle tarımsal üretim olamaz. Birçok sulama şebeke elektriği ile yapılır. Elektrik şebekesine ulaşamamak, elektrik şebekesi bağlanması aşamasında oluşan olumsuz zorluklar üretime zarar vermektedir. Elektrik kesintileri, elektriğin yetersiz olması, elektriğin pahalı olması çiftçiye ağır yükler getirmektedir. Bu olumsuz durumların hepsini bertaraf etmek için fotovoltaik enerjili tarımsal sulama sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerde elektrik şebeke elektriğinden bağımsız olarak üretilmektedir. Hiçbir yere bağımlılık yoktur. Bu durumda tarımsal sulamayı nihayetinde tarımsal üretimi sorunsuz sürdürülebilir kılmaktadır.

Son yıllarda çıkan yasalar ile beraber tarımsal sulamada elektrik enerjisi kullanımında tarife indirimi yapılmasına rağmen tarımsal sulamada enerji istenilen

konumunda değildir. Bu nedenle fotovoltaik enerjili tarımsal sulama verimli ve sürekli bir tarım için gereklidir.

Kırsal kalkınma destekleri çerçevesinde bireysel münferit sulama sistemlerinin desteklenmesi hakkında tebliğ ile (sayı: 31406, tebliğ no: 2021/7) fotovoltaik tarımsal sulama sistemlerinde %50 teşvik hibelerinin mevcut olmasına ve düşük faizli kredi imkanının olması bu sistemleri yaygın hale getirmektedir [27].

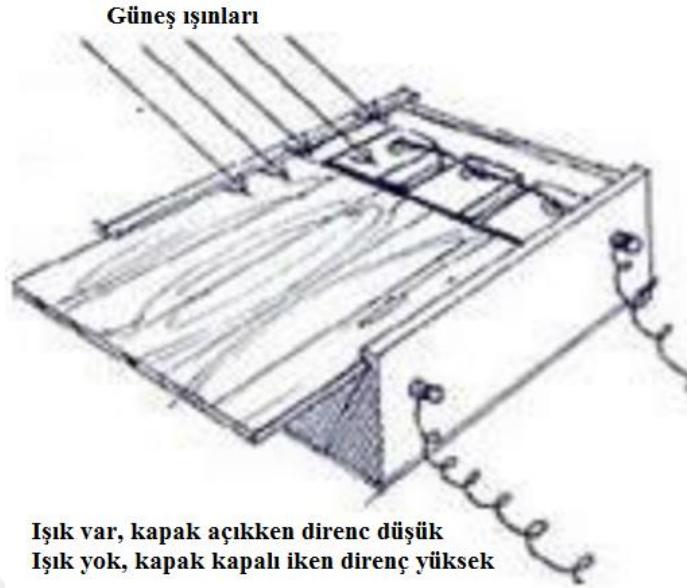


Şekil 3.5 Solar sulama ile sulama sistemi [22]

3.2. Fotovoltaik Sistemlerde Kullanılan Cihaz Ve Ekipmanlar

3.2.1. Panel

1839'da Alexander Edmond Becquerel elektrolit içerisine koyulmuş platin elektrotlar arasındaki gerilimin elektrolit üstüne düşen ışığa bağımlı olduğu tespit ederek fotovoltaik olayını keşfetmiştir. 1873'te Willoughby Smith, selenyumun içindeki fotoiletkenliği keşfetti. İlk ve basit fotovoltaik paneli kurdu şekil 3.6' da görülmektedir.



Şekil 3.6 1873' te Willoughby Smith tarafından yapılan ilk ilkel fotovoltaiik pv panel

Katı maddelerde ise benzer bir olgu ilk defa selenyum kristalleri içerisinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından bulunmuştur. 1883'te Charles Fritts, selenyum maddesi ile ilk kullanılabilir %1 verime sahip PV hücreyi geliştirdi [28]. 1954'de Bell Laboratuvarlarında ABD modern PV hücresi patentini aldı , %6 verime sahip silikon kristali ile silisyum PV hücreler oluşturuldu.

1958'de Hoffman Elektronik, % 9 verim ile silisyum PV hücreler keşfetti. O yıl Vanguard I adlı uzay aracında ilk defa PV hücreler ile elektrik üretildi [29]. Bu hücreler, 100 cm² ye 0.1W elektrik enerjisi üretenlerdi.

1960'da Hoffman Elektronik, % 14 verimli silisyum PV hücreler oluşturdu.

1970'de Zhores Alferov, GaAs hetero-eklem PV hücrelerini geliştirdi.

1985'de New South Wales Üniversitesinde, % 20 verimli silisyum PV hücreler oluşturdu.

1988'de Applied Solar Energy Corp., %17 verim ile iki-eklemlili PV hücrelerin seri üretimini başlattı.

1989'da Applied Solar Energy Corp., %19 verimli iki-eklemlili PV hücreler oluşturdu.

1993'de Applied Solar Energy Corp., %20 verimli iki-eklemlili PV hücrelerin üretimini başlattı.

2006'da Spectrolab, %40 verim ile üç-eklemlili PV hücreler oluşturdu.

2008’de NREL, %40.8 verimli üç-eklemlı PV hücre geliştirerek, dünya rekoruna imza attı.

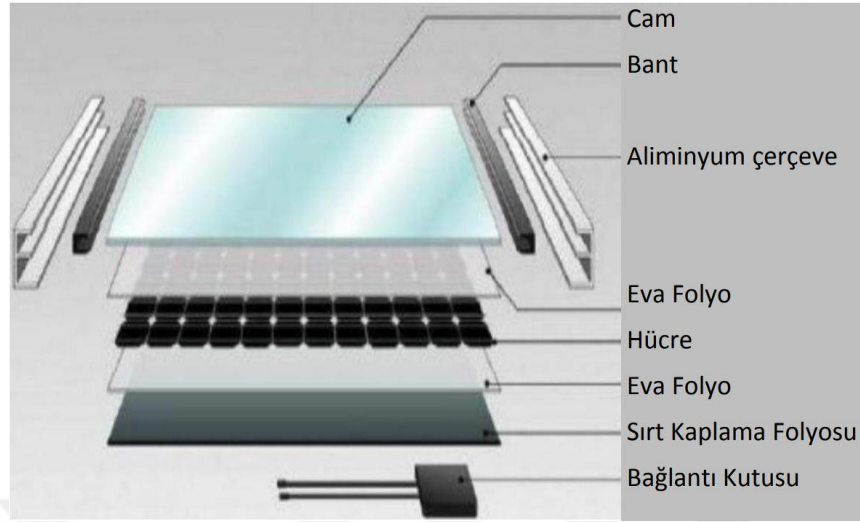
2009’da Spectrolab, %41.6 verimli üç-eklemlı PV hücre geliştirerek, rekorunu yeniden elde etti [30].

2015’ te çok eklemlı hücrelerin laboratuvar örnekleri %43 civarlarında verimlilik performansı göstermiştir. Tabi bu yüksek üretim maliyetlerini de beraberinde getirmektedir [31].

2019’ da, Golden, Colorado, ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı’ nda üretilen çok bağlantılı olan yoğunlaştırıcı güneş hücreleri üzerinden % 47,1 ile güneş hücresi verimliliği elde ederek bu döneme sahip dünya rekorunun sahibi oldu. Bu, polikristal PV veya thin film güneş hücresi için % 37,0 verim değeriinin üzerindedir.

2021’de Oxford PV, perovskite güneş pilinde dünya rekoru kırdı. Perovskite-silikon güneş pili %29,52 verimliliği elde etti. Bu, perovskitin silikon bazlı fotovoltaiğin performansı artırma yeteneğini doğrulayarak, şimdiye kadarki en yüksek performanslı tek eklemlı silikon güneş pilini aşıyor. Aynı zamanda Oxford PV ince film teknolojisinde % 37,0 verimlilik değeriinde üretim faaliyetleri sürmektedir [32].

Silisyum yarıiletken özelliğe sahip ve PV hücre yapımında en çok kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Oksijenden sonra dünyada en çok bulunan element olan silisyumun, yeryüzünde en yaygın formu kuartz ve kumdur (SiO_2). SiO_2 işlenerek %99 silika üretilir. Daha sonrasında silikadan elektronik teknolojisinde kullanılmakta olan (%99.9999) silisyum üretilmektedir [28].



Şekil 3.7 Bir fotovoltaik güneş pilinin yapısı [31]

Fotovoltaik güneş panelleri üretim şekillerine, özelliklerine ve kullanım alanlarına göre uzay çalışmalarından laboratuvar çalışmalarına kadar birçok çeşidi olmakla beraber en çok kullanılan çeşitleri monokristal, polikristal ve ince(thin) film güneş panelleridir.

Alüminyum Çerçeve: Kurulum için lazım olan yapıyı ve iskeleti meydana getirir. Paneli güçlü yapar. Paneli dış etkilere korumaktadır. Çerçeve ile cam arasında su geçirilmeyen yalıtım materyali kullanılır. Alüminyum tabanlı malzemedir [33].

Temperli Cam: Güçlü darbe dayanımına haizdir. Yüzeyi güneşten gelen ışınların çoğunu absorbe edecek şekilde üretilmiştir. Panel hücrelerini dolu, yağmur, rüzgar, taş, vb. gibi dış zararlardan ve fiziksel etkilerden korumaktadır.

EVA(Ethylene Vinyl Acetate): Başka bir ad ile etil vinil asetat olarak bilinir. Cam, hücreler ve sırt folyosunu arasını dolduran parçaları birbirine yapıştıran özel bir malzemedir. Yapıştırma özelliği çok güçlüdür.

Sırt Folyosu(Backsheet): Panelin arka tarafında yalıtım görevi yapar. Panelin en uygun sıcaklıkta çalışmasını sağlar.

Bağlantı Kutusu(Junction Box): IP64 düzeylerinde su geçirmeyen bir malzemedir. Panel kablo bağlantılarını ve köprüleme diyotu (bypass diyotu) burada bulunmakta.

P_{max} Maksimum Güç: Standart test koşullarında, panelin ürettiği en yüksek güç değeridir.

V_{mp} Maksimum Güç Gerilimi: Panelin standart test koşulları altında ürettiği maksimum gerilim değeridir.

I_{mp} Maksimum Güç Akımı: PV panelin standart test koşullarında ürettiği maksimum akım miktarıdır. Standart test koşulları, 25°C hücre sıcaklığında, 1000 W/m² ışınım değerlerinde olmaktadır. Gerçekte bu değerler 45°C hücre sıcaklığında ve ortalama 800 W/m² ışınım altında olmaktadır. Testler, fabrikada laminasyon öncesi ve sonrası yapıldığından karşılaştırma için uluslararası standart değerler yapılmıştır.

V_{oc} Açık Devre Gerilimi: PV panelin, elektriksel yük olmadan, yani akım üretmediğinde sahip olduğu gerilimdir. PV panelin artı ve eksi kablolarına bir voltmetre bağlanarak ölçülebilir. Bu değer, inverter ve akü hesabında kullandığımız değerlerdir. Bu değerler baz alınarak paneller seri veya paralel olacak şekilde bağlanarak sistem voltajına uygun hale getirilir.

I_{sc} Kısa Devre Akımı: Güneş panelinin kısa devre halinde, yani artı ve eksi uçlarını birbirine arada bir yük olmadan bağladığınız durumda ürettiği akım değeridir. Panelin artı ve eksi uçlarına bir ampermetre bağlanarak ölçülebilir. Bu değer, şarj regülatörü seçimi yapılırken kullandığımız maksimum akım değeridir.

Maksimum Müsade Edilen Sistem Gerilimi: PV paneller seri şekilde bağlanırken meydana gelecek en yüksek voltaj değeridir. Bu sınır gerilimin üstüne çıkıldığında sistem tehlikeli hale gelir. PV panel bağlantı kabloları ve kutuları bu gerilimin üstüne çıkacak şekilde üretilmemiştir.

Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı: PV panelin normal şartlar altında, yani 20°C sıcaklık, 800 W/m² ışınım, 1 m/s rüzgar hızı altında güneş ışınımı altında ısınarak yükseleceği sıcaklık değerleridir.

Güneş Paneli doldurma Faktörü(FF oranı, Fill Factor): Maksimum gücün(P_{max}), açık devre voltajı(V_{oc}) ve kısa devre akımına(I_{sc}) oranlanmasıdır. En iyi güneş panellerinin FF oranı 0,7 den yüksek olmalıdır. Kalite kontrolde FF oranı çok önem arz eden bir faktördür [33].

Güneş Paneli Standartları: PV güneş paneli seçilirken teknik değerlerin karşılaştırılmasının yanında hücre kalite seviyesini gösteren ulusal ve uluslararası standartları yakalamak çok önemlidir.

TS EN 61215: Kristalin silikon karasal fotovoltaik (PV) Modüler-Tasarım değerlendirilmesi ve tip kabulü

TS EN 61646: İnce filmlili karasal fotovoltaik modüler- Tasarım yeterliliği ve tip onayı

TS EN 61730-1/A2: Fotovoltaik (PV) modül güvenlik yeterliliği - Bölüm 1- Yapım için kurallar

TS EN 61730-2/A1: Fotovoltaik (PV) modül güvenlik yeterliliği – Bölüm 2: Deney için kurallar

TS EN 61730-1: “Fotovoltaik (PV) modül güvenlik niteliği - Bölüm 1- Yapım özellikleri”

TS EN 61730-2: “Fotovoltaik (PV) modül güvenlik niteliği - Bölüm 2- Deney özellikleri”

TS EN 61345: Fotovoltaik (PV) Ünitelerin Uv (Ultraviole) Deneyi

TS EN 62716: Fotovoltaik (PV) Modüllerin Amonyak paslanma Deneyi

TS EN 61701: Fotovoltaik (PV) Modüllerin Tuzlu Su Korozyon Deneyi

PID Deneyi - IEC 62804: En yüksek sistem gerilimi altında meydana gelebilen potansiyel farkı veya diğer etmenlere bağlı artık veya kaçak akım oluşumu ve buna bağlı güç düşümüne karşı modüllerin direncini ölçmek amaçlı PID testi yapılır.

Elektrolüminans (EL) Test: Mikro çatlakların tespiti yapılır.

STC (Standart Test Koşulları): Fabrikalarda bir flaş test cihazına konur. Test cihazı, 1000W / m² ışınım, 25 °C hücre sıcaklığı ve 1.5g hava kütleğine eşdeğer bir güç üretecektir.

NOCT (Nominal Çalışma Hücresi Sıcaklığı): Şartlar ‘gerçek hayat’ şartlarına daha yakındır: 800W / m² ışınımında açık devre modülü çalışma sıcaklığı, 20 ° C ortam sıcaklığı, 1 m/s rüzgar hızı. Yine, NOCT derecelendirmeleri teknik şartnamede bulunmaktadır.

Aynı zamanda güneş enerjisi sisteminin bütün ürünlerinin seçiminde CE güvenlik sertifikasına sahip ürünler tercih edilmelidir [34].

3.2.2. Panel Üretimi

3.2.2.1. Kum

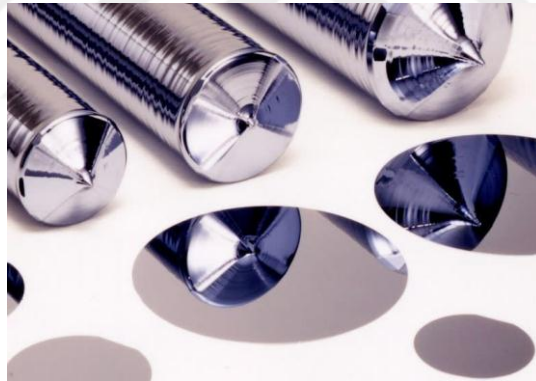
İlk kum olan hammaddeyle başlanır. Güneş panellerinin çoğu doğal plaj kumunun ana bileşeni olan silikondan üretilmiştir. Silikon yeryüzünde çok miktarda bulunur. Dünyada en çok bulunan ikinci element olmaktadır. Bunun yanında, kumu yüksek dereceli silisyuma çevirmek büyük maliyet gerektirir ve çok zaman istemektedir. Çok yoğun bir işlemdir. Yüksek saflıkta silikon, ark fırınındaki kuvars kumundan çok büyük sıcaklıklarda üretilir [35].



Şekil 3.8 Fotovoltaik panel üretiminde kullanılan silika kum

3.2.2.2. Ingot (Silikon Kütük/Külçeler)

Silikon, genel olarak katı kayalar içinde bulunur. Bu kayalar silindirik şeklinde külçe meydana getirmek için çok yüksek sıcaklıklarda beraber eritilmektedir. İstenilen şekle getirmek için çelik, silindirik bir fırın kullanılmaktadır. Erime süresince, tüm atomların istenen yapı ve yönelimde mükemmel bir şekilde dizilmesine önem gösterilir. Silikon pozitif elektrik polaritesi verecek olan işleme bor ilave edilir. Mono kristalli hücreler, tek bir silikon kristalinden üretilmektedir. Mono silikon, güneş enerjisini elektriğe dönüştürme konusunda daha yüksek verimliliğe haizdir. Polisilikon hücreler birkaç silikon kristalinin birlikte eritilmesinden üretilir. Polikristal hücreleri farklı silikon kristalleri aracılığıyla verilen kırık cam görüntüsü ile tanıyabilirsiniz. Külçe soğuyunca, külçeyi düz kenarlı bırakarak taşlama ve parlatma yapılmaktadır.



Şekil 3.9 Dilimlenmiş silikon ingotlar

3.2.2.3. Wafers (Yongalar)

Yongalar üretim safhasındaki bir sonraki adımı ifade eder. Silikon külçe, yonga olarak da isimlendirilen ince disklere plakalara dilimlenir. Hassas kesim için bir tel testere kullanılmaktadır. Yongaların inceliği bir kağıt parçası kadardır. Kalınlığı 350 ~ 450µm arasındadır.

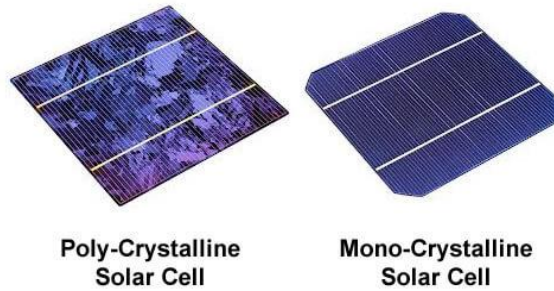
Saf silikon parlak olduğundan güneş ışığını yansıtır. Kaybolan güneş ışığı miktarını azaltmak maksadıyla, silikon yongaların üzerine yansıtıcılığı olmayan bir kaplama yerleştirilir.



Şekil 3.10 Monokristal ve polikristal wafer

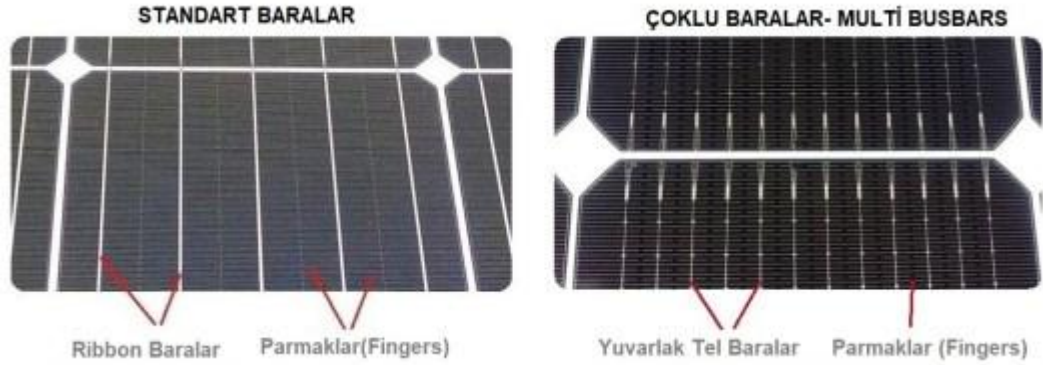
3.2.2.4. Güneş hücreleri (Solar cells)

Bütün bu işlemler bir yongayı güneş ışınlarını elektriğe dönüştürebilen bir güneş hücresi haline döndüreceklerdir. Yongaların her bir yüzeyine metal iletkenler yerleştirilmektedir. İletkenler, yonga yüzey üzerinde ızgara benzeri bir şekil verir. Bu, güneş ışınlarının elektriğe dönüştürülmesini sağlayacaktır. Kaplama, güneş ışığını yansıtmak yerine emilmesini sağlamaktadır. Fırın benzeri bir odada fosfor ince bir tabaka halinde yongaların yüzeyine yayılır. Bu, yüzeyi negatif elektriksel yönde yükleyecektir. Bor ve fosfor karışımı, güneş hücresinin düzgün çalışması için önemli olan pozitif – negatif bağlantıyı sağlamaktadır.



Şekil 3.11 Polikristal ve monokristal güneş paneli hücreleri

Çoklu / Tel Baralar – Multi Busbar Hücreler



Şekil 3.12 Çoklu / tel baralar – Multi busbar hücreler dizilimleri [36]

Bütün hücreler boyunca küçük gümüş metalik parmaklar(finger) akımı baralarda toplar. Gelişen teknolojiler ile birçok üretici firma klasik şerit baralardan çok telli baralara veya MBB'ye geçmiştir.

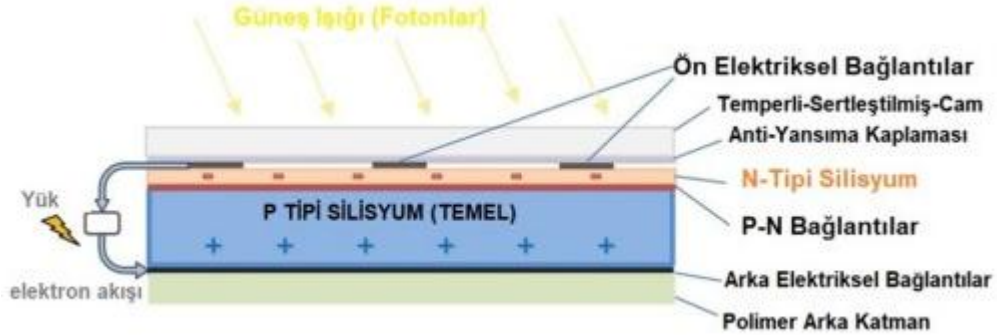
Baralar (Busbar), her bir hücrenin elektriğini alan ve elektronları (akımı) PV panel boyunca taşıyan ince teller veya şeritlerdir. PV hücreler daha verimli hale geldikçe, daha fazla akım üretirler ve son yıllarda çoğu üretici 3 baradan 5 veya 6 baraya geçiş yapmıştır. Bazı üretici firmalar bir adım daha ileri giderek düz baralar yerine 12 veya 16'ya kadar çok ince yuvarlak tel kullanarak çoklu bara (MBB) sistemleri geliştirmiştir. Klasik düz şerit baraların sorunu, hücrenin bir kısmını gölgelemeleri ve performansı düşürmeye neden olmalarıdır, bu nedenle dikkatlice tasarlanmaları önemlidir. Diğer taraftan, çoklu yuvarlak tel baralar daha düşük direnç ve elektronların parmaklar (finger) boyunca hareket etmesi için daha kısa bir yol sağlayarak daha büyük verimlilikler sağlarlar.

Dış darbeler, ağır yükler veya paneller üzerinde insan kaynaklı darbeler sebebiyle bir hücre mikro çatlağı meydana gelirse, hücre üzerinde bulunan çoklu baralar, akımın akması için alternatif yollar sağladıkları için çatlak ya da çatlakların bir sıcak noktaya (hotspot) dönüşme olasılığı azalır [36].

Katkılama (Dopingleme) Bağlamında Hücre Tipleri: P TİPİ VE N TİPİ

N-Tipi- Negatif yüklü Silisyum Fosfor katkılı (dopingli) yapılmaktadır

P-Tipi- Bor ile katkılı (dopingli) pozitif yüklü Silisyum yapılmaktadır



Şekil 3.13 Yaygın (P tipi) bir silikon güneş hücresinin temel yapı şeması [36]

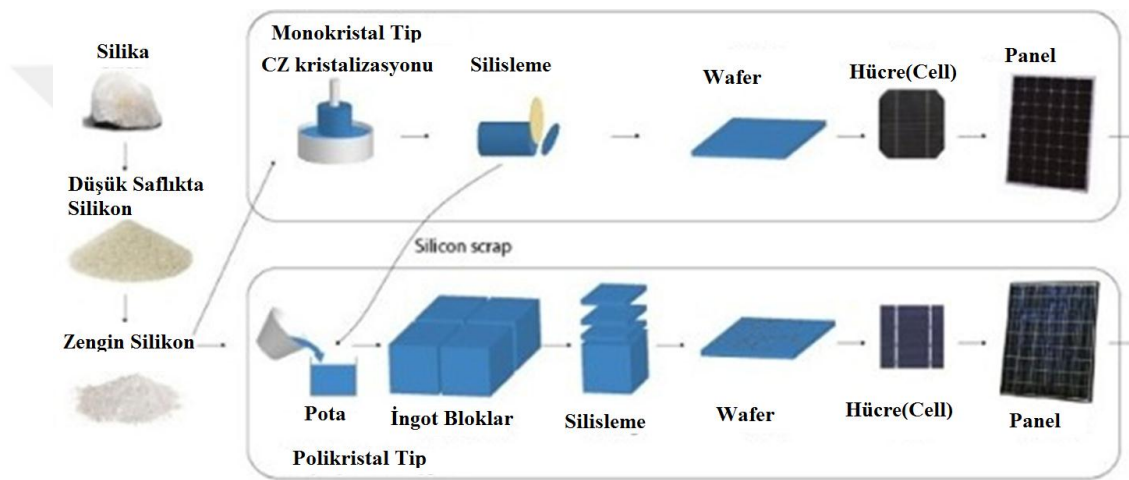
P-tipi ve n-tipi silisyum bir araya getirilir ve p-n bağlantısı sonucunda katmanı meydana getirir. Bağlantı, güneş ışığı hücreden geçtiğinde elektronların akışını sağlayan bir elektrik alanı oluşturur. Fotovoltaik olay, ışık fotonlarının (enerji) elektronları silisyumdan kopararak bir elektrik akışı oluşturmasıdır [36].

Güneş Hücrelerinden Nihayetinde Güneş Paneli Üretimi:

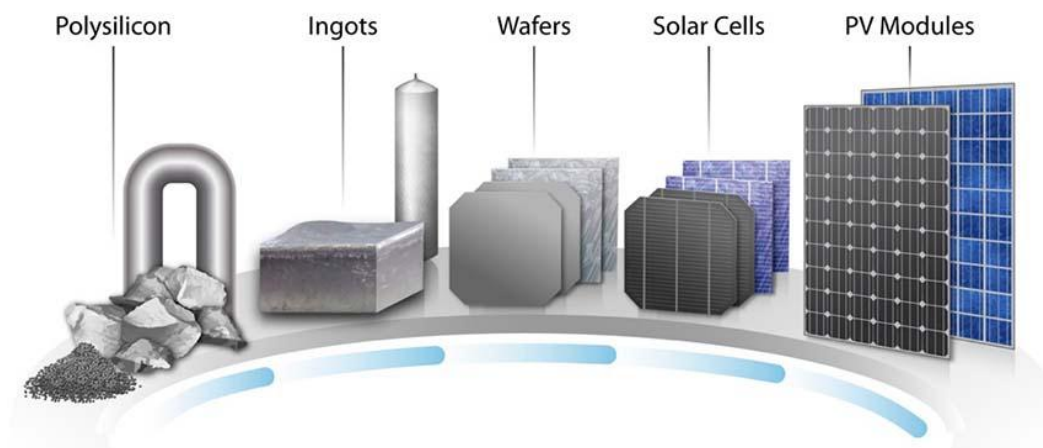
Güneş hücreleri, hücre bağlantılarını sağlamak için metal konektörler kullanılarak birlikte lehimlenir. PV paneller, matris benzeri bir yapıya entegre edilmiş güneş hücrelerinden oluşturulmuştur. Piyasadaki var olan standart paneller: 48 hücreli paneller, 60 hücreli paneller olup bu standart boyuttur, 72 hücreli paneller büyük hücreli kurulumlar için kullanılmaktadır.

Hücrelerden panel üretildikten sonra, ön tarafa güneşi gören ince bir tabaka (yaklaşık 6-7 mm) cam yapıştırılır. Arka tabaka oldukça dayanıklı, polimer bazlı malzemeden üretilmiştir. Bu, su, toprak ve diğer malzemelerin panele arkadan girmesini engelleyecektir. Daha sonrasında, modül içindeki bağlantıları aktif etmek için bağlantı kutusu yerleştirilir.

Çerçeve montajı yapıldıktan sonra hepsi bir araya getirilir. Bütün bir panelin şekli meydana gelmiş olur. Çerçeve ayrıca darbelere ve hava koşullarına karşı koruma sağlayacaktır. Çerçevenin kullanılması, panelin, mesela montaj kelepçeleri gibi çeşitli şekillerde monte edilmesini de sağlayacaktır. EVA (etilen vinil asetat), her şeyi birbirine monte eden yapıştırıcıdır. Enkapsülanın kalitesinin yüksek olması çok önem arz eder, bu sebeble kötü hava koşullarında hücrelere zarar gelmez. Detaylı bilgiler açıklanmıştı [35].



Şekil 3.14 Fotovoltaik panellerin üretim aşamaları [37]



Şekil 3.15 Silikondan PV panele üretim süreci [37]

3.2.3. Monokristal Güneş Pili (Mono-Si)

Monokristal silikon (veya "tek kristal silikon", "tek kristal Si", "mono c-Si" veya sadece mono-Si), günümüzde neredeyse tüm elektronik ekipmanlar da kullanılan silikon çipler için temel malzemedir. Mono-Si aynı zamanda güneş pillerinin üretiminde fotovoltaiik, ışığı emen malzeme olarak görev yapar. Tüm katının kristal kafesinin sürekli olduğu, kenarlarına kadar kesintisiz olduğu ve herhangi bir tane sınırından muaf olduğu silikondan oluşur. Mono-Si, yalnızca aşırı derecede saf silikondan oluşan veya yarı iletken özelliklerini değiştirmek için eklenen çok küçük miktarlarda başka elementler içeren malzemeler olarak hazırlanabilir. Monokristal silikon, ince film güneş pillerinde kullanılan kristalin olmayan amorf silikon ve kristalitler olarak da bilinen küçük kristallerden oluşan polikristalin silikon gibi diğer allotropik formlardan farklıdır. Verimlilikleri %21-24 seviyesindedir.



Şekil 3.16 Monokristal panel [31]

3.2.4. Polikristal Güneş Pili (Multi-Si)

Polisilikon yada poli-Si olarak da isimlendirilen polikristalin silikon, solar fotovoltaik ve elektronik endüstrisi tarafından hammadde olarak kullanılan yüksek saflıkta, polikristalin bir silikon şeklidir. Polisilikon, metalurjik sınıf silikondan, Siemens safhası ismi verilen kimyasal bir saflaştırma işlemi ile üretilmektedir. Çok kristalli güneş pilleri, hızla büyüyen PV pazarında en yaygın güneş hücre türüdür ve dünya genelinde üretilen polisilikonun çoğunu kullanır. 1 megavatlık (MW) geleneksel güneş sistemlerinin üretimi için takriben 5 ton polisilikon gerekmektedir. Verimlilikleri %19-21 aralıklarındadır.



Şekil 3.17 Polikristal panel [31]

3.2.5. İnce (Thin) Film Güneş Pili (TFSC)

İnce film fotovoltaik hücre (TFPV) olarak da adlandırılan ince film güneş pili (TFSC), bir veya daha fazla ince katman veya ince bir fotovoltaik malzeme tabakası

(TF) biriktirerek yapılan ikinci nesil bir güneş pili. Cam, plastik veya metal gibi alt tabakadır. İnce film güneş hücreleri, kadmiyum tellürid (CdTe), bakır indiyum galyum diselenid (CIGS) ve amorf ve diğer ince film silikon (a-Si, TF-Si) dahil olmak üzere birçok teknolojilerde ticari olarak kullanılmaktadır. Thin film her zaman daha ucuzdur, fakat klasik c-Si teknolojisine nazaran daha az etkilidir. Bununla beraber, yıllar içinde önemli düzeyde geliştiler ve CdTe ve CIGS için laboratuvar hücresi verimliliği şimdi yüzde 21'in üzerinde, şu anda çoğu güneş PV sisteminde kullanılan önemli malzeme olan çok kristalli silikondan daha iyi performans göstermektedir. Verimlilikleri %10-15 aralıklarındadır [31].



Şekil 3.18 Thin(İnce) film panel

Birçok fotovoltaik paneller ve hücre tipleri vardır. Bunların birçoğu laboratuvar ve uzay çalışmalarında kullanılmaktadır.

3.3. Aküler

Elektriği depolayabilen ve daha sonra depolanan bu elektriği istenilen zamanda verebilen depolama aracına akü denir. Aküler ile ilgili “cycle sayısı, derin döngü, derin deşarj, enerji kesme voltajı ve dolma voltajları” önemli kavramları bilmek gerekir. Diğer bir tanımda akü elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolayan cihazlardır. Akü hesaplama ve seçimlerinde devreye giren en önemli olay fiyat performans grafikleridir [38].

3.3.1. Jel Akü

Jel Akülerin diğer akülerden en büyük farkı ve avantajı daha uzun süren kullanım ömrüdür. Doldur boşalt ömrü olarak bilinen kullanım şekline göre jel aküler diğer akü türlerine göre daha fazla doldur boşalt ömrüne sahiptirler. Örnek vermek gerekirse jel aküler %30 DOD(deep of decharge) yani %30 deşarj ile kullanımda fabrika verilerine göre 2000 sefer doldur boşalt yapılabilirken, Kuru akülerde bu sayı 1500' lerde, sulu akü ise 900 civarındadır. Jel akülerin diğer bir avantajı bakım gerektirmez. Sıvı eklemek gerekmez.

Jel aküler diğer bir bakımsız akü grubu olan kuru akülere göre daha uzun ömürlü olsalar da ani yüklenmelerde jel aküler dayanıklı değildir olumsuz yönlerinden biri budur. Bu sebeple kullanım amacınıza göre akü seçmeniz daha mantıklı olacaktır. Jel aküler 12V ve özel olarak 2V olmakla beraber birçok kapasitede 30 Ah, 50 Ah, 75 Ah, 100 Ah, 150 Ah, 200 Ah bulunmaktadır.



Şekil 3.19 Jel aküler örnekleri 12V, 2V, 30 Ah, 50 Ah,75 Ah , 100 Ah, 150 Ah, 200 Ah [38].

3.3.2. Kuru Aküler

Kuru Aküler aynı zamanda lead-acid olarak ta adlandırılmaktadır. Kuru aküler sulu akülere göre daha pahalı, jel akü ve lithium akülere göre daha uygun fiyatlıdır. Tabii bu verdiğimiz bilgi aynı kaliteler söz konusu ise geçerlidir. Yani kaliteli bir kuru akü kesinlikle kalitesi düşük bir jel aküden daha verimli, daha uzun süre çalışacaktır. Normal kullanımda kuru akü modelleri jel akü modellerine göre daha düşük performans vermektedir. İdeal kullanım akülerinde kullanım kılavuzlarında ve datasheet bilgilerinde belirtildiği gibi saatte çekilebilecek ideal yük kapasitesidir. Örneğin; 100 amper bir aküden saatlik 10 amper tüketirseniz 10 saat kullanabilirsiniz fakat 50 amper çekerseniz 2 saat kullanamazsınız.

Kuru aküler ani yüklenmelere karşı jel akülerden daha dayanıklıdır. Bunun sebebi ise kuru aküler genellikle UPS sistemlerinde kullanılmak üzere dizayn edilmiş olmalarıdır. UPS sistemlerinde elektrik kesintisi anında anlık yüklenme çok fazla olduğu için kuru akü modelleri tercih edilmiştir. Bu sebeple güneş enerjisinde veya rüzgar enerjisinde genel kullanım olarak ani yüklenmeler şeklinde kullanacaksa kuru akü tercih edebilir [38].



Şekil 3.20 Kuru akü örnekleri

3.3.3. Sulu Aküler

Araçlarda kullanılan akülerdir. Jel Akülere göre %50 daha uygun fiyatlı olan sulu aküler fiyat bakımından diğer akü türlerinden ucuzlardır. Öncelikle fiyat olarak jel akülerin yarısı olsa da performans olarak düşünüldüğünde 5' te 1 olmaktadır. Örnek tüketim değerlerinde 1 yılda sulu akü ömrünü tamamlarken, 5 yıl boyunca jel aküyü kullanabilmektedir. Sulu akü modelleri derin deşarja dayanıklı değildir.

Yani kapasitesinin ancak yarısı kadar kullanıma izin verir ve voltaj seviyesi çok fazla düşmeden enerji almayı kesmek gerekmektedir. Jel Aküler gibi 10-10,5 Volt seviyelerinde enerji almayı bırakırsanız çok kısa sürede aşırı derin deşarj sebebi ile sulu akünüzün ömrünü yitirdiğini göreceksiniz. Sulu aküler %30 derin deşarjda dahi cycle sayısı 900 değerini geçmemektedir. Sulu akü kullanımı bu sistemlerde pek tavsiye edilmez. Sulu aküler bakım gerektirir bu bir dezavantajdır istenmez.



Şekil 3.21 Sulu aküler [38].

3.3.4. Lithium Ion (Li-Ion) Aküler

TOGG elektrikli araçlarda da kullanılacaktır. Elektrikli hava araçlarında da kullanılmaktadır. Lithium ion aküler hayatımızda birçok alanda aslında kullandığımız akü türüdür. En yaygın kullanımı ise telefonlarımızdaki bataryalardır. Daha uzun şarj dayanımı ve uzun yaşam ömrü sebebi ile mobil telefon üreticileri bu

akü grubunu kullanmayı tercih etmişlerdir. Lithium ion aküler genel yaygın kullanım olarak elektrikli araçlarda akü grubu olarak kullanılmaktadır.

Lithium ion akü grubu diğer tüm akü çeşitlerine göre anlık yüklenmelerde uzun süreli düşük tüketimli kullanımlarda daha üstün performans sergilemektedir. Ayrıca diğer tüm akü gruplarından daha uzun yaşam ömrüne, daha uzun şarj döngüsüne sahiptir. Hareketli ortamlarda da rahatlıkla kullanılabilir. Bunun yanında sıcak ve soğuğa karşı tepkileri diğer akü gruplarına göre daha üstün performans sahibidir. Bu kadar üstün özelliğinin karşılığı olarak ta maliyeti diğer akü gruplarına göre çok çok yukarıda kalmaktadır



Şekil 3.22 Lithium ion aküler örnekleri [38]

Diğer akü çeşitleri;

- Kurşun karbon aküler
- AGM Aküler
- OPzV AKÜLER
- Ni-Cd (Nikel Kadmiyum) Aküler
- Nikel Metal Hidrit (Ni-MH)

Akü cycle sayısı: Akü cycle sayısı kısaca akülerin kaç defa şarj ve deşarj edilebileceğini gösteren sayıdır. Cycle sayısı dolan akü ömrünü tamamlamıştır. %30 deşarj oranında sulu aküler 900 Cycle sayısına sahipken kuru akülerde bu sayı 1500

seviyelerindedir. Jel Akülerde Bu sayı ortalama 2000 Değerlerinde olup Lithium akülerde bu sayısı 6000 civarındadır [38].

Akü derin döngü, derin deşarj: Derin döngü ve derin deşarj aynı anlamlara gelmektedir. Akü voltajı belirli bir voltun altına düştüğünde yük çekilmez ve alınan enerji durdurulur. Eğer durdurulmaz ise akü ölür. Jel akülerde 11,6 V gösterdiği an kullanım durdurulmalı. Dolu durumdaki akü yaklaşık 13,6 V değerini gösterir.

Akü dolma voltajı ve doldurma akımı: Akülerin amper değerlerine göre max. şarj akımı vardır. Akü durumuna göre değişiklik göstermekle birlikte %10 – %15 arasında değişmektedir. Örneğin 100 Amper jel akünüzü 10-15 Amper ile şarj edebilirsiniz. Daha fazla akımla şarj edersek akü bozulur.

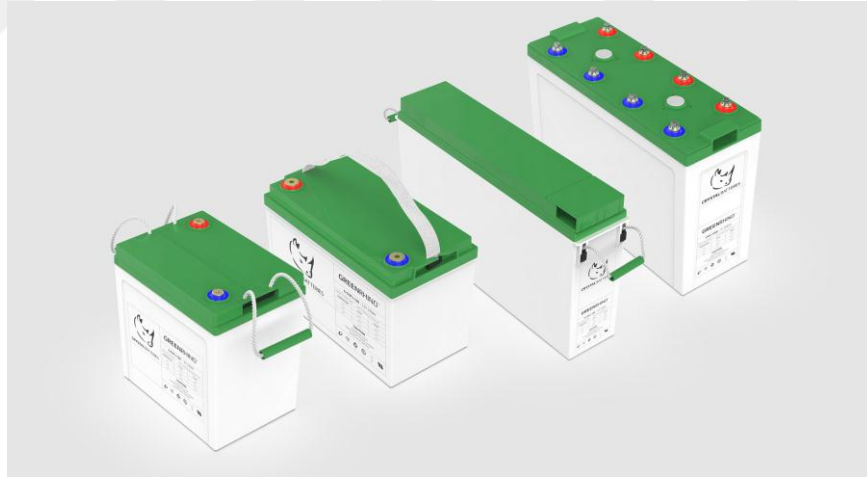
Akü üzerinden çekilebilecek akım değeri: Akünüzü sağlıklı kullanmak için bu değere dikkat etmek gereklidir. Akülerin anlık yüke göre verebildikleri akım değerleri vardır. Ne kadar düşük amper çekerseniz o kadar kapasitesini kullanırsınız, ne kadar çok amper çekerseniz kapasitesini o kadar az kullanırsınız. Ömrü o denli kısalmır. 100 Amper değerindeki bir akünüz var ise bu aküden saatlik %10 yani 10 amper çekebilirsiniz. Bu orandan fazla akım çekerseniz akü bozulur. Akülerin datasheetleri okunmadan aküler kullanılmamalıdır.

3.3.5. Kristal Aküler

Jel akü, sulu akü, kuru akü, Li-ion aküler, AGM aküler ve diğer bütün aküler düşünüldüğünde birçok avantaj ve dezavantajları olmakla beraber iyi özellik gösterdikleri alanlar ve zayıf oldukları alan özellikleri vardır. Bütün bu akü çeşitlerinin dezavantajlarının birçoğunu ortadan kaldıran yeni bir akü teknoloji vardır. Bu teknoloji kristal akü teknolojidir. Kristal akülerde geleneksel sülfürik asit çözeltisi yerine Silika kristal hali “SiO₂ kompozit elektrolit” (bir jel) kullanılır.

Bunun bir sonucu olarak:

- Neredeyse hiç plaka sülfatlama yok, Aktif malzeme kaybı yok
- Kullanımları çok güvenli oldukları için güvenliğin gerekli olduğu alanlarda kullanılabilirler.
- Dehidrasyon yok, Asit kirliliği yok yani kimyasal yok çevreci bir aküdür
- Diğer akü çeşitlerine nazaran yüksek akımlar şarj ve deşarj özelliği vardır. Bu çok önemli
- Mükemmel çevrim ömrü (3100)
- Çok düşük-yüksek sıcaklık çalışma özellikleri var, derin döngüleri %60 civarındır. Aynı zamanda %30 şarj akımı olma özelliklerine sahiptirler.
- %100 deşarj olsa bile akü kurtarılabilir. 7 Ah-3000 Ah arasında kapasiteli aküleri mevcuttur [39].
- Bu avantajlarının yanında yüksek fiyat gibi dezavantajı vardır.



Şekil 3.23 Kristal aküler

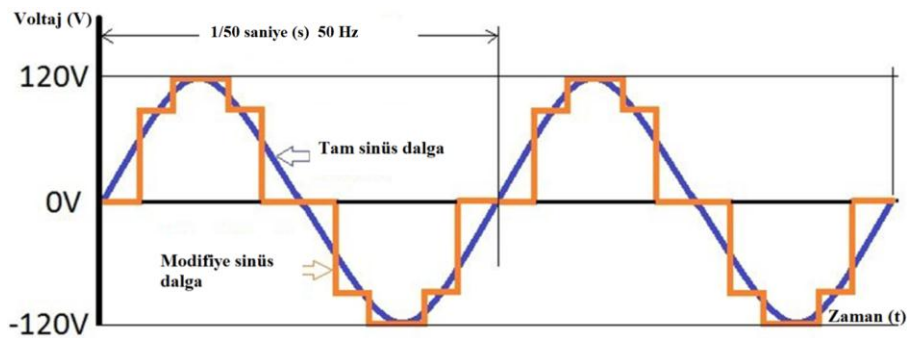
3.4. İnverterler

Doğru akımı (DC) ve düzensiz akımı, 220 Volt tek faz (monofaz) veya 380 volt üç fazlı (trifaz) alternatif akıma (AC) ve düzgün istenilen frekansa ve istenilen kaliteye çeviren elektronik cihazlara inverter(evirici) denir. İnverterler aynı zamanda

sistemdeki aksaklıkları, dalgalanmaları, dengesizlikleri, harmonikleri vb. engelleyerek sistemin daha iyi ve yüksek verimli çalışmasını sağlamaktadır. İnverterler kare dalga, modifiye sinüs ve tam sinüs olacak şekilde üç çeşit çıkış dalgası verirler. Hassas elektronik cihazlar ile beyaz eşyalarda tam sinüs inverter kullanılmalıdır. Aydınlatma ve ısınma gibi düşük hassasiyetli uygulamalarda kare ve modifiye inverterler kullanılır [40].

Tam Sinüs İnverterler: AC çıkışta tam sinüs (sinüsoidal) dalga şekline sahiptir. Bu inverter, gelen voltaj ve frekansları tam sinüs dalga olarak vermektedirler. Çalışma frekansları 50/60 Hz, verimleri ise %89 ila %94 aralıklarındadır. Kullandığımız tüm elektrikli ekipmanları besleyen şebeke elektriği de 50 Hz Tam/ Saf Sinüs dalga şeklindedir. Tam sinüs inverterler genellikle tıbbi cihazlarda ve ölçüm cihazları gibi hassas çalışma gerektiren cihazlarda kullanılır.

Sinüs Benzeşimli veya Modifiye Sinüs İnverterler: Modifiye sinüs olarak da anılan kare dalga inverter maksimum güç noktası takibi (MPPT) ismi verilen bir algoritmaya haizdir. Maksimum verim elde etmek amacıyla geliştirilen bu algoritma sistemde bulunan yük üzerinden hesaplamalarını otomatik olarak gerçekleştirmektedir. Bu inverterler, sinüs eğrisini kare dalgacıkların sayısını artırarak merdiven basamağı şekline benzer davranış gösterirler. Modifiye inverterler, saf sinüs şeklinde elektrik çıkışı vermediği için buzdolabı, çamaşır makinası, hassas elektronik cihazlar vb. cihazların bozulmalarına sebep olmaktadır.



Şekil 3.24 Tam sinüs ve modifiye sinüs dalga eğrileri [40]

İnverterler On-Grid İnverterler, Off-Grid İnverterler, Hibrit İnverterler olmak üç ana başlık altında toplanır.

3.4.1. Off-Grid İnverterler

Bu tip inverterler daha çok akülü sistemlerde kullanılmaktadır. Bu tip uygulamalar daha çok şebeke hattının uzak olduğu elektrik şebekesini getirilmesinin çok masraflı ve zor olduğu veya çok pahalı çiftlik evleri, yayla evleri, gsm, baz istasyonları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır [41].



Şekil 3.25 5000VA gücünde bir Off-grid inverter

ÇIKIŞ	
AC Gerilim Aralığı	230 VAC $\pm$ 5 %
Dalgalanma Gücü	10000VA
Verimlilik	93%
İletim Süresi	10 ms (For Personal Computers) 20ms(For Home Appliances)
Dalga Şekli	Tam Sinüs
AKÜ VOLTAJİ	
Akü Voltajı	48 VDC
Dalgalı Şarj Voltajı	54 VDC
Aşırı Voltaj Koruması	60 VDC
SOLAR ŞARJ & AC ŞARJ	
Maksimum PV Dizi Açık Devre Voltajı	105 VDC
Bekleme Güç Tüketimi	2 W
Maksimum Solar Şarj Akımı	50A
Maksimum AC Şarj Akımı	60A
Maksimum Şarj Akımı	110A
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
Ölçüler	120×295×468 mm
Net Ağırlık	9,8 kg

Şekil 3.26 Off-grid inverter elektriksel değerleri [41]

3.4.2. On-Grid İnverterler

Bu inverterler, şebeke bağlantılı güneş enerjisi elektrik üretim sistemlerinde kullanılır. Elde edilen elektriği şebekeye aktaran inverterlerdir. Şebekeye bağlı inverterler; merkezi, dizi (string) ve mikro inverterler olarak üçe ayrılmaktadır [40].



Şekil 3.27 72000W On-grid bir inverter

DC Çıkış Bilgileri	
İzin Verilen Maksimum PV Gücü (W)	72000
Nominal DC Güç (W)	62000
Maksimum DC Gerilim (V)	1000
MPPT Gerilim Aralığı (V)	260~850
Başlatma Gerilimi (V)	250
Maksimum DC Akım (A)	28 / 28 / 28 / 28
DC Konnectör Adedi	12
MPPT Adedi	4
DC Konnectör Tipi	MC4/Phoenix/Amphenol
AC Çıkış Bilgileri	
Nominal AC Güç (W)	60000
Maksimum AC Güç (W)	64000
Maksimum AC Akım (A)	90
Nominal AC Çıkış	50/60 Hz,400Vac
AC Çıkış Aralığı	45~55Hz/55~65Hz; 310~480Vac
Toplam Harmonik Bozulma	<3%
Güç Faktörü	0,8 öncü ~0,8 gecikme
Şebeke Bağlantısı	3W/N/PE
Verimlilik	
Maksimum Verimlilik	98,8%
Avrupa Verimliliği	98,5%
MPPT Uyarılama Verimliliği	99,90%
Genel Bilgiler	

Şekil 3.28 On-grid bir inverter elektriksel değerleri

3.4.2.1. Merkezi İnverterler

Bu inverterler yüksek güçlerde santrallerde kullanılmaktadır. Genel olarak tek bir inverterin gücü yüzlerce kW seviyelerinden başlayıp MW mertebelerine kadar yükselmektedir. Merkezi inverter teknolojisi diğer inverter cinslerinden farklı olarak, panellerin inverter öncesinde DC korumanın yapıldığı bağlantı kutularında birleştirildikten sonra invertere bağlantının yapıldığı sistemlerdir. Merkezi inverterler diğer inverter tiplerine nazaran daha büyük panel grupları tek merkezden yönetmektedir. Genel olarak merkezi inverterlerin alçak gerilim voltaj değerleri normal dağıtım trafolarının 400 V değerlerinden farklı olup 300V, 350V, 400V ve 690 V olacak şekilde imal edilmektedir. Merkezi inverter çıkışından sonra merkezi inverterin alçak gerilim voltaj seviyesine göre üretilmiş trafodan geçerek orta gerilim şebekesine 33 kV – 34,5 kV seviyesinden bağlantısı yapılır [40].



Şekil 3.29 5MVA yani 4 MW gücünde bir merkezi SINACON inverter

Teknik özellikler: 5000 kVA 4000 kW gücünde, DC gerilim (maks.) 1.500 V, 11-36 kV AC aralıklarında çıkış veren merkezi SİEMENS marka SINACON model inverter.

3.4.2.2. Dizi İnverterler

Dizi inverterler hem saha hemde çatı uygulamalarında kullanılır. Farklı çatı tiplerinde farklı tiplerde dizi inverterler kullanılır. Dizi inverterlerdeki gaye tek bir santrali parçalara ayırarak her bir parçanın birbirinden bağımsız olacak şekilde enerji üretmesini sağlayabilmektir. DC giriş gerilimlerinin izin verdiği voltaj değerine kadar panellerin seri bağlandığı ve her bir PV dizinin doğrudan invertere bağlantısı ile meydana getirilen sistemlerin inverterleridir. Evsel kurulumlarda 2-5 kW aralıklarında üretilip 230 V tek fazlı ve 5 kW üzerinde 400 V üç fazlı olarak üretilmektedir. Endüstriyel ve santral sistemlerde MW seviyelerine ulaşmak için 30 -33 kW AC çıkış gücündeki dizi inverterler kullanılmaktadır.



Şekil 3.30 Bir Dizi inverter

Technical Data

DC input data	110 TL3
Max. recommended PV generator power	165 000 W
MPP range	705 – 1300 V
Operating range	705 – 1450 V
Rated DC voltage / start voltage	730 V / 805 V
Max. no-load voltage	1500 V
Max. input current	160 A
Max. short circuit current $I_{sc \text{ max}}$	300 A
Number of MPP tracker	1
Connection per tracker	1 - 2
AC output data	110 TL3
Rated output	110 000 VA
Max. power	110 000 VA
Line voltage	480 V (3P+PE)
Voltage range (Ph-Ph)	300 – 580 V
Rated frequency (range)	50 Hz / 60 Hz (45 – 65 Hz)
Rated current	3 x 132,3 A
Max. current	3 x 132,3 A
Reactive power / cos phi	0 – 100 % S_{nom} / 0,30 ind. – 0,30 cap.
Max. total harmonic distortion (THD)	$\leq 3 \%$
Number of grid phases	3

Şekil 3.31 Dizi inverter elektriksel değerleri

3.4.2.3. Mikro İnvörtörler

Mikro inverterler ise panel arkasına montajı yapılan inverter çeşitidir. Öncelikle parçalı gölgelenmelerin çok yoğun olduğu çatı sistemlerinde tercih edilmesinin yanında günümüzde saha uygulamalarında az da olsa kullanılmaya başlanmıştır. Panellerde üretilen elektrik enerjisini direkt sabitlerler.



Şekil 3.32 Panel aksanında bir mikro inverter [40].

3.4.3. Hibrit İnverterler

Hibrit inverterler, enerji üretimin ihtiyacıdan daha fazla olduğunda akü gibi depolama elemanlarında toplanmasını veya şebekeye iletimini sağlayan; üretimin ihtiyacıdan daha az olduğunda şebekeden enerji çekilmesini gerçekleştiren çift taraflı(yönlü) inverterlerdir.



Şekil 3.33 Bir Hibrit inverter

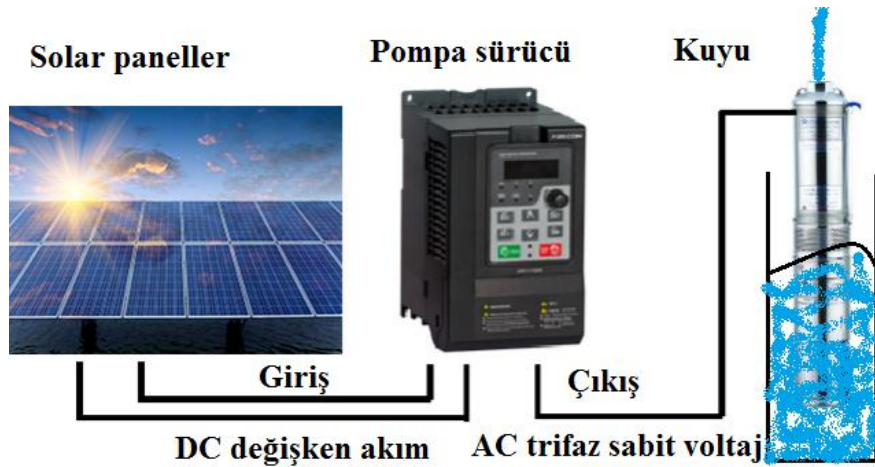
DC Giriş Bilgileri	
Maksimum DC Güç	3300 W
Maksimum DC Gerilimi	550 V
Nominal DC Çalışma Gerilimi	360 V
MPPT Gerilim Aralığı	125-530 V
Maksimum Giriş Akımı	12 / 12 A
Maksimum Kısa Devre Akımı	15 / 15 A
AC Çıkış Bilgileri	
AC Nominal Güç	3000 W
Nominal AC Gerilimi; Aralığı; Frekansı	230; 180~270; 50/60
AC Nominal Akım	13 A
Maksimum AC Akımı	14.4 A
Toplam Harmonik Bozulma	<3%
Güç Faktörü (Anma Gücü)	1
Verimlilik	
MPPT Verimliliği	99,9%
Avrupa Verimliliği	97%
Maksimum Verimlilik	97.6%

Şekil 3.34 Hibrit inverter elektriksel değerleri [41]

3.5. Solar Pompa Sürücüler

Dalgıç pompa sürücüsü, güneş enerjili tarımsal sulama sistemlerinde PV panellerden almış olduğu DC elektriği istenilen hale getiren, belirli parametreler ile frekans ayarlaması yaparak AC trifaz veya monofaz elektrik enerjisine çeviren ve bu enerjiyi dalgıç pompalara ileten sürücüler/inverterlerdir. Bu sistemlerde akü grubuna ihtiyaç yoktur [40].

Bazı güçteki örnekleri; 1 hp (0,75kW)-100 hp(75kW) arasında sıralanabilir.



Şekil 3.35 Örnek bir solar pompa sürücüsü 10 hp, 7,5 kw gücünde şematik gösterimi

Bazı özellikleri;

- Tek faz (230 V) ya da Trifaz (380 V) motor sürebilme
- MPPT aritmetiği
- Düşük ışıktaki otomatik uyku modu ya da yüksek ışıktaki uyanma modu
- Düşük su seviyesinde otomatik kapanma
- Yüksek sıcaklık ve aşırı akım korumaları vb. gibi daha birçok özelliklere sahip piyasada birçok solar dalgıç pompa sürücüsü mevcuttur.

Birçok üretici firma tarafından üretilen pompa sürücüleri mevcuttur. Bu sürücüler aynı zamanda bir inverter sayılır. Solar pompa sürücüleri kontrol ve izleme, kuyu probu, kuru çalışma koruması, uzaktan kumanda vb. için kontrol girişleri, ters polarite, aşırı yük ve yüksek sıcaklığa karşı koruma, MPPT (Maksimum Güç Noktası İzleme) sistemleri, akü çalışması için düşük voltajlı bağlantı kesme, ayarlanabilir RPM gibi akıllı sistemlere sahiptir. Güneş ışınları sabit değilse akü bağlanabilir. Yeterli güneş ışınları varsa akü kullanmadan direkt PV panel de bağlayabilirsiniz. Topraklama yapmak gereklidir [42].

Maksimum güç noktası izleme (MPPT) içeren doğrusal akım yükseltici (LCB) olarak da adlandırılan pompa sürücüleri, arabanızda bir "dişli kutusu" gibi davranır. Demeraj akımı arabayı dördüncü viteste kaldırmaya benzer. Bu cihaz, motora iletilen akımı artırırken (otomatik şanzıman gibi) gerilimi düşürerek güç kaynağını yük ile eşleştirecektir. Bu şekilde demeraj akımı karşılanmış olur.



Şekil 3.36 Örnek PS150C solar pompa sürücüsü

PS150C model pompa sürücüsü akü veya PV panellerden gelen düzensiz akım ve voltajı motor için düzenli hale getirir.

PS150C pompa sürücüsü teknik veriler:

Motor gücü: 250 W

V_{mp} (max güç gerilim): > 17 V

V_{oc} (max) (açık devre voltajı) : 50 V

Batarya giriş voltajı: 12/24 V

Batarya koruma voltajı: 11/22 V

Çıkış voltajı: 4–36VAC PWM 3-faz

Kuyularda derinlik arttıkça ve debi ihtiyacı arttıkça yüksek güce ihtiyaç vardır. Bu durumda AC monofaz ve trifaz motorlara ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacı karşılayacak olan DC düzensiz akım ve gerilimi AC düzenli akım ve gerilime çeviren sürücülere ihtiyaç vardır şekil 3.31’ de AC trifaz bir solar pompa sürücüsü vardır.



Şekil 3.37 PS9k AC yüksek güç ve derinlikli solar pompa sürücüsü [42]

PS9k AC pompa sürücüsü teknik veriler:

Motor gücü: 7,5 kW

V_{mp} (max güç gerilimi): > 500 V

V_{oc} (max) (açık devre voltajı): 750 V

P_v paneller max giriş gücü: 10 kW_p

MPPT voltaj: 500-600 V DC

Çıkış voltajı: 380-400 V AC 3-faz, 30 – 60 Hz

Çıkış akımı: 20 A

3.5.1. Solar Dalgıç Pompa Sistemleri Sensörleri

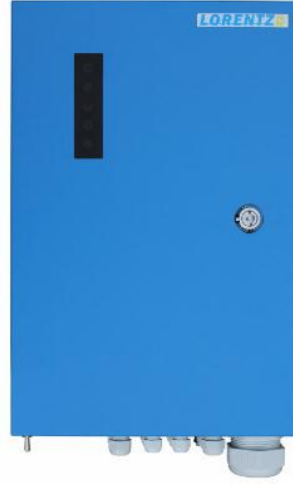
Su seviyesi ölçümü, ışınlama ölçümü, debi ölçme, PV dizisinden gelen DC bağlantılarının güvenli ve uyumlu bir şekilde yapılmasını sağlamak için DC ayırıcılar, birleştiriciler ve yıldırımdan korunmak. PV panel enerjisinin takibi yetersiz olması durumunda şebeke ve jeneratör devreye almak. Basınç, tanklar için şamandıralı anahtarlar ve mevcut güneş ışığına bağlı olarak harici cihazların açılıp kapanmasına izin veren anahtarlama sistemleri. Bütün bunlar sensörler yardımı ile solar sürücülere bağlanarak sistem denetim altına alınır.



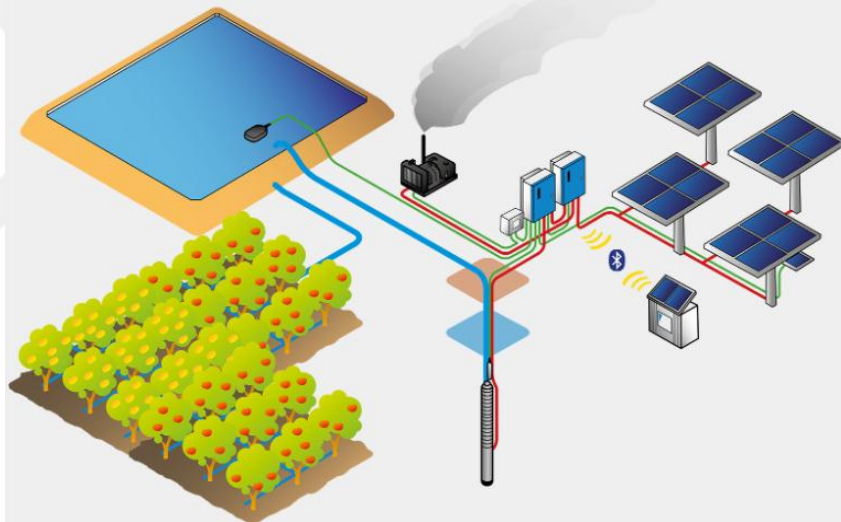
Şekil 3.38 Bazı sensör tipleri

3.5.2. Solar Hibrit Pompa Sistemleri ve Hibrit Pompa Sürücülere

Bazı yerlerde güneş enerjisi sabit değildir bulutlanma fazladır, bazı yerlerde akşamda suya ihtiyaç duyulması, bazı yerlerde şebeke elektriğinden de yararlanmak istenilmesi gibi nedenlerden ötürü hibrit sistemlere ve hibrit sürücülere ihtiyaç duyulmuştur. Bu hibrit sürücüler PV panellerden gelen enerjiyi kullanırken aynı zamanda dizel jeneratör veya şebeke elektriğinden elektrik alırlar. Aynı zamanda bu durumlardan farklı olarak su güvelliği denilen oluşabilecek arızalarda su kesintisinin önüne geçilmiş olunur. Bu sürücü tipleri ilk öncelik olarak PV panellerden gelen enerjiyi kullanırlar bu enerjiyi de MPPT sistemine göre ayarlarlar. PV panellerden gelen güce göre pompa gücünü optimize ederek stabil bir su seviyesi oluştururlar. PV panel gücü yetmez ise şebeke veya jeneratöre başvururlar. Bu hibrit sürücüler internet üzerinden veya bluetooth ile uzaktan kontrol etme veri gönderme gibi sistemlerle donatılmıştır.



Şekil 3.39 PSk2 solar hibrit pompa sürücüsü



Şekil 3.40 PV ve dizel jeneratör ile beslenen hibrit sistem ve hibrit solar pompa sürücüsü [42]

3.6. Pompalar

3.6.1. Solar Yüzey Pompalar

Havuz, kanallar, barajlar ve göller gibi yüzeysel kaynaklardaki kot farkı fazla olmayan suyu taşılar. Su yüzeyine monte edilen, su kaynağının yüzeye yakın olduğu uygulamalarda en uygun su pompaları yüzey pompalarıdır [43].

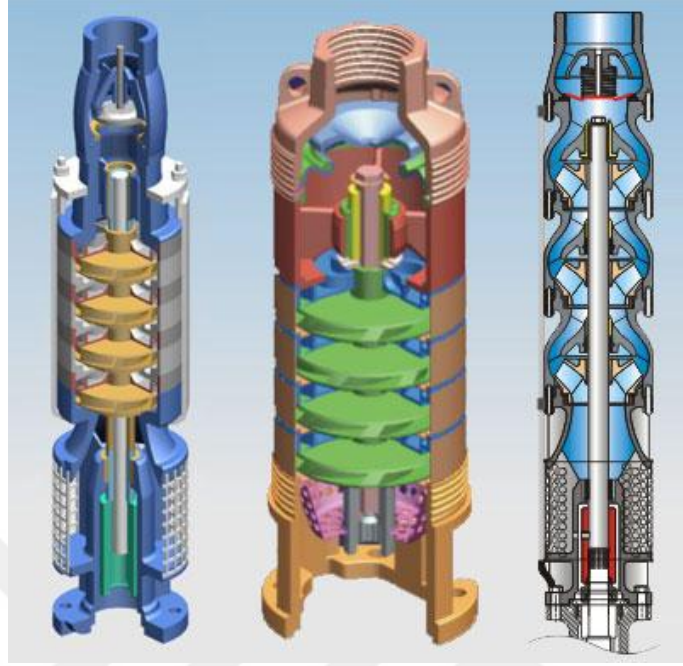
3.6.2. Solar Dalgıç Pompalar

Dalgıç pompalar tamamen su ve havaya yalıtkan kapalı bir gövdeden meydana gelir ve elektriğe karşı yalıtkanlardır. Bütün olarak suyun içine daldırılmış halde çalışır. Ana avantajı, yüzeyle pompa arasında yüksek kot farkı var ise suyu pompalayıp kavitasyonlarını engeller. Dalgıç pompası suyu yüzeye pompalar, jet motorun çalışma prensibinin tersi yönünde çalışır ve jet pompalardan daha verimlidir. Doğru ölçeklendirilmiş dalgıç pompalar suyu 750m derinliklerden yeryüzüne rahatlıkla iter. Bu dalgıç pompalar oldukça dayanıklıdır ve yıllarca mil(kum) oranı yüksek, viskozitesi düşük sularda bile aktif çalışırlar.

Farklı dalgıç pompa ürünleri AC-DC ya da her ikisinde de çalışmak üzere geliştirilmiştir. AC dalgıç pompaların genelde kalkış anında normal çalışma gücünün 2 -3 kat daha fazla güç çekerler buna pompa demeraj akımı denir. Pompa yürüyene kadar yüksek akım çeker. Eğer demeraj akımı iyi hesaplanmazsa sistem zarar görür. Kullanılan inverterin kalkıştaki bu yüksek anlık gücü başarıyla karşılaması gerekir. İnverterin de ortalama yaklaşık %85-95 verimli olduğu bilindiğine göre bir AC pompanın DC direkt pompayla aynı oranda suyu pompalayabilmesi için %20-%25 daha fazla elektrik (güneş) enerjisine ihtiyaç duyacağı bilinmelidir. Kuyu çapı her zaman motor çapından 2" büyük seçilmelidir. Solar dalgıç pompalar çalışma algoritmasına göre santrifüj, diyafram pompalar ve sarmal (helezonik) rotorlu olmak üzere sınıflandırılır [43].

3.6.3. Santrifüjlü Dalgıç Solar Pompalar

“Yüksek hızlarda dönerek yüksek oranlarda su akışı sağlayan bir çark sistemi ile çalışır. Fakat bu solar pompaların ürettiği basınç, dolayısıyla pompalama yükseklikleri diğer tip pompalara göre düşüktür. Pompalama yüksekliklerini arttırmak sarmal tipli solar pompalarla mümkün olur. İçerisinde merdiven şeklinde spiral pervane bulunur. Debi yüksek ama basınç düşüktür. Suyu yeryüzüne hızlı bir şekilde ve sabit debiyle çıkarırlar.



Şekil 3.41 Santrifüj pompa kesit gösterimi içyapısı

3.6.4. Diyafram Dalgıç Solar Pompalar

30 metreden daha düşük derinlikteki yüzeysel kuyulardan 20 lt/dk yada 80 metre kuyulardan da daha düşük debilerde su basabilirler. Genellikle bu pompaların kullanıldığı solar-elektrik sulama sistemlerinde 4" ebatında (kalınlığında) kuyu kaplaması gerekmektedir.



Şekil 3.42 Diyafram dalgıç solar pompalar

3.6.5. Sarmal (Helezonik) Tipli Dalgıç Solar Pompalar

Sarmal pompalar ile pompalama kotlarını arttırmak mümkün olmaktadır. Bir çeşit pozitif yer değiştirmeli pompa olan bu pompa birçok kullanım talebini karşılayabilecek akış debisi de vermektedir. Bu pompalar suyu yüzeye küçük paketler şeklinde, oldukça hızlı bir şekilde ve sabit debiyle pompalarlar. Pompanın genel yapısı, kapalı bir şaft içinde spiral bir kedi merdivenine benzer şekilde olup baya hızlı şekilde dönmektedir. Her bir merdiven basamağı suyu pompanın tepe kısmına iter, buradan yukarı doğru aktarılan su yeryüzüne ulaşır. Bu pompaların santrifüj pompalara göre akış debisi daha düşük olmaktadır. Diğer taraftan basınç yüksek olduğu için helezonik rotorlu pompalar suyu daha yükseğe pompalar [43].



Şekil 3.43 Sarmal (helezonik) tipli dalgıç solar pompalar

3.6.6. Solar Sürücü Kontrollü Dalgıç Pompa Uygulamada Kullanılan Bazı Örnekler ve Teknik Değerleri

Solar Sürücü Kontrollü DC Sarmal Dalgıç Pompa:

Bu pompa orta uygulamalar için çok idealdir. 0,3 kw panel gücü ile tabloda görüldüğü gibi 20 m' den 2 m³/h su çekebilirsiniz. Bu motor ve sürücü paket sulama

sistemleri çok verimli sistemlerdir. Kullanımı pratiktir ve kurulumları kolaydır. Hızlı bir şekilde uygulamaya konulabilir. Kalifiye eleman gerektirmez.



Şekil 3.44 Lorentz marka PS150 C-SJ5-8 model solar sarmal dalgıç pompası ve sürücüsü [42]

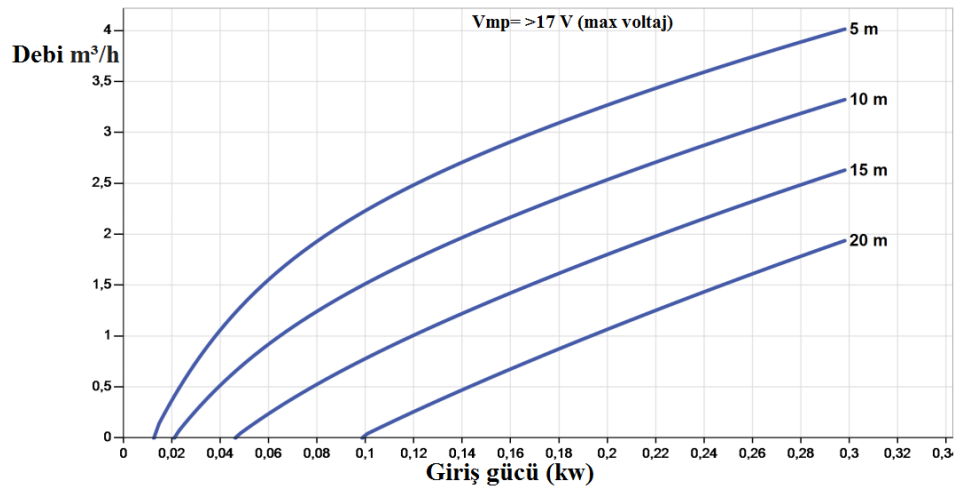
Teknik veriler PS150 C-SJ5-8:

Max yükseklik: 20 m

V_{mp} (max güç gerilimi): > 17 V

Max akış: 4,0 m³/h

V_{oc} (max) (açık devre voltajı): 50 V



Şekil 3.45 Lorentz marka PS150 C-SJ5-8 model solar dalgıç tablosu

Ps150 Pompa Sürücü Teknik Özellikleri

- Kontrol ve izleme
- Kuyu probu, kuru çalışma koruması, uzaktan kumanda vb. için kontrol girişleri
- Ters polariteye karşı korumalı,
- Aşırı yük ve yüksek sıcaklık koruması
- Entegre MPPT (Maksimum Güç Noktası İzleme)
- Akü çalışması için düşük voltajlı durumda bağlantı kesme ve koruma.

AC Santrifüjlü Dalgıç Solar Pompa:

Çok derin ve yüksek su basmanın uygulamalarının gerekli olduğu yerlerde kullanılır. Bu pompalarda yüksek debi özelliği vardır. Güç ihtiyacı çok olduğu için AC trifaze motor kullanılır.



Şekil 3.46 PS9k AC Santrifüjlü Dalgıç Solar Pompa

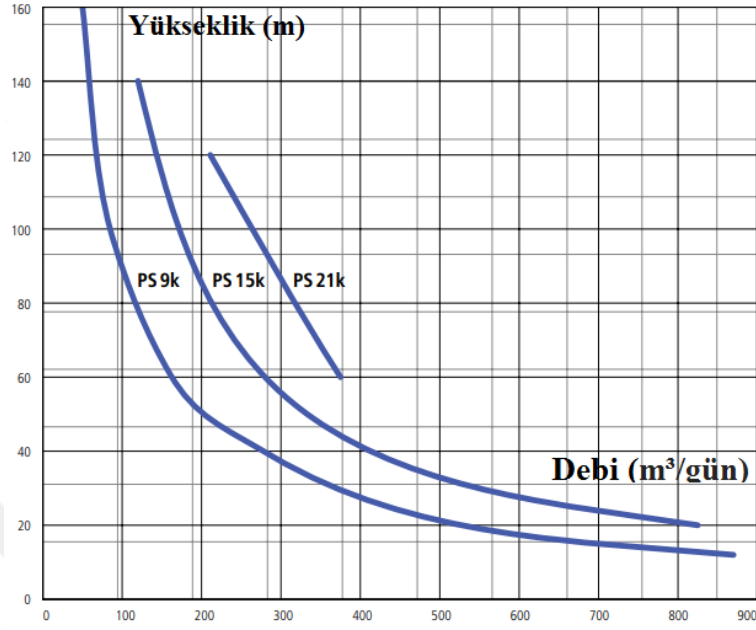
Teknik veriler PS9k:

Max yükseklik: 160 m

Vmp (max güç gerilimi): > 500 V

Max akış: 130 m³/h

Voc (max) (açık devre voltajı): 750 V



Şekil 3.47 Lorentz marka PS9k model solar dalgıç pompa tablosu [42].

Solar Yüzeysel Pompalar:

İçme suyu temini, gölet sistemleri, sulama, hayvancılık sulama, basınçlandırma sistemleri gibi yerlerde kullanılırlar.



Şekil 3.48 PS7k C-SF12-9 model solar yüzey pompası ve sürücü [42]

Teknik veriler PS7k C-SF12-9:

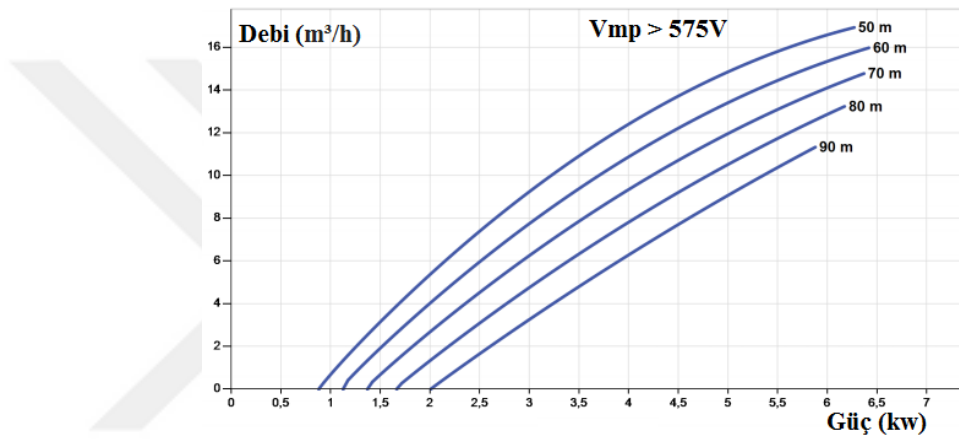
Max yükseklik: 90 m

V_{mp} (max güç gerilimi): > 575 V

Max akış: 17 m³/h

V_{oc} (max) (açık devre voltajı): 800 V

Bu pompa AC trifaze motor kullanır. Çok verimli çalışır. Birçok saha uygulamasında kullanılır.



Şekil 3.49 PS7k C-SF12-9 model solar yüzey pompası tablosu [42]

Birçok üretici firmanın farklı özellikte pompaları mevcuttur. Önemli olan ihtiyaca göre en iyi pompayı tasarlamaktır.

3.7. Kablolar

Solar kablolar istenen standartlarda olması gerekir aksi taktir de solar sistemlerdeki koşullara uymaz ve sistem istenilen verimde çalışmaz. Solar kablolarda aranan bazı standartlar ve test işlemleri;

- EN 60364-7-712
- Flame retardancy IEC 60332-1-2
- Halogen-free EN 50267-2

- EN 50396 (Ozona dayanıklılık)
- UV Resistance HD 605/A1
- EN60216
- EN 50618 (Yangın performansı)
- EN 50289-4-17 (Hava koşullarına dayanıklılık)
- DIN EN 60811-402 (su emilimi testi)
- EN 60811-404 (Asit ve alkali dayanımı)
- RoHS directive 2011/65/EU of the European Union (Çevre dostu)
- DIN EN 60811-504-505-506 (-40°C’de Soğuk bükme, darbe, uzama testi)
- HD 516 DIN VDE 0298 3 - 7.1 (Gerilme testi)
- EN 60811-503 (Çekme testi) [44]

Solar kablolar bu standartlara sahip ve testleri geçmiş olmalıdır. Çok soğuk havalarda ve çok sıcak havalarda dayanıklı olmaları, yangına karşı yanmaz olmaları ve mekanik darbelere karşı mukavemetli olmaları gerekir. Eğer ucuz olması gayesiyle kalitesiz bir kablo seçimi yapılırsa bu kablolar elektrik iletirken ısınır ve enerji kaybı olur. Solar kablolardan iyi verim alabilmek için bu kabloların düşük elektrik dirence haiz olması gerekmektedir. Fakat kablo ne kadar uzun olursa direnci de o kadar artar.

Kablodan geçen akım değeri tablodan seçilirken her zaman bir üst değer seçilmelidir. Bu güvenlik katsayısı olarak bilinir.

Çizelge 3.1 Solar kablo seçim tablosu [44]

H1Z2Z2-K										
Damar Sayısı ve Kesiti	İletken Çapı	Kablo Çapı	Kablo Çapı	Minimum Bükme Yarıçapı	Ağırlık	İzin verilen Maksimum Çekme Kuvveti	20°C Maksimum İletken Direnci	60°C Ortam Sıcaklığında, Havada Tek Kablo İçin Akım Taşıma Kapasitesi	60°C Ortam Sıcaklığında, Yüzeyde Tek Kablo İçin Akım Taşıma Kapasitesi	Kısa devre akımı (90°C'den 250°C'ye kadar 1 sn. için)
Number of Cores x Cross Section	Conductor Diameter	Outer diameter	Outer Diameter	Bending Radius Fixed	Weight (ca.)	Permissible Tensile Force	Conductor Resistance at 20°C	Current Carrying Capacity for Single Cable Free in Air (60°C Ambient temp.)	Current Carrying Capacity for Single Cable on a Surface (60°C Ambient temp.)	Short Circuit Current (1s. from 90°C to 250°C)
	(max. mm)	(min. mm)	(max. mm)	(max. mm)	kg/km	max. (N)	max. (Ω/km)	(A)	(A)	(kA)
1x1,5	1,6	4,4	5	15	35	23	13,7	30	29	0,21
1x2,5	1,9	4,8	5,4	17	46	38	8,21	41	39	0,36
1x4	2,4	5,3	5,9	18	61	60	5,09	55	52	0,57
1x6	2,9	5,9	6,5	20	80	90	3,39	70	67	0,86
1x10	4	7	7,6	23	122	150	1,95	98	93	1,43
1x16	5,6	9	9,8	30	200	240	1,24	132	125	2,29
1x25	6,4	10,3	11,2	34	290	375	0,795	176	167	3,58
1x35	7,5	11,7	12,5	50	400	525	0,565	218	207	5,01
1x50	9	13,5	14,5	58	560	750	0,393	276	262	7,15
1x70	10,8	15,5	16,5	66	750	1050	0,277	347	330	10,01
1x95	12,6	17,7	18,7	75	970	1425	0,21	416	395	13,59
1x120	14,2	19,2	20,4	82	1220	1800	0,164	488	464	17,16
1x150	15,8	21,4	22,6	91	1500	2250	0,132	566	538	21,45
1x185	17,4	23,7	25,1	101	1840	2775	0,108	644	612	26,46
1x240	20,4	27,1	28,5	114	2400	3600	0,082	775	736	34,32
1x300	22,9	30	33	132	3000	4500	0,0654	898	855	42,93



Şekil 3.50 Solar kablolar kırmızı pozitif (+) siyah negatif (-) temsil eder

3.7.1. AC Dalgıç Motor Kablo Hesapları

Tablodan motor gücü ve akıma karşılık gelen uzunluk seçilir ya da tam tersi de yapılabilir. Bu kablolar su geçirmez olmalı ve su altında derin basınçlara dayanıklı olmalıdır. Doğru kablo kesiti, belirlenen akım yüküne, maksimum ortam sıcaklığına ve izin verilen voltaj düşüş değerlerine dayanmalıdır. Tüm parametrelerle uygun olmazsa, direnç artacak ve bu da aşırı ısınmaya neden olacaktır. İyi tasarlanmayan kablolar enerji kayıplarına, verim düşüşlerine, yangınlara, kablo kırılmalarına vs. neden olacaktır.



Şekil 3.51 AC motor monofaze ttr solar kablo bir örnek

İyi tasarlanmış bir kablo sisteme büyük bir verimlilik sağlar. Doğru hesaplanmamış bir motor kablosu motorun gücünü ve PV panel sistemini verimli kılar.

Çizelge 3.2 Dalgıç pompa kablo seçim kesit tayin tablosu

GERİLİM	MOTOR GÜCÜ		Kablo Kesidi 3x mm²											
VOLTAJ	kW	HP	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	
MONOFAZE 220V	0,37	0,55	96	155										
	0,55	0,75	55	90	140									
	0,75	1	40	70	110	165								
	1,1	1,5	30	60	90	120	195							
	1,5	2	22	36	60	100	145	235						
	2,2	3		30	50	80	120	185						
TRİFAZE 380V DİREKT	0,37	0,55	570											
	0,55	0,75	379											
	0,75	1	240											
	1,1	1,5		285										
	1,5	2		225	360									
	2,2	3		165	285	390								
	3	4		140	225	350	500							
	4	5,5	65	108	172	258	431	689	1077	1507	2153	3014	4091	
	5,5	7,5	48	80	129	193	322	515	805	1127	1610	2254	3059	
	7,5	10	38	64	102	153	256	409	639	894	1278	1789	2428	
	9	12,5		52	83	125	209	334	522	730	1043	1461	1982	
	11	15		45	72	109	181	289	452	635	904	1266	1718	
	13	17,5			61	92	153	245	383	536	765	1071	1454	
	15	20			52	79	131	210	327	458	655	917	1244	
	18,5	25					106	170	266	372	531	744	1009	
	22	30					90	145	226	316	452	633	859	
	26	35					76	122	190	266	380	532	722	
	30	40					67	107	168	235	336	470	638	
	37	50						89	139	195	279	390	529	
	45	60							115	160	229	321	435	
	52	70								139	198	278	377	
	55	75								131	187	262	356	
	59	80								120	172	241	326	
	66	90									154	215	292	
75	100									137	192	261		
81	110									127	178	242		
92	125										157	213		
110	150											182		
132	180											155		
TRİFAZE 380V YILDIZ - ÜÇGEN Y/Ü	15	20			79	118	196	314	491	688	982	1375	1867	
	18,5	25			64	96	159	255	398	558	797	1115	1514	
	22	30			54	81	136	217	339	475	678	949	1288	
	26	35			46	68	114	182	285	399	570	798	1083	
	30	40				60	101	161	252	352	503	705	956	
	37	50					84	134	209	293	418	585	794	
	45	60					69	110	172	241	344	481	653	
	52	70					59	95	149	208	297	416	565	
	55	75						90	141	197	281	394	534	
	59	80						82	129	180	258	361	490	
	66	90						74	115	162	231	323	439	
	75	100							103	144	206	289	392	
	81	110							95	134	191	267	363	
	92	125								118	168	235	319	
	110	150								101	144	201	273	
	132	180									123	172	233	
	147	200										152	207	
	155	210										145	196	

3.7.2. DC Kablo Hesapları

Genel olarak DC bütün sistemlerde aşağıdaki formül kullanılır.

$$S=(L.I)/(56.V.\%e) \quad (3.A)$$

S kablo kesit alanı (mm²), L toplam kablo boyu (+) ve (-) yani mesafenin iki katı gidiş ve geliş kablo boyu (m), I Akım (A) , 56 sabit sayı bakırın özgül direnci, V volt , %e voltaj kaybı sabiti yani enerji düşümü %3 (0,03) alınır aydınlatma sistemlerinde %1,5 (0,015) alınır. Güvenlik için panel akü arasına sigorta konulmalı ve kablo kesiti hesapta çıkandan bir üst kesit olarak seçilmeli [45].

3.8. Konstrüksiyon

Konstrüksiyon PV sistemlerin ana iskeletini oluşturur. PV panel sistemleri bu konstrüksiyon üzerinde montaj halindedir ve elektriği bu şekilde üretir. Konstrüksiyon PV panelleri rüzgardan, titreşimlerden vb. gibi doğal olaylardan korur. Aynı zamanda panellerin güneş ışınlarına göre doğru bir şekilde konumlandırılmasını sağlarlar. Montajı iyi yapılmayan bir panel zarar görür bu durumda sistem hasar görebilir verim düşebilir. Bu yapı elemanlarının çoğu alüminyumdur. Ana taşıyıcı elemanlar çelik malzemeden yapılabilirler [46].

3.8.1. Sehpa Çeşitleri

- Çatıya paralel konstrüksiyon
- Çatı üzerine yakın montaj
- Çatı üzerine sıfır montaj
- Düz çatı üzeri sehpa
- Arazi sehpa

Olmak üzere en çok kullanılan beş çeşit sehpa vardır. Bu sehpa şekillerinin kendine has avantaj ve dezavantajları vardır. Bu sehpa tiplerine göre PV sistemin

verimi değişmektedir. Tasarımı ve seçimi detaylı yapılmış bir sehpa PV panel sisteminin verimi büyük oranda etkilemektedir. Elde edilen deneylere göre; bir yıllık bir süreçte arazi sehpa sistemi daha fazla elektrik enerjisi üretmekte ve çatı üzeri sıfır sistemi ise en az elektrik enerjisini üretmektedir. Sıcaklık bu sehpa montaj sistemlerinde en belirgin parametredir. Çünkü sehpa tiplerine göre hava sirkülasyonu oluşmakta ve paneller serinlemektedir veya sıcaklığı yüksek olmuş durumdadır [46].

Özellikle yaz sıcaklarında bu sehpa tiplerinin farkları daha belirgin olarak ortaya çıkar. Sehpa ve konstrüksiyon seçimi bir PV panel sistemi için öneme sahip parametrelerinden biri olduğu gibi, harcanan paranın amortismanında da doğrudan belirleyici rol üstlenmektedir.



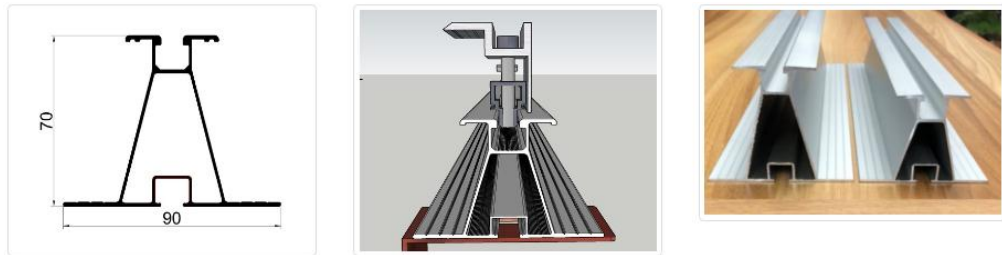
Şekil 3.52 Sırasıyla çatıya paralel montaj, çatı üzerine yakın montaj, çatı üzerine sıfır montaj



Şekil 3.53 Sırasıyla düz çatı üzeri sehpa, arazi sehpa [46]

3.8.2. Konstrüksiyon Elemanları

Montaj rayı: Alüminyum malzemeden yapılmış olan bu ray üzerinde paneller dizi halinde bağlanır. Bu ray sabit zemine bağlanır daha sonrasında kelepçeler yardımı ile paneller raya sabitlenir. Bu raylarda doğrusal olarak kelepçeler hareket edebilir.



Şekil 3.54 Montaj rayı ve kelepçe montajı yapılmış bir örnek [47]

Kelepçe: Kelepçeler en son yapı elemanı olarak PV panelleri tutan elemanlardır. Panelleri tutarak sehpa sabitlerler.



Şekil 3.55 PV panel tutucu kelepçe

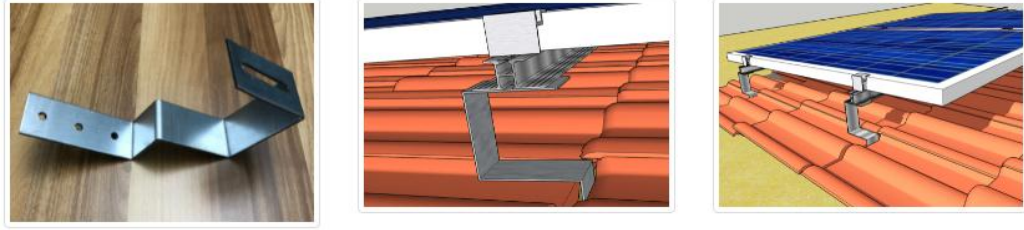
Akıllı vida: Bu vidalar çelik ve sert malzemeleri delebilirler bu yüzden konstrüksiyon elemanlarının vazgeçilmezidirler. Rayları istenilen yapı elemanı ile birleştirirler.



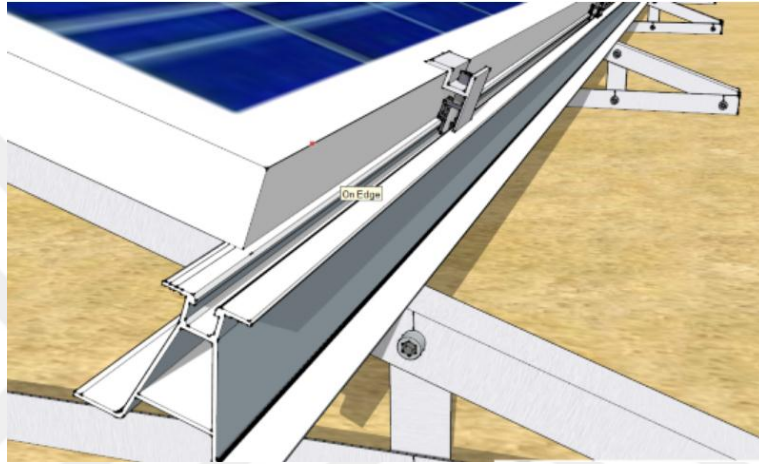
Şekil 3.56 Akıllı ve sivri uçlu vida

İyi bir montaj fotovoltaik güneş enerjili sisteminizi doğal afetlerden, rüzgardan, depremde, dış kaynaklı bütün hasarlardan korumaktadır.

Kiremit çatı kancası: Bu kancalar kiremitli ve tutunması zor olan çatı sistemlerine çözüm sunar. Çok kullanışlı ve faydalıdır. Kiremit altına monte edilir.



Şekil 3.57 Kiremit çatı kancası ve uygulaması



Şekil 3.58 Bir Panel ve montaj rayı ve kelepçe bağlantı uygulaması [47]

3.9. Konnektörler

Solar konnektör diğer adı bağlayıcı parça, solar kabloların birbirine düzgün ve enerji kaybı en az olacak şekilde bağlanmasını sağlayan ve sistemin düzgün çalışmasını sağlayan bağlantı parçalarıdır. Gerekli olan akım ve voltaj bu parçalar ile kablodan kabloya aktarılır. Erkek ve dişi olarak iki parçadan oluşur (şekil 3.59). Hepsi yüksek akımlara ve voltajlara dayanıklı imal edilir. Montajları yapboz şeklinde birbirine ekleme ve geçirme şeklindedir. Birçok kablo bağlantı sorununa çözüm sunarlar. Büyük avantajlar sunarlar. Malzeme ve enerji kaybını engellerler. Montajları uzman ekipler ile pense ve bazı araç ve gereçlerle yapılır. En çok kullanılanları MC4 ve MC3 konnektörleri olmakla beraber piyasada birçok firma tarafından üretilen farklı çeşitleri de mevcuttur [48].



Şekil 3.59 MC4 Konnektör bağlantı çeşitleri



Şekil 3.60 MC4 branş paralel kablolu konnektörler 1 dişi 1 erkek [48].



Şekil 3.61 Kablolu MC4 üçlü paralel bağlantı konektörü 3 dişi 1 erkek, 1erkek 3 dişi

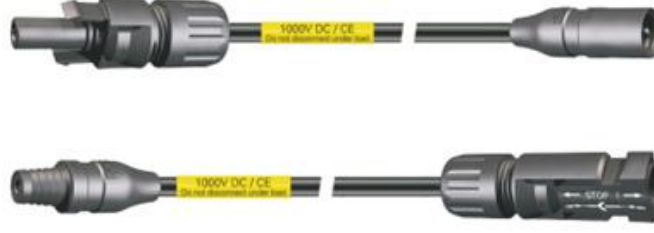
MC4 konektörlerin yanı sıra MC3 konektörler aynı işlevi görmektedir. Değerleri aynıdır. Tasarımsal olarak farklılık gösterir. Montaj safhasında iyi yönleri vardır.



Şekil 3.62 MC3 güneş konektörü erkek ve dişi



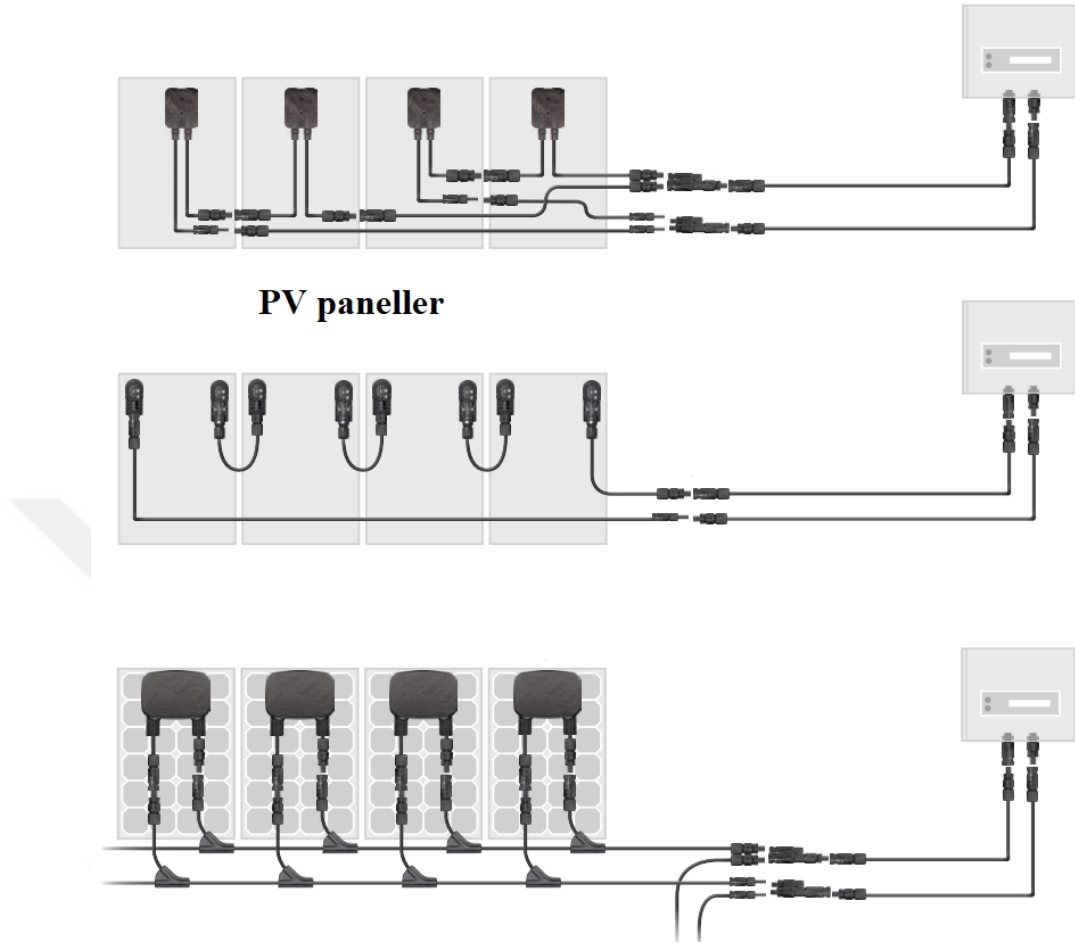
Şekil 3.63 MC3 konektörü ikili paralelleme erkek ve dişi



Şekil 3.64 MC3 konnektörden MC4' e geçiş adaptörü



Şekil 3.65 PV panellerde kullanılan konnektör bağlantı pensesi



Şekil 3.66 Fotovoltaik panel, konnektör, kablo paralel ve seri bağlantı örnekleri [48].

3.10. Topraklama ve Paratoner

GES santrallerinde veya fotovoltaik güneş panelleri sistemlerde, insanların hayatlarının ve cihazların, ekipmanların, elektronik devrelerin korunması için topraklama yapılması hayati derece önemlidir. GES santralleri ve çatı tipi fotovoltaik sistemler genellikle açık ve yüksek yerlerde oldukları için yıldırıma direkt açık hale gelirler. Topraklama; üzerinden elektrik akımı geçmeyen cisimlerin toprak içerisine konulmuş elektrot denilen iletken cisimle bağlantı sağlanması sonucu toprakla bağlantı kurmak olarak tanımlanır. Topraklama yapılmasındaki gaye, elektrikli cihazları kullanan kişilerin can güvenliğini sağlamak ve cihazların zarar görmesini önlemektir. Bu sistemlerdeki açık metal sehpalara, iletken çelik panolar, iletken motor

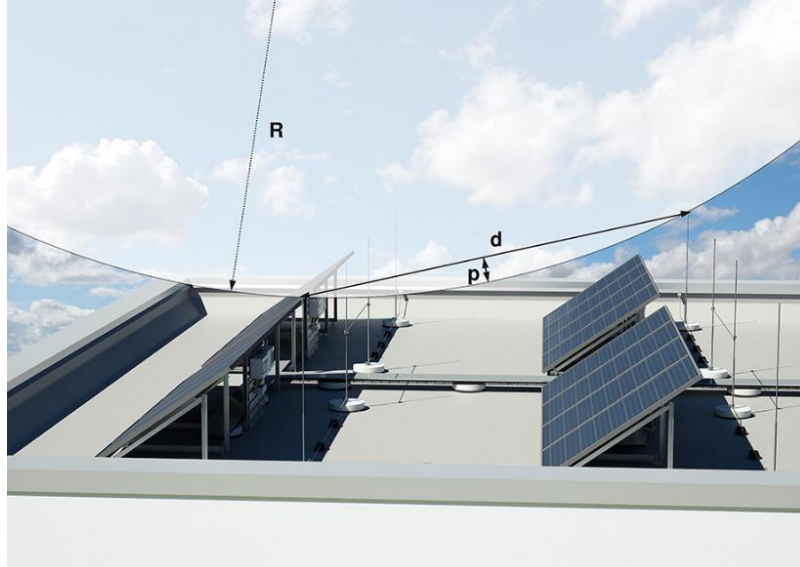
gövdeleri, kablolar, çelik konstrüksiyonlar, panel çerçeveleri vb. gibi bütün bileşenler topraklanmalıdır. Topraklama yapılmaması durumunda sistemdeki iletken kısımlarda oluşan arklardan dolayı cihazlar bozulabilir. YG, OG, AG sistemlerinde topraklama olmaması durumunda kişilerin can güvenliği tehlikeye girebilir. Fotovoltaik paneller topraklamanın iyi olmadığı sistemlerde erken bozulmaya başlayabilir. İyi bir topraklama olmaması durumunda elektriklemeden yıldırım çapmaları olacaktır [49].

Örnek topraklama şartnamesi;

1. Topraklama elektrotları VDE 0185305(IEC 62305) Normlarına uygunluk özellikleri taşıyacaktır. Panel temelinde oluşturulacak gözlerde kullanılacak galvaniz şerit iletkenin galvaniz kaplaması istisnasız 70 mikron kalınlığında olacaktır, korozyona karşı dayanıklılık mutlak şarttır.
2. Topraklama sisteminde her bağlantı noktasında korozyon önleyici bant kullanılacaktır.
3. Direncin yüksek kaldığı noktaları direnç düşürücü kimyasalların kullanılması uygundur.
4. Topraklama elektrotları birbirleri ile topraklama iletkeni yardımıyla irtibatlandırılacaktır.
5. Elektrotların çakıldığı noktalarda işletme anında müdahalenin kolay yapılması amacıyla rögarlar tesis edilmelidir.
6. Topraklama değerleri elektrik danışmanı tarafından ölçülüp düzenli olarak kontrol altında tutulmalıdır.
7. Kullanılacak baralar VDE 0100 Bölüm 410 ve bölüm 540 ta ki tariflere uygun olacak, ve VDE 0185-305 standardına uygun olacaktır. Baralar paslanmaz çelik (V2A)özelliğinde olacaktır. Tavsiye edilen bağlantı sayısı 10 olan 40 mm genişliğinde, 246 mm uzunluğunda ve 6 mm yüksekliğinde olan baranın kullanılmasıdır.
8. Mevcut tesisin yapısı ışığında yapı çevresinde ring hattın oluşturulup paslanmaz çelik bara eşliğinde sistemde eş potansiyelin oluşturulması tavsiye edilmektedir [50].

Yıldırım koruma şartnamesi;

1. Dış Yıldırımlık Sistemi: Standart kapsamında yuvarlanan küre metoduna pasif sistemler ışığında uygun koruma açıları oluşturulmalıdır. Yapılacak risk hesabı sonucu tasarlanacak sistem ile hem saha hem de PV sistem ekipmanlarının yıldırım darbesinin direk etkisinden korunması hedeflenmelidir.
2. İç Yıldırımlık Sistemi: AC-DC ve koaksiyel hatlarda iç yıldırımlık sistemi kullanılması yıldırım ve ani aşırı gerilim darbelerinde sistemin yanarak devre dışı kalmasını engelleyecektir
3. Eş potansiyel Sistem: Tesis genelinde eş potansiyel sistemin sağlanması, direnç farklılıklarını ortadan kaldıracak ve buna bağlı oluşacak kuplaj etkilerinin önüne geçilecektir.
4. Topraklama Sistemi: Tesis temelinde ve çevresinde oluşturulacak temel ve fonksiyon topraklama sistemleri tesisin uzun yıllar elektriksel olumsuz etkenlere karşı korunmasını sağlayacaktır [50].



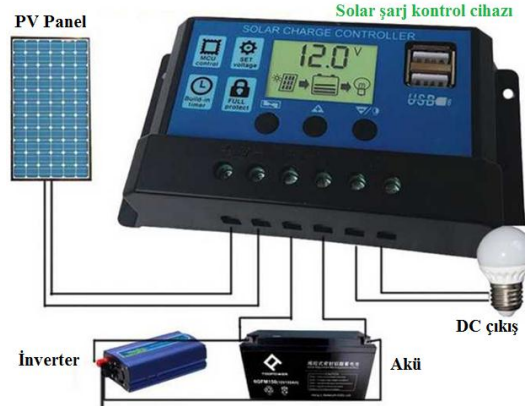
Şekil 3.67 Örnek yıldırım korumasında; küre yarıçapı, d: paratonerler arası mesafe, p: küre penetrasyon derinliği [49]



Şekil 3.68 Bir çatıda paratoner uygulaması ve topraklama [49]

3.11. Şarj Kontrol Cihazları (Solar Şarj Regülatörü)

Solar şarj kontrol cihazları PWM (pulse width modulation – darbe genişlik modülasyonu) ve MPPT (maximum power point tracker – maksimum güç noktası izleyici) olmak üzere iki grupta toplanır. En genel tanımıyla şarj kontrol cihazları fotovoltaiik panellerinden üretilen akımı akülere uygun bir şekilde depolamak ve aküler dolduğu zaman, akülere zarar vermemek maksadıyla PV panellerden gelen akımı kesmektir. Aşırı akımları ve ters akımları engellemek bu cihazın görevleri arasındadır. Aküler dolduğunda otomatik akımı keser. PWM şarj kontrol cihazları MPPT cihazlara göre çok ucuzdur. Buna karşın MPPT cihazlar daha verimli ve hızlı şarj etme özelliğine sahiptirler. Şarj kontrol cihazları 12/24 V şeklinde iki voltaj seçeneği ile çalışır [51]. Akü guruplarına göre ve çekilecek akıma göre şarj kontrol cihazı seçilir. Sağlıklı bir sistem için şarj kontrol cihazlarına ilk önce akü bağlanır sonra panel bağlanır. Bu cihazlar voltajı da aküye en uygun özelliklerde güvenli seviyede tutarlar. Bazı sistemlerde güç fazla olursa birden fazla şarj cihazı kullanılabilir.

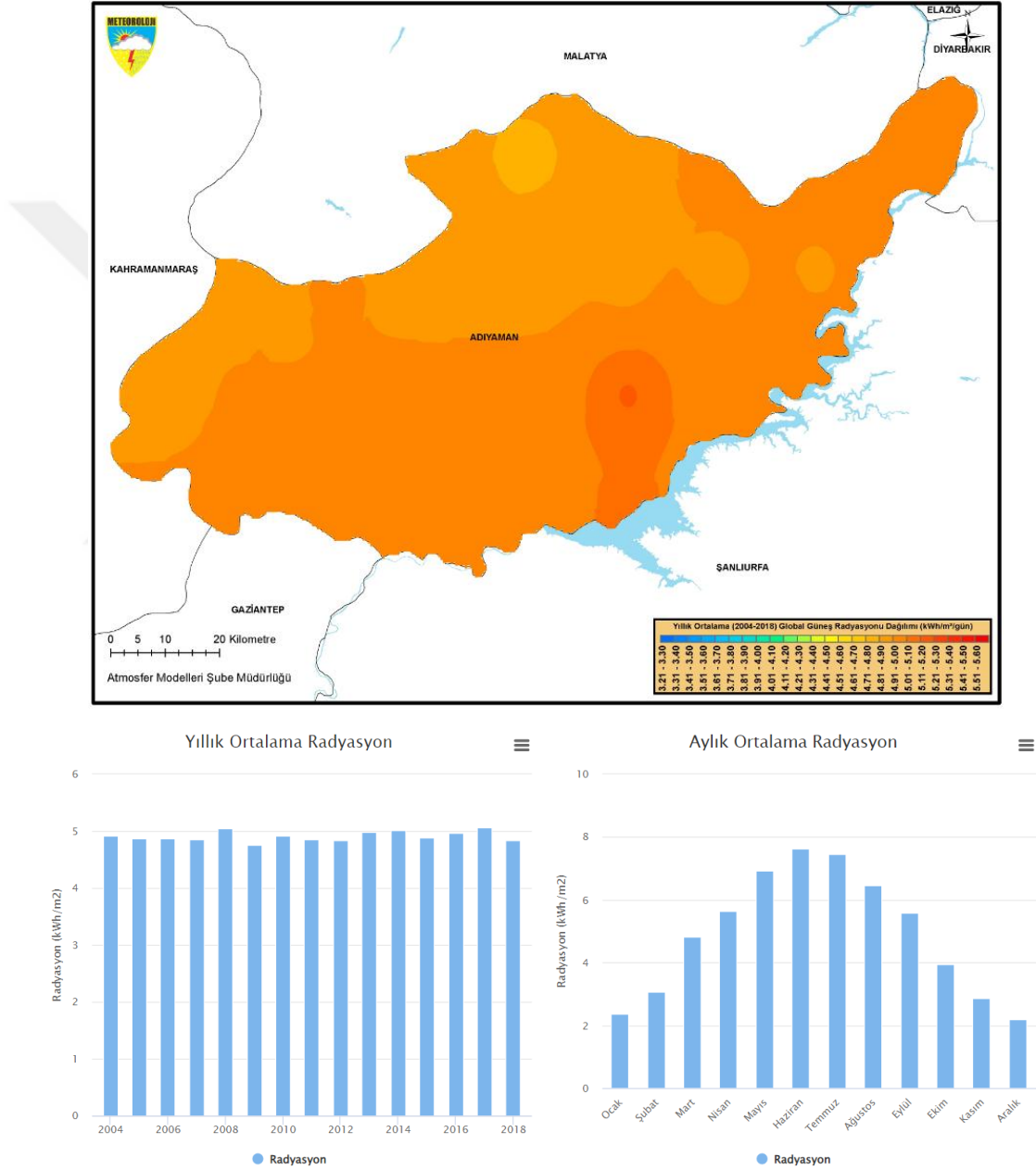


Şekil 3.69 Solar şarj kontrol cihazı şematik gösterimi [51]

Teknolojinin gelişmesiyle solar şarj cihazları da birçok alanda gelişti. Şuan kullanılan solar şarj cihazları birçok özelliği kendi bünyelerinde barındırmaktadır. Akülerin uzun ömürlü olması, kapasitelerinin sağlıklı bir şekilde tam kullanılması, kullanılan PV panellerin en verimli şekilde kullanılması bu anlamda MPPT özellikli şarj cihazlarının büyük katkıları vardır.

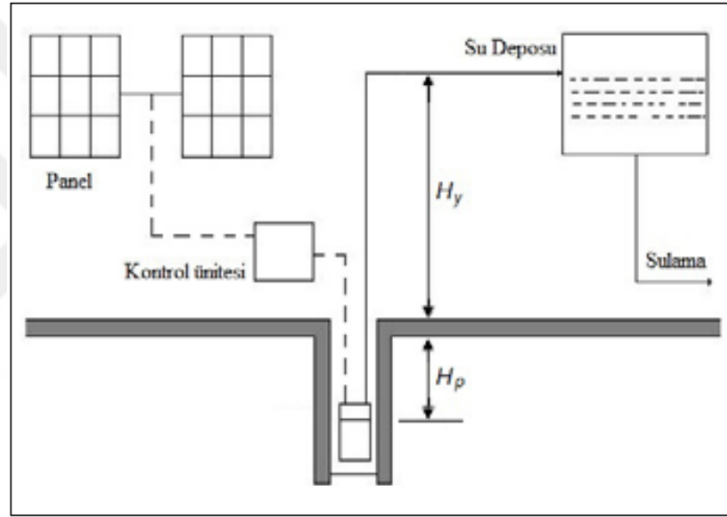
3.12. Fotovoltaik Enerjili Tarımsal Sulama

Adıyaman’ da 50 dönüm badem bahçesinin sulamada kullanılabilirliği Adıyaman güneş ışınım değerlerine göre hesaplanmıştır (şekil 3.70).



Şekil 3.70 Adıyaman global güneş radyasyonu değerleri GEPA

Fotovoltaik sulama sistemlerinin hesaplamadaki en önemli bileşenleri suyun çıkarılacağı kuyu derinliği ve günlük su ihtiyacıdır. Kuyu derinliği bazen suyun ulaşacağı kot farklarıyla daha da artabilir. Mesela bir sistemde kuyudan yüzeye çıkarılacak su aynı zamanda yüksek bir depoya aktırılacaksa hesabı bu toplam kot farkına göre yapmak lazım. Eğer sulama sisteminde basınç gerekliyse bu basınçta yükseklik olarak toplam yüksekliğe eklenmelidir. Bu her bir bar için on metre olarak ifade edilir(Yani 10 metreye 1 bar karşılık gelir). Şekil 3.71’ de kuyu algoritmasını görmekteyiz.



Şekil 3.71 Kuyu algoritması ve ölçüler [52]

3.12.1. Dalgıç Pompa Güç Hesabı

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

H_m , birim ağırlıktaki suya verilmesi gereken enerji miktarı (J/N), H_{dk} , düz boru kayıpları (m.s.s), H_{yk} , lokal kayıplar dirsek, te, manşon, kuyruklu dirsek, regülatör vs. kayıpları (lokal) (m.s.s). Bu kayıplar formülle hesaplanmayacak toplam metrede 100 m’ de 5m kayıp yani %5 eklenecektir. Bu pratikte daha uygun bir yaklaşımdır. H_y kot farkı, H_p statik kuyu derinliği, $H_y + H_p$, her ikisinin toplamı geometrik yükseklik (m) H_g olarak ifade edilir [52].

Pompa çıkış gücü:

$P_{pç} = (\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m) / (3,6 \times 10^6)$, bütün değerler yerine konur ve sadeleştirmeler yapılırsa aşağıdaki formül bulunur;

$$P_{pç} = (Q \cdot H_m) / 367 \quad (3.2)$$

$P_{pç}$, pompanın mile uygulaması gereken güç diğer bir deyişle pompa çıkış gücü (W), ρ , su yoğunluğu (1000 kg/m^3), g , yer çekim ivmesi (m/s^2), Q , debi (m^3/h), H_m , toplam kuyu derinliği ve kot farkı ile beraber toplam yüksekliktir.

Pompa Motor Gücü:

$$P_e = P_{pç} / \eta_p \quad (3.3)$$

P_e , Elektrik motorunun pervane miline uygulaması gereken güç diğer bir deyişle efektif güç yani mil gücü (W), η_p , pompa verimi (%60-90 arası alınır)

Elektrik Motorunun Gücü:

$$P_m = \alpha \cdot P_e \quad (3.4)$$

P_m , elektrik motorunun gücü (W), α , emniyet faktörü

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

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

$P_e \geq 34 \text{ kW}$ ise $\alpha = 1,1$ alınmalıdır [53].

HP (horse power=beygir gücü) olarak çevrilmek istenirse $1 \text{ kW} = 1,341 \text{ HP}$ olarak yazılır. Yüzey pompalarında çok azda olsa yükseklik formüle eklenir ve sadece boru lokal ve normal düz kayıplar hesaplanır.

Pompa seçimi; su ihtiyacı miktarı, basma yüksekliği (kuyu derinliği) vb. gibi faktörler dikkate alınarak ihtiyaç duyulan kapasitedeki yani uygun olan pompa, çizelge 3.3' den pompa seçim çizelgesinden seçilir [54]. Bu marka model pompalar seçmemizin nedeni geniş bir yelpazede pompa motor gücü ve debi aralıklarını bizlere sunmuş olmasıdır. Örneğin; saate 5 ton (m^3/h) suya ihtiyaç var ve kuyu derinliği 80 metre çizelgeden seçim yapılırsa 3hp yani 2,2 kW motor çıkacağını görebiliriz.

Çizelge 3.3 Dalgıç pompa seçim tabloları [54]

MODEL		P ₂		n ≈2850 1/min													
1 ~ 220V / 240V	3 ~ 380V /415V	KW	HP	n	m ³ / h l / min	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	
						0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
4SDM4 / 6	4SD4 / 6	0,37	0,5	H (m)		44	42	41	40	39	36	33	29	24	19	14	
4SDM4 / 8	4SD4 / 8	0,55	0,75			58	56	55	54	52	49	44	39	33	26	18	
4SDM4 / 10	4SD4 / 10	0,75	1			73	70	69	67	65	61	55	48	41	32	23	
4SDM4 / 14	4SD4 / 14	1,1	1,5			102	98	96	94	91	85	77	68	57	45	32	
4SDM4 / 18	4SD4 / 18	1,5	2			131	127	124	121	117	109	99	87	73	58	41	
4SDM4 / 24	4SD4 / 24	2,2	3			174	169	165	161	156	146	132	116	98	77	55	
-	4SD4 / 32	3	4			232	225	220	215	208	195	176	155	130	103	73	
-	4SD4 / 40	4	5,5			290	281	275	268	260	243	220	194	163	128	92	
-	4SD4 / 45	5,5	7,5			327	311	309	302	293	274	248	218	183	144	103	
-	4SD4 / 50	5,5	7,5			363	352	344	335	325	304	275	242	203	160	125	

Bu tablolar pompa tipine, gücüne, kademe sayısına, monofaz, trifaz oluşlarına göre saatlik debi ve kuyu derinliği parametrelerini şekillendiren olgulardır. Nitekim piyasada kullanılan birçok dalgıç pompa marka ve modeli bulunmakla beraber bu pompaların karakteristik özellikleri benzerlik göstermektedir. Seçilen bir pompanın istenilen özelliklerde olabilmesi için mevcut şartlara ve ihtiyaçlara en iyi şekilde cevap vermesi gerekmektedir.

3.12.2. Fotovoltaik Panel Gücü Hesabı

$$P_{PV} = P_m / (G I F) \quad (3.5)$$

P_{PV} , PV panel toplam gücü yani kapasitesi (W_p) $G I$, günlük ışınlama miktarı ($kWh/m^2/gün$) F , tüm sistem kurulum kayıp faktörü (0,3-0,6) bu tez kapsamında yapılan çalışma ve araştırmalarda bu değer 0,1 alınacaktır. [55].

Adıyaman için 6,234 kWh/m²/gün (nisandan ekime kadar yedi ayın ortalaması) olarak hesaplanmıştır (Adıyaman da yıllık ışıınım 4,831 kWh/m²/gün).

Pompa sisteminin sabah ve akşam güneş hareketlerinden etkilenmemesi ve pompanın ilk kalkıştaki demeraj enerjisinin sağlanması için PV sistem gücü bulunan kW olarak motor gücünün 1,5 katı seçilir. Daha önce motor gücünü 3 hp yani 2,2 kW olarak bulmuştuk. Bu durumda PV sistem gücü 1,5x2,2 kW sonucundan yaklaşık olarak 3,36 kW çıkmaktadır. Bu sonuç program ile teyit edilebilmektedir.

Bu sistemde; PV sistem gücü 3360 Wp hesaplanmıştı. 3360/325 ≈10 yaklaşık 10 adet 325 Wp polikristal güneş paneli seri bağlı olarak kullanılması gerekmektedir. 325 Wp polikristal bir panel değerleri

Çizelge 3.4 325Wp polikristal bir panel değerleri

325Wp polikristal panel değerleri	
V _{mp}	33,40 V
I _{mp}	9,74 A
V _{oc}	40,60 V
I _{sc}	10,15 A
Kablo Çapı	4 mm ²
Boyut	1640*990*40 mm

3.12.3. Dalgıç Pompa Sürücü Kapasitesi Hesabı

Sürücü hesaplanırken motorun demeraj akımı da göz önünde bulundurularak seçim yapılmalıdır. Çıkan değer bir üste yuvarlanmalıdır.

$$P_{inv} = P_m / \eta_{inv} \quad (3.6)$$

Bu değerler; P_{inv} , inverter gücü, P_m , sistemin toplam kapasitesi yani motor gücü, η_{inv} , sürücü inverter verimidir. Genelde 0,60-0,90 arası tayin edilir. Eğer istenilen değerlerde sürücü bulunamaz ise bir üst değer seçilir. Bu şekilde sistem güvenli olmuş olur.

3.12.4. Kablo Hesabı

Birçok sistem tasarlanırken kablo çapının doğru tayin edilmemesi nedeniyle bu solar sistemlerde arızalar meydana gelmekte, zamanla sistemdeki cihazlar bozulmakta, verimleri beklenenden çok çok düşük olmakta veya yangınlar çıkmaktadır. Bu gibi durumlar ile karşılaşılmasını için kablo kesitleri doğru hesaplanmalıdır.

Modellemesi yapılan sistemdeki PV paneller ile sürücü arasındaki toplam DC kablo boyu olarak hesaplanır.

DC kablo seçimi:

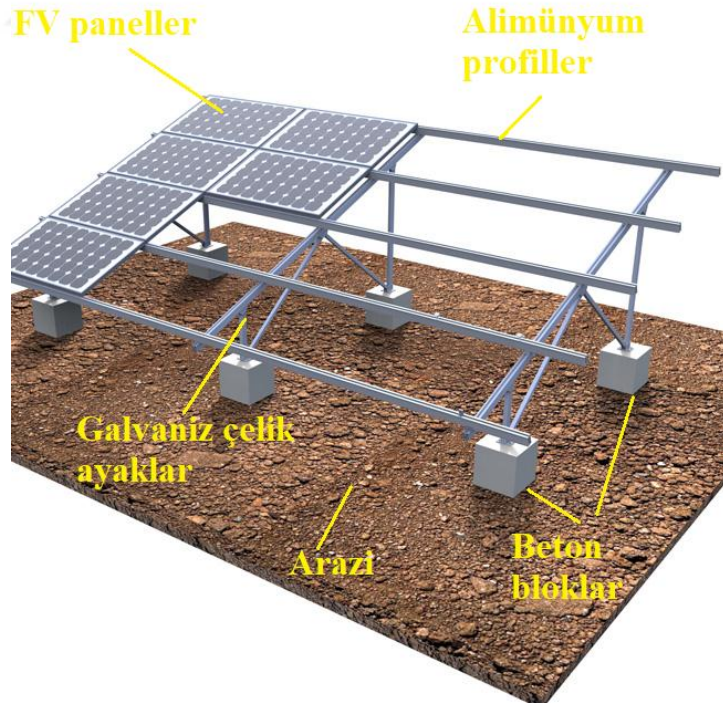
$S=(L.I)/(56.V.\%e)$, formülü ile hesaplandığını daha önce belirtmiştik. $\%e$ = elektrik voltaj düşümü sınırıdır. Bu değerde bu tür sistemlerde %3 alınır yani 0,03 bu değeri geçmemelidir. Detaylı açıklamalar yukarıda yapılmıştı. Hesaplanan bu değerde bir üstü olan değerler güvenlik için seçilir. Panel üzerindeki çap değeri olan 4 mm² solar kablo seçilir.

AC kablo seçimi:

Kablo boyutlandırması çizelge 3.2'den 3 hp motor ve 80-100 metre mesafe için karşılık gelen kablo kesiti 3x4 mm² olarak seçilir. Motor gücü kablo seçiminde bir üst hp motor seçimi yapmamızın nedeni enerji kayıplarını en aza indirmek.

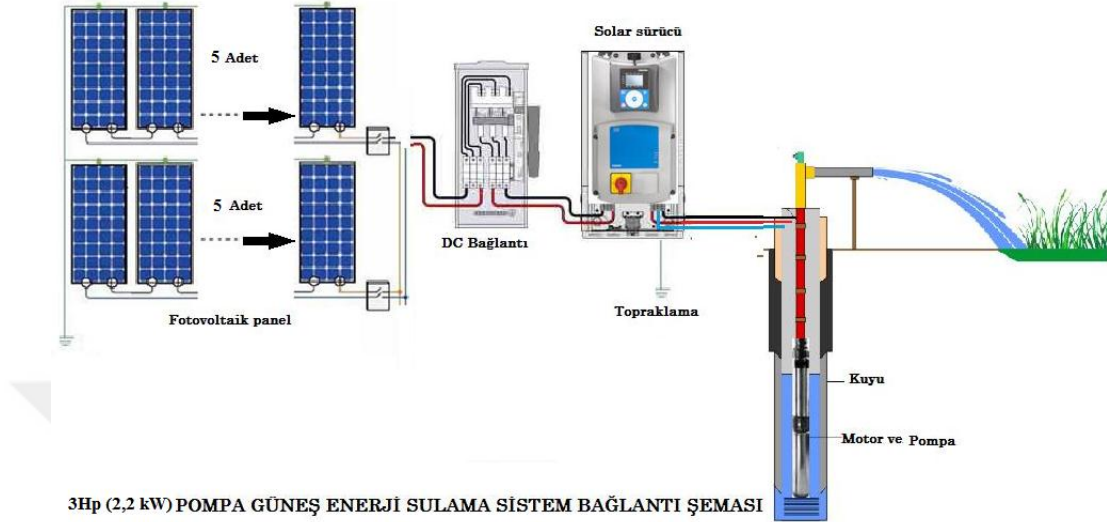
3.12.5. Konstrüksiyon

Konstrüksiyon bölümünde anlatılan hususlar dikkate alınarak fotovoltaik sulama sistemlerinin kullanım alanlarından kaynaklanan ihtiyaçları gereği arazi tipi sehpa kullanılmalıdır. PV panellerin montaj yapılacağı yüzeyler alüminyum profil seçilmelidir. Alüminyum malzemeden yapılmış olan bu ray üzerinde paneller dizi seri veya paralel olarak bağlanır. Bu raylar sabit zemine bağlanır daha sonrasında kelepçeler yardımı ile paneller raya sabitlenir. Bu raylarda doğrusal olarak kelepçeler hareket edebilir. Daha sonra daldırma galvaniz çelik ayaklar üzerinde alüminyum montaj rayları sabitlenir. Bu konstrüksiyonlar montaj edildikten sonra daldırma galvaniz çelik ayaklar beton ile takviye edilerek rüzgara, depreme vb. gibi dış etkenlere karşı korunmuş olurlar.



Şekil 3.72 Arazi tipi fotovoltaik sulama sistemi konstrüksiyon

3.12.6. Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sistem Tasarım



Şekil 3.73 Güneş enerjili sulama sistem bağlantı şeması

Çizelge 3.4 Güneş enerjili sulama sistem bağlantı şeması değerleri

	Kullanılan Ürünler	Özellikleri	Miktar
1	Fotovoltaik Panel	325 Wp Monokristal	10 Adet
2	Solar Pompa Sürücü	4 HP (3kW)	1 Adet
3	Dalgıç Pompa	3 Hp (2,2kW)	1 Adet
4	Solar Kablo	6 mm Kırmızı ve Siyah	10 Metre
5	Su altı Kablo	3x4 yassı Ttr	90 Metre
6	Konstrüksiyon	Sıcak Daldırılmalı Galvaniz	1 Takım
7	Klomp	Alüminyum Orta Tutucu ve Sonlandırıcı	16/8 Adet
8	Topraklama	16 lık NYAF topraklama kablosu ve Çubuk	5m/1 Adet

3.12.7. Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sistemlerin Program Modellenmesi

Fotovoltaik tarımsal sulama projelerinde uygulamada karşılaşılan birçok sorun, zorluk vardır. Tarımsal sulama modellemesi yapılırken doğru hesaplama ve boyutlandırma ve zaman çok önemlidir. El ile yapılan modelleme hesapları birçok hatayı ve zaman kaybını da beraberinde getirmektedir. Kullanılan malzemelerin ve ürünlerin kalitesi bu parametrelerin temelini oluşturmaktadır. Örneğin, iki farklı

projede farklı kalitede dalgıç pompası kullanılması hem fiyatı etkilemekte hem de tasarımı etkilemektedir.

Bütün bunlar göz önüne alınarak zaman kazancı, en az maliyet ve en az hata sağlamak amacıyla bütün hesapları hatasız yapmak için bu program yazılmıştır. Bu programda kullanıcı ihtiyaca göre program ara yüzünde gerekli alanları doldurur program hızlı bir şekilde kullanıcıya gereken güçteki bileşenleri hesaplar gösterir aynı zamanda maliyet analizini yapar.

Uygulamada karşılaşılan en büyük sorunların başında; bir sistem için gerekli bileşenlerin ne kadar olacağı, ne kadar güç gerektiği, o ilin güneş enerjisini alma durumu, motor gücü, panel gücü, sürücü gücü ve kalitesi, kablo çapları ve kalitesi vb. bu gibi soruların hepsi sulama sistemini doğru, arızasız, verimli çalışmasının temel taşıdır.

Genel olarak yapılan en büyük yanlışlar hesaplama yapmadan seçilen cihazlardır. Bu doğru olmayan projeler ile yapılan seçimler büyük hasarlara neden olmaktadır. Gerekli su ihtiyacı ve kuyu derinliği gibi iki önemli parametrenin sorucunda doğru seçimler ve tayinler yapılmazsa istenilen sonuçlar elde edilemeyecektir.

Aynı zamanda gerek çiftçi olsun gerek başka amaçlarla olsun insanlar sistem bileşenlerinin kapasitelerini doğru tayin edemediği gibi kurulacak sulama sisteminin maliyetini de önceden kestirememektedir.

Bütün bu sorunların üstesinden gelebilmek ve işi kolaylaştırmak için Excel’ de bir program yazılmıştır. Bu programda kişi günlük su ihtiyacını ve kuyu derinliğini ve kapasitesini programa girmekte ve yaşadığı ili seçmekte ve sonuç olarak gereken bütün veriler program tarafından hesaplanıp verilmektedir.

Fotovoltaik Sulama Hesaplama			
Adıyaman			Dolar Kuru 10,000 USD
İhtiyacınız Olan Günlük Su Miktarı	5,00	Ton-m3/saat-h	
Kuyu Derinliğini ve Kot Farkını Gir	80,00	Metre	
Pompa Gücü	3,00	Hp	
Fotovoltaik Güneş Panel Gücü	3,25	kW	
Sürücü Gücü	3,00	kW	
Maliyet			
Pompa Fiyatı	3.000,00 TL	300,00 USD	
Fotovoltaik Güneş Panel Fiyatı	11.503,87 TL	1.150,39 USD	
Sürücü Fiyatı	3.450,00 TL	345,00 USD	
Konstrüksiyon, İşçilik, Kablolar, Pano, vb. diğer giderler	3.053,40 TL	305,34 USD	
Toplam	21.007,27 TL	2.100,73 USD	



Şekil 3.74 Örnek bir uygulamanın program ara yüzünde hesaplaması

Örnek hesaplamada günlük saatte su ihtiyacı olarak $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ve kuyu derinliği 80m olan bir sistemin pompa gücü ve fiyatı, PV panel gücü ve fiyatı, Sürücü gücü ve fiyatı hesaplanmıştır.

Bu programda bir kullanıcı sulama ihtiyaçlarını karşılayabilmek için kullanacağı su miktarını ve kuyu derinliği ile beraber kot farkını ve aynı zamanda yaşadığı ili program ara yüzüne girmektedir. Bu veriler ile hazırlanılan program hızlı bir şekilde hesaplama ile kaç kW PV panel gücü gerekli, kaç kW bir sürücü ve kaç kW dalgıç pompa kullanılmalı gibi nihayetinde gerekli olan bütün bilgileri vermekte ve ayrıca maliyeti ve amortisman sürelerini hesaplayıp kullanıcıya sunmaktadır.

Bu programdaki hesaplamalar yapılırken bütün fiyatlar piyasadaki ona yakın farklı firmanın farklı marka ve modellerinin ortalaması alınarak gerçek fiyatlar üzerinden yapılmıştır. Hesaplamalar ortalama bir sistem için ortalama en doğru sonuçları vermektedir. O zamanki dolar kuruna göre dolar olarak hesaplaması da yapılmıştır. Aynı zamanda o ilin güneş ışınlam değerleri ve güneşlenme süresi MGM' den alınmıştır. Bu programın arka yüzünde nümerik analizler işlemler ile sonuçlar hesaplanmaktadır.

3.12.8. Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sistemlerin Maliyet Analizi

Maliyet analizi yapılırken fiyatlar farklı firmaların farklı marka modellerinin piyasa ortalamalarının alınması ile yapılmıştır. Bu fiyatlar yaklaşık olarak ortalama yöntemine göre yapıldı.

Sulama sistemlerinin en önemli maliyeti ilk yatırım masraflarıdır. Ondan sonraki süreçte bakım ve maliyet gerektirmez. Bu en önemli avantajlarıdır.

Bir saatte 5 ton/saat (saate 5 ton) su ihtiyacı ve kuyu derinliğini yani kot farkı 80 metre olduğu bilinen hesaplamalar sonucunda 3 hp motor gücü gerekli olan bir sistemin Adıyaman ili için maliyeti hesaplanacaktır. Bütün teorik hesaplar daha önce zaten yapılmıştı.

Çizelge 3.5 Dalgıç pompa fiyatları

Pompa Fiyat						
Hp	kW	Alarko	Vansan	İmpo	Dasupo	Ortalama
0,50	0,373	1.320 TL	1.320 TL	1.320 TL	1.320 TL	1.320 TL
0,75	0,559	1.440 TL	1.800 TL	1.800 TL	1.680 TL	1.680 TL
1,00	0,746	1.680 TL	2.400 TL	1.700 TL	1.800 TL	1.895 TL
1,50	1,119	1.860 TL	2.880 TL	2.160 TL	2.280 TL	2.295 TL
2,00	1,491	2.040 TL	2.880 TL	2.400 TL	2.400 TL	2.430 TL
3,00	2,237	2.640 TL	3.360 TL	3.120 TL	2.880 TL	3.000 TL
4,00	2,983	3.240 TL	4.440 TL	3.600 TL	3.600 TL	3.720 TL
5,50	4,101	4.080 TL	4.800 TL	4.440 TL	4.200 TL	4.380 TL

Çizelge 3.6 Sürücü fiyatları

Dalgıç Pompa Sürücü Fiyat						
Hp	kW	Frecon	Siemens	Tescom	Smart	Ortalama
0,50	0,373					
0,75	0,559					
1,00	0,746	1.680 TL	1.800 TL	1.800 TL	1.800 TL	1.770 TL
1,50	1,119	2.100 TL	1.920 TL	2.040 TL	1.980 TL	2.010 TL
2,00	1,491	2.100 TL	2.640 TL	3.600 TL	2.880 TL	2.805 TL
3,00	2,237	2.400 TL	2.040 TL	3.900 TL	3.360 TL	2.925 TL
4,00	2,983	3.000 TL	3.000 TL	4.500 TL	3.300 TL	3.450 TL
5,50	4,101	3.840 TL	5.040 TL	5.760 TL	4.320 TL	4.740 TL

Çizelge 3.7 Güneş paneli fiyatları

Güneş Paneli	SolarAlp	Alfasolar	Ankara Solar	Ortlama
325Wp	1.980 TL	1.553 TL	1.863 TL	1.150 TL
400Wp	2.200 TL	1.800 TL	2.000 TL	2.000 TL

Çizelge 3.8 Genel toplam fiyatlar

3 hp dalgıç pompa fiyatı	3.000,00 TL
3 hp sistem için gerekli yaklaşık 3,25 kW gücündeki PV panel fiyatı (10 ad 325Wp panel; 10x1.150 TL =~ 11.503,87 TL)	11.503,87 TL
3 hp sistem için gerekli yaklaşık 3 kW gücündeki sürücü fiyatı	3.450,000 TL
Konstrüksiyon, İşçilik, Kablolar, Pano, vb. diğer giderler yaklaşık	3.053,40 TL
Genel Toplam	21.007,27 TL

3.12.8.1. Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sistemlerin Jeneratör Kullanımı İle Karşılaştırılması

Jeneratör kullanılması durumunda 3 hp pompa gücünde bir sistemin maliyet analizi; bu durumda bu pompa motoruna uygun bir jeneratör seçilmeli ve hesaplamalar iyi bir şekilde yapılmalı aksi takdir de sistem doğru ve verimli bir şekilde çalışmaz. Motor içerikli cihazlara jeneratör seçimi yapılırken çizelge 3.10' dan kVA olarak jeneratör gücü seçilir. Diğer ev aletleri için ise kW olarak 1,5 katı alınarak kVA olarak jeneratör gücü seçilir [56].

Çizelge 3.9 Motor gücüne göre jeneratör seçimi [57]

MOTOR GÜCÜ		JENERATÖR GÜCÜ	
		DİREKT KALUŞ	
HP	kW	kW	kVA
3	2,2	6	7,5
4	3	8	10
5,5	4	10	12,5
7,5	5,5	12,5	15,6
10	7,5	15	18,8
12,5	9,2	18,8	23,5
15	11	22,5	28
17,5	13	26,4	33
20	15	30	38

Çizelge 3.10 7,5 kVA gücünde farklı marka model dizel jeneratör fiyatları

Marka	Fiyat
Aksa	14.133,67 TL
Güçbir	12.000,00 TL
Masterpower	13.200,00 TL
Hyundai	13.128,04 TL
Domax	11.356,57 TL
Ortalama	12.763,66 TL

Dizel jeneratörler genelde saat olarak güçlerinin dörtte biri (1/4) oranında yakıt tüketirler. Örneğin; 7,5 kVA gücündeki bir jeneratör yaklaşık 1,9 lt/h yakıt tüketir [58].

Dizel yakıt fiyatı güncel olarak yaklaşık 8,40 TL/lt' dir. Bu sulama sistemi günde 5 saat çalışacaktır. Buda günde 9,5 lt yakıt etmektedir. Buda günde 80 TL tutarında maliyet demektir. Aylık olarak yaklaşık 2400 TL sadece yakıt masrafı vardır [59].

Çizelge 3.11 Tarımsal sulama sistemleri jeneratör kullanımı fiyatları

3 hp dalgıç pompa fiyatı	3.000,00 TL
7,5 kVA jeneratör fiyatı	12.763,66 TL
İşçilik, Kablolar, Pano, vb. diğer giderler yaklaşık	3.053,40 TL
Toplam Kurulum	18.817,06 TL
Yakıt maliyeti (yıllık) (7 aylık sulama dönemi için)	16.800,00 TL
Bakım giderleri yaklaşık	2.000 TL
Periyodik Giderler: 16.800,00 +2.000= 18.800,00 TL' dir tüketici fiyat endeksi ya da kısaca TÜFE %17,14 bu durumda yıllık yaklaşık [60]	22.000,00 TL

Amortisman Süresi= (Fotovoltaik sistem kurulum maliyeti- Jeneratör sistemi maliyeti)/(Periyodik giderler)=((21.007,27 -18.817,06)/ 22.000,00).1,2 =~ 2 ay

Yaklaşık: 2 ay olmaktadır. Yani fotovoltaik sistem bir yıldan kısa bir sürede kendisini amorti etmektedir.

Sulama sisteminin çalışma aralığı 7 ay olarak daha önce belirlenmişti. Yani nisan'dan ekim'e kadar olan aralıktır. Bu tarım dönemi olarak kabul edilir. Görüldüğü gibi fotovoltaik off-Grid sulama sistemlerin kullanılması durumunda bir yıldan az bir sürede sistem kendisini amorti etmektedir. Bu süreden sonra kullanıcı bedavaya ve bakımsız, sorunsuz, temiz enerji kullanmaktadır.

3.12.8.2. Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sistemlerin Elektrik Şebekesi İle Karşılaştırılması

Çizelge 3.12 Tarımsal Sulama Sistemlerin Elektrik Şebekesi fiyatları

3 hp dalgıç pompa fiyatı	3.000,00 TL
Abonelik, İşçilik, Kablolar, Pano, vb. diğer giderler yaklaşık	4.000,00 TL
Trafo Fiyatı(10 kVA piyasadaki mevcut güç)	6.000 TL
Toplam Kurulum	13.000,00 TL
Tarımsal Elektrik Ücreti (yıllık) (7 aylık sulama dönemi için)	2.310,00 TL
Periyodik Giderler: 2.310,00 TL, tüketici fiyat endeksi ya da kısaca TÜFE %17,14 yaklaşık	2.700,00 TL

Tarımsal elektrik tarifesı ücreti 1,075283 TL/kWh [61]. Günlük 5 saatlik kullanım ile 3hp motor (gücü 2,2 kW) günlük olarak 11 kWh güç harcanmaktadır. Aylık 330 kWh güce tekabül etmektedir. Bu demektir ki aylık fatura, 330,00 TL' dir. Yıllık olarak 2.310,00 TL' dir.

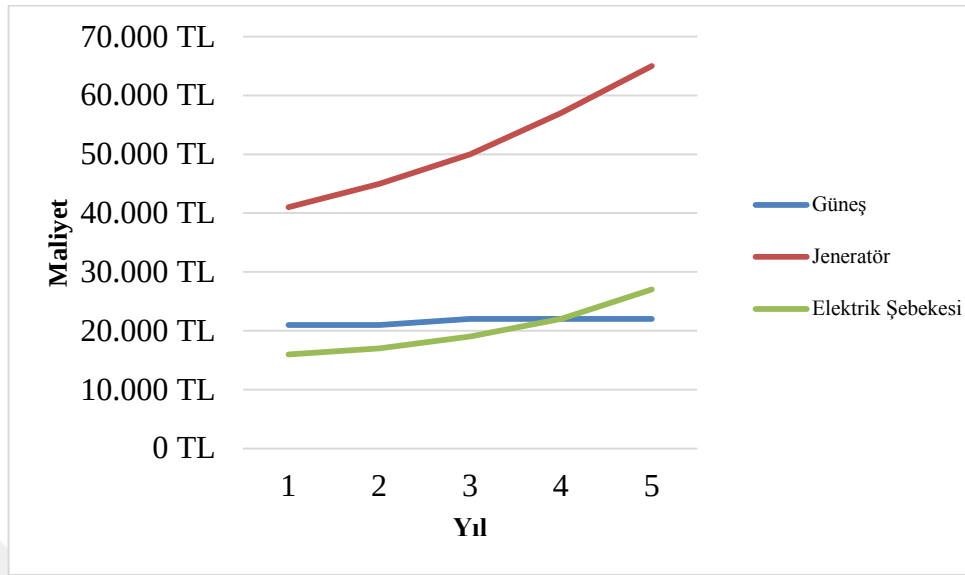
Amortisman Süresi= (Fotovoltaik sistem kurulum maliyeti-Şebekeli sistem maliyeti)/(Periyodik giderler)=(21.007,27 -13.000,00)/ 2.700,000).1,2 = ~ 3,6 yıl
Amortisman Süresi Yaklaşık: 3,6 yıl olmaktadır.

Çizelge 3.13 Güneş enerjili tarımsal sulama 5 yıllık maliyet tablosu

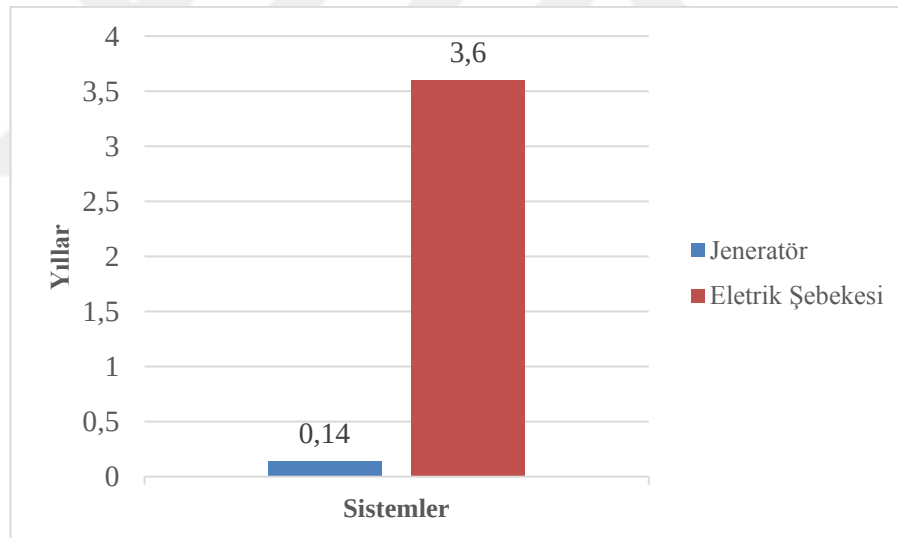
Enerji Sistemi	1. Yıl (TL)			2. Yıl (TL)		
	Maliyet	Gider	Toplam	Maliyet	Gider	Toplam
Güneş	21.000	-	21.000	-	-	21.000
Jeneratör	18.817	22.000	41.000	-	26.400	45.000
Elektrik Şebekesi	13.000	2.700	16.000	-	4.000	17.000

3. Yıl (TL)			4. Yıl (TL)			5. Yıl (TL)		
Maliyet	Gider	Toplam	Maliyet	Gider	Toplam	Maliyet	Gider	Toplam
1.000	-	22.000	-	-	22.000	-	-	22.000
-	31.680	50.000	-	38.016	57.000	-	45.619	65.000
-	6.000	19.000	-	9.000	22.000	-	14.000	27.000

Periyodik giderler her yılsonunda %10 arttırılarak toplama eklenmiştir.



Şekil 3.75 Tarımsal sulama sistemlerinin yıllara göre maliyet değişimleri



Şekil 3.76 Güneş enerjili tarımsal sulamanın jeneratör ve elektrik şebekesine göre amortisman süreleri



Şekil 3.77 Bir sulama sistemi şematik gösterimi [22]



Şekil 3.78 Farklı tip mobil solar sulama sistemi [62]



Şekil 3.79 Afrika ülkesinde çölde solar sulama sistemi ile çölde tarım yapılması [63]



Şekil 3.80 Su kaynağı olmayan doğada yaşayan hayvanların su ihtiyacı için bir solar sulama sistemi

3.13. Fotovoltaik Off-Grid Sistem

Bu hesaplamalarda bir off-grid sistem örneği ele alınacaktır. Bu off-grid sistemin şebeke elektriği ile bağlantısı yoktur. İlk önce önemli olan off-grid sistemde kullanılacak cihazların anlık kullanım güçleri belirlenmelidir. Buradaki hesaplamalar Adıyaman ili için yapılacaktır.

Çizelge 3.14 Adıyaman ili ortalama güneşlenme süresi (h-saat) [64]

O	Ş	M	N	M	H (h)	T (h)	A (h)	Ey	Ek	K	A	Yıllık
3,8	4,5	5,7	7,3	9,3	11,6	12,1	11,3	9,7	7,2	5,4	3,8	7,6

Çizelge 3.15 Örnek bir off-grid sistemin elektrik ihtiyacı

Cihazlar	Anlık Güç (W _a)(W)	Günlük çalışma saati(h)	Günlük Enerji W _g (Wh/gün)
TV	100	5	500
Buzdolabı	250	12	3000
Aydınlatma (Led) 5x10	50	5	250
Bilgisayar	150	5	750
Cihaz	0	1	0
Toplam	550 W		4,5 kWh/gün

3.13.1. Akü Kapasitesi Hesabı

$$W_{akü} = W_g \cdot K / (12 \cdot 0,7) \quad (3.7)$$

$W_{akü}$, akü kapasitesi, W_g , günlük enerji, K , kapalı geçen gün sayısı, 12, akü voltajı, 0,7 jel akü derin deşarj değeri [65].

$W_{akü} = 4500.1,5 / (12.0,7) = 803 \text{ Ah}$, yani $12.803 = 9,636 \text{ kWh/gün}$ yani 200Ah 4 adet jel seri şeklinde bağlanır. Sistem voltajı 48 V DC olmaktadır. Burada gücü bulmak için volt(V) ile akımı(ah) değerlerini çarptık.

3.13.2. Fotovoltaik Sistem Gücü Hesabı

$$P_{PV} = W_{akü} .1,25 / (\text{Günlük güneşlenme süresi}) \quad (3.8)$$

P_{PV} panel gücü, günlük güneşlenme süresi illere göre değişir Adıyaman için bu değer yıllık 7,6 saattir. 1,25 güvenlik katsayısıdır [65].

$P_{PV} = 9600.1,25 / 7,6 = 1,577 \text{ Wp}$ yani 4 adet 400Wp panel kullanılırsa paralel olacak şekilde yaklaşık 1600 Wp' lık, bir güneş panel sistemi kurulacaktır.

Çizelge 3.16 400Wp polikristal bir panel değerleri

400Wp polikristal panel değerleri	
V _{mp}	41,69 V
I _{mp}	9,60 A
V _{oc}	48,96 V
I _{sc}	10,11 A
Boyut	1984*1007*40 mm

3.13.3. İnverter Gücü Hesabı

$$P_{inv} = (W_a, \text{Anlık güç}).1,5 \quad (3.9)$$

P_{inv} inverter gücüdür, 1,5 katının alınma nedeni demeraj akımlarını karşılayabilmesidir [65].

$P_{inv} = 550.1,5 = 825W$ üst değer olan piyasadaki en uygun inverter 2400W'lık, 48V DC tam sinüs inverter seçilir. (1,5 ile çarpmak sistem güvenliği için).

Bulunan bu değerlerde akü, panel, inverter bulunamaması halinde bir üst en yakın değerler seçilir. Solar şarj kontrol cihazı seçimi; akım akü kapasitesinin %10' u alınır, voltaj akü sistem voltajı alınır. Yani yukarıda bulunan 200Ah 4 adet akü 800Ah eder bunun %10' u 80 amper bize en yüksek şarj akımını verir. Volt değeri de akü sisteminin voltajı yani 48V DC olur. Günümüz teknolojisinde şarj sistemleri inverterlerin kendi içerisinde yer alır. Fakat harici takılması gerekirse 100A 48V DC değerinde solar MPPT özellikli şarj cihazı seçilir [66].

3.13.4. Kablo Hesabı

Birçok sistem tasarlanırken kablo çapının doğru tayin edilmemesi nedeniyle bu solar sistemlerde arızalar meydana gelmekte, zamanla sistemdeki cihazlar bozulmakta, verimleri beklenenden çok çok düşük olmakta veya yangınlar çıkmaktadır. Bu gibi durumlar ile karşılaşılması için kablo kesitleri doğru hesaplanmalıdır.

Modellemesi yapılan sistemdeki PV paneller ile sürücü arasındaki toplam DC kablo boyu olarak hesaplanır.

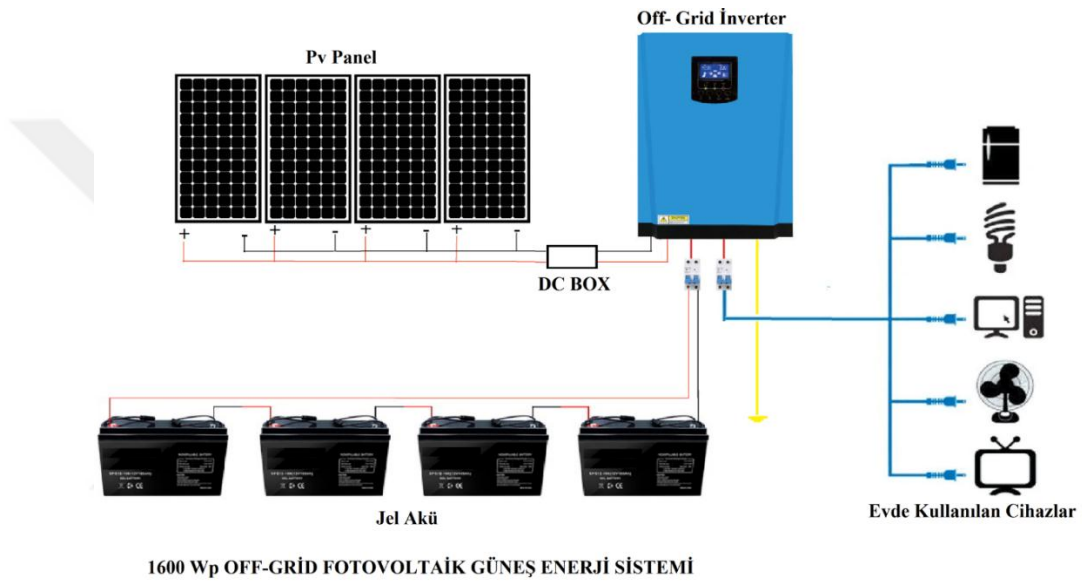
DC kablo seçimi:

$S=(L.I)/(56.V.\%e)$, formülü ile hesaplandığını daha önce belirtmiştik. %e= elektrik voltaj düşümü sınırıdır. Bu değerde bu tür sistemlerde %3 alınır yani 0,03 bu değeri geçmemelidir. Detaylı açıklamalar yukarıda yapılmıştı. Hesaplanan bu değerde bir üstü olan değerler güvenlik için seçilir. Panel üzerindeki çap değeri olan 6 mm² solar kablo seçilir.

AC kablo seçimi:

Evlerde kullanılan AC akım kabloları olan NVV tip kablo kullanılır kablo kesiti $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ olarak seçilir. Kablo hesaplarında sistem güvenliği için bir üst değer seçilmeleridir.

3.13.5. Off-Grid Sistem Tasarımı



Şekil 3.81 Off-grid fotovoltaiik güneş enerji sistemi tasarımı

Çizelge 3.17 Off-grid sistem fotovoltaiik güneş enerji sistemi tasarım değerleri

	Kullanılan Ürünler	Özellikleri	Miktar
1	Fotovoltaiik Panel	400 Wp Monokristal	4 Adet
2	Akü	200 Ah 12V Jel akü	4 Adet
3	Off-Grid İnverter	2400 W 48V DC Giriş 220V AC Çıkış Tam sinüs	1 Adet
4	DC Box	48 V DC Panel Dizilimi	1 Adet
5	Solar Kablo	6 mm Kırmızı ve Siyah	20 Metre
6	Konstrüksiyon	Sıcak Daldırmalı Galvaniz	1 Takım
7	Klomp	Alüminyum Orta Tutucu ve Sonlandırıcı	6/4 Adet
8	Topraklama	16 lık NYAF topraklama kablosu ve Çubuk	5m/1 Adet

3.13.6. Güneş Enerjili Off-Grid Sisteminin Program İle Modellenmesi

Bir off-grid sistemde PV off-grid sisteminin ihtiyacı karşılayabilmesi için hesaplamaların iyi yapılması büyük önem taşımaktadır. Yapılan en büyük hatalardan biri özellikle motor ile çalışan cihazların motor demeraj akımlarının, kayıpların, bulutlu geçen gün sayısının hesaplamalarda dikkate alınmamasıdır. Bir off-grid sistemde ne kadarlık kapasitelerde akü, PV panel, inverter gerekli olduğunun bilinmemesi en büyük sorunlardandır. Bu sorun güneş enerjisi kullanımının önündeki büyük engellerdendir. Bu sorunun aşılması ile fotovoltaik güneş teknolojisi daha da yaygınlaşacaktır. Bu gibi teknolojilerde kullanım kolaylığı ve bilgiye ulaşılabilirlik hızlı gelişmeyi de beraberinde getirir.

Bu programda bir kişi off-grid sistemde ihtiyaçlarını karşılayabilmek için kullandığı cihazları ve miktarlarını ve aynı zamanda yaşadığı ili program ara yüzüne girmektedir. Bu veriler yardımı ile hazırlanılan program anlık olarak kaç Ah akü gerekli, kaç kWp PV panel gücü gerekli, kaç kW bir inverter kullanılmalı gibi nihayetinde gerekli olana bütün bilgileri vermekte ve ayrıca maliyeti ve amortisman sürelerini hesaplayıp kullanıcıya sunmaktadır.

Örnek uygulamada şekil 3.82' de Adıyaman' da bir off-grid sistemde 100w led TV, 250w mini buzdolabı, 50w gücünde 5 adet led aydınlatma, 150w gücünde bilgisayar olmak üzere 4 cihaz kullanılmaktadır. Bu durumda sorunsuz sürdürülebilir bir sistem için akü yaklaşık 804Ah (4 adet 200Ah akü seri bağlanabilir), fotovoltaik panel gücü yaklaşık 1,6 kWp (4 adet 400Wp panel paralel bağlanabilir) , inverter gücü yaklaşık 1000 w tam sinüs 48V DC ortalama olarak hesaplanmıştır.

FOTOVOLTAİK OFF-GRID HESAPLAMA

Adıyaman

Aşağıdaki yeşil alanlara kullanacağınız cihazların gücünü giriniz.

Dolar Kur 10,000 USD

	Güç (w)	Günlük Kullanım saat (h)	Adet
1. TV	100	5	1
2. Buzdolabı	250	12	1
3. Aydınlatma(Led)	10	5	5
4. Bilgisayar	150	5	1
5. Cihaz	0	1	1

Aylık Ortalama Elektrik Faturanız(Şebekeye Bağlı) 150,00 TL

Akü Gücü	804	Ah
Fotovoltaik Güneş Panel Gücü	1577	W
Inverter Gücü	2400	W
Solar Şarj	100,00	A

MALİYET		
Akü Fiyatı	13.500,00 TL	1.350,000 USD
Fotovoltaik Güneş Panel Fiyatı	4.732,05 TL	473,205 USD
Inverter Fiyatı	3.180,00 TL	318,000 USD
Konstrüksiyon, İşçilik, Kablolar, Pano, vb. diğer giderler	7.605,07 TL	760,507 USD
Solar Şarj Fiyatı	1.440,00 TL	144,000 USD
Toplam	30.457,12 TL	3.045,712 USD

Şekil 3.82 Fotovoltaik off-grid sistemde örnek uygulamanın program ile hesabı ve program arayüzü

3.13.7. Güneş Enerjili Off-Grid Sistemlerinin Maliyet Analizi

Bir off-grid sistemde kullanılan cihazların güçleri maliyeti doğrudan etkileyen temel faktörlerdendir. Örnek uygulamada Adıyaman’ da bir off-grid sistemde 100w led TV, 250w mini buzdolabı, 10w gücünde 5 adet led aydınlatma yani 50w, 150w gücünde bilgisayar olmak üzere 4 cihaz kullanması durumunda sorunsuz sürdürülebilir bir sistem için yaklaşık maliyet hesaplamak için panel, akü, inverter ya da varsa solar şarj fiyatları hesaplanmalıdır.

Bu maliyet analizinde 4500 Wh/gün yani günlük olarak yaklaşık 4,5 kWh elektrik enerjisi tüketen bir off-grid sistemde maliyet analizi yapılmıştır. Yukarıda hesaplamalar daha önce yapılmıştır.

Çizelge 3.18 Off-grid sistem maliyet tablosu

Fotovoltaik Panel Yaklaşık Fiyat (Yaklaşık 1,6 kWp)	4.732,05 TL
Akü Fiyatı (Yaklaşık 800 Ah)	13.500,00 TL
İnverter Fiyatı (Yaklaşık 2400 W)	3.180,00 TL
Konstrüksiyon, İşçilik, Kablolar, Pano, vb. diğer giderler	7.605,07 TL
Solar Şarj Fiyatı	1.440,00 TL
Toplam Yaklaşık	30.457,12 TL

Çizelge 3.19 2400 W inverter fiyatları

Powermaster	3.000,00 TL
Tommatech	3.160,00 TL
Orbus	3.200,00 TL
Mexxsun	3.200,00 TL
Tescom	3.500,00 TL
Ortalama	3.180,00 TL

Çizelge 3.20 Akü fiyatları

	Ritar	Orbus	LEXRON	Ortalama
200 Ah	3.300,00 TL	3.000,00 TL	3.120,00 TL	3.140,00 TL

3.13.8. Güneş Enerjili Off-Grid Sistemlerin Jeneratör Kullanımı İle Karşılaştırılması

550W anlık güç ihtiyacı olan bir evin jeneratör hesabı $100 \times 1,5 + 250 \times 1,341 \times 3 + 50 \times 1,5 + 150 \times 1,5 = 1,2$ kVA olarak jeneratör kapasitesi bulunur. Bu durumda piyasada mevcut olan güçlere yakın değerler bulunur. 1,2 kVA jeneratör bu yükü kaldırabilir. Yukarıda yaptığımız hesapları aynen kullanabiliriz.

Dizel jeneratörler genelde saat olarak güçlerinin dörtte biri (1/4) oranında yakıt tüketirler. Örneğin; 1,2 kVA gücündeki bir jeneratör saatte yaklaşık 0,3 lt/h yakıt tüketir. Dizel yakıt fiyatı güncel olarak yaklaşık 8,4 TL/lt' dir. Bu off-grid sistemi günde 12 saat çalışacaktır. Buda günde 3,6 lt yakıt etmektedir.

Buda günde 30TL tutarında maliyet demektir. Aylık olarak yaklaşık 900,00 TL sadece yakıt masrafı vardır. Bu durumda yaklaşık yıllık 11.000 TL yakıt masrafı olarak hesaplanır.

Çizelge 3.21 Off-grid sistemlerin jeneratör kullanımı maliyet tablosu

1,2 kVA jeneratör fiyatı:	2.500,00 TL
Yakıt maliyeti (yıllık) :	11.000,00 TL
İşçilik, Kablolar, Pano, Şebeke hattı vb. diğer giderler yaklaşık:	10.000,00 TL
Bakım giderleri yaklaşık:	1.000 TL
Periyodik Giderler: 11.000+1.000= 12.000 TL'dir tüketici fiyat endeksi ya da kısaca TÜFE %17,14 yaklaşık	14.000,00 TL
Toplam Yaklaşık	12.500,00 TL

Amortisman Süresi= (Fotovoltaik sistem kurulum maliyeti- Jeneratör sistemi maliyeti)/(Periyodik giderler)=((30.457,12 -12.500,00)/ 14.000,00).1,2 =~ 1,6 Yıl

3.13.9. Güneş Enerjili Off-Grid Sistemlerin Elektrik Şebekesi İle Karşılaştırılması

Çizelge 3.22 Off-grid sistem elektrik şebekesi maliyet tablosu

Abonelik, İşçilik, Kablolar, Pano, vb. diğer giderler yaklaşık	10.000 TL
Elektrik Ücreti (yıllık)	1.500 TL
Trafo Fiyatı(10 kVA piyasadaki mevcut güç) ve Şebeke hattı direkleri	15.000 TL
Periyodik Giderler: 1.500 TL tüketici fiyat endeksi ya da kısaca TÜFE %17,14 yaklaşık	1.755 TL
Toplam Yaklaşık Kurulum	25.000,00 TL

Mesken elektrik tarifi ücreti 0,917230 TL/kWh [61]. Günlük olarak bu ev 4,5 kWh enerji harcamaktadır. Aylık 135 kWh güce tekabül etmektedir. Bu demektir ki aylık fatura, yaklaşık 125 TL' dir. Yıllık olarak 1.500 TL' dir.

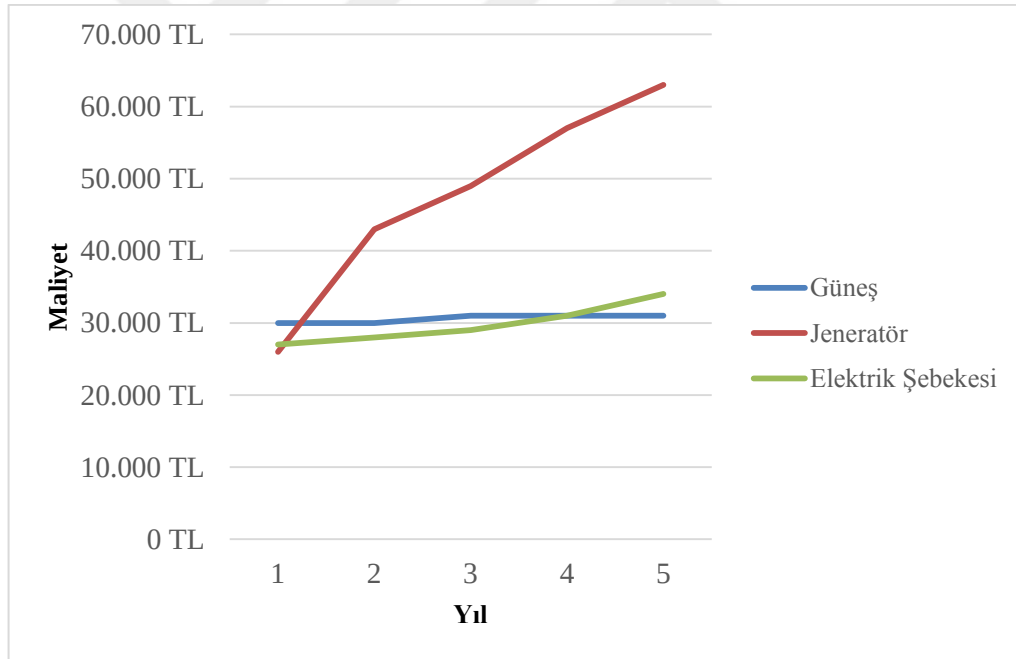
Amortisman Süresi= (Fotovoltaik sistem kurulum maliyeti-Şebekeli sistem maliyeti)/(Periyodik giderler)=(30.457,12 -25.000,00)/ 1.755,00).1,2 = ~ 3,7 Yıl

Amortisman Süresi Yaklaşık: 3,7 yıl olmaktadır.

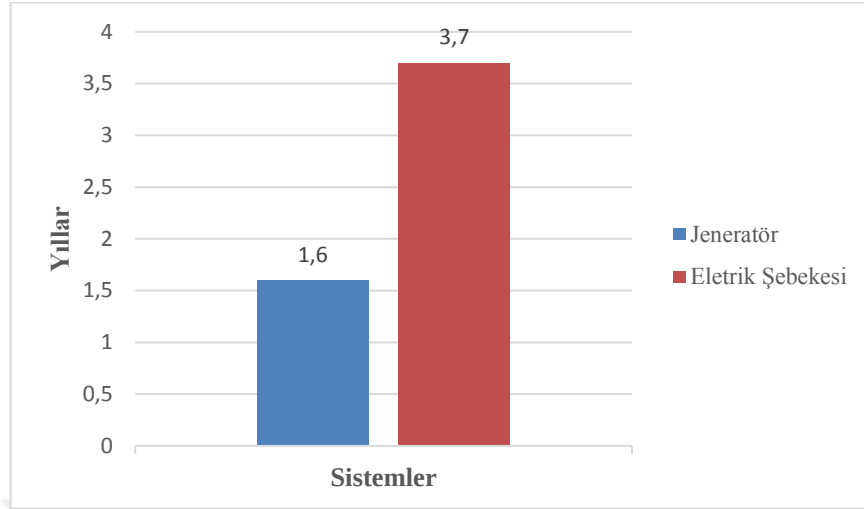
Çizelge 3.23 Off-grid sistem 5 yıllık maliyet tablosu

Enerji Sistemi	1. Yıl (TL)			2. Yıl (TL)		
	Maliyet	Gider	Toplam	Maliyet	Gider	Toplam
Güneş	30.457	-	30.457	-	-	30.457
Jeneratör	12.500	14.000	26.000	-	31.000	43.000
Elektrik Şebekesi	25.000	1.755	27.000	-	2.600	28.000

3. Yıl (TL)			4. Yıl (TL)			5. Yıl (TL)		
Maliyet	Gider	Toplam	Maliyet	Gider	Toplam	Maliyet	Gider	Toplam
1.000	-	31.457	-	-	31.457	-	-	31.457
-	37.000	49.000	-	45.000	57.000	-	54.000	63.000
-	4.000	29.000	-	6.000	31.000	-	9.000	34.000



Şekil 3.83 Off-grid sistemlerin yıllara göre maliyet değişimleri



Şekil 3.84 Off-grid sistem güneş enerjili sistemin jeneratör ve elektrik şebekesine göre amortisman süreleri



Şekil 3.85 Fotovoltaik off-grid sistemin bileşenleri [26]



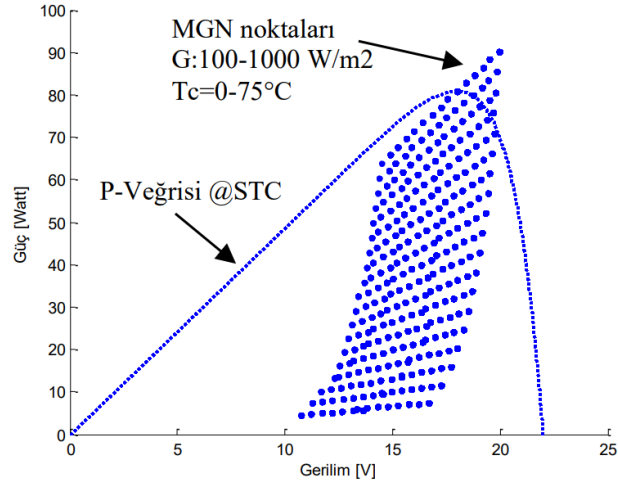
Şekil 3.86 Örnek bir off-grid uygulaması

3.14. Fotovoltaik Sistemlerin Verimliliği

Fotovoltaik off-grid sistemler genel olarak çok verimli sistemlerdir. Çünkü sistemde kullanılan cihazlar yüksek verimli cihazlardır. Haliyle bu verimlilik bütün sisteme birden verim olarak yansımaktadır. Mesela inverterlerin ve sürücülerin çoğu %90 civarında verim ile çalışmaktadır. Motorlar %60-%80 verim ile çalışmaktadır. Aküler %90 üstü verim ile çalışmaktadır. Paneller özellikle son teknolojik gelişmelerle beraber %30 gibi yüksek verimler yakalanmıştır. Bu demektir ki off-grid sistemler ortalama olarak çok verimli sistemlerdir. Verim doğrudan yatırım ve amortisman süresi etkileyen önemli faktörlerdendir [67].

3.14.1. Maksimum Güç Noktası İzleme Etkisi

Maksimum Güç Noktası İzleme (MGN) fotovoltaik sistemlerin verimlerine katkısı çok fazla olmakta bu verim oranı %30-40' lara kadar çıktığı söylenebilir. MGN noktası takip etmeyen inverter ve şarj kontrol cihazları verimlerde ciddi düşüslere sebep olmaktadır. Son teknolojik gelişmelerle beraber inverter ve şarj kontrol cihazlarında MGN takip teknolojisinde büyük gelişmeler yaşandı ve sistemler bu şekilde dizayn edilmektedir.



Şekil 3.87 Maksimum güç noktası izleme teknolojisinin fotovoltaik sistemlere etkisi [67]

3.14.2. Sıcaklığın Etkisi

Fotovoltaik sistemlerde sıcaklık istenmeyen bir durumdur. Sıcaklık yüksek olursa verim ve üretim düşük olur. Panel seçiminde verimliliğin sıcaklıktan etkilendiği ilkesi göz önünde bulundurularak panellerin sıcaklıktan az etkilenen tiplerini seçimine dikkat edilmelidir. Bu katsayı önemlidir.

3.14.3. Kablo Seçimi Etkisi

İyi tasarlanmamış bir kablo sistemin verimi doğrudan ve ciddi oranda etkiler. Çünkü kablolar üzerinden geçen akım ısınmalara ve dolaylısı ile kayıplara neden olur. Bir fotovoltaik sistemin kablo kesiti çalışma voltajına, akım taşıma kapasitesine, gerilim düşümü ve kısa devre hesaplarına göre seçimi yapılır. Fotovoltaik sistemlerin tasarımında da aynı yöntem geçerlidir. Kablo üzerindeki güç kaybını %1 gerilim düşümü ile sınırlamak ve tasarımını buna göre yapmak tercih edilir.

3.14.4. Fotovoltaik Panel Yerleşimi

PV paneller direk güneş ışınları ile elektrik ürettikleri için PV paneller güneş ışınlarını ne denli dik ve çok alırlarsa o kadar verimli ve iyi güç üreteceklerdir. PV panel yerleşimi yapılırken gölgeleme ve açıya çok dikkat edilmelidir. Bu nedenle çoğu PV sistemlerde tracking teknolojisi kullanılır. Bu tracking teknolojisi PV panellerin güneş ışınlarını takip ederek %30-%40 oranlarında güç verimi sağlarlar. PV sistemlerin en uygun açılarda konumlandırılması gerekir. Tracking sistemleri pahalı sistemlerdir bu sistemlerin kullanılması mümkün değilse paneller o bölgeye göre en uygun açıda konumlandırılmalıdır. Genel olarak bu açı o bölgenin enlemine göre belirlenir PV panel açısı enleme eşit olması en uygun açı olarak görülmüştür. Yine aynı şekilde güneş ışınlarından en yüksek düzeyde faydalanmak için gölgelenmeden kaçınmak lazım gölgeye sebep olan bütün faktörler ortadan kaldırılmalıdır. Gölgeleme ciddi oranda verim ve güç kaybı demektir [67].

3.14.5. Verimlilik Hesabı

$$\eta_{pv} = I_{sc} \cdot V_{oc} / S_t \cdot A \quad (3.10)$$

Burada η_{pv} fotovoltaik sistemin verimi, I_{oc} açık devre akımı birimi A, V_{sc} fotovoltaik panel kısa devre gerilimi birimi V, S_t ışınım miktarı birimi W/m^2 , A panellerin alanı m^2 . Bu değerler fotovoltaik panellerin arkasında yazmaktadır. [67].

$S_t = 635 W/m^2$ Adıyaman için yıllık olarak MGM sitesinden alınır. Yaklaşık değerdir

3.15. CO₂ Karbondioksit Emisyon Hesabı

Fotovoltaik off-grid sistemlerde karbondioksit emisyonu hiç yokken fosil yakıt temelli jeneratörle ile elektrik enerjisini sağlayan sistemlerde havayı ve çevreyi kirleten aynı zamanda ozon tabakasının delinmesine neden olan karbondioksit emisyonu çok fazladır.

Karbondioksit emisyonu miktarı:

$$A = E \times Y \times T \times I \quad (3.11)$$

Burada; A, yıllık üretilen CO₂ miktarı (kg/yıl), E, Dizelerde emisyon katsayısı (74.100 kg CO₂ /TJ), YT, yakıt tüketimi (lt/yıl), I, ısıl değer TJ/lt (dizel yakıt ısıl değeri 10.200 kcal/kg), dizel yakıtı sıvı yoğunluğu 0,83 kg/lt'dir [68].

Söz konusu sistemde yıllık yakıt tüketimi yani YT: 1995 lt/yıl' dır. (Dalgıç pompa hesaplar bölümünde mevcuttur.)

$$A = 74.100 \times 1995 \times (4,2 \times 10^{-5}) = \text{yaklaşık olarak} = 6.000 \text{ kg/yıl}$$

Görüldüğü gibi dizel yakıtlı jeneratörün doğaya verdiği zarar yıllık karbondioksit ayak izi miktarı 6.000 kg olmaktadır. Bu çok ciddi bir rakamdır. Buna karşın PV güneş teknolojilerinde doğaya karbondioksit salınımı söz konusu değildir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu tez kapsamında, dünyanın ve ülkemizin enerji kullanımı, rezervi ve yenilebilir enerji kaynakları özellikle fotovoltaik enerjisi ile ilgili geniş bir literatür taraması yapılarak, fotovoltaik güneş enerjisi ile tarımsal sulama ve off-grid sistemlerin modellenmesi, nümerik hesapları yapılmış excel programında maliyet analizi hesaplanmış, farklı enerji kaynakları (jeneratör, elektrik şebeke) ile karşılaştırılarak, amortisman süreleri konusunda çalışılmıştır.

Fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerden tarımsal sulama ve off-grid sistemler, ilk olarak ihtiyaçlar göz önünde bulundurulmalı, kapasite ve daha sonra sistemin kurulacağı ilin güneşlenme ve ışıyım değerleri bilinmelidir. Kullanılacak sistemin en verimli şekilde ve maliyeti en doğru şekilde optimize etmek gerekir. Nümerik hesaplamalar ile doğru sistem bileşenleri ve kapasitesiler belirlenmelidir.

Bu çalışma kapsamında güneş enerjili tarımsal sulama verileri belirlenip, excel program yardımı ile hesaplaması yapıldığında; Adıyaman ilinde saatlik su ihtiyacı $5 \text{ m}^3/\text{h}$, kuyu derinliği 80 m olan bir sistemin pompa gücü 3 Hp, FV panel gücü yaklaşık 3,3 kWp(325Wp 10 adet panel seçilebilir), solar dalgıç pompa sürücü gücü 4 hp olarak hesaplanmıştır.

Yine aynı şekilde Adıyaman’ da bir off-grid sistemde 100W led TV, 250W mini buzdolabı, 50W gücünde 5 adet led aydınlatma, 150W gücünde bilgisayar olmak üzere 4 cihaz kullanılmaktadır. Bu durumda sorunsuz sürdürülebilir bir sistem için akü, yaklaşık 800Ah(4 adet 200Ah) bağlanabilir, fotovoltaik panel gücü yaklaşık 1,6 kWp(4 adet 400Wp panel bağlanabilir), inverter gücü yaklaşık 2400 W tam sinüs 48V ortalama olarak hesaplanmıştır.

Bu sistemlerde kullanılan bütün ürünler piyasadan araştırılmış piyasada bulunan fiyatlarının ortalamaları alınarak maliyetleri en doğru ve isabetli şekilde hesaplanmıştır. Aynı zamanda bu sistemlerde kullanılan cihazların kapasiteleri hem tablo yardımı ile hem nümerik analizler ile hem de yazılmış bir programlar aracılığı ile hesaplanmıştır. Bütün bu hesaplamalar tablo ve grafiklerde gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalar ile fotovoltaik güneş enerjili tarımsal sulama sistemlerinin ilk yatırım maliyetinin 21.007,27TL, jeneratör ile tarımsal sulama sistemlerinin ilk yatırım maliyetinin 18.817,06TL, elektrik şebekesi ile sulama sistemlerinin ilk yatırım maliyetinin 13.000,00TL olduğu hesaplanmıştır. Fotovoltaik sistemde ilk yatırım maliyeti biraz fazla olsa bile 5 yıllık süreçte kendisini jeneratör ile tarımsal sulama sistemlerine göre 2 ay gibi bir sürede amorti ettiği; elektrik şebekesi ile sulamaya göre de kendisini 3,6 yılda amorti ettiği hesaplanmıştır. Öte yandan jeneratör ile tarımsal sulama da ve elektrik şebekesi ile tarımsal sulamada ortaya çıkan karbon emisyonun, sürekli bakım ve fatura masraflarının, gürültü ve çevre kirliliği gibi zararlı etmenlerin ve birçok dezavantajların fotovoltaik sistemlerde sayılan dezavantajların olmadığı aksi yönde fotovoltaik teknolojilerin daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Fotovoltaik off-grid sistemlerde ise fotovoltaik off-grid sistemlerin ilk maliyetinin 30.457,12TL, off-grid sistemlerde jeneratör kullanımının ilk yatırım maliyeti 12.500,00TL ve off-grid sistemlerde elektrik şebekesi kullanımının ilk yatırım maliyetinin 25.000,00TL olduğu yapılan hesaplamalar sonucunda bulunmuştur. Yine bu hesaplamalar kapsamında fotovoltaik off-grid sistemlerin kendisini 5 yıllık hesaplamalarda off-grid sistemlerde jeneratör kullanımına göre 1,6 yılda off-grid sistemlerde elektrik şebekesi kullanımına göre ise 3,7 yılda amorti ettiği hesaplanmıştır. Bu yıllardan sonra jeneratörlü ve elektrik şebekesi görülen yakıt, fatura ve periyodik bakım giderlerinin off-grid sistemde sadece akü bakımlarının olduğu hesaplandığı takdirde yine fotovoltaik off-grid sistemin kullanımının daha avantajlı ve faydalı olduğu sonucu çıkarılabilir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Fotovoltaik güneş enerjili sistemlerinin gerek tarımsal sulamada gerek off-grid sistemlerde kullanımının önem arz ettiği anlaşılmıştır. Tarımsal sulamada ve bir evde elektrik enerjisi için kullanılacak olan jeneratör ve elektrik şebekesinin doğaya ve insanlara zararlı olduğu görülmüştür. Fotovoltaik güneş enerjili tarımsal sulamada kullanılan ekipmanlar ve verimli bir sistem için gerekli olan koşulların ne olduğu belirlenmiştir. Tarımsal sulamada; fotovoltaik sistemin ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen jeneratör kullanımında 2 ay ve elektrik şebekesi kullanımında 3,6 yıl gibi kısa bir sürede kendisini amorti ettiği yapılan hesaplamalarla bulunmuştur. Fotovoltaik off-grid bir sisteminde durum yine aynı şekilde ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen jeneratör kullanımında 1,6 yılda ve elektrik şebekesi kullanımında 3,7 yıl gibi kısa bir sürede kendisini amorti ettiği hesaplanmıştır.

Bu tezde, yapılan bütün araştırma ve çalışmaların sonucunda fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin gerek tarımsal sulamada gerek off-grid sistemlerde kullanımı birçok yönden ele alınmıştır. Bu sistemlerde kullanılacak olan bileşenlerin ne olduğu ve kapasitelerinin ihtiyaca göre ne olması gerektiği hem nümerik hem de bir excel programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu tezdeki hesaplamalarda kullanılan bu yöntem diğer yöntemlere nazaran daha iyi sonuçlar vermekte ve daha hızlı çözümler sunmaktadır. Aynı zamanda bu sistemlerde jeneratör ya da elektrik şebekesi kullanılacak ise maliyet analizleri ve amortisman süreleri gerek nümerik olarak gerek program yardımı ile daha isabetli ve daha hızlı bir şekilde hesaplanmıştır.

Bu çalışma kapsamında fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin temiz enerji ve verim olarak bir kez daha ne kadar önemli olduğu vurgulanarak, gelişen teknolojiye tüm fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin üniversitelerde, özel sektörde ve araştırma enstitülerinde daha verimli kullanılması, kullanımının yaygınlaştırılması ve yeni projeler konusunda çalışmalar yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- [1] "Tarım ve Gıda Göstergeleri", *sbb.gov.tr*, <https://www.sbb.gov.tr/tarim-ve-gida-gostergeleri/>. [Erişim Tarihi:18-01-2021].
- [2] E. Koç ve M. C. Şenel, «Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu–Genel Değerlendirme,» *Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt 54, no. 639, pp. 32-44, 2013.
- [3] “Enerji,” *enerji.gov.tr*, <https://enerji.gov.tr/enerji>. [Erişim tarihi: 15-02-2021].
- [4] “Denge Tabloları,” *enerji.gov.tr*, <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-denge-tablolari>. [Erişim tarihi: 21-01-2021].
- [5] “Yenilenebilir Enerji Kaynakları 1,” *megep.meb.gov.tr*, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Yenilenebilir%20Enerji%20Kaynaklar%C4%B1%20I.pdf. [Erişim tarihi: 01-01-2021].
- [6] “Kaynaklarımız,” *megep.meb.gov.tr*, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Kaynaklar%C4%B1m%C4%B1z.pdf. [Erişim tarihi: 01-01-2021].
- [7] “Rüzgar,” *enerji.gov.tr*, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar>. [Erişim tarihi: 05-01-2021].
- [8] M. Kozak , “Konut Isıtmacılığın da Jeotermal Yenilenebilir Enerji Kaynağının Kullanılmasının Araştırılması,” *Yekarum e-Dergi*, cilt 3, no. 2, pp. 30-32, 2016.
- [9] A. Buğutekin, “Atıklardan Biyogaz Üretiminin İncelenmesi,” *Marmara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı*, pp. 26-28, 2007.
- [10] E. Kapluhan, “Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Kullanım Durumu,” *Marmara Coğrafya Dergisi*, no. 30, pp. 97-125, 2014.
- [11] “Biyokütle,” *Enerji.gov.tr*, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle>. [Erişim tarihi: 02-01-2021].

- [12] E. Kapluhan, "*Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi*", cilt 5, no. 17, pp. 65-86, 2014.
- [13] , "Renewables Reports," *iea.org*, <https://www.iea.org/reports/renewables-2020>. [Erişim tarihi: 18-01-2021].
- [14] "RenewableCapacityStatistics", *irena.org*, <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021>. [Erişim tarihi:01-04-2021].
- [15] "Solarsystem," *nasa.gov*, <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/in-depth/>. [Erişim tarihi:10-01-2021].
- [16] "Cosmicopia," *nasa.gov*, https://cosmicopia.gsfc.nasa.gov/qa_sun.html. [Erişim tarihi:10- 1- 2021].
- [17] "YenilenebilirEnerjiKaynaklarıGüneş ", *enerji.gov.tr*, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>. [Erişim tarihi: 5-2-2021].
- [18] "Archimedes," *mit.edu*, http://web.mit.edu/2.009/www/experiments/deathray/10_ArchimedesResult.html. [Erişim tarihi: 15-02-2021].
- [19] "Solar," *irena.org*, <https://www.irena.org/solar>. [Erişim tarihi: 01-01-2021].
- [20] F. Ç. Kılıç, "Güneş enerjisi, Türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri," *Mühendis ve Makina*, cilt 56, no. 671, pp. 258-40, 2015.
- [21] M. Dikilitaş, V. Balak ve S. Karakaş, "Ses Dalgalarının Tarımsal Ürünlerin Muhafazası ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri," *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, cilt 20, no. 4, pp. 338-355, 2016.
- [22] "Tarımsal sulama," *antalyaenerji.com*, <https://www.antalyaenerji.com/gunes-enerjili-tarimsal-sulama-sistemleri/>. [Erişim tarihi: 17-03-2021].
- [23] E. Akcan, M. Kuncan ve M. R. Minaz, "PVsyst Yazılımı İle 30 Kw Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, cilt 1, no. 18, pp. 248-261, 2020.
- [24] "On-gridSistem", *solar-academy.com*, http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=2380. [Erişim tarihi:17-03-2021].

- [25] Güneş Enerji Santralleri Kabullerinde Dikkat Edilecek Hususlar, www.yilkomer.com, <https://www.yilkomer.com/gunes-enerji-santralleri-kabullerinde-dikkat-edilecek-hususlar/>. [Erişim tarihi:02- 04-2021].
- [26] "Güneş Enerjisi Elektrik Üretimi," powerenerji.com, <https://www.powerenerji.com/ev-icin-gunes-enerjisi-elektrik-uretimi-500-watt-1-kw-2-kw-2-5-kw-4-kw-5-kw>. [Erişim tarihi: 26-03-2021].
- [27] "Resmi Gazete Tebliğ," resmigazete.gov.tr, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/02/20210225-3.htm>, [Erişim tarihi:22-4-2021].
- [28] "Fotovoltaik PV Teknolojileri," [Solar-academy.com](http://solar-academy.com), <http://solar-academy.com/menus/Fotovoltaik-PV-Teknolojileri.012332.pdf>. [Erişim tarihi: 26-01-2021].
- [29] "Yeni yapı malzemesi fotovoltaik paneller, özellikleri ve tarihçesi" yapkat.com, <http://www.yapkat.com/images/Malzeme/Dosya/27749270200722394634485244.pdf>. [Erişim tarihi: 15-01-2021].
- [30] "Fotovoltaik Güneş Pilleri," itu.edu.tr, <https://web.itu.edu.tr/~kaymak/PV.html>. [Erişim tarihi: 10-01-2021].
- [31] A. M. Bagher, M. M. Vahid ve M. Mohsen, "Types of Solar Cells and Application," *American Journal of optics and Photonics Publishing*, cilt 3, no. 5, pp. 94-113, 2015.
- [32] Solar-market, Oxfordpv.com, <https://www.oxfordpv.com/perovskite-pv-transform-global-solar-market>. [Erişim tarihi:01-09-2021].
- [33] "Güneş paneli nasıl yapılır", antalyaenerji.com, <https://www.antalyaenerji.com/gunes-paneli-nasil-yapilir/>. [Erişim tarihi:02-03-2021].
- [34] "Standartlar", Statik.tse.org.tr, <https://statik.tse.org.tr/upload/tr/dosya/icerikyoneti/7896/12122017111816-2.pdf>. [Erişim tarihi:01-04-2021].

- [35] "Güneş Panelleri Nasıl Üretilir", *myenerjisolar.com*,
<https://www.myenerjisolar.com/gunes-panelleri-nasil-uretilir/>. [Erişim tarihi: 01-02-2021].
- [36] Fotovoltaik Güneş Hücre Türleri, *kaangokay.com*, <http://kaangokay.com/fotovoltaik-gunes-hucreleri-turleri/>. [Erişim tarihi: 21-03 2021].
- [37] "Endüstriyel Güneş Pili Üretimindeki Gelişmeler," *Nature.com*,
<https://www.nature.com/articles/am201082>. [%1 tarihinde erişilmiştir 3 4 2021].
- [38] "Solar Akü", *natureenerji.com*, <http://www.natureenerji.com/solar-aku/>. [Erişim tarihi: 26-01-2021].
- [39] "Crystal-battery", *greenrhino-energy.com*, <https://greenrhino-energy.com/crystal-battery-downloads/>. [Erişim tarihi: 01-06-2021].
- [40] "İnverter Nedir," *powerenerji.com*, <https://www.powerenerji.com/invertor-inverter-nedir>. [Erişim tarihi: 02-02-2021].
- [41] "Off-grid-inverter," *vipnetsolar.com.tr*, <https://vipnetsolar.com.tr/end-g1-1k12vdc-off-grid-inverter>. [Erişim tarihi: 21-02-2021].
- [42] "Soalr Pompalar," *Lorentz-turkey.com*, <https://www.lorentz-turkey.com/solar-pompalar/lorentz>. [Erişim tarihi: 01-02-2021].
- [43] "Soalr Sulama Sistemleri Nasıl Çalışır," *solarfirsat.com*,
<https://www.solarfirsat.com/solar-sulama-sistemleri-nasil-calisir--pmn1>. [Erişim tarihi: 11-02-2021].
- [44] "Solar Kablolar," *tr.prysmiangroup.com*,
<https://tr.prysmiangroup.com/tr/solar-kablolar>. [Erişim tarihi: 17-02-2021].
- [45] "Kablo Hesaplama," *kontrolkalemi.com*,
<https://www.kontrolkalemi.com/forum/konu/dc-gerilimde-kesit-hesaplama>. [Erişim tarihi: 28-02-2021].
- [46] Y. S. İşler ve M. Salihmuhsin, "Güneş Enerjisi Santrallerinde Sehpa Seçiminin Performansa Etkisinin Analiz Edilmesi Ve Sıcaklık Etkisi," *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, cilt 6, no. 1, pp. 97-107, 2019.

- [47] “Ürünler,” *Asalsolar.com*, <https://www.asalsolar.com/urunler.html>. [Erişim tarihi: 15-02-2021].
- [48] “Renewable,” *ec-tr.staubli.com*, <https://ectr.staubli.com/tr/products/renewable/>. [Erişim tarihi: 11-02-2021].
- [49] "Ekler", *emo.org.tr*, https://www.emo.org.tr/ekler/dabe4e08ebc2829_ek.pdf. [Erişim tarihi:16-03-2021].
- [50] "30kWp Tip Sartname", *tedas.gov.tr*, https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/img/30kWpTipSartname_29112014_v2.pdf. [Erişim tarihi:26-02-2021].
- [51] “Şarj Kontrol Cihazı Nedir,” *muhendistan.com*, <https://muhendistan.com/sarj-kontrol-cihazı-nedir-nasıl-secilir/>. [Erişim tarihi: 26-03-2021].
- [52] A. Topuz, B. Erdoğan ve G. Taşkaya, "Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin Modellenmesi," *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, cilt 7, no. 2, pp. 356-363, 2017.
- [53] G. Taşkaya, "Fotovoltaik etki ile çalışan güneş enerjili sulama sisteminin modellenmesi", Yüksek lisans tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, 2015.
- [54] "Dalgıç Pompalar" *www.alarko-carrier.com*, <https://www.alarko-carrier.com.tr/Upload/Content/Documents/1dbcfb8d-ac7b-46e8-9600-c8f5021ade3d.pdf>. [Erişim tarihi:01-09-2021].
- [55] A. A. F. M. & G. H. Demir, "Fotovoltaik (PV) Pompa Sisteminin Bileşenlerinin Hesabı," *Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt 61, no. 701, pp. 280-298, 2020.
- [56] "Kablolar", *kar-el.com*, <http://www.kar-el.com.tr>. [Erişim tarihi:01-09-2021].
- [57] "Jeneratör seçimi," *impo.com.tr*, http://www.impo.com.tr/Files/TranFiles1/BUM L_201322620311.pdf. [Erişim tarihi:01-03-2021].
- [58] "Yakıt Tüketim Hesapları", *gucbirjenerator.com*, <https://www.gucbirjenerator.com/yakit-tuketim-hesaplamalari/>. [Erişim tarihi:01-03-2021].

- [59] "Akaryakıt Fiyatları", *tppd.com.tr*, <https://www.tppd.com.tr/tr/akaryakit-fiyatlari?id=02>. [Erişim tarihi:01-11-2021].
- [60] "Enflasyon Verileri", *tcmb.gov.tr*, <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Enflasyon+Verileri/Tuketici+Fiyatlari>. [Erişim tarihi:01-11-2021].
- [61] "Elektrik Tarifeleri", *tedas.gov.tr*, <https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/docs/elektriktarifeleri//2021Y%C4%B1l%C4%B1NisanElektrikTarifeleri.pdf>. [Erişim tarihi:01-11-2021].
- [62] "Solar Sulama Sistemi", *vipnetsolar.com.tr*, <https://vipnetsolar.com.tr/mobil-solar-sulama-sistemi>. [Erişim tarihi:22-03-2021].
- [63] "Lorentz Casestudy Pivot North Africa", *partnernet.lorentz.de*, https://partnernet.lorentz.de/files/lorentz_casestudy_pivot_north_africa_en.pdf. [Erişim tarihi:11-03-2021].
- [64] "İstatistikler", *mgm.gov.tr*, <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ADIYAMAN>. [Erişim tarihi:26-01-2021].
- [65] N. Kutlu, "Isparta İlinde Bir Evin Elektrik İhtiyacını Karşılacak Panel Sayısı, Verimi ve Ekonomik Analizinin Hesabı," *Yalvaç Akademi Dergisi*, cilt 1, no. 1, pp. 41-52, 2016.
- [66] A. Çıfci, İ. Kırbaş ve B. İşyarlar, "Güneş Pili Kullanılarak Burdur'da Bir Evin Ortalama Elektrik İhtiyacının Karşılanması," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, cilt 5, no. 1, pp. 14-17, 2014.
- [67] M. Boztepe, "Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler," *EMO İzmir Şubesi Aylık Bülten Dergisi*, cilt 1, no. 321, pp. 13-17, 2017.
- [68] "Stationary Combustion," *www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf*, https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf. [Erişim tarihi:25-03-2021].