

**YOĞUNLAŖTIRICILI GÜNEŖ PANELLERİNDE ISI DEPOSU OLARAK
PARAFİN WAX KULLANILMASININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

Banu BOLAT

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2016**

Banu BOLAT tarafından hazırlanan “YOĞUNLAŞTIRICILI GÜNEŞ PANELLERİNDE ISI DEPOSU OLARAK PARAFİN WAX KULLANILMASININ DENEYSEL İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İlhan CEYLAN

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17 / 06 / 2016

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Alper ERGÜN (KBÜ)

Üye : Dr. Ali Etem GÜREL (DÜ)

İmzası

...../...../2016

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Banu BOLAT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YOĞUNLAŞTIRICILI GÜNEŞ PANELLERİNDE ISI DEPOSU OLARAK PARAFİN WAX KULLANILMASININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Banu BOLAT

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. İlhan CEYLAN

Haziran 2016, 126 sayfa

Bu tez çalışmasında yoğunlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı kullanılmayan güneş panellerinin faz değiştiren malzeme kullanılarak soğutulması deneysel olarak incelenmiştir. Faz değiştiren malzeme olarak ergime sıcaklığı 47°C olan parafin wax kullanılmıştır. Parafin wax kullanılmayan yoğunlaştırıcı sistemlerde en yüksek güneş ışınımı 3700 W/m² olarak ölçülmüştür. Bu güneş ışınımında panel arkası sıcaklığı ise 127°C olmuştur. Yoğunlaştırıcı parafin wax kullanılan sistemde ise en yüksek güneş ışınımı 3570 W/m² olarak ölçüldüğünde panel arkası sıcaklığı 102°C olmuştur. Soğutmalı panel verimi %7 olarak hesaplanırken soğutmasız panel verimi %10 olarak hesaplanmıştır. Soğutmalı sistem güneş ışınım değerleri deneyler sırasında soğutma yapılmayan yoğunlaştırıcı sisteme göre yüksek olduğundan panel arkası sıcaklık değerleride yüksek olarak ölçülmüştür. Bu yüzden panel verimleride %3 daha düşük olarak hesaplanmıştır. Fakat yüksek güneş ışınımından dolayı yoğunlaştırıcı ve soğutmalı sistemden elde edilen güçler, soğutmasız sistemden

fazla olmuştur. Dolayısı ile verim düşük olmasına karşın, üretilen enerji yüksek olmuştur. Yoğunlaştırıcı sistemler için panel verimi tek başına bir gösterge olmayıp, yoğunlaştırılan güneş ışınımı ve yoğunlaşma katsayısı gibi değerler ile birlikte kullanılmasının daha doğru olacağı anlaşılmaktadır.

Anahtar Sözcükler : Güneş enerjisi, güneş paneli, parafinli soğutma, ısı ve elektrik enerjisi deposu.

Bilim Kodu : 708.1.150

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE USAGE OF PARAFFIN WAX AS HEAT STORAGE IN CONDENSING SOLAR PANELS

Banu BOLAT

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. İlhan CEYLAN

June 2016, 126 pages

In this thesis study, the cooling of condensing and non-condensing solar panels by using phase change material was analyzed experimentally. As a phase change material, paraffin wax with melting temperature of 47°C was used. In condensing systems not using paraffin wax, the highest solar radiation was measured as 3700 W/m². In this solar radiation, the temperature behind the panel was 127°C. In condensing systems using paraffin wax, when the highest solar radiation was measured as 3570 W/m², the temperature behind the panel was 102°C. While the efficiency of cooled panels was calculated as 7 %, the efficiency of uncooled panels was calculated as 10 %. As the solar radiation values in cooled systems were higher than the solar radiation values in uncooled condensing systems during experiments, the temperature behind the panel was also measured as high. For this reason, panel efficiencies were also calculated as 3 % lower. However, as a result of high solar radiation, the powers acquired from condensing and cooled systems were more than

the powers acquired from uncooled systems. Accordingly, despite low efficiency, the produced energy was high. It is understood that the panel efficiency is not the only indicator for condensing systems and it is more accurate to use panel efficiency with values such as condensed solar radiation and condensation coefficient.

Key Words : Solar energy, solar panel, cooling with paraffin, heat and electric energy storage.

Science Code : 708.1.150

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında ve tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. İlhan CEYLAN, yardımlarını esirgemeyen hocalarım Yrd. Doç. Dr. Alper ERGÜN, Dr. Ali Etem GÜREL, lisans ve yüksek lisans eğitimin boyunca ders aldığıım bütün hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca eğitim hayatımda beni sabırla destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. GÜNEŞ ENERJİSİ VE TEKNOLOJİLERİ.....	1
1.1.1. Güneş Enerjisi.....	1
1.1.2. Güneş Panellerinin Tarihsel Gelişimi	2
1.1.3. Güneş Panelleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar	3
BÖLÜM 2	5
GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICI SİSTEMLER.....	5
2.1. GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICI SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	5
2.1.1. Düzlem Yansıtıcı Düzlemsel Yoğunlaştırıcılar	6
2.1.2. Fresnel Mercekli Yoğunlaştırıcılar	6
2.1.3. Paraboloidal Çanak Tipi Yoğunlaştırıcılar	7
2.1.4. Güneş Kuleleri.....	8
2.1.5. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcılar	9
2.1.6. Parabolik Çanak Sistemler.....	10
BÖLÜM 3	12
ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ-GÜNEŞ PANELLERİ.....	12

	<u>Sayfa</u>
3.1. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ	12
3.2. ENERJİ DEPOLAMANIN AMACI VE FAYDALARI.....	13
3.3. ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ.....	13
3.3.1. Isı Enerjisinin Depolanması.....	13
3.3.2. Duyulur Isı Depolama Sistemleri	14
3.3.3. Gizli Isı Depolama Sistemleri.....	16
3.3.3.1. Tuz Hidratlar	18
3.3.3.2. Parafinler.....	19
3.3.3.3. Yağ Asitleri.....	20
3.4. ELEKTRİK ENERJİSİNİN DEPOLANMASI.....	21
3.5. GÜNEŞ PANELLERİNİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ	22
3.5.2. Güneş Panellerinden Faydalanılan Sistemler	23
3.5.2.1. Bağımsız Panel Sistemler	23
3.5.2.2. Şebeke Bağlantılı PV Sistemler	26
3.6. GÜNEŞ PANELİ ÇEŞİTLERİ	27
3.6.1. Kristal Silisyum Güneş Panelleri.....	27
3.6.2. Monokristal Silisyum Güneş Paneller	27
3.6.3. Semikristal (Yarıkristal) Silisyum Güneş Panelleri.....	28
3.6.4. Ribbon Silisyum Güneş Panelleri.....	28
3.6.5. Polikristal Silisyum Güneş Panelleri	28
3.6.6. İnce Film Güneş Panelleri	29
3.6.7. Amorf Silisyum Güneş Panelleri.....	30
3.6.8. Bakır İndiyum Diselenoid Güneş Panelleri	30
3.6.9. Diğer Yapılar	31
3.7. GÜNEŞ PANELİ KULLANIM ALANLARI.....	32
BÖLÜM 4	33
GÜNEŞ PANELİ VERİMLİLİKLERİ	33
4.1. GÜNEŞ PİLİ GÜÇ VERİMLİLİKLERİ.....	33
4.2. GÜNEŞ PANELLERİNİN VERİMLİLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	33
4.2.1. Yüzey Parametresi Etkisi.....	33
4.2.2. Spektral Etki	34

	<u>Sayfa</u>
4.2.3. Foto Açısıl Etki	34
4.2.4. Sıcaklığın Etkisi.....	34
4.2.5. Güneş Panelinin İç Seri Direncinden İleri Gelen Kayıplar	35
4.2.6. Fotovoltaik Panelin Kalınlığı.....	35
BÖLÜM 5	36
MATERYAL VE METOD	36
5.1. SİSTEM TASARIMI	36
5.1.1. Parafinli Güneş Panelinin Yapılışı.....	36
5.1.2. Parafinden Kazanılan Isı Hesabı.....	39
5.1.3. Güneş Panellerinin Çerçevesinin Hazırlanması.....	39
5.1.4. Yoğunlaştırıcı Tasarımı	40
5.2. SİSTEM KURULUMU VE İMALATI	42
5.3. DENEYLERİN YAPILIŞI	43
5.4. ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÖLÇÜM ALINAN NOKTALAR.....	43
5.5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ.....	45
5.6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	60
EK AÇIKLAMALAR A. SOĞUTMASIZ VE SOĞUTMALI GÜNEŞ PANELLERİNİN DENEY VERİLERİ	63
ÖZGEÇMİŞ	127

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Düzlem yansıtıcı düzlemsel yoğunlaştırıcı	6
Şekil 2.2. Fresnel mercekli yoğunlaştırıcı.....	7
Şekil 2.3. Paraboloidal çanak tipi yoğunlaştırıcılar	8
Şekil 2.4. Güç kulesi	9
Şekil 2.5. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıların dizilişi	10
Şekil 2.6. Parabolik çanak güneş ısı elektrik santrali	11
Şekil 3.1. Güneş panelleri	22
Şekil 3.2. Güneş panellerinin yapısı	23
Şekil 3.3. Şebekeye bağımsız panel sistemler	24
Şekil 3.4. Bağımsız panel uygulaması	25
Şekil 3.5. Şebeke bağımlı sistem	26
Şekil 3.6. Monokristal silisyum güneş paneli	28
Şekil 3.7. İnce film güneş panelleri	29
Şekil 3.8. Bakır indiyum diselenoid güneş panelleri	31
Şekil 5.1. Parafin wax	36
Şekil 5.2. Parafin waxın tartılması.....	37
Şekil 5.3. Parafin waxın eritilmesi.....	37
Şekil 5.4. Parafin waxlı güneş paneli.....	38
Şekil 5.5. Güneş panelinin çerçevesi ve çerçeveye yerleştirilmesi.....	40
Şekil 5.6. Yoğunlaştırıcı tasarımı.....	40
Şekil 5.7. Yoğunlaştırıcının güneşe göre konumu.....	41
Şekil 5.8. Sistemin genel görünümü	43
Şekil 5.9. İmalatı tamamlanan güneş panelleri ve ısı depolama sistemi.....	44
Şekil 5.10. Güneş ışınlamının zamana bağlı değişim grafiği.	47
Şekil 5.11. Güneş ışınlamının zamana bağlı değişim grafiği	48
Şekil 5.12. Güneş ışınlamının zamana bağlı değişim grafiği	49
Şekil 5.13. Zamana bağlı güç ve panel sıcaklığının değişim grafiği.	50
Şekil 5.14. Zamana bağlı elde edilen güç ve panel arkası sıcaklığının değişimi.....	51

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.15. Zamana bağlı güç ve panel sıcaklığının değişim grafiği.	52
Şekil 5.16. Zamana bağlı panel arkası sıcaklığının değişim grafiği.	53
Şekil 5.17. Zamana bağlı modül verim değişim grafiği.....	54
Şekil 5.18. Zamana bağlı modül verim değişim grafiği.....	55
Şekil 5.19. Zamana bağlı modül verim değişim grafiği.....	56
Şekil 5.20. Parafinli ve parafinsiz panel modül verim grafiği	57
Şekil 5.21. Parafinli ve parafinsiz panel güç değişim grafiği	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelgeler 3.1. Isı depolama maddeleri ve özellikleri	15
Çizelgeler 3.2. IED sisteminde FDM olarak kullanılacak bazı tuz hidratların erime sıcaklıkları ve erime gizli ısıları	18
Çizelgeler 3.3. Tuz hidratların avantaj ve dezavantajları	19
Çizelgeler 3.4. Bazı parafin olmayan organik maddelerin özellikleri	21
Çizelgeler 4.1. Bazı güneş panellerinin verimleri.....	33
Çizelgeler 5.1. Parafinin fiziksel özellikleri ve deney ortamı kriterleri	39
Çizelgeler 5.2. Ölçüm cihazlarının teknik detayları.....	44
Çizelge Ek A.1. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.....	64
Çizelge Ek A.2. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.....	65
Çizelge Ek A.3. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.....	66
Çizelge Ek A.4. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.....	67
Çizelge Ek A.5. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.....	68
Çizelge Ek A.6. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.....	69
Çizelge Ek A.7. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.....	70
Çizelge Ek A.8. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.....	71
Çizelge Ek A.9. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.....	72
Çizelge Ek A.10. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.....	73
Çizelge Ek A.11. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.....	74
Çizelge Ek A.12. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.....	75
Çizelge Ek A.13. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri	76
Çizelge Ek A.14. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri	77
Çizelge Ek A.15. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri	78
Çizelge Ek A.16. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri	79
Çizelge Ek A.17. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri	80
Çizelge Ek A.18. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri	81
Çizelge Ek A.19. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri	82
Çizelge Ek A.20. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri	83
Çizelge Ek A.21. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri	84

Sayfa

Çizelge Ek A.22. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri	85
Çizelge Ek A.23. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri	86
Çizelge Ek A.24. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri	87
Çizelge Ek A.25. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri	88
Çizelge Ek A.26. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri	89
Çizelge Ek A.27. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri	90
Çizelge Ek A.28. Soğutmalı güneş paneli güç ve modül verim değerleri	91
Çizelge Ek A.29. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri	92
Çizelge Ek A.30. Soğutmalı güneş paneli güç ve modül verim değerleri	93
Çizelge Ek A.31. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri	94
Çizelge Ek A.32. Soğutmasız güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	95
Çizelge Ek A.33. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri	96
Çizelge Ek A.34. Soğutmasız güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	97
Çizelge Ek A.35. Soğutmasız güneş paneli verimi ve güç değerleri	98
Çizelge Ek A.36. Soğutmasız güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	99
Çizelge Ek A.37. Soğutmasız güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	100
Çizelge Ek A.38. Soğutmasız güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	101
Çizelge Ek A.39. Soğutmasız güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	102
Çizelge Ek A.40. Soğutmasız güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	103
Çizelge Ek A.41. Soğutmasız güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	104
Çizelge Ek A.42. Soğutmalı güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	105
Çizelge Ek A.43. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	106
Çizelge Ek A.44. Soğutmalı güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	107
Çizelge Ek A.45. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	108
Çizelge Ek A.46. Soğutmalı güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	109
Çizelge Ek A.47. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	110

Çizelge Ek A.48. Soğutmalı güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	111
Çizelge Ek A.49. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	112
Çizelge Ek A.50. Soğutmalı güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	113
Çizelge Ek A.51. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	114
Çizelge Ek A.52. Soğutmalı güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	115
Çizelge Ek A.53. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	116
Çizelge Ek A.54. Soğutmasız güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	117
Çizelge Ek A.55. Soğutmasız güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	118
Çizelge Ek A.56. Soğutmalı güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	119
Çizelge Ek A.57. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	120
Çizelge Ek A.58. Soğutmasız güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	121
Çizelge Ek A.59. Soğutmasız güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	122
Çizelge Ek A.60. Soğutmalı güneş panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri	123
Çizelge Ek A.61. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri	124
Çizelge Ek A.62. Yoğunlaştırıcısız panellerin sıcaklık değerlerinin karşılaştırması	125
Çizelge Ek A.63. Yoğunlaştırıcısız panellerin sıcaklık değerlerinin karşılaştırması	126

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- V : Maddenin Hacmi (m^3)
- ρ : Yoğunluğu (kg/m^3)
- C_p : Sabit Basıncıdaki Özgül Isı (kJ/kgK)
- η : Güneş Panelinin Verimi (%)
- P_m : Güneş Panelinin Maksimum Güç Çıkışı
- W : Güç (Watt)
- V : Gerilim (Volt)
- A : Akım (Amper)
- T : Sıcaklık
- η_c : Hücre Verimi
- η_o : Polikristal Hücrelerin Laboratuvar Şartlarındaki Verimi (0,15)
- β : Elektriksel Verim Isı Katsayısı (Polikristal İçin 0,0045/K)
- T_c : Hücre Sıcaklığı
- η_m : Modül Verimi
- τ_c : PV Modül Camı Şeffaflık Faktörü (0,9)
- α_c : Hücrenin Absorbe Katsayısı (0,95)
- δ_c : Packing Faktörü (0,9)
- \dot{E}_l : Elektriksel Kazanç (W)
- A_m : Hücre Toplam Yüzey Alanı
- $I(t)$: Işınım Miktarı (W/m^2)

KISALTMALAR

FDM : Faz Değişimine Uğrayan Bir Faz Değişim Maddesi

IED : Isıl Enerji Deposu

Cd : Kadmiyum

Te : Tellür

Si : Silisyum

CPV : Yoğunlaştırılmış Güneş Paneli

CPS : Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Santrali

S : Güneş Sabiti

PV : Fotovoltaik

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. GÜNEŞ ENERJİSİ VE TEKNOLOJİLERİ

Güneş, orta büyüklükte bir yıldız olup hidrojen ve helyum gazlarından oluşmuştur. Yarıçapı 700.000 km, kütlesi 2×10^{30} kg'dır ve Dünyadan 1.5×10^{11} m uzaklıkta yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı bir yıldızdır. Yüzeysel sıcaklığı yaklaşık 6000 °C olan güneş, Stefan-Boltzman kanununa göre çok yüksek değerlerde radyasyon enerjisi yaymaktadır. Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir (Varınca, 2006).

- Isıl Güneş Teknolojileri: Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilirliği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.
- Güneş Panelleri: Fotovoltaik paneller de denen bu yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler.

Güneş enerjisi yardımıyla soğutma tekniklerini, soğutma prosesinin türüne, kullanılan aracı maddenin fazına, çevrimin açık-kapalı olmasına göre farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür (Büyükalaca ve Yılmaz, 2003).

1.1.1. Güneş Enerjisi

Güneş galaksi merkezinden yaklaşık 27000 ışık yılı uzaklıkta ve galaksi düzlemine 100 ışık yılı mesafededir. Güneş ile gezegenler ve gezegenlerin tesirinde olan uydular ve gök cisimleri Güneş sistemini meydana getirirler. Güneşin yüzeysel sıcaklığı 5762 K'dir. Güneşten yeryüzüne düşen ışınım değeri yani güneş sabiti 1367 W/m^2 'dir (Duffie ve Beckman, 1980). Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan

füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi füzyon sürecinden kaynaklanır. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Dünyaya güneşten gelen enerji, dünyada bir yılda kullanılan enerjinin 20000 katıdır. Güneşin, 5 milyar yıl sonra tükeneceği hesaplanmaktadır. Yeryüzüne düşen güneş radyasyonu değeri yaklaşık olarak 4×10^{24} J/yıldır (Wilson, 1979).

Güneşin saldığı toplam enerji göz önüne alındığında bu çok küçük bir kesirdir; ancak bu tutar dünyada insanoğunun bugün için kullandığı toplam enerjinin 10000 katıdır. Dünyaya gelen güneş enerjisi çeşitli dalga boylarındaki ışınlardan oluşur ve bu ışınlar güneş ile dünya arasında ki mesafeyi yaklaşık 8 dakikada (500 s) aşarak dünyaya ulaşır (ışınlarda saniyede 300.000 km'lik bir hızla, yani ışık hızıyla yol alırlar). Dünyanın dışına, yani havaküre (atmosfer) dışına dik bir açıyla gelen güneş ışınlarının bir metrekare alanda oluşturduğu güneş enerjisi, güneş değişmezi (S) olarak adlandırılır ve bunun değeri $S=1353 \text{ W/m}^2$ dir. Bu değeri, tanım gereği, yıl boyunca değişmez alınabilir. Çünkü her zaman, gelen güneş ışınlarına dik yüzey göz önüne alınmalıdır. Ancak, dünyanın güneş çevresindeki yörüngesi bir çember olmayıp bir elips olduğundan, yıl boyunca bu değerde %3,3'lük bir değişim söz konusudur. Yeryüzüne bu enerjinin soğurma ve yansıma olaylarından dolayı %60'lık kısmı yani 832 W/m^2 lik kısmı ulaşır (Sarıkaya, 2008).

Güneşten elde edilen güneş enerjisi, son yıllarda yenilenebilen enerji kaynakları içinde, üzerinde en çok çalışılan olmuştur. Güneş, dünyamıza ve diğer gezegenlere enerji veren büyük bir enerji kaynağıdır. Bitkiler, canlı doku üretmek ve besin yapabilmek (fotosentez) için güneş enerjisinden faydalanır. Rüzgar, güneş ışınlarının sıcaklık farkı hasıl etmesinden meydana gelir. Kömür ve bitki artıklarından petrol meydana gelmesi de güneş enerjisi sayesinde.

1.1.2. Güneş Panellerinin Tarihsel Gelişimi

Becquerel 1839 yılında elektrolit içirisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek fotovoltaiik olayını bulmuştur. Katı cisimlerde ise benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafında gösterilmiştir. 1914 yılında

fotovoltaik gözelerin verimliliği % 1, değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik gözeler ilk kez Chapin, Fuller ve Pearson tarafından 1954 yılında silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir (Wolf, 1972). Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi takip eden yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. Fotovoltaik güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir (Ismael, 2012). Güneş panellerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik çalışmalar 1954'lerde başlamıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş panellerinin verimliliğini artırma çabaları mevcuttur. Öte yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu neden ile daha ucuza üretilebilecek ince film güneş panelleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir.

1.1.3. Güneş Panelleri İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Gelişmekte olan ülkelerde kurulan sistemler genellikle evlerde ve kamu binalarında kurulmaktadır. Gelişmiş ülkelerde ise; güvenlik, cadde ve tünel aydınlatması gibi daha özel uygulama alanları bulmaktadır. Dünyanın çeşitli yerlerinde 10.000'den fazla su pompaj sistemi kurulmuş ve başarıyla işletilmektedir. Güneş paneli ile çalışan 2000 civarında aşısı soğutucusu kullanılmaktadır. Yukarıda saydığımız uygulamalar küçük güçlü ve şebekeden bağımsız uygulamalardır. Günümüzde gelişmiş ülkelerde giderek yaygınlaşan uygulama ise şebeke bağlantılı sistemlerdir. Bu tür sistemlerde güneş panelleri ile üretilen elektriğin fazlası elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur. Yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir. Depolama maliyetini ortadan kaldırdığı için bu sistemlerden üretilen enerji nispeten daha ucuzdur. Fakat konvansiyonel kaynaklarla karşılaştırıldığında halen pahalıdır. Güneş paneli pazarı yıllık %30 civarında bir hızla büyüme göstermektedir. 1997 yılında tahmini üretim 100 MW iken 1999 yılında 133 MW'a ulaşmıştır. Üretimin yaklaşık %90'lık kısmı sırasıyla ve yaklaşık eşit paylarla ABD, Japonya ve Avrupa ülkeleri tarafından yapılmakta, geri kalan %10 Hindistan, Cezayir, Brezilya gibi üçüncü ülkelerde

gerçekleşmektedir. Güneş panellerinin dünyada kurulu gücü 1990-1995 yılları arasında her yıl yaklaşık %25 artmıştır. Bugün için dünyadaki kurulu gücün 800 MW'ın üzerinde olduğu bilinmektedir. Bu kapasite ile yılda 500 GWh elektrik enerjisi üretilmektedir (Temiz Enerji Yayınları, 2015).

BÖLÜM 2

GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICI SİSTEMLER

2.1. GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICI SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI

Güneş yoğunlaştırıcıları, güneş ışınlarını belirli bir bölgeye yoğunlaştıran sistemlerdir. Bu sayede yoğunlaştırma yapılan bölgenin sıcaklığı yükseltilmiş olur. Güneş yoğunlaştırıcı sistemler noktasal ve doğrusal yoğunlaştırma yapabilmekte ve yüksek sıcaklıklara çıkılabilmektedir. Güneş yoğunlaştırıcıları, güneş ışınlarını yoğunlaştırma işini yansıtıcı yüzeylerle yapmaktadır. Yansıtıcı yüzey üzerine düşen güneş ışınlarının bir kısmı yüzey tarafından soğurulur. Dolayısıyla güneş ışınları belirli bir kayıpla yoğunlaştırılmış olur. Yoğunlaştırma yapılan yüzeyin sıcaklığı yükselmektedir. Yüzeyden ısı transfer akışkanına iletim ya da taşınım ile ısı geçişi olmaktadır. Dış yüzeyin sıcaklığı belirli bir süreden sonra çevre ortamın sıcaklığından yüksek olacağından dış yüzeyden ortama taşınım ile ısı geçişi olur. Bu durum sistem için ısı kayıptır.

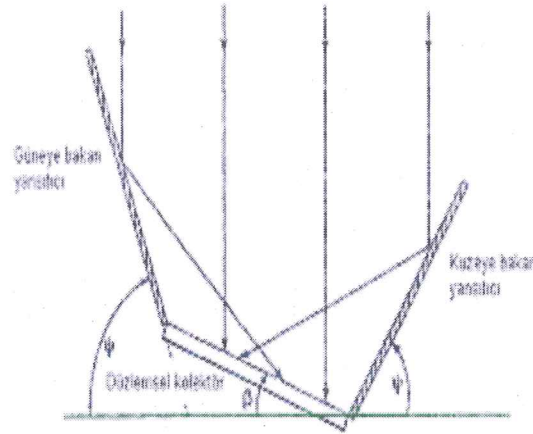
Güneş Yoğunlaştırma Sistemleri,

- Düzlem yansıtıcı düzlemsel yoğunlaştırıcılar
- Frensel mercekli yoğunlaştırıcılar
- Paraboloidal çanak tipi yoğunlaştırıcılar
- Güneş kuleleri
- Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılar
- Parabolik çanak sistemler

Şeklinde çeşitlere ayrılırlar. Bu sınıflandırma yoğunlaştırma işinin çizgisel ya da noktasal olarak yapılmasına göre oluşturulmuştur.

2.1.1. Düzlem Yansıtıcı Düzlemsel Yoğunlaştırıcılar

Düzlemsel kollektörün çevresine yansıtıcı yüzeyler yerleştirilerek oluşturulmuş sistemlerdir. Sistemde kullanılan yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınımını ayna gibi ya da difüz şeklinde yansıtırlar. Gelen ışınımın difüz kısmını da kullanmaları bu sistemlerin avantajlarından. Şekil 2.1’de düzlem yansıtıcı düzlemsel yoğunlaştırıcı sistem örneği görülmektedir.



Şekil 2.1. Düzlem yansıtıcı düzlemsel yoğunlaştırıcı (Kıncay, 2008).

2.1.2. Fresnel Mercekli Yoğunlaştırıcılar

Çalışma prensibi olarak parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları gibi çalışmaktadırlar. İki sistem arasındaki en belirgin fark bu sistemlerde yansıtıcı yüzey olarak düzlemsel aynalar kullanılmaktadır. Fresnel mercekli yoğunlaştırıcılar güneşi tek eksenden takip ettiklerinden ve çizgisel odaklama yaptıklarından verimler diğer yoğunlaştırıcı yoğunlaştırıcılara göre düşüktür. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarının kullanıldığı her yerde kullanılabilirler ve maliyetleri daha düşüktür (Songür, 2008). Şekil 2.2’de fresnel mercekli yoğunlaştırıcı örneği görülmektedir.



Şekil 2.2.Fresnel mercekli yoğunlaştırıcı (Songür, 2008).

2.1.3. Paraboloidal Çanak Tipi Yoğunlaştırıcılar

Paraboloidal çanak yoğunlaştırıcılar noktasal olarak yoğunlaştırma yapan sistemlerdir. Yansıtıcı yüzey olarak aynalar kullanılmaktadır. Sistemin çalışma prensibi, yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınları sistemin odağında yer alan Stirling motor üzerine yoğunlaştırılarak enerji elde etme yöntemine dayanmaktadır. Sisteme yoğunlaştırılan ısı enerji, sistemin odak bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling motor yardımı ile elektrik enerjisine çevrilebilir. Sistemin güneşi iki eksende takibi ile sürekli olarak güneş izlenerek sistemin ısı verim artırılır. Çanak-Stirling bileşimiyle güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde % 30 civarında verim elde edilir. Paraboloidal çanak yoğunlaştırıcılar küçük modüllerden oluştuğu için, enerji ihtiyacı duyulan yerlerin yakınında ve ihtiyaç duyulan kapasitede tesis edilebilirler. Çoğunlukla diğer yöntemlerle elektrik üreten santrallere destek amacıyla ve maden ocakları, radar istasyonları ya da uzak köylerin elektrik ihtiyacının karşılanmasında kullanılır. Şekil 2.3'te paraboloidal çanak tipi yoğunlaştırıcılar örneği görülmektedir.



Şekil 2.3. Paraboloidal çanak tipi yoğunlaştırıcılar (Bilgiustam, 2009).

Elektrik üretiminden başka, bu kollektörler buhar ya da sıcak hava üretimi için de kullanılır. Ayrıca, endüstride buhar üretimi, yer altı enjeksiyonu, petrol çıkartılması gibi işlemler için kullanılır. Sistemin yatırım maliyetinin yüksek olmasından dolayı diğer güneş sistemlerden daha az kullanılmaktadır.

2.1.4. Güneş Kuleleri

Güneş kule sistemleri merkezi alıcı güç santralleridir. Sistem heliostat adı verilen büyük bir alana yerleştirilmiş çok sayıda yansıtıcılarla gelen güneş ışınlarını heliostatların merkezinde bulunan kulenin tepesine yoğunlaştırır. Heliostatlar, merkezi bir bilgisayar yardımı ile güneşi takip ederek güneş enerjisini kule üzerindeki alıcıya yansıtırlar. Yoğunlaştırılmış yüksek ısı enerjisi alıcıdaki akışkanı ısıtır. Isınan akışkan buhar jeneratörüne gönderilerek buhar üretilir. Üretilen buharda buhar türbininden geçirilerek elektrik enerjisi elde edilir. Çevrimi tamamlayan buhar kondansatörde soğutma suyu çevrimi ile soğutulur ve sisteme geri gönderilir. Isı transfer akışkanı buhar jeneratöründen geçtikten sonra alıcıya gönderilir. Şekil 2.4'de güç kulesi örneği görülmektedir.



Şekil 2.4. Güç kulesi (Kıncay, 2008).

Güneş kulelerinin ilk yatırım maliyeti, klasik fosil yakıtlı enerji sistemlerine göre daha yüksek olmakla beraber diğer güneş enerji sistemleri gibi yanma sonucu çevreye atılan emisyonlarının oluşmaması, ayrıca sınırsız bir enerji kaynağı olması sistemin avantajıdır. Yapılan araştırmalarda ilk yatırım maliyetinin, daha ileri teknoloji ile tasarlanıp kule sayısı artırılarak düşürülmesi beklenmektedir. Sistemin bir diğer avantajı da buhar türbininde meydana gelen çürük buharın düşük enerji ihtiyacı diğer endüstriyel proseslerde kullanılmasıdır. Bu sayede sistemin tasarrufu artar. Sistemde heliostat denilen yansıtıcı yüzey olarak aynalar kullanılmaktadır. Heliostatların güneşi iki eksenle takip edilmesi sağlanmaktadır. Her heliostat birbirinden bağımsız olarak hareket eder. Isı transfer akışkanı olarak yağ ya da su kullanılabilir. Sistemde kullanılan ısı transfer akışkana göre ortalama 600 °C üzerinde sıcaklıklara ulaşılabilir. Heliostatların yerleşimi için büyük alanlara ihtiyaç vardır. Güneş kulesini çevreleyen heliostatları, tesisin yıllık verimini optimize edecek şekilde planlanır. Tipik bir kurulumda güneş enerjisinin toplanması, türbine buhar sağlayacak maksimum gereksinim değerinin aşılmasıyla meydana gelir (Kıncay, 2008).

2.1.5. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcılar

Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemlerin en yaygınıdır. Kolektörler, kesiti parabolik olan yoğunlaştırıcı dizilerden oluşur. Kolektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, kolektörün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir

absorban boruya odaklarlar. Kolektörler genellikle, Güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirilirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda bir sıvı dolaştırılır. Toplanan ısı, elektrik üretimi için enerji santraline gönderilir. Bu sistemler yoğunlaştırma yaptıkları için daha yüksek sıcaklığa ulaşabilirler. (350-400°C) Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemler ticari ortama girmiş olup, bu sistemlerin en büyük ve en tanınmış olanı 350 MW gücündeki şimdiki Kramer&Junction eski Luz International santralleridir (Grozdev, 2010). Şekil 2.5'te parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıların dizilişi örneği görülmektedir.



Şekil 2.5. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıların dizilişi (Kearney, 2007).

2.1.6. Parabolik Çanak Sistemler

İki eksenle güneşi takip ederek, sürekli olarak Güneşi odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Termal enerji, odaklama bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling makine yardımı ile elektrik enerjisine çevrilebilir. Çanak-Stirling bileşimiyle Güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde % 30 civarında verim elde edilmiştir. Parabolik Çanak Güneş ısı elektrik santrali (İspanya) Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6. Parabolik çanak güneş ısı elektrik santrali (Karamanav, 2007).

BÖLÜM 3

ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ-GÜNEŞ PANELLERİ

3.1. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

İnsanların iyi yaşayabilmesi için gereken dört enerji şekli şunlardır:

- 1) Kimyasal enerji,
- 2) Isı enerjisi,
- 3) Mekanik enerji,
- 4) Elektrik enerjisi.

Gıdalar kimyasal enerji içerirler; vücut bu enerjiyi ısı ve mekanik enerjiye dönüştürür; tüketilmeyen kısmını ise depolar. Günümüzde enerji ihtiyacı ağırlıklı olarak fosil yakıtların tüketilmesi sonucu karşılanmaktadır; ancak dünya fosil enerji kaynakları (kömür, petrol, doğal gaz) tükenme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Bu nedenle, günümüzde tüm dünyada yapılan araştırmalar yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yoğunlaşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek olarak; güneş, rüzgâr ve hidrolik enerji, dalga ve gel-git hareketleri ile biyokütle gösterilebilir.

Biyokütle dışındaki bütün yenilenebilir enerji kaynaklarından, katı, sıvı veya gaz yakıt üretilmek şeklinde değil, mekanik, ısı veya elektrik enerjisi üretimi şeklinde yararlanılmaktadır. Isı ve elektrik enerjisinin depolanması, katı, sıvı ve gaz yakıtların depolanması gibi basit yöntemlerle gerçekleştirilememekte daha karmaşık ve pahalı sistemlerin kullanılması gerekmektedir. Geçmiş yıllarda enerjinin depolanması, sıvı yakıtların basit tanklarda; katı yakıtların büyük stok alanlarında; doğal gazın ise yeraltında depolanması şeklinde gerçekleştirilmekteydi. Daha karmaşık ve pahalı olan, termal ve elektrik enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesine ise gereken önem verilmemiştir (Olivier ve Andrews, 1989).

3.2. ENERJİ DEPOLAMANIN AMACI VE FAYDALARI

Bir yandan enerjinin kullanıldığı alanlarda oluşan atık enerjiyi depolama (örneğin sanayi ve endüstrideki atık ısının depolanması gibi), diğer yandan, yalnız belirli zamanlarda enerji verebilen (örneğin; güneş enerjisi gibi) yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisini depolayarak, enerji temin zamanı ile talebi arasında doğabilecek farkı azaltmayı amaçlamaktadır. Bu sayede enerji sistemlerinin verimi artırılmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Yardımcı enerji kaynağına duyulan ihtiyaç azaltılmaktadır. Enerji üretimi için kullanılan yakıtların çevreye verdiği zararın önüne geçilmesinde önemli rol oynar. Daha az fosil yakıt tüketilmesine bağlı olarak çevreye yayılan sera gazı miktarının azalması sağlanacak ve böylece daha temiz bir hava solunmuş olacaktır. Ayrıca bu sayede küresel ısınmaya karşı önlem almak için destek sağlanmış olacaktır. Elektrikle ısıtılan evlerde gece boyunca tüketilen enerjinin fazlasının depo edilerek gündüz saatlerinde ısıtma amacıyla kullanılması amaçlanmıştır.

3.3. ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ

3.3.1. Isı Enerjisinin Depolanması

Isı enerjisi depolama sistemlerini:

- 1) Düşük sıcaklık ısı depolama sistemleri
- 2) Orta ve yüksek sıcaklık ısı depolama sistemleri olarak iki gruba ayırmak mümkündür (Ota, 1978; Sizmann, 1987).

1) Düşük Sıcaklık Isı Depolama Sistemleri

Düşük sıcaklıktaki ısının, yalıtılmış katılar veya sıvılar içinde doğrudan depolanması olanaklıdır. Bu şekilde depolanan ısı, sadece ısı enerjisi olarak etkin bir şekilde tekrar kullanılabilir. Düşük sıcaklıkta depolanmış ısı, mekanik veya elektrik enerjisi gibi, diğer enerji şekillerine dönüştürülerek kullanılmak istendiğinde, termodinamik sınırlamalar nedeniyle, verim çok düşük olmaktadır. Buna karşın, depolanmış ısının,

bir ortamı ısıtmak amacıyla kullanımını çok etkin bir uygulamadır. Isının depolama çeşitleri aşağıda verilmiştir (Logtenberg ve Agep, 1987):

- 1) Duyulur ısının depolanması (depolama ortamının ısı kapasitesini esas alır),
- 2) Gizli ısının depolanması (depolama ortamındaki faz değişim enerjisini esas alır).

Su, kaya ve çeşitli hidratlı tuzlar önerilen en uygun ısı depolama ortamlarıdır. 100 °C'nin altındaki sıcaklıklarda, ucuz olduğu için, su tercih edilen bir ısı depolama ortamıdır. Kum veya toprak gibi malzemeler de ısı depolama ortamı olarak kullanılmaktadır. Bir ısı deposunun tasarımı, aşağıdaki özellikleri sağlayacak şekilde gerçekleştirilmelidir (Fittipaldi, 1981):

- 1) Uygun bir yüzey malzemesi kullanılarak ısının depo içine ve dışına hızlı transferi sağlanmalıdır,
- 2) Isı kayıp hızı, gerekli depolama süresine kıyasla, çok düşük olmalı ve çevreye olan ısı kaybı azaltılmalıdır.

Depolama tankından ısı kaybı, tankın yüzey alanına; toplam depolama kapasitesi ise tankın hacmine bağlıdır. Yüzey alanı, tank boyutlarının karesi; hacmi ise boyutların küpü ile orantılı olduğundan, büyük depolar küçüklere oranla daha az yalıtım gerektirmektedir. Isı deposunun toplam boyutu çok önemli bir parametredir; bu nedenle, ısı enerjisinin uzun süreli ve büyük miktarlarda depolanabilmesi için. Son yıllarda çalışmalar çok büyük yeraltı depolarının kullanım olasılığı üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu tip depolar, tek bir ev için kullanılan küçük ölçekli depolardan çok daha az yalıtım gerektirmektedir (Fittipaldi, 1981).

3.3.2. Duyulur Isı Depolama Sistemleri

Bütün maddelerin sıcaklıkları, bir faz değişimi yoksa, ısı depoladıkça artar ve maddeler soğurken bu ısıyı çevreye verirler; buna duyulur ısının depolanması denir; çünkü depolama ortamında ölçülebilir bir sıcaklık artışı gözlenir. Bu tür ısı depolama sistemlerinin toplam kapasitesi; depolama ortamının yoğunluğu, ısı kapasitesi ve depolanacak ısı enerjisinin miktarı ile orantılıdır (Fittipaldi, 1981). Sıcaklığı T_1 ve

kütlesi m olan bir madde T_2 sıcaklığına yükseltirse ısı kapasitesi, dolayısıyla depolanan duyulur ısı;

$$Q = m c_p (T_2 - T_1) = V \rho c_p \Delta T \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada V maddenin hacmi, ρ yoğunluğu ve c_p sabit basınçtaki özgül ısıdır. Son bağıntıdan görüldüğü gibi bir ΔT sıcaklık farkında ve belli bir hacimde depolanan ısı enerjinin fazla olması için maddenin ısı ($\rho \times c_p$) büyük olmalıdır. Suyun hacimsel özgül ısı diğer maddelere göre daha yüksektir. Duyulur ısı depolanmasında faydalanılan maddenin hacimsel özgül ısısının büyük olması yanında yanma ve alevlenme özelliğinin olmaması, maddeden uzun süre (10-15 yıl) özelliklerini muhafaza etmesi, toksit ve korozyon tesirinin bulunmaması gerekir. Tabii ki her şeyden önce maddenin kolay temin edilebilir ve ucuz olması gerekir. Pratikte, temin edilebilme kolaylığı ve ucuzluğu sebebiyle, daha çok su ve çakıl taşı temin edilir (Arda, 2006).

Duyulur ısı depolama sistemlerinin en cazip özelliklerinden biri, ısı yükleme ve boşaltma işlemlerinin tersinir olmasıdır. Yani, sistemin ekonomik ömrü boyunca bu maddelerin ısıyı depolama ve boşaltma özellikleri devam eder. Isı depolama maddeleri ve özellikleri Çizelge 3.1'de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Isı depolama maddeleri ve özellikleri.

Madde	Yoğunluk (kg/m^3)	Özgül ısı (kJ/kgK)
Su	1000	4,198
Çakıl taşı	2500-3500	0,88
Demir	7860	0,50
Beton	2250	0,65
Su-etilen glikol (50/50)	1050	3,47

Duyulur ısı depolama genel işletimleri sırasında bazı dezavantajlara sahiptir. Bu dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Isı depolama esnasında depolama sıcaklığı sürekli olarak arttığından sistemdeki ısı kayıpları fazladır.
- 2) Sistemden ısı çekerken depolama sıcaklığı sürekli düştüğünden ısı akış dağılımı oldukça düzensizdir.
- 3) Isı depolama işlemi çevre sıcaklığından oldukça yüksek olduğu için iyi bir izolasyon gereklidir (Goldstein, 1978).

3.3.3. Gizli Isı Depolama Sistemleri

Faz değiştiren maddeler, herhangi bir sıcaklık değişimine neden olmayan, birim kütle başına belirli miktardaki ısıyı alır veya verirler; bu ısı türüne "gizli ısı" adı verilir. Bu maddeler, sınırlı bir sıcaklık aralığında, duyulur ısı depolama sistemine oranla daha büyük bir ısı kapasitesine sahiptir ve sabit sıcaklıkta ısı sağlarlar (Esen, 1999; Mazman, 2006).

Maddelerin faz değişimi esnasında, iç enerjilerindeki artış ile sabit sıcaklıkta faz değiştirerek enerji depolanması olayına "gizli ısı depolama" denir. Gizli ısı depolama sistemlerinde; sabit sıcaklık aralığında eriyen veya buharlaşan kısacası faz değişimine uğrayan bir faz değişim maddesi (FDM) kullanılır.

Gizli ısı depolama ortamı olarak kullanılan FDM'nin enerji depolama kapasitesi aşağıdaki şekilde verilir. Gizli ısı depolama duyulur ısı depolama ile mukayese edildiğinde bazı üstün özelliklere sahip olduğu görülür. Bunların en önemlisi faz değişimli ısı enerji depolama maddelerinde belirli bir miktarda ısının depolanması için gerekli hacmin, aynı miktarda ısının duyulur ısı şeklinde depolanması için gerekli hacimden daha küçük olmasıdır. Bu yöntemin bir diğer avantajı da, depodan ısı çekilme esnasında depo sıcaklığının yaklaşık olarak sabit kalmasıdır. Fakat duyulur ısı depolamaya göre maliyeti daha yüksektir. Sabit bir sıcaklıkta ısının soğurulması ya da salıverilmesi şeklinde gerçekleşen gizli ısı depolama metodunda beş farklı faz değişim tipine rastlanır:

- 1) katı-katı
- 2) katı-sıvı

- 3) sıvı-gaz
- 4) katı-gaz
- 5) sıvı-sıvı.

Fakat sadece pratikte uygulanabilir olanlar katı-sıvı ve katı- katı faz değişimleridir. Katı-gaz ve sıvı-gaz geçişleri daha yüksek erime gizli ısısına sahiptir ancak faz geçişi esnasında hacim değişiminin büyük olması depolama kabı problemini ortaya çıkarır ve ısıl enerji depolama sistemlerinde potansiyel kullanımını sınırlar.

Gizli ısı depolama metodunun diğer metotlara göre üstün yanlarını genel olarak şöyle sıralamak mümkündür:

- 1) Duyulur ısıya göre ısı depolama kapasitesi daha yüksektir ve kullanılan ısı deposu hacmi daha küçüktür.
- 2) FDM'nin birim kütesinin ısı depolama kabiliyeti daha yüksektir.
- 3) FDM'nin faz değişim sıcaklığı, sabit sıcaklıkta depolama ve geri kazanım için uygundur.
- 4) Sabit sıcaklıkta ısı gerektiren uygulamalar için uygundur (Goldstein, 1978).

Faz değiştiren bir maddeye ısı ilave edildiğinde veya alındığında faz değişimi; erime, donma, buharlaşma, yoğunlaşma, kafes yapısının değişmesi ve kristal-bağlı su içeriğinin değişmesi şekillerinde gerçekleşir. Faz değişimi sırasındaki toplam enerji değişimi, entalpideki değişim olarak verilir. Gizli ısı depolama sistemlerinde depolama ortamı olarak kullanılan ve faz değişikliğine uğrayan maddelerin değeri, yüksek ısı kapasitelerinden etkili bir şekilde yararlanılması ile ölçülür. Birçok endüstriyel süreçlerde, 100°C'dan başlayıp 2400°C'a kadar varan sıcaklıklardaki ısı enerjisi tüketilmektedir. Isı depolama sistemleri bu süreçlerde tampon görevi yapmakta ve enerji sarfiyatını azaltmaktadır. Yüksek sıcaklıkta depolanmış olan ısı enerjisi, ısı makinaları için de önemli bir enerji kaynağıdır. Endüstriyel fırınlar ve ekmek fabrikalarındaki fırınlar, elektriğin fazla kullanılmadığı zamanlarda (örneğin gecenin geç saatlerinde) ısıtılarak yüksek sıcaklıkta ısı depolanabilmektedir. Seramikler veya refrakter malzemeler, ergimiş tuzlar, termal depolama yağları ve sıvı haldeki metaller yüksek sıcaklık ısı depolama ortamı olarak kullanılan başlıca

maddelerdir. Oldukça yüksek sıcaklıklarda (1000°C'in üzerinde) ısı depolanması, depolama ortamı olarak kullanılan malzemelerde, aşınma ve termal şok gibi sorunlara neden olabilmektedir (Esen, 1999; Golibersuch, 1976).

3.3.3.1. Tuz Hidratlar

Tuz hidratlar ısı depolama yoğunluğu bakımından ısı enerji deposu (IED) maddelerinin önemli bir sınıfını oluştururlar ve $M.nH_2O$ formülü ile karakterize edilirler (M inorganik bir bileşiği gösterir).

Tuz hidratlar, katılaştığında bir kristalin matriks ile birleşen tuz ve sudan oluşur. Saf halde veya ötektik karışım şeklinde kullanılabilirler. Çizelge 3.2'de IED sistemleri için çalışılan bazı tuz hidratlar ve özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. IED sisteminde FDM olarak kullanılabilen bazı tuz hidratların erime sıcaklıkları ve erime gizli ısıları.

FDM	Erime sıcaklığı (°C)	Yoğunluğu (kg/m ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Gizli ısı (kJ/kg)	Erime davranışı
KF. 4H ₂ O	18	-	-	330	Düzenli
K ₂ HO ₄ . 4H ₂ O	18.5	1447 ^{20C} 1455 ^{18C}	-	231	-
CaCl ₂ . 6H ₂ O	29-30	1562 ^{32C} 1802 ^{24C}	0.561 ^{61.2C} 1.008 ^{23C}	170-192	Düzensiz
LiNO ₃ . 3H ₂ O	30	-	-	189-296	Düzenli
Na ₂ SO ₄ . 10H ₂ O	32	1485 ^{24C}	0.544	251-254	Düzensiz
Na ₂ CO ₃ . 10H ₂ O	33-36	1442	-	247	Düzensiz
Na ₂ HPO ₄ . 12H ₂ O	35	1522	-	25-281	Düzensiz

Tuz hidratlar üç farklı şekilde erime karakteri gösterirler.

- 1) Düzenli erime: susuz tuz erime sıcaklığında hidrat suyunda tamamen çözündüğü zaman meydana gelir.
- 2) Düzensiz erime: susuz tuz erime sıcaklığında hidrat suyunda tamamen çözünmediği zaman meydana gelir.
- 3) Yarı düzenli erime: katı ve sıvı faz, faz değişimi süresince dengede olduğu zaman meydana gelir.

Tuz hidratların FDM olarak kullanılmasındaki sahip olduğu avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.3'te verilmiştir (Goldstein, 1978).

Çizelge 3.3. Tuz hidratların avantaj ve dezavantajları.

FDM	Avantaj	Dezavantaj
Tuz Hidratlar M. nH ₂ O	<ul style="list-style-type: none"> • Düşük maliyette ve kolay bulunabilirler. • Yüksek ısı iletkenliğe sahiptirler. • Yüksek erime gizli ısısına sahiptirler. • Faz değişimi sırasında küçük hacim değişikliği gösterirler. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faz ayrımı gösterirler. • Aşırı soğuma davranışı gösterirler. • Kooziftirler

3.3.3.2. Parafinler

Parafinlerin pek çoğu alkanlar olup, metandan pentana kadar olan alkanlar oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında gazdırlar. C₅H₁₂ ile C₁₅H₃₂ arasındaki bileşikler sıvıdır. 15'den fazla karbon ihtiva eden bileşikler ise oda sıcaklığında mumsu (wax) katılıktadırlar. Bu maddelerin erime noktaları ve füzyon ısınan molekül ağırlığının artmasıyla artar. Böylece, karbon sayısı 14-40 arasında olan bileşikleri seçerek erime noktası 6-80°C, olan ve ısı depolama için kullanılabilen parafin hidrokarbonları seçmek mümkündür.

FDM olarak parafinler de bulunan bazı cazip özellikler şunlardır: Bol ve ucuz olarak bulunabilirler, korozif ve oksitleyici değildirler, geniş bir erime noktası sıcaklık aralığında bulunabilirler, yüksek füzyon gizli ısısına sahiptirler. Faz geçişleri süratlidir, kimyasal olarak karalıdır, yoğunluktan düşüktür, önemsiz miktarda aşırı soğuma gösterirler, düşük miktarda aşırı doygunluğa sahiptirler, kendi kendilerine çekirdekleşebilirler ve erime noktasındaki hacim değişimleri düşüktür. Parafinler, tuz hidratlarla karşılaştırıldıklarında hacimsel enerji depolama yoğunlukları daha düşüktür. Bu maddeler erime anında faz ayrılma problemi göstermezler ve çekirdekleştiriciye gerek duymayacak kadar kendi kendine çekirdekleşme özelliği gösterirler. Parafinler, tuz hidratlar ve diğer faz değiştiren maddelerle karşılaştırıldıklarında faz geçişi için en iyi kinetik özelliği gösterirler. Bununla birlikte bu maddelerin ısıl iletkenlikleri zayıftır ve ısı değiştirci tasarımında özel bir dikkat gerektirirler. Ayrıca, ekonomik olarak sadece teknik saflıkta parafinler kullanılır ve bunların erime noktası aralığı geniştir. Eğer sıcaklık aralığı waxın erime noktasının çok üstünde ise, o zaman madde FDM olarak kullanılma özelliğini kaybeder. Parafinler plastik kaplarda depolanma için uygun olmadıklarından metalik depolama kapları kullanılmalıdır (Davidson, 1980).

3.3.3.3. Yağ Asitleri

Hayvansal ve bitkisel yağlar erime aralıklarına sahip organik maddelerdir. Yemelik soya, ay çiçek ve zeytinyağı gibi ürünler büyük oranda palmitik, stearik, oleik ve linoleik asit içerirler. Yağ asitleri parafin ve inorganik tuz hidratlarına alternatif olarak kullanılan bio materyallerdir. Son yıllarda yağ asitleri birçok araştırmada FDM olarak kullanılmıştır. Genellikle soğutma uygulamalarında kullanılan yağ asitleri içinde henüz ticari öneme sahip olanı yoktur. Yağ asitlerinin çoğu oda sıcaklığı veya altında erime aralığına sahiptir ve bir birleriyle kolaylıkla karışabilirler. Ayrıca ucuz, termal özellikleri iyi ve güvenilirlerdir. Halen bu konudaki çalışmalar daha çok yağ asitlerinin FDM olarak kullanılabilirliği ve karışımlarıyla bu karışımların ötektik noktalarının belirlenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Çizelge 3.4'de bazı yağ asidi örnekleri görülmektedir.

Çizelge 3.4. Bazı parafin olmayan organik maddelerin özellikleri.

Yağ asidi	Ergime sıcaklığı (°C)	Ergime ısısı (kj/kg)	Yoğunluğu (kg/dm ³)	Özgül ısı (kj/kgK)	Isı iletimi (W/mK)
Kaprik asit	31.5	153	0,886	-	0,149
Laurik asit	42-44	178	0,870	1,6	0,147
Palmitik asit	63	187	0,847	-	0,165
Stearik asit	70	203	0,941	2,35	0,172

Yağ asitleri yenilenebilir ergime ve donma özelliklerine ve çok az veya hiç aşırı soğuma olmadan donma özelliğine sahip olduklarından FDM olarak uygun özelliklere sahiptirler. En önemli olumsuzlukları maliyetlerinin parafinlerden 2-2,5 kez daha yüksek olmasıdır (Mazman, 2006).

3.4. ELEKTRİK ENERJİNİN DEPOLANMASI

Elektrik enerjisi gereksinimindeki sürekli değişimlerden dolayı, kesintisiz enerji sağlanabilmesi için, ortalama gereksinimin yaklaşık iki katı kadarlık bir üretim kapasitesine sahip olmak gerekmektedir. Elektrik enerjisi üreten kuruluşlar, elektrik enerjisi tüketimindeki ani artışları karşılamak için çoğu zaman özel imkânlarını (düşük verimli eski tip buhar üreteçleri, gaz türbinleri ve dizel motorları gibi) devreye sokmaktadırlar. Eski tip sistemlerinin düşük verimli olması; küçük kapasiteli sistemlerin enerji üretim maliyetinin çok yüksek olması; üretilen elektrik enerjisinin maliyetini arttırmaktadır. Ayrıca, sistemlerin devreye sokulmaları ile çıkarılmaları sırasında ve ısı makinalarının kısmi yükte çalıştırılması süresince de ekonomik kayıplar söz konusudur (Gardner, 1975; Henry, 1985). Enerji depolama sistemlerinin kurulması bu olumsuzlukları ortadan kaldırmaktadır. Gereksinimin düşük olduğu süre içerisinde üretilen elektrik enerjisi fazlası depolanarak, gereksinimin yüksek olduğu zamanlarda, küçük kayıplarla kullanılmak üzere dağıtım sistemine gönderilebilir. Elektriğin depolanması amacıyla kullanılan enerji depolama sistemleri şunlardır:

- 1) Yüksek bir seviyeye su pompalayarak potansiyel enerji üretmek.
- 2) Sıkıştırılmış gaz depolamak.
- 3) Volanlar (Flywheels) ve
- 4) Piller.

3.5. GÜNEŞ PANELLERİNİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

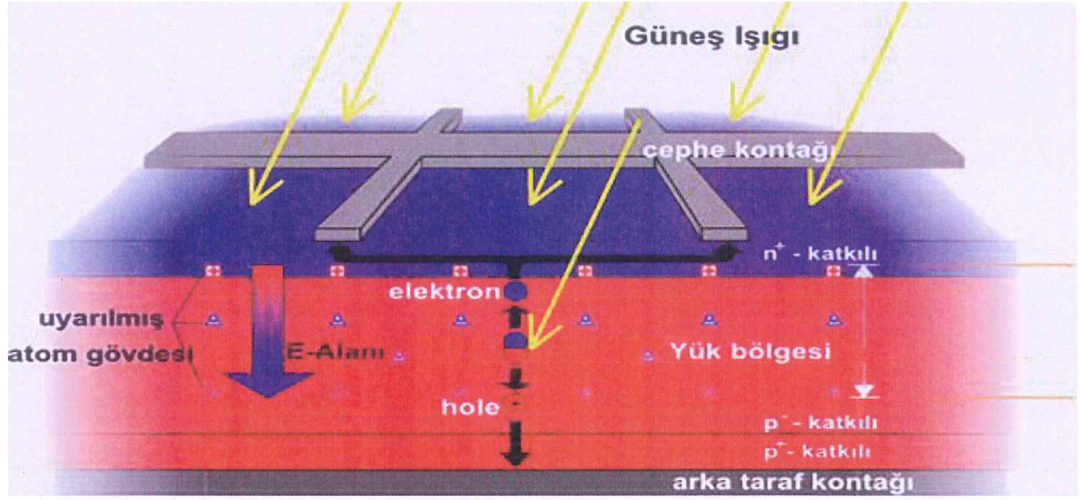
Güneş panelleri güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken aygıtlardır. Elektronik sanayinde önemli bir madde olan silisyum, güneş panelinin de en yaygın hammaddesidir. Güneş panelleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları 100 cm^2 civarında, kalınlıkları özellikle en yaygın olan silisyum güneş panellerinde $0.2\text{--}0.4 \text{ mm}$ arasındadır. Güneş panelleri örneği Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Güneş panelleri (Bilgiustam, 2009).

Güneş panelleri fotovoltajik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Panellerin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Deniz seviyesinde, parlak bulutsuz bir günde ışınım şiddeti maksimum 1000 W/m^2 civarındadır. Yöreyle bağılı olarak 1 m^2 ’ye düşen güneş enerjisi miktarı yılda $800\text{--}2600 \text{ kWh}$ arasında değişir. Bu enerji, güneş panelinin yapısına bağılı olarak $\%5\text{--}\%70$ arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş paneli

birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş paneli modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Gerekirse bu modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak, fotovoltaik bir dizi oluşturabilir. Şekil 3.2. güneş panellerinin yapısı görülmektedir.

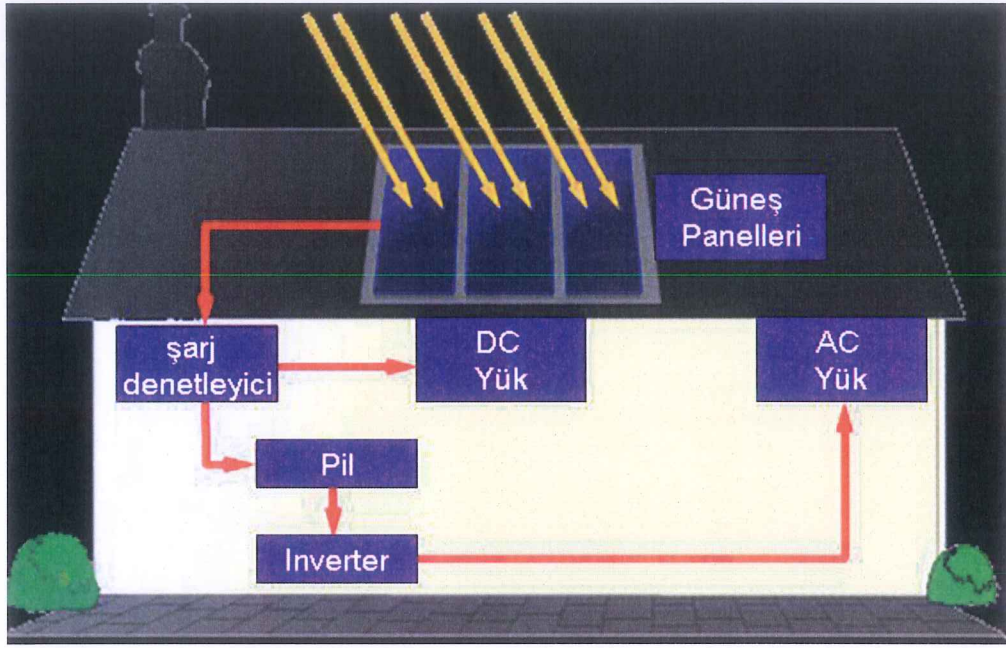


Şekil 3.2. Güneş panellerinin yapısı (Boz, 2011).

3.5.2. Güneş Panellerinden Faydalanılan Sistemler

3.5.2.1. Bağımsız Panel Sistemler

Bağımsız PV sistemler şebeke bağlantısının kurulmasının zor olduğu yerlerde çalışmak üzere oluşturulmuş sistemlerdir. Bu sistemde üretilen elektrik enerjisi anında kullanılır ya da güneşin yetersiz olduğu durumlarda kullanılmak üzere aküde depolanır. Bu yüzden şebeke bağlantılı sistemlere göre daha pahalıdırlar. Bağımsız PV sistemler genellikle kırsal kesim elektrik ihtiyacını karşılamada kullanılmaktadırlar (Alaçakır, 2001). Şekil 3.3'te şebekeye bağımsız panel sistem örneği görülmektedir.

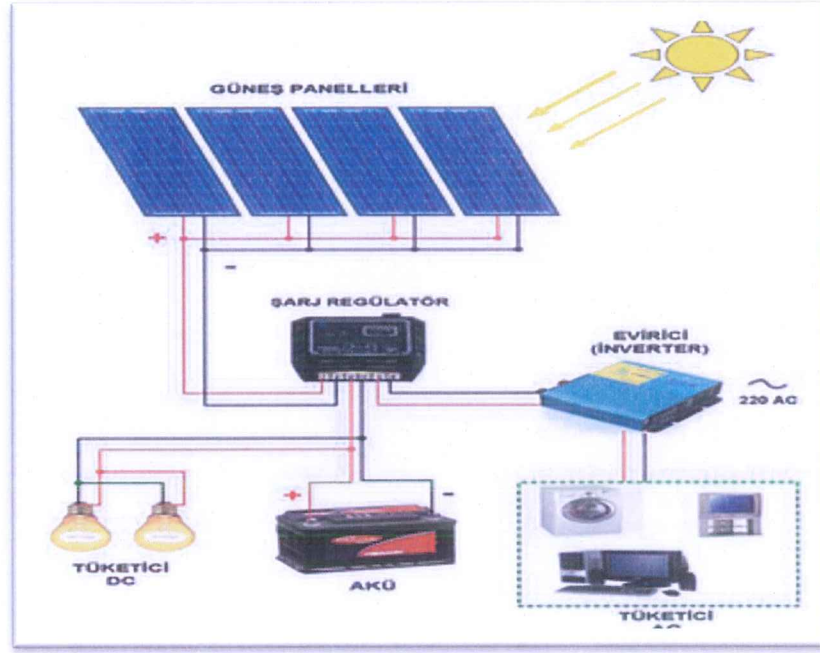


Şekil 3.3. Şebekeye bağımsız panel sistemler (Bilgiustam, 2009).

Güneş panelleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş paneli modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş paneli sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmalrı da mümkündür. Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş paneli modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş paneli modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş panellerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş panellerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur.

Aşağıda şebekeden bağımsız bir güneş paneli enerji sisteminin şeması verilmektedir (Sizmann, 1987).

Şekil 3.4’de bağımsız panel uygulama örneği görülmektedir. Burada üretilen elektrik şebekeye verilmemektedir.



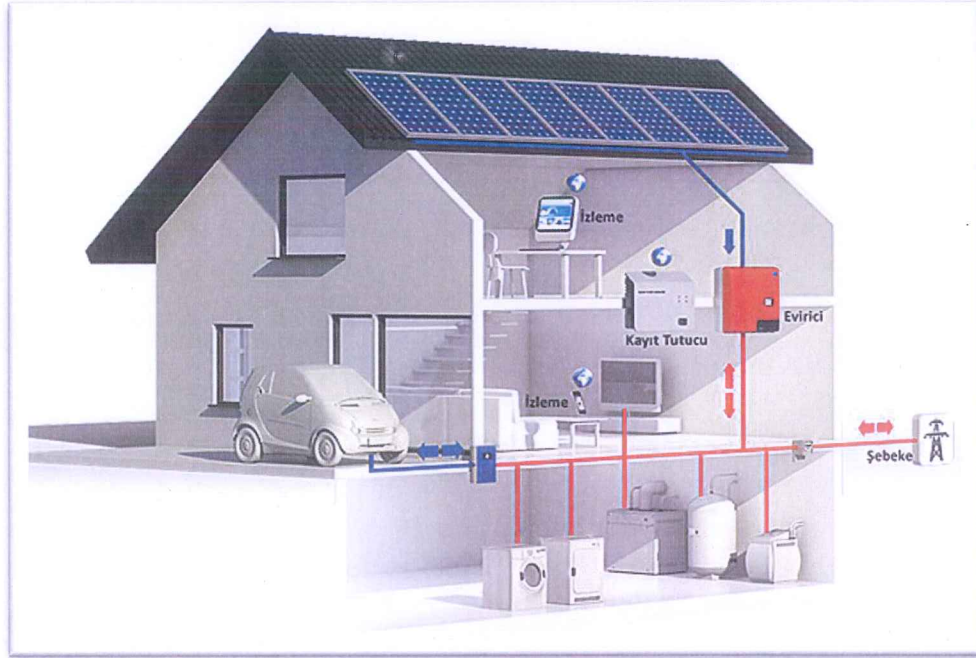
Şekil 3.4. Bağımsız panel uygulaması (Temiz Enerji Yayınları, 2015).

Fotovoltaik hücreler genel olarak yarı iletken malzemeden üretilmektedirler. Güneş ışığı bu maddeler tarafından absorbe edildiği zaman, elektronlar bağlı oldukları atomlardan ayrılarak madde içinde serbest dolaşmaya başlarlar ve böylece bir elektrik akımı oluşur. Bir güneş hücresinin performansı verimi ile ölçülmektedir. Aldığı enerjinin yüzde kaçını kullanılabilir elektriğe dönüştürdüğü, verimi belirleyen en önemli parametredir. Verim, panel üzerine düşen fotonların enerjisinin, oluşan gerilime oranı olarak tanımlanabilir. Pil, belli dalga boylarındaki ışığı elektriğe dönüştürülebilir. Çünkü belli bir enerjinin üzerindeki dalga boyuna karşılık gelen ışık demeti (özellikle uv) gerekli enerjiyi sağlayabilir. Geriye kalanın büyük miktarı, hücreyi oluşturan madde tarafından ya emilmekte ya da yansıtılmaktadır. Dolayısıyla sıradan bir güneş hücresinin verimi günümüzde %15 civarındadır. Yani;

aldığı enerjinin yaklaşık altıda birini elektriğe çevirebilmektedir. Laboratuvar koşullarında ise % 40' lar civarında verim elde edilmektedir (Boz, 2011).

3.5.2.2. Şebeke Bağlantılı PV Sistemler

Elektrik şebekesine bağlı sistemler; evlere ait sistemler ve ticari/endüstriyel sistemler olarak ikiye ayrılır. Evlerde kullanılan fotovoltaik sistemler, 2-5 kW güç aralığındadır. Güneş paneli modülleri, sistemi elektrik şebekesi ile senkronize den bir DC/AC çeviriciye bağlanır. Gündüz üretim olduğunda, çeviriciden gelen güç yükleri beslemekte, fazla enerji ise şebekeye verilmektedir. Araya yerleştirilen bir ölçüm aleti de şebekeye verilen veya şebekeden alınan enerjiyi ölçmektedir. Eğer şebeke elektriğinin kalitesi düşerse veya kesilirse çevirici emniyet için kendini kapatmalıdır. Şebeke bağlantılı sistemler yaygın olarak aküsüz düşünülmemekte, sadece gündüz güneş enerjisinin olduğu sürede kullanılmaktadır (Alaçakır, 2001). Şebeke bağlantılı sistem örneği Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5. Şebeke bağlantılı sistem (Temiz Enerji Yayınları, 2015).

Şebeke bağlantılı sistemlerin kullanıldığı bir başka alan Ticari-Endüstriyel sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu fotovoltaik sistemler 10-100 kW güç aralığında

çalışmaktadır. PV panellerin çıkışı yüksek performansa sahip 3 fazlı çeviriciye bağlanmakta ve çevirici şebeke ile senkronize çalışmaktadır (Alaçakır, 2001).

3.6. GÜNEŞ PANELİ ÇEŞİTLERİ

Belli başlı güneş paneli türleri aşağıda anlatılmaktadır.

3.6.1. Kristal Silisyum Güneş Panelleri

Silisyum yarı iletken özellikleri tipik olarak gösteren ve güneş paneli yapımında en çok kullanılan bir maddedir ve uzun yıllarda bu konumunu koruyacak gibi görünmektedir. Fotovoltaik özellikleri daha üstün olan başka maddeler de olmakla birlikte, silisyum hem teknolojisinin üstünlüğü nedeniyle hem de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir (Karamanav, 2007).

3.6.2. Monokristal Silisyum Güneş Paneller

İlk ticari güneş pillerinde, CHROZALSKİ kristal çekme tekniği ile büyütülen tek kristal yapı silisyum kullanılmıştır. Fotovoltaik endüstride hala en çok kullanılan yöntem olan bu teknikte öncelikle ark fırınlarında silisyum oksit çeşitli kimyasal ve termal reaksiyonlardan geçirilerek saf silisyum elde edilir. Daha sonra silisyum eriyiğe çekirdek denen tek kristal yapı silisyum parçası batırılır. Bu çekirdek eriyikten çıkarıldığında soğuyan silisyum eriyik, çekirdeğin üzerine külçe şeklinde yığılmış olur. Bu silisyum külçe olur olmaz bir keski ile dilimlere ayrılır. Bu, iki aşamada olur. Önce külçe dikdörtgen bloklar şeklinde kesilir. Daha sonra bu bloklar dilimlere ayrılarak pil şeklinde işlenir. Verimleri %15 civarındadır. Yapım sırasında malzeme kaybının çok fazla olması bu panellerin dezavantajıdır. Yaklaşık olarak 0.5 mm kalınlığında üretilirler. Renkleri koyu mavi olup yaklaşık olarak ağırlığı 10 g dan azdır. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi panelin üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar yerleştirilmiştir (piramit, konik). Kaplamanın altında p-n eklemi bulunmaktadır (Ismael, 2012).



Şekil 3.6. Monokristal silisyum güneş panelleri (Karamanav, 2007).

3.6.3. Semikristal (Yarıkristal) Silisyum Güneş Panelleri

Bu tip panelleri, sıvı silisyumun soğutulmasıyla elde edilen kümelenmiş küçük silisyum kristallerinden oluşur. Bu panellerinin verimleri %14 civarında olup, kümelenmiş silisyum taneciklerinin sınırlarındaki kayıplara bağlıdır (Karamanav, 2007).

3.6.4. Ribbon Silisyum Güneş Panelleri

Bu panelleri, malzeme kaybının azaltılması amacıyla levha halinde silisyum tabakalarından yapılırlar. Çeşitli yöntemlerle (Efg, Dendritik ağ) elde edilen bu paneller, halen geliştirme aşamasındadır. Verimleri laboratuvar şartlarında %13-14 arasındadır (Demir, 2002).

3.6.5. Polikristal Silisyum Güneş Panelleri

Kalite ve verimlilik açısından polikristal güneş panelleri 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. Polikristalin güneş panellerinin verimi laboratuvar şartlarında %10 olarak ölçülmüştür. Polikristal demek materyalin mono kristaline göre tek

kristalinden oluşmaması, yani materyalin tam olarak homojen olmaması demektir (Karamanav, 2007).

3.6.6. İnce Film Güneş Panelleri

Yarıiletken malzemenin elektriksel optiksel ve yapısal özellikleri her damar içerisinde fotovoltaiik uygulamalar için çok uygun olsa da, damarlar arası sınırlar da yer alan mikro düzeydeki yapısal kusurlar, çok kristalli malzemede karşılaşılan en önemli problemdir. Optiksel özellikleri uygun seçilen bir yarı iletken malzemede milimetrenin binde biri kadar bir kalınlık içerisinde güneş ışınlarının tümüne yakın bir kısmı soğurulabilir. Dolayısı ile ince film fotovoltaiik malzemede kalınlık, silisyum üzerinde yapılan panelleri göre çok daha azdır. Ayrıca ince film yarıiletken istenen bir biçimde çok farklı malzeme üzerinde ve geniş yüzeylere kaplanabilir, oysa silisyum panelleri büyütülen kristalin boyutları ile sınırlıdır. Fotovoltaiik modül yapımında ince filmlerin kullanımı daha kolay ve uygundur. Bu ve buna benzer üstünlükler sırlamaya devam edilebilir, ancak uzunca bir süredir araştırma geliştirme çalışmalarının konusu olan ince film güneş panelleri, öngörülen üretim hedeflerinin gerisinde kalmıştır. Bu gün laboratuvar verimlilikleri %18'lere kadar çıkmış olan ince film güneş panellerinin uzun dönem kararlılıklarının arzulanan düzeylere ulaşmamış olmasıdır. Anca, ulaşılan düzeyde bile ince film güneş panelleri için Siemens, BP solar, Conan gibi firmalar pilot üretim denemelerini sürdürmektedirler. (Temiz Enerji Yayınları, 2015) Şekil 3.7'de ince film güneş panel örneği görülmektedir.



Şekil 3.7. İnce film güneş panel (Temiz Enerji Yayınları, 2015).

3.6.7. Amorf Silisyum Güneş Panelleri

Hidrojenlenmiş amorf silisyum (a-Si:H) ilk olarak, 1955 yılında Sterling tarafından incelenmiş; fakat hidrojenin konumu ile ilgilenmemiştir. a-Si:H, amorf silisyumdan (a-Si 'dan) farklı bir çok özelliğe sahiptir. Foto iletkenlik, a-Si filmlerde ihmal edilebilir düzeyde olduğu halde, a-Si:H filmlerde büyük bir foto iletkenlik olayı gözlenmektedir. Güneş paneli için de önemli faktör foto iletkenliktir ve 1977 yılında, Wronski ve Carlson, ilk defa a-Si:H güneş paneli yapmış ve verimi %5.5 bulmuştur.

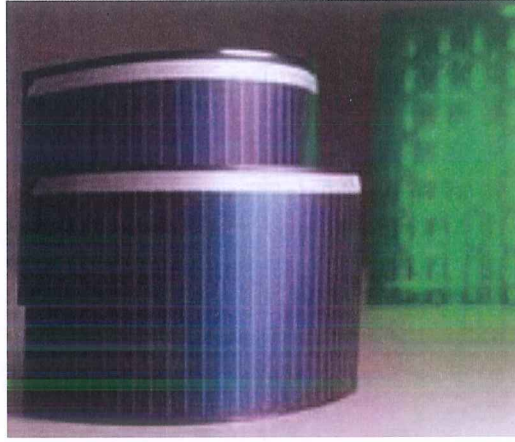
Amorf silisyum elde edilmesi için kullanılan en yaygın yöntem ışık boşalım tekniğidir (glow-discharge). Bu yöntemde silan (SiH_4) gazı ve hidrojen karışımı, bir çift elektrot arasından geçirilerek; elektrotların yükleri, yüksek frekanslarda değiştirilir. Bunun sonucu olarak, SiH_4 parçalanarak kararsız SiH_3 radikalini oluşturur. İzleyen aşamada, kararsız SiH_3 elektrotlardan birine giderek toplanır ve kararlı hale gelir. Ardından hidrojen, yüzeyden ayrılarak geride silisyumu bırakır. Böylece yüzey silisyumla kaplanmış olur. Elektrot üzerinde kütlesi artan silisyum gazının içerisine bor ya da fosfor katılarak, n-tipi ya da p-tipi yapılabilir.

Kristal yapı özelliği göstermeyen bu amorf silisyum panelleri de elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 düzeyindedir. Günümüzde saat, hesap makinesi ve oyuncak gibi küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadırlar. Amorf silisyum güneş panellerinin, binalara entegre yarı saydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir (Varınca, 2006).

3.6.8. Bakır İndiyum Diselenoid Güneş Panelleri

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı guruptan elementlerin üçüncünün ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşik yarı-iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde uyuyacak biçimde ayarlanabilir. Bakır indiyum ve selenyum dan yapılan üçlü bileşik yarı-iletkenle başlayan bu grup (CIS) güneş panelleri olarak anılır. CdTe güneş panellerine en yakın rakip olarak gözükmektedir.

Bu gün CIS ince film güneş panellerinin çoğunluğu içerisinde Ga elementinin katılması ile daha yüksek verimlilikler elde edilir. Ancak yarı-iletkeni oluşturan element sayısı artıkça gereken teknoloji ve malzemenin özelliklerinin denetimi de bir o kadar karmaşık duruma gelmektedir. Laboratuardaki küçük alan panellerin verimliliği %18'e kadar ulaşırken, 900 cm² yüzey alana sahip modüllerin verimlilikleri ancak %15 dolayındadır (Karamanav, 2007). Şekil 3.8'de bakır indiyum diselenoid güneş panelli örneği görülmektedir.



Şekil 3.8. Bakır indiyum diselenoid güneş paneller (Temiz Enerji Yayınları, 2015).

3.6.9. Diğer Yapılar

Bakır indiyum diselenoid (CuInSe) maddesinden yapılan ve verimleri %13 civarında olan paneller halen gelişme aşamasındadır ve daha kararlı çıkışa sahip olduğu için absorban özelliği yüksek, verimleri de %12 civarındadır. Bu güne kadar elde edilen en yüksek verime (%24) galyum yapılan paneller ulaşmıştır. Bu madde ile çeşitli türde paneller elde edilebilmekle birlikte, pahalı olduğu için panellerin, güneş spektrumunun daha büyük bir bölümünden yararlanabilmesi amacı ile denenen bir yöntem ise, birden fazla ince film yapısının üst üste konmasıyla elde edilen çok eklemlili film yapılarıdır. Bunların dışında, güneş ışınımının yüksek verimli panellerin üzerine optik olarak yoğunlaştıran sistemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu tür sistemlerde güneşin hareketini izleyen düzeneklerin yanı sıra, güneş ışığını kıran (mercek) ya da yansıtan (ayna) eleman kullanılır (Karamanav, 2007).

3.7. GÜNEŞ PANELİ KULLANIM ALANLARI

Şebeke bağlantılı güneş paneli sistemleri yüksek güçte-santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir. Güneş paneli sistemlerinin şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır (<http://www.eurosolar.org.trsunumlarEIE2002.pdf>).

- 1) Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- 2) Petrol boru hatlarının katodik koruması
- 3) Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan koruması
- 4) Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- 5) Bina içi ya da dışı aydınlatma
- 6) Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- 7) Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompası
- 8) Orman gözetleme kuleleri
- 9) Deniz fenerleri
- 10) İlkyardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- 11) Deprem ve hava gözlem istasyonları
- 12) İlaç ve aşı soğutma

BÖLÜM 4

GÜNEŞ PANELİ VERİMLİLİKLERİ

4.1. GÜNEŞ PİLİ GÜÇ VERİMLİLİKLERİ

Fotovoltaik güneş panellerinin verimliliklerinin özetlendiği çizelgelerin geçerlilik süreleri, sürekli gelişiminden dolayı oldukça kısadır (Oktik 2001). Ancak karşılaştırmalı bir kaynak olması amacıyla bugüne kadar yapılmış bazı yüksek verimli güneş panellerinin verimleri Çizelge 4.1’de verilmiştir (Karamanav, 2007).

Çizelge 4.1. Güneş pillerinde rapor edilmiş en yüksek verimlilikler.

Fotovoltaik Pilin Cinsi	Alan (cm ²)	Verimlilik (%)	Üretilen Birim
Tek Kristalli Silisyum	4,00	24	UNSW, Sydney Avustralya
Çok kristalli Silisyum	21,2	17,4	ISE, Freiburg, Almanya
Amorf Silisyum	1	14,7	United Solar
Cu/In, Ga)Se ₂	0,4	17,7	NREL, USA
CdTe/CdS	-	15,8	USA
GaAS Tek kristal	1	23,9	K.Univ, Nijmegen Hollanda

4.2. GÜNEŞ PANELLERİNİN VERİMLİLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

4.2.1. Yüzey Parametresi Etkisi

Güneş paneli üzerine gelen ışınların bir kısmı, yarı iletken içine girmeden üst yüzey tarafından yansıtılır. Güneş panelinin üst yüzeyine gelen ışınları yansıtma miktarı,

yapıldığı materyale göre değişir. Güneş panellerinde anti yansıtıcı kaplama kullanılması ile yansıma kayıpları azaltılmaya çalışılmıştır.

4.2.2. Spektral Etki

Yarı iletken üzerine gelen monokromatik ışık, elektron hol çiftlerinin oluşumuna sebep olmaktadır. Elektron hol çiftlerinin yaratılma hızının, yarı iletken yüzeyinden içine doğru değişir.

Yarı iletken üzerine gelen bu ışınımın hemen soğururken kısa dalga boylu ışınımın için kuantum verimliliği görünür dalga boylarında en yüksek değere ulaşır ve kızılötesi bölgelerde düşer (Demirci, 1996).

4.2.3. Foto Açısıl Etki

Yarı iletken malzemedeki yapılmış olan güneş paneline gelen fotonlar, yüzeye çarpınca ışığın bir kısmı yüzey tarafından yansıtılırken, geriye kalan diğer kısmı yarı iletken tarafından soğurur veya malzemedeki geçer (Demirci, 1996).

Işık panel yüzeyinin normali ile bir açı yaparak geldiğinde, bir kısmı yüzey tarafından yansıtılır. Yansıtma katsayısı, ortamların kırıcılık indislerine ve yok olma katsayısına bağlıdır. Fotonların yarı iletken güneş paneli tarafından yansıtılmasından sonra ışığın şiddeti zayıflayarak geçer.

4.2.4. Sıcaklığın Etkisi

Güneş panellerinin çalışma sıcaklığı, çeşitli kullanım alanlarına göre geniş bir aralıkta değişim gösterir. Bu yüzden sıcaklığın güneş panelinin verimine etkisinin iyi bilinmesi gerekir. Güneş panelinin kısa devre akımı sıcaklığa pek bağlı değildir. Sıcaklığın artmasıyla, kısa devre akımı az bir artma eğilimi gösterir. Bunun nedeni, sıcaklık artmasıyla yasak bant aralığının azalması ve bunun sonucunda ışınım soğurulmasında çoğalmanın meydana gelmesidir. Diğer güneş paneli parametreleri olan açık devre voltajı ve fill faktörü sıcaklık artışıyla azalır (Engin, 1995).

Sıcaklıktaki değişim, daha çok açık devre voltajını etkilediği için güneş pilinin çıkış gücü ve verimi sıcaklık arttıkça azalır (Demirci, 1996).

Türkiye’de uzun yılların ortalamasıyla elde edilen sonuçlara göre panel verimlilikleri ortalama %2,68’lik verim kaybı gerçekleşmektedir. Burada çevre sıcaklık ortalamalarının panel verimlilikleri için en uygun olduğu bölgenin Doğu Anadolu olduğu açıkça görülmektedir. Akdeniz bölgesinde güneşlenme ve sıcaklık değerlerine bakılarak güneş panelleri için en uygun bölge olması düşünülürken sıcaklık kayıpları bakımından en yüksek ikinci bölge olduğu görülmektedir (Keçel, 2008).

4.2.5. Güneş Panelinin İç Seri Direncinden İleri Gelen Kayıplar

Güneş panellerindeki seri dirençten kaynaklanan verim kayıpları, aygıt boyunca akımı toplamak için p- tipi ve n- tipi bölgelerin üzerine kaplanan metal kontaklardan kaynaklanan kayıplardır. Özellikle ışığın düştüğü yüzey üzerinde, kontak yüzey alanı küçük tutulmalıdır. Bu durumda oluşan akım için yol uzunluğu ve buna bağlı olarak güneş panelinin seri direnci artar. Bundan başka, bir güneş panelinin karakterizasyonu sırasında akım ölçmek için kullanılan bağlantı kabloları veya iletkenler, güneş paneli için seri direnç oluştururlar (Tercan, 2000). Seri direnç, farklı tabakalardan geçen akımdan kaynaklanan bir dağılım olduğu kabul edilmektedir. İç seri direncinden dolayı akım gerilim karakteristik eğrisinde sapma meydana gelir. Seri dirençten ileri gelen kayıplar panel teknolojisinin gelişmesiyle giderilebilir. şekilde bir fotovoltaik panelin veriminin seri dirençle değişimi görülmektedir (Demirtaş, 2008).

4.2.6. Fotovoltaik Panelin Kalınlığı

Fotovoltaik panelin kalınlığı küçüldükçe geçirilmiş ışınlardan dolayı kayıp artar. Verimi azalır. Yaygın olarak kullanılan silisyum fotovoltaik panellerin kalınlığı 0,2-0,4 mm arasındadır.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOD

5.1. SİSTEM TASARIMI

Bu bölümde parafinli güneş panelinin yapılışı, güneş panellerinin yerleştirileceği çerçevelerin hazırlanması, güneş panelinin yoğunlaştırıcısının tasarımı 3 aşamada yapılmıştır.

Sistem tasarım evreleri verildiği gibi takip edilmiştir:

- 1) Parafinli güneş panelinin yapılışı,
- 2) Güneş panelin çerçevelerinin hazırlanması,
- 3) Güneş paneli yoğunlaştırıcısının tasarımı.

5.1.1. Parafinli Güneş Panelinin Yapılışı

Sistemde yer alan güneş panelinin ağırlığı ölçülmüştür. Güneş panelinin kütlesi 1440 g olarak ölçülmüştür. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi blok halinde gelen parafinden kullanılacak kadar parça kesilmiştir.



Şekil 5.1. Parafin wax.

Kesilen parafin Şekil 5.2’de görüldüğü gibi terazide ağırlığı ölçülmüştür. Parafin eritme kabına yerleştirilmiştir.



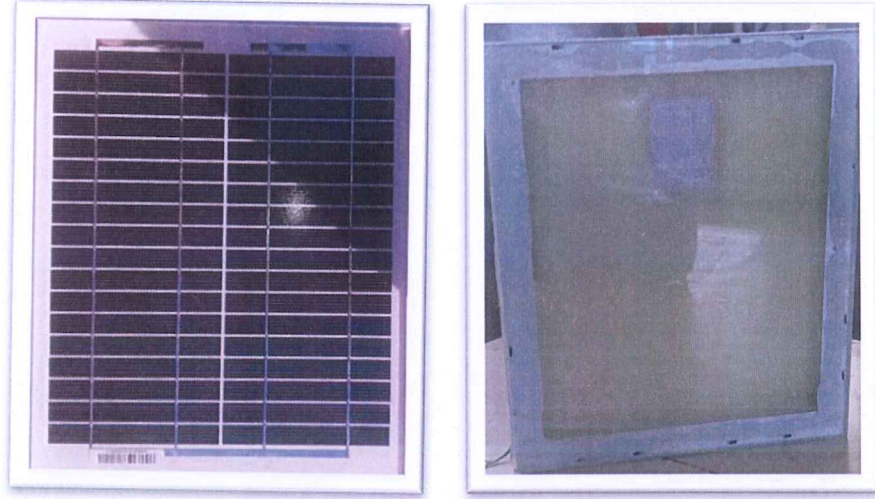
Şekil 5.2. Parafin waxın tartılması.

Şekil 5.3’te görüldüğü gibi parafin eritme işlemini en doğru şekilde benmari usulü yapılmıştır. Yani eritme kabını içinde su bulunan başka bir kabın içine oturtarak, ocak ya da benzeri bir ısı kaynağının üstüne yerleştirmek suretiyle eritme gerçekleştirilmiştir. 60-70°C arası sıcaklıklarda parafin erimeye başlamıştır. Su sıcaklığının daha fazla artmamasına ve kaptaki suyun bitmemesine dikkat edilmiştir.



Şekil 5.3. Parafin waxın eritilmesi .

Sistemdeki güneş panelinin arkasına parafin doldurulduktan sonra tekrar tartıyla tartılmıştır. Parafinli güneş panelinin ağırlığı 2720 gram gelmiştir. Güneş panelinin içine 1280 gram parafin ile doldurulmuştur. Parafin waxlı güneş paneli ve parafinsiz güneş panelinin yerleştirmek için çerçeveler tasarlanmıştır. Şekil 5.4’de parafin waxlı güneş paneli örneği görülmektedir.



Şekil 5.4. Parafin waxlı güneş paneli.

Parafin hücrelerden ve dış ortamdan ısı çekerek faz değiştirir. Parafin ısıyı gizli ısı olarak depolar. 50 °C’de parafin tamamen sıvı hale geçer ve bu durum dış hava sıcaklığının panel içi sıcaklığından düşük olmasına kadar devam eder. Dış hava sıcaklığı $T_{dış}$, panel içi sıcaklığı $T_{iç}$ olarak ele alırsak;

$T_{dış} < T_{iç}$ olduğu durumda güneş panelinin arkasındaki parafin tekrar faz değiştirmeye başlar ve tamamen sıvı olana kadar bu değişim devam eder.

Parafin sıcaklığı dolayısı ile panel arkası sıcaklığı ile dış hava arasındaki fark azaldıkça parafin tekrar katı hale geçer. Panel arkası sıcaklığın dış hava sıcaklığına eşit olduğu durumda parafin katı fazdadır.

5.1.2. Parafinden Kazanılan Isı Hesabı

Sistem çalışma prosedüründe anlatıldığı gibi sistemde ΔT sıcaklık farklarından oluşan parafin waxa aktarılan ısı miktarı aşağıdaki eşitlikle bulunabilir.

$$\dot{Q}_{u,pw} = m_{pw} \cdot c_p \cdot (T_{gh} - T_s) / t \quad (5.1)$$

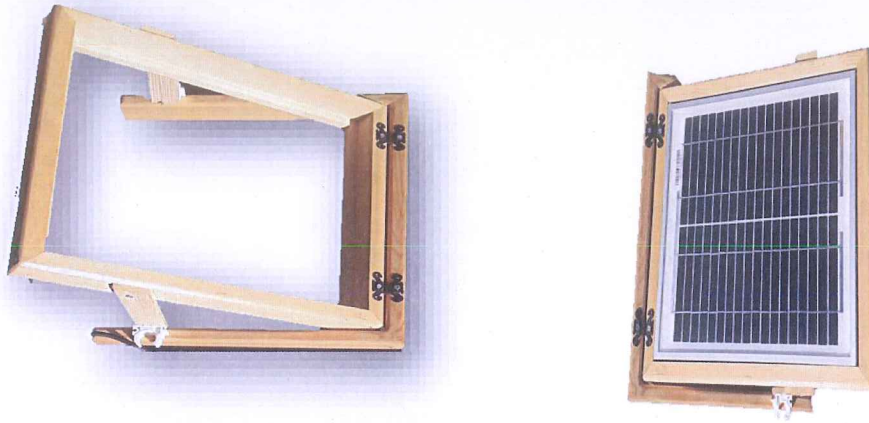
Yukarıdaki denklem parafinden elde edilen faydalı enerjinin Güneş paneline aktardığı enerjinin belirlenmesi için kullanılan eşitliktir. Çizelge 5.1’de parafinin fiziksel özellikleri ve deney ortamı kriterleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Parafinin fiziksel özellikleri ve deney ortamı kriterleri.

Parafinin fiziksel özellikleri	Parafinin deney ortamı kriterleri
Parafin Erime Noktası (T_m), (°C)	47
Yoğunluk (ρ), (kg/m ³)	818 (Katı), 760 (Sıvı)
Gizli Isı (L), (kJ/kg)	266
Termal İletkenlik (k), (W/m K)	0.24 (Katı ve Sıvı)
Öz Isı (c), (kJ/kgK)	2.95 (Katı), 2.51 (Sıvı)
Hava Yoğunluğu (kg/m ³)	1,225
Süre (s)	1800

5.1.3. Güneş Panellerinin Çerçevesinin Hazırlanması

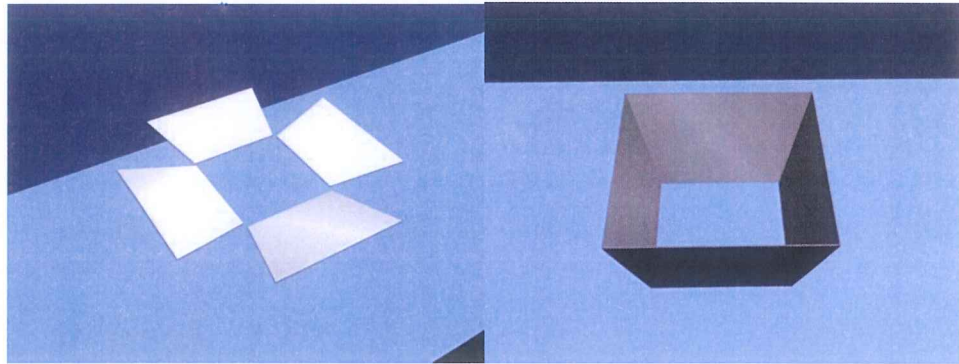
Güneş panelleri yoğunlaştırıcısı ile birlikte kışın 57°C (enlem+15), yazın 27°C (enlem-15) yatayla açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 5.5’te yoğunlaştırıcının üzerine oturduğu çerçeveler görülmektedir.



Şekil 5.5. Güneş panelinin çerçevesi ve çerçeveye yerleştirilmesi.

5.1.4. Yoğunlaştırıcı Tasarımı

Yeryüzüne düşen güneş ışınımını kullanmadaki en büyük problem enerji yoğunluğunun düşük olmasıdır. Normal şartlarda yeryüzüne 1 m^2 'ye 1000 W 'lık bir enerji düşer. Bu miktarı artırmak için düşen enerjiyi birtakım yöntemlerle yoğunlaştırmak gerekir. Yani 1000 W 'lık bir enerjiyi daha küçük bir alana odaklamalıyız. Güneş panellerinin çerçeveleri üzerine monte edilecek şekilde bir yoğunlaştırıcı tasarlanmıştır. Şekil 5.6.'da görüldüğü gibi yoğunlaştırıcı 4 adet MDF'den 70 cm yüksekliğinde, yoğunlaştırıcının üst tarafının uzunluğu $93,5 \text{ cm}$, yoğunlaştırıcının alt tarafının uzunluğu $33,5 \text{ cm}$ olarak kesilmiştir. Parçaların üzerleri alüminyum bant ile kapalanmıştır ve birleştirilmiştir.

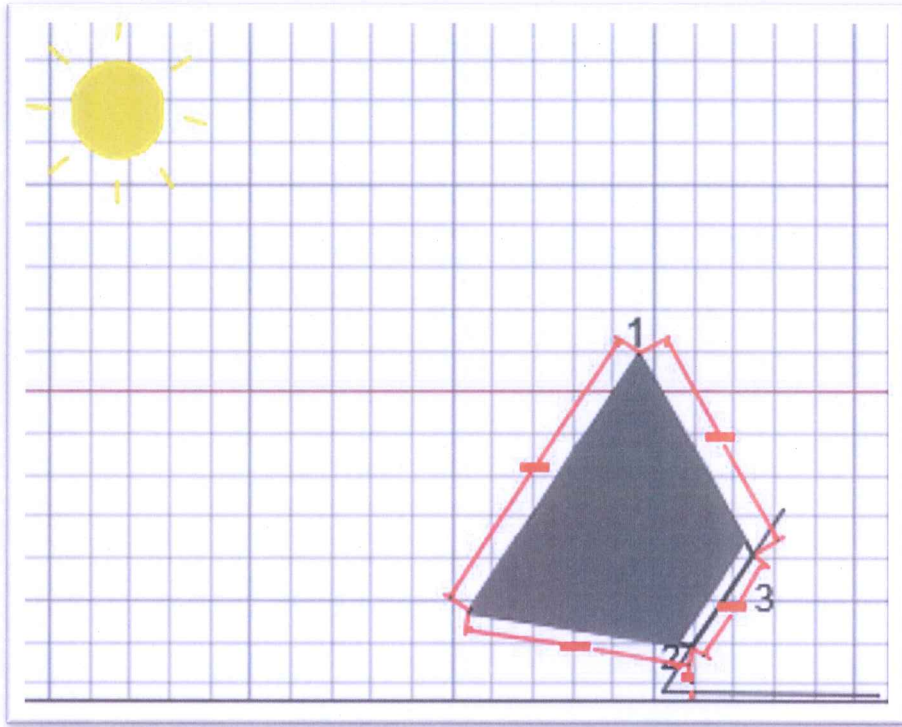


Şekil 5.6. Yoğunlaştırıcı tasarımı.

Yoğunlaştırıcı üst kesit alanı alt kesit alanından daha fazladır. Bunun nedeni üst yüzeyde fazla miktarda ışınım toplayarak bu ışınımı kesit alanı daha düşük olan alt yüzeye iletmektir. Bu temel bir yoğunlaştırıcı çalışma prensibidir. Yoğunlaştırıcı iç yüzeyi ışığı yansıtma amacıyla film ile kaplanmıştır. Yoğunlaştırıcı mekanik olarak elle açı ayarı yapılabilen ahşap bir aksam üzerine yerleştirilmiştir.

- 1) Yoğunlaştırıcı üst güneş ışınım ölçüm noktası
- 2) Yoğunlaştırıcı alt güneş ışınım ölçüm noktası
- 3) Panel sıcaklığı ölçüm noktası

Güneş panelinin arkasına parafin döküldükten sonra Güneş paneli çerçeveye yerleştirilir. Yoğunlaştırıcı tasarımımızı tamandıktan sonra çerçeve yoğunlaştırıcı ile birleştirilir. Parafinsiz olan güneş panelide çerçevesinin üzerine yerleştirildikten sonra tasarısı biten yoğunlaştırıcı ile birleştirilir. Şekil 5.7'de güneş panelinin güneşe göre konumu görülmektedir.



Şekil 5.7. Yoğunlaştırıcının güneşe göre konumu.

5.2. SİSTEM KURULUMU VE İMALATI

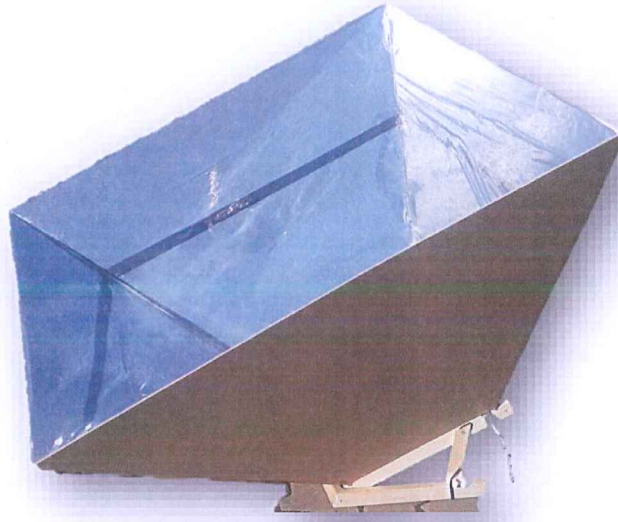
Güneş panelinin arkasındaki parafin ergime gizli ısısından dolayı panelin aşırı ısınmasını engelleyerek, verim düşüşünü minimum seviyelere indirecektir.

Sistem kurulum ve imalat aşamaları aşağıda sıralandığı gibidir:

- 1) Güneş panellinin arkasındaki elektrik kontağı ve kablolar silikonla kaplanmıştır. Çünkü güneş panelinin arkasına dökülen sıcak parafin zarar verebilir. Bu yüzden kablolar önce yapışık film ile sarılmıştır. Daha sonra silikonla kaplanmıştır.
- 2) Güneş panelinin alt kısmına subap monte edilmiştir. Subap monte edilmesinin sebebi erimiş parafin waxın düzenli bir şekilde yayılmasını sağlamak için parafin subapdan dökülmüştür.
- 3) Güneş panelinin arkasına eritilmiş parafin wax dökülmüştür. Bunun için ilk olarak parafin wax kalıp halinde kesilmiştir. Eritilen parafin wax huni içerisinden dökülmüştür. Bu işleme, panel arkası tamamen dolana kadar devam edilmiştir. Güneş panelinin arka kısmına konularak elektrikli ocakta benmari usulü ile eritilmiştir. Daha sonra parafin wax soğuyarak güneş panelinin şeklini aldıktan sonra 5 gün boyunca kurumaya bırakılmıştır. Donan parafin wax üzeri 8 mm cam ile kapatılarak poliüretan mastik yardımıyla sızdırmazlığı sağlanarak birleştirilmiştir.
- 4) Parafin wax dökülen güneş panelinin arkasına poliüretan mastik ile yapıştırılmıştır. Poliüretan mastik camın iyi yapışmasını ve parafini sızdırmadığı için tercih edilir.
- 5) Güneş panellerinin kış mevsiminde 57° yaz mevsiminde de 27° çerçevelere yerleştirilmiştir. Güneş panelleri çerçevelerine yerleştirilmiştir. Bu açı yoğunlaştırıcının açılarını da belirlemiştir.
- 6) Güneş panelinin çerçeveleri üzerine hazırlanan yoğunlaştırıcı monte edilmiştir. Yoğunlaştırıcının açısı istenildiği takdirde değiştirilebilmektedir. Daha sonra alt yoğunlaştırıcı güneş ışınımı ve üst yoğunlaştırıcı güneş ışınımı ölçülerek deneyler yapılmıştır.

5.3. DENEYLERİN YAPILIŞI

Tasarlanan ve imal edilen deneysel sistem güneş panelleri, güneş panelleri çerçeveleri, güneş panelleri yoğunlaştırıcıları, olmak üzere 3 temel bileşenden oluşmuştur. Sistemde güneş ışınımı, yoğunlaştırıcı tarafından güneş paneli yüzeyine gelmektedir. Yoğunlaştırılan güneş ışınımı ile birlikte panel sıcaklığıda artmaktadır. Isınan bu güneş panelleri ısınımları güneş panellinin arkasında bulunan parafin waxa aktarır. Parafin wax ısıyı gizli ısı şeklinde depolayarak faz değişir. Şekil 5.8’de sistemin genel görünüm örneği gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Sistemin genel görünümü.

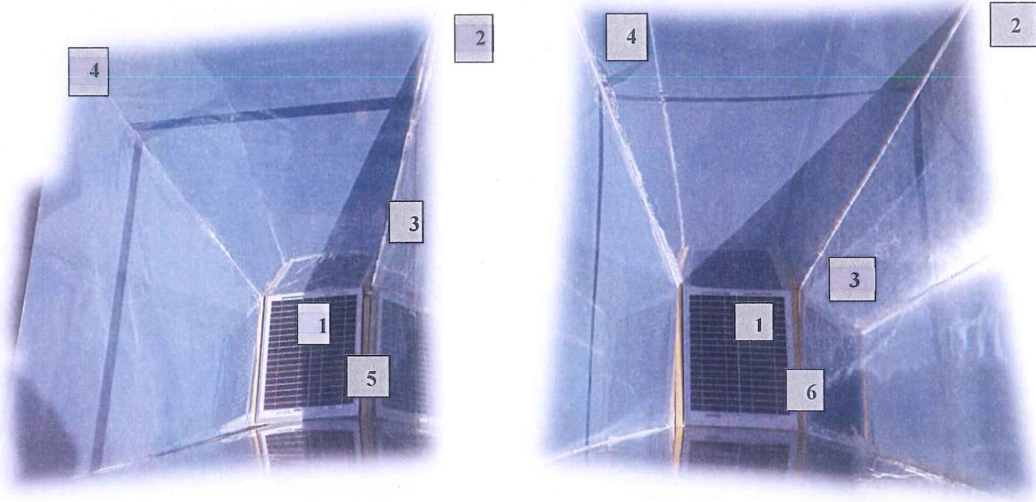
5.4. ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÖLÇÜM ALINAN NOKTALAR

Deney sisteminde ölçüm alınan noktaları Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Ölçüm alınan noktalar ve ölçümde kullanılan cihaz özelliklerinde Çizelge 5.2’de görölmektedir.

- 1) Güneş paneli üstü güneş ışınımı ölçüm noktası
- 2) Yoğunlaştırıcı üstü güneş ışınımı ölçüm noktası
- 3) Yoğunlaştırıcı altı güneş ışınımı ölçüm noktası
- 4) Dış hava sıcaklığı ölçüm noktası
- 5) Soğutmalı panel sıcaklığı ölçüm noktası
- 6) Soğutmasız panel sıcaklığı ölçüm noktası




* 1, 2, 3 numaralı ölçüm noktalarında 'Solar metre' kullanılmıştır.

* 4, 5, 6 numaralı ölçüm noktalarında 'Termokupl' kullanılmıştır.



Şekil 5.9. İmalatı tamamlanan güneş panelleri ve ısı depolama sistemi.

Çizelge 5.2. Ölçüm cihazlarının teknik detayları.

Cihazın özelliği	Cihazın özellikleri	Cihaz resimleri
4 kanallı K tipi SD logger - Termokupl	4 adet AA alkaline batarya ya da 9V adaptör, 0 °C – 50 °C, ± 1 °C	Termokupl 
Kern 3100 PLE 2N – Dijital terazi	Serie, 6 V 1.2 Ah 30 hour (Çalışma süresi), 50 mg – 3100 g, $\pm 0,02$ g	Tartı 
Power Meter - Solarmetre TM-750 TM750	Ölçüm aralığı: 2000 W/m^2 634 Btu/(ft ² .h)	Güneş enerjisi metresi 

5.5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

Parafin kullanılan panel veriminin hesaplamaları aşağıda gösterildiği gibi yapılmıştır.

$$\eta_c = \eta_o [1 - \beta(T_c - 25)] \quad (5.2)$$

Yukarıdaki eşitlikten 80°C hücre sıcaklığı için

$\eta_c = 0,113'$ hücre verimi hesaplanabilir.

η_c = Hücre verimi

η_o = Polikristal hücrelerin laboratuvar şartlarındaki verimi (0,15)

β = Elektriksel verim ısı katsayısı (polikristal için 0,0045/K)

T_c = Hücre sıcaklığı

$$\eta_m = \eta_c \cdot \tau_c \cdot \alpha_c \cdot \delta_c \quad (5.3)$$

Eşitliğinden modül verimi;

$$\eta_m = (0,113).(0,90).(0,95).(0,90)$$

$\eta_m = 0,087'$ olarak modül verimi hesaplanabilir.

η_m = Modül verimi

η_c = Hücre Verimi

τ_c = PV modül camı şeffaflık faktörü (0,9)

α_c = Hücrenin absorbe katsayısı (0,95)

δ_c = Packing Factor (0,9)

Hücrelerin üzerine düşen ışınımına göre ne kadar güç ürettiği hesaplanmıştır. Yoğunlaştırıcı sistemimizin elektriksel kazanç etkisinin belirlenmesi için yoğunlaştırıcı ve yoğunlaştırıcısız ışınım olmak üzere iki farklı ışınım değerine göre kazanç hesaplanmıştır. Sistemdeki elektriksel kazanç aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\dot{E}_i = \eta_m \cdot A_m \cdot I(t) \quad (5.4)$$

$$\dot{E}_i = (0,087) \cdot (0,085) \cdot (2510)$$

$\dot{E}_i = 24,08$ W elektriksel kazanç hesaplanabilir.

\dot{E}_i = Elektriksel Kazanç (W)

η_m = PV Modül verimi

A_m = Hücre toplam yüzey alanı

$I(t)$ = Işınım Miktarı (W/m^2)

Parafinsiz ölçüme göre yapılan hesaplamalar:

$$\eta_c = \eta_o [1 - \beta(T_c - 25)] \quad (5.5)$$

Yukarıdaki eşitlikten $40^\circ C$ hücre sıcaklığı için

$\eta_c = 0,140$ olarak hücre verimi hesaplanabilir.

η_c = Hücre verimi

η_o = Polikristal hücrelerin laboratuvar şartlarındaki verimi (0,15)

β = Elektriksel verim ısı katsayısı (polikristal için $0,0045/K$)

T_c = Hücre sıcaklığı

$$\eta_m = \eta_c \cdot \tau_c \cdot \alpha_c \cdot \delta_c \quad (5.6)$$

$$\eta_m = (0,140) \cdot (0,90) \cdot (0,95) \cdot (0,90)$$

$\eta_m = 0,108$ olarak modül verimi hesaplanabilir.

η_m = Modül verimi

η_c = Hücre Verimi

τ_c = PV modül camı şeffaflık faktörü (0,9)

α_c = Hücrenin absorbe katsayısı (0,95)

δ_c = Packing Factor (0,9)

$$\dot{E}_i = \eta_m \cdot A_m \cdot I(t) \quad (5.7)$$

$$\dot{E}_i = (0,108) \cdot (0,085) \cdot (1550)$$

$\dot{E}_i = 18,43$ W elektriksel kazanç hesaplanır.

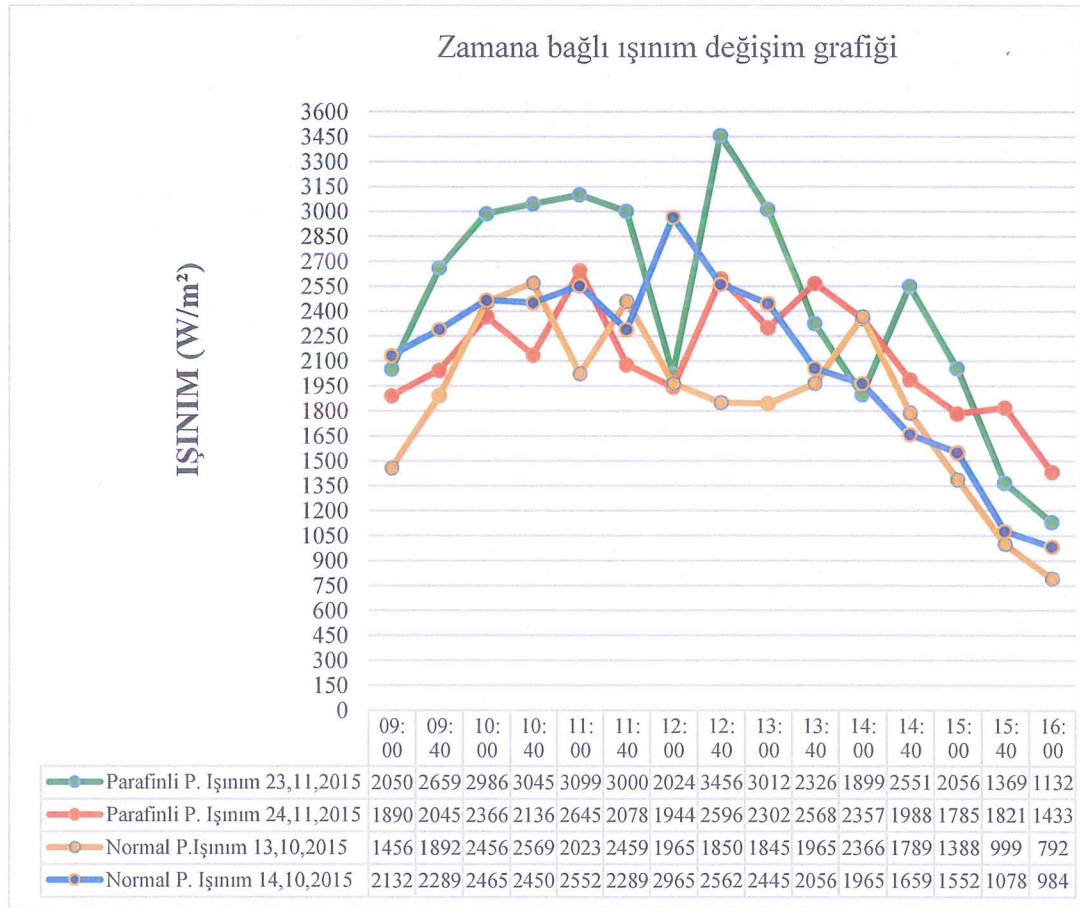
\dot{E}_l = Elektriksel Kazanç (W)

η_m = PV Modül verimi

A_m = Hücre toplam yüzey alanı

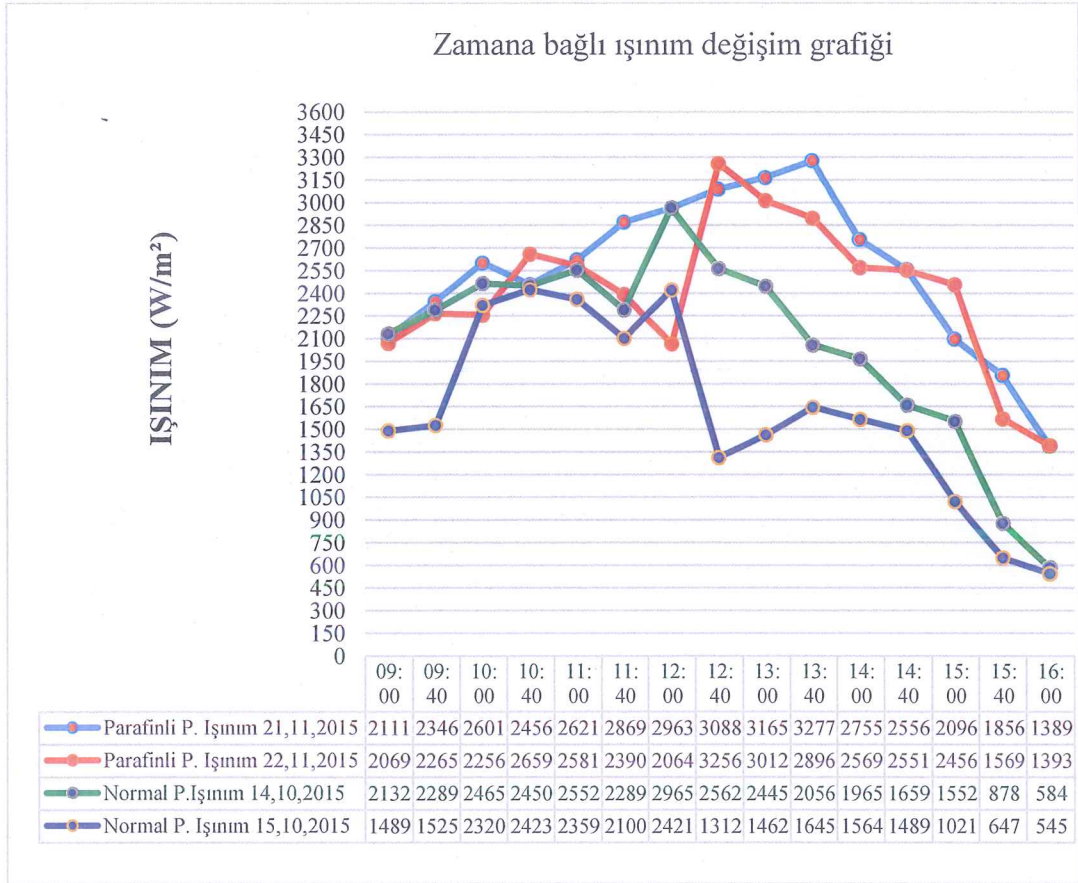
$I(t)$ = Işınım Miktarı (W/m^2)

Şekil 5.10'da görüldüğü gibi parafinli panel sistemin deneyleri sırasında ölçülen güneş ışınım değerleri soğutmasız sisteme göre yüksek çıkmıştır. Parafinli sisteme ait en yüksek güneş ışınımı saat 11:00'da 3099 olarak ölçülmüştür. Soğutmasız sistemde ise saat 12:00'da 2965 olmuştur.



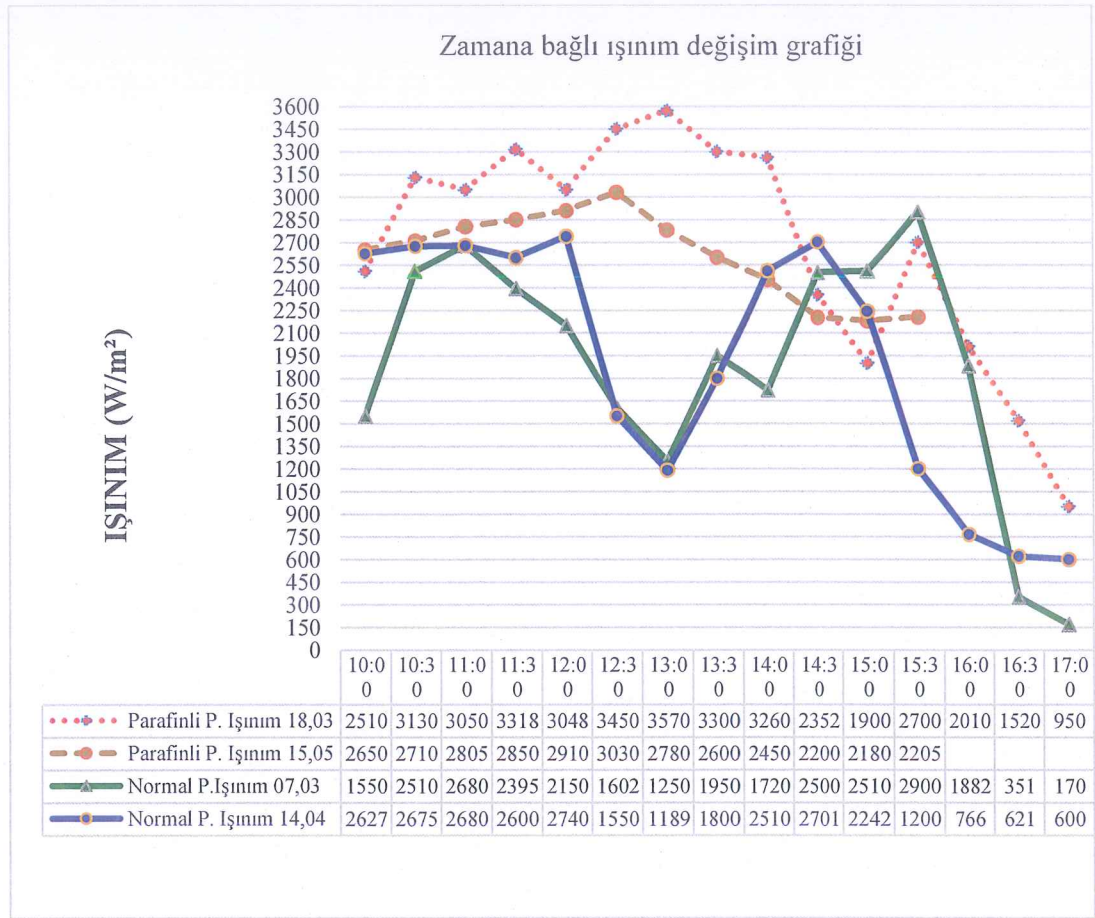
Şekil 5.10. Güneş ışınımının zamana bağlı değişim grafiği.

Şekil 5.11’de görüldüğü gibi parafinli sistemin deneyleri sırasında ölçülen güneş ışınım değerleri soğutmasız panellere göre yüksek çıkmıştır. Parafinli sistem en yüksek güneş ışınımı saat 13:40’da 3277 olarak ölçülmüştür. Soğutmasız sistemde ise saat 12:00’da 2965 olmuştur.



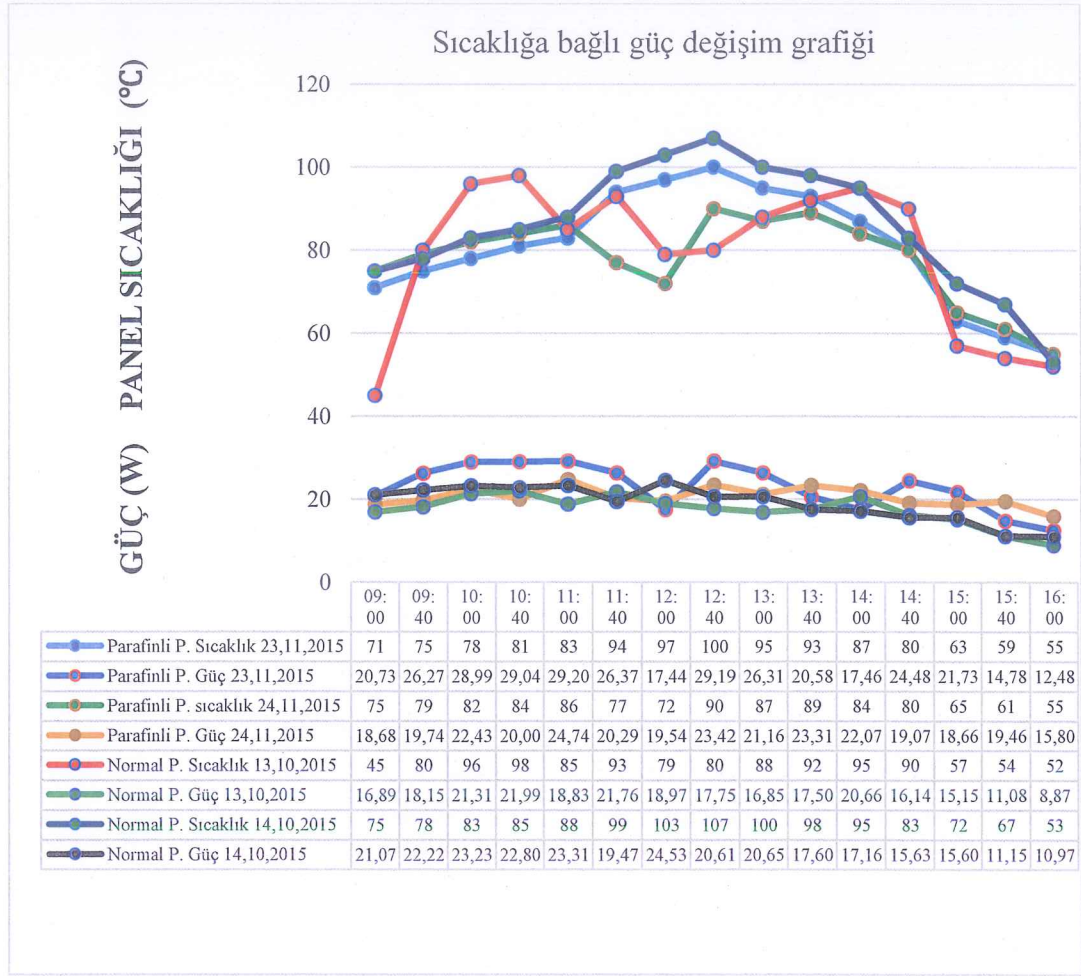
Şekil 5.11. Güneş ışınımının zamana bağlı değişim grafiği.

Şekil 5.12’den de görüleceği üzere parafinli sistemin deneyleri sırasında ölçülen güneş ışınım değerleri soğutmasız sisteme göre yüksek çıkmıştır. Parafinli sistem en yüksek güneş ışınımı saat 13:00’da 3570 olarak ölçülmüştür. Soğutmasız sistemde ise saat 15:30’da 2700 olmuştur.



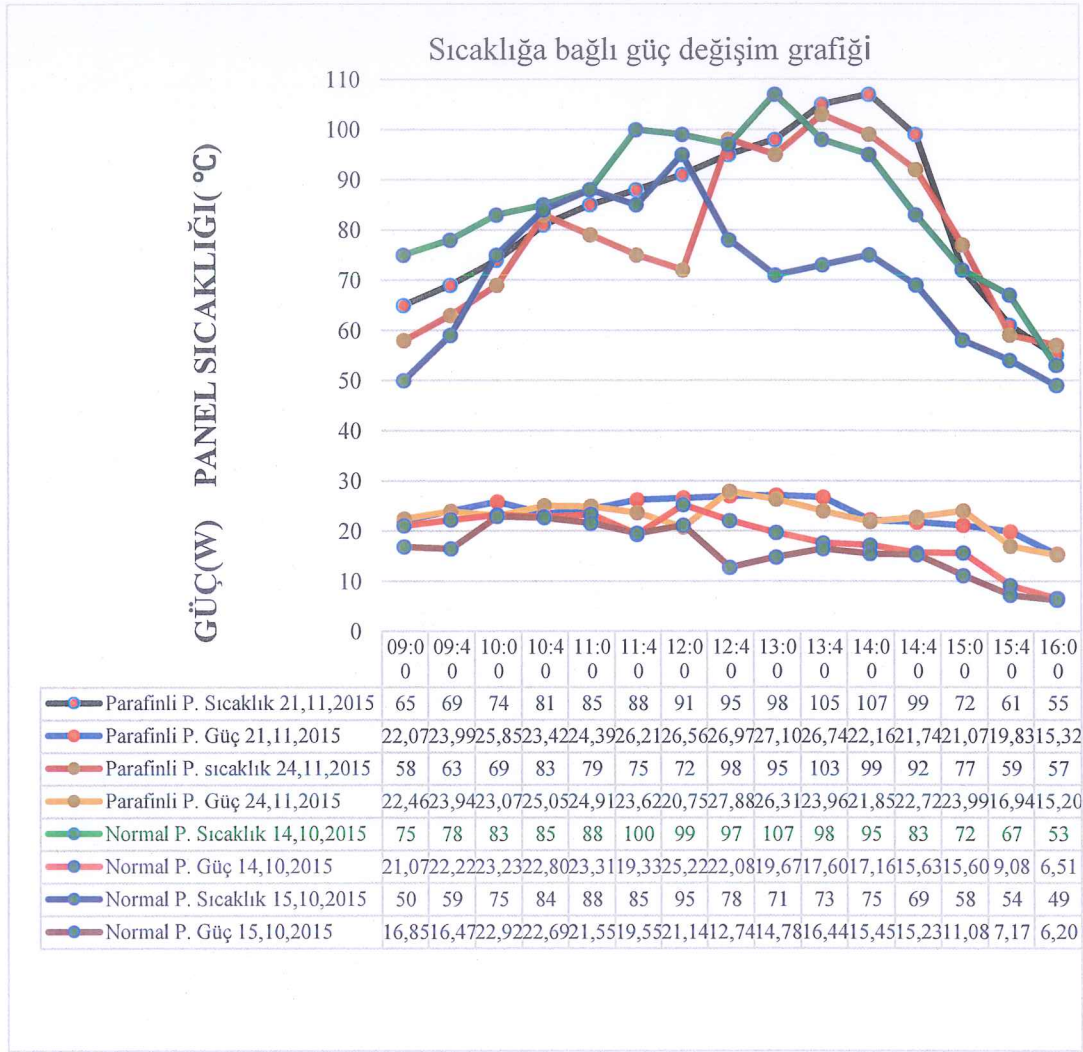
şekil 5.12. Gunes ışınlmının zamana bağlı değişim grafiği.

Panel arkası sıcaklık karşılaştırmasına göre parafin waxlı panel veriminin düşük bir değer çıkmasına karşın üretilen enerji karşılaştırıldığında gunes ışınlmı şekil 5.13’de görüldüğü gibi 3 kat arttırıldığında parafinli sistemde elde edilen g yaklaşık 2 kat artmıştır. 10 W’lık gunes panellerinden yaklaşık 20 W güç elde edilmiştir.



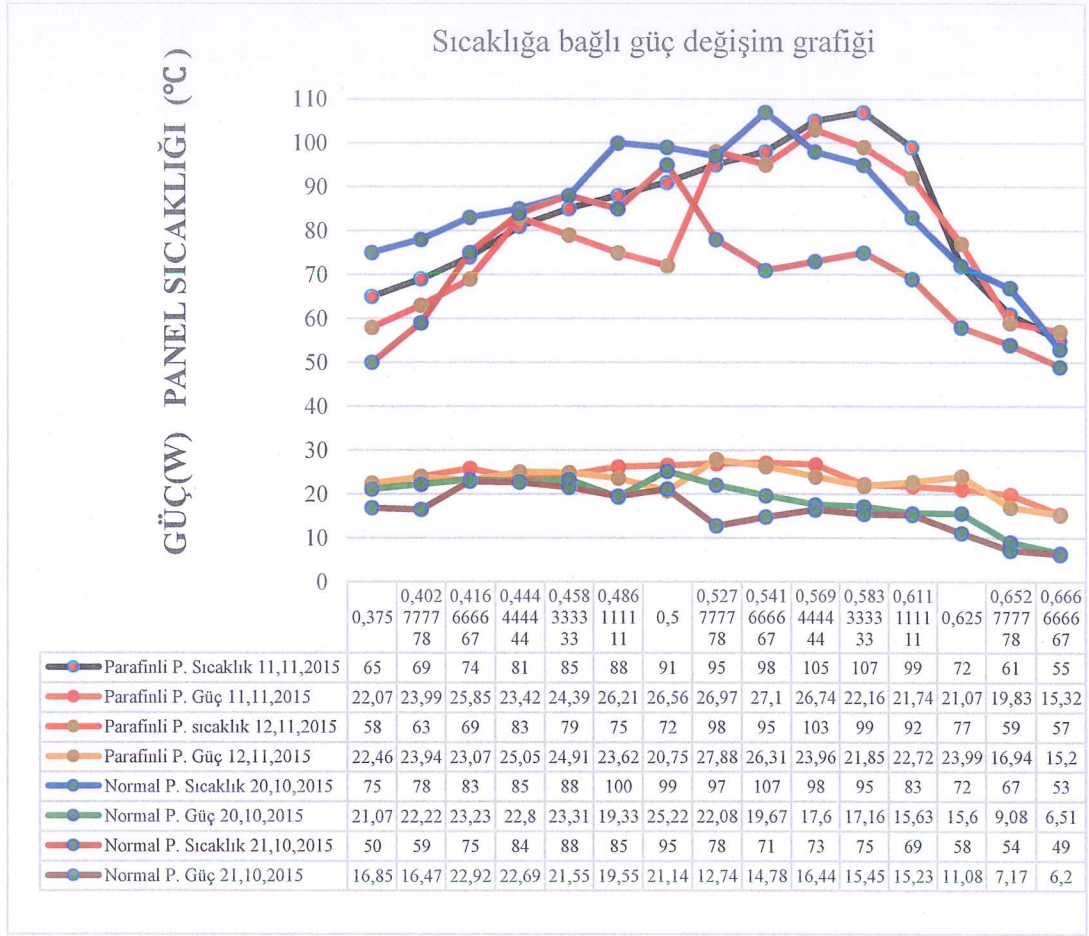
Şekil 5.13. Zamana bağlı güç ve panel sıcaklığının değişim grafiği.

Panel arkası sıcaklık karşılaştırmasına göre parafin waxlı panel veriminin düşük bir değer çıkmasına karşın üretilen enerji karşılaştırıldığında güneş ışınımı Şekil 5.14'de görüldüğü gibi arttırıldığında parafinli sistemde elde edilen güç de artmıştır.



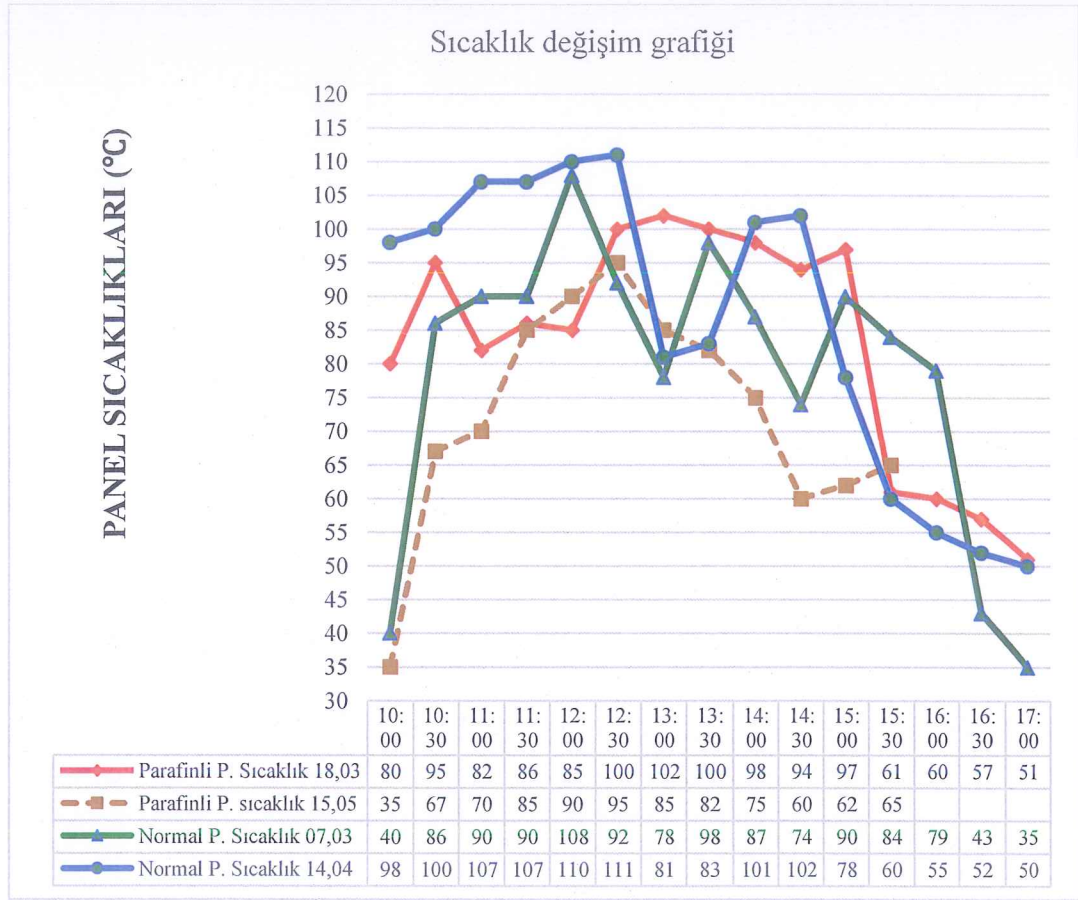
Şekil 5.14. Zamana bağlı elde edilen güç ve panel arkası sıcaklığının değişim grafiği.

Panel arkası sıcaklık karşılaştırmasına göre parafin waxlı panel veriminin düşük bir değer çıkmasına karşın üretilen enerji karşılaştırıldığında güneş ışınımı Şekil 5.15'te görüldüğü gibi arttırıldığında parafinli sistemde elde edilen güç de artmıştır.



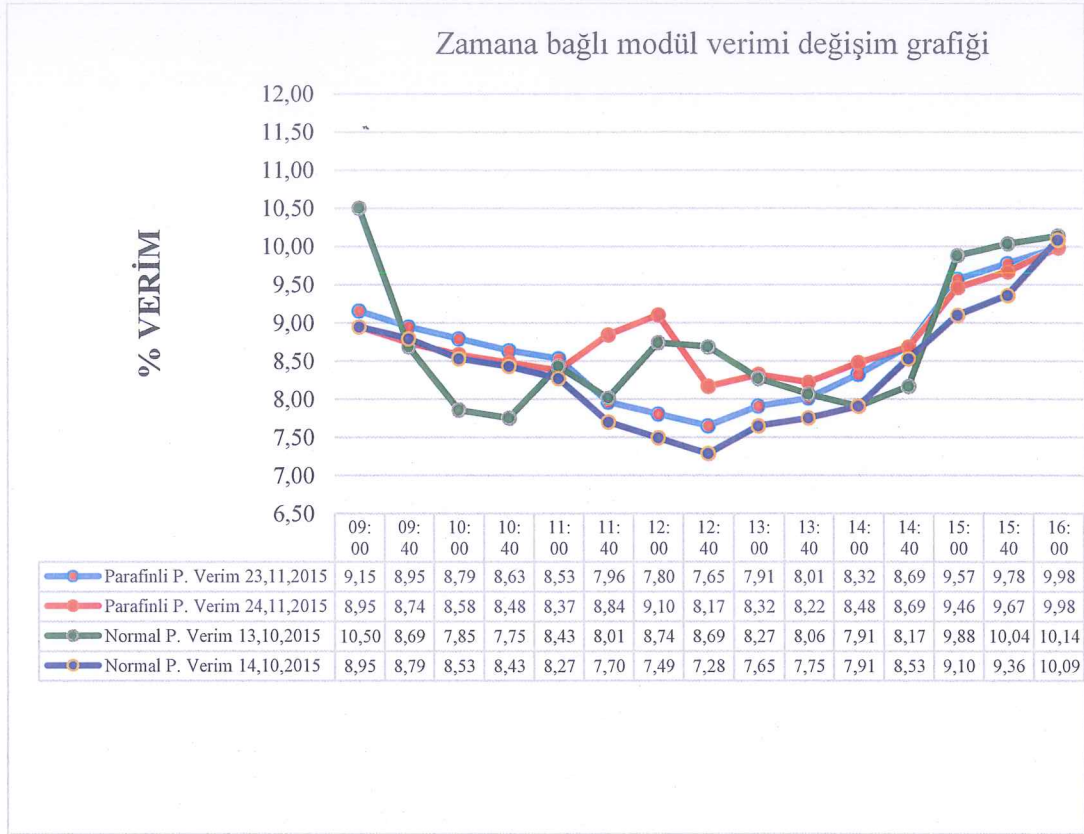
Şekil 5.15. Zaman bağlı güç ve sıcaklık değişim grafiği.

Panel arkası sıcaklık grafiği Şekil 5.16'dan görüleceği üzere parafinli ve soğutmasız panel sıcaklıkları birbirlerine yakın olarak ölçülmüştür. Fakat Şekil 5.12'den parafinli sistem deneyleri sırasında güneş ışınımı değeri yüksek olarak ölçülmüştür.



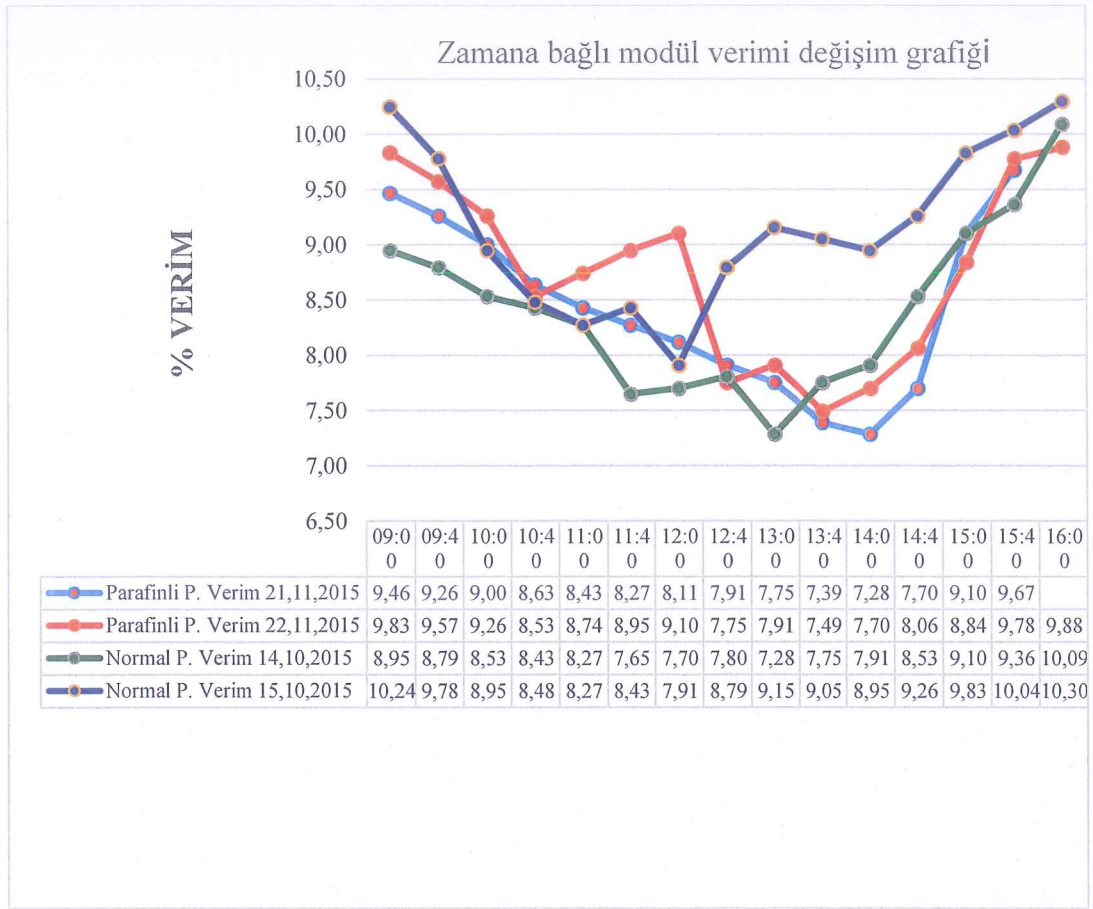
Şekil 5.16. Zamana bağlı panel arkası sıcaklığının değişim grafiği.

Parafinli sisteme ait panel sıcaklıklarına göre eşitlik 5.2-5.3 kullanılarak yapılan verim hesapları şekil 5.17'de gösterilmiştir. Parafinli ve soğutmasız panel verimlerinin yine birbirlerine çok benzer olduğu grafikten görülmektedir. Parafinli sisteme ait güneş ışınımı değerleri (Şekil 5.12) yüksek olmasına karşın, panel arkası sıcaklık ve verim değerleri normal panellere ait verilere benzerlik göstermiştir. Parafinli ve parafinsiz panel modül verim grafiği Şekil 5.17'de gösterilmiştir. Verim parafinli ve soğutmasız sistem %9 ile %10.5 arasında değişmiştir. Yoğunlaştırılmalı sistemde parafin wax kullanımı verimde her hangi bir artışa neden olmamıştır.



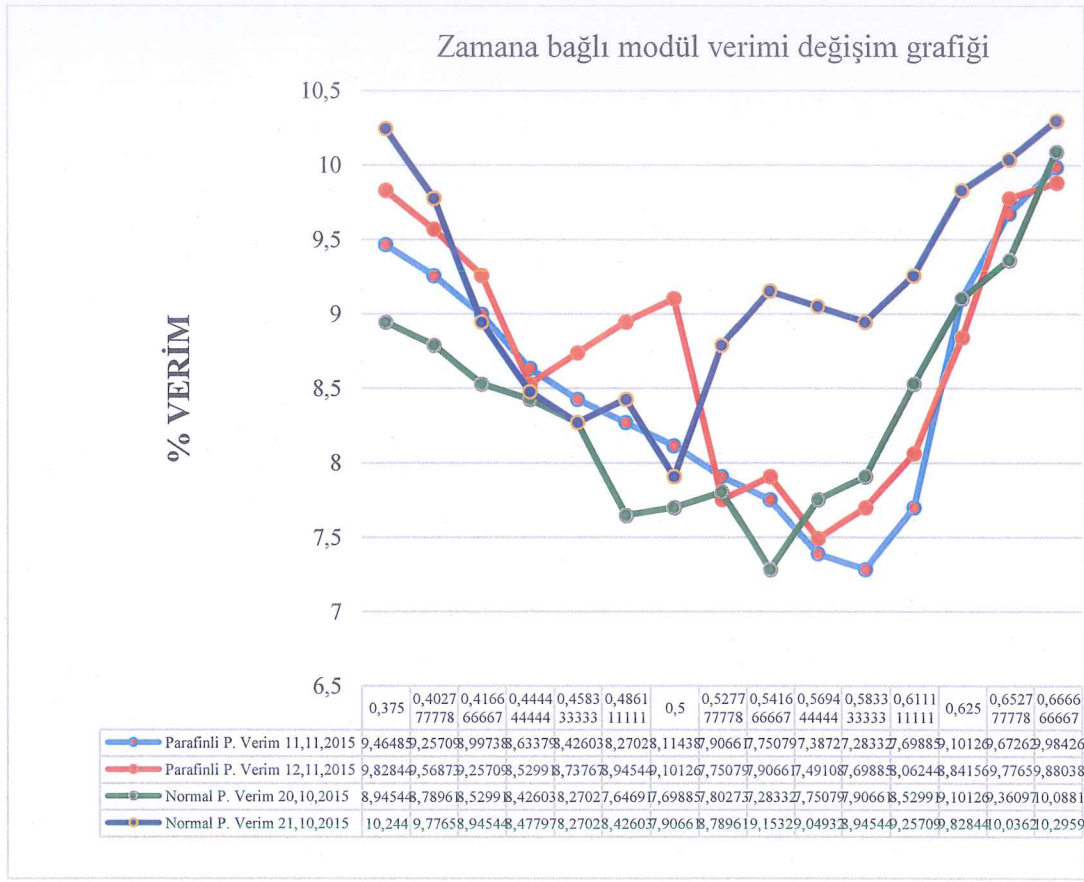
Şekil 5.17. Zamana bağılı modül verim değişim grafiği.

Parafinli ve parafinsiz panel modül verim grafiği Şekil 5.18’de gösterilmiştir. Verim parafinli ve normal sistem %9 ile %10.4 arasında değişmiştir. Diğer günler deney sonuçlarında da yoğunlaştırmalı sistemde parafin wax kullanımı verimde her hangi bir artışa neden olmamıştır.



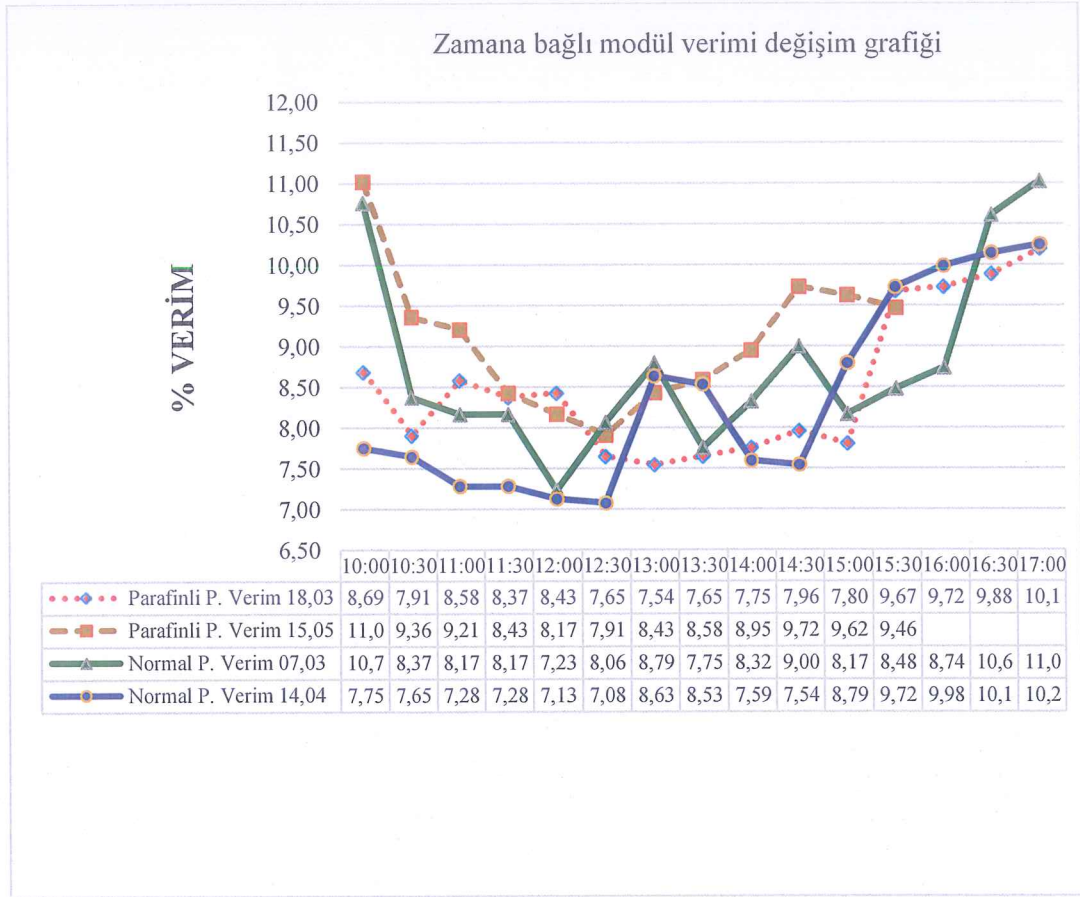
Şekil 5.18. Zamana bağılı modül verim değişim grafiği.

Parafinli ve parafinsiz panel modül verim grafiği Şekil 5.19’da gösterilmiştir. Bu deney sonuçlarında da verim parafinli ve normal sistem %9 ile %10,3 arasında değişmiştir. Yoğunlaştırmalı sistemde parafin wax kullanımı verimde herhangi bir artışa neden olmamıştır.



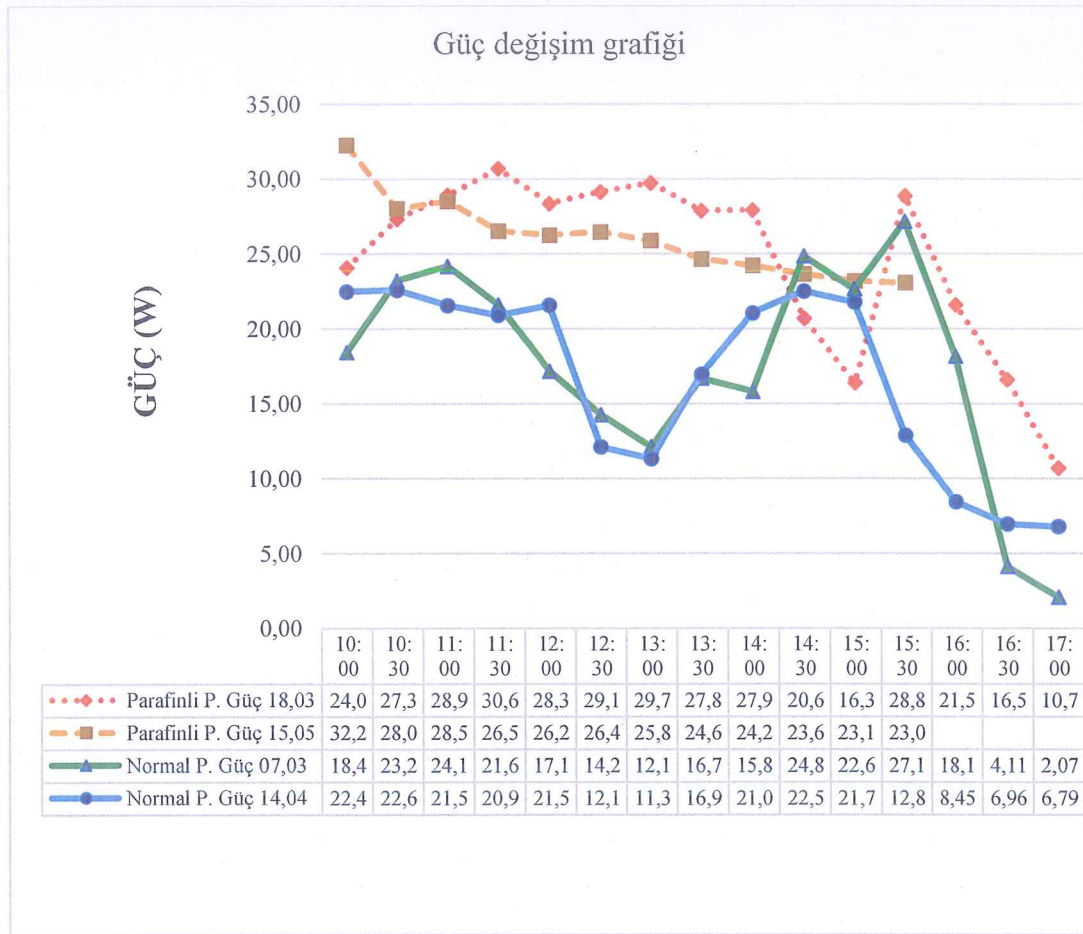
Şekil 5.19. Zamana bağlı modül verim değişim grafiği.

Parafinli ve parafinsiz panel modül verim grafiği Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Diğer günler deney sonuçlarında da verim parafinli ve soğutmasız sistem %7,5 ile %11 arasında değişmiştir. Parafin wax kullanımı bu deney sonuçlarında da verimi normal sisteme göre artırmamıştır.



Şekil 5.20. Parafinli ve parafinsız panel modül verim grafiği.

Bütün deney sonuçlarına göre yapılan verim grafiklerinden yoğunlaştırmalı sistemlerde parafin wax kullanımını sistemin veriminde herhangi bir artış sağlamadığı görülmektedir. Fakat parafinli sistem deneyleri sırasında güneş ışınımı değerleri soğutmasız sistem deneyleri sırasında alınan değerlerden yüksek olarak ölçülmüştür.(Şekil 5.10, 5.11, 5.12) Güneş ışınımı değerleri parafinli sistem için yüksek olarak ölçülmesine karşın, panel arkası sıcaklık değerleri normal sisteme göre benzerlik göstermiştir.(Şekil 5.13, 5.14, 5.15, 5.16) Eşitlik 5.7'den güneş ışınımına bağılı olarak elde edilen elektriksel kazançlar Şekil 5.13, 5.14, 5.15 ve 5.21'de gösterilmiştir. Verim ve sıcaklık değerleri parafinli ve soğutmasız sistem için benzerlik göstermesine karşın, güneş ışınımından dolayı parafinli sistemlerden elde edilen elektriksel kazançlar yüksek olmuştur. Şekil 5.21'den bu durum net olarak görülebilmektedir.



Şekil 5.21. Parafinli ve parafinsiz panel güç değişim grafiği.

5.6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneyler 13.10.2015 tarihiyle 15.05.2016 tarihleri arasında farklı zamanlarda yapılmıştır. 10 W'lık bir güneş paneli arkasına parafinin sıvı olarak enjeksiyonu ile parafinli güneş paneli elde edilmiş ve soğutmasız sistem ile sıcaklık, verim, elektriksel kazanç karşılaştırmaları yapılmıştır. Deneysel tecrübeler ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Ticari güneş panellerinden poly ve mono kristal güneş panellerinde kapsülleme işleminde polikarbon kullanılmaktadır. Polikarbon dayanım sıcaklığı 120°C'dır. Güneş ışınımının 30000 W/m²'nin üzerinde olduğu, yoğunlaşma katsayısının 3 ve üzeri olarak hesaplandığı durumlarda panel sıcaklığı 120°C değerlerini bulabilmektedir.

- 2) Yoğunlaştırılmalı sistemlerde panel sıcaklık artışı olmasına karşın elde edilen elektriksel kazançlar artmaktadır. Bu yüzden verim yoğunlaştırılmalı sistemler için tek başına bir gösterge olmayıp, bu değerin güneş ışınımı ile birlikte kullanılmasının daha doğru olacağı sonucuna varılmıştır.
- 3) Yoğunlaştırılmalı sistemlerin performansı değerlendirilirken yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin güç katsayısı değeri bunun için önerilebilir. Yapılan deney sisteminin güç katsayısı 2 olarak hesaplanmıştır. Bu sırada yoğunlaştırma katsayısı yaklaşık 3 olmuştur.
- 4) Güç katsayısının 2 olması ile 10 W'lık panelden yaklaşık 20 W güç eldesi sağlanmıştır.
- 5) Yoğunlaştırılmalı sistemlerde ergime sıcaklığı daha yüksek olan parafinler tercih edilebilir.
- 6) Yoğunlaştırma katsayısı 3'ün üzerinde olması panel sıcaklığının 120°C'lerin üzerine çıkmasına neden olur. Panel yüzey kaplaması polikarbon levhanın sıcaklıktan zarar görmesine neden olabilir.
- 7) Yoğunlaştırma katsayısı yüksek panellerde ticari olarak elde edilen paneller (poly ya da mono gibi) kullanılmamalıdır. Bu paneller yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeler ile kaplanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Alaçakır, B., "Didim'de kurulan şebeke bağlantılı güneş pili sisteminin tanıtılması ve performansının incelenmesi", *Güneş Günü Sempozyumu*, Kayseri (1999).
- Arda, K., "Güneş enerjisinin depolanması ve ısıl analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri (2006).
- Aydar, E., Üresin, E, Livatyalı, H, ve Günal, A., "Yoğunlaştırılmalı güneş enerjisi teknolojileri", *Solar Future*, 65-70 (2010).
- Boz, O., "Günümüzün alternatif enerji kaynağı: Fotovoltaik güneş pilleri", Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir (2011).
- Büyükalaca, O., ve Yılmaz, T., "Güneş enerjisi ile soğutma teknolojilerine genel bir bakış", *Çukurova Üniversitesi Tesisat Mühendisliği*, Adana (2003).
- Davidson B.J. et al., Large Scale *Electrical Energy Storage*, IEE Review, IEE Proceedings, 127 PartA.No. 6(1980).
- Demir O. *Güneş Pilleri Semineri II*,(2002).
- Demirci, F., "Fotovoltaik güneş pillerinin çalışmasını etkileyen dış faktörlerin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 58 (1996).
- Demirtaş, M., "Güneş ve rüzgar enerjisi kullanarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santrali tasarımı ve uygulaması", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,(2008).
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., "Solar Engineering of Thermal Processes", A. Wiley-*Interscience Publication*, United States Of America, 1,4, (1980).
- Engin, R., "Güneş Pilleri", *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü Yayınları*, 3: 151(1995).
- Esen M., A.D. Güneş Enerjisini Isıl Enerji Olarak Depolama Teknikleri. Bilm Günleri Bildiriler Kitabı (s. 593-652). içinde ELAZIĞ: *Makine Mühendisleri Odası*.(1999).
- Fittipaldi F., Phase Change Heat Storage, in G. Beghi (Ed.), *Energy Storage and Transportation*, D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, Holland(1981).
- Gardner G. C., A. B. Hart, R. Motfit and J.K. VVright, Electrical Energy Storage, Central Electricity Research Laboratories, *UK Report NoRDLR 1906*,(1975).

- Goldstein W., *Thermal Energy Storage* in Industry and Power Stations, in Proc. Int. Conf. on Energy Storage, BHRA Fluid Engineering, Cranfield, UK, (1978).
- Golibersuch D.C., F.P. Bundy, P.G. Kosky and H.B. Wakil Thermal Energy Storage For Utility Applications, in J.B. Berkowitz and H.P. Silverman (Eds.). Proc. of the Symp. on *Energy Storage*, The Electrochemical Soc. Inc. Princeton, NJ, (1976).
- Grozdev M., "Alternatif Enerji Kaynakları: Güneş Enerjisi Ve Güneş Pilleri" Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).
- Henry P. and J.E. Graser, *Energy Storage : Developments in Pumped Storage, Water Power and Dam Construction*, (1985).
- İnternet:SolarEnerjiTürkiye<http://www.solarenergyturkey.com/wpcontent/uploads/2009/03/gunes-pilibilimsel111.jpg> (20.02.2011).
- İnternet:GüneşEnerjisiSunumları<http://www.eurosolar.org.trsunumlarEIE2002.pdf>.
- Ismael A.I.. Monokristal Güneş Pili Sistemlerinde Elektrik Enerji Analizi.Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2012, Şubat).
- Karamanav M..Güneş Enerjisi Ve Güneş Pilleri. Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2007, Mayıs).
- Keçel, S., Yavuzcan, H.G., "Türkiye'deki bölgesel sıcaklık değişimlerinin güneş panellerinin verimliliğine etkisi", *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22 12-20 (2008).
- Kearney, D.W., Parabolic Trough Collector Overview, *National Renewable Energy Laboratory*, Golden CO, 1-39, (2007).
- Köse, S., "Yarı iletken güneş pilleri ve verimlilikleri", Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,78, (1986).
- Logtenburg A.R. and AGEP Van Delft, The Optimal Geometry of a Seasonal Ground Storage, in Proc. Conf. Intl. *Solar Energy Society*, Hamburg, (1987).
- Mazman M.. Gizli Isı Depolaması Ve Uygulamaları, *Kimya Mühendisliği Dergisi*, (2009).
- Oktik, Ş., "Güneş Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri *Ankara Temiz Enerji Vakfı Yayınları*, 40 (2001).
- Oliver D. and S. Andrews *Energy Storage Systems; Past, Present and Future Applications*, Maclean Hunter Limited, UK,(1989).
- Ota, "Thermal Storage", Application of Solar Technology to Today's Energy Needs, Vol. 1, Office of Technology Assessment, *Congress of the United States*, Washington DC, (1978).

Sarıkaya S., *Güneş Enerjisi Sektör Raporu*. Ulaşım Adresi: Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı. (2008).

Sizmann R., Thermal Storage Systems : Status and Trends, in Proc. Conf. Intl. *Solar Energy Society*, Hamburg, (1987).

Songür, E., 2008, *Güneş enerjisi ile Elektrik Üretimi Yöntem ve Teknolojiler Sunumu*, (Aralık 2008).

Temiz Enerji Yayınları. Güneş Pilleri, (11 Mayıs 2015).

Tercan, M.B., “Güneş pili karakterizasyon yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 129(2000).

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2011, Aralık 02). Güneş Enerjisi Ve Teknolojileri. Kaynak Adresi: <http://www.eie.gov.tr>. Ulaşma Tarihi: 16 Aralık 2015.

Varınca, K.B., Gönüllü M.T..Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, *I.Ulusal Güneş ve Hidrojen Kongresi*, Esogü, Eskişehir, (2006).

Türkiye’de Kullanılan Enerji Kaynakları <http://www.bilgiustam.com/canak-sistemleriyle-gunes-enerjisinden-elektrik-uretimi>, (08.03.2009).

Yıldız Teknik Üniversitesi Kıncay, <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/yee.htm>(2008).

Wilson, J. I. B., “Solar Energy”, *Wykeham Publications*, London, 2, (1979).

Wolf, M., “Historical development of solar cells”, *Power Sources Symposium 25 th*, England, (1972).

EK AÇIKLAMALAR A.

**SOĞUTMASIZ VE SOĞUTMALI GÜNEŞ PANELLERİNİN DENEY
VERİLERİ**

SOĞUTMASIZ VE SOĞUTMALI GÜNEŞ PANELLERİNİN ÖLÇÜM VERİLERİ

Soğutmalı ve soğutmasız güneş panellerinin deney esnasında elde edilen veriler ürün bazında aşağıdaki gibi çizelge halinde verilmiştir.

Çizelge Ek A.1. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.

13.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Panel arkası sıcaklığı(°C)
09:00	754	1456	16,3	45
09:40	1022	1892	16,5	80
10:00	1178	2456	16,2	96
10:40	1276	2569	17,6	98
11:00	1171	2023	18,4	85
11:40	1379	2459	19,6	93
12:00	1634	1965	20,1	79
12:40	1065	1850	20,9	80
13:00	986	1845	22,4	88
13:40	1205	1965	25,4	92
14:00	1322	2366	25,6	95
14:40	435	1789	26,1	90
15:00	869	1388	27,3	57
15:40	741	999	29,9	54
16:00	633	792	30,6	52

Çizelge Ek A.2. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.

14.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Panel arkası sıcaklığı(°C)
09:00	1124	2132	15,8	75
09:40	1132	2289	17,2	78
10:00	1236	2465	17,4	83
10:40	1325	2450	18,1	85
11:00	1012	2552	20,9	88
11:40	986	2289	23,5	99
12:00	1029	2965	25,2	103
12:40	1030	2562	27,6	107
13:00	985	2445	26,1	100
13:40	855	2056	24,3	98
14:00	712	1965	25,9	95
14:40	1034	1659	26,9	83
15:00	956	1552	27,3	72
15:40	654	1078	28,3	67
16:00	364	984	29,9	53

Çizelge Ek A.3. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.

15.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Panel sıcaklığı(°C)
09:00	721	1489	14,8	50
09:40	926	1525	14,9	59
10:00	1141	2320	16,8	75
10:40	1289	2423	19,3	84
11:00	1121	2359	20,4	88
11:40	1000	2100	21,9	85
12:00	1225	2421	23,9	95
12:40	765	1312	25,2	78
13:00	945	1462	25,6	71
13:40	1053	1645	26,3	73
14:00	849	1564	26,2	75
14:40	931	1489	26,3	69
15:00	623	1021	27,1	58
15:40	456	647	26,9	54
16:00	321	545	27,1	49

Çizelge Ek A.4. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.

16.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Panel arkası sıcaklığı(°C)
09:00	900	1689	15,8	48
09:40	826	1520	15,9	54
10:00	1001	1820	15,6	65
10:40	1089	2023	15,3	72
11:00	1321	2559	15,6	78
11:40	1090	2190	15,9	79
12:00	1225	2721	16,2	85
12:40	1065	2312	16,1	81
13:00	945	1662	15,9	72
13:40	1073	1745	15,3	75
14:00	949	1464	15,3	70
14:40	951	1889	15,4	77
15:00	503	1121	15,5	60
15:40	456	547	15,3	55
16:00	321	445	15,1	43

Çizelge Ek A.5. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.

17.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Panel arkası sıcaklığı(°C)
09:00	621	1089	16,8	45
09:40	706	1325	16,9	56
10:00	1041	2020	16,8	75
10:40	1399	2123	17,3	84
11:00	1101	2259	17,4	90
11:40	1033	2190	17,9	94
12:00	1025	2321	17,9	95
12:40	905	1812	17,2	89
13:00	835	1762	17,6	87
13:40	1043	1945	17,3	93
14:00	769	1464	17,2	78
14:40	931	1589	17,3	69
15:00	803	1021	17,1	52
15:40	656	867	16,9	48
16:00	221	645	16,1	32

Çizelge Ek A.6. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.

18.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Panel arkası sıcaklığı(°C)
09:00	1001	2189	17,8	76
09:40	1109	2225	17,9	80
10:00	1141	2320	17,8	83
10:40	1299	2323	16,3	94
11:00	991	1509	16,4	90
11:40	913	1390	16,9	94
12:00	855	1021	16,9	83
12:40	1005	1812	16,2	85
13:00	1145	2562	16,6	95
13:40	1043	2745	16,3	101
14:00	769	964	16,2	75
14:40	931	1389	16,3	68
15:00	883	1201	17,1	52
15:40	566	887	16,9	47
16:00	451	695	16,0	42

Çizelge Ek A.7. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.

19.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Panel arkası sıcaklığı(°C)
09:00	981	1909	22,8	75
09:40	1029	1999	22,9	79
10:00	1101	2220	22,8	82
10:40	1129	2499	23,3	90
11:00	1121	2686	23,4	100
11:40	1113	2799	23,9	104
12:00	725	1301	24,9	83
12:40	815	1612	25,2	78
13:00	1045	2492	24,6	91
13:40	1003	2845	24,3	105
14:00	1069	1564	24,2	73
14:40	831	1089	25,3	68
15:00	683	901	23,1	59
15:40	406	657	22,9	43
16:00	351	495	22,7	37

Çizelge Ek A.8. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.

20.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Panel arkası sıcaklığı(°C)
09:00	1028	2012	17,1	65
09:40	1167	2597	19,4	75
10:00	1178	2623	19,8	84
10:40	1242	2859	20,9	90
11:00	1022	2435	21,3	77
11:40	993	1909	23,1	85
12:00	1096	2443	23,2	81
12:40	1005	1967	25,6	84
13:00	1164	2745	26,1	79
13:40	912	2081	26,7	83
14:00	889	1694	26,9	90
14:40	1056	2983	25,2	85
15:00	713	1759	26,1	70
15:40	556	628	27,4	44
16:00	221	343	27,9	40

Çizelge Ek A.9. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.

21.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Panel arkası sıcaklığı(°C)
09:00	1172	2256	20,3	78
09:40	1071	2489	22,1	93
10:00	1042	2026	22,5	89
10:40	921	1980	22,9	93
11:00	1253	2045	23,1	97
11:40	1209	2678	24,5	101
12:00	1056	1950	24,5	91
12:40	986	1889	24,9	94
13:00	778	1143	25,8	85
13:40	1056	2480	26,3	78
14:00	845	1523	26,2	83
14:40	453	1236	26,8	85
15:00	656	1326	27,5	60
15:40	525	745	27,1	53
16:00	447	658	27,9	48

Çizelge Ek A.10. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.

22.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Panel arkası sıcaklığı(°C)
09:00	1302	2499	19,5	98
09:40	1361	2555	20,1	103
10:00	1342	2508	20,5	105
10:40	1299	2180	20,9	93
11:00	1353	2695	21,5	109
11:40	1309	2678	22,6	105
12:00	1106	2259	23,5	98
12:40	1084	1999	23,9	90
13:00	993	1143	23,8	83
13:40	856	1081	23,3	71
14:00	877	1325	23,2	79
14:40	1053	1236	24,8	75
15:00	899	1011	23,5	59
15:40	595	691	24,1	46
16:00	499	258	23,9	35

Çizelge Ek A.11. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.

07.03.2016 (Soğutmasız panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Panel arkası sıcaklığı(°C)
10:00	750	1550	15	40
10:30	1070	2510	15	86
11:00	1170	2680	19	90
11:30	1059	2395	20	90
12:00	1232	2150	20	108
12:30	932	1602	26	92
13:00	754	1250	25	78
13:30	1100	1950	21	98
14:00	1000	1720	17	87
14:30	990	2500	24	74
15:00	1060	2510	19	90
15:30	1150	2900	25	84
16:00	962	1882	26	79
16:30	400	351	23	43
17:00	300	170	22	35

Çizelge Ek A.12. Soğutmasız güneş paneli ölçüm verileri.

14.04.2016 (Soğutmasız panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Panel arkası sıcaklığı(°C)
10:00	1120	2627	24	98
10:30	1132	2675	25	100
11:00	1157	2680	26	107
11:30	1173	2600	26	107
12:00	1190	2740	30	110
12:30	900	1550	26	111
13:00	704	1189	23	81
13:30	850	1800	23	83
14:00	1050	2510	21	101
14:30	1142	2701	27	102
15:00	1001	2242	24	78
15:30	572	1200	21	60
16:00	412	766	22	55
16:30	400	621	21	52
17:00	350	600	20	50

Çizelge Ek A.13. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri.

11.11.2015 (Parafinli panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)
09:00	1006	2365	14,3	75
09:40	1056	2996	15,5	88
10:00	1002	2203	15,9	79
10:40	1064	2255	16,4	81
11:00	1153	2765	16,9	93
11:40	1245	3053	17,2	97
12:00	1292	3223	17,5	103
12:40	1035	3145	17,2	107
13:00	926	2656	17,1	89
13:40	1026	2896	17,6	95
14:00	1032	2956	19,3	89
14:40	1145	2201	19,3	81
15:00	944	2568	18,9	75
15:40	858	1478	18,9	61
16:00	674	1064	18,9	55

Çizelge Ek A.14. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri.

12.11.2015 (Parafinli panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)
09:00	1345	2989	15,3	74
09:40	1246	2799	15,9	79
10:00	1309	2894	16,2	83
10:40	1166	2045	16,5	79
11:00	1209	2496	16,7	81
11:40	1245	2693	16,9	88
12:00	1333	3296	17,3	100
12:40	1390	3145	17,9	98
13:00	1396	3491	18,3	107
13:40	1299	2956	19,4	97
14:00	1388	2989	19,5	94
14:40	1145	2856	20,2	86
15:00	1099	2239	19,9	83
15:40	897	1569	19,4	69
16:00	412	992	19,2	63

Çizelge Ek A.15. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri.

13.11.2015 (Parafinli panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)
09:00	1033	2609	18,3	84
09:40	1067	2799	18,9	89
10:00	1089	2894	19,2	90
10:40	1106	2945	19,5	92
11:00	1159	2796	19,7	80
11:40	1105	2603	19,9	88
12:00	1133	3296	19,3	100
12:40	1200	3299	18,9	98
13:00	1236	3391	18,3	101
13:40	1209	3456	19,4	102
14:00	1118	2989	18,5	94
14:40	1105	2856	19,2	86
15:00	1099	2239	20,9	83
15:40	1007	2169	20,4	69
16:00	912	1992	20,2	53

Çizelge Ek A.16. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri.

14.11.2015 (Parafinli panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)
09:00	1289	2800	20,6	78
09:40	1356	2889	20,9	81
10:00	1402	2957	21,3	83
10:40	1464	2977	21,4	88
11:00	1453	3012	21,6	93
11:40	1445	3001	21,6	97
12:00	1492	3335	22,9	105
12:40	1335	3269	22,5	99
13:00	1326	3460	22,9	102
13:40	1193	2600	23,1	95
14:00	1132	1899	22,6	89
14:40	1145	2531	22,9	81
15:00	1109	1966	22,9	75
15:40	1105	1659	22,7	61
16:00	991	1359	22,0	55

Çizelge Ek A.17. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri.

21.11.2015 (Parafinli panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)
09:00	1226	2111	16,1	65
09:40	1269	2346	16,4	69
10:00	1296	2601	17,2	74
10:40	1196	2456	17,4	81
11:00	1214	2621	17,8	85
11:40	1385	2869	17,5	88
12:00	1397	2963	18,6	91
12:40	1399	3088	19,6	95
13:00	1410	3165	19,8	98
13:40	1456	3277	19,5	105
14:00	1369	2755	19,4	107
14:40	1212	2556	19,6	99
15:00	1201	2096	20,9	72
15:40	1156	1856	20,1	61
16:00	1089	1389	20,5	55

Çizelge Ek A.18. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri.

22.11.2015 (Parafinli panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)
09:00	1323	2069	14,9	58
09:40	1302	2265	14,5	63
10:00	1369	2256	14,6	69
10:40	1296	2659	15,6	83
11:00	1204	2581	15,7	79
11:40	1165	2390	16,3	75
12:00	1106	2064	16,5	72
12:40	1100	3256	17,2	98
13:00	1063	3012	16,9	95
13:40	1089	2896	17,5	103
14:00	1132	2569	17,9	99
14:40	989	2551	18,3	92
15:00	898	2456	18,9	77
15:40	845	1569	19,3	59
16:00	769	1393	19,6	57

Çizelge Ek A.19. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri.

23.11.2015 (Parafinli panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)
09:00	1020	2050	12,9	71
09:40	1130	2659	13,5	75
10:00	1436	2986	13,6	78
10:40	1606	3045	13,6	81
11:00	1654	3099	13,7	83
11:40	1559	3000	14,3	94
12:00	1400	2024	14,5	97
12:40	1945	3456	14,2	100
13:00	1336	3012	14,9	95
13:40	1245	2326	15,5	93
14:00	1105	1899	15,9	87
14:40	1269	2551	16,3	80
15:00	986	2056	16,9	63
15:40	855	1369	16,3	59
16:00	745	1132	16,6	55

Çizelge Ek A.20. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri.

24.11.2015 (Parafinli panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)
09:00	999	1890	12,9	75
09:40	1023	2045	12,5	79
10:00	1269	2366	12,6	82
10:40	1159	2136	13,2	84
11:00	1369	2645	13,4	86
11:40	1256	2078	13,9	77
12:00	1251	1944	14,5	72
12:40	1452	2596	14,3	90
13:00	1387	2302	14,5	87
13:40	1466	2568	15,3	89
14:00	1056	2357	15,4	84
14:40	965	1988	16,4	80
15:00	789	1785	16,8	65
15:40	960	1821	16,8	61
16:00	523	1433	16,7	55

Çizelge Ek A.21. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri.

18.3.2016 (Parafinli panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)
10:00	1180	2510	16	80
10:30	1220	3130	20	95
11:00	1225	3050	18	82
11:30	1230	3318	18	86
12:00	1235	3048	14	85
12:30	1250	3450	15	100
13:00	1280	3570	19	102
13:30	1260	3300	17	100
14:00	1250	3260	22	98
14:30	1240	2352	26	94
15:00	1200	1900	30	97
15:30	1120	2700	18	61
16:00	1100	2010	17	60
16:30	1063	1520	24	57
17:00	650	950	17	51

Çizelge Ek A.22. Soğutmalı güneş paneli ölçüm verileri.

15.05.2016 (Parafinli panel)				
Saat	Üst panel (W/m ²)	Alt panel (W/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)
11:30	1100	2650	20	35
12:00	1130	2710	20	67
12:30	1210	2805	25	70
13:00	1250	2850	26	85
13:30	1270	2910	25	90
14:00	1280	3030	28	95
14:30	1200	2780	25	85
15:00	1175	2600	25	82
15:30	1145	2450	23	75
16:00	1132	2200	24	60
16:30	1035	2180	24	62
17:00	1040	2205	23	65

Çizelge Ek A.23. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri.

13.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç (W)
09:00	1456	45	10,50	16,89
09:40	1892	80	8,69	18,15
10:00	2456	96	7,85	21,31
10:40	2569	98	7,75	21,99
11:00	2023	85	8,43	18,83
11:40	2459	93	8,01	21,76
12:00	1965	79	8,74	18,97
12:40	1850	80	8,69	17,75
13:00	1845	88	8,27	16,85
13:40	1965	92	8,06	17,50
14:00	2366	95	7,91	20,66
14:40	1789	90	8,17	16,14
15:00	1388	57	9,88	15,15
15:40	999	54	10,04	11,08
16:00	792	52	10,14	8,87

Çizelge Ek A.24. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri.

14.10.2015				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç (W)
09:00	2132	75	8,95	21,07
09:40	2289	78	8,79	22,22
10:00	2465	83	8,53	23,23
10:40	2450	85	8,43	22,80
11:00	2552	88	8,27	23,31
11:40	2289	99	7,70	19,47
12:00	2965	103	7,49	24,53
12:40	2562	107	7,28	20,61
13:00	2445	100	7,65	20,65
13:40	2056	98	7,75	17,60
14:00	1965	95	7,91	17,16
14:40	1659	83	8,53	15,63
15:00	1552	72	9,10	15,60
15:40	1078	67	9,36	11,15
16:00	984	53	10,09	10,97

Çizelge Ek A.25. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri.

15.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç (W)
09:00	1489	50	10,24	16,85
09:40	1525	59	9,78	16,47
10:00	2320	75	8,95	22,92
10:40	2423	84	8,48	22,69
11:00	2359	88	8,27	21,55
11:40	2100	85	8,43	19,55
12:00	2421	95	7,91	21,14
12:40	1312	78	8,79	12,74
13:00	1462	71	9,15	14,78
13:40	1645	73	9,05	16,44
14:00	1564	75	8,95	15,45
14:40	1489	69	9,26	15,23
15:00	1021	58	9,83	11,08
15:40	647	54	10,04	7,17
16:00	545	49	10,30	6,20

Çizelge Ek A.26. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri.

20.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç (W)
09:00	2012	65	9,46	21,04
09:40	2597	75	8,95	25,66
10:00	2623	84	8,48	24,56
10:40	2859	90	8,17	25,79
11:00	2435	77	8,84	23,78
11:40	1909	85	8,43	17,77
12:00	2443	81	8,63	23,30
12:40	1967	84	8,48	18,42
13:00	2745	79	8,74	26,49
13:40	2081	83	8,53	19,61
14:00	1694	90	8,17	15,28
14:40	2983	85	8,43	25,76
15:00	1759	70	9,21	17,89
15:40	628	42	10,66	7,39
16:00	343	38	10,87	4,12

Çizelge Ek A.27. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri.

21.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç (W)
09:00	2256	78	8,79	21,90
09:40	2489	93	8,01	22,02
10:00	2026	89	8,22	18,39
10:40	1980	93	8,01	17,52
11:00	2045	97	7,80	17,63
11:40	2678	101	7,59	22,47
12:00	1950	91	8,11	17,48
12:40	1889	94	7,96	16,61
13:00	1143	85	8,43	10,64
13:40	2480	78	8,79	24,08
14:00	1523	83	8,53	14,35
14:40	1236	85	8,43	11,50
15:00	1326	60	9,72	14,24
15:40	745	53	10,09	8,30
16:00	658	48	10,35	7,52

Çizelge Ek A.28. Soğutmalı güneş paneli güç ve modül verim değerleri.

23.11.2015 (Parafinli panel)				
Saat	Parafinli panel (W/m ²)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Parafinli panel güç (W)
09:00	2050	71	9,15	20,73
09:40	2659	75	8,95	26,27
10:00	2986	78	8,79	28,99
10:40	3045	81	8,63	29,04
11:00	3099	83	8,53	29,20
11:40	3000	94	7,96	26,37
12:00	2024	97	7,80	17,44
12:40	3456	100	7,65	29,19
13:00	3012	95	7,91	26,31
13:40	2326	93	8,01	20,58
14:00	1899	87	8,32	17,46
14:40	2551	80	8,69	24,48
15:00	2056	63	9,57	21,73
15:40	1369	59	9,78	14,78
16:00	1132	55	9,98	12,48

Çizelge Ek A.29. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri.

07.03.2016 (Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı (°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç(W)
10:00	1550	40	10,76	18,43
10:30	2510	86	8,37	23,22
11:00	2680	90	8,17	24,18
11:30	2395	90	8,17	21,60
12:00	2150	108	7,23	17,17
12:30	1602	92	8,06	14,27
13:00	1250	78	8,79	12,14
13:30	1950	98	7,75	16,70
14:00	1720	87	8,32	15,81
14:30	2500	74	9,00	24,85
15:00	2510	90	8,17	22,64
15:30	2900	84	8,48	27,16
16:00	1882	79	8,74	18,16
16:30	351	43	1061	4,11
17:00	170	35	11,02	2,07

Çizelge Ek A.30. Soğutmalı güneş paneli güç ve modül verim değerleri.

18.03.2016 (Parafinli panel)				
Saat	Parafinli panel (W/m ²)	Parafinli panel sıcaklığı (°C)	Modül verimi (%)	Parafinli panel güç(W)
10:00	2510	80	8,69	24,08
10:30	3130	95	7,91	27,34
11:00	3050	82	8,58	28,91
11:30	3318	86	8,37	30,91
12:00	3048	85	8,43	28,37
12:30	3450	100	7,65	29,14
13:00	3570	102	7,54	29,75
13:30	3300	100	7,65	27,87
14:00	3260	98	7,75	27,91
14:30	2352	94	7,96	20,68
15:00	1900	97	7,80	16,38
15:30	2700	61	9,67	28,85
16:00	2010	60	9,72	21,59
16:30	1520	57	9,88	16,59
17:00	950	51	10,19	10,70

Çizelge Ek A.31. Soğutmasız güneş paneli güç ve modül verim değerleri.

14.04.2016 (Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı (°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç(W)
10:00	2627	98	7,75	22,49
10:30	2675	100	7,65	22,60
11:00	2680	107	7,28	21,56
11:30	2600	107	7,28	20,92
12:00	2740	110	7,13	21,57
12:30	1550	111	7,08	12,11
13:00	1189	81	8,63	11,34
13:30	1800	83	8,53	16,96
14:00	2510	101	7,59	21,06
14:30	2710	102	7,54	22,51
15:00	2242	78	8,79	21,77
15:30	1200	60	9,72	12,89
16:00	766	55	9,98	8,45
16:30	621	52	10,14	6,96
17:00	600	50	10,24	6,79

Çizelge Ek A.32. Soğutmasız panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

13.10.2015 (Soğutmasız panel)									
$T_c - 25$	η^0	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
20	0,15	0,0045	0,91	0,137	0,9	0,95	0,9	0,105	16,89
55	0,15	0,0045	0,75	0,113	0,9	0,95	0,9	0,087	18,15
71	0,15	0,0045	0,68	0,102	0,9	0,95	0,9	0,079	21,31
73	0,15	0,0045	0,67	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	21,99
60	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,084	18,83
68	0,15	0,0045	0,69	0,104	0,9	0,95	0,9	0,080	21,76
54	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,087	18,97
55	0,15	0,0045	0,75	0,113	0,9	0,95	0,9	0,087	17,75
63	0,15	0,0045	0,72	0,107	0,9	0,95	0,9	0,083	16,85
67	0,15	0,0045	0,70	0,105	0,9	0,95	0,9	0,081	17,50
70	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,079	20,66
65	0,15	0,0045	0,71	0,106	0,9	0,95	0,9	0,082	16,14
32	0,15	0,0045	0,86	0,128	0,9	0,95	0,9	0,099	15,15
29	0,15	0,0045	0,87	0,130	0,9	0,95	0,9	0,100	11,08
27	0,15	0,0045	0,88	0,132	0,9	0,95	0,9	0,101	8,87

Çizelge Ek A.33. Soğutmasız güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

13.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç (W)
09:00	1456	45	10,50	16,89
09:40	1892	80	8,69	18,15
10:00	2456	96	7,85	21,31
10:40	2569	98	7,75	21,99
11:00	2023	85	8,43	18,83
11:40	2459	93	8,01	21,76
12:00	1965	79	8,74	18,97
12:40	1850	80	8,69	17,75
13:00	1845	88	8,27	16,85
13:40	1965	92	8,06	17,50
14:00	2366	95	7,91	20,66
14:40	1789	90	8,17	16,14
15:00	1388	57	9,88	15,15
15:40	999	54	10,04	11,08
16:00	792	52	10,14	8,87

Çizelge Ek A.34. Soğutmasız panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

14.10.2015 (Soğutmasız panel)									
$T_c - 25$	η^0	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
50	0,15	0,0045	0,78	0,116	0,9	0,95	0,9	0,089	21,07
53	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,088	22,22
58	0,15	0,0045	0,74	0,111	0,9	0,95	0,9	0,085	23,23
60	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,084	22,80
63	0,15	0,0045	0,72	0,107	0,9	0,95	0,9	0,083	23,31
74	0,15	0,0045	0,67	0,100	0,9	0,95	0,9	0,077	19,47
78	0,15	0,0045	0,65	0,097	0,9	0,95	0,9	0,075	24,53
82	0,15	0,0045	0,63	0,095	0,9	0,95	0,9	0,073	20,61
75	0,15	0,0045	0,66	0,099	0,9	0,95	0,9	0,076	20,61
73	0,15	0,0045	0,67	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	17,60
70	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,079	17,16
58	0,15	0,0045	0,74	0,111	0,9	0,95	0,9	0,085	15,63
47	0,15	0,0045	0,79	0,118	0,9	0,95	0,9	0,091	15,60
42	0,15	0,0045	0,81	0,122	0,9	0,95	0,9	0,094	11,15
28	0,15	0,0045	0,87	0,131	0,9	0,95	0,9	0,101	10,97

Çizelge Ek A.35. Soğutmasız güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

14.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç (W)
09:00	2132	75	8,95	21,07
09:40	2289	78	8,79	22,22
10:00	2465	83	8,53	23,23
10:40	2450	85	8,43	22,80
11:00	2552	88	8,27	23,31
11:40	2289	99	7,70	19,47
12:00	2965	103	7,49	24,53
12:40	2562	107	7,28	20,61
13:00	2445	100	7,65	20,65
13:40	2056	98	7,75	17,60
14:00	1965	95	7,91	17,16
14:40	1659	83	8,53	15,63
15:00	1552	72	9,10	15,60
15:40	1078	67	9,36	11,15
16:00	984	53	10,09	10,97

Çizelge Ek A.36. Soğutmasız panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

15.10.2015 (Soğutmasız panel)									
$T_c - 25$	η^0	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
25	0,15	0,0045	0,89	0,133	0,9	0,95	0,9	0,102	16,85
34	0,15	0,0045	0,85	0,127	0,9	0,95	0,9	0,098	16,47
50	0,15	0,0045	0,78	0,116	0,9	0,95	0,9	0,089	22,92
59	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,085	22,69
63	0,15	0,0045	0,72	0,107	0,9	0,95	0,9	0,083	21,55
60	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,084	19,55
70	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,079	21,14
53	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,088	12,74
46	0,15	0,0045	0,79	0,119	0,9	0,95	0,9	0,092	14,78
48	0,15	0,0045	0,78	0,118	0,9	0,95	0,9	0,090	16,44
50	0,15	0,0045	0,78	0,116	0,9	0,95	0,9	0,089	15,45
44	0,15	0,0045	0,80	0,120	0,9	0,95	0,9	0,093	15,23
33	0,15	0,0045	0,85	0,128	0,9	0,95	0,9	0,098	11,08
29	0,15	0,0045	0,87	0,130	0,9	0,95	0,9	0,100	7,17
24	0,15	0,0045	0,89	0,134	0,9	0,95	0,9	0,103	6,20

Çizelge Ek A.37. Soğutmasız güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

15.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız güç (W)
09:00	1489	50	10,24	16,85
09:40	1525	59	9,78	16,47
10:00	2320	75	8,95	22,92
10:40	2423	84	8,48	22,69
11:00	2359	88	8,27	21,55
11:40	2100	85	8,43	19,55
12:00	2421	95	7,91	21,14
12:40	1312	78	8,79	12,74
13:00	1462	71	9,15	14,78
13:40	1645	73	9,05	16,44
14:00	1564	75	8,95	15,45
14:40	1489	69	9,26	15,23
15:00	1021	58	9,83	11,08
15:40	647	54	10,04	7,17
16:00	545	49	10,30	6,20

Çizelge Ek A.38. Soğutmasız panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

20.10.2015 (Soğutmasız panel)									
$T_c - 25$	η^0	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
40	0,15	0,0045	0,82	0,123	0,9	0,95	0,9	0,095	21,04
50	0,15	0,0045	0,78	0,116	0,9	0,95	0,9	0,089	25,66
59	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,085	24,56
65	0,15	0,0045	0,71	0,106	0,9	0,95	0,9	0,082	25,79
52	0,15	0,0045	0,77	0,115	0,9	0,95	0,9	0,088	23,78
60	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,084	17,77
56	0,15	0,0045	0,75	0,112	0,9	0,95	0,9	0,086	23,30
59	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,085	18,42
54	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,087	26,49
58	0,15	0,0045	0,74	0,111	0,9	0,95	0,9	0,085	19,61
65	0,15	0,0045	0,71	0,106	0,9	0,95	0,9	0,082	15,28
60	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,084	27,76
45	0,15	0,0045	0,80	0,120	0,9	0,95	0,9	0,092	17,89
17	0,15	0,0045	0,92	0,139	0,9	0,95	0,9	0,107	7,39
13	0,15	0,0045	0,94	0,141	0,9	0,95	0,9	0,109	4,12

Çizelge Ek A.39. Soğutmasız güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

20.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç (W)
09:00	2012	65	9,46	21,04
09:40	2597	75	8,95	25,66
10:00	2623	84	8,48	24,56
10:40	2859	90	8,17	25,79
11:00	2435	77	8,84	23,78
11:40	1909	85	8,43	17,77
12:00	2443	81	8,63	23,30
12:40	1967	84	8,48	18,42
13:00	2745	79	8,74	26,49
13:40	2081	83	8,53	19,61
14:00	1694	90	8,17	15,28
14:40	2983	85	8,43	25,76
15:00	1759	70	9,21	17,89
15:40	628	42	10,66	7,39
16:00	343	38	10,87	4,12

Çizelge Ek A.40. Soğutmasız panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

21.10.2015 (Soğutmasız panel)									
$T_c - 25$	η^o	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
53	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,088	21,90
68	0,15	0,0045	0,69	0,104	0,9	0,95	0,9	0,080	22,02
64	0,15	0,0045	0,71	0,107	0,9	0,95	0,9	0,082	18,39
68	0,15	0,0045	0,69	0,104	0,9	0,95	0,9	0,080	17,52
72	0,15	0,0045	0,68	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	17,63
76	0,15	0,0045	0,66	0,099	0,9	0,95	0,9	0,076	22,47
66	0,15	0,0045	0,70	0,105	0,9	0,95	0,9	0,081	17,48
69	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,080	16,61
60	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,084	10,64
53	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,088	24,08
58	0,15	0,0045	0,74	0,111	0,9	0,95	0,9	0,085	14,35
60	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,084	11,50
35	0,15	0,0045	0,84	0,126	0,9	0,95	0,9	0,097	14,24
28	0,15	0,0045	0,87	0,131	0,9	0,95	0,9	0,101	8,30
23	0,15	0,0045	0,90	0,134	0,9	0,95	0,9	0,103	7,52

Çizelge Ek A.41. Soğutmasız güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

21.10.2015 (Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç (W)
09:00	2256	78	8,79	21,90
09:40	2489	93	8,01	22,02
10:00	2026	89	8,22	18,39
10:40	1980	93	8,01	17,52
11:00	2045	97	7,80	17,63
11:40	2678	101	7,59	22,47
12:00	1950	91	8,11	17,48
12:40	1889	94	7,96	16,61
13:00	1143	85	8,43	10,64
13:40	2480	78	8,79	24,08
14:00	1523	83	8,53	14,35
14:40	1236	85	8,43	11,50
15:00	1326	60	9,72	14,24
15:40	745	53	10,09	8,30
16:00	658	48	10,35	7,52

Çizelge Ek A.42. Soğutmalı panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

11.11.2015 (Parafinli panel)									
$T_c - 25$	η^0	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
50	0,15	0,0045	0,78	0,116	0,9	0,95	0,9	0,089	23,37
64	0,15	0,0045	0,72	0,107	0,9	0,95	0,9	0,083	27,37
54	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,087	21,26
56	0,15	0,0045	0,75	0,112	0,9	0,95	0,9	0,086	21,51
68	0,15	0,0045	0,69	0,104	0,9	0,95	0,9	0,080	24,47
72	0,15	0,0045	0,68	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	26,31
78	0,15	0,0045	0,65	0,097	0,9	0,95	0,9	0,075	26,67
82	0,15	0,0045	0,63	0,095	0,9	0,95	0,9	0,073	25,30
64	0,15	0,0045	0,71	0,107	0,9	0,95	0,9	0,082	24,11
70	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,079	25,29
64	0,15	0,0045	0,71	0,107	0,9	0,95	0,9	0,082	26,83
56	0,15	0,0045	0,75	0,112	0,9	0,95	0,9	0,086	20,99
50	0,15	0,0045	0,78	0,116	0,9	0,95	0,9	0,089	25,38
36	0,15	0,0045	0,84	0,126	0,9	0,95	0,9	0,097	15,79
30	0,15	0,0045	0,87	0,130	0,9	0,95	0,9	0,100	11,73

Çizelge Ek A.43. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

11.11.2015 (Parafinli panel)				
Saat	Parafinli panel (W/m ²)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Parafinli panel güç (W)
09:00	2365	75	8,95	23,37
09:40	2996	88	8,27	27,37
10:00	2203	79	8,74	21,26
10:40	2255	81	8,63	21,51
11:00	2765	93	8,01	24,47
11:40	3053	97	7,80	26,31
12:00	3223	103	7,49	26,67
12:40	3145	107	7,28	25,30
13:00	2656	89	8,22	24,11
13:40	2896	95	7,91	25,29
14:00	2956	89	8,22	26,83
14:40	2201	81	8,63	20,99
15:00	2568	75	8,95	25,38
15:40	1478	61	9,67	15,79
16:00	1064	55	9,98	11,73

Çizelge Ek A.44. Soğutmalı panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

12.11.2015 (Parafinli panel)									
$T_c -25$	η^0	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
49	0,15	0,0045	0,78	0,117	0,9	0,95	0,9	0,090	29,71
54	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,087	27,02
58	0,15	0,0045	0,74	0,111	0,9	0,95	0,9	0,085	27,27
54	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,087	19,74
56	0,15	0,0045	0,75	0,112	0,9	0,95	0,9	0,086	23,80
63	0,15	0,0045	0,72	0,107	0,9	0,95	0,9	0,083	24,60
75	0,15	0,0045	0,66	0,099	0,9	0,95	0,9	0,076	27,84
73	0,15	0,0045	0,67	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	26,93
82	0,15	0,0045	0,63	0,095	0,9	0,95	0,9	0,073	28,09
72	0,15	0,0045	0,68	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	25,48
69	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,080	26,28
61	0,15	0,0045	0,73	0,109	0,9	0,95	0,9	0,084	26,42
58	0,15	0,0045	0,74	0,111	0,9	0,95	0,9	0,085	21,10
44	0,15	0,0045	0,80	0,120	0,9	0,95	0,9	0,093	16,04
38	0,15	0,0045	0,83	0,124	0,9	0,95	0,9	0,096	10,49

Çizelge Ek A.45. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

24.11.2015(Parafinli panel)				
Saat	Parafinli panel (W/m ²)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Parafinli panel güç (W)
09:00	2989	74	9,00	29,71
09:40	2799	79	8,74	27,02
10:00	2894	83	8,53	27,27
10:40	2045	79	8,74	19,74
11:00	2496	81	8,63	23,80
11:40	2693	88	8,27	24,60
12:00	3296	100	7,65	27,84
12:40	3145	98	7,75	26,93
13:00	3491	107	7,28	28,09
13:40	2956	97	7,80	25,48
14:00	2989	94	7,96	26,28
14:40	2856	86	8,37	26,42
15:00	2239	83	8,53	21,10
15:40	1569	69	9,26	16,04
16:00	992	63	9,57	10,49

Çizelge Ek A.46. Soğutmalı panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

21.11.2015 (Parafinli panel)									
$T_c - 25$	η^o	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
40	0,15	0,0045	0,82	0,123	0,9	0,95	0,9	0,095	22,07
44	0,15	0,0045	0,80	0,120	0,9	0,95	0,9	0,093	23,99
49	0,15	0,0045	0,78	0,117	0,9	0,95	0,9	0,090	25,85
56	0,15	0,0045	0,75	0,112	0,9	0,95	0,9	0,086	23,42
60	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,084	24,39
63	0,15	0,0045	0,72	0,107	0,9	0,95	0,9	0,083	26,21
66	0,15	0,0045	0,70	0,105	0,9	0,95	0,9	0,081	26,56
70	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,079	26,97
73	0,15	0,0045	0,67	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	27,10
80	0,15	0,0045	0,64	0,096	0,9	0,95	0,9	0,074	22,16
82	0,15	0,0045	0,63	0,095	0,9	0,95	0,9	0,073	22,07
74	0,15	0,0045	0,67	0,100	0,9	0,95	0,9	0,077	21,74
47	0,15	0,0045	0,79	0,118	0,9	0,95	0,9	0,091	21,07
36	0,15	0,0045	0,84	0,126	0,9	0,95	0,9	0,097	19,83
30	0,15	0,0045	0,87	0,130	0,9	0,95	0,9	0,100	15,32

Çizelge Ek A.47. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

21.11.2015(Parafinli panel)				
Saat	Parafinli panel (W/m ²)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Parafinli panel güç (W)
09:00	2111	65	9,46	22,07
09:40	2346	69	9,26	23,99
10:00	2601	74	9,00	25,85
10:40	2456	81	8,63	23,42
11:00	2621	85	8,43	24,39
11:40	2869	88	8,27	26,21
12:00	2963	91	8,11	26,56
12:40	3088	95	7,91	26,97
13:00	3165	98	7,75	27,10
13:40	3277	105	7,39	26,74
14:00	2755	107	7,28	22,16
14:40	2556	99	7,70	21,74
15:00	2096	72	9,10	21,07
15:40	1856	61	9,67	19,83
16:00	1389	55	9,98	15,32

Çizelge Ek A.48. Soğutmalı panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

22.11.2015 (Parafinli panel)									
$T_c - 25$	η^0	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
33	0,15	0,0045	0,85	0,128	0,9	0,95	0,9	0,098	22,46
38	0,15	0,0045	0,83	0,124	0,9	0,95	0,9	0,096	23,94
44	0,15	0,0045	0,80	0,120	0,9	0,95	0,9	0,093	23,07
58	0,15	0,0045	0,74	0,111	0,9	0,95	0,9	0,085	25,05
54	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,087	24,91
50	0,15	0,0045	0,78	0,116	0,9	0,95	0,9	0,089	23,62
47	0,15	0,0045	0,79	0,118	0,9	0,95	0,9	0,091	20,75
73	0,15	0,0045	0,67	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	27,88
70	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,079	26,31
78	0,15	0,0045	0,65	0,097	0,9	0,95	0,9	0,075	23,96
74	0,15	0,0045	0,67	0,100	0,9	0,95	0,9	0,077	21,85
67	0,15	0,0045	0,70	0,105	0,9	0,95	0,9	0,081	22,72
52	0,15	0,0045	0,77	0,115	0,9	0,95	0,9	0,088	23,99
34	0,15	0,0045	0,85	0,127	0,9	0,95	0,9	0,098	16,94
32	0,15	0,0045	0,86	0,128	0,9	0,95	0,9	0,099	15,20

Çizelge Ek A.49. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

22.11.2015(Parafinli panel)				
Saat	Parafinli panel (W/m ²)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Parafinli panel güç (W)
09:00	2069	58	9,83	22,46
09:40	2265	63	9,57	23,94
10:00	2256	69	9,26	23,07
10:40	2659	83	8,53	25,05
11:00	2581	79	8,74	24,91
11:40	2390	75	8,95	23,62
12:00	2064	72	9,10	20,75
12:40	3256	98	7,75	27,88
13:00	3012	95	7,91	26,31
13:40	2896	103	7,49	23,96
14:00	2569	99	7,70	21,85
14:40	2551	92	8,06	22,72
15:00	2456	77	8,84	23,99
15:40	1569	59	9,78	16,94
16:00	1393	57	9,88	15,20

Çizelge Ek A.50. Soğutmalı panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

23.11.2015 (Parafinli panel)									
$T_c - 25$	η^0	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
46	0,15	0,0045	0,79	0,119	0,9	0,95	0,9	0,092	20,73
50	0,15	0,0045	0,78	0,116	0,9	0,95	0,9	0,089	26,27
53	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,088	28,99
56	0,15	0,0045	0,75	0,112	0,9	0,95	0,9	0,086	29,04
58	0,15	0,0045	0,74	0,111	0,9	0,95	0,9	0,085	29,20
69	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,080	26,37
72	0,15	0,0045	0,68	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	17,44
75	0,15	0,0045	0,66	0,099	0,9	0,95	0,9	0,076	29,19
70	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,079	26,31
68	0,15	0,0045	0,69	0,104	0,9	0,95	0,9	0,080	20,58
62	0,15	0,0045	0,72	0,108	0,9	0,95	0,9	0,083	17,46
55	0,15	0,0045	0,75	0,113	0,9	0,95	0,9	0,087	24,48
38	0,15	0,0045	0,83	0,124	0,9	0,95	0,9	0,096	21,73
34	0,15	0,0045	0,85	0,127	0,9	0,95	0,9	0,098	14,78
30	0,15	0,0045	0,87	0,130	0,9	0,95	0,9	0,100	12,48

Çizelge Ek A.51. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

23.11.2015 (Parafinli panel)				
Saat	Parafinli panel (W/m ²)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Parafinli panel güç (W)
09:00	2050	71	9,15	20,73
09:40	2659	75	8,95	26,27
10:00	2986	78	8,79	28,99
10:40	3045	81	8,63	29,04
11:00	3099	83	8,53	29,20
11:40	3000	94	7,96	26,37
12:00	2024	97	7,80	17,44
12:40	3456	100	7,65	29,19
13:00	3012	95	7,91	26,31
13:40	2326	93	8,01	20,58
14:00	1899	87	8,32	17,46
14:40	2551	80	8,69	24,48
15:00	2056	63	9,57	21,73
15:40	1369	59	9,78	14,78
16:00	1132	55	9,98	12,48

Çizelge Ek A.52. Soğutmalı panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

24.11.2015 (Parafinli panel)									
$T_c - 25$	η^o	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
50	0,15	0,0045	0,78	0,116	0,9	0,95	0,9	0,089	18,68
54	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,087	19,74
57	0,15	0,0045	0,74	0,112	0,9	0,95	0,9	0,086	22,43
59	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,085	20,00
61	0,15	0,0045	0,73	0,109	0,9	0,95	0,9	0,084	24,47
52	0,15	0,0045	0,77	0,115	0,9	0,95	0,9	0,088	20,29
47	0,15	0,0045	0,79	0,118	0,9	0,95	0,9	0,091	19,54
65	0,15	0,0045	0,71	0,106	0,9	0,95	0,9	0,082	23,42
62	0,15	0,0045	0,72	0,108	0,9	0,95	0,9	0,083	21,16
64	0,15	0,0045	0,71	0,107	0,9	0,95	0,9	0,082	23,31
59	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,085	22,07
55	0,15	0,0045	0,75	0,113	0,9	0,95	0,9	0,087	19,07
40	0,15	0,0045	0,82	0,123	0,9	0,95	0,9	0,095	18,66
36	0,15	0,0045	0,84	0,126	0,9	0,95	0,9	0,097	19,46
30	0,15	0,0045	0,87	0,130	0,9	0,95	0,9	0,100	15,80

Çizelge Ek A.53. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

24.11.2015(Parafinli paneli)				
Saat	Parafinli panel (W/m ²)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Parafinli panel güç (W)
09:00	1890	75	8,95	18,68
09:40	2045	79	8,74	19,74
10:00	2366	82	8,58	22,43
10:40	2136	84	8,48	20,00
11:00	2645	86	8,37	24,74
11:40	2078	77	8,84	20,29
12:00	1944	72	9,10	19,54
12:40	2596	90	8,17	23,42
13:00	2302	87	8,32	21,16
13:40	2568	89	8,22	23,31
14:00	2357	84	8,48	22,07
14:40	1988	80	8,69	19,07
15:00	1785	65	9,46	18,66
15:40	1821	61	9,67	19,46
16:00	1433	55	9,98	15,80

Çizelge Ek A.54. Soğutmasız panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

07.03.2016 (Soğutmasız panel)									
$T_c - 25$	η^0	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
15	0,15	0,0045	0,93	0,140	0,9	0,95	0,9	0,108	18,43
61	0,15	0,0045	0,73	0,109	0,9	0,95	0,9	0,084	23,22
65	0,15	0,0045	0,71	0,106	0,9	0,95	0,9	0,082	24,18
65	0,15	0,0045	0,71	0,106	0,9	0,95	0,9	0,082	21,60
83	0,15	0,0045	0,63	0,094	0,9	0,95	0,9	0,072	17,17
67	0,15	0,0045	0,70	0,105	0,9	0,95	0,9	0,081	14,27
53	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,088	12,14
73	0,15	0,0045	0,67	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	16,70
62	0,15	0,0045	0,72	0,108	0,9	0,95	0,9	0,083	15,81
49	0,15	0,0045	0,78	0,117	0,9	0,95	0,9	0,090	24,85
65	0,15	0,0045	0,71	0,106	0,9	0,95	0,9	0,082	22,64
59	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,085	27,16
54	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,087	18,16
18	0,15	0,0045	0,92	0,138	0,9	0,95	0,9	0,106	4,11
10	0,15	0,0045	0,96	0,143	0,9	0,95	0,9	0,110	2,07

Çizelge Ek A.55. Soğutmasız güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

07.03.2016(Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç (W)
10:00	1550	40	10,76	18,43
10:30	2510	86	8,37	23,22
11:00	2680	90	8,17	24,18
11:30	2395	90	8,17	21,60
12:00	2150	108	7,23	17,17
12:30	1602	92	8,06	14,27
13:00	1250	78	8,79	12,14
13:30	1950	98	7,75	16,70
14:00	1720	87	8,32	15,81
14:30	2500	74	9,00	24,85
15:00	2510	90	8,17	22,64
15:30	2900	84	8,48	27,16
16:00	1882	79	8,74	18,16
16:30	351	43	10,61	4,11
17:00	170	35	11,02	2,07

Çizelge Ek A.56. Soğutmalı panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

18.03.2016 (Parafinli panel)									
$T_c - 25$	η^0	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
55	0,15	0,0045	0,75	0,113	0,9	0,95	0,9	0,087	24,08
70	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,079	27,34
57	0,15	0,0045	0,74	0,112	0,9	0,95	0,9	0,086	28,91
61	0,15	0,0045	0,73	0,109	0,9	0,95	0,9	0,084	30,69
60	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,084	28,37
75	0,15	0,0045	0,66	0,099	0,9	0,95	0,9	0,076	29,14
77	0,15	0,0045	0,65	0,098	0,9	0,95	0,9	0,075	29,75
75	0,15	0,0045	0,66	0,099	0,9	0,95	0,9	0,076	27,87
73	0,15	0,0045	0,67	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	27,91
69	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,080	20,68
72	0,15	0,0045	0,68	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	16,38
36	0,15	0,0045	0,84	0,126	0,9	0,95	0,9	0,097	28,85
35	0,15	0,0045	0,84	0,126	0,9	0,95	0,9	0,097	21,59
32	0,15	0,0045	0,86	0,128	0,9	0,95	0,9	0,099	16,59
26	0,15	0,0045	0,88	0,132	0,9	0,95	0,9	0,102	10,70

Çizelge Ek A.57. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

18.03.2016 (Parafinli panel)				
Saat	Parafinli panel (W/m ²)	Parafinli panel sıcaklığı(°C)	Modül verimi (%)	Parafinli panel güç (W)
10:00	2510	80	8,69	24,08
10:30	3130	95	7,91	27,34
11:00	3050	82	8,58	28,91
11:30	3318	86	8,37	30,69
12:00	3048	85	8,43	28,37
12:30	3450	100	7,65	29,14
13:00	3570	102	7,54	29,75
13:30	3300	100	7,65	27,87
14:00	3260	98	7,75	27,91
14:30	2352	94	7,96	20,68
15:00	1900	97	7,80	16,38
15:30	2700	61	9,67	28,85
16:00	2010	60	9,72	21,59
16:30	1520	57	9,88	16,59
17:00	950	51	10,19	10,70

Çizelge Ek A.58. Soğutmasız panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

14.04.2016 (Soğutmasız panel)									
$T_c - 25$	η^0	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
73	0,15	0,0045	0,67	0,101	0,9	0,95	0,9	0,078	22,49
75	0,15	0,0045	0,66	0,099	0,9	0,95	0,9	0,076	22,60
82	0,15	0,0045	0,63	0,095	0,9	0,95	0,9	0,073	21,56
82	0,15	0,0045	0,63	0,095	0,9	0,95	0,9	0,073	20,92
85	0,15	0,0045	0,62	0,093	0,9	0,95	0,9	0,071	21,57
86	0,15	0,0045	0,61	0,092	0,9	0,95	0,9	0,071	12,11
56	0,15	0,0045	0,75	0,112	0,9	0,95	0,9	0,086	11,34
58	0,15	0,0045	0,74	0,111	0,9	0,95	0,9	0,085	16,96
76	0,15	0,0045	0,66	0,099	0,9	0,95	0,9	0,076	21,06
77	0,15	0,0045	0,65	0,098	0,9	0,95	0,9	0,075	22,51
53	0,15	0,0045	0,76	0,114	0,9	0,95	0,9	0,088	21,77
35	0,15	0,0045	0,84	0,126	0,9	0,95	0,9	0,097	12,89
30	0,15	0,0045	0,87	0,130	0,9	0,95	0,9	0,100	8,45
27	0,15	0,0045	0,88	0,132	0,9	0,95	0,9	0,101	6,96
25	0,15	0,0045	0,89	0,133	0,9	0,95	0,9	0,102	6,79

Çizelge Ek A.59. Soğutmasız güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

14.04.2016 (Soğutmasız panel)				
Saat	Soğutmasız panel (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı (°C)	Modül verimi (%)	Soğutmasız panel güç(W)
10:00	2627	98	7,75	22,49
10:30	2675	100	7,65	22,60
11:00	2680	107	7,28	21,56
11:30	2600	107	7,28	20,92
12:00	2740	110	7,13	21,57
12:30	1550	111	7,08	12,11
13:00	1189	81	8,63	11,34
13:30	1800	83	8,53	16,96
14:00	2510	101	7,59	21,06
14:30	2710	102	7,54	22,51
15:00	2242	78	8,79	21,77
15:30	1200	60	9,72	12,89
16:00	766	55	9,98	8,45
16:30	621	52	10,14	6,96
17:00	600	50	10,24	6,79

Çizelge Ek A.60. Soğutmalı panel hücre verimi, elektriksel kazanç değerleri.

15.05.2016 (Parafinli panel)									
T_c-25	η^0	β	η_c		φ	α	δ	η_m	P (W)
10	0,15	0,0045	0,96	0,143	0,9	0,95	0,9	0,110	32,27
42	0,15	0,0045	0,81	0,122	0,9	0,95	0,9	0,094	28,02
45	0,15	0,0045	0,80	0,120	0,9	0,95	0,9	0,092	28,52
60	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,084	26,53
65	0,15	0,0045	0,71	0,106	0,9	0,95	0,9	0,082	26,25
70	0,15	0,0045	0,69	0,103	0,9	0,95	0,9	0,079	26,46
60	0,15	0,0045	0,73	0,110	0,9	0,95	0,9	0,084	25,87
57	0,15	0,0045	0,74	0,112	0,9	0,95	0,9	0,086	24,65
50	0,15	0,0045	0,78	0,116	0,9	0,95	0,9	0,089	24,21
35	0,15	0,0045	0,84	0,126	0,9	0,95	0,9	0,097	23,63
37	0,15	0,0045	0,83	0,125	0,9	0,95	0,9	0,096	23,17
40	0,15	0,0045	0,82	0,123	0,9	0,95	0,9	0,095	23,05

Çizelge Ek A.61. Soğutmalı güneş paneli modül verimi ve güç değerleri.

15.05.2016(Parafinli panel)				
Saat	Parafinli panel (W/m ²)	Parafinli panel sıcaklığı (°C)	Modül verimi (%)	Parafinli panel güç(W)
11:30	2650	35	11,02	32,27
12:00	2710	67	9,36	28,02
12:30	2805	70	9,21	28,52
13:00	2850	85	8,43	26,53
13:30	2910	90	8,17	26,25
14:00	3030	95	7,91	26,25
14:30	2780	85	8,43	26,46
15:00	2600	82	8,58	25,87
15:30	2450	75	8,95	24,65
16:00	2200	60	9,72	24,21
16:30	2180	62	9,62	23,17
17:00	2205	65	9,46	25,05

Çizelge Ek A.62. Yoğunlaştırıcısız panellerin sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.

16.05.2016 (Yoğunlaştırıcısız iki panelin sıcaklık karşılaştırması)				
Saat	Işınım (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı (C°)	Parafinli panel sıcaklığı (C°)	Ortam sıcaklığı(C°)
10:00	1130	45	38	23
10:30	1150	53	45	24
11:00	1200	52	40	25
11:30	1180	50	43	22
12:00	1190	56	57	23
12:30	1080	46	45	25
13:00	1120	64	60	30
13:30	1145	55	51	28
14:00	1130	60	52	33
14:30	1146	34	47	32
15:00	1200	55	45	31
15:30	1153	61	45	30
16:00	1167	59	46	27
16:30	1098	56	43	25
17:00	1060	50	38	23

Çizelge Ek A.63. Yoğunlaştırıcısız panellerin sıcaklıklarının karşılaştırılması.

20.05.2016 (Yoğunlaştırıcısız iki panelin sıcaklık karşılaştırması)				
Saat	Işınım (W/m ²)	Soğutmasız panel sıcaklığı (C°)	Parafinli panel sıcaklığı (C°)	Ortam sıcaklığı(C°)
10:00	1140	47	28	17
10:30	1150	46	37	21
11:00	1157	57	42	22
11:30	1170	60	38	23
12:00	1200	54	48	24
12:30	1190	43	34	25
13:00	1195	48	40	24
13:30	1230	50	45	25
14:00	1200	45	38	26
14:30	1192	51	47	26
15:00	1211	52	45	26
15:30	1190	52	48	26
16:00	1116	53	50	25
16:30	1175	54	49	26
17:00	1096	50	51	25

ÖZGEÇMİŞ

Banu BOLAT, 10.04.1985 tarihinde Çorum'un merkezinde doğdu. 1988 yılında Ankara'da yaşamaya başladı. İlkokulu ve ortaokulu; Gazneliler İlköğretim Okulunda, liseyi ise Etimesgut Mehmetçik Lisesinde tamamladı.

2008 yılında Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Bölümü, Tesisat Öğretmenliğini kazandı.

2012 yılında Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Eğitimi Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Yavruturna Mahallesi
Bahabey Caddesi
Ayça Apartmanı No:144/4
ÇORUM/MERKEZ

Tel : (506) 595 7826
E-posta : banubolat_19@hotmail.com