

**GÜNEŞ PİLİ İLE ÇALIŞAN
BİR SU POMPALAMA SİSTEMİNİN
TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Eda GENÇOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet CEBECİ

EYLÜL-2015

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ PİLİ İLE ÇALIŞAN BİR SU POMPALAMA SİSTEMİNİN
TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eda GENÇOĞLU

(101113107)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Eylül 2015

Tezin Savunulduğu Tarih : 06 Ekim 2015

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet CEBECİ (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Hayrettin CAN (F.Ü.)

Doç. Dr. Asım KAYGUSUZ (İ.Ü.)

EYLÜL-2015

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmasını yöneten, tezin hazırlanması ve yazımı süresince yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam sayın Prof.Dr. Mehmet CEBECİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez süresince tecrübelerini benimle paylaşan, bilimsel katkılarıyla bana yardımcı olan Bilgisayar Müh. Böl. öğretim üyesi sayın Doç.Dr. Hayrettin CAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

MF.14.06 nolu proje dahilinde yaptığı desteklerden dolayı Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Elazığ kapsamında İl Özel İdaresi açısından ilk olan ve tezin uygulama kısmını oluşturan bu pilot çalışmanın gerçekleştirilmesini sağlayan Elazığ İl Özel İdaresi Genel Sekreterliğine çok teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tezinin, ülkemizde güneş enerjisi uygulamaları konusunda çalışma yapacak olanlara katkıda bulunmasını dilerim.

Eda GENÇOĞLU

ELAZIĞ-2015

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti.....	3
1.2. Tezin Amacı	8
1.3. Tezin Yapısı.....	9
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	10
2.1. Giriş	10
2.2. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	11
2.3. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı ve Güneş Açıları	13
2.4. Güneş Panellerinin Konumlandırılması	16
2.4.1. Panellerin Yatay Düzleme Paralel ve Sabit Olarak Konumlandırılması	16
2.4.2. Panellerin Optimum Eğim Açısıyla Konumlandırılması	16
2.4.3. Panellerin Tek Eksenli Konumlandırılması	17
2.4.4. Panellerin Çift Eksenli Konumlandırılması	18
2.5. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları.....	19
2.5.1. Isıl Uygulamalar.....	20
2.5.1.1. Düşük Sıcaklık Uygulamaları	20
2.5.1.2. Orta Sıcaklık Uygulamaları	21
2.5.1.3. Yüksek Sıcaklık Uygulamaları	21
2.5.2. Fotovoltaik Uygulamalar	22
2.5.3. Diğer Uygulamalar.....	23
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	24
3.1. Fotovoltaiklerin Elektriksel Karakteristikleri	24
3.1.1. Güneş Pillerinin Yapısal ve Karakteristik Özellikleri	25
3.1.2. Güneş Pillerinin Yapısı.....	25

3.2. Güneş Pili Türleri	26
3.2.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri	27
3.2.2. Monokristal Silisyum Güneş Pilleri	27
3.2.3. Polikristal Silisyum Güneş Pilleri	28
3.2.4. Çok Kristalli Silisyum Güneş Pilleri	29
3.2.5. Ribbon Silisyum Güneş Pilleri	29
3.2.6. İnce Film Güneş Pilleri.....	29
3.2.6.1. Amorf Silisyum Güneş Pilleri	30
3.2.6.2. Bakır İndiyum Diselenoid Güneş Pilleri	30
3.2.7. Diğer Yapılar	31
3.3. Fotovoltaik Sistem Türleri.....	32
3.3.1. Şebekeden Bağımsız Sistemler.....	33
3.3.1.1. Doğrudan (Direkt) Bağlı Sistemler	34
3.3.1.2. Bataryalı (Akülü) Sistemler.....	34
3.3.2. ŞebekeBağlantılı Sistemler.....	35
3.3.3. Hibrit Sistemler	36
4. GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMLERİ.....	38
4.1. Fotovoltaik Piller	38
4.2. Şarj Regülatörleri.....	39
4.2.1. PWM Şarj Regülatörleri.....	40
4.2.2. MPPT Şarj Regülatörleri.....	40
4.3. İnverterler	41
4.3.1. Mikro İnverter	42
4.3.2. Dizi inverter	43
4.3.3. Merkezi İnverter.....	44
4.4. Aküler	46
4.4.1. OPzS Aküler	47
4.4.2. Jel Aküler	47
4.4.3. Kuru Aküler	47
4.5. Su Deposu.....	48
4.6. Sistemi Koruyan Elektriksel Ekipmanlar	48
4.6.1. DA Sigortası.....	49
4.6.2. DA Otomatik Sigorta	50

4.6.3. DA Anahtarlı Ayırıcılar	50
4.6.4. DA Parafudr	51
4.6.5. AA Parafudr	51
4.6.6. AA Otomatik Sigorta	52
4.6.7. AA Bıçaklı Tip Sigorta	52
4.6.8. Artık Akım Anahtarı	52
4.6.9. Şebeke Besleme İzleme Rölesi	52
4.7. Kablolar ve Elektriksel Bağlantı Elemanları	53
4.7.1. Güç Kabloları	53
4.7.2. İletişim Kabloları	54
4.7.3. DA Kablosu Bağlantı Soketleri.....	54
4.8. Enerjinin İzlenmesi ve Sayaçlar	55
4.9. Su Pompası	59
4.9.1. Su Pompası Tipleri.....	61
4.9.1.1. Devridaim Pompası	61
4.9.1.2. Dalgıç Pompa	63
4.9.1.3. Yüzey Pompası.....	64
4.10. Su Pompası Sistem Tasarımı	64
4.10.1. Suyun Pompalanacağı Toplam Yükseklik	65
4.10.2. Günlük Su İhtiyacı	66
4.10.3. Fotovoltaik Panel İhtiyacı	67
4.11. Güneş Enerjili Su Pompası.....	67
4.12. Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemlerinin Ekonomik Analizi	69
4.13. Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemlerinde Kullanılan Motorlar.....	70
4.13.1. Doğru Akım Motorları	70
4.13.2. Doğru Akım Pompaları İle Alternatif Akım Pompalarının Karşılaştırılması	71
4.14. Su Pompalama Tekniklerinin Karşılaştırılması.....	71
5. ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMİNİN	
TASARIMI.....	73
5.1. Fotovoltaik Panel Seçimi.....	74
5.2. Akü Seçimi	75
5.3. Şarj Regülatörü Seçimi.....	77
5.4. İnverter Seçimi	79

5.5. Kablo Seçimi	81
5.5.1. İnverter 1 - 48 V DA Barası	81
5.5.2. 48 V DA Barası - 1 kW İç İhtiyaç İnverteri	82
5.5.3. 48 V DA Barası - Şarj Regülatörü	82
5.5.4. AA Hesapları.....	83
5.6. Sistemin Tanıtımı ve PLC Otomasyonu	84
5.6.1. Sistemin Tanıtımı	84
5.6.2. PLC Otomasyonu	89
5.7. Tek Hat Şeması.....	92
5.8. Güneş Paneli İle Kurulan Sistemin Maliyet Hesabı	94
5.9. Enerji Nakil Hattı Maliyet Hesabı ve Karşılaştırma.....	94
6. ÖLÇÜM SONUÇLARI	97
6.1. Günlük Sonuçlar	97
6.2. Haftalık Sonuçlar	100
6.3. Aylık Sonuçlar	102
6.4. Yıllık Sonuçlar.....	103
7. SONUÇ	106
KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ	111

ÖZET

Türkiye’de tarımsal sulama çoğunlukla elektrik, mazot veya petrol gibi konvansiyonel enerji kaynakları ile çalışan su pompaları kullanılarak yapılmaktadır. İletim hattı olmayan veya iletim hattının taşınmasının güç ve pahalı olduğu tarımsal alanlarda, mazot ve petrol pompaları kullanılmaktadır. Bu tip sistemler daimi günlük bakım isterler ve suyu bol olan yerlere değil, ancak ulaşımı kolay olan yerlere kurulabilirler. Güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemleri günlük bakım istemedikleri gibi, güneşin bol olduğu herhangi bir yerde kurulabilirler. Bu sistemlerin ilk kuruluş maliyeti yüksek olmasına rağmen, yakıt ve bakım ihtiyaçları olmadığından kısa zamanda ekonomik duruma geçerler.

Bu çalışmada PLC kontrollü, şebekeden bağımsız güneş pilli bir su pompalama sisteminin tasarımı yapılmış ve sistem gerçekleştirilmiştir. Önce ele alınan pilot bir bölgeye (Elazığ, Gözebaşı Köyü, Yeşilyurt Mezrası) enerji iletim hattının sadece sulama amaçlı götürülmesi durumunda maliyet hesabı yapılmış, daha sonra bu bölgede şebekeden bağımsız güneş enerjili bir su pompalama sistemi kurulması durumunda maliyet hesabı yapılmış ve bu iki durum karşılaştırılmıştır. Sistem gerçekleştirilip çalıştırdıktan sonra, sistemden alınan veriler bilgisayar ortamına kaydedilerek analiz edilmiş ve yorumlanmıştır. Ayrıca güç kalitesinin analizi amacıyla, sistem tarafından sağlanan güç, yük akımı, gerilim ve diğer parametrelerin (frekans, güç katsayısı, aktif, reaktif ve görünür güçler) ölçümü de yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Güneş Enerjisi, Fotovoltaik Sistemler, Güneş Pilleri, Su Pompalama.

SUMMARY

Design and Implementation of A Solar-Powered Water Pumping System

The irrigation is made by using water pumps working with mostly electric, fuel-oil or conventional energy sources in Turkey. Fuel and oil pumps are used where in agricultural areas without electrical line or difficult and expensive to transport of electrical lines. Such systems always want to daily maintenance and not to areas with plenty of water, but can be installed in a location with easy access. Solar powered water pumping systems do not require daily maintenance and they can be installed at any much sunny place desired. Despite the initial establishment costs are high of the pump types, fuel and maintenance needs not pass the economic situation in a short time. Because there aren't fuel and maintenance needs, they come in the economic situation in a short time.

In this project, an offgrid solar water pumping system with PLC controlled was designed and the system was set up. For this purpose, first, a pilot region (Elazığ, Gözevası Village, Yesilyurt Field) was determined and power transmission line cost accounts only for irrigation purposes in the event was taken. The cost was calculated for the establishment of the power transmission line only for irrigation purposes in this region. And then, an offgrid solar powered water pumping system in the event of the establishment in this region the cost was calculated and were compared these two cases. After the system is run and operated, the received data from the system was recorded to a computer and was analyzed and interpreted. In addition, in order to analyze power quality, the measurement of the power supplied by the system, load current, voltage and other parameters (frequency, power factor, active, reactive and apparent powers) has been done.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic Systems, Solar Cell, Water Pumping.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası	13
Şekil 2.2. Güneşe ait Enlem (I), Saat (h), Deklinasyon (d) açıları	14
Şekil 2.3. Güneşe Ait Zenith (θ_H), Yükseklik (β), Azimuth (ϕ) Açılımları	16
Şekil 2.4. Güneş panelinin sabit açılı konumlandırılması	17
Şekil 2.5. Güneş panellerinin tek eksenli olarak konumlandırılması	18
Şekil 2.6. Güneş panellerinin çift eksenli olarak konumlandırılması	18
Şekil 2.7. Optimum sabit açılı, tek eksenli ve çift eksenli PV sistemlerden üretilen güçler ..	19
Şekil 2.8. Konut ısıtma uygulaması	21
Şekil 2.9. Parabolik oluk sistem	22
Şekil 2.10. Merkezi alıcı sistem	22
Şekil 3.1. Paneller ile dizileri oluşturan modüller ve hücreler	24
Şekil 3.2. Güneş pilinin yapısı	26
Şekil 3.3. Fotovoltaik sistem türleri	32
Şekil 3.4. Şebekeden bağımsız PV sistem şeması	33
Şekil 3.5. Fotovoltaik destekli ve depolu su pompalama sistemi	34
Şekil 3.6. Şebeke bağlantılı PV sistem şeması	35
Şekil 4.1. Çeşitli PWM şarj regülatörleri	40
Şekil 4.2. Çeşitli MPPT şarj regülatörleri	40
Şekil 4.3. Farklı firmaların ürettiği inverter çeşitleri	42
Şekil 4.4. Mikro inverter uygulaması	42
Şekil 4.5. Dizi inverter tek hat şeması	43
Şekil 4.6. Merkezi inverter ve şebeke bağlantısı	45
Şekil 4.7. Merkezi inverter ile kurulmuş bir santralin tek hat şeması	45
Şekil 4.8. Akü çeşitleri	47
Şekil 4.9. PV sistemde D.a. ve A.a. devre koruma ekipmanları	49
Şekil 4.10. D.a. buşonlu tip sigorta	49
Şekil 4.11. D.a. otomatik sigorta	50
Şekil 4.12. D.a. koruma elemanlarının bulunduğu 6 girişe sahip bağlantı kutusu	51
Şekil 4.13. D.a. bağlantı soketleri a) Dişi tip soket (Negatif) b) Erkek tip soket (Pozitif)	55
Şekil 4.14. a) Güneş ışınımı sensörü b) Rüzgar hızı sensörü	56

Şekil 4.15. Güneş enerjisi sisteminin uzaktan izleme altyapısı	57
Şekil 4.16. a)Tek fazlı çift yönlü sayaç b)Üç fazlı çift yönlü sayaç.....	58
Şekil 4.17. Direkt bağlı solar pompa sistemi.....	60
Şekil 4.18. D.a. ile çalışan solar pompalar	60
Şekil 4.19. Güneş enerjisi ile çalışan tipik bir su pompalama sistemi	65
Şekil 5.1. Elazığ Merkez Gözebaşı Köyü, Yeşilyurt Mezrası içme suyu tesisi krokisi	74
Şekil 5.2. 24 adet 240 W'lık fotovoltaik paneller	75
Şekil 5.3. Akülerin bağlantısı	76
Şekil 5.4. 12 V 100 Ah'lık aküler	77
Şekil 5.5. Şarj regülatörleri.....	78
Şekil 5.6. PV panellerin bağlantısı	79
Şekil 5.7. 2500 W'lık inverterler.....	80
Şekil 5.8. Akü-inverter ve D.a. barası bağlantıları	80
Şekil 5.9. PLC otomasyonu blok diyagramı.....	84
Şekil 5.10. Analog threshold trigger.....	86
Şekil 5.11. Weekly timer	87
Şekil 5.12. Yearly timer.....	88
Şekil 5.13. On/off delay.....	88
Şekil 5.14. Otomasyon giriş/çıkışları	90
Şekil 5.15. Su deposu ve şamandıralar	90
Şekil 5.16. Analog threshold trigger ayarları	91
Şekil 5.17. Sistemin tek hat şeması	93
Şekil 6.1. Akü gerilimi	97
Şekil 6.2. Akü akımı	98
Şekil 6.3. Sistem gücü	98
Şekil 6.4. Akü gerilimi	99
Şekil 6.5. Akü akımı	99
Şekil 6.6. Sistem gücü	100
Şekil 6.7. Akü gerilimi	100
Şekil 6.8. Akü akımı	101
Şekil 6.9. Sistem gücü	101
Şekil 6.10. Akü gerilimi	102
Şekil 6.11. Akü akımı	102

Şekil 6.12. Sistem gücü	103
Şekil 6.13. Akü gerilimi	103
Şekil 6.14. Akü akımı	104
Şekil 6.15. Sistem gücü	104
Şekil 6.16. 2014 yılında üretilen elektrik enerjisi.....	105

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	11
Tablo 2.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı .	12
Tablo 2.3. Doğrudan ve dolaylı güneş enerjisi dönüşüm sistemleri.....	20
Tablo 3.1. Güneş pili türleri ve verimleri	32
Tablo 4.1. 12 volt fotovoltaik modül ile çalışan bir pompanın özellikleri	61
Tablo 4.2. Pompalama tekniklerinin karşılaştırılması	72
Tablo 5.1. PLC otomasyonu doğruluk tablosu	92
Tablo 5.2. Merkez-Gözebaşı köyü Yeşilyurt mezarası içme suyu güneş enerjisi santrali yaklaşık maliyeti.....	94
Tablo 5.3. Merkez-Gözebaşı köyü Yeşilyurt mezarası içme suyu O.G. E.N.H. yaklaşık maliyet cetveli.....	95

KISALTMALAR LİSTESİ

PV	: Fotovoltaik
PLC	: Programlanabilir Mantık Denetleyicisi
DA	: Doğru Akım
AA	: Alternatif Akım
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleyicisi
THD	: Toplam Harmonik Distorsiyon
ESRI	: Güneş Radrasyon Modeli
EİE	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
AG	: Alçak Gerilim
OG	: Orta Gerilim
ENH	: Enerji nakil hattı

1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan konvansiyonel enerji kaynaklarının tükeniyor olması ve verimsiz kullanılması, daha temiz ve tükenmez enerji kaynakları arayışını hızlandırmıştır. Modern endüstriyel yaşam ve nüfus artışı ile birlikte Dünya enerji talebinde görülen artış, enerji verimliliği ve güç kalitesi problemlerinin çözümü için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının önemini giderek artırmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, yaygın olarak ısıtma ve elektrik üretimi amaçlarında kullanılır. Güneşten gelen foton ışınlarının taşıdığı kısa dalga ve yüksek veya yeterli düzeydeki enerjiyi akım ve gerilime çevirme yeteneğine sahip materyal ya da araçlara fotovoltaiik denir. “Photo” sözcüğü Latince ışık anlamına gelen “phos” sözcüğünden türemiştir. “Volt” sözcüğü ise elektrik araştırmalarının öncülerinden biri olan Alessandro Volta adından alınmıştır. Yani “fotovoltaiik”, kelime anlamı olarak “ışık-elektrik” anlamına gelmektedir. Isıtma için daha çok toplayıcı kolektörler kullanılırken, elektrik üretimi için güneş ışınımını toplamak üzere tasarlanmış güneş pillerinin farklı kombinasyonlarından oluşan PV güneş panelleri kullanılır. Güneş panellerini oluşturan hücreler güneşten gelen foton ışınlarının etkisiyle elektrik akımı oluşturmak amacıyla üretilmiş malzemelerdir. Güneş pillerinin bulunması ile güneş enerjisinin etkin kullanımı büyük oranda artış göstermiştir. Güneş pilleri dayanıklı, güvenilir ve uzun ömürlüdür. Çalışmaları sırasında hiçbir elektriksel sorun çıkarmazlar. Bu sistemlerin en iyi yanlarından biri, diğer bütün yenilenebilir enerji kaynakları gibi, çevre açısından olumsuz etkilere sahip olmamasıdır. Güneş pili sistemlerinin en büyük dezavantajı, ilk yatırım maliyetinin fazla olması ve güneş pillerinin düşük verimle çalışmasıdır.

Güneş enerjisi sistemlerinin geçmiş yıllardaki en tipik ve en yaygın kullanım şekli, yerleşim yerlerinden uzak yörelerde enerji gereksinimini karşılayan W-kW düzeyindeki bağımsız sistemlerdi. Günümüzde bu sistemler şebeke bağlantılı olarak da yaygın olarak kurulmaktadır.

Bağımsız güneş pili sistemlerinin uygulama alanları arasında; radyolink istasyonları, radyo, telsiz ve telefon sistemleri, telemetrik ölçümler, iç veya dış aydınlatma, tarımsal sulama, orman gözetleme kuleleri, deniz fenerleri, ilk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri sayılabilir.

PV sistemlerin enerji kaynağı olarak en fazla tercih edildiği uygulamalar arasında su ihtiyacının karşılanması (su pompalama sistemleri) yer almaktadır. PV güç sistemli su pompalama uygulamaları, özellikle şehir su ve elektrik şebekesine bağlı olmayan kırsal yörelerde, kuyu veya kanallardan su temininde veya zirai amaçlı arazilerde sulama kanallarından araziye su dağıtımında ekonomik olarak kullanılmaktadır. Çünkü bu tür bölgelere yeni enerji hattının çekilmesi nedeniyle ortaya çıkan ilk yatırım maliyeti, genellikle çok yüksek miktarlara ulaşmaktadır. Türkiye’de yaygın tarım alanları genelde kırsal kesimdedir. Tarım arazileri gibi geniş alanlarda sabit enerji noktasından, nehirlerde veya sulama kanallarından arazinin tüm bölgelerine su dağıtımı ekstra kablo düzeni gerektirmektedir. Sulama amacıyla belirli miktardaki alana getirilen dağıtım şebekesi son derece büyük elektrik kayıplarına ve maliyet artışına sebep olmaktadır. Kayıpların büyüklüğü tarımsal kullanıcıya ve devlete büyük mali yükler getirmektedir.

Ülkemizde, güneş pilli enerji üretim sistemleri özellikle enerji nakil hatlarının ulaşamadığı veya ulaşmasının yüksek maliyet gerektirdiği yerlerde kullanılabilir. Bununla birlikte, bu tür sistemlerce üretilen elektrik enerjisinin izlenmesi ve kontrolü de önem arz etmektedir. Elektrik enerjisinin üretimi ve tüketimi esnasında oluşan akım ve gerilim gibi elektriksel verilerin izlenmesi, kaydedilmesi ve sistemin kontrolü programlanabilir mantık denetleyicisi (PLC) tabanlı veri izleme ve kontrol sistemi ile gerçekleştirilebilir.

Güneş pili sistemlerinin işletme ve bakım maliyetleri çok düşük olduğu için, toplam sistem maliyetinin büyük bir kısmını ilk yatırım maliyeti oluşturur. Üretim teknolojisinin ve yapım tekniklerinin geliştirilmesi ve yüksek verimli pillerin yapılması ile ilk yatırım maliyeti azalacaktır. Güneş pili sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri arasında arazi, tesisat, montaj, inverter ve diğer güç cihazları gibi destek elemanlarının maliyeti de yer alır. Destek sistemlerinin maliyeti, bir güneş pili sisteminin maliyetinin yaklaşık yarısını oluşturduğu için, bu tür maliyetleri azaltmak, modül maliyetini azaltmak kadar önemlidir.

Maliyet açısından güneş pili sistemleri, enterkonnekte şebekenin olmadığı veya ulaşımın zor ve pahalı olduğu bölgelerde diğer alternatif enerji kaynakları ile yarışabilir düzeydedir. Bu gibi yerlerde bir kaç kW’a kadar küçük güçteki uygulamalar, teknolojik açıdan olduğu kadar ekonomik açıdan da kendini kanıtlamıştır. Ancak istenen hedef, fiyatların enterkonnekte elektrik düzeyinde olmasıdır. Yakın zamanda maliyetin şebeke elektriği ile yarışabilecek düzeye geleceği umulmaktadır.

1.1. Literatür Özeti

Güneş enerjili su pompalama sistemleri genel olarak diğer pompalama sistemlerine benzemekle birlikte, çalışma verimini ve sistemin kararlılığını artırmak için bazı ilave kontrol ve depolama ünitelerine ihtiyaç duyulabilir. Güneş enerjili sulama sisteminin oluşturulması için gerekli temel elemanlar; PV panel, pompa ve motordur. PV pompa sistemleri için, diğer su sirkülasyon sistemlerinde olduğu gibi farklı boyut ve özelliklerde pompa kullanımı mümkün olup, bu pompaları merkezkaç ya da pistonlu olmak üzere iki temel kategoride toplamak mümkündür. Her iki kategorideki pompalar, ayrıca suya daldırılabilir (dalgıç tipi) ya da daldırılmaz (yüzey tipi) olarak sınıflandırılabilir. Uygulamanın türüne, günlük su ihtiyacına ve pompa hidrolik kayıplarına bağlı olarak seçilen pompa tipini, PV sistemlere özel olmak üzere, akuple olduğu motorun AA veya DA kaynaklı olması da etkiler. Sistemde; kontrol ünitesi, uygulamanın niteliğine bağlı olarak güneş paneli izleyici düzeneği, pompa yük düzenleyicileri ve su seviye sensörleri de bulunabilir. Pompa yük düzenleyicileri, çevre sıcaklığı ve güneş ışınlam şiddetiyle değişen güneş paneli güç çıkışı ile pompa yükü arasında optimum uyumun sağlanmasında kullanılırlar. Uygulamada, sabit gerilim izleyicileri ve lineer akım güçlendiricileri gibi bazı elektronik kontrol üniteleri bulunmakla birlikte; maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) olarak bilinen ve panellerden çekilen DA gücünü maksimize eden üniteler yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneşin bulunmadığı anlarda su dağıtımını temin etmek için depolama ünitesine ihtiyaç duyulur. Depolama ünitesi için; üretilen elektrik enerjisinin bir batarya ünitesine aktarımı ya da pompalanan suyun yüksek bir depoda toplanması olmak üzere iki farklı seçenek mevcuttur [1].

Bu sistemlerde iki tip motor kullanılır: DA ve AA motorları. AA motorları, gelişmiş ve uygun motorlar olup, yapıları basittir, çok ucuzdur, dayanımı ve güvenliği yüksektir. Buna karşın DA üreten PV sistemlerin bu motorları çalıştırabilmeleri için bir dönüştürücüye ihtiyaçları vardır. Bu dönüştürücülerin verimi akım değerinde düşmeye neden olmaktadır. DA motorları, kompleks ve pahalı motorlar olup en yaygın dezavantajları, motorun çalışması esnasında periyodik bir akım sağlamak için kullanılan fırça-kollektör sisteminin motorun ömrünü ve çalışma hızını sınırlamasıdır. Ancak inverter kayıplarının büyük olması kullanıcıları DA motorlarına yöneltmiştir [2].

Uluslararası literatürde güneş enerjili sulama sistemlerinin optimizasyonuna yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur. Ülkemizde özellikle son yıllarda bu kapsamda

yapılan çalışmalarda bir artış söz konusudur. Gençoğlu ve diğ. [3], Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacı ile, küçük güçlü tüketicilerin beslenmesinde PV sistemlerin kullanılmasını incelemişlerdir. Bu çalışmada, güneş enerjili su pompalama sistemlerinin besleme sürekliliği açısından problem olması ihtimaline karşı, PLC yardımıyla kontrol edilen yedek enerji kaynaklarından yararlanılması amaçlanmıştır. Ayrıca bölgede PV bir kaynaktan beslenen su pompalama sistemlerinin kullanım imkanlarının araştırılarak, bu konuda bilgi birikiminin sağlanması hedeflenmiştir.

Yeşilata ve Aktacir [4] tarafından, PV güç sistemli su pompalarının dizayn esasları incelenmiş ve sistem bileşenlerinin kolaylıkla seçimine katkıda bulunacak bir yöntem takip edilerek tasarım grafikleri (abakları) oluşturulmuştur. Bu grafikler yardımıyla sistem için gerekli güneş paneli seçimi pratik olarak yapılabilir.

Kavlak ve Güngör [5], çalışmalarında mazotlu pompa yerine PV pillerin kullanıldığı bir su pompalama sisteminde, daha temiz ve daha ekonomik şekilde sulama işlemi yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Işiker ve diğ. [6] panel yüzey sıcaklığı, panel eğim açısı ve elektriksel yüke ait direnç değerinin, güneş paneli güç çıktısı üzerindeki etkisini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. PV panel yüzeyi üzerine gelen günlük toplam ışıyım şiddetini optimize etmek amacıyla yapılan hesaplamalardan, panellerin optimum aylık eğim açılarında yerleştirilmesinin en uygun çözüm olduğu gözlenmiştir.

Dursun ve Saygın [7], güneş enerjisi ile çalışan 300 W gücündeki 3 fazlı 12/8 kutuplu bir anahtarlı relüktans motor için boost konvertör tasarlamışlar ve konvertörü sistemden maksimum verim elde etmek amacıyla kullanmışlardır. Bu sürücü sistemi, sulama sistemindeki santrifüj su pompasının sürülmesinde kullanılmıştır. Ayrıca, tasarlanan sürme sistemi ile ilk hareket anındaki darbe akımları önlenmiştir.

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

Castillo-Cagigal M. ve diğerlerinin çalışması [9], güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde eden bir evden beslenen yüklerin güç tüketimini ve PV sistemin güç üretimini incelemektedir. Üretim ve tüketim arasındaki ilişki bilgisayar destekli bir enerji yönetim sistemi modülü ile gerçekleştirilmektedir. Sistemin şebeke ile olan arz-talep ilişkisi, geliştirilen modül ile kontrol edilmektedir.

Pamukkale Üniversitesi bünyesindeki hibrit enerji üretim sisteminin elektriksel olarak izlenmesi ve kontrolünün ele alındığı çalışmada [10], oluşturulan PLC tabanlı sistem incelenmiş, sistemin kurulumu, veri toplama ve kontrol aşamasında kullanılan ekipman ve programlama mantığından söz edilmiş, sistemin işletmeye alınması ve işletme altındaki durumu incelenmiştir. Fotovoltaik-rüzgar-yakıt pili hibrit enerji üretim sistemi, 5 kW fotovoltaik, 2.4 kW yakıt pili ve 400 W rüzgar türbini kurulu gücüne sahiptir.

Datta M. vd. [11], şebekeden bağımsız PV bir sistem için, bulanık kontrol yöntemini kullanan, PV çıkış gücündeki dalgalanmaları ve izole güç şebekesindeki frekans sapmalarını azaltıcı bir kontrol yöntemi üzerinde durmuşlardır. Bu çalışmada; bulanık kontrolör, güneş ışıınımı ve şebeke güç durumları ele alınarak, PV sistemin güç dalgalanmalarını düzeltici komutlar üretilmektedir. Yine bu amaçla bir enerji depolama yöntemi önerilmiştir. Burada, akü şarj/deşarj durumuna göre, PV sistem güç çıkışındaki dalgalanmalar seviyelendirilir ve sistem maliyetini düşürmek için optimum akü boyutu hesaplanır. Üçüncü yaklaşım ise, kolayca kontrol edilebilen basit bir yöntemdir ve farklı bölgelerdeki çoklu PV sistemler için geliştirilmiştir. Önerilen tüm yöntemler, MPPT kontrolü ile karşılaştırılmış ve PV çıkış gücündeki dalgalanmaların düzeltilmesinde etkili oldukları görülmüştür.

Güneş ışıınınımının tahmini çok önemli bir kriterdir. Özellikle, güneş ışıınınımının 24 saat boyunca tahmin edilmesi, şebeke bağlantılı PV sistemler için güç dağıtım planlarının yapılmasında; bağımsız ve hibrit sistemlerde ise şarj kontrolörlerinin kontrol algoritmalarının geliştirilmesinde önemlidir. Mellit A. ve Pavan A. [12], yapay sinir ağlarını kullanarak, güneş ışıınınımının tahmin edildiği pratik bir çalışma sunmuşlardır. Önerilen çok katmanlı perceptron modeli, 24 saatlik günlük güneş ışıınınımı ve hava sıcaklığı değerlerini kullanarak güneş ışıınınımını tahmin etmektedir. Sonuçlar önerilen modelin güneşli günlerde % 98-99 doğrulukla, bulutlu günlerde ise % 94-96 doğrulukla çalıştığını göstermektedir.

Güneş ve rüzgar enerjilerini elektrik enerjisine dönüştürebilen bir hibrit enerji santralinin tasarlandığı ve uygulamasının gerçekleştirildiği çalışmada [13], güneş ve

rüzgardan elde edilen enerji akü gruplarında depo edilmekte ve istenildiğinde yüke aktarılmaktadır. Akülerin dolu olduğu anlarda ise, üretilen enerji ya direkt yüke aktarılmakta, ya da şebekeye aktarılarak sürekli bir enerji üretimi yapılmaktadır. Akülerin boş ve enerjinin üretilmediği zamanlarda yükün ihtiyacı olan enerji mevcut şebekeden temin edilmektedir. Bu amaçla, rüzgar türbininden ve güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisinin aynı doğru akım barasında birleştirilmesi ve evirici yardımıyla yüke yönlendirilmesine yönelik iki adet yükseltici konvertör yapılmıştır. Yükseltici konvertörler birbirleri ile paralel çalışabilecek şekilde ve elde edilen çıkış gücünü devamlı olarak maksimum seviyede tutmak amacıyla MPPT yapacak şekilde tasarlanmışlardır. Ayrıca güneş panellerinden elde edilecek enerjiyi en verimli şekilde üretebilmek amacıyla güneş takip mekanizması ve kontrol devreleri tasarlanmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla sistemin günlük, haftalık ve aylık olarak akım, gerilim, güç ve enerji değerleri kaydedilerek verimi incelenmiştir.

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı içerisinde, rüzgar ve güneş enerjisinden oluşan şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinden elektrik üretimi incelenmiştir [14]. Rüzgar türbinleri ve güneş panelleri kullanılarak oluşturulan hibrit enerji sisteminde, kurulu gücü 1-10 kW arasında olan on adet şebekeden bağımsız, 15 kW ile 45 kW arasında altı adet şebekeye bağlı olmak üzere, toplam on altı adet senaryo oluşturularak elektrik enerjisi üretimi araştırılmıştır. Hibrit enerji sisteminin kurulu güç kapasitesi, elektrik enerjisi üretimi, sistem yapısı ve maliyeti dikkate alınarak, sistem bileşenlerinden inverter, şarj regülatörü, akümülatör, rüzgar türbini ve güneş paneli seçimi yapılmıştır. Güneş paneli hibrit enerji sisteminde kullanılırken, güneş enerjisinden en fazla enerji elde edilebilecek şekilde panelin konumlandırılması göz önüne alınmıştır.

Bir başka çalışma da [15], Muğla Üniversitesi merkez yerleşkesi girişinde bulunan havuzların su pompalama sisteminin beslemesini yapan 15 kWp kurulu güce sahip PV sistemden elde edilen enerjinin güç kalitesi unsurlarının belirlenmesi ve şebeke karakteristikleri ile karşılaştırılmasıdır. Sistemde, 7 adet asenkron motor, yerleşke girişinde bulunan havuzlara su sağlayan pompaları beslemektedir. Sistem, aynı zamanda doğrudan şebeke beslemesi ile çalışmaya da olanak vermektedir. PV sistemden elde edilen enerjinin yük beslemesine yetmemesi veya inverterde ya da PV sistemin genelinde meydana gelen bir arıza durumunda, akülerde depolanan enerji kullanılmaktadır. Akülerin şarj durumunun belirli bir seviyenin altına inmesi durumunda da ikinci bir kaynak olarak sisteme, şebeke tarafından besleme yapılmaktadır. Ayrıca bir şalter yardımıyla tamamen şebeke beslemesi

yapılabilmesi de sistemin çalışma seçenekleri arasında yer almaktadır. Ayrıca güç kalitesinin analizi amacıyla, PV sistem tarafından sağlanan AA, yük akımı, gerilim ve diğer parametrelerin (toplam harmonik distorsiyon (THD)), frekans, gerilim, kırpışma, güç katsayısı, aktif, reaktif ve görünür güçler) ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bütün bu parametreler, şebeke beslemesi koşullarında da ölçülmüş ve PV sistem parametreleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen enerjinin güç kalitesine etki eden temel faktörleri incelenmiştir.

Günümüzde, PV sistemlerin enerji kaynağı olarak en fazla tercih edildiği uygulamalar arasında su pompalama sistemleri bulunmaktadır. PV'den beslenen su pompalama özellikle elektrik şebekesine bağlı olmayan kırsal yörelerde kuyu veya kanallardan su temininde veya zirai amaçlı arazilerde sulama kanallarından araziye su dağıtımında ekonomik olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de özellikle tarıma dayalı ekonomik yapısı bulunan GAP Bölgesine ait illerde, sulama amaçlı tüketilen elektrik enerjisinin, toplam elektrik tüketimi içerisindeki payı, % 20 ile % 40 gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır. GAP Bölgesinde sulama gereksiniminin yüksekliği dışında; güneş ışınım potansiyelinin ülke ortalamalarının üzerinde olması, şebeke bulunan sulama bölgelerinde aşırı yüklenmeler sebebiyle güvenilir elektrik temininin mümkün olmaması ve birçok kırsal arazide elektrik hattı bulunmaması gibi sebepler de PV kullanımına geçişi teşvik eder doğrultudadır. Uzun yıllar bazında yapılan termoekonomik analizler, kırsal alanlarda; fotovoltaiik destekli su pompalarının elektrik şebekesine bağlı su pompası uygulamasına göre daha ekonomik ve güvenli olduğunu gösterdiği için, günümüzde birçok gelişmiş ülkede bu sistemler kullanılmaktadır [1]. Bu sistemlerin en basit kombinasyonu; pompa sürücüsü olan motorun panellere hiçbir ara düzenleyici olmadan direkt bağlandığı direkt akupleli sistemlerdir. Direkt akupleli sistemlere ek olarak, PV panel ve motor arasında akünün yerleştirildiği akülü ve panel sisteminin akım-volt çıktılarını maksimum elektriksel güç teminine uygun olarak düzenleyen bir elektronik kontrol cihazının bulunduğu MPPT'li kombinasyonları da bulunmaktadır [16].

İncelenen literatür çalışmalarından da görüleceği gibi, güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemlerinin, ülkemizde kullanım suyu amaçlı, tarımsal amaçlı ya da sulama amaçlı birçok uygulama alanında rahatlıkla kullanılabileceği ve bu sistemlerin ekonomik ve uzun ömürlü olacağı görülmektedir.

1.2. Tezin Amacı

Bu çalışmada, Elazığ iline ait bir köye içme suyu temini için, şebekeden bağımsız bir güneş pili sisteminin tasarlanması ve gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada kurulacak güneş pili sisteminde akım, gerilim, frekans vb. bilgilerin izlenmesi ve bilgisayar ortamına aktarılarak analiz edilmesi amacıyla PLC kullanılmıştır. Çalışmada, aynı bölgede elektrik enerjisinin enerji nakil hattı çekilerek şebekeden karşılanması durumundaki maliyet çıkarılmış ve güneş enerjili sistem maliyeti ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca kurulan güneş enerjili sulama sistemi sayesinde kullandıkları elektrik enerjisine büyük miktarlar ödeyen tüketicilerin elektrik giderleri tamamen sıfırlanmıştır.

Bu çalışmanın amaçları arasında;

- Fosil yakıtların tükenen enerji kaynakları olduğu ve çevre kirliliğine sebep olduğu gerçeğinden yola çıkarak, ucuz ve kolay enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin PV piller yardımıyla sulamada kullanılabilirliğini araştırmak,
- PV sulama sistemi ile klasik sulama sistemleri arasındaki kurulum ve işletme maliyet farkını araştırarak uzun vadede ekonomik olan sistemi tespit etmek,
- Tarımsal sulamanın klasik enerji kaynakları ile çalışan sulama pompaları kullanılarak yapılmasının yanında; PV pillerle çalışan sulama pompalarıyla da yapılabileceğini yöre halkına göstermek,
- Güneş enerjili sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması yönünde bilinçli bir kullanıcı kitlesi oluşturmak

yer almaktadır.

Ayrıca bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri olan güneş enerjisinin kullanımının arttırılmasına katkı sağlanması ve bu kaynakların gelişen teknolojiyle birlikte her türlü enerji ihtiyacını yenilenemez enerji kaynaklarına destek olarak karşılayabileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Güneş enerjili su pompalama sistemlerinde kullanılan AA motorları ile DA motorlarının avantaj ve dezavantajları açısından karşılaştırılması da amaçlardan biridir.

1.3. Tezin Yapısı

Bu tez yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılması üzerine bir çalışma niteliği taşımaktadır. Bu çalışmada; bu alanda yapılan uygulamalar, makaleler ve çalışmalar baz alınarak konular açıklanmış ve bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Tezin giriş bölümünde; güneş enerjisinin Türkiye ve Dünya için önemine değinilerek, güneş enerjili su pompalama sistemlerinin genel çalışma prensipleri hakkında bilgiler verilmiştir. Güneş pilli sistemlerin kurulum maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, işletme giderlerinin olmaması ve güneş pillerinin oldukça uzun ömürlü olmaları nedeniyle daha avantajlı olduğu dile getirilmiştir.

İkinci bölümde güneşin yapısı ve güneş enerjisi hakkında temel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde güneş enerjili sistemler hakkında bilgiler verilerek, bir PV sistemde kullanılan elemanlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Tezin dördüncü bölümünde güneş enerjili su pompalama sistemleri araştırılmış ve bu sistemlerde kullanılan pompa ve motor çeşitleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca dizel pompalar ile solar pompalar karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde tasarlanan sistem hakkında ayrıntılı bilgiler verilerek, eleman seçimleri ve hesaplamalar yapılmış, sistemin gerçekleştirilmesi anlatılmıştır. Bu bölümde önce sistem için gerekli olan su ihtiyacı belirlenerek, bu değer yük olarak kabul edilmiş ve PV panel boyutlandırılması yapılmıştır. Ayrıca bu sistemde yer alacak pompalar, PV paneller, aküler, şarj kontrol cihazları, kablolar ve inverterlerin seçimi yapılmıştır. Altıncı bölüm elde edilen verilerin analiz edildiği, karşılaştırıldığı ve grafiksel olarak gösterildiği bölümdür. Ayrıca bu bölümde, pompanın çalışması için gerekli elektrik enerjisinin enerji nakil hattı ile karşılanması durumundaki maliyet çıkarılarak, güneş enerjili sistem ile karşılaştırılmıştır.

Son bölüm sonuç bölümü olup, bu çalışmadan elde edilen kazanımlar belirtilerek, yapılan çalışmaların ve karşılaştırmaların sonuçları sıralanmıştır.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1. Giriş

Güneş, Samanyolu galaksisinin dış sarmalına yakın orta ölçekli bir yıldızdır. Samanyolu galaksisinde güneş gibi milyonlarca yıldız olmasına rağmen, şu ana kadar tespit edilenlerin hiç biri yaşama, güneş kadar elverişli ortam sağlayamamaktadır. Güneş $1,39 \times 10^9$ m çapında yoğun sıcak gazlar içeren bir küre olup kütlesi 2×10^{30} kg'dır. Tahmini yüzey sıcaklığı 5777 K^0 'dir. Güneş yaklaşık 4-5 milyar yaşında (orta yaşlı) ve büyük bölümü hidrojen (% 72), helyum (% 26), geri kalan kısmı (toplam % 2) oksijen, karbon, azot, alüminyum, sodyum, potasyum, bakır ve demirden oluşan bir yıldızdır.

Güneş'in etrafına yaydığı enerji, çok derinlerinden (en merkezdeki iç bölgeden) gelmektedir. Burada yüksek basınç ve sıcaklığın etkisiyle çok büyük nükleer reaksiyonlar ortaya çıkar. Merkezdeki yüksek sıcaklık altında gerçekleşen (füzyon çekirdek kaynaşmasıyla) reaksiyonlarla hidrojenler birleşerek helyuma dönüşürler. Bu dönüşüm sonucunda açığa çıkan elektron, proton ve nötron artıkları uzay boşluğuna fırlarlar. Bu reaksiyonda mutlak kütle korunumu olmaz. Bir kısım parçacık enerjiye dönüşür. Nükleer füzyon isimli bu sentez reaksiyonu sırasında muazzam miktarda enerji açığa çıkarılır. Bu enerji uzay boşluğunda farklı yönlerde yayılır. Güneş'in enerjisini salan dış yüzeyinin toplam kapasitesi 3.86×10^{26} W civarındadır. Bu miktarın 1370 W/m^2 'si (güneş sabiti) atmosfer dışına ulaşmaktadır. Yeryüzüne ulaşan miktar ise $0-1100 \text{ W/m}^2$ arasındadır. Bu enerjinin Dünya'ya gelen bu küçük bölümü bile, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır [17].

Güneşin önemini açıklayan diğer bir unsur bütün enerji kaynaklarının dolaylı veya doğrudan bu kaynaktan yayılan ışınların farklı şekillerde depo edilmesi sonucu oluştuğu gerçeğidir. Bitkiler fotosentez sırasında güneş ışığı kullanarak yaşam için gerekli maddeleri oluştururlar. Bu dönüşüm son derece temiz bir şekilde olmaktadır. Atık olarak çevreye sadece su verilmektedir. Günümüzde çevre bilincinin artmasıyla insanlar, bitkilerde olduğu gibi bu enerji kaynağını dolaylı olarak değil doğrudan kullanmak istemektedirler. Bunun için güneşten yayılan ve foton enerjisi şeklinde bize ulaşan bu ışınımın bir şekilde kullanılabilir hale getirilmesi şarttır.

2.2. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye orta kuşakta güneş ışınım potansiyeli bakımından en şanslı ülkelerden biridir. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli ve yıllık toplam potansiyelin bölgelere göre dağılımı sırasıyla Tablo 2.1. ve Tablo 2.2'de gösterilmiştir [18,19]. Bu potansiyel Türkiye'yi Avrupa ülkeleri arasında İspanya ile birlikte ilk sıraya koymaktadır. Bu potansiyelin bölgelere göre dağılımı incelenirse en şanslı bölgenin tarımsal sulama ihtiyacı en büyük ve verimli ovaları olan Güneydoğu Anadolu Bölgesi olduğu görülür. Bu bölgeyi Akdeniz Bölgesi izler. Bu bölgelerin diğer bir ortak özelliği ise sulamanın mevcut göller veya kuyularla yapılması ve kuraklığın oldukça fazla olmasıdır. Güneş enerjisi üretiminin yok denecek kadar az olduğu Karadeniz Bölgesi dışında yılda birim m²'den 1100 kWh'lik enerji üretilebilir durumdadır ve toplam güneşli saat miktarı ise 2640 saattir. Buna göre toplam olarak yıllık alınan enerji miktarı yaklaşık 1015 kWh'dir.

Tablo 2.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [18]

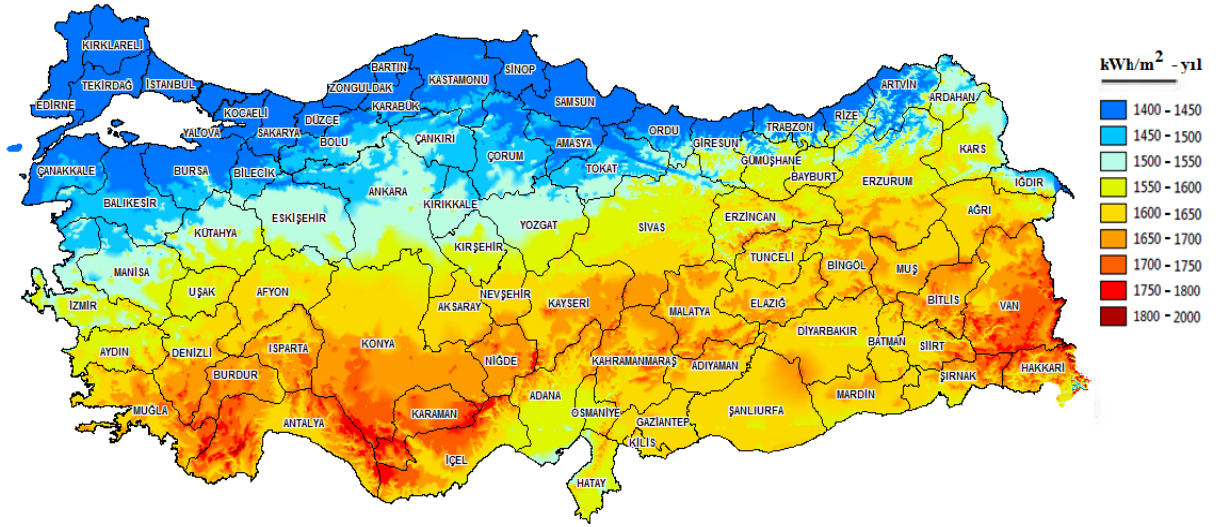
Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (Saat/gün)
	kcal/cm ² -ay	kWh/m ² -gün	
Ocak	4.45	1.79	4.11
Şubat	5.44	2.50	5.22
Mart	8.31	3.87	6.27
Nisan	10.51	4.93	7.46
Mayıs	13.23	6.14	9.10
Haziran	14.51	6.57	10.81
Temmuz	15.08	6.50	11.31
Ağustos	13.62	5.81	10.70
Eylül	10.60	4.81	9.23
Ekim	7.73	3.46	6.87
Kasım	5.23	2.14	5.15
Aralık	4.03	1.59	3.75
Toplam	112.74	50.11	89.98
Ortalama	308.0 cal/cm ² -gün	4.176	7.5

Tablo 2.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [19]

Bölge	Toplam güneş enerjisi (kWh/m²-yıl)	Güneşlenme süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından güneşlenme süresi ve ışıyım şiddeti verilerinden yararlanarak yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2622 saat (günlük toplam 7.5 saat), ortalama toplam ışıyım şiddetinin yıllık 1117 kWh/m² (günlük toplam 4.18 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahip Türkiye'de gerekli yatırımların yapılması halinde yılda birim metre kareden ortalama olarak 1100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir potansiyel bulunmaktadır. Yapılan araştırma ve çalışmalar, net güneş enerjisi potansiyelinin bu tablolarda verilenlerden %25 daha fazla olabileceğini göstermiştir. İlgili kuruluşların bu konudaki çalışmaları devam etmektedir. Ölçüm istasyonlarında daha gelişmiş piranometreler kullanılmaya başlanmıştır.

Uluslararası kanıtlanmış bir model olan "ESRI Güneş Radyasyon Modeli" kullanılarak elde edilen güneş kaynak bilgileri ile güneş kaynak alanları kolaylıkla görülebilmekte, bu amaca yönelik ön fizibilite çalışmaları yapılabilmekte ve güneş kaynak alanı arama amacıyla yapılan çalışmalar ortadan kaldırılarak zaman ve ekonomik tasarruf sağlanmaktadır. ESRI Güneş Radyasyon Modeli, Türkiye geneli için 500 x 500 metrelik çözünürlükte çalıştırılmış ve toplam 3.120.000 adet grid oluşturularak her bir grid için güneş kaynak bilgileri hesaplanmış ve sonrasında Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri kullanılarak elde edilen bilgiler haritalandırılmıştır. Şekil 2.1'de görülen güneş enerjisi potansiyel atlasının hazırlanmasında noktasal bazda (500 m x 500 m) ortalama % ± 10 hata payı ile bilgi üretilmiş ve bu bilgiler Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 148 adet ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nün 8 adet uzun dönemli güneş ölçüm verileri ile doğrulanmış ve kalibre edilmiştir.

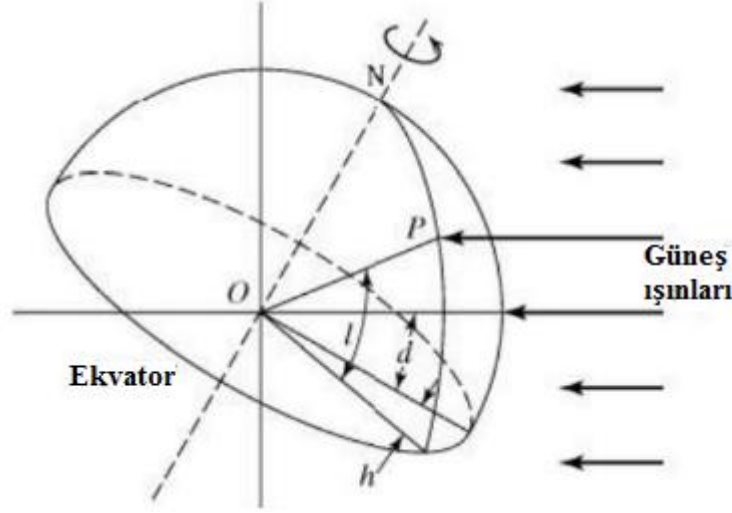


Şekil 2.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası [19]

Türkiye’de son yıllarda güneş enerjisi üzerine yapılan çalışmalar artış göstermiştir. Özellikle son yıllarda yapılan yönetmelik düzenlemeleri, yeni teşvik ve vergi muafiyetleri sayesinde bu kaynağın kullanımında ciddi artışlar olmuştur. Ama yine de gerek bireysel kullanım gerekse de üretim açısından arzu edilen seviyede olduğumuz söylenemez. Bu konunun önemini bilen ülkeler yatırım maliyetindeki büyüklüğe rağmen enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için dev santraller kurmuşlar, gerek bireysel gerekse merkezi kullanım amaçlı olarak üreticileri desteklemişlerdir.

2.3. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı ve Güneş Açıları

Dünyanın hem kendi etrafında hem güneş etrafında yaptığı hareketler, güneş ışığının gün ve mevsimler içerisinde farklı açılarla gelmesine neden olmaktadır. Dolayısı ile güneş pillerinden maksimum elektrik enerjisi elde edilmesi, PV sistemin güneş yörüngesini takip etmesi ile mümkündür. “Güneş takip sistemi” adı verilen bu yapı, fazla güç elde etmesine rağmen maliyeti arttırmaktadır. Günümüzde kullanılmakta olan fotovoltaiik güneş panelleri genel olarak dört farklı şekilde yerleştirilmektedir. Her birinin kendine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Yöntemlerin uygulanabilmesi için öncelikle güneşin hareketlerini takip etmek ve konumunu belirlemek için güneşle ilgili bazı açılarının bilinmesi gerekir.



Şekil 2.2. Güneşe ait Enlem (I), Saat (h), Deklinasyon (d) açıları

Işınım şiddetinden yüksek derecede yararlanmak için panelin açısı optimum olarak ayarlanmalıdır. Sabit veya hareketli herhangi bir düzlemdeki panel yüzeyine gelen güneş ışınlarının değeri, düzlemin bulunduğu yerleşim yerinin coğrafik konumuyla, o güne ait olan tarih ve gün içindeki zaman dilimiyle değişiklik gösterir. Güneş radyasyonunun güneş panellerine hangi açı ile geldiğini ifade etmek ve optimum açıları bulmak için güneş açılarının hesaplanması gerekmektedir. Güneş açılarının hesaplanması için Şekil 2.2’de gösterilen enlem, saat ve deklinasyon açısı bilinmelidir.

Enlem (I): Ekvatordan P noktasına olan açısal uzaklıktır. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi projeksiyonun |OP| çizgisi ile ekvator arasındaki açıdır. Açının alacağı işareti kuzey ve güney yarım küresi belirler. Enlem açısı kuzey yarım kürede pozitif, güney yarım kürede negatif olup -90 ile +90 arasında değişmektedir.

Saat Açısı (h): Dünyanın merkezi ile güneş merkezini birleştiren projeksiyondaki OP çizgisi ile dünya ekvator düzlemi arasında ölçülen açıdır. Öğlen zamanında saat açısı (h,T) sıfırı gösterir. Her bir saat 15 derecelik saat açısına eşittir. Saat açısı öğle öncesi negatif, öğlen sonrası ise pozitif olup denklem (2.1) ile bulunmaktadır.

$$h = 15(\text{saat} - 12) \quad (2.1)$$

Deklinasyon (d): Dünyanın güneş etrafında döndüğü düzleme ekliptik düzlem denir. Dünyanın kendi eksenini, ekliptik düzleminin normali ile yaklaşık olarak 23.5°’lik açı yapar. Dünyanın kendi eksenini etrafında dönüşü güneş radyasyonunun günlük değişimine, güneş

etrafında dönüşü ise mevsimsel değişime neden olur. Dünyanın kendi eksenini ile ekliptik düzlemin normalini arasındaki açı değişmez. Fakat güneş ve dünya merkezini birleştiren hattın ekvator düzlemi ile yaptığı açı günlük olarak değişir. Bu açıya deklinasyon açısı denir. Yıl içerisinde değişen deklinasyon açısının fonksiyonu ise denklem (2.2) ile hesaplanır. (n=gün sayısı)

$$d = 23.45 \sin[360 \times (284 + n) / 365] \quad (2.2)$$

Bu bilgilerin elde edilmesinden sonra, asıl elde edilmek istenen güneş açıları hesaplanabilir. Şekil 2.3’de gösterilen güneş açıları, zenith, yükseklik ve azimuth açısı olmak üzere 3 tanedir.

Zenith Açısı (θ_H), Verilen bir zamanda yer yüzeyindeki gözleyicinin (P noktasının güneş yörüngesine olan uzantısı) gök küredeki (güneş) uzantısı arasındaki açı zenit açısı olarak tanımlanır. 0 ile 90 derece arasında değişim gösteren bu açı, denklem (2.3) aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$\cos \theta_H = \cos d \cdot \cos I \cdot \cos h + \sin d \cdot \sin I \quad (2.3)$$

Yükseklik Açısı (β), Dikey düzlem ile güneş ışını arasında ve yatay düzlem üzerindeki güneş ışınlarının projeksiyon açısıdır. Denklem (2.4) ile hesaplanmaktadır.

$$\sin \beta = (\cos I \cdot \cos d \cdot \cos h) + (\sin I \cdot \sin d) \quad (2.4)$$

Azimuth Açısı (θ): Güneş ışınının yatay projeksiyonun güneyinden ölçülen yatay düzlemdeki açıdır. 0-360 derece arasında değişmekte ve denklem (2.5) ile hesaplanmaktadır.

$$\cos \theta = ((\cos d \cdot \cos h \cdot \sin I) - (\sin d \cdot \cos I)) \cdot \cos \beta \quad (2.5)$$

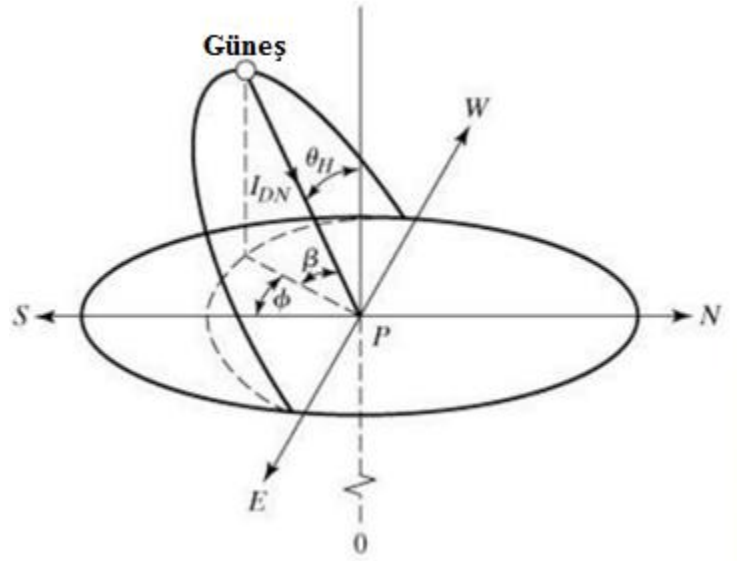
θ : Güneş Azimut Açısı: Güneyin doğusunda negatif, güneyin batısında ise pozitiftir.

I: Enlem: Kuzeyde pozitif, güneyde negatiftir.

d: Deklinasyon Açısı: Güneş ışınları ekvatorun kuzeyinde ise pozitif, güney yarım kürede ise negatiftir.

h: Saat açısı: Öğle öncesi negatif, öğlen sonrası ise pozitiftir.

β : Yükseklik Açısı: 0 ile 90 derece arasında değişim gösterir.



Şekil 2.3. Güneşe ait Zenith (θ_H), Yükseklik (β), Azimuth (ϕ) açıları

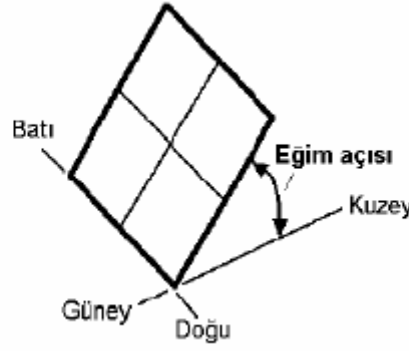
2.4. Güneş Panellerinin Konumlandırılması

2.4.1. Panellerin Yatay Düzleme Paralel ve Sabit Olarak Konumlandırılması

Güneş panellerinin sabit olarak, yere paralel şekilde konumlandırılması ile bu panellerin gün içerisindeki enerji üretim kapasitesi düşmektedir. Maksimum seviyedeki güneş ışığı, panele sadece öğlen saatlerinde geldiğinden, günün diğer saatlerinde güç üretimi oldukça düşüktür. Özellikle kış aylarında, güneşin çok yükselmemesinden dolayı, verim daha da düşmektedir. Güneş ışığından yeteri kadar yararlanılamayan bu yöntemin maliyeti, sadece montaj işleminden ibarettir.

2.4.2. Panellerin Optimum Eğim Açısıyla Konumlandırılması

Yere paralel şekilde konumlandırılan panellerden düşük güç üretilmesi, panelleri yine sabit fakat belirli bir açıyla konumlandırmayı gerektirmiştir. Panellerin sabit eğim açısıyla konumlandırılması, panelin kuzey güney doğrultusu üzerine sabit bir eğim açısıyla; kuzey yarım kürede güneye, güney yarım kürede kuzeye yönlendirilmesiyle gerçekleşir. Bu konumlandırma Şekil 2.4'de gösterilmiştir.

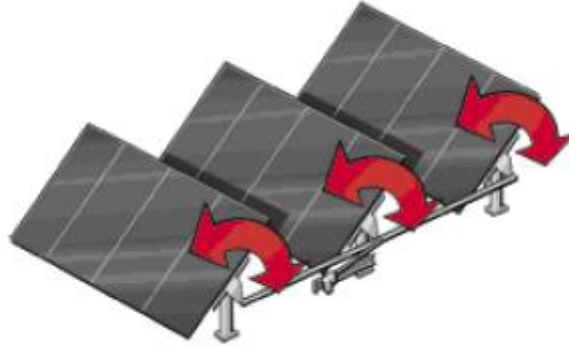


Şekil 2.4. Güneş panelinin sabit açılı konumlandırılması

Panellerin bulunduğu yerleşim noktasının, enlem açısı ile eşit bir açıyla konumlandırılmasına kutupsal montaj denir. Kutupsal montajlı sistemler, güneşten maksimum seviyede ışıınım alan yapılar değildir. Ancak, sabit panellere göre % 10-12 değerinde daha fazla ışıınım toplarlar. Sabit eğimle konumlandırılan paneller için, mevsimlik veya yıllık optimum eğim açısı belirlenebilir. Optimum eğim açılarının mevsimlik olarak belirlenmesi ve mevsim sonunda bu hesaplamalara göre eğimin manuel olarak değiştirilmesi daha avantajlı olabilir.

2.4.3. Panellerin Tek Eksenli Konumlandırılması

Panellerin tek eksenli dönebilir şekilde konumlandırılması, panellerin kuzey-güney doğrultusu üzerine sabit bir açı yaparak ve mekanizmanın paneli dönme eksenini etrafında (doğu-batı doğrultusunda) döndürebilecek şekilde tasarlanmasıyla sağlanır. Şekil 2.5’de tek eksenli olarak konumlandırılmış sistem örneği görülmektedir. Tek eksenli sistemler güneşin sadece düşeydeki hareketini takip etmektedir. Bu sayede sabit sistemlere göre daha yüksek verim elde edilir. Bu değer sabit eksenli ve optimum açılı sistemin veriminin yaklaşık %20-25 fazlasıdır.



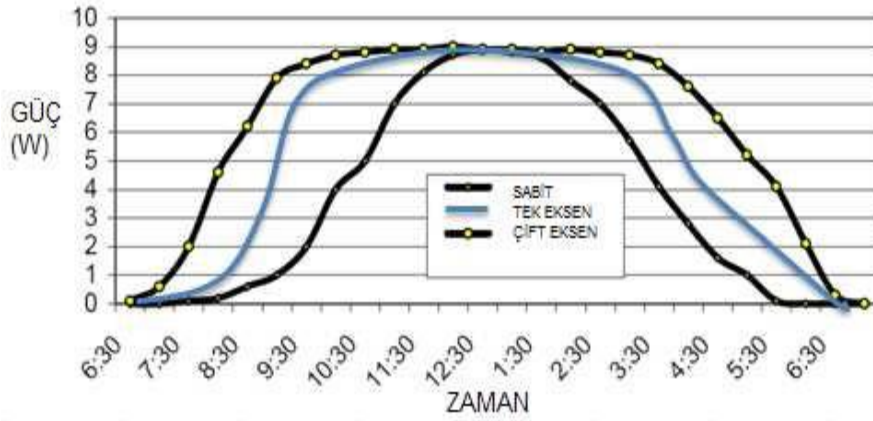
Şekil 2.5. Güneş panellerinin tek eksenli olarak konumlandırılması

2.4.4. Panellerin Çift Eksenli Konumlandırılması

Çift eksenli güneş takip sisteminin tasarımında iki adet DA motoru kullanılmaktadır. Bu motorlardan ilki zenit açısını kontrol edecek şekilde kuzey-güney yönünde panelin hareketini sağlamaktadır. Diğer motor ise, doğu-batı hareketini sağlamakta ve sabah doğu yönünden başlayarak, akşam güneş batana kadar hareketini sürdürmektedir. Saat 12:00’de, yani tam öğlen saatinde kuzey-güney motoru ters yönde harekete başlayarak, akşam saatine kadar hareketini sürdürmektedir. Doğü-batı motoru ise akşam güneş batış saatine kadar hareketini sürdürmekte ve güneşin batış saatinde tekrar başlangıç pozisyonuna geri dönmektedir. Panellerin çift eksenli dönebilir şekilde konumlandırılması Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Güneş panellerinin çift eksenli olarak konumlandırılması



Şekil 2.7. Optimum sabit açılı, tek eksenli ve çift eksenli PV sistemlerden üretilen güçler

Çift eksenli sistemler yatayda ve düşeyde hareket ederek güneşin doğuşundan batışına tüm hareketini takip eder ve en yüksek verimi elde eder. Bu değer, optimum sabit açılı sistemin veriminin yaklaşık % 35-40 fazlasıdır. Çift eksene sahip paneller tek eksenli dönebilen yapılara nazaran daha karmaşık olsalar da, güneş ışınlımlarından faydalanma oranları daha yüksektir. Çünkü tek eksenli paneller, farklı deklinasyon açılarına çift eksenli paneller kadar uyum gösteremezler. Şekil 2.7’de verilen grafikte çift eksenli paneller, tek eksenli paneller ve optimum sabit açılı panellerin ürettiği güçler karşılaştırılmıştır. Şekil 2.7’den görüldüğü gibi güneş panellerinin konumlandırılmasına bağlı olarak güneş ışınlımlarından faydalanma miktarı değiştiğinden, panellerden alınabilecek enerji miktarları da değişmektedir. Öğle saatlerinde aynı güç üretilirken, optimum sabit açılı sistemin veriminin düştüğü noktalarda tek ve çift eksene sahip hareketli sistemler hala yüksek güç üretmeye devam etmektedir.

2.5. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Güneş enerjisinden iki değişik formda yararlanılmaktadır. Bunlardan biri termal enerji, diğeri elektrik enerjisidir. Termal yolla hem ısı hem de elektrik enerjisi üretmek için çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bu nedenle sistemler doğrudan enerji dönüşümü sistemleri ve dolaylı enerji dönüşümü sistemleri olarak ikiye ayrılırlar. Güneş enerjisinden faydalanmada kullanılan mevcut sistemler Tablo 2.3’de sınıflandırılmıştır. Kurulacak olan sistemde güneş enerjisinden hangi gereksinim sağlanacaksa enerji dönüşüm teknolojileri ona göre tedarik edilmelidir. Sonuç olarak faydalı enerji üretimi esnasında kayıpların en az olduğu sistem teknolojinin geliştirilmesi ve kullanılması gerekmektedir [20].

Tablo 2.3. Doğrudan ve dolaylı güneş enerjisi dönüşüm sistemleri [20]

Doğrudan Enerji Dönüşümü	Dolaylı Enerji Dönüşümü
Sıcak su üretiminde kullanılan termal sistemler	Yoğunlaştırılmış güneş enerjisinden yüksek basınçlı buharı ürettikten sonra türbinler ile elektrik üreten sistemler
Fotovoltaik sistemlerden elektrik üretimi	
Yoğunlaştırılmış fotovoltaik güneş enerjisinden elektrik üretimi	Çanak odaklayıcılarda stirling motorunun çalışmasından elde edilen mekanik enerjiden elektrik enerjisine dönüşüm

2.5.1. Isıl Uygulamalar

Orta kuşakta bulunan Türkiye su ısıtma ihtiyacını güneş enerjisinden karşılayacak kadar ışıyım almaktadır. Bu sebeple Türkiye'nin hemen hemen her yerinde sıcak su ısıtma amaçlı bu cihazlar kullanılabilir. Bu sistemler yaygın olarak Akdeniz ve Ege Bölgesi gibi bol ışıyım alan yerlerde görülseler de, Karadeniz Bölgesi gibi nispeten daha az ışıyım maruz kalan yerlerde de kullanılırlar. Sistem bir depo, depoya ve kullanıcıya suyu temin eden pompalar, güneş enerjisini toplayıp suyu ısıtmada kullanan toplayıcı (kollektör) ve bunları birbirine bağlayan boru hatları ve ısı değiştiricilerden oluşur. Türkiye'de mevcut güneş kollektörü miktarı yaklaşık 12 milyon m² olup, yıllık üretim hacmi 750.000 m²'dir ve bu üretimin bir miktarı da ihraç edilmektedir. Güneş enerjisinden ısı enerjisi yıllık üretimi 420.000 TEP civarındadır [17].

2.5.1.1. Düşük Sıcaklık Uygulamaları

Güneş enerjisinden, en basit ve en yaygın yararlanma yöntemi düzlemsel güneş kollektörleri yardımıyla güneş enerjisinin su, hava veya herhangi bir akışkana iletilmesidir. Düzlemsel güneş kollektörleri genel olarak saydam örtü, güneş ışıyımını toplayan yutucu yüzey, yüzeye bütünleşmiş taşıyıcı borular, yalıtım malzemesi ve kasadan ibarettir [21]. Bu sistemler daha çok düzlem toplayıcılarla su ısıtılması, konut ve sera ısıtılması için kullanılmaktadır. Şekil 2.8'de konut ısıtılması uygulamasının bir örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Konut ısıtma uygulaması

2.5.1.2. Orta Sıcaklık Uygulamaları

Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışınımı, odaklı toplayıcılarla toplanarak, sanayi için gerekli sıcak su veya buhar elde etmek için kullanılır. Genellikle bu tip toplayıcılarda, güneş ışınımının sürekli olabilmesi için güneşi izleyen mekanizmalara ihtiyaç vardır. 300 °C sıcaklık değerinin üzerine çıkabilen, geniş bir alana gelen güneş ışınımı bir noktaya odaklanarak, metal ergitme fırınları çalıştırılabilir [22].

2.5.1.3 Yüksek Sıcaklık Uygulamaları

Yüksek sıcaklık uygulamaları ise yoğunlaştırma yapan ısı sistemleridir. Yoğunlaştırıcı sistemler güneş ışınlarını tek noktada toplayarak yüksek sıcaklıkta buhar üretirler ve elektrik üretiminde kullanılırlar. Yoğunlaştırıcı ısı sistemlerin en yaygını parabolik oluk kollektörlerdir. Kesiti parabolik olan kollektörlerin iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınlarını odakta yer alan ısıl boruya odaklarlar. Isıl boruda dolaştırılan sıvıda toplanan ısı ile elde edilen buhardan elektrik üretilir. Diğer bir tür yoğunlaştırıcı sistem olan parabolik çanak sistemler, iki eksenle güneşi takip ederek, güneş ışınlarını odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Merkezi alıcı sistemlerde ise; tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen aynalar, güneş ışınlarını bir kule üzerine monte edilmiş ısı santraline yansıtarak yoğunlaştırma yaparlar [23]. Şekil 2.9’da parabolik oluk sistem ve Şekil 2.10’da merkezi alıcı sistem örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.9. Parabolik oluk sistem



Şekil 2.10. Merkezi alıcı sistem

2.5.2. Fotovoltaik Uygulamalar

Bir başka uygulama türü ise güneş pilleri kullanılarak yapılan PV uygulamalardır. Güneş enerjisinin güneş pili adı verilen toplayıcılar aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürüldüğü ve bunun farklı amaçlarda kullanıldığı sistemlere PV sistemler denir. Bu sistemler güneş enerjisindeki foton paketçiklerinin sahip olduğu enerjiyi tutarlar. Fotonların temas ettiği yüzeylerdeki atomların son yörüngesindeki elektronlar bu çarpmadan etkilenir, bağdan koparak serbest olarak hareket ederler. Bunun sonucunda fotonların etkilediği yüzeyde elektrik yükü oluşur. Bu elektrik yükü, pillerdekine benzer şekilde doğru akım üretir. Bu yüzden bu üretici hücrelere güneş pili denir.

2.5.3. Diğer Uygulamalar

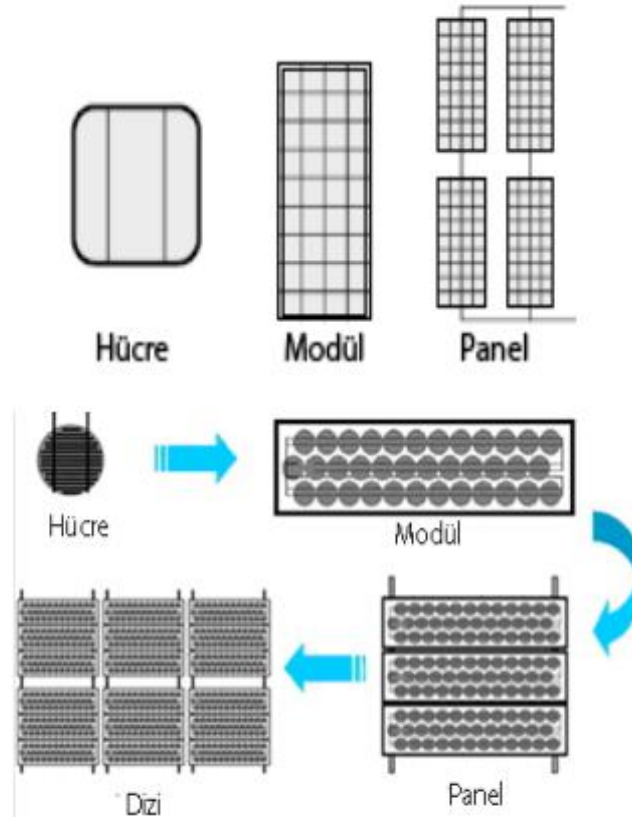
Türkiye’de özellikle üniversitelerin kendi kurdukları güneş enerjisi araştırma amaçlı sistemlerin sayısı hızla artmakta ve bu sistemlerin ürettiği elektrik farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Orman Bakanlığı orman gözetleme kulelerinde, Ulaştırma Bakanlığı deniz fenerleri ve otoyol aydınlatmasında bu sistemlere daha fazla yer vermeye başlamışlardır. EİE Genel Müdürlüğü değişik yerlerde farklı amaçlar için farklı sistemler kurmaktadır (Pompa ile su ihtiyacının ve konutun elektrik ihtiyacının karşılanması vb.). Güneş enerjisi verilerinin ölçülmesi konusunda Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü faaliyet göstermektedir. EİE de 1991 yılından beri kendi güneş enerjisi gözlem istasyonlarını kurmaktadır.

3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

3.1. Fotovoltaiklerin Elektriksel Karakteristikleri

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren özel hazırlanmış malzemelere güneş pili denir. Güneş pili denmesinin sebebi bünyesinde meydana gelen elektron hareketlerinin mevcut pillere benzer olmasından kaynaklanmaktadır. Her ikisi de iki farklı yüklenmiş katmanlar ve bu katmanlar arasında geçirgen nötr bölgeden oluşurlar. Katmanlara bağlanan bir kablo aracılığıyla elektron hareketi sağlanır. Farklı yanları ise elektrik akımının kaynağıdır. Pillerde elektrik akımını, kutuplar arasında kimyasal olaylarla oluşturulmuş gerilim ve akım oluştururken (mevcut bir yük varken), güneş pilleri yakaladıkları fotonlar miktarınca yüklenirler.

PV sistemlerin en temel yapı taşı olan güneş pilleri farklı şekillerle bir araya gelerek modülleri oluştururken bu modüller de amaca göre değişik şekillerde bir araya getirilerek panelleri oluştururlar [24]. Şekil 3.1’de hücrelerin modülleri, panelleri ve dizileri oluşturması gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Paneller ile dizileri oluşturan modüller ve hücreler

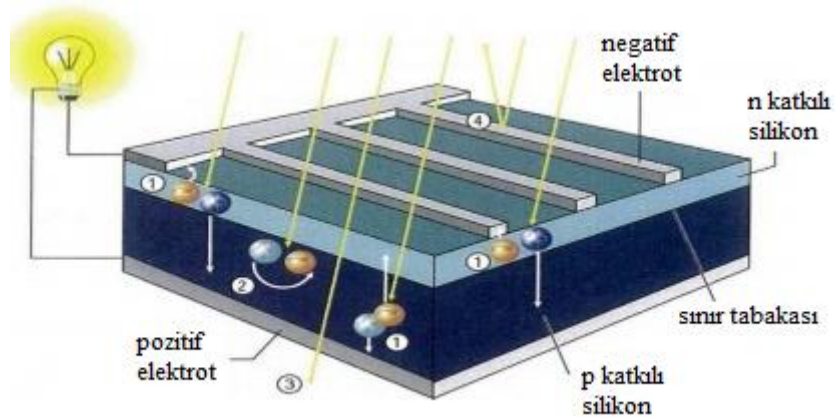
3.1.1. Güneş Pillerinin Yapısal ve Karakteristik Özellikleri

Güneşten emdikleri foton ışınlarının enerjisiyle akım ve gerilim oluşturan sistemlerin yapısı bu ışınları daha fazla tutmak (soğurmak) ve elektrik akımı oluşturmak üzere özelleşmiştir. Gelişmiş modellerinde odaklayıcı aynalar bulunurken, teknolojinin ilerlemesiyle kullanılan malzemelerin çeşitliliği ve kalitesi artmakta, bu da verimde artış sağlamaktadır. Güneş pillerinin yapısının çok büyük bir bölümünü verimi düşük yarı iletkenler oluşturur. Yapıları karmaşık gibi görünse de temel çalışma prensipleri 1840'lı yıllarda ortaya konulmuştur. İlk yapılan hücrenin verimi % 1 ile % 2 arasındadır. İlk yarı iletken silikon uyumlu PV hücreler 1954 yılında tasarlanmıştır ve verimleri yaklaşık % 6'dır. Uzay üzerine olan yatırımların artması ve Bell Laboratuvarındaki Ar-Ge çalışmaları, bu alandaki gelişme hızını arttırmıştır. Zamanla gelişen teknolojiyle verimler % 20'lere kadar çıkmış ve kullanım alanları çoğalmıştır. Şüphesiz burada en büyük pay üretim yöntemlerinin geliştirilmesine aittir. Petrol krizine kadar duraklamaya giren üretim bu dönemden sonra tarımsal sulama, evsel kullanım, su pompalama, gece aydınlatması, akü şarjı, elektrik şebekelerinin beslenmesi gibi çok geniş alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. 1990'lardan itibaren fiyatların da düşmesiyle kullanım alanları ve miktarları artarak günümüze kadar gelmiştir. Günümüzde laboratuvar ortamında verimleri % 40'a ulaşan hücreler üretilse de maliyetleri nedeniyle kullanılabilir durumdaki güneş pillerinin verimleri yaklaşık % 20-25 arasında değişmektedir [24].

3.1.2. Güneş Pillerinin Yapısı

Yarı iletkenler olarak adlandırılan PV hücrelerde kullanılan maddeler bazen elektron alırken bazen de elektron vererek yörüngelerini tamamlarlar. Bu elementlere uygun elementler eklenerek elektron alıp-verme etkilerinin dışarıdan alınacak enerjiyle ortaya çıkması sağlanabilir. Böylece yarı iletken parçasının bir kısmı negatif elektron alan bir tarafı ise pozitif elektron veren (P ve N tipi) hale getirilerek elektrik akımı oluşturulabilir. Daha sonra bu P ve N parçalar birleştirilir. Birleştirilmeden önce her ikisinin de proton ve elektronları birbirine eşittir. P tipi malzemenin kristal yapısında boşluklar (hole), N tipinin etrafında ise valans elektronları vardır. Birleştirildiklerinde N tipi malzemedeki elektronlar P tipi malzemeye doğru harekete başlarken, P tipi malzemedeki delikler ise N tipi malzemeye doğru hareket ederler. Sonuç olarak ani bir

dengesizlik oluşur. Birleşme bölgesinde, Fosfor eklenmiş olan N tipi (negatif yükleyici) malzeme bazı valans elektronlarını (kristal yapı etrafında bulunan) kaybeder ve pozitif yüke sahip olur. Bor eklenmiş P tipi (pozitif yükleyici) malzeme ise bazı ek elektronlar kazandığı için net bir negatif yüke sahip olur. N tipi malzemeden ayrılan elektronlar kendilerine yaklaşan delikleri doldururlar. Boşlukları doldurulan atomlar bir elektriksel alan oluşturarak daha fazla deliğin ve elektronun geçişini engeller. Her geçen elektron bu elektrik alanı büyütür ve iki malzeme arasında bir bölge oluştururlar. Geçiş bölgesindeki bütün serbest elektron ve delikler bu bölgenin dışına itilirler. Bu olay her iki tarafta yük dengesi oluşana kadar devam eder. Güneş enerjisinden elektrik akımı elde edilmesini sağlayan çoğunluk taşıyıcılar değil azınlık taşıyıcılarıdır. Azınlık taşıyıcı miktarı doğrudan doğruya bu bölgeleri etkileyen ışık ve ısıya bağlıdır [25]. Şekil 3.2’de bir güneş pilinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Güneş pilinin yapısı [19]

3.2. Güneş Pili Türleri

Güneş pili teknolojisi, kullanılan maddeler ve yapım türleri açısından son derece zengindir. Güneş pili yapımı için şu anda kullanılmakta olan bir düzineden fazla maddenin yanı sıra, yüzlerce maddenin de üzerinde çalışılmaktadır.

Güneş pilleri çeşitli üretim süreçlerinden geçen yarı iletkenlerden oluşurlar. Bunlar silisyum, iridyum, tellür, kadmiyum gibi elementlerin değişik işlemlere tabi tutulmalarıyla oluşturulurlar. Belli başlı güneş pili türleri aşağıda verilen başlıklardaki gibi gruplandırılabilir [24,26].

3.2.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri

Silisyum yarı iletken özellikleri tipik olarak gösteren ve güneş pili yapımında en çok kullanılan bir maddedir ve uzun yıllar bu konumunu koruyacak gibi görünmektedir. Fotovoltaik özellikleri daha üstün olan başka maddeler de olmakla birlikte, silisyum hem teknolojinin üstünlüğü nedeniyle hem de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir.

3.2.2. Monokristal Silisyum Güneş Pilleri

Ağırlıklı yapısını, doğada oksijenden sonra en çok bulunan silisyum elementi oluşturur. Saf silisyum, yapısının çok büyük bir kısmı silisyumdan oluşan kuartzın değişik işlemlere tabi tutularak %99 saflıkta silisyum elde edilmesiyle kullanılır duruma getirilir. Özellikle yarı iletken teknolojinin ilerlemesiyle önemi artan yarı metaller ve bunların saflaştırılma işlemi sayesinde oluşan saf kristalin yapılardaki silisyum kristalinlerin üretimleri bilgisayar işlemcilerin üretimlerine benzemektedir. İlk ticari güneş pillerinde, Chrozański kristal çekme tekniği ile büyütülen tek kristal yapı silisyum kullanılmıştır. PV endüstrisinde hala en çok kullanılan yöntem olan bu teknikte öncelikle ark fırınlarında silisyum oksit çeşitli kimyasal ve termal reaksiyonlardan geçirilerek saf silisyum elde edilir. Daha sonra silisyum eriyiğe çekirdek denen tek kristal yapı silisyum parçası batırılır. Bu çekirdek eriyikten çıkarıldığında soğuyan silisyum eriyik, çekirdeğin üzerine külçe şeklinde yığılmış olur. Bu silisyum külçe olur olmaz bir keski ile dilimlere ayrılır. Bu işlem iki aşamada gerçekleştirilir. Önce külçe dikdörtgen bloklar şeklinde kesilir. Daha sonra bu bloklar dilimlere ayrılarak pil şeklinde işlenir. Yapım sırasında malzeme kaybının çok fazla olması bu pillerin dezavantajıdır. Bütün yararlı özelliklerine karşın üretimleri ve üretim maliyetleri hala çok yüksektir, üretimleri ve montajlaşmaları hassas kontrol ister, buna karşın verimleri daha fazladır. Verimleri %15 civarındadır [26].

Panel üretimi esnasında hücrelerin panel içindeki sayısı ve konfigürasyonuna göre gerilim seviyeleri ayarlanmaktadır. Monokristal hücreler ile hem şebeke bağlantılı hem de şebekeden bağımsız sistemler için panel üretilmektedir. Panelde tek fark gerilim seviyelerinin farklı olmasıdır.

Şebekeden bağımsız sistemler akü gruplarının gerilim değerlerine göre genel olarak 12 V, 24 V ve 48 V'luk sistemler şeklinde tasarlanırlar. MPPT özelliği olmayan bir şarj regülatörü kullanıldığında panellerin doğru seçimi daha da önem kazanmaktadır.

Şebekeden bağımsız 12 V bir sistemi şarj edebilmek için; PWM (darbe modülasyonu) devresine sahip olan bir şarj regülatörü ile 18 V çıkış gerilimine sahip bir panelin kullanılması gerekmektedir. Piyasada şebeke bağlantılı paneller genel olarak 29 V düzeylerindedir. Bu durum akü gerilimi ile panel arasında aşırı gerilim farkına neden olacak ve şarj regülatörü üzerinde kayıplar oluşacaktır. Benzer şekilde 24 V'luk bir sistemin şarj edilebilmesi için 36 V, 48 V'luk bir sistemin şarj edilebilmesi için 72 V değerinde bir panel serisi kullanılmalıdır. MPPT özelliğine sahip bir şarj regülatörü gerilim ve akım arasındaki ayarlamayı elektronik bir devre sayesinde yapabildiğinden, şebeke bağlantılı panellerle yapılan kurulumlarda verimli bir şekilde çalışmaktadır. Buna karşın PWM devreli şarj regülatörlerinin fiyatları MPPT devresine sahip olan şarj regülatörlerine göre daha uygundur [20].

3.2.3. Polikristal Silisyum Güneş Pilleri

Güneş pillerindeki yüksek enerji sarfiyatını ve dolayısıyla üretim maliyetlerini azaltmak amacıyla tek bir kristal büyütmek yerine, geniş dikdörtgen kalıpları, yüksek saflıkta ergitilmiş silisyum döküp, katılaşma sürecini kontrol etmek yoluyla polikristal silisyum hücreleri üretilmeye başlanmıştır. Başka bir yöntemle de polikristal silisyum şeritler halinde elde edilmektedir. Bu yöntemlerle elde edilen polikristal güneş pillerinin maliyetleri bir miktar düşük olmakla beraber, verimlerinin ve düşük ısı şiddetlerindeki performanslarının monokristal güneş pillerine göre daha yetersiz olduğu görülmektedir. Mesela, 12 V akü şarjı için bir monokristal güneş pili modülünde tipik olarak 30 ile 36 adet güneş pili hücresi seri bağlanırken, aynı güç ve gerilimdeki bir polikristal hücre için 40 adet hücrenin seri bağlanması gerekmektedir. Böylece üretimde elde edilen maliyet indirimi, fazla hücre kullanma gereksinimi nedeniyle kaybedilmektedir.

Polikristal hücre tipine sahip olan panel endüstriyel ve ev tipi her tür kurulum için uygundur. Özellikle santrallerde polikristal paneller tercih edilmektedir. Polikristal hücrenin üzerine uygulanan asit ile yüzeyin ışık tutulma özelliği arttırılmıştır. Panelin ağır kar yüküne karşı dayanımı yüksektir.

3.2.4. Çok Kristalli Silisyum Güneş Pilleri

Üretim kolaylığı ve maliyetindeki düşüklük nedeniyle en çok kullanılan güneş pili türüdür. Buna karşın verimleri daha düşüktür. Bu pillerin verimleri %14 civarında olup, kümelenmiş silisyum taneciklerinin sınırlarındaki kayıplara bağlıdır. Yapısı mono kristalde olduğu gibi homojen tek kristal değildir. Kalıba dökülen silisyum eriyiğinin kare levhalar şeklinde kesilmesiyle elde edilir.

3.2.5. Ribbon Silisyum Güneş Pilleri

Bu piller, malzeme kaybının azaltılması amacıyla levha halinde silisyum tabakalarından yapılırlar. Çeşitli yöntemlerle (Efg, Dendritik ağ) elde edilen bu piller, halen geliştirme aşamasındadır. Verimleri laboratuvar şartlarında %13-14 arasındadır.

3.2.6. İnce Film Güneş Pilleri

Bu teknikte, absorban özelliği daha iyi olan maddeler kullanılarak daha az kalınlıkta (tek kristalin 1/500'ü kalınlığında) güneş pilleri yapılır. Bu piller cam, demir gibi yüzeylerin etrafının yarı iletken ince film malzemeyle kaplanmasıyla elde edilir. Yapıları çok kristalli ve üretimleri kolay olduğundan özellikle dış kaplamadan elektrik üretmek için kullanılabilir. Genellikle verimleri düşüktür (%10 civarında). En büyük avantajları yapısının basit olması ve mono ve polikristal hücreler gibi kalın olmamasıdır. Yapılan çalışmalar verimlerinde sağlanabilecek artış ve kullanım kolaylığı sayesinde tüm binaların cam yüzeylerinden elektrik elde edilmesini sağlayabileceğini göstermiş ve uygulamaları yapılmıştır. En yaygın kullanılan türleri; Amorf Silisyum, Kadmiyum Tellürid (CdTe) ve Bakır-İndiyum Diselenoid'dir. Tek dezavantajları ise kullanılan maddelerden indiyumun doğada az bulunmasıdır [27].

CdTe malzemesi kullanılarak üretilen ince film paneller normal kristal panellere göre daha düşük verimde olmasına rağmen, diğer ince film teknolojilerine göre daha yüksek verimde çalışmaktadır. İnce film paneller henüz kristal panellerin verim düzeylerine ulaşamamıştır. Bu nedenle aynı gücü elde edebilmek için daha geniş alanlara ihtiyaç vardır. İnce film panellerin gerilimleri yüksek olduğundan kullanılan bağlantı kutusu sayısı artmaktadır. Buna karşılık çok sıcak bölgelerde yapılan kurulumlarda kayıplar kristal panellere göre daha azdır [20].

3.2.6.1. Amorf Silisyum Güneş Pilleri

Amorf silisyum güneş pilleri (a-Si), ince film güneş pili teknolojisinin en önde gelen örneğidir. İlk yapılan a-Si piller Schottky bariyer yapısında iken, daha sonraları p-i-n yapıları geliştirilmiştir. P-i-n yapısındaki pillerin fabrikasyonu kalay oksitle kaplı iletken bir yüzeyin üzerine çöktürme yöntemi ile yapılır. Bu yüzeyin arkası daha sonra metalle kaplanır. Verimleri % 5-8 arasındadır. Ancak bu piller, kısa zamanda bozunuma uğrayarak çıkışları azalır.

Amorf silikon ince film PV panel, amorf veya mikro-amorf silikon ince film teknolojilerinin belirli bir çeşidi olup, kristal panellerden farklı elektriksel ve fiziksel özelliklere sahiptirler. Genel olarak ince film paneller dış ortam sıcaklığının çok yüksek olduğu bölgelerde kristal panellere göre daha iyi performans sergilediğinden tercih sebebidir. Buna karşılık belirli dezavantajları da bulunmaktadır.

Fiziksel olarak amorf silikon ince film paneller kristal panellere göre daha ağırdır. Elektriksel olarak ince film paneller yüksek gerilim, düşük akım verecek şekilde üretilmektedir. Bu durum kristal paneller ile ince film paneller arasında dizayn farkını oluşturan önemli bir parametredir. İnverterlerin DA giriş gerilimlerini seride bağlanabilecek olan panel sayısı etkilemektedir. İnce film panellerin gerilimleri yüksek olduğu için, seride daha az panel invertere giriş yapabilir. Bu nedenle panellerin harici bir bağlantı panosunda paralel bağlantısı yapılarak invertere taşınması gerekmektedir. Bağlantı kutularında hem pozitif hem de negatif taraftan gelen panel uçlarının DA sigortalar ile korunması gerekmektedir. Güvenlik için gerekli olan fakat, genel toplamda sistemin maliyetini arttıran bu kalemler dizayn aşamasında oldukça dikkatli irdelenmesi gereken kısımlardır. Ekonomik değerlendirme yapılırken sistemi bir bütün olarak değerlendirmek gerekir. Genel sistem içinde en pahalı ürün panel olsa da seçilecek panel tipine göre kullanılan diğer ürünlerin genel toplamı fizibilite çalışmalarını değiştirebilir [20].

3.2.6.2. Bakır İndiyum Diselenoid Güneş Pilleri

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı grup elementlerinin üçünün ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşik yarı iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir. Bakır indiyum ve selenyumdan yapılan üçlü bileşik yarı

iletkenle başlayan bu grup CIS güneş pilleri olarak anılır. CdTe güneş pillerine en yakın rakip olarak gözükmektedir. Bu gün CIS ince film güneş pillerinin çoğunluğu içerisinde Ga elementinin katılması ile daha yüksek verimlilikler elde edilir. Ancak yarı-iletkeni oluşturan element sayısı arttıkça gereken teknoloji ve malzemenin özelliklerinin denetimi de bir o kadar karmaşık duruma gelmektedir. Laboratuvardaki küçük alan pillerin verimliliği %18'e kadar ulaşırken, 900 cm² yüzey alana sahip modüllerin verimlilikleri ancak %15 dolayındadır. CIS pillerde uygulanan teknolojilerden iki tanesi öne çıkmıştır. Bunlardan birincisi, elementlerin eş zamanlı olarak vakumda buharlaştırılmasıdır. İkinci yöntem, herhangi bir yöntemle büyütülen bakır-indiyum ince film alaşımının uygun bir ortamda selenyumla tepkimeye sokulmasıdır (Selenizasyon). Her iki durumda da soğurucu olarak kullanılan CIS yarı-iletken, CdS ile bir araya getirilerek hetero-eklem diyot oluşturulur. CdS tabakaların üretilmesinde ortaya çıkan yöntem CdTe tabakalarında olduğu gibi burada da kimyasal banyo yöntemidir [26].

3.2.7. Diğer Yapılar

Bakır indiyum diselenoid maddesinden yapılan ve verimleri %13 civarında olan piller halen gelişme aşamasındadır ve daha kararlı çıkışa sahip olduğu için absorban özelliği yüksek, verimleri de %12 civarındadır. Bugüne kadar elde edilen en yüksek verime (%24) galyum arsenitten yapılan piller ulaşmıştır. Bu madde ile çeşitli türde piller elde edilebilmekle birlikte, pahalı olduğu için pillerin, güneş spektrumunun daha büyük bir bölümünden yararlanabilmesi amacı ile denenen bir yöntem ise, birden fazla ince film yapısının üst üste konmasıyla elde edilen çok eklemlili film yapılarıdır. Bunların dışında, güneş ışınımını yüksek verimli pillerin üzerine optik olarak yoğunlaştıran sistemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu tür sistemlerde güneşin hareketini izleyen düzeneklerin yanı sıra, güneş ışığını kıran (mercek) ya da yansıtan (ayna) eleman kullanılır.

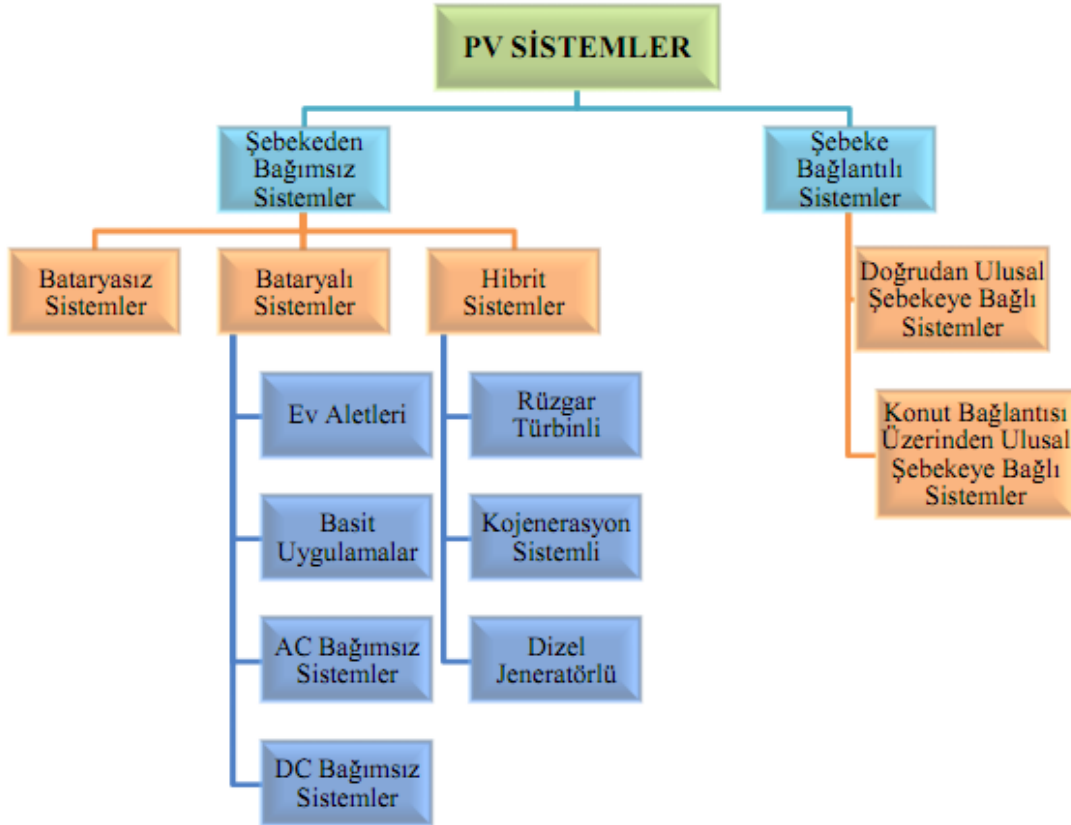
Tablo 3.1'de güneş pili çeşitlerinin verimleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.1. Güneş pili türleri ve verimleri

Güneş Pili Türü	Tipik Modül Verimliliği (%)	Laboratuvarda Ölçülen Maksimum Güneş Pili Verimliliği (%)
Tek kristal silisyum	12-15	16-18-24
Çok kristalli Silisyum	11-14	18.6
Amorf Silisyum	6-7	14.7
Kadmiyum Tellür	7-8	15.8
Bakır İndiyum Diselenoid	14.1	17.7

3.3. Fotovoltaik Sistem Türleri

Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üreten sistemlerdir ve bu sistemler genel olarak şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Şekil 3.3’de PV sistemlerin türlerine göre gruplandırılması görülmektedir.

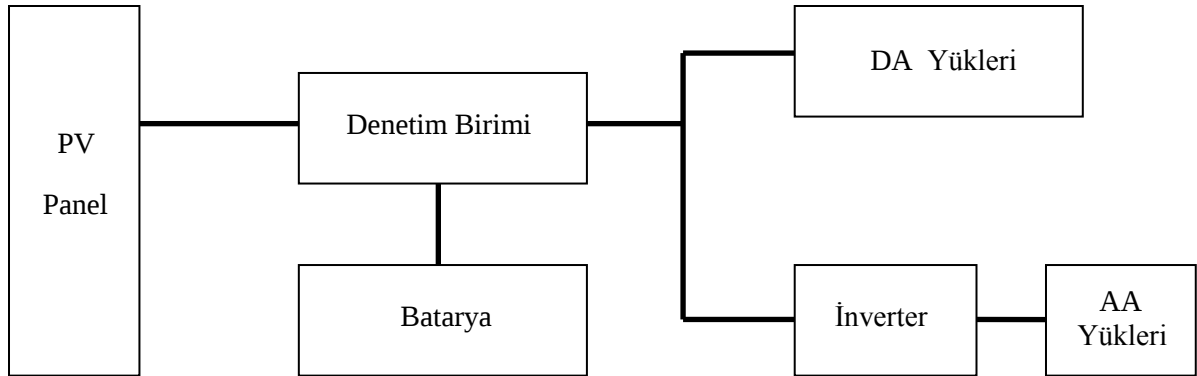


Şekil 3.3. Fotovoltaik sistem türleri [28]

3.3.1. Şebekeden Bağımsız Sistemler

Şebekeden bağımsız PV sistemler genellikle yerleşim yerlerinden uzak olan bölgelerde enerji taleplerini karşılayan sistemlerdir. Bu sistemlerin güç aralıkları birkaç watt'tan birkaç yüz kW'lara kadar değişebilmektedir ve çok çeşitli türlerde yüklerin enerji talebini karşılayabilmektedirler. Bu sistemler, kullanılan depo elemanına (akü) ve yükün çeşidine göre birkaç farklı şekilde kurulabilmektedirler. Şekil 3.4'de şebekeden bağımsız sistemlerin şematik gösterimi verilmiştir [29]. Alternatif akımın gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir inverter eklenerek akümülatördeki doğru gerilim alternatif şebeke gerilimine dönüştürülür. Değişen yük ihtiyacını karşılamak için bazen hibrit destekli olarak da kullanılırlar. Böylece daha güvenilir sistemler oluşturulur. Birçok ülkede bu şekilde kurulmuş PV sistemlerin, iletişim, denizcilik, gözetleme kuleleri, su pompaları, kara/deniz/hava yolları ile ilgili sinyaller, petrol ve gaz hatlarında korozyondan korunma vb. uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır [30].

Şebekeden bağımsız sistemler kurulurken yük tüketimleri ile ekonomik kriterler dikkate alınmalıdır. Burada yük tüketimleri ihtiyaçları karşılayacak seviyede olmalı, fakat israftan kaçınılmalıdır. Özellikle ısınma amaçlı enerji ihtiyaçları mümkünse başka kaynaklardan sağlanmalıdır. Güneş enerjisi su ısıtmada kullanılabilir. Klimalar ve elektrikli sobalar sistemde çok fazla enerji tükettiğinden minimum düzeyde kullanılmalı, mümkünse kullanılmamalıdır. Enerji talebini karşılamak çoğunlukla teknik açıdan mümkün olmasına karşın, sistemin boyutlarının büyümesi maliyetleri arttırmaktadır. Sistemde akü maliyetlerinin artması ve akülerin de ömürlerinin kısa olması nedeniyle ekonomik olarak olumsuzluklar içermektedir [20].



Şekil 3.4. Şebekeden bağımsız PV sistem şeması [22]

3.3.1.1. Doğrudan (Direkt) Bağlı Sistemler

Direkt bağlı sistemler bağımsız PV sistemlerin en basit çeşididir. Bu sistemde bir doğru akım yükü, PV panele veya dizisine eksi ve artı uçları karşılıklı gelecek şekilde direkt olarak bağlanır. Elektrik depolayıcı barındırmayan bu sistem, PV dizi tarafından üretilen gücün ve yükün aynı yerde olduğu durumlarda kullanılabilir. Bu sistemler Şekil 3.5’de görüldüğü gibi en çok tarımsal sulama ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 3.5. Fotovoltaik destekli ve depolu su pompalama sistemi [31]

3.3.1.2. Bataryalı (Akülü) Sistemler

Bu tür sistemlerde yeterli sayıda PV modül, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle geceleri kullanılmak üzere genellikle sistemde akü bulundurulur. PV modüller gün boyunca elektrik enerjisi üretir, bunu aküler depolar, yüke gerekli olan enerji akülerden alınır. Şekil 3.4’de akülü bir PV sistemin blok diyagramı verilmiştir.

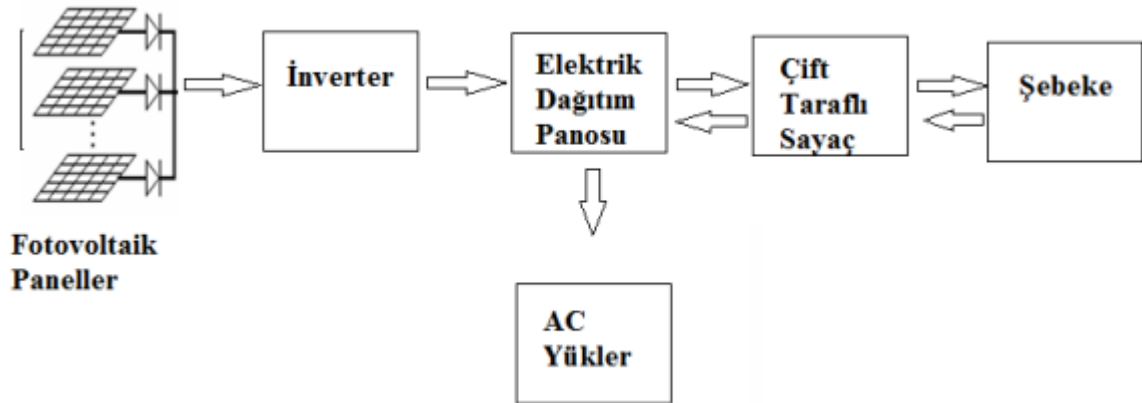
Akülü sistemlerde akü ile modül arasındaki denetim birimi güneş ışınım şiddetindeki değişimleri direkt olarak sisteme yansıtmadan sabite yakın bir gerilim ile sistemi çalıştırır. Ancak sisteme ulaştırılan akım ve gerilim değerleri maksimum güce karşılık gelen akım ve gerilim değerlerinin altında seyrederek. Söz konusu bu iki kombinasyona alternatif olarak ortaya çıkan MPPT’li sistemlerin, PV modüllerin her zaman maksimum güç üretecek noktada çalışmasını temin etmesinden dolayı çalışma performansları daha yüksektir [30].

3.3.2. Şebeke Bağlantılı Sistemler

Ürettiği enerjiyi şebekeye aktaran ve tüketicinin hem şebekeden hem de ürettiğinden faydalanarak ihtiyacını karşıladığı sistemlerdir. Özellikle enerji ihtiyacının fazla olduğu saatlerde devreye sokularak enerji sistemi rahatlatılmakta ve aynı zamanda enerji üretilen yerden fazla uzaklarda kullanılmadığı için kayıpların asgari seviyede kalması sağlanmış olmaktadır. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla elektrik çift yönlü sayaç kullanılarak şebekeye satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Bu sistemlerin en önemli parçası eviricidir. PV paneller DA üretirler. PV panellerde üretilen doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi ve şebekeye uyumlu olması gerekmektedir. Bunun için, DA/AA inverterler kullanılır [30]. Şekil 3.6'da şebeke bağlantılı PV sistem diyagramı görülmektedir.

Bu tip sistemlerde, eviricinin şebekeye aktardığı güç öncelikle yerel yükler tarafından tüketilmektedir. Artan güç ise elektrik şebekesine verilerek daha uzaklarda bulunan yükler tarafından tüketilmektedir. Genellikle 5 kW altındaki güçlerde tek fazlı şebeke bağlantılı inverterler, daha yüksek güçlerde ise 3 fazlı şebeke bağlantılı inverterler kullanılmaktadır [32].

Bu sistemlerin Dünyada kullanımı çok yaygındır. Japonya gibi bazı ülkeler bu sistemleri kurmaları için tüketicilerin tüm ilk yatırım maliyetlerine ve vergilerine çok büyük teşvikler koymuşlardır. Bu sistemde tüketici her durumda ihtiyacını karşılar ve fazla ürettiği elektriği satarak kar sağlar. Türkiye'de bu sistemler henüz çok fazla yaygınlaşmamıştır [27].



Şekil 3.6. Şebeke bağlantılı PV sistem şeması

Şebeke bağlantılı sistemler inverterlerin kontrolleri ile şebekenin karakteristiklerine uygun olarak çalışmaktadır. Ülkelerin şebekeleri için belirledikleri gerilim, frekans ve harmonik seviyeleri üretim santralının karakteristiğinden bağımsız olarak uyulması gereken temel parametrelerdir. Bu parametreler özellikle inverter firmaları tarafından dikkate alınarak uygun konfigürasyonda çalışma sınırları belirlenir. Ülke ayarları denilen bu ayarlar elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımından sorumlu olup, limitler devletin yetkili kuruluşları tarafından belirlenir. Gerilim ve frekansın ülke için izin verilen limitlere uygun olarak çalışması inverter üzerinden ayarlanır. Bu sayede daha güvenli ve standartlaşmış bir elektrik üretim sistemi kurulmuş olur.

İnverterler bu ayarları sayesinde şebeke gerilim ve frekans değerlerini çok kısa periyotlarla takip ederler. Bu limitlerin dışına çıkıldığında sistem kendisini otomatik olarak kapatır. Bu durumun en önemli nedeni enerji dağıtım sisteminde arıza veya bakım işlemleri sırasında görevli personelin zarar görmesini önlemektir. Mesela, güneşli bir günde şebeke arızasından veya bakım yapılması gerektiğinden bir bölgenin elektriğinin kesildiği varsayılırsa, PV sistemler elektrik üretmeye devam edecektir ve üretilen elektriği eğer tüketim yoksa şebekeye verme eğiliminde olacaktır. Bu durumda bakım ekiplerinin elektriğin kesildiğini düşünmelerine karşın, PV sistemin ürettiği gerilimden zarar göreceği düşünülmelidir. İnverterin çalışma prensibi açısından böyle bir duruma sebep vermesi mümkün değildir. Şebekenin olmadığını gören inverter mili saniyeler içinde çalışmayı durduracaktır.

Şebekeye bağlı sistemlere sahip olan tüketiciler şebeke olmadığı zamanlarda da elektriksiz kalmayacaklardır. Şebeke gittiğinde elektriğin kullanılmaya devam edilmesi isteniyorsa; şebekeden kendini izole edip üretime devam eden veya depolanan enerjiyi kullanabilen yedekleme ünite sistemleri kurulması gereklidir. Yedekleme sistemleri akü grupları ile depolama yapabilen, duruma göre dizel veya rüzgâr türbinleri ile takviye edilebilen sistemlerdir. Şebeke bağlantılı sistemler küçük evsel kurulumlardan santral tipi kurulumlara kadar çok geniş bir ölçekte değerlendirilmelidir [20].

3.3.3. Hibrit Sistemler

Hibrit sistemler enerji üretiminde farklı teknolojilerin bir arada kullanıldığı sistemlerdir. Hibrit sistemler tek bir enerji üretim kaynağına bağlı olmadığı için enerji

güvenliği yönünden daha etkindir. Bu sistemler genelde güneş, rüzgar, dizel generatör, hidroelektrik ve hidrojen enerjisi teknolojilerinden birkaçını kullanarak oluşturulmaktadır. Şebeke bağlantılı veya şebekeden ayrı olarak hibrit sistemler kurulabilmektedir. Özellikle PV sistemlerde kış aylarında üretilen enerjinin azalmasına karşılık hibrit sistemlerle enerji üretimini takviye etmek, sistem kurulum maliyetlerini oldukça düşürmektedir. PV ve dizel generatörün birlikte kullanıldığı hibrit şebekeden bağımsız sistemlerde yakıt tüketimleri oldukça düşmektedir. Buna ek olarak, kış ayları için PV sistem kurulu gücü büyük tutulmak zorunda olmadan ilk yatırım maliyetleri düşürülebilir.

Enerji depolama, güç elektroniği ve akü çözümleri ile rüzgar, güneş ve dizel generatör gibi farklı enerji üretim sistemlerinden üretilen enerjiyi depo edebilen ve yükleri kontrollü olarak besleyen ileri teknoloji bir hibrit enerji kontrol teknolojisi geliştirilmiştir. Modüler olarak üretilmekte olan bu üniteler şebeke bağlantılı sistemlerde, yenilenebilir enerjilerde oluşacak dengesiz üretimleri düzenlerken, şebekeden bağımsız sistemlerde tüm üretim kaynakları ve tüketim kaynaklarını kontrol eden merkez birimlerdir. Sistem modüler olduğundan, mesela 100 kVA'dan 20 MVA seviyesine kadar enerjinin depo edilmesi ve kontrolü sağlanabilmektedir [20].

4. GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMLERİ

Güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemlerinin tarihi 1970’li yıllara dayanır. Çeşitli ülkelerde oldukça fazla sayıda güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemleri vardır ve bu sistemlerin sayısı giderek artmaktadır. Mevcut pompaların büyük bir kısmı köy veya kasaba içme ve temizlik suyu temini için kullanılmaktadır. Tarımsal sulama alanında kullanılan güneş pompalarının sayısı daha az olmasına rağmen bu rakam hızlı bir artış göstermektedir.

Güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemlerinin diğer pompalama sistemlerine göre, bakım istemeden kendi başına çalışmaları, yakıt gerektirmemeleri, istenilen yere kolayca kurulabilmeleri ve uzun ömürlü olmaları gibi önemli üstünlükleri vardır. Bu sistemlerin kötü yanları ise, sistem kuruluş fiyatının yüksek oluşu ve pompalanan su miktarının güneşe bağlı oluşudur [33].

PV sistemlerden elde edilen enerjinin depolanması için yaygın olarak iki yöntem kullanılır. Bunlardan birincisi, yüksek yerde bulunan fiziki depoya su basmak ve suyun potansiyel enerjisinden faydalanarak daha düşük seviyeye su taşımaktır. İkincisi ise akülerin kullanılıp elde edilen enerjinin kimyasal olarak depo edilmesi ve istenilen herhangi bir anda kullanılmasını sağlayan depolama yöntemidir. Akülerin kullanımı, sistemi daha güvenilir, verimli, düzenli ve yararlı hale getirmesine rağmen sistem maliyetlerini oldukça artırmaktadır. Bu nedenle su deposunun olduğu PV sulama sistemi, akülü sistemlere göre çok daha ekonomik olabilmektedir [34]. Kullanım ömürlerinin kısa oluşu (3-5 yıl), sulama yapılacak alanda sıcaktan koruma güçlüğü, ilk yatırım maliyetini arttırma vb. sebeplerden dolayı PV sistemlerde mümkün olduğunca akülerden kaçınılır [35].

Bu bölümde güneş enerjili bir su pompalama sisteminde kullanılan elemanlar tanıtılacaktır.

4.1. Fotovoltaik Piller

PV piller güneş enerjisini doğrudan elektrik akımına dönüştürürler. PV modül üretiminde pil özellikleri verilirken, 1 kW/m²’lik güneş enerjisi ve 25 °C pil sıcaklığı standart ölçü olarak alınır. Maksimum enerjiyi toplayabilmek için PV modüllerin gün boyunca en çok güneş gören güney yönüne (kuzey yarım küresinde) bakmaları ve bulunan

enleme göre zamana bağılı olarak yatay ile belirli bir açıda olmaları gerekir. Genel olarak kış aylarında modüller, bulunan enlemden 15^0 daha dik olmalıdır. Yaz aylarında ise, güneşin daha dik oluşundan dolayı modüller ile yatay arasındaki açı, bulunan enlemden 15^0 aşağıda olmalıdır. Modül eğimini değiştirmek kolay olmadığından ve kışın daha çok güneş enerjisine ihtiyaç duyulduğundan, PV modüller genellikle kış aylarına göre ayarlanır [3].

PV hücrelerin seri ve paralel bağlanması ve dış etkenlere karşı korumalı bir çerçeve içine yerleştirilmesi ile PV paneller oluşturulur. PV paneller elektriksel ve mekaniksel dizayn koşullarına bağılı olarak farklı tiplerde üretilirler. Tasarım yapılırken sistem parçalarının uyumlu bir şekilde seçilmiş olması sistem verimini, güvenliğini ve ömrünü arttıracaktır.

Sıcaklığın ve ısıtım değerlerinin değişimine göre PV panellerin çıkış güçleri değişmektedir. Genel olarak panel sıcaklığı arttığı zaman çıkış gücü azalma gösterirken, sıcaklık düştükçe çıkış gücü artmaktadır. Bu durum panellerde kullanılan hücre tipine göre değişiklik göstermektedir. Kristal panel teknolojisine sahip monokristal ve polikristal hücrelerin sıcaklık arttıkça verimleri düşer, sıcaklık düştükçe verimleri artar. İnce film panel teknolojileri yüksek sıcaklıklarda çalışmaya daha uygun olup, değişimlerden daha az etkilenirler. PV panellerin uzun dönem dış ortamda çalışabilmesi için fiziksel dayanımı yüksek, su geçirmez ve korozyona uğramayacak şekilde üretilmeleri gerekmektedir [20].

4.2. Şarj Regülatörleri

Şarj regülatörleri, güneş enerjisinden elde edilen gerilimi istenilen gerilim değerine düşüren ürünlerdir. Genel olarak off-grid (akülü) sistemlerde kullanılan bu ürünlerin seçiminde en önemli kriter verim değerleridir. Şarj regülatörü; aküleri şarj eder ve yüksek deşarjdan korur. Böylece aşırı şarjdan dolayı, elektrolit kaynamasını ve aküde hasar meydana gelmesini engeller. Şarj regülatörü elektroniği çok hassastır ve istikrarlı bir PV sistemin çalışmasını garanti altına almak için çok önemlidir. Şarj regülatörünün bozulması akü değişimini gerektirebilir ve bakım maliyeti oldukça yüksektir. Şarj regülatörleri iki ana gruba ayrılmaktadır [36].

4.2.1. PWM Şarj Regülatörleri

Bağımsız solar sistemler için en uygun çözümdür. Bu teknik sayesinde akülerin maksimum verimde şarj olması sağlanırken, akü ömrünü kısaltan gazlaşmanın da önüne geçilmiş olur. Üzerindeki LCD ekran veya LED ler sayesinde şarj durumu gözlemlenebilir. Bu cihazla, 12 V ve 24 V'luk tüm akü veya akü grupları şarj edilebilir. PWM şarj regülatörlerinin yapısı karmaşıktır. Ancak, herhangi bir kırılabilir mekanik bağlantısı bulunmadığından dayanıklıdır. Şekil 4.1'de çeşitli PWM şarj regülatörleri görülmektedir.



Şekil 4.1. Çeşitli PWM şarj regülatörleri

4.2.2. MPPT Şarj Regülatörleri

Profesyonel şarj denetleyiciler MPPT tekniğine göre çalışır. MPPT şarj regülatörleri uygun gerilim aralıklarında %98 verimde çalışmaktadırlar. Bu cihaz şarj işlemi, akünün özelliklerine en uygun şekilde gerçekleştirdiği için, akülerin ömrünü %50 uzatmaktadır. Sistem ömrünün uzaması ise maliyeti düşürmektedir. Verimleri PWM'lere göre daha yüksek olup çeşitli örnekleri Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Çeşitli MPPT şarj regülatörleri

4.3. İnverterler

PV hücreler yapıları gereği doğru akım üretirler. Yaygın olarak kullanılmakta olan cihazlar ise alternatif akımla çalıştıklarından, üretilen doğru akımın alternatif akıma çevrilmesi gereklidir. DA üreten güneş enerjisi kaynaklarını AA ya çeviren, sistemin kalbi niteliğindeki ürünlere inverter denir. Sistemin ana kontrol merkezi olarak kabul edilen bu yapılar; PV panellerden gelen doğru akımı ve gerilimi, şebeke tarafında ise; şebeke gerilimini, frekansını ve şebekeye verilen alternatif akımı kontrol eden yapıdır.

İnverterler PV sistemler içerisinde en fazla kesintiye (arızaya) yol açan elemanlardır. Arızaların çoğu yüksek gerilimde anahtarlama sebebiyle oluşmaktadır. Bu nedenle, daha düşük gerilim seviyelerini anahtarlayan elemanlarla çalıştırılmak üzere tasarlanan çok seviyeli inverterler daha yüksek bir güvenilirlikle çalışacaktır. Günümüzde çok seviyeli inverterlerin içinde kullanılan anahtarlama elemanlarının kontrol sinyallerini üreten birçok elektronik devre mevcuttur. Bu elektronik devrelerin PV sistemlerde kullanılabilmesi için sağlamaları gereken bazı koşullar vardır. Birincisi, PWM yöntemini kullanması gerekmektedir. Böylece sinüs işaretine daha çok yaklaşılabilir. Bunun yanı sıra, şebekeye bağlı olarak çalışacak bir sistem için şebekedeki elektrik sinyali ile PV sistemden üretilen sinyal arasındaki faz kaymasını engelleyecek fazladan donanıma sahip olmalıdır. Ayrıca, bilgisayarla haberleşme için bir arabirime sahip olması ve böylece kullanıcı etkileşiminin bulunması önemlidir. Şekil 4.3’de çeşitli inverter örnekleri gösterilmiştir [36].

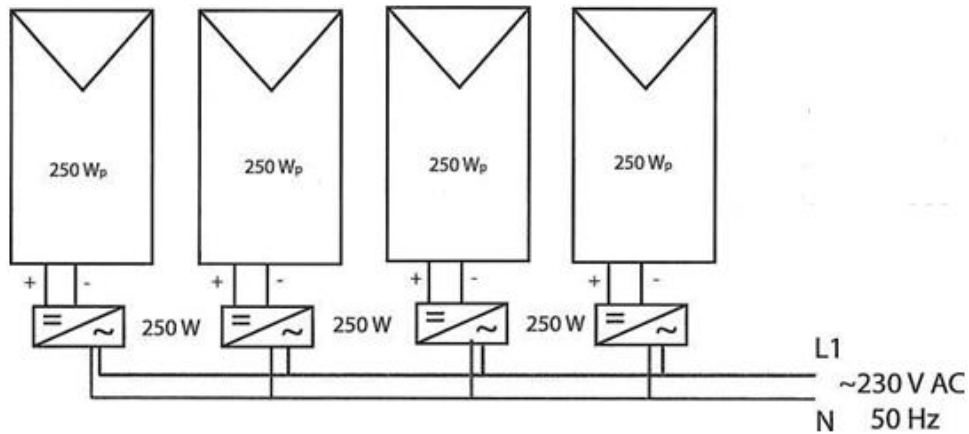
Piyasada enerji ihtiyacına ve kullanım tipine göre çok çeşitli inverterler üretilmiştir. Genel olarak şebeke bağlantılı inverterler mikro, dizi ve merkezi tip olmak üzere üç grupta incelenebilir. Şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılan inverterler şebeke bağlantılı inverterlerden farklı olarak, akülerde depolanmış doğru akımı alternatif akıma çevirmek için kullanılmaktadır. Bunun dışında mikro şebeke oluşturmak için geliştirilmiş kompleks inverterler de bulunmaktadır.



Şekil 4.3. Farklı firmaların ürettiği inverter çeşitleri

4.3.1. Mikro İnverter

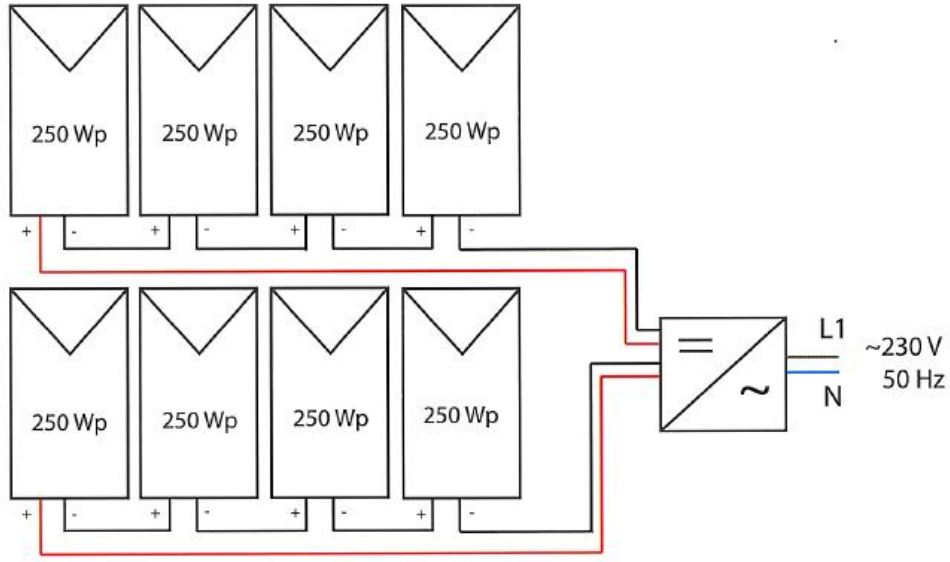
Piyasada çok fazla örneği bulunmasa da farklı firmalar tarafından geliştirilmiş mikro inverterler bulunmaktadır. Bir veya iki panel bağlantısına izin veren 200 W ile 400 W arasında güç çıkışı verebilen inverter tipidir. Her panele bir inverter bağlandığı için gölgelenme durumlarında sistem verimi düşmez. Panelde veya inverterde oluşabilecek bir arıza durumunda ise ilgili kısım devre dışı kalacak, fakat sistemin geri kalanı çalışmaya devam edecektir. Kablolama yoğunluklu olarak DA değil AA kısmında yapılmaktadır. Buna karşın mikro inverterler düşük güçlü sistem kurulumları için uygundur. Şekil 4.4’de 1 kWp ‘lik mikro inverter uygulaması gösterilmektedir. Mikro inverterlerin en önemli özelliği kurulum yapılırken her bir panel için bir inverter kullanılarak AA hattı oluşturmaktır. Sistem çalışırken gölge oluşturacak bir etken oluşursa bu durumdan yalnız gölgeye maruz kalan panel etkilenmekte ve genel sistem verimi düşmemektedir [20].



Şekil 4.4. Mikro inverter uygulaması

4.3.2. Dizi İnverter

Dizi inverterler DA giriş gerilimlerinin müsaade ettiği voltaj değerine kadar panellerin seri bağlandığı ve her bir PV dizinin doğrudan invertere bağlantısı ile oluşturulan sistemlerde kullanılır. Panellerin kendi aralarında seri bağlantısı yapıldıktan sonra, en sondaki ve en baştaki panelden DA kablosu ile akım dizi invertere taşınır. İnverterlerin büyüklüğüne göre paralel olarak girilebilecek seri panellerin sayısı değişmektedir. Şekil 4.5’de 2kWp’lık, dizi inverterlerle oluşturulmuş bir sistemin tek hat şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Dizi inverter tek hat şeması

Seri bağlanan panellerden sonra invertere girmeden önce talebe göre DA şalter ve parafudr tedarik edilebilir. Genel olarak inverterlerin kendi DA ayırıcıları olmakla birlikte yüksek gerilime karşı korumalı olarak üretilen inverterler de bulunmaktadır.

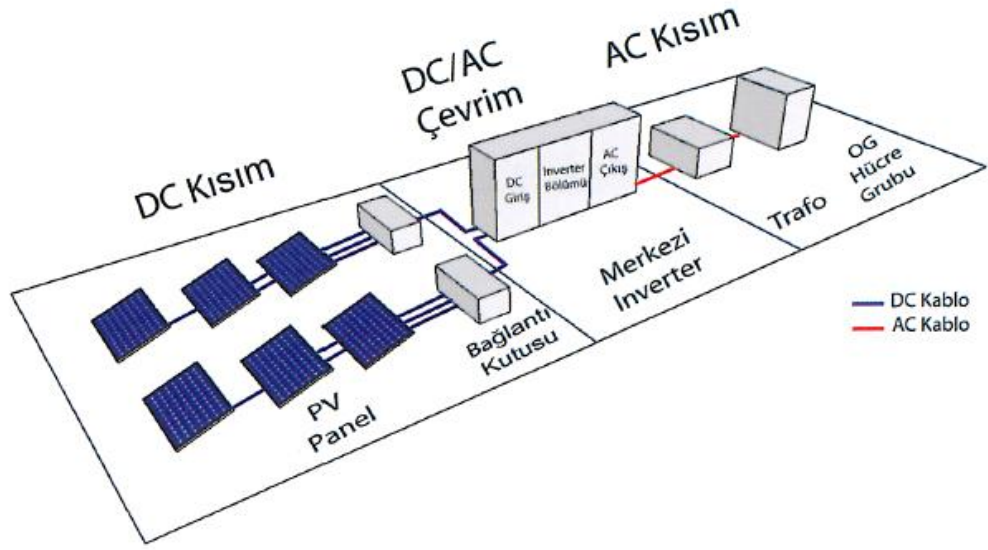
Dizi inverterlerin trafolu ve trafosuz olarak üretilen tipleri mevcuttur. Trafolu inverterlerin yanında yeni nesil yüksek frekans trafolu olanlar da üretime alınmış olup, verimleri biraz daha yüksektir ve daha hafiftirler. Her ne kadar trafolu ve yüksek frekans trafolu inverterler piyasada hala bulunsa da, trafosuz inverter teknolojisi daha yoğun olarak kullanılmaktadır. Trafosuz inverterlerin yüksek verimleri bu durumu etkileyen en önemli faktördür.

İnverterler elektrik şebekesine bağlandığından gerekli olan koruma ve güvenlik ekipmanları yönünden standartlara uygun olarak dizayn edilmeleri gerekmektedir. Bu standartlar çerçevesinde en önemli kısım inverterlerin adalanmaya izin vermeyecek yapıda olmalarını sağlamaktır. Güneş panellerinin yeterli düzeyde elektrik üretimini sağlayacağı bir günde şebekenin gitmesi durumunda, inverter kendini kapatmalı ve paneller elektrik üretse dahi şebekeye elektrik vermemelidir. Yani şebeke bağlantılı bir sistem sürekli olarak şebekeyi kontrol etmeli ve şebekeyle uyumlu olarak devreye girmeli veya devreden çıkmalıdır. Şebekede bir bakım çalışması olduğu zaman PV paneller enerji üretse dahi, inverter şebekeye elektrik vermeyecek ve elektrik hatlarında bakım çalışması yapan personel korunmuş olacaktır. Dünya genelinde kabul görmüş bu standart, şebeke bağlantılı inverterlerin en temel güvenlik önlemidir [20].

4.3.3. Merkezi İnverter

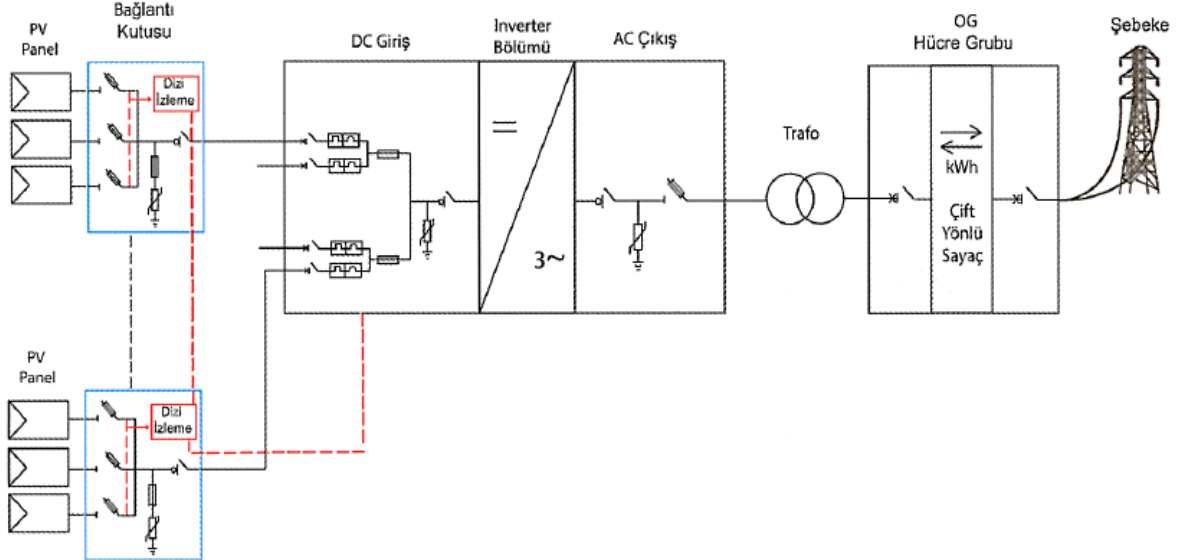
Özellikle büyük ölçekli santral ve büyük endüstriyel tesis uygulamaları için geliştirilmiş inverter teknolojisidir. Merkezi inverterler tüm sistemi tek bir noktadan yönetmektedir. Merkezi inverter teknolojisi diğer inverter tiplerinden farklı olarak, panellerin inverter öncesinde bağlantı kutularında birleştirildikten sonra invertere bağlantının yapıldığı sistemlerdir. Merkezi inverterler diğer inverter tiplerine göre daha büyük panel gruplarını yönetebilmektedir. Santral kurulumlarında üretilen enerjinin orta gerilim hattına veya yüksek gerilim hattına bağlantısının yapılması, üretilen enerjinin verimli taşınabilmesi için bir zorunluluktur. Merkezi inverterler orta gerilim iletim hatlarına bağlantı kolaylığı yönünden oldukça avantajlı bir çözümdür. Şekil 4.6'da merkezi inverter ile bir fotovoltaik tesisin tek hat şebeke bağlantısı gösterilmiştir.

Paneller inverterin maksimum gerilim seviyesi ve MPP çalışma aralığı dikkate alınarak seri olarak bağlanırlar. Sistemin genelinde sabit olmak üzere oluşturulan bu seri bağlantıların sayısı ve inverterin gücü dikkate alınarak paralel hatlar oluşturulur. Oluşturulan paralel hatlar bağlantı kutularında birleştirilir. Bağlantı kutuları paralel gelen panelleri birleştirir, panellerin korumalarını alır ve uzaktan izleme için gerekli sensör ve iletişim altyapılarını içerir. DA kabloları ile paneller bağlantı kutularında birleştirildikten sonra daha kalın kesitli DA kabloları ile merkezi invertere taşınırlar. Hata durumlarında bağlantı kutuları lokal olarak panellerin devre dışı bırakılma ve bakım yapılması için de koruma ve kumanda fonksiyonlarını içerirler [20].



Şekil 4.6. Merkezi inverter ve şebeke bağlantısı

İnverterin gücüne göre sahada oluşturulacak paralel hatlar belirlenir ve paralel hat sayısına göre de bağlantı kutusu sayısı belirlenir. Merkezi inverter tarafında ise bağlantı kutularından gelen DA kablolarının bağlanacağı D.a bağlantı noktalarının sayısı belirlenir. Merkezi inverterlerin panolu tip üretilmesinden dolayı DA bağlantı noktası sayısına bağlı olarak genişletilebilme esnekliği vardır.



Şekil 4.7. Merkezi inverter ile kurulmuş bir santralin tek hat şeması

Merkezi inverter blokları raylı modüler yapıda olup çok hızlı servis ve bakım işlemlerine olanak sağlamaktadır. Merkezi inverterde DA'nın AA'ya çevrilmesi bu bölümde gerçekleşir. İnverter blokları farklı güçlerde üretilmektedir. Örnek olarak 100 kW, 250 kW ve 315 kW'lık inverter blokları bulunmaktadır. Örneğin 500 kW'lık bir merkezi inverter iki adet 250 kW'lık bloktan oluşmakta ve tek bir pano içinde sunulmaktadır. Şekil 4.7'de merkezi inverter ile kurulmuş bir sistemin tek hat şeması gösterilmiştir.

İnverter bloğundan sonra filtreler kullanılarak şebeke standartlarına uyacak kalitede enerji üretimi için filtreleme işlemleri gerçekleştirilir. Filtreleme işleminden sonra AA tarafında gerekli korumalar alınarak enerji AA çıkış barasına gelir. Merkezi inverterler alçak gerilim tek faz ve üç faz sistemlerindeki gerilim seviyelerinden farklı gerilim seviyelerine sahiptir. Bu nedenle merkezi inverterlerden sonra trafo kullanılarak istenilen gerilim seviyesine çevrimin yapılması gerekmektedir. Sistemin OG şebekesine bağlanması için bölgenin gerilim seviyesine göre 400 V/34.5 kV gerilim yükseltici trafoların kullanılması gerekmektedir. AG seviyesi merkezi inverterin özelliklerine göre değişmektedir. Bu nedenle merkezi inverterler kullanılan trafolar genel olarak özel üretim olmaktadır. Bununla birlikte standart bir dağıtım trafosuna göre merkezi inverterler için tasarlanan trafoların alçak gerilim kısa devre dayanımları daha yüksektir.

Trafodan sonra OG koruma hücreleri ile sistem güvenli bir şekilde şebekeye bağlanmış olur. Merkezi inverterler tek MPP devresi ile üretilmektedir. Genel olarak PV santrallerde tüm gölgeleme hesapları gölgelemeye izin vermeyecek şekilde düzenlendiğinden ve tüm paneller aynı yöne bakacağı için tek MPP yeterlidir. Merkezi inverterlerin en önemli özelliği verimlerinin yüksek olması ve büyük sistemler için daha az işçilik gerektirmesidir.

Sonuç olarak inverter PV sistemin tümünü kontrol eden en önemli birimdir. Bu birimin uzun süre sağlıklı ve verimli çalışması için doğru inverter seçimi önemlidir [20].

4.4. Aküler

Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depo eden, istenildiğinde bunu elektrik enerjisi olarak veren cihazlardır. Güneş enerjisi ile üretilen enerjinin depolanmasında en çok kullanılan akü çeşitleri aşağıda sıralanmıştır.

4.4.1. OPzS Aküler

Az bakımlı tüplü sabit tesis (OPzS) akümülatörleri, sistemlere kesintisiz enerji kaynağı olarak bağlanmak üzere üretilmiş sabit tesis aküleridir. Kullanıcı için yüzdürme gerilimiyle çalışma sistemiyle minimum bakım gerektirir ve düşük enerji maliyetlidir. Temel özelliği olan düşük antimonlu kurşun alaşımı, kendi kendine deşarjını azaltarak su kaybı oranını büyük ölçüde düşürür. Aktif maddeyi tutuşu ve şarj-deşarj kabiliyeti aynı seviyededir.

4.4.2. Jel Aküler

Jel akü modelleri; soğuk ortam sıcaklıklarında daha uzun kullanım ömrü ve daha iyi performans sağlayan silikon jel teknolojisi ile üretilmektedir. Jel akü modelleri özel seperator ile donatılmış olup, tam kapalı, bakım gerektirmeyen akülerdir. Jel Akülerin derin deşarj döngüsü diğer aküler ile kıyaslandığında %50 daha fazladır. Yüksek güvenilirlik ve kaliteye sahiptir.

4.4.3. Kuru Aküler

Kuru aküler, TP ve TPD (yüksek akım kapasiteli) modelleriyle, performansı ve uygun fiyatlarıyla yaygın bir kullanıma sahiptir. Tamamıyla kapalı, bakımsız kuru tip akülerdir. Çok geniş bir ısı yelpazesinde çalışabilir. Emniyet valfleriyle teçhiz edilmiştir. Uzun ömürlü, sağlam ve uygun dizayn yapısına sahiptir. Çok döngülü çalışma imkânı sağlar. Yatay veya dikey olarak herhangi bir pozisyonda çalıştırılabilir. Ters çevrilse bile asit sızdırmaz. Şekil 4.8'de akü çeşitleri gösterilmiştir [36].



Şekil 4.8. Akü çeşitleri

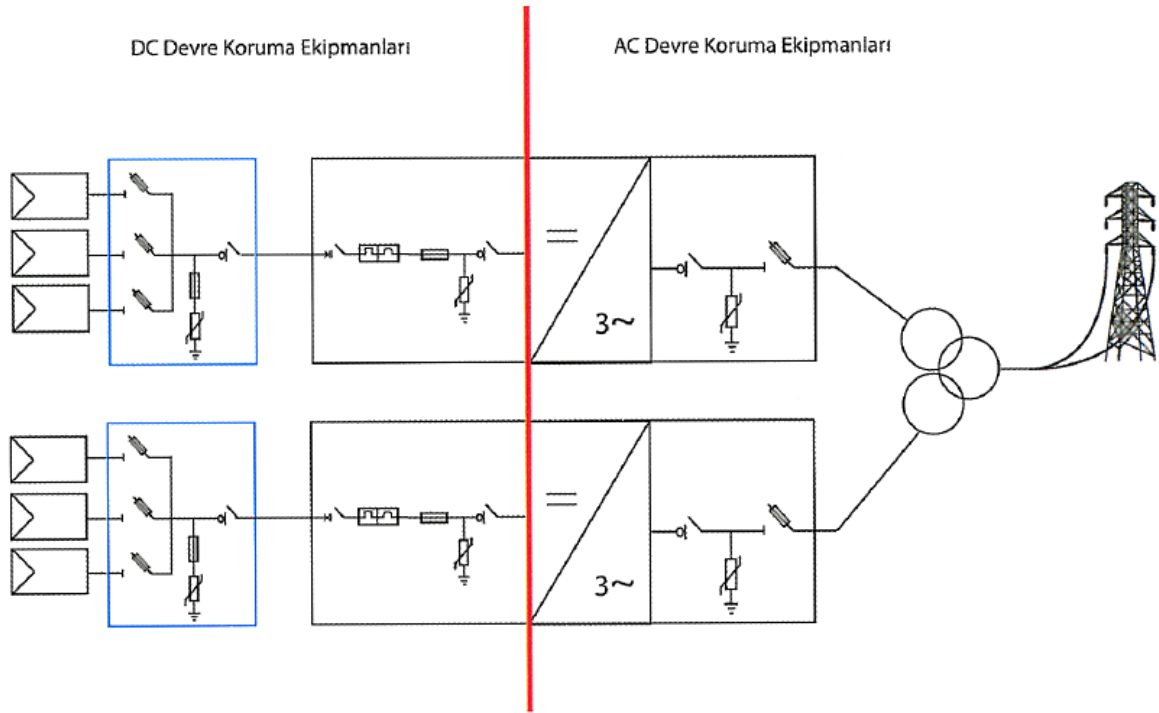
4.5. Su Deposu

Güneş enerjisi ile çalışan tarımsal sulama sistemlerinde su deposu genellikle suyu depolamak ve güneş olmadığı zamanlarda kullanmak için gereklidir. Bu nedenle, enerjiyi saklamak için batarya yerine su deposu kullanılır. Su pompalama için gerekli olan hidrolik enerji, pompalanacak olan yükseklik ile doğru orantılı olduğundan su deposunun yerden yüksekliği mümkün olduğu kadar az ve depo çapının yüksekliğine oranı büyük olmalıdır.

4.6. Sistemi Koruyan Elektriksel Ekipmanlar

PV sistemlerin uzun süre güvenli çalışabilmesi, can ve mal kayıplarının önlenmesi için koruma ekipmanlarının kullanılması gerekmektedir. PV sistemler hem DA hem de AA devresinden oluştuğu için her iki devrenin de korunması gerekmektedir. Bu kapsamda akım ve gerilim karakteristiklerine göre birçok ürün geliştirilmiştir. Doğru koruma ekipmanlarının seçimi ve boyutlandırılması elektrik mühendisliğinin en önemli konularından biridir.

Şekil 4.9'da turuncu renk ile gösterilmiş kısımda DA devre korumaları gösterilirken, inverterden sonra yeşil renk ile AA devre koruma elemanları gösterilmiştir. Eğer dizi inverter DA devre koruma ekipmanlarını içinde bulundurmuyor ise, hem DA hem de AA devresi için kullanılacak koruma elemanlarının sahada IP sınıfı yüksek bir bağlantı kutusu ile kurulumu yapılmış olmalıdır. Merkezi inverterlerde bağlantı kutularında DA devre koruma elemanlarının tamamı yine IP sınıfı dış ortamda kullanılmaya uygun bir bağlantı kutusu içinde korunmaktadır. Selektif koruma mantığına göre inverter DA girişlerinde de DA koruma elemanları kullanılmaktadır. Alçak gerilim AA devre koruma elemanları ise merkezi inverterin içinde bulunmaktadır.



Şekil 4.9. PV sistemde DA ve AA devre koruma ekipmanları

4.6.1. DA Sigortası

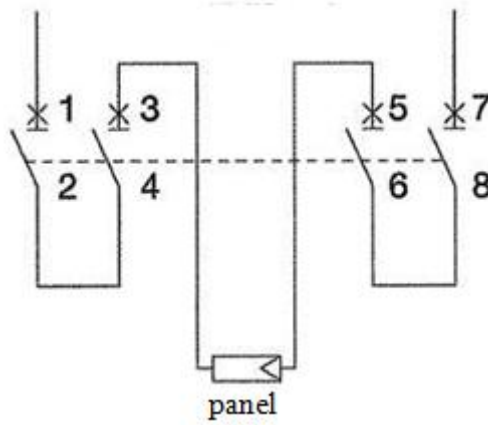
Hata anında dizileri korumak için panellerden sonra kullanılırlar. Panellerin hem pozitif hem de negatif uçlarında ayrı ayrı kullanılmaları gerekmektedir. Boyutları küçük ve ekonomik bir koruma şeklidir. Şekil 4.10'da PV sistemlere uygun buşonlu tip hızlı DA sigortası gösterilmektedir. DA sigortası tek bir hata akımını korumaktadır. Sigorta tutucuları kartuşlu olduğundan sigorta kolaylıkla değiştirilebilir.



Şekil 4.10. DA buşonlu tip sigorta

4.6.2. DA Otomatik Sigorta

DA devresinde hata anında daha gelişmiş bir koruma tipi olarak otomatik sigorta seçilebilir. Yine panellerden sonra kullanılan bu koruma elemanı ekonomik yönden DA sigortalarından daha pahalıdır. Buna karşın bu sigortalar ile hem DA koruma hem de panel gruplarının açılıp kapatılması anahtar sayesinde yapılabilmektedir. Ayrıca DA otomatik sigortalar DA sigortaları gibi tek seferlik değil birden çok açma kapama işlemi için uygundur. Şekil 4.11’de DA otomatik sigortanın devre şekli gösterilmektedir.



Şekil 4.11. DA otomatik sigorta

4.6.3. DA Anahtarlı Ayırıcılar

Bağlantı kutularında kullanılan anahtarlı ayırıcılar PV panellerde meydana gelen hataları önlemek veya daha sıklıkla servis esnasında panelleri devreden çıkarmak için kullanılmaktadır. Şekil 4.12, 6 adet girişe sahip olan bağlantı kutusunda DA sigortaları, DA parafudru ve DA anahtarlı ayırıcıyı göstermektedir.

4.6.6. AA Otomatik Sigorta

AA devrede aşırı yük ve kısa devre akımlarını önlemek için otomatik sigorta kullanılır. Bu otomatik sigorta ile hem AA koruma hem de inverterin açılıp kapatılması anahtar sayesinde yapılabilmektedir. Ayrıca AA otomatik sigortalar AA sigortalar gibi tek seferlik değil birden çok açma kapama işlemi için uygundur.

4.6.7. AA Bıçaklı Tip Sigorta

AA devrelerinde kullanılan bıçaklı tip sigortalar dizi inverter ile oluşturulmuş sistemlerde inverter gruplarının toplandığı AA bağlantı panolarında kullanılır. Bu tip sigortalar anahtarlı otomatik sigortaların kullanılamayacağı büyük akımlarda kullanılırlar. Bıçaklı sigortalar sigorta anahtarlı ayırıcılar ile birlikte kullanılmaktadır. Kısa devre akımlarını önlemekte kullanılan bu yapılar otomatik sigortalara göre daha ekonomik bir çözümdür. Buna karşın tek kullanımlık olmaları ve açma işleminin elle yapılması durumunda arkların oluşması gibi zayıf yönleri de bulunmaktadır.

4.6.8. Artık Akım Anahtarı

Artık akım anahtarları insanları sistemde oluşabilecek hata akımlarına ve yangına karşı korumak için kullanılmaktadır. B tipi artık akım koruma cihazı AA tarafta kullanılmakta olup AA devre ile DA devrenin elektriksel olarak birbirlerinden ayrılmadığı durumlar için yapılır. Artık akım anahtarı izolasyon trafosunun kullanılması durumunu ortadan kaldırdığından hem PV sistemin verimini artırır, hem de ekonomik olarak kazanç sağlar. PV sistemlerde hem tek fazlı hem de üç fazlı sistemler için geliştirilmiş modelleri olup kaçak akım ve yangın riskine karşı sistemi korurlar [20].

4.6.9. Şebeke Besleme İzleme Rölesi

Üç fazlı şebeke besleyen kaynakların izlenmesi için geliştirilmiş bir röledir. PV sistemler, rüzgar türbinleri ve termal güç istasyonları gibi dağıtık enerji üretim birimleri şebekeye bağlanırken bu röle kullanılabilir. Bu dağıtık enerji üretim birimlerinin bağlı olduğu şebekenin herhangi bir nedenden dolayı (mesela bakım nedeniyle) kesilmesi

durumu röle tarafından algılanır. Bunun üzerine röle dağıtık enerji üretim birimini şebekeden ayırır ve alarm sinyali vererek sistemi kontrol altında tutar. Bu özelliği ile yönetmeliklerde belirtilen adalanmaya izin vermeyen sistemlerin oluşturulmasında kullanılabilecek bir röle tipidir. PV inverterler dünya standardında adalanmaya izin vermeyecek yapıda üretilmektedirler. Bu nedenle PV sistemlerde benzer bir röle dahili olarak inverterin içinde bulunmaktadır.

Şebeke besleme izleme rölesi aşırı ve düşük gerilimi algılar. Ayrıca şebeke frekansındaki herhangi bir değişiklik yine röle tarafından algılanmaktadır. Ayrıca vektör kayması konusunda rölede ayarlama da yapılabilir.

4.7. Kablolar ve Elektriksel Bağlantı Elemanları

Yenilenebilir enerji alanında kullanılmak üzere geliştirilmiş özel tip kablolar kullanım alanına göre dış ortam etkilerinden en az seviyede etkilenecek şekilde üretilmektedirler. Bu kapsamda güneş enerjisi için geliştirilen kablolar değişen hava koşulları (yüksek sıcaklık değişimleri, ultraviyole ışınlar, rüzgar, kum, yağmur, kar) ve bazen zorlu mekanik koşullara dayanacak tipte üretilirler. Güneş enerjisi için geliştirilen kablolar dünyanın birçok yerinde farklı dış ortam koşullarına dayanacak şekilde geliştirilmişlerdir. Bu standartlar ile geliştirilen güneş enerjisi kabloları uygulamalarda güvenli bir şekilde kullanılabilirler.

4.7.1. Güç Kabloları

Hem teknik hem de ekonomik olarak doğru kablo seçimi sistemin genelini etkilediğinden gerekli hesapların verilen sınırlar içinde kalmasını sağlamak oldukça önemlidir. Sistemin geneli düşünüldüğünde hem DA hem de AA tarafında yapılan hesaplarda kablo kayıplarının her iki tarafta da %1 'in altında olması hedeflenmelidir. Kablo hesapları iki kısımda yapılır. Bunlar paneller ile inverter arasındaki DA kısmı ve inverter ile enerji sayacı arasındaki A.a kısmıdır. Kayıpların istenen sınırlar içinde tutulabilmesi için kablo kesiti ve uzunluğunun doğru hesaplanması gerekmektedir.

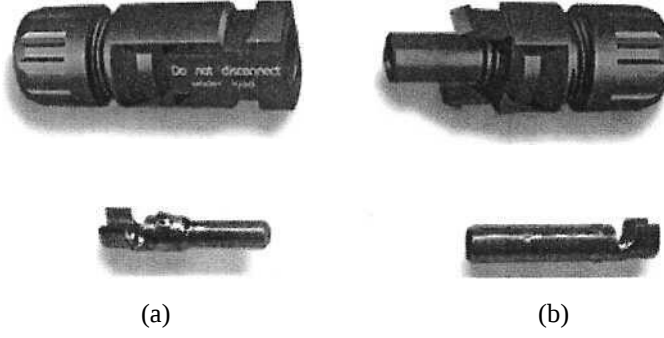
4.7.2. İletişim Kabloları

PV güneş enerjisi sistemlerinde gücün iletiminde kullanılan kablolar yanında veri taşıyan birçok kablo da bulunmaktadır. Kurulan PV güneş enerjisi tesisinin üretim performansını değerlendirmek, sistemin güvenilir bir şekilde çalıştığını kontrol etmek için kullanılan izleme sisteminin kabloları yine dış ortam koşullarına dayanıklı olmalıdır. İnverter üzerinden analog olarak alınan elektriksel sinyaller, güneş ışınım sensöründen ve sayaçlardan gelen veriler A/D dönüştürücüler ile uzaktan okunabilir hale getirilirler. Bu dönüştürücülerden geçen veriler, sonrasında bir modem üzerinden internete iletilmektedir. Bu veriler de uzaktan izleme sistemi veya internet sayfası aracılığı ile görüntülenebilmektedir.

Güneş enerjisi santral kurulumlarında ise data, sensör, telefon kabloları ile hırsızlığa karşı güvenlik çitleri için sensörler ve video kamera ile gözetleme sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

4.7.3. DA Kablosu Bağlantı Soketleri

PV paneller pozitif ve negatif olmak üzere iki adet kablo ile üretilmektedir. Kablo uçları ise pozitif ve negatif kısımları farklı tipte bağlantı soketleri ile sunulmaktadır. Sahada paneller birbirleri ile seri bağlantıları tamamlandıktan sonra en baştaki ve en sondaki panellerin uçları açıkta kalmaktadır. Bu uçların invertere taşınması için ilave DA kablolar ve bu kabloların uçlarına doğru bağlantı soketleri yapılmalıdır. Şekil 4.13’de bağlantı soketleri gösterilmiştir. Bağlantı soketleri PV sistemin bağlantılarının uzun yıllar güvenli ve dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Özellikle su ve benzeri dış etkilere karşı bağlantıları korur. Bu özel bağlantı soketleri özel sıkma pensesi ile kullanılmaktadır. Bu sıkma pensesi soketlerle birlikte gelen metal kısımların çıplak DA kablo uçları ile düzgün birleştirilebilmesi için kullanılır. Kablo kalınlıklarına göre bağlantı soketlerinin metal kısımları ve büzülebilir kelepçe kısımları değişkenlik göstermektedir. Metal kısımların pense ile sıkıldıktan sonra hem erkek hem de dişi plastik kısımlarda bulunan vidalı kısımlar anahtar ile sıkılır. Bu sayede DA kablo uçları su ve tozun girmesini önleyecek şekilde koruma altına alınmış olur [20].



Şekil 4.13. DA bağlantı soketleri a) Dişi tip soket (negatif) b) Erkek tip soket (pozitif)

4.8. Enerjinin İzlenmesi ve Sayaçlar

Enerjinin izlenebilmesi ve kayıt altında tutulması çok önemli bir çalışmadır. Enerjinin izlenmesi ve kontrol edilmesi her yönden sistem performansını pozitif yönde etkileyen bir çalışmadır. PV sistem kurulumunun yapıldığı ilk günden itibaren 25 yıl içinde yüksek performanslı çalıştırılabilmesi için izlenmesi gerekmektedir. Sistemi oluşturan parçaların verimleri ve yıllar içindeki performanslarındaki değişimlerin üreticiler tarafından verilen limitler içinde olması gerekir.

İkinci önemli husus, enerji satışı veya mahsuplaşma koşulları için dağıtım şirketi ile yapılan anlaşmalarda üretilen ve tüketilen enerjinin kesin olarak bilinmesi gerekliliğidir. Bu kapsamda yenilenebilir enerji ile ilişkili yasa ve yönetmeliklerde verilen şartların sağlanmış olması gerekmektedir.

Sistemde enerjinin izlenmesi inverter üzerinden okuma şeklinde olabileceği gibi uzaktan internet aracılığı ile de kontrol edilebilir. İnverterler üzerinden birçok veri okunabilir. Bu verilerin bir kısmı şunlardır:

- Panellerden gelen DA gerilimi
- Şebeke AA gerilimi
- Toplam kWh cinsinden elektrik enerjisi üretimi
- Toplam çalışma süresi
- Saatlik enerji üretimi
- Aylık enerji üretimi
- Yıllık enerji üretimi
- Hata mesajları
- İnverter çalışma sıcaklığı
- Tarih ve saat bilgileri

Bu değerlerin hepsi inverter hafızasında tutularak bilgisayara taşınabildiği gibi internet aracılığı ile daha uzak mesafelere bilgi alışverişi de sağlanabilir. Sahada kullanılan sensörler aracılığı ile alınan ışınım, sıcaklık, rüzgar hızı gibi veriler de özel yazılımlar ile internet ortamında ve/veya özel server sistemlerinde kayıt altına alınıp incelenabilmektedir. şekil 4.14’de güneş ışınımı ölçümünde kullanılan sensör ve rüzgar hızı ölçen sensör gösterilmektedir.

Sahada izlemenin yapılacağı birçok nokta vardır. Bunlar; bağlantı kutuları, inverterler, sayaçlar, ışınım, rüzgar ve sıcaklık sensörleridir. Bu birimlerden gelen verilerin ethernet ve internet ortamına aktarılmasını sağlayan cihazlar bulunmaktadır.

Uzaktan izleme adaptörleri sistemin büyüklüğüne, izlenmek istenen büyüklüklerin çeşidine ve sayısına göre değişiklik göstermektedir. İletişim altyapısı son müşteriye taleplerine veya sahada uygun olan iletişim altyapısına göre sečilmektedir. İnternetin olmadığı bazı bölgelerde uzaktan izleme adaptörlerine GPS anten ve verici takılarak veri iletişimi sağlanabilmektedir.

Sahadan toplanan verilerin uzaktan izleme adaptörleri ile internete taşınmasından sonra bu verilerin depolandığı ve izlendiği uzaktan izleme sistemlerine ulaşılır. Kurulu sistemler hakkında çok daha fazla veriyi değerlendirmek, hata durumlarında erken müdahale edebilmek ve performans arttırıcı önlemler alabilmek için uzaktan izleme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu izleme sistemlerinde güneş sistemine dair tüm bilgiler uzaktan izlenebilir. Güneş enerjisi sistemleri için geliştirilmiş uzaktan izleme diyagramları şekil 4.15’de verilmiştir.

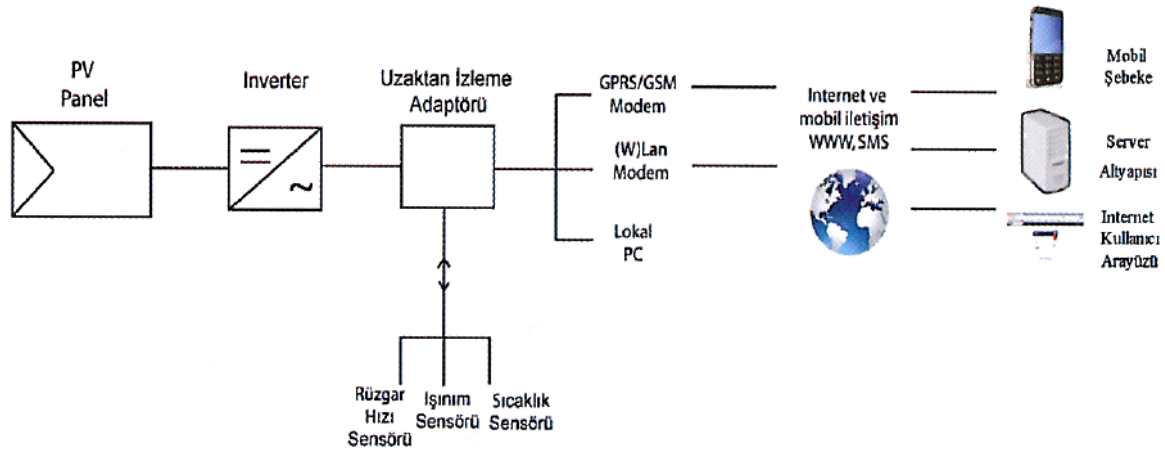


(a)



(b)

şekil 4.14. a) Güneş ışınımı sensörü b) Rüzgar hızı sensörü



Şekil 4.15. Güneş enerjisi sisteminin uzaktan izleme altyapısı

Veri tabanına ulaşan bilgilerin hangi santrale ait olduğu ve santral hakkındaki verilen bilginin görülmesi için sisteme girilmesi gerekmektedir. Yeni kullanıcı hesabı olarak da değerlendirilebilecek bu ortamda öncelikle santral hakkında yetkili kişinin verileri ve şifresi belirlenir. Bu aşamadan sonra, kurulu güneş enerjisi sistemi konusundaki detaylı bilgilerin tanımlanacağı ekranlara geçilir. Genel olarak belirlenecek veriler; sistemin nerede kurulduğu ve koordinatları, sistemin toplam gücü, panel sayısı, sahada kullanılan bağlantı kutusu sayısı, inverter tipi ve sayısı ve şebeke bağlantı tipi gibi verilerdir.

Sisteme ait veriler ne kadar detaylı tanımlanırsa daha sonradan rapor olarak hazırlanacak veri analizleri çok daha sağlıklı olacaktır. Servis personeli için hatanın tespiti çok daha kolay ve hızlı olacaktır. Bu nedenle verilerin doğru ve eksiksiz girilmesi oldukça önemlidir.

PV sistem kurulduğu ilk günden itibaren enerji üretmeye başlayacaktır. Sistemin mevcut durumu ve kurulumunda oluşan bu veriler sistem durum ekranında gösterilmektedir. Bu durum ekranından; sistemin devreye alınış tarihi, günlük enerji üretim değeri, aylık enerji üretim değeri, yıllık enerji üretim değeri, sistem devreye alındıktan sonraki toplam üretilen enerji değeri, karbon emisyonundaki tasarruf değeri vb. veriler okunabilmektedir.

Özellikle santral uygulamalarında bağlantı kutularının tek tek izlenmesi oldukça önemlidir. Sahada santralin büyüklüğüne göre kullanılan panel sayısı ve buna bağlı olarak oluşan paralel panel dizilerinin sayısı da artmaktadır. Bağlantı kutularının sayısı da bu panel dizilerinin sayısına bağlıdır. Santralin sağlıklı bir şekilde çalışıp çalışmadığı ve her

dizinin devrede olup olmadığını anlamak için bağlantı kutularından ölçümler alınır. Bütün bu ölçümlerin izleme işlemi uzaktan izleme veri tabanında depolanır ve analiz edilir.

Uzaktan izleme sistemleri yukarıda verilen özellikler sayesinde sistem sahiplerine birçok kolaylıklar sunmaktadır. Bu altyapı sistemin sağlıklı ve performanslı çalıştığı yönündeki bilgileri santral sahibine ve sistemi kuran firmanın yetkililerine iletir. Bunun yanında yasal yönden izlemenin ve faturalandırmanın yapıldığı kısım sayaçlardır. Faturalama işlemlerinde dağıtım şirketi sayaç üzerinden okuduğu veriye göre santral sahibi ile resmi yönden bilgi alışverişi sağlayabilir.

PV sistemlerin üretmiş olduğu enerji veya şebekeden çekilecek olan enerji çift yönlü sayaç üzerinden okunarak dağıtım şirketi yetkililerine bilgi verilir. Sistemde verilerin gerçekliği ve faturalamada esas alınacak izleme cihazı çift yönlü sayaçtır. Çift yönlü sayaçların PV sistemin boyutuna göre tek fazlı veya üç fazlı olacak şekilde üretilen modelleri bulunmaktadır. Şekil 4.16'da hem tek fazlı hem de üç fazlı sistemlere yönelik çift yönlü sayaçlar gösterilmiştir.

Bu sayaçlar çift kapsamlı güç kalitesi ve enerji sürekliliği ölçümleri, testleri ve kayıtları tutabilirler. Bunun yanında haberleşme modülleri sayesinde sistemde üretilen enerji ve tüketilen enerjinin verilerini dağıtım şirketine uzaktan da okuma olanağı sağlarlar. İzleme sistemlerine ait tüm ekipmanlar sağladığı kolaylıklar nedeniyle PV sistemlerin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu nedenle doğru bir veri kayıt ve izleme altyapısının kurulmuş olması önemlidir [20].



(a)



(b)

Şekil 4.16. a)Tek fazlı çift yönlü sayaç b)Üç fazlı çift yönlü sayaç

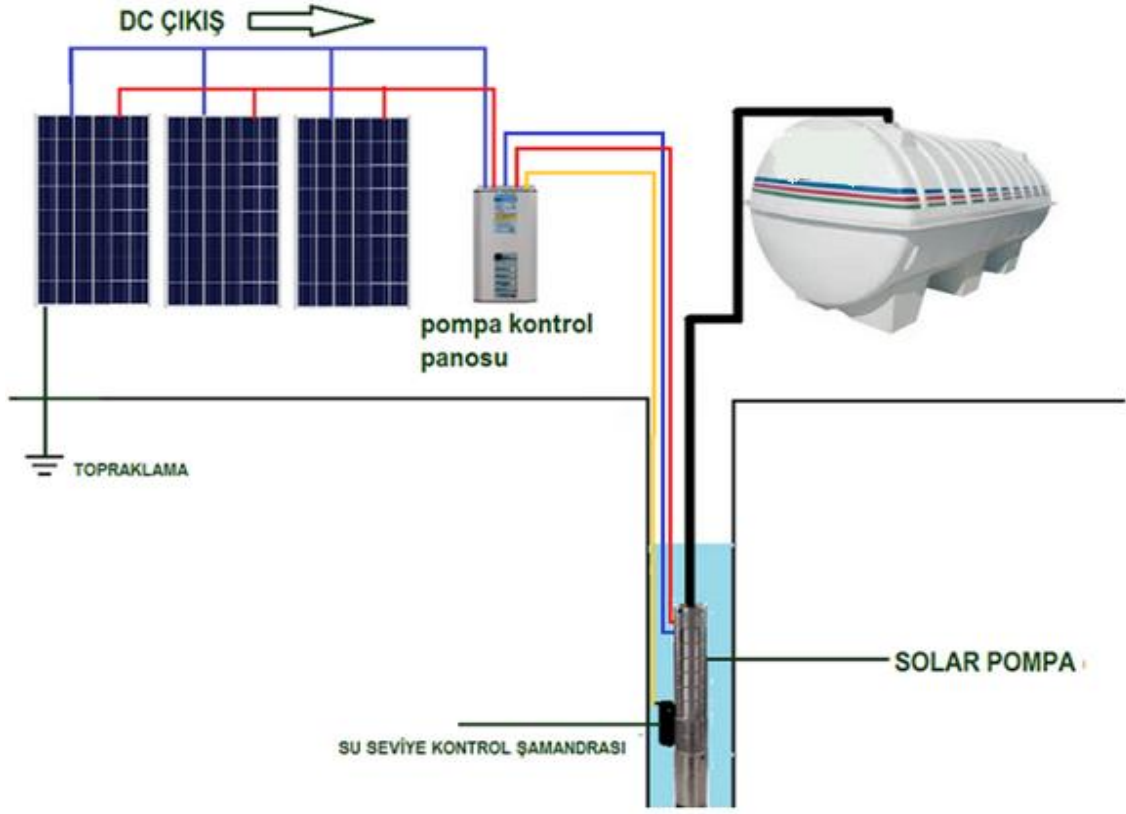
4.9. Su Pompası

Güneş enerjisini kullanarak yer altından veya göl, akarsu gibi kaynaklardan su çekmek ve pompalama yapmak mümkündür. Seçilecek pompa modeli ile güneş paneli gücü ve sayısı, derinliğe, debiye ve kapasiteye bağlı olarak farklılık gösterebilir. Güneş enerjili dalgıç pompa (solar pompa) ürünlerini kullanmak için öncelikle suyun çekileceği derinlik ile suyun basılacağı yükseklik ve yatay mesafe tespit edilir. İhtiyaç duyulan günlük su miktarı belirlenir. Ayrıca kullanılacak bölge (güneşlenme süresi), çalışma sezonu (yaz, kış, hepsi) ile kaynağın özellikleri gibi hususlara azami dikkat edilmelidir.

Güneş enerjisi ile çalışan su pompaları genellikle diğer pompalara göre daha verimlidir. Bu pompalar küçük uygulamalarda DA ile çalışırlar. PV piller de DA ürettikleri için pompa doğrudan pillere bağlanabilir. Büyük sistemlerde AA pompası kullanmak daha ekonomiktir. AA pompalarının çeşitleri daha çok olup, fiyatları daha düşüktür. Fakat doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için inverter gereklidir. İnverterler pahalı olup bir güneş enerji sisteminin en sık bozulan aksamlarından biridir.

Güneş enerjisi ile çalışan su pompalama sistemlerinde üç değişik pompa çeşidi yaygın olarak kullanılır. Dalgıç motor-pompa sistemlerinde, motor ve pompa su içerisine daldırılmıştır. Bu sistemler orta derinlik (yaklaşık 50 metre) su pompalamada yaygın olarak görülür. Yüzey motor-pompa sistemlerinde pompa su içerisine daldırılır ve bir aksona ile su dışına yerleştirilmiş olan motora bağlanır. Bu sistemler, bakımları güç olduğundan ve pahalı olduklarından dolayı kullanım alanları azdır. Yüzen motor-pompa sistemlerinde, motor ve pompa seti su üzerinde yüzer şekilde durur. Bu sistemler daha çok yüzey su pompalaması ve özellikle tarımsal sulama alanlarında geniş çapta kullanılır.

Şekil 4.17’de pompanın PV panellere direkt bağlı olduğu güneş enerjili bir su pompalama sistemi gösterilmiştir. Şekil 4.18’de farklı solar pompalar ve pompa kontrol panosu görülmektedir.



Şekil 4.17. Direkt bağlı solar pompa sistemi



Şekil 4.18. DA ile çalışan solar pompalar

Tablo 4.1’de güneş enerjisi ile çalışan küçük pompalama sistemlerinde kullanılan bir pompanın özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.1. 12 volt fotovoltaiik modül ile çalışan bir pompanın özellikleri

Su yüksekliği (m)	Pompalanan su (litre/saat)	Gerekli fotovoltaiik levha gücü (W)	Gerekli akım (A)
6.1	212	22	1.2
12.2	204	28	1.5
18.3	197	33	1.8
24.4	189	37	2.0
30.5	186	40	2.1
36.6	178	45	2.4
42.7	174	51	2.7
48.8	166	56	3.0
54.9	163	61	3.3
61.0	155	64	3.4
70.1	136	72	3.9

4.9.1. Su Pompası Tipleri

Su pompalarının başlıca 3 tipi vardır:

- Devridaim Pompaları
- Dalgıç Pompalar
- Yüzey Pompaları

4.9.1.1. Devridaim Pompası

Bu pompanın temel özelliği sıvıyı kapalı döngüde çevirmesidir. Çünkü sıvı her zaman pompaya geri akar. Pompanın çok fazla çalışması gerekmez, sadece suyu yukarı itmede enerji harcamaktadır. Bu nedenle pompanın sadece su kuvvetine ve pompa

direncine yetecek güçte olması yeterlidir. Çoğu küçük uygulamada, pompalar boruların içerisine monteli olabilecek kadar küçüktür.

Evlerde kullanılan çoğu devridaim pompaları kompakt yapıda santrifüjlü pompalardır. Elektrik motorunun pervaneyi sürmesiyle su hareket ettirilir. Pervaneler açılı bıçakları olan bir tekerlek gibidir, enerji üreten türbinler gibi çalışan bir yapı vardır. Pervane hızlıca döner ve içerideki su dışarıya bu şekilde itilir. Motor su geçirmez bir yapıdadır ve sargılar pervanenin etrafındadır. Endüstriyel uygulamalarda pervaneden ayrı olarak monte edilebilmektedir.

Çoğu ev uygulamalarında musluk bir açılıp, tam çekmeden kapatıldığında borularda sıcak su kalmaktadır ve musluk kapatıldığı için bu su boruda soğumaktadır. Tekrar musluk açıldığında ise sıcak su gelmeyip, soğuk su gelmektedir. Bunu engellemek için devridaim pompaları kullanılmaktadır. Böylelikle su hazneye geri gönderilir ve su tasarrufu sağlanır.

Güneş enerjili su ısıtma, bu pompaların en popüler kullanım alanlarından biridir. Çoğu sistemde, devridaim pompası güneş kollektörüne suyu gönderir, kollektör içerisinde ise güneş enerjisiyle ısıtma sağlanır. Su daha sonra sıcak su tankına gönderilir. Ilınmış su ise tekrar güneş kollektörüne gönderilir ve ısıtılması sağlanır.

PV sistemlerin su pompası uygulamasında en çok kullanılan pompa tipi santrifüj prensibine göre çalışan pompalardır [37, 38]. Bunun en büyük nedeni; bu tip pompaların PV kaynaklı güce uyumlu yük profiline sahip olmalarıdır [39]. Ayrıca diğer pompalara göre daha basit bir yapıya sahip olması, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük olması ve tasarım açısından geniş seçenek sunmaları diğer önemli avantajlarıdır. Bu tip pompalarda, enerji dönüşümü pompa çarkı üzerindeki kanatçıklar boyunca gerçekleşir. Su pompa eksenine paralel V_1 hızıyla pompaya girip, pompayı radyal veya yine eksensel yönde V_2 hızıyla terk eder. Daimi akışta pompa giriş ve çıkış arasında yazılan enerji denklemi kullanılırsa, pompa giriş ve çıkışı arasında oluşan basınç farkı

$$\Delta P = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \rho + \rho g h_m \quad (4.1)$$

şeklindedir. Oluşan bu basınç farkı sonucunda, su daha yüksek kotlara pompalanır. Denklemdaki ρ yoğunluğu ve h_m manometrik pompa yüksekliğini göstermektedir. Pompa torku ve debi arasındaki ilişki belli sınır şartları altında pompa boyutlarının bir fonksiyonu olarak

$$M_p = Q\rho \left[R_2 \left(\omega R_2 + \frac{Q \cot \beta_2}{2\pi R_1 b_2} \right) - R_1 \left(\omega R_1 + \frac{Q \cot \beta_1}{2\pi R_1 b_1} \right) \right] \quad (4.2)$$

şeklinde tanımlanır. Denklemdaki Q debiyi, R_1 çarkın giriş çapını, R_2 çarkın çıkış çapını, b_1 kanatçığın giriş yüksekliğini, b_2 pompa kanatçığının çıkış yüksekliğini, β_1 kanatçık giriş açısını ve β_2 kanatçık çıkış yüksekliğini göstermektedir. Pompaların birçoğunda olduğu gibi suyun düşey doğrultuda hareket ettiği varsayılırsa debi:

$$Q = \omega R_1^2 2\pi b_1 \tan \beta_1 \quad (4.3)$$

ile ifade edilir [38]. Denklem (4.2) ve (4.3) birleştirilirse; pompanın açısal hızının ve boyutlarının bir fonksiyonu olarak tork denklemi,

$$M_p = \rho \omega^2 R_1^2 2\pi b_1 \tan \beta_1 \left(R_2^2 + \frac{R_1^2 b_1 \tan \beta_1}{b_2 \tan \beta_2} \right) \quad (4.4)$$

şeklinde elde edilir. Pompanın boyutlarına ilişkin katsayı,

$$K_p = \rho R_1^2 2\pi b_1 \tan \beta_1 \left(R_2^2 + \frac{R_1^2 b_1 \tan \beta_1}{b_2 \tan \beta_2} \right) \quad (4.5)$$

ile tanımlanırsa, pompa torku ile pompanın açısal hızı arasındaki ilişki

$$M_p = \omega^2 K_p \quad (4.6)$$

olarak elde edilir. Yukarıdaki doğrusal olmayan denklemler artık PV pompa sisteminin hesabı için gerekli üç bilinmeyen parametrenin (I, V ve ω) bulunması için yeterli olup, bu denklemler ve sistem bileşenlerinin teknik katalog bilgilerinden pompanın çalışma eğrisi ve güneş ışınım şiddeti arasındaki ilişki saptanabilir.

4.9.1.2. Dalgıç Pompa

Dalgıç pompa tamamen su ve hava geçirmez kapalı tipte bir gövdeye sahiptir. Bütün gövdesiyle sıvının içine batırılmış halde çalışır ve sıvıyı pompalar. Temel avantajı yüzeyle pompa arasında yüksek kot farkı bulunması durumunda oluşan pompalama kavitasyonlarını engellemesidir. Dalgıç pompa suyu yüzeye iter, jet motorun tam tersi şeklinde çalışır. Jet pompalardan daha verimlidir

Pompa suyu daha yükseğe çıkarmak için en alta monte edilmelidir. Pompa su basıncını 1 atmosferin üstüne çıkarır, böylece basınç dengesizliği artar ve yüzeye su gönderilir. Farklı safhalarda çalışan pompalar seri olarak bağlanabilir. Birkaç metre alttaki su için yüzey pompaları idealdir, fakat daha derinlerde dalgıç pompalar daha iyi bir çözüm olmaktadır.

4.9.1.3. Yüzey Pompası

Su kaynağının yüzeye yakın olduğu yerlerde, en ekonomik DA su pompaları (dalgıç olmayan) yüzey pompalarıdır. Geleneksel AA pompalarına göre, pompalama için gerekli enerji tüketimini yarıya veya daha fazla indirirler.

PV pompalama sistemleri, PV modülleri ve raf montaj, DA pompa, pompa kontrol ve su depolama tankı gibi bileşenlerden oluşur. Bazı durumlarda, güneş izleyen bir raf sistemi kullanımı tercih edilebilir. Ek malzemeler, plastik boru, kablo, bir şamandıra anahtarı ve koruyucu eskrim olabilir.

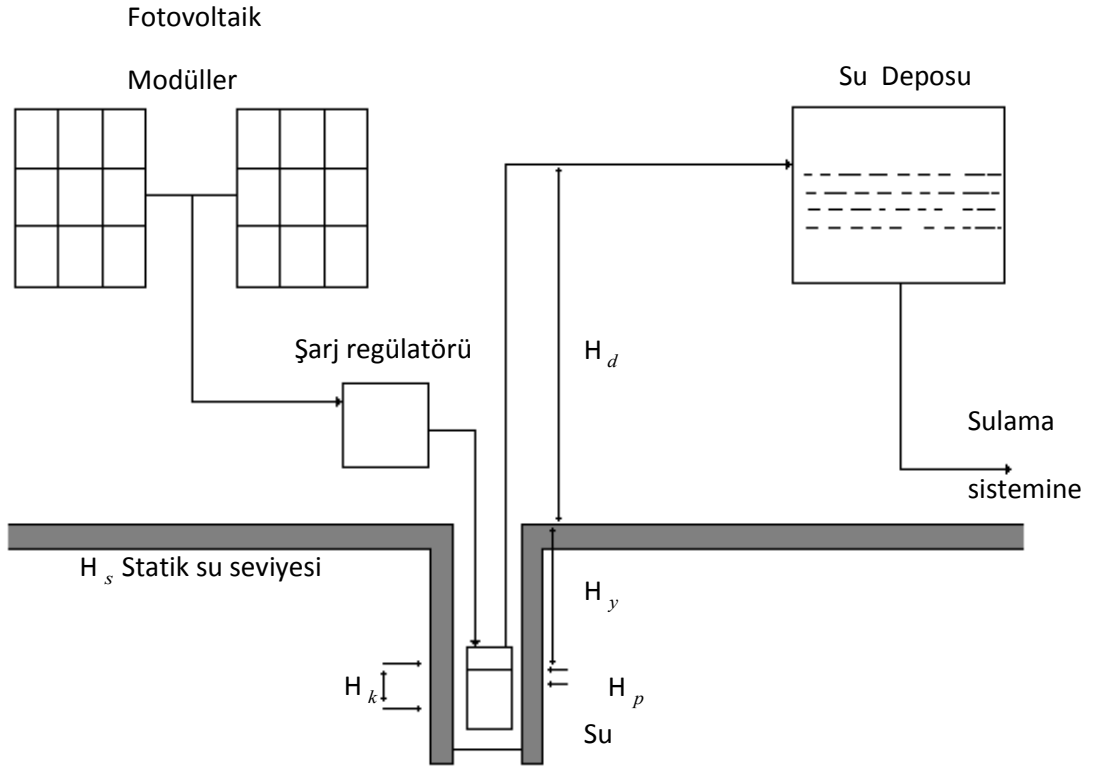
Çoğu sistem aküsüz ve su pompası sadece güneş varken çalıştırılarak çözüm sunulmaktadır. Depolama tankının kapasitesini artırmak daha iyi bir çözüm olabilmektedir. Aküde elektrik depolamak yerine suyu depolamak sistem güvenilirliğini artırmaktadır ve sistem karmaşıklığını gidermektedir. Minimum 5 günlük su depolama planlaması iyi bir çözüm olmaktadır [40].

4.10. Su Pompası Sistem Tasarımı

Güneş enerjisi ile çalışan bir sulama sisteminin tasarımı yapılırken aşağıdaki üç faktörün önceden hesaplanması veya tahmin edilmesi gerekir.

- 1) Suyun pompalanacağı toplam yükseklik
- 2) Günlük su ihtiyacı
- 3) Bölgedeki ortalama güneş enerjisi

Şekil 4.19'da güneş enerjisi ile çalışan tipik bir su pompalama sistemi gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Güneş enerjisi ile çalışan tipik bir su pompalama sistemi

4.10.1. Suyun Pompalanacağı Toplam Yükseklik

Toplam yükseklik, pompanın kuyu içerisindeki derinliğine, su yüzeyinin derinliğine ve deponun yüksekliğine bağlıdır. Su yüzeyinin derinliği genellikle mevsime göre ve kuyudan su çekildikçe düşer. Su derinliğinde büyük değişiklik olması bekleniyorsa ortalama yüksekliği almak gerekir.

Toplam yükseklik aşağıdaki formülden hesaplanabilir:

$$H = H_d + H_y + H_p \quad (4.7)$$

Burada H toplam yükseklik, H_d deponun yerden olan yüksekliği, H_y su yüzeyinin derinliği ve H_p pompanın su içerisindeki derinliğidir. Su yüzeyinin derinliği H_y ise,

$$H_y = H_s + H_k \quad (4.8)$$

olarak gösterilebilir. H_s suyun mevsime bağlı olarak değiştiği statik derinliği ve H_k kuyudan su çekildikçe su derinliğidir.

Kuyudan su çekmek için gerekli olan hidrolik enerji aşağıda gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$E = \rho g V H \quad (4.9)$$

Burada, E gerekli olan hidrolik enerji (Wh/gün), ρ su yoğunluğu (1001 kg/m^3 , 20°C sıcaklıkta), g yerçekimi (9.80665 m/s^2), V pompalanmak istenen toplam su hacmi ($\text{m}^3/\text{gün}$) ve H suyun pompalandığı toplam yüksekliktir (m). (4.9) formülüne sabit değerler yerleştirilirse

$$E = 9816.56 VH \quad (4.10)$$

olarak bulunur. Enerji normal olarak kWh/gün olarak hesaplanır. Bu nedenle Denklem (4.10) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$E = 0.002726 VH \quad (4.11)$$

Burada, E, V kadar hacimde suyu günde H kadar toplam bir yüksekliğe pompalamak için gerekli olan hidroelektrik enerjinin (kWh/gün) değeridir [3].

Pompa hidrolik yükü; su debisi ile toplam dinamik kayıpların çarpımından oluşan bir parametredir. Uygun özellikte pompa seçimi açısından, pompa hidrolik yükü değerinin $50\text{-}2000 \text{ (m}^4/\text{gün)}$ limitleri arasında bulunması gerekmektedir. Bu sınırlar arasında elde edilen değer yardımıyla pompa ve motor tipine karar verilebilmektedir. Pompa ve motor tipinin seçimi, PV panel ile bu elemanlar arasında kullanılan kablo ve elektronik kontrolden dolayı oluşacak toplam kaybı belirlemede önemlidir. Bu kayıplar nedeniyle söz konusu pompa çıkış gücü ve panel çıkış gücü arasındaki oran uygulamada 0.3 ile 0.6 arasında değişmektedir [1].

4.10.2. Günlük Su İhtiyacı

Tarımsal sulamada günlük su ihtiyacı, başlıca aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- Ekili alanın büyüklüğü
- Ekinin günlük su ihtiyacı
- Mevsim ve hava durumu (yağmur, sıcaklık ve güneşlenme miktarı)
- Toprağın özellikleri

Günlük su ihtiyacını tahmin etmek tarımda önemli bir dal olup bu konu bu çalışmanın dışındadır. Yalnız çok kaba olarak, ortalama günlük su ihtiyacının genellikle her hektar ekili alan için $60\text{-}80 \text{ m}^3$ arasında değiştiği söylenebilir.

4.10.3 Fotovoltaik Panel İhtiyacı

Gerekli olan PV panel ihtiyacını hesaplamak için, sistemin kurulacağı bölgedeki ortalama güneş enerjisi dağılımını bilmek gerekir. Genellikle gerekli olan bu bilgi bölgeye en yakın olan meteoroloji istasyonundan elde edilebilir.

Günlük ortalama güneş enerjisi miktarı I (kWh/m²-gün) ile gösterilirse, gerekli olan PV enerji kWh olarak aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$P = \frac{0.002726}{I} V_H \quad (4.12)$$

Sistemin verimi η olmak üzere, denklem (4.12) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P = \frac{0.002726}{\eta I} V_H \quad (4.13)$$

Gerekli olan PV enerji miktarını aylık değerler olarak hesaplamak daha uygundur. Bu durumda, i ayı için gerekli günlük enerji şu şekilde hesaplanabilir:

$$P_i = \frac{0.002726}{\eta I_i} V_i H_i \quad (4.14)$$

Toplam yıllık PV elektrik enerjisi ihtiyacı ise,

$$P = \frac{0.002726}{\eta} \sum_{i=1}^{12} \frac{V_i H_i N_i}{I_i} \quad (4.15)$$

olarak hesaplanabilir. Burada N_i , i ayı içerisindeki gün sayısıdır [3].

4.11. Güneş Enerjili Su Pompası

Şehir şebekesinin kullanılmadığı uzak yerlerde ya da işlerde su pompalama sistemleri mutlaka gereklidir. Güneş enerjili su pompalama sistemleri bu konuda ciddi bir çözümdür. Tarımsal sulamada, su depolamada ve içme suyu tedarikinde rahatlıkla kullanılabilir. Pompa tasarımı güneş panellerinden enerji alarak çalışmaya uygundur ve yeterli enerji rahatlıkla üretilebilmektedir. Bir kaynaktan su çekmek için öncelikle bulunulan yerin yeterli güneş alıp almamasına bakılır. Güneşin maksimum şekilde alınabileceği açıda ve yönde güneş panelleri kullanılır. Bölgede güneşlenme süresi az ise

aküler ile destek sağlanabilir veya rüzgar yeterli ise rüzgar gücünden de destek sağlanarak hibrit bir çalışma yapılabilir.

Güneş enerjisiyle çalışan su pompalarının avantajları şunlardır:

Yakıt maliyeti: Bir PV sistemi kurulduktan sonra, yakıt için herhangi bir ek maliyet yoktur.

Güvenilir güç: PV güç sistemleri, az bakım gerektirir, karbon salınımı yapmaz ve sessiz çalışırlar. Modüller 20-25 yıl garantilidir. Birçok kritik uygulamada (askeri tesisler gibi) güvenilir bir şekilde kullanılmaktadır.

Esneklik: Birçok PV pompalama sistemleri, rahatlıkla taşınabilir ve sistemi büyütme rahatlıkla yapılabilir. Bir pompa ek güç kabul edecek kadar büyükse, PV modülleri, mevsimlik çalışmalarda su çıkışını arttırmak için daha sonra eklenebilir.

Hızlı kurulum ve taşınabilirlik: Pek çok sistem, bir günden daha az bir sürede monte edilebilir. Bir su kaynağından bir diğerine çiftlik hayvanlarına hizmet etmek için veya suya nerede ihtiyaç varsa oraya suyu daha çabuk ulaştırmak amaçlı treyler üzerine kurulu sistemler mevcuttur.

Güneş enerjili su pompalarının en basit kombinasyonları; motorun panellere hiçbir ara düzenleyici olmadan direkt bağlandığı direkt akupleli sistemlerdir. Direkt akupleli sistemlere ek olarak, PV panel ve motor arasına bataryanın yerleştirildiği bataryalı ve panellerin akım-gerilim çıktılarını maksimum elektriksel güç teminine uygun olarak düzenleyen bir elektronik kontrol cihazının bulunduğu MPPT li kombinasyonları da bulunmaktadır. Direkt akupleli PV su pompaları çalışma verimi açısından MPPT ve bataryalı kombinasyonlara nazaran düşük bir çalışma verimine sahip olmalarına rağmen daha ekonomik ve güvenilir olduklarından yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar [33]. Direkt akupleli sistemler tasarım aşamasındayken optimum çalışma koşullarının belirlenmesi, iki aşamalı bir optimizasyon sürecinde sağlanabilir. Birinci aşama panellerin yatay yüzeye yerleştirme açılarının, ikincisi ise panel sayısı konfigürasyonunun optimum seçimidir. Panellerin sistemin termoekonomik yapısı üzerindeki direkt etkisi göz önüne alındığında yapılacak tasarımda panel sayısı seçiminin önemi net olarak ortaya çıkmaktadır [41].

4.12. Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemlerinin Ekonomik Analizi

Herhangi bir su pompalama sisteminin ekonomik analizi, birbirine bağlı üç temel başlık altında toplanabilir. Bunlar;

- Yatırım Maliyetinin Geri Kazanım Süresi: Sistemin satın alma ve kuruluş maliyetlerinin toplamının, sistemin kullanım süresi boyunca alternatiflerine oranla getirdiği gelirin, satın alma ve kuruluş maliyetine eşit olduğu süredir.
- Yıllık Geri Kazanım Oranı: Sistemin bir yıllık kullanımı süresince, alternatiflerine oranla getirdiği gelirin, satın alma ve kuruluş maliyetine oranıdır.
- Sistem Ömrü Boyunca Toplam Maliyet: Sistemin satın alma, kuruluş, işletme giderleri kullanım ömrü boyunca alternatiflerine oranla getirdiği gelirlerin toplamıdır.

Yukarıdaki analiz yöntemlerinin tümünde göz önüne alınması gereken kriterler ise şunlardır:

- Satın alma maliyeti,
- Kuruluş maliyeti,
- Kullanım süresi boyunca işletme ve bakım maliyeti,
- Kullanım süresi boyunca yakıt maliyeti,
- Kullanım süresi boyunca yedek parça maliyeti,
- Kullanım süresi boyunca çevresel etki maliyeti,
- Diğer özel giderler.

Bu kriterlerin her yıl için yıllık enflasyon oranı ve yıllık indirim oranları göz önüne alınarak sistemin kullanım ömrü süresince değerlendirilmesi gerekmektedir. Ekonomik analizin yapılmasında her yıl için ayrı ayrı değerlendirme yerine, yıllık enflasyon ve indirim oranları kullanılarak kullanım ömrü süresi içinde, maliyetin bugünkü değerini bulmak daha kolay ve anlamlıdır. Bugünkü maliyet değeri, sistemin toplam ömrü boyunca, o günkü satın alma ve kuruluş maliyetine oranla gelecek yıllardaki ek giderlerin hesaplanması (kullanım ömründen önce bazı parçaların yenilenmesi vb.) ve sistemin işletilmesi için gerekli olan maliyetin kullanım ömrü boyunca değerlendirilmesi olarak alınabilir [42].

4.13. Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemlerinde Kullanılan Motorlar

4.13.1. Doğru Akım Motorları

DA motorları uyarılma alanlarına göre; kendinden uyarımlı, seri, şönt ve komput olmak üzere dört tipte sınıflandırılırlar. Tüm DA motorları için genel gerilim ve moment (tork) bağıntıları

$$V_m = E + V_a = K_v \omega + I_a R_a \quad (4.16)$$

$$M_m = \frac{P_m}{\omega} = K_M I_a \quad (4.17)$$

$$\mu_m = \frac{P_m}{P_{pv}} = (M_m \omega / VI) \quad (4.18)$$

şeklinde tanımlanmaktadır [43]. Denklemlerde; V_m motora uygulanan gerilimi, E motor gerilim sabitini, I_a motor armatür akımını, R_a motor armatür direncini, K_v elektro-motor kuvvet sabitini, ω motor şaftının açısal hızını, P_m motor şaft gücünü, P_{pv} PV panellerin çıkış gücünü, M_m motor elektromanyetik torkunu, K_M tork sabitini ve η_m motor verimini göstermektedir. Motor için matematiksel model geliştirmenin amacı; motora uygulanan gerilim ile motorun dönme hızı arasındaki ilişkiyi saptamaktır. Böylece motorun sistem içindeki performansını ölçmek amacıyla motora giren elektriksel güç ile motordan elde edilebilecek mekaniksel güç arasında bir bağıntı elde edilebilir.

PV su pompalarında sürücü olarak yaygın bir şekilde kendinden uyarımlı DA motoru kullanılmaktadır. Kendinden uyarımlı DA motorlarında; diğer tip DA motorlarının aksine, manyetik alan statora yerleştirilen elektrik sargıları üzerinden akım geçirilerek değil, mıknatıslar vasıtasıyla üretilir. Ayrıca akım değişimini sağlayan fırçalar yerine elektronik bir cihaz kullanılır. Böylece statordaki sarımlardan geçen akım ve fırçalar dolayısıyla meydana gelen kayıplar önlenmiş olur. Bu motorlarda stator ve rotorun üstlendikleri işlevler diğer DA motorlarının tam tersidir. Uyarılma işlevini rotordaki mıknatıslar yaparken motor sargıları statora yerleştirilmiştir. Kendinden uyarımlı DA motorlarının bu avantajlarına karşın, fazlasıyla karmaşık yapıları nedeniyle, kırsal yörelerdeki kullanıcılar açısından teknik bakım zorluğuna sebep olacağı yönünde, özellikle son yıllarda gündeme gelen bazı uyarılar söz konusudur [44, 45].

4.13.2. Doğru Akım Pompaları İle Alternatif Akım Pompalarının Karşılaştırılması

Atay vd. tarafından yapılan bir çalışmada [44]; biri PV destekli DA pompası, diğeri şebeke hattına bağlı AA pompasıyla sulama yapılan her iki arazide, sulama pompası performanslarına yönelik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada özellikle DA pompasının bataryalı çalışması sırasındaki güç analizleri ile araziye pompalanan su debileri, AA pompasıyla karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre AA pompası şebekeden sabit bir güç çekmekte olup, çekilen güç pompa katalog değerinin iki katından fazladır. Bu durum, çalışma esnasında AA sisteminde ciddi seviyede bir güç dönüşüm kaybı yaşandığını göstermektedir. Diğer taraftan DA pompası tarafından çekilen güç, klasik pompaya göre oldukça düşük, fakat değişkendir. DA pompası daha az su pompalamakta ve bu nedenle daha uzun süre çalıştırılması gerekmektedir.

AA pompası, günlük su ihtiyacı olarak belirlenen miktarı yaklaşık 60 dakikada sağladıktan sonra, manuel olarak kapatılmakta; fakat DA pompası çalıştırılmaya devam ettirilmektedir. DA pompası ise yaklaşık 32 dakika daha fazla çalıştırıldıktan sonra; toplam günlük su ihtiyacı koşulu sağlanmakta ve pompa durdurulmaktadır. AA pompası için ortalama debi $5 \text{ m}^3/\text{h}$, ortalama anlık güç tüketimi ise 1.2 kW olmuştur. Buna karşılık; DA pompası için söz konusu değerler sırasıyla, $3.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ve 0.3 kW olarak belirlenmiştir. Sulama yapılan diğer aylarda da benzer bir durum söz konusudur [46].

4.14. Su Pompalama Tekniklerinin Karşılaştırılması

Su pompalamanın uzun bir geçmişi vardır. İnsanlar farklı çağlarda farklı su pompalama teknikleri geliştirmiş ve kullanmışlardır. Geliştirilen tekniklerin temel amacı en az enerji ile su pompalamanın gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla farklı güç kaynakları kullanılmıştır. Bu kaynaklar insan gücü, hayvan gücü, su gücü, rüzgar, güneş ve fosil yakıtlar olarak sıralanabilir. Tablo 4.2’de çeşitli su pompalama tekniklerinin avantaj ve dezavantajları verilmiştir [47].

Tablo 4.2. Pompalama tekniklerinin karşılaştırılması

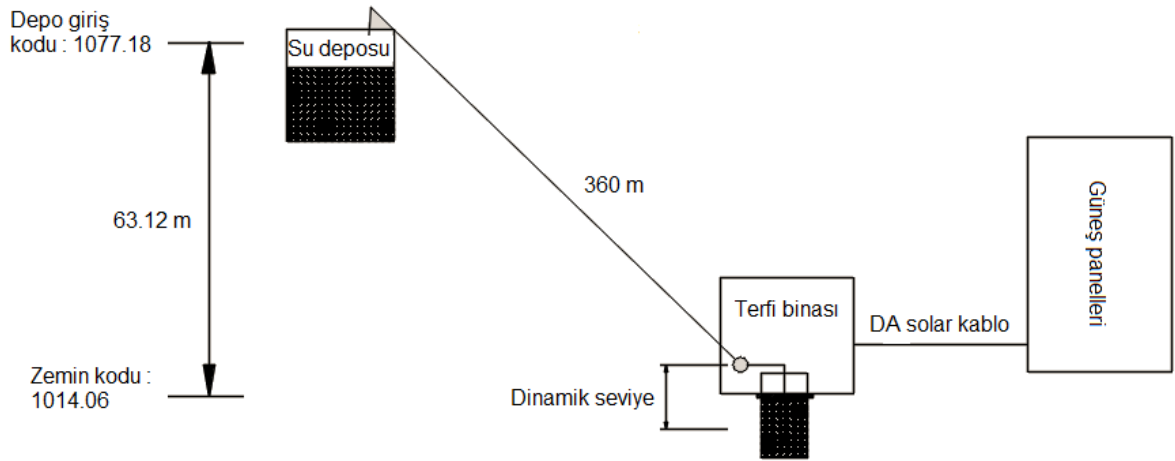
	Avantajları	Dezavantajları
El pompaları	• Yerel üretim mümkündür • Bakımı kolaydır • Maliyeti düşüktür • Yakıt maliyeti yoktur	• İnsan verimlilik kaybı vardır • Kuyuların sık sık verimsiz kullanımı söz konusudur • Sadece düşük akış oranlarına ulaşılabilir
Hayvan tahrikli pompalar	• El pompasından daha güçlüdür • Ücreti insan gücünden düşüktür • Yakıt olarak gübre kullanılabilir	• Yıl boyunca hayvanların beslenmesi gerekir • Önemli sulama dönemlerinde diğer faaliyetlere yönlendirilir
Hidrolik pompalar	• Gözetimsiz çalışır • Bakımı kolaydır • Maliyeti düşüktür • Uzun ömürlüdür • Yüksek güvenilirliktir	• Belirli özel koşullar gerektirir • Çıkışı düşüktür
Rüzgar Pompaları	• Gözetimsiz çalışır • Bakımı kolaydır • Uzun ömürlüdür • Yerel üretime uygundur • Yakıt gereksinimi yoktur	• Düşük rüzgar periyotları için suyun depolanması gerekir • Yüksek sistem tasarımına ve projelendirmeye ihtiyaç vardır • Kurulumu kolay değildir
Solar Pompalar	• Gözetimsiz çalışır • Bakımı düşüktür • Uzun ömürlüdür • Kurulumu kolaydır	• Maliyeti yüksektir • Bulutlu havalarda suyun depolanması gerekir • Onarımlar yetkili teknisyen tarafından yapılmalıdır
Dizel ve gaz pompaları	• Kurulumu hızlı ve kolaydır • Düşük maliyetlidir • Yaygın olarak kullanılır • Taşınabilir	• Yakıt kaynakları düzensiz ve pahalıdır • Bakım maliyeti yüksektir • Ömürleri kısadır • Gürültü ve duman kirliliğine neden olurlar

5. ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ GÜNEŞ ENERJİLİ SU POMPALAMA SİSTEMİNİN TASARIMI

Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatör, evirici (inverter), akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluşturulur. Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar ve yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi (şarj regülatörü) ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir inverter eklenerek akümülatördeki DA, 220 V-50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli elektronik devreler sisteme entegre edilebilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı da bulunur.

Bu çalışmada; Elazığ Merkez Gözebaşı Köyü, Yeşilyurt Mezrası içme suyu temini için gerçekleştirilen bu proje pilot bir proje olup, Elazığ İl Özel İdaresi tarafından desteklenmiş ve yapım programına alınmıştır. Başlangıçta yapılan etüd çalışmaları sonucunda, içme suyu tesisine yakın bir noktada, enerjinin alınabileceği alçak gerilim ya da orta gerilim hattı bulunmadığı, tesise en yakın noktadan enerji nakil hattı ile şebeke elektriğinin alınmasının ise maliyeti oldukça artıracığı tespit edilmiş ve güneş enerjisi ile elektrik üretiminin bu mezra için pilot bir çalışma olarak uygulanabileceği kararına varılmıştır.

Şekil 5.1'de içme suyu tesisine ait su deposunun, terfi binasının ve güneş panellerinin konumunu gösteren bir kroki verilmiştir. Şekil 5.1'den görüldüğü gibi, güneş panelleri ile üretilen elektrik enerjisi ile çalıştırılan su pompası yardımıyla su, terfi binasından 63 m yükseklikte bulunan su deposuna pompalanmaktadır. Terfi binasında 5.5 kW gücünde bir adet elektro motopomp bulunmaktadır.



Şekil 5.1. Elazığ Merkez Gözebaşı Köyü, Yeşilyurt Mezrası içme suyu tesisi krokisi

5.1. Fotovoltaik Panel Seçimi

Fotovoltaik panel güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren ve sistemin ana elemanı olan ekipmandır. 1950’lerde % 4 olan verimleri günümüzde % 15’i geçmiştir. Verimleri güneşin 1000 W/m^2 enerji yaydığı bölgeye göre hesaplanmaktadır. Fakat Türkiye’de bu değer 1300 W/m^2 olduğundan verimleri daha iyi değerler almaktadır.

Türkiye şartlarında güneşlenme süresinin kışın 5 saat, sonbaharda 7 saat ve yazın 11 saat olduğu göz önünde bulundurulabilir. Tasarımı yapılacak olan sistemde 30 tonluk bir su deposu bulunmaktadır. Suyun debisi ise 2.78 lt/sn dir. Yani 30 tonluk deponun dolması için 5.5 kW ’lık pompa en az 3 saat çalıştırılmalıdır. Pompanın veriminin %80 olduğu göz önünde bulundurularak ($5.5 \text{ kW} / 0.8 = 6.875 \text{ kW}$), deponun dolması için gerekli elektrik enerjisi $6.875 \times 3 = 20.4 \text{ kWh}$ olarak hesaplanmıştır. Günlük ortalama yük ihtiyacı 20.4 kWh olan bu yerleşim yeri için ve suyu depoya pompalayacak 5.5 kW ’lık motor için; ortalama güneşlenme süresinin 4 saat olduğu varsayılırsa saatlik 5.5 kW ’lık üretim yapan bir güneş paneli sistemi tasarlanması yeterli olacaktır. Fakat paneller ancak optimum şartlarda optimum güçlerini verebilirler. Panelin camının kirlenmesi, güneş ışınlarının sabah ve akşam dik açıyla gelmemesi, havanın çok sıcak ve çok soğuk olup verimin düşmesi gibi nedenlerden ötürü bu değer 5.76 kW olarak seçilmiştir.

Üretilmesi gereken elektrik enerjisi miktarı 5.76 kWh olarak belirlendiğine göre, bu enerjiyi sağlamak için 240 W ’lık 24 adet fotovoltaik panelin seçilmesi uygundur. Kullanılan paneller polikristal paneller olup, panellerin MPP gerilimi 30.54 V , MPP akımı

7.87 A, kısa devre akımı 8.48 A, açık devre gerilimi 37.26 V, maksimum sistem gerilimi 1000 V ve verimleri %15'dir. Bir panelin boyu 1665 mm, eni 1000 mm'dir. 24 adet panelin toplam yüz ölçümü yaklaşık 40 m²'dir. Panellerin eğimi 25 derecedir. Şekil 5.2'de fotovoltaik panel sistemi gösterilmiştir.



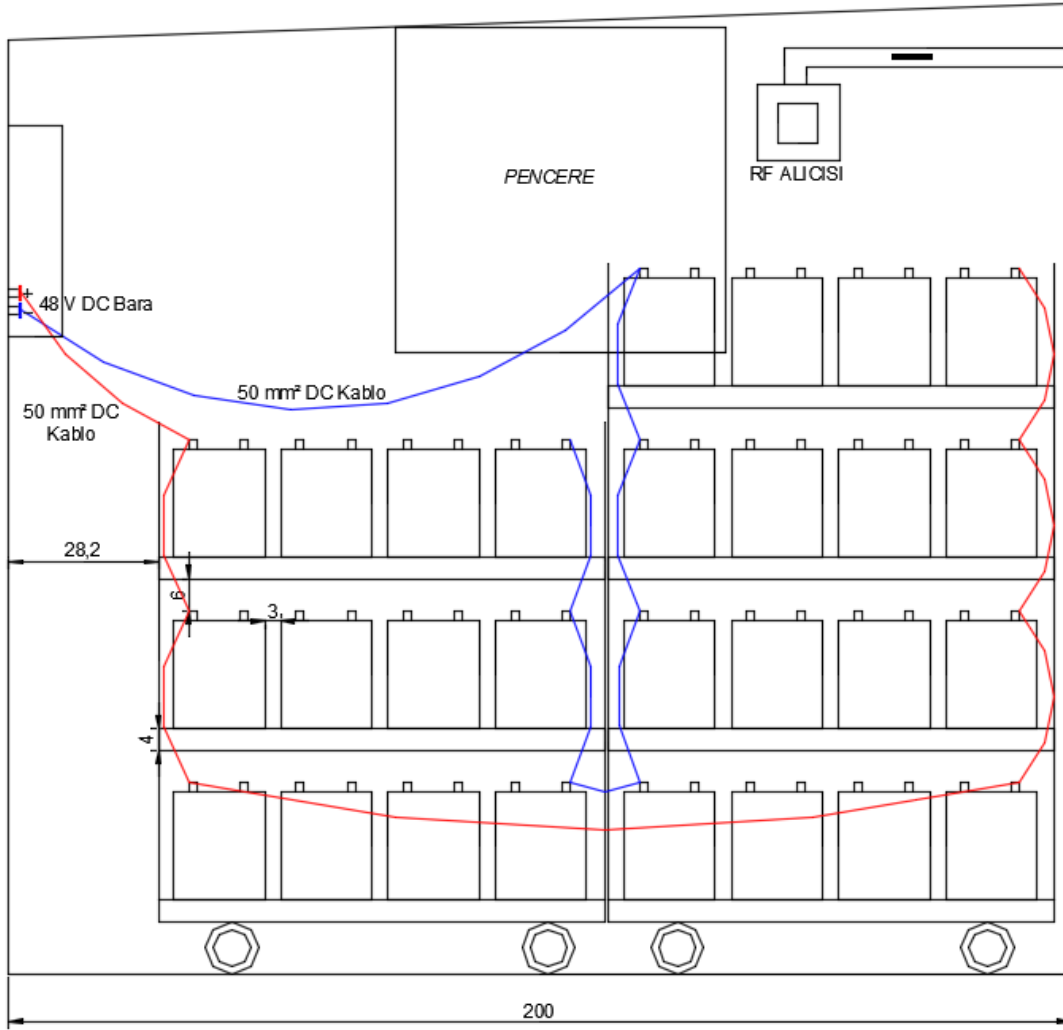
Şekil 5.2. 24 adet 240 W'lık fotovoltaik paneller

5.2. Akü Seçimi

Aküler üretilen elektrik enerjisini depolamaya yararlar. Genel olarak üç tiptir: Kuru (Flooded Lead Acid), AGM (Absorbed Glass Mat Sealed Lead Acid) ve GEL (Gelled Electrolyte Sealed Lead Acid). Akülerin kapasiteleri amper-saat (Ah) olarak ifade edilir. Ömürlerini uzun tutmak için kapasitesi %50'nin altında iken şarj edilmelidir. Verimleri %90 civarındadır. Güneş olmasa bile peş peşe güneşsiz geçecek günlerde ihtiyacı karşılayacak kadar akü kapasitesi gereklidir. 3 gün veya daha uzun süreyle arka arkaya

güneş olmaması çoğu bölgemizde nispeten çok nadir olduğundan 3. güne de yetecek kadar fazla akü almak faydasına göre pahalı bir yatırımdır. Bunun yerine şebeke elektriğinin olduğu yerde 2 gün, olmadığı yerde 3 günlük ihtiyacı depolayacak kadar akü kullanımı uygun olacaktır.

Bu tasarımda 28 adet 12 V 100 Ah'lık jel aküler seçilmiştir. 28 adet aküden, önce dörtlü seri gruplar oluşturularak 48 V elde edilmiş, daha sonra toplam 7 adet dörtlü seri grup birbirine paralel bağlanarak 700 Ah'lık akım elde edilmiştir. Bu bağlantı Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Böylece akü grubu toplam 48 volt x 700 Ah =33.6 kWh enerji depolayabilir. Akülerde depolananın tamamını hatta %70'inden fazlasını kullanmak akünün yapısını kısa zamanda bozmaktadır. Bu yüzden ihtiyaçtan biraz daha fazla akü kullanılmıştır. Şekil 5.4'de kullanılan aküler görülmektedir.



Şekil 5.3. Akülerin bağlantısı



Şekil 5.4. 12 V 100 Ah'lik aküler

5.3. Şarj Regülatörü Seçimi

Şarj regülatörü PVpanelden gelen akımı düzenleyerek aküye iletilmesini sağlar. Akünün tam dolmasını ve aşırı kullanımlarda tam deşarj olmasını engeller. Bir regülatör seçerken dikkat edilmesi gereken en önemli parametre, regülatörün gerekli olan maksimum akıma dayanıklı olmasıdır. Seçilen regülatörün, kullanılan batarya gerilimi ile uyumlu olmasına da dikkat edilmelidir.

Şarj regülatörleri kullanılacak sisteme göre 12 V / 24 V / 36 V / 48 V veya 60 A'lık olabilir. Şarj regülatörleri aynı zamanda DA gerilim çıkışları olduğundan doğru akımla çalışan cihazlara direkt gerilim verirler. Şarj regülatörlerinin LCD göstergeli modelleri de mevcuttur. LCD göstergeli olanlar anlık akü ve panel akımını, akü ve panel gerilimini ve akünün şarj durumunu gösterirler.

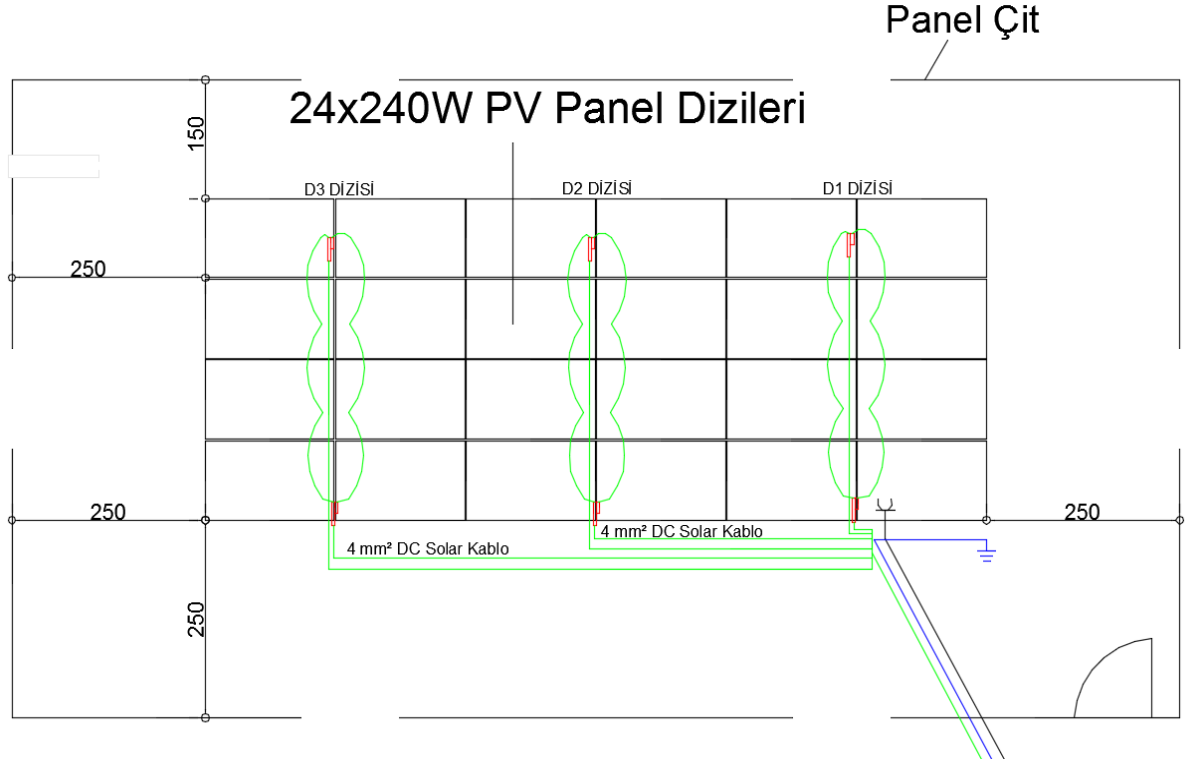
Sisteme şarj regülatörü seçerken maksimum akımı göz önünde bulundurmak gerekir. Tasarlanan sistemin toplam gücü 5.76 kW ve bara gerilimi 48 V olduğundan, maksimum akım $5760 / 48 = 120$ A'dır. Bu akımı karşılamak için 60 A'lık MPPT'li şarj

regülatörlerinden en az iki adet gereklidir. Ancak değerler sınırda olduğu için 60 A'lık şarj regülatöründen üç adet kullanılmıştır. Kullanılan şarj regülatörleri Şekil 5.5'de görülmektedir.

Şarj regülatörlerinin katalog değerlerine göre, panellerin maksimum açık devre gerilimi 150 V'u geçmemelidir. Her bir panelin açık devre gerilimi 37.26 V olduğundan en fazla dört panel birbirine seri bağlanabilir. Böylece açık devre gerilimi $37.26 \times 4 = 149,04 \text{ V} < 150 \text{ V}$ olduğundan uygundur. Bu nedenle toplam 24 adet PV panelin bağlantısı yapılırken önce altı adet dörtlü seri grup oluşturulmuş, daha sonra dörtlü seri grupların ikiye tanesi birbirine paralel bağlanarak D1, D2 ve D3 dizileri oluşturulmuştur (Şekil 5.6). Bu dizilerin her biri bir şarj regülatörüne bağlanmıştır. Böylece her bir şarj regülatöründen geçebilecek maksimum akım 40 A ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 5.5. Şarj regülatörleri



Şekil 5.6. PV panellerin bağlantısı

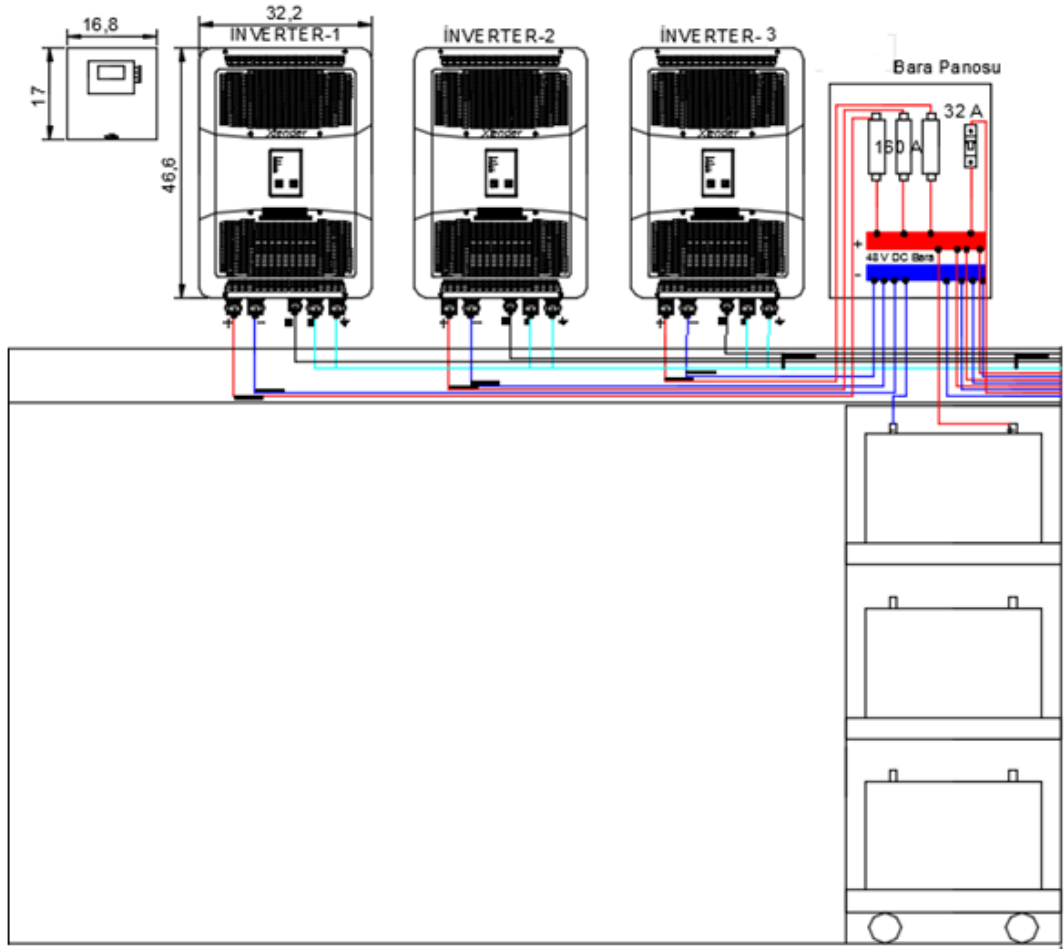
5.4. İnverter Seçimi

İnverterler panellerin ürettiği doğru gerilimi alternatif gerilime (220V-50 Hz) çevirir. Tam sinüs özelliği de çamaşır makinesi, bulaşık makinesi ve buzdolabı gibi endüktif yükleri karşılamak ve bozmamak için gereklidir. İnverterin gücü aynı anda çalışacağı düşünülen cihazların anlık toplam gücüne göre seçilmelidir. Bazı tasarımlarda inverter seçimi saatlik üretilen elektrik miktarına göre yapılmaktadır. Örneğin saatlik üretim 1 kW ise inverter 1 kW güçte çalışacak şekilde seçilmektedir. Ancak saatlik üretim 1 kW olmasına rağmen aküde biriken güçten yararlanarak daha fazla güç tüketen bir cihaz kullanma ihtiyacı doğabileceğinden daha yüksek güçte çalışabilen bir inverter seçimi daha mantıklıdır.

Bu tasarımda PV panellerin toplam gücü 5760 W ve kullanılan inverterlerin standart güç değerleri 2500 W olduğundan 3 adet 2500 W'lık inverter kullanılmıştır (Şekil 5.7). Şekil 5.8'de ise 2500 W'lık üç adet inverter, akü grubu ve DA barası arasındaki bağlantılar gösterilmiştir.



Şekil 5.7. 2500 W'lık inverterler



Şekil 5.8. Akü-inverter ve DA barası bağlantıları

5.5. Kablo Seçimi

PV sistemlerde kablo seçiminin ihmal edilmemesi gerekir. Özellikle DA sistemlerinin hesaplanmasında dikkat edilmesi gereken ana faktörlerinden birisidir ve dikkat edilmediğinde oluşan zararın maliyeti yüksektir. PV sistemlerin kurulumunda sistemin hesaplanması ve gereken ürünlerin seçimi kolay değildir ama genelde ihmal edilen ve ihmal edilmemesi gereken bağlantı ürünlerinin önemi fazlasıyla yüksektir. Bir PV sistemin maliyeti incelendiğinde, bağlantı parçalarının değeri yaklaşık %5 ile sınırlıdır. Fakat bağlantı ürünlerinde yanlış seçim yapıldığında, yangın tehlikesi ile karşı karşıya kalınarak maddi zarara uğranabilir ve daha önemlisi insan hayatına zarar verilebilir.

Solar sistem iki bölüme ayrılabilir: Sistem-Akü (SA) ve Akü-Tüketici (AT). SA bölümü DA bölümüdür ve genelde 12, 24 veya 48 V olarak kurulur. SA bölümünde güneş pilleri sayesinde üretilen elektrik akımı şarj regülatörü üzerinden akülere depolanır.

5.5.1. İnverter 1 - 48 V DA Barası

İnverter 1 ile 48 V'luk DA barası arasındaki toplam kablo uzunluğu 3,7 m, inverter 2 ile 48 V'luk DA barası arasındaki toplam kablo uzunluğu 2,83 m ve İnverter 3 ile 48 V'luk DA barası arasındaki toplam kablo uzunluğu 2,07 m'dir. Kablo seçimi ve gerilim düşümü hesabının en uzun mesafeye göre yapılması yeterli olduğundan sadece inverter 1 ile 48 V'luk DA barası arasında gerilim düşümü hesabı yapılmıştır.

$$\text{Kablo Kesiti (A)} = 1 \times 25 \text{ mm}^2$$

$$(+)\text{ Kablo uzunluğu} = 2,10 \text{ m}$$

$$(-)\text{ Kablo uzunluğu} = 1,60 \text{ m}$$

$$\text{Toplam kablo uzunluğu} = 3,70 \text{ m}$$

$$\text{Kablo Direnci}(R_{DC1}) = \frac{L}{c \times A} = \frac{1}{55,020 \times 25} = 0,727 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$$

$$\text{Toplam DA hat direnci } (R_{T1}) = L_{\text{top}} \times R_{DC1} = 3,70 \times 0,727 \times 10^{-3} = 2,69 \times 10^{-3} \Omega$$

İnvertere ait DA Hattın Gerilim Düşümü

$$V_{DC \text{ Bara}} = 48 \text{ V}$$

$$\%3 \times V_{DC \text{ Bara}} \geq \Delta V$$

$$\%3 \times V_{DC \text{ Bara}} = \%3 \times 48 = 1,44 \text{ V}$$

$$\Delta V = \frac{R_{T1} \times P_{INV} - 1}{V_{Dc \text{ Bara}}} = \frac{2,69 \times 10^{-3} \times 2500}{48} = 0,140 \text{ V} \quad (1,44 \text{ V} > 0,140 \text{ V uygundur.})$$

DA Hat Akımı Taşıma Kapasitesi

$$I_{DC \text{ Hat}} = P_{DC \text{ Hat}} / V_{DC \text{ Hat}} = \frac{2500}{48} = 52,083 \text{ A}$$

25 mm² kablo için akım taşıma kapasitesi = 125 A (52,083 A < 125 A uygundur.)

5.5.2. 48 V DA Barası - 1 kW İç İhtiyaç İnverteri

$$\text{Kablo Kesiti (A)} = 1 \times 6 \text{ mm}^2$$

$$(+ \text{ Kablo uzunluğu} = 3,75 \text{ m})$$

$$(- \text{ Kablo uzunluğu} = 3,75 \text{ m})$$

$$\text{Toplam kablo Uzunluğu} = 7,5 \text{ m}$$

$$\text{Kablo Direnci (R}_{DC}) = \frac{L}{cxA} = \frac{1}{54,112 \times 6} = 3,08 \times 10^{-3} \Omega / \text{m}$$

$$\text{Toplam DA hat direnci (R}_T) = L_{top} \times R_{DC} = 7,5 \times 3,08 \times 10^{-3} = 23,1 \times 10^{-3} \Omega$$

DA Hattın Gerilim Düşümü:

$$V_{Dc \text{ Bara}} = 48 \text{ V}$$

$$\%3 \times V_{Dc \text{ Bara}} \geq \Delta V$$

$$\%3 \times V_{Dc \text{ Bara}} = \%3 \times 48 = 1,44 \text{ V}$$

$$\Delta V = \frac{R_T \times P_{DC \text{ Hat}}}{V_{Dc \text{ Bara}}} = \frac{23,1 \times 10^{-3} \times 1000}{48} = 0,481 \text{ V} \quad (1,44 \text{ V} > 0,481 \text{ V uygundur.})$$

DA Hat Akımı Taşıma Kapasitesi

$$I_{DC \text{ Hat}} = P_{DC \text{ Hat}} / V_{DC \text{ Hat}} = \frac{1000}{48} = 20,83 \text{ A}$$

6 mm² kablo için akım taşıma kapasitesi = 57 A (20,83 A < 57 A uygundur.)

5.5.3. 48 V DA Barası - Şarj Regülatörü

$$\text{Kablo Kesiti (A)} = 1 \times 16 \text{ mm}^2$$

$$(+ \text{ Kablo uzunluğu} = 3,65 \text{ m})$$

$$(- \text{ Kablo uzunluğu} = 3,40 \text{ m})$$

$$\text{Toplam Kablo Uzunluğu} = 7,05 \text{ m}$$

$$\text{Kablo Direnci (R}_{DC}) = \frac{L}{cxA} = \frac{1}{54,347 \times 16} = 1,150 \times 10^{-3} \Omega / \text{m}$$

Toplam DA hat direnci (R_T)= $L_{top} \times R_{DC} = 7,05 \times 1,150 \times 10^{-3} = 8,10 \times 10^{-3} \Omega$

DA Hattın Gerilim Düşümü:

$$V_{Dc\ Bara} = 48\ V$$

$$\%3 \times V_{Dc\ Bara} \geq \Delta V$$

$$\%3 \times V_{Dc\ Bara} = \%3 \times 48 = 1,44\ V$$

$$\Delta V = \frac{R_T \times P_{Dc\ Hat}}{V_{Dc\ Bara}} = \frac{8,1 \times 10^{-3} \times 1920}{48} = 0,324\ V \quad (1,44\ V > 0,324\ V \text{ uygundur.})$$

DA Hat Akımı Taşıma Kapasitesi

$$I_{DC\ Hat} = P_{DC\ Hat} / V_{DC\ Hat} = \frac{1920}{48} = 40\ A$$

$$16\ mm^2 \text{ kablo için akım taşıma kapasitesi} = 97\ A \quad (40\ A < 97\ A \text{ uygundur.})$$

En uzak mesafeli şarj regülatörünün gerilim düşümü %3'den küçük ve uygun olduğundan diğer şarj regülatörleri için gerilim düşümünü hesaplamaya gerek yoktur.

5.5.4. AA Hesapları

Toplam 7,5 kW'lık İnverterler - 5,5 kW'lık Motor Kablo Seçimi

$$\text{İletken kesiti } (A_{AC}) = 4\ mm^2$$

$$\text{AA kablo uzunluğu } (L_{AC}) = 80\ m$$

$$\text{AA kablo direnci } (R_{AC}) = \frac{1}{C_{xA}} = \frac{1}{54,23 \times 4} = 4,610 \times 10^{-3} \Omega/m$$

$$R_{AC-top} = L_{AC} \times R_{AC} = 80 \times 4,61 \times 10^{-3} = 0,369 \Omega$$

AA Hat Akımı:

$$I_{AC} = \frac{P_{Motor}}{\sqrt{3} \times U_{AC}} = \frac{5500/0,8}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,85} = 12,3\ A$$

$$4 \times 4\ mm^2\ NYY \text{ kablo akım taşıma kapasitesi} = 46\ A \text{ (katalogdan)}$$

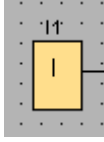
$$(12,3\ A < 46\ A \text{ uygundur})$$

AA Hat Gerilim Düşümü:

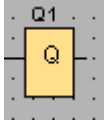
$$\text{Gerilim düşümü } (e) = I \times R_{AC-top}$$

$$e = 8,356 \times 0,369 = 3,08\ V$$

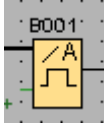
$$\%e = \frac{e \times 100}{V_{AC}} = \frac{3,08 \times 100}{220} = \%1,34 \quad (\%1,34 < \%3 \text{ uygundur.})$$



Dijital Giriş: PLC'nin dijital girişinden iki adet şamandıradan gelen lojik bilgiyi alır.



Dijital Çıkış: Otomasyonda algoritma sonucunu lojik olarak dış ortama aktarır.



Analog Threshold Trigger: Analog input biriminden aldığı 0-1000 arasındaki örneklenmiş değerler için belirlenen aralık üzerinden bir ölü bant (dead band) oluşturur. Bu bloğa çift tıklandığında Şekil 5.10'daki pencere ekrana gelmektedir. Burada analog girişten alınan bilgiye göre sensor kısmından seçim yapılır. Proje kapsamında gerilim bilgisi alındığı için burada 0 ... 10 V seçilmiştir. Measurement Range 0-10 V'luk gerilimin örnekleneyeceği aralığı ifade eder. Parametre değerleri ise;

$(A_x * \text{gain}) + \text{offset} = A_x$ gerçek değeri; şeklindedir.

Threshold on ve off değerleri, analog girişin hangi değerleri için çıkışına lojik 1 ve lojik 0 değerini vereceğini belirler. Burada on değeri olarak 922, off değeri olarak ise 824 ayarlanmıştır. Bu değerlerin hesabı akü gerilimi üzerinden belirlenmiştir. Akü gerilimi maksimum 56 V'dur. Bu gerilimi PLC'ye uygulayabilmek için 0-10 V arasına çekilmesi gerektiğinden dirençle bölme yöntemi kullanılarak gerilim değeri 5,6 katlık bir oranla bölünmüştür. Böylece akü gerilimi PLC girişinde 0-10 V aralığına çekilmiştir ve analog threshold trigger ile 0-1000 arasında örneklenmiştir. Projede 922-824 arasında bir ölü bant oluşturulmuştur. Bu değerler gerilim olarak 51,6 V – 46 V'a karşılık gelmektedir. Gerilim değeri 51,6 V'un üzerine çıktığında 46 V'un altına düşünceye kadar çıkışta lojik 1 verir. Gerilim değeri bir defa 46 V'un altına düştüğünde ise tekrar 51,6 V'un üstüne çıkıncaya kadar çıkışta lojik 0 verir. İkinci ölü bant aralığı ise 964-807 olarak seçilmiştir. Bu değerler gerilim olarak 54 V – 45.2 V'a karşılık gelmektedir.

B002 [Analog threshold trigger]

Parameter Comment

Block name

Sensor 0 ... 10 V

Measurement Range

Minimum 0

Maximum 1000

Parameter

Gain 1,00

Offset 0

Threshold

On

922

Off

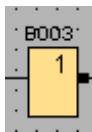
824

Decimal places in the message text 0 +12345

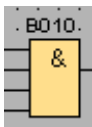
☐ Protection Active

OK Cancel Help

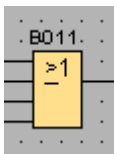
Şekil 5.10. Analog threshold trigger



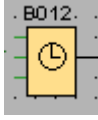
Not Kapısı: Girişine aldığı dijital bilgiyi değiller.



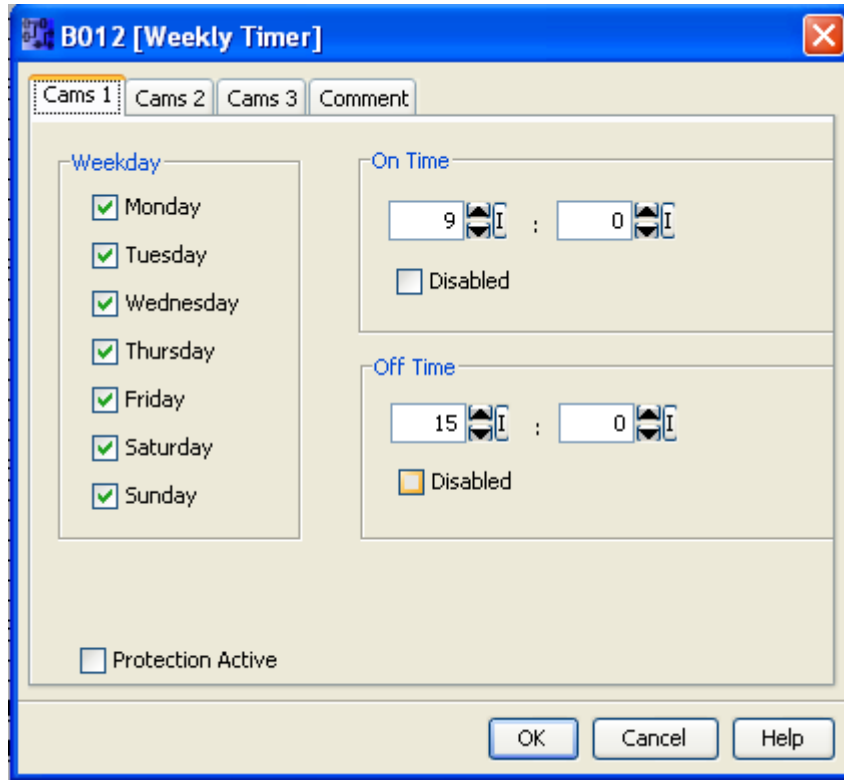
And Kapısı: Dört girişlidir ve girişinden aldığı bilgileri ‘ve’ işlemine tabi tutar.



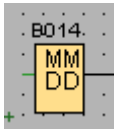
Or Kapısı: Dört girişlidir ve girişinden aldığı bilgileri ‘veya’ işlemine tabi tutar.



Weekly Timer: Sistem saatini temsil eder. Haftanın hangi günlerinde hangi saatlerinde çıkışında lojik 1 veya lojik 0 vereceğini belirler. Weekly timer'a çift tıklandığında Şekil 5.11'deki pencere ekrana gelmektedir. Cams 1, Cams 2 ve Cams 3 olmak üzere üç sekmesi vardır ve üç farklı ayar yapma imkanı tanır. İstenilen bir sekmede istenilen gün seçilip weekly timer'ın aktif olacağı saat on time ile pasif olacağı saat ise off time ile belirlenir. Seçilen günlerde on time ve off time saatleri arasında weekly timer aktif olur ve çıkışında lojik 1 verir.



Şekil 5.11. Weekly timer



Yearly Timer: Sistem tarihini temsil eder. Yılın hangi günlerinde çıkışında lojik 1 veya lojik 0 vereceğini belirler. Yearly timer'a çift tıklandığında Şekil 5.12'deki pencere ekrana gelmektedir. On time ve off time sekmelerinden yılın hangi ay ve günlerinde yearly timer'ın aktif olacağı belirlenir. Seçilen on time ve off time günleri arasında yearly timer aktif olur ve çıkışında lojik 1 verir.

B014 [Yearly Timer]

Parameter Comment

Block name

On Time
Month.Day
3 15

Off Time
Month.Day
10 15

☐ Monthly

☐ Protection Active

OK Cancel Help

Şekil 5.12. Yearly timer

B006 [On-/Off-Delay]

Parameter Comment

Block name

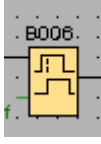
On Time (TH)
2 0 Minutes (m:s)

Off Time (TL)
3 0 Minutes (m:s)

☐ Retentivity ☐ Protection Active

OK Cancel Help

Şekil 5.13. On/off delay



On/Off Delay: Girişine aldığı lojik 1 ve lojik 0'ı çıkışa geciktirerek aktarır. On/Off Delay'e çift tıklandığında Şekil 5.13' deki pencere ekrana gelmektedir. Burada on time ile girişindeki lojik 1'i çıkışa ne kadar geç aktaracağı, off time ile girişindeki lojik 0'ı çıkışa ne kadar geç aktaracağı belirlenir.

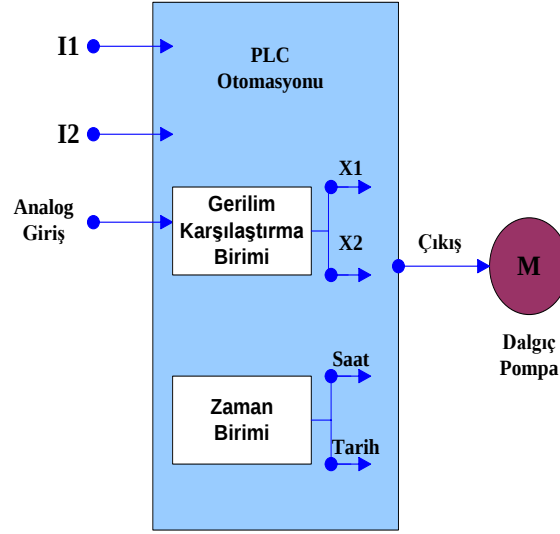
5.6.2. PLC Otomasyonu

Sistemde pompanın çalışmasının kontrolü Siemens'in LOGO serisi bir PLC'ye yazılan otomasyon ile sağlanmıştır. Otomasyonda Logo!Soft Comfort yazılım ara yüzü kullanılmıştır. Bu ara yüzde Function Block Diyagram yardımıyla otomasyon oluşturulmuştur.

Otomasyon oluşturulurken bölgenin günlük su tüketimi, su deposunun hacmi, hava koşullarına bağlı olarak PV panellerden elde edilen elektrik enerjisi ve akülerin doluluk oranları göz önüne alınmıştır. Aşağıdaki maddeler otomasyon sisteminin girişleri olarak belirlenmiştir:

- Tarih
- Saat
- Deponun doluluk oranı
- Akülerin doluluk oranı

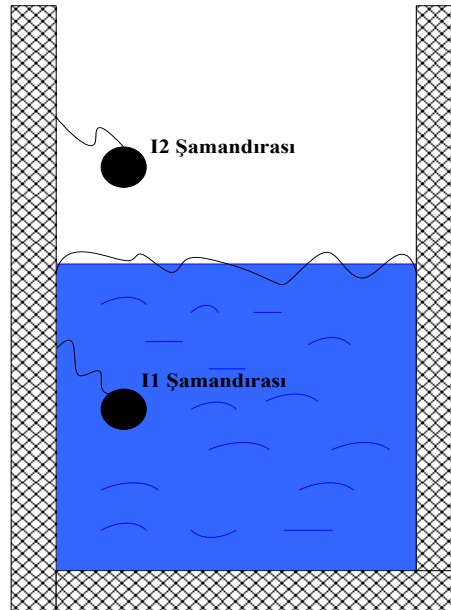
Bu maddelere göre otomasyonda en optimum çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Tarihsel açıdan otomasyon iki kısma ayrılmıştır. Yaz saati uygulaması için; 15 Mart-15 Ekim tarihleri arası, kış saati uygulaması için ise 16 Ekim-14 Mart tarihleri arası belirlenmiştir. Yaz saatinde 09:00-15:00 saatleri, kış saatinde ise 10:00-14:00 saatleri belirlenmiştir. Şekil 5.14'de PLC'nin girişleri ve çıkışı gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Otomasyon giriş/çıkışları

Su Deposu: 30 ton kapasiteli su deposunda yarı ve üst seviyede olmak üzere iki adet şamandıra yer almaktadır (Şekil 5.15). Bu şamandıralardan gelen dolu bilgisi lojik 0, boş bilgisi ise lojik 1 ile ifade edilmektedir.

- Lojik 11 – Depo tamamen boş,
- Lojik 10 – Depo yarıya kadar dolu,
- Lojik 00 – Depo tamamen dolu,



Şekil 5.15. Su deposu ve şamandıralar

Telsiz Haberleşme Sistemi: Depodaki şamandıralardan gelen bilgileri terfi binasındaki PLC'ye iletmek için telsiz haberleşme sistemi kullanılmıştır. Bu haberleşme sistemi; depodaki verici birim ile terfi binasındaki alıcı birimden oluşmaktadır. Verici birimde şamandıradan gelen bilgi elektronik devreye girmektedir ve bu bilgi devreye bağlı telsiz ile aynı kanala ayarlanmış alıcıya iletilmektedir. Alıcı devre bilgiyi telsiz vasıtasıyla alıp PLC'ye iletmektedir. Alıcı telsizin beslenmesi alıcı devre üzerinden şebekeye bağlanarak, verici telsizin beslenmesi ise 20 W'lık bir güneş paneli üzerinden şarj olan bir akü ile gerçekleştirilmektedir.

Analog Threshold Trigger: Otomasyonda iki adet analog threshold trigger kullanılmıştır. Bunlardan birincisinin on/off değerleri 922/824, ikincisinin ise 964/807 olarak ayarlanmıştır. Bu değerler sırasıyla 54/45,2 V (X1), 51.6/46 V (X2) gerilimlerine karşılık gelmektedir. Bu iki aralık için meydana gelen lojiksel dört durum aşağıdaki gibi olmaktadır.

- X1-X2, lojik 11
- X1-X2, lojik 10
- X1-X2, lojik 00
- X1-X2, lojik 01

Şekil 5.16'da analog threshold trigger ayarları ve Tablo 5.1'de ise PLC otomasyonu doğruluk tablosu verilmiştir.

Lojik 1 Üst Gerilim Seviyesi 54 V Ölü Bant (Deadband) Alt Gerilim Seviyesi 45,2 V Lojik 0 X1 Aralığı	Lojik 1 Üst Gerilim Seviyesi 51,6 V Ölü Bant (Deadband) Alt Gerilim Seviyesi 46 V Lojik 0 X2 Aralığı
--	--

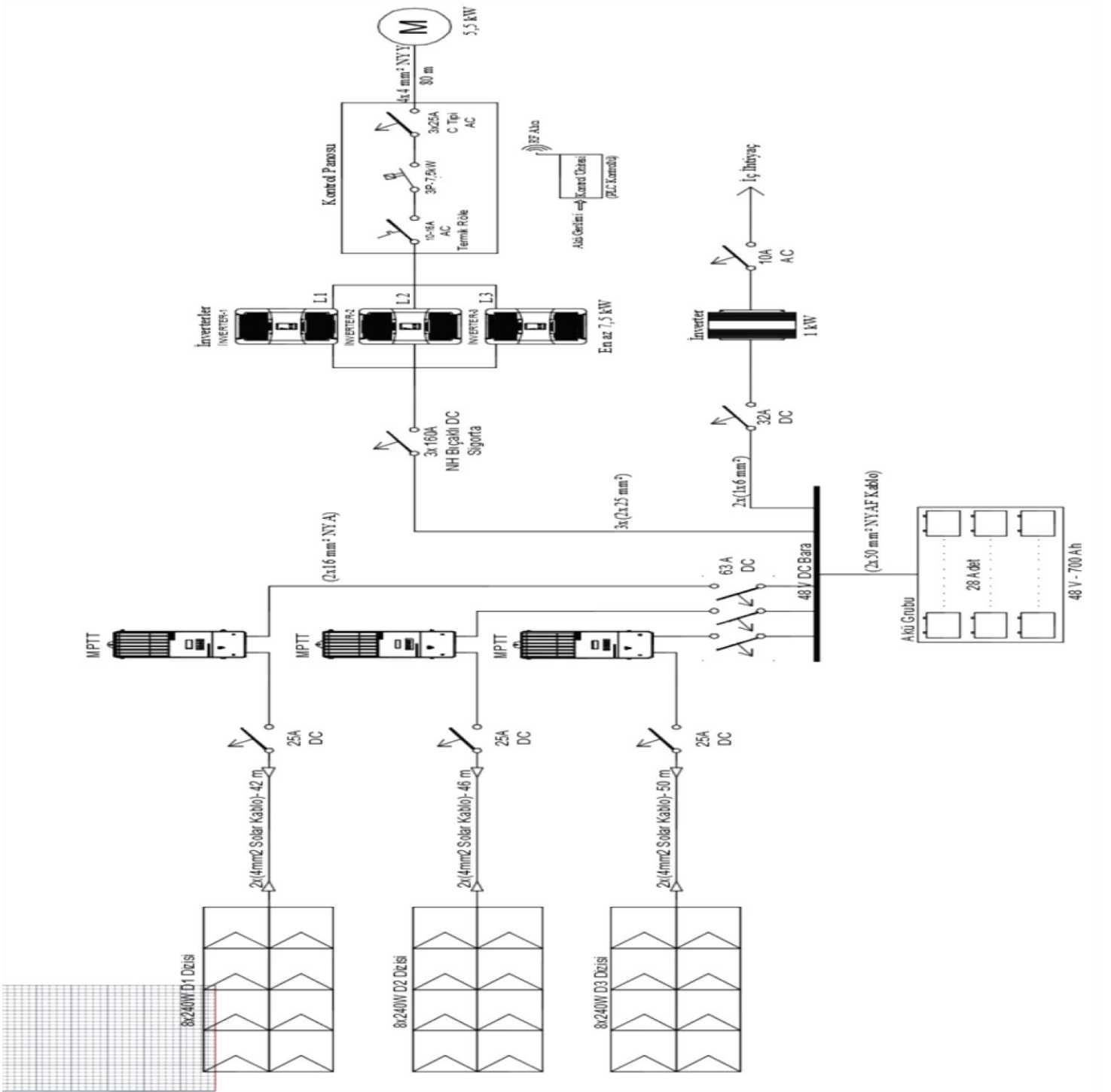
Şekil 5.16. Analog threshold trigger ayarları

Tablo 5.1. PLC otomasyonu doğruluk tablosu

X1	X2	I1	I2	MOTOR ÇALIŞ/DUR
1	1	1	1	ÇALIŞ
1	1	0	1	ÇALIŞ
1	0	1	1	ÇALIŞ
1	0	0	1	DUR
0	0	1	1	DUR
0	0	0	1	DUR
0	1	1	1	ÇALIŞ
0	1	0	1	DUR

5.7. Tek Hat Şeması

Şekil 5.17’de PLC kontrollü ve güneş enerjili su pompalama sisteminin tek hat şeması gösterilmiştir. Tek hat şemasından görüldüğü gibi toplam 24 adet 240 W’lık güneş panellerinden 3 adet sekizli dizi oluşturulmuş ve her dizi için ayrı bir MPPT’li şarj regülatörü kullanılmıştır. Şarj regülatörlerinin çıkışı, hem aküleri, hem toplam 7.5 kW’lık inverterleri ve hem de 1 kW’lık iç ihtiyaç inverterini besleyen 48 V’luk DA barasına bağlanmıştır. Güneş panellerinden elde edilen DA inverterler sayesinde alternatif akıma dönüştürülerek bir kontrol panosu üzerinden 5.5 kW’lık su pompası çalıştırılmaktadır.



Şekil 5.17. Sistemin tek hat şeması

5.8. Güneş Paneli İle Kurulan Sistemin Maliyet Hesabı

Tablo 5.2’de Gözebaşı köyü Yeşilyurt mezarası içme suyu temini için gerekli elektrik enerjisinin güneş panelleri ile karşılanması durumundaki yaklaşık maliyet hesabı verilmiştir. Tablo 5.2’de görülen maliyet hesabına, içme suyu temini için gerekli elektrik enerjisinin hem enerji iletim hattı hem de güneş panelleri ile karşılanması durumunda kullanılacak ortak teçhizatlar (otomatik klor dozaj pompası, dalgıç tipi elektromotopomp, dalgıç tipi elektrik motoru enerji kablosu, volanlı vana, kompanzasyon sistemi için gerekli ekipman, sigorta, kaçak akım rölesi, parafudr, topraklama elemanları v.b.) dahil edilmemiştir.

Tablo 5.2. Merkez-Gözebaşı köyü Yeşilyurt mezarası içme suyu güneş enerjisi santrali yaklaşık maliyeti

İMALATIN CİNSİ	MİKTAR	ÖLÇÜ	BİRİM FİYATI	TUTARI (TL)
5,5 kW gücünde PV paneller	1	Grup	14.250,00	14.250,00
7,5 kW gücünde inverter/driver sistemi	1	Grup	31.000,00	31.000,00
Panel konstrüksiyonu	1	Grup	7.200,00	7.200,00
33 kWh gücünde Jel Akü sistemi	1	Grup	17.500,00	17.500,00
Solar Şarj Regülatörü (MPPT özellikli)	2	Ad.	1.850,00	3.700,00
PLC kontrol sistemi ve programlanması	1	Ad.	3.300,00	3.300,00
1 kW inverter, iç ihtiyaç tesisatı ve aydınlatma	1	Ad.	2.200,00	2.200,00
İnşaat işleri (Teknik şartnamede belirtilen özelliklerde yere yeterli miktarda blokaj döşenmesi, zemin betonunun yapılması, tesisin dışına tel çit alınması, tel çitin yerine çekilmesi, tel çitin üzerine jiletli dikenli tel çekilmesi vb. her türlü malzeme ve işçilik dahil iş yerinde imalatı yapılmış olarak faal durumdaki fiyatı)	1	Ad.	7.000,00	7.000,00
TOPLAM (KDV hariç)				86.150,00

5.9. Enerji Nakil Hattı Maliyet Hesabı ve Karşılaştırma

Tablo 5.3’de Gözebaşı köyü Yeşilyurt mezarası içme suyu temini için, 34,5 kV orta gerilim enerji nakil hattı çekilmesi durumunda yapılan yaklaşık maliyet hesabı verilmiştir. Tablo 5.3’de görülen maliyet hesabına, içme suyu temini için gerekli elektrik enerjisinin hem enerji nakil hattı hem de güneş panelleri ile karşılanması durumunda kullanılacak ortak teçhizatlar dahil edilmemiştir.

Tablo 5.3. Merkez-Gözebaşı köyü Yeşilyurt mezrası içme suyu O.G. E.N.H. yaklaşık maliyet cetveli

İmalatın Cinsi	Miktar	Ölçü	Birim Fiyatı	Tutarı (TL)
Bakır Bara	60	Kg	20,95	1.257,00
Demir Direk	5329	"	5,45	29.043,05
Demir Travers	850	"	5,45	4.632,50
Demir Konstrüksiyon İmalatı	50	"	2,70	135,00
1 1/2" Galvanizli Boru	6	Mt	18,20	109,20
Swallow (3 AWG) İletken	417	Kg	17,15	7.151,55
35 KV VHD-35 Harici Mesnet İzolatör	69	Ad.	52,85	3.646,65
36 KV VKS-35 Harici Mesnet İzolatör	3	"	59,65	178,95
B-35 İzolatör Demiri	33	"	5,00	165,00
C-35 İzolatör Demiri	39	"	3,85	150,15
1*50 mm ² NYY Kablo	22	Mt	37,85	832,70
4*16 mm ² NYY Kablo	145	"	40,75	5.908,75
1*50 mm ² NYY Kablo	18	"	12,40	223,20
4*16 mm ² NYY Kablo	15	"	15,80	237,00
Kablo Başlığı	1	Ad.	39,70	39,70
400V, Metalize Polypropilen Kondansatör	3,5	kVAR	11,65	40,78
Kontaktör	1	Ad.	137,55	137,55
220/380 V (5-80) A Elk. ARC Sayaç	1	Ad.	477,45	477,45
36 KV 10 KA Parafudr	3	"	295,95	887,85
25 KVA H. AG Panosu	1	"	1.917,40	1.917,40
36KV 630 A Sigortalı Top. seksiyoner	1	Ad.	2.276,45	2.276,45
36KV 630 A Sigortalı Top. seksiyoner	1	Ad.	2.505,45	2.505,45
1*16 A Anahtarlı Otomatik Sigorta	3	"	12,50	37,50
3*25 A Anahtarlı Otomatik Sigorta	2	"	34,80	69,60
O.G. Sigorta patronu	6	"	33,05	198,30
Termik Manyetik Kompakt Şalter(3*80A)	1	"	181,10	181,10
Kaçak Akım Koruma Şalteri (4*80A)	1	"	35,00	35,00
Flatörlü Şamandıra	1	"	35,00	35,00
Tehlike Levhası	14	"	12,40	173,60
(30-36) 0.4-0.231 KV 25 KVA Trafo	1	"	4.991,30	4.991,30
Galvanizli Top Levhası (3 mm Kalınlık 0,5 m2)	16	"	76,95	1.231,20
Topraklama Şeridi	106	Mt.	10,80	1.144,80
TOPLAM (KDV hariç)				70.050,73

Tablo 5.2 ve 5.3’de çıkarılan toplam maliyetler karşılaştırıldığında, güneş enerjisi sisteminin daha maliyetli olduğu görülmektedir (maliyet farkı yaklaşık 16.000 TL dir). Ancak güneş enerjisi sisteminde işletme giderleri olmadığından ve kullanılan elektrik enerjisi için herhangi bir ücret ödenmeyeceğinden, kurulum aşamasında enerji iletim hattına göre yapılmış olan fazla maliyet çok kısa sürede amorti edilecektir.

Kurulmuş olan güneş enerjili su pompalama sistemi, 5.5 kW’lık pompanın günde en az 4 saat çalışabileceği düşünülerek tasarlanmıştır. Aynı pompanın şebekeden beslenmesi durumunda, günde 4.5 saat çalışacağı kabul edilirse, bu pompa günlük yaklaşık olarak 31 kWh, aylık 930 kWh ve yıllık 11160 kWh elektrik enerjisi harcayacaktır. Elektriğin birim fiyatı, sayaç okuma ve diğer vergilerle birlikte yaklaşık 0.4 TL alınırsa, güneş enerjili su pompalama yerine enerji nakil hattı ile şebeke elektriği kullanılması durumunda, yaklaşık olarak bir yılda ödenmesi gereken elektrik enerjisi maliyeti yaklaşık 4500 TL olacaktır.

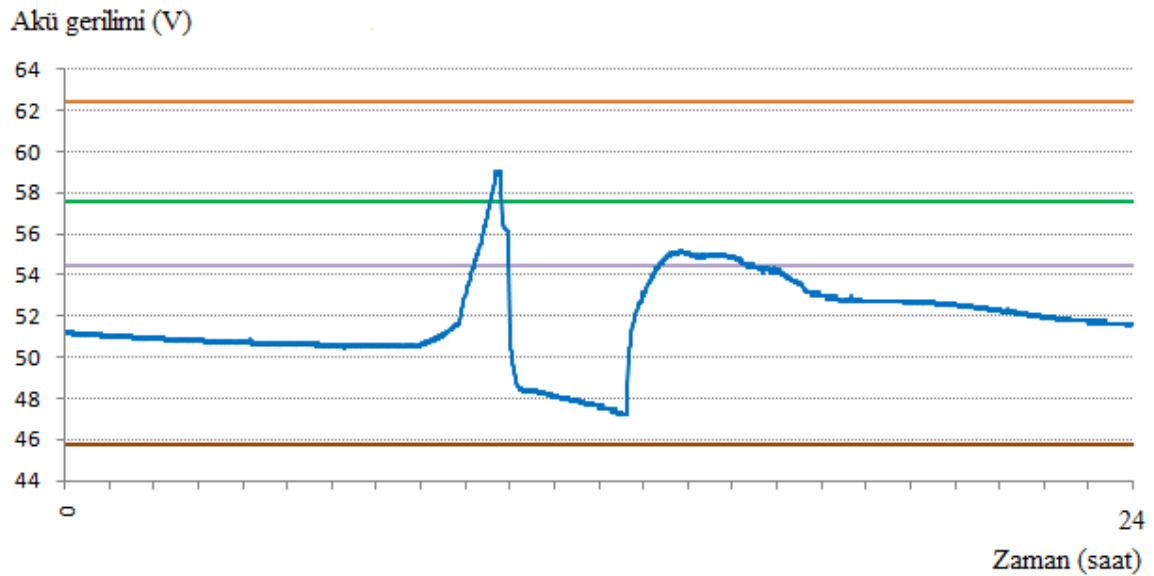
6. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Güneş enerjili su pompalama sistemi tamamlanarak çalıştırılmış ve köyün içme suyu güneş enerjisiyle sağlanmıştır. Böylece köylü artık elektrik parası ödemedi içme suyunu kullanabilecektir. Sistem çalışırken; akülerin akımı ve gerilimi, elde edilen AA ve alternatif gerilim, güç ve enerji vb. elektriksel bilgiler sürekli olarak kaydedilmektedir.

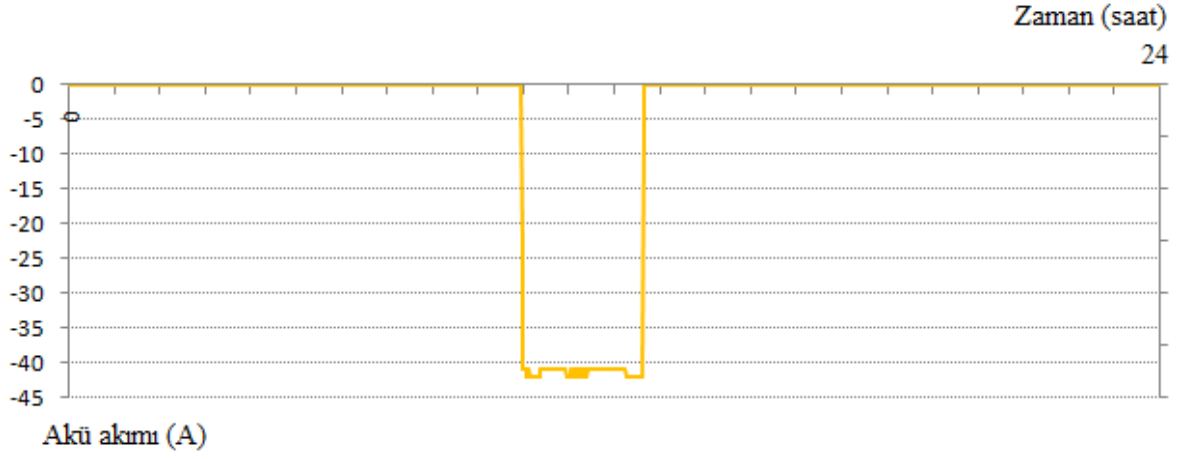
6.1. Günlük Sonuçlar

Şekil 6.1’de rastgele seçilen bir gün (07.01.2014) için akü gerilimi, Şekil 6.2’de akü akımı ve Şekil 6.3’de sistemin gücü gösterilmiştir. Şekil 6.1’den minimum akü gerilimi 47.1 V, maksimum akü gerilimi 59 V ve ortalama gerilim de 51.8 V olarak ölçülmüştür.

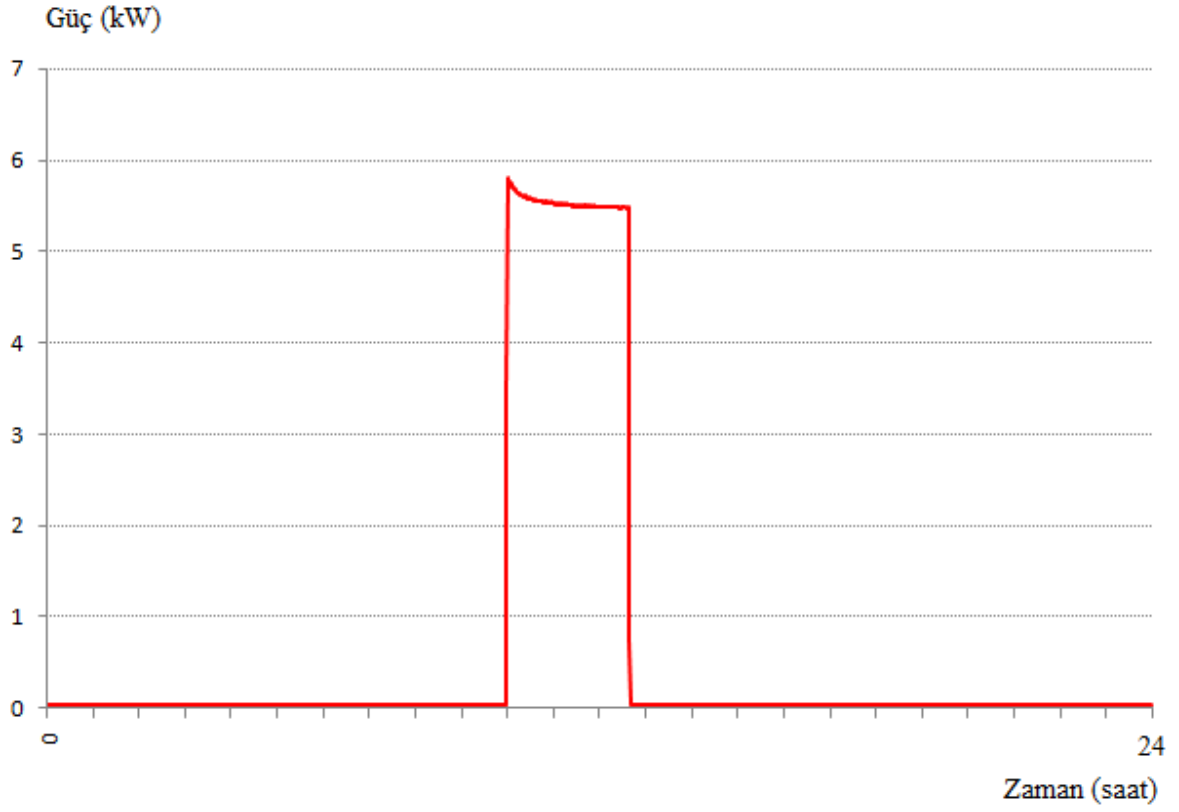
Şekil 6.1’den görüldüğü gibi önce akü geriliminde çok az bir azalma meydana gelmiş, daha sonra güneş panellerinin enerji üretmesiyle aküler şarj olmaya başlamıştır. Pompanın çalışmasıyla birlikte akü gerilimi düşmeye başlamış, ancak akü geriliminin 46 V’un altına düşmesine müsaade edilmediği için 13. saatten sonra akü gerilimi tekrar yükselmiştir. Akü geriliminin 54 V’un üstüne çıkması istenmediğinden, akü gerilimi 54 V’un üzerine çıktığında aküler tekrar devreye girerek pompayı güneş panelleri ile birlikte çalıştırmaktadır.



Şekil 6.1. Akü gerilimi



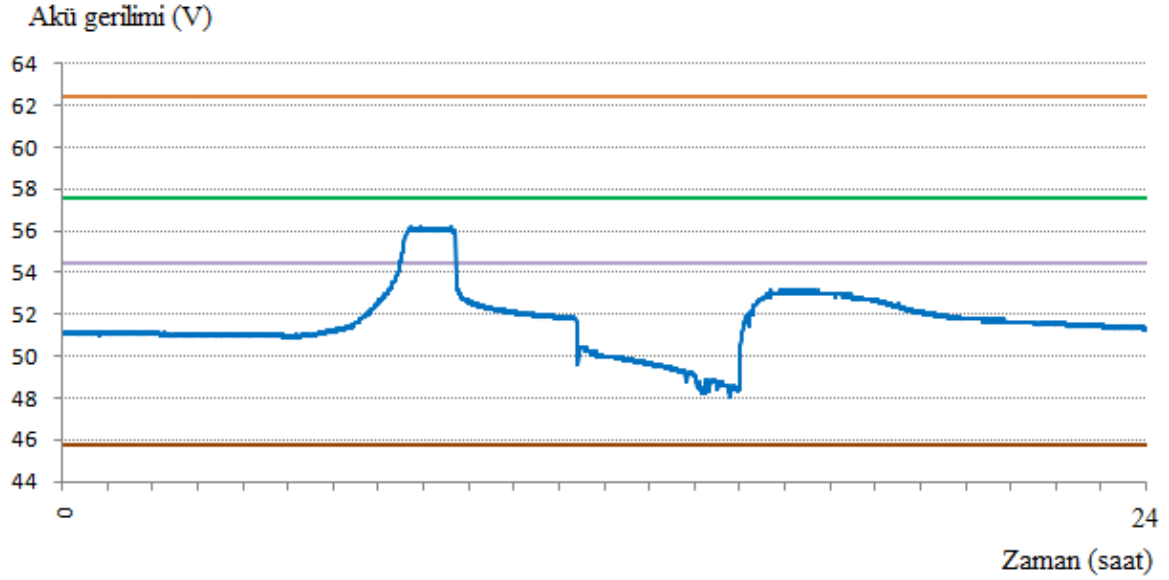
Şekil 6.2. Akü akımı



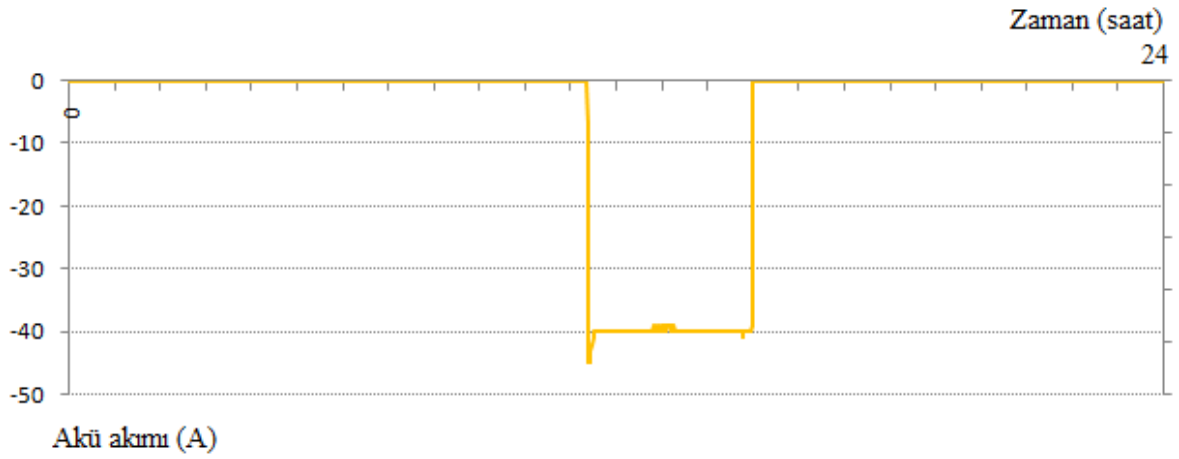
Şekil 6.3. Sistem gücü

Şekil 6.2 ve 6.3’den görüldüğü gibi pompa 10.00 ile 12:45 saatleri arasında çalıştığı için bu aralıkta akülerden akım çekilmektedir. Şekil 6.2’den görüldüğü gibi akülerden çekilen akım yaklaşık 40 A’dır. Geriye kalan 80 A ise güneş panellerinden sağlanmaktadır. Böylece akülerin daha uzun ömürlü olmaları sağlanmaktadır. Sistemin ürettiği güç ise yaklaşık 6 kW’dır.

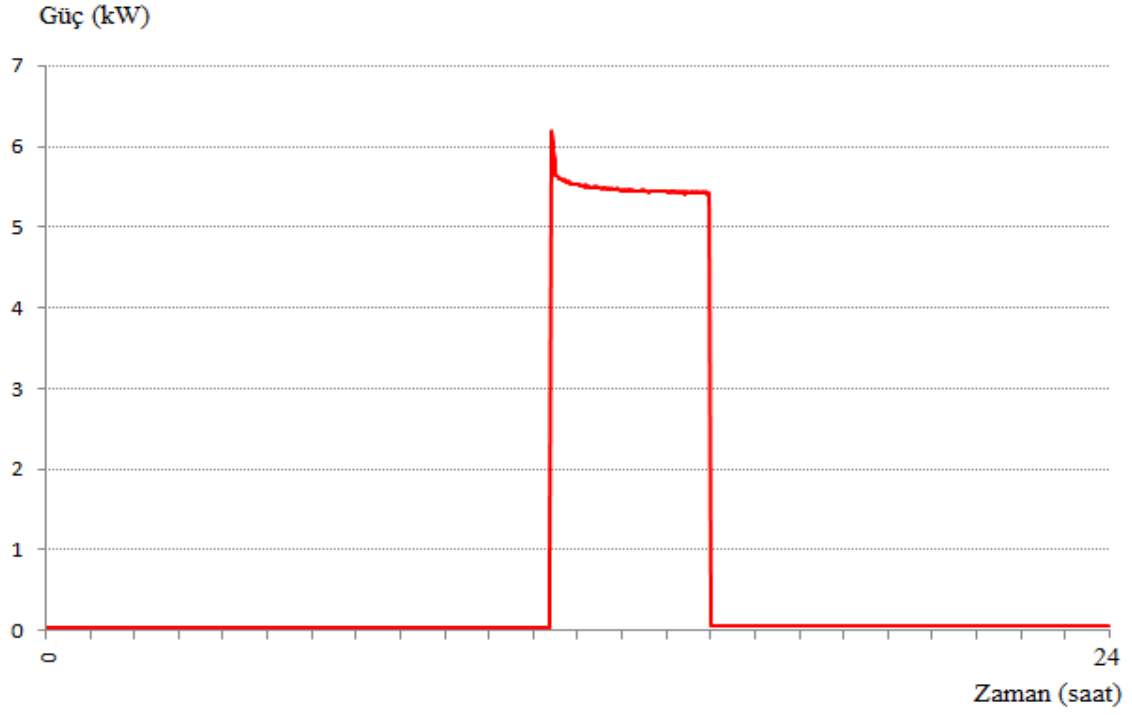
Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6’da sırasıyla başka bir gün (08.07.2014) için akü gerilimi, akü akımı ve sistem gücü gösterilmiştir. Şekil 6.4’den görüleceği gibi minimum akü gerilimi 47.9 V, maksimum akü gerilimi 56.2 V ve ortalama gerilim de 51.6 V’dur.



Şekil 6.4. Akü gerilimi



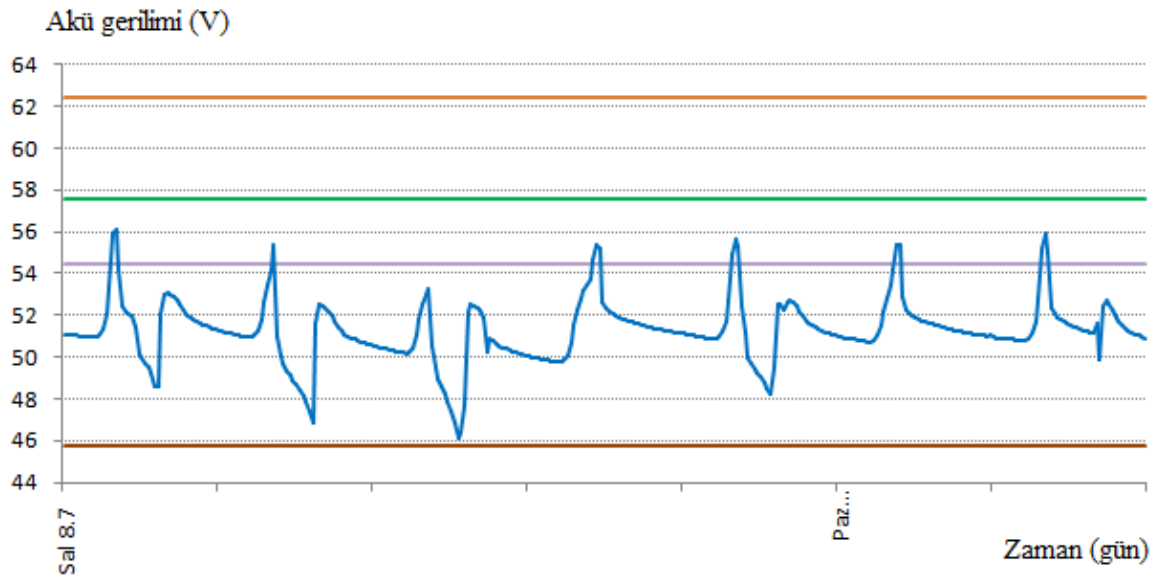
Şekil 6.5. Akü akımı



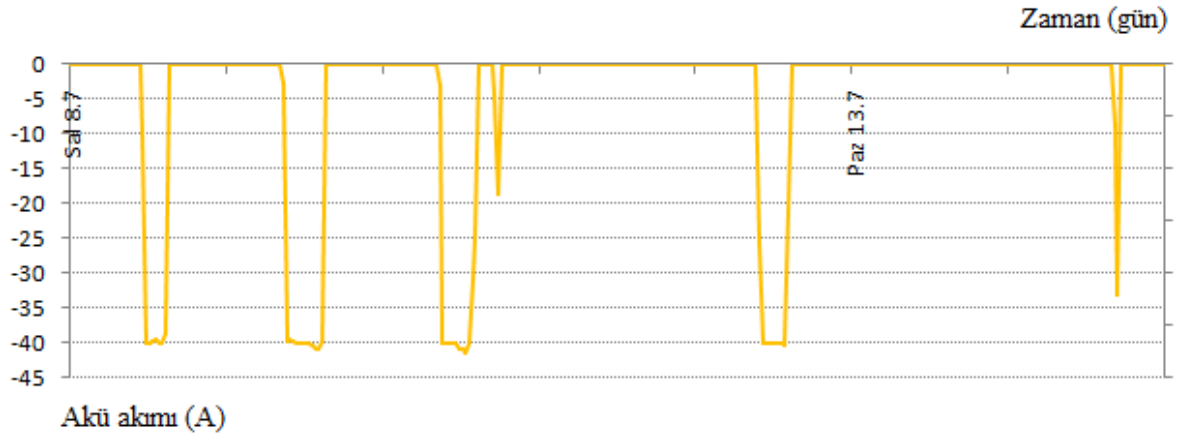
Şekil 6.6. Sistem gücü

6.2. Haftalık Sonuçlar

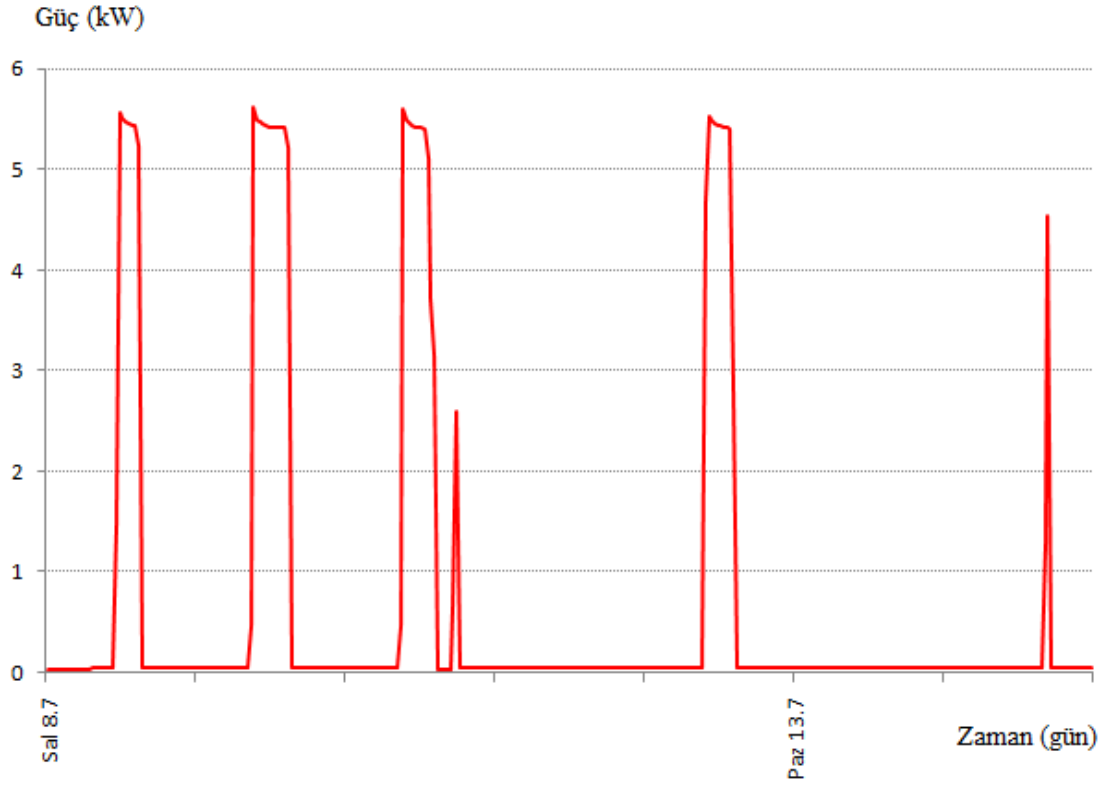
Şekil 6.7, 6.8 ve 6.9’da sırasıyla akü geriliminin, akü akımının ve sistem gücünün bir haftalık (08.07.2014 - 14.07.2014) değişimleri gösterilmiştir. Şekil 6.7’den görüleceği gibi minimum akü gerilimi 40.6 V, maksimum akü gerilimi 56.2 V ve ortalama gerilim de 51.3 V’dur.



Şekil 6.7. Akü gerilimi



Şekil 6.8. Akü akımı

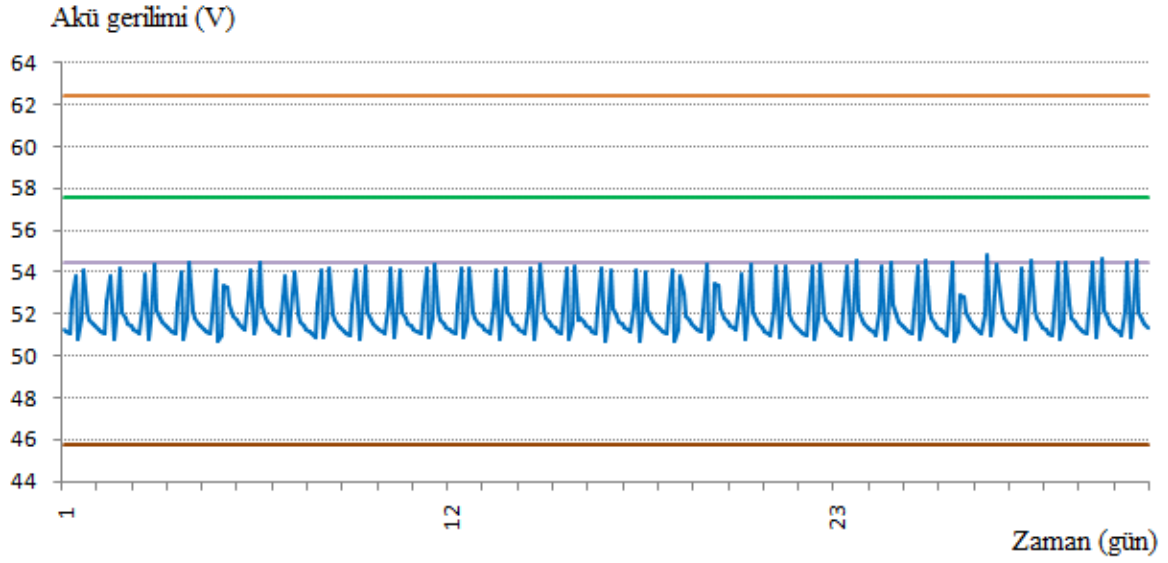


Şekil 6.9. Sistem gücü

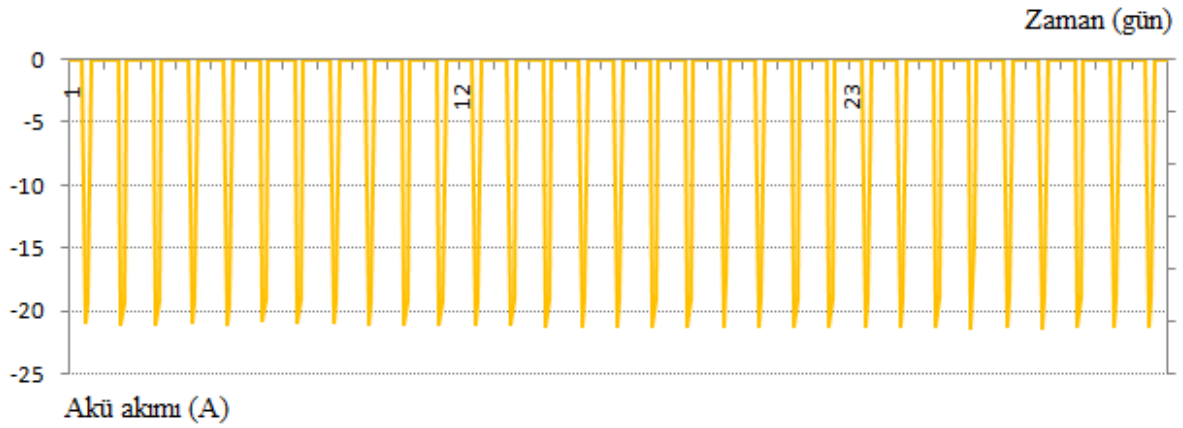
Şekil 6.8 ve 6.9'dan görüldüğü gibi seçilen bu hafta içerisinde Cuma ve Pazar günleri (su deposu yeterince dolu olduğu için) pompa çalışmamıştır. Ancak doğal olarak güneş panelleri enerji üretmeye devam ettiği için akülerde küçük sınırlar arasında şarj ve deşarj işlemi devam etmiştir.

6.3. Aylık Sonuçlar

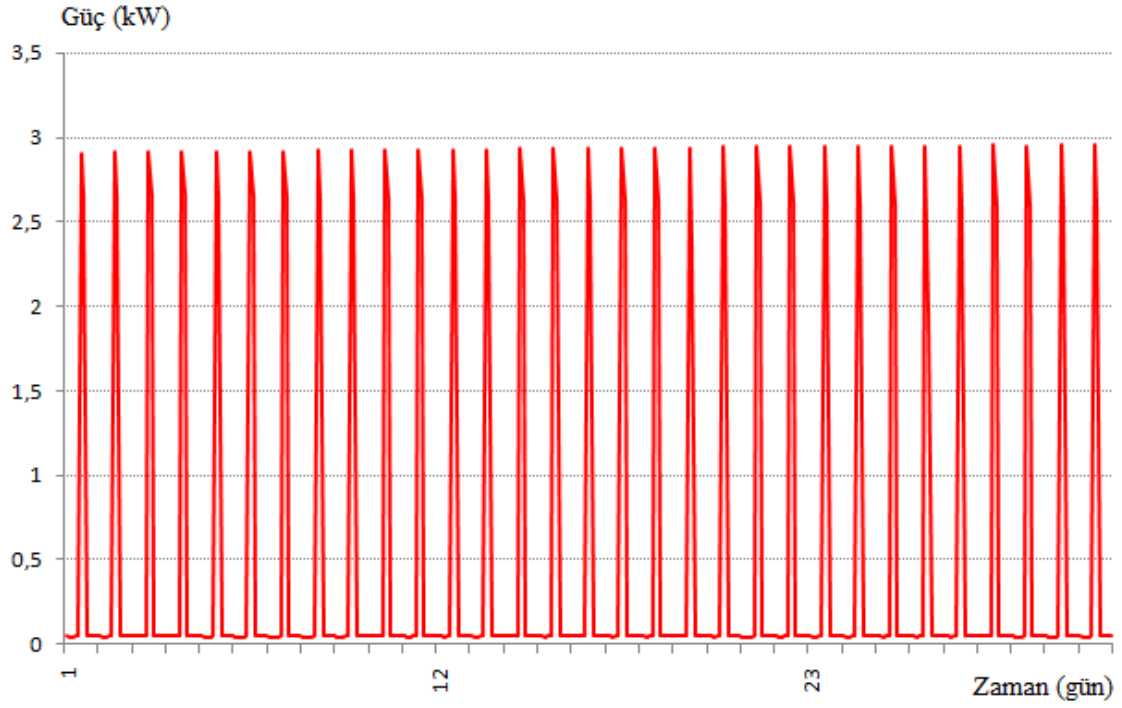
Şekil 6.10, 6.11 ve 6.12’de sırasıyla akü geriliminin, akü akımının ve sistem gücünün bir aylık (Ağustos) değişimleri gösterilmiştir. Şekil 6.10’dan görüleceği gibi minimum akü gerilimi 47.6 V, maksimum akü gerilimi 56.4 V ve ortalama gerilim de 52 V’dur.



Şekil 6.10. Akü gerilimi



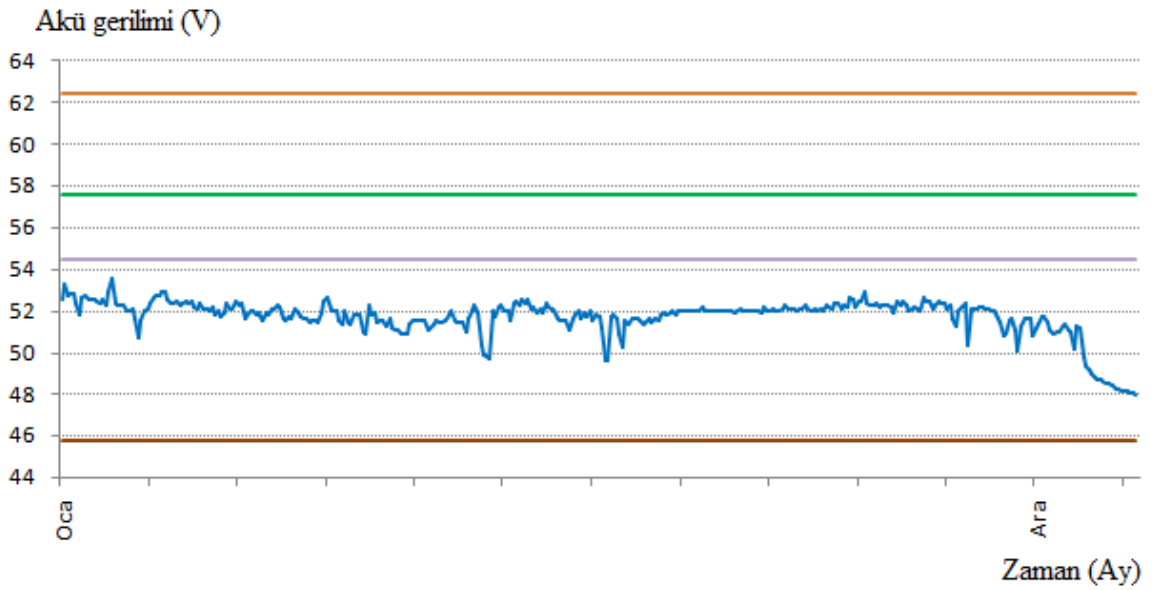
Şekil 6.11. Akü akımı



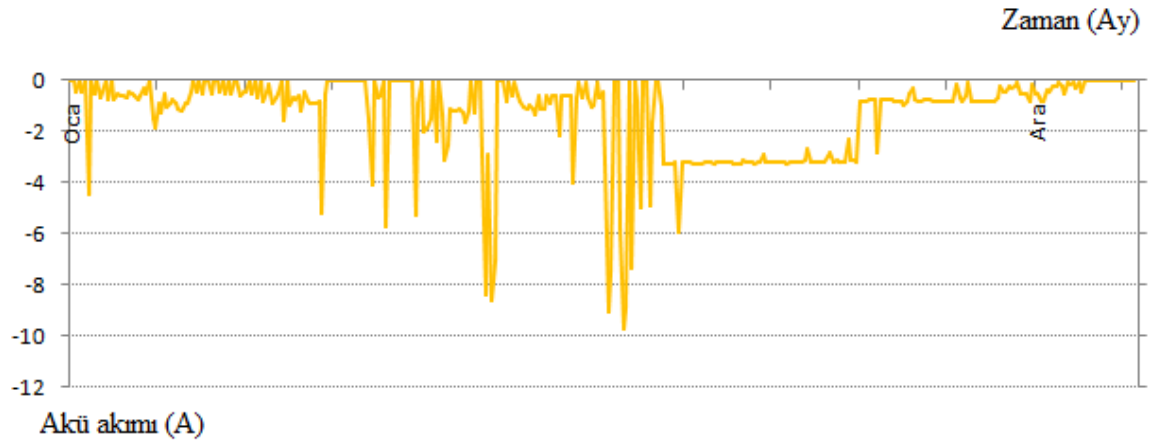
Şekil 6.12. Sistem gücü

6.4. Yıllık Sonuçlar

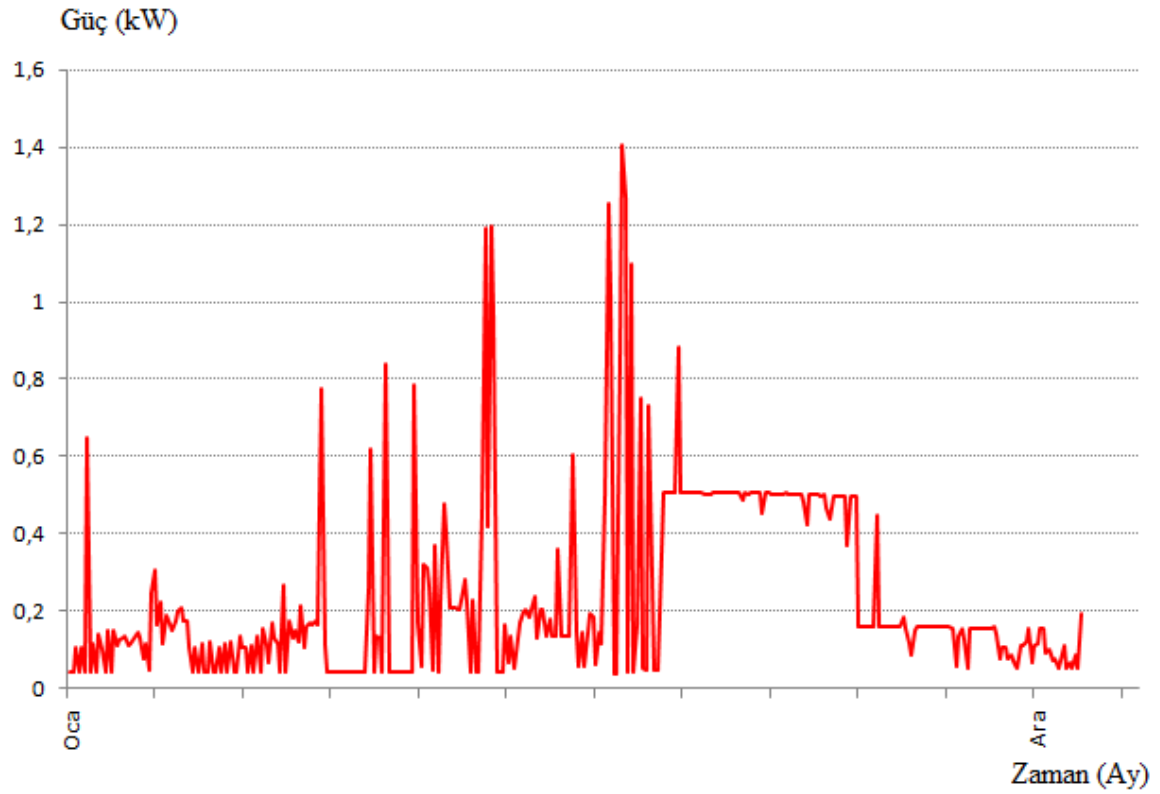
Şekil 6.13, 6.14 ve 6.15’de sırasıyla akü geriliminin, akü akımının ve sistem gücünün bir yıllık (2014) değişimleri gösterilmiştir. 2014 yılı için minimum akü gerilimi 22.4 V, maksimum akü gerilimi 59 V ve ortalama gerilim de 51.7 V olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.13. Akü gerilimi

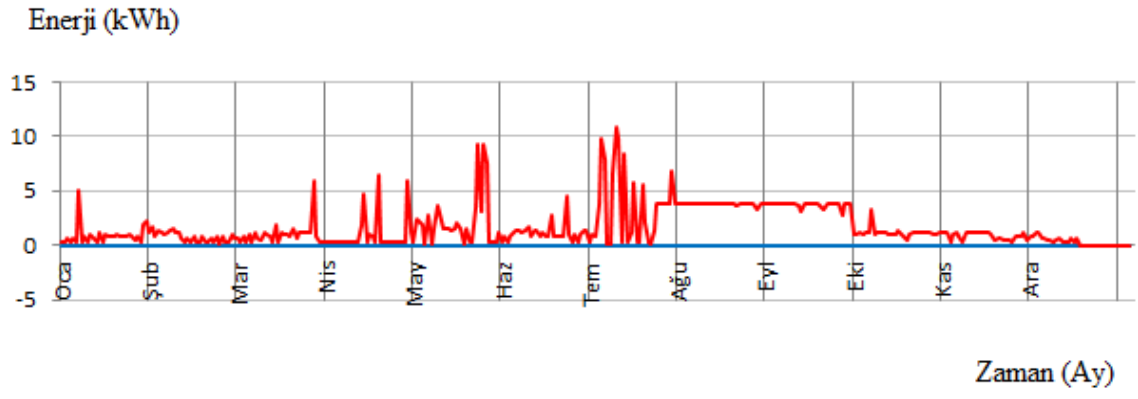


Şekil 6.14. Akü akımı



Şekil 6.15. Sistem gücü

Şekil 6.16’da güneş enerjisi sisteminin 2014 yılı için üretmiş olduğu elektrik enerjisinin aylara göre dağılımı gösterilmiştir. Görüldüğü gibi en fazla üretim, hem güneş ışınımının hem de su tüketiminin en fazla olduğu Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleşmiştir. Kış aylarında üretilen elektrik enerjisi ise daha azdır.



Şekil 6.16. 2014 yılında üretilen elektrik enerjisi

7. SONUÇ

Güneş enerjisi; ısıtmada, soğutmada ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılmakta olup, yapılan projeksiyonlarda 2040 yılına kadar Dünya enerji ihtiyacının % 26'sının güneş enerjisinden karşılanabileceği ve 2 milyondan fazla kişiye istihdam imkanı sağlanacağı belirtilmektedir.

PV sistemler şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olarak kullanılabilirler. Özellikle enerji nakil hattı çekilmesinin zor olduğu ve sadece bir motor çalıştırmak için kilometrelerce dağıtım hattı yapılmasının gerektiği durumlarda, şebekeden bağımsız sistemlerin kullanılması çok daha ekonomik olabilmektedir. Şebekeden bağımsız sistemlerde tüm elektrik ihtiyacının karşılanması gerekmektedir. Bu sistemlerde güneşin olduğu zamanlarda üretilen elektrik enerjisi akülerde depolanır ve ihtiyaç duyuldukça kullanılır. Şebekeye bağlı sistemler ise genelde ihtiyacın %50'si veya biraz daha fazlasını karşılayacak şekilde projelendirilirler. Bu sistemler her zaman tüm elektrik ihtiyacını karşılamak üzere projelendirilmezler. Çünkü daha büyük bir sistem daha pahalı olur. Şebekeye bağlı sistemlerde üretilen fazla enerji şebekeye geri verilir/satılır. Elektrik enerjisi ihtiyacı olduğunda ise şebekeden satın alınır.

Güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkemizde öncelikle elektrik enerjisi olmayan veya ulaştırılması zor ve pahalı olan yörelerde, küçük ölçekli zirai sulama amaçları için güneş pilleri ile beslenen su pompalama sistemleri kurulmalıdır. Türkiye ekonomisi büyük ölçüde tarıma dayalıdır ve sulama uygulamalarında ciddi anlamda elektrik enerjisi tüketilmektedir. Güneş enerjisinden tarımsal sulama amacıyla yararlanılması durumunda, toplam üretim giderleri içerisinde büyük yer tutan sulama giderleri ve buna bağlı olarak üretim maliyeti de azalacaktır. Bu sistemlerin ilk kurulum maliyetleri yüksek olmasına rağmen, uzun yıllar bazında düşünüldüğünde PV sistemler daha ekonomik bir çözüm olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

- 1) Yeşilata, B. ve Aktacir, A., 2001. Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması, *Mühendis ve Makina Dergisi*, **42 (493)**, 29-34.
- 2) Ghoneim, AA, 2004. Design Optimization of Photovoltaic Powered Water Pumping Systems, *Energy Conversion and Management*, **47**, 1449-1463.
- 3) Gençoğlu, M.T., Cebeci, M. ve Güneş, M., 2000. Güneş Enerjisi İle Çalışan PLC Kontrollü Su Pompası Sistem Tasarımı, *III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 207-215.
- 4) Atay, Ü., Işiker, Y. ve Yeşilata, B., 2009. Fotovoltaik Güç Destekli Mikro Sulama Sistemi Projesi-1: Genel Esaslar, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır, 57-62.
- 5) Kavlak, İ. ve Güngör, H., 2006. Fotovoltaik Piller ve Fotovoltaik Pillerin Tarımsal Sulamada Kullanılması, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, 22-29.
- 6) Işiker, Y., Yeşilata, B. ve Bulut, H., 2006. Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, 150-155.
- 7) Dursun, M. ve Saygın, A., 2006. Güneş Enerjisi İle Çalışan Bir Sulama Sistemi İçin Boost Konvertörlü Anahtarlamalı Relüktans Motor Sürücüsü, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **22 (1-2)**, 57-65.
- 8) Yeşilata, B., Aydın, M. ve Işiker, Y., 2006. Küçük Ölçekli Bir PV Su Pompalama Sisteminin Deneysel Analizi, *Makine Mühendisliği Dergisi*, **553**, 31-38.
- 9) Castillo-Cagigal, M., Gutiérrez, A., Monasterio-Huelin, F., Caamaño-Martín, E., Masa, D. and Jiménez-Leube, J., 2011. A Semi-Distributed Electric Demand-Side Management System with PV Generation for Self-Consumption Enhancement, *Energy Conversion and Management*, **52**, 2659–2666.
- 10) Çetin, E., Yılcı, A., Öztürk, H. K., İplikçi, S., Çolak, M. and Kaşıkçı, İ., 2010. A micro-DC power distribution system for a residential application energized by photovoltaic–wind/fuel cell hybrid energy systems, *Energy&Buildings*, **42 (8)**, 1344-1352.

- 11) Datta, M., Senjyu, T., Yona, A., Funabashi, T. and Kim, C., 2010. Photovoltaic output power fluctuations smoothing methods for single and multiple PV generators, *Current Applied Physics*, **10(2)**, 265-270.
- 12) Mellit, A. and Pavan A., 2008. A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy, *Solar Energy*, **84(5)**, 807-821.
- 13) Demirtaş, M., 2008. Güneş ve Rüzgar Enerjisi Kullanılarak Şebeke İle Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- 14) Köse, G., 2010. Hibrit (Güneş +Rüzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Kütahya Örneği”, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- 15) Kalay, A., 2008. Muğla Üniversitesi Yerleşkesinde Bulunan 15 kWp Kurulu Güce Sahip Fotovoltaik (PV) Sistemin Güç Kalitesinin İncelenmesi ve Şebeke Karakteristikleri İle Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Muğla Üniversitesi, Muğla.
- 16) Duffie, J. and Beckman, W.A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd edn., Wiley Interscience.
- 17) Düzenli, A., 2010. Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- 18) <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/world.html>
Energy Information Administration, International Energy Outlook 2008, World Economic Outlook US Government.
- 19) http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes_index.html
Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü.
- 20) Özgün, H., 2015. Fotovoltaik Enerji Sistemleri, Temel Kavramlar ve Örnek Projelerle Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri. Günder Yayınları, İstanbul.
- 21) Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2009. Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi.
- 22) Karamanav, M., 2007. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- 23) **Kurşuncu, B.**, 2010. Sıvı Pistonlu Stirling Motoru ile Güneş Enerjili Su Pompası Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- 24) **Masters Gilbert, M.**, 2004, Renewable and Efficient Electric Power Systems, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey (ABD), ISBN 0-471-28060-7.
- 25) **Altaş, İ.H.**, 1998. Fotovoltik Güneş Pilleri: Eşdeğer Devre Modelleri ve Güneş ile Sıcaklığın Etkileri, *3e Enerji, Elektrik, Elektromekanik*, **46**, 86-91.
- 26) **Ünkaya, E.**, 2001. Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi”, S.D.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Isparta.
- 27) Library of Congress Cataloging-in-publication Data, 2008, Planning and installing photovoltaic systems : A guide for installers, architects and engineers. 2nd ed., Hırvatistan.
- 28) **Jackson, F.**, 2008.Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, architects and engineers, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie-2nd ed, Berlin.
- 29) **Kumbasar, A.**, 2010. DA Çevirici Temelli Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin İncelenmesi ve Simülasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 30) **Kılıç, I.M.**, 2007. Fotovoltaik Sistem Eğitimi İçin Bir Simulink Araç Kutusu Tasarım ve Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- 31) **Bassam, N., Maegaard, P. and Schlichting, M.L.**, 2013. Current Distributed Renewable Energy Rural and Urban Communities.
- 32) **Çalıkoglu, S., Özdemir, E. ve Uçar, M.**, 2011. Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkileri, *4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu EVK 2011*, 275-279.
- 33) **Koner, P.K.**, 1995. Optimization Techniques for A Photovoltaic Water Pumping System, *Renewable Energy*, **6**, 53-62.
- 34) **Gopal, C., Mohanraj, M., Chandramohan, P. and Chandrasekar, P.**, 2013. Renewable Energy Source Water Pumping Systems-A Literature Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **25**, 351-370.

- 35) **Durak, B.**, 2014. Güneş Enerjisi İle Çalışan Küçük Ölçekli Pompalama Sisteminin Doğrudan ve Enerji Yedeklemeli Çalışma Modlarının Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- 36) **Can, H.**, 2011. Elazığ İlinin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Çıkarılması, Fırat Kalkınma Ajansı, TRB1/2011/DFD/39, Bilgilendirme Kitapçığı.
- 37) **Anis, W. R. and Metwally, H.M.B.**, 1994. Dynamic Performance of a Directly Coupled PV Pumping System, *Solar Energy*, **53**, 369-377.
- 38) **Suehrcke, H., Appelbaum, J. and Reshef, B.**, 1997. Modeling a Permanent Magnet DC Motor/Centrifugal Pump Assembly in a Photovoltaic Energy System, *Solar Energy*, **59**, 37-42.
- 39) **Braunstein, A. and Kornfeld, A.**, 1981. Analysis of Solar Powered Electric Water Pumps, *Solar Energy*, **27**, 235-240.
- 40) <http://goldenergy.com.tr/v3/index.php/urunler/gunes-enerjisi/gunes-enerjili-su-pompasi>
- 41) **Fıratoğlu, Z.A. ve Yeşilata, B.**, 2005. Direkt-Akupleli Fotovoltaik Su Pompası Sistemlerinin Çok Aşamalı Optimizasyonu, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, **1**, 53-67.
- 42) **Kıran, E.**, Güneş Enerjisi İle Su Pompalama Sistemleri, TMMOB EMO Dergisi, Sayı 412.
- 43) **Mummadi, V. C.**, 2000. Steady-State and Dynamic Performance Analysis of PV Supplied DC Motors Fed from Intermediate Power Converter, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **61**, 365-381.
- 44) **Short, T.D. and Oldach, R.**, 2003. Solar Powered Water Pumps: The Past, the Present-and the Future?, *Solar Energy Engineering*, **125**, 76-82.
- 45) **Short, T.D. and Thompson, P.**, 2003. Breaking the Mould: Solar Water Pumping-the Challenges and the Reality, *Solar Energy*, **75**, 1-9.
- 46) **Atay, Ü., Işıker, Y. ve Yeşilata, B.**, 2012. Güneş Enerjili Damla Sulama Sistemi Arazi Performansının Deneysel Değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makina*, **53(634)**, 15-20.
- 47) **Abu-Aligah, M.**, 2011. Design of Photovoltaic Water Pumping System and Compare it with Diesel Powered Pump, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, **5(3)**, 273-280.

ÖZGEÇMİŞ

Eda GENÇOĞLU

İl Özel İdaresi, Elazığ

E-posta: edagencoglu@gmail.com

- 1979 : Malatya’da doğdu.
- 1992-1996 : Malatya Lisesi’ni bitirdi.
- 1996-2001 : Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamladı.
- 2005-2006 : Özel bir şirkette mühendis olarak çalıştı.
- 2007-2009 : Kara Kuvvetleri Komutanlığı’nda sivil mühendis olarak çalıştı.
- 2009- : Elazığ İl Özel İdaresi, Plan Proje Şube Müdürlüğünde Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak çalışmaya başladı.