



T.C.

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAHRAMANMARAŞ İL MERKEZİ
KOŞULLARINDA OPTİMUM ENERJİ
VERİMLİLİĞİNE SAHİP FOTOVOLTAİK TEMELLİ
BİR ELEKTRİK JENERATÖRÜNÜN
MODELLENMESİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

ŞABAN YILMAZ

DOKTORA TEZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2015

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAHRAMANMARAŞ İL MERKEZİ
KOŞULLARINDA OPTİMUM ENERJİ
VERİMLİLİĞİNE SAHİP FOTOVOLTAİK TEMELLİ
BİR ELEKTRİK JENERATÖRÜNÜN
MODELLENMESİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

ŞABAN YILMAZ

Bu tez,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
DOKTORA
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2015

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Şaban YILMAZ tarafından hazırlanan “KAHRAMANMARAŞ İL MERKEZİ KOŞULLARINDA OPTİMUM ENERJİ VERİMLİLİĞİNE SAHİP FOTOVOLTAİK TEMELLİ BİR ELEKTRİK JENERATÖRÜNÜN MODELLENMESİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 17/ 08 /2015 tarihinde oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hasan Rıza ÖZÇALIK (DANIŞMAN).....
Elektrik-Elektronik Müh
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ (ÜYE)
İnşaat Müh.
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Derviş KARABOĞA (ÜYE)
Bilgisayar Müh.
Erciyes Üniversitesi

Doç. Dr. Mahit GÜNEŞ (ÜYE)
Elektrik-Elektronik Müh.
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet ALKAN (ÜYE)
Elektrik-Elektronik Müh.
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Şaban YILMAZ

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 2014/2-34D

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**KAHRAMANMARAŞ İL MERKEZİ KOŞULLARINDA OPTİMUM ENERJİ
VERİMLİLİĞİNE SAHİP FOTOVOLTAİK TEMELLİ BİR ELEKTRİK
JENERATÖRÜNÜN MODELLENMESİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
(DOKTORA TEZİ)**

ŞABAN YILMAZ

ÖZET

Enerji, çağımızda en önemli tüketim maddelerinden biri ve vazgeçilmez bir uygarlık aracıdır. Kişi başına tüketilen enerji miktarı bir ülkenin gelişmişlik düzeyini göstermektedir. Sonsuz enerji kaynağı güneş enerjisi ile elektrik üretimi her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Kahramanmaraş için kaydettiğimiz 12 aylık verileri analiz ettiğimizde, Kahramanmaraş'ın güneş enerjisi santralleri açısından uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Üniversitemiz Avşar Yerleşkesine 10 kW gücünde optimum enerji verimliliğine sahip güneş enerji santrali kurulmuş ve şebeke bağlantısı yapılmıştır. Optimum verim için; başta PV paneller olmak üzere kalitesi ve verimliliği test edilmiş eleman ve cihazlar kullanılmış, maksimum güç noktası izleme tekniğinin dikkate alınmış, panellerin, coğrafi ve iklim koşullarına göre en iyi ışınımı yakalayacak tarzda yönlendirilmesi sağlanmış, bağlantı elemanlarının kalitesine, bağlantı tekniği ve işçiliğine azami dikkat edilmiş, sistemin temizlik ve sağlamlığının periyodik denetimi yapılmıştır.

Güneş enerjisi santrali yıllık 17802 kWh enerji üretmiştir. Sistemdeki verim 1780 kWh/kWp olup, günlük ortalama güneşlenme süresi 5,12 saat olarak hesaplanmıştır. Kâra geçiş noktası 5,8 yıl olarak bulunmuştur. Toplam yıllık ışınım 1876,578 kW/m² olarak ölçülmüştür. Optimum panel eğim açısının, 33° olduğu belirlenmiş ve en verimli PV panel tipinin Polikristal PV olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Güneş Enerjisi, GES, Optimum Enerji Verimliliği

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ağustos / 2015

Danışman: Prof. Dr. Hasan Rıza ÖZÇALIK

Sayfa sayısı: 175

**MODELING AND INSTALLING A PHOTOVOLTAIC GENERATOR WITH
OPTIMAL ENERGY AND EFFICIENCY IN KAHRAMANMARAŞ CITY
CENTRE CONDITIONS
(PhD. THESIS)**

ŞABAN YILMAZ

ABSTRACT

Energy is one of the consumable items of 21st century and an indispensable part of human civilization. Energy consumption per capita is an important indicator of level of development in a country. Solar energy is an important means of producing electricity as an infinite source of energy. When data of 12 months recorded for Kahramanmaraş are analyzed, it can be understood that it is a suitable region for solar energy plants.

An on-grid solar energy plant of 10 kW with optimal energy efficiency was installed in Avşar Campus of Kahramanmaraş Sütçü İmam University. In order to reach optimal efficiency, materials and devices, particularly PV panels, were put to quality and efficiency tests, maximum power tracking point was taken into account, panels were positioned at an ideal angle in order to benefit from geographical and climatic conditions at the maximum level, quality, labor and jointing techniques of fasteners were meticulously controlled, and system maintenance was performed regularly.

The solar power plant generated 17802 kWh of energy. System efficiency was 1780 kWh/kWp and daily average radiation time was 5.12 hours. Break-even point is 5.8 years. Total annual radiation was measured as solar 1876,578 kW/m². Optimal tilt angle was found as 33° and the most efficient PV panel type was identified as Polycrystalline PV.

Key Words: Photovoltaic, Solar energy, GES, Optimal Energy Efficiency

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electric-Electronic Engineering, August/ 2015

Supervisor: Prof. Dr. Hasan Rıza ÖZÇALIK

Page number: 175

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐması sűresince engin bilgi ve tecrűbelerinden faydalandıĐım ve çalıŐmamın her aŐamasında saĐladıĐı bilimsel katkılardan dolayı Prof. Dr. Hasan Rıza ŐZALIK' a, her fırsatta bilgi ve birikimlerinden yararlandıĐım tűm bűlűm hocalarıma teŐekkűr ederim.

Son olarak, manevi desteklerini gűrdűĐűm çocuklarım ve eŐime sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.

Şaban YILMAZ



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Tezin Yapısı.....	2
1.3. Literatür Özeti.....	3
1.4. Tezin Literatüre Katkıları	18
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	20
2.1.Güneşten Gelen Işının Dağılımı.....	20
2.2. Güneşin Elektromanyetik Spektrumu	21
2.3.Fotoelektrik Etki	22
2.4.Güneş Spektrumu.....	23
2.5.Güneş Sabiti	24
2.6.Güneş Geometrisi.....	26
2.6.1.Esas güneş açıları	26
2.6.1.1.Enlem açısı (Φ) {Latitude}	26
2.6.1.2.Saat açısı (ω) {Hour Angle}.....	27
2.6.1.3.Deklinasyon açısı (δ) {Declination Angle}.....	28
2.6.2.Türetilen güneş açıları.....	29
2.6.1.1.Zenit açısı (θ_z) {Zenith Angle}	29
2.6.1.2. Güneş yükseklik açısı (α_s) {Solar Altitude Angle}	29
2.6.1.3. Güneş azimut açısı (γ_s) {Solar Azimuth Angle}	30
2.6.1.4. Yüzey azimut açısı (γ) {Surface Azimuth Angle}	30
2.6.1.5. Eğim açısı (β) {Horizontal Tilt}	30
2.6.1.6. Güneşin geliş açısı (θ) { Angle of Incidence }.....	31
2.6.1.7. Güneş batımı açısı (ω_s) {Sunrise Hour Angle}	31
2.6.1.8. Gün uzunluğu (N_g) {Day Length}.....	31
2.7.Yüzeye Gelen Işınım.....	31
2.8. Güneş Pilinin Yapısı	39
2.9. Güneş Pilinin Eşdeğer Devresi	44
2.9.1. Güneş pilinin tek diyotlu eşdeğer devresi	45
2.9.2. Güneş pilinin iki diyotlu eşdeğer devresi	47

2.10. Fotovoltaik Panelin Modellenmesi	48
2.11. Fotovoltaik Panelin Karakteristikleri	51
2.11. Fotovoltaik Hücre Tipleri	55
2.11.1. Fotovoltaik hücrelerinin yapımında kullanılan malzemeler	55
2.11.2. Güneş pillerinin tarihsel gelişim sırasına göre sınıflandırılması.....	56
2.11.2.1. I. Nesil güneş pilleri	57
2.11.2.2. II. Nesil güneş pilleri	57
2.11.2.3. III. Nesil güneş pilleri.....	57
2.11.2.3. IV. Nesil güneş pilleri	57
2.11.3. Güneş pilleri ve verim artışları.....	57
2.11.4. Fotovoltaik güneş panelleri çeşitleri	58
3. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ (GES).....	60
3.1. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri.....	60
3.1.1. Şebekeden bağımsız sistemler (Off Grid)	60
3.1.2. Şebekeye bağlı sistemler (On Grid)	61
3.1.3. Hibrid sistemler.....	62
3.2. Fotovoltaik Sistemin Ana Elemanları	63
3.2.1. Fotovoltaik güneş pili.....	63
3.2.2. Şarj regülatörü.....	63
3.2.3. İnvörtörler (Evirici)	66
3.2.3. Aküler.....	71
3.2.4. Kablolar.....	73
3.2.4.1. Fotovoltaik panel dizi kabloları.....	73
3.2.4.2. DC ana kablosu	76
3.2.4.3. AC besleme kabloları	77
3.2.5. Maksimum güç noktası takibi (MPPT)	79
3.2.5.1. Sabit gerilim metodu	82
3.2.5.2. Kısa devre akım metodu.....	83
3.2.5.3. Açık gerilim metodu.....	84
3.2.5.4. Değişir-Gözle (Perturbation and Observation-P&O) algoritması.....	84
3.2.5.5. Artan iletkenlik metodu.....	86
3.2.5.5. Sıcaklık metodu.....	88
3.2.6. Matlab/Simulink ile MPPT uygulaması.....	88
3.2.6.1. Bulanık mantık denetleyici.....	89
3.2.6.2. BMD tabanlı MPPT'nin Matlab/Simulink ile modellenmesi.....	92
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	96
4.1. Kahramanmaraş Koşullarında GES Gerçekleştirilmesi.....	96
4.2. Güneş Enerjisi Santral Özellikleri	97
4.3. Fizibilite	98
4.3.1. Güneş enerjisi sistem yerleşim planı.....	98
4.3.2. Güneş enerjisi santrali yer seçimi	99
4.3.3. Güneş enerjisi sisteminin modellenmesi ve simülasyon çalışmaları	99
4.3.4. Gölge analizi (3D Model)	105
4.4. Performans	111
4.5. Projelendirme.....	114

	<u>Sayfa No</u>
4.6. Santralde Kullanılan Malzemeler	121
4.6.1. Fotovoltaik paneller	121
4.6.2. İnvörtörler.....	122
4.6.3. Güneş takip sistemi	123
4.6.4. Veri kayıt cihazı	125
4.7. GES kurulum çalışmaları.....	126
4.7.1. Topraklama	129
4.7.2. İletken hesabı	130
4.7.2.1. DC kablo iletken kesit hesabı.....	130
4.7.2.2. AC kablo iletken kesit hesabı.....	130
5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	132
5.1. GES Ölçüm Sonuçları.....	132
5.1.1. Performans ölçüm sonuçları.....	132
5.1.2. İklim değerleri ölçüm sonuçları	144
5.2. Maliyet Analizi	149
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	153
KAYNAKLAR.....	157
ÖZ GEÇMİŞ.....	168

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2-1. Güneşten gelen ışının dağılımı (Web05, 2015)	21
Şekil 2-2. Elektromanyetik güneş spektrumu (Web10, 2015).....	22
Şekil 2-3. Fotoelektrik etki (Web08, 2015).....	23
Şekil 2-4. Güneş spektrumu (Web14, 2015)	24
Şekil 2-5 Güneş- Dünya ilişkisi.....	24
Şekil 2-6. Güneş açıları	26
Şekil 2-7. Enlem açısı.....	27
Şekil 2-8. Saat açısı	27
Şekil 2-9. Deklinasyon açısı	28
Şekil 2-10. Zenit açısı.....	29
Şekil 2-11. Güneş yükseklik açısı.....	29
Şekil 2-12. Güneş azimut açısı	30
Şekil 2-13. Yüzey azimut açısı	30
Şekil 2-14. Eğim açısı.....	31
Şekil 2-15. Kahramanmaraş için güneş azimut açıları	36
Şekil 2-16. Modelden elde edilen ışınım değerleri (PVSYST-11.01.2015).....	38
Şekil 2-17. Günlük ışınım toplamının yıllık değişimi	39
Şekil 2-18. PN eklemi için fotovoltaik etki (Web17, 2015).....	40
Şekil 2-19. Güneş pilinin yapısı (Web16, 2015)	41
Şekil 2-20. Güneş pili (Web18, 2015).....	42
Şekil 2-21. Fotovoltaik panelin ışığa tepkisi (Web19, 2015)	43
Şekil 2-22. Fotovoltaik panelin yapısı (Web20, 2015).....	43
Şekil 2-23. Hücrelerin dizilimi (Web20, 2015).....	44
Şekil 2-24. Fotovoltaik güneş pili tek diyotlu hücre modeli	45
Şekil 2-25. Fotovoltaik güneş pili iki diyotlu hücre modeli	47

Şekil 2-26. Matlab modelin parametreleri	49
Şekil 2-27. Modellenen panel için tek diyotlu eşdeğer devre.....	49
Şekil 2-28. Matlab simulink ile modelleme.....	50
Şekil 2-29. PV Panel bloğunun matlab ile oluşturulması.....	50
Şekil 2-30. Akım –Gerilim karakteristiğinin ışınım ile değişimi	51
Şekil 2-31. Akım –Gerilim karakteristiğinin sıcaklık ile değişimi.....	51
Şekil 2-32. Akım –Gerilim karakteristiğinin seri direnç ile değişimi	52
Şekil 2-33. Akım –Gerilim karakteristiğinin paralel direnç ile değişimi	52
Şekil 2-34. Güç-Gerilim karakteristiğinin ışınım ile değişimi	53
Şekil 2-35. Güç –Gerilim karakteristiğinin sıcaklık ile değişimi	53
Şekil 2-36. Güç –Gerilim karakteristiğinin seri direnç ile değişimi.....	54
Şekil 2-37. Güç –Gerilim karakteristiğinin paralel direnç ile değişimi.....	54
Şekil 2-38. Malzemelerine göre fotovoltaik hücreler	56
Şekil 2-39. Güneş pillerinin tarihsel gelişim sırasına göre sınıflandırılması.....	56
Şekil 2-40. Güneş pilleri ve verim artışları (Web22, 2015)	58
Şekil 2-41. Fotovoltaik güneş panelleri çeşitleri	58
Şekil 3-1. Güneş enerjisi santral çeşitleri	60
Şekil 3-2. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem (Web25, 2015).....	61
Şekil 3-3. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler (Web25, 2015)	62
Şekil 3-4. Hibrid fotovoltaik sistemler (Web25, 2015).....	63
Şekil 3-5. Şarj regülatörü bağlantı şeması (Web41, 2015).....	64
Şekil 3-6. Şarj regülatörü.....	65
Şekil 3-7. Tipik bir invertörün yapısı (Öztürk, 2014).....	66
Şekil 3-8. Off-Grid invertörler (Web30, 2015)	68
Şekil 3-9. İnvertör çeşitleri (Web39, 2015).....	69
Şekil 3-10. Merkezi invertörler (Web40, 2015)	70

Şekil 3-11. Dizi invertörler (Web31, 2015).....	70
Şekil 3-12. Mikro invertörler (Web32, 2015).....	71
Şekil 3-13. Hibrid invertörler (Web33, 2015).....	71
Şekil 3-14. Jel aküler (Web36, 2015).....	72
Şekil 3-15. Fotovoltaik panel bağlantı uçları (Web35, 2015)	74
Şekil 3-16. Fotovoltaik panel bağlantı elemanları (Web37, 2015).....	74
Şekil 3-17. Solar kablo (Web38, 2015)	77
Şekil 3-18. AC besleme kabloları.....	78
Şekil 3-19. MPPT blok şeması	79
Şekil 3-20. MPPT noktası.....	80
Şekil 3-21. MPPT kazancı	81
Şekil 3-22. Akım-Gerilim karakteristiğinde MPPT değişimi.....	81
Şekil 3-23. Güç-Gerilim karakteristiğinde MPPT değişimi	82
Şekil 3-24. Sabit gerilim metodu çalışma diyagramı	83
Şekil 3-25. Kısa devre akım metodu blok diyagramını	84
Şekil 3-26. Açık gerilim metodu blok diyagramını	84
Şekil 3-27. Değiştir-Gözle (P&O) algoritması blok diyagramını.....	84
Şekil 3-28. P&O algoritmasının çalışma diyagramı.....	85
Şekil 3-29. Artan iletkenlik metodu blok diyagramını	86
Şekil 3-30. PV panelin dP/dV değişimini gösteren P-V karakteristik eğrisi.....	86
Şekil 3-31. Artan iletkenlik metodu çalışma diyagramı	87
Şekil 3-32. Sıcaklık metodu blok diyagramını	88
Şekil 3-33. Akım- Gerilim ve Güç-Gerilim karakteristikleri	89
Şekil 3-34. BMD blok diyagramı	89
Şekil 3-35. BMD algoritması kontrol akış şeması.....	90
Şekil 3-36. Bulanık mantık giriş üyelik fonksiyonu (ΔP)	90

Şekil 3-37. Bulanık mantık giriş üyelik fonksiyonu (ΔV).....	91
Şekil 3-38. Bulanık mantık çıkış kontrol fonksiyonu (ΔD).....	91
Şekil 3-39. BMD kontrol yüzeyi	91
Şekil 3-40. Matlab/Simulink ile yapılan MPPT uygulaması.....	93
Şekil 3-41. Test işareti olarak ışınım değerleri.....	93
Şekil 3-42. Modelden elde edilen güç çıkış işaretleri.....	94
Şekil 3-43. MPPT'li ile MPPT'siz arasındaki fark.....	94
Şekil 4-1. KSÜ güneş enerji santrali	96
Şekil 4-2. Fotovoltaik jeneratörün şeması	97
Şekil 4-3 Fotovoltaik jeneratörün yerleşim planı	98
Şekil 4-4. Fotovoltaik jeneratörün yerleşim planı	98
Şekil 4-5 Fotovoltaik jeneratörün kurulduğu alan.....	99
Şekil 4-6. Bir PV panel için Matlab/Simulink ile yapılan modelleme	100
Şekil 4-7. Fotovoltaik jeneratörün için voltaj planlaması.....	100
Şekil 4-8. 20 adet PV'den oluşan sistem için Matlab/Simulink ile yapılan modelleme ...	101
Şekil 4-9. Fotovoltaik jeneratörün çıkış gücü analizi	101
Şekil 4-10. Fotovoltaik jeneratörün bağlantı şeması	102
Şekil 4-11 Panel grubunun akım-gerilim karakteristiği	102
Şekil 4-12 Panel grubunun akım-gerilim karakteristiği	102
Şekil 4-13. GES kurulan bölgenin iklim özellikleri	103
Şekil 4-14. GES planlanan üretim değerleri.....	104
Şekil 4-15. 3D gölge analizi-1	105
Şekil 4-16. 3D gölge analizi-2.....	105
Şekil 4-17. 3D gölge analizi-3	105
Şekil 4-18. Sabah saatleri için 3D model	106
Şekil 4-19. Öğleden sonra için 3D model.....	106

Şekil 4-20. Akşama doğru için 3D model	107
Şekil 4-21.Farklı günler için gölge analizi	107
Şekil 4-22. 21.07.2015 Günü için gölge analizi	108
Şekil 4-23. 19.05.2015 Günü için gölge analizi	108
Şekil 4-24. Kutupsal koordinatlar direkt ışınım dağılımı	109
Şekil 4-25. Dik koordinatlar direkt ışınım dağılımı	109
Şekil 4-26. Aylara göre saat bazında aylık toplam üretilen enerji-1	111
Şekil 4-27. Aylara göre saat bazında aylık toplam üretilen enerji-2	111
Şekil 4-28. Enerji diyagramı.....	112
Şekil 4-29. Aylara göre performans değişimi.....	112
Şekil 4-30. Aylara göre ortalama günlük kayıpların değişimi.....	113
Şekil 4-31. Aylara göre ortalama kayıpların değişimi(%).....	113
Şekil 4-32. Günlük planlanan enerji çıkışı	114
Şekil 4-33.Sabit çatı sistemi bina planı-1	114
Şekil 4-34. Sabit çatı sistemi bina planı-2	115
Şekil 4-35. Güneş takip sistemi için panel yerleşim planı.....	115
Şekil 4-36. Panel bağlantı planı.....	116
Şekil 4-37. GES yerleşim planı	116
Şekil 4-38.Sabit çatı panel montaj planı.....	117
Şekil 4-39. Güneş takip sistemi temel projesi	117
Şekil 4-40. Tek hat şeması.....	118
Şekil 4-41. Elektrik projesi.....	118
Şekil 4-42. Açılara göre üretim değerleri	120
Şekil 4-43.Panel çeşitlerinin üretim değerleri	121
Şekil 4-44. Kullanılan panelin etiketi	122
Şekil 4-45.Kullanılan şebeke bağlantılı invertör	122

Şekil 4-46. Güneş takip sistemi	123
Şekil 4-47. Güneş takip sistemi mekanizması	124
Şekil 4-48. GPS ve kontrol kartı.....	125
Şekil 4-49. Veri kayıt cihazı.....	125
Şekil 4-50. Güneş takip sistemi temel çalışmaları.....	126
Şekil 4-51. Güneş takip sistemi montajı.....	127
Şekil 4-52. Sabit çatı sistemi bina inşaatı	127
Şekil 4-53. Sabit çatı sistemi panel montajı	128
Şekil 4-54.İnvertör montajı.....	128
Şekil 4-55. Toprak özgül direnci ölçümü	129
Şekil 5-1. Aylık toplam üretilen enerji miktarları	132
Şekil 5-2. Yıllık toplam üretilen enerji miktarları	133
Şekil 5-3. Günlük üretilen enerji miktarı.....	134
Şekil 5-4. Ağustos 2014 günlük enerji üretimi.....	134
Şekil 5-5. Eylül 2014 günlük enerji üretimi	135
Şekil 5-6 Ekim 2014 günlük enerji üretimi	135
Şekil 5-7. Kasım 2014 günlük enerji üretimi	136
Şekil 5-8. Aralık 2014 günlük enerji üretimi.....	136
Şekil 5-9. Ocak 2015 günlük enerji üretimi	137
Şekil 5-10 Şubat 2015 günlük enerji üretimi.....	137
Şekil 5-11. Mart 2015 günlük enerji üretimi	138
Şekil 5-12. Nisan 2015 günlük enerji üretimi.....	138
Şekil 5-13. Mayıs 2015 günlük enerji üretimi	139
Şekil 5-14. Haziran 2015 günlük enerji üretimi	139
Şekil 5-15. Temmuz 2015 günlük enerji üretimi.....	140
Şekil 5-16. 1 Mart 2015 pazar günü için saatlik güç değişimi	140

Şekil 5-17. 1 Mart 2015 pazar günü için sıcaklıkların değişimi.....	141
Şekil 5-18. 1 Mart 2015 pazar günü için saatlik ışıınım değişimi	141
Şekil 5-19. 1 Mart 2015 pazar günü için saatlik gerilim değişimi	142
Şekil 5-20. 1 Mart 2015 pazar günü için saatlik frekans değişimi	142
Şekil 5-21. 1 Mart 2015 pazar günü için saatlik akım değişimi	143
Şekil 5-22. Akım ve gerilimin yıllık değişimi	143
Şekil 5-23. Günlük güneşlenme süresinin değişimi	144
Şekil 5-24. Aylık toplam ışıınım değerleri	144
Şekil 5-25. Saatlik ortalama ışıınım değerleri	145
Şekil 5-26. Günlük toplam ışıınım değerlerinin değişimi	145
Şekil 5-27. Sıcaklık değişimleri.....	146
Şekil 5-28. Güç değişimleri (01.08.2014)	146
Şekil 5-29. Gerilim değişimleri (01.08.2015).....	147
Şekil 5-30. Akım değişimleri (01.08.2015).....	147
Şekil 5-31. Frekans değişimleri (01.08.2015)	148
Şekil 5-32. Kümülatif mali denge.....	150
Şekil 5-33. Yıllık gelir	151
Şekil 5-34. Yıllık mali denge.....	152

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2-1. Farklı günler için güneş sabiti örnekleri	25
Tablo 2-2. Farklı günler için deklinasyon açısı	28
Tablo 2-3. Farklı yüzeyler için yansıtma katsayıları.	34
Tablo 2-4. Güneş açıları (N 37° 34m 48", E 36° 55m 12").....	34
Tablo 2-5. Kahramanmaraş için güneş azimut açıları	36
Tablo 2-6. Farklı iller için güneş azimut açıları	37
Tablo 2-7. Modelden elde edilen ışı nım değerleri (PVSYST-11.01.2015).....	38
Tablo 2-8. Modellenen panelin parametreleri	48
Tablo 3-1. DC için iletken kesit tespit tablosu	76
Tablo 3-2. AC 380 V İçin İletken Kesit Tespit Tablosu	78
Tablo 3-3. Bulanık mantık kural tablosu	92
Tablo 3-4. Sonuç tablosu	95
Tablo 4-1. GES kurulan bölgenin iklim parametreleri (Web15, 2015).....	103
Tablo 4-2. GES planlanan üretim değerleri (PVSYST)	104
Tablo 4-3. Model yardımıyla elde edilen ışı nım değerleri	110
Tablo 4-4. Model yardımıyla elde edilen üretim değerleri.....	110
Tablo 4-5. Farklı çatı açıları için üretim değerleri.....	119
Tablo 4-6. Aylara göre ideal çatı açıları	119
Tablo 4-7. Farklı açıların kayıp yüzdesi	120
Tablo 4-8. İ nvertörün özellikleri	123
Tablo 4-9. Seçilen iletken kesitleri	131
Tablo 5-1. Aylık toplam üretilen enerji miktarları	133
Tablo 5-2. Öl çülen ve tahmin edilen üretilen enerji	148
Tablo 5-3. Öl çülen ve tahmin edilen ışı nım	149
Tablo 5-4. Maliyet analizi tablosu	150
Tablo 5-5. Kümülatif finansal denge	151

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

R_{Güneş}	Güneşin Yarıçapı
PV	Fotovoltaik
GES	Güneş Enerjisi Santrali
H₁₁	Güneşten Belli Bir Mesafedeki Işınım Miktarı
H_{Güneş}	Güneş Yüzeyindeki Işınım Miktarı
D	Güneşe Olan Uzaklık
G_{sc}	Güneş Sabiti
H_n	n. Günde Güneş Sabiti
n	Gün Sayısı
E_γ	Gelen Fotonun Enerjisi (Joule)
E'_γ	Saçılan Fotonun Enerjisi (Joule)
E_e	Saçılan Elektrom Enerjisi (Joule)
θ_{Foton}	Saçılan Foton Açısı
φ_{Elektron}	Saçılan Elektron Açısı
Φ	Enlem Açısı
GS	Gün Saati
ω	Saat Açısı
δ	Deklinasyon Açısı
θ_z	Zenit Açısı
α_s	Güneş Yükseklik Açısı
γ_s	Güneş Azimut Açısı
β	Eğim Açısı
γ	Yüzey Azimut Açısı
f	Güneş Sabitinin Günlere Göre Düzeltme Faktörü
H	Yatay Yüzeğe Gelen Anlık Işınım
H_n	Maksimum Güneş Işınımı
H_b	Eğik Yüzeğe Dik Direkt Güneş Işınımı Miktarı
H_{d,p}	Eğimli Bir Yüzeğe Difüz Işınım Miktarı
H_d	Yatay Bir Yüzeğe Difüz Işınım Miktarı

k_y	Yayılı Işınım Oranı
H_{gr}	Eğimli Bir Yüzeyde Yansıyarak Gelen Işınım Miktarı
K_T	Bulutluluk Faktörü
ρ_g	Yüzey Yansıtıcılığı
θ	Güneşin Geliş Açısı
ω_s	Güneş Batımı Açısı
N_g	Gün Uzunluğu
H_T	Yatay Yüzeye Gelen Toplam Işınım
E_{VB}	Değerlik Bandının Üst Enerji Seviyesi
E_{CB}	İletkenlik Bandının En Alt Enerji Seviyesi
FV	Fotovoltaik
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
R_{SH}	Güneş Pili Modeli Paralel Direnç
R_s	Güneş Pili Modeli Seri Direnç
I_D	Diyot Akımı
I_e	Elektron Akımı
I_h	Boşluk Akımları
q	Elektron Yüğü
V_D	Diyotun Uçları Arasındaki Potansiyel Farkı
m	İdealite Faktörü
k	Boltzmann Sabiti
T	Kelvin cinsinden mutlak sıcaklık
N_{pc}	Paralel Kol Sayısı
N_{sc}	Seri Kol Sayısı
P_M	Maksimum Güç
C_0	Sıcaklık Katsayısı
I_{Foto}	Fotovoltaik Akım
I_{sh}	Paralel Direnç Akımı
I_{oref}	Referans Akımı

b	Yarı İletken Sabiti
I_{pil}	PV Pilin Çıkış Akımı
G_{ref}	Nominal Güneş Işığı Miktarı
G	Güneş Işığı Miktarı
I_{sc}	Nominal Kısa Devre Akımı
V_{oc}	Nominal Açık Devre Voltajı
I_M	Maksimum Güç Noktasında Mevcut Akım
T_{ref}	Hücrenin Nominal Çalışma Sıcaklığı
V_M	Maksimum Güç Noktasında Mevcut Voltaj
K_v	Gerilim Sıcaklık Katsayısı
K_i	Akım Sıcaklık Katsayısı
E_g	Diyot Bant Genişliği
I_0	Diyot Doyma Akımı
V_{Panel}	Panel Gerilimi
I_{panel}	Panel Akımı
V	Gerilim
I	Akım
P	Güç
P_{max}	Nominal Güç
V_{mp}	Nominal Güç Voltajı
I_{mp}	Nominal Güç Akımı
V_{oc}	Açık Devre Voltajı
I_{sc}	Kısa Devre Akımı
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takip
VRLA	Valf Regulated Lead Acid/ Sübap Ayarlı Kurşun Asit Akü
AGM	Absorbed Glass Matt / Elektroliti Seperatörlere Emdirilmiş
L_{PD}	Panel Dizi Kablo Uzunluğu
P_{P-DC}	Panel Dizi Kablo Kayıpları
A_{PD}	Panel Dizi Kablo Kesiti
K_{iL}	Elektriksel İletkenlik

K_{iL-Cu}	Bakırın Elektriksel İletkenliği
K_{iL-Al}	Alüminyumun Elektriksel İletkenliği
P_{PD}	PV Panel Dizi Nominal Gücü
V_{PD-MPP}	PV Panel Dizi Nominal Voltajı
I_{PD-n}	PV Panel Dizi Nominal Akımı
n_p	PV Panel Sayısı
A_1	1. Panel Dizisinin Kablo Kesiti
A_2	2. Panel Dizisinin Kablo Kesiti
A_3	3. Panel Dizisinin Kablo Kesiti
L_1	1. Panel Dizisinin Kablo Uzunluğu
L_2	2. Panel Dizisinin Kablo Uzunluğu
L_3	3. Panel Dizisinin Kablo Uzunluğu
L_{DCA}	DC Ana Kablosu Uzunluğu
P_{DCA}	DC Ana Kablosu Kayıpları
A_{DCA}	DC Ana Kablosu Kesiti
P_{DCA-n}	DC Ana Kablosu Nominal Gücü
$V_{DCA-MPP}$	DC Ana Kablosu Nominal Voltajı
I_{DCA}	DC Ana Kablosu Nominal Akımı
LF	loss factor/ kayıp faktörü
L_{ACK}	AC Kablo Uzunluğu
P_{ACK}	AC Kablo Kayıpları
A_{ACK}	AC Kablo Kesiti
$\cos\phi$	Güç Katsayısı
V_{ACK}	AC Kablo Nominal Voltajı
I_{ACK-n}	AC Kablo Nominal Akımı
$NREL$	National Renewable Energy Laboratory
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
GES	Güneş Enerjisi Santrali
$PC-ID$	Geliştirilmiş Güneş Pili Modeli

I_m	optimum işletme akımı
k_a	akım orantı sabiti
S	Işıma Seviyesi
P&O	Değişir-Gözle/ Perturbation and Observation
STK	Standart Test Koşulları
V_{ocSTK}	STK Altındaki Açık Devre Gerilimi
V_{m_STK}	STK altında MPPT gerilimi
T_{PV}	Hücre Sıcaklığı
T_{STKPV}	STK Altındaki Hücre Sıcaklığı
u, v, w, ν, y	Optimum Gerilim Denklem Parametreleri



1. GİRİŞ

Enerji, çağımızda en önemli tüketim maddelerinden biri ve vazgeçilmez bir uygarlık aracıdır. Enerji, günlük hayatımızda ihtiyaçlarımızı karşılama ve yaşamımızı devamlı kılabilmek için vazgeçilmezdir. Kişi başına tüketilen enerji miktarı bir ülkenin gelişmişlik düzeyini göstermektedir (Demircan, 2014). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'ya göre dünyada kişi başına tüketilen enerji miktarı 2972 kWh iken Çin'de 3488 kWh, Almanya'da 7138 kWh, Amerika Birleşik devletlerinde 12 947 kWh, Yemende 177 kWh ve Türkiye'de 2760 kWh'dir (IEA, 2014).

Tüketmekte olduğumuz enerjinin büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtları tükenme riski ve çevreye zarar vermesi her geçen gün yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği mücadelesini sağlamak için 181 ülke ile birlikte 1997 yılında Kyoto protokolü imzalanmış ve 2005'te yürürlüğe girmiştir. Kyoto protokollerini kabul eden ülkelerden biri de Türkiye olup, CO₂ ve sera etkisine neden olan diğer beş gazın salınımını azaltmaya söz vermiştir (IEA, 2010). Dünya'da birçok ülkenin ve özellikle Türkiye'nin, 21. yüzyılda karşı karşıya bulunduğu en büyük sorunlardan biri enerjide dışa bağımlılıktır. Enerji tüketiminin sürekli arttığı dünyada, enerjinin %80'i fosil kaynaklıdır. Fosil yakıtlara bağımlılık ekonomiye yük oluşturmanın yanı sıra iklim değişikliğine neden olan sera gazlarının atmosferde birikmesine de yol açmaktadır (Biçer, 2014).

Dünyamızda enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık olarak %4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık bu ihtiyacı karşılamakta olan fosil yakıt rezervi ise çok daha hızlı bir şekilde tükenmektedir. Dünya'da fosil kaynaklı enerji tüketiminin azaltılması için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artırılması gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjilerdir. En genel olarak, yenilenebilir enerji kaynağı; enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilmesi olarak tanımlanır. Yenilenebilir enerji kaynakları tükenmeyen ve konvansiyonel enerji kaynaklarından çevreye en az zarar veren kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının her biri çeşitli uygulamalar için özel avantajlara sahiptir. Bu kaynakların hiçbiri işlemleri boyunca ne sıvı ne de gaz olarak kirlilik oluşturmazlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bir diğer önemli yanı, yeni iş alanları yaratmasıdır. Modern yenilenebilir enerji çeşitleri şunlardır; Hidroelektrik Enerji, Jeotermal Enerji,

Rüzgâr Enerjisi, Biokütle Enerjisi, Deniz Kökenli Yenilenebilir Enerji, Hidrojen Enerjisi, Güneş Enerjisi (Doğu, 2014).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi temiz, güvenli, gürültüsüz, kolay ve kısa kurulum süresi gibi önemli avantajlarıyla birlikte gelecek için en ümit verici enerji seçeneklerinden biridir. Büyük ve küçük ölçekli fotovoltaik (FV) sistemleri dünyanın gelecekteki enerji gelişiminde çok önemli bir yere sahip olacaktır. FV piyasası son yıllarda bütün dünyada hızla büyümektedir. Bu eğilimin ana nedenleri olarak FV üretim maliyetlerinin düşmesi ve şebekeye bağlı FV sistemlerin sayısının artması gösterilebilir (Gökmen, 2013).

1.1. Tezin Amacı

Enerji ihtiyacının her geçen gün artmasına rağmen, mevcut enerji kaynakları azalmakta ve maliyeti artmaktadır. Özellikle fosil yakıtlar çevreye ciddi zarar vermektedir. Tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için güneş enerjisi önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinden doğrudan elektrik üreten fotovoltaik sistemler gelişen teknolojiyle birlikte daha ekonomik hale gelmektedir. Yatırım maliyeti oldukça yüksek olan güneş enerjisi sistemlerinin optimum planlanması gerekmektedir. Güneş enerjisi sistemleri bölgesel şartlara göre farklı performans göstermektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, Kahramanmaraş il merkezi koşullarında optimum enerji verimliliğine sahip fotovoltaik temelli bir elektrik jeneratörünün modellenmesi ve gerçekleştirilmesidir. Tez kapsamında Üniversitemiz Avşar Yerleşkesine 10 kW gücünde optimum enerji verimliliğine sahip şebeke bağlantılı güneş enerji santrali kurulması amaçlanmıştır.

1.2. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm olan giriş bölümünde, tezin amacı, kapsamı, literatür özeti ve literatür katkısı yer almaktadır.

Bölüm 2’de güneş enerjisi ile ilgili genel bilgiler, güneş geometrisi, fotovoltaik panellerin modellenmesi, Fotovoltaik panel çeşitleri ve güneş pilinin yapısı yer almaktadır.

Bölüm 3’de Güneş enerjisi santralleri hakkında detaylı bilgi yer almaktadır.

Bölüm 4’de ise bu tez çalışması kapsamında kurulan 10 kW gücündeki fotovoltaik temelli bir elektrik jeneratörünün modellenmesi ve gerçekleştirilmesi yer almaktadır.

Bölüm 5’de kurulmuş olan güneş enerjisi santralının bir yıllık çalışması sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilmektedir.

Son bölümde ise tez aşamasının diğer bölümlerinde elde edilen sonuçlar ile ilgili değerlendirmeler yer almaktadır.

1.3. Literatür Özeti

Fotovoltaik etki, 1839 yılında 19 yaşındaki Fransız fizikçi Alexander Edmond Becquerel’ in platin plakalar ile yapmış olduğu deneyler sonucunda keşfedilmiştir. Bu keşiften günümüze kadar, özellikle enerji probleminin ciddi bir hal aldığı son yarım asırda, yenilenebilir enerji kaynaklarının keşfi, üretilmesi ve günlük hayata entegrasyonu açısından fotovoltaik etki en büyük rolü oynamıştır. Günümüz güneş pilleri teknolojisi özellikle bu olaya dayanmaktadır (Altunoymak, 2014).

1876 yılında, William Grylls Adams ve öğrencisi Richard Evans Day, selenyum gibi katı bir maddenin ışığa tutulduğunda elektrik ürettiğini görmüşlerdi. Fakat selenyum güneş hücreleri 5 Watt/m² enerji ürettikleri için yalnızca % 0,5 verime sahipti. 1883 yılında ise, Amerikalı Charles Fritts, selenyum maddesini altın ile kaplayarak %1 verimli ilk güneş hücresini imal etti. Bu icadı daha sonra kameralarda ışık sensörü olarak kullanıldı. Albert Einstein ise, ışığın doğası ve fotoelektrik etkiyi çalıştığı mekanizma teoremleri ile bu çalışmaları ilerleterek, 1905 yılında Nobel ödülüne layık görüldü (Web01, 2015).

1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1, değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında Daryl Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. İlk kristal silikon hücre yapıldı (Web02, 2015). Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. 1958’de Hoffman Elektronik, % 9 verimli silisyum PV hücreler geliştirdi. Aynı yılda Vanguard I isimli uzay aracında ilk defa PV hücreler kullanıldı. Bu hücreler, 100 cm² ye 0.1W güç üretiyorlardı. 1960’da Hoffman Elektronik, %14 verimli silisyum PV hücreler geliştirdi (Özçelik, 2015). Fotovoltaik güç sistemleri 1960’ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir (Karamanav, 2007).

1970’li yılların başlarına kadar, güneş pillerinin uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken

malzemeye gerek duyulan ve bu neden ile daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmenin, basit, çevre dostu olan fotovoltaik sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması amacıyla uzun yıllar üniversitelerin yüklendiği ve yürüttüğü bir görev olmuş ve bu nedenle kamuoyunda hep laboratuvarında kalan bir çalışma olarak kalmıştır (Doğan, 2014).

1980 de Delaware Üniversitesinde %10 verim elde edebilen Cu_2S/CdS teknolojileri geliştirildi (Web03, 2015). 1985’de New South Wales Üniversitesinde, % 20 verimli silisyum PV hücreler geliştirildi. 1988’de Applied Solar Energy Corporation, %17 verimli iki-eklemler PV hücrelerin seri üretimine geçti. 1989’da Applied Solar Energy Corporation, %19 verimli iki-eklemler PV hücreler geliştirdi. 1993’de Applied Solar Energy Corporation %20 verimli iki-eklemler PV hücrelerin üretimine geçti (Özçelik, 2015).

2006’da Boeing Spectrolab, %40 verimli üç-eklemler PV hücreler geliştirdi. 2008’de NREL (National Renewable Energy Laboratory), %40,8 verimli üç-eklemler PV hücre geliştirerek, dünya rekoruna imza attı. 2009’da Boeing Spectrolab, %41,6 verimli üç-eklemler PV hücre geliştirerek, rekorun yeniden sahibi oldu. 2014 Aralık ayında NREL %45,7 verimli güneş pili geliştirdiğini açıkladı (Web04, 2015).

Başaran, Güneş pillerinin matematiksel modellenmesi konusunda çalışmıştır. Güneş pilinin esası, yarıiletken fiziğine ve yarıiletken denklemlerine dayanmaktadır. Bunun için öncelikle yarıiletken denklemlerinin matematiksel çözümünün yapılması gerekmektedir. Paul Basore tarafından geliştirilen PC-ID isimli modellemede güneş pili I-V karakteristiği bu denklemlerin çözümü sonucu elde edilmektedir. Bir diğer modelleme yaklaşımında ise; ışınma, sıcaklık ve diğer güneş pili parametreleri temel alınarak ve yapılan basit yaklaşımlar ile I-V karakteristiği elde edilmiştir. Sonuç olarak modellerin ve yapılan ölçümlerin karşılaştırması yapılmıştır (Başaran, 1995).

Perdahçı, bu çalışmada, fotovoltaik etki ile çalışan ve bir yarıiletken malzeme olan güneş pillerinin çalışma prensipleri, pil parametrelerini açıklamıştır. Çeşitli güneş pillerinin oluşumları, oluşum karakteristikleri ve verimleri incelemiştir. Verimi arttırmak için gerekli çalışmalar belirtilmiştir. Güneş pili çeşitleri arasındaki ekonomik analiz yapılmıştır (Perdahçı, 1996).

Karaçorlu, bir güneş pili modülü ile çalışan sistem kurularak değişik koşullarda deneyler yapmıştır. Deney düzeneği bir güneş pili, şarj regülatörü, akümülatör, DC/AC çevirici (invertör), yük, deney düzeneğinin değişik noktalarına konulmuş ölçü aletleri (piranometre, voltmetre, ampermetre ve termoeleman çifti) ile ölçümlerin hassas ve belirli

aralıklarla yapılabilmesi için kullanılan bilgisayar kontrollü bir veri toplama ünitesinden oluşmaktadır. Deneyler sırasında iki değişik durum incelenmiştir. Birinci grup deneylerde gün boyunca akümülatörden hiçbir enerji çekilmemiş ve pilden gelen tüm enerji akümülatörde depolanmıştır. Deney bitiminde bir yük vasıtası ile bu enerji kullanılmıştır. İkinci grup deneylerde ise, pilden gelen enerji hem akümülatörde depolanmış, hem de aynı anda bir yük tarafından tüketilmiştir. Deneyler Adana 'da yapılmış olup, güneş pili tam güneşe ve 36° eğime yerleştirilmiştir. Deneylerde elde edilen veriler kullanılarak güneş pili verimi, şarj regülatörü verimi, bu ikisine bağlı şarj verimi, akümülatör verimi, invertör verimi ve toplam sistem verimi hesaplanmıştır (Karaçorlu, 1996).

Acarman, güneş pilleri dizisinden elde edilen de gücün ulusal şebekeye aktarılması için mikrokontrolör tabanlı kontrolü tasvir etmiştir. Güneş pilleri dizi akım-gerilim karakteristiğinin lineer olmayan, ışık şiddeti ve sıcaklığa bağlı olarak değişen modeli ile güç dönüştürücü yapısının genel modeli oluşturularak akım kontrolü yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında güç dönüştürücü yapısının fiziksel olarak gerçekleştirilerek güneş pilleri dizisinden ulusal şebekeye bir faz olarak enerji aktarılması için yazılım ve donanım geliştirilmektedir (Acarman, 1996).

Ertem, güneş pillerinden maksimum verim elde edilebilmesi için kullanılan Maksimum Güç Noktası (MPP) İzleyicileri incelemiş ve uygun olan bir devreyi çalıştırılarak sonuçlar elde etmiştir. İki ayrı deney düzeneği kullanılmıştır. Birinde MPP izleyicisi devreye eklenmiş diğeri ise eklenmemiştir. Böylece hem MPP izleyicisinin hem de MPP izleyicili sistemin verimi deney sonuçlarından elde edilmiş ve MPP izleyicisinin sisteme katkısı iki deney düzeneğinin sonuçları kıyaslanarak incelenmiştir (Ertem, 1997).

Parmaksız, ulusal şebekeye bağlı bulunan üç farklı güneş pili sistemini incelemiştir. Bu sistemler güneş pili, evirici, filtre ve transformatörden oluşmuş olup, güneş pillerinden elde edilen doğru akım biçimindeki enerjiyi alternatif akıma dönüştürerek senkron olarak şebekeye aktarmak için kullanılırlar, incelenen sistemler PSPICE 'da simüle edilerek eviricilerin çalışması incelenmiş, eleman değerleri belirlenmiş ve elde edilen çıkış dalgaları üzerinde gerekli analizler yapılmıştır. Ayrıca, benzer modellerle karşılaştırıldığında oldukça küçük hataya sahip olan simülasyon amaçlı yeni bir güneş pili modeli geliştirilmiştir (Parmaksız, 1997).

Yeşilkaya, güneş pilleri ile elektrik üretiminde güneş enerjisini daha verimli kullanmak amacıyla, güneş pillerinin konumunun ışınları daima 90° açı ile takip etmesi için bir elektronik devre ile mekanik yapısı tasarlanmış ve gerçekleştirmiştir. Bu amaçla PIC16C76 mikro denetim tüm devresi kullanılmıştır. Taşıyıcı plakanın ışık kaynağının

konumunu algılaması BPW 17 fototransistorları kullanılarak yapılmıştır. Dört adet fototransistorda, ışık şiddetine bağlı olarak oluşan analog akün bilgileri, gerilime çevrilmiş ve daha sonra bu bilgiler her biri ayrı süzgeç devresinden geçirilerek PIC16C76 mikro denetim tüm devresinin analog-sayısal çevirici liman girişlerine bağlanmıştır. Sayısala çevrilen bu dört değer, birbirleri ile yazılım aracılığıyla karşılaştırılarak plakanın döneceği yön saptanmıştır. Dönme hareketini sağlamak üzere iki adet 7,5°'lik PM adım motor kullanılmıştır (Yeşilkaya, 1998).

Yavuzçetin, tek kristal silisyum tabakalardan fotovoltaiik hücreler üretmiş ve bu hücreleri karakterize etmiştir. Hazırlanan bir ölçüm sistemi ile tüm hücrelerin akım-voltaj (I-V) eğrileri çıkartılmıştır. Açık devre voltajı, maksimum akım, dönüşüm verimi gibi fotovoltaiik hücrelerin standart özellikleriyle ilgili denklemler türetilmiş, matematiksel ifadeler teorik ve deneysel olarak hazır bir hücreye ve üretilen hücrelere uygulanmıştır (Yavuzçetin, 2000).

Özcanlı, alternatif enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin günlük hayatta kullanımına yönelik bir sistem tasarımı yapmıştır. Bu tip bir sistem, güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren ve silisyum güneş pillerinden oluşan güneş panelleri, üretilen elektriğin kontrollü olarak depolanmasını sağlayan regülatör, elektriğin depolandığı bataryalar, de 12V'luk elektriği AC 220V'a dönüştüren DC/AC çevirici ve tüm bu elemanların düzenli çalışmasını sağlayan denetleyici birimlerinin bir araya getirilmesi ile oluşmuştur (Özcanlı, 2001).

Kökden, PV kaynaklı güneş enerjisi uygulamalarını incelemiştir. PV Sistemlerinin kapsamı, özellikleri, maliyet hesabı, birim fiyatlar ve diğer sistemlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için oluşturulmuş bir Güneş Enerjisi Santrali modellemesi ve fizibilite çalışması yapılmıştır (Kökden, 2002).

Çapar, fotovoltaiik güç üretimi ve fotovoltaiik teknolojisinin pratikteki uygulaması hakkında araştırmalar yapmıştır. Aynı zamanda dünyadaki uygulamalar için fotovoltaiik materyallerin geçmişi, günümüzdeki durumu ve gelecekteki olası durumlarını incelemiştir. Sistem performansı, sistem veriminin geliştirilmesi ve güç çıkışının hava şartlarına bağlı olarak incelenmiştir (Çapar, 2005).

Şenpınar, Bağımsız güneş pili sistemlerinin bilgisayar ile kontrolü konulu çalışma yapmıştır. Çalışmasında, yenilenebilir/alternatif enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisinden, güneş pilleri yardımıyla elektriksel olarak faydalanılmak amaçlanmıştır. Bu amaçla, biri sabit, diğeri hareketli olan iki bağımsız güneş pili sistemi kurularak verimleri karşılaştırılmıştır. Sabit sistem, deneyin gerçekleştirildiği bölgenin enlem, boylam

değerlerine göre yapılan açısal hesaplamalar doğrultusunda, güneş ışığını maksimum alacak şekilde sabit bir eğimde yerleştirilmiştir. Hareketli sistem, güneş ışığından maksimum olarak faydalanmak üzere bir bilgisayar programı yardımıyla kontrol edilmiştir. Panelin çalışma prensibi, güneşle ilgili açılara ve matematiksel denklemlere dayanmaktadır. Kullanılan yazılım ile günün herhangi bir anına ait güneşin tüm açısal hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplanan açılar yardımıyla, sabahtan akşama kadar güneşin iki eksenli (hem doğu-batı, hem de kuzey-güney) hareketi sürekli olarak izlenir. Gün içerisinde elde edilen her iki panele ait veriler sürekli olarak bilgisayara kaydedilmiş ve bir yazılım ile elde edilen veriler karşılaştırılmıştır (Şenpınar, 2005)

Çıracı, Güneş panellerinin verimini arttırmak için sistem tasarımı başlıklı çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, alternatif enerji kaynaklarından biri olan güneş panellerinin değişken çalışma koşullarından dolayı oluşan güç kayıpları incelenmiştir. Bu verilerle güç kayıplarını azaltacak sistem tasarımı yapılmıştır. Sistem, güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren güneş paneli, gerilim düşümlerinde devamlılığı sağlayan gerilim seviye yükseltici, bataryaların doldurma işlemini denetleyen batarya doldurma birimi, enerji depolama için bataryalar ve tüm sistemi denetleyen denetim birimi bir araya getirilerek oluşturulmuştur. Sistem PIC16F877 mikro denetleyicisi ile denetlenmiş ve tüm analog bilgiler bu birimde işlenmiştir. Bataryalarda oluşan kayıplar darbeli akım doldurma yöntemi ile en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Sıcaklık sebebiyle oluşan kayıpların önlemesi için küçük maketlerde deneyler yapmış ve sonuç olarak mekanik gereksinimleri anlatmıştır. Güneş açısı nedeni ile oluşan kayıpları azaltmak için gerekli güneş takip sisteminin yapısı ve uygulanabilirliğini anlatmıştır (Çıracı, 2005).

Uğur, Güneş pillerinin yapı kabuk elemanları ile bütünleştirilmelerine yönelik bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada, güneş pili sistemleri tanıtılmış, güneş pili panel tipleri, tasarım ve uygulama prensipleri detayları ile açıklanmıştır. Yapı kabuk elemanları sınıflandırılmış ve tanımlanmış, yerine getirmeleri beklenen performans kriterleri açıklanmıştır. Yapı kabuk elemanları ile yapılar üzerinde uygulanan güneş pili sistemleri alt bileşenleri arasındaki benzerliklere ve ilişkilere değinilmiştir. Güneş pili sistemlerinin mevcut ve yeni tasarlanmakta olan yapılar ile bütünleştirilme yöntemleri detaylar ve uygulanmış örnekler yardımıyla açıklanmıştır. Yapı kabuğunda kullanılacak güneş pili panel tipleri sınıflandırılmıştır. Böylece, farklı güneş pili panel tiplerinin kendi aralarında kullanım yaygınlıklarına yönelik çıkarımlar elde edilmiştir. Türkiye koşullarında güneş pillerinin yapı kabuk sisteminde uygulanamama nedenleri irdelenmiş ve uygulanmalarını olanaklı kılacak öneriler geliştirilmeye çalışılmıştır (Uğur, 2006).

Akmeşe, Petrol gibi enerji kaynaklarının sınırlı olup zamanla azalması ve nükleer enerjiye olan güven problemden dolayı temiz enerjisi olarak adlandırılan güneş ve rüzgâr enerjisine olan talep artmaktadır. Bu çalışmada, güneş enerjisini ev veya sanayide kullanmak için bir dönüştürücü tasarlanmıştır. Güneş panelinin çıkış gerilimi 20 volt civarındadır. Dönüştürücü yardımıyla güneş panelinin gerilimi 220 volta yükseltilip ve bir denetleyici yardımıyla bu seviyede sabit tutulmaktadır. Elde edilen gerilim seri bir D.A. motoruna uygulanmaktadır. Motorun hız denetimi bir PIC Mikrodenetleyici tarafından sağlanmaktadır. Devrenin simülasyon çalışmaları SIMPLORER 6.0 programında yapıp elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Akmeşe, 2006).

Uzunok, Fotovoltaik modüllerin elektrik enerjisi üretiminde güneş takip sisteminin etkisini incelemiştir. Enerji, hayatımızın her aşamasında vazgeçilmez bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için coğrafyalarından en iyi şekilde yararlanma gayretleri her geçen gün artmaktadır. Bir uygarlığın gelişmesi, çağdaş kentlerin ve kirletmeyen üretim biçimlerinin oluşması da güneş enerjisinin yaygın kullanılmasını gerektirmektedir. Türkiye, Avrupa ülkelerine oranla bulunduğu enlemde daha fazla güneş enerjisine sahiptir. Güneş enerjisinden elektrik elde etmek, güneşin gün içindeki hareketinden azami istifade edebilmek maksadıyla iki eksenli otomatik güneş takip sistemi yapılarak güneşin sabit sehpalı ve hareketli panellerle ölçümlerinin yapılması sağlanmıştır. Ölçümlerde sıcaklık, güneşin radyasyon şiddeti, akım ve voltaj değerleri alınmıştır. Ayrıca günlük bağıl nem miktarları da değerlendirilmiştir. Bu ölçümlerde elde edilen veriler değerlendirildiğinde % 17,07 oranında verim artışı tespit edilmiştir. Ölçümlerin yıl içinde farklı zaman ve mekânlarda yapılmasının sağlıklı istatistiki değerlendirme imkânı sağlayacağı kıymetlendirilmektedir. Yapılan ölçümlerde dört ayrı marka pilin de İskenderun'da verimliliği ölçülmüştür. Bu çalışma da kullanılan iki Eksenli Güneş Takip Sistemi tasarımı, montajı ve maliyet hesabı tezde verilmiştir. Özetle, ölçümler de göstermektedir ki; daha az güneş pili kullanılarak kısıtlı alanlarda da güneş enerjisinden azami istifade edilebilecektir (Uzunok, 2007).

Saka, Konya koşullarında güneş pillerinin aydınlatma uygulamalarında kullanım imkânlarını araştırmıştır. Bu çalışma da, Konya koşullarında güneş pillerinin aydınlatmada kullanımı imkânlarının araştırılmasını amaçlamıştır. Bu amaçla 30.10.2006 ile 18.04.2007 tarihleri arasında ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler ve kurulan denemelerle güneş enerjisi elektrik enerjisine çevrilmiş ve kuru tip akümülatörlerde depo edilmiştir. Akümülatörde depolanan enerjinin lamba yakma süresi araştırılmıştır. Konya koşullarında güneşlenme süresi araştırılmış ve uzun yılların

ortalamalarına ulaşılarak ölçülen değerlerle bir karşılaştırma yapılmıştır. Güneşten elektrik elde edip kullanmakla elektrik nakil hattı çektirerek elektrik enerjisi kullanmak arasındaki maliyet ve işletme giderleri hesabı ortaya konmuş ve konunun ekonomik olup olmadığı incelenmiştir (Saka, 2007).

Nakir, Fotovoltaik güneş panellerinde GTS ve MGTS kullanarak verimliliğin artırılması konusunda çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada kullanımı giderek yaygınlaşan fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri incelenerek bu sistemlerin verimliliğini artıran iki yöntemin uygulaması yapılmıştır. Bu yöntemler, güneş ışınımından optimum bir şekilde faydalanmak üzere Güneş Takip Sistemi (GTS) ve sistemden yüke maksimum güç aktarımını sağlayan Maksimum Güç Takip Sistemidir (MGTS). Güneş takip sisteminde gün içerisinde farklı açılarla yeryüzüne ulanan güneş ışınımının açıları bir takip edici ile tespit edilerek tespit edilen bu açılarla panellerin konumlandırılması amaçlanmıştır. Güneş takibinin en yüksek verimlilikte olması için takip sistemi iki eksende gerçekleştirilmiştir. Böylelikle hem dünyanın günlük hareketi sonucu oluşan doğu-batı ekseninde ışınımın yön değiştirmesinin hem de dünyanın yıllık hareketi sonucu oluşan kuzey-güney ekseninde ışınımın yön değiştirmesinin sistem üzerine zayıflatıcı etkileri azaltılmıştır. Maksimum güç takip sisteminde ise fotovoltaik yapılardan alınabilecek olan elektriksel gücün, yük veya çevresel şartlardan ötürü alınamamasının minimal seviyeye indirilmesi amaçlanmıştır (Nakir, 2007).

Özgöçmen, güneş pillerini kullanarak elektrik üretimi konusunu incelemiştir. Güneş Pili aydınlatma sistemleri, elektrik şebekesinin ulaştırılmasının mümkün olmadığı yerlerde ya da maliyetinin yüksek olduğu yerlerde özellikle küçük güçte enerji taleplerini karşılamak için kurulan ve şebekeden bağımsız otonom sistemler olarak adlandırılan uygulamaların tipik örneğidir (Özgöçmen, 2007).

Ünal, fotovoltaik etki ile güneş pili işleminin temel ilkeleri üzerine bir derleme yapmıştır. Fotovoltaik pazarının gelişimini ve dünya piyasasındaki yerini araştırmıştır. Silisyum türlerinin güneş pili üretimindeki yeri ve önemi üzerinde durulmuştur. Güneş pili üretiminde kullanılan diğer malzemeler de tartışma konusu yapılmıştır. Dünya elektrik üretimine büyük katkının hedeflendiği fotovoltaik sektörünün geçmişi ve geleceği ele alınmıştır (Ünal, 2007).

Karamanav, Güneş enerjisi ve güneş pilleri konusunda araştırma yapmıştır. Fotovoltaik olay ve güneş pillerinin ilkeleri incelenerek yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi hakkında istatistiksel bilgiler değerlendirilmiş, ayrıca güneş pilleriyle ilgili deneysel çalışma yapmıştır (Karamanav, 2007).

Dinçadam, Güneş pilleri ile sıcak su elde etme, sokak aydınlatması ve güneş takip sistemi uygulaması üzerine çalışmalar yapmıştır. Ayrıca bir günlük, güneş takip sistemli ve doğrudan alınan ölçümler karşılaştırılmıştır. Güneş takip sisteminin % 29 daha fazla üretim yaptığını ölçmüştür (Dinçadam, 2008).

Büyükkılıç, Güneş enerjili sistemlerin yol aydınlatması amaçlı kullanımını araştırmıştır. Avrupa Birliği destekli bir program olan PVGIS kullanılmıştır. 7 değişik tipte ve güçte lambalar için yol aydınlatma düzenekleri oluşturulmuş ve karşılaştırma yapılmıştır. Bu düzenekler için güneş enerjili sistem modelleri oluşturulup bu modeller için gerekli sistem ekipmanları belirlenmiş ve optimize edilmiştir (Büyükkılıç, 2009).

Dağhan, Bir yakıt pili-güneş pili sisteminin modellenmesi ve simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Yakıt pillerinin çalışma prensipleri ve hidrojen enerji sistemlerinin özellikleri incelenmiş ve bu teknolojinin, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla birlikte kullanılarak, güç üretim sistemleri için uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, hidrojenin üretim ve depolama birimlerini içermeyen bir sistemle, bu birimleri içeren, daha gelişmiş bir sistemin bulunduğu iki ayrı güneş pili-yakıt pili sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistemler Matlab/SIMULINK'de modellenmiş ve performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (Dağhan, 2010).

Çolak, Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu incelemiştir. Yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olan güneşten doğrudan elektrik eldesinin çeşitli bölgeler için maliyet hesabı yapılarak fotovoltaik sistemlerin günümüz koşullarında ve gelecekteki durumu ele alınmıştır (Çolak, 2010).

Demircan, Muğla iklim koşullarında silisyum bir fotovoltaik güneş gözesinin performansının değerlendirilmesini yapmıştır. Dünya güneş gözesi piyasasının yaklaşık olarak %80 ini oluşturmakta olan kristal silisyuma dayalı fotovoltaik (PV) modülden Muğla İklim Koşullarında elde edilebilecek enerjinin ölçülen akım, voltaj, enerji ve diğer parametreler vasıtasıyla hesaplanması yapılmıştır. Muğla Üniversitesi Merkez Kütüphanesi üzerine yerleştirilmiş olan Güneş Gözeleri Test Laboratuvarında test edilen modüle ait elektriksel değerler çok kanallı güneş gözeleri karakterizasyon sistemi yardımıyla ölçülmüştür. 2008 yılı boyunca güneşin doğuşundan batışına kadar akım- gerilim eğrilerinden S105 (mc-Si) fotovoltaik modülün maksimum güç değerleri kullanılarak gün boyunca fotovoltaik modülden üretilebilecek DC enerji değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca fotovoltaik modül yüzeyine gelen güneş enerjisi değerleri de aynı günler için hesaplanarak

fotovoltaik modülün gün içerisindeki, güneş enerjisini elektrik enerjisine çevrim verimi de hesaplanmıştır (Demircan, 2010).

Şimşek, Elektrik enerjisi üreten fotovoltaik güneş paneli sistemi fonksiyonel modellemesini yapmıştır. Modellerin sıcaklık ve güneş ışığı değişimlerine tepkileri araştırılmış, model parametreleriyle oynanarak ortaya konulan sonuçlar tartışılmıştır. Özellikle üretici katalog bilgilerini kullanan ve diyot kalite faktörünü değişken olarak tanımlayan ikinci model ile katalog bilgileri ile elde edilmiş karakteristik eğrilere çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca mevcut meteorolojik bilgilerin yorumlanarak derlenmesiyle küçük bir veri bankası oluşturulmuş, bu veriler kullanılarak seçili bir konum için panelin yerle yapması gereken optimum açı hesaplanmıştır (Şimşek, 2010).

İlgün, Güneş gözeleri ile beslenen sistemlerde enerji üretimi ve örnek uygulamaların simülasyonlar ile analizi konusunda çalışma yapmıştır. Türkiye ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi için oldukça önemli bir yenilenebilir kaynak olan güneş enerjisi den elektrik enerjisi üretimi ve örnek uygulamalar incelenmiştir (İlgün, 2010).

Yümsek, Güneş pillerinde maksimum güç noktası takip sistemleri konusunda çalışmalar yapmıştır. Güneş pilinde maksimum güç noktasını yakalamak için üç farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla, güneş pilini yüke direk bağlama, kaygılandır & gözetle ve oransal açık devre voltajı metotlarıdır. Farklı ışınım ve sıcaklık değerleri için yukarıdaki üç yöntem karşılaştırılmış ve maksimum güç noktası yakalama 'da en iyi yöntemin kaygılandır & gözetle yöntemi olduğu görülmüştür (Yümsek, 2010).

Erdoğan, Güneş pillerini teorik ve deneysel olarak incelemiştir. 10 W güneş pili kullanarak elektrik enerjisi üretilmiş ve 12 volt 12 Ah gücündeki kuru tip aküde depo edilmiştir. Güneş enerjisinin elektrik üretiminde yetersiz olduğu durumlarda aküde depo edilen enerji ile sistem çalıştırılmıştır (Erdoğan, 2011).

Ajder, Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması konusunda çalışmalar yapmıştır. Güneş enerjisini irdeleyerek güneşten yararlanabilmek için gerekli olan güneş açılarının belirlenmesi ortaya konmuştur. Daha sonra yatay düzleme gelen ışınım bileşenlerine ayrıştırılmış ve son olarak da İstanbul ile aynı enlemde yer alan Boston şehri için sabit konumlandırılmış panellerin optimum eğim açısı hesaplanmıştır (Ajder, 2011).

Bülbül, Güneş panelleri için bir maksimum güç noktası izleme algoritmaları sınaama düzeneğinin tasarımını yapmış ve gerçekleştirmiştir. 130 W gücündeki üç adet güneş panelinden alınan enerjiyi, yükselten bir DA-DA dönüştürücü aracılığıyla elektrikli bir aracın bataryasını doldurmakta kullanan bir devre tasarlanmıştır (Bülbül, 2011).

Girgin, bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5 MW'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizini yapmıştır. Karaman bölgesinde kurulması planlanan 5 MW gücünde 36 farklı fotovoltaik sistemin enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir (Girgin, 2011).

Mastar, Güneş panelleri için güneş takip mekanizmasının tasarımı yapmıştır. Bu sistemlerin dönüş eksenine, serbestlik derecesine göre ve bulunduğu coğrafi bölgeye göre verimlilikleri değişmektedir. Ortalama güneş takip sistemleri %25 ile %40 arası verimlilik kazandırmaktadır (Mastar, 2011).

Ortaçtepe, Güneş pillerinden elektrik üreten bir sistemin analizi ve tasarımını gerçekleştirmiştir. Çalışmada güneş pili sistemleri analiz edildikten sonra Bozbük/Milas/Muğla'da bulunan 30 konutluk bir yazlık site için şebeke bağlantılı bir güneş pili sistemi kurulum planlaması gerçekleştirilmiştir (Ortaçtepe, 2011).

Durusu, fotovoltaik güneş enerji sistemlerinde kullanılan maksimum güç noktası takip ediciler için farklı algoritmaların karşılaştırılmasını yapmıştır. Yaygın olan üç farklı maksimum güç noktası takip algoritmasının performans karşılaştırması yapılmıştır. Bunun için bir deney düzeneği oluşturulmuş ve farklı algoritmaların bu düzenek üzerinde performans karşılaştırılması yapılmıştır (Durusu, 2011).

Şenay, çok eklemlerli güneş pillerinde detaylı denge modeli ile verim optimizasyonu yapmıştır. Son nesil güneş pilleri arasında pratikte uygulaması mevcut tek ürün olan çok eklemlerli güneş pillerinin verimine yönelik teorik analizler yapılmıştır (Şenay, 2011).

Boz, günümüzün alternatif enerji kaynağı: Fotovoltaik güneş pilleri konusunda araştırmalar yapmıştır. Yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılmasının hem artan enerji talebinin karşılanması hem de çevre sağlığı bakımından önemli olduğu sonucu ortaya konulmuştur (Boz, 2011).

Gazibey, Türkiye için fotovoltaik güneş enerjisi teknoloji yol haritası konusunda çalışmıştır. Türkiye için PV güneş enerjisi alanında kurulu güç artışı, elektrik üretimi ve PV elektriğinin şebeke paritesini yakalamasıyla bu alanda pazar oluşacağı, pazar oluşumunun yerli PV modül ve göze üretiminin başlamasını sağlayacağıdır. Ayrıca teknolojik gelişmeler ve ARGE çalışmalarının PV modül ve göze maliyetlerinin azalmasını ve verimliliklerinin artmasını sağlayacağı ve böylelikle maliyet etkin PV ürünlerin geliştirileceği öngörülmüştür (Gazibey, 2012).

Cantürk, güneş pili ile çalışan bir soğutma sisteminin deneysel analizini yapmıştır. Büro tipi bir buzdolabı için çift eksen güneş izlemeli bir sistem tasarlanmıştır. Sistem güneşi

yatay ekseninde 360° dikey ekseninde 90° izleyebilme özelliğine sahiptir. Böylece güneş ışınlarının güneş paneli yüzeyine 90°'lik dik açı ile gelmesi sağlanarak, güneş pilinden maksimum verimde güç elde edilmiştir. Panel tarafından üretilen güç, buzdolabının harcadığı güç, akü güç bilançosundaki değişim, dış ortam sıcaklığı, buzdolabının iç ortam ve evaporatör sıcaklıklarındaki anlık değişimler ile buzdolabının performans katsayısındaki değişimler anlık olarak belirlenmiştir (Cantürk, 2012).

Rashid, binalar için şebeke bağlantılı Fotovoltaik sistemler konusunu incelemiştir. Bu çalışmada, şehirlerde apartman daireleri için enerji üretebilecek şebeke (grid) bağlantılı fotovoltaik enerji dönüşüm sistemi tasarımı yapılmıştır. Sistemin tasarlandığı bina özellikleri ve panellerin konumlanması için alternatifler ortaya konarak elektriksel enerjiye dönüştüren panellerin dizimi, iç bağlantı topolojileri ve sonraki dönüştürücü özelliklerine göre değerlendirilmeleri ve şebeke bağlantı birimlerinin seçimi ile ilgili kriterler sunulmuştur. Önerilen sistem, etrafında gölge yapmayan bina vb. olmayan yüksek bir bina üzerinde iki farklı konumda çalışmaya uygun olacak şekilde bina tepesi ve binanın güney cephesinde çalışacak iki farklı durumda düşünülmüştür. Bu çalışma kablosuz veri takibi sistemlerine potansiyel bir şebeke bağlantılı bir sistem olduğu düşünülerek incelenmiştir (Rashid, 2012).

Karataş, Güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda araştırmalar yapmıştır. Türkiye'nin kuzeybatısında, Edirne İlinde bulunan Trakya Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi için fotovoltaik paneller kullanılarak güneş enerjisinden elektrik üretiminin sağlanacağı bir sistemin tasarımı ve bu sistemin ekonomik durum tespiti yapılmıştır (Karataş, 2012).

Ardağ, güneş pili karakteristiklerinin incelenmesi konusunda çalışmalar yapmıştır. Güneş pillerinin yapıları incelenerek, 10W'lık üç adet panel üzerinde reosta ve yarı iletken anahtarlamalı mosfet ile MPPT teknikleri uygulanmış ve genel karakteristikleri çıkarılmıştır (Ardağ, 2012).

Agrawal vd. yaptıkları çalışmada fotovoltaik-termal (PV/T) bir havalı kolektörün iç ortam şartlarında performansını incelemiştirlerdir. Çalışmanın sonunda ortalama elektriksel ve ısı verim sırasıyla %12,4 ve %35,7 olarak bulmuşlardır (Agrawal, ve diğerleri, 2012).

Teo vd. fotovoltaik modüller için bir aktif soğutma sistemi geliştirerek hibrid PV/T sistem tasarlayıp imalatını yapmışlar ve deneysel olarak incelemiştirlerdir. Isı transferi simülasyonu yaparak deneysel olarak elde ettikleri gerçek sıcaklık profilleri ile simülasyon sıcaklık profillerini karşılaştırmışlar ve her iki çalışma arasında güzel bir uyumun olduğunu görmüşlerdir (Teo, ve diğerleri, 2012).

Agroui, yaptığı çalışmada, çoklu kristal güneş pillerinden oluşan PV modüllerinin iç ve dış ortam performanslarını incelemiştir. Çalışmada PV modül özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvar tarafından kullanılan metodoloji, temel prosedürler ve ölçüm aletleri anlatılmaktadır. Bu metodolojiye göre, farklı koşullarda çoklu kristal PV modül için ana elektriksel ve ısıl parametreler belirlenmiştir (Agroui, 2012).

İsmael, Monokristal güneş pili sistemlerinde elektrik enerji analizini yapmıştır. Güneş paneli kullanılarak elde edilen DC 12 Volt düşük gerilim, 220 Volt 50 Hz'lik şebeke gerilimine çevirerek bir ev aleti çalıştıracak bir sistem oluşturulup çalışma parametreleri ortaya koyulmuş ve detaylıca analiz edilmiştir (İsmael, 2012).

Öztürk, monokristal ve polikristal güneş pili modüllerinin mevsimsel performanslarını incelenmiştir. Monokristal ve polikristal güneş pili modüllerinin, Erzincan şartlarında Enerji İşleri Etüt İdaresi verilerine göre güneşlenme bakımından verimin en düşük olduğu Ocak ayı ve verimin en fazla olduğu Temmuz ayı dikkate alınarak ölçümleri yapılmış ve bu modüllerin performansları birim yüzeylerinde ürettikleri güç miktarı açısından kıyaslanmıştır (Öztürk, 2012).

Muhtaroglu, Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren çevre dostu sistemi tasarlanmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle insanların taşınabilir elektronik cihazlara gereksinimlerinin artması göz önünde bulundurularak, güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren ve cep telefonu, mp3 çalar, taşınabilir radyo gibi elektronik aygıtları şebekeden bağımsız şarj eden, çevre dostu bir sistem tasarlanmıştır (Muhtaroglu, 2012).

Uslu, maksimum güç noktası takibi algoritmalarını kullanarak Mikrodenetleyici tabanlı iki eksenli otomatik güneş takip sistemi tasarımı yapmıştır. Maximum güç noktasının takibini sağlamak amacıyla yükseltilen tip DC/DC dönüştürücü tasarlanmıştır. Sistemin çalışması için gerekli olan anahtarlama sinyalleri Mikrodenetleyici tarafından elde edilmiştir. Dönüştürücünün kontrolü dijital tekniklerden yararlanılarak kapalı çevrim bir geri besleme ile oluşturulmuştur (Uslu, 2012).

Yılmaz, güneş takip sistemi ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemleri ve optimum verimin belirlenmesi konusunda çalışmalar yapmıştır. İki eksenli güneş takip sisteminde damperli motor kullanılarak sistemin enerji tüketimi minimize edilmiştir. İki eksenli takip sistemi ile sabit sistemin verimini tam olarak karşılaştırmak için iki sistem de aynı yere monte edilmiş, aynı cins panel, şarj regülatörü, ölçü aleti ve akü kullanılmıştır. İki eksenli hareketli sistemin verimini sabit sisteme göre bir yıllık ortalama %31.67 daha fazla olduğu görülmüştür. Bu verim kış aylarında %70, yaz aylarında %11 olarak ölçülmüştür. Türkiye'nin en çok güneş enerji potansiyeline sahip Güneydoğu Anadolu

Bölgesi'nin önemli illerinden biri olan Diyarbakır için bir yıllık ölçümlerin sonuçları literatüre kazandırılmış, bir yıla ait günlük, aylık, yıllık verilere dayalı çeşitli grafikler verilmiştir (Yılmaz, 2013).

Başoğlu, güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan maksimum güç noktası izleyicili yükselticili da-da dönüştürücü analizi yapmış ve gerçekleştirmiştir. Mevcut panel teknolojisinden daha fazla verim elde etmek amacıyla mekanik ve elektronik temelli yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada elektronik temelli yöntemler incelenmiş ve bir uygulama gerçekleştirilmiştir (Başoğlu, 2013).

Çiçek, basınç yöntemiyle küçük ölçekli güneş modülü tasarımı ve üretimi yapmıştır. Tasarlanan laminasyon sisteminin portatif ve kullanışlı olması amacıyla yola çıkılan bu çalışma, mevcut sistemlerde kullanılan vakum ve basınç yöntemlerinden yalnız basınç kullanılarak üretimin gerçekleştirilebileceğini göstermiştir (Çiçek, 2013).

Orhun, farklı güneş panellerinin adaptif bir güneş takip sistemi üzerinde yıllık performanslarının karşılaştırılması ve güç tahmini yapmıştır. 01 Mart 2012 - 28 Şubat 2013 tarihleri arasında farklı teknolojilerle üretilmiş, sabit ve hareketli platform üzerine yerleştirilmiş güneş panellerinin güneşin farklı algoritmalarla takibi durumunda performanslarının izlenmesi üzerine kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada ilk olarak PLC tabanlı bir kontrol sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan kontrol sistemi geliştirilen bir bilgisayar yazılımı ile haberleşmektedir. Farklı güneş takip stratejileri güneş takip sistemi üzerinde denenmiştir. Bu aşamada hareketli ve sabit sistemler üzerine yerleştirilmiş güneş panellerinden ölçülen akım, gerilim ve sıcaklık gibi parametreler belirli periyodlarla kaydedilmiştir. Daha sonra bu veriler analiz edilerek takip algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır (Orhun, 2013).

Mishra vd. hibrid fotovoltaik termal kolektörlerin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. A ve B olarak adlandırdıkları iki farklı özelliğe sahip kolektörlerin termal enerji, elektrik enerjisi ve ekserji kazanımı parametrelerini inceleyerek analiz etmişlerdir. Çalışmalarında A olarak adlandırdıkları kolektör kısmen PV modül ile kaplanırken B kolektörü tamamen PV modül ile kaplanmıştır (Energy and exergy analysis of hybrid photovoltaic thermal water collector for constant collection temperature mode, 2013).

Chandrasekar vd. çalışmalarında fotovoltaik modüllerin güneşten gelen ışınımın ancak %4-17 arasını elektrik enerjisine çevirebildiğini %50 den daha fazlasının çalışma esnasında modülde ısı enerjisi olarak açığa çıktığını vurgulamışlardır. Bu nedenle modüllerin verimini arttırmak için yaptıkları çalışmada şebekeden bağımsız düz PV modülü

pasif soğutma ile incelemişlerdir (Passive cooling of standalone flat PV module with cotton wick structures, 2013).

Solmaz, güneş enerjisi destekli (PV) çalışan taşıt klima sisteminin dinamik performansını araştırmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlardan sistemin Konya ilinde çalıştırılması ile taşıt yüzeyine yerleştirilen PV sisteminden günlük 5,82 kW'lık enerji üretildiği ve bu enerjinin evaporatör hava hızına bağlı olarak günlük klimanın çektiği gücün 2-3 saatlik kısmının PV sistemi ile karşılanabileceği görülmüştür (Solmaz, 2013).

Örkün, 50W LED TV uygulamaları için güneş enerjili bir güç kaynağı tasarlamış ve gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında 21,6 inç boyutundaki LED televizyonun fotovoltaik sistemle beslenmesi hedeflenmiştir. Güç kaynağı, maksimum güç noktası takibi özelliğine sahip kontrol ünitesi ve güç ünitesinden meydana gelmiştir. Tasarlanan maksimum güç noktası takibi özelliğine sahip kontrol ünitesinde gerilim düşüren tipte çevirici kullanılmıştır. Sistemin zarar görmesini önlemek amacıyla yazılım ve donanım kontrollü koruma önlemleri alınmıştır (Örkün, 2013).

Sezgin, Güneş ışınlarını takip eden panelin hareket etmesini sağlayacak bir sistemin geliştirmiştir. Güneş ışınları panel yüzeyine ne kadar dik gelirse üretilen enerji o kadar yüksek olmaktadır. Bu çalışmada, farklı açılar ile yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarını takip eden panelin hareket etmesini sağlayacak bir sistem geliştirilmiştir (Sezgin, 2014).

Bayrak, evsel yükler için yakıt pili-güneş pili hibrid sisteminin tasarımı, modellenmesi ve uygulamasını gerçekleştirmiştir. Öncelikle hidrojenin elde edilmesi için güneş pillerini kullanan şebekeden bağımsız bir yakıt pili-güneş pili hibrid sisteminin benzetimi yapılarak, farklı yükler için analizi yapılmıştır. Daha sonra evsel uygulamalar için geliştirilen ve şebekeden bağımsız çalışan bir yakıt pili-güneş pili hibrid sisteminin prototipi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu sistemde güneş enerjisinin yeterli olduğu zamanlarda, yükün enerji talebi PV sistem tarafından karşılanmaktadır. Güneş ışığının yetersiz olduğu gündüz saatlerinde ve gece boyunca ise yakıt pili devreye girerek sistemin kesintisiz olarak çalışabilmesi sağlanmıştır. Deneysel çalışmada, yük olarak farklı güçlerde lambalar kullanılmıştır (Bayrak, 2014).

Yalçın, Güneş enerjisi ile elektrik üreten güneş takipli dikey perde tasarımı ve analizini yapmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından yaygın olarak kullanılan güneş enerjisi kullanılarak yeni bir alanda yeni bir uygulamayla elektrik üretilmesi için güneş perdesi tasarımı yapılmıştır. Dikey perdelerin arka yüzleri gibi kullanılmayan ölü bir bölgeye fotovoltaik hücreler yerleştirilerek; şeritlerin güneşi takip etmesi için kontrol sistemi tasarlanarak yenilenebilir enerji alanında yapılan araştırmalara katkıda bulunulmaya

çalışılmıştır. Çalışmada şeritlerin ve hücrelerin genişlikleri değiştirilerek 13 farklı güneş perdesi tasarımı yapılmış, bu tipler için kontrol sisteminin olması ve olmaması, üretilen elektriğin aküde kullanılarak değerlendirilmesi veya Yenilenebilir Enerji Kanunu kapsamında kullanılması gibi durumlar karşılaştırılarak sistemin geri dönüş süresi Ankara ili için belirlenmiştir (Yalçın, 2014).

Seyis, güneş enerjisi ile beslenebilen kesintisiz güç kaynağı tasarımı ve uygulamasını yapmıştır. Kesintisiz güç kaynağı ile oluşturulan bir sistemin beslemesi güneş panellerinden sağlanması durumunda mevcut sistem şebekeden bağımsız bir güneş enerji sistemine dönüşmüş olur. Böylece fazladan bir yatırıma gerek kalmadan sistem hem kesintisiz güç kaynağı hem de yenilebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Sistem için yaklaşık olarak 2 KVA'lık güce sahip bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Kurulan sistem sayesinde enerji sürekli olarak var olacaktır (Seyis, 2014).

Durgut, güneş panel sistemi için farklı bir metot geliştirmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak ışık açısına bağlı olarak güneş pilinin akım ve gerilim değişim grafikleri elde edilmiştir (Durgut, 2014).

Çetinbaş, güneş enerjili sistemlerde kullanılan maksimum güç noktası takibi yöntemlerinin zeki algoritmalar yardımıyla uygulanmasını gerçekleştirmiştir. Güneş enerjili sistemlere Yapay Sinir Ağı, Bulanık Mantık, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu algoritmaları uygulanmıştır. Kullanılan zeki algoritmalar ile güneş enerjili sistemlere, insan beyninin düşünme, genelleme yapma, öğrenme, karar verme ve beynin bir işlevi yerine getirme yetisi kazandırılmaya çalışılmıştır (Çetinbaş, 2014).

Fidan, Tunceli de güneş kaynaklı elektrik üretimi ve kullanımının teknik ve ekonomik analizinin teorik olarak incelemiştir. Tunceli ilinde güneş enerjisi fotovoltaik sisteminden üretilen elektrik enerji miktarı 1 yıl boyunca ölçülmüştür. Ölçümler aylık, günlük ve gün içerisinde saatlere bağlı olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda sabit ve 2 eksenli fotovoltaik sistem karşılaştırılmıştır. Aylık olarak değerlendirmeler sonucunda hem sabit hem de 2 eksenli fotovoltaik sistemden temmuz ayında en iyi değer elde edilmiştir. Elde edilen veriler saatlik olarak incelendiğinde, kış mevsimi haricinde en iyi değerlerin saat 10.00-14.00 arasında olduğu, kış mevsiminde ise saat 11.00-12.00 arasında olduğu gözlenmiştir (Fidan, 2014).

Çıtanak, güneş enerji kaynağından elektrik enerjisi üretimi konusunda çalışma yapmıştır. İlk yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen bu sistemler, işletme maliyetlerinin düşük olması nedeniyle kullanılma oranı günden güne artmaktadır (Çıtanak, 2014).

Duman, güneş pili-termal (PV-T) hibrid sistemin optimizasyonunun deneysel olarak incelemiştir. Hem elektrik hem de sıcak su üreten, PV-T ve termal kolektörlerin birlikte kullanıldığı bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistemin farklı hava şartları ve debilerde elde edilen deneysel verileri kullanılarak kolektörlerin modelleri elde edilmiştir (Duman, 2014).

Anameriç, çift eksenli mikro kontrollü güneş izleme sistemi gerçekleştirmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen iki eksenli mikro kontrollü güneş izleme sistemi üzerine ve en iyi eğim açısı ile konumlandırılmış sabit sistem üzerine yerleştirilen 5 W_plik fotovoltaik modüllerin anlık güç değerleri ve birikimli enerji üretim değerleri özdeş olarak iki buçuk dakikalık aralıklarla bir yıl boyunca kaydedilmiştir. Her iki sistem, Hacettepe Üniversitesi Beytepe yerleşkesinin bahçesinde özdeş koşullarda, fotoğraf çekmeye programlanmış internet kameraları yardımıyla kontrol ve kayıt edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında farklı meteorolojik koşullar altında izleme sisteminin çalışması ve sabit sistem ile karşılaştırması yapılmıştır. Güneşli bir yaz gününde, günlük enerji üretiminin izleme sistemi ile % 50 oranında artabileceği, yıllık enerji üretiminin ise % 37,4 (net) oranında arttığı görülmüştür (Anameriç, 2014).

Yarıkkaya, bir güneş paneli emülatörü tasarımı ve performans testi yapmıştır. Güneş panelleriyle beslenen çeşitli cihazlar üzerinde yapılan ar-ge çalışmalarının eşit şartlarda test edilmesi söz konusu olduğunda güneş paneli gibi davranan özel güneş paneli emülatörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada iki emülatör tasarımı gerçekleştirilmiştir: Bunlardan ilkinde programlanabilir bir güç kaynağı kullanılmış ve tasarlanan bir ara yüz ile güç kaynağının bilgisayardan kontrolü sağlanmıştır (Yarıkkaya, 2015).

1.4. Tezin Literatüre Katkıları

Gerçekleştirilen çalışmanın farklı açılardan literatüre yeni katkıları bulunmaktadır. Bu katkılar şu şekilde özetlenebilir:

- 1-Kahramanmaraş için ideal çatı açısının 33° olduğu tespit edilmiştir.
- 2-Kahramanmaraş için farklı açılar için üretim haritası oluşturulmuştur.
- 2-Kahramanmaraş için uygun panel tipinin Polikristal PV olduğu belirlenmiştir.
- 3-Kahramanmaraş için günlük ortalama güneşlenme süresinin 5,12 saat olduğu ölçülmüştür.
- 4-Kahramanmaraş'ın toplam yıllık ışınımının 1.876,578 kW/m² olduğu ölçülmüştür.
- 5-Kahramanmaraş için güneş takip sisteminin üretim avantajının %27,177 olduğu ölçülmüştür.

6-Saatlik üretimin 24 Nisan 2015 saat 12.00'da, günlük üretimin 07 Haziran 2015 de en fazla olduğu görülmüştür.

7-Kahramanmaraş şartlarında 10 kWp bir sistemin yıllık 17802,1 kWh enerji ürettiği ve 6.325,41 TL gelir elde ettiği bulunmuştur.

8- Kahramanmaraş şartlarında 10 kWp bir sistemin kâra geçiş noktasının 5,8 yıl olduğu hesaplanmıştır.

9-MPPT'li sistemin kazancı somut olarak gösterilmiştir.

10-Fotovoltaik panellerin başarılı bir şekilde modellenebileceği gösterilmiştir.



2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş dünyanın en önemli enerji kaynağıdır. Güneşin ışınım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkiler. Dünyadaki madde ve enerji akışları güneş enerjisi ile gerçekleşmektedir. Rüzgâr, deniz dalgası, okyanusta sıcaklık farkı ve biokütle enerjileri, güneş enerjisini değişim geçirmiş biçimleridir. Güneş enerjisi, doğadaki su döngüsünün gerçekleşmesinde de rol oynayarak, akarsu gücünü oluşturmaktadır. Fosil yakıtların da, biokütle niteliğindeki materyallerde birikmiş güneş enerjisi olduğu kabul edilmektedir. Güneş enerjisi çevre açısından temiz bir kaynak özelliği taşıdığından da fosil yakıtlara alternatif olabilecek bir enerji kaynağıdır (Akkurt, 2012).

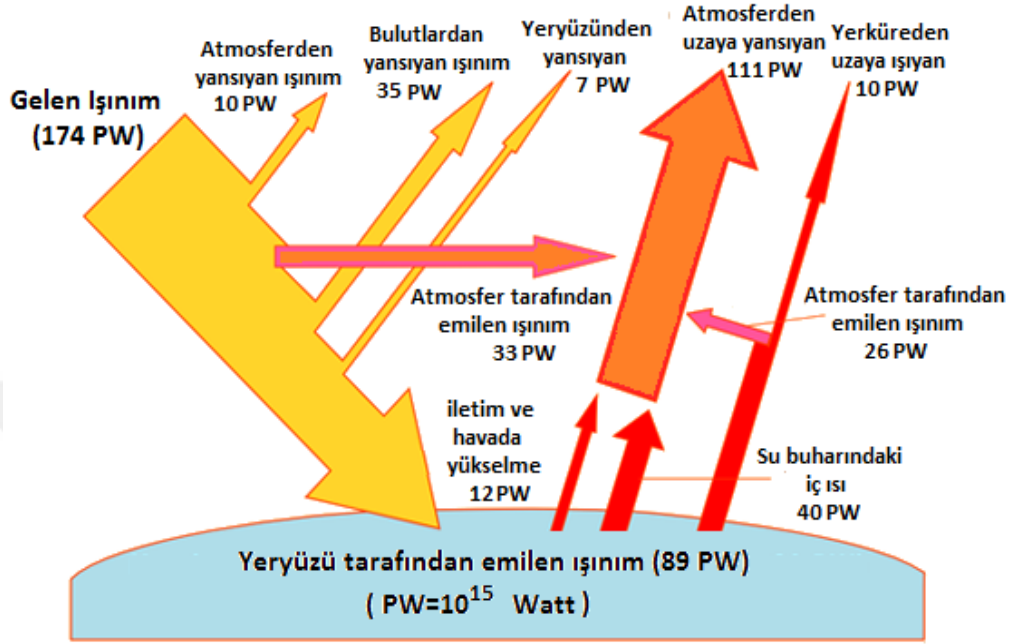
Güneş, oldukça sıcak gaz maddelerden oluşan yarıçapı $1,39 \times 10^9$ m olan bir küredir. Güneşin yeryüzüne uzaklığı yaklaşık $1,5 \times 10^8$ km olup güneş enerjisi ışık hızı ile yeryüzüne 8 dakika 20 saniyede ulaşabilmektedir. Dünyadan bakıldığında güneş dairesi 32 dakikalık bir açı oluşturmaktadır. Bu birçok uygulama için önemlidir özellikle toplayıcı optiğinde güneş noktasal bir kaynak olarak düşünülemez. Güneş yüzeyi 5.760 K'lik etkili bir siyah cisim sıcaklığına sahiptir. Merkeze yaklaştıkça bu sıcaklık çok daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır (Bozkurt, 2012). Güneş, hidrojeni helyuma dönüştüren devamlı bir füzyon reaktörüdür. Güneşin toplam çıkış gücü $3,8 \times 10^{20}$ MW'dır bu da güneş yüzeyinde 63 MW/m^2 'lik güce eşittir. Bu enerji güneşten tüm yönlere doğru yayılır. Toplam radyasyonun sadece küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşır bu da $1,7 \times 10^{14}$ kW'tır. Buna rağmen güneşten yeryüzüne gelen enerji hesaplandığında 84 dakikada yeryüzüne ulaşan enerji toplamı yaklaşık 900×10^{18} J olup, bir yıllık dünya enerji ihtiyacını karşılayacak kadardır. (Kalogirou, 2009).

Doğal ve sürekli bir füzyon reaktörü olan güneşin enerji kaynağı dört hidrojen atomunun bir helyum atomuna dönüşmesiyle ortaya çıkmaktadır. Dört hidrojen atomu toplam 4,032 birim ağırlıkta, bir helyum atomu 4,003 birim ağırlıktadır. Bu olay sonucu 0,029 birim ağırlık Einstein'ın madde-enerji bağıntısı sonucu enerjiye dönüşmektedir. Güneşte her saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Dünya'ya güneşten gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 10 bin katıdır.

2.1. Güneşten Gelen Işının Dağılımı

Dünyaya gelen güneş ışınlarının %25'i atmosferin etkisiyle ve bulutlara çarparak uzaya geri yansır. %25'i atmosferde dağılmaya uğrar. Atmosferin mavi görünmesini ve

gölge yerlerin aydınlanmasını sağlar. Bu ışınların %9'u uzaya geri yansır. %16'sı da yeri dolaylı olarak ısıtır. %15'i atmosfer ve bulutlar tarafından emilir. %8'i yere çarpınca uzaya yansır. %27'si doğrudan yere ulaşır ve yeri ısıtır (Akkurt, 2012). Güneşten gelen ışının dağılımı Şekil 2-1'de görülmektedir.



Şekil 2-1. Güneşten gelen ışının dağılımı (Web05, 2015)

Güneş ışınımı güneşten elektromanyetik dalgalar halinde yayılan ışınımdır. Bu ışınımın, atmosferde soğurulma, dağılma ve yansıma gibi işlemlere maruz kalır. Güneşten, paralel ışınlar halinde yere ulaşan ışınım doğrudan (direkt) ışınım, güneşten atmosfere girmiş olan güneş ışınımının bulutlar, kuru hava ve toz molekülleri tarafından çeşitli şekilde yansıtılıp dağıtıldıktan sonra tekrar yansıma sonucu yeryüzüne dönen kısmına yayılan (difüz) ışınım, çevredeki cisimlere çarpıp cisimlerden yansıyan kısmına (reflected) ışınım denir. Bu ışınımın toplamına toplam ışınım veya global ışınım denir (Akkurt, 2012).

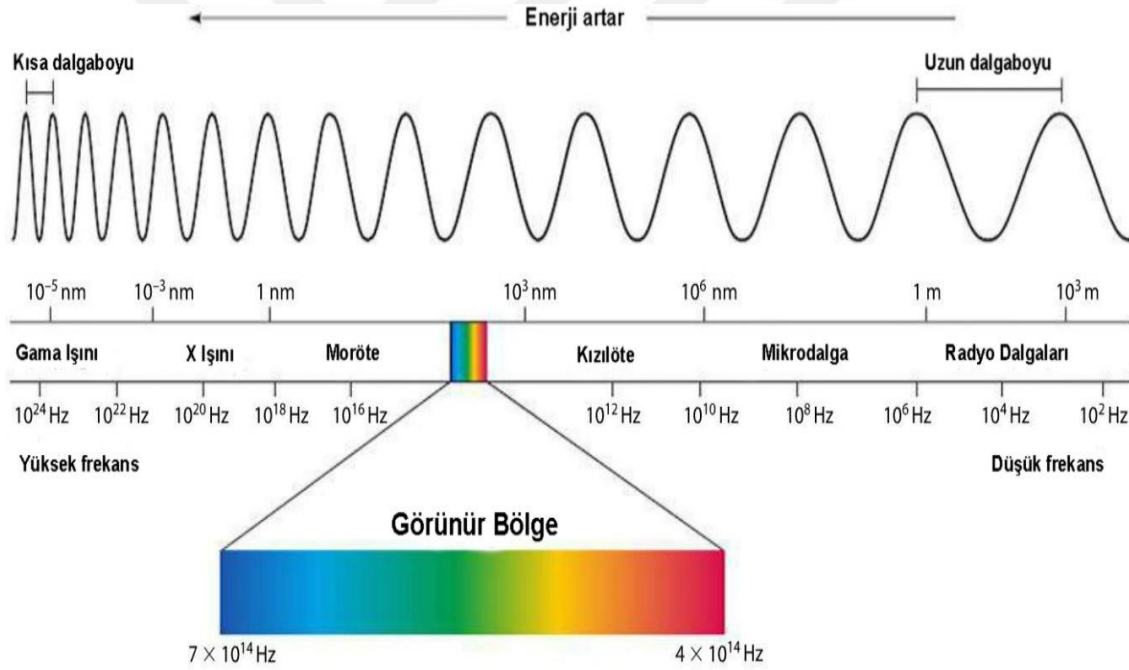
2.2. Güneşin Elektromanyetik Spektrumu

Işık elektromanyetik radyasyon formunda bir enerjidir. Elektromanyetik radyasyonun tüm farklı formları bir nesneyle karşılaştıklarında birbirlerinden farklı tepkiler vermelerine rağmen temelde aynı iletim özelliklerine sahiptirler. Elektromanyetik radyasyon dalga boyunu gösteren nanometre birimiyle ölçülür. Işık dalga boylarına göre sıralanmasına elektromanyetik spektrum denir (Web07, 2015).

Elektromanyetik ışının özellikleri klasik dalga modeli ile tanımlanabilir. Bu modelde dalga boyu, frekans, hız ve genlik gibi parametreler kullanılır. Elektromanyetik ışın vakumlu

ortamlardan da geçebilmesi nedeniyle yine bir dalga olayı olan ses dalgalarından farklı bir durum gösterir. Dalga modeli, ışının absorpsiyonu (soğurma) veya emisyonu (yayımlanma) olaylarını açıklamada yetersizdir. Absorpsiyon veya emisyonda elektromanyetik ışın "foton" adı verilen enerji taneciklerini oluşturan bir huzme olarak düşünülebilir (Skoog, ve diğerleri, 1980). Bir fotonun enerjisi, ışının frekansı ile orantılıdır. Işık taneciklerden mi yoksa dalgalardan mı oluşmuştur? 20.Yüzyılın sonlarına kadar fizikçilerin çoğu ışığın dalgalardan ibaret olduğunu savunmuşlardır. Fakat sonraları durumun farklı olduğu gözlenmiştir. Işıkla ilgili pek çok olay 'dalga' kavramıyla açıklanabilir. Ancak fotoelektrik etki ışığın tanecik özellikte olduğunu bir göstergesidir. Elektronların bulunması da ışığın çift karakterli, yani tanecik ve dalga özellikler taşıdığını gösterir (Web08, 2015).

Güneşten yayılan farklı dalga boylarına sahip elektromanyetik radyasyonun bütünü elektromanyetik güneş spektrumu olarak isimlendirilir (Web09, 2015). Şekil 2-5'de elektromanyetik güneş spektrumu görülmektedir.

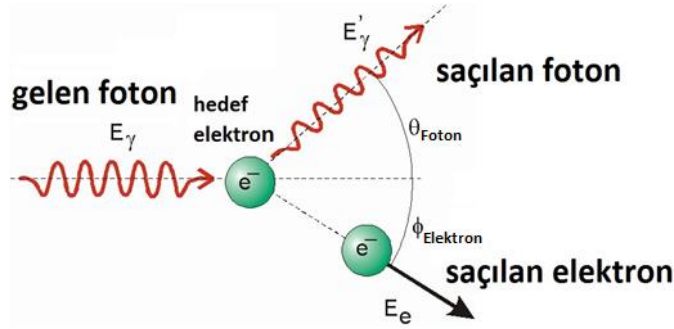


Şekil 2-2. Elektromanyetik güneş spektrumu (Web10, 2015)

2.3.Fotoelektrik Etki

Fotoelektrik etkide foton absorpsiyonuyla atom bir elektron çıkararak iyonlaşır. Metal bir yüzey üzerine ışık düşürüldüğünde yüzeyden elektronların sökülmesi olayına fotoelektrik olay denir. Fotoelektrik olay ilk kez Alman fizikçi H. Rudolf Hertz tarafından 1887'de gözlemlendi. Yaptığı deneyde, üzerine cıva sürülmüş bir çinko levhayı önce negatif elektrikle yükleyerek üzerine ışık düşürüldüğünde yüklerini kaybettiğini, fakat daha sonra

pozitif elektrik yükleyince aynı ışık altında yükünü kaybetmediğini gördü (Web11, 2015). Şekil 2-3’de Fotoelektrik Etki ile harekete geçirilen elektron görülmektedir.



Şekil 2-3. Fotoelektrik etki (Web08, 2015)

2.4. Güneş Spektrumu

Güneş, Güneş Spektrumu olarak bilinen bir dalga boyu (280 – 2500 nanometre) üzerinden elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla enerjisini yayar.

Güneş spektrumu içerisindeki enerji dağılımı yaklaşık olarak aşağıdaki gibidir:

%2 Ultraviyole (mor ötesi)

%47 görünür ışık

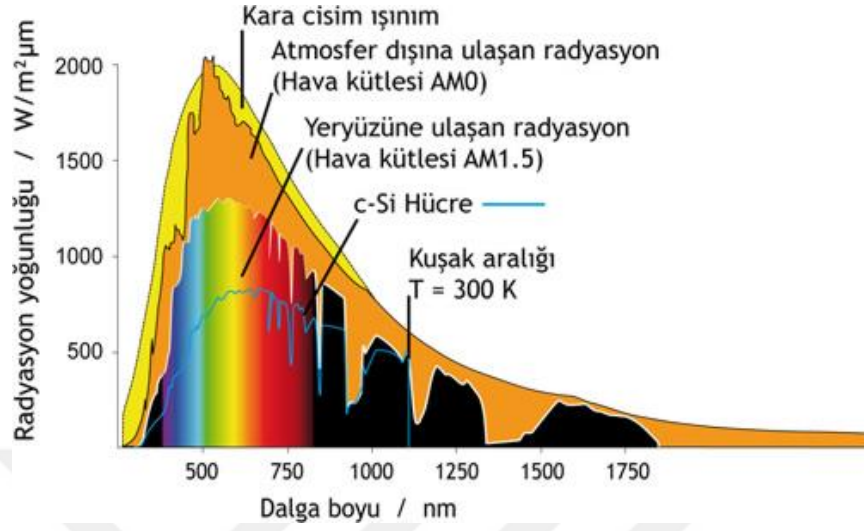
%51 Kızılötesi (Web12, 2015)

Mutlak sıfır sıcaklığının üstündeki sıcaklığa sahip her cisim ışıma şeklinde ısıyıyor. Bu olay klasik mekanikte, ısı yayılması denen ısı ışımaya: cismin yüzeyine yakın atomların sürekli titreşerek yaptıkları ivmeli hareketlerden kaynaklanır. Klasik kurama göre bu şekilde ivmeli hareket eden yükler elektromanyetik dalga yayar. Değişik değerdeki ivmelerin oluşturduğu bu ısı ışımaya bu bölgedeki geçerli tüm dalga boylarını içerir. Ayrıca bu kurama göre birim yüzeyin yaydığı güç, cismin mutlak sıcaklığı ile doğru orantılıdır (Web11, 2015).

Bir cismin radyasyon (ışıma) ısısı o cismin en fazla ışık verdiği dalga boyu ile ilişkilidir. Belirli dalga boyunda yayılan ışık miktarına da yoğunluk denir. Bir cisimden yayılan ışımının yoğunluğunu her dalga boyu için ayrı ayrı grafiğe çizersek, kara cisim eğrisi denilen belirli eğriler oluşacaktır. Kara cisim eğrisi, herhangi bir sıcaklık için her dalga boyunda ne kadar ışımının yayıldığını (ışımın yoğunluğunu) gösterir. Bu grafikte ışımın yoğunluğunun tepe yaptığı dalga boyu noktaları cismin rengini belirler.

Sıcak cisimler için yoğunluğun tepe yaptığı nokta kısa dalga boylarında (mavi-beyaz), soğuk cisimler için ise uzun dalga boylarında (kırmızı) olacaktır. Böylece herhangi

bir yıldız veya galaksinin sıcaklığını rengine bakarak söyleyebiliriz çünkü renk o cismin ışınımın tepe yaptığı dalga boyu ile doğrudan bağlantılıdır (Web13, 2015).



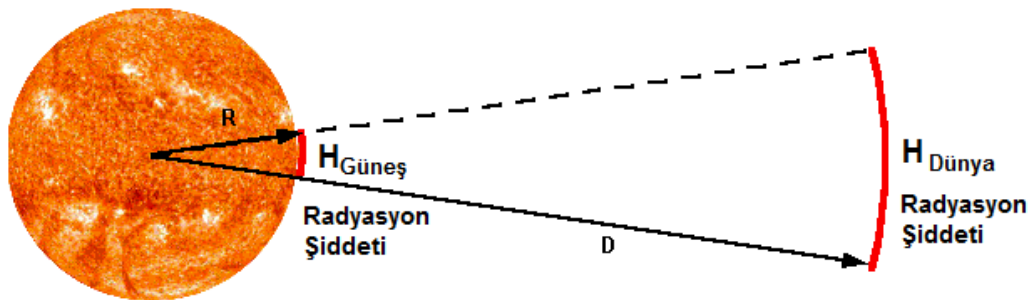
Şekil 2-4. Güneş spektrumu (Web14, 2015)

2.5. Güneş Sabiti

Güneşin yüzeyindeki açığa çıkan toplam güç $3,8 \times 10^{20}$ MW, güneşin yarıçapı $6,96 \times 10^5$ km ve $6,088 \times 10^{18}$ m² 'dir. Güneşin yüzeyinde metrekarede açığa çıkan güç 63 MW/m^2 'dir. Güneşten belli bir mesafe uzaklıktaki ışınım miktarı (Web06, 2015);

$$H_{11} = \frac{(R_{\text{Güneş}})^2}{D^2} \cdot H_{\text{Güneş}} \quad (2.1)$$

İle ifade edilebilir. Bu ifadede Güneşin yarıçapı ve Dünyanın güneşe uzaklığı $1,5 \times 10^8$ km alınırsa dünya yüzeyine gelen ışınım bulunabilir. Şekil 2-5' de Güneş- Dünya ilişkisi görülmektedir.



Şekil 2-5 Güneş- Dünya ilişkisi

Dünyanın Güneş etrafında çizdiği yörünge eksantriktir ve aralarındaki uzaklık %1,7 kadar değişir. Güneşten neşredilen radyasyon, dünya ile bu geometrik ilişkisinden dolayı yeryüzü atmosferi öncesinde yaklaşık olarak sabittir. Buna güneş sabiti denir ve G_{sc} ile gösterilir. Güneş sabiti, atmosfer öncesinde ışınım doğrultusuna dik birim alana birim zamanda güneşten gelen enerjidir ve ortalama güneş-dünya mesafesi için değeri $G_{sc}=1367 \text{ W/m}^2$ 'dir. Dünya güneş mesafesinin yukarıda bahsedildiği gibi değişken olması güneş sabitinin de günlere göre $\pm \%3$ değişmesine neden olur. Bu nedenle yılın n. gününde birim alana dik gelen atmosfer öncesi radyasyon (güneş sabiti) aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Web06, 2015);

$$H_n = G_{sc} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360(n-2)}{365} \right) \right) \quad (2.2)$$

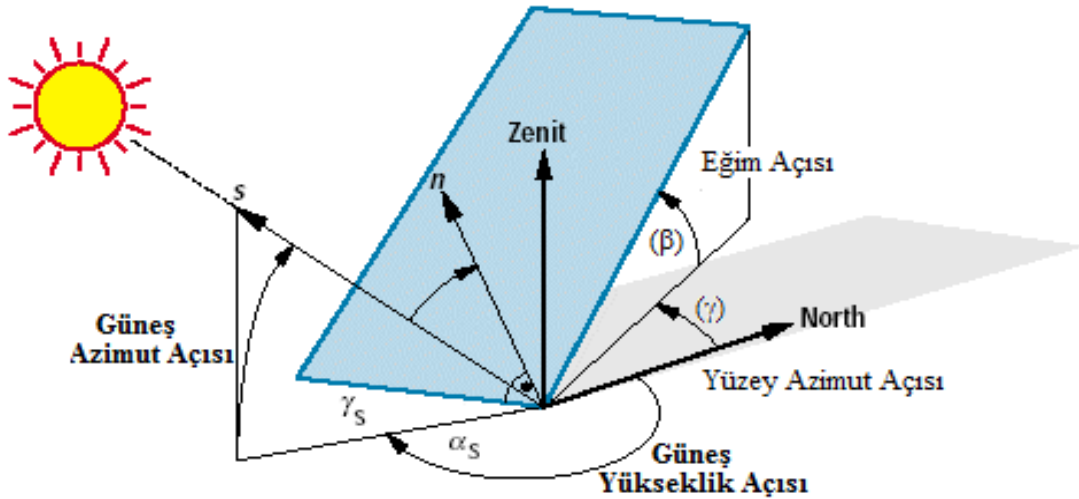
Denklem (2.2)'de n, 1 ve 365 dâhil olmak üzere 1 den 365'e kadar olan tamsayıları kapsamaktadır. Tablo 2-1'de farklı günler için hesaplanmış Güneş sabiti örnekleri görülmektedir.

Tablo 2-1. Farklı günler için güneş sabiti örnekleri

n	H_n	n	H_n	n	H_n	n	H_n
1	1391,89	40	1411,03	110	1410,18	206	1411,65
2	1412,11	41	1399,49	111	1401,71	207	1386,25
3	1391,89	42	1358,83	112	1362,13	208	1343,60
4	1349,36	43	1325,49	113	1326,91	209	1321,92
5	1322,64	44	1329,36	114	1327,63	210	1340,66
6	1335,69	45	1366,98	115	1363,64	211	1383,00
7	1376,81	60	1402,73	160	1381,48	212	1411,01
8	1409,13	61	1363,74	161	1410,62	213	1399,56
9	1403,69	62	1327,68	162	1400,66	310	1340,89
10	1365,36	63	1326,87	163	1360,52	311	1321,91
11	1328,50	64	1362,03	164	1326,19	312	1343,35
12	1326,15	65	1401,65	165	1328,45	313	1385,99
13	1360,43	80	1368,69	166	1365,26	314	1411,60
14	1400,59	81	1330,34	167	1403,63	315	1397,24
15	1410,65	82	1324,85	187	1410,67	316	1355,76
16	1381,57	83	1357,15	188	1381,67	355	1328,60
17	1339,44	84	1398,28	189	1339,51	356	1326,07
18	1322,01	85	1411,37	190	1322,00	357	1360,23
19	1344,91	90	1384,60	191	1344,83	358	1400,46
20	1387,62	91	1411,35	205	1397,02	359	1410,70

2.6.Güneş Geometrisi

Güneş ışınımının en önemli özellikleri dünyanın kendi eksenini etrafında ve güneş çevresinde eliptik dönmesiyle belirlenir. Bu oluşumda hesaplamaların kolay olması açısından, geçmiş dönemlerden günümüze kadar birçok alanda çalışmalar yürütülmüş ve belli kabuller yapılarak yeni yöntemler geliştirilmiştir. Dünya üzerindeki herhangi bir yerin enlemi, boylam ve yüksekliğinin tanımlanması ve kutupsal koordinatların da kullanılmasıyla güneşin hareketin yerkürede incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu açıların bilinmesi sayesinde güneş enerjisinden hangi verimlilik ölçüsünde yararlanabileceğinin analizi yapılır (Kallioğlu, 2014). Şekil 2-6'da önemli güneş açıları görülmektedir.



Şekil 2-6. Güneş açıları

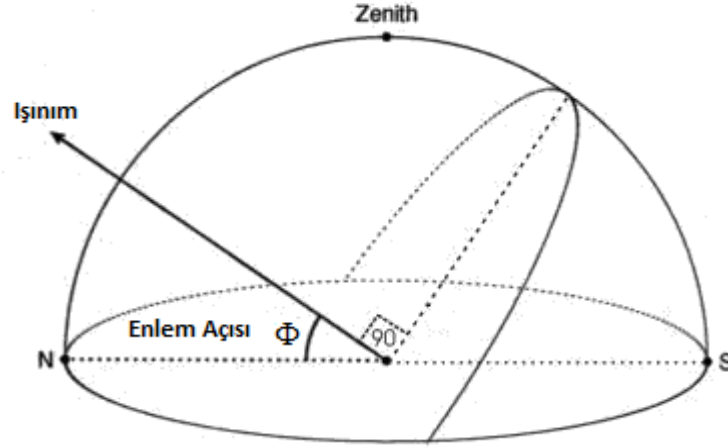
Bir güneş enerjisi sisteminin yıllık performansı bulunduğu bölgenin güneş enerjisi potansiyeline bağlı olduğu gibi güneş açılarına da bağlı olarak değişmektedir. Bu açı değerleri değiştirilerek herhangi bir zamandaki performansları yükseltilebilmektedir. Yatay yüzeyler ile yaz mevsiminde ve dikey yüzeyler ile kış mevsiminde daha fazla ışınım kazancı elde edilebilmektedir. Güneş izleyici sistemler ise PV güç sistemlerinin güneş açıları sürekli olarak değiştirilerek ve güneşi izleyerek PV güç sistemleri ile güneş ışınımından üretilen enerji en yüksek düzeylere çıkarılabilmektedir.

2.6.1.Esas güneş açıları

2.6.1.1.Enlem açısı (Φ) {Latitude}

Referans noktamız ile ekvator arasındaki açıdır. Başka bir deyişle doğrudan gelen ışınım ile yatay düzlemin oluşturduğu açıya denir. Güneş yükseklik açısının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Kuzey yönde pozitif, güney yönde negatif olmak üzere

-90° ile + 90° arasında değişir. Ülkemiz coğrafi konum olarak 36°- 42° enlemleri arasında yer almaktadır. Şekil 2-7’da enlem açısı görölmektedir.



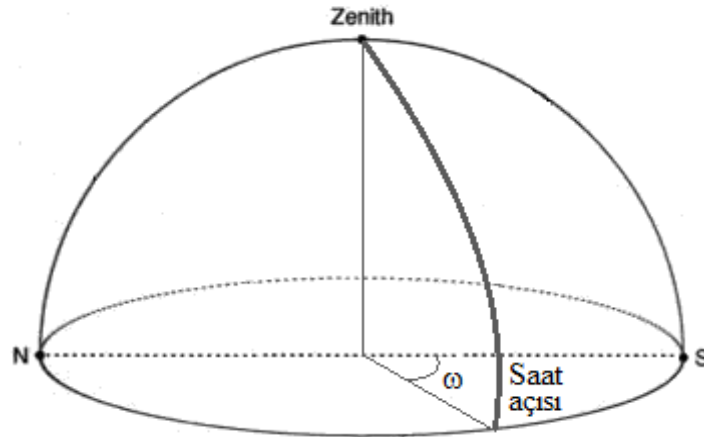
Şekil 2-7. Enlem açısı

2.6.1.2.Saat açısı (ω) {Hour Angle}

Güneş ışınlarının bulunduğu boylam ile referans noktasının arasındaki açıdır. Zamanın açısal ölçüsüdür. Güneş öğle vakti ile ilgili zaman arasındaki saat farkı, 15 sabit sayısı ile çarpılarak güneş sabit açısı hesaplanır. Bu sabit sayı dünyanın güneş çevresinde bir defa dönüşü sırasında oluşan 360°’lik açının 24’e bölünmesiyle elde edilmiştir. Saat açısı denklem (2.3)’de ki gibi ifade edilebilir.

$$\omega = 15x(GS - 12) \quad (2.3)$$

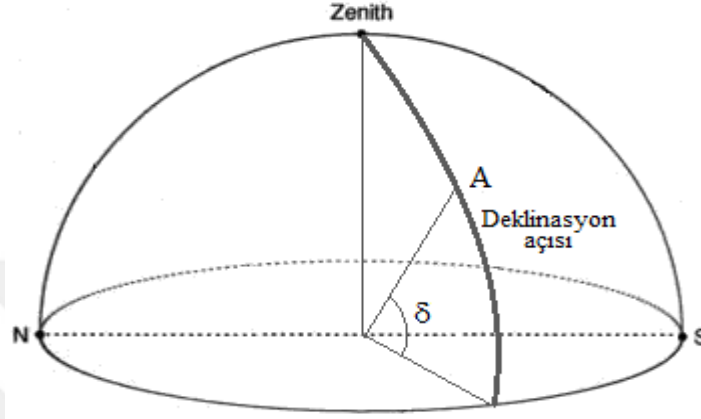
Bu eşitlikten yola çıkılarak her hangi bir saat için saat açısı hesaplanabilir. Örnek olarak saat 16.00 için $\omega=60^\circ$ bulunur. Şekil 2-8’de saat açısı görölmektedir.



Şekil 2-8. Saat açısı

2.6.1.3. Deklinasyon açısı (δ) {Declination Angle}

Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yapmış olduğu açı olup sadece zamanın fonksiyonudur. Bu açı, dünyanın dönme ekseninin, yörünge düzlemi normali ile yaptığı $23^{\circ}27'$ lik açıdan oluşmaktadır. Deklinasyon açısı, bazı formüller kullanılarak yılın herhangi bir günü için yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Şekil 2-9'de deklinasyon açısı görülmektedir.



Şekil 2-9. Deklinasyon açısı

$$\delta = 23,45^{\circ} \cdot \sin\left(\frac{360(n+284)}{365}\right) \quad (2.4)$$

Bu formüldeki n, 1 Ocaktan itibaren deklinasyon açısının hesaplanacak güne kadar olan gün sayısını temsil etmektedir. Güneş ışınım değerleri bir ayda bulunan bütün günler yerine, aylık belirlenen ortalama gün sayısı üzerinden aylık ortalama deklinasyon açısı hesaplanmaktadır (Duffie, ve diğerleri, 1991). Tablo 2-2'de farklı günler için hesaplanmış deklinasyon açısı değerleri görülmektedir.

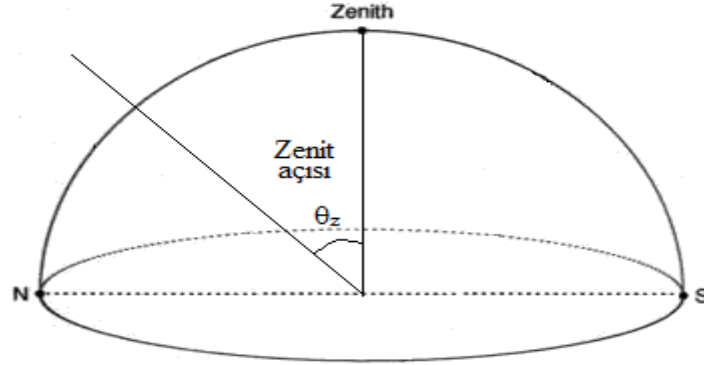
Tablo 2-2. Farklı günler için deklinasyon açısı

n	Hn	n	Hn	n	Hn	n	Hn
1	-23,38	40	-18,09	110	-19,14	206	-11,60
4	22,67	43	20,50	113	21,28	209	15,11
5	17,52	44	1,81	114	3,53	210	-6,62
6	-3,33	45	-18,50	115	-17,39	211	-22,41
7	-21,20	60	-0,10	160	-22,15	212	-18,12
8	-20,06	61	19,50	161	-18,64	213	2,42
9	-0,94	62	21,62	162	1,58	310	23,43
13	-16,21	80	17,96	166	-17,94	314	-17,00
14	-23,08	81	22,49	167	-22,49	315	4,09
19	-9,09	90	-22,66	191	-9,04	358	-23,09
20	-23,04	91	-17,54	205	-23,40	364	-23,02

2.6.2. Türetilen güneş açıları

2.6.1.1. Zenit açısı (θ_z) {Zenith Angle}

Doğrudan güneş ışınım doğrultusunun yatay düzlemin normali ile yapmış olduğu açıdır. Şekil 2-10'da zenit açısı görülmektedir.



Şekil 2-10. Zenit açısı

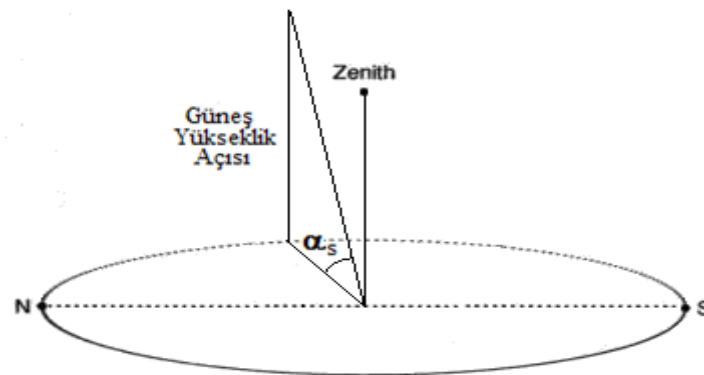
Zenit açısı güneşin doğuş ve batışında iken, ışınların yeryüzüne dik geldiği durumda ise dir. Zenit açısı enlem açısına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\cos\theta_z = \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\phi \quad (2.5)$$

2.6.1.2. Güneş yükseklik açısı (α_s) {Solar Altitude Angle}

Güneşin herhangi bir anda doğrudan güneş ışınımı ile yerel yatay düzlem arasında oluşturduğu açıdır. Bu açı bütün mevsimlerde en yüksek değerini öğle vaktinde almaktadır. Şekil 2-11'da güneş yükseklik açısı görülmektedir. Deklinasyon açısı, enlem açısı ve güneş saati açısına bağlı olarak aşağıdaki bağıntı oluşturulur.

$$\sin\alpha = \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\phi \quad (2.6)$$



Şekil 2-11. Güneş yükseklik açısı

Güneşin doğuşu ve batışı sırasındaki yükseklik açısı sıfırdır ve güneş yükseklik açısı ve zenit açının toplamı doksan derecedir.

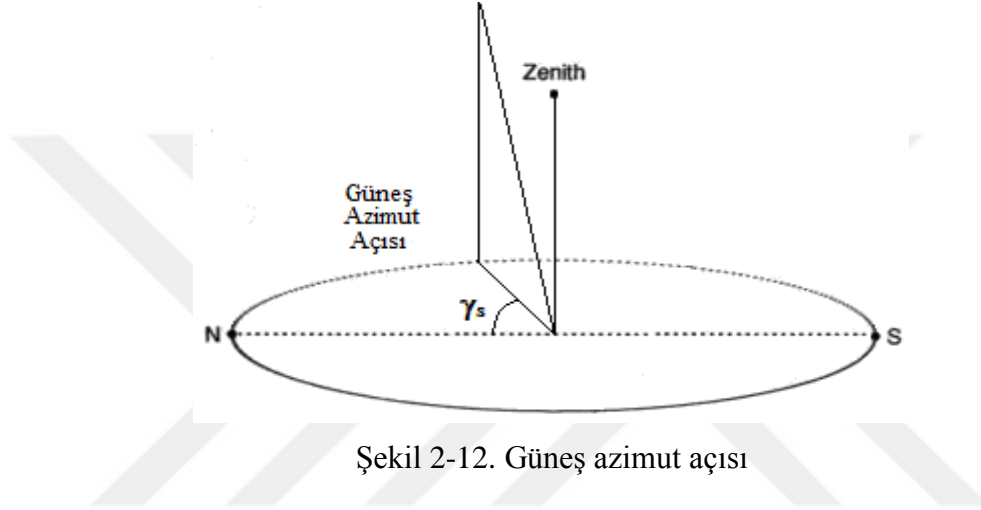
$$\theta_z + \alpha_s = 90^\circ \quad (2.7)$$

$$\sin\theta_z = \cos\alpha \quad (2.8)$$

2.6.1.3. Güneş azimut açısı (γ_s) {Solar Azimuth Angle}

Güneşin doğrultusunun tam olarak bilinebilmesi için kutupsal koordinatlarda azimut açısına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu açı güneş-dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki iz düşümünün, kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıdır başka bir deyişle doğrudan güneş ışınımı ile kuzey-güney doğrultusunun arasındaki açıdır. Şekil 2-12’de güneş azimut açısı görülmektedir. Güneye doğru azimut açısının sinüsü aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

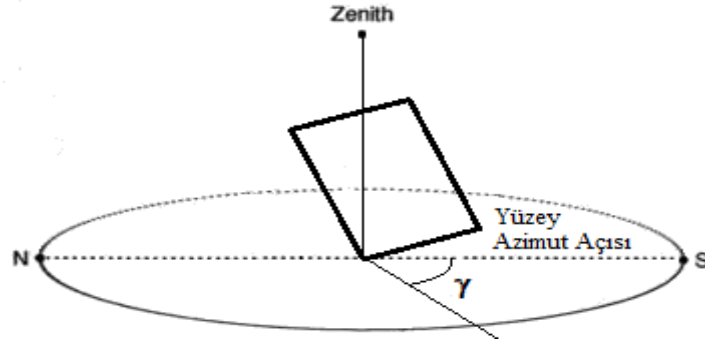
$$\sin\gamma_s = -\frac{\cos\delta \cdot \sin\omega}{\sin\theta_z} \quad (2.9)$$



Şekil 2-12. Güneş azimut açısı

2.6.1.4. Yüzey azimut açısı (γ) {Surface Azimuth Angle}

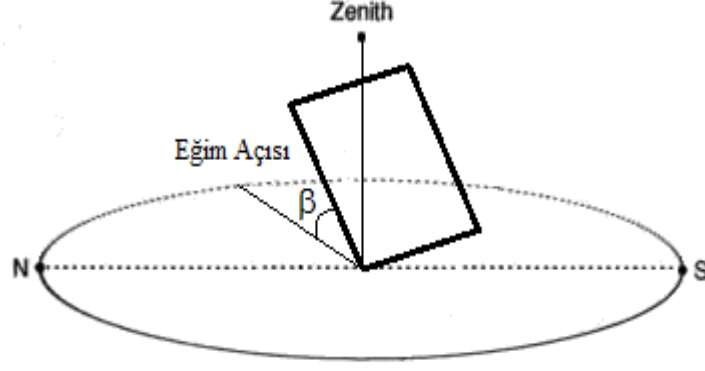
Yüzeyin dikeyinin, yerel boylama göre, sapmasını gösteren açıdır. Güneye bakan yüzeyler için $\gamma=0^\circ$ olur. Doğuya yönelen yüzeyde artı değer alır. Batıya yönelen yüzeyde eksi değer alır. Şekil 2-13’de yüzey azimut açısı görülmektedir.



Şekil 2-13. Yüzey azimut açısı

2.6.1.5. Eğim açısı (β) {Horizontal Tilt}

Yüzey ile yatay arasındaki açıdır. Ekvatora yönelen yüzey için artı değer alır.



Şekil 2-14. Eğim açısı

2.6.1.6. Güneşin geliş açısı (θ) { Angle of Incidence }

Direk güneş ışınımının yüzey normali ile yaptığı açıdır. Aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \\ &+ \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega \\ &+ \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega \\ &+ \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\cos\theta = \cos\theta_z \cdot \cos\beta + \sin\theta_z \cdot \sin\beta \cdot \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (2.11)$$

2.6.1.7. Güneş batımı açısı (ω_s) {Sunrise Hour Angle}

Güneş doğumu/batımı açısı aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir (Yalçın, 2014).

$$\cos\omega_s = -\frac{\sin\phi \cdot \sin\delta}{\cos\phi \cdot \cos\delta} \quad (2.12)$$

2.6.1.8. Gün uzunluğu (N_g) {Day Length}

Gün uzunluğu aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

$$N = \frac{2}{15} \cdot \cos^{-1}(-\tan\phi \cdot \tan\delta) \quad (2.13)$$

2.7. Yüzeye Gelen Işınım

Güneye yönlendirilmiş eğimli bir yüzeyde ve iki eksenli izleme sistemi yüzeyinde güneş ışınımı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Güneş sabitinin günlere göre düzeltme faktörü (f), n yıl içindeki gün sayısı (1-365) olmak üzere;

$$f = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(360 \cdot \frac{n}{365}\right) \quad (2.14)$$

Şeklinde tanımlanır. Deklinasyon açısı δ ise;

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360(n+284)}{365}\right) \quad (2.15)$$

Şeklinde hesaplanabilir.

Saat açısı ω ;

$$\omega = 15x(GS - 12) \quad (2.16)$$

Güneş yükseklik açısı ise α_s ;

$$\alpha_s = \sin^{-1}[\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega] + [\sin\phi \cdot \sin\delta] \quad (2.17)$$

İfadesi yarımıyla hesaplanabilir. Burada ϕ bölgenin enlem derecesidir.

Güneş azimut açısı γ_s ;

$$\gamma_s = \cos^{-1} \left(\frac{[\sin\alpha_s \cdot \sin\phi] - \sin\delta}{\cos\alpha_s \cdot \cos\phi} \right) \quad (2.18)$$

Şeklinde hesaplanır.

Zenit açısı ise θ_z ;

$$\theta_z + \alpha_s = 90^\circ \quad (2.19)$$

$$\theta_z = 90^\circ - \alpha_s \quad (2.20)$$

Olarak elde edilebilir.

Yüzey azimut açısı γ ise;

Güneye yönlendirilmiş yüzeyler için ; $\gamma = 0$

İki eksen izlemeli sistemlerin yüzeyi için;

$$\gamma = 180 - \gamma_s \quad (2.21)$$

Şeklinde alınabilir.

Güneş geliş açısı θ ;

$$\theta = \cos^{-1}[\sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos\beta] - [\sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma] + [\cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega] \\ + [\cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega] + [\cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega] \quad (2.22)$$

Formülü yardımıyla hesaplanabilir.

Güneye yönlendirilmiş bir yüzey için $\gamma = 0$ alınır. İki eksenli izleme durumunda ise

$\theta = 0$ olur. İki eksenli izleme yapan sistemin eğim açısı ise β ;

$$\beta = 90 - \alpha_s = \theta_s \quad (2.23)$$

İfadesi ile belirlenir.

Yatay yüzeye gelen anlık ışınlım H;

$$H = 1367 \cdot \left(1 + 0,33 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right) \cdot \cos\theta_z \quad (2.24)$$

Olarak hesaplanabilir.

Burada 1367 W/m^2 olarak güneş sabitidir.

Yatay bir yüzeye gelen ışınım yoğunluğu (H) ile maksimum güneş ışınımı (H_n) arasında;

$$H_n = \frac{H}{\cos\theta_z} \quad (2.25)$$

Şeklinde bir ilişki vardır.

Eğik yüzeye dik direkt güneş ışınımı miktarı H_b ;

$$H_b = H_n \cdot \cos\theta \quad (2.26)$$

İle hesaplanabilir.

R_b , PV panel üzerine gelen ışınımın yatay düzleme gelen ışınımına oranıdır ve

$$R_b = \frac{H_b}{H} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (2.27)$$

Şeklinde hesaplanabilir.

Böylece eğik yüzeye dik direkt güneş ışınımı miktarı H_b ;

$$H_b = H \cdot R_b \quad (2.28)$$

Şeklinde de yazılabilir.

Eğimli bir yüzeyde difüz ışınım miktarı ise $H_{d,p}$;

$$H_{d,p} = H_d \cdot \frac{(1+\cos\beta)}{2} \quad (2.29)$$

Şeklinde tanımlanabilir.

H_d yatay bir yüzeydeki difüz ışınım miktarıdır ve

$$H_d = k_y \cdot H \quad (2.30)$$

Şeklinde hesaplanabilir. Burada k_y yayılı ışınım oranıdır ve

$$k_y = 1,39 - 4,02 \cdot K_T + 5,31 \cdot K_T^2 - 3,108 \cdot K_T^3 \quad (2.31)$$

Denkliği ile hesaplanabilir. Burada K_T bulutluluk faktörü olup;

$$K_T = \frac{H}{H_n} \quad (2.32)$$

Şeklinde ifade edilebilir.

Eğimli bir yüzeyde yansıtılarak gelen ışınım miktarı H_{gr} ise;

$$H_{gr} = (H + H_d) \cdot \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \cdot \rho_g \quad (2.33)$$

Şeklinde verilir. Burada ρ_g yüzey yansıtıcılığıdır.

Tablo 2-3'de farklı yüzeyler için yansıtma katsayıları görülmektedir.

Tablo 2-3. Farklı yüzeyler için yansıtma katsayıları.

Yüzey	Ortalama Yansıtma Katsayısı
Kar (yeni yağmış veya buz kaplı)	0,75
Su yüzeyi	0,07
Yeşil çim	0,26
Beton kaplı alan	0,22
Topraklar (kil, balçık, vb.)	0,14
Çam ormanları (kış mevsimi)	0,07
Sonbahardaki ormanlar	0,26
Kara yolu	0,04
Asfalt kaplı zemin	0,10
Ölü yapraklar	0,40
Kuru çim	0,20
Kırılmış taş yüzeyler	0,20

Eğimli bir PV panel yüzeyine gelen toplam ışınım miktarı, direkt ışınım, difüz ve eğimli bir yüzeyde yansıyan ışınımın toplanmasıyla;

$$H_T = H_b + H_{d,p} + H_{gr} \quad (2.34)$$

Elde edilebilir.

N 37° 34m 48", E 36° 55m 12" koordinatları için 01.01.2015 ve 02.01.2015 tarihleri için Matlab ve Excel ile hesaplanmış güneş açıları ve saatlik ışınım değerleri Tablo 2-4'de görülmektedir.

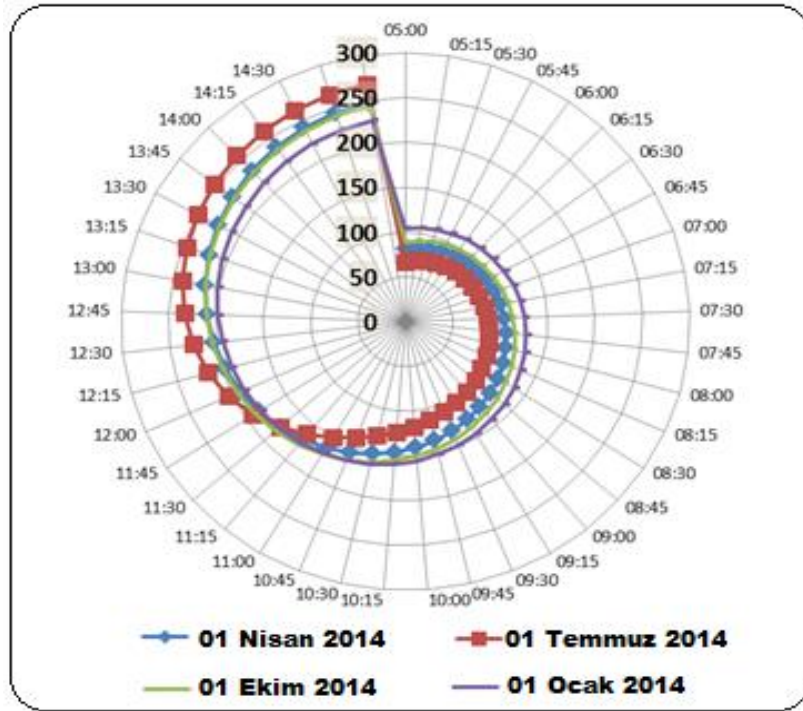
Tablo 2-4. Güneş açıları (N 37° 34m 48", E 36° 55m 12")

Saat	Deklasyon açısı	Saat açısı	Zenit açısı	Enlem açısı	Güneş Azimut Açısı	Yatay Küresel Işınım	Dünya dışı yatay ışınım
0	-0,4003	-187,8932	164,3782	-74,3782	0,8829	0	0
1	-0,4002	-172,8983	164,6561	-74,6561	0,9027	0	0
2	-0,4001	-157,9033	156,3395	-66,3395	0,5047	0	0
3	-0,3999	-142,9084	145,1951	-55,1951	0,2299	0	0
4	-0,3998	-127,9134	133,3370	-43,3370	0,0409	0	0
5	-0,3997	-112,9184	121,3774	-31,3774	-0,1111	0	0
6	-0,3995	-97,9234	109,6046	-19,6046	-0,2487	0	0
7	-0,3994	-82,9284	98,2477	-8,2477	-0,3828	12	17
8	-0,3993	-67,9334	87,5657	2,4343	-0,5193	182	251
9	-0,3991	-52,9384	77,9013	12,0987	-0,6592	342	472
10	-0,3990	-37,9434	69,7246	20,2754	-0,7970	459	633
11	-0,3989	-22,9483	63,6431	26,3569	-0,9161	523	721
12	-0,3987	-7,9533	60,3141	29,6859	-0,9892	528	728
13	-0,3986	7,0417	60,2054	29,7946	-0,9915	474	654
14	-0,3985	22,0368	63,3340	26,6660	-0,9221	366	505
15	-0,3983	37,0319	69,2549	20,7451	-0,8048	212	292
16	-0,3982	52,0269	77,3145	12,6855	-0,6673	36	50
17	-0,3980	67,0220	86,8974	3,1026	-0,5269	0	0
18	-0,3979	82,0171	97,5242	-7,5242	-0,3899	0	0
19	-0,3978	97,0122	108,8444	-18,8444	-0,2553	0	0
20	-0,3976	112,0073	120,5943	-30,5943	-0,1177	0	0
21	-0,3975	127,0024	132,5428	-42,5428	0,0337	0	0
22	-0,3973	141,9976	144,4059	-54,4059	0,2203	0	0
23	-0,3972	156,9927	155,5989	-65,5989	0,4887	0	0
0	-0,3987	-187,9033	164,2915	-74,2915	0,8837	0	0
1	-0,3986	-172,9083	164,5747	-74,5747	0,9039	0	0
2	-0,3985	-157,9132	156,2852	-66,2852	0,5075	0	0
3	-0,3983	-142,9181	145,1529	-55,1529	0,2323	0	0
4	-0,3982	-127,9231	133,2981	-43,2981	0,0430	0	0
5	-0,3980	-112,9280	121,3373	-31,3373	-0,1094	0	0
6	-0,3979	-97,9329	109,5606	-19,5606	-0,2472	0	0
7	-0,3978	-82,9378	98,1977	-8,1977	-0,3815	12	17
8	-0,3976	-67,9427	87,5077	2,4923	-0,5181	182	251
9	-0,3975	-52,9476	77,8338	12,1662	-0,6583	343	473
10	-0,3973	-37,9524	69,6463	20,3537	-0,7963	460	635
11	-0,3972	-22,9573	63,5545	26,4455	-0,9158	524	723
12	-0,3970	-7,9622	60,2177	29,7823	-0,9891	530	731
13	-0,3969	7,0330	60,1063	29,8937	-0,9915	477	658
14	-0,3967	22,0281	63,2376	26,7624	-0,9219	369	509
15	-0,3966	37,0233	69,1650	20,8350	-0,8043	215	297
16	-0,3964	52,0185	77,2325	12,7675	-0,6665	38	52
17	-0,3963	67,0137	86,8231	3,1769	-0,5259	0	0
18	-0,3961	82,0089	97,4566	-7,4566	-0,3886	0	0
19	-0,3960	97,0041	108,7821	-18,7821	-0,2538	0	0
20	-0,3958	111,9993	120,5352	-30,5352	-0,1160	0	0
21	-0,3957	126,9945	132,4844	-42,4844	0,0357	0	0
22	-0,3955	141,9898	144,3439	-54,3439	0,2228	0	0
23	-0,3953	156,9850	155,5246	-65,5246	0,4915	0	0

N 37° 34m 48", E 36° 55m 12" koordinatları için farklı tarihler ve saatler için Matlab ile hesaplanmış güneş azimut açıları Tablo 2-5'de görülmektedir.

Tablo 2-5. Kahramanmaraş için güneş azimut açıları

Saat	01 Nisan 2014	01 Temmuz 2014	01 Ekim 2014	01 Ocak 2015
05:00	80,90	66,58	89,10	103,80
05:30	85,49	70,69	93,68	107,86
06:00	90,04	74,70	98,29	112,00
06:30	94,66	78,66	103,04	116,29
07:00	99,45	82,66	108,03	120,81
07:30	104,52	86,81	113,38	125,60
08:00	110,03	91,23	119,21	130,74
08:30	116,15	96,14	125,68	136,27
09:00	123,09	101,82	132,93	142,25
09:30	131,10	108,79	141,12	148,70
10:00	140,45	117,94	150,34	155,61
10:30	151,34	130,88	160,58	162,95
11:00	163,72	150,09	171,62	170,62
11:30	177,15	176,62	183,04	178,50
12:00	190,80	204,26	194,31	186,40
12:30	203,71	225,27	204,95	194,17
13:00	215,26	239,43	214,65	201,65
13:30	225,25	249,29	223,30	208,74
14:00	233,80	256,67	230,96	215,37
14:30	241,17	262,59	237,76	221,52
15:00	247,61	267,64	243,86	227,22



Şekil 2-15. Kahramanmaraş için güneş azimut açıları

10 Temmuz 2014 tarihinde Adana, Ankara, Gaziantep, İzmir ve Van illeri için Güneş Azimut Açılı Tablo 2-6'de görülmektedir.

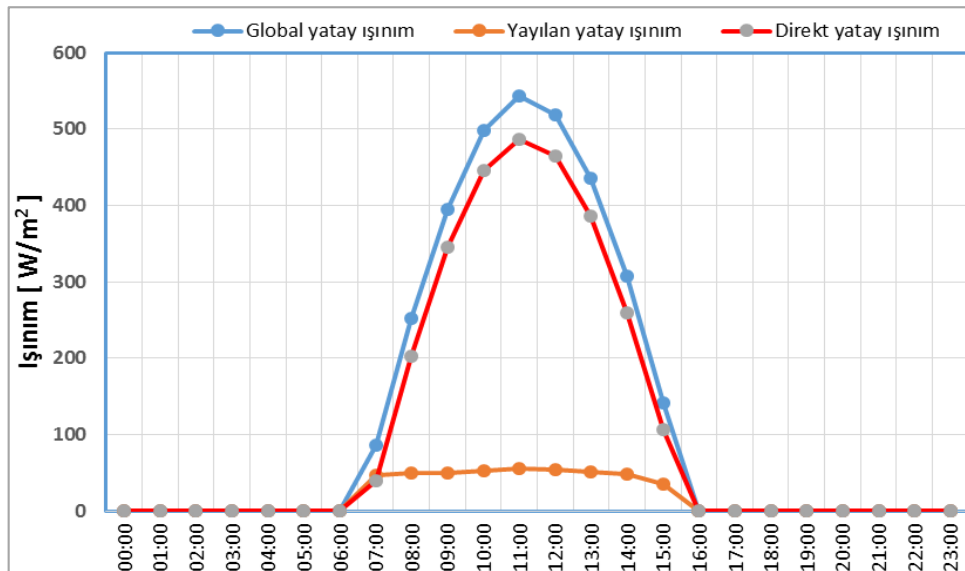
Tablo 2-6. Farklı iller için güneş azimut açıları

Hour	Adana	Ankara	Gaziantep	İzmir	Van
05:00	103° 0m 3"	105° 26m 55"	102° 26m 55"	106° 27m 41"	101° 4m 52"
05:30	106° 53m 53"	109° 2m 43"	106° 31m 24"	109° 22m 47"	105° 48m 58"
06:00	110° 53m 0"	112° 47m 19"	110° 40m 12"	112° 29m 19"	110° 34m 37"
06:30	115° 1m 38"	116° 44m 44"	114° 57m 37"	115° 50m 52"	115° 26m 9"
07:00	119° 23m 50"	120° 59m 3"	119° 27m 43"	119° 31m 27"	120° 27m 30"
07:30	124° 3m 39"	125° 34m 31"	124° 14m 26"	123° 35m 34"	125° 42m 12"
08:00	129° 5m 6"	130° 35m 30"	129° 21m 39"	128° 8m 21"	131° 13m 30"
08:30	134° 32m 4"	136° 6m 20"	134° 52m 59"	133° 15m 22"	137° 4m 6"
09:00	140° 27m 58"	142° 10m 51"	140° 51m 33"	139° 2m 20"	143° 15m 59"
09:30	146° 55m 11"	148° 51m 35"	147° 19m 25"	145° 34m 12"	149° 50m 1"
10:00	153° 54m 22"	156° 8m 44"	154° 16m 54"	152° 53m 44"	156° 45m 35"
10:30	161° 23m 25"	163° 58m 56"	161° 41m 50"	160° 59m 25"	164° 0m 13"
11:00	169° 16m 50"	172° 14m 24"	169° 29m 0"	169° 43m 19"	171° 29m 26"
11:30	177° 25m 39"	180° 43m 9"	177° 30m 8"	178° 50m 19"	179° 6m 56"
12:00	185° 38m 22"	189° 10m 43"	185° 34m 45"	188° 0m 7"	186° 45m 22"
12:30	193° 42m 48"	197° 22m 50"	193° 31m 49"	196° 51m 43"	194° 17m 13"
13:00	201° 28m 11"	205° 8m 8"	201° 11m 32"	205° 8m 22"	201° 35m 52"
13:30	208° 46m 47"	212° 19m 35"	208° 26m 41"	212° 40m 17"	208° 36m 23"
14:00	215° 34m 25"	218° 54m 27"	215° 13m 16"	219° 24m 26"	215° 15m 48"
14:30	221° 50m 5"	224° 53m 24"	221° 30m 7"	225° 22m 42"	221° 33m 5"
15:00	227° 35m 9"	230° 19m 17"	227° 18m 19"	230° 39m 38"	227° 28m 47"
15:30	233° 5m 51"	233° 5m 51"	233° 5m 51"	233° 5m 51"	233° 5m 51"
16:00	238° 1m 55"	238° 1m 55"	238° 1m 55"	238° 1m 55"	238° 1m 55"
16:30	242° 38m 55"	242° 38m 55"	242° 38m 55"	242° 38m 55"	242° 38m 55"
17:00	247° 0m 49"	247° 0m 49"	247° 0m 49"	247° 0m 49"	247° 0m 49"
17:30	251° 11m 39"	251° 11m 39"	251° 11m 39"	251° 11m 39"	251° 11m 39"
18:00	255° 15m 33"	255° 15m 33"	255° 15m 33"	255° 15m 33"	255° 15m 33"
18:30	259° 16m 59"	259° 16m 59"	259° 16m 59"	259° 16m 59"	259° 16m 59"
19:00	263° 21m 1"	263° 21m 1"	263° 21m 1"	263° 21m 1"	263° 21m 1"
19:30	267° 33m 50"	267° 33m 50"	267° 33m 50"	267° 33m 50"	267° 33m 50"
20:00	272° 3m 36"	272° 3m 36"	272° 3m 36"	272° 3m 36"	272° 3m 36"

N 37° 34m 48", E 36° 55m 12" koordinatları için 11.01.2015 tarihi için PVSYST yazılı ile modelden elde edilen ışı nım değ erleri Tablo 2-7'de ve Ş ekil 2-16'da gör ülmektedir (Web15, 2015).

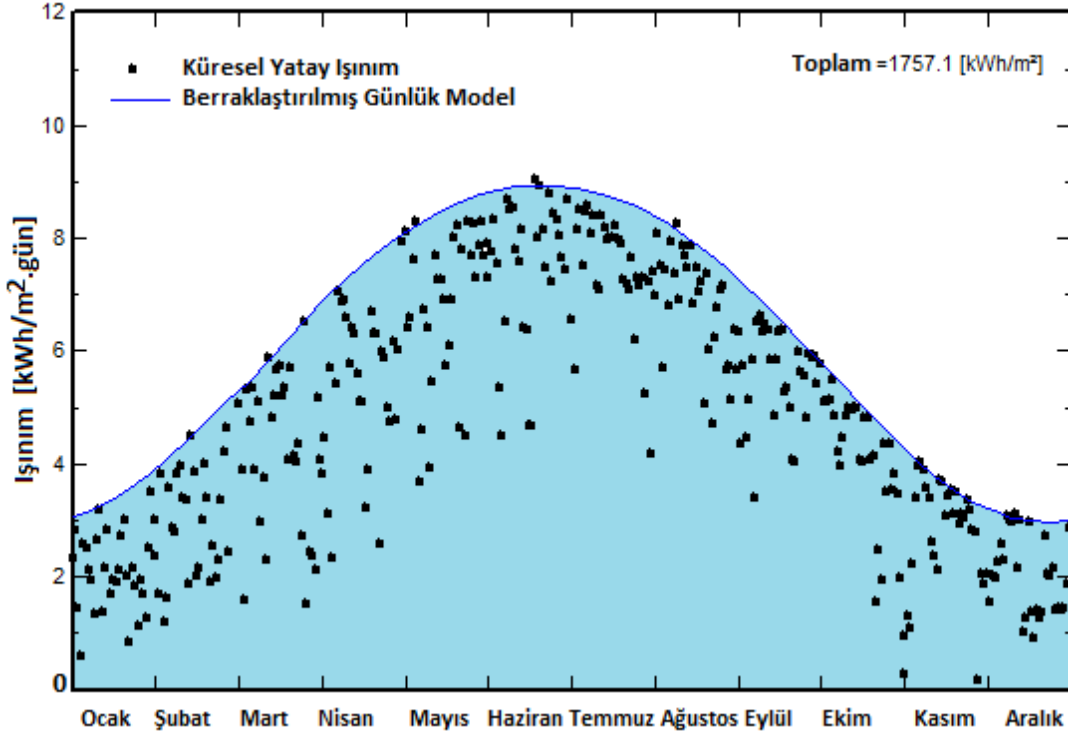
Tablo 2-7. Modelden elde edilen ışı nım değ erleri (PVSYST-11.01.2015)

Tarih	Saat	Global yatay ışı nım	Yayı lan yatay ışı nım	Direkt yatay ışı nım
		W/m ²	W/m ²	W/m ²
11.1.2015	00.00	0	0	0
11.1.2015	01.00	0	0	0
11.1.2015	02.00	0	0	0
11.1.2015	03.00	0	0	0
11.1.2015	04.00	0	0	0
11.1.2015	05.00	0	0	0
11.1.2015	06.00	0	0	0
11.1.2015	07.00	86	46,8	39,1
11.1.2015	08.00	252	49,3	202,4
11.1.2015	09.00	395	49,7	345,7
11.1.2015	10.00	498	52,4	445,8
11.1.2015	11.00	543	55,8	486,9
11.1.2015	12.00	519	53,6	464,9
11.1.2015	13.00	436	50,6	385,8
11.1.2015	14.00	308	47,8	260,2
11.1.2015	15.00	142	36	106,3
11.1.2015	16.00	0	0	0
11.1.2015	17.00	0	0	0
11.1.2015	18.00	0	0	0
11.1.2015	19.00	0	0	0
11.1.2015	20.00	0	0	0
11.1.2015	21.00	0	0	0
11.1.2015	22.00	0	0	0
11.1.2015	23.00	0	0	0



Ş ekil 2-16. Modelden elde edilen ışı nım değ erleri (PVSYST-11.01.2015)

N 37° 34m 48", E 36° 55m 12" koordinatları için günlük ışınım toplamının yıllık değişimi Şekil 2-17'de görülmektedir.



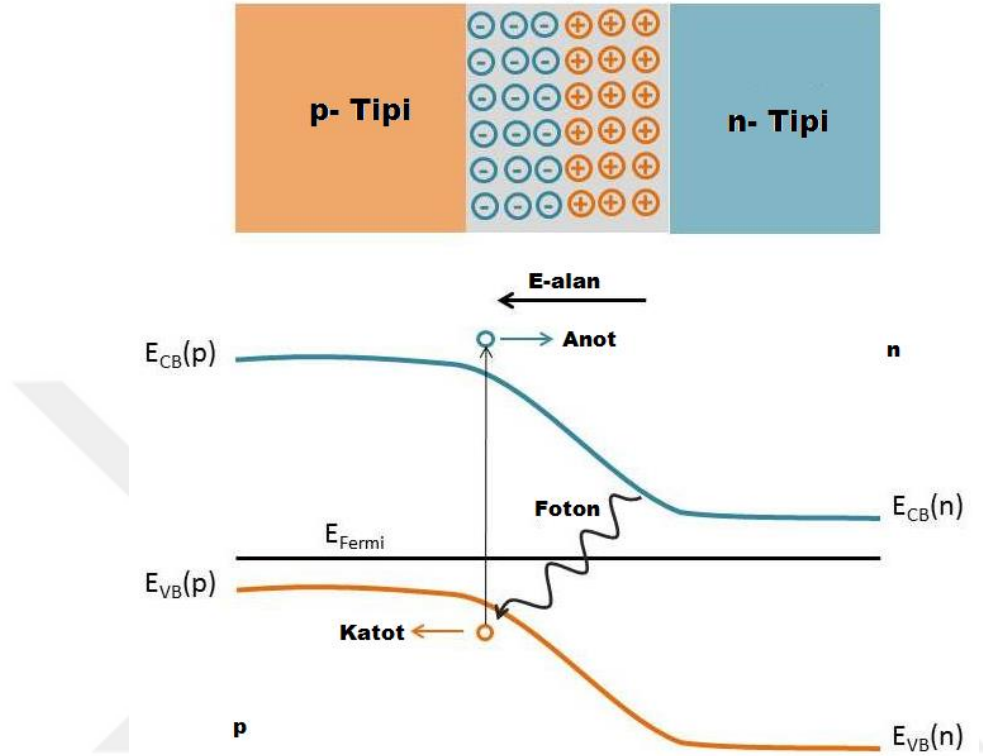
Şekil 2-17. Günlük ışınım toplamının yıllık değişimi

2.8. Güneş Pili Yapısı

Güneşten elektrik enerjisi elde edilmesinin yolu, fotovoltaik olaydan yararlanmaktır. Fotovoltaik olay, güneş ışığının elektrik enerjisine dönüşmesi şeklinde tanımlanan fiziksel bir olaydır. Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Bu prensiple çalışan güneş pili, üzerine düşen ışık miktarına bağlı olarak uçlarında gerilim üretir. Üretilen gerilim, gelen güneş ışığı miktarına bağlı olarak doğru orantılı bir değişim gösterir (Bayrak, ve diğerleri, 2012).

Güneş ışığından gelen ışık enerjisini, fotovoltaik olaydan yararlanarak direk olarak elektrik enerjisine çeviren dönüştürücülere fotovoltaik eleman adı verilir (Çolak, 2003). Fotovoltaik dönüşüm sistemi; yarıiletken malzemelerden oluşmuş hücrelerle güneş ışınımını doğrudan DC elektrik enerjisine dönüştürebilen bir teknolojidir. Fotovoltaik eleman yapısal olarak bir diyottur. Fotovoltaik eleman, fotovoltaik olay prensibine dayanarak güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirir. Fotovoltaik etki olarak tanımlanan olayda, yarı iletken maddeler söz konusudur. Yarıiletken malzemelere en iyi örneklerden biri IV. Grup elementi silisyum atomlarının oluşturduğu kristal yapıdır. Bu yapı, atomların son yörüngelerinde bulunan dört değerlik elektronun birbirleriyle yaptıkları kovalent bağlar neticesinde ortaya

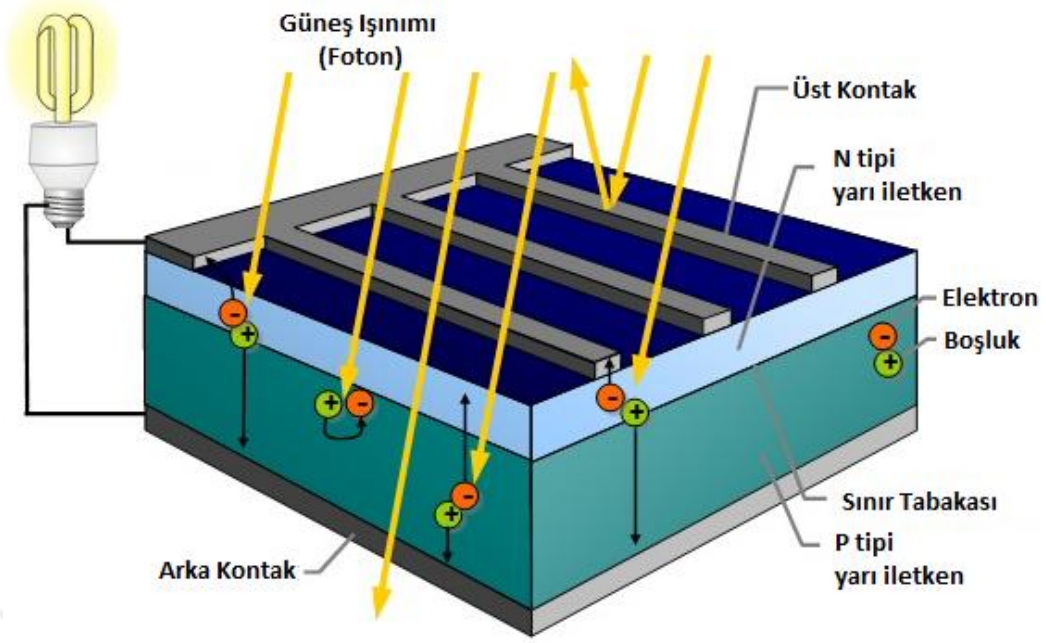
çıkır. Değerlik elektronlarının bulunduğu enerji düzeyleri değerlik bandını oluşturur ve değerlik bandının üst enerji seviyesi, E_{VB} , olarak gösterilir. Değerlik elektronlarının bulunabileceği bir üst enerji bandına iletkenlik bandı adı verilir ve iletkenlik bandının en alt enerji seviyesi, E_{CB} olarak gösterilir (Kabadayı, 2011).



Şekil 2-18. PN eklemi için fotovoltaik etki (Web17, 2015)

Tüm fotovoltaik piller benzer şekilde çalışır. Pili oluşturan n-tipi silikon ile p-tipi silikon malzeme birleştirildiğinde eklem bölgesinde elektrik alan oluşumu ortaya çıkar. Elektrik alan, diyot davranışı göstererek elektronların p-tipi silikon malzemeden n-tipi silikon malzemeye geçişine engel olurken, ters yönde geçişi engellemezler. Işık, eklem tarafından emildiğinde, emilen fotonların enerjisi, malzemedeki elektron sistemine transfer edilir ve hareketli elektronlar ve delikler oluşur. Bunlar eklem bölgesinde bir potansiyel fark meydana getirip elektrik alan altında hızlanarak dış devre boyunca akım akışı sağlarlar ve DC güç meydana getirirler (Uslu, 2012).

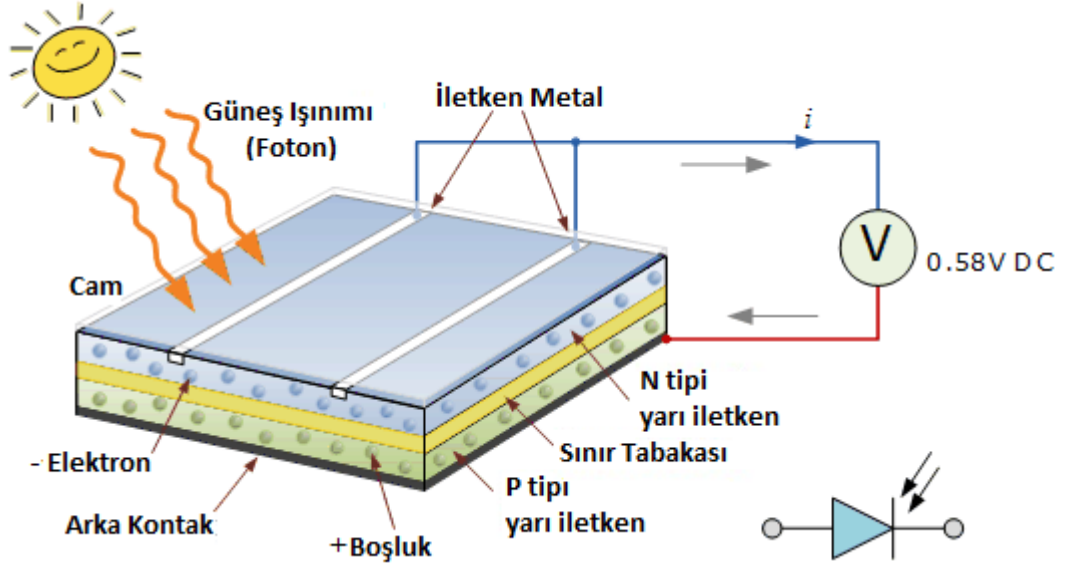
Şematik gösterimi Şekil 2-19 'de yer alan fotovoltaik dönüşüm sistemleri için fotovoltaik piller ve güneş pilleri terimleri de kullanılmaktadır. Bununla birlikte her türlü ışık altında elektrik üretebilirler. Işık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren güneş pilleri; fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar. Yarıiletken maddeden yapılmış yüzeyleri üzerine ışık düştüğü zaman, uçları arasında potansiyel farkı oluşur ve bir dış devreye bağlanırlarsa devreden akım geçer (Boz, 2011).



Şekil 2-19. Güneş pilinin yapısı (Web16, 2015)

Fotovoltaik güneş pilleri; yüzeyine düşen güneş ışığını, doğrudan elektrik enerjisine çevirebilen düzeneklerdir. Bu enerji çevriminde, herhangi hareketli parça bulunmaz. Güneş pilleri, bugün hayatın her kesiminde kullanım olanağı bulan elektronik düzeneklerin içerisinde kullanılan ve çok küçük boyutlara sahip olan yarıiletken diyotların, geniş yüzey alanlara uygulanmış şeklidir. Kullanılan malzemeler ve üretim şekilleri, diyotların çalışma ilkeleriyle temel olarak birbirlerine benzemektedir. Güneş pillerinin çalışma ilkesi, fotovoltaik dönüşüm olayına dayanır. Fotovoltaik dönüşümde güneş ışığını soğuracak malzeme, yasak enerji aralığı güneş spektrumu ile çalışabilecek yapıda ve elektrik yüklerinin bir birinden ayrılabilmesine izin verebilecek uzunlukta yasak bant genişliğine sahip bir yarıiletken olmalıdır (Oktik, 2001). Fotovoltaik olay, iki aşamada meydana gelir. Bunlar, birer taşıyıcı yük çifti olan elektron-boşluk çiftinin oluşturulması, ardından da bu yük çiftlerinin birbirinden ayrılmasıdır (Köse, 1986).

Fotovoltaik bir güneş pili yapımı; herhangi bir yarıiletkende n-tipi ve p-tipi bölgeler oluşturularak gerçekleştirilebilir. Oluşturulan bu n-tipi ve p-tipi bölgelerin geçiş bölgesindeki p-n eklemi kesiminde, bir elektrik alanı kurulur (Şekil 2-20). Yarıiletken eklem güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur. Önce eklem bölgesine ışık düşürülerek, elektron-boşluk çiftleri oluşturulur. Sonra bunlar, oluşan elektrik alan yardımıyla bir birlerinden ayrılır (Boz, 2011).

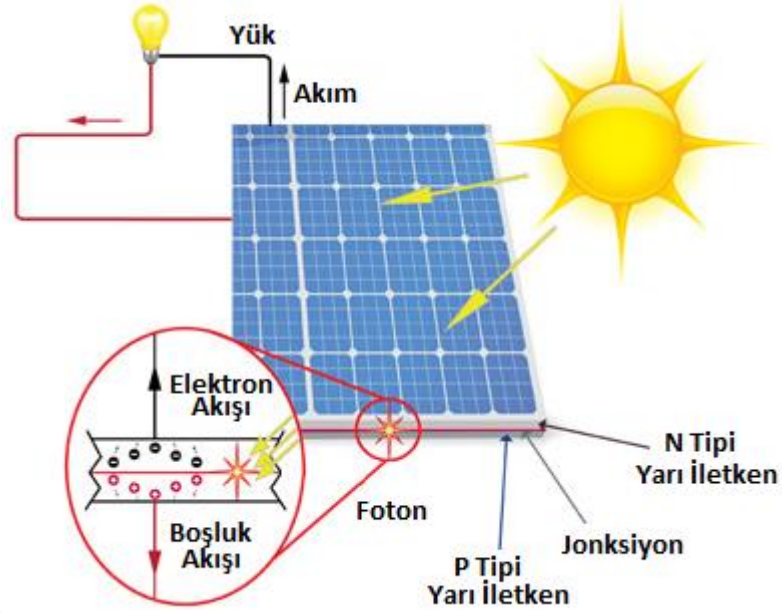


Şekil 2-20. Güneş pili (Web18, 2015)

Güneş pillerinde ışık enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü, p-n eklem bölgesindeki optik olaylar sonucu gerçekleşir. Bu olaylardan bir tanesi foto iletkenlik olayı, diğeri ise fotovoltaj olayıdır. Uygun frekanstaki ışık altında kalan bir yarıiletkenin, iletkenliğinin ve elektriksel özelliklerinin değişmesine foto iletkenlik olayı denir. P-N eklemde gözlenen optik olaylardan ikincisi fotovoltaj olayıdır. Işığın herhangi bir yarıiletkende, foton enerjisi etkisiyle elektron-boşluk çifti oluşturması olayına denir. Fotovoltaj olay sonucu oluşan akıma da fotoakım denir. Fotoakım elde edebilmek için p-n eklemının ışık alması sağlanmalıdır. P-N ekleminden uzakta meydana gelen elektron-boşluk çiftleri, tekrar birleşerek yok olurlar. Bu yüzden fotoakıma bir katkıları olmaz (Goswami, ve diğerleri, 2000).

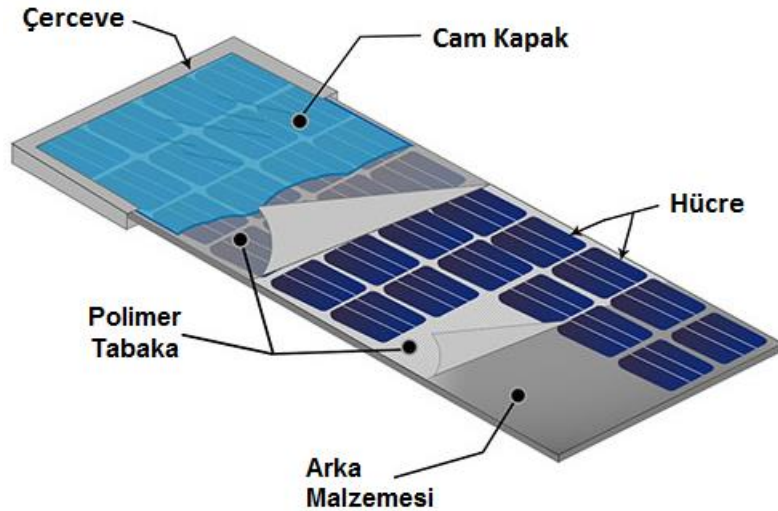
Eğer fotonun enerjisi elektronu iletkenlik bandına çıkaracak seviyede değilse bu enerji ısı enerjisine dönüşerek malzemenin sıcaklığını artırır. Eğer fotonun enerjisi elektronu iletkenlik bandına çıkartmaktan çok daha fazla ise bu fazla enerji malzemede ısı enerjisine dönüşür. Burada şu hususu özellikle belirtmek gerekir; bir foton, enerjisi ne kadar yüksek olursa olsun sadece bir elektronu serbest hale getirebilir (Messenger, ve diğerleri, 2004).

Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı bir fotovoltaj panelin yüzeyine gelen güneş ışığı enerjisi ancak belli bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Fotovoltaj malzemelerde verimin düşük olmasının en büyük sebebi budur. Fotovoltaj etkiyle oluşan elektronlardan güç olarak faydalanabilmek için oluşan serbest elektronların boşluklarla birleşmeden yönlendirilerek kanallanması gerekmektedir (İsmael, 2012).



Şekil 2-21. Fotovoltaik panelin ışığa tepkisi (Web19, 2015)

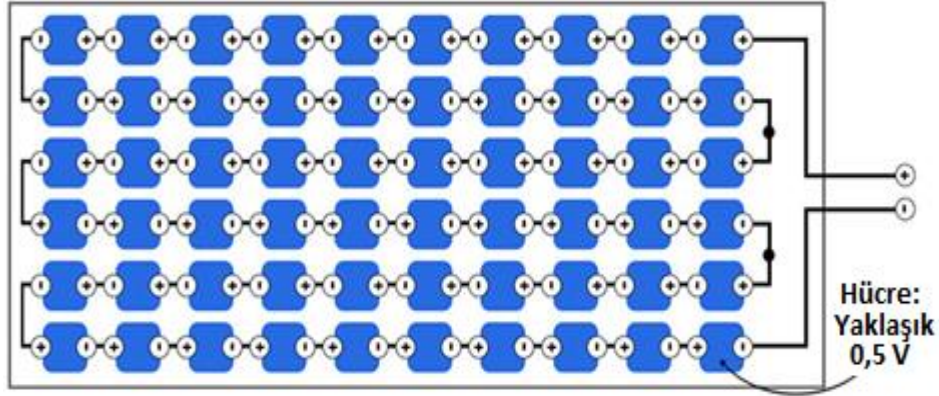
Bir fotovoltaik hücrenin verebileceği güç çok küçüktür, dolayısıyla yüksek güçler elde etmek için güneş hücrelerini belirli gruplar halinde toplamak gereklidir. Fotovoltaik hücreler bir araya gelerek modülleri oluştururlar. Modüllerin birleşiminden ise güneş panelleri ortaya çıkar. Güneş panellerinin birleşmesinden diziler oluşur. Şekil 2-22’ de fotovoltaik panelin yapısı görülmektedir.



Şekil 2-22. Fotovoltaik panelin yapısı (Web20, 2015)

Fotovoltaik güneş hücreleri yaklaşık olarak 0,5 volt gerilim ve 8 amper akım üretirler ve 4 W güce sahiptirler. Panellerde genelde 60 seri hücre bulunur. Panellerde yaklaşık 30

volt gerilim ve 8 amper akım üretirler. Şekil 2-23'de paneli oluşturan hücrelerin dizilimi görülmektedir.



Şekil 2-23. Hücrelerin dizilimi (Web20, 2015)

2.9. Güneş Piliin Eşdeğer Devresi

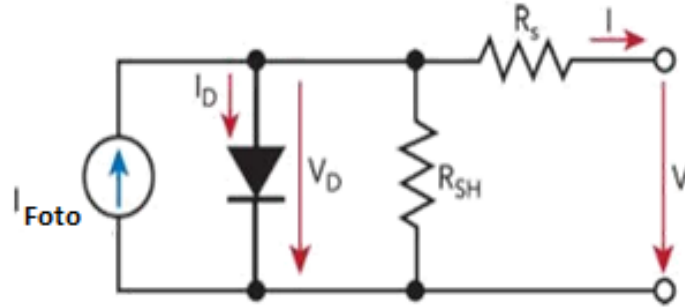
Fotovoltaik güneş pillerinin kullanımı önem kazandıkça, benzetim modelleri ile ilgili çalışmalar da hızlanarak artmaktadır. Klasik doğru akım ve alternatif akım kaynaklarından farklı karakteristiklere sahip olmaları, buldukları ortam ve çalışma koşullarından hızlı etkilenmeleri fotovoltaik güneş pillerinin simülasyon modellerinin elde edilmesini zorlaştıran başlıca nedenlerdir. Çalışma sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve güneş ışığı şiddeti karakteristiği dinamik olarak değişmektedir. Geliştirilecek model bu değişikliklere yanıt verecek dinamiğe sahip olmalıdır (Şimşek, 2010)

Güneş pili eşdeğer modelinin elde edilmesi ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların bir kısmında model için Matlab ile yazılımı kullanılmıştır (Tsai, ve diğerleri, 2008). Model çalışmalarında basit model, gelişmiş bir diyotlu model, gelişmiş iki diyotlu model ve diğer özgün modeller kullanılmaktadır (Kumari, ve diğerleri, 2011). Tek diyot modeli bir fotovoltaik güneş pili hücrelerinin benzetim kullanılan en basit modeldir (Altaş, ve diğerleri, 2007).

Güneş pilleri p-n yarı iletkenlerinin ince bir katman haline getirilerek birleştirilmesinden oluşur. Karanlıkta fotovoltaik hücre çıkış I-V karakteristiği diyot karakteristiğine çok benzer. Işığa maruz kaldığında fotonlar sayesinde elektron hareketi dolayısı ile akım sağlanır (Ünlü, ve diğerleri, 2011).

2.9.1. Güneş pilinin tek diyotlu eşdeğer devresi

Şekil 2-24'de güneş gözesinin basitleştirilmiş bir diyotlu eşdeğer devresi gösterilmiştir. Güneş gözesi, doğrultucu bir diyota paralel bağlanmış bir akım kaynağı olarak düşünülebilir.



Şekil 2-24. Fotovoltaik güneş pili tek diyotlu hücre modeli

Burada R_{SH} ve R_S güneş göze verimini etkileyen seri ve paralel direnç etkilerini göstermektedirler. Paralel direnç etkisini kristal kusurları yaratırken seri direnç etkisini yarıiletken malzemeye yapılan metal kontaklar, yarıiletken malzeme içindeki tabakaların iç dirençleri ve gözenin üst yüzeyindeki metalik parmak kontak dirençleri oluşturur. Paralel direnç etkisi gözenin açık devre gerilimini ve dolun faktörünü azaltan bir etkidir. Seri direnç etkisi gözenin kısa devre akımını ve dolun faktörünü azaltan bir etkidir (Altaş, 1998).

Devreye Kirchoff' un akımlar kanunu uygulanırsa;

$$I_{pil} = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (2.35)$$

Diyot akımı, p-n jonksiyonundan geçen toplam akım olup, matematiksel olarak fotonlar tarafından harekete geçirilen elektronlar ve boşluklar tarafından oluşturulan akımların toplamıdır. İletim bandındaki elektron durumlarının ve valans bandındaki boşluk akımlarının Boltzmann dağılımı ile net elektron akımı ve boşluk akımları; (Bayrak, ve diğerleri, 2012).

$$I_e = I_{eo} \cdot (e^{\frac{qV_D}{kbT}} - 1) \quad (2.36)$$

$$I_h = I_{ho} \cdot (e^{\frac{qV_D}{kbT}} - 1) \quad (2.37)$$

Olarak tanımlanır. Diyot akımı ise;

$$I_D = I_e + I_h = I_o \cdot (e^{\frac{qV_D}{kbT}} - 1) \quad (2.38)$$

Olur. Diyot akımı I_D , diyotun mutlak sıcaklığı, gerilim ve yük tarafından çekilen akımın bir fonksiyonu olarak değişir.

Denklem 38’de; q , elektron yükünü ($1,602 \times 10^{-19}$ C), V_D diyotun uçları arasındaki potansiyel farkını, m , idealite faktörünü, k . Boltzmann sabitini ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K) ve T , Kelvin cinsinden mutlak sıcaklığı temsil etmektedir. Şekil 2-24’ de verilen güneş pili eşdeğer devresinde, Kirchoff’un gerilimler kanunu uygulanarak, denklem 39’daki kaynak akımı ifadesi elde edilir.

$$I_D = I_0 \cdot \left(e^{\frac{qV_D}{mkT}} - 1 \right) = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv}+I.R_s)}{mkT}} - 1 \right) \quad (2.39)$$

$$I_{sh} = \frac{V_D}{R_{sh}} = \frac{(V_{pv}+I.R_s)}{R_{sh}} \quad (2.40)$$

$$I_{pil} = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad \text{Olduğundan,}$$

$$I_{pil} = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv}+I.R_s)}{mkT}} - 1 \right) - \frac{(V_{pv}+I.R_s)}{R_{sh}} \quad (2.41)$$

Olur. Denklem 42’deki eşitliğin sıcaklıkla bağıntısı;

$$I_{pil} = I_{ph} \cdot (1 + C_0(T - 300)) - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv}+I.R_s)}{mkT}} - 1 \right) - \frac{(V_{pv}+I.R_s)}{R_{sh}} \quad (2.42)$$

Olur.

Sıcaklığın etkisine bağlı olarak bir PV modülün karanlıktaki doyma akımı;

$$I_0 = I_{oref} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{cref}} \right)^3 \cdot \exp\left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k_b} \right) \left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (2.43)$$

I_{oref} = Referans akım, E_g = Diyot bant genişliği

Foton akımı;

$$I_{ph} = [I_{sc} + \alpha \cdot (T_c - 25)] \cdot \frac{G}{G_{ref}} \quad (2.44)$$

(2.43) ve (2.44)’deki denklemler (2.42)’deki denklemde yerine yazılırsa güneş gözesinin üretmiş olduğu akım elde edilir.

$$I_{pil} = [I_{sc} + \alpha \cdot (T_c - 25)] \cdot \frac{G}{G_{ref}} \cdot (1 + C_0(T - 300)) - I_{oref} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{cref}} \right)^3 \cdot \exp\left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k_b} \right) \left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv}+I.R_s)}{mkT}} - 1 \right) - \frac{(V_{pv}+I.R_s)}{R_{sh}} \quad (2.45)$$

Güneş panelleri, N_{pc} sayıda paralel kollardan oluşur. Her bir N_{pc} kol, N_{sc} sayıda güneş pili ile seri olarak birbirlerine bağlanmıştır. Birbirlerine seri bağlı güneş pillerinin toplam gerilim değeri, aynı akım değeri için her bir güneş pili gerilim değerinin birbirine eklenmesiyle bulunur. Birbirlerine paralel bağlı güneş pillerinin toplam akım değeri, aynı gerilim değerleri için üretilen akım değerlerinin toplanmasıyla bulunur. Panel akımı ve gerilimi (Villalva, ve diğerleri, 2009);

$$V_{Panel} = N_{sc} \cdot V_{pil} \quad (2.46)$$

$$I_{Panel} = N_{pc} \cdot I_{pil} \quad (2.47)$$

Olur.

Panelin çıkış gücü;

$$P_{Panel} = V_{Panel} \cdot I_{Panel} \quad (2.48)$$

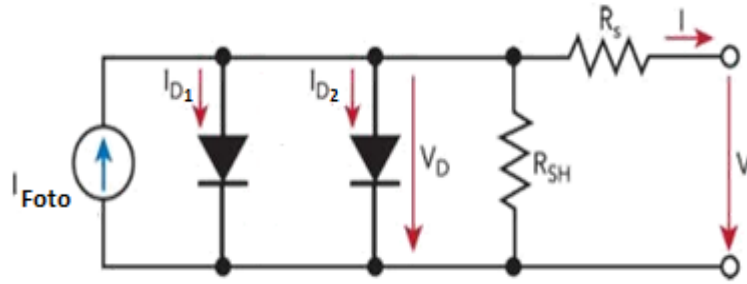
Hücrenin çıkış gücü;

$$P_{Pil} = V_{Pil} \cdot I_{Pil} \quad (2.49)$$

Olur.

2.9.2. Güneş pilinin iki diyotlu eşdeğer devresi

Şekil 2-25'de güneş gözesinin basitleştirilmiş bir diyotlu eşdeğer devresi gösterilmiştir.



Şekil 2-25. Fotovoltaik güneş pili iki diyotlu hücre modeli

Foton akımı;

$$I_{pil} = I_{ph} - I_{o1} \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I \cdot R_s)}{mkT}} - 1 \right) - I_{o2} \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I \cdot R_s)}{mkT}} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I \cdot R_s)}{R_{sh}} \quad (2.50)$$

$$I_{o1} = I_{o1ref} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{cref}} \right)^3 \cdot \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k_b} \right) \left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (2.51)$$

$$I_{o2} = I_{o2ref} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{cref}} \right)^3 \cdot \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k_b} \right) \left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (2.52)$$

$$I_{pil} = I_{ph} \cdot (1 + C_0(T - 300)) - I_{o1} \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I.R_s)}{mkT}} - 1 \right) - I_{o2} \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I.R_s)}{mkT}} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I.R_s)}{R_{sh}} \quad (2.53)$$

(2.51) ve (2.52)'deki denklemler (2.53)'deki denklemde yerine yazılırsa iki diyotlu model için güneş gözesinin üretmiş olduğu akım elde edilir.

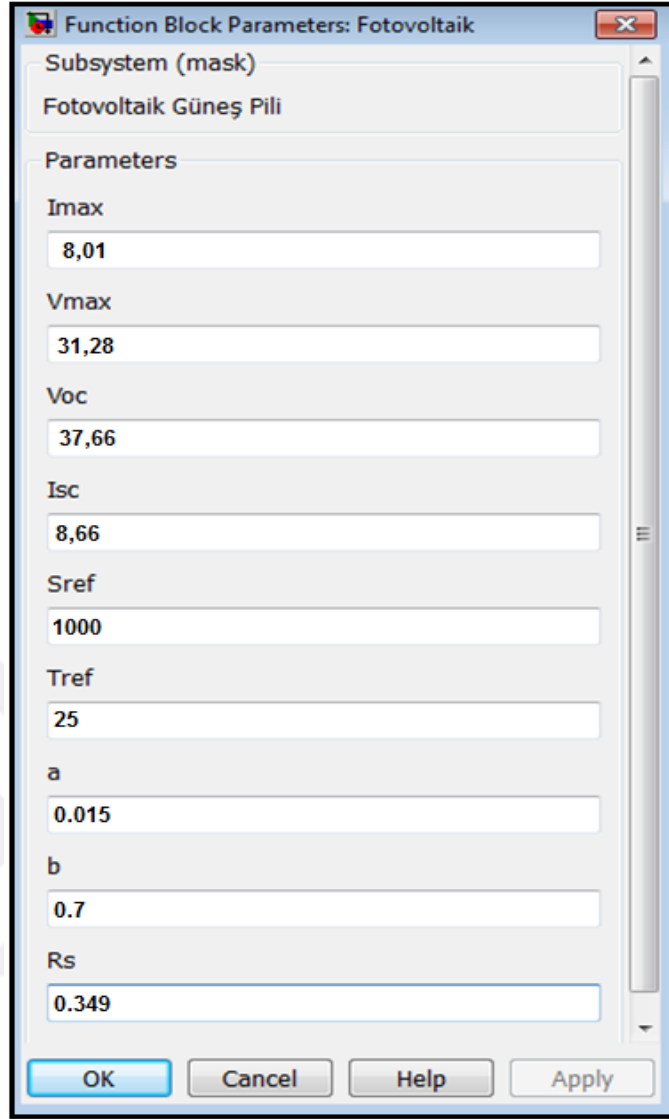
$$I_{pil} = I_{ph} \cdot (1 + C_0(T - 300)) - \left\{ I_{o1ref} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{cref}} \right)^3 \cdot \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k_b} \right) \left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \right\} \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I.R_s)}{mkT}} - 1 \right) - \left\{ I_{o2ref} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{cref}} \right)^3 \cdot \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k_b} \right) \left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \right\} \cdot \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I.R_s)}{mkT}} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I.R_s)}{R_{sh}} \quad (2.54)$$

2.10. Fotovoltaik Panelin Modellenmesi

Tablo 2-8'de Modellenen fotovoltaik güneş panelinin parametreleri görülmektedir. Matlab Simulink ile yapılan modellemede oluşturulan parametreler Şekil 2-26'da görülmektedir.

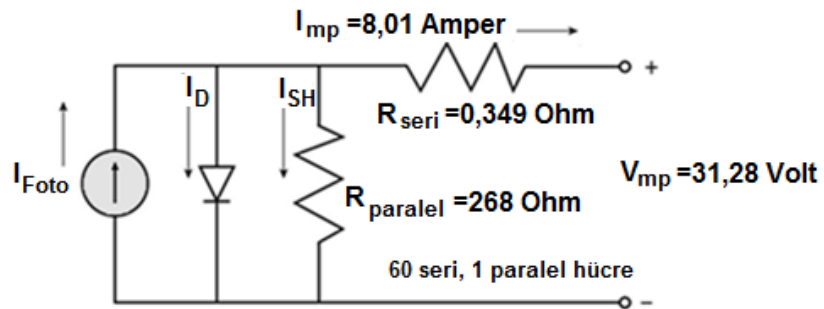
Tablo 2-8. Modellenen panelin parametreleri

Marka	SolarTürk
Model	STR P 250
Hücre Tipi	Polikristal
Nominal Güç (Pmax)	250 W
Nominal Güç Voltajı (Vmp)	31,28 V
Nominal Güç Akımı (Imp)	8,01 A
Açık Devre Voltajı (Voc)	37,66 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	8,66 A
Boy	1650 mm
En	1001 mm
Ağırlık	19 kg

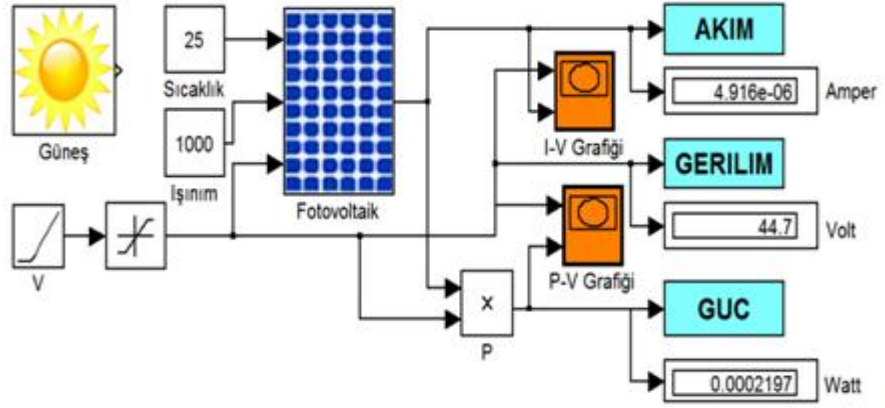


Şekil 2-26. Matlab modelin parametreleri

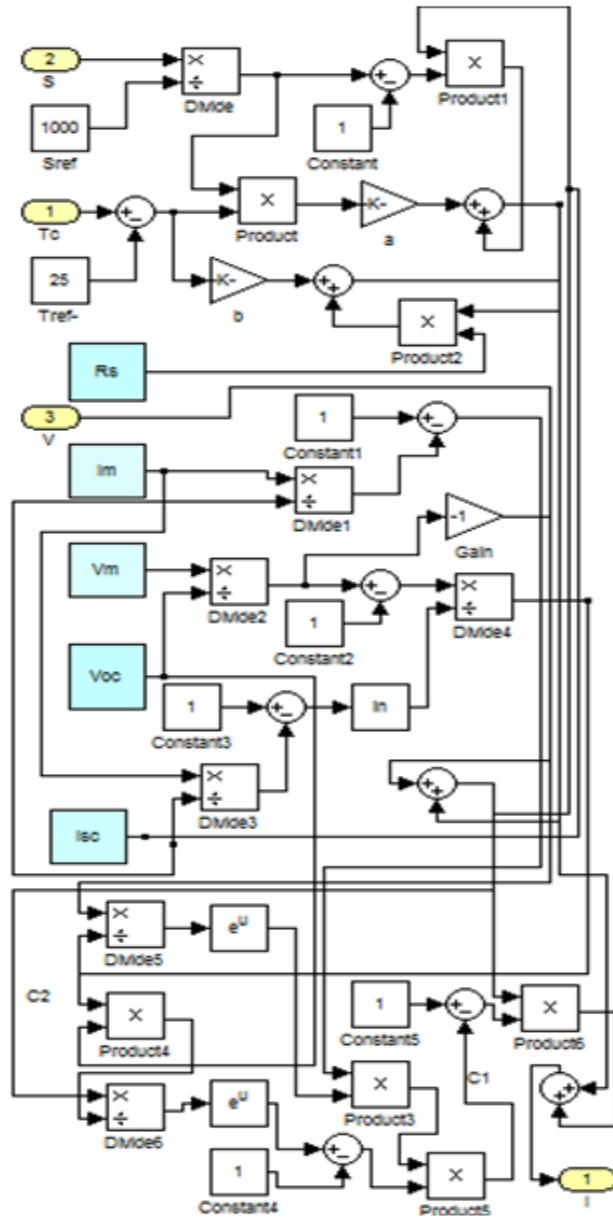
Panel PVSYST ile modellenmiş ve eşdeğer devre değerleri tespit edilmiştir. Modellenen panel için tek diyotlu eşdeğer devre Şekil 2-27’de görülmektedir. Matlab simulink ile model Şekil 2-28’de ve PV panel bloğunun Matlab ile oluşturulması Şekil 2-29’de görülmektedir.



Şekil 2-27. Modellenen panel için tek diyotlu eşdeğer devre



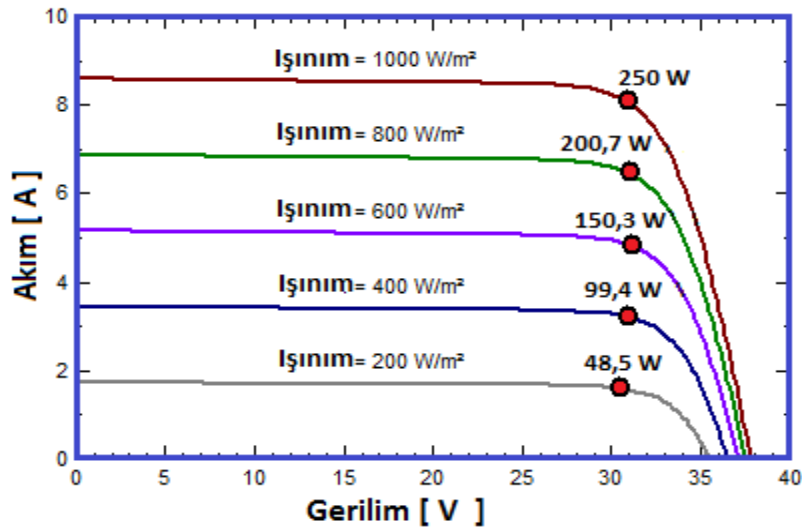
Şekil 2-28. Matlab simulink ile modelleme



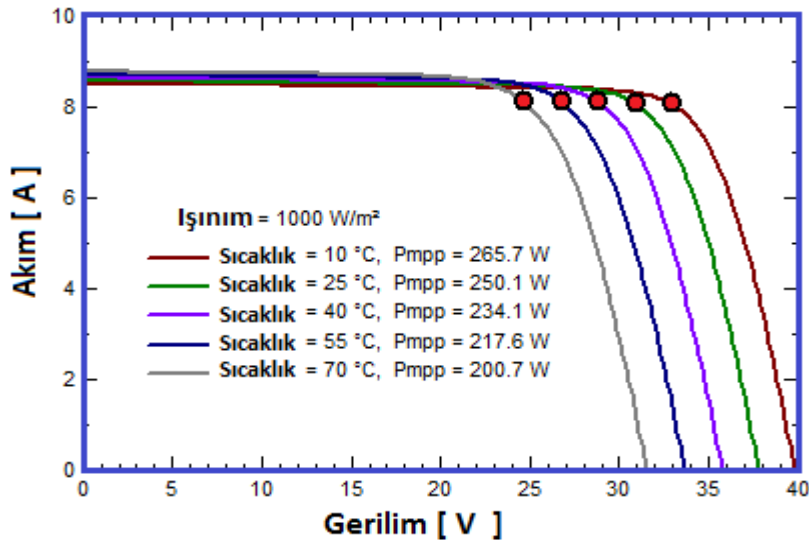
Şekil 2-29.PV Panel bloğunun matlab ile oluşturulması

2.11. Fotovoltaik Panelin Karakteristikleri

Fotovoltaik panelin karakteristikleri model yardımıyla elde dlebilir. Panellerin ideal çalışma ortamı; 25°C sıcaklık ve 1000 W/m² ışınım içindir. Işınım ve sıcaklığın değişimi panelin performansını etkilemektedir. Sıcaklığın artması ve ışınımın azalması performansı olumsuz etkiler. Modellenen panel için elde edilen akım-gerilim karakteristiğinin ışınım ile değişimi Şekil 2-30'de görülmektedir. Panel 1000 W/m² için 250 W, 800 W/m² için 200,7 W, 600 W/m² için 150,3 W, 400 W/m² için 99,4 W, 200 W/m² için 48,5 W güç üretmektedir. Şekil 2-31'de akım-gerilim karakteristiğinin sıcaklık ile değişimi görülmektedir. Panel 10°C için 265,7 W, 25°C için 250,1 W, 40°C için 234,1 W, 55°C için 217,6 W, 70°C için 200,7 W güç üretmektedir.



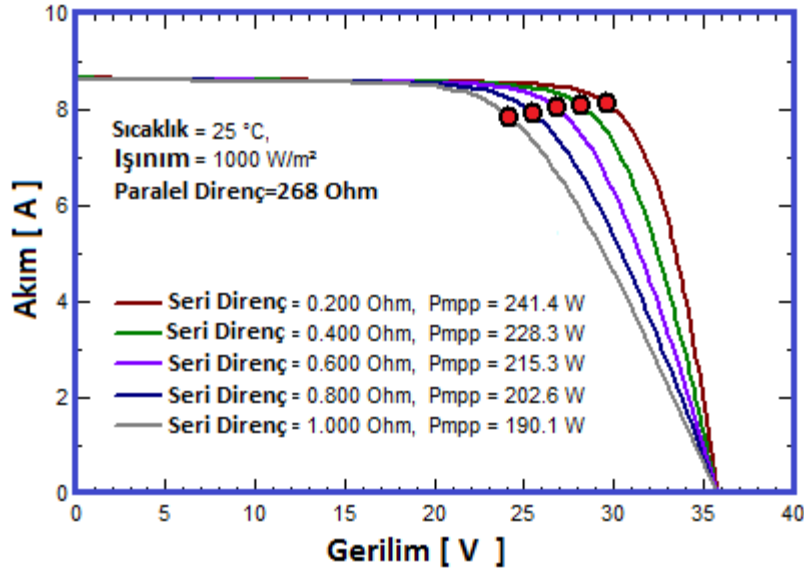
Şekil 2-30. Akım –Gerilim karakteristiğinin ışınım ile değişimi



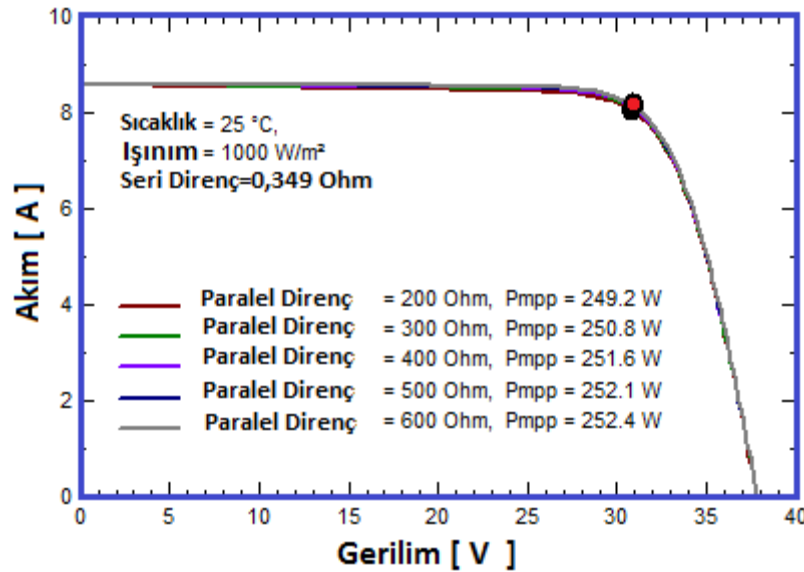
Şekil 2-31. Akım –Gerilim karakteristiğinin sıcaklık ile değişimi

Şekil 2-32’de akım-gerilim karakteristiğinin seri direnç ile değişimi görülmektedir. Sabit 25°C sıcaklık, 1000 W/m² ışınım ve 268 Ω paralel direnç değeri için seri direncin değişiminin etkisi incelenmiştir.

Şekil 2-33’de akım-gerilim karakteristiğinin paralel direnç ile değişimi görülmektedir. Sabit 25°C sıcaklık, 1000 W/m² ışınım ve 0,349 Ω seri direnç değeri için paralel direncin değişiminin etkisi incelenmiştir.



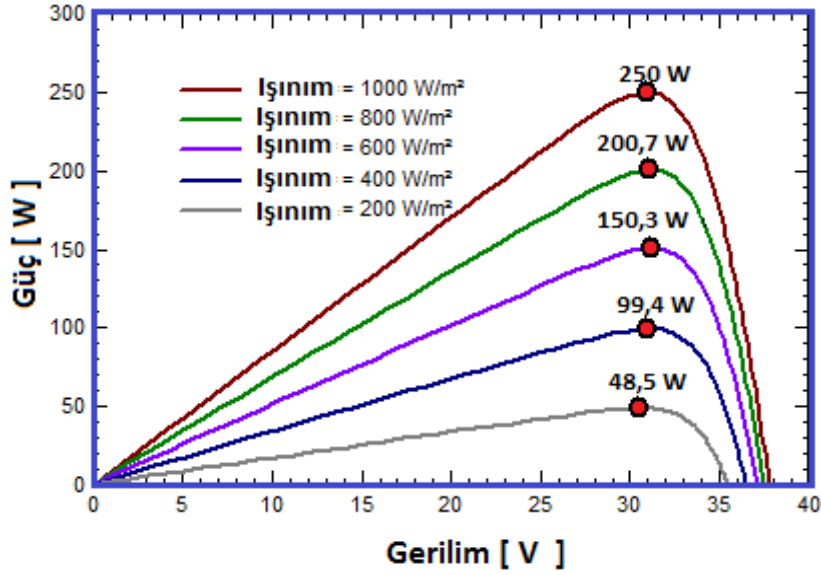
Şekil 2-32. Akım –Gerilim karakteristiğinin seri direnç ile değişimi



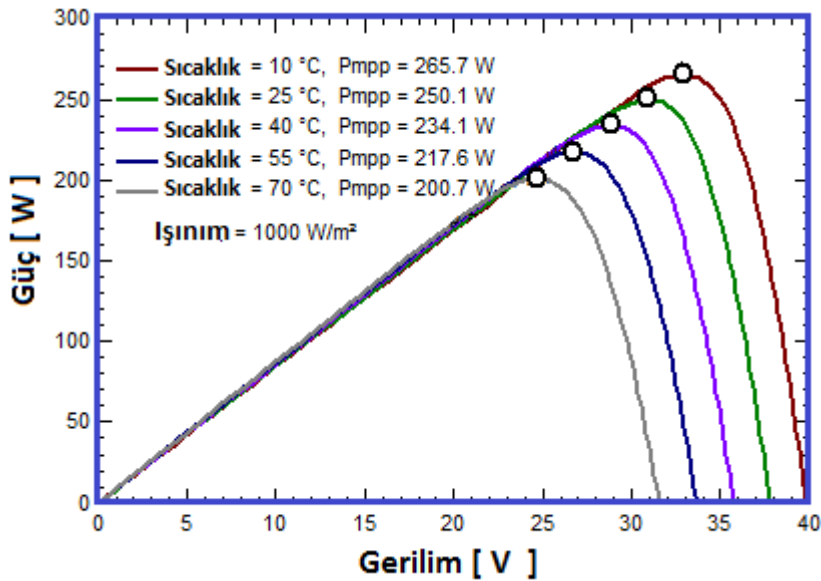
Şekil 2-33. Akım –Gerilim karakteristiğinin paralel direnç ile değişimi

Şekil 2-34’de güç-gerilim karakteristiğinin ışınım ile değişimi görülmektedir. Sabit 25°C sıcaklıkta 1000 W/m², 800 W/m², 600 W/m², 400 W/m² ve 200 W/m² ışınım değerleri için güç-gerilim karakteristiği incelenmiştir.

Şekil 2-35’de güç-gerilim karakteristiğinin sıcaklık ile değişimi görülmektedir. Panel 10°C için 265,7 W, 25°C için 250,1 W, 40°C için 234,1 W, 55°C için 217,6 W, 70°C için 200,7 W güç üretmektedir. Sıcaklık güç üretimine olumsuz etki yapmaktadır.



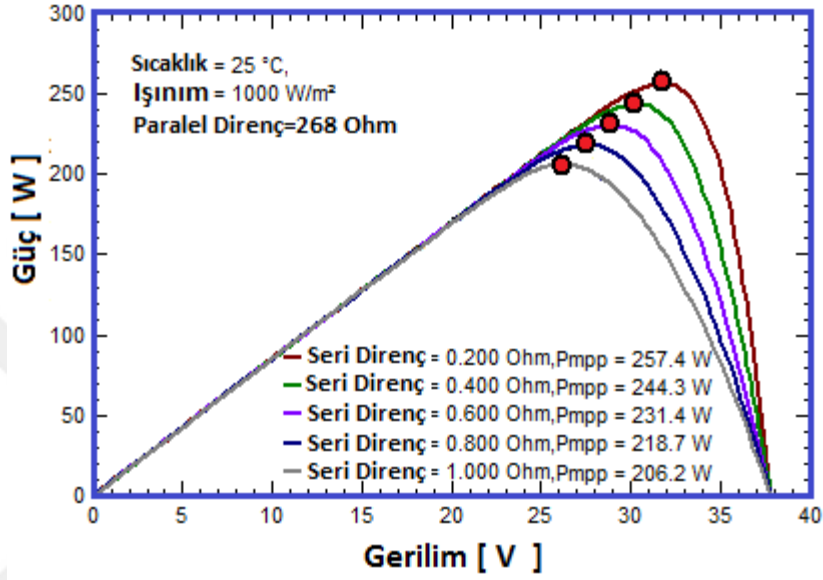
Şekil 2-34. Güç-Gerilim karakteristiğinin ışınım ile değişimi



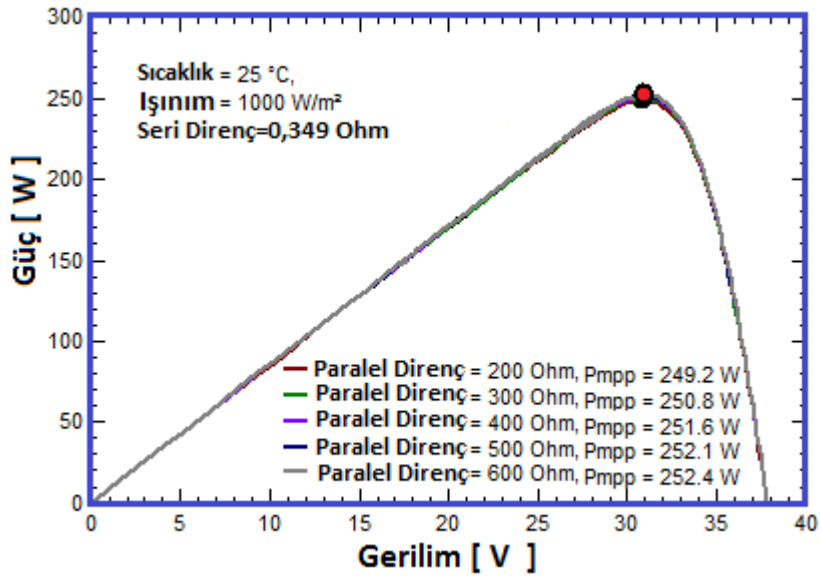
Şekil 2-35. Güç –Gerilim karakteristiğinin sıcaklık ile değişimi

Şekil 2-36 Şekil 2-32’de güç-gerilim karakteristiğinin seri direnç ile değişimi görülmektedir. Sabit 25°C sıcaklık, 1000 W/m² ışınım ve 268 Ω paralel direnç değeri için seri direncin değişiminin etkisi incelenmiştir.

Şekil 2-37’de güç-gerilim karakteristiğinin paralel direnç ile değişimi görülmektedir. Sabit 25°C sıcaklık, 1000 W/m² ışınım ve 0,349 Ω seri direnç değeri için paralel direncin değişiminin etkisi incelenmiştir.



Şekil 2-36. Güç –Gerilim karakteristiğinin seri direnç ile değişimi



Şekil 2-37. Güç –Gerilim karakteristiğinin paralel direnç ile değişimi

2.11. Fotovoltaik Hücre Tipleri

2.11.1. Fotovoltaik hücrelerinin yapımında kullanılan malzemeler

Fotovoltaik hücrelerde kullanılan bu malzemeler güneş ışığının soğurulma verimi, enerji dönüşüm verimi, üretim tarzı ve maliyet açısından çeşitlilikler göstermektedir. Günümüzde fotovoltaik pillerin yapısında en çok kullanılan malzeme silisyumdur. Silisyumun kullanıldığı hücre yapıları tek kristalli, çok kristalli ve amorf silisyum güneş pilleridir. Bunun yanında dünyadaki güneş pili üretiminin % 85'ini kristalli üniteler oluşturmaktadır. Fotovoltaik hücreler pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır (Web21, 2015):

Kristal Silisyum: Önce büyütülüp daha sonra 150-200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen Tek kristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen Çok kristal Silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de %2-5 kadar düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır.

Galyum Arsenit (GaAs): Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcılı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlili GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde kullanılmaktadır.

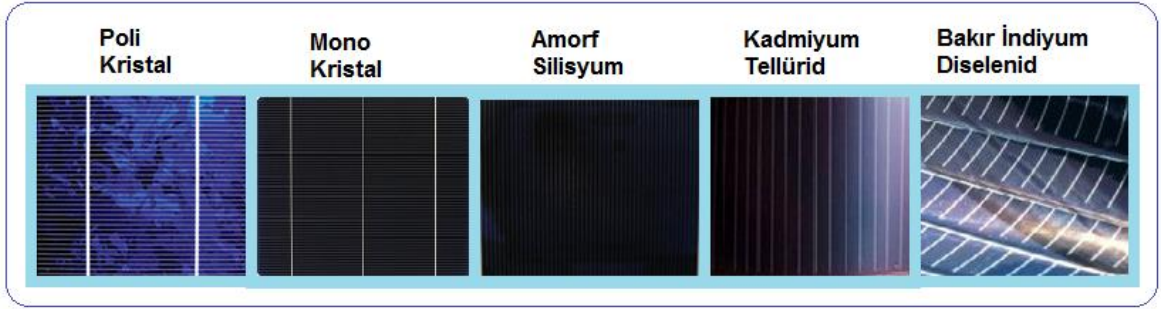
Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum direkt güneş ışınımı az olan bölgelerde de santral uygulamalarında kullanılmaktadır. Amorf silisyumun bir başka önemli uygulama sahası ise binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler, bina dış koruyucusu ve enerji üretici uygulamalarıdır.

Kadmiyum Tellürid (CdTe): Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş hücre maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂): Bu çok kristal hücre laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

Optik Yoğunlaştırıcılı Hücreler: Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %20'nin, hücre verimi ise %30'un üzerine

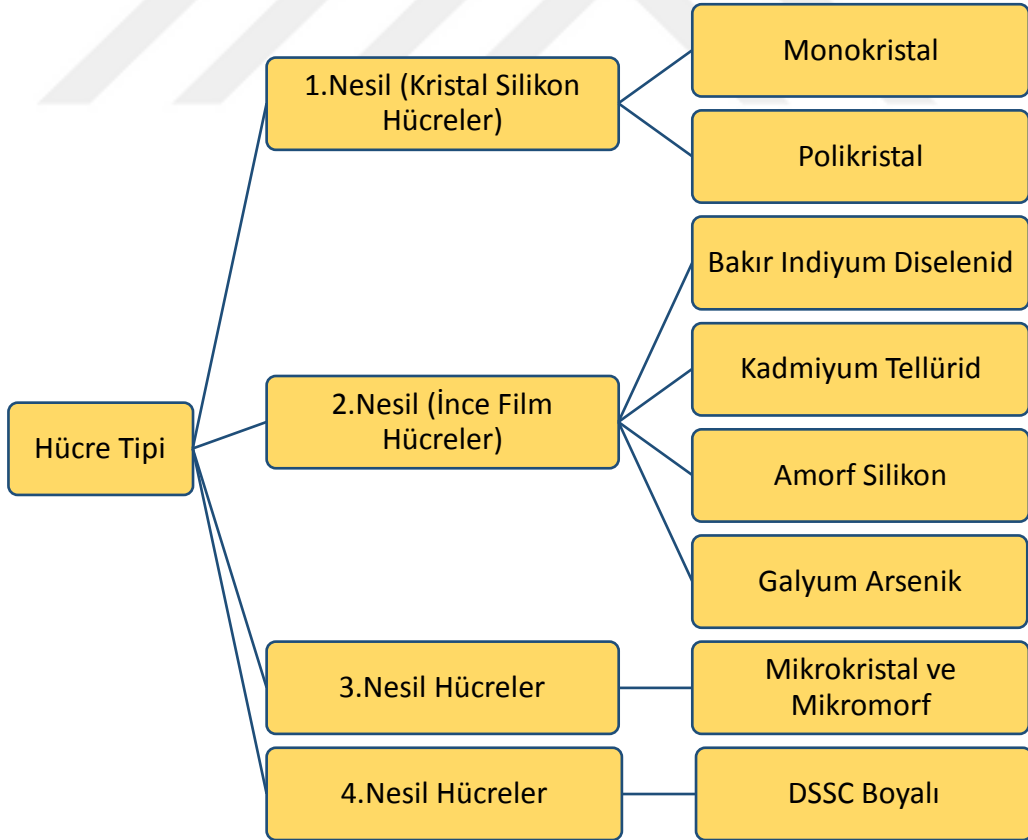
çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden veya camdan yapılmaktadır.



Şekil 2-38. Malzemelerine göre fotovoltaik hücreler

2.11.2. Güneş pillerinin tarihsel gelişim sırasına göre sınıflandırılması

Şekil 2-39'de güneş pillerinin tarihsel gelişim sırasına göre sınıflandırılması görülmektedir. Fotovoltaik güneş pilleri her geçen gün gelişmekte olup, verimlerinin artırılmasına ve maliyetinin azaltılmasına çalışılmaktadır (Girgin, 2011).



Şekil 2-39. Güneş pillerinin tarihsel gelişim sırasına göre sınıflandırılması

2.11.2.1. I. Nesil güneş pilleri

İlk üretilen fotovoltaik piller bu sınıfa girerler. Verimleri % 20'nin altında olmasında rağmen üretim kolaylıkları ve ucuzluğu sebebiyle piyasanın % 86' sına sahiptir. Düşük verimli olması sebebiyle güneş kolektörlerinin oldukça geniş yüzeyli olması gereklidir (Boz, 2011). Tek (mono) kristalli veya çok kristalli (polikristal) olarak aynı cins yarı iletken malzeme kullanılarak üretilirler. Polikristalleri elde etmek ise zor ve pahalıya mal olmaktadır. Polikristalden yapılan güneş pilleri, monokristalden yapılanlara göre sıcaklığa karşı daha dayanıklı ve daha uzun ömürlüdürler.

2.11.2.2. II. Nesil güneş pilleri

İnce film teknolojisinin kullanılması ile üretim maliyetleri düşürülmeye başlanmıştır. Ucuza mal olmasına rağmen henüz verimleri yeryüzünde % 10 civarında olduğu için yaygınlaşmasının önünde engeller bulunmakta. Ancak çalışmalar sonucu verim arttırılmaya çalışılmaktadır. Bu piller Amorf Silisyum, Kadmiyum Tellür, Bakır İndiyum Selenoid, Galyum Arsenik olarak sayılabilir.

2.11.2.3. III. Nesil güneş pilleri

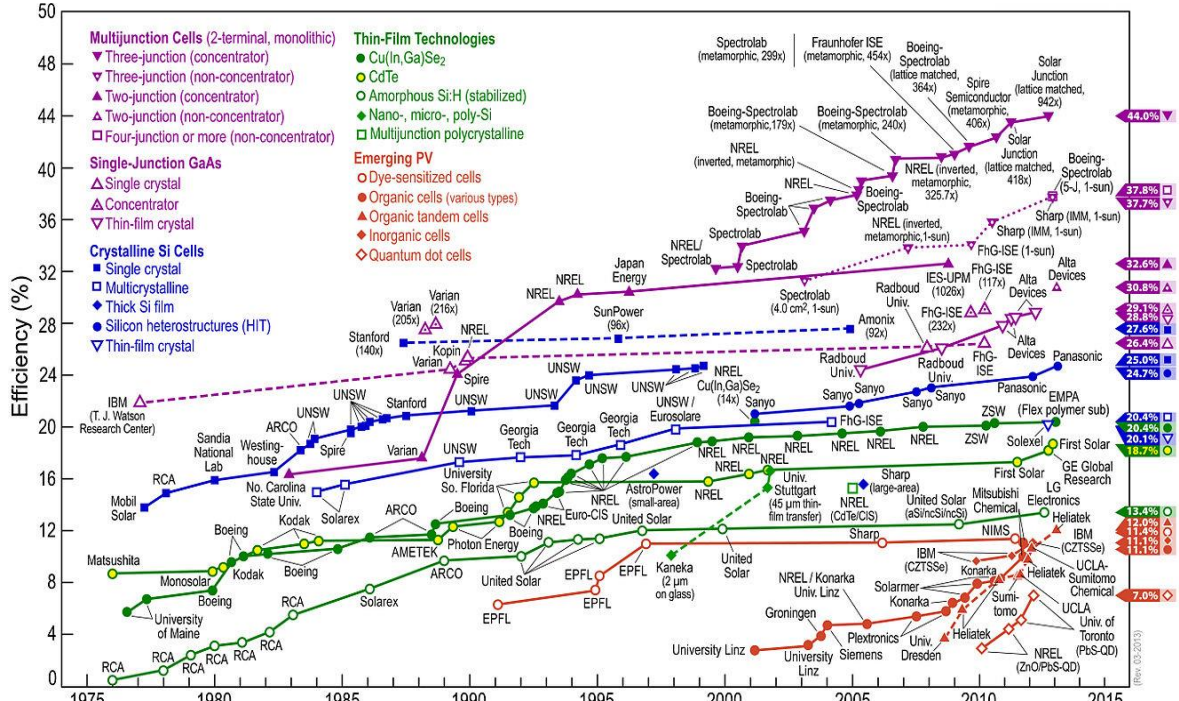
Yarıiletkenlerin uygun şekilde üst üste eklendiğinde verimin arttırılabildiği belirlendiğinden beri bu konu üzerine çalışmalar hızlandırılmıştır. Nano teknolojideki gelişime bağlı olarak mikro kristal yapıları yarıiletken üretimi ile de verim arttırma çalışmaları yapılırken, maliyet de düşürülmeye çalışılmaktadır.

2.11.2.3. IV. Nesil güneş pilleri

Bu piller gelecekte üretilmesi ve kullanılması düşünülen ancak henüz sadece tasarım aşamasında olan pillerdir. Özellikle bitkilerin yaptığı fotosentezi elektrik enerjisine çevirmekte kullanmak isteyen bilim adamları, bitkileri de doğal güneş pilleri olarak kullanmak istemektedirler.

2.11.3. Güneş pilleri ve verim artışları

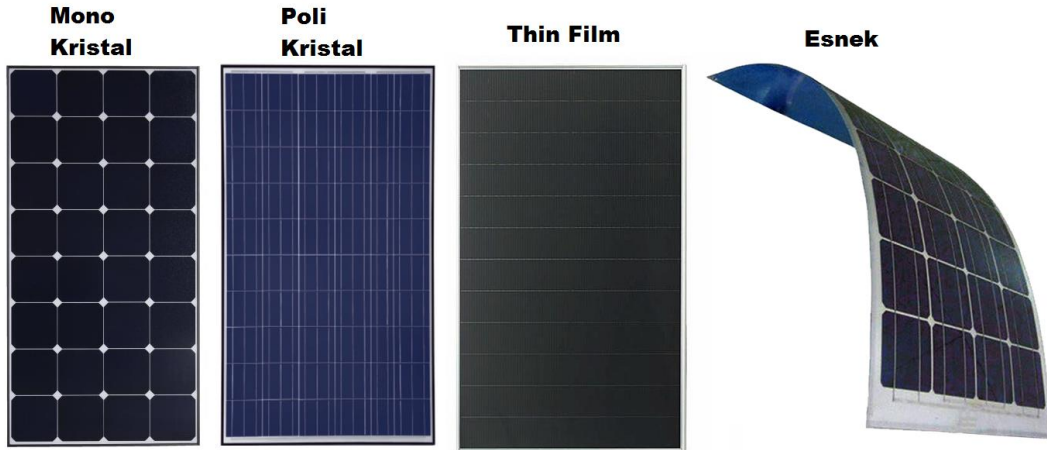
2015 yılı itibari ile üçlü jonksiyonlu fotovoltaik hücrelerde %44, monokristal hücrelerde %25, polikristal hücrelerde %21 ve thin film hücrelerde %20 verim elde edilmiştir. Şekil 2-40'da güneş pilleri ve verim artışları görülmektedir.



Şekil 2-40. Güneş pilleri ve verim artışları (Web22, 2015)

2.11.4. Fotovoltaik güneş panelleri çeşitleri

Fotovoltaik hücrelerin birçok çeşidi olmasına rağmen piyasada monokristal, polikristal, thin film ve esnek tip paneller bulunmaktadır (Gültuna, 2015).



Şekil 2-41. Fotovoltaik güneş panelleri çeşitleri

Monokristal: Kalite ve verimlilik açısından mono kristalin güneş pilleri yüksek verimli mono kristalin hücrelerden oluşmuşlardır. Bu Paneller aynı gücü üreten Polikristal Panellere göre %1-2 daha küçük alana sahiptir. Buna karşın üretiminde kullanılan teknoloji sebebiyle üretim süreci uzun sürmektedir. Yine de Mono kristalin güneş pilleri uzun vadeli yatırım için en iyi seçenektir. Güneş pilinin mono kristalin olması demek tüm hücrenin

sadece kristalinden oluşması ve materyalin atomal yapısının homojen olması demektir. Doğada bulunan tüm kristalin bileşimler aslında polikristaldir, sadece elmas neredeyse mükemmel mono kristalin özelliğe sahiptir (Gürel, 2015).

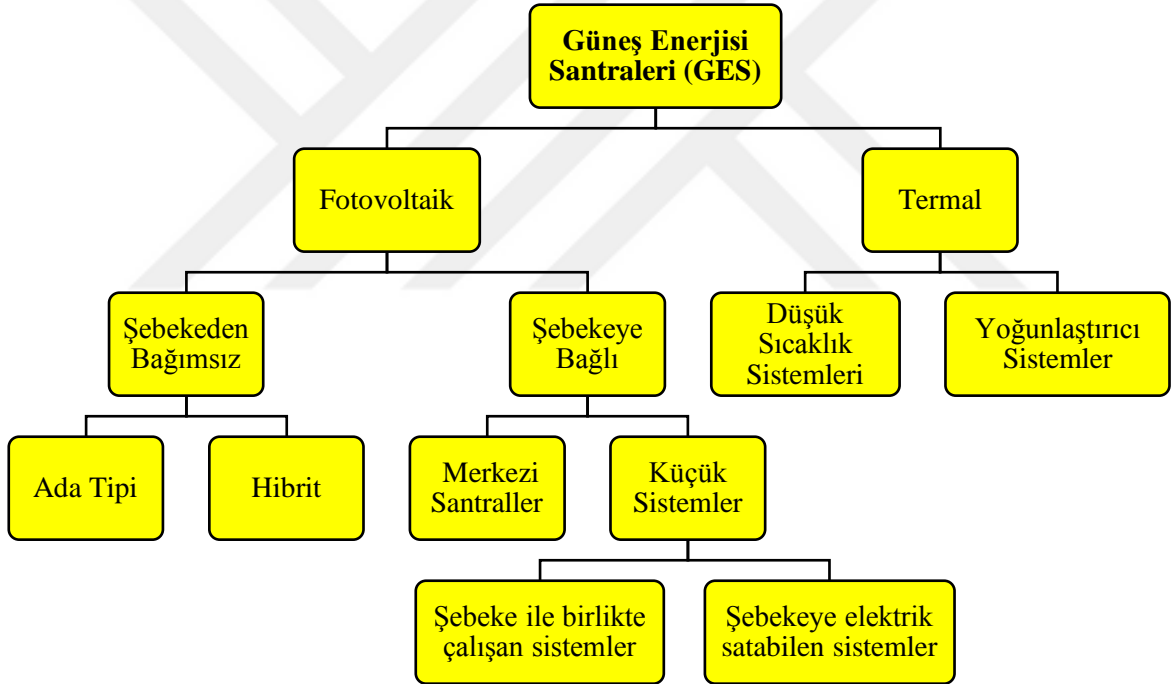
Polikristal: Kalite ve verimlilik açısından polikristal güneş pilleri mono kristalin olanlardan biraz daha düşük verimli hücreler ile üretilmiştir. Ancak buna rağmen kullanım alanı daha yaygındır. Bunun en büyük nedeni ise daha kolay ulaşılabilir ve buna bağlı olarak daha uygun fiyatla bulunabilmesidir. Bu nedenle verimlilik/maliyet oranını hayli yüksektir. Polikristal demek materyalin mono kristaline göre tek kristalinden oluşmaması, yani materyalin tam olarak homojen olmaması demektir.

İnce film (Thin Film): Işık yutma oranı yüksek olan bu hücreler, düşük verimlilikleri nedeni ile pazar payının küçük bir bölümünü oluştururlar. İnce film fotovoltaik malzeme genellikle çok kristalli malzemelerdir. Başka bir deyişle ince film yarı-iletken malzeme, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden milyonda birine değin değişen damarlardan oluşmaktadır. Bu panellerin verimlilik oranları %7-14 arasında değişmektedir.

Esnek Panel: Geleneksel güneş panellerine alternatif olarak, özellikle çatı uygulamaları için geliştirilmiş bir teknolojidir. PV konstrüksiyonlarının çatıya entegresinin zor olduğu uygulamalarda çatı izolasyonuna zarar vermeden monte edilebilir. Birçok uygulamada enerji üretiminin yanında çatı membranı olarak da kullanılabilir. Kristal ve ince film hücrelerden oluşan güneş paneli çeşitleri mevcuttur. İnce film hücrelerden oluşan panellerin en önemli özelliği esnek olması ve serme tipte uygulanabilmesidir. Herhangi bir konstrüksiyon ihtiyacı yoktur. Ayrıca kristal yapılu güneş panellerine göre ağırlık dağılımında avantaj sağlar. Cam içermediği için kırılma tehlikesi yoktur.

3. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ (GES)

Güneş enerjisi santralleri, güneş ışığından gelen enerji parçacıklarını elektrik enerjisine çeviren santrallerdir. Güneş Enerji Santralleri temelde iki farklı yapı ile çalışır. Bunlar fotovoltaik sistem ve termal sistemdir. Fotovoltaik sistemde, güneşten gelen radyasyon, paneller vasıtası ile enerjiye çevrilmekte, elde edilen enerji inverter cihazı ile kullanıma uygun hale getirilerek kullanılmaktadır. Termal sistemlerde özel aynalar vasıtası ile güneş ışınları belli bir noktaya iletilmekte, bu noktada bulunan yağ, su vb. sıvı ısıtılmakta, ısıtılan bu sıvı ile termik sistemlerde olduğu gibi buhar basıncı vasıtası ile mekanik enerji kinetik enerjiye çevrilmektedir. Çok yaygın olmasa da bu iki sistem haricinde değişik yöntemlerle de güneş enerjisi elektrik enerjisine çevrilebilmektedir (Web23, 2015). Şekil 3-1’de güneş enerjisi santral çeşitleri görülmektedir.



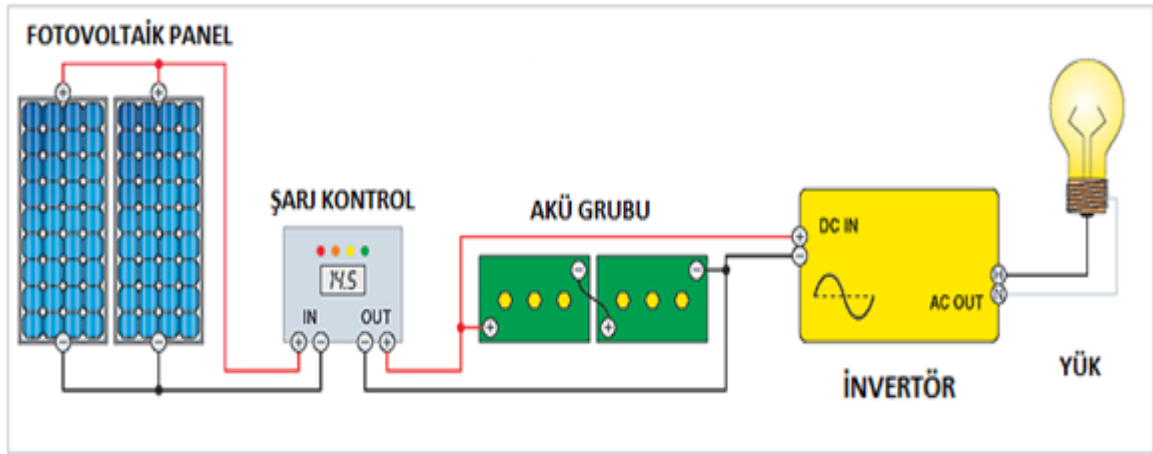
Şekil 3-1. Güneş enerjisi santral çeşitleri

3.1. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri

3.1.1. Şebekeden bağımsız sistemler (Off Grid)

Şebeke elektriğinin olmadığı noktalarda elektrik enerjisi sağlamak amacı ile kurulan sistemlerdir. Sistem tasarlanırken öncelikli olarak ihtiyaç duyulan enerji miktarı belirlenir. Yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu

zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere, genellikle sistemde akü bulunur (Web24, 2015). Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek, bunu akümülatörde depolar. Yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Bir fotovoltaiik sistemdeki akülerin, güneş pili modülleri tarafından aşırı şarj olmasından ya da yük tarafından aşırı deşarj olmasından zarar görmesini engellemek için bir denetim birimi gereklidir. Bu denetim birimine şarj kontrolörü de denir. Şarj kontrolörü, fotovoltaiik modüllerden aküye ve yüke akan akımı düzenler. Kontrolör, aküyü aşırı şarj etmeden sürekli tam şarj durumunda tutar. Yük çekmeye başladığı zaman; kontrolör şarjın modüllerden aküye, yüke veya her ikisine birden akışına izin verir. Aküler tamamen şarj olduğunda, modülden geçen şarj akışını durdurur (İsmael, 2012). Şekil 3-2’de şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistemin şeması görülmektedir (Koryürek, 2008).

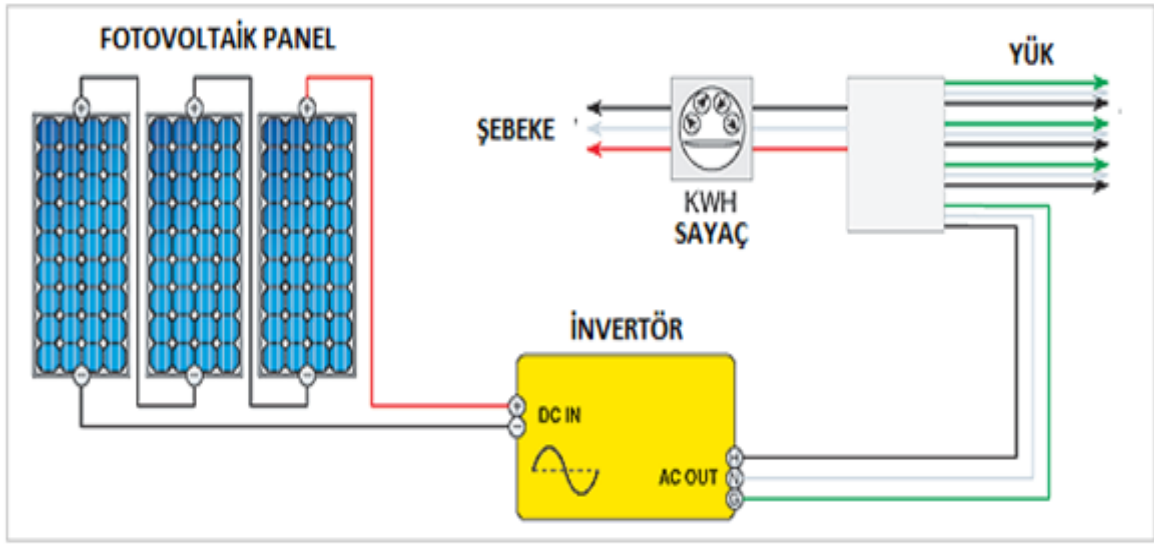


Şekil 3-2.Şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistem (Web25, 2015)

3.1.2. Şebekeye bağlı sistemler (On Grid)

Bu sistemler “grid-connected” olarak da adlandırılmaktadır. Şebekeye bağlı sistemlerde elektrik şebekesi sonsuz bir batarya düzeneği olarak değerlendirildiğinden bu sistemlerde ayrıca bir batarya düzeneği kurulmasına gerek yoktur. Bu tip sistemler üretilen elektrik miktarına göre çeşitlilik gösterir. Bazıları MW mertebesinde elektrik üretirken, bazıları da daha küçük çapta enerji ihtiyaçları için tasarlanmıştır. Binaların çatı veya cephe kaplamalarında kullanılan PV sistemleri bunun yanında şebekeye de bağlıysa bu tip sistemlere örnek teşkil eder. Şebekeye bağlı bir sistemde enerjinin depolanması önemli değildir. Enerji açığının oluştuğu zamanlarda (kapalı havalarda, gece, kış mevsimi gibi) sistem ihtiyacı olan enerjiyi şebeke elektriğinden çekecektir. Güneş ışığının yeterli olduğu zamanlarda ise gerekli enerji PV sisteminden sağlanacak hatta enerji fazlası oluşması

durumunda da üretilen elektriğin bir kısmı şebekeye verilebilecektir. Geçmiş yıllarda şebekeye bağlı sistemlerin kurulu gücü şebekeden bağımsız sistemlere oranla daha azken 1990'ların sonlarından itibaren bu oran yavaş yavaş eşitlenmeye başlamış son yıllarda elektrik üretim santrali olarak PV sistemlerinin kullanılmasıyla şebekeye bağlı sistemler, bağımsız sistemlerin önüne geçmiştir. Şekil 3-3'de Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin şeması görülmektedir. Bu sistemin en önemli avantajı, üretilen enerjinin depolanma ihtiyacının olmamasıdır. Bu sayede, akü ve şarj kontrol cihazı masrafları ortadan kalkmaktadır (Mastar, 2011).

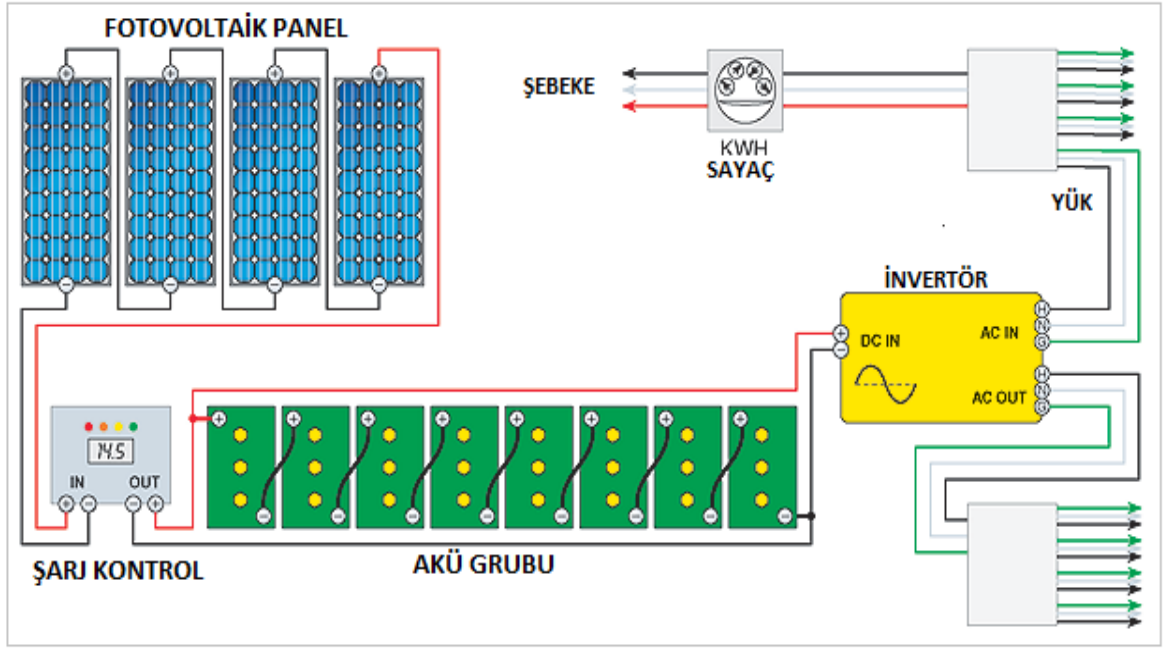


Şekil 3-3. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler (Web25, 2015)

3.1.3. Hibrid sistemler

Bu sistemler isminden de anlaşıldığı gibi iki sistemin birlikte kullanımıyla oluşturulmuş sistemlerdir. Bu sistemlerden biri fotovoltaik sistem olurken diğeri diesel jeneratör veya rüzgâr enerjisi gibi farklı elektrik üretim sistemlerinden biri olabilir. Hibrid sistemlerin ortaya çıkmasının en büyük nedeni güneş ısınımı miktarının yıl içinde değişiklik göstermesidir. Kabaca bir örnek verecek olursak; PV sistemden ihtiyacımız olan X birim enerjiyi yaz mevsiminde elde edebiliyor ancak kışın elde ettiğimiz miktar bunun yarısına iniyorsa her mevsim en az X birim enerji elde edebilmek için sistemin boyutlarını iki katına çıkarmamız gerekecektir. Bu da maliyetin gereksiz yükselmesine neden olur. İşte böyle durumlarda hibrid sistemlerin kullanımı akılcı bir çözümdür. Uygun hava koşullarında ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin tamamı PV üreteçlerden karşılanır. Fazla enerji bataryalarda depo edilir. Havanın kapalı olduğu zamanlarda ve geceleri ilk olarak

bataryadan, yeterli olmazsa diesel jeneratöründen (veya diğer bir enerji kaynağı) enerji sağlanır. Başka bir örnek verecek olursak yazın yeterli miktarda güneş ışığı alan kışınsa elektrik üretimine elverişli şekilde rüzgâr alan bir bölgede bu iki sistem hibrid olarak tasarlanabilir. Şekil 3-4’de hibrid fotovoltaik sistem görülmektedir (Koryürek, 2008).



Şekil 3-4. Hibrid fotovoltaik sistemler (Web25, 2015)

3.2. Fotovoltaik Sistemin Ana Elemanları

Bu sistemler isminden de anlaşıldığı gibi iki sistemin birlikte kullanımıyla oluşturulmuş sistemlerdir.

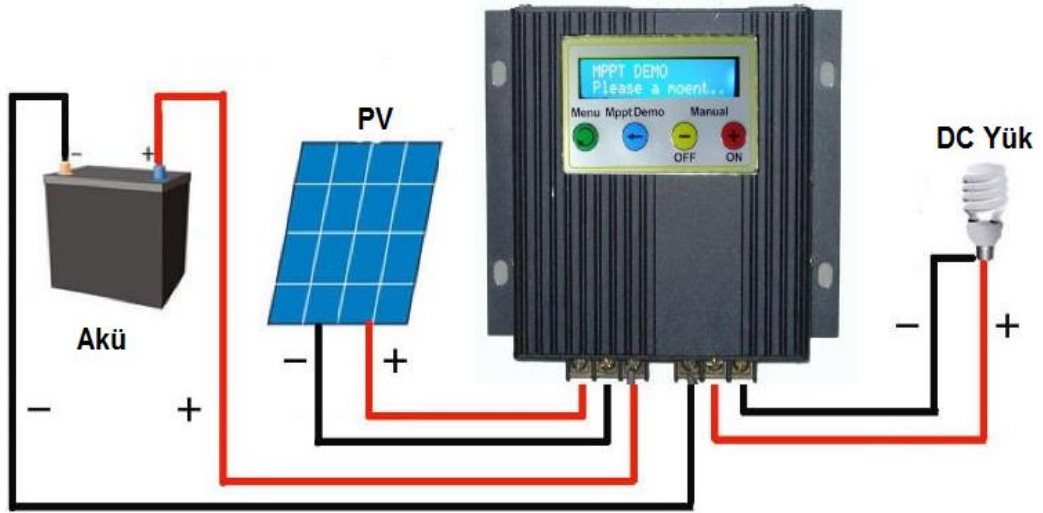
3.2.1. Fotovoltaik güneş pili

Fotovoltaik güneş pili sistemin en temel ögesidir. Fotovoltaik güneş pili, üzerine güneş ışığı düştüğünde güneş enerjisini doğrudan DC elektrik enerjisine dönüştüren elemandır (Web26, 2015).

3.2.2. Şarj regülatörü

Aküyü aşırı şarjdan ve derin deşarjdan korumak için voltajı ve akımı regüle eden esasında bir dc-dc converter olan elektronik cihazlara şarj regülatörü denir. Güneş enerjisi sistemlerinde solar şarj regülatörü olarak adlandırılır. Evlerdeki PV sistemlerinde kullanılan elektronik şarj regülatörleri şarj seviyesine bağlı olarak akünün voltajının düştüğünün veya

yükseldiğinin tespit edilmesinde kullanılır. Voltaj tamamen şarjlı akü seviyesinin üzerine çıktığı zaman, regülatör PV donatısından voltajı keser; yine voltaj kabul edilebilir boşalma seviyesinin altına düştüğü zaman regülatör DC yükü keser. Şarj regülatörlerinin gelişmişlik seviyesi ve buna bağlı olarak onların sağladığı koruma oldukça değişme gösterir. Ucuz modeller ekseriyetle aşırı yükten korumak için yükün kesilmesi gerektiği zaman kararı kullanıcıya bırakarak, sadece aşırı yükten koruma özelliğine sahiptir. Eğer yeterli büyüklükte bir akü kullanılıyorsa ve sistem yönetiminde tedbir alınmıyorsa bu bir sorun yaratmaz, aksi halde akünün ömrünün kısalmasına yol açması mümkündür. Bazı şarj regülatörlerine sıcaklık algılayıcıları takılmış olup, eğer akünün sıcaklığı 30 C'yi geçerse, şarj olan voltajın azaltılmasına izin vermektedir ve böylece akünün zarar görmesine karşı ek bir koruma tedbiri sağlamaktadır. Şarj regülatörlerinin maliyetleri genellikle özelliklerine, imalat yerine göre değişir. Şarj regülatörlerini çoğu kez daha ucuz PV tesisatlarına monte etmekten kaçınılmaktadır (Web27, 2015). Sistemdeki şarj regülatörünün görevi, sistem voltajını ölçerek bataryaları ani boşalma(deşarj) ya da aşırı yüklenme gibi durumlara karşı korumaktadır. Sistemin verimli çalışması açısından sistemde şarj regülatörü bulundurulması önemlidir. Düşük enerji harcaması, yüksek verime sahip olması (%96–98), akülerindeşarj durumunda akımı kesmesi, aküleri dengeli voltajda şarj etmesi, sistemi yüksek voltajdan koruması gibi üstün özellikleri bulunmaktadır. Şarj regülatörü bağlantı şeması Şekil 3-5'de görülmektedir.



Şekil 3-5.Şarj regülatörü bağlantı şeması (Web41, 2015)

Şarj regülatörü, batarya sisteminin ömrünün belirlenmesinde önemli rol oynar. Farklı akü tipleri, akülerin sıcaklığı ve kullanımda olduğu süre önemlidir. Akülerin sıcaklığını

ölçmek için bir sıcaklık sensörü kullanılır ve bu sensör şarj regülatörüne bilgi verir. İyi kalitede bir şarj regülatörü kullanmak, batarya sisteminin uzun ömürlü olması açısından önemlidir. (Koryürek, 2008). Şekil 3-6'de yaygın olarak kullanılan bir şarj regülatörü görülmektedir.



Şekil 3-6.Şarj regülatörü

Sistemim her türlü hava koşulunda güvenilir ve problemsiz çalışması gerekmektedir. Bu nedenle sistemde kullanılacak enerji akışının denetlenmesi ve sistemde kullanılan cihazların zarar görmesini yâda hatalı ölçüm yapılmasının engellemesi gerekmektedir. Sistem çıkış gerilimlerinin, kısa devre, yanlış bağlama, aşırı yük akımı düşük akü gerilimi yâda panel arızaları gibi durumlarda sistemi denetleyecek, olası problemlere karşı sistemi koruyacak ve bu problemleri kullanıcıya iletebilecek bir sistem kullanmaktadır. Tüm bunları yerine getiren sistem şarj regülatörüdür.

Şarj regülatörleri DC olarak özellikle solar modüllerden gelen enerjinin bataryalara depolanmasında kullanılacağı için 12Volt /24Volt /48 Volt ve 6A den 150A olarak üretilmektedir. Şarj regülatörleri standart güçlerde olduğu gibi ayrıca gerektiğinde özel güçlerde de üretilmektedir (Web28, 2015).

Şebeke bağlantısız bir sistemde şarj regülatörünün ana görevi, akülerin aşırı yüklenmeden ve aşırı deşarjdan korumaktır. Her iki çalışma durumu bataryanın çalışma ömrünü oldukça kısaltabilir. Bilinçli bakım ve optimum çalışma sayesinde şebeke bağlantısız sistemlerin ömrü ve ekonomikliği yükselir. Modern bir şarj regülatöründe şu özelliklerin olması beklenir (Hartmann, ve diğerleri, 2012):

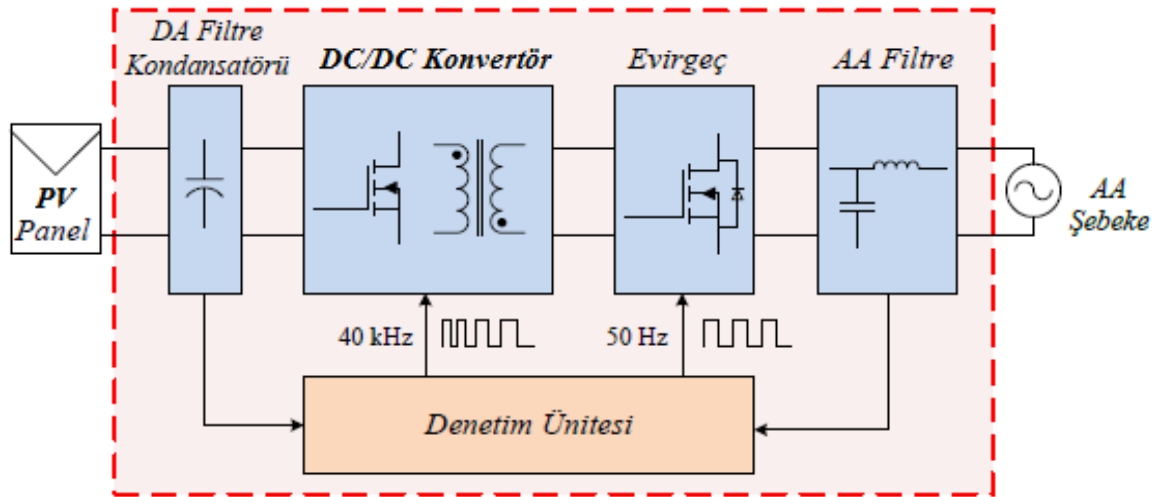
- Aşırı yükleme koruması
- Derin şarj koruması
- İstenmeyen deşarjın önlenmesi
- Bataryaların optimum şarjı
- Şarj seviyesi göstergesi

- Kısa devre emniyeti
- Kutup karıştırma koruması

3.2.3. İnvörtörler (Evirici)

İnvörtörler doğru ve alternatif elektrik akımı arasında dönüşüm yapabilmeye yarayan aygıtlardır. Şebekeye bağlı sistemler ve şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılabilirler. Şebekeye bağlı sistemlerde, PV sistemin tasarımı, sisteme uygun invörtörün seçimiyle başlar. Bu sistemin doğru akım tarafının belirlenmesini sağlar ve invörtörün giriş karakteristiğine göre PV üretici seçimi yapılabilir. Şebekeye bağlı sistemlerde, PV üreticiden sonra sistemin en önemli elemanıdır. Görevi PV üreticiden elde edilen doğru akımı, şebeke akımı gibi alternatif akıma çevirmektir. Dönüştürme verimleri %90'ın üstündedir. İnvörtörün içinde ayrıca sistemin verimli çalışmasını sağlayan elektronik devreler bulunur. Bu devreler, üreticinin ne zaman devreye gireceğini, en uygun güç üretimini ve sisteme üretici ya da şebekeden gelebilecek zararların engellenmesini belirlemeye yarar (Koryürek, 2008).

Tipik invörtör sistemi teknik olarak Şekil 3-7'da gösterilen temel devre bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu bileşenler; DC/DC konvertör, evirici, denetim devresi ve koruma devresidir.



Şekil 3-7. Tipik bir invörtörün yapısı (Öztürk, 2014)

Günümüzde çoğu invörtör üzerinde, güç, voltaj, akım ve diğer çalışma parametrelerini kaydedip izlemeye yarayan veri kaydedici ve ölçüm yapan bir bilgisayar sistemleri bulunmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemlerde, geniş giriş voltajı aralığı, çıkış voltajı sinüs eğrisi sekline mümkün olduğunca yakın değerlerde, çıkış voltajı ve frekansında

mümkün mertebede az dalgalanma, kısmi yük altındayken yüksek verim, kısa devre akımlarına ve aşırı yüklerle kısa süreli de olsa karşı koyabilmesi, şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılan invertörlerden beklenen özelliklerdir. Bunların yanında sistemin en verimli şekilde çalışabilmesi için, sistemin maksimum güç noktası(MPP) invertörde bulunan elektronik devre tarafından izlenmektedir.

Mikro-evirici teknolojisi kolay kurulum ve devreye alma avantajları sayesinde güneş paneli dizilerine kolaylıkla bağlanabildiğinden fotovoltaik enerji dönüşümü sistemlerinde her geçen gün daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Bu alanda yapılmış ve devam eden araştırmalar farklı DC-DC konvertör ve evirici topolojilerinin bir arada kullanılması esasına dayanmaktadır. Araştırmaların amacı daha kararlı çalışan, daha az karmaşık devre yapısına sahip ve daha iyi performans veren eviricileri üretmektir. (Choi, ve diğerleri, 2009).

Invertörler küçük güçlü evlerden başlayıp yüksek güçlü enerji santrallerine kadar her seviyede ihtiyaca uygun olarak üretilmişlerdir. Invertörler çalışma noktalarına göre sınıflandırılması aşağıda şekilde yapılabilir.

a) Şebekenin bulunmadığı kullanımlar için OFF-GRID invertörler (stand-alone): Bu invertörler daha çok depolamalı sistemlerde kullanılmaktadırlar. Panellerden üretilen elektrik doğrudan AC elektriğe dönüştürülüp bir yükü besleyebilir. Ya da akülerde depolanan dc enerji invertörler vasıtası ile AC'ye dönüştürülerek yükü besleyebilirler. Bu tarz uygulamalar daha çok şebeke hattının getirilmesinin çok masraflı olduğu çiftlik evleri, yayla evleri, gsm baz istasyonları, izleme görüntüleme, ölçme kontrol, alarm-güvenlik kamera gibi yerlerde kullanılmaktadır (Web29, 2015).

Şebekeden bağımsız bir invertörde aşağıdaki özelliklerin bulunması gerekir (Koryürek, 2008).

- Sabit voltaj ve frekansta mümkün olduğunca sinüzoidal bir alternatif akım,
- Kısmi yük koşullarında bile çok iyi dönüşüm verimi
- Yüksek yük aşımı kapasitesi
- Akü voltajı dalgalanmalarına karşı tolerans
- Akü için yüksek boşalma koruması
- Güç çıkışı tarafında kısa devre zararlarına karşı korunmalı olması
- Voltaj aşımı korunması

Invertörler dalga şekline göre üçe ayrılır.

- i.Kare Dalga İnvörtör
- ii.Sinüs Modifiyeli İnvörtör

iii. Tam-Saf Sinüs Dalga İnvörtör

Şekil 3-8'de şebekenin bulunmadığı kullanımlar için Off-Grid invörtörler görülmektedir.



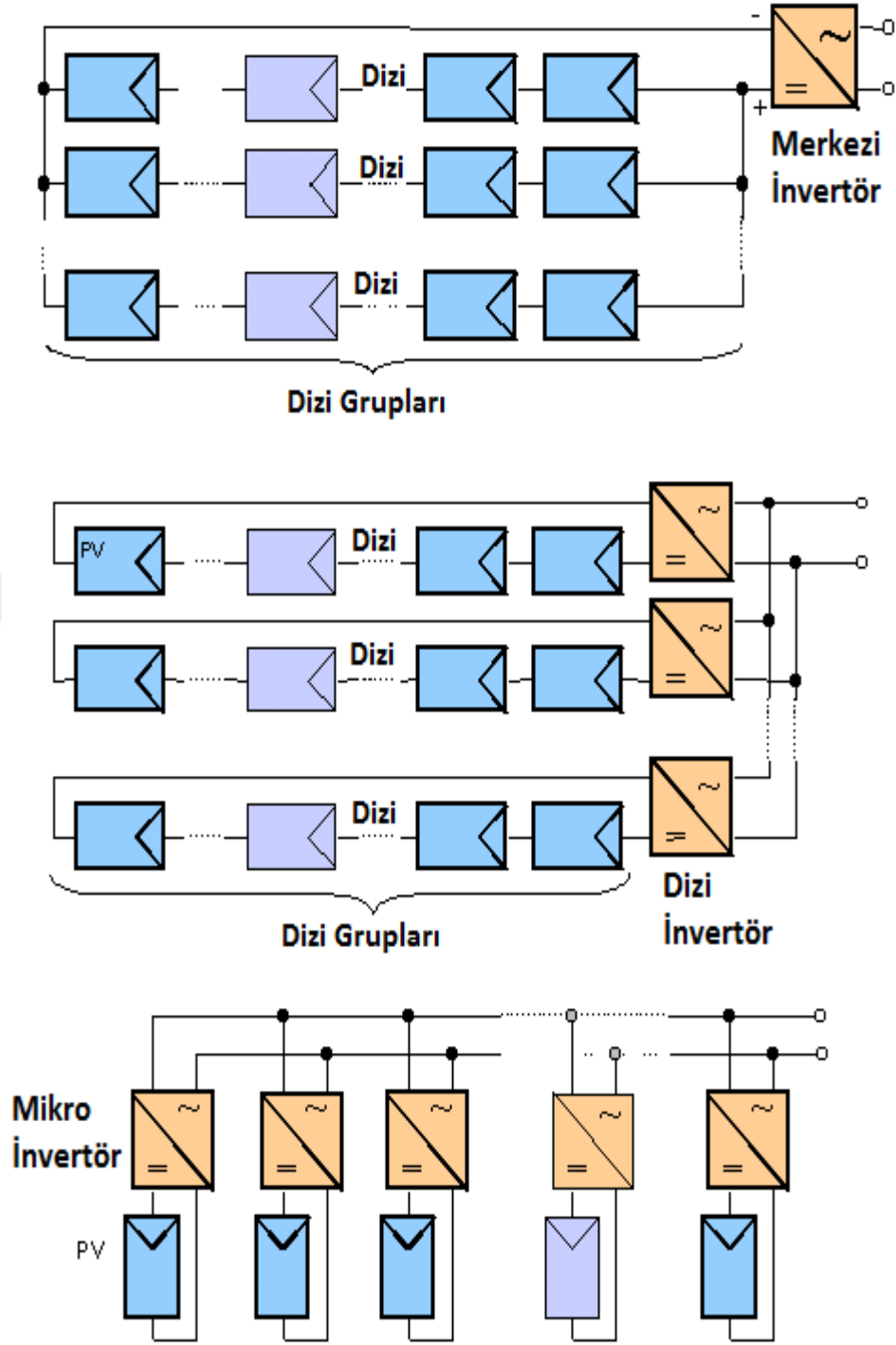
Şekil 3-8. Off-Grid invörtörler (Web30, 2015)

b) Şebekeye bağlı sistemler için kullanılan ON-GRID invörtörler: On-Grid solar fotovoltaik sistem, şebekeye bağlı (paralel) bir sistem anlamına gelir. Güneş enerjisi kullanılabilir olduğu zaman, üretilen enerji mevcut şebekeye aktarılır. Yani güneş panellerinde üretilen DC elektriği doğrudan AC elektriğe dönüştürerek elektrik şebekesine basan invörtörler. Şebeke bağlantılı invörtörler ise;

- i. Merkezi İnvörtörler (Central Inverter)
- ii. Dizi İnvörtörler (String Inverter)
- iii. Mikro invörtörler

Olmak üzere üçe ayrılır.

Güneş enerjisi santrallerini inşa etmenin birçok alternatif yolu bulunmaktadır. Güneş santralinde dizi eviricileri modüler bileşenler olarak kullanmak, tesise merkez invörtörle başarılmayacak birçok avantaj eklenmektedir. Günümüzün dizi inverterleri, yüksek DC sistem girişi ve 3 faz AC çıkış gibi merkezi invörtörlerin sağladığı avantajları yüksek verimlerle başarabilmektedirler. Bu avantajlar hem AC hem de DC kablolardaki kayıpları düşürmekte ve sistem genel verimini arttırmaktadırlar. Çok sayıda maksimum güç noktası takip sisteminin (MPPT) devrede olması sayesinde solar panellerden daha fazla enerji alınabilmektedir. Ayrıca yüksek gerilim sayesinde dizi sayısının azaltılmasıyla PV dizi birleştiricileri ve fazladan dizi izleme cihazlarına olan ihtiyaç azalmakta, böylece kablolama daha kolay bir işleme dönüşmekte ve maliyet azaltılmaktadır. Şekil 3-9'de invörtör çeşitleri görülmektedir.



Şekil 3-9.İntertör çeşitleri (Web39, 2015)

Merkezi invertörler büyük güçlerde santrallerde kullanılmaktadır. Genellikle tek bir invertörün gücü yüzlerce kW mertebelerinden başlayıp MW mertebelerine kadar çıkmaktadır. Şekil 3-10'de merkezi invertörler görülmektedir.



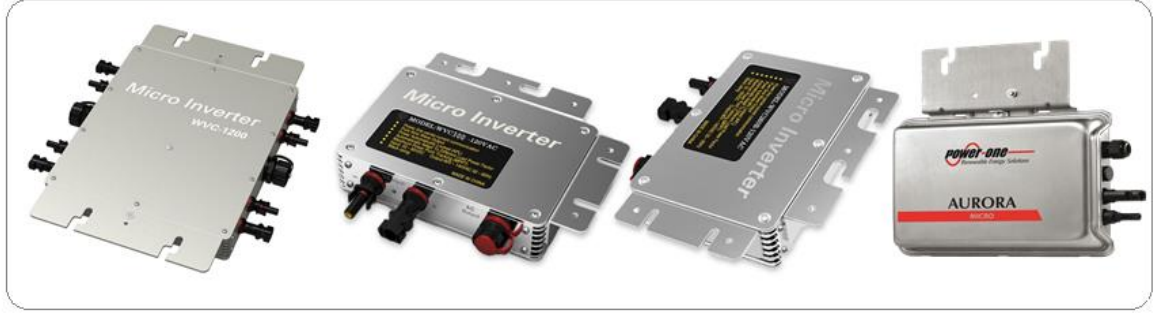
Şekil 3-10. Merkezi invertörler (Web40, 2015)

Dizi invertörler saha ve çatı uygulamalarında tercih edilebilirler. Farklı çatı tiplerinde farklı tiplerde dizi invertörler kullanmak mümkündür. Dizi invertörlerdeki amaç tek bir santrali parçalara ayırarak her bir parçanın birbirinden bağımsız olarak enerji üretmesini sağlamaktır. Şekil 3-11’de dizi invertörler görülmektedir.



Şekil 3-11. Dizi invertörler (Web31, 2015)

Mikro invertörler ise her biri bir panel arkasına monte edilen invertörlerdir. Özellikle parçalı gölgelenmelerin çok fazla olduğu çatı sistemlerinde tercih edilmesi yanı sıra günümüzde saha uygulamalarında nadiren de olsa kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 3-11’de mikro invertör görülmektedir.



Şekil 3-12. Mikro invertörler (Web32, 2015)

c) **Hibrid İnvörtörler:** PV ile batarya / akü ve şebeke güç teknolojisinin daha fazla avantaj sağlaması için birlikte kullanıldığı bir sistemdir. Prensip olarak güneşten gelen enerji öncelikli olarak kullanılır. Güneş enerjisi yükten (üretim miktarı tüketimden) çok ise fazla enerji akülerde / bataryalarda depolanır. Güneş enerjisi ihtiyaçtan az ise eksik kısım aküden çekilir. İhtiyaç fazlası enerji ise istenildiğinde şebekeye satılabilir. Buna karşın, hibrid invertörler ihtiyaç duymadığı sürece şebekeden elektrik çekmez (Web29, 2015).



Şekil 3-13. Hibrid invertörler (Web33, 2015)

3.2.3. Aküler

Şebekeye bağlı olmayan fotovoltaik sistemlerde güneş ışığının yeterli olmadığı ya da hiç olmadığı durumlarda ihtiyaç duyulan enerjinin karşılanabilmesi için ek sistemlere gereksinim vardır. Bu ihtiyacın giderilebilmesi için ya hibrid sistemler tercih edilmeli ya da fotovoltaik sisteme bir batarya sistemi dâhil edilerek güneş ışığının yeterli olduğu zamanlarda elde edilen fazla elektrik enerjisi bu sistemde depo edilmelidir. Bu alanda kullanıma en uygun aygıtlar klasik elektrokimyasal akülerdir (Web34, 2015).

Asit veya Su ilavesi gerektirmeyen, kapalı tip akülere kuru akü denir. Kuru aküler VRLA (Valf Regulated Lead Acid) akü olarak da bilinirler. Gaz çıkışı yok denecek kadar azdır. Bu yüzden çok güvenlidir ve rafta bekleme ömürleri çok daha uzundur. Ayrıca sulu akülere kıyasla titreşime karşı daha dayanıklıdır. Sevkiyatı, taşınması sorunsuzdur. Kuru Aküler içyapıları ve teknolojilerine bağlı olarak ikiye ayrılır;

- i. AGM akü
- ii. Jel akü

AGM (Absorbent Glass Mat) kelimesinin kısaltmasıdır. Bu akülerde elektrolit, kapiler borudan geçerek plakalar arasındaki bir cam elyafın içine absorbe edilir. AGM aküler kısa süreli çok yüksek akım besleme işlemlerine daha uygundur.

Jel Akü; içerisinde jel – jöle kıvamında elektrolit bulunan akülerdir. Solar akü olarak da bilinir. Ağır çevresel koşullara özellikle de sıcaklığa ve titreşime dayanıklı bakımsız akülerdir. Bu yüzden denizcilik sektöründe ve Güneş Enerji Sistemlerinde özellikle tercih edilirler. Jel Akü hemen şarj edilmese bile, derin deşarjdan tamamen geri döndürülebilir. Günlük çevrimsel kullanım için idealdir. Uzun deşarjlarda mükemmel performans gösterirler. Uygun şartlarda 10-12 yıl çalışabilmektedirler. Şekil 3-14'de Jel aküler görülmektedir.



Şekil 3-14. Jel aküler (Web36, 2015)

PV jeneratörün boyutlandırılmasında, genellikle tüm enerji talebinin göze alınan yüklerde ortalama ışık koşullarında karşılanabileceği varsayılır. Yaz mevsiminde, herhangi bir PV sistemi daha düşük güneş ışığı koşullarında tasarlandığı için aşırı enerji üretim koşulunda çalışır. Sonuç olarak, akü maksimum şarj voltajı eşiğine neredeyse her gün ortasında veya öğleden sonra ulaşır ve akşama dek %100 şarj olur. Akşam boyunca akü deşarj olur ve sabah güneş doğduğunda şarjı en düşük seviyeye iner. Sonraki gün, önceki gün boyunca olduğu gibi aynı şarj çevrimi tekrar eder ve akşam tekrar tam şarjlıdır. Bunlar bir solar akü için optimum çalışma koşullarıdır. Kış mevsiminde ise eğer fazlaca boyutlandırılmamışsa, aynı PV sistem, enerji açığıyla daha fazla karşılaşabilir. Bulutlu hava daha fazla devam ettiğinde, akünü şarj durumu kademeli olarak azalır ve daha sonra akü voltajı minimum voltaj eşiğinin altına düşer. Kullanıcılar tüketimi kendi isteğiyle azaltmadıkça sonuç yükü kesmektir. Yük kesilmesi, akü makul voltaj seviyesine ulaşana kadar devam eder. Kış mevsimi boyunca, akü daha sık zararlı derin deşarj periyotlarına maruz kalabilir. Kullanıcının kendi PV sistemini dikkatli kontrol etmesi gerekir.

PV bataryanın çalışma koşulları ve ömrü birincil olarak, batarya %100 tam şarj durumunda olduğu gün sayısı ve minimum deşarj voltajı eşiğine ulaştığı gün sayısı ile saptanır. Eğer PV jeneratör, göze alınan yükler için çok küçük boyutlandırılmışsa, akü derin deşarj koşullarına yıl boyunca daha sık ulaşır ve ömrü kısalmır. Bunun yerine PV jeneratör aşırı boyutlandırılmışsa, akü %100 tam şarj koşullarına hemen hemen yılın her günü ulaşır ve ömrü uzar.

Akü ömrü, PV sistemin ömür maliyetlerini belirleyen bir faktör olduğu sürece, maksimum akü ömrü hedefleniyorsa kompleks bir kurallar dizisine uyulmalıdır. Bunlar, uygulama için en uygun olan teknolojinin seçilmesi, uygun olan şarj sonu ve deşarj sonu eşiklerinin belirlenmesi, derin deşarjdan kaçınmak, elektrolitte asit katmanlaşmasından kaçınmak, yüksek batarya sıcaklıklarından kaçınmak, sıklıkla tam şarj sağlamak gibi kurallardır (Taş, 2012).

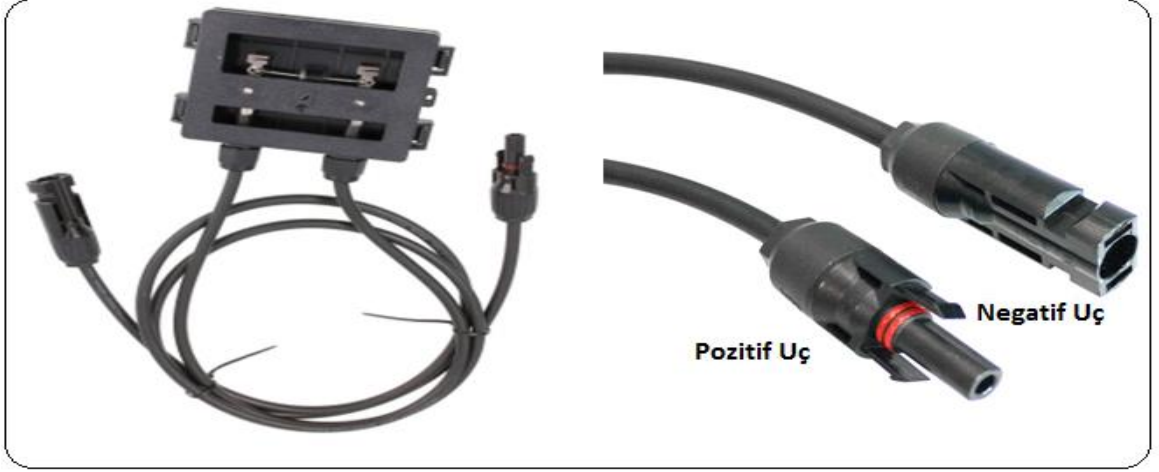
3.2.4. Kablolar

Fotovoltaik sistemin elektriksel kurulumunu tamamlamak için uygulamanın gereklerini sağlayacak ölçütte ve uygunlukta kablo sistemi gerekmektedir. Sistemde kullanılacak kablo tiplerini paneller arası kablolar, DC ana kablosu ve AC besleme kablosu olarak ayırabiliriz (Koryürek, 2008).

3.2.4.1. Fotovoltaik panel dizi kabloları

Bir fotovoltaik sistemde üreteçler arasındaki bağlantıyı veya üreteçlerle elektrik bağlantı kutusu arasındaki bağlantıyı sağlayan kablolar fotovoltaik panel dizi kabloları olarak adlandırılır. Bu kablolar genellikle dış ortamda kullanılır. Kısa devre problemiyle karşılaşmamak için pozitif ne negatif iletkenler aynı kablo içinde yer almaz. Çift izolasyonlu tek telli kabloların güvenilirliği ve uygulanabilirliği yüksektir. Ayrıca kablolar ultraviyole ısınlardan, hava koşullarından ve yüksek sıcaklıktan etkilenmemelidir.

Güneş enerjisi ile güneşten elektrik üretimi uygulamalarında verimlilik çok önemlidir. Enerji kaybını asgari seviyede tutmak için kullanılan elektrik kablosunun iletken kesit boyutuna azami dikkat edilmelidir. Aksi hâlde ciddi verim kaybı oluşacaktır. Uygun olmayan tasarımlarda ısınma ve yangın tehlikesi oluşabilir. Fotovoltaik sistem kurulumunda sistemin hesaplanması ve gereken ürünlerin seçimi kolay değildir. Genelde ihmal edilen ve ihmal edilmemesi gereken bağlantı ürünlerinin önemi fazlasıyla yüksektir. Bir sistemin maliyetini incelediğiniz zaman, bağlantı parçalarının değeri ortalama ~%5 ile sınırlıdır. Fotovoltaik panellerin arkasında pozitif ve negatif bağlantı uçları vardır. Şekil 3-15’de Fotovoltaik panel bağlantı uçları görülmektedir.



Şekil 3-15. Fotovoltaik panel bağlantı uçları (Web35, 2015)

Fotovoltaik sistemlerden elektrik üretimi uygulamalarında, panellerin üzerinde bulunan iletkenler birbirlerine eklenir ve ilave iletken kullanılmaz. Ancak uzak mesafeler için özel solar kablo ve özel bağlantı elemanı kullanılır. Şekil 3-16'de fotovoltaik panel bağlantı elemanları görülmektedir.



Şekil 3-16. Fotovoltaik panel bağlantı elemanları (Web37, 2015)

Fotovoltaik panel dizi kablo boyutlandırması;

L_{PD} =Panel Dizi Kablo Uzunluğu [m]

P_{P-DC} =Panel Dizi Kablo Kayıpları [W]

A_{PD} =Panel Dizi Kablo Kesiti [mm^2]

K_{IL} =Elektriksel İletkenlik [$m/(\Omega \times mm^2)$]

K_{IL-Cu} =56 $m/(\Omega \times mm^2)$

K_{IL-Al} =34 $m/(\Omega \times mm^2)$

P_{PD} =PV Panel Dizi Nominal Gücü [W]

V_{PD-MPP} =PV Panel Dizi Nominal Voltajı [V]

I_{PD-n} =PV Panel Dizi Nominal Akımı [A]

n_p =PV Panel Sayısı

A_1 = 1. Panel Dizisinin Kablo Kesiti [mm^2]

A_2 = 2. Panel Dizisinin Kablo Kesiti [mm^2]

A_3 = 3. Panel Dizisinin Kablo Kesiti [mm^2]

L_1 = 1. Panel Dizisinin Kablo Uzunluğu [m]

L_2 = 2. Panel Dizisinin Kablo Uzunluğu [m]

L_3 = 3. Panel Dizisinin Kablo Uzunluğu [m] olmak üzere, fotovoltaik panel dizi kablo

kesit alanını;

$$A_{PD} = \frac{2 \cdot L_{PD} \cdot I_{PD-n}}{1\% \cdot V_{PD-MPP} \cdot K_{IL}} \quad (3.1)$$

$$A_{PD} = \frac{2 \cdot L_{PD} \cdot I_{PD-n}^2}{1\% \cdot P_{PD} \cdot K_{IL}} \quad (3.2)$$

$$A_{PD} = \frac{2 \cdot L_{PD} \cdot P_{PD}}{1\% \cdot V_{PD-MPP}^2 \cdot K_{IL}} \quad (3.3)$$

Formülleri ile hesaplanır.

Hesap sonucu elde edilen kablo kesit alanı değeri kendinden bir sonraki standart kablo kesit alanı değerine yuvarlanır. Seçilen kesit alanı değeri kullanılarak tüm fotovoltaik panel dizi kablo kablolarında oluşacak kayıp;

$$P_{PD} = \frac{2 \cdot n_p \cdot L_{PD} \cdot I_{PD-n}^2}{A_{PD} \cdot K_{IL}} \quad (3.4)$$

$$P_{PD} = \frac{2 \cdot n_p \cdot L_{PD} \cdot P_{PD}^2}{A_{PD} \cdot V_{PD-MPP}^2 \cdot K_{IL}} \quad (3.5)$$

Formülleri ile hesaplanır.

PV sisteminin tasarımından kaynaklı, farklı kesit alanlı kabloların kullanımı söz konusu ise kayıplar;

$$P_{PD} = \frac{2.n_p.I_{PD-n}^2}{K_{IL}} \cdot \left(\frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} + \frac{L_3}{A_3} + \dots \right) \quad (3.6)$$

Formülü ile hesaplanır.

Tablo 3-1.'de DC için iletken kesit tespit tablosu görülmektedir.

Tablo 3-1. DC için iletken kesit tespit tablosu

		İletkenin Üzerinden Geçen Akım [A]										
		12	16	20	25	32	50	63	80	105	125	155
İletkenin Uzunluğu [m]	1	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70
	2	2,5	2,5	4	4	6	10	16	25	35	50	70
	3	4	4	6	6	10	16	16	25	35	50	70
	4	4	6	6	10	10	16	16	25	35	50	70
	5	6	6	10	10	16	25	25	35	50	50	70
	6	6	10	10	16	16	25	25	35	50	70	70
	7	10	10	16	16	16	25	35	50	70	70	
	8	10	10	16	16	25	35	50	50	70		
	9	10	16	16	25	25	35	50	70			
	10	10	16	16	25	25	50	50	70			
	11	10	16	16	25	25	50	70	70			
	12	16	16	25	25	25	50	70				
	13	16	16	25	25	35	50	70				
	14	16	16	25	25	35	70	70				
	15	16	25	25	25	35	70					
	16	16	25	25	35	50	70					
	17	16	25	25	35	50	70					
	18	16	25	25	35	50	70					
	19	25	25	25	35	50						
	20	25	25	35	50	50						
30	35	35	50	70								
40	35	50	70									
50	70	70										
60	70											
70												

3.2.4.2. DC ana kablosu

Doğru akım ana kablosu elektrik üreticisiyle invertör arasındaki bağlantıyı sağlayan kablodur. Bu kablo kısa devre ve topraklama risklerini mümkün olduğunca azaltacak şekilde seçilmelidir. Hem yalıtımlı hem kaplamalı olan tek çekirdekli kablolar kullanılarak veya uygun bir kablo hattı kullanılarak bu sağlanabilir (Koryürek, 2008).

Fotovoltaik uygulamalar için özel olarak üretilen solar tip kablolar üstün kaliteli ham maddeler ile özel olarak üretilmektedir. Enerji iletiminin özel bir önem arz ettiği fotovoltaik uygulamalarda normal kabloların kullanımı hem sistem verimini düşürmekte hem de gereken uzun ömre sahip olmamaktadır. Özellikle uzak mesafelerde enerji taşıma sözü konusu ise 20 m ve üzeri mutlaka fotovoltaik kabloların kullanılması gerekmektedir. Bu kablolar fotovoltaik sistemlerin önemli bir parçasıdır. Fotovoltaik sistemlerin bina ve aygıt içinde veya dışında bağlantısı, yüksek mekanik yıpranma oluşan ve ağır hava şartları olan bölgeler için özel tasarlanmıştır. Solar enerji sistemlerinde kullanılan kabloların uzunluğu arttıkça, mesafeler uzadıkça ve/veya kablodan geçen akım arttıkça, iletken olması gereken kablomuzun üzerinde gerilim düşümü olur yani bir şekilde direnç oluşur. Bu noktada uygun

kablo kesiti hesaplama ve uygun / yeterli özellikteki kablo seçiminin önemi ortaya çıkar. Şekil 2-1’de solar kablo görülmektedir.



Şekil 3-17. Solar kablo (Web38, 2015)

DC ana kablosu boyutlandırması;

L_{DCA} =DC Ana Kablosu Uzunluğu [m]

P_{DCA} =DC Ana Kablosu Kayıpları [W]

A_{DCA} =DC Ana Kablosu Kesiti [mm^2]

P_{DCA-n} =DC Ana Kablosu Nominal Gücü [W]

$V_{DCA-MPP}$ =DC Ana Kablosu Nominal Voltajı [V]

I_{DCA} =DC Ana Kablosu Nominal Akımı [A] olmak üzere, DC ana kablosu kesit alanını;

$$A_{DCA} = \frac{2.L_{DCA}.I_{DCA}^2}{(LF.P_{DCA-n}-P_{P-DC}).K_{iL}} \quad (3.7)$$

Burada LF (loss factor, kayıp faktörü) %1 olarak alınabilir. Düşük voltaj tasarımları için LF=%2 daha uygundur. Hesaplama sonucu elde edilen değer kendinden büyük olan ilk standart değere yuvarlanır. (2,5 mm^2 , 4 mm^2 , 6 mm^2 , 10 mm^2 , 16 mm^2 , 25 mm^2 , 35 mm^2 ...gibi) Seçilen kesit alanı değeri kullanılarak kablo kayıpları hesaplanabilir.

$$P_{DCA} = \frac{2.L_{DCA}.I_{DCA}^2}{A_{DCA}.K_{iL}} \quad (3.8)$$

3.2.4.3. AC besleme kabloları

Alternatif akım bağlantı kablosu invertörü koruyucu donanım üzerinden elektrik sebekesine bağlar. Üç fazlı invertörlerin kullanıldığı durumlarda düşük voltajlı şebekeye bağlantı beşyollu kablolarla, tek fazlı invertörlerin kullanıldığı durumlarda ise üç çekirdekli kablolarla bağlantı yapılır (Koryürek, 2008).



Şekil 3-18. AC besleme kabloları

- L_{ACK} =AC Kablo Uzunluğu [m]
 P_{ACK} =AC Kablo Kayıpları [W]
 A_{ACK} =AC Kablo Kesiti [mm²]
 $\cos\phi$ =Güç Katsayısı
 V_{ACK} =AC Kablo Nominal Voltajı [V]
 I_{ACK-n} =AC Kablo Nominal Akımı [A] olmak üzere

Tek fazlı besleme için AC kablo kesit alanı,

$$A_{ACK} = \frac{2 \cdot L_{ACK} \cdot I_{ACK-n} \cdot \cos\phi}{3\% \cdot V_{ACK} \cdot K_{IL}} \quad (3.9)$$

Üç fazlı besleme için AC kablo kesit alanı,

$$A_{ACK} = \frac{\sqrt{3} \cdot L_{ACK} \cdot I_{ACK-n} \cdot \cos\phi}{3\% \cdot V_{ACK} \cdot K_{IL}} \quad (3.10)$$

şeklinde hesaplanır.

Tablo 3-2.'de AC 380 V için iletken kesit tespit tablosu görülmektedir.

Tablo 3-2. AC 380 V İçin İletken Kesit Tespit Tablosu

Güç KW	380 V		
	DİREK(A)	Y/Ü (A)	Kablo NYY
0,25	2-6	2-6	4*2,5
0,37	4-6	2-6	4*2,5
0,55	4-6	2-6	4*2,5
0,75	4-6	4-6	4*2,5
1,1	4-6	4-6	4*25
1,5	6	6	4*2,5
2,2	10	6	4*25
3	16	10	4*2,5
4	20	16	4*2,5
5,5	25	20	4*2,5
7,5	35-32	25	4*2,5
11	35-32	35-32	4*6
15	50	35-32	4*6
18,5	63	50	4*10
22	63	50	4*10
30	80	63	4*16

Kullanılacak kablonun kesit alanı için kablo kaybı ise su formüllerle hesaplanabilir.

Tek fazlı besleme için;

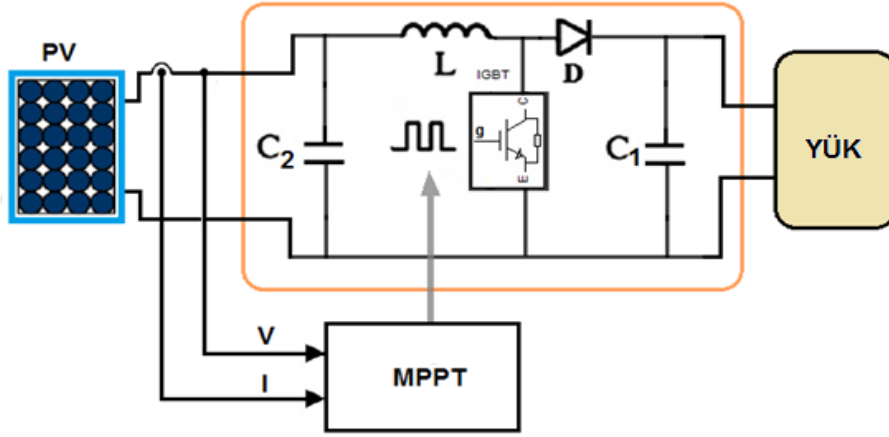
$$P_{ACK} = \frac{2 \cdot L_{ACK} \cdot I_{ACK-n}^2 \cdot \cos\varphi}{A_{ACK} \cdot K_{IL}} \quad (3.11)$$

Üç fazlı besleme için ise;

$$P_{ACK} = \frac{\sqrt{3} \cdot L_{ACK} \cdot I_{ACK-n}^2 \cdot \cos\varphi}{A_{ACK} \cdot K_{IL}} \quad (3.12)$$

3.2.5. Maksimum güç noktası takibi (MPPT)

PV panel performansına etki eden tüm bu olumsuz durumları en aza indirgeyen ve PV panelden maksimum güç aktarımı yapmaya yarayan elektronik arabirime Maksimum Güç Noktası Takip (MPPT) sistemi denir. Bir MPPT sistemi DC/DC dönüştürücü, ölçüm ünitesi ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Şekil 3.1’de temel bir maksimum güç noktası takibi sisteminin blok şeması gösterilmiştir (Durusu, 2011).

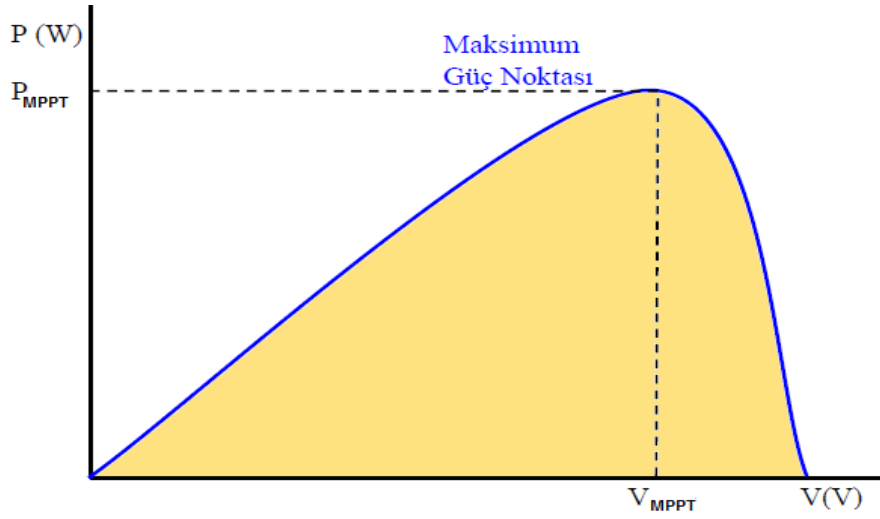


Şekil 3-19. MPPT blok şeması

Maksimum güç noktasını takip etmek için mekanik veya elektronik takip sistemleri kullanılır. Mekanik olarak güneşi takip eden bir eksenli veya iki eksenli sistemler geliştirilerek ve sürekli olarak maksimum güç noktası yakalanmaya çalışılmaktadır. Elektronik takip, bir güç elektronigi devresinin bir algoritma tarafından yönetilmesidir. Literatüre bakıldığında, fotovoltaik sistemler için birçok maksimum güç noktası takip algoritması önerilmiştir (Başoğlu, 2013).

Belirli bir güneşlenme durumunda güneş pilinin elektriksel karakteristiği Şekil 3-20’de görülmektedir. Güneş pilinin iç direnci eğrinin sol tarafında yüksek iken sağ tarafında düşüktür. Maksimum güç noktası bu eğrinin tam tepe noktasındadır. Maksimum güç transferi teorisine göre, kaynak ve yük empedansları eşit olduğunda yüke maksimum

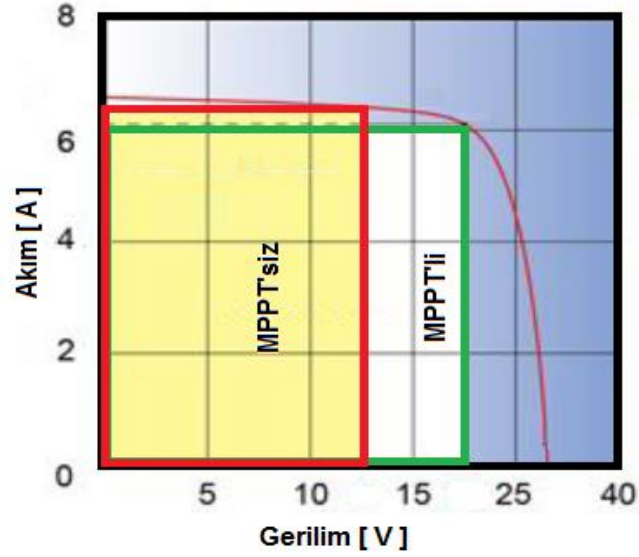
güç aktarılır. Böylece anahtarlamalı dönüştürücünün empedansı anahtarlama darbe boşluk oranı ayarlanarak güneş paneli empedansı ile eşit yapıldığında maksimum güç noktasında çalışma şartı sağlanmaktadır.



Şekil 3-20. MPPT noktası

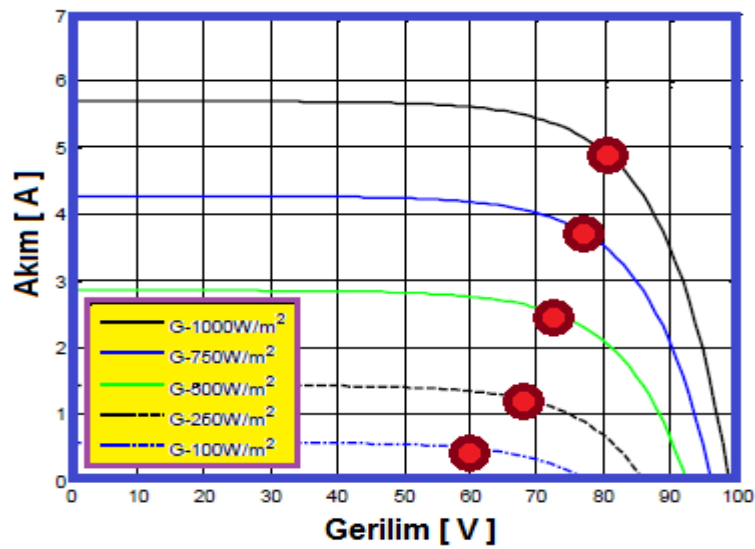
Birçok geleneksel DC-DC çevirici devresi yapısı gereği gerilim düştükçe akım arttığından negatif empedans karakteristiğine sahiptir. Bu davranış sabit giriş gücü karakteri ve güç kaynağının ayarlanabilir çıkış gerilimi nedeniyle. Eğer sistem güneş paneli karakteristik eğrisinin yüksek empedans tarafında (düşük gerilim tarafı) işletilirse, güneş panel gerilimi çökecektir. Bu nedenle, maksimum güç noktası izleme durumunda güneş paneli karakteristiğinin sağ bölgesinde çalıştırılmalıdır. Aksi halde güneş paneli maksimum darbe boşluk durumunda çalışırken, güneş paneli gerilimi de güneşlenme durumuna göre değişecektir. Böylece sistem maksimum güç noktası izlemeye ulaşamayacak ve yanlış noktada çalışacaktır (Aktaş, 2013).

Fotovoltaik panellerin maksimum verimle ve maksimum çıkış gücü sağlayarak çalıştığı maksimum güç noktası, güneş ışınlarının panel yüzeyine yaptığı açıya ve panel sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. MPPT fotovoltaik panelin gerilim ve akımının yükten bağımsız olarak kontrol ederek bu işlemi gerçekleştirmektedir. Örnek olarak Şekil 3-21’de MPPT’nin kazancı görülmektedir. Şekilde gösterildiği gibi MPPT’li çalışmada, 17,2 V ve 5,8 A olmak üzere 99,7 W güç elde edilmektedir. MPPT’siz çalışmada sadece 12 V ve 6,2 A olmak üzere 69,6 W güç elde edilmektedir. MPPT ile %43,24 daha fazla güç elde edilmiştir.

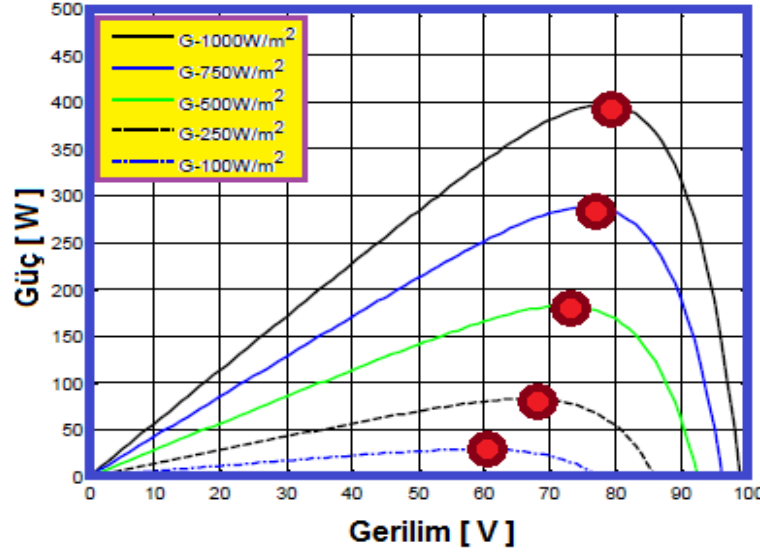


Şekil 3-21.MPPT kazancı

Güneş paneli kaynak olarak kullanılan elektrik sistemlerde, panellerin yapısından dolayı çekilen akıma göre çıkış geriliminde doğrusal olmayan bir değişim oluşur. Panellerin çıkış gerilimi, çekilen akıma bağlı olduğu gibi, panellerin üzerinde düşen güneş ışığı yoğunluğuna ve ortam sıcaklığına bağlı olarak da farklılık göstermektedir. Ticari güneş panellerinin anılan çıkış gücü, birim alana düşen güneş ışığı yoğunluğunun $1000\text{W}/\text{m}^2$ olduğu ortamda, panelin üretebildiği elektrik enerjisi olarak tespit edilmiştir. Anılan çıkış gücünün güneş panelinin verebileceği maksimum güç olduğu varsayılır. Işınımın değişimi ile akım-gerilim karakteristiğindeki MPPT'nin değişimi Şekil 3-22'de, güç-gerilim karakteristiğindeki MPPT'nin değişimi Şekil 3-23'de görülmektedir.



Şekil 3-22.Akım-Gerilim karakteristiğinde MPPT değişimi



Şekil 3-23. Güç-Gerilim karakteristiğinde MPPT değişimi

MPPT, PV panellerinin verimli kullanılmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem güneş panelinin performansının en yüksek olduğu noktayı yakalayan bir denetim yapısıdır. Bu tepe noktası ışınım, sıcaklık, PV panel eğimi, PV panel yaşlanması gibi değişkenlerle değişir. Tüm PV sistemi bu tepe noktasında çalıştırıldığında maksimum verim ile çalışır ve PV panelden maksimum çıkış gücü alınır. MPPT ancak hesaplama modelleri yoluyla veya arama algoritmaları tarafından tespit edilebilmektedir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için denetim mekanizması denetim tekniğine bağlı olarak PV panel değişkenlerini değerlendirip güç dönüştürücüsünün referansını gücün en yüksek olduğu noktaya ulaşmayı sağlayacak şekilde değiştirir. PV panellerin maksimum güç noktasını yakalamak için birçok MPPT teknikleri vardır. Yaygın olarak kullanılan bu teknikler (Aktaş, 2013);

- Sabit gerilim metodu
- Kısa devre akım metodu
- Açık gerilim metodu
- Saptır-gözle metodu
- Artan iletkenlik metodu
- Sıcaklık metodu 'dur.

3.2.5.1. Sabit gerilim metodu

Sabit gerilim yöntemi en basit MPPT algoritmasıdır. Şekil 3-24'de görüldüğü gibi panel gerilimi V_{PV} üretici katalogunda belirtilen referans gerilim değerine getirilerek maksimum güç takibi yapılır. Burada dolaylı denetim yapılmaktadır. Bulutsuz günlerde, gölgelenme gibi durumların oluşma ihtimalinin düşük olduğu şartlarda veya düşük ışınım

koşullarında bu yöntem iyi sonuçlar verir. Çevresel parametrelerin değişimi bu yöntemde dikkate alınmamıştır. Panel sıcaklığının sürekli ölçülerek takip edilmesi durumunda, sabit gerilim yönteminin maksimum güç noktasını daha iyi izlediğini ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır.

Sabit gerilim metodu oldukça basit, karmaşık devreler gerektirmeyen, ucuz ve kullanışlı bir yöntemdir. Ancak referans işareti oluşturabilmek için gereken V_{PV} gerilim bilgisini okuyabilmek için PV modülden yükü ayırma gerekliliğinin yükler için sorun teşkil etmesi, bu esnada güneş enerjisinden faydalanılamaması, gerçek MPPT işleminin sürdürülememesi olumsuz etkileridir (Aktaş, 2013).



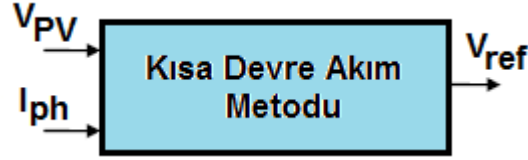
Şekil 3-24. Sabit gerilim metodu çalışma diyagramı

3.2.5.2. Kısa devre akım metodu

Kısa devre akım metodu akım kontrollü güç dönüştürücü I_m çalışma akımını vererek MPPT'nde çalışmayı başarır. Aslında, maksimum çıkış gücü için optimum işletme akımı I_m , çeşitli koşullar altındaki ışımaya seviyesi S ve kısa devre akımı I_{sc} ile orantılıdır.

$$I_m(S) = k_a \cdot I_{sc}(S) \quad (3.13)$$

Denklemdaki k_a orantılı bir sabittir ve I_{ph} tespit edildiğinde hemen I_m belirlenebilmektedir. Sıcaklık $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ila $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar değişmesine rağmen I_m ve I_{sc} arasındaki bu ilişki sürekli orantılıdır. Bu oransal parametrenin yaklaşık %92 olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle, bu kontrol algoritması I_{ph} ölçümünü gerektirir. Bu ölçümü elde etmek için, kısa devre akımı oluşturmak amacıyla PV panele paralel bir statik anahtar bağlanması gerekir. Burada dikkat edilmesi gereken kısa devre $V_{PV} = 0$ olduğu durumda PV sistemden hiçbir güç elde edilmez ve güç üretimi durdurulur. Kısa devre akım algoritması için Şekil 3-25'de verilen blok diyagramda V_{PV} ve I_{sc} verilerinin işlenmesi gerekir. Kısa devre akım metodu basit ve karmaşık devreler gerektirmeyen yapıda olmasına rağmen kısa devre akımının ölçülmesi gerekliliğinde, bu esnada enerji kaybı, k sabiti belirleme işlemi ve panel yüzeyinde meydana gelebilecek kirlilik v.b. sebeplerden kaynaklanan k_a sabiti sapmaları bu yöntemin olumsuz etkilerindedir (Aktaş, 2013).



Şekil 3-25. Kısa devre akım metodu blok diyagramını

3.2.5.3. Açık gerilim metodu

Açık gerilim metodu maksimum güç noktasındaki gerilimi her zaman açık devre geriliminin yüzdesine yakın olduğu gözlemine dayanmaktadır. Sıcaklık ve güneş ışınma düzeyi maksimum güç noktasının konumu %2 tolerans bandı içinde değiştirmektedir. Genel olarak, açık gerilim metodu optimum çalışma gerilimi olarak panelin açık devre geriliminin %76 sını kullanır ve panelden maksimum çıkış gücü elde edilebilir. Bu kontrol algoritması için Şekil 3-26’de blok diyagramında da gösterilen açık devre gerilimi V_{oc} ölçülmesi gerekir. Bu yöntemde PV panel ile birlikte bir statik anahtar kullanılmaktadır ve anahtar devresini açmak için PV panele seri bağlı olmalıdır. $I_{PV}=0$ olduğunda PV sistem tarafından hiçbir güç üretilmez ve sonuç olarak PV panellerden alınacak toplam enerji azalır (Aktaş, 2013).



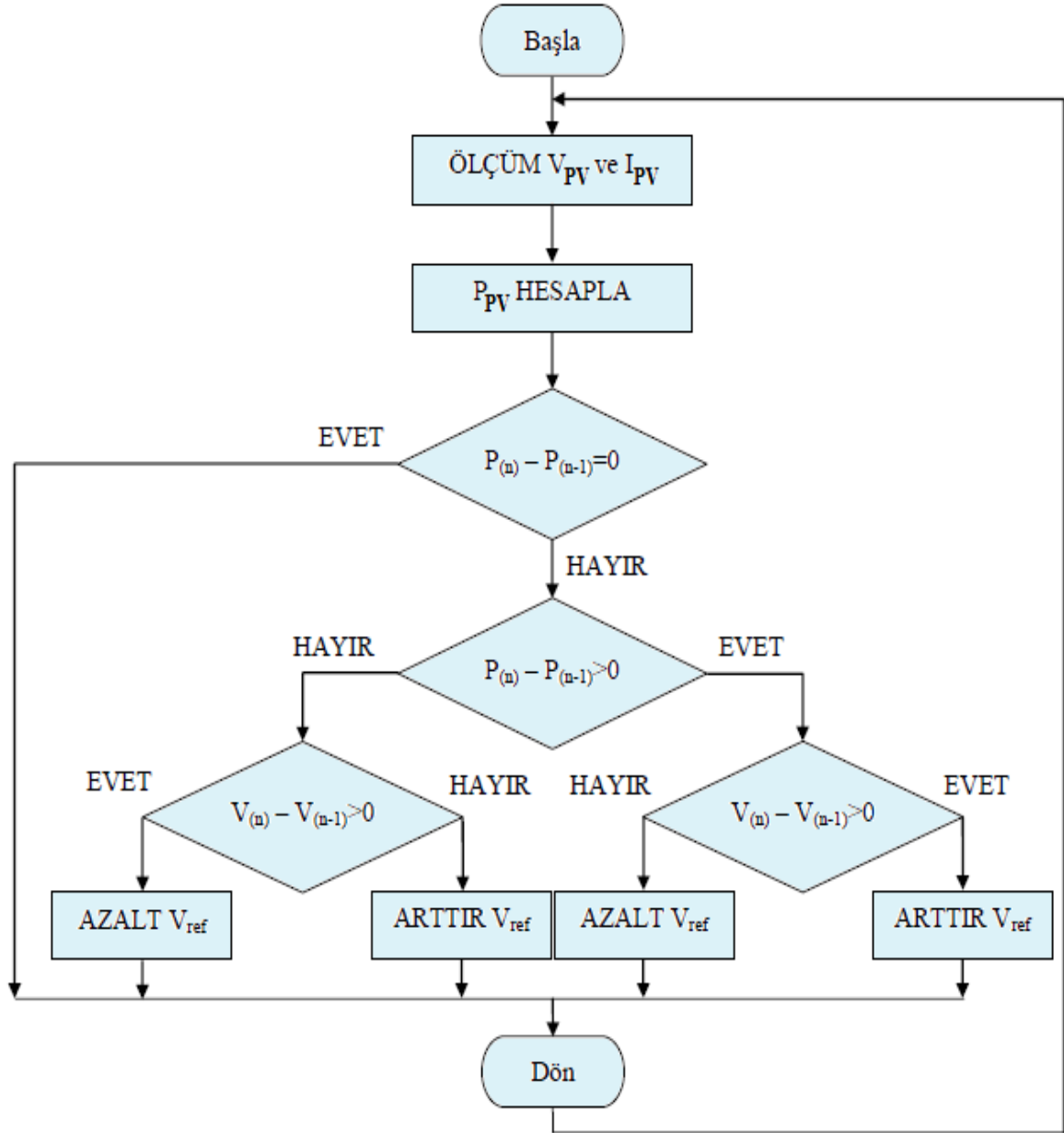
Şekil 3-26. Açık gerilim metodu blok diyagramını

3.2.5.4. Değiştir-Gözle (Perturbation and Observation-P&O) algoritması

Değiştir - gözle algoritması doğrudan kontrol algoritmaları içinde en sık kullanılan kontrol algoritmasıdır. Çeşitli akış diyagramları ile uygulanan bu yöntem de sürekli olarak çıkış gücü izlemesi yapılır. Gücün değişimine göre kullanılan denetleyicinin referans işareti artırılıp azaltılarak maksimum çıkış gücü alınması hedeflenmektedir. Şekil 3-27’de değiştir-gözle (P&O) algoritması blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3-27. Değiştir-Gözle (P&O) algoritması blok diyagramını



Şekil 3-28. P&O algoritmasının çalışma diyagramı

Maksimum güce ulaşmak için akım yâda gerilim değerlerinden birisi referans olarak seçilebilir. Şekil 3-28’de verilen çalışma diyagramında, ilk etapta panel akımı ve gerilimi okunarak panel gücü hesaplanır. Ölçülen panel gerilimi referans gerilim değeri olarak alınır. İkinci etapta PV sistemin gücü belirlenen miktar kadar artırılır ve tekrar panelin gücü ölçülür. Bir önceki güç değeri ile bir sonraki güç değeri ölçülerek karşılaştırılır. Fark pozitif ise maksimum güç noktasına yaklaşıldığı anlamına gelmekte ve gücün değişiminin pozitif eğimli olduğu süre boyunca panel gerilim değeri artırılarak işlem yapılır. Güçteki fark negatif ise maksimum güç noktasından uzaklaşıldığı anlamına gelir ve panel gerilim değeri

belirlenen miktarlarda azaltılarak sürekli olarak maksimum güç noktasında çalışmak amaçlanır (Çetinbaş, 2014).

P&O yönteminde sistem sürekli olarak maksimum güç noktasına ulaşabilmek için değiştir-gözle işlemi yapacaktır. Maksimum güç noktasına ulaşıldığı durumda bile referans değerler sürekli değişecek ve sabit bir noktada çalışma mevcut olmayacaktır. Bunun sonucunda MPP noktasında sürekli salınım yapacak ve güç kaybına neden olacaktır. Ayrıca hızlı değişen atmosferik koşullarda yavaş tepki vermektedir. Şekil 3-28'de P&O algoritmasının çalışma diyagramı görülmektedir.

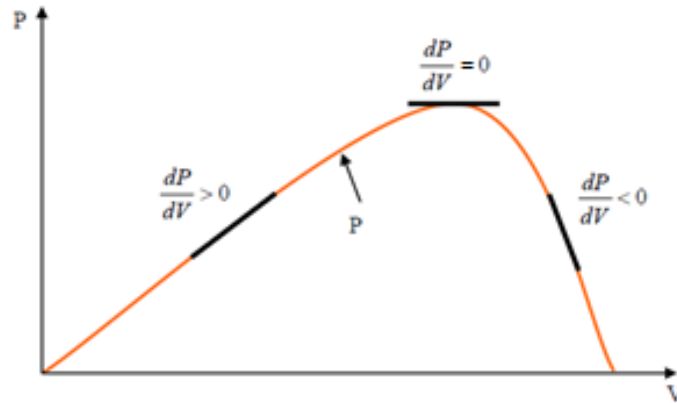
3.2.5.5. Artan iletkenlik metodu

Bu algoritma maksimum güç noktasını gözleme tekniğine dayanır. Atmosferik koşullardaki değişimleri hızlı bir şekilde algılamak için önerilmiştir. Artan iletkenlik algoritması PV'nin azar azar artan ve anlık iletkenliğinin karşılaştırılması ile maksimum güç noktasının takip edilmesi prensibine dayanır. PV'nin ürettiği akım ve gerilim değerlerindeki örnek değişimleri azar azar artan iletkenliği de değiştirebilecektir. Şekil 3-29'de artan iletkenlik metodu blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3-29. Artan iletkenlik metodu blok diyagramını

Bu metot gerilime bağlı olarak PV gücündeki değişimi görmek ve sonucu sıfıra ayarlamaktır. Bu durum Şekil 3-30'de gösterilmektedir.



Şekil 3-30. PV panelin dP/dV değişimini gösteren P-V karakteristik eğrisi

İletkenlik;

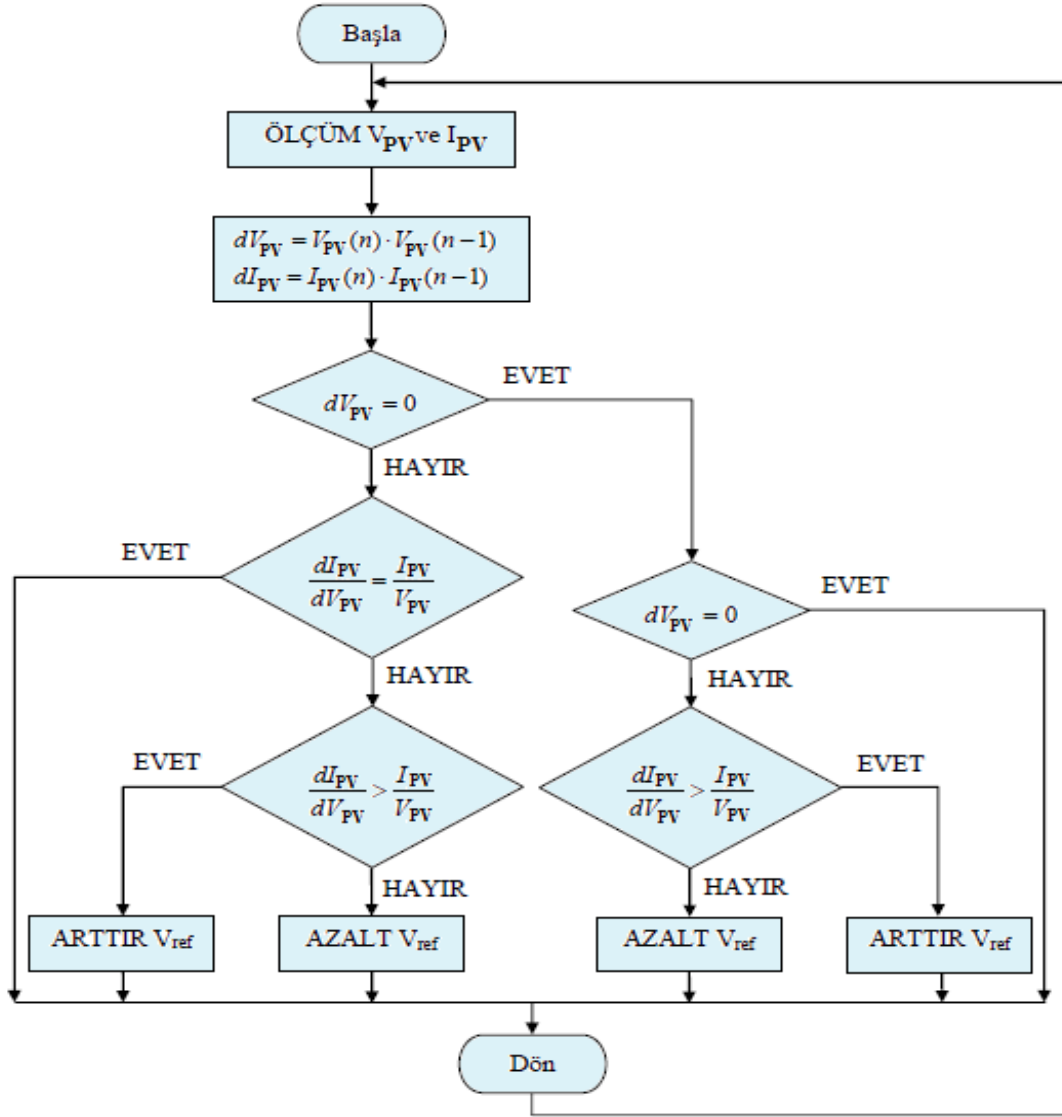
$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} \cdot \frac{dV_{PV}}{dV_{PV}} + V_{PV} \cdot \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \cdot \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \quad (3.14)$$

$$-\frac{I_{PV}}{V_{PV}} = \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \quad (3.15)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Anlık iletkenliğin zıtlığı görülmektedir. Diğer taraftan artan değişkenler olan dV_{PV} ve dI_{PV} 'nin her ikisi anlık yapılan ölçümlerle bir önceki yapılmış anlık ölçümlerin karşılaştırılması ile elde edilir.

$$dV_{PV}(n) = V_{PV}(n) - V_{PV}(n-1) \quad (3.16)$$

$$dI_{PV}(n) = I_{PV}(n) - I_{PV}(n-1) \quad (3.17)$$



Şekil 3-31. Artan iletkenlik metodu çalışma diyagramı

PV'nin türevinin analiz edilmesi ile PV'nin maksimum güç noktasında yada bu noktadan uzak olarak çalıştığı test edilebilir.

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} > 0 \text{ için } V_{PV} < V_m \quad (3.18)$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \text{ için } V_{PV} = V_m \quad (3.19)$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} < 0 \text{ için } V_{PV} > V_m \quad (3.20)$$

olur. Şekil 3-31’de artan iletkenlik metodunun çalışma diyagramı görülmektedir.

Artan iletkenlik metodunun en önemli avantajı hızlı değişen atmosferik koşullara uyum sağlayabilmesi ve MPPT’de meydana gelen osilasyonun saptır-gözle metodundan çok daha az olmasıdır. Ancak artan iletkenlik kontrol metodu ile denetlenen devreler biraz daha karmaşık ve pahalıdır. Verimleri ise saptır-gözle yöntemi ile yaklaşık olarak aynı fakat sabit gerilim yönteminden daha yüksektir.

3.2.5.5. Sıcaklık Metodu

Açık devre gerilimi V_{OC} hücre sıcaklığı ile değişir, fakat kısa devre akımı, ışınım seviyesi ve hücre sıcaklık değişimleri üzerinde nispeten doğru orantılı olarak değişmez. Açık devre gerilimi;

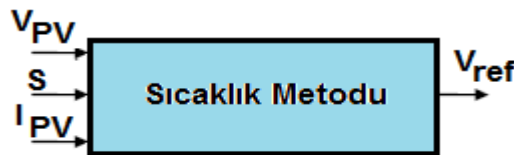
$$V_{oc} \cong V_{OCSTK} + \frac{dV_{oc}}{dT_{PV}} \cdot (T_{PV} - T_{STKPV}) \quad (3.21)$$

İle ifade edilmektedir. Burada, V_{OCSTK} Standart Test Koşulları (STK) altındaki açık devre gerilimi, $(dV_{oc}/dT_{PV})=0,08$ V/K sıcaklık gradyanı ve T_{STKPV} ise STK altındaki hücre sıcaklığıdır. Diğer taraftan, her çalışma koşulunda MPPT gerilimi;

$$V_m = [(u + S \cdot v) - T_{PV} \cdot (w + S \cdot y)] \cdot V_{m_STK} \quad (3.22)$$

İle ifade edilmektedir. Burada u , v , w ve y optimum gerilim denklem parametreleri ve V_{m_STK} STK altında MPPT gerilimidir. %0,1-0,2 kW/m^2 ışınım için $u=0,43404$, $v=0,1621$, $w=0,00235$ ve $y=-6 \cdot 10^{-4}$ ’dür.

Sıcaklık parametrik denklem metodu T_{PV} ve S değerlerini ölçerek anında MPPT gerilimini belirler. Sıcaklık parametrik metodu ayrıca S güneş ışınlanmasını gerektirir. Şekil 3-32’de sıcaklık metodu blok diyagramını göstermektedir.

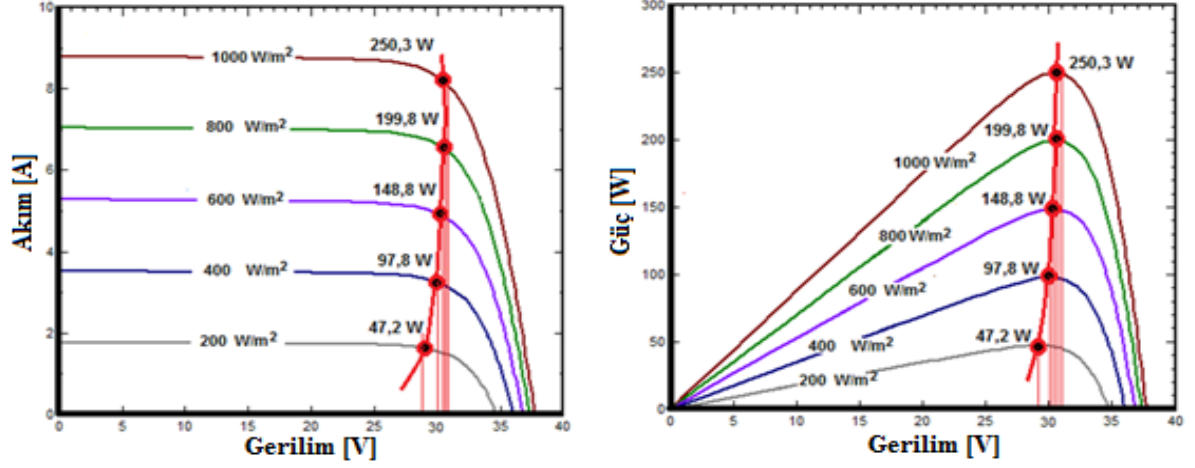


Şekil 3-32. Sıcaklık metodu blok diyagramını

3.2.6. Matlab/Simulink ile MPPT uygulaması

Şekil 3-33’de akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristiklerinde MPPT değerleri görülmektedir. PV panelimiz nominal çalışma şartları olan 1000 W/m^2 ışınım ve 25°C

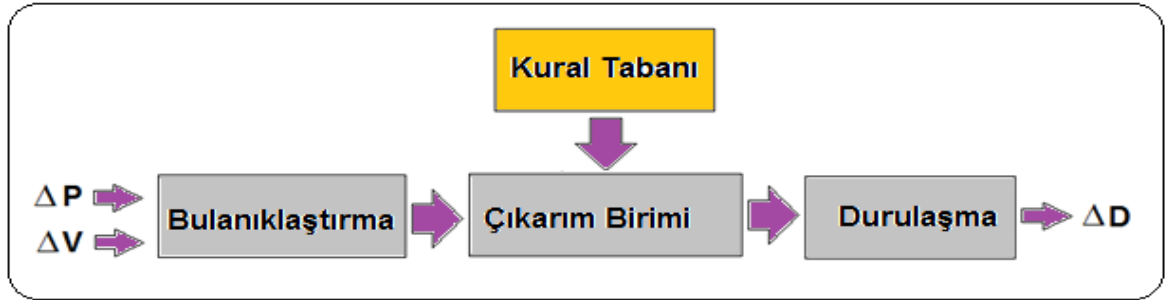
sıcaklık için 250,3 Watt güç üretmektedir. Sabit 25°C sıcaklık için ışınım 800 W/m² değeri için 199,9 W, 600 W/m² değeri için 148,8 W, 400 W/m² değeri için 97,8 W ve 200 W/m² değeri için 47,2 Watt olarak hesaplanmıştır. Işınımın değişmesi voltajda çok fazla değişikliğe neden olmamakta ancak akımın ve gücün çok değişmesine neden olmaktadır.



Şekil 3-33. Akım- Gerilim ve Güç-Gerilim karakteristikleri

3.2.6.1. Bulanık mantık denetleyici

Bulanık mantık denetleyicisi (BMD), genel yapısıyla bulandırma, çıkarım, durulama ve bilgi tabanı olmak üzere dört temel bileşenden oluşmuştur. Genel bir BMD blok diyagramı Şekil 3-34'de verilmiştir. BMD iki giriş değişkenleri (ΔP , ΔV) ve bir çıkış değişkeni (ΔD) ile tasarlanmıştır.



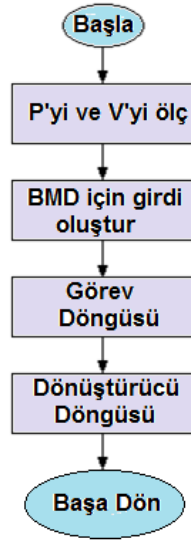
Şekil 3-34. BMD blok diyagramı

$$\Delta P = [P(k) - P(k - 1)]. K_1 \quad (3.23)$$

$$\Delta V = [V(k) - V(k - 1)]. K_2 \quad (3.24)$$

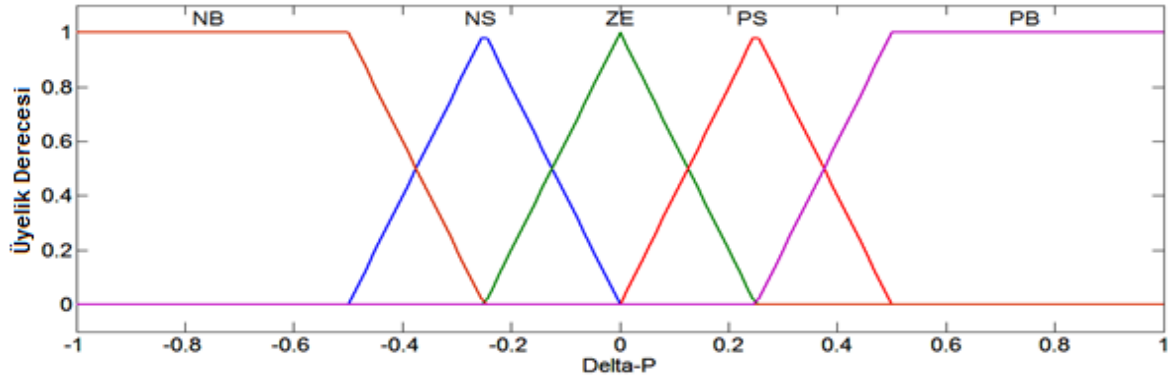
$$D(k + 1) = [D \pm \Delta D]. K_3 \quad (3.25)$$

Bu ifadelerde k zaman indeksi, P(k), PV jeneratörün anlık gücü, V(k) anlık voltaj ve K₁, K₂, K₃ kazanç katsayısıdır. Kontrol akış şeması Şekil 3-35 'de gösterilmiştir.

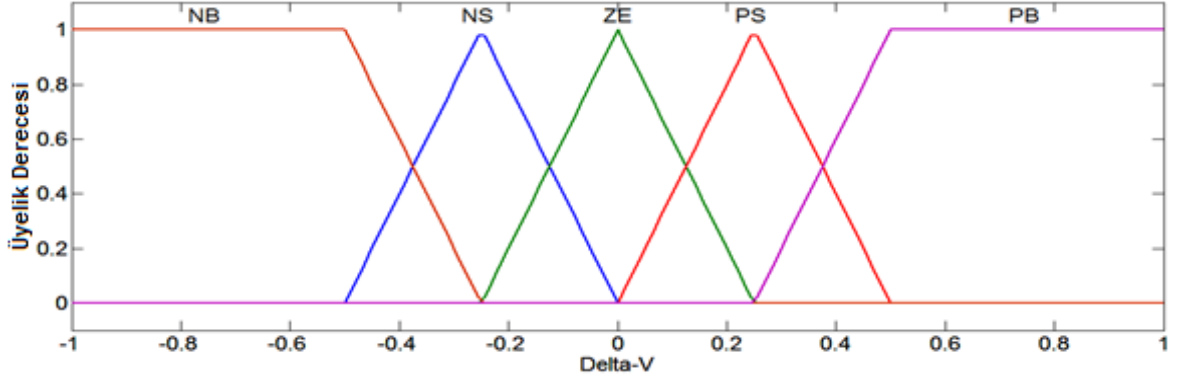


Şekil 3-35. BMD algoritması kontrol akış şeması

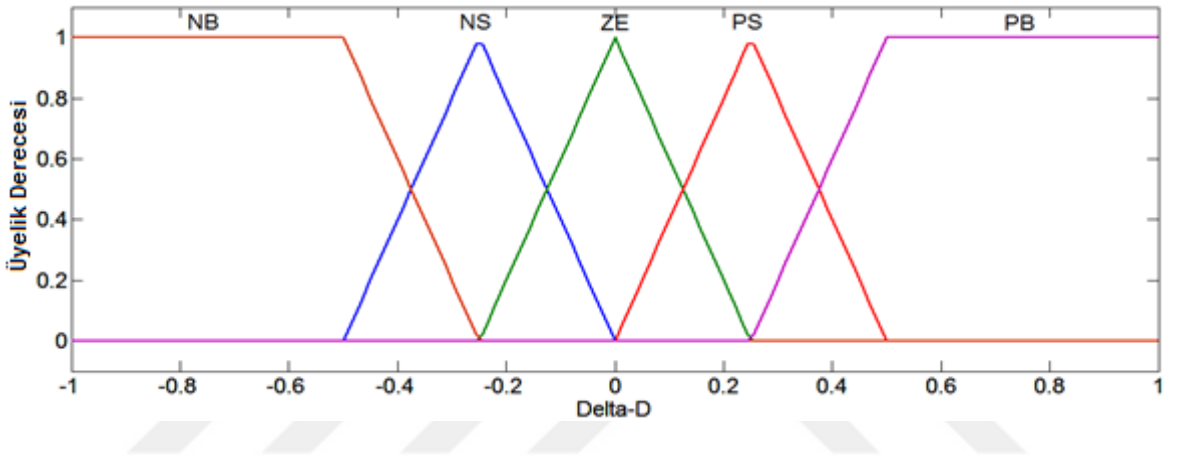
Girişler beş bulanık küme yoluyla dilsel değişkenlere atanır. Değişkenler ile ilişkili dilsel terimler NB (büyük negatif), NS (küçük negatif), ZE (sıfır), PS (pozitif küçük) ve PB (pozitif büyük) dir. Tüm üyelik fonksiyonları -1 ve giriş ölçekleme faktörleri K_1 ve K_2 ve çıkış ölçeklendirme faktörü K_3 vasıtasıyla 1 aralıkta tanımlanır. Şekil 3-36ve Şekil 3-37'de giriş üyelik fonksiyonları, Şekil 3-38'de çıkış üyelik fonksiyonu görülmektedir.



Şekil 3-36. Bulanık mantık giriş üyelik fonksiyonu (ΔP)

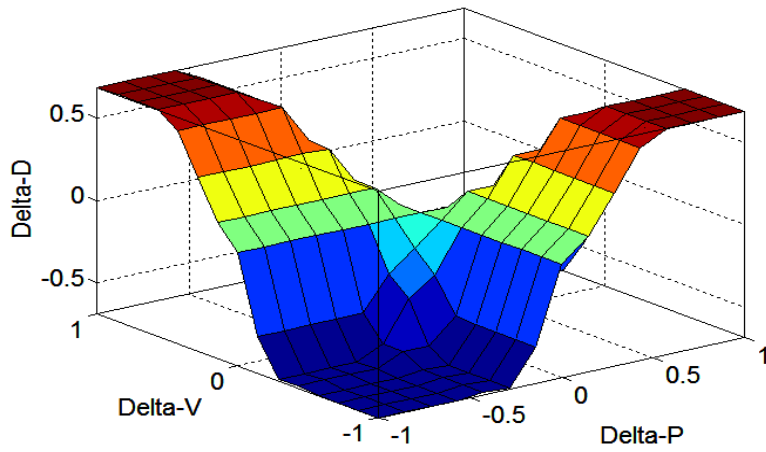


Şekil 3-37. Bulanık mantık giriş üyelik fonksiyonu (ΔV)



Şekil 3-38. Bulanık mantık çıkış kontrol fonksiyonu (ΔD)

BMD Kontrol yüzeyi, giriş işaretleri (ΔP) ve ΔV ile çıkış işareti (ΔD) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 3-39'de BMD kontrol yüzeyi görülmektedir.



Şekil 3-39. BMD kontrol yüzeyi

Bulanık çıkarım birimi, bulandırma biriminden gelen bulanık değerleri, kural tabanındaki kurallar üzerinde uygulayarak bulanık sonuçlar üretilmektedir. Girişler ve çıkışlar arasındaki bağlantılar, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır. Bu birimde elde edilen değer kural tablosundan dilsel ifadeye çevrilir ve durulama birimine gönderilir. Bulanık çıkarım yöntemleri içerisinde en yaygın kullanılan ve bu çalışmada da kullanılan yöntem Mamdani yöntemidir.

Tablo 3-3. Bulanık mantık kural tablosu

Güç Değişimi (ΔP)	Voltaj Değişimi (ΔV)				
	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	ZE	PS	PB
NS	NB	NS	ZE	PS	PS
ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
PS	PS	PS	ZE	NS	NB
PB	PB	PS	ZE	NB	NB

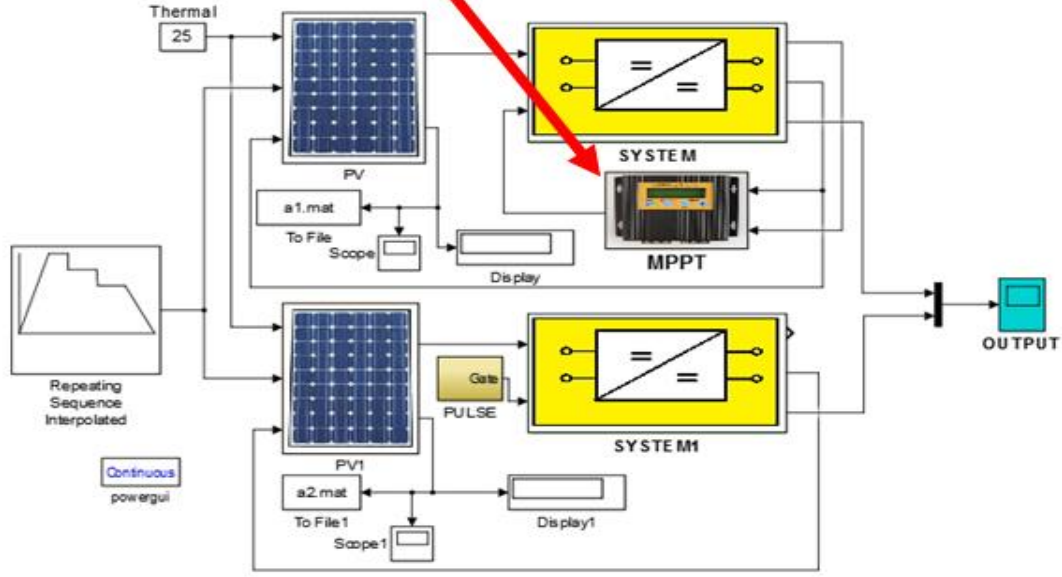
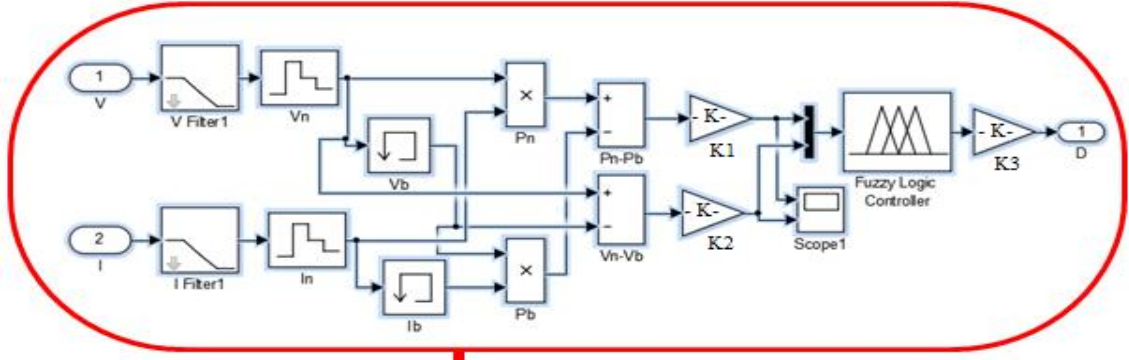
Durulama işleminde değişik yöntemler esas alınmaktadır. Bu yöntemlerden ağırlık merkezi yöntemi en yaygın kullanılan durulama yöntemidir.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \cdot \mu_A(D_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_A(D_i)} \quad (3.26)$$

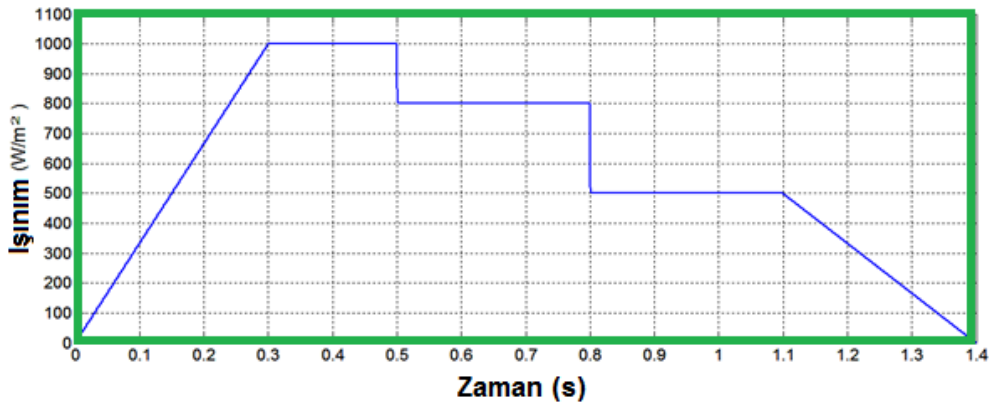
3.2.6.2. BMD tabanlı MPPT'nin Matlab/Simulink ile modellenmesi

Matlab/Simulink ile yapılan BMD tabanlı MPPT uygulamasında, MPPT kullanılan ve kullanılmayan iki sistem karşılaştırılmıştır. Her iki sistemde aynı ışınım değerleri giriş olarak girilmiş ve elde edilen güç çıkış olarak karşılaştırılmıştır. Her iki sistem MPPT dışında aynı özelliklere sahiptir. Bu çalışma MPPT'nin ne kadar fayda sağladığını ortaya koymaktadır.

Çalışmada MPPT algoritması olarak, değiştir - gözle algoritması (P&O) kullanılmıştır. Değiştir - gözle algoritması doğrudan kontrol algoritmaları içinde en sık kullanılan kontrol algoritmasıdır. Çeşitli akış diyagramları ile uygulanan bu yöntem de sürekli olarak çıkış gücü izlemesi yapılır. Gücün değişimine göre kullanılan denetleyicinin referans işareti artırılıp azaltılarak maksimum çıkış gücü alınması hedeflenmektedir. Şekil 3-40'de Matlab/Simulink ile yapılan MPPT uygulaması ve Şekil 3-41'da test işareti olarak kullanılan ışınım değerleri görülmektedir.



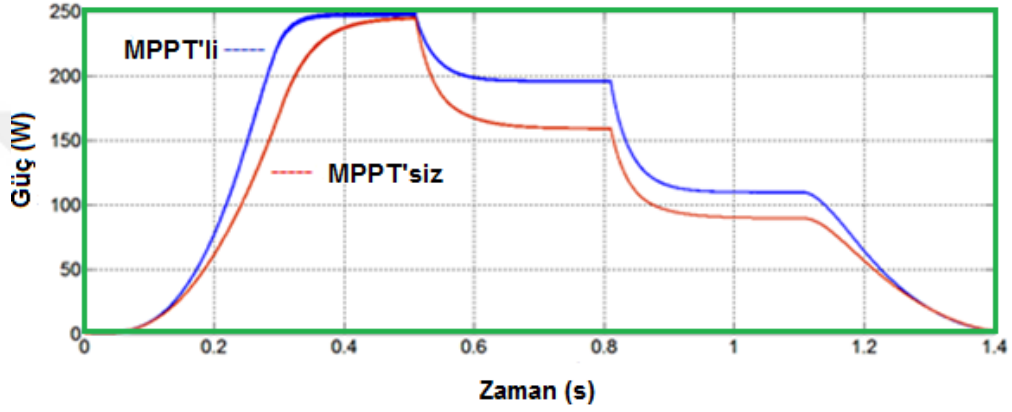
Şekil 3-40. Matlab/Simulink ile yapılan MPPT uygulaması



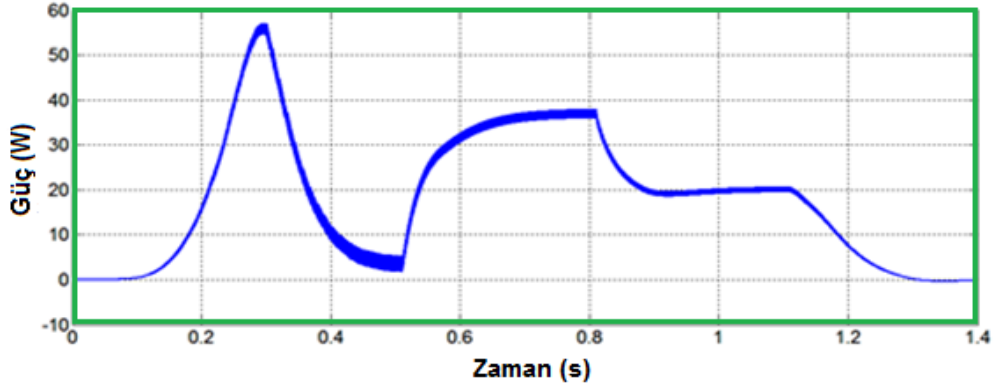
Şekil 3-41. Test işareti olarak ışıınım değerleri

Şekil 3-41’da Bulanık mantık ile oluşturulan MPPT nin performansının test edilmesi için Matlab/Simulink de yapılan sistemin giriş değişkeni olarak ışıınım ele alınmıştır. Işıınımın değişimi üretilen gücü, akımı ve enerjiyi doğrudan etkilemektedir. 0-0,3 s aralığında ışıınım değeri 0 dan 1000 W/m² ye kadar doğrusal olarak artırılmış ve nominal

çalışma şartları sağlanmıştır. 0,5 sn.den itibaren ışınım 800 W/m^2 düşürülmüş ve MPPT li ve MPPT siz sistemin vermiş oldu tepki incelenmiştir. 0,8 sn.den itibaren ışınım 500 W/m^2 düşürülmüş ve her iki sistemin çıkışı incelenmiştir. Son olarak 1,1 sn.den sonra ışınım 3sn içinde 0'a doğrusal olarak indirilmiş sistemlerin performanları incelenmiştir. Test için oluşturulan ışınım işaretinde , ışınımın doğrusal artması, nominal çalışma değeri, sabit ışınım değeri, düşük ışınım değeri ve ışınımın doğrusal azalması şartları sağlanmıştır. Şekil 3-42'de MPPT'li ve MPPT'siz sistemlerin güç çıkışı ve Şekil 3-43'de aralarındaki fark görülmektedir.



Şekil 3-42. Modelden elde edilen güç çıkış işaretleri



Şekil 3-43. MPPT'li ile MPPT'siz arasındaki fark

MPPT kullanılan sistem bütün çalışma şartlarında MPPT'siz sistemden daha fazla güç üretmiştir. Işınım 0'dan 1000 W/m^2 çıktığı 0-0,3 zaman aralığında MPPT ile %34 ışınım 1000 W/m^2 ve sabit olduğu 0,3-0,5 zaman aralığında MPPT ile %9,2 ışınım 800 W/m^2 ve sabit olduğu 0,5-0,8 zaman aralığında MPPT ile %28,6 ışınım 500 W/m^2 ve sabit olduğu 0,8-1,1 zaman aralığında MPPT ile %38,6 ışınım 500 W/m^2 'den 0'a düştüğü 1,1-1,4 zaman aralığında MPPT ile %30,9 daha fazla enerji elde edilmiştir. Toplam test süresi olan 0-1,4

zaman aralığında %29,62 daha fazla enerji elde edilmiştir. Matlab/Simulink ile yapılan bulanık mantık tabanlı değiştir - gözle algoritmali (P&O) MPPT kullanılmış ve %29,62 kazanç sağlanmıştır.

Tablo 3-4. Sonuç tablosu

Zaman (s)	P1 (W)	P2 (W)	P1-P2 (W)	Kazan%
0-0,3	63	47	16	34
0,3-0,5	248	227	21	9,2
0,5-0,8	225	175	50	28,6
0,8-1,1	140	101	39	38,6
1,1-1,4	55	42	13	30,9

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Kahramanmaraş Koşullarında GES Gerçekleştirilmesi

Üniversitemiz Avşar Yerleşkesine (N 37° 34' 48", E 36° 55' 12") 10 kW gücünde (40 adet 250 W gücünde fotovoltaik panel) enerji sistemi kurulmuş ve şebeke bağlantısı yapılmıştır. Üretilen elektrik enerjisinin üniversite şebekesine doğrudan bağlantısı sağlanmıştır. Panellerden 20 tanesi güneş izleyici (sun tracker) denilen sistem ile yerleştirilmiştir. Diğer 20 tanesi sabit taşıyıcı sistem üzerine yerleştirilmiştir. Güneş izleyici sistem tek eksenli olarak yılın her günü tam olarak güneşe yönelmektedir. Güneş izleyici sistemlerin %33 civarında daha iyi ışınım yakaladığı ve daha fazla elektrik ürettiği tespit edilmiştir. Her iki panel grubunun Kahramanmaraş şartlarında verim bakımından karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

Kurulan sistem sadece fotovoltaik olmayıp, sistemin test edilmesini sağlayan sensörleri de içermektedir. Güneş izleyicili sistem ve sabit sistemin ürettiği elektrik, ortam sıcaklığı ve ışınım değerleri internet bağlantısı sayesinde sunucu bilgisayara kaydedilmekte ve yetkilendirilen bilgisayarlardan an be an takip edilebilmektedir. Kahramanmaraş için ısı ve ışınım değerleri gerçek zamanlı olmak üzere kaydedilmekte ve Kahramanmaraş'ın güneş enerjisi açısından gerçek potansiyeli çıkarılmaktadır.

Ayrıca fotovoltaik paneller Doğru Akım (DC) elektrik üretmektedir. Kurulan sistemde DC elektrik üç fazlı Alternatif (AC) tipi elektrik enerjisine invertör denilen cihazlarla dönüştürülmekte ve şebeke ile bağlantı kurulmaktadır. Tasarım ve üretim safhasında verimi artırıcı etkenlerin dikkate alınmıştır. Şekil 4-1'de doktora çalışmaları kapsamında yapımı tamamlanan güneş enerji santrali görülmektedir.

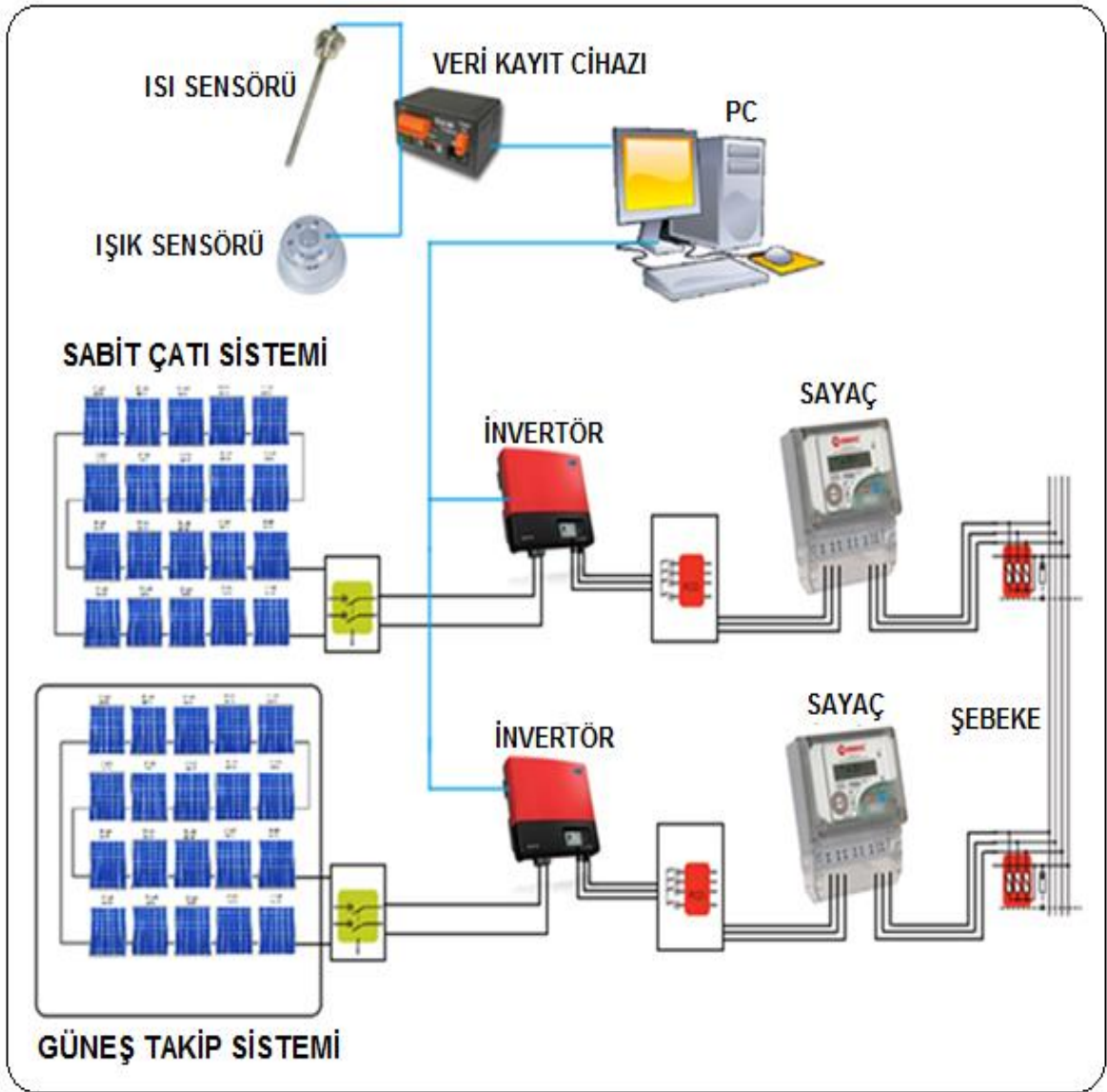


Şekil 4-1. KSÜ güneş enerji santrali

4.2.Güneş Enerjisi Santral Özellikleri

- 40 adet 250 Wattlık polikristal fotovoltaik panel (10 kW)
- 20 adet panel Güneş takip sistemi için (5 kW)
- 20 adet panel sabit çatı sistemi için (5 kW)
- Sistem şebeke bağlantılı, iki adet üç fazlı invertör.

Doktora çalışmasının uygulamaları için, üniversitemiz bilimsel araştırma projeleri komisyonunun 06.12.2013 tarih ve 2013/6 numaralı kararı ile onaylanan 2013/6-42 A numaralı, “Şebeke Bağlantılı 10 kW Gücünde Fotovoltaik Jeneratörün Tasarımı, Kurulumu, Maliyet ve Verimlilik Analizi “ başlıklı araştırma altyapı projesi kapsamında yapılan güneş enerjisi santrali kullanılmıştır. Santralin şeması Şekil 4-2’de görülmektedir.

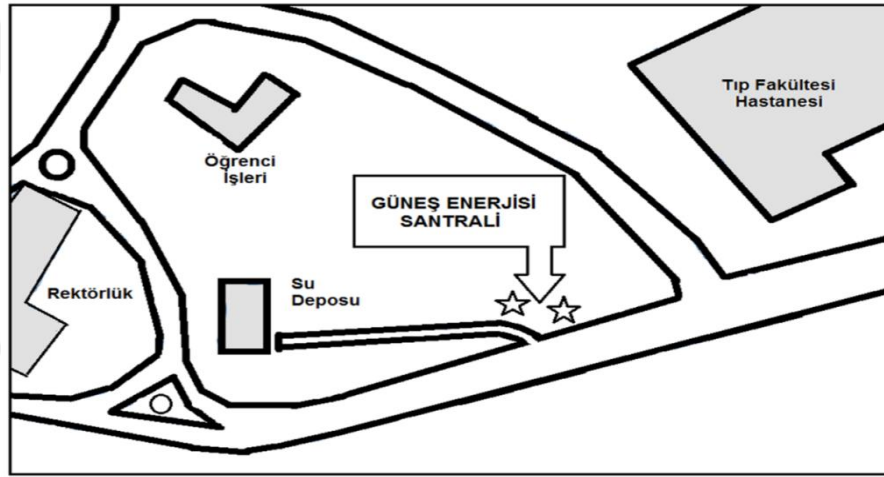


Şekil 4-2. Fotovoltaik jeneratörün şeması

4.3.Fizibilite

4.3.1.Güneş enerjisi sistem yerleşim planı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesine (N 37° 34' 48", E 36° 55' 12") kurulu gücü 5 kWp olan sabit çatı sistemi ve kurulu gücü 5 kWp olan güneş takip sisteminden oluşan, 10 kWp gücünde güneş enerji santrali kurulmuştur. Sistem şebeke bağlantılı olup 3 fazlı 2 adet 5,8 kW gücünde invertör vardır. İnvörtörlerde üretilen enerji, güç, akım, gerilim, frekans veri kaydedici (data logger) yardımıyla ayrı ayrı kaydedilmektedir. Ayrıca sensörlerden alınan sıcaklık ve ışınım değerleri de kaydedilmektedir. Kaydedilen veriler internet ortamında veya akıllı cep telefonları yardımı ile izlenebilmektedir. Şekil 4-3'de ve Şekil 4-4'de Fotovoltaik Jeneratörün yerleşim planı ve Şekil 4-5'de kurulduğu alan görülmektedir.



Şekil 4-3 Fotovoltaik jeneratörün yerleşim planı



Şekil 4-4. Fotovoltaik jeneratörün yerleşim planı



Şekil 4-5. Fotovoltaik jeneratörün kurulduğu alan

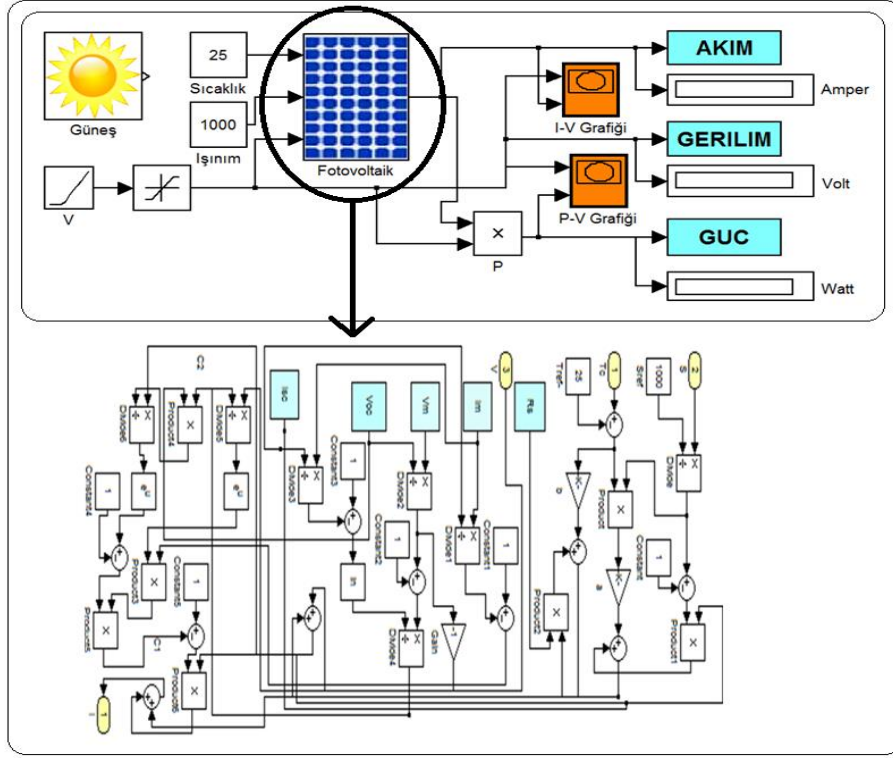
4.3.2. Güneş enerjisi santrali yer seçimi

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesine içinde aşağıdaki faktörlere dikkat edilerek yer seçimi yapılmıştır.

- a)Gölgelenme
- b)Trafoya Yakınlık
- c)Görsellik
- d)Güvenlik

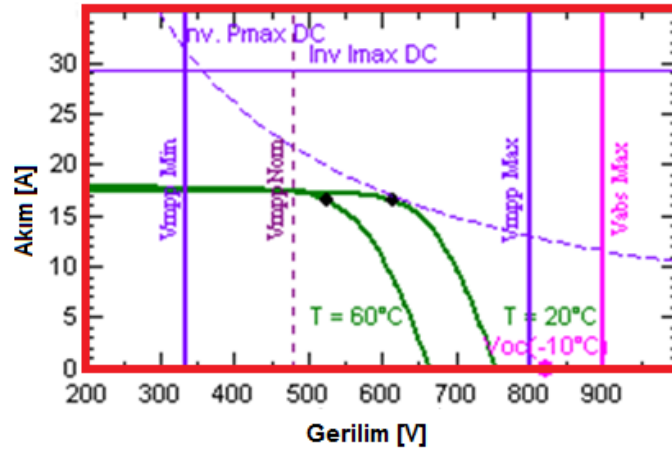
4.3.3. Güneş enerjisi sisteminin modellemesi ve simülasyon çalışmaları

Güneş enerjisi santrali fizibilite çalışmaları kapsamında, kurulumun gerçekleştirileceği Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesi (37,58 N - 36,82 E) iklim değerlerine göre simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Matlab/simulink, PVSYST, PVSOL, HOMER ve POLYSUN yazılımları ile modelleme ve simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Özellikle PVSYST yazılımı ile performans ve maliyet analizi yapılmıştır. Şekil 4-6'de bir PV panel için Matlab/Simulink ile yapılan modelleme görülmektedir.



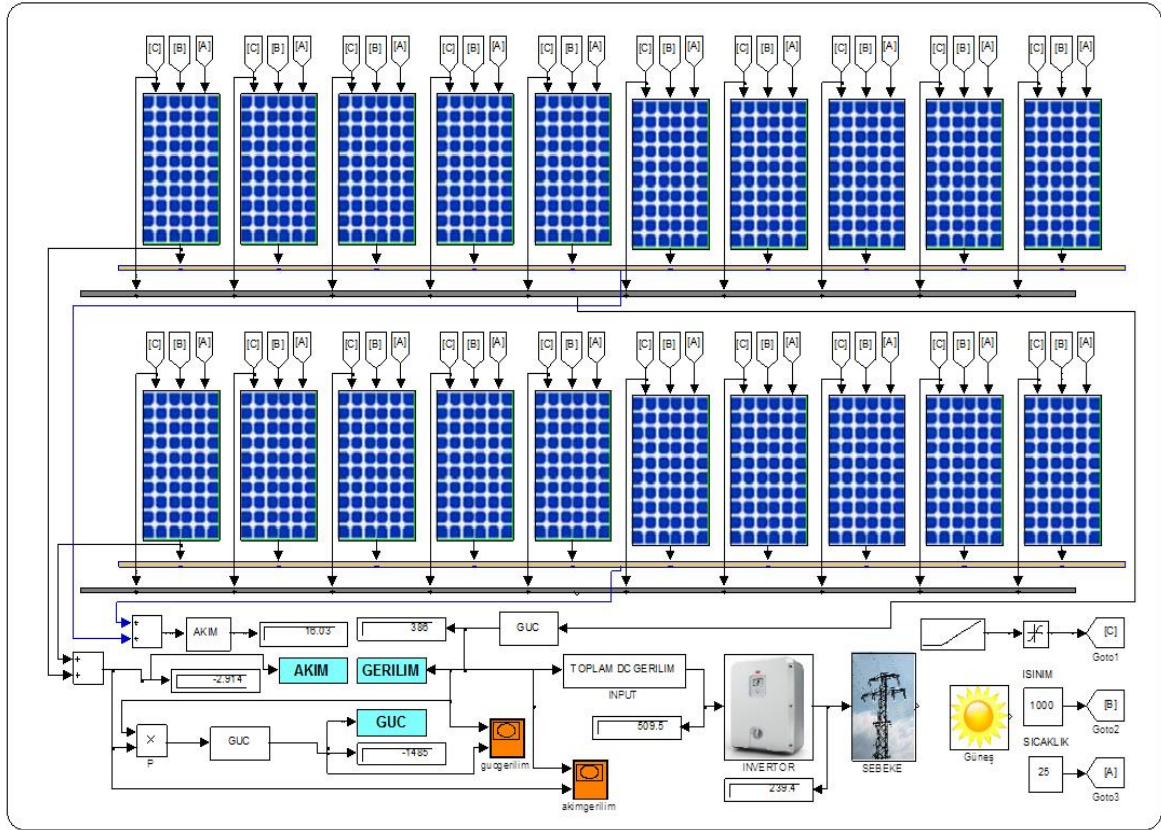
Şekil 4-6. Bir PV panel için Matlab/Simulink ile yapılan modelleme

Fotovoltaik sistemin performansını etkileyen ışınım ve sıcaklık değerleri için Kahramanmaraş'ta ölçülmüş geçmiş tarihli datalar kullanılmıştır. Yapılan simülasyon çalışmaları ile tesisin üreteceği enerji, kayıplar, gölgelenme faktörü ve sistemin performans analizi yapılmıştır. Fotovoltaik jeneratör için panel bağlantıları ve invertör uyumu için gerekli olan voltaj planlaması Şekil 4-7'de görülmektedir. Invertörün giriş geriliminin en az değeri 340 V, en fazla değeri 800 V'dur. Kullanılacak panellerin 20 tanesi seri bağlandığında en fazla 750 V olmakta ve invertörün ideal gerilim girişi içinde kalmaktadır. Mevcut iletkenlerle en az kayıplı bir sistem için akım küçük, gerilim yüksek tutulur.

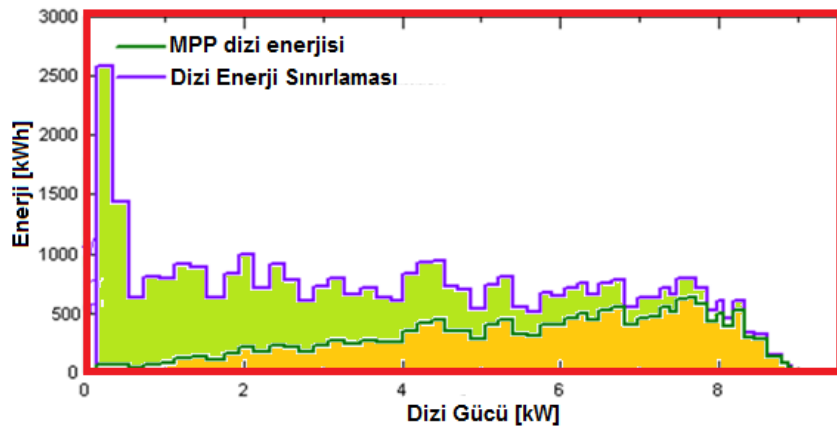


Şekil 4-7. Fotovoltaik jeneratörün için voltaj planlaması

Şekil 4-8’de 20 adet PV’den oluşan sistem için Matlab/Simulink ile yapılan modelleme görülmektedir. Fotovoltaik jeneratör için çıkış gücü analizi Şekil 4-9’de görülmektedir.

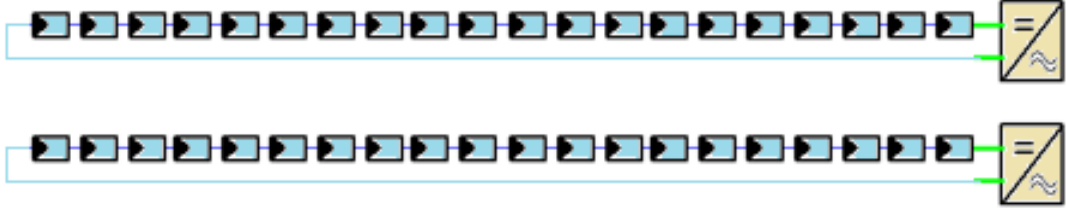


Şekil 4-8. 20 adet PV’den oluşan sistem için Matlab/Simulink ile yapılan modelleme



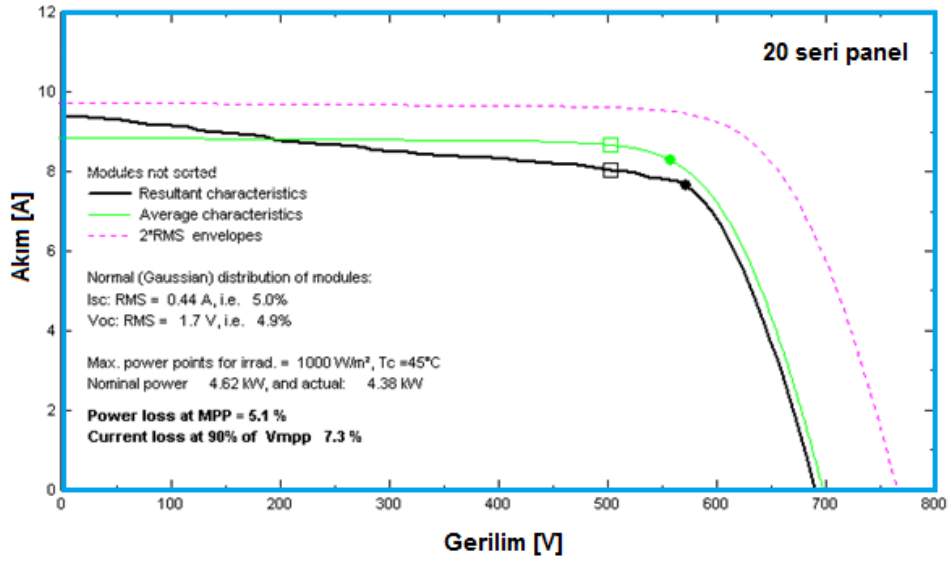
Şekil 4-9. Fotovoltaik jeneratörün çıkış gücü analizi

Fotovoltaik jeneratörün, invertörün ve panellerin değerleri incelenerek, 20 adet seri panelden oluşmasına karar verilmiştir. Sabit sistem 20 seri panel ve 1 invertörden, güneş takip sistemi 20 seri panel ve 1 invertörden oluşmaktadır. Şekil 4-10’da fotovoltaik jeneratörün bağlantı şeması görülmektedir.

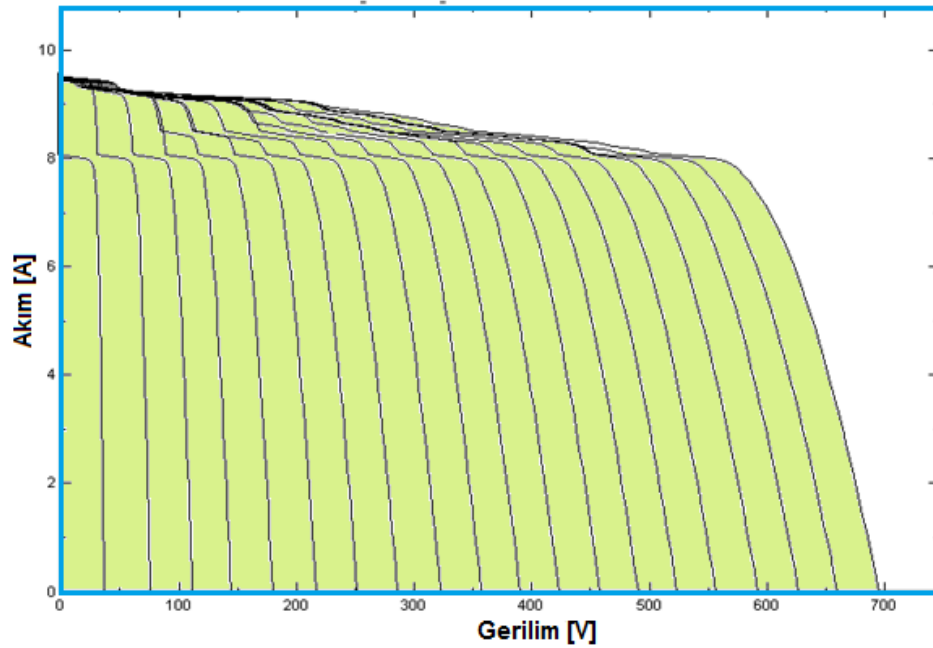


Şekil 4-10. Fotovoltaik jeneratörün bağlantı şeması

Planlama için gerekli olan panel grubunun akım-gerilim karakteristiği Şekil 4-11'de ve Şekil 4-12'de görülmektedir.



Şekil 4-11. Panel grubunun akım-gerilim karakteristiği

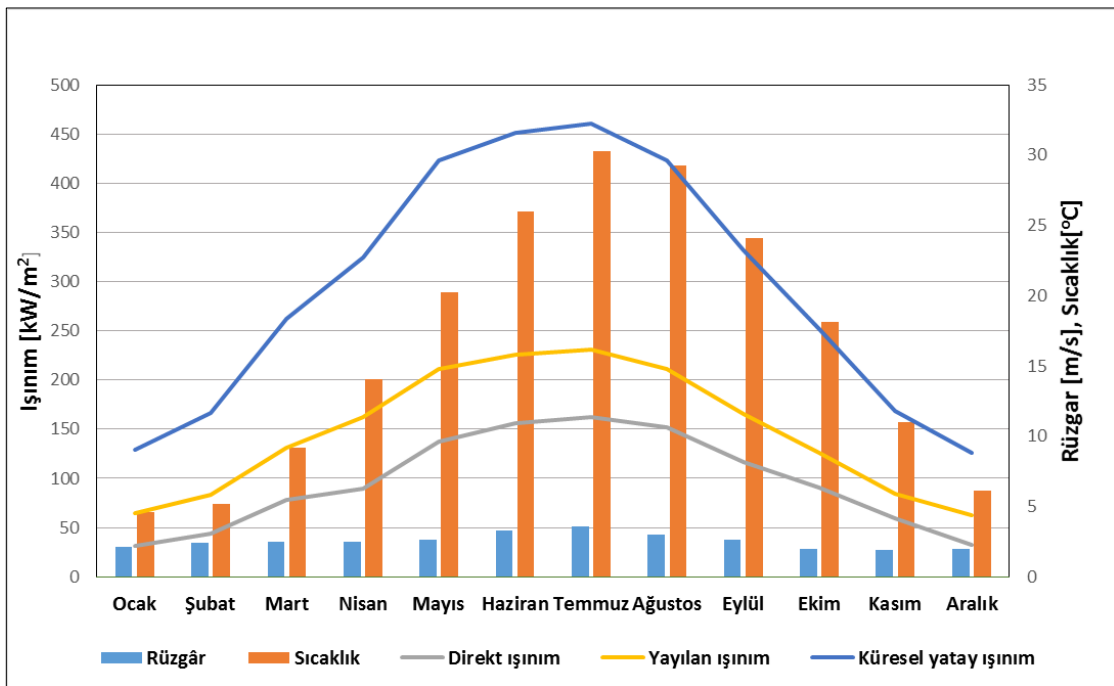


Şekil 4-12. Panel grubunun akım-gerilim karakteristiği

Güneş enerjisi santralının performansını etkileyen ışınım, sıcaklık ve rüzgâr değerleri Tablo 4-1’de görülmektedir.

Tablo 4-1. GES kurulan bölgenin iklim parametreleri (Web15, 2015)

	Rüzgâr [m/s]	Sıcaklık [°C]	Direkt Işınım [kWh/m ²]	Yayılan Işınım [kWh/m ²]	Küresel Yatay Işınım [kWh/m ²]
Ocak	2,1	4,61	31,6	32,92	64,5
Şubat	2,4	5,15	43,4	39,77	83,1
Mart	2,5	9,17	78,0	53,04	131,1
Nisan	2,5	14,02	89,1	73,02	162,1
Mayıs	2,6	20,27	137,5	74,00	211,5
Haziran	3,3	26,02	155,8	69,91	225,7
Temmuz	3,6	30,30	162,3	68,14	230,4
Ağustos	3,0	29,24	152,4	59,07	211,5
Eylül	2,6	24,10	116,9	48,85	165,8
Ekim	2,0	18,14	90,9	35,07	126,0
Kasım	1,9	10,97	59,8	24,44	84,2
Aralık	2,0	6,10	32,8	30,25	63,0
Yıllık	2,5	16,58	1150,6	608,47	1759,1

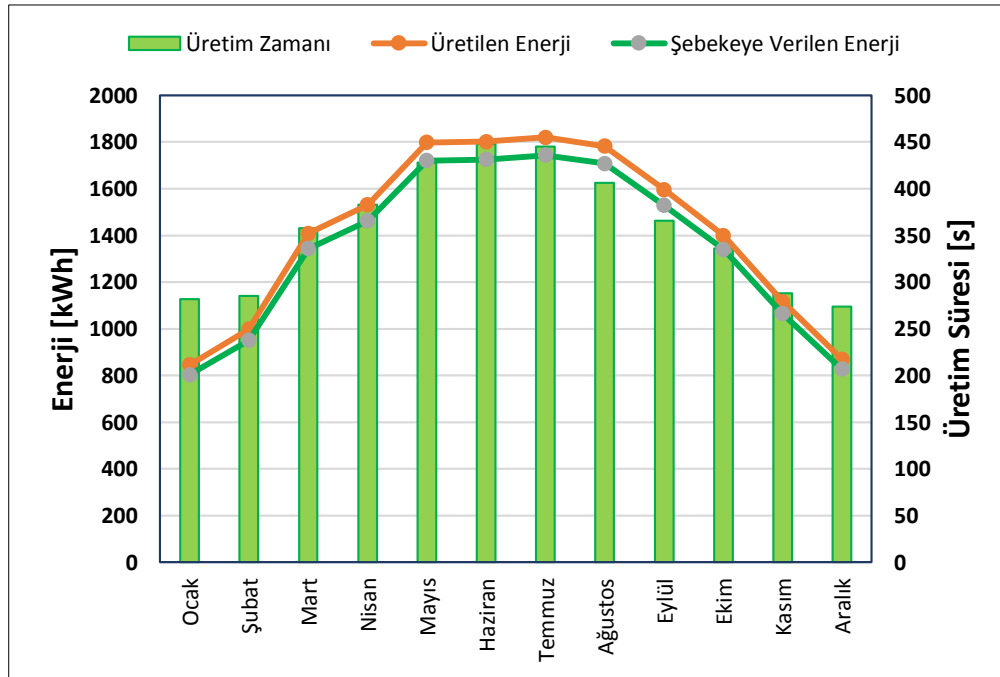


Şekil 4-13. GES kurulan bölgenin iklim özellikleri

Güneş enerjisi santralinin (GES) aylık üretim zamanları, invertör giriş ve şebekeye verilen enerjinin aylık değişimi Tablo 4-2’de görülmektedir. GES yıllık 4299 saat üretim yapmakta ve şebekeye 16216 kWh enerji vermektedir.

Tablo 4-2. GES planlanan üretim değerleri (PVSYST)

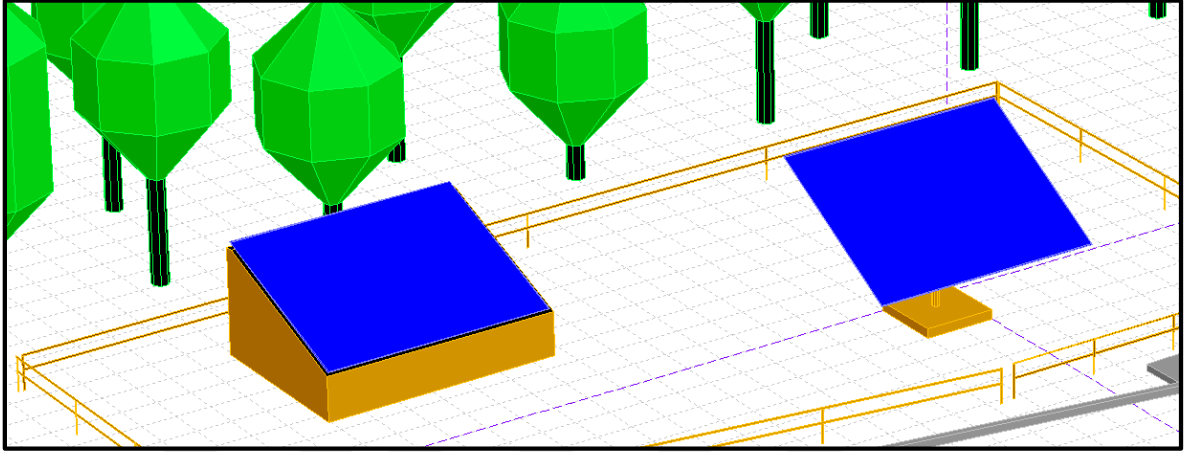
	Üretim Zamanı [s]	Üretilen Enerji [kWh]	Şebekeye Verilen Enerji [kWh]
Ocak	282	846	803
Şubat	285	999	951
Mart	358	1409	1344
Nisan	383	1531	1462
Mayıs	428	1798	1720
Haziran	448	1802	1725
Temmuz	445	1820	1743
Ağustos	406	1782	1708
Eylül	366	1596	1529
Ekim	336	1400	1340
Kasım	288	1116	1065
Aralık	274	870	827
Yıllık	4299	16968	16216



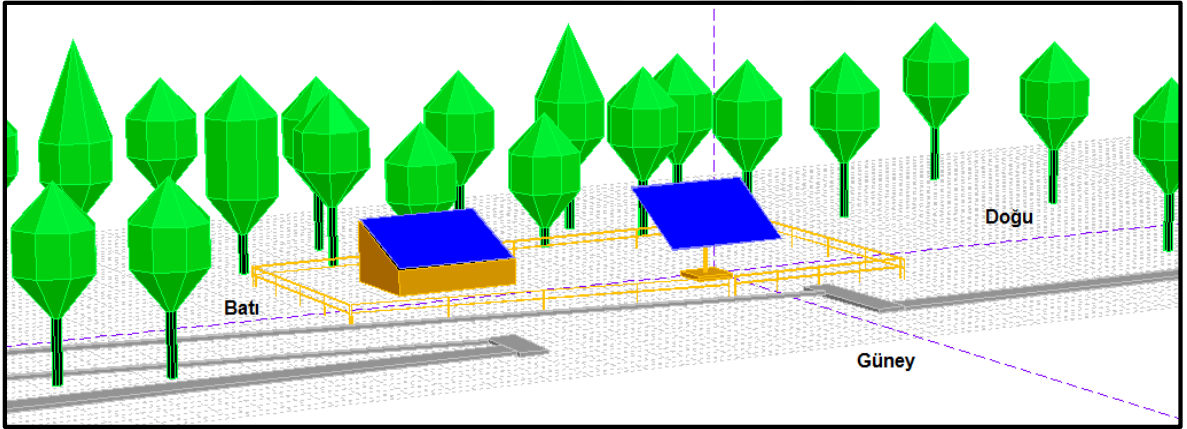
Şekil 4-14. GES planlanan üretim değerleri

4.3.4 Gölge Analizi (3D Model)

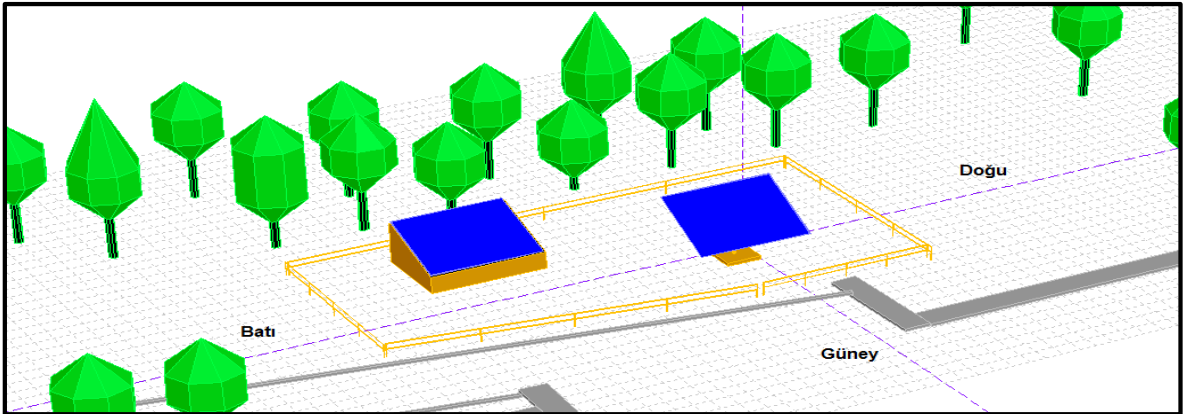
Güneş enerji santrallerinin fizibilite çalışmalarında en önemli adımlardan biri gölge analizi yapmaktır. Santralin kurulacağı bölge 3D olarak modellenir ve bir yıllık ışınım değerleri ile test edilir. PVSYST yazılımı ile gölge analizi yapmak için oluşturulan 3D model Şekil 4-15, Şekil 4-16 ve Şekil 4-17’de görülmektedir.



Şekil 4-15. 3D gölge analizi-1

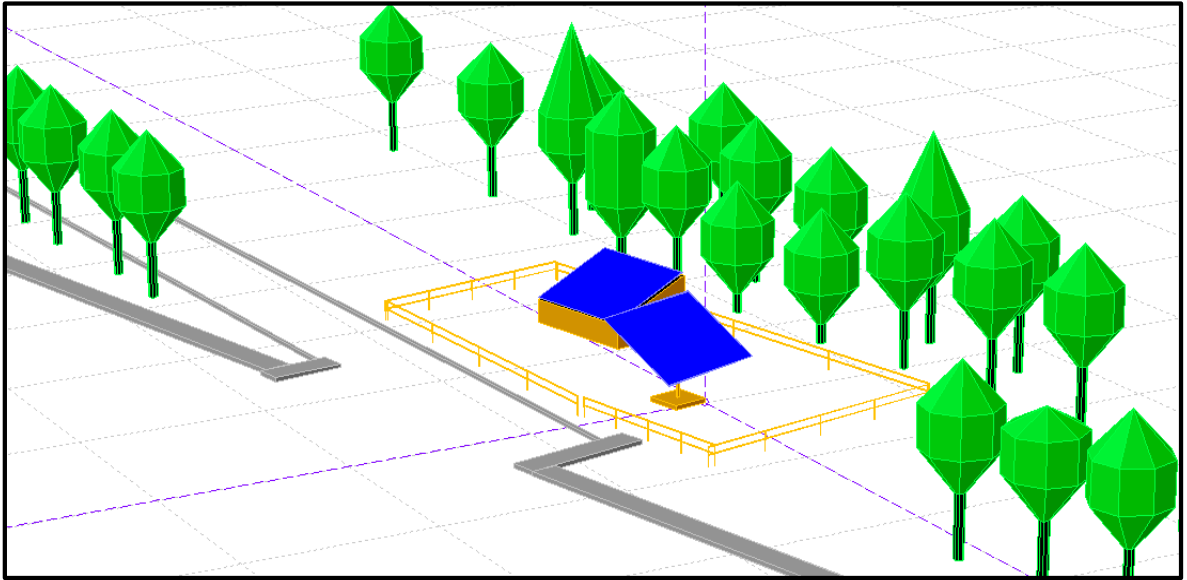


Şekil 4-16. 3D gölge analizi-2

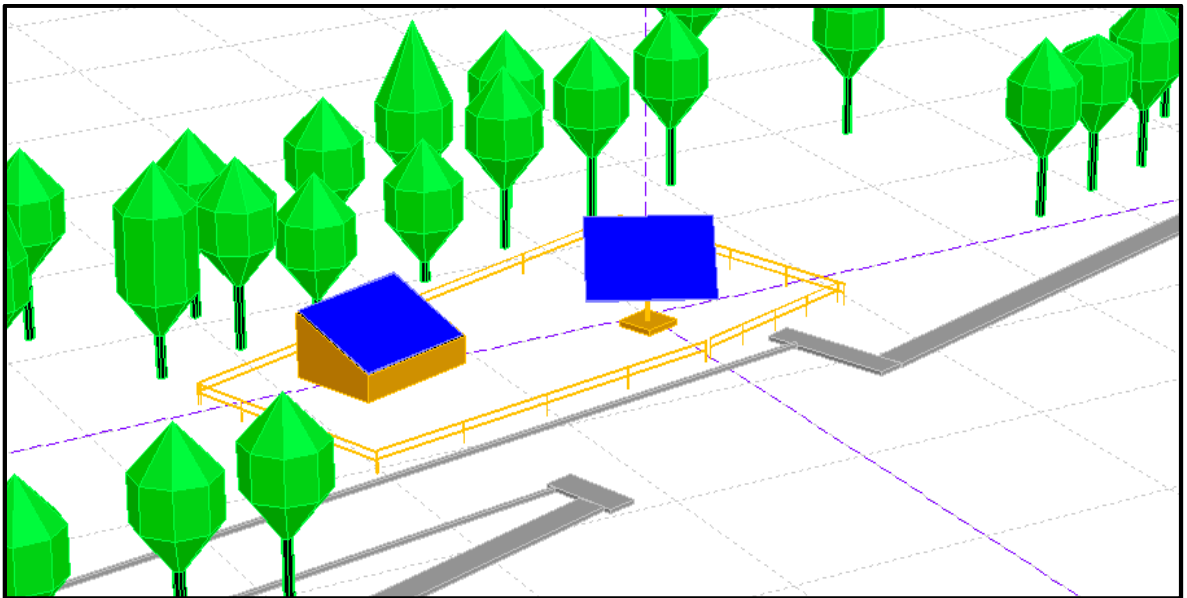


Şekil 4-17. 3D gölge analizi-3

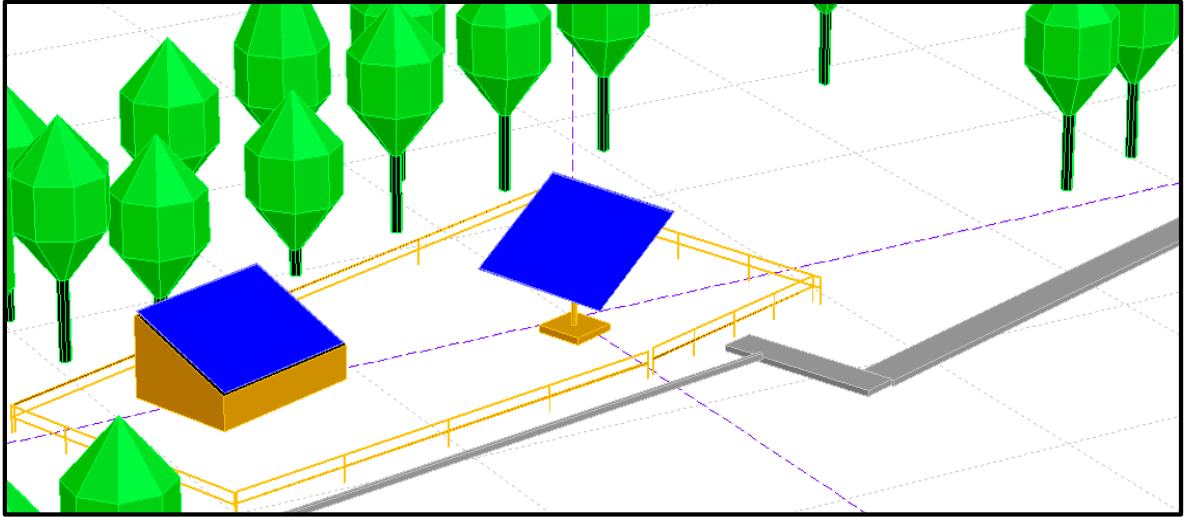
Güneş sürekli aynı yörüngede hareket etmez. Her gün farklı bir yörünge izler. Santralin bulunduğu konum için yaz aylarında daha yüksek, kış aylarında daha alçak bir yörünge izler. Sabah saatleri için güneş takip sisteminin doğuya döndüğü Şekil 4-18’de görülmektedir. Santralin kuzeyinde bulunan ağaçların herhangi bir zararı yoktur. Santralin güneyi yol olduğu için gölge açısından herhangi bir sakınca yoktur. Doğu ve batıda küçük ağaçların gölgesi olumsuz etki oluşturmaktadır. Ancak bu etki çok az ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Şekil 4-18’de sabah saatleri için 3D model, Şekil 4-19’de öğleden sonra için 3D model ve Şekil 4-20’de akşama doğru için 3D Model görülmektedir.



Şekil 4-18. Sabah saatleri için 3D model

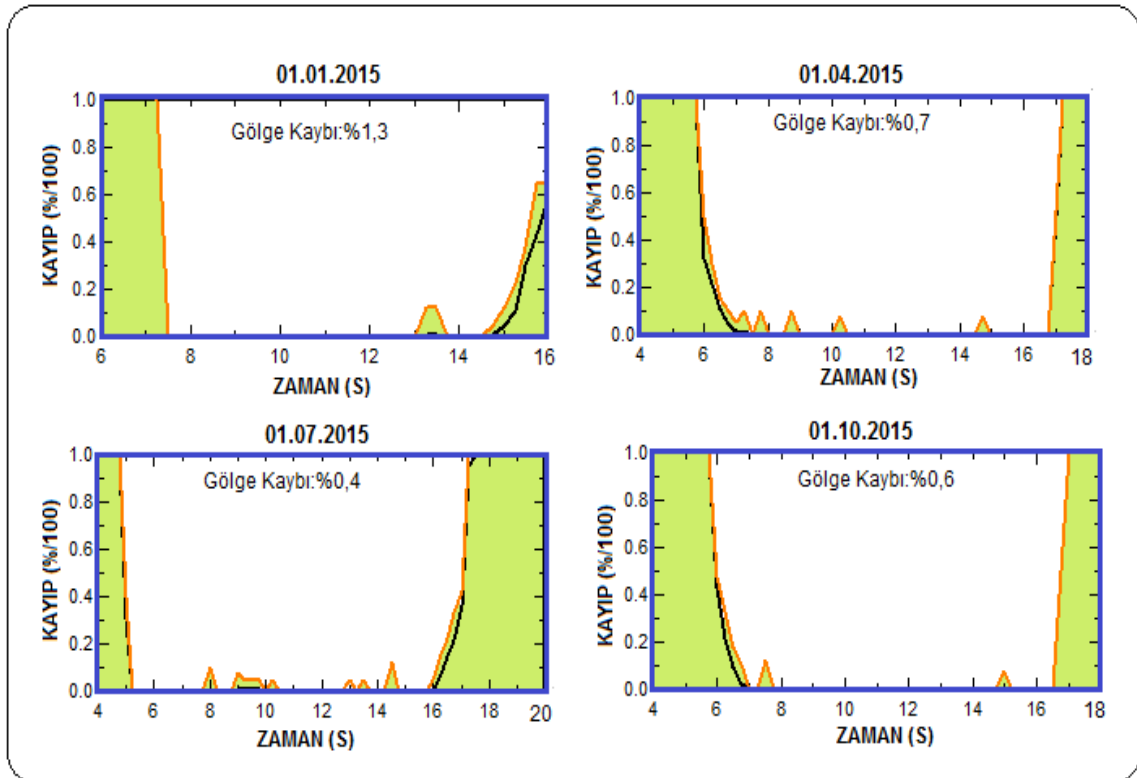


Şekil 4-19. Öğleden sonra için 3D model



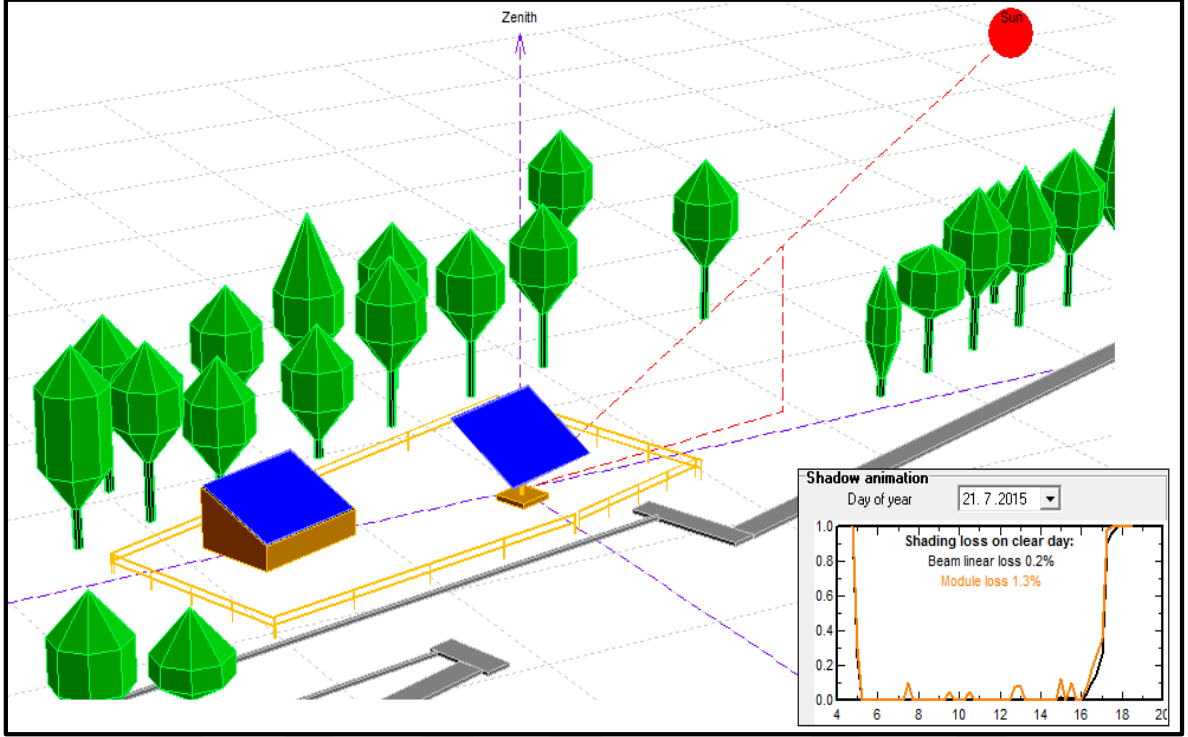
Şekil 4-20. Akşama doğru için 3D model

Şekil 4-21’de farklı günler için gölge analizi görülmektedir. Örnek olarak üç ay arayla ocak, nisan, temmuz ve ekim aylarından birer gün incelenmiştir. 01.01.2015 günü için gölge kaybı %1,3 01.04.2015 günü için %0,7 01.07.2015 günü için %0,4 ve 01.10.2015 günü için %0,6 olarak hesaplanmıştır. Yıllık olarak gölgelenme kaybı %1 altında olup, tesisin kurulması için elverişlidir.

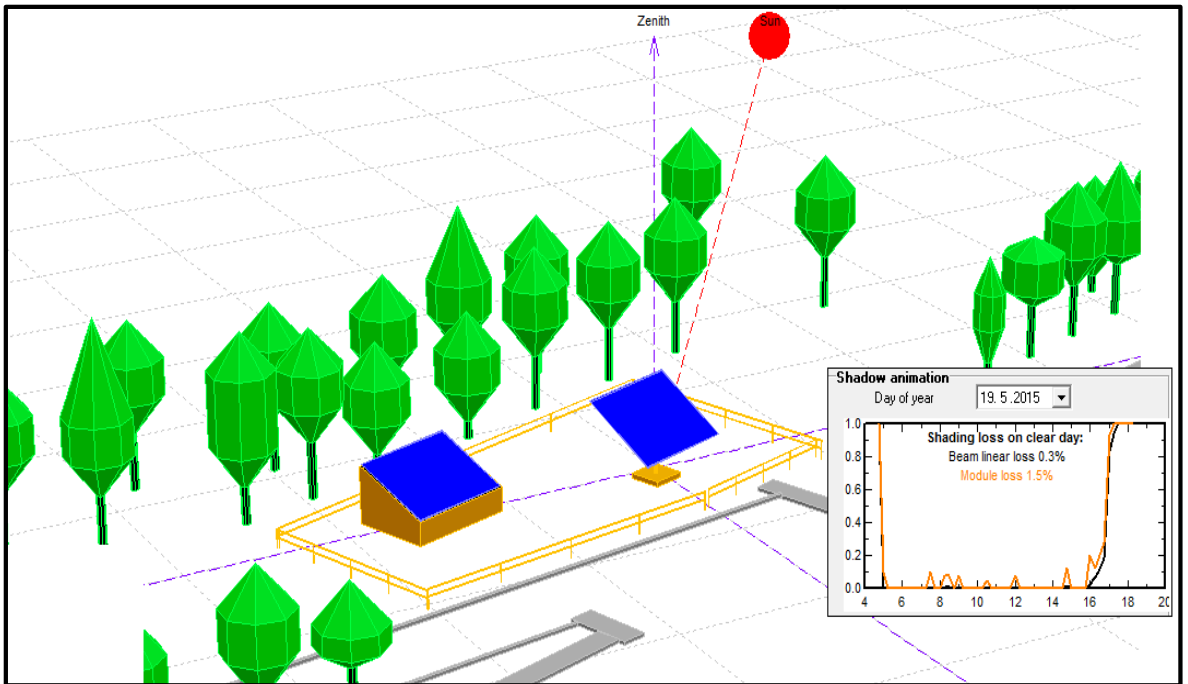


Şekil 4-21. Farklı günler için gölge analizi

Şekil 4-22’de 21.07.2015 günü için ve Şekil 4-23’de 19.05.2015 günü için gölge analizi görülmektedir. Simülasyon yardımıyla güneşin hareketi bir yıl için modellenilebilir ve yıllık veya istenilen gün için gölgelenme faktörü hesaplanabilir.

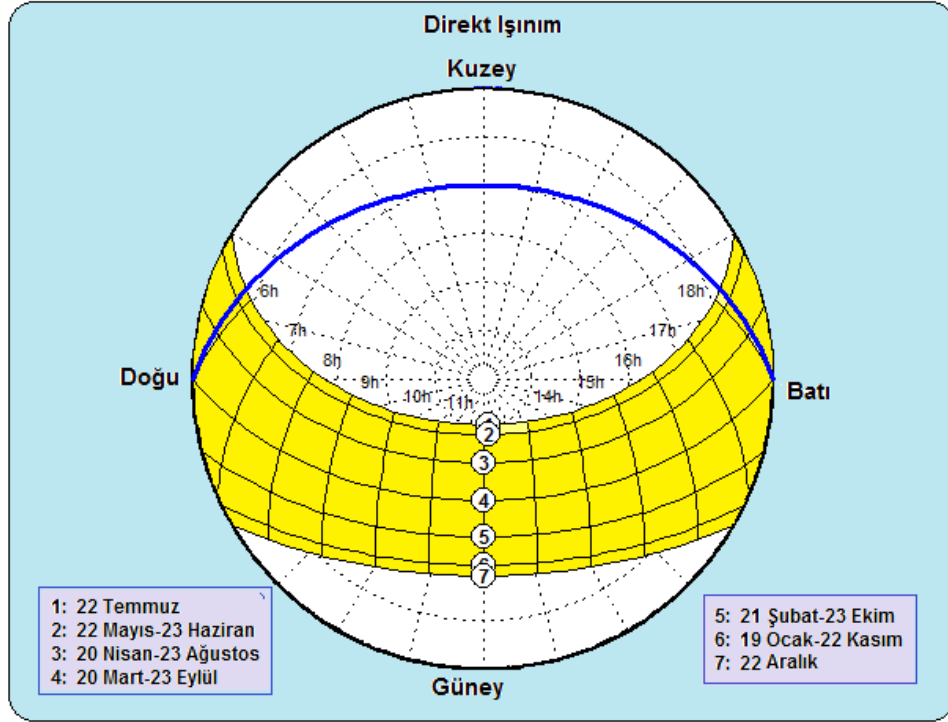


Şekil 4-22. 21.07.2015 Günü için gölge analizi

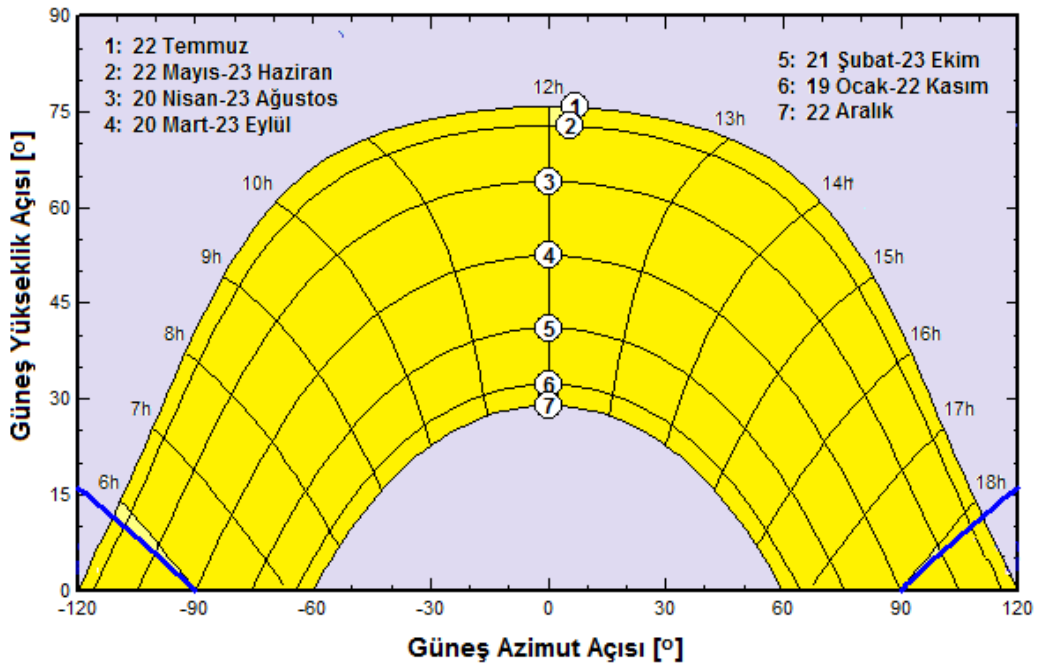


Şekil 4-23. 19.05.2015 Günü için gölge analizi

Güneş enerjisi santralının kurulacağı konum için oluşturulan kutupsal koordinatlar direkt ışınım dağılımı Şekil 4-24’de ve dik koordinatlar direkt ışınım dağılımı Şekil 4-25’de görülmektedir.



Şekil 4-24. Kutupsal koordinatlar direkt ışınım dağılımı



Şekil 4-25. Dik koordinatlar direkt ışınım dağılımı

Güneş enerjisi santralinin kurulacağı konum için model yardımıyla elde edilen ışınım değerleri (kW/m²) aylara göre saat bazında aylık toplam olarak aşağıda görülmektedir. Direkt ışınım en fazla temmuz ayında toplam 161,3 kW/m² ve en az ocak ayında toplam 31,3 kW/m²'dir. Işınımın en çok olduğu saat yıllık olarak 10.00'da 149,4 kW/m² olmaktadır.

Tablo 4-3. Model yardımıyla elde edilen ışınım değerleri

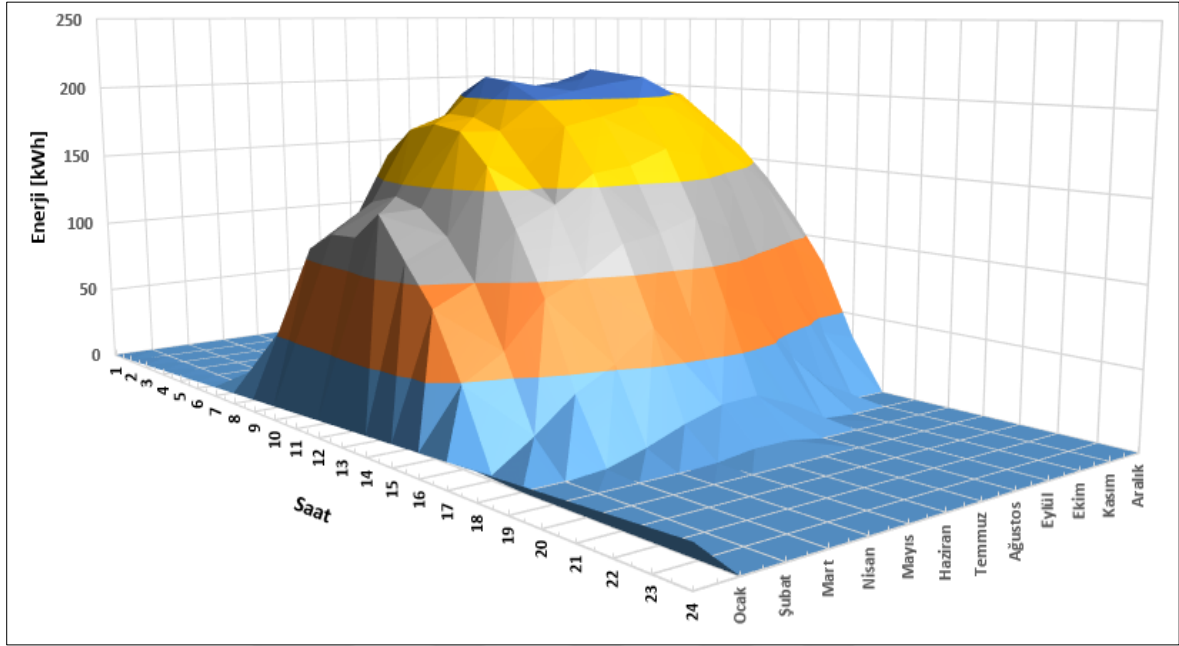
Saat	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Ocak	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	2,0	4,2	4,5	4,9	5,7	4,5	3,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Şubat	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	3,9	5,5	6,7	6,6	6,1	5,6	4,3	2,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mart	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	4,0	7,5	9,6	10,4	10,6	10,6	9,4	7,4	5,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nisan	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	3,0	6,3	8,4	10,1	11,3	10,8	10,2	9,0	8,6	6,4	3,5	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mayıs	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	6,2	10,1	13,3	15,4	16,6	15,6	15,0	13,7	11,9	9,3	6,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Haziran	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	6,7	10,6	14,1	16,7	17,5	17,3	17,5	16,4	14,1	11,1	7,1	3,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Temmuz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	6,5	10,8	14,0	16,8	18,4	18,2	18,4	17,1	15,4	12,1	7,8	3,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ağustos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	5,1	10,2	14,2	17,0	18,9	18,5	18,7	16,5	14,1	10,4	5,7	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eylül	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,0	7,4	11,4	14,3	16,4	15,5	15,3	13,5	10,4	6,7	2,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ekim	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	5,5	9,0	11,4	13,3	14,1	12,7	10,6	7,8	4,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kasım	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	2,7	5,7	8,2	9,6	9,8	9,7	7,7	4,7	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aralık	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	2,8	4,1	5,8	5,6	6,1	4,9	3,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Yıllık	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	33,2	70,3	106,4	133,3	149,4	147,7	146,0	128,9	105,6	71,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Güneş enerjisi santralinin kurulacağı konum için model yardımıyla elde edilen aylara göre saat bazında aylık toplam üretilen enerji değerleri (kWh) aşağıda görülmektedir. Yıllık toplam 16543 kWh enerji üretilmesi planlanmaktadır. En az enerji 819 kWh ile ocak ayında, en çok enerji 1781 kWh ile temmuz ayında gerçekleşmektedir. Üretim en fazla 2170 kWh ile saat 11.00'da olmaktadır. Aylık ortalama üretim 1378 kWh olup, yıl boyunca saat 0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 19.0, 20.0, 21.0, 22.0 ve 23.0'de hiç üretim olmamaktadır.

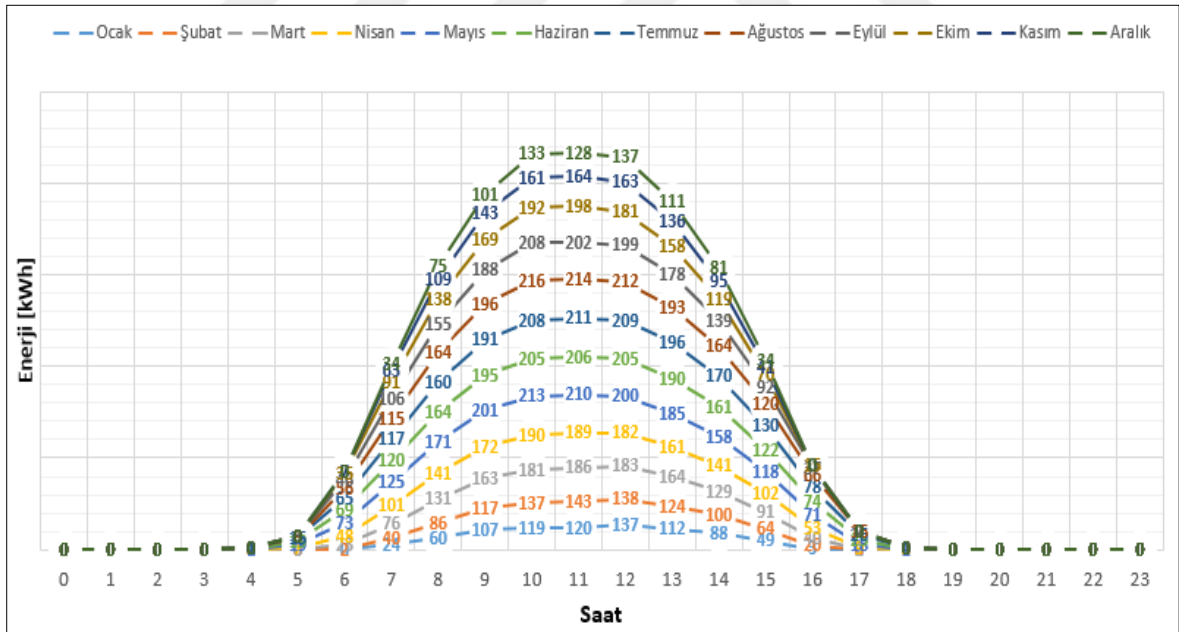
Tablo 4-4. Model yardımıyla elde edilen üretim değerleri

Saat	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Ocak	0	0	0	0	0	0	0	24	60	107	119	120	137	112	88	49	3	0	0	0	0	0	0	0
Şubat	0	0	0	0	0	0	2	40	86	117	137	143	138	124	100	64	20	0	0	0	0	0	0	0
Mart	0	0	0	0	0	0	23	76	131	163	181	186	183	164	129	91	40	2	0	0	0	0	0	0
Nisan	0	0	0	0	0	7	48	101	141	172	190	189	182	161	141	102	53	9	0	0	0	0	0	0
Mayıs	0	0	0	0	1	19	73	125	171	201	213	210	200	185	158	118	71	18	1	0	0	0	0	0
Haziran	0	0	0	0	4	19	69	120	164	195	205	206	205	190	161	122	74	25	4	0	0	0	0	0
Temmuz	0	0	0	0	1	15	65	117	160	191	208	211	209	196	170	130	78	26	4	0	0	0	0	0
Ağustos	0	0	0	0	0	8	56	115	164	196	216	214	212	193	164	120	66	16	0	0	0	0	0	0
Eylül	0	0	0	0	0	3	46	106	155	188	208	202	199	178	139	92	37	2	0	0	0	0	0	0
Ekim	0	0	0	0	0	0	35	91	138	169	192	198	181	158	119	70	15	0	0	0	0	0	0	0
Kasım	0	0	0	0	0	0	7	63	109	143	161	164	163	136	95	41	0	0	0	0	0	0	0	0
Aralık	0	0	0	0	0	0	0	34	75	101	133	128	137	111	81	34	0	0	0	0	0	0	0	0
Yıllık	0	0	0	0	6	70	423	1014	1555	1943	2164	2170	2147	1910	1545	1034	455	97	10	0	0	0	0	0

Güneş enerjisi santralının kurulacağı konum için model yardımıyla elde edilen aylara göre saat bazında aylık toplam üretilen enerji değerleri (kWh) Şekil 4-26'da ve Şekil 4-27'de görülmektedir.



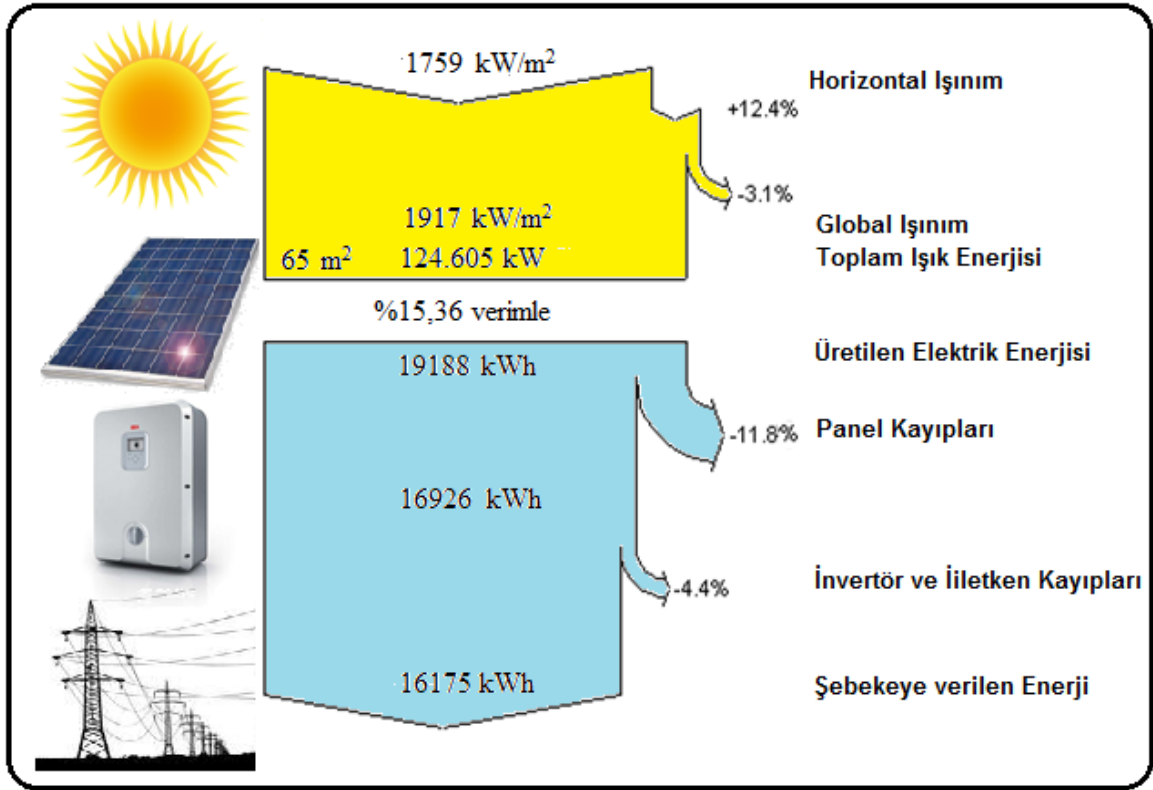
Şekil 4-26. Aylara göre saat bazında aylık toplam üretilen enerji-1



Şekil 4-27. Aylara göre saat bazında aylık toplam üretilen enerji-2

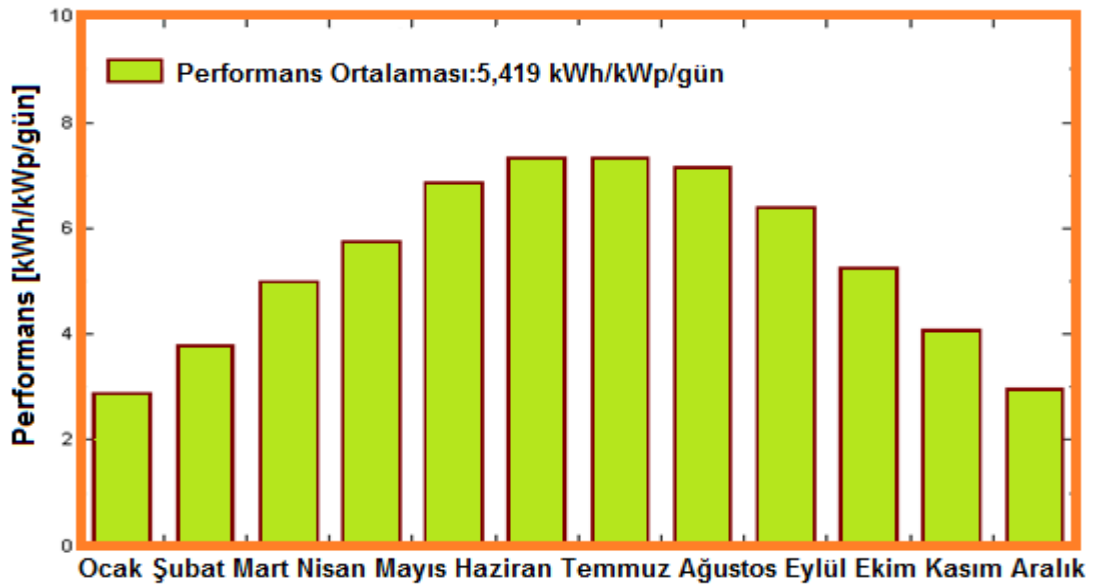
4.4. Performans

1759 kW/m² horizontal ışınım ile 1917 kW/m² küresel ışınım, 65 m² alana toplam 124.605 kW ışık enerjisi %15,36 verimle 19188 kWh elektrik enerjisine ve kayıplar düşüldükten sonra 16175 kWh net elektrik enerjisi elde edilir. Şekil 4-28'de enerji diyagramı görülmektedir.

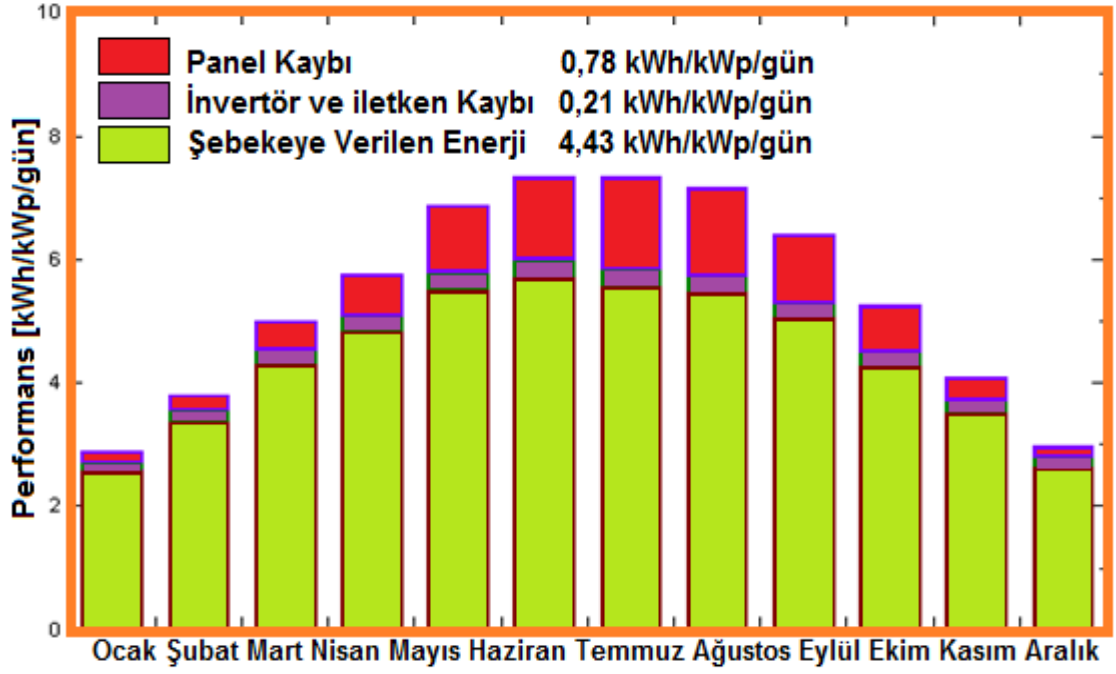


Şekil 4-28. Enerji diyagramı

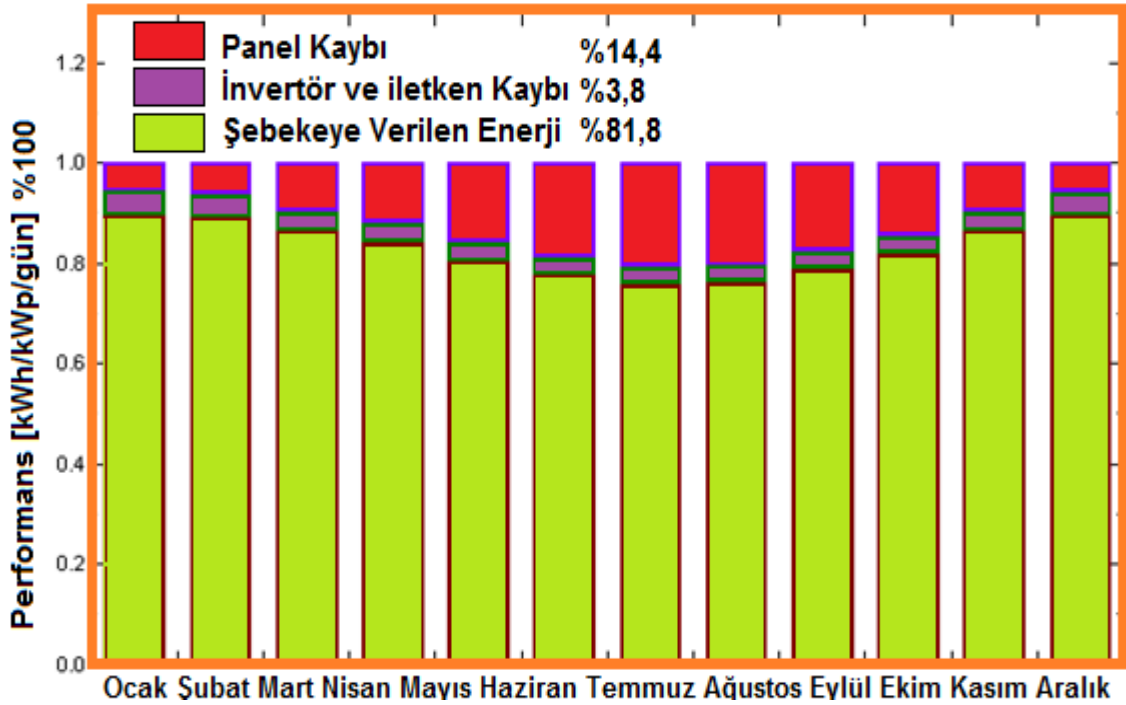
Şekil 4-29'da aylara göre ortalama günlük tam kapasite üretim zamanı görülmektedir. Şekil 4-30 ve Şekil 4-31'de aylara göre ortalama günlük tam kapasite üretim zamanından kayıpların değişimi görülmektedir.



Şekil 4-29. Aylara göre performans değişimi



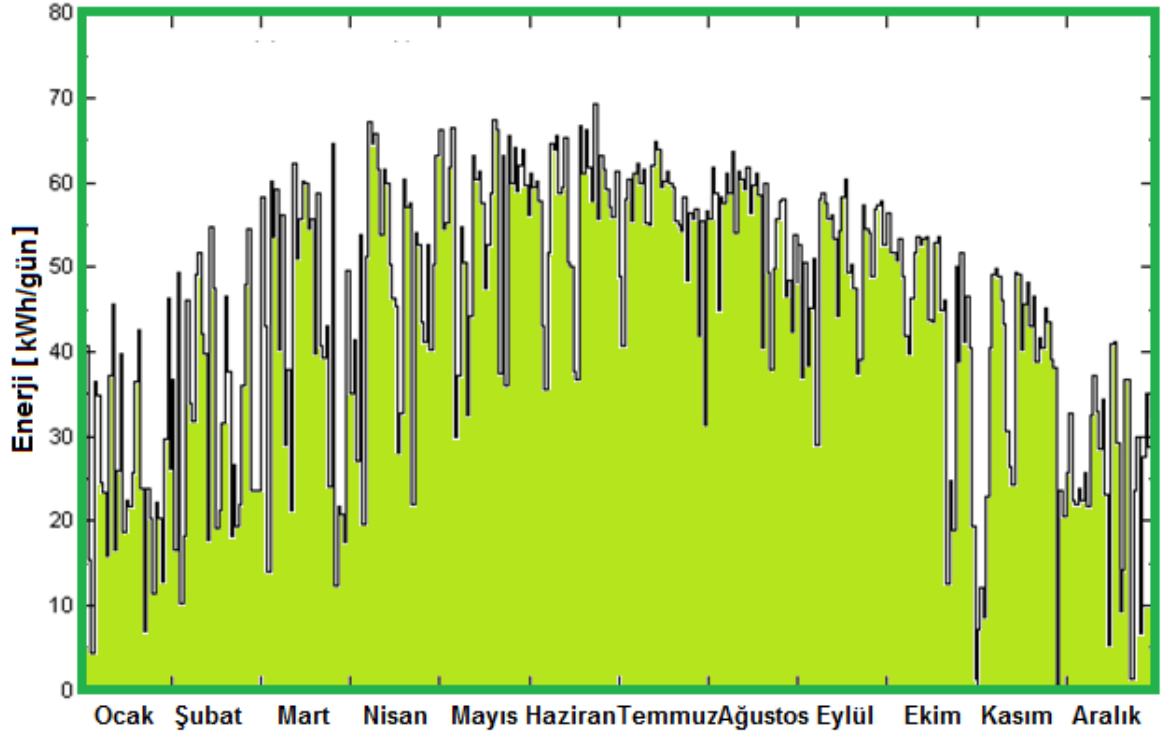
Şekil 4-30. Aylara göre ortalama günlük kayıpların değışimi



Şekil 4-31. Aylara göre ortalama kayıpların değışimi(%)

GES kurulacağı bölge için performans %81,8 olarak hesaplanmıştır. %14,4 panel kaybı, %3,8 invertör ve iletken kaybı olmaktadır. 10 kWp olarak planlanan GES, 8,18 kWp güç üretmektedir. Yaz aylarında sıcaklığın artması ile birlikte panel kayıpları da artmaktadır. Performans ortalaması 5,419 kWh/kWp/gün olarak hesaplanmıştır.

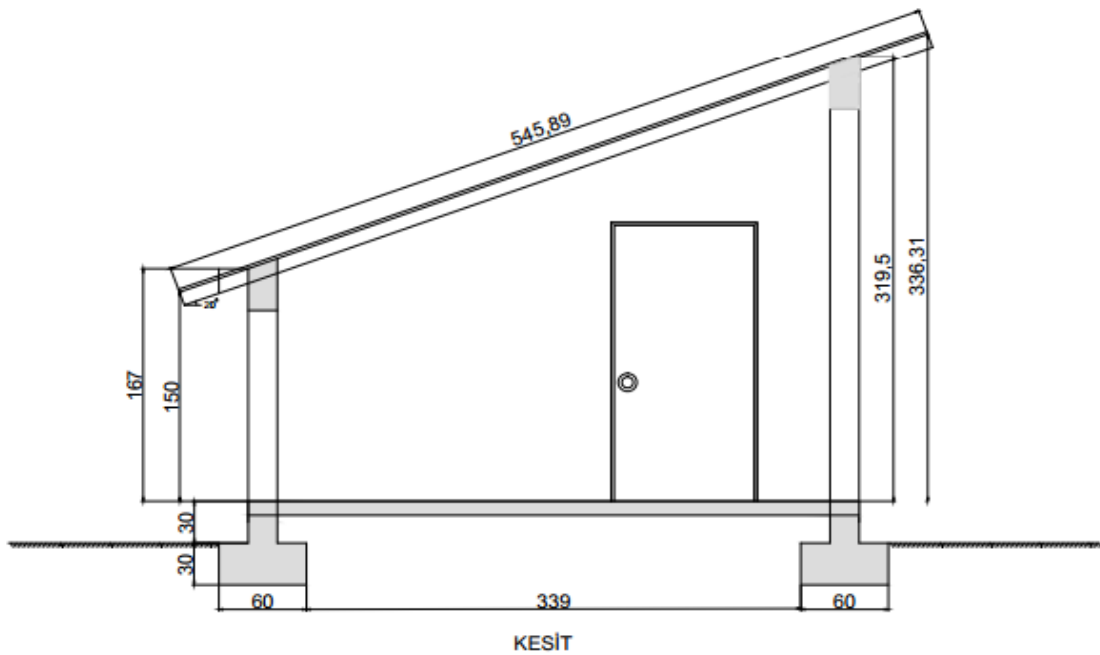
Şekil 4-32’de simülasyon yazılımı tarafından geçmiş tarihli iklim değerlerinden elde edilen tahmini günlük enerji çıkışı görülmektedir.



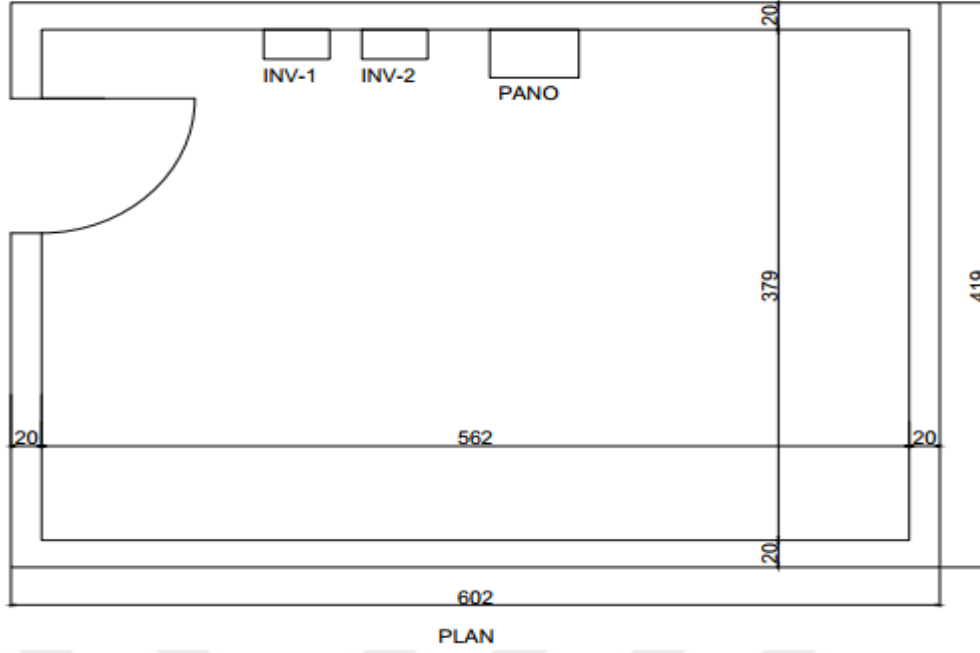
Şekil 4-32. Günlük planlanan enerji çıkışı

4.5. Projelendirme

Güneş enerji santralının projeleri autocad ile çizilmiştir. Şekil 4-33 ve Şekil 4-34’de sabit çatı sistemini için yapılan bina planı görülmektedir.

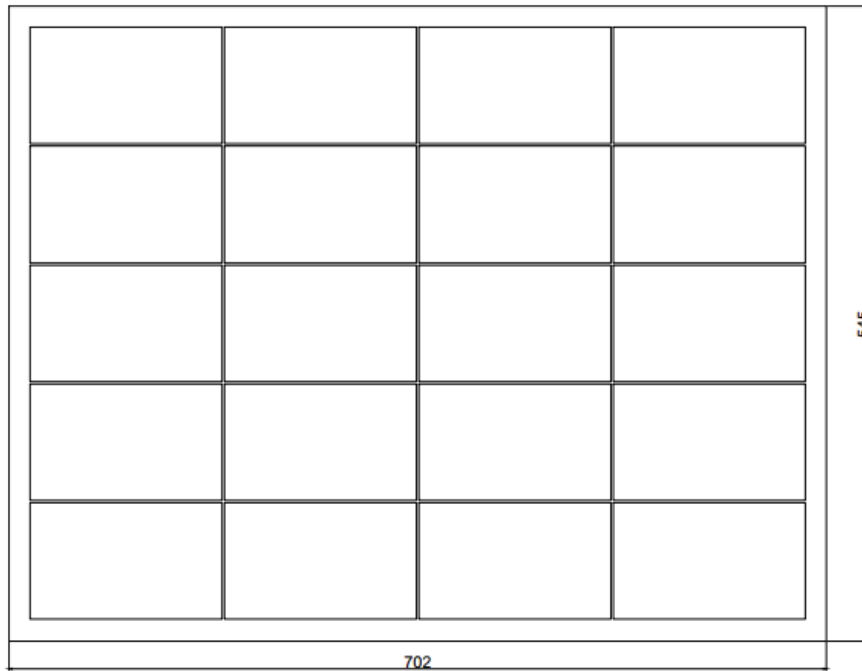


Şekil 4-33.Sabit çatı sistemi bina planı-1



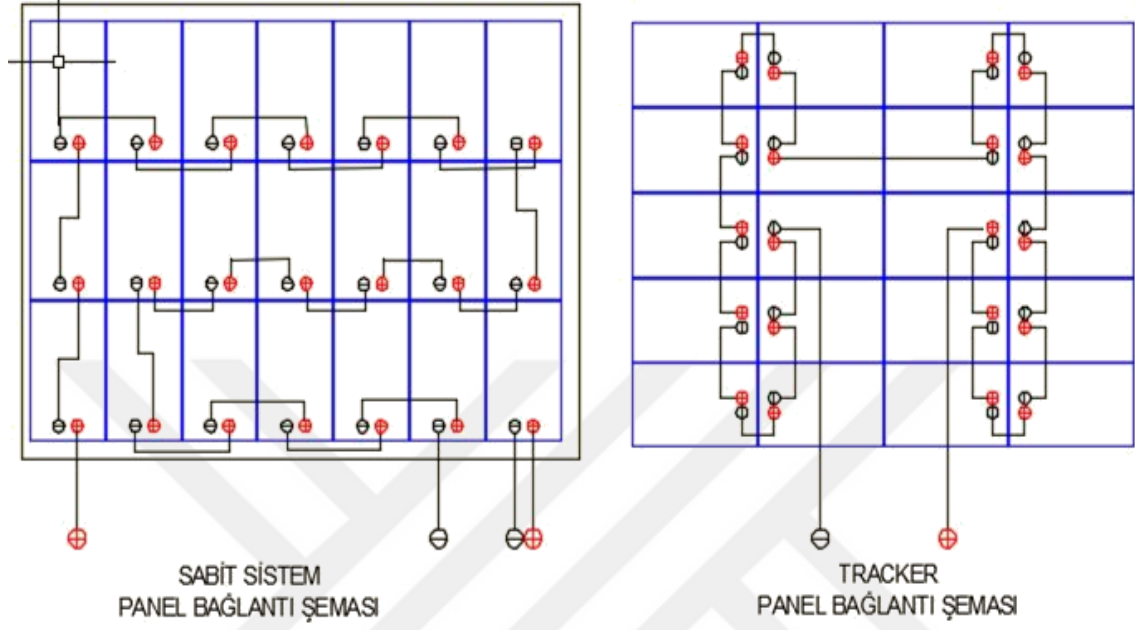
Şekil 4-34. Sabit çatı sistemi bina planı-2

Şekil 4-35’de güneş takip sistemi için panel yerleşim planı görülmektedir. Şekil 4-36’da panel bağlantı planı ve Şekil 4-37’de GES yerleşim planı görülmektedir. Sabit çatı sisteminde 21 adet PV panel vardır. Bu panellerden 20 tanesi şebeke bağlantılı sabit çatı sistemi olarak çalışmakta ve 1 tanesi çevre aydınlatması için şebeke bağlantısız olarak çalışmaktadır. Güneş takip sisteminde 20 adet panel olup şebeke bağlantılı olarak çalışmaktadır.

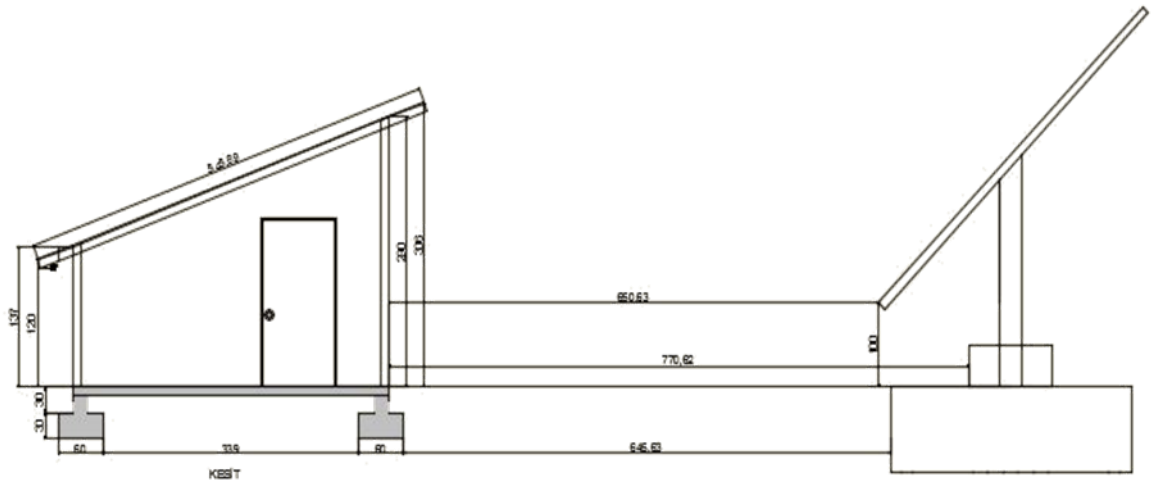


Şekil 4-35. Güneş takip sistemi için panel yerleşim planı

İletken kayıplarını azaltmak için invertörün sınırları içerisinde panellerin elden geldiğince seri bağlanması gerekmektedir. Sabit çatı sisteminde ve güneş takip sisteminde 20 şer adet panel seri olarak bağlanmıştır. Şekil 4-38’de sabit çatı sistemi panel montaj planı ve Şekil 4-39’da güneş takip sistemi temel projesi görülmektedir.

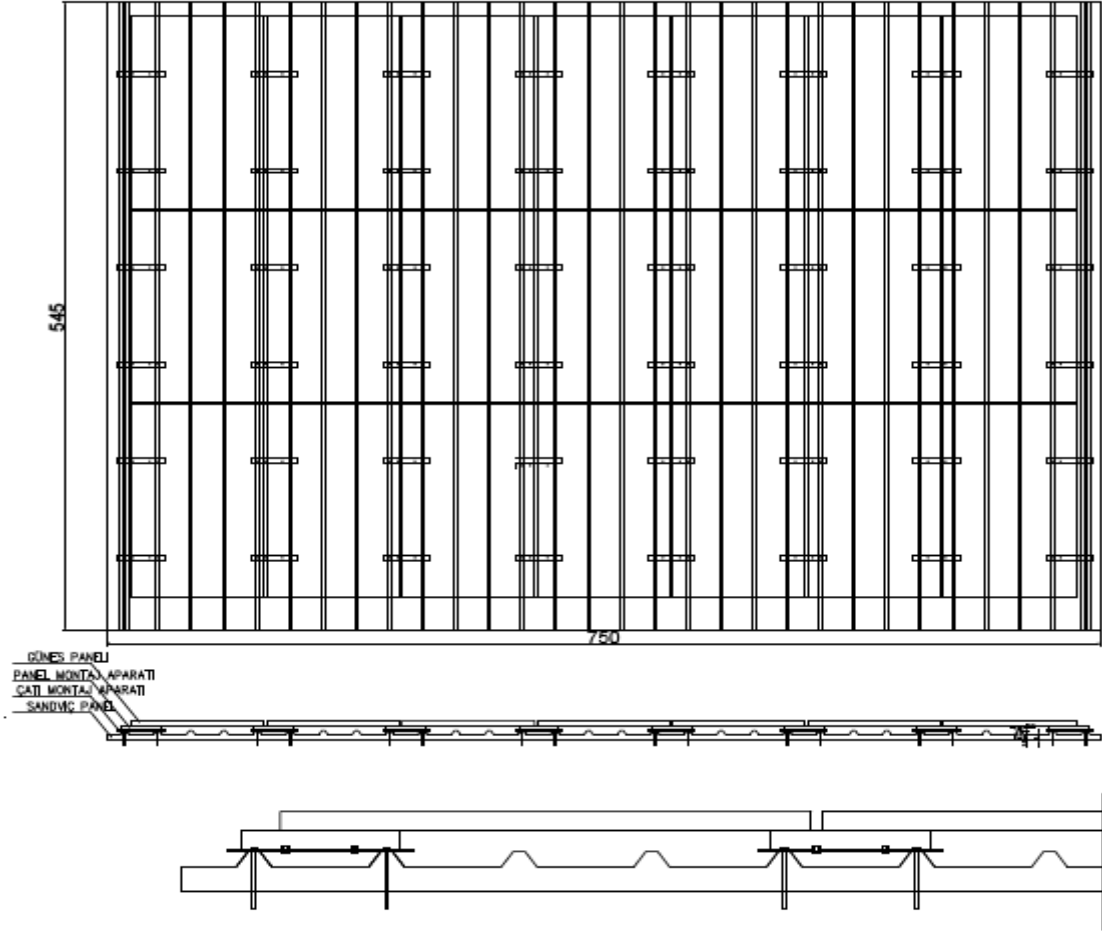


Şekil 4-36. Panel bağlantı planı

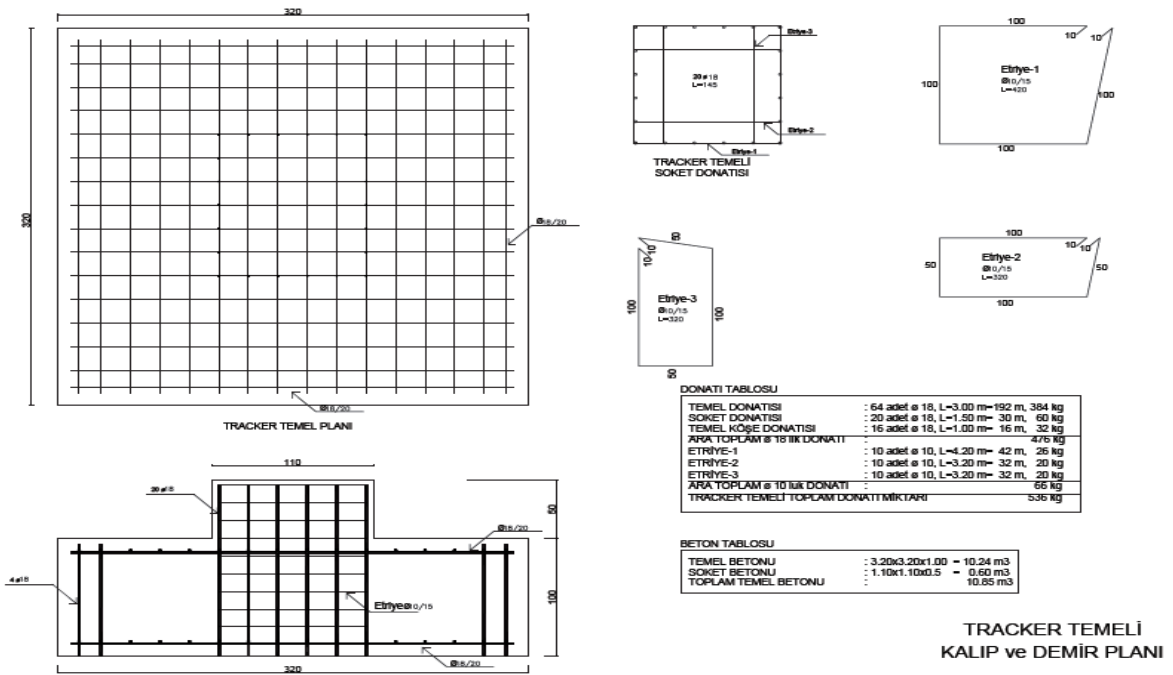


TRACKER ve SABİT SİSTEM
YERLEŞİM PLANI

Şekil 4-37. GES yerleşim planı



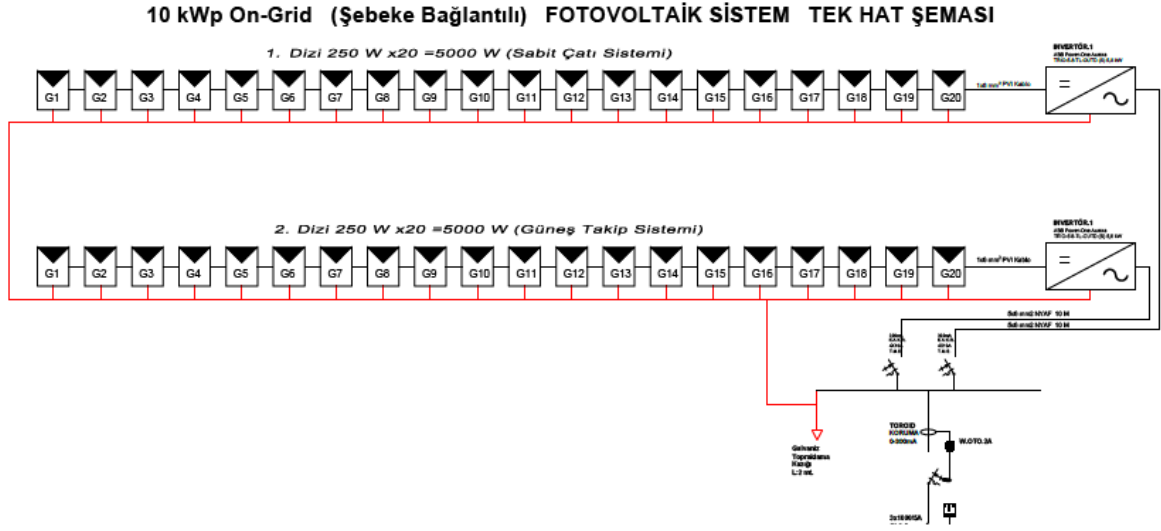
Şekil 4-38. Sabit çatı panel montaj planı



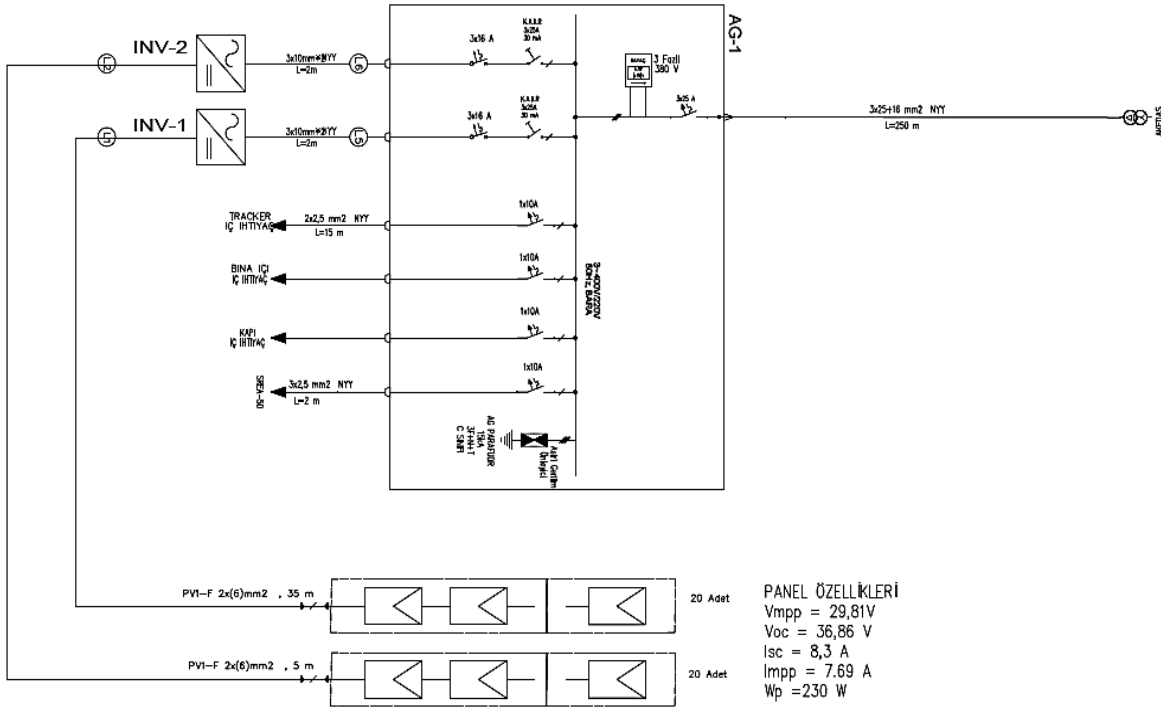
TRACKER TEMELİ
KALIP ve DEMİR PLANI

Şekil 4-39. Güneş takip sistemi temel projesi

Güneş enerjisi santralının tek hat şeması Şekil 4-40'de ve elektrik projesi Şekil 4-41'de görülmektedir.



Şekil 4-40. Tek hat şeması



Şekil 4-41. Elektrik projesi

Sabit çatı sisteminde çatı açısı 21° olarak planlanmıştır. Kahramanmaraş için ideal çatı açısı 33° olup, farklı açılar için aylara göre üretimin değişimi Tablo 4-5'de görülmektedir. 33° derece sabit açı için yıllık 16262 kWh enerji üretilmektedir. Tablo 4-6'da

aylara göre ideal çatı açıları görülmektedir. Ocak ayında en ideal açı 60°, Şubat ayında 50°, Mart ayında 40°, Nisan 25°, Mayıs 10°, Haziran ve Temmuz ayında 5°, Ağustos ayında 20°, Eylül ayında 35°, Ekim ayında 50°, Kasım ayında 60° ve Aralık ayında 65°'dir.

Tablo 4-5. Farklı çatı açıları için üretim değerleri

Ay \ Açı	25°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	36°	40°
Ocak	822	838	845	852	859	865	872	878	884	889	895	914
Şubat	964	976	982	987	993	998	1003	1007	1012	1016	1020	1033
Mart	1340	1349	1353	1357	1360	1363	1366	1368	1370	1372	1373	1376
Nisan	1440	1438	1437	1435	1433	1431	1429	1426	1423	1419	1416	1398
Mayıs	1679	1666	1659	1653	1646	1639	1632	1624	1616	1608	1599	1564
Haziran	1671	1653	1644	1635	1626	1616	1606	1596	1586	1576	1566	1521
Temmuz	1699	1685	1677	1669	1661	1652	1643	1634	1625	1615	1604	1561
Ağustos	1685	1680	1677	1673	1669	1666	1661	1656	1651	1645	1639	1612
Eylül	1530	1537	1540	1543	1545	1547	1549	1550	1551	1551	1551	1549
Ekim	1367	1385	1393	1400	1408	1415	1421	1427	1433	1439	1444	1461
Kasım	1099	1122	1133	1143	1153	1163	1172	1183	1190	1199	1207	1236
Aralık	846	865	873	882	890	898	906	913	920	928	935	959
Toplam	16142	16194	16213	16229	16243	16253	16260	16262	16261	16257	16249	16184

Tablo 4-6. Aylara göre ideal çatı açıları

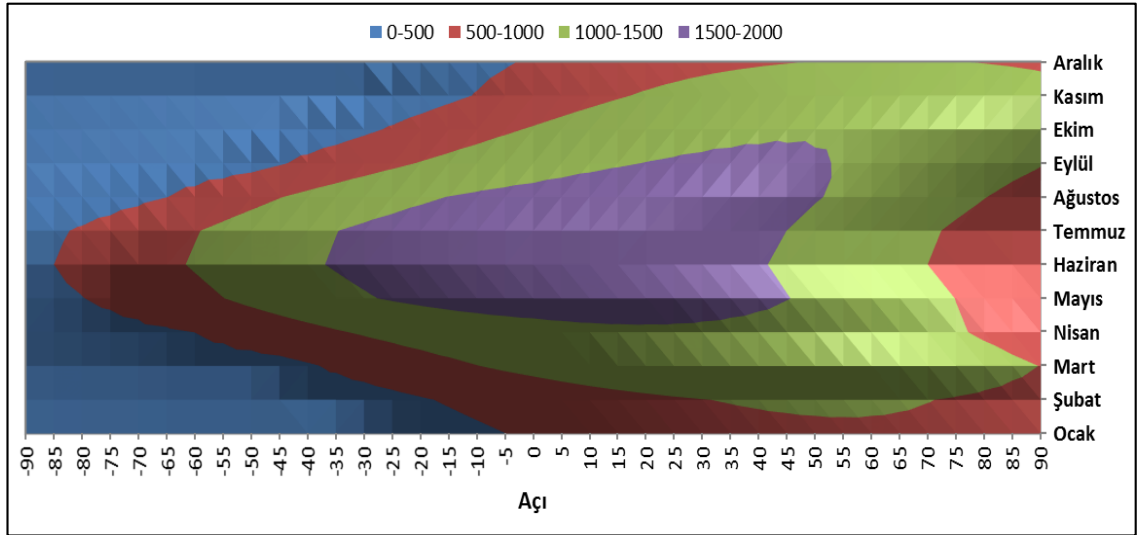
kWh	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°
Ocak	561	623	680	733	780	822	859	889	914	934	947	955	957	953	943
Şubat	728	787	840	887	928	964	993	1016	1033	1043	1048	1047	1039	1026	1006
Mart	1122	1181	1233	1277	1312	1340	1360	1372	1376	1373	1361	1342	1315	1281	1239
Nisan	1358	1390	1415	1431	1439	1440	1433	1419	1398	1369	1332	1287	1235	1175	1108
Mayıs	1704	1718	1723	1718	1703	1679	1646	1608	1564	1508	1443	1368	1285	1194	1099
Haziran	1757	1757	1750	1734	1707	1671	1626	1576	1521	1455	1380	1295	1201	1103	999
Temmuz	1760	1766	1764	1753	1731	1699	1661	1615	1561	1499	1426	1344	1252	1156	1052
Ağustos	1628	1659	1680	1691	1692	1685	1669	1645	1612	1570	1518	1456	1385	1304	1215
Eylül	1317	1378	1430	1472	1506	1530	1545	1551	1549	1537	1517	1487	1449	1401	1345
Ekim	1032	1117	1193	1260	1318	1367	1408	1439	1461	1475	1480	1475	1462	1441	1410
Kasım	712	804	890	968	1038	1099	1153	1199	1236	1266	1287	1301	1306	1304	1293
Aralık	540	612	679	741	796	846	890	928	959	984	1003	1016	1022	1023	1017

Tablo 4-7'de Farklı açıları için kayıp yüzdeleri görülmektedir. Tam kuzeye bakan bir cephe %82,31 ve tam güneye bakan bir cephe %36,31 kayıp enerji üretmektedir. 0° düz zeminde %12,56 kayıp vardır. 25° ile 45° arasında kayıp %1 civarında olup kabul edilebilir

sınırlar olarak belirlenmektedir. Şekil 4-42’de açılara göre üretim değerleri görülmektedir. Düşey eksende açılar aylık olarak değiştirilirse yıllık yaklaşık %6 daha fazla enerji üretilebilir.

Tablo 4-7. Farklı açıların kayıp yüzdesi

Açı	Derece	-90°	-85°	-80°	-75°	-70°	-65°	-60°	-55°	-50°	-45°
Üretilen Enerji	kWh	2877	3154	3484	3853	4308	4886	5503	6169	6854	7557
Kayıp Enerji	kWh	13385	13108	12778	12409	11954	11376	10759	10093	9408	8705
Kayıp Yüzdesi	%	82,31	80,61	78,58	76,31	73,51	69,95	66,16	62,06	57,85	53,53
Açı	Derece	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	0°	5°
Üretilen Enerji	kWh	8295	9045	9798	10586	11423	12229	12966	13635	14219	14792
Kayıp Enerji	kWh	7967	7217	6464	5676	4839	4033	3296	2627	2043	1470
Kayıp Yüzdesi	%	48,99	44,38	39,75	34,9	29,76	24,8	20,27	16,15	12,56	9,039
Açı	Derece	10°	15°	20°	25°	30°	33°	35°	40°	45°	50°
Üretilen Enerji	kWh	15277	15665	15950	16142	16243	16262	16257	16184	16013	15742
Kayıp Enerji	kWh	985	597	312	120	19	0	5	78	249	520
Kayıp Yüzdesi	%	6,057	3,671	1,919	0,738	0,117	0	0,031	0,48	1,531	3,198
Açı	Derece	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°		
Üretilen Enerji	kWh	15373	14908	14361	13726	13004	12201	11327	10357		
Kayıp Enerji	kWh	889	1354	1901	2536	3258	4061	4935	5905		
Kayıp Yüzdesi	%	5,467	8,326	11,69	15,59	20,03	24,97	30,35	36,31		

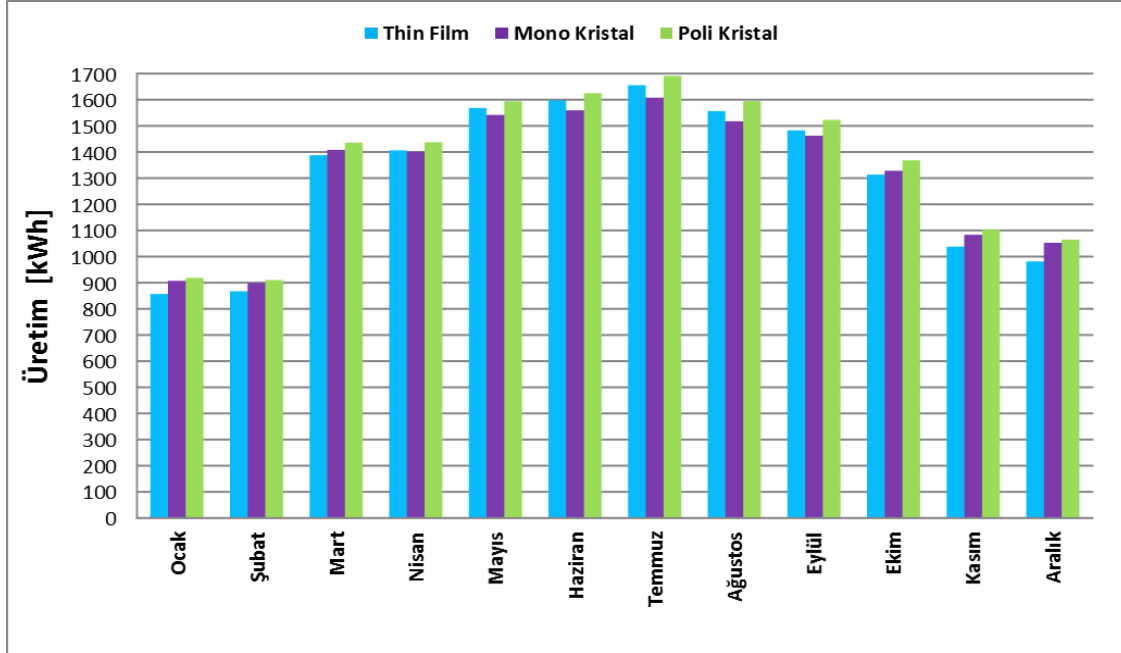


Şekil 4-42. Açılara göre üretim değerleri

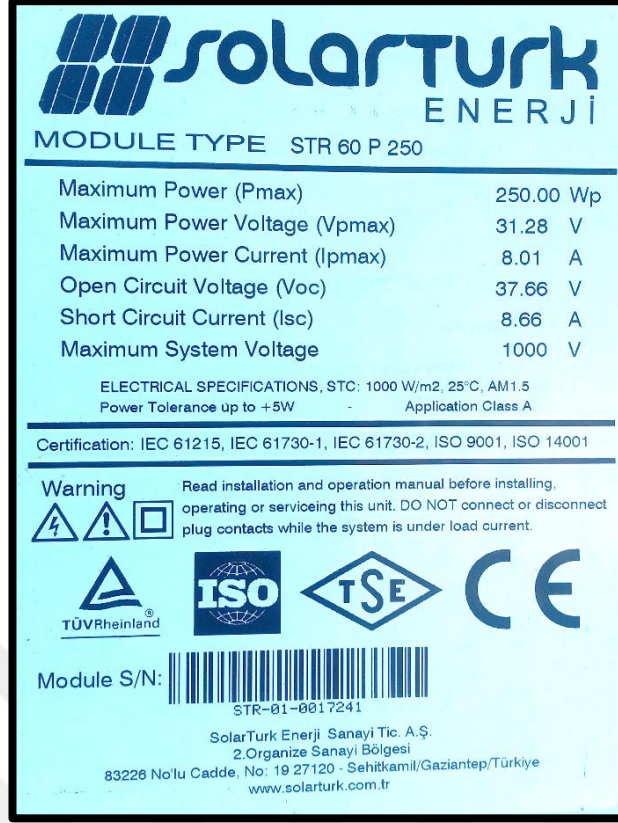
4.6. Santralde Kullanılan Malzemeler

4.6.1. Fotovoltaik paneller

Güneş enerji santralinde 41 adet fotovoltaik panel kullanılmıştır. Panellerden 20 tanesi sabit çatı sisteminde, 20 tanesi güneş takip sisteminde olmak üzere 40 panel şebeke bağlantılı olarak kullanılmıştır. 1 adet panel ise çevre düzenlemede kullanılan aydınlatmalar için şebeke bağlantısız olarak çalışmaktadır. Panelin nominal çalışma gerilimi 31,28 Volt olup, 20 panel seri bağlandığından toplam nominal DC gerilim 625,6 Volttur. 20 panelin birleşmesine dizi denilmektedir. Nominal dizi akımı 8,01 Amper olup, 1 panelin maksimum gücü 250 Watt olup, 40 panel için 10.000 Watt'tır. Kullanılan panel polikristal seçilmiştir. Çünkü Kahramanmaraş iklim şartlarında en verimli panel polikristal panellerdir. Mono kristal paneller laboratuvar ortamında daha verimli olmalarına karşın iklim şartlarına göre verim düşmektedir. Şekil 4-43'de farklı panel çeşitlerinin Kahramanmaraş şartlarında üretim karşılaştırılması görülmektedir. Aynı kapasitede Kahramanmaraş şartlarında çalışan thin film panel bir yılda 15713,24 kWh, poli kristal panel bir yılda 16266,17 kWh ve mono kristal panel bir yılda 15769,59 kWh enerji üretmektedir. Güneş enerji santralinde kullanılan fotovoltaik panellerin etiketi Şekil 4-44'da görülmektedir.



Şekil 4-43. Panel çeşitlerinin üretim değerleri



Şekil 4-44. Kullanılan panelin etiketi

4.6.2. İnvvertörler

Güneş enerji santralinde 3 adet invvertör kullanılmıştır. 2 adet 3 fazlı şebeke bağlantılı invvertör sabit çatı ve güneş takip sistemleri için kullanılmıştır. İnvvertör yeni nesil bir invvertör olup, 3 faz küçük güçlü invvertör bulmak zor olduğu için 5,8 kW gücünde seçilmiştir. 1 adet 1 kW gücünde şebeke bağlantısı olmayan invvertör çevre aydınlatması için kullanılmıştır.



Şekil 4-45. Kullanılan şebeke bağlantılı invvertör

Tablo 4-8. İnvörtörün özellikleri

Model	ABB Power-One Aurora TRIO-5.8-TL-OUTD (S)
MPPT Adedi	1
AC Anma Gücü	5800 W
AC Sistem Voltajı	380 V
DC Maksimum giriş voltajı	1000V
DC Giriş Voltajı	320 V -800 V
DC Anma giriş gücü	5950 W
DC maksimum giriş gücü	6050 W
DC Maksimum giriş akımı	18.9A
Tip	3 fazlı
AC Çıkış frekansı	50 Hz
Verim	98.0%
Ölçüler	641x429x220mm, 25 kg

4.6.3. Güneş takip sistemi

Güneş enerji santralinde 5 kW gücünde güneş takip sistemi planlanmıştır. Sistemde 250 W gücünde 20 adet panel kullanılmıştır. Sistem yatay ekseninde güneş takibi yapmaktadır. Güneşin konumu GPS (Global Positioning System/Küresel Yer Belirleme Sistemi) sayesinde belirlenmektedir. Şekil 4-46’da güneş takip sistemi görülmektedir.



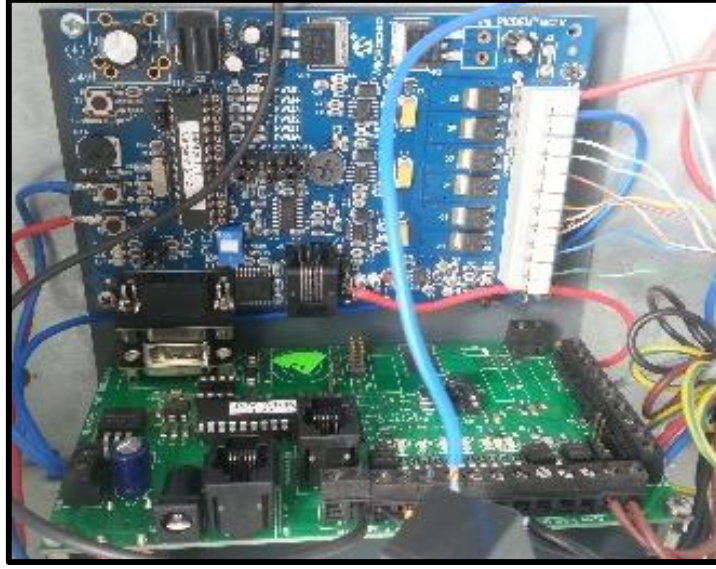
Şekil 4-46. Güneş takip sistemi

GPS modülü, tasarlanan sistemin dünya üzerindeki konumunun belirlenmesi, tarih-saat bilgisinin elde edilmesi ve buna bağlı olarak sistemin bulunduğu konumdaki mevsim koşulları ve güneşin geçiş açısı gibi değerlerin hesaplanması amacı ile kullanılmıştır. GPS modülü, uydudan aldığı bilgiler sayısalara dönüştürüldükten sonra merkezi birime, motorun kontrolü ve panelin güneşe doğru yönlendirilmesi için aktarılmaktadır. Bu sayede paneller, konumdan ve yönden bağımsız olarak güneşin geçiş doğrultusuna yönlendirilmiş ve güneş ışınlarının paneller tarafından dik olarak alınması sağlanmıştır. Sonuçta güneş ışınlarından maksimum düzeyde yararlanılması sağlanmıştır.

Sistem, ilk önce GPS aracılığı ile konumunu belirlemektedir. Buna göre dünya üzerinde hangi enlem boylam derecelerinde bulunduğu saptanmaktadır. Bu açılar daha sonra panelin yatayda yönlendirilmesinde kullanılmaktadır. Sonrasında tarih ve saat bilgileri alınmaktadır. Bu tarih ve saat bilgisine göre yılın hangi zamanında olduğuna karar verilmektedir. Enlem ve boylam dereceleri ile birlikte bulunulan bölge için mevsim belirlenerek güneşin geliş açısı tespit edilerek güneşin geçiş rotası belirlenmektedir. Bütün toplanan veriler, işlemcinin geçici hafızasında tutulur. Tutulan bu veriler, sırası ile ele alınmaktadır. Öncelikle yön bilgisi ele alınarak panelin dönmesi gereken açı hesaplanarak motorların çalıştırılacağı ilk parametre olarak bir değer üretilmektedir. Şekil 4-47’de güneş takip sistemi ve Şekil 4-48’de GPS ve kontrol kartı görülmektedir.



Şekil 4-47. Güneş takip sistemi mekanizması



Şekil 4-48. GPS ve kontrol kartı

4.6.4. Veri kayıt cihazı

Güneş enerji santralinde iklim ve santral parametreleri web ortamında ve SD karta kaydeden ABB Power-One pvi-aec-evo-light marka veri kayıt cihazı kullanılmıştır. ABB tarafından servis hizmeti sunulan web sitesi üzerinde depolanan verilere bilgisayar veya android uygulama ile cep telefonları ile ulaşılabilir. Düşük frekanslı veri örnekleme ile RS485 üzerinden aurora protokolü kullanarak 128 adet ABB invertör bağlanabilir. Ayrıca ışınım ve sıcaklık sensörleri bağlanabilmektedir. Veri yedekleme için çıkarılabilir 2GB kapasiteli SD kart kullanılmaktadır. Şekil 4-49’de kullanılan veri kayıt cihazı görülmektedir.



Şekil 4-49. Veri kayıt cihazı

4.7. GES Kurulum Çalışmaları

Kurulum çalışmaları esnasında iş güvenliği kurallarına azami önem verilmiştir. Güneş enerjisi santralının 30 yıl çalışacağı dikkate alınarak malzeme secimi yapılmıştır. Ayrıca Kahramanmaraş'ın iklim şartlarına göre hesaplamalar yapılmış ve yüksek emniyet katsayısı alınmıştır. Özellikle rüzgâr yükü hesaplanırken, Kahramanmaraş'ta istatistiklerde bulunan en yüksek rüzgâr hızından çok daha yüksek hızlara dayanabilecek sistem tasarlanmıştır. Güneş takip sisteminin temeli Şekil 4-50'de görüldüğü gibi sağlam yapılmıştır. Temelde yoğun demir ve hazır beton kullanılmıştır.



Şekil 4-50. Güneş takip sistemi temel çalışmaları

Ayrıca sabit çatı sistemi için oluşturulan bina, güneş enerjisi çalışmalarının yürütülebileceği bir mekân olarak planlanmıştır. Binanın içerisinde İnterörlerin yanında, veri kayıt sistemi ve güç panosu bulunmaktadır. Tesiste topraklamaya ve kablolamaya özel önem gösterilmiştir. Her iki santralin ayrı ayrı topraklaması mevcut olup, kablolar toprak altından döşenmiştir. DC Kablo seçiminde kayıpları azaltmak için kalın kesitli özel solar kablo seçilmiştir. Şekil 4-51'de güneş takip sistemi montajı, Şekil 4-52'de güneş takip sistemi montajı, Şekil 4-53'de sabit çatı sistemi panel montajı ve Şekil 4-54'de invertör montajı görülmektedir.



Şekil 4-51. Güneş takip sistemi montajı



Şekil 4-52. Sabit çatı sistemi bina inşaatı



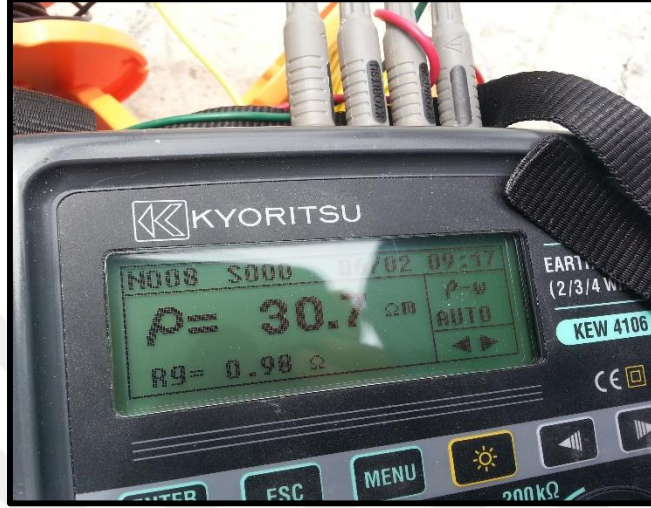
Şekil 4-53. Sabit çatı sistemi panel montajı



Şekil 4-54. İnvörtör montajı

4.7.1. Topraklama

Güneş enerjisi santrali kurulacak toprağın özgül direnci Şekil 4-55’de görüldüğü gibi ölçülmüş ve 30,7 Ωm olarak bulunmuştur. Ortalama özgül direnç 134,77 Ωm olarak hesaplanmıştır. 70 mm² örgülü bakır iletken ile 1,2 m derinliğe 65 iletken ile gömülü sistem topraklama yapılmıştır.



Şekil 4-55. Toprak özgül direnci ölçümü

Toprağın özgül direnci $\rho=134,77 \Omega\text{m}$

İletkenin uzunluğu, $L=60 \text{ m}$

İletkenin yerleştirildiği derinlik, $H=1,2 \text{ m}$

İletkenin çapı, $d=0,011 \text{ m}$

Toprak direnci R_T olmak üzere (Web42, 2015);

$$R_T = 0,3672 \cdot \left(\frac{\rho}{L}\right) \cdot \log\left(\frac{2 \cdot L^2}{H \cdot d}\right) \quad (4.1)$$

Formülü ile hesaplanabilir. Santralde yapılan topraklama değerleri formülde yerine konulursa;

$$R_T = 0,3672 \cdot \left(\frac{134,77}{60}\right) \cdot \log\left(\frac{2 \cdot 60^2}{1,2 \cdot 0,011}\right) \quad (4.2)$$

$R_T = 4,73 \Omega$ Olur. R_T temel topraklama direnci 166,7 Ω 'dan küçük olduğu için topraklama uygundur. Tüm paneller, İnvertörler ve metal parçalar toprak barası ile topraklanmıştır.

4.7.2. İletken Hesabı

Güneş enerjisi santralinde; panel grubu ile invertör arasında kullanılan iletken ve invertör ile şebeke arasında kullanılan iletken olmak üzere iki farklı iletken kullanılmıştır.

4.7.2.1. DC kablo iletken kesit hesabı

Kablo kesiti hesaplamak için kullanılacak formül;

$$S = \frac{(0,0178).2.L.P}{fk.U^2} \quad (4.3)$$

Olup, değişkenler

S=iletkenin kesiti (mm²)

fk=bakır iletken için kabul edilebilir kayıp (yaklaşık %3)(0,03)

L=Kablo uzunluğu (m)

P=güç (W)

U=Voltaj (V) dir.

Panel grubu ile invertör arası iletken kesiti hesabı:

fk=0,005 seçildi

L=26 m

P=5000 W

U=625,6 V

$$S = \frac{(0,0178).2.26.5000}{0,005.625,6^2} \quad S = \frac{4628}{1956,87} \quad S = 2,36 \text{ mm}^2$$

İletken yarıçapı;

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (4.4)$$

İle hesaplanır.

$$r = \sqrt{\frac{2,36}{3,14}} \quad r = \sqrt{1,355} \quad r = 0,86 \text{ mm}$$

4.7.2.2. AC kablo iletken kesit hesabı

Invertör Şebeke arası kablo seçimi;

L_{ACK} =AC Kablo Uzunluğu [m]

A_{ACK} =AC Kablo Kesiti [mm²]

Cosφ =Güç Katsayısı

V_{ACK} =AC Kablo Nominal Voltajı [V]

I_{ACK-n} =AC Kablo Nominal Akımı [A] olmak üzere

Üç fazlı besleme için AC kablo kesit alanı,

$$A_{ACK} = \frac{\sqrt{3} \cdot L_{ACK} \cdot I_{ACK-n} \cdot \cos\varphi}{0,5\% \cdot V_{ACK} \cdot K_{IL}} \quad (4.5)$$

Şeklinde hesaplanır.

$$L_{ACK} = 120 \text{ [m]}$$

$$\cos\varphi = 0,7$$

$$V_{ACK} = 380 \text{ V}$$

$$I_{ACK-n} = 16,02 \text{ A}$$

$$A_{ACK} = \frac{\sqrt{3} \cdot 120 \cdot 16,02 \cdot 0,7}{0,005 \cdot 380 \cdot 0,0178} \quad (4.6)$$

$$A_{ACK} = 21,74 \text{ mm}^2$$

İletken yarıçapı;

$$r = \sqrt{\frac{21,74}{3,14}} \quad r = \sqrt{6,92} \quad r = 2,63 \text{ mm}$$

İletken hesabında %3 kayıp kabul edilebilir olmasına rağmen, hesaplamalarda %0,5 kayıp hesaplanmış ve bulunan değerden daha kalın kablo seçilmiştir. Hesaplanan iletken kesitleri, pratik kesit için hazırlanmış tablolardan kontrol edilmiştir. İletken kaybı minimum tutulmuştur. Paneller arası iletken olarak panellerin üzerinde bulunan iletkenler kullanılmıştır. Seçilen iletken kesitleri Tablo 4-9'de görülmektedir.

Tablo 4-9. Seçilen iletken kesitleri

	Kullanım Yeri		Faz	Mesafe m	Minimum Yarıçap mm	Seçilen Kesit mm ²
1	Paneller arasında kullanılan iletken	DC	1	16	0,86	10
2	Panel grubu ile invertör arasında kullanılan	DC	1	26	0,86	25
3	İnvertör ile Şebeke arasında kullanılan iletken	AC	3	120	2,63	4x24

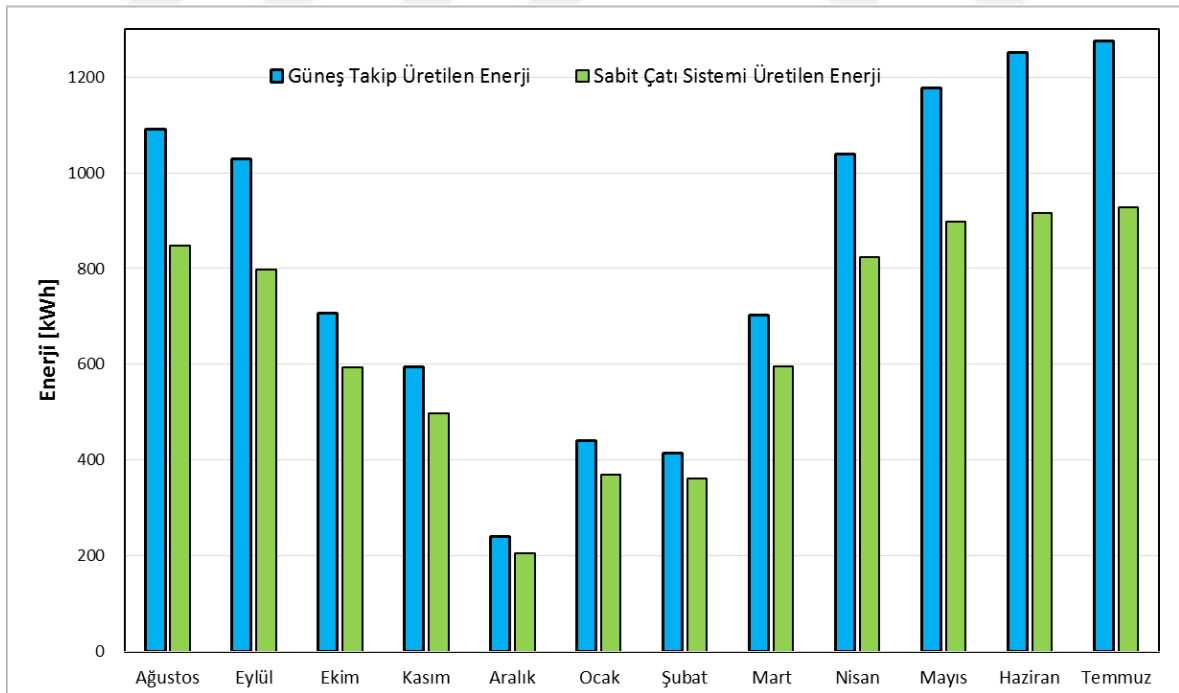
5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

5.1. GES Ölçüm Sonuçları

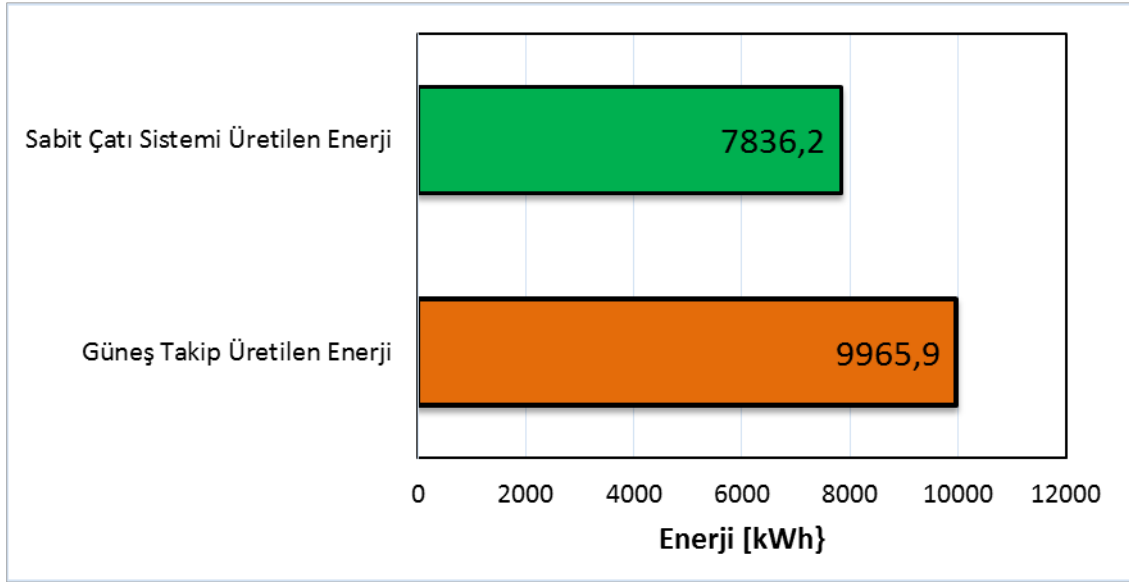
Güneş enerjisi santralının 01.08.2014 tarihinden 31.07.2015 tarihine kadar olan verileri incelenmiştir. Güneş takip sistemi ve sabit çatı sistemi verileri ayrı ayrı internet ortamından takip edilmekte ve saklanmaktadır. Her iki sistemin DC akım, DC gerilim, Güç, Enerji, AC akım, AC güç, İnvvertör sıcaklığı, Frekans değerleri kaydedilmektedir.

5.1.1. Performans ölçüm sonuçları

Güneş enerjisi santralının 01.08.2014 - 31.07.2015 tarihleri arasında aylık toplam üretmiş oldukları enerji miktarları Şekil 5-1'de görülmektedir. KSÜ Güneş enerjisi santrali 365 gün içerisinde toplam 17,802 MWh enerji üretmiştir. Güneş takip sistemi toplam 9,965 MWh, sabit çatı sistemi toplam 7,836 MWh enerji üretmiştir. Aylık ortalama 1485,5 kWh enerji üretilmiştir. En az üretim 445,7 kWh ile Aralık ayında, en çok üretim 2204,1 kWh ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir. Yıllık olarak güneş takip sistemi, sabit çatı sistemine göre %27,177 daha fazla enerji üretmiştir. Güneş takip sisteminin kazancı aylara göre değişmektedir. En az kazanç Şubat ayında % 14,907 ve en çok kazanç Temmuz ayında % 37,485 olmuştur. Tablo 5-1'de aylık toplam üretilen enerji miktarları görülmektedir.



Şekil 5-1. Aylık toplam üretilen enerji miktarları

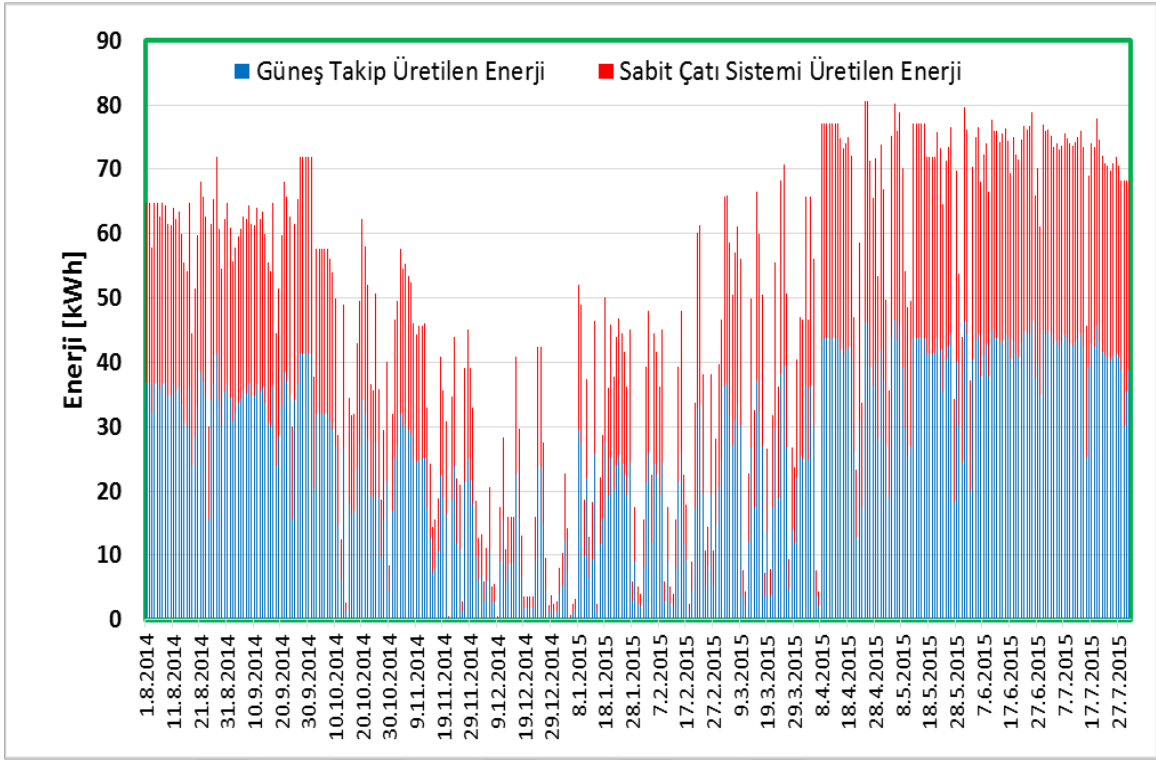


Şekil 5-2. Yıllık toplam üretilen enerji miktarları

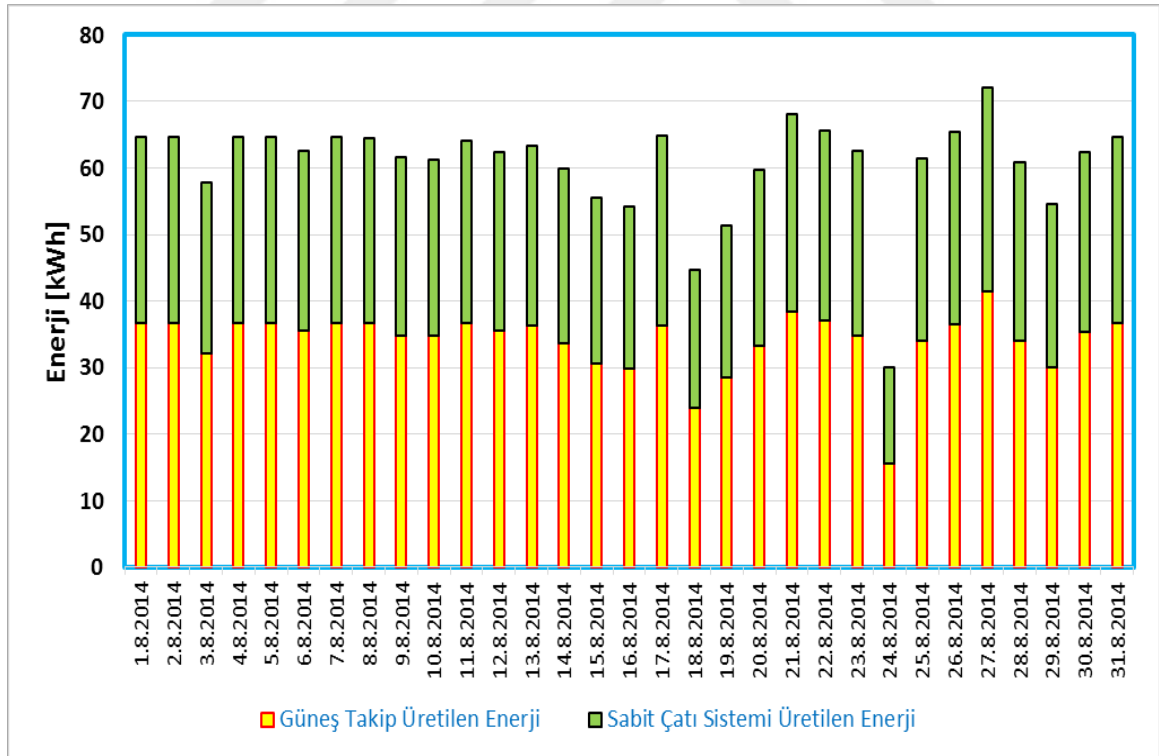
Tablo 5-1. Aylık toplam üretilen enerji miktarları

	Güneş Takip Sistemi [kWh]	Sabit Çatı sistemi [kWh]
Ağustos	1091,8	848,2
Eylül	1029,8	798,6
Ekim	707,5	594,4
Kasım	594,7	497,3
Aralık	240,2	205,5
Ocak	441,2	369,4
Şubat	414,7	360,9
Mart	702	595,9
Nisan	1038,8	823,7
Mayıs	1178,1	897,4
Haziran	1251,1	916,8
Temmuz	1276	928,1

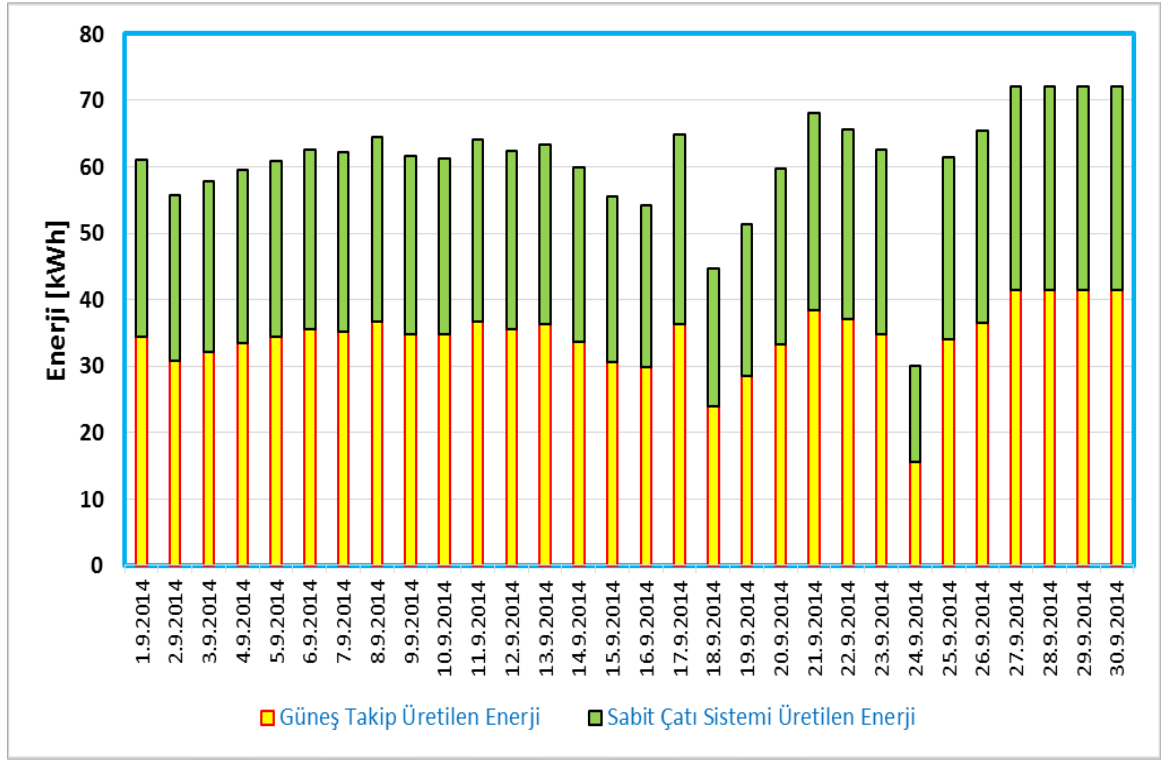
Güneş takip sistemi ve sabit çatı sisteminde üretilen enerjinin günlük değişimi Şekil 5-3'de görülmektedir. Günlük ortalama 48,83 kWh enerji üretilmiştir. Şekil 5-4 ve Şekil 5-15 arasındaki şekillerde aylara göre günlük enerji üretimi görülmektedir.



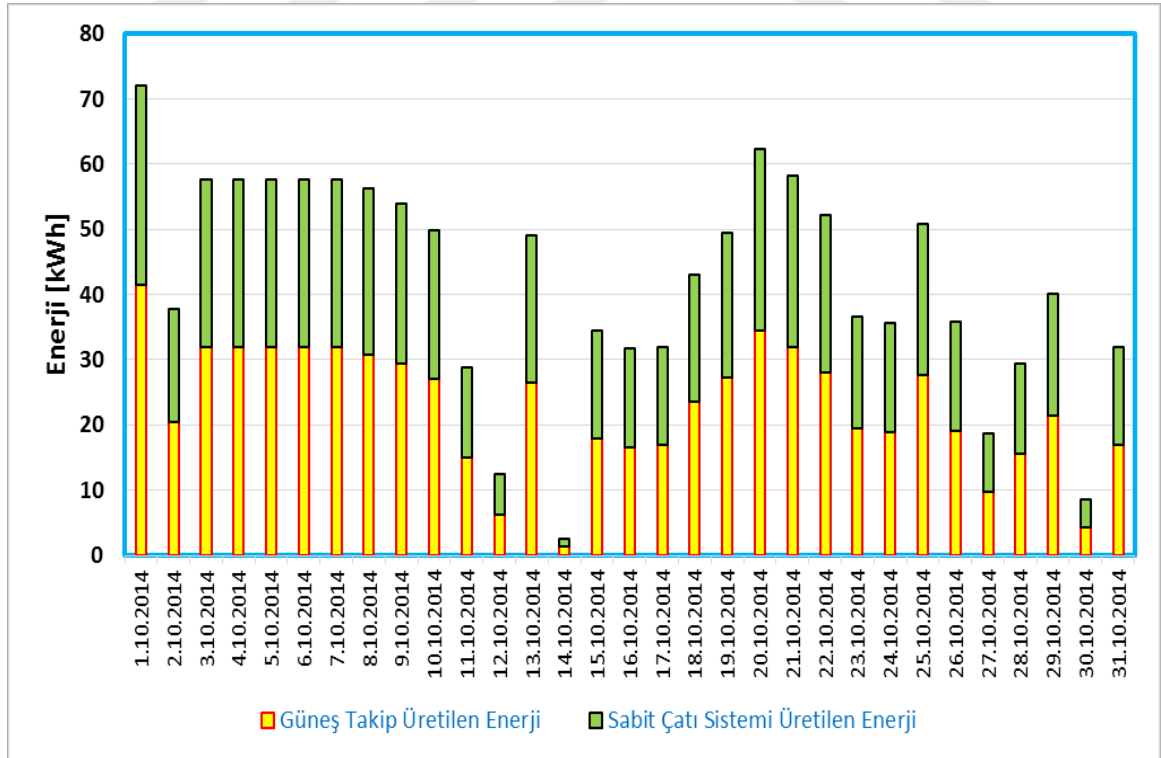
Şekil 5-3. Günlük üretilen enerji miktarı



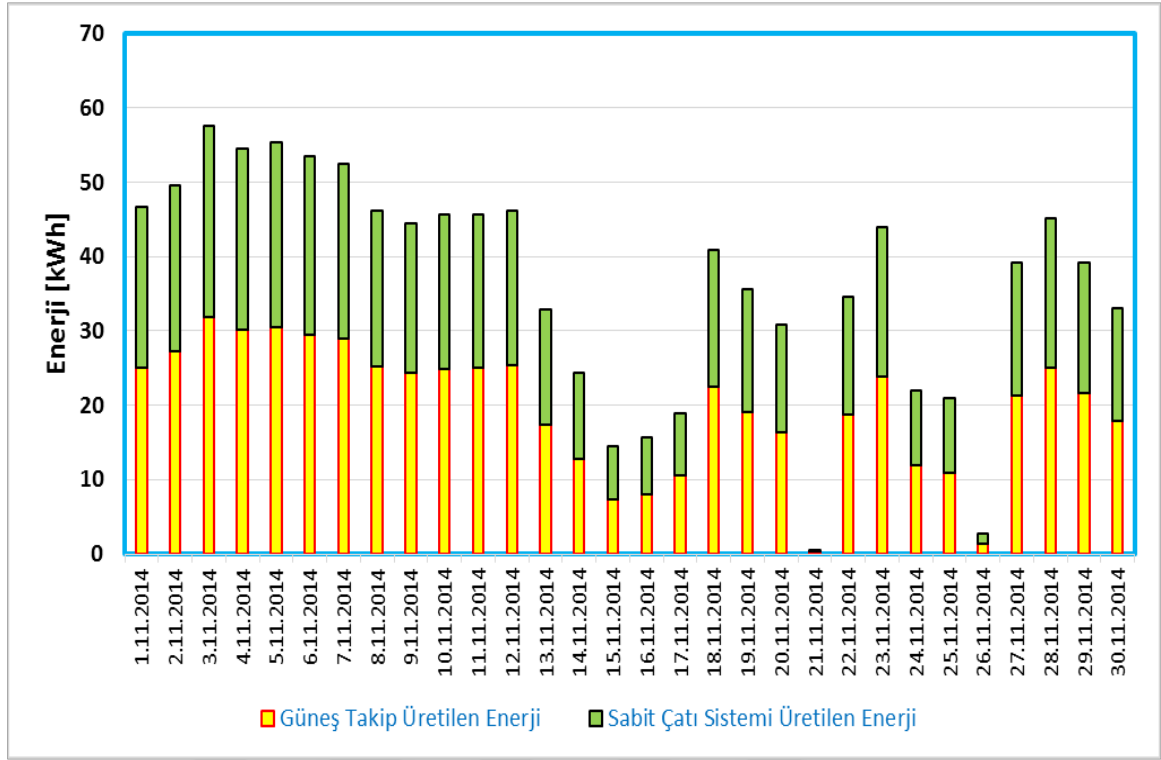
Şekil 5-4. Ağustos 2014 günlük enerji üretimi



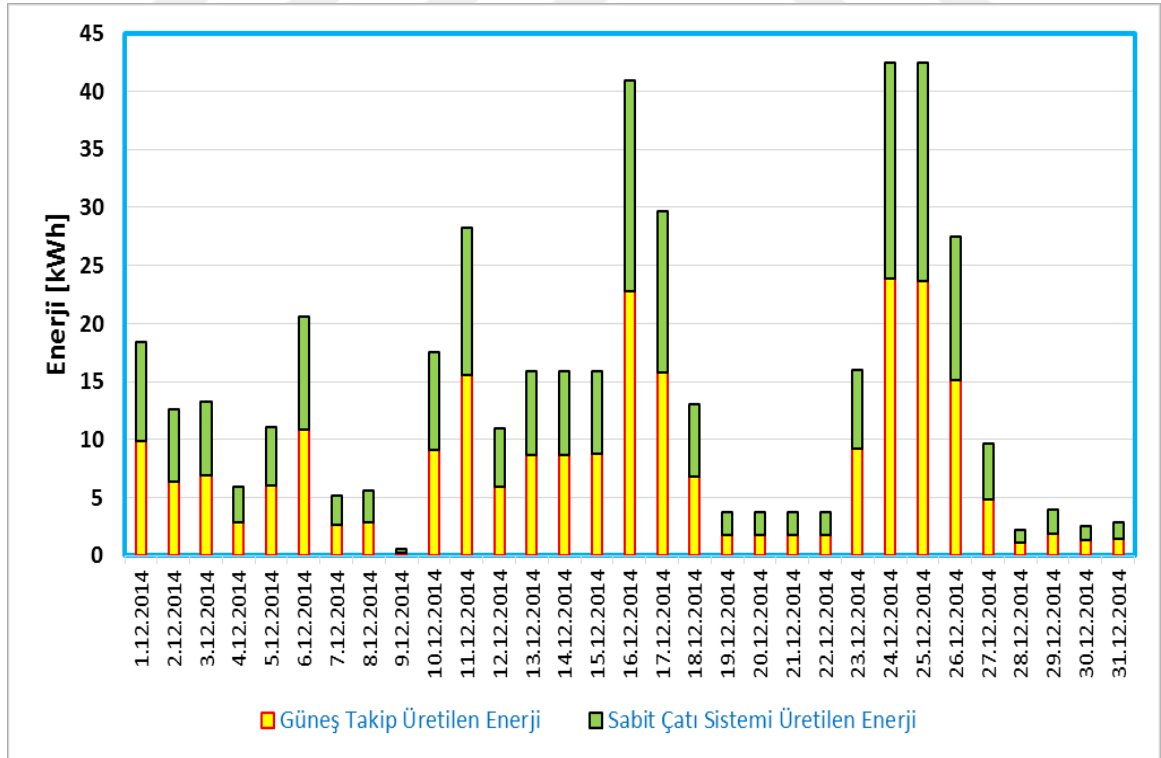
Şekil 5-5. Eylül 2014 günlük enerji üretimi



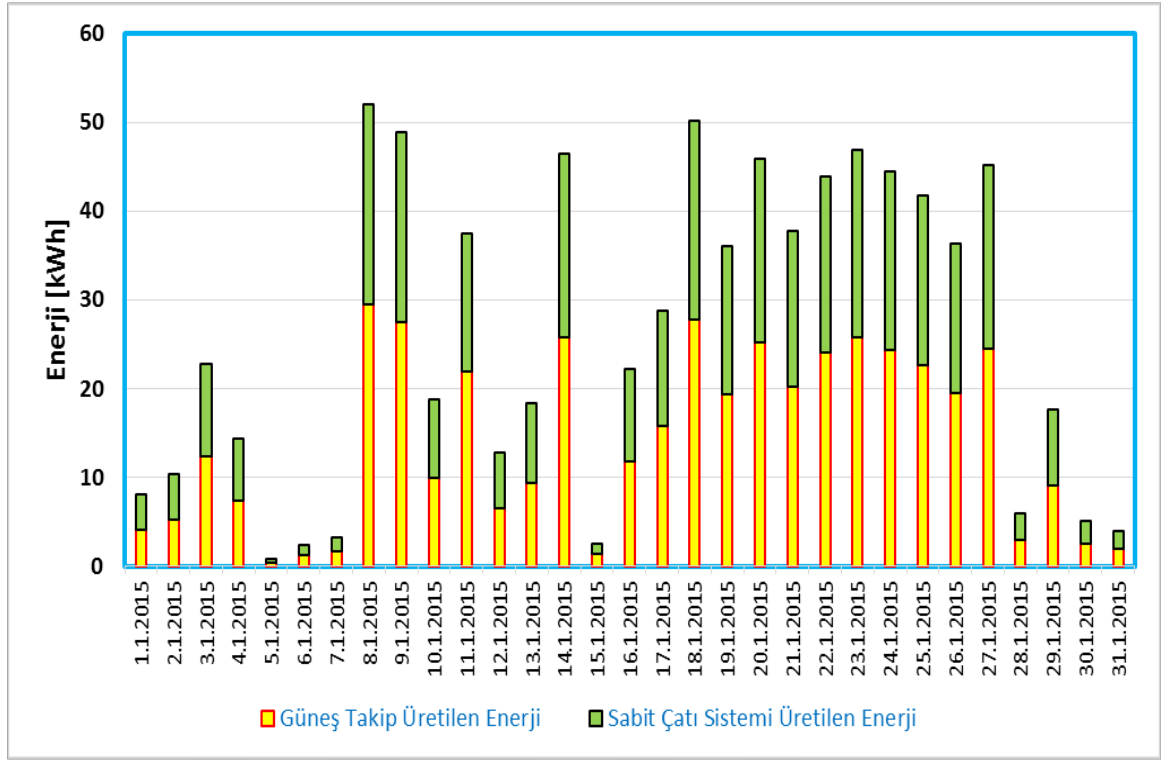
Şekil 5-6 Ekim 2014 günlük enerji üretimi



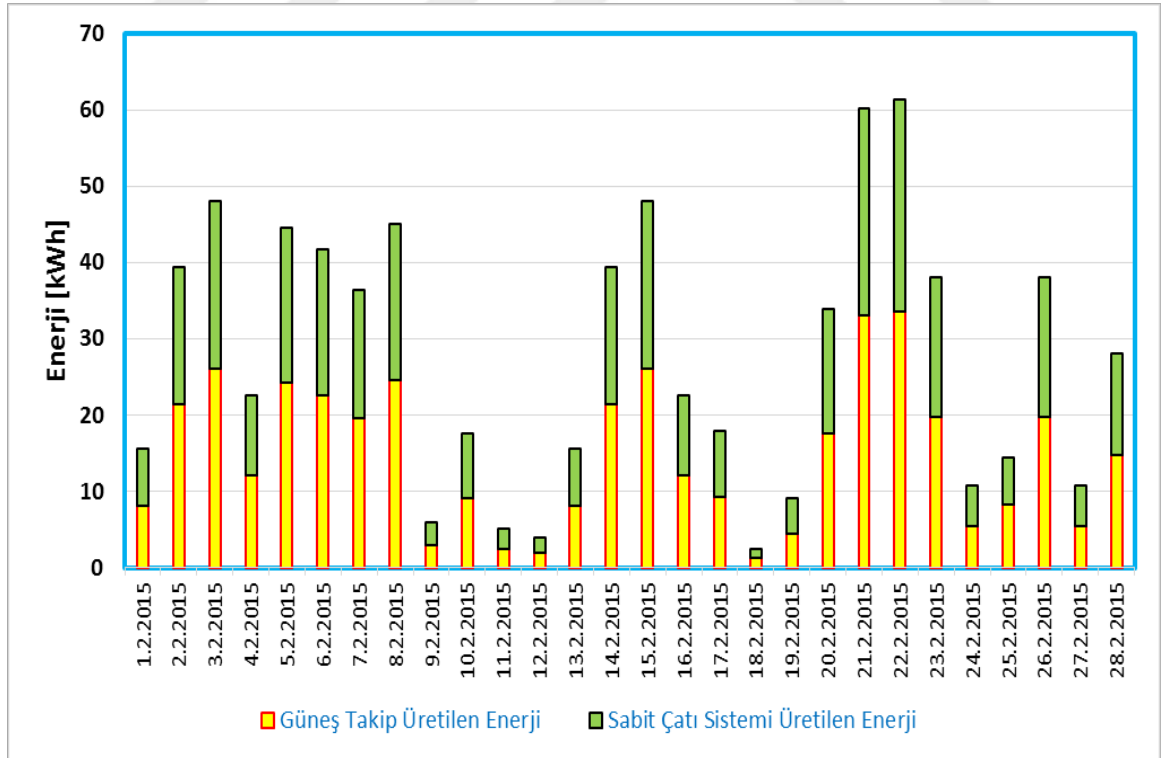
Şekil 5-7. Kasım 2014 günlük enerji üretimi



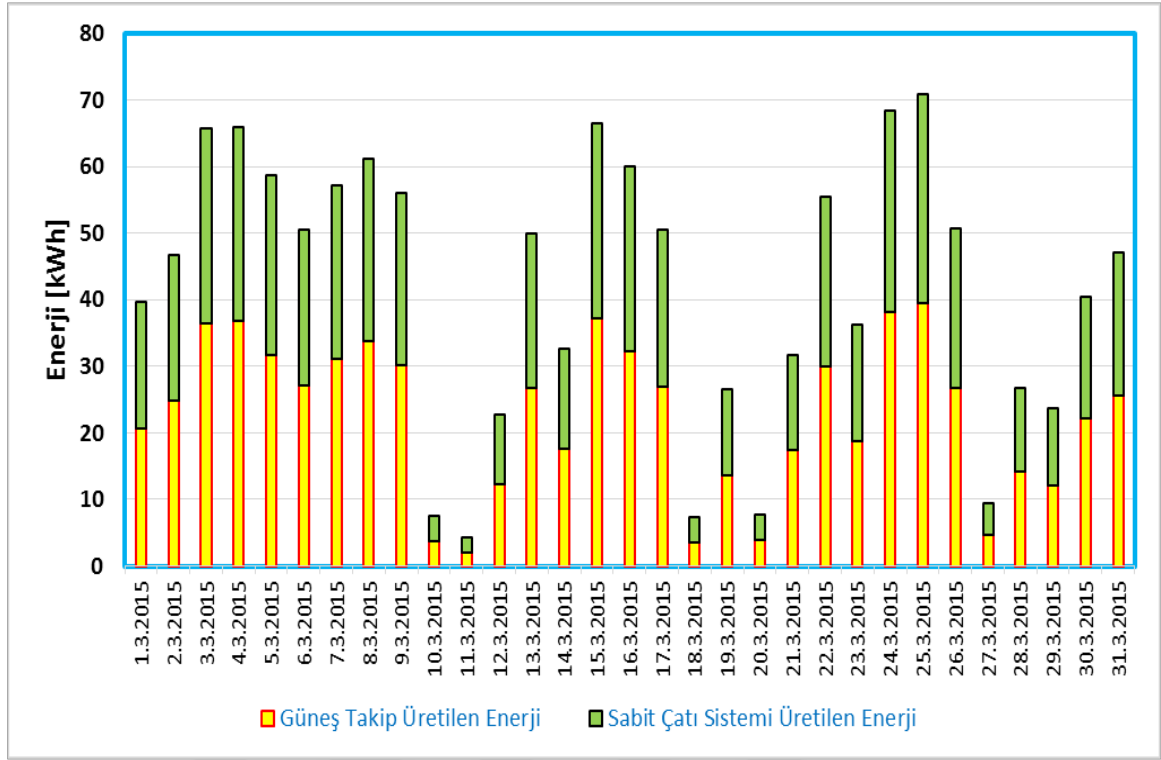
Şekil 5-8. Aralık 2014 günlük enerji üretimi



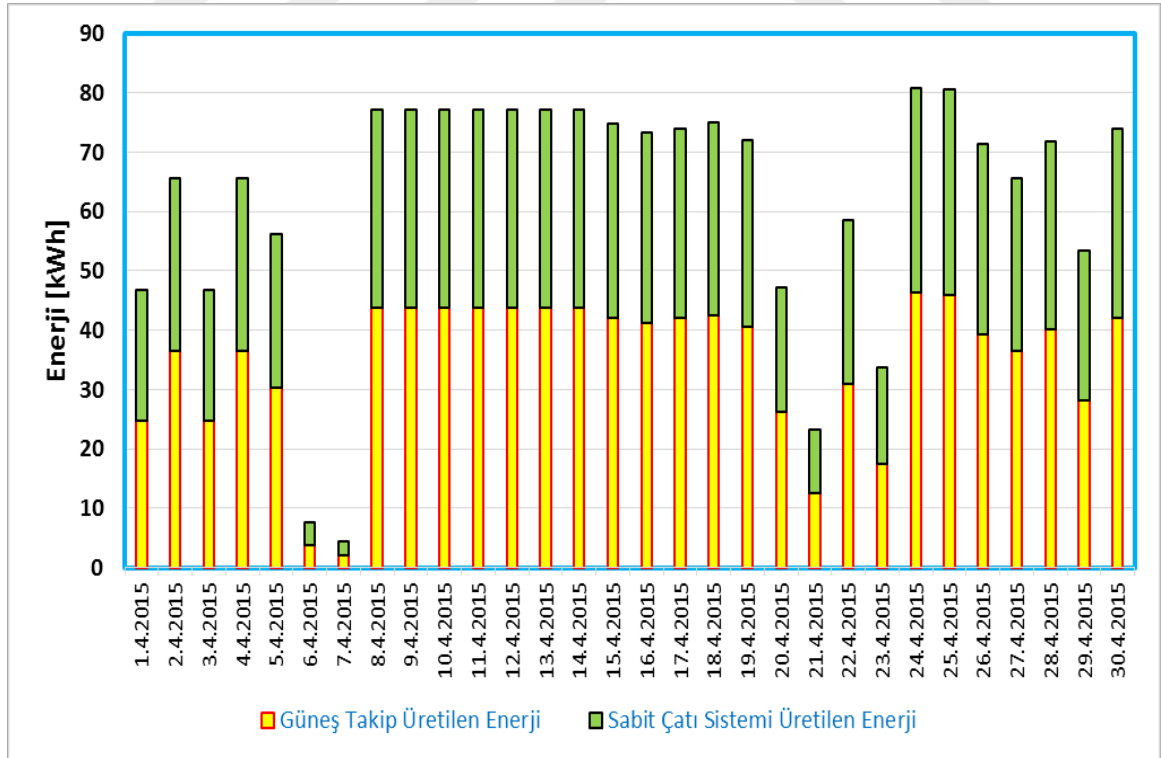
Şekil 5-9. Ocak 2015 günlük enerji üretimi



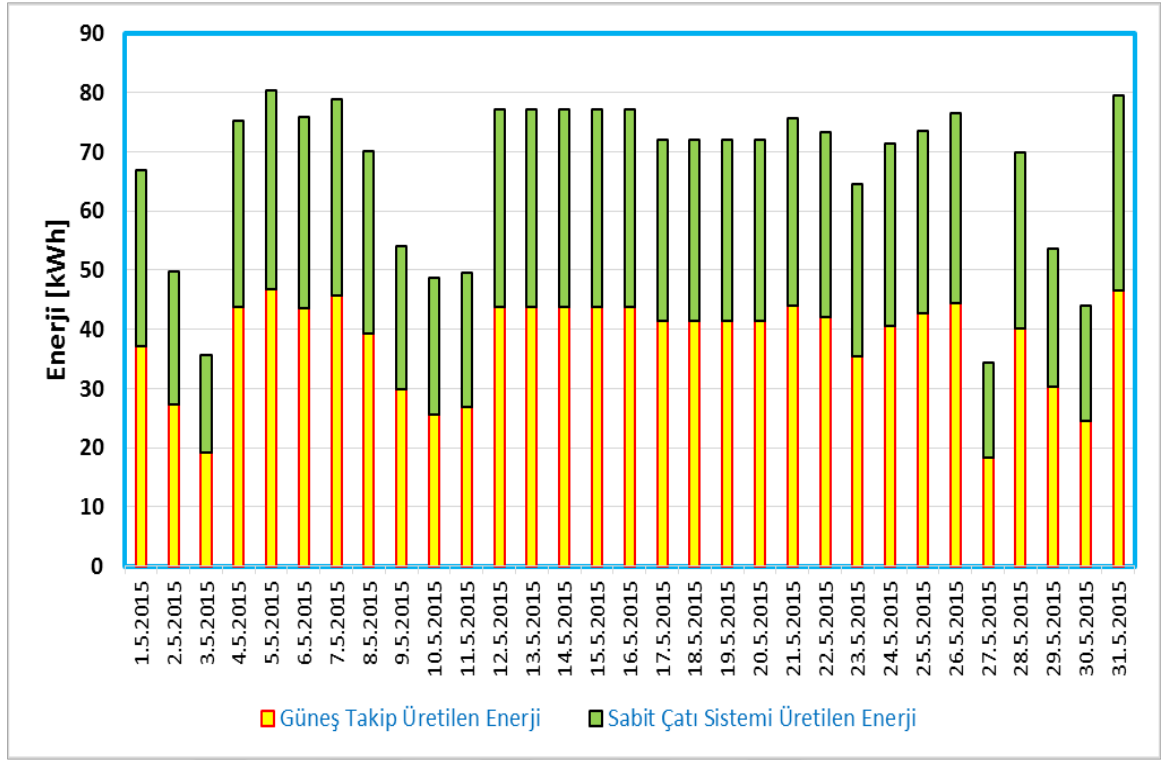
Şekil 5-10 Şubat 2015 günlük enerji üretimi



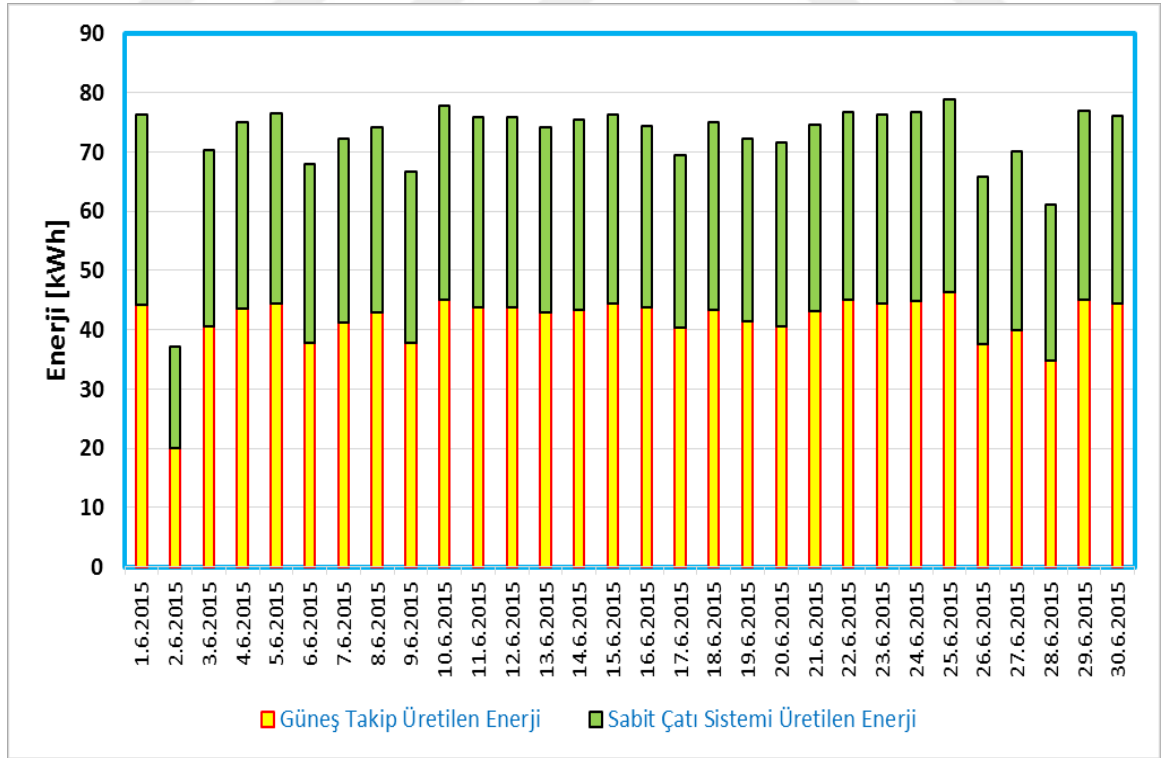
Şekil 5-11. Mart 2015 günlük enerji üretimi



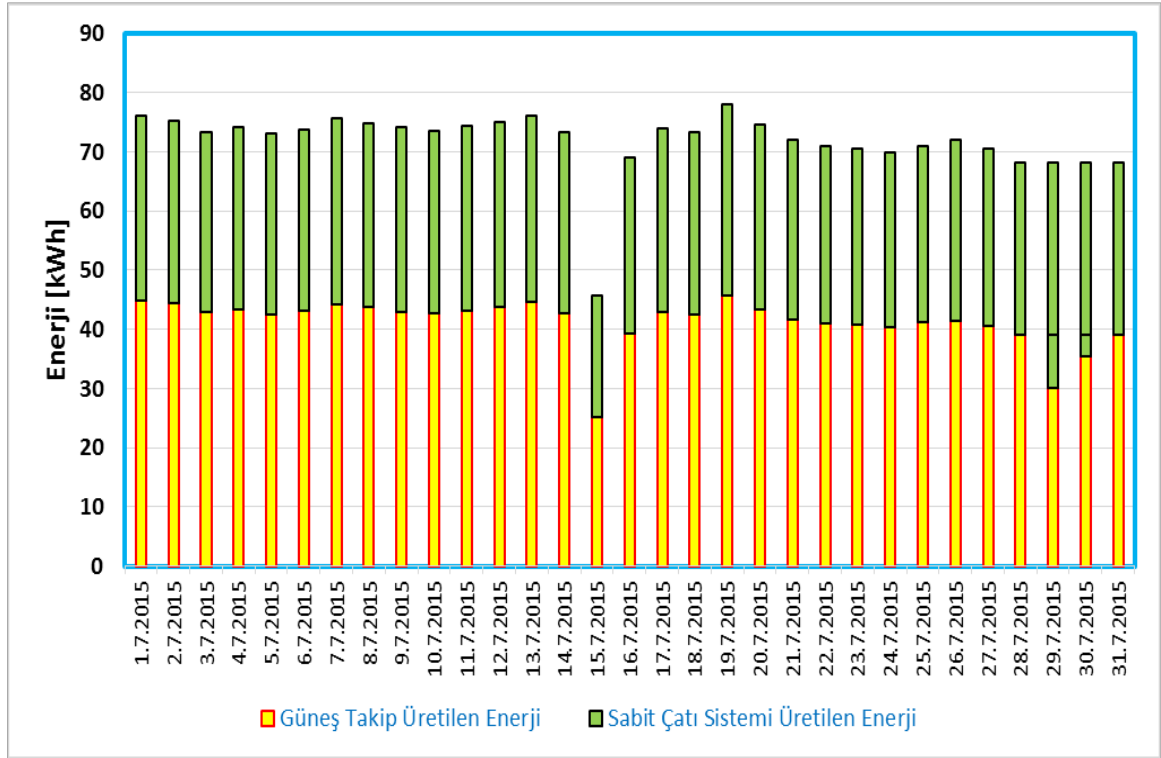
Şekil 5-12. Nisan 2015 günlük enerji üretimi



Şekil 5-13. Mayıs 2015 günlük enerji üretimi

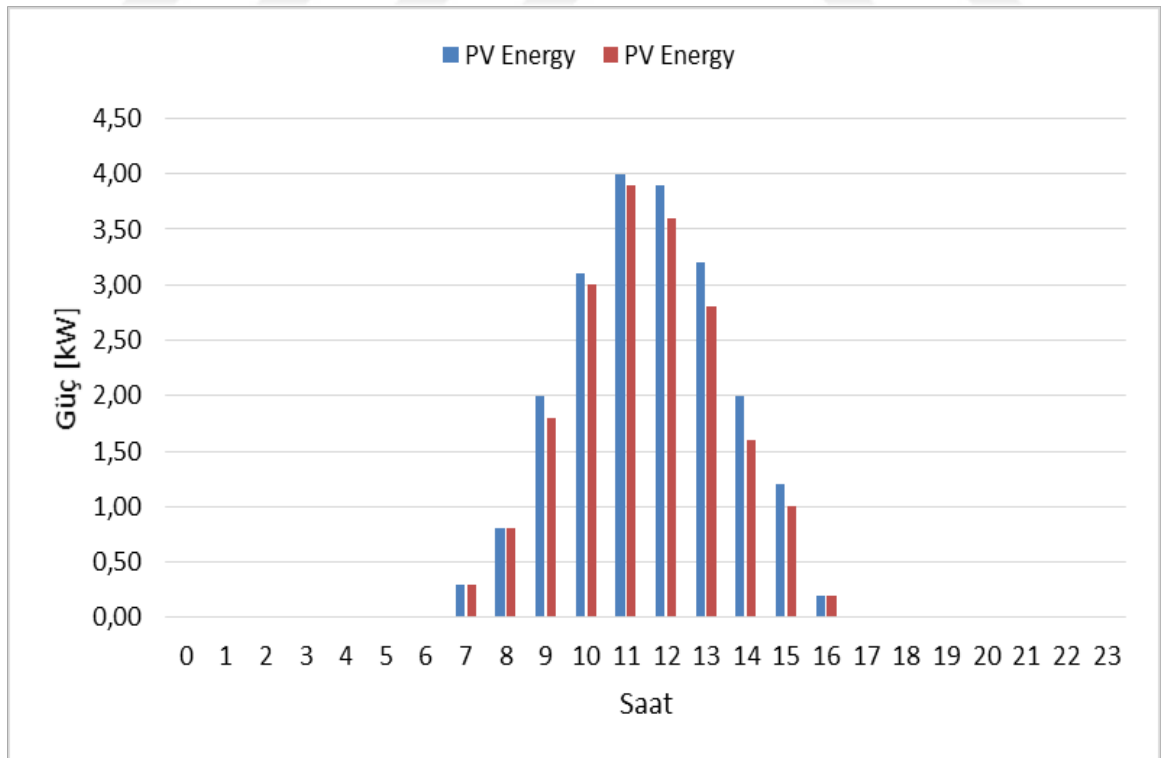


Şekil 5-14. Haziran 2015 günlük enerji üretimi



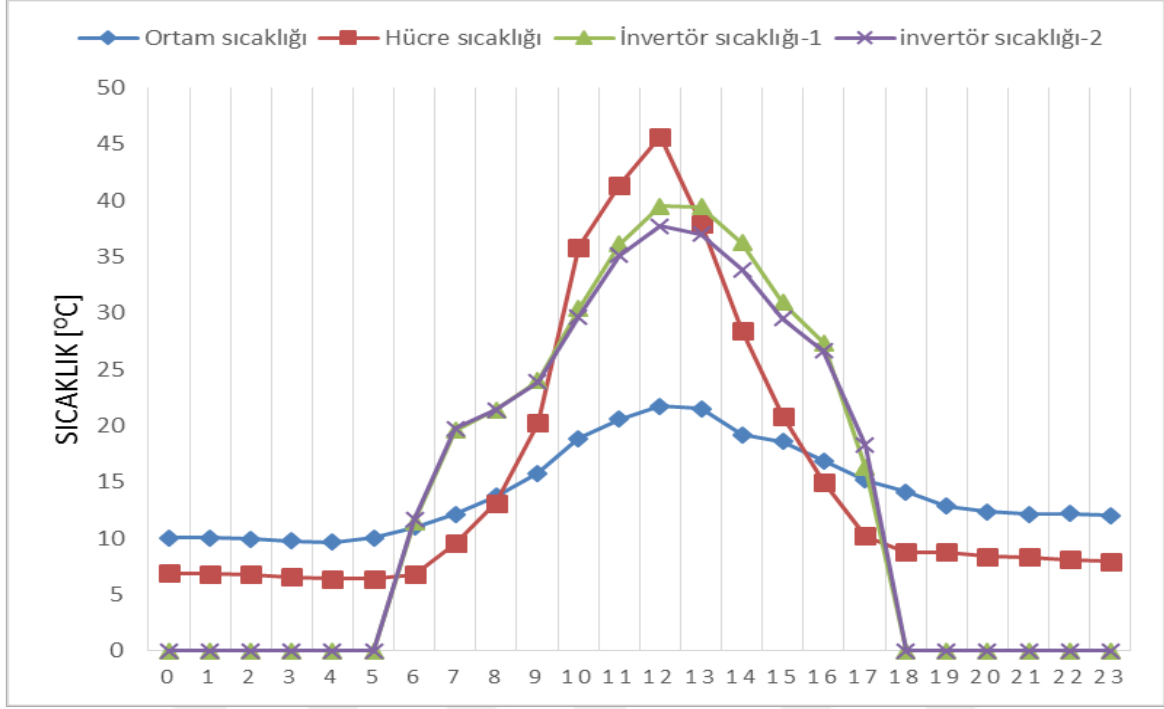
Şekil 5-15. Temmuz 2015 günlük enerji üretimi

Örnek olarak 1 Mart 2015 Pazar günü için saatlik güç değişimi Şekil 5-16'de görülmektedir.

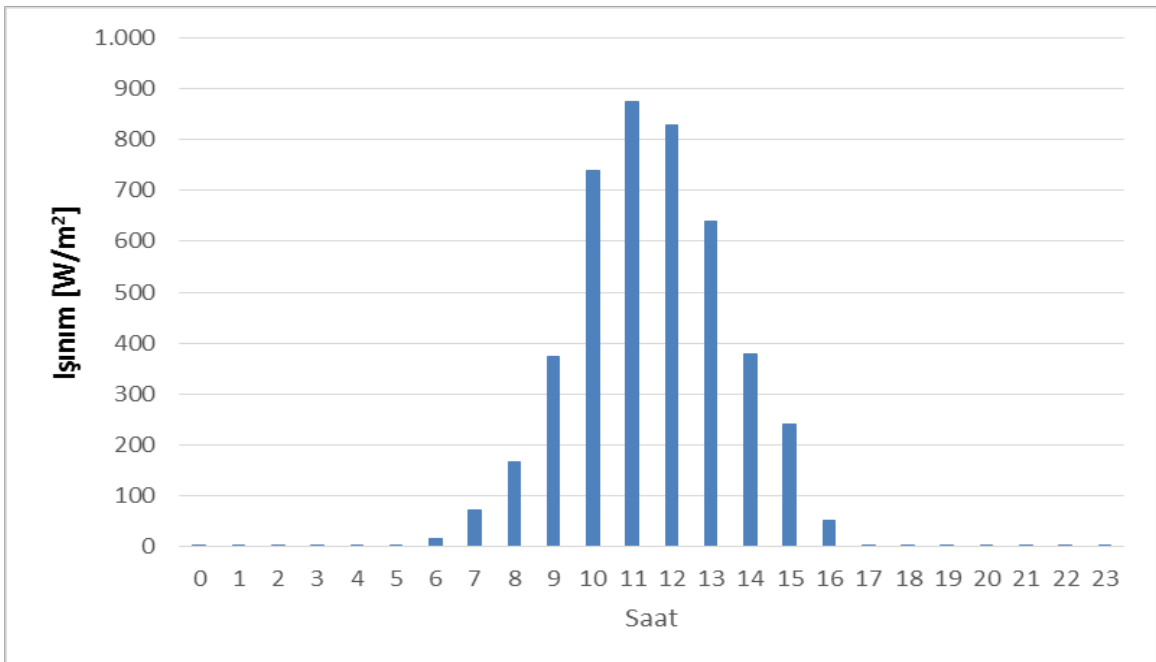


Şekil 5-16. 1 Mart 2015 pazar günü için saatlik güç değişimi

Ortam sıcaklığı, PV Hücre sıcaklığı, Güneş takip sistemi invertör sıcaklığı ve sabit çatı sistemi invertör sıcaklığının örnek olarak 1 Mart 2015 Pazar günü için saatlik değişimi Şekil 5-17'de görülmektedir. Aynı tarih için saatlik ışınım değişimi Şekil 5-18'da görülmektedir.

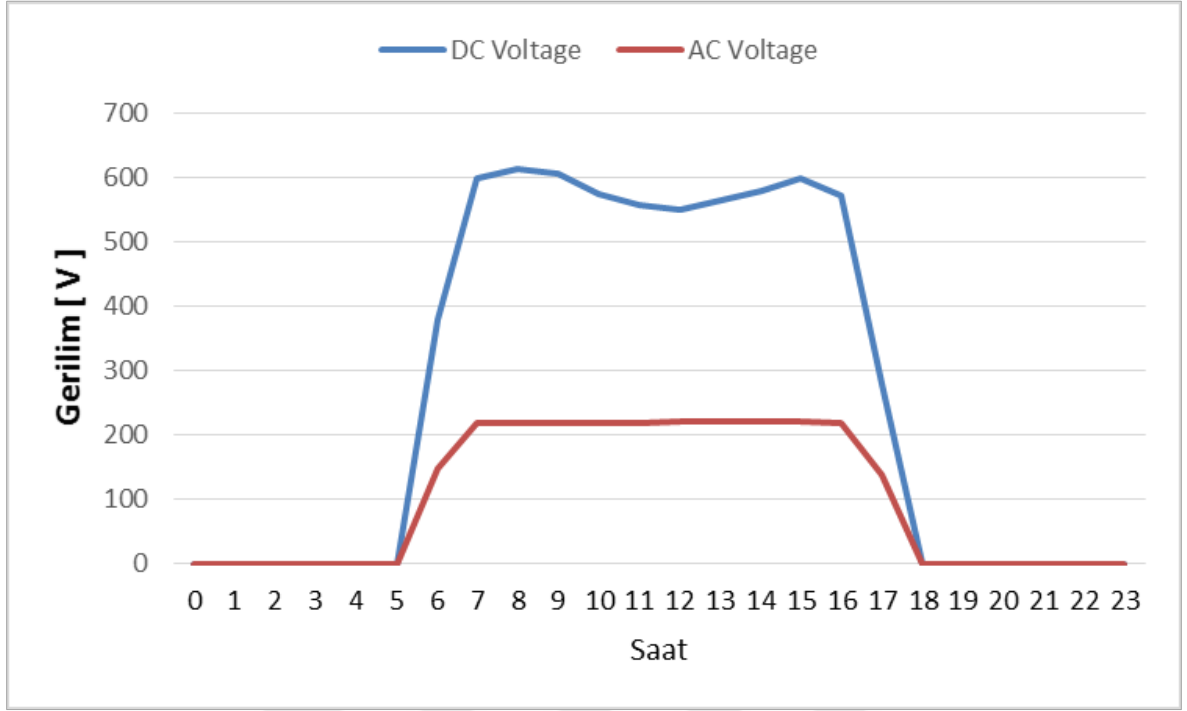


Şekil 5-17. 1 Mart 2015 pazar günü için sıcaklıkların değişimi

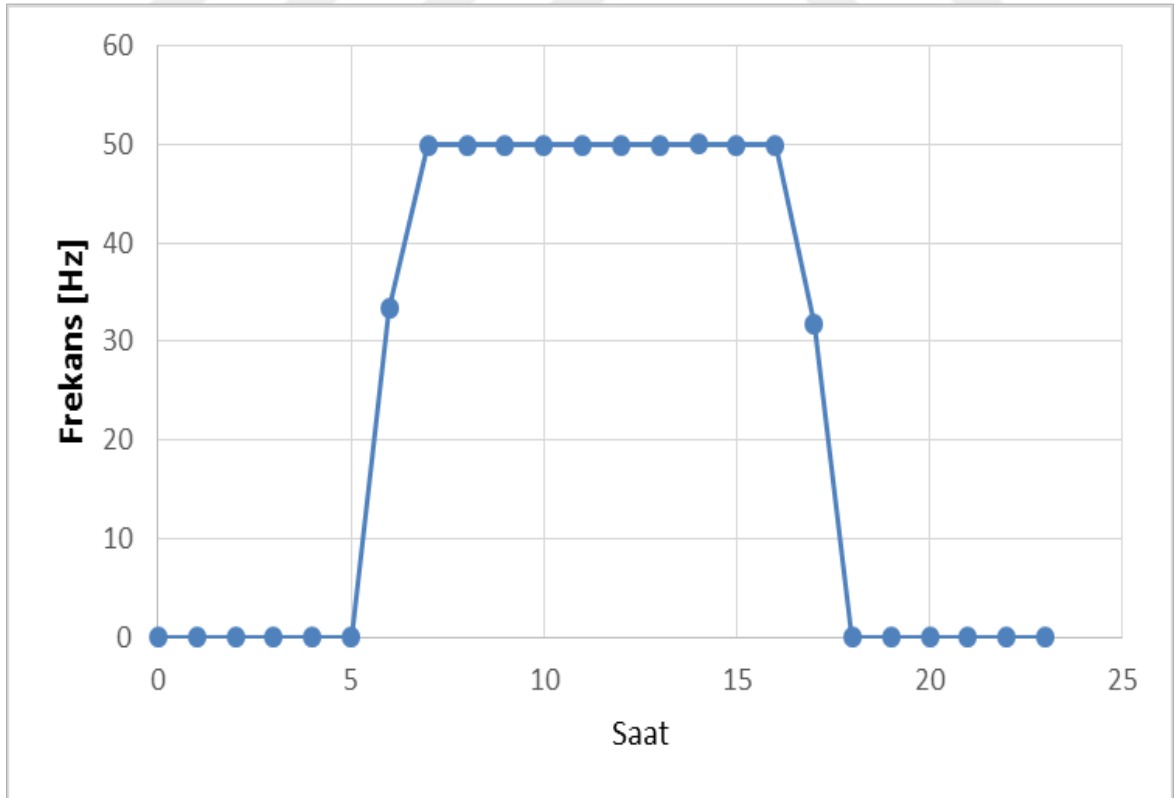


Şekil 5-18. 1 Mart 2015 pazar günü için saatlik ışınım değişimi

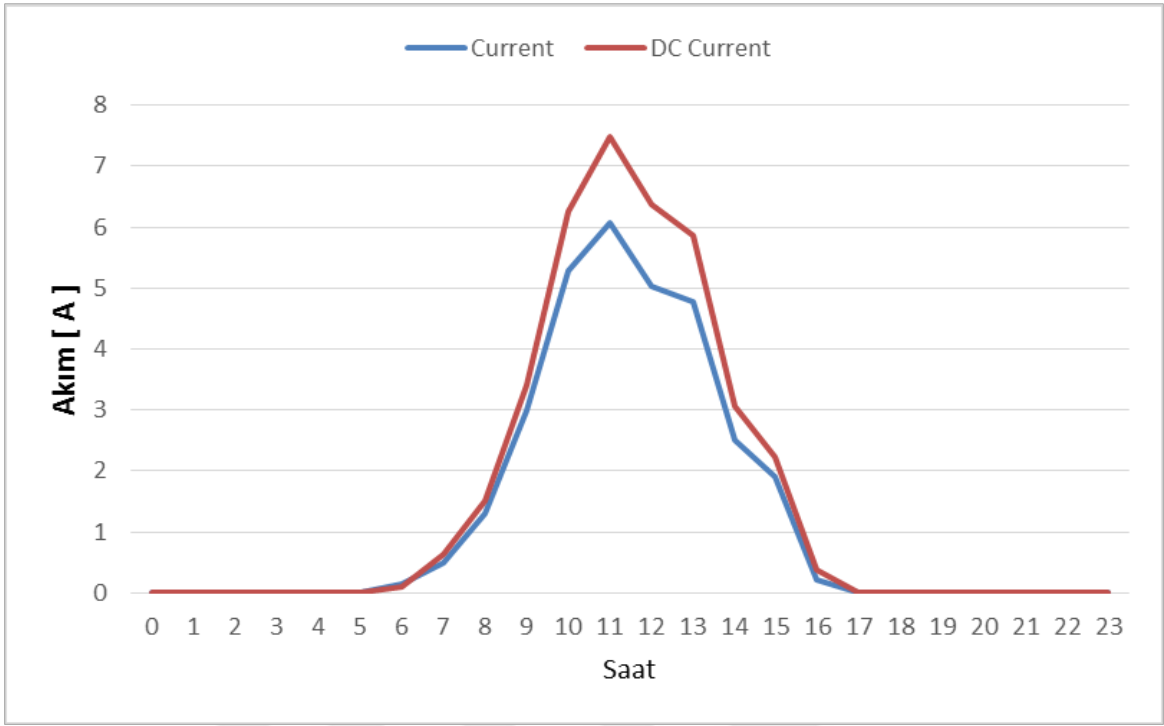
1 Mart 2015 Pazar günü için saatlik gerilim değişimi Şekil 5-19’de, frekans değişimi Şekil 5-20’de ve Şekil 5-21’de görülmektedir.



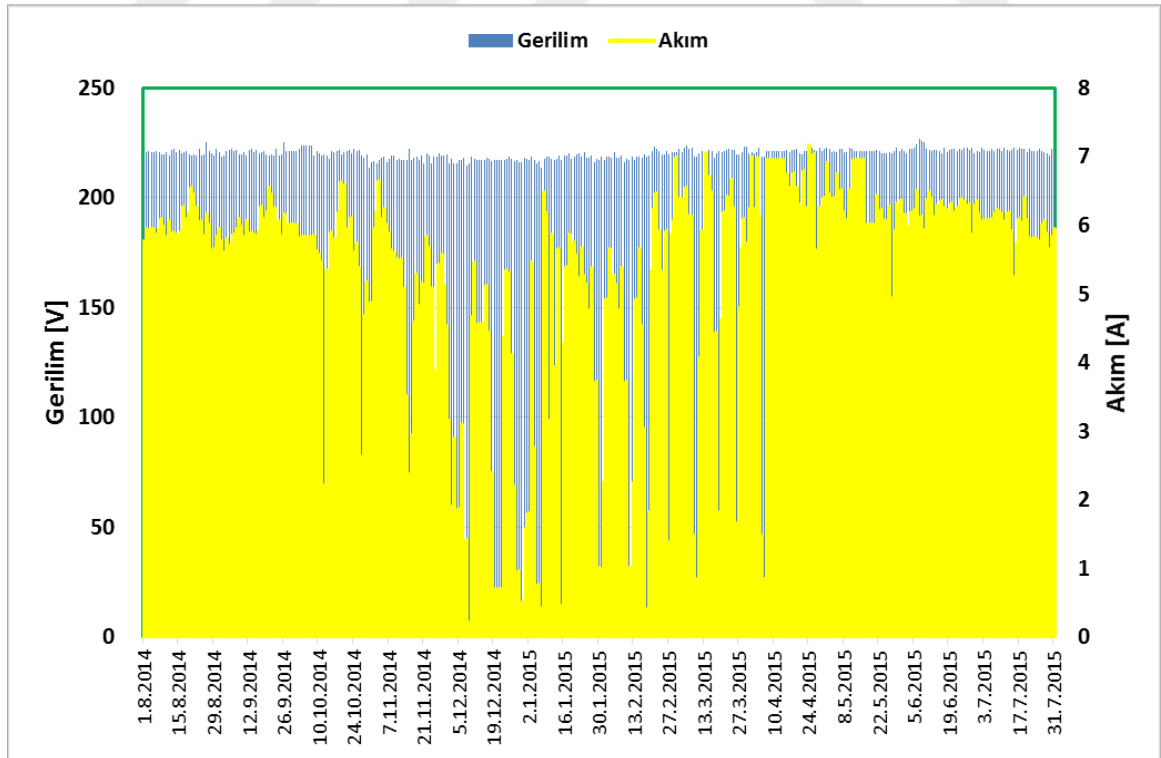
Şekil 5-19. 1 Mart 2015 pazar günü için saatlik gerilim değişimi



Şekil 5-20. 1 Mart 2015 pazar günü için saatlik frekans değişimi



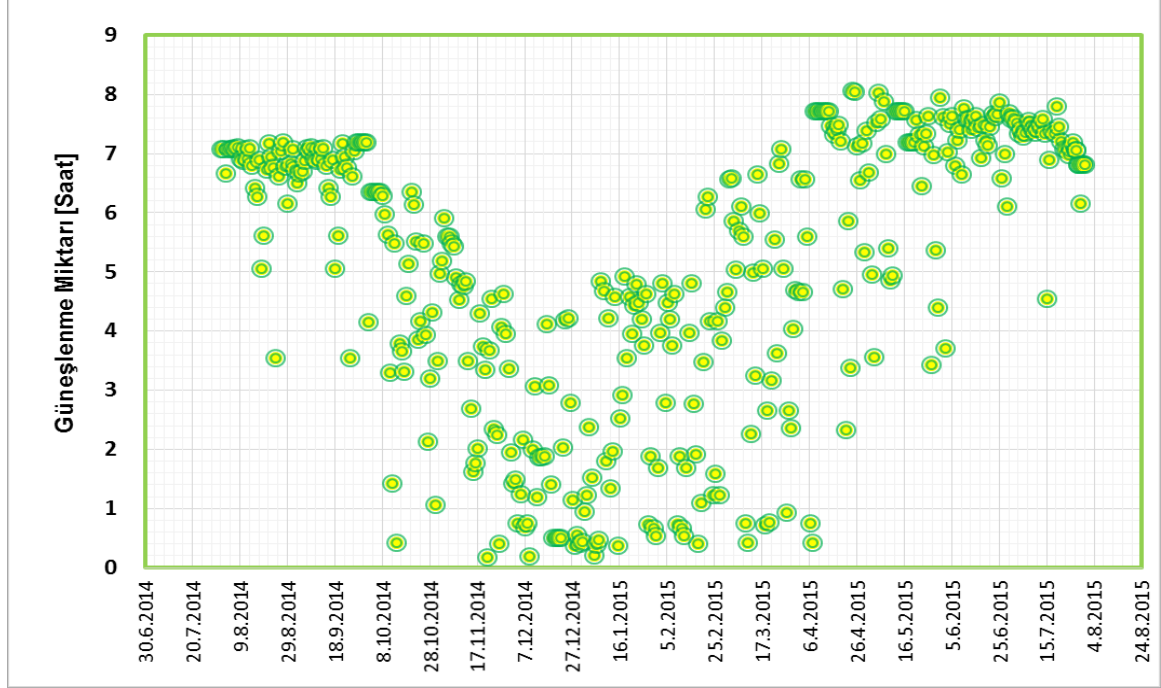
Şekil 5-21. 1 Mart 2015 pazar günü için saatlik akım değişimi



Şekil 5-22. Akım ve gerilimin yıllık değişimi

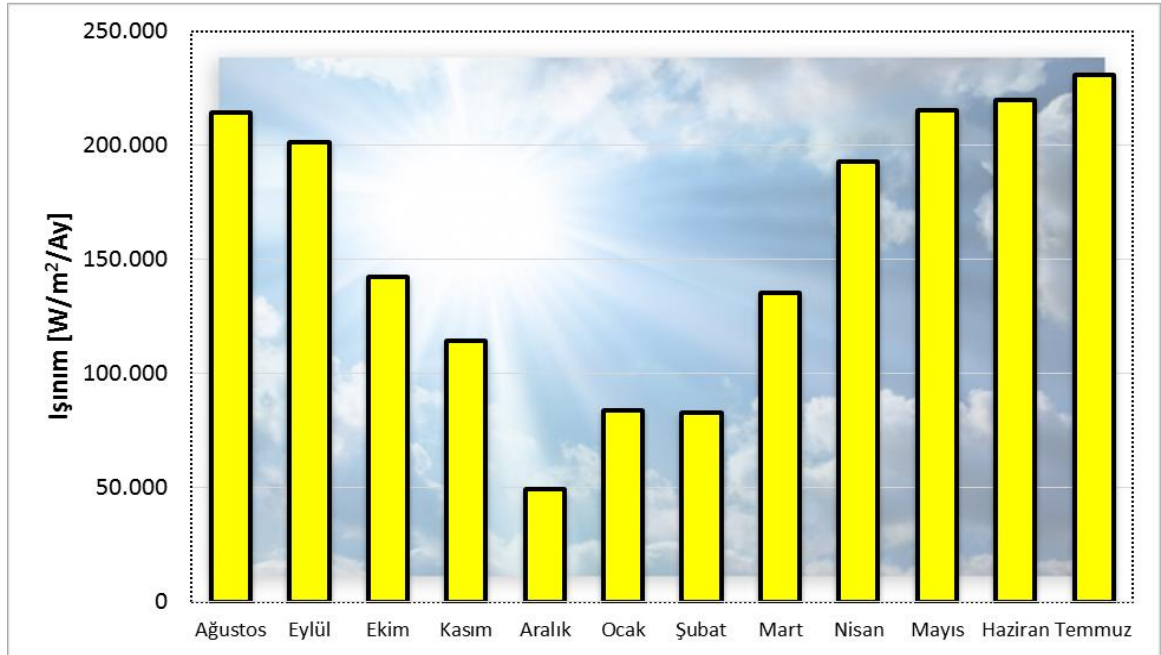
5.1.2. İklim değerleri ölçüm sonuçları

01.08.2014 - 31.07.2015 tarihleri arasında ışınım, güneşlenme süresi ve sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Şekil 5-23'de günlük güneşlenme süresinin değişimi görülmektedir.

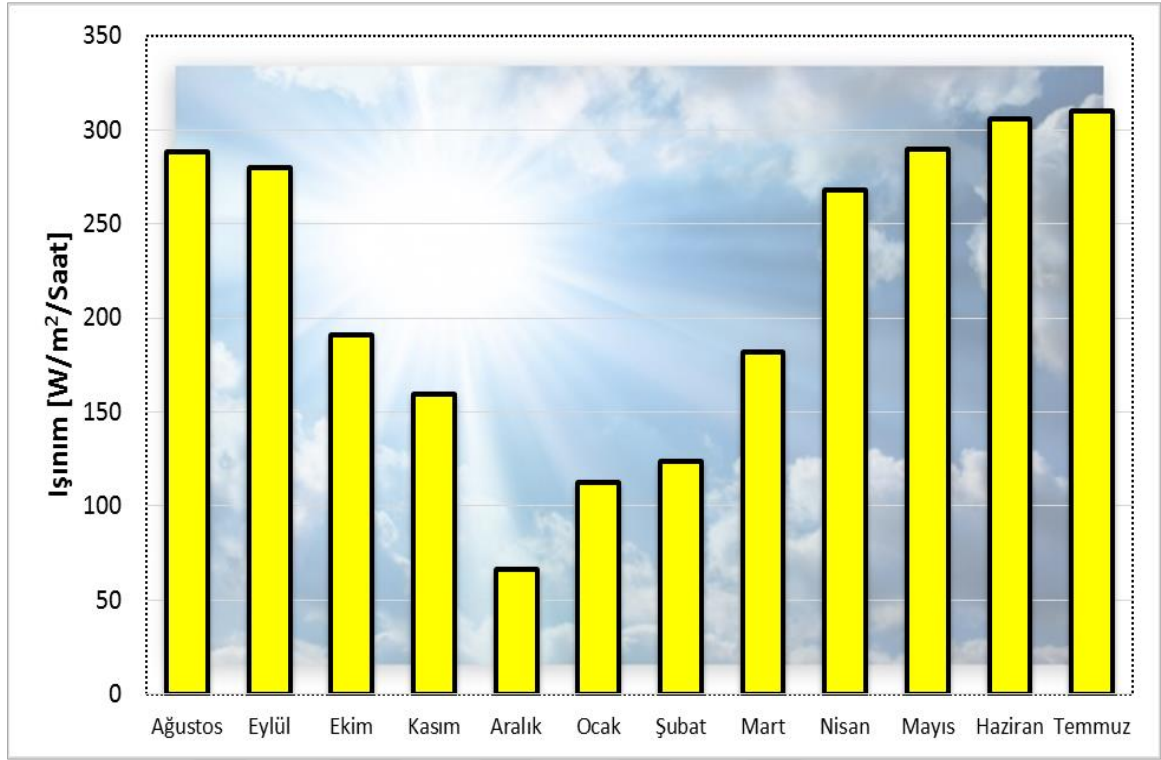


Şekil 5-23. Günlük güneşlenme süresinin değişimi

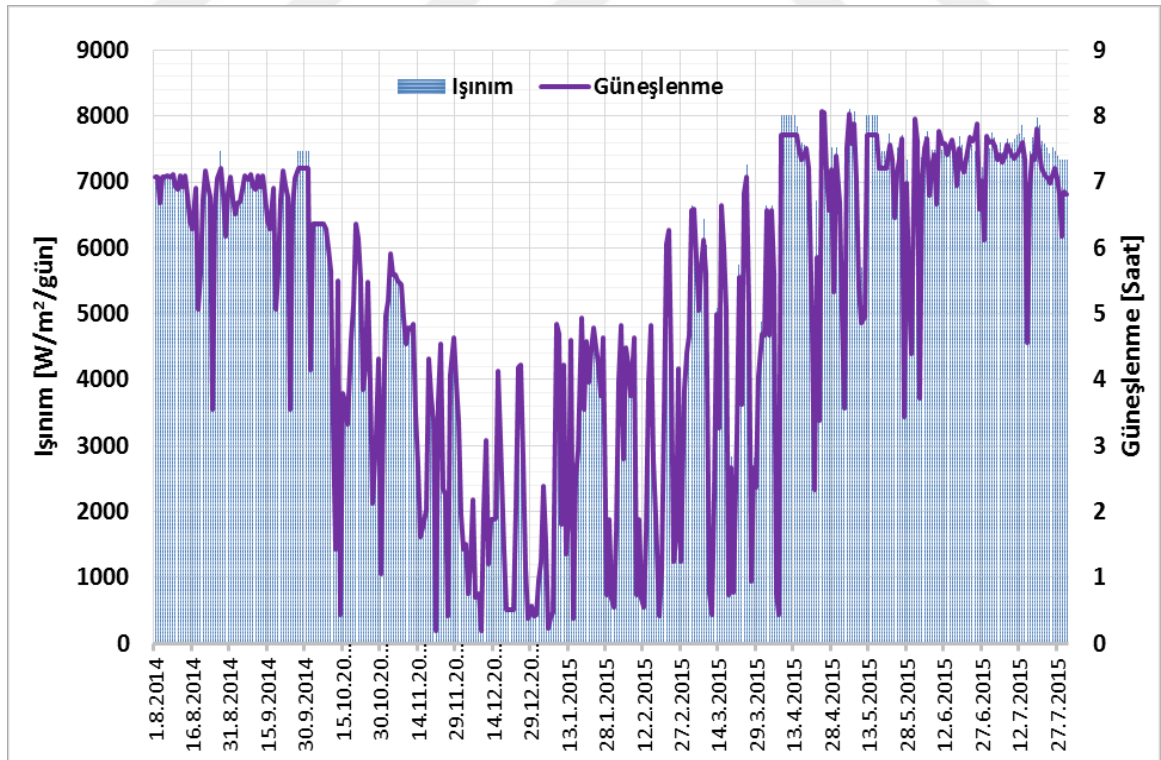
Şekil 5-24'da aylık toplam ışınım değerleri, Şekil 5-25'de saatlik ortalama ışınım değerleri ve Şekil 5-26'de günlük toplam ışınım değerlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 5-24. Aylık toplam ışınım değerleri

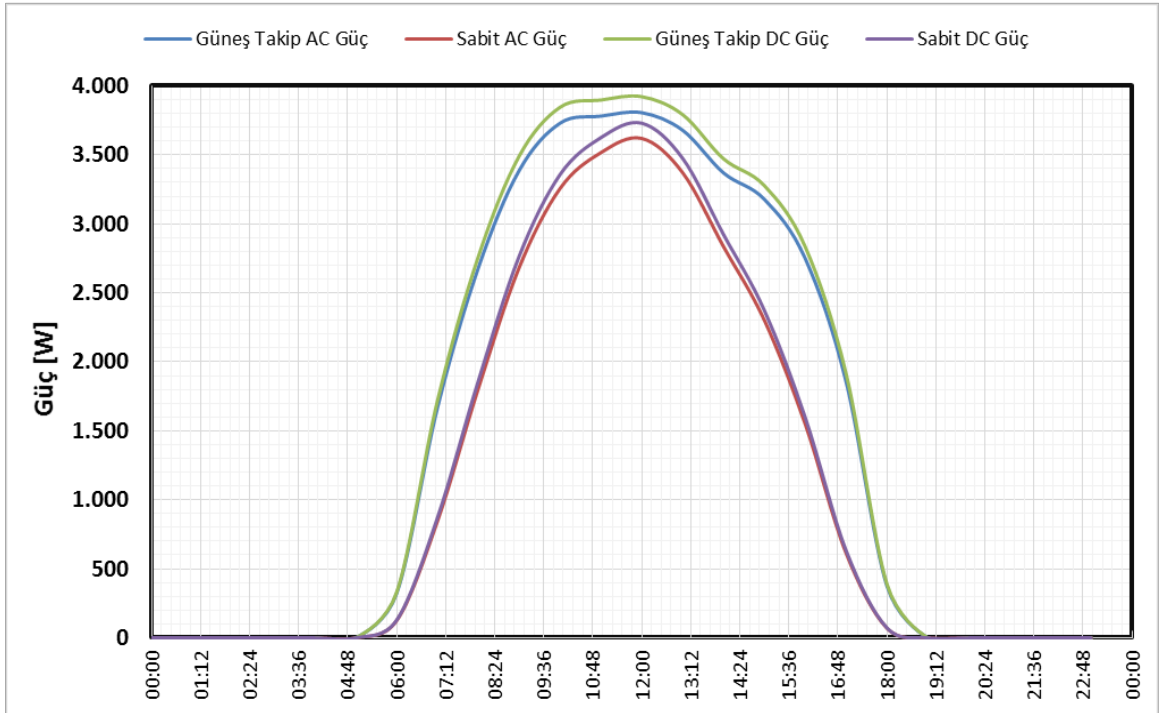
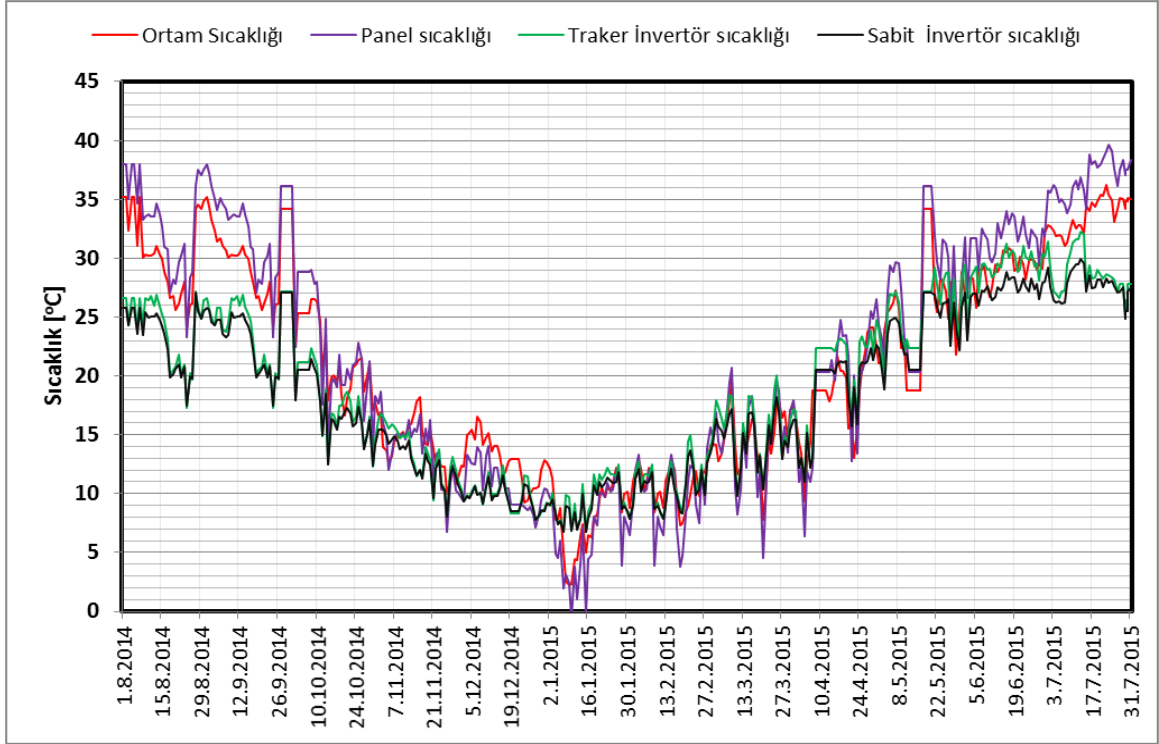


Şekil 5-25. Saatlik ortalama ışınım değerleri

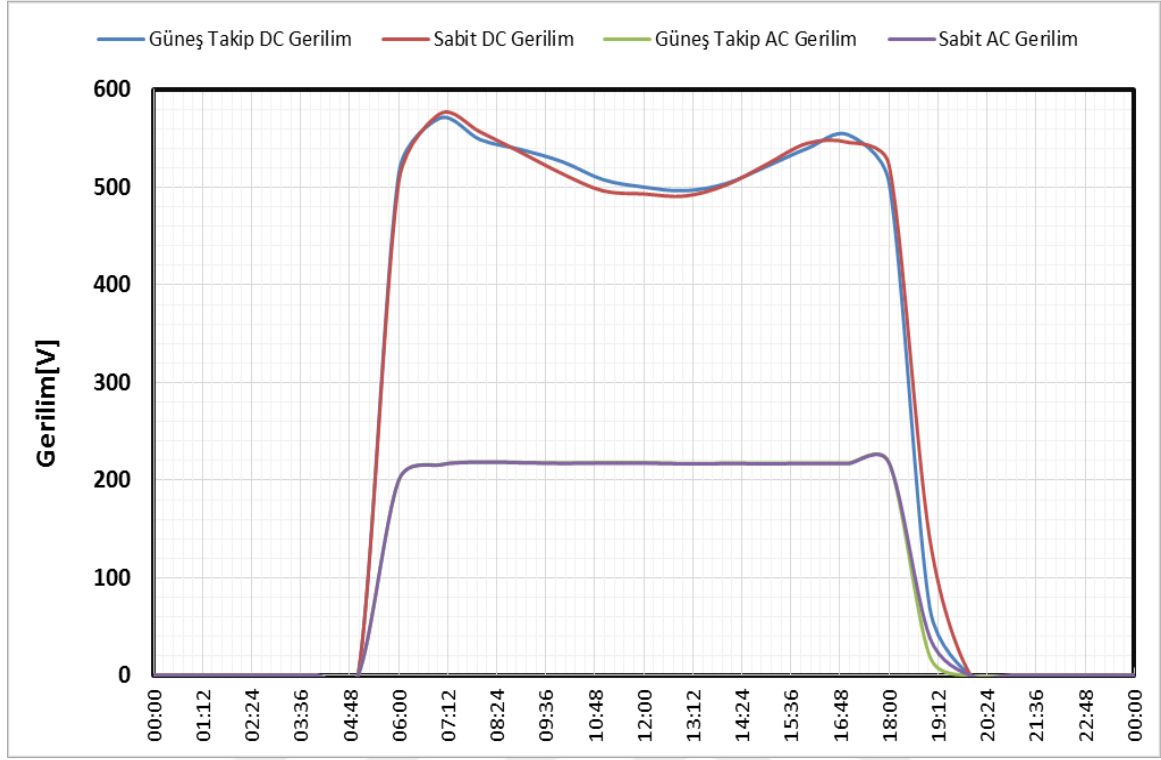


Şekil 5-26. Günlük toplam ışınım değerlerinin değişimi

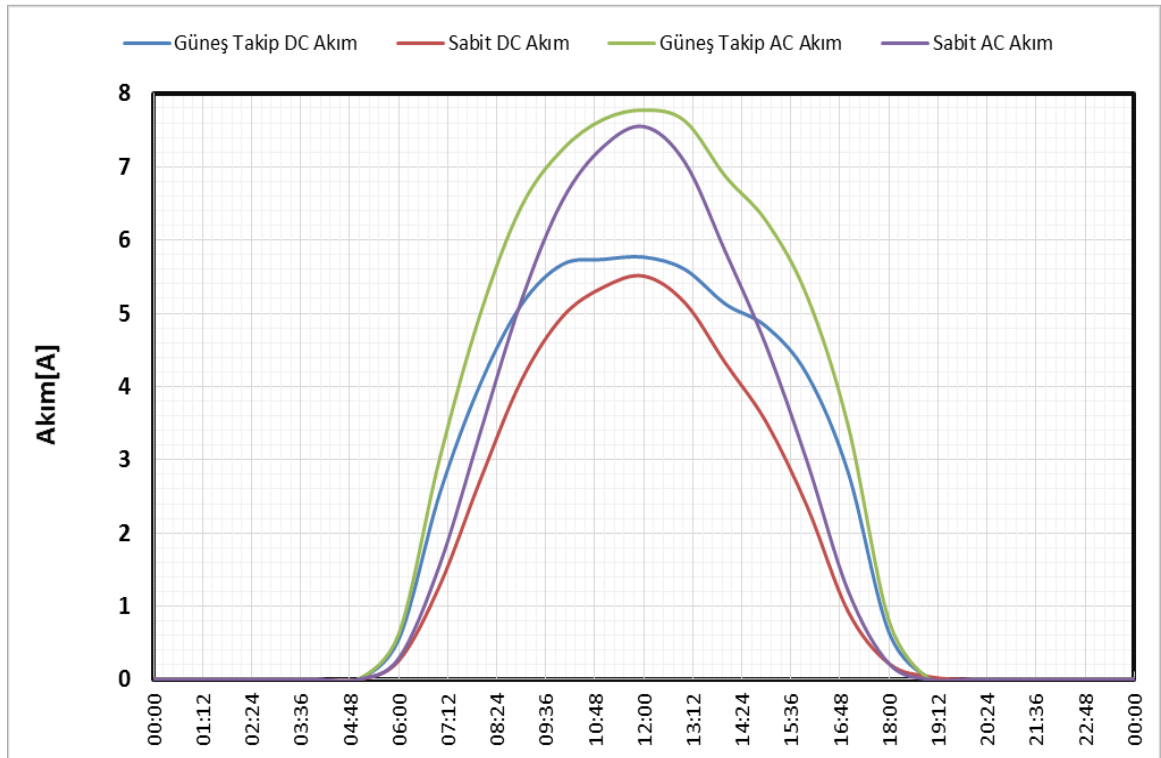
Ortam sıcaklığı, PV Hücre sıcaklığı, Güneş takip sistemi invertör sıcaklığı ve sabit çatı sistemi invertör sıcaklığının değişimi Şekil 5-27’de görülmektedir. Şekil 5-28’de 01.08.2014 günü için güç değişimleri görülmektedir.



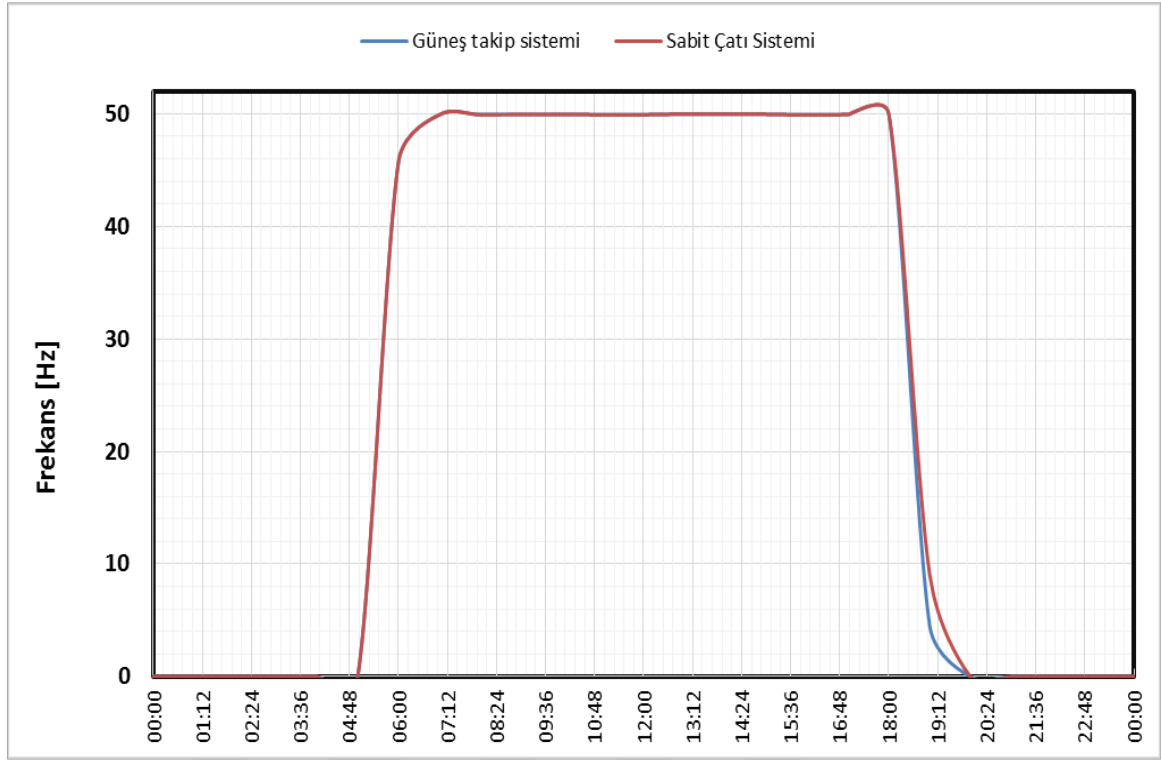
01.08.2015 tarihi için gerilim değişimleri Şekil 5-29’de, akım değişimleri Şekil 5-30’de ve frekans değişimleri Şekil 5-31’da görölmektedir.



Şekil 5-29. Gerilim değişimleri (01.08.2015)



Şekil 5-30. Akım değişimleri (01.08.2015)



Şekil 5-31. Frekans değişimleri (01.08.2015)

Bir yıllık çalışma için modelleme ile tahmin edilen enerji ve üretilen enerji Tablo 5-2’de görülmektedir.

Tablo 5-2. Ölçülen ve tahmin edilen üretilen enerji

	Ölçülen Üretilen Enerji [kWh]	Tahmin Edilen Üretilen Enerji [kWh]
Ağustos	1940	1708
Eylül	1828,4	1529
Ekim	1301,9	1340
Kasım	1092	1065
Aralık	445,7	827
Ocak	810,6	803
Şubat	775,6	951
Mart	1297,9	1344
Nisan	1862,5	1462
Mayıs	2075,5	1720
Haziran	2167,9	1725
Temmuz	2204,1	1743
Toplam	17802,1	16217

Yıllık toplamda üretilen enerjinin, tahmin edilen enerjiden fazla olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeni sistemin yarısını oluşturan güneş takip sisteminin daha enerji üretmesidir. Aralık ayında görülen üretim düşüşünün nedeni ise 2014 Aralık ayında mevsim normallerinin üzerinde yağış olmasıdır. Bir yıllık çalışma için modelleme ile tahmin edilen ışınlım ve ölçülen ışınlım Tablo 5-3’de görülmektedir. Ölçülen ışınlım tahmin edilen ışınlımdan %7 daha fazladır.

Tablo 5-3. Ölçülen ve tahmin edilen ışınlım

	Ölçülen Işınlım [kWh/m²]	Tahmin Işınlım [kWh/m²]
Ağustos	214,3	211,5
Eylül	201,6	165,8
Ekim	142,3	126,0
Kasım	114,6	84,2
Aralık	49,5	63,0
Ocak	83,7	64,5
Şubat	83,0	83,1
Mart	135,4	131,1
Nisan	192,8	162,1
Mayıs	215,6	211,5
Haziran	220,1	225,7
Temmuz	230,8	230,4
Toplam	1883,7	1759,1

5.2. Maliyet Analizi

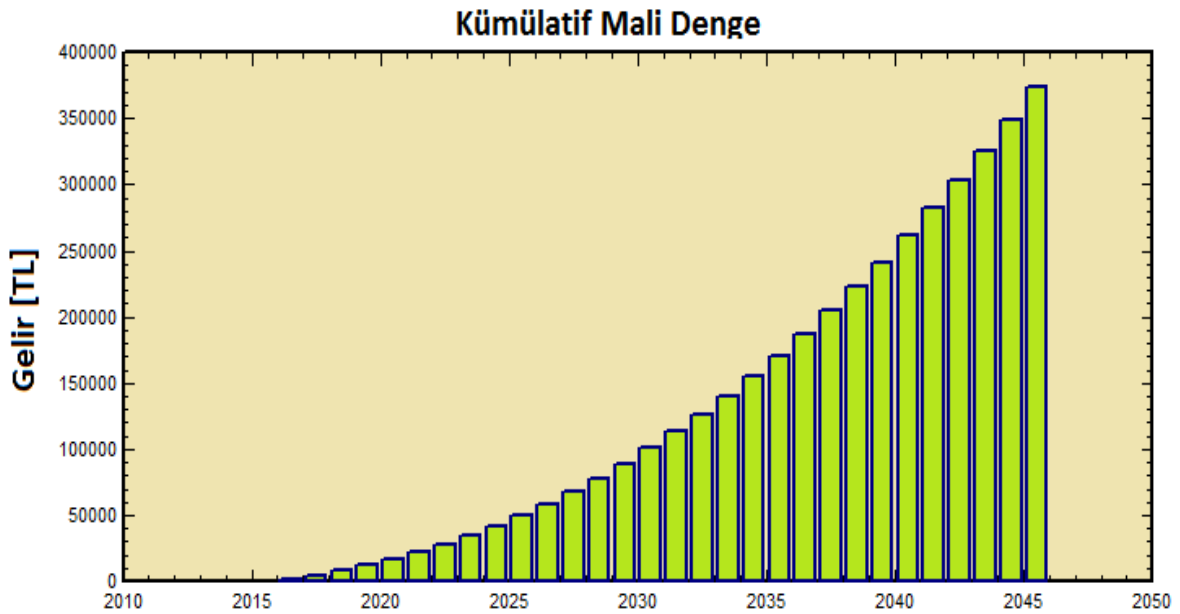
Proje kapsamında enerji üretimi için gerekli olan temel bileşenlerin yanında güneş takip sistemi, çevre düzeni, prefabrik bina ve ölçüm üniteleri gerçekleştirilmiştir. Proje bütçesinin tamamı enerji üretimi için kullanılmadığı için maliyet analizi yapılırken enerji üretimi için gerekli olan temel bileşenler maliyet olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5-4’ de maliyet analizi tablosu görülmektedir. Güneş enerjisi santralının kurulması için KDV dâhil 34.687 TL gerekmektedir. 1 Watt için Panel maliyeti 2,176 TL ve sistem maliyeti 3,469 TL olmuştur. Fizibilite ve ölçüm sonuçlarına göre yıllık ortalama 16219 kWh enerji üretilmesi planlanmıştır. Enflasyon %9, Elektrik fiyat artışı yıllık %10 ve Yıllık üretim kaybı %0,6 olarak alınmıştır. 1 kW birim elektrik enerji tarifesi 0,39 TL olup, sistemin üretmiş olduğu enerjinin birim enerji maliyeti 0,08 TL olarak hesaplanmıştır. Kara geçiş noktası 5,8 yıl olarak hesaplanmıştır.

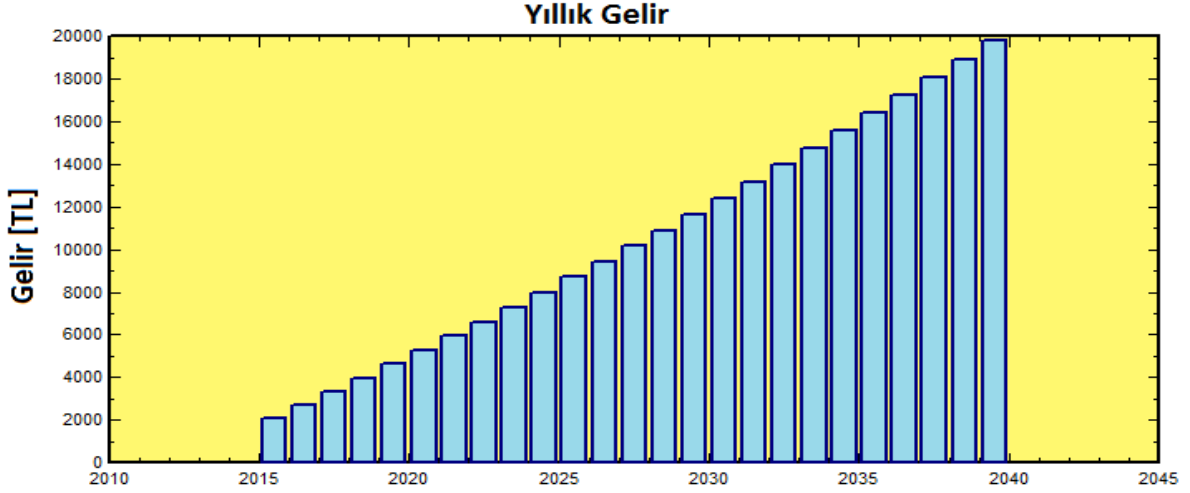
Tablo 5-4. Maliyet analizi tablosu

PV Paneller	461 ₺	40	18.440 ₺
Diğer ekipman	60 ₺	40	2.400 ₺
İnvertör	4.278 ₺	2	8.556 ₺
Toplam			29.396 ₺
KDV			5.291 ₺
Enerji Üretim için Temel Bileşenler Genel Maliyet Toplamı			34.687 ₺
Panel maliyeti (TL/W)			2,176 ₺
Sistem maliyeti (TL/W)			3,469 ₺
Yıllık üretim zamanı			2874 saat
PV Üretim [kWh] (1 yıl)			16219
PV Üretim [kWh] (30 yıl)			486570
Birim Elektrik Enerjisi (TL/W)			0,39 ₺
Yıllık Üretilen enerjinin değeri (TL)			6325,41
Elektrik fiyatlarındaki yıllık artış (%)			10
Enflasyon (%)			9
Yıllık bakım maliyeti (yıl)			500 ₺
Yıllık üretim kaybı (%)			0,6
Birim enerji maliyeti (30 yıl)			0,08 ₺
Kara geçiş noktası (Yıl)			5,8

Şekil 5-32’de 30 yıllık sistem ömrü için kümülatif gelir toplamı Şekil 5-33’de yıllık gelir değişimi görülmektedir.



Şekil 5-32. Kümülatif mali denge

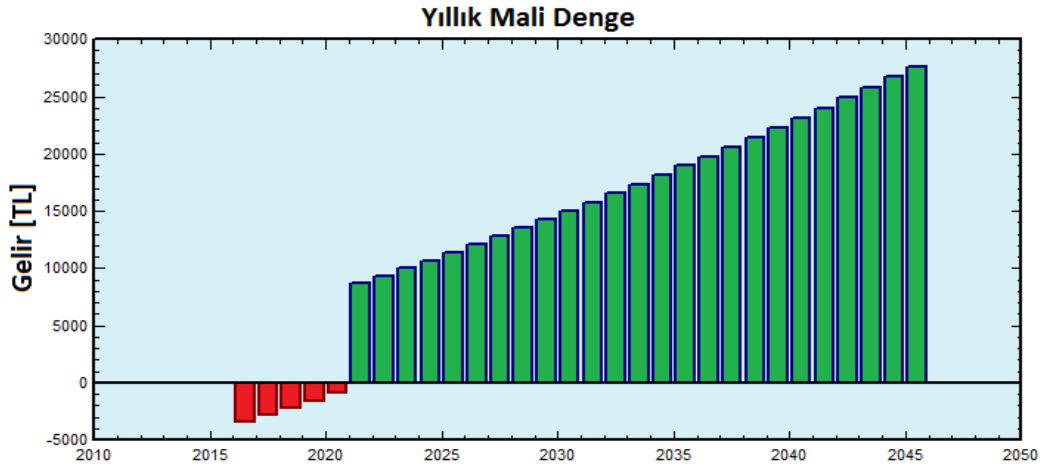


Şekil 5-33. Yıllık gelir

Tablo 5-5’de 30 yıllık kümülatif finansal denge tablosu ve Şekil 5-34’de yıllık mali denge görülmektedir.

Tablo 5-5. Kümülatif finansal denge

Yıl	Harcama	Gelir	Kümülatif Finansal Denge
2015	34.687 ₺	5.492 ₺	-32.317 ₺
2016	500 ₺	6.101 ₺	-26.216 ₺
2017	500 ₺	6.722 ₺	-19.494 ₺
2018	500 ₺	7.353 ₺	-12.141 ₺
2019	500 ₺	7.996 ₺	-4.145 ₺
2020	500 ₺	8.650 ₺	4.505 ₺
2021	500 ₺	9.314 ₺	13.819 ₺
2022	500 ₺	9.989 ₺	23.808 ₺
2023	500 ₺	10.676 ₺	34.484 ₺
2024	500 ₺	11.373 ₺	45.858 ₺
2025	500 ₺	12.082 ₺	57.940 ₺
2026	500 ₺	12.801 ₺	70.741 ₺
2027	500 ₺	13.532 ₺	84.273 ₺
2028	500 ₺	14.273 ₺	98.546 ₺
2029	500 ₺	15.025 ₺	113.571 ₺
2030	500 ₺	15.789 ₺	129.360 ₺
2031	500 ₺	16.563 ₺	145.923 ₺
2032	500 ₺	17.348 ₺	163.271 ₺
2033	500 ₺	18.145 ₺	181.416 ₺
2034	500 ₺	18.952 ₺	200.368 ₺
2035	500 ₺	19.770 ₺	220.138 ₺
2036	500 ₺	20.600 ₺	240.738 ₺
2037	500 ₺	21.440 ₺	262.178 ₺
2038	500 ₺	22.291 ₺	284.469 ₺
2039	500 ₺	23.153 ₺	307.622 ₺
2040	500 ₺	24.026 ₺	331.649 ₺
2041	500 ₺	24.911 ₺	356.559 ₺
2042	500 ₺	25.806 ₺	382.365 ₺
2043	500 ₺	26.712 ₺	409.077 ₺
2044	500 ₺	27.629 ₺	436.706 ₺



Şekil 5-34. Yıllık mali denge



6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Günümüzde enerji, dünya siyasetinde en önemli konu olarak gösterilebilir. Enerjinin bu kadar önemli olduğu bir zamanda, yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajları her ülkenin ilgisini çekmektedir. Özellikle diğer ülkelere olan bağılılığın azaltılması ve çoğu ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanabilme kapasitesine sahip olması, bu kaynaklara olan ilgiyi daha da artırmaktadır.

Türkiye enerji arz politikasında yer alan hedeflere göre; 2023 yılında, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminde, bu kaynakların payının en az %30 olmasını hedeflenmektedir. Yenilenebilir kaynaklar bazında incelendiğinde; hidroelektrik ve jeotermal potansiyelin tamamının kullanılması, rüzgâr enerjisi kurulu gücünün 2023 yılına kadar 20.000 MW'a çıkarılması, güneş enerjisinin kullanımının yaygınlaştırılarak ülke potansiyelinin azami ölçüde değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisi güneş enerjisidir. Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli açısından çok önemli bir yere sahiptir. Dolayısıyla, sahip olduğumuz avantajlar iyi değerlendirilmeli, fotovoltaik güç sistemlerinin kullanımına yönelik çalışmalara daha fazla ağırlık verilmeli, sistemlerin kurulumu için uygun kredilendirme fırsatları, sistem ekipmanlarından KDV indirimleri, üretilen enerjinin devletçe uygun bir fiyata satın alınması sağlanmalıdır. Fotovoltaik sektörü başta olmak üzere yenilenebilir enerji sektörüne sağlanacak katkılar, enerji konusunda diğer ülkelere olan bağımlılığımızı da azaltacaktır.

Dünya üzerinde, fotovoltaik güç sistemleri ile elektrik üretimindeki artışla beraber, ülkemizde de bu bilinç oluşmuş ve birçok uygulama yapılmıştır. Ülkemizdeki uygulamaların dünya ortalamasının çok altında kalmasına rağmen, önümüzdeki yıllarda büyük artışların gerçekleşmesi beklenmektedir.

Uydu fotoğraflarından görüntü işleme teknikleri kullanılarak Kahramanmaraş'ın çatı potansiyelinin belirlenmiştir. Kahramanmaraş için görüntü işleme tekniği kullanılarak hesaplanan çatı alanı 4.310.369,18 m² olup, fotovoltaik sistemler için kullanılacak net alan toplamı 2.754.229,508 m² olarak hesaplanmıştır. 250 Watt gücünde bir polycrystalline fotovoltaik panelin alanı yaklaşık 1,6 m²'dir. Dolayısıyla tespit edilen alana yaklaşık olarak 1.721.393 adet PV panel yerleştirilebilir. Her bir panel 250 Watt olduğu için toplam 430.348.250 Watt Kurulu güç potansiyeli bulunur. Diğer bir ifadeyle Kahramanmaraş'ta binaların çatılarında 430,348 MWp kurulu güce sahip PV paneller yerleştirilebilecek güneş enerjisi potansiyeli vardır. Kahramanmaraş'ın iklim şartlarında bir yıllık enerji üretimi

693.977.463 kWh (\approx 694 GWh) olmaktadır. Türkiye de enerjinin 1 kWh fiyatı 13,3 cent-dolar olduğu için yıllık 92.299.002,60 USD dolar gelir elde edilebilir. Enerji kaynaklarının %74'ünü ithal eden Türkiye için sadece şehir merkezinde kullanılmayan atıl çatı potansiyeli değerlendirilerek çok ciddi enerji ihtiyacı karşılanabilir durumdadır. Ayrıca çevre açısından 18.541,975 ton CO₂ salınımı da engellenmiş olur. Kahramanmaraş'ta yıllık 5.074 GWh elektrik enerjisi tüketilmektedir. Elde edilen analiz ve hesaplamalara göre çatı ve bahçelerin kullanılmayan bölgeleriyle 1.387 GWh enerji üretilebilir ve elektrik enerjisi ihtiyacının %27'si güneş enerjisi ile karşılanabilir. Şehir merkezi dışında kalan ilçe ve kasabalardaki çatı potansiyelleri de yaklaşık %27'lik enerji üretebilir. Ek olarak; tarım arazisi olmayan alanlara kurulacak PV tarlaları ile (2,7 km²) %27'lik bir enerji üretilebilir. Bu hesaplama göre Kahramanmaraş'ın elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %81'i güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten PV paneller ile karşılanabilir. Mevcut hidroelektrik ve rüzgâr santralleri de göz önünde bulundurulduğunda geriye kalan %19'luk enerji ihtiyacı da yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanabilir. Kahramanmaraş tüm elektrik enerjisi ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayabilecek potansiyele sahiptir.

Kahramanmaraş, güneşlenme süresi ve güneş ışınım şiddeti değerlerine bakıldığında Türkiye ortalamasının üstünde değerlere sahiptir. Kaydettiğimiz 12 aylık verileri analiz ettiğimizde, Kahramanmaraş'ın güneş enerjisi santralleri açısından uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Fotovoltaik panellerin yakıt gereksinimlerinin olmaması, kirlilik oluşturmamaları, gürültü çıkarmamaları, uzun ömürlü olmaları gibi avantajlarına rağmen yaygın şekilde kullanılmalarını önleyen bir kısım faktörler vardır. Bunlar temel olarak, yatırım maliyetlerinin yüksekliği, enerji dönüşüm verimlerinin henüz yeterli seviyede olmaması, sistemin ihtiyaç duyduğu enerji depolama elemanlarının yeterince gelişmemiş olması tarzında sıralanabilir. Bu nedenle günümüzde fotovoltaik sistemlerin verimini iyileştirmeye yönelik çalışmalar çok büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, bahsedilen olumsuz faktörlere rağmen bilinen tüm teknolojik imkanları ve tedbirleri kullanarak optimum verimliliğe sahip bir PV güç sistemi gerçekleştirilmiştir. Optimum verim için; başta PV paneller olmak üzere kalitesi ve verimliliği test edilmiş eleman ve cihazların kullanılmış, maksimum güç noktası izleme tekniğinin dikkate alınmış, panellerin, coğrafi ve iklim koşullarına göre en iyi ışınımı yakalayacak tarzda yönlendirilmesi sağlanmış, bağlantı elemanlarının kalitesine, bağlantı tekniği ve işçiliğine azami dikkat edilmiş, sistemin temizlik ve sağlamlığının periyodik denetimi yapılmıştır.

Üniversitemiz Avşar Yerleşkesine 10 kW gücünde (40 adet 250 Watt gücünde fotovoltaiik panel) enerji sistemi kurulmuş ve şebeke bağlantısı yapılmıştır. Üretilen elektrik enerjisinin üniversite şebekesine doğrudan bağlantısı sağlanmıştır. Panellerden 20 tanesi güneş izleyici (sun tracker) denilen sistem ile yerleştirilmiştir. Diğer 20 tanesi sabit taşıyıcı sistem üzerine yerleştirilmiştir. Güneş izleyici sistem tek eksenli olarak yılın her günü tam olarak güneşe yönelmektedir.

Fizibilite çalışmalarında Güneş enerjisi santralinin 365 gün için toplam 16.217 kWh enerji üreteceği hesaplanmış olup, 17.802,1 kWh enerji üretimi ölçülmüştür. Üretilen enerjinin yıllık toplamda tahmin edilen enerjiden fazla olmasının nedeni, sistemin yarısını oluşturan güneş takip sisteminin daha enerji üretmesidir. Santralin çalıştığı süre içerisinde iklim normallerinin üzerinde yağış alınmıştır. Sistemdeki verim 1.780 kWh/kWp olup, günlük ortalama güneşlenme süresi 5,12 saat olarak hesaplanmıştır. Kâra geçiş noktası 5,8 yıl olarak bulunmuştur. Toplam yıllık ışınım 1.876,578 kWh/m² olarak ölçülmüştür.

Etkin parametrelerin tespiti için yapılan, PV hücre verimi, eğim açısı, yakıt maliyeti ve yatırım maliyeti duyarlılık analizleri için uygulama alanları belirlenerek yapılan duyarlılık analizleri sonucunda özgül duyarlılık oranı değerlerinin PV panel verimi ve eğim açısı için en yüksek olduğu görülmüştür.

En etkin iki parametre olan PV hücre türü ve eğim açısının değişimine yönelik eğim açısı değişimi senaryosu ve farklı çeşit PV hücre tipi kullanılması senaryoları yapılmıştır. Bu tez kapsamında KSÜ Güneş enerjisi santrali için yapılan simülasyon sonucunda yapılan duyarlılık analizlerinde, en etkin iki değer PV hücre tipi ve eğim açısının değişimine yönelik olduğu ortaya çıkmış ve bu parametrelere yönelik yapılan senaryolarda optimum panel eğim açısının, 33° olduğu belirlenmiş, en verimli PV panel tipinin Polikristal PV olduğu tespit edilmiştir.

Şebekeden bağımsız sistemlerin optimum kullanılması, özellikle kırsal kesimin enerji ihtiyacının karşılanması açısından çok önemlidir. Şebekeden bağımsız sistemlerde üretim kadar tüketiminde planlanması gerekmektedir. Elektrik enerjisinin akülerle depolanması yüksek maliyetli olduğu gibi akülerin uzun ömürlü çalıştırılması zordur. Şebeke bağlantılı sistemlerde akü bakımından kaynaklanan sorunlar için akıllı kontrol sistemleri kullanılabilir. Yüksek enerji tüketen çamaşır makinesi, bulaşık makinesi gibi cihazların güneşli saatlerde çalıştırılması maliyeti düşürür.

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen ortalama toplam ışınım şiddeti

1.311 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizde çoğu Akdeniz ve Ege Bölgelerinde olmak üzere, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren sıcak su üretme sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Halen ülkemizde kurulu olan güneş kolektörü miktarı yaklaşık 12 milyon m²'dir. Termal güneş enerjisi sistemlerinde elde edilen başarımın benzeri fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinde elde edilebilir.



KAYNAKLAR

- Acarman, T. 1996. Güneş Pillerinden Şebekeye Enerji Aktarılmasının Analizi ve Tasarımı . Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Agrawal, S., Tiwari, G. N., & Pandey, H. D. 2012. Indoor Experimental Analysis of Glazed Hybrid Photovoltaic Thermal Tiles Aircollector Connected in Series (Cilt 53). Energy and Buildings.
- Agroui, K. 2012. Indoor and Outdoor Characterizations of Photovoltaic Module Based on Mulicrystalline Solar Cells (Cilt 18).
- Ajder, A. 2011. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri için Optimum Eğim Açısının Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Akkurt, F. 2012. Güneş Enerjisi Kaynaklı Ejektörlü Soğutma Sisteminin Performansının Deneysel İncelenmesi. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, Konya.
- Akmeşe, D. 2006. Güneş Panelinden Beslenen Bir Doğru Akım Motorun Çalıştırılması . Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aktaş, A. 2013. 3 Fazlı 4 Telli Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemler için Maksimum Güç İzleyen 4 Kollu Evirici Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Altaş, İ. H. 1998. Fotovoltaik Güneş Pilleri: Eşdeğer Devre Modelleri ve Güneş ile Sıcaklığın Etkileri. 3e (Enerji, Elektrik, Elektromekanik) Dergisi. İstanbul
- Altaş, İ., & Sharaf, A. 2007. A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment. Karadeniz Technical University. Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Trabzon.
- Altunoymak, G. 2014. **AIII BIII C2VI** Yarıiletken Kristallerinin Fotovoltaik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Anameriç, M. 2014. Çift Eksende Mikrokontrollü Güneş İzleme Sistemi . Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Temiz Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı, Ankara.
- Ardağ, Y. 2012. Güneş Pili Karakteristiklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Başaran, Ö. 1995. Güneş Pillerinin Matematiksel Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Baçoğlu, M. E. 2013. Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası İzleyicili Yükselticili Da-Da Dönüştürücü Analizi ve Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Bayrak, G., & Cebeci, M. 2012. 3,6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink ile Modellenmesi. Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü. Elazığ.
- Bayrak, Z. U. 2014. Evsel Yükler için Yakıt Pili-Güneş Pili Hibrit Sisteminin Tasarımı, Modellenmesi ve Uygulaması. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Biçer, Y. 2014. Fotovoltaik Modüllerin TS EN 45011 Ve TS EN ISO/IEC 17065 Ürün Belgelendirme Sistemi Kapsamında Sertifikalandırılmasının Araştırılması ve Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Boz, O. H. 2011. Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Bozkurt, İ. 2012. Güneş Toplaçları Ve Havuzdan Oluşan Entegre Bir Sistemin Performansının İncelenmesi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Adana.
- Bülbül, A. B. 2011. Güneş Panelleri için Bir Maksimum Güç Noktası İzleme Algoritmaları Sınama Düzenine Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi . Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Büyükkılıç, M. 2009. Güneş Enerjili Sistemlerin Yol Aydınlatması Amaçlı Kullanımı . Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul.
- Cantürk, Ş. 2012. Güneş Pili ile Çalışan Bir Soğutma Sisteminin Deneysel Analizi . Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı. Isparta.
- Chandrasekar, M., Suresh, S., Senthilkumar, T., & Ganesh, M. 2013. Passive Cooling of Standalone Flat PV Module with Cotton Wick Structures. *Energy Conversion and Management*, 71, 43-50.
- Choi, W., Kim, S., Park, S., Kim, K., & Lim, Y. 2009. High Step-up DC-DC converter with High Efficiency for Photovoltaic Module Integrated Converter Systems. *IEEE, ABD*.
- Çapar, Ş. 2005. Güneş Pilleri için Fotovoltaik Güç Üretimi ve Güneş Işığının Elektrik Enerjisine Çevrimi. Yüksek Lisans Tezi. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.

- Çetinbaş, İ. 2014. Güneş Enerjili Sistemlerde Kullanılan Maksimum Güç Noktası Takibi Yöntemlerinin Zeki Algoritmalar Yardımıyla Uygulanması . Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.
- Çicek, O. 2013. Basınç Yöntemiyle Küçük Ölçekli Güneş Modülü Tasarımı ve Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.
- Çıracı, E. 2005. Güneş Panellerinin Verimini Arttırmak için Sistem Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Çıtanak, N. 2014. Güneş Enerji Kaynağından Elektrik Enerjisi Üretimi . Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.
- Çolak, M. 2003. Fotovoltaik Sistemler. Ders Notu. İzmir.
- Çolak, Ş. Ç. 2010. Fotovoltaik Paneller Yardımı ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminin Maliyet Analizi ve Gelecekteki Projeksiyonu. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Dağhan, İ. H. 2010. Bir Yakıt Pili-Güneş Pili Sisteminin Modellenmesi ve Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Demircan, C. 2014. 40,5 kW_p Kurulu Güçteki Fotovoltaik Güç Sisteminin Binaya Katkısının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Demircan, H. 2010. Muğla İklim Koşullarında Silisyum Bir Fotovoltaik Güneş Gözesinin Performansının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Anabilim Dalı, Muğla.
- Diñçadam, F. 2008. Güneş Pilleri ile Sıcak Su Elde Etme, Sokak Aydınlatması ve Güneş Takip Sistemi Uygulaması . Yüksek Lisans Tezi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Van.
- Doğan, H. 2014. Fotovoltaik Güneş Pilleri. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Doğu, İ. 2014. Güneş Enerjisi Destekli Pem Elektrolizlerinde Hidrojen Üretiminin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Duffie, J., & Beckman, W. 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, inc. Kanada.

- Duman, F. 2014. Güneş Pili-Termal (PV-T) Hibrit Sistemin Optimizasyonunun Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- Durgut, T. 2014. Güneş Panel Sistemi için Farklı Bir Metod Geliştirilmesi . Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. Edirne.
- Durusu, A. 2011. Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası Takip Ediciler için Farklı Algoritmaların Karşılaştırılması Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Erdoğan, E. 2011. Güneş Pillerinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Tunceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Tunceli.
- Ertem, Y. M. 1997. Güneş Pilleriyle Birlikte Kullanılan Bir MPP İzleyicisinin Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Fidan, C. 2014. Tunceli'de Güneş Kaynaklı Elektrik Üretimi ve Kullanımının Teknik ve Ekonomik Analizinin Teorik Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Tunceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Bilim Dalı, Tunceli.
- Gazibey, Y. 2012. Türkiye için Fotovoltaik Güneş Enerjisi Teknoloji Yol Haritası. Doktora Tezi. Kara Harp Okulu Komutanlığı, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Teknoloji Yönetimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Girgin, M. H. 2011. Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW'lık Güneş Enerjisi Santrali için Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi . Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul.
- Goswami, D., Frank, K., & Kreider, J. 2000. Principles Of Solar Engineering 2nd. Taylor & Francis, Philadelphia. Abingdon.
- Gökmen, N. 2013. Fotovoltaik Sistemlerde Hata Tanı Sistemi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Gültuna, K. M. 2015. Gürsu-Bursa Fotovoltaik Güç Santralının Simülasyonu; Teknoekonomik ve Çevresel Optimizasyon. Yüksek Lisans Tezi. Başkent Üniversitesi, Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Gürel, S. 2015. Fotovoltaik Panellerin Çeşitleri ve Ölçümleri . Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarı, Deney Föyü. Kayseri.
- Hartmann, U., & Haselhuhn, R. 2012. Fotovoltaik Sistemler. Çataklı Enerji Yayıncılık. İstanbul.
- IEA2010. 2010. Energy Policies of IEA countries Turkey 2009 Review. *International Energy*. Paris.

- IEA2014. 2014. 2014 Key World Energy Statistics. *International Energy Agency (IEA)*. Paris.
- İlgün, A. 2010. Güneş Gözeleri ile Beslenen Sistemlerde Enerji Üretimi Ve Örnek Uygulamaların Simulasyonlar ile Analizi . Yüksek Lisans Tezi. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Diyarbakır.
- İsmael, A. 2012. Monokristal güneş pili sistemlerinde elektrik enerji analizi . Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Kabadayı, K. 2011. Esnek Yüzeyde Boya İle Duyarlaştırılmış Fotovoltaik Hücre Üretimi Ve Performans İncelenmesi . Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir.
- Kallioğlu, M. A. 2014. Niğde İli için Yatay Düzleme Gelen Günlük Tümü, Yayılı ve Direkt Güneş Işınımını Hesaplama Modeli Geliştirilmesi. Yüksek lisans Tezi. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Niğde.
- Kalogirou, S. 2009. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Academic Press is an Imprint of Elsevier (ISBN 13: 978-0-12-374501-9). California.
- Karaçorlu, M. 1996. Güneş Pili ile Elektrik Üretimini Çukurova Bölgesi için Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Karamanav, M. 2007. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri . Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya.
- Karataş, A. 2012. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne.
- Koryürek, E. 2008. Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kökden, B. 2002. PV (Photo-Voltaic) Temelli Enerji Sistemleri ve Ülkemiz için Bir Güneş Santrali Modellemesi . Yüksek Lisans Tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Köse, S. 1986. Yarıiletken Güneş Pilleri ve Verimlilikleri. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir.
- Kumari, J. S., & Babu, C. S. 2011. Mathematical Modeling and Simulation of Photovoltaic Cell, using Matlab-Simulink Environment. Kakinada, Asst. Professor, Dept of Electrical and Electronics Engg, RGM College of Engg & Tech, Nandyal, India. Professor, Dept of Electrical and Electronics Engg, JNT University. India.
- Mastar, E. 2011. Güneş Panelleri için Güneş Takip Mekanizmasının Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

- Messenger, R., & Ventre, J. 2004. Photovoltaic Systems Engineering 2nd ed. CRC Pres. New York.
- Mishra, R. K., & Tiwari, G. N. 2013. Energy and Exergy Analysis of Hybrid Photovoltaic Thermal Water Collector for Constant Collection Temperature Mode. Solar Energy, 90, 58-67.
- Muhtaroglu, K. T. 2012. Güneş Enerjisini Elektrik Enerjisine Çeviren Çevre Dostu Sistemin Tasarlanması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Nakir, İ. 2007. Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Oktik, Ş. 2001. Güneş Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri. Temiz Enerji Vakfı Yayınları. Ankara.
- Orhun, M. 2013. Farklı Güneş Panellerinin Adaptif Bir Güneş Takip Sistemi Üzerinde Yıllık Performanslarının Karşılaştırılması ve Güç Tahmini. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon.
- Ortaçtepe, Y. C. 2011. Güneş Pillerinden Elektrik Üreten Bir Sistemin Analizi ve Tasarımı. Anadolu Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Örkün, T. 2013. 50W LED TV Uygulamaları için Güneş Enerjili Bir Güç Kaynağı Tasarımı ve Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Özcanlı, Ö. 2001. 85 W Güneş Paneli ile Çalışan Bir Prototip Bağımsız Güç Kaynağı Uygulaması . Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir.
- Özçelik, S. . 2015. Fotovoltaik (PV Teknolojileri) . Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi. Ankara.
- Özgöçmen, A. 2007. Güneş Pili Kullanarak Elektrik Üretimi . Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Öztürk, A. 2012. Monokristal ve Polikristal Güneş Pili Modüllerinin Mevsimsel Performanslarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Tunceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Tunceli.
- Öztürk, S. 2014. Çapraz Fotovoltaik Mikro-evirgecin Doğrudan Sayısal Sentez Tekniğini Kullanarak dsPIC Mikro Denetleyici ile Gerçekleştirilmesi . Yüksek Lisans Tezi . Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

- Parmaksız, S. 1997. Ulusal Şebekeye Bağlı Güneş Pili Sistemlerinin Modellenmesi ve Gerçeklenmesi . Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Perdahçı, C. A. 1996. Güneş Pili Verimleri ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Rashid, S. 2012. Grid-Connected Photovoltaic System for Buildings. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi. Ankara.
- Saka, Ö. 2007. Konya Koşullarında Güneş Pillerinin Aydınlatma Uygulamalarında Kullanım İmkanları . Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Konya.
- Seyis, Y. 2014. Güneş Enerjisi ile Beslenebilen Kesintisiz Güç Kaynağı Tasarımı ve Uygulaması. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce.
- Sezgin, B. 2014. Güneş Işınlarmı Takip Eden Panelin Hareket Etmesini Sağlayacak Bir Sistemin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne.
- Shen, W., Ding, Y., Choo, F. H., Wang, P., Loh, P. C., & Tan, K. K. 2009. Mathematical Model of A Solar Module for Energy Yield Simulation in Photovoltaic Systems. School of Electrical & Electronic Engineering Nanyang Technological University 50 Nanyang Avenue. Singapore.
- Skoog, D. A., & West, D. M. 1980. Principles of Instrumental Analysis. Saunders Co. New York.
- Solmaz, Ö. 2013. Güneş Enerjisi Destekli (PV) Çalışan Taşıt Klima Sisteminin Dinamik Performansının Araştırılması. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Şenay, G. 2011. Çok Eklemlili Güneş Pillerinde Detaylı Denge Modeli ile Verim Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Şenpınar, A. 2005. Bağımsız Güneş Pili Sistemlerinin Bilgisayar ile Kontrolü . Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi. Elazığ.
- Şimşek, K. G. 2010. Elektrik Enerjisi Üreten Fotovoltaik Güneş Paneli Sistemi Fonksiyonel Modellemesi . Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Taş, M. 2012. Fotovoltaik ve Rüzgâr Türbini ile Üretilen Elektrik Enerjisini Elektrokimyasal Olarak Depolama. Yüksek Lisans Tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze
- Teo, H. G., Lee, P. S., & Hawlader, M. N. 2012. An Active Cooling System for Photovoltaic Modules (Cilt 90).

- Tsai, H., Tu, C., & Su, Y. 2008. Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. San Francisco, USA.
- Uğur, E. M. 2006. Güneş Pillerinin Yapı Kabuk Elemanları ile Bütünleştirilmelerine Yönelik Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Uslu, Ü. A. 2012. Maksimum Güç Noktası Takibi Algoritmalarını Kullanarak Mikrodenetleyici Tabanlı İki Eksenli Otomatik Güneş Takip Sistemi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Eğitimi Anabilim Dalı, Mersin.
- Uzunok, S. 2007. Fotovoltaik Modüllerin Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Takip Sisteminin Etkisinin İncelenmesi. Hatay. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Ünal, O. 2007. Güneş Pilleri. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Konya.
- Ünlü, M., Çamur, S., & Arifoğlu, B. 2011. Devre Temelli Fotovoltaik Hücre Modeli. Kocaeli Üniversitesi, VI. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu. Kocaeli.
- Villalva, M. G., Gazoli, J. R., & Filho, E. 2009. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*. US & Canada.
- Web01, w. 2015. Fotovoltaik Nedir? CS GES: <http://test2.yorganci.net/sayfa/fotovoltaik-nedir.html>. (Erişim Tarihi:31.05.2015).
- Web02, w. 2015. PV Tarihçesi. normenerji: http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=7775 (Erişim Tarihi:31.05.2015)
- Web03, w. 2015. Güneş Pili Tarihi. Alternaturk: http://www.alternaturk.org/gunes_pili_tarih.php .(Erişim Tarihi:31.05.2015).
- Web04, w. 2015. News Release. National Renewable Energy Laboratory: <http://www.nrel.gov/news/press/2014/15436.html> .(Erişim Tarihi:01.06.2015).
- Web05, w. 2015. Güneş Enerjisi ve Teknolojileri. Radonenerji: http://radonenerji.com/images/gunes_enerjisi.png .(Erişim Tarihi:07.06.2015).
- Web06, w. 2015. Solar Radiation in Space. pveducation: <http://pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/solar-radiation-in-space> .(Erişim Tarihi:07.06.2015).
- Web07, w. 2015. Türksan Yüksek Teknolojiler. Türksan: <http://www.turksan.com/ledli-aydinlatma.html> .(Erişim Tarihi:08.06.2015).

- Web08, w. 2015. Elektromagnetik Işın Elektromagnetik Işının Özellikleri. [www.Bayar.edu.tr](http://www.bayar.edu.tr): http://www.bayar.edu.tr/besergil/1_emi_ozellikler.pdf .(Erişim Tarihi:08.06.2015).
- Web09, w. 2015. Güneş Işığı Spektrumu. www.abcsolarenerji.com: http://www.abcsolarenerji.com/SayfaDetay_GuNEs_isigi_SPEKTRUMU_59.html .(Erişim Tarihi:08.06.2015).
- Web10, w. 2015. Elektromanyetik Dalga Spektrumu. www.kozmikanafor.com: <http://www.kozmikanafor.com/2015/01/yildizlari-anlamak-2-tayf/> .(Erişim Tarihi: 08.06.2015).
- Web11, w. 2015. Modern Fizik. palmeyayinevi.com: <http://palmeyayinevi.com/UserFiles/File/OnbirSinifFizikKonu/Unite4.pdf> .(Erişim Tarihi:08.06.2015).
- Web12, w. 2015. kristalbond. www.kristalbond.com.tr: <http://www.kristalbond.com.tr/nas305l-ccedilal305351305r.html> .(Erişim Tarihi: 08.06.2015).
- Web13, w. 2015. Işık, Renk Ve Elektromanyetik Tayf . www.akat.org: http://www.akat.org/sizin_icin/elektromagnetik_tayf.pdf .(Erişim Tarihi: 08.06.2015).
- Web14, w. 2015. Fotovoltaik ve verimlilik. turevmak.com.tr: <http://turevmak.com.tr/TUREVMAK/ENERJICEVREGRUBU/gunes/gunes.htm> .(Erişim Tarihi:08.06.2015).
- Web15, w. 2015. PVsyst software . [pvsyst](http://www.pvsyst.com/en/): <http://www.pvsyst.com/en/> .(Erişim Tarihi:15.06.2015).
- Web16, w. 2015. Understanding Solar Cells. www.volker-quaschnig.de: <http://www.volker-quaschnig.de/articles/pv-basics/index.php>.(Erişim Tarihi: 15.06.2015).
- Web17, w. 2015. Working Principle of Junction Solar Cells. www.science-kick.com: <http://www.science-kick.com/special-topics/working-principle-of-junction-solar-cells> .(Erişim Tarihi:16.06.2015).
- Web18, w. 2015. Bypass Diodes in Solar Panels. www.electronics-tutorials.ws: <http://www.electronics-tutorials.ws/diode/bypass-diodes.html> .(Erişim Tarihi: 16.06.2015).
- Web19, w. 2015. Solar Panels. appliedtoyourlifeandmine.blogspot.com.tr: <http://appliedtoyourlifeandmine.blogspot.com.tr/2015/02/solar-panels.html> .(Erişim Tarihi:16.06.2015).
- Web20, w. 2015. How Do Solar Panels Work? www.solarquotes.com.au: <https://www.solarquotes.com.au/panels/how-do-they-work/>.(Erişim Tarihi: 16. 06. 2015).

- Web21, w. 2015. Güneş Pilleri Fotovoltaik Piller . www.eie.gov.tr: <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunespv.html> .(Erişim Tarihi: 21.06.2015).
- Web22, w. 2015. Photovoltaic PV Research. National Renewable Energy Laboratory (NREL): <http://www.nrel.gov/> .(Erişim Tarihi:21.06.2015).
- Web23, w. 2015. Güneş Enerji Santralleri. www.enerjiatlası.com: <http://www.enerjiatlası.com/gunes/> .(Erişim Tarihi:17.06.2015).
- Web24, w. 2015. Güneş Enerjisi ve Teknolojileri. www.eie.gov.tr: http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx .(Erişim Tarihi:19.06.2015).
- Web25, w. 2015. Pros and Cons of Off Grid, Grid Tie and Hybrid PV Systems. www.solaronlineschool.com: <http://www.solaronlineschool.com/pros-and-cons-of-grid-grid-tie-and-hybrid-pv-systems.html> .(Erişim Tarihi:23.06.2015).
- Web26, w. 2015. Fotovoltaik Nedir. <http://www.solarfield.com.tr/page/111/fotovoltaik-nedir.html> .(Erişim Tarihi:22.06.2015).
- Web27, w. 2015. Solar Charge Regulatoru Nedir ve Nasıl Çalışır? [sistemsolar.com.tr: http://sistemsolar.com.tr/solarcharger.html](http://sistemsolar.com.tr/solarcharger.html) .(Erişim Tarihi:23.06.2015).
- Web28, w. 2015. Solar Şarj Regülatörleri. www.koronaenerji.com.tr: <http://www.koronaenerji.com.tr/?/sarj-regulatorleri> .(Erişim Tarihi:23.06.2015).
- Web29, w. 2015. Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Solar İnvertör Çeşitleri Nelerdir ?.. http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=12161 .(Erişim Tarihi:24.06.2015).
- Web30, w. 2015. Off-Grid Products. http://www.cleanglobe.com.tr/?page_id=62&lang=en .(Erişim Tarihi:24.06.2015).
- Web31, w. 2015. Photovoltaic String Inverter. <http://phytec.com/solutions/energy/photovoltaik-inverter/> .(Erişim Tarihi: 24.06.2015).
- Web32, w. 2015. Inverter Fotovoltaici E Di Sistemi Di Monitoraggio [rugiadapoint.it: http://rugiadapoint.it/articoli/0403146548/inverter-fotovoltaici-e-di-sistemi-di-monitoraggio](http://rugiadapoint.it/articoli/0403146548/inverter-fotovoltaici-e-di-sistemi-di-monitoraggio) .(Erişim Tarihi:24.06.2015).
- Web33, w. 2015. Inverter. <http://neoenerji.com/> .(Erişim Tarihi:24.06.2015).
- Web34, w. 2015. Jel Akü. <http://www.tekniksolar.com/urunler/jel-aku/> .(Erişim Tarihi:24.06.2015).
- Web35, w. 2015. Solar panel (PV Cable). <http://www.aussiebatteries.com.au/solar/cabling-and-mounting/100-pair-m-f-mc4-connectors-with-cut-cable-for-sol> .(Erişim Tarihi:24.06.2015).
- Web36, w. 2015. [www.solarburada.com: http://www.solarburada.com/Solar-Jel-Akuler,LA_153-2.html#labels=153-2](http://www.solarburada.com) .(Erişim Tarihi:24.06.2015).

- Web37, w. 2015. Photovoltaic Cable. www.qc-solar.com: <http://www.qc-solar.com/news/36086.html> .(Erişim Tarihi:24.06.2015).
- Web38, w. 2015. Cable for photovoltaic systems. www.ddacables.com: http://www.ddacables.com/katalog/07_solarcable120.php.(Erişim Tarihi: 25.06.2015).
- Web39, w. 2015. Photovoltaic systems. www.volker-quaschnig.de: http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals3/index_e.php .(Erişim Tarihi: 24. 06.2015).
- Web40, w. 2015. PV Central Inverter. www.jemaenergy.com: <http://www.jemaenergy.com/en/products/renewable-energy-systems/pv-central-inverter.html> .(Erişim Tarihi:24.06.2015).
- Web41. 2015. GEESYS Solar: http://www.geesysindia.com/img/geesys_ssc.jpg .(Erişim Tarihi:15.07.2015).
- Web42. 2015. Topraklama Hesabı. http://amper.com.tr/topraklama_hesaplama/calc.php .(Erişim Tarihi:15.07.2015).
- Yalçın, A. F. 2014. Güneş Enerjisi ile Elektrik Üreten Güneş Takipli Dikey Perde Tasarımı ve Analizi . Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sistem Dinamiği ve Kontrol Bilim Dalı, İstanbul.
- Yarıkkaya, S. 2015. Bir Güneş Paneli Emülatörü Tasarımı ve Performans Testi. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, Afyon.
- Yavuzçetin, Ö. 2000. Silisyum Güneş Pilleri: Maske Yapımı, Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Yeşilkaya, M. A. 1998. Güneş Pillerinin Mikroişlemci ile Konum Kontrolünün Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi . Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, M. 2013. Güneş takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verimin Belirlenmesi . Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yümsek, Ö. 2010. Güneş Pillerinde Maksimum Güç Noktası Takip Sistemleri. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı . Şaban YILMAZ
Uyruğu . T.C.
Doğum tarihi ve yeri . 15.06.1970, Afyon
Medeni hali . Evli
Telefon . 0 (532) 597 44 15
Faks . 0 (344) 280 16 38
e-posta . sabanyilmaz1@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ /Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü	2001
Lisans	İTÜ/ Sakarya Müh. Fak. Elektrik Elektronik Mühendisliği	1993

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
1997-2015	KSÜ	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Yayınlar

SCI Dergilerde yayınlanan makaleler

- [1] **Yılmaz S.**, Ozcalik H. R., Dincer F.: “The analysis on the impact of the roof angle on electricity energy generation of photovoltaic panels in Kahramanmaras, Turkey— A case study for all seasons”, Journal of Renewable and Sustainable Energy, 7, pp. 023133-13, 2015.
- [2] **Şaban Yılmaz**, Hasan Rıza Özçalık,”Performance analysis of a 500 kWp grid connected solar photovoltaic power plant in Kahramanmaraş”,DOI: 10.3906/elk-1404-157, TURKISH JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING & COMPUTER SCIENCES ,Turk J Elec Eng & Comp Sci,2015

- [3] **Yilmaz S.**, Ozcalik H. R., Dogmus O., Dincer F., Akgol O., Karaaslan M.: “Design Of Two Axes Sun Tracking Controller With Analytically Solar Radiation Calculations”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43, pp. 997-1005, 2015.
- [4] Kesler S., Kivrak S., Gurleyen H., Dincer F., **Yilmaz S.**, Ozcalik H. R., “A Low Cost Shading Analyzer and Site Evaluator Design to Determine Solar Power System Installation Area”, International Journal of Photoenergy, 2015, pp. 126373-9, 2015.
- [5] **Yilmaz S.**, Ozcalik H. R., Dincer F.: “Remote detection and assessment of solar energy potential analysis based on available roof surface area: case study in Kahramanmaras, Turkey”, Journal of Applied Remote Sensing, 9, pp. 097698, 2015.

Diğer İndeksli Dergilerde yayımlanan makaleler

- [1] Hasan Rıza ÖZÇALIK, **Şaban YILMAZ**, Erdal KILIÇ, “Güneş Pilinin Bir Diyotlu Eşdeğer Devre Yardımıyla Matematiksel Modelinin Çıkartılması ve Parametrelerinin İncelenmesi”, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 2013
- [2] **Şaban Yılmaz**, Alev Yılmaz , Mahit Güneş , Hasan Rıza Özçalık,”Two-Diode Model Performance Analysis of Photovoltaic Panels “, International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 4 Issue 7- July 2013
- [3] M KARAASLAN, E. ÜNAL, Z. ÖZER, **Ş.YILMAZ**, “2.45 Ghz De Yüksek Kazançlı Mikro şerit Anten Yama Anten Tasarımı ve Gerçekleştirimi “, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol 15, No 2 (2012)
- [4] Doğmuş, O., Onat, A., **Yılmaz, Ş.**, Ergün, Ş., “Tekstil Farikalarındaki Bağlı Nemin Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Kontrolü” , KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(1)-2005, s.53-59
- [5] M. Güneş, **Ş. Yılmaz**, “Kızıl Ötesi Algılayıcılar Kullanılarak Balık Sayıcı ve Boyut Belirleyici Tasarımı ile Tesis Takip Yazılım Sisteminin Geliştirilmesi”, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi. Vol:10 (2), 2007.
- [6] Z. ÖZER, F. KARADAĞ, M. KARAASLAN, **Ş. YILMAZ**, ”Ferroelektrik Mems Jiroskopun Sonlu Elemanlar Analizi İle Modellenmesi ve Simülasyonu “ KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol 15, No 1 (2012)

- [7] **Ş. Yılmaz**, M. Güneş, M. Aksu, “Rüzgâr Enerjisi ile Tahrik Edilen Bilezikli Asenkron Jeneratörün Yapay Sinir Ağı ile Denetlenmesi”, Teknolojik Araştırmalar Elektronik Dergisi. Vol:1, pp:15-24, 2007
- [8] Mustafa AKSU, Ali KARCI, **Şaban YILMAZ**,” SkipList Veri Yapısında P Eşik Değerlerinin Rastgele Seviye Oluşturma ve Performansa Etkisi”, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri dergisi, Cilt:2, Sayı:2, , sayfa: 148-153 , 2013
- [9] **Şaban Yılmaz**, Hasan Rıza Özçalık, Mahit Güneş, Osman Doğmuş “ Mathematical Model Derivation of Solar Cell by Using One Diode Equivalent Circuit via SIMULINK”, International Journal of Education and Research ,(Vol. 1 No. 12 December 2013) Published by Contemporary Research Center, AUSTRALIA
- [10] **Şaban YILMAZ**, Hasan Rıza ÖZÇALIK, Ahmet Serdar YILMAZ, “Optimal Cost Planning of a Photovoltaic-Battery-Diesel Generator Hybrid Power System in Kahramanmaraş Conditions”, Scholars Journal of Engineering and Technology, ISSN: 2321-435X, SJET-Volume-2:Issue-6 (Oct-Nov, 2014), p:820-827
- [11] **Şaban YILMAZ**, Ahmet GANİ, Hakan AÇIKGÖZ, Zeynel BAŞ,”Kahramanmaraş Koşullarında 3 kW Gücündeki a-Sİ ve c-Sİ Panellerinin Karşılaştırılması”,Uluslararası Hakemli Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi, 2014, Sayı: 01 Cilt: 01,sayfa:1-11
- [12] Erdal KILIC, Hasan Rıza ÖZÇALIK, **Şaban YILMAZ**, Ahmet GANİ, “Isıl İşlem Uygulamalarında Kullanılan Bir Karışım Tankının Bulanık Mantık Esaslı Denetimi”, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol 17, No:1 (2014):sayfa:16-21
- [13] **Saban Yilmaz**, Hasan Riza Ozcalik, Emre Erkan, “Estimation of KSU Avsar Campus BIPV Roof Potential”, International Journal of Scientific and Technological Research, Vol 1, No.1, 2015,pp:19-25
- [14] **Saban Yilmaz**, Hasan Riza Ozcalik, Erdal Kilic, Mustafa Aksu,” Energy Supply In A Building Via A Photovoltaic Thermal”, International Journal of Scientific & Technology Research, Volume 4, Issue 04, April 2015, pp: 299-303
- [15] Mehmet Bilge, Metin Salihmuhsin, **Saban Yilmaz**, Sadik Doganay,” Matlab/Simulink Designing and Analysis of an Inverter Controlled by a Unipolar and Bipolar, Regularly Sampled Sinus Pulse Width Modulation (SPWM)”, International Journal of Scientific and Technological Research, Vol 1, No.1, 2015,pp:101-108

- [16] Hasan Rıza OZCALIK, **Saban YILMAZ**, Emre ERKAN, Erdal KILIÇ, “Real-Time Security Application to Identify the Distance and Size of an Object with CCD Camera”, International Journal of Electrical and Electronics Research, Vol. 3, Issue 1, January 2015 - March 2015
- [17] Emre Erkan, Hasan Rıza Özçalık, **Şaban Yılmaz**,” Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak İnsan Hareketlerini Algılayan Akıllı Güvenlik Sistemi Tasarımı”, Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi (APJES), Cilt: 3 Sayı: 1 (2015),pp:1-6
- [18] Emre ERKAN, Hasan Rıza ÖZÇALIK, **Şaban YILMAZ**, “İki Kamera İle Cismin Mesafesini Ve Boyunu Tespit Eden Gerçek Zamanlı Güvenlik Uygulaması Tasarımı”, Uluslararası Hakemli Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi, December 2014 Issue: 02 Volume: 01 Autumn Winter

Bildiriler

- [1] **Şaban YILMAZ**, Mustafa AKSU, Mahit GÜNEŞ, Hasan Rıza ÖZÇALIK, " Two-Diode Model Performance Analysis of Photovoltaic Panels", International Science and Technology Conference (ISTEC), Rome, Italy, 2013.
- [2] **Ş. Yılmaz**, M. Güneş, Ş. Ergün, “Speed Management of AC Motors by Using Artificial Neural Network Algorithms”. ”. IMS. Sakarya.2002.
- [3] Özçalık H. R., **Yılmaz Ş.**, "An Efficient Speed Control Method for AC Induction Motor By Using Neural Network Based Pre-Filtering And Inverse Modelling", Tainn03, p:278-288, July 2003, Çanakkale, Turkey.
- [4] **Şaban YILMAZ**, A. Serdar YILMAZ, Ethem KÖKLÜKAYA,” Güneş Enerjili Neme Duyarlı Toprak Sulama Sistemi Tasarımı”, YEKSEM 2009 5.Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 2009.
- [5] **Ş. YILMAZ**, M. AKSU, Z. ÖZER, H. R. ÖZÇALIK, “Matlab İle Gerçekleştirilen Fotovoltaik (PV) Güneş Pili Modeli İle Güneş Enerjisi Üretimindeki Önemli Etkenlerin Tespit Edilmesi.”, ELECO’12 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 2012, Bursa.
- [6] **Şaban YILMAZ**, Erdal KILIÇ, Hasan Rıza ÖZÇALIK, Ahmet GANI”, Fotovoltaik (PV) Güneş Pili İki Diyotlu Modellenmesi”, ISITES2013 1st International Symposium on Innovative Technologies In Engineering And Science, Sakarya, 7-9 June 2013.

- [7] **Şaban YILMAZ**, Erdal KILIÇ, Mahit GÜNEŞ, Hasan Rıza ÖZÇALIK, “Türkiye de ve Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı”, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu 2013, 4-5-6 Ekim 2013, Girne, KKTC.
- [8] Hasan Rıza Özçalık, **Şaban Yılmaz**, Mustafa AKSU, Ahmet GANI, “Güneş Pilinin Bir Diyotlu Matematiksel Modelinin Matlab Simulink İle Gerçekleştirilmesi“, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi 2013 Ulusal Toplantısı, (TOK 2013), İnönü Üniversitesi, Turgut Özal Kongre ve Kültür Merkezi, 26-28 EYLÜL 2013, sayfa 1101.
- [9] Hasan Rıza Özçalık, Erdal Kılıç, **Şaban Yılmaz**, Ahmet Gani, “Bulanık Mantık Esaslı Sıvı Seviye Denetiminde Farklı Üyelik Fonksiyonlarının Denetim Performansına Etkisinin İncelenmesi”, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi 2013 Ulusal Toplantısı, (TOK 2013), İnönü Üniversitesi, Turgut Özal Kongre ve Kültür Merkezi, 26-28 EYLÜL 2013, sayfa:243.
- [10] **Şaban YILMAZ**, Mahit GÜNEŞ, Erdal KILIÇ, “ 4.6 kW Gücünde Fotovoltaik Generatörün Modellenmesi ve Sabit ve Güneş İzleyici Sistem olarak Gaziantep Şartlarında Çalışmasının İncelenmesi “, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi 2013 Ulusal Toplantısı, (TOK 2013), İnönü Üniversitesi, Turgut Özal Kongre ve Kültür Merkezi, 26-28 EYLÜL 2013, sayfa 477.
- [11] Osman Doğmuş, **Şaban Yılmaz**, Fatih Keçecioglu, Alev YILMAZ, Zafer Özer, “Tekstil Fabrikası Maketinin Nem ve Sıcaklığının Yapay Sinir Ağı İle Kontrolü”, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi 2013 Ulusal Toplantısı, (TOK 2013), İnönü Üniversitesi, Turgut Özal Kongre ve Kültür Merkezi, 26-28 EYLÜL 2013, sayfa 975.
- [12] Hasan Rıza ÖZÇALIK, Osman DOĞMUŞ, **Şaban YILMAZ**, Ahmet GANI, “Fotovoltaik Paneller için Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları Kullanan Etkin Bir Modelleme Yöntemi Önerisi”, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi 2013 Ulusal Toplantısı, (TOK 2013), İnönü Üniversitesi, Turgut Özal Kongre ve Kültür Merkezi, 26-28 EYLÜL 2013, sayfa: 981.
- [13] Mustafa Aksu, Ali Karcı, **Şaban Yılmaz**,” SkipList veri yapısında Seviye Optimizasyonu “1ST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN ENGINEERING AND SCIENCE, SAKARYA, 7-9 JUNE 2013

- [14] Ahmet GANİ, Erdal KILIÇ, **Şaban YILMAZ**, Bulanık Mantık Esaslı Sıvı Seviye Denetimi için Sugeno Çıkarım Yönteminin Performansının İncelenmesi, İlk Bildiriler Konferansı, İBK2013, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, 14.15.16 Haziran 2013.
- [15] **Ş. YILMAZ**, H. R. ÖZÇALIK, ” Kahramanmaraş Koşullarında 3 kW Gücündeki a-Si ve c-Si Panellerden Oluşan Fotovoltaik Sistemlerin Karşılaştırılması “, International Conference and Exhibition on Electronic, Computer and Automation Technologies (ICEECAT 2014), Selçuk üniversitesi, 9-11 Mayıs 2014, Konya.
- [16] **Şaban YILMAZ**, Hasan Rıza ÖZÇALIK, Bülent GEDİK, Celebi KARAPINAR, “Kahramanmaraş Şartlarında Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sisteminin Ekonomik Analizi”, 12. ULUSAL KÜLTÜRTEKNİK SEMPOZYUMU, Namık Kemal Üniversitesi, 21-23 Mayıs 2014, Tekirdağ.
- [17] Alev YILMAZ, **Şaban YILMAZ**, Yüksel BÖLEK, Hasan Rıza ÖZÇALIK, “TÜRKİYE’DE GÜNEŞ ENERJİSİ”, “IV. ULUSAL GÜNEŞ ve HİDROJEN ENERJİSİ KONGRESİ (UGHEK 2014), Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, 22-23 Mayıs 2014, Eskişehir.
- [18] **Şaban YILMAZ**, Alev YILMAZ, Yüksel BÖLEK, Hasan Rıza ÖZÇALIK, , “Kahramanmaraş Şartlarında Çalışan Fotovoltaik Jeneratörün Maliyet Analizi”, “IV. ULUSAL GÜNEŞ ve HİDROJEN ENERJİSİ KONGRESİ (UGHEK 2014), Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, 22-23 Mayıs 2014, Eskişehir.
- [19] **Şaban YILMAZ**, Alev YILMAZ, Osman DOĞMUŞ, Hasan Rıza ÖZÇALIK, “Güneş Takip Sistemi Dizaynı”, “IV. ULUSAL GÜNEŞ ve HİDROJEN ENERJİSİ KONGRESİ (UGHEK 2014), Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, 22-23 Mayıs 2014, Eskişehir.
- [20] **Şaban YILMAZ**, Erdal Kılıç, Hasan Rıza ÖZÇALIK, ”İstanbul Şartlarında Çalışan Fotovoltaik Jeneratörün Performans Analizi”, Sürdürülebilir Enerji Sempozyumu, II. Ankara Üniversitesi Çevre Günleri, 05 Haziran 2014, Ankara.
- [21] **Şaban YILMAZ**, Hasan Rıza ÖZÇALIK, Ahmet GANİ, Erdal KILIÇ, “The Economical Analysis of A 5.9 kW Photovoltaic Agricultural Irrigation System in Kahramanmaraş Conditions”, Uluslararası Enerji ve Yönetimi Konferansı (ICEM’2014), 5-7 Haziran 2014, İstanbul.

- [22] **Şaban Yılmaz**, Hasan Rıza Özçalık, Mustafa Aksu, Celebi Karapınar, “Performance and Cost Analysis of A Photovoltaic Generator in Istanbul Conditions”, SOLARTR, Uluslar arası Güneş Enerjisi Topluluğu (GÜNDER)-Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu (UFTP), 2014, İzmir, 19-21 Kasım 2014.
- [23] **Şaban Yılmaz**, Hasan Rıza Özçalık, Ahmet Serdar Yılmaz, “Optimal Cost Planning of a Photovoltaic-Battery-Diesel Hybrid Power System in Kahramanmaraş Conditions”, SOLARTR, Uluslar arası Güneş Enerjisi Topluluğu (GÜNDER)-Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu (UFTP), 2014, İzmir, 19-21 Kasım 2014.
- [24] **Şaban Yılmaz**, Hasan Rıza Özçalık, Bülent Gedik, “The Effects of Location on the Performance of Photovoltaic Generators in Turkey: A Comparison between Trabzon and Mugla”, SOLARTR, Uluslar arası Güneş Enerjisi Topluluğu (GÜNDER)-Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu (UFTP), 2014, İzmir, 19-21 Kasım 2014.
- [25] **Şaban Yılmaz**, Hasan Rıza Özçalık, Ahmet Serdar Yılmaz, Mahit Güneş, “Performance Analysis of a 10 kW Photovoltaic Generator in Kahramanmaraş Conditions” , SOLARTR, Uluslar arası Güneş Enerjisi Topluluğu (GÜNDER)-Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu (UFTP), 2014, İzmir, 19-21 Kasım 2014.
- [26] **Şaban Yılmaz**, Hasan Rıza Özçalık, Celebi Karapınar, “Energy Supply in a Building via a Photovoltaic-Thermal Power System” , SOLARTR, Uluslar arası Güneş Enerjisi Topluluğu (GÜNDER)-Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu (UFTP), 2014, İzmir, 19-21 Kasım 2014.
- [27] Mehmet Bilge, Metin Salih Muhsin, **Saban Yılmaz**, “A turning point for solar energy: New generation photovoltaic inverters” , SOLARTR, Uluslar arası Güneş Enerjisi Topluluğu (GÜNDER)-Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu (UFTP), 2014, İzmir, 19-21 Kasım 2014
- [28] **Şaban Yılmaz**, Semih ErenYüksel, Hasan Rıza Özçalık, Ahmet Gani, “Developments in Solar Energy Stations in Turkey ” , SOLARTR, Uluslar arası Güneş Enerjisi Topluluğu (GÜNDER)-Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu (UFTP), 2014, İzmir, 19-21 Kasım 2014.
- [29] **Şaban YILMAZ**, Hasan Rıza ÖZÇALIK, Mustafa AKSU, “Analysis of a Thin-Film Photovoltaic Generator of 3 kW Installed in Kahramanmaraş”, Science and Applications of Thin Films, Conference & Exhibition (SATF 2014), İzmir, 15-19 September 2014.

- [30] **Şaban YILMAZ**, Hasan Rıza ÖZÇALIK, Ali ÖTER, Osman AYDOĞAN, “Güneş Enerjili Tarımsal Sulama Sisteminin Ekonomik Analizi”, 11. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi,(UTEK 2014),Samsun, 3-5 Eylül 2014.
- [31]Ahmet Gani, Hakan Açıkğöz, Ö. Fatih Keçecioglu, **Şaban Yılmaz**, “Lineer Olmayan DC Servo Motorun Bulanık Mantık Denetleyici ile Hız Denetimi”, Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27 – 29 Kasım 2014, Bursa, sayfa:351-355.
- [32]**Şaban Yılmaz**, Hasan Rıza Özçalık, Erdal Kılıç, “Mikro Denetleyici Destekli Güneş Enerjili Mikro Tarımsal Sulama Sistemi Tasarımı”, 2.tarım ve gıda kongresi (TARGID2015), 28-30 Nisan 2015, Nevşehir.
- [33]**Şaban YILMAZ**, Kenan UÇAN, Mualla KETEN, Nazime NARİN, “Damla sulama yöntemiyle sulanan meyve bahçesinde güneş enerjisinden yararlanma olanakları”, 2.tarım ve gıda kongresi (TARGID2015), 28-30 Nisan 2015, Nevşehir.
- [34]**Saban Yılmaz**, Hasan Rıza Ozcalik, Mustafa Aksu, Celebi Karapınar, “Dynamic Simulation of a PV-Diesel-Battery Hybrid Plant for Off Grid Electricity Supply”, The 7 th International Conference on Applied Energy – ICAE2015, March 28-31,2015
- [35]Emre Erkan, Hasan Rıza Özçalık, **Şaban Yılmaz**, “Akıllı Güvenlik Kamerası Sistemi Tasarımı”, IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU 2015), 16-19 Mayıs 2015, Malatya.
- [36]**Şaban Yılmaz**, Hasan Rıza Özçalık, Kenan Uçan”, Fotovoltaik Jeneratörlerle Tarımsal Sulama Sisteminin Ekonomik Analizi”, GAP VII. Tarım Kongresi,28 Nisan-1 Mayıs 2015, Şanlıurfa.