

**T.C.  
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TUNCELİ'DE GÜNEŞ KAYNAKLI ELEKTRİK ÜRETİMİ VE  
KULLANIMININ TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİNİN TEORİK  
OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Cihad FİDAN**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**

**DANIŞMAN  
Yrd. Doç.Dr. Fevzi GÜLÇİMEN**

**TUNCELİ-2014**

T.C.  
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENERJİ ANABİLİM DALI

TUNCELİ'DE GÜNEŞ KAYNAKLI ELEKTRİK ÜRETİMİ VE  
KULLANIMININ TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİNİN TEORİK  
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cihad FİDAN  
(112107101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:26.12.2013  
Tezin Savunulduğu Tarih:08.01.2014

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Fevzi GÜLÇİMEN (TÜ)

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Oğuz TEKELİOĞLU (TÜ)

Yrd. Doç. Dr. Erdem IŞIK (TÜ)

Yrd. Doç. Dr. Yahya TAŞGIN (TÜ)

Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KISMET(TÜ)

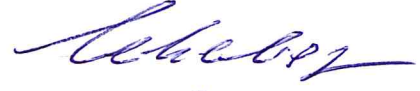
OCAK-2014

Cihad FİDAN tarafından hazırlanan ‘Tunceli’de Güneş Kaynaklı Elektrik Üretimi Ve Kullanımının Teknik Ve Ekonomik Analizinin Teorik İncelenmesi’’ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

**Yrd. Doç.Dr. Fevzi GÜLÇİMEN**  
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Enerji Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. Bu tez, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

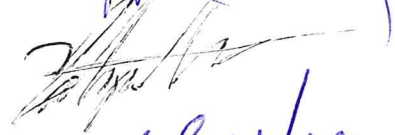
**Başkan** : Doç. Dr. Oğuz TEKELİOĞLU (T.Ü)



**Üye** :Yrd. Doç. Dr. Erdem IŞIK (T.Ü)



**Üye** :Yrd. Doç. Dr. Yahya TAŞGIN (T.Ü)



**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Fevzi GÜLÇİMEN (T.Ü)



**Tarih:**26.12.2013

## İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET .....	V
SUMMARY .....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ .....	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ .....	1
<b>2. ENERJİ KAYNAKLARI.....</b>	<b>3</b>
2.1. Birincil Enerji Kaynakları .....	3
2.1.1. İkincil Enerji Kaynakları .....	3
2.1.2. Yenilenemez Enerji Kaynakları .....	3
2.1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	4
2.1.4. Rüzgâr Enerjisi.....	4
2.1.5. Jeotermal Enerji.....	5
2.1.6. Gelgit Ve Akıntı Enerjileri.....	6
2.1.7. Biyokütle Enerjisi.....	6
2.1.8. Hidrolik Enerji.....	7
2.1.9. Hidrojen Enerjisi .....	8
2.1.10 Türkiye'nin Enerji Talebi.....	10
<b>2. GÜNEŞ ENERJİSİ .....</b>	<b>15</b>
2.2.1. Güneş Enerjisi Tarihi .....	15
2.2.2. Güneş.....	19
2.2.3. Isıl Güneş Teknolojileri.....	26
2.2.4. Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Sistemleri .....	26

2.3.	Yarı İletkenlerin Özellikleri .....	27
2.3.1.	Yarı iletkenler.....	28
2.3.2.	Bant Yapısı .....	29
2.3.3.	Madde yapısı .....	29
2.3.4.	Enerji Bantları .....	30
2.3.5.	İletkenlerin enerji bant modeliyle incelenmesi .....	33
2.3.6.	Yalıtkanların Enerji Bant Modeliyle İncelenmesi.....	33
2.3.7.	Yarı iletkenlerin enerji bant modeliyle incelenmesi .....	34
2.3.8.	N tipi yarı iletken.....	37
2.3.9.	P Tipi Yarı İletken.....	38
2.3.10.	P – N kavşağı.....	39
2.3.11.	Yarıiletken Türleri.....	41
2.3.12.	Güneş Pili Eşdeğer Şeması.....	43
2.3.13.	Yarıiletken Güneş Pillerinde Kullanılan Malzemeler .....	46
2.4.	Güneş Pilleri Çeşitleri .....	47
2.4.1.	P-N Homoeklemlili Güneş Pilleri .....	47
2.4.1.1.	Silisyum güneş pilleri.....	48
2.4.1.2.	Galyum Arsenik Güneş Pilleri .....	50
2.4.2.	P-N-Heteroeklemlili Güneş Pilleri.....	52
2.4.2.1.	Kadmiyum Sülfür-Bakır Sülfür Güneş Pilleri.....	53
2.4.2.2.	Kadmiyum Sülfür-Bakır İndium Diselenit Güneş Pilleri.....	54
2.4.2.3.	Bakır Sülfür-Çinko Kadmiyum Sülfür Güneş Pilleri .....	54
2.4.2.4.	Kadmiyum Sülfür-Silisyum Güneş Pilleri .....	54
2.4.2.5.	Kadmiyum Sülfür-Kadmiyum Tellür Güneş Pilleri.....	55
2.4.3.	Amorf Silisyum Güneş Pilleri .....	55
2.4.4.	Güneş Pillerinin P-N Eklem Yapısına Göre Sınıflandırılması.....	57

2.4.5.	Gelişim Sırasına Göre Fotovoltaik Güneş Pilleri .....	57
2.4.6.	Anorganik Silikon Güneş Pilleri .....	58
2.4.7.	Organik Güneş Pilleri.....	59
2.4.8.	Boya Bazlı Güneş Pilleri .....	61
2.4.9.	Güneş Pili'nin Çalışmasını Etkileyen Dış faktörler .....	62
2.4.9.1.	Sıcaklığın Etkisi .....	62
2.4.9.2.	Yüzey Parametresinin Etkisi .....	63
2.4.9.3.	Foto Açısasal Etki.....	64
2.5.	Güneş Pilleri.....	65
2.5.1.	Güneş Pili Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları .....	68
2.5.2.	Fotovoltaik Sistemin Genel Bölümleri.....	69
2.5.3.	Fotovoltaik Teknolojisinin Uygulama Alanları .....	70
2.5.3.1.	Genel Uygulamalar .....	71
2.5.3.2.	Doğrudan Bağlanmış Fotovoltaik Sistem .....	71
2.5.3.3.	Tek Başına Uygulamalar .....	71
2.5.3.4.	Şebekeye Bağlı Sistemler.....	71
2.5.3.5.	Hibrit Bağlı Sistemler.....	72
2.5.3.6.	Günlük Uygulamalara Örnekler .....	72
2.5.3.7.	Uzay uygulamaları .....	72
2.5.4.	Fotovoltaik Hücrelerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler .....	73
2.5.5.	Fotovoltaik Sistemler .....	75
2.5.5.1.	Şebekeye Bağlı Sistemin Avantajları .....	78
2.5.5.2.	Şebekeye Bağlı Sistemin Dezavantajları.....	78
2.5.5.3.	Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemler .....	79
2.5.5.4.	CPV Modüllerin Düzlemsel Pv'lerden Üstünlükleri .....	80
2.5.6.	Pv Sistemlerde Kullanılan Elemanlar .....	81

2.5.6.1. PV Sistemlerde Aküler.....	81
2.5.6.2. Temel özellikler.....	82
2.5.6.3. Akü İşletimini Geliştirmek İçin Yapılabilecek Çalışmalar .....	82
2.5.6.4. Akü Ömrünü Arttırmak İçin Yapılması Gerekenler.....	83
2.5.7. Fotovoltaik Levhalar (Paneller) .....	83
2.5.8. Regülatör .....	84
2.5.8.1. Zener Diyot İle Regülasyon .....	84
2.5.8.2. Paralel Regülatör .....	84
2.5.8.3. Seri Regülatör.....	84
2.5.8.4. Süreksiz Çalışan Şarj-Deşarj Regülatörü .....	85
2.5.9. İnverter .....	86
2.5.9.1. Kare Dalga İnverter .....	86
2.5.9.2. Değiştirilmiş Sinüs Dalgası İnverter .....	86
2.5.9.3. Sinüs Dalgası İnverter .....	86
2.6. Güneş Pili Sistemlerinin Ekonomisi .....	86
2.6.1. Verim.....	86
2.6.2. Yatırım Maliyeti .....	86
2.6.3. Modül Ömrü.....	87
2.7. Güneş Pili Sistemlerinin Ekonomisi .....	87
2.8. Literatür Taraması .....	90
2.9. Tunceli Optimum Global Güneş Radyasyon Değerleri .....	95
<b>3. MATERYAL VE METOD .....</b>	<b>98</b>
<b>4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>99</b>
4.1. Tunceli Aylık Ortalama Global Güneş Radyasyon Değerleri.....	102
4.2. Tunceli Photovoltaik Tipi-Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi.....	103
4.3. Grafik Güneş Radyasyon Değerleri (Aralık - Ocak).....	112

4.4.	Tunceli de Fotovoltaik „Kristalin Silikon“-Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi...	136
4.5.	Tunceli de Fotovoltaik „İnce Bakır Film Şerit“ -Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi .....	140
4.6.	Tunceli İlinin Merkez İlçeleri Hozat, Pülümür, Nazımiye, Mazgirt,Ovacık, Pertek Ve Çemişgezek de Global Güneş Radyasyon Değerleri. ....	144
<b>5.</b>	<b>ÖNERİLER</b> .....	<b>151</b>
	<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>152</b>



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 2.1. Türkiye Rüzgar Atlası .....	5
Şekil 2.2. Türkiye’de Aktif Tektonik Hatlar ve Sıcak Su Kaynaklarının Dağılımı .....	6
Şekil 2.3. Dünya Birincil Enerji Tüketimi Kaynaklar Bazında (%), 2010 .....	10
Şekil.2.4. 1878 yılına ait bir çanak reflektör .....	17
Şekil. 2.5. Frank Shuman’ın güneş enerjisi ile su pompasını çalıştırması .....	18
Şekil 2.6. Atmosfere gelen güneş ışığı .....	21
Şekil. 2.7. Güneşten atmosfere gelen enerjinin aylara göre değişimi .....	23
Şekil.2.8. Yeryüzü yıllık ısınım dağılımı .....	23
Şekil 2.9. Türkiye güneş haritası .....	26
Şekil 2.10. Yalıtılmış durumdaki bir atomun enerji seviyelerinin şematik gösterimi .....	29
Şekil 2.11. Silisyum ve Germanyum atomları .....	30
Şekil 2.12. Dış elektronlarına ait enerji seviyeleri belirtilmiş iki atomun gösterimi .....	31
Şekil 2.13. İki atomun birbirine yakın olduğu andaki enerji seviyesi diyagramı .....	31
Şekil 2.14. Kristal bir yapıda oluşan valans bandı, iletkenlik bandı ve yasak bandı .....	32
Şekil 2.15. Genel olarak tipik bir yarı iletkenin enerji bant diyagramı .....	32
Şekil 2.16. İletkenlerde enerji bant modelinin gösterilmesi .....	33
Şekil 2.17. Yalıtkanlarda enerji bant modelinin şematik gösterimi .....	34
Şekil 2.18. Yarıiletkenlerde enerji bant modelinin şematik gösterimi .....	35
Şekil 2.19. Enerji Bandları .....	36
Şekil 2.20. Elektronların çekirdekten uzaklıklarına göre enerji seviyeleri .....	37
Şekil 2.21. N Tipi Yarı İletken .....	38
Şekil 2.22. P Tipi Yarı İletken .....	38
Şekil 2.23. P – N Kavşağının Oluşum .....	39
Şekil 2.24. P – N Kavşağı ve İç Akım .....	40
Şekil 2.25. P – N Kavşağında Enerji Bandı .....	41
Şekil 2.26. Termal denge durumunda p-n eklemesinin enerji bant diyagramı .....	40
Şekil 2.27. Yarıiletkenlerde gerçekleşen temel geçişlerin şematik gösterimi .....	42
Şekil 2.28. Güneş Pili .....	44

Şekil 2.29. P – N kavşağının oluşturulması ve kavşağa düşen foton enerjisi ile iletkenlik temini .....	44
Şekil 2.30. Güneş Pili Eşdeğer Elektrik Şeması.....	44
Şekil 2.31. Bir Güneş Pilinin Eş Değer Devresi.....	45
Şekil 2.32. İdeal Bir Fotovoltaik Güneş Pilinin Eşdeğer Devresi .....	46
Şekil 2.33. Güneş pili yapısının şematik gösterimi .....	49
Şekil 2.34. Yansımayı Önleyici Piramit Yapılı Tabaka .....	50
Şekil 2.35. Czochralski Yöntemiyle mono kristalli Silisyum Üretimi .....	51
Şekil 2.36.Czochralski Monokristal ve Polikristal Silisyum Üretimi .....	52
Şekil 2.37.Anorganik pilin yan kesiti .....	58
Şekil 2.38. Kitap sayfası gibi ince ve esnek bir güneş pili .....	60
Şekil 2.39.Organik Güneş Pili .....	60
Şekil 2.40.Boya bazlı güneş pilinin işleyişi ve yapısı .....	61
Şekil 2.41. Güneş pilinin genel bir gösterimi .....	66
Şekil 2.42. Fotovoltaik Dönüşüm Sistemi .....	66
Şekil 2.43. Fotovoltaik gruplar .....	67
Şekil 2.44. Fotovoltaik Pilin Yapısı .....	67
Şekil 2.45.Fotovoltaik Pil Eşdeğer Elektrik Devresi .....	68
Şekil 2.46.Fotovoltaik Dönüşüm Sistemi .....	68
Şekil 2.47. Güneş pili, modül ve panele ait görünüm .....	70
Şekil 2.48. Yoğunlaştırıcılı fotovoltaik panel ve fotovoltaik panelli bir uydu .....	73
Şekil 2.49. Fotovoltaik pilin yapısı .....	74
Şekil 2.50. Şebekeden bağımsız bir fotovoltaik .....	76
Şekil2.51. Şebeke bağlantılı .....	77
Şekil 2.52. Cpv Sistemi .....	80
Şekil 2.52. Dünyada PV kurulu gücü .....	81

Şekil 2.53. Akü .....	81
Şekil 2.54. Fotovoltaik Levhalar (Paneller) .....	83
Şekil 2.55. Dünya üzerindeki fotovoltaik Pazar .....	88
Şekil 2.56. Dünya üzerindeki fotovoltaik pil üreticileri .....	88
Şekil 2.57. Dünya üzerindeki fotovoltaik modül üreticileri .....	89
Şekil 2.58. PV/T ve PV'nin birlikte uygulanabilirliği .....	92
Şekil 2.59. Güneş enerjisi ile elektrik üretimi yapan tipik bir ev .....	93
Şekil 2.60. CSP tesisleri için en umut verici alanlar .....	95
Şekil 2.61. Tunceli için güneş enerji çizelgesi .....	96
Şekil 2.62. Yıllık güneş ışınımı .....	97
Şekil 4.1. Aylık Üretilebilecek Güneş Enerjisi (kWh-Ay).....	105
Şekil 4.2. Aylık Üretilebilecek Güneş Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> -Ay).....	106
Şekil 4.3. Horizont ve Azimut (Doğu = -90 Derece, Güney = 0 Derece, Batı = + 90 Derece) .....	107
Şekil 4.4. Günlük üretilebilecek Güneş Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> -Gün).....	108
Şekil 4.5. Ortalama Aylık Üretilebilecek Elektrik Enerjisi (kWh-Ay) .....	109
Şekil 4.6. Toplam Aylık ortalama Üretilebilecek Elektrik Enerjisi .....	109
Şekil 4.7. Ortalama Aylık Üretilebilecek Elektrik Enerjisi (kWh-Ay) .....	110
Şekil 4.8. Ortalama aylık Global Güneş Radyasyon Değerleri (kWh/m <sup>2</sup> -Ay) .....	111
Şekil 4.9. Horizont(Grad=derece),Güneşin konumu.....	111
Şekil 4.10. İki eksenli Doğu-Batı ve Azimut, Açık gökyüzü.....	112
Şekil 4.11. Global Radyasyon Değerleri (W/h), Açık gökyüzü.....	113
Şekil 4.12. Açık = 30 Derece, Azimut= 0 Derece, Açık gökyüzü .....	114
Şekil 4.12. İki eksenli Doğu-Batı ve Azimut, Açık gökyüzü.....	115
Şekil 4.13. Açık = 30 Derece, Azimut= 0 Derece, Açık gökyüzü .....	116
Şekil 4.14. İki eksenli Doğu-Batı ve Azimut, Açık gökyüzü.....	117
Şekil 4.15. Açık = 30 Derece, Azimut= 0 Derece, Açık gökyüzü .....	118
Şekil 4.16. İki eksenli Doğu-Batı ve Azimut, Açık gökyüzü .....	119

Şekil 4.17. Açık gökyüzü	120
Şekil 4.18. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü	121
Şekil 4.19. Açık gökyüzü	122
Şekil 4.20. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü	123
Şekil 4.21. Açık gökyüzü	124
Şekil 4.22. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü	125
Şekil 4.23. Açık gökyüzü	126
Şekil 4.24. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü	127
Şekil 4.25. Açık gökyüzü	128
Şekil 4.26. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü	129
Şekil 4.27. Açık gökyüzü	130
Şekil 4.28. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü	131
Şekil 4.29. Açık gökyüzü	132
Şekil 4.30. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü	133
Şekil 4.31. Açık gökyüzü	134
<b>Şekil 4.32. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü</b>	<b>135</b>

## TABLolar LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 2.1.Yenilenebilir Kaynaklara Dayalı Lisans işlemleri .....	4
Tablo 2.2.Türkiye Rüzgar Potansiyeli.....	5
Tablo 2.3.Biyoyakıt Sektörü.....	7
Tablo 2.4.Hidrolik Enerjide Gelişme Durumu .....	8
Tablo 2.5.Dünya yenilenebilir elektrik üretimi .....	8
Tablo 2.6. Dünya yenilenebilir elektrik kapasitesi .....	9
Tablo 2.7. 2012 yılı itibari ile PV Üretimi ve kapasiteleri .....	9
Tablo 2.8. Kişi Başına Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi.....	10
Tablo 2.9. Türkiye elektrik üretiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı .....	11
Tablo 2.10. Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar itibari ile Gelişimi .....	12
Tablo 2.11. İşletmeye giren ve İşletmeden çıkarılan tesisler .....	13
Tablo 2.12.Türkiye'nin Kurulu gücü.....	14
Tablo 2.13.Çeşitli gökyüzü durumları için toplam ışınım ve bu toplam ışınımda yayılmış ışınım oranları.....	23
Tablo 2.14.Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli .....	24
Tablo 2.15.Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin .....	24
Tablo 2.16. Bazı yarıiletken enerji bant aralığının sıcaklıkla değişimi.....	62
Tablo 2.17. GaAs güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi .....	62
Tablo 2.18. Silisyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi .....	63
Tablo 2.19. Germanyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi.....	63
Tablo 2.20. Güneş piline ışığın spektral etkisi .....	64
Tablo 2.21.Güneş pili verimlilikleri .....	65
Tablo 2.22. PV sistemde kullanılan malzemelerin verimleri .....	75
Tablo 2.23. 2008-2012 yılları arasındaki fotovoltajik pil üretimindeki dalgalanma.....	89
Tablo 4.1 PV sistemin maliyet hesabı .....	100
Tablo 4.2. Tunceli İçin Yıllık Radyasyon Değerleri .....	102
Tablo 4.3. Pv Sistem Sabit .....	103
Tablo 4.4. 2-Eksenli PV sistem .....	104

Tablo 4.5. Optimum Aç1 = 30°, Azimut: Güney = 0° .....	136
Tablo 4.6. Optimum Aç1 = 30°, Azimut: Batı = 90° .....	137
Tablo 4.7. Optimum Aç1 = 30°, Azimut: Doğu =- 90°.....	138
Tablo 4.8. Optimum Aç1 = 30°, Azimut: Kuzey =180° .....	139
Tablo 4.9. Optimum Aç1 = 30°, Azimut Güney =0° .....	140
Tablo 4.10. Optimum Aç1 = 30°, Azimut Batı =90° .....	141
Tablo 4.11. Optimum Aç1 = 30°, Azimut Doğu =-90°.....	142
Tablo 4.12. Optimum Aç1 = 30°, Azimut Kuzey =180°.....	143
Tablo 4.13. Hozat PV Tipi Alanda Üretilbilecek Elektrik Enerjisi.....	144
Tablo 4.14. Pülümür Pv Tipi Alanda Üretilbilecek Elektrik Enerjisi.....	145
Tablo 4.15. Nazımiye Pv Tipi Alanda Üretilbilecek Elektrik Enerjisi.....	146
Mazgirt PV Tipi Alanda Üretilbilecek Elektrik Enerjisi .....	147
Tablo 4.16. Ovacık Pv Tipi Alanda Üretilbilecek Elektrik Enerjisi.....	148
Tablo 4.17. Pertek Pv Tipi Alanda Üretilbilecek Elektrik Enerjisi .....	149
Tablo 4.18. Çemişgezek Pv Tipi Alanda Üretilbilecek Elektrik Enerjisi.....	150

## SEMBOLLER LİSTESİ

<b>W</b>	: Watt
<b>kW</b>	: Kilowatt
<b>MW</b>	: Megawatt
<b>kWh</b>	: Kilowattsaat
<b>Si</b>	: Silisyum
<b>Ge</b>	: Germenyum
<b>Ga</b>	: Galyum
<b>Cd</b>	: Kadmiyum
<b>Te</b>	: Tellür
<b>CuInSe</b>	: Bakır indium selenoid
<b>eV</b>	: Elektron Volt
<b>lm</b>	: Lümen
<b>hf</b>	: Foton enerjisi
<b>pv</b>	: Fotovoltaik(photovoltaic)
<b>% n</b>	: Verim
<b>nm</b>	: Nanometre
<b>Kcal</b>	: Kilokalori
<b>°K</b>	: Kelvin
<b><math>\alpha</math></b>	: Soğurma katsayısı
<b>n1, n2</b>	: Kırıcılık indisleri
<b>k1,k2</b>	: Yok olma katsayıları
<b>DMİ</b>	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
<b>EİE</b>	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>TMMOB</b>	: Türkiye Mühendis ve Mimarlar Odası Birliği
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>AC</b>	: Alternative Current (Alternatif Akım)
<b>BOTAS</b>	: Boru Hatları ile Petrol Tasıma Anonim Şirketi
<b>BTEP</b>	: Bin Ton Eşdeğeri Petrol

<b>DC</b>	: Direct Current (Direkt Akım)
<b>DMİ</b>	: Devlet Meteoroloji İşleri
<b>DOE</b>	: Department Of Energy (Amerikan Enerji Bakanlığı)
<b>DSİ</b>	: Devlet Su İşleri
<b>DTM</b>	: Dış Ticaret Müsteşarlığı
<b>EİE</b>	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
$E_g$	: Yasak bant aralığı
$E_{g0}$	: 0 ° C sıcaklıkta yasak bant genişliği
<b>EH</b>	: Hidrojen atomunun iyonlaşma enerjisi
<b>EJ</b>	: Eksajoule
$E_v$	: Valans bandının en üst enerji seviyesi
<b>eV</b>	: elektronvolt
$eV_d$	: p-n eklemının geçiş bölgesindeki potansiyel engeli
$E_{yap}$	: Yapısal elektrik alan
<b>f(E)</b>	: Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu
<b>FF</b>	: Fill Faktörü
<b>FF<sub>0</sub></b>	: Seri ve şönt direncinin olmadığı durumda güneş pilinin fill faktörü
$F_v$	: Voltaj faktörü
<b>GAP</b>	: Güneydoğu Anadolu Projesi
<b>GSYİH</b>	: Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla
<b>GW</b>	: Giga-vat = $10^9$ W
<b>GWh</b>	: Gigavat saat
<b>IEA</b>	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
<b>KW</b>	: Kilovat = $10^3$ W
<b>KWh</b>	: Kilovat saat
<b>LNG</b>	: Likit Doğal Gaz
<b>MÖ</b>	: Milattan Önce
<b>MJ</b>	: Milyon Joule
<b>MTA</b>	: Maden Tetkik Arama Enstitüsü
<b>OECD</b>	: Organisation of Economic Cooperation and Development
<b>OPEC</b>	: Organisation of Petrol Export Countries
<b>ÖTV</b>	: Özel Tüketim Vergisi



<b>PV</b>	: Photovoltaic (Fotovoltaik Güneş Pilleri)
<b>RESSİAD</b>	: Rüzgar Enerjisi ve Su Santralleri İşadamları Derneği
<b>TC</b>	: Türkiye Cumhuriyeti
<b>TMSF</b>	: Tasarruf Mevduatı Sigorta Fonu
<b>TPAO</b>	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
<b>TÜSİAD</b>	: Türkiye Sanayici ve İşadamları Derneği
<b>TW</b>	: Terra-vat =1012 W
<b>USD</b>	: United States Dolar (Amerikan Doları)
<b>VW</b>	: Volkswagen
<b>WEC</b>	: World Energy Council (Dünya Enerji Konseyi)
<b>YGS</b>	: Yoğunlaştırıcı Güneş Sistemleri
<b>Yy.</b>	: Yüzyıl
<b>G</b>	: Elektron-hol çifti oluşum hızı
<b>h</b>	: Planck sabiti
<b>hk</b>	: Momentum
<b>N</b>	: Foton akısı
<b>MTEP</b>	: Milyon Ton Eşdeğeri Petrol
<b>MW</b>	: Mega-vat = 106 W

<b>Hh</b>	: Yatay-Horizontal seviyesine düşen Radyasyon Değerler (Wh/m <sup>2</sup> /Gün)
<b>Hopt</b>	: Optimum Azimut meğil üzerinden Radyasyon Değerler (Wh/m <sup>2</sup> /Gün)
<b>H(90)</b>	: Açı 90 derece de alana düşen Radyasyon Değerler (Wh/m <sup>2</sup> /Gün)
<b>Iopt</b>	: Optimum eğim Açı: 30° (Derece)
<b>T L</b>	: Linke-Trübheit/ Gökyüzü yoğunluğu (-)
<b>D/G</b>	: Orantılı olarak muğlak ve global Radyasyon (-)
<b>TD</b>	: Ortalama gündüz sıcaklığı (°C)
<b>T24h</b>	: 24-Saat Ortalama gündüz sıcaklığı (°C)
<b>NDD</b>	: Sayısal olarak ısıtmaya ihtiyaç duyulan (-)
<b>Ed</b>	: ortalama olarak üretilebilecek günlük Güneş Enerjisi (kWh)
<b>Em</b>	: ortalama olarak üretilebilecek aylık Güneş Enerjisi (kWh)
<b>Hd</b>	: toplam ortalama olarak m <sup>2</sup> üzerine düşen günlük Global Güneş Radyasyon değerleri (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>Hm</b>	: toplam ortalama olarak m <sup>2</sup> üzeri Fotovoltaik Güneş Panelinde üretilebilecek Global Güneş Radyasyon değerleri (kWh/m <sup>2</sup> )

## ÖNSÖZ

Yaptığımız çalışmada, Tunceli’de Güneş Kaynaklı Elektrik Üretimi Ve Kullanımının Teknik Ve Ekonomik Analizinin Teorik Olarak İncelenmesi ele alınmıştır. Bu çalışmanın gerçekleşmesinde; değerli katkılarından dolayı Danışman Hocam Sayın Yrd. Doç.Dr. Fevzi GÜLÇİMEN’e, Yardımlarını esirgemeyen tüm kadim dostlarıma ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Cihad FİDAN  
TUNCELİ-2014

## ÖZET

Bu çalışmada, Tunceli ilinde güneş enerjisi fotovoltaik (PV) sisteminden üretilen elektrik enerji miktarı 1 yıl boyunca ölçülmüştür. Ölçümler aylık, günlük ve gün içerisinde saatlere bağlı olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda sabit ve 2 eksenli fotovoltaik sistem karşılaştırılmıştır.

Aylık bazda değerlendirmeler sonucunda hem sabit hemde 2 eksenli fotovoltaik sistemden temmuz ayında en iyi değer elde edilmiştir. Elde edilen veriler saatlik bazda incelendiğinde, kış mevsimi haricinde en iyi değerlerin saat 10:00-14:00 arasında olduğu, kış mevsiminde ise saat 11:00-12:00 arasında olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak yapılan hesaplamalarda 2 eksenli fotovoltaik PV sistemi, sabit PV sistemine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi, Fotovoltaik Sistem, PV ile Elektrik Üretimi, Tunceli İli için Fotovoltaik.

## SUMMARY

In this study, in the province of Tunceli solar photovoltaic (PV) system of electricity produced from a energy amount was measured for 1 year. measurements month, day and days are calculated depending on hours. calculation of fixed and two-axis photovoltaic systems were compared.

As a result of evaluations on a monthly basis in both fixed and two-axis photovoltaic system in July of the best value was obtained. When analyzed on an hourly basis of the data obtained during the winter season than the best values to occur between 10:00-14:00, 11:00-12:00 in winter were formed of.

In calculations made as a result of two-axis photovoltaic PV systems, PV systems based on fixed yielded better results.

**Key Words:** Solar Energy, Photovoltaic System, Electricity Generation with PV, Photovoltaic for Tunceli City.

## 1.GİRİŞ

Enerjiye olan gereksinim dünya var olduğundan beri süregelen bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsanlık tarihi boyunca tüketimin olması için üretimin olması gerektiği üretiminde olması için de enerjinin olması aşikârdır. Fosil kökenli yakıtların tabiata, doğaya, çevreye ve bunlara paralel olarak sağlığınıza verdiği zararlar göz önüne alındığında alternatif enerji kaynaklarına yönelmemiz gerektiği sonucuna varmaktayız. Son yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde güneş kökenli enerji kaynaklarının kullanılması ve araştırılması bağlamında büyük bir atılım içine girilmiştir. Bunun en büyük nedenleri arasında yenilenemez enerji kaynaklarının tükenmez bir kaynak olmadığı sonucu gereği yenilenebilir enerji kaynaklarına önem verilmiştir. Kyoto protokolünde belirtilen karbondioksit, kükürthekzaflorid, diazotmonoksit, perflorokarbonlar, hidroflorokarbonların küresel ısınmaya yol açan sera gazlarının azaltılması gerektiği hususu ile atık malzemelerin geri dönüşümünün ve depolanmasının zorlukları dikkate alınmalıdır. Çevresel kirliliğin oluşması, küresel ısınma ve bunun neticesinde atmosferik olayların değişkenliğiyle meydana gelebilecek zararlar ve asit yağmurlarının oluşması, canlı metabolizmasına olan zararları, ağır metallerin salınımı neticesinde ölümcül sorunlar meydana gelir. Tabiat, nehirler, göller, denizler ve okyanuslar da bulunan canlı popülasyonlarının ve ekosistemin bozulması ve yok olması tehlikesi karşısında alınacak en büyük tedbir, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektir. Güneş enerjisi bakımından hatırı sayılır bir potansiyele sahip olan ülkemizde şuan itibari ile teknik olarak hak ettiğimiz konumda değiliz. Ama dünya genelinde de büyük devletler dışında bu konuya eğilen ülkelerin sayısı da az bulunmaktadır. Bu konuda Akademik düzeyde yapılacak çalışmalar neticesinde bilim insanlarının konuyu ele alması ve daha aktif rol alması gerekliliği ortaya çıkmıştır. En son bilimsel bilgiler neticesinde güneş enerji sistemlerinin kurulum maliyetlerinin yüksek olması, elde edilen verimlerin ve kapasitelerinin düşük olması sebebiyle cazibesini tam olarak elde edememiştir. Yapılacak olan bilimsel atılımlar ile bu sorununda aşılabileceğini öngörmekteyiz. Güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için fotovoltaik sistemler (güneş pili sistemi) kullanılır. Bu sistemlerin bazılarında güneş izleme düzenekleri ve elektronik aksanlı güç dönüştürücüleri kullanılarak en yüksek güneş enerjisinden yararlanılır.

Güneş enerjisinin kullanıldığı güneş elektrik santralleri; güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren güneş hücreleri (solar cells) giderek yaygın kullanım alanı kazanmaktadır.

Enerji kaynakları özelliklerinin değiştirilip değiştirilmemesi açısından ‘birincil’ ve ‘ikincil’ enerji kaynakları olarak bir ayrıma tabi tutulabilirler. Birincil enerji kaynakları, doğada buldukları biçimden bir değişikliğe uğramaksızın kullanılabilen kaynaklardır. İkincil enerji kaynakları ise birincil enerji kaynaklarının belli işlemlerden geçirilmesi ile meydana gelen enerji kaynaklarıdır( Berberoğlu,1982).

## **2.ENERJİ KAYNAKLARI**

Elde edilme biçimlerine göre enerji kaynaklarını şu şekilde sınıflandırabiliriz:

### **2.1.Birincil Enerji Kaynakları**

- a) Kömür
- b) Petrol ve Doğalgaz
- c) Nükleer Güç
- d) Tezek
- e) Odun
- f) Su Gücü

#### **2.1.1.İkincil Enerji Kaynakları**

- a) Odun Kömürü
- b) Kok ve Havagazı
- c) Elektrik Enerjisi diye ifade edebiliriz(Başol,1994).

Birleşmiş Milletler ise Enerji Kaynaklarını 'Yenilenemez Enerji Kaynakları ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları' şeklinde ifade etmektedir (Ersoy,1988).

#### **2.1.2.Yenilenemez Enerji Kaynakları**

- a) Kömür
- b) Linyit
- c) Petrol
- d) Doğalgaz
- e) Uranyum (Nükleer Yakıtlar)



### 2.1.3.Yenilenebilir Enerji Kaynakları

- 1) Rüzgâr Enerjisi
- 2) Jeotermal Enerji
- 3) Dalga Gücü
- 4) Biyoenerji (Biyokütle)
- 5) Su Gücü (Hidrolik)
- 6) Hidrojen Enerjisi
- 7) Güneş Enerjisi
- 8) Okyanus Akıntıları olarak sınıflandırmıştır.

Günümüzde enerji kaynakları fosil olan veya fosil olmayan enerji kaynakları şeklinde bir sınıflandırmada yapılmaktadır (ŞenZekai, 1996).

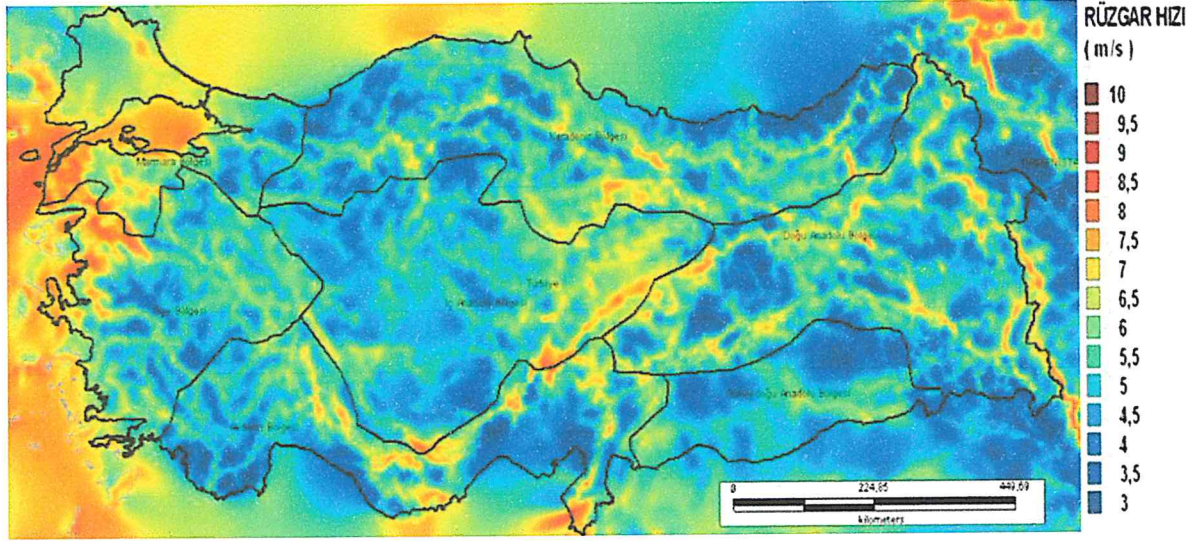
Tablo 2.1.Yenilenebilir Kaynaklara Dayalı Lisans işlemleri (ETKB, MMO,2012).

Yakıt / Kaynak Tipi	Başvuru		İnceleme-Değerlendirme		Uygun Bulunanlar		TOPLAM	
	Adet	Kurulu Güç (MW)	Adet	Kurulu Güç (MW)	Adet	Kurulu Güç (MW)	Adet	Kurulu Güç (MW)
Rüzgar	4	64,60	9	408,60	59	2.592,90	72	3.066,10
Jeotermal	6	110,00	8	225,95	1	24,00	15	359,95
Biyogaz	5	12,56	2	2,50	4	29,41	11	44,47
Biyokütle	7	79,73	3	40,00	4	19,45	14	139,18
TOPLAM	22	266,89	22	677,05	68	2.665,76	112	3.609,70

### 2.1.4.Rüzgâr Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en önemli kaynaklardan biri rüzgârdır. Çevreyi kirletici etkisinin olmaması, dünya genelinde bulunma potansiyelinin fazlalığından ötürü yararlanılması gereken enerji türlerinin başında yer alır. Rüzgâr türbini diye adlandırılan büyük pervaneli, yüksek kuleler yardımıyla rüzgâr enerjisi elektriğe dönüştürülür. Rüzgâr sayesinde elektrik üretimi elde edileceği gibi hidrojen üretimi de elde edilmektedir. Rüzgâr sayesinde elde edilen elektrik sayesinde su hidroliz edilerek oksijen ve hidrojen elementlerine dönüştürülür. 1990'larda kullanımı en hızlı şekilde artan bu

enerji Avrupa ve Amerika’da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu konuda Danimarka, Almanya ve ABD kurulu güç bakımından öncü ülkeler sayılır.



Şekil 2.1. Türkiye Rüzgar Atlası (MMO,2012).

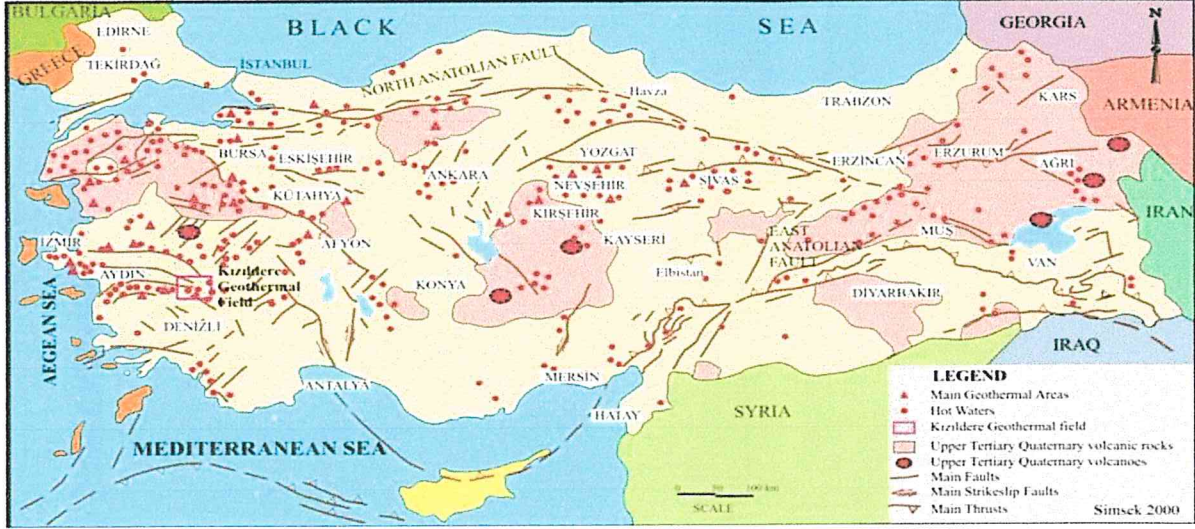
Tablo 2.2. Türkiye Rüzgar Potansiyeli(MMO,2012).

Rüzgar Kaynak Derecesi	Rüzgar Sınıfı	50 m'de Rüzgar Gücü Yoğ.(W/m <sup>2</sup> )	50 m'de Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan (km <sup>2</sup> )	Rüzgarlı Arazi Yüzdesi	Toplam Kurulu Güç (MW)
Orta	3	300 – 400	6,5 – 7,0	16 781,39	2,27	83.906
İyi	4	400 – 500	7,0 – 7,5	5 851,87	0,79	29.259,36
Harika	5	500 – 600	7,5 – 8,0	2 598,88	0,35	12.994,32
Mükemmel	6	600 – 800	8,0 – 9,0	1 079,98	0,15	5.399,92
Sıradışı	7	> 800	> 9,0	39,17	0,01	195,84
<b>Toplam</b>				<b>28.351,28</b>	<b>3,57</b>	<b>131.756,40</b>

### 2.1.5. Jeotermal Enerji

Yeryüzünün kabuğunda bulunan ısı Jeotermal enerji olarak adlandırılır. Yüzeğe çıkan sıcak su yardımıyla elde edilir. Eski çağlardan bu yana kullanılan kaplıcalar jeotermal enerjinin ilk kullanım alanlarıdır. Jeotermal enerjiden, kaynağın sıcaklığına bağlı olarak ısıtma uygulamalarında kullanılabilir ya da elektrik üretiminde yararlanır. Elektrik enerjisi üretilmek amacıyla yapılan santraller 20. yüzyılın başlarından itibaren kurulmaya başlanmıştır. Jeotermal enerji; kaynağın, dünya enerji tüketimine kıyasla çok büyük olması

nedeniyle ve kullanılan sıcak suyun reenjeksiyon ile tekrar yer altına verilmesi koşuluyla yenilenebilir enerjiler arasında sayılır.



Şekil 2.2. Türkiye’de Aktif Tektonik Hatlar ve Sıcak Su Kaynaklarının Dağılımı (MMO,2012).

Büyük su kütlelerine sahip olan okyanus ve denizlerden elde edilen dalga enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunmaktadır. Ancak yüksek kurulum maliyetleri, kurulumdan sonra bakım giderlerinin yüksekliği, korozyona maruz kalmaları ve su içerisinde bulunan aksanların yosun tutup çürümesi ile beraber, gelen akıntının düzensizliği ve farklı yönlerden gelme olasılığı sebebiyle enerji elde edilmesi zordur (URL-1, 2013).

### 2.1.6. Gelgit Ve Akıntı Enerjileri

Suyun yükselmesi sayesinde, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi sonucunda elde edilen enerji olarak adlandırılır. Gel-git olayının olduğu yerlerde bulunan koyların önüne çekilen setler sayesinde tutulan su, yükseklik farkı sayesinde türbinler vasıtasıyla elektrik elde edilir. Bu yöntemin en önemli dezavantajı ise, üretim süresinin altı ile on iki saat arasında olmasıdır. Deniz ve okyanuslardaki akıntıların kinetik enerjisinin, deniz tabanına yerleştirilen türbinler aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile akıntı enerjisi elde edilir (URL-1, 2013).

### 2.1.7.Biyokütle Enerjisi

Şeker kamışı, şeker pancarı, mısır, dallı darı, arpa, keten tohumu, ayçiçeği, kolza, soya fasulyesi gibi değişik bitki türlerin elde edilen bir enerji türüdür. Fosil kökenli yakıtlardan oluşan bağımlılığı azaltması, temiz olması sebebiyle biyokütle üretimi büyüyen bir endüstri haline gelmiştir. Biyoyakıtlar yapılarında muhafaza ettiği karbon, bitkilerin havadaki karbondioksiti parçalaması ile elde ettiği biyoyakıtların yakılması, dünya atmosferinde net karbondioksit artışına neden olmaz. Bundan dolayı biyoyakıtların kullanılması gerekmektedir. Enerji dışında yapı malzemesi kâğıt ve plastik üretiminde de kullanılır (URL-1, 2013).

Tablo 2.3.Biyoyakıt Sektörü (MMO,2012).

	Kurulu Kapasite	Tesis Sayısı	2010 Üretimi	Mevzuat
<b>BIYOETANOL</b>	149,5 milyon lt (TAPDK)	3 + 1 Konya Şeker Tarkim Tezkim Eskişehir Şeker Fb.	30 milyon lt'den az	Benzinle harmanlanan %2'lik dilim ÖTV'den muaf 2013'de %2 kullanım zorunluluğu 2014'de %3 kullanım zorunluluğu
<b>BIYODİZEL</b>	1 milyar lt (EPDK)	36 (Lisanslı) (Üretim yapan sadece 1 tesis)	9,5 milyon lt	Benzinle harmanlanan %2'lik dilim ÖTV'den muaf 2013'de %1 kullanım zorunluluğu 2014'de %2 kullanım zorunluluğu 2015'de % 3 kullanım zorunluluğu
<b>BIYOGAZ</b>	145,7 MW (EPDK)	27 (Çoğu çöp ve atık su tesisi)	88,4 MW (21 Aralık 2011)	Yerli ekipman katkı payı 13,3 \$ cent/kWh (10 yıl)

### 2.1.8.Hidrolik Enerji

Akışkanın hareketinden elde edilen enerjiye hidrolik enerji denir. Akışkan olarak su kullanılır (URL-1, 2013).

**Tablo 2.4.**Hidrolik Enerjide Gelişme Durumu ( URL-2, 2011)

Durumu	Adet	Kurulu Güç (MW)
İşletmede Olan	205	14.405,24
İnşa Halinde Olan	514	14.098,52
İl Etüt, Master Plan, Planlama ve Kati Projesi Hazır Olan	1222	47.087,34
Genel Toplam	1.941	75.571,10
Genel Toplam İçerisinde Tüzel Kişiler Tarafından Geliştirilen	1215	5.380
Genel Toplam İçerisinde 4628 Sayılı Kanun için DSİ ve EİE tarafından geliştirilen projeler	259	4.857

### 2.1.9.Hidrojen Enerjisi

Tabiatta tek başına bulunmayan hidrojenin ayrıştırılma safhasının yüksek maliyeti olmasının yanında, üretimi doğalgaz ve su gibi bileşiklerdeki hidrojenin açığa çıkması ile elde edilen hidrojen pillerine yakıt hücreleri de denmektedir. Bu yolla elde edilen enerjiye hidrojen enerjisi adı verilmektedir (URL-1, 2013).

Bu enerji kaynaklarının yanı sıra Güneş enerjisinden yararlanma safhasında Fotovoltaik sistemlerde ön plana çıkmıştır. Aşağıda gösterilen tablolarda dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen güç ve kapasite gösterilmektedir. Medium-Term Renewable Energy Market Report 2012 ve IEA PVPS Programme Report 2013 verilerine göre aşağıdaki tablolar elde edilmiştir.

**Tablo 2.5.** Dünya yenilenebilir elektrik üretimi (TWh).

	2005	% Total Gen	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Hydropower	3 018	16.5%	3 644	3 698	3 824	3 962	4 102	4 239	4 378
Bioenergy	198	1.1%	308	352	387	421	457	494	532
Wind	103	0.6%	447	527	617	705	807	927	1 065
Onshore	102	0.6%	434	509	591	672	765	868	985
Offshore	1	0.0%	12	18	26	33	43	58	80
Solar PV	4	0.0%	65	102	131	164	198	236	279
Solar CSP	1	0.0%	4	6	10	16	21	25	31
Geothermal	58	0.3%	71	73	75	78	82	87	91
Ocean	1	0.0%	1	1	1	1	1	1	1
<b>Total RES-E</b>	<b>3 381</b>	<b>18.4%</b>	<b>4 539</b>	<b>4 759</b>	<b>5 046</b>	<b>5 347</b>	<b>5 668</b>	<b>6 009</b>	<b>6 377</b>

**Tablo 2.6.** Dünya yenilenebilir elektrik kapasitesi (GW).

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Hydropower	1 033	1 067	1 103	1 142	1 184	1 223	1 263	1 302
Bioenergy	63	70	77	85	93	102	110	119
Wind	194	234	276	311	350	392	439	490
Onshore	191	230	270	303	339	378	420	464
Offshore	3	4	6	8	11	14	20	26
Solar PV	40	70	91	115	140	167	197	231
Solar CSP	1	2	3	4	7	8	9	11
Geothermal	11	11	11	12	12	13	14	14
Ocean	0	1	1	1	1	1	1	1
<b>Total RES-E</b>	<b>1 342</b>	<b>1 454</b>	<b>1 562</b>	<b>1 670</b>	<b>1 786</b>	<b>1 905</b>	<b>2 032</b>	<b>2 167</b>

2012 itibari ile aşağıda yeryüzünde yenilenebilir enerji kaynakları bazında güneş enerjisi yardımıyla fotovoltaik sistemlerin kapasitesi ve üretim miktarları verilmektedir.

**Tablo 2.7.** 2012 yılı itibari ile PV Üretimi ve kapasiteleri

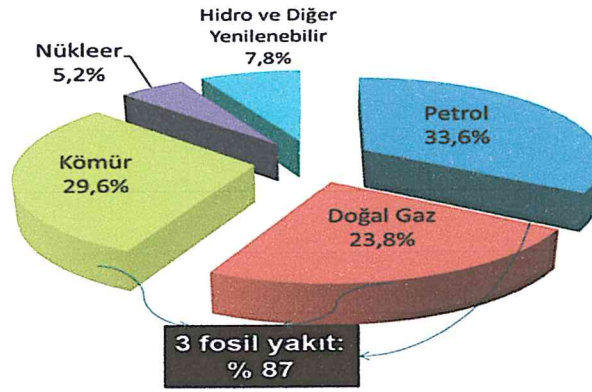
Country	Final Electricity Consumption in 2012	Installed PV capacity 31-12-2012	PV Installations in 2012	Theoretical PV Production with 2012 installed base	PV Contribution to Electricity Consumption
	GWh	MW	MW	GWh	%
Australia	229.000	2.400	1.000	2.900	1,23%
Austria	68.500	412	230	400	0,58%
Belgium	87.000	2.567	599	2.195	2,52%
Canada	504.800	765	268	360	0,17%
China	4.693.000	7.000	3.510	6.673	0,14%
Denmark	34.500	327	316	280	0,81%
France	479.000	4.003	1.079	3.750	0,78%
Germany	544.000	32.411	7.604	30.300	5,57%
Israel	45.600	237	43	310	0,68%
Italy	335.000	16.250	3.337	19.150	5,75%
Japan	859.700	7.000	2.000	6.600	0,77%
Korea	455.100	981	252	920	0,20%
Malaysia	95.000	25	22	34	0,04%
Mexico	203.800	52	15	33	0,04%
Netherlands	118.000	256	125	220	0,19%
Norway	122.000	9	0	7	0,01%
Portugal	50.500	223	66	310	0,61%
Spain	255.000	5.100**	223	7.115	2,79%
Sweden	139.000	24	3	19	0,01%
Switzerland	58.000	410	200	370	0,64%
Turkey	242.000	9	2	10	0,01%
UK	329.000	1.830	1.000	1.600	0,49%
USA	3.889.000	7.221	3.313	9.750	0,25%
Bulgaria	33.380	908	767	1015	3,05%
Czech Republic	63.000	2.085	113	1.930	3,07%
Greece	53.000	1.536	912	1.350	3,50%
India	637.600	1.205	980	2.115	0,33%
Slovakia	27.000	523	15	480	1,79%
Thailand	131.900	360	210	530	0,40%

## 2.1.10. Türkiye'nin Enerji Talebi

Yüzölçümü ve nüfusu itibarıyla dünya üzerinde kayda değer bir duruma sahip olan ülkemizin nüfusu 74,8milyonu aşmaktadır. Türkiye'nin enerji tüketimi 2010 yılında 109.266 MTEP olarak gerçekleşmiş olup elektrik üretimi 2011 yılında, bir önceki yıla göre % 8,78 artışla 228.431 milyar kWh'ye, tüketim ise % 8,19 artışla 229.344 milyar kWh'ye varmıştır. Elektrik üretim kapasitesi ise, 2011 sonunda 52.235,38 MW' ye ulaşmıştır. Elektrik üretim kapasitesi ise, 2011 sonunda 52.235,38 MW' ye varmıştır. Makine mühendisleri Odasının 2012 verilerine göre aşağıdaki tablo çıkarılmıştır.

Tablo 2.8. Kişi Başına Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi

ÜLKELER	KİŞİ BAŞINA TÜKETİM (kWh)
Dünya Ortalaması	2.500
Gelişmiş Ülkeler Ort.	8.900
ABD	12.322
<b>Türkiye</b>	<b>3.099</b>



Şekil 2.3. Dünya Birincil Enerji Tüketimi Kaynaklar Bazında (%), 2010

Şuan Türkiye Avrupa'nın altıncı büyük ekonomisi ve altıncı büyük elektrik piyasası konumundadır. 2010 yılında % 8,9'luk bir Gayri Safi Milli Hâsıla (GSMH) büyümesi gözlenmiştir. 2010'da ithal enerji bağımlılığı % 71,5 olan Türkiye'nin yıllık enerji talep artışı (1990'dan itibaren) % 4,6 olarak gerçekleşmiştir. Aynı dönemde Avrupa Birliği'nin yıllık talep artış oranı ise % 1,6'dır. Ülkemizin ileriye yönelik birincil enerji yıllık talep artışı tahmini % 4'tür. 2020 yılına dek elektrik talep artışı ise; düşük senaryoya göre % 6,7,

yüksek senaryoya göre % 7,5 olarak tahmin edilmektedir. ETKB gelecek 15 yıldaki yatırım ihtiyacını 100 milyar dolar olarak öngörürken, EPDK 2010–2030 dönemi için gerekli yatırım ihtiyacını 225–280 milyar dolar olarak tahmin etmektedir(MMO,2012).

**Tablo 2.9.** Türkiye elektrik üretiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı(URL-3,2013).

TÜRKİYE BRÜT ELEKTRİK ÜRETİMİNİN BİRİNCİL ENERJİ KAYNAKLARINA GÖRE AYLIK DAĞILIMI													
MONTHLY DISTRIBUTION OF TURKEY'S GROSS ELECTRICITY GENERATION BY PRIMARY ENERGY RESOURCES													
2013													
	Birim (Unit): GWh												
	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM
	JANUARY	FEBRUARY	MARCH	APRIL	MAY	JUNE	JULY	AUGUST	SEPTEMBER	OCTOBER	NOVEMBER	DECEMBER	TOTAL
<b>Taşkömürü + İthal Kömür</b> Hard Coal + Imported Coal	2.679,9	2.409,8	2.629,6	1.445,9	2.253,3	2.529,7	2.814,3	2.814,3					19.576,8
<b>Linyit</b> Lignite	2.901,4	2.258,1	2.219,4	2.166,4	2.364,1	2.667,5	2.746,9	2.434,7					19.758,6
<b>Sıvı Yakıtlar</b> Liquid Fuels	268,9	212,1	250,8	238,2	177,1	262,8	301,8	260,2					1.971,9
<b>Doğal Gaz</b> Natural Gas	9.038,2	7.427,3	7.634,3	7.560,8	8.124,4	9.142,8	10.143,5	9.264,6					68.336,1
<b>Yenilenebilir + Atık</b> Renew and Wastes	99,2	184,0	203,3	180,5	192,1	155,1	104,8	196,6					1.315,6
<b>TERMİK</b> THERMAL	14.987,6	12.491,4	12.937,4	11.591,8	13.111,1	14.757,9	16.111,3	14.970,4					110.958,9
<b>HİDROLİK</b> HYDRO	4.937,8	5.211,8	6.237,2	6.470,3	5.437,4	4.372,1	4.900,4	5.159,5					42.726,5
<b>JEOTERMAL + RÜZGAR</b> GEOTHERMAL + WIND	734,8	584,4	728,2	574,8	507,7	605,1	1.163,6	1.090,9					5.989,4
<b>BRÜT ÜRETİM</b> GROSS GENERATION	20.660,2	18.287,6	19.902,8	18.636,9	19.056,1	19.735,1	22.175,3	21.220,9					159.674,9
<b>DIŞ ALIM</b> IMPORTS	716,2	627,8	572,8	505,9	454,8	449,2	583,9	625,3					4.535,6
<b>DIŞ SATIM</b> EXPORTS	101,1	73,0	11,6	3,5	1,5	51,7	110,7	147,9					501,0
<b>BRÜT TALEP</b> GROSS DEMAND	21.275,2	18.842,4	20.464,0	19.139,2	19.509,4	20.132,6	22.648,4	21.698,2					163.709,5



Tablo 2.10. Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar itibari ile Gelişimi (URL-3,2013).

TÜRKİYE KURULU GÜCÜNÜN YILLAR İTİBARIYLA GELİŞİMİ						ANNUAL DEVELOPMENT OF TURKEY'S INSTALLED CAPACITY					
						(1913 - 2012)					
						Birim(Unit) : MW					
YIL	TERMİK	HİDROLİK	TOPLAM	ARTIŞ		YIL	TERMİK	HİDROLİK	JEOTER+RÜZ	TOPLAM	ARTIŞ
YEAR	THERMAL	HYDRO	TOTAL	INCREASE	%	YEAR	THERMAL	HYDRO	GEOtherm.WIND	TOTAL	INCREASE
					%						%
1913	17,2	0,1	17,3	-		1968	1243,4	723,2		1966,6	0,4
1923	32,7	0,1	32,8	89,6		1969	1243,4	723,8		1967,2	0,03
1924	32,8	0,1	32,9	0,3		1970	1509,5	725,4		2234,9	13,6
1925	33,3	0,1	33,4	1,5		1971	1706,3	871,6		2577,9	15,3
1926	48,4	0,2	48,6	45,5		1972	1818,7	892,6		2711,3	5,2
1927	51,5	0,4	51,9	6,8		1973	2207,1	985,4		3192,5	17,7
1928	64,4	1,5	65,9	27,0		1974	2282,9	1449,2		3732,1	16,9
1929	68,9	3,2	72,1	9,4		1975	2407,0	1779,6		4186,6	12,2
1930	74,8	3,2	78,0	8,2		1976	2491,6	1872,6		4364,2	4,2
1931	98,7	3,2	101,9	30,6		1977	2854,6	1872,6		4727,2	8,3
1932	99,8	3,5	103,3	1,4		1978	2987,9	1880,8		4868,7	3,0
1933	104,3	3,5	107,8	4,4		1979	2987,9	2130,8		5118,7	5,1
1934	112,9	4,5	117,4	8,9		1980	2987,9	2130,8		5118,7	0,0
1935	121,2	5,0	126,2	7,5		1981	3181,3	2356,3		5537,6	8,2
1936	133,3	5,2	138,5	9,7		1982	3556,3	3082,3		6638,6	19,9
1937	161,7	5,4	167,1	20,6		1983	3695,8	3239,3		6935,1	4,5
1938	173,1	5,4	178,5	6,8		1984	4569,3	3874,8	17,5	8461,6	22,0
1939	210,1	5,5	215,6	20,8		1985	5229,3	3874,8	17,5	9121,6	7,8
1940	209,2	7,8	217,0	0,6		1986	6220,2	3877,5	17,5	10115,2	10,9
1941	213,8	8,2	222,0	2,3		1987	7474,3	5003,3	17,5	12495,1	23,5
1942	218,5	8,2	226,7	2,1		1988	8284,8	6218,3	17,5	14520,6	16,2
1943	228,2	8,2	236,4	4,3		1989	9193,4	6597,3	17,5	15808,2	8,9
1944	233,7	8,2	241,9	2,3		1990	9535,8	6764,3	17,5	16317,6	3,2
1945	237,7	8,2	245,9	1,7		1991	10077,8	7113,8	17,5	17209,1	5,5
1946	238,5	9,0	247,5	0,7		1992	10319,9	8378,7	17,5	18716,1	8,8
1947	242,3	9,1	251,4	1,6		1993	10638,4	9681,7	17,5	20337,6	8,7
1948	296,2	9,3	305,5	21,5		1994	10977,7	9864,6	17,5	20859,8	2,6
1949	371,8	10,0	381,8	25,0		1995	11074,0	9862,8	17,5	20954,3	0,5
1950	389,9	17,9	407,8	6,8		1996	11297,1	9934,8	17,5	21249,4	1,4
1951	399,2	24,0	423,2	3,8		1997	11771,8	10102,6	17,5	21891,9	3,0
1952	412,0	25,8	437,8	3,4		1998	13021,3	10306,5	26,2	23354,0	6,7
1953	470,1	29,4	499,5	14,1		1999	15555,9	10537,2	26,2	26119,3	11,8
1954	480,2	36,7	516,9	3,5		2000	16052,5	11175,2	36,4	27264,1	4,4
1955	573,5	38,1	611,6	18,3		2001	16623,1	11672,9	36,4	28332,4	3,9
1956	731,9	154,2	886,1	44,9		2002	19568,5	12240,9	36,4	31845,8	12,4
1957	777,6	161,8	939,4	6,0		2003	22974,4	12578,7	33,9	35587,0	11,7
1958	809,1	220,9	1030,0	9,6		2004	24144,7	12645,4	33,9	36824,0	3,5
1959	843,4	317,6	1161,0	12,7		2005	25902,3	12906,1	35,1	38843,5	5,5
1960	860,5	411,9	1272,4	9,6		2006	27420,2	13062,7	81,9	40564,8	4,4
1961	878,6	445,3	1323,9	4,0		2007	27271,6	13394,9	169,2	40835,7	0,7
1962	901,2	469,6	1370,8	3,5		2008	27595,0	13828,7	393,5	41817,2	2,4
1963	902,6	478,5	1381,1	0,8		2009	29339,1	14553,3	868,8	44761,2	7,0
1964	921,1	497,2	1418,3	2,7		2010	32278,5	15831,2	1414,4	49524,1	10,6
1965	985,4	505,1	1490,5	5,1		2011	33931,1	17137,1	1842,9	52911,1	6,8
1966	1028,0	616,3	1644,3	10,3		2012	35027,2	19609,4	2422,8	57059,4	7,8
1967	1257,4	701,7	1959,1	19,1							

Not: Jeotermal santralının kurulu gücü 2003 yılında EÜAŞ tarafından revize edilerek 15 MW'ya düşürülmüştür.

Note: Installed capacity of Geothermal P.P. is revised and decreased to 15 MW in 2003 by EÜAŞ. reflected to all installed capacity table as well.

**Tablo 2.11. İşletmeye giren ve İşletmeden çıkarılan tesisler (URL-3,2013).**

2012 YILINDA İŞLETMEYE GİREN ÜRETİM TESİSLERİ GENERATION UNITS PUT INTO OPERATION IN 2012				
KURULUŞ ADI ELECTRIC UTILITIES	KURULU GÜÇ INSTALLED CAPACITY (MW)	ÜRETİM KAPASİTESİ (GWh) GENERATION CAPACITY (GWh)		
		Ortalama Average	Güvenilir Firm	
<b>TERMİK TOPLAM</b> <b>THERMAL TOTAL</b>	<b>1.541,0</b>	<b>11.382,9</b>	<b>11.382,9</b>	
OTOPRODÜKTÖR      AUTOPRODUCER	225,7	1.515,1	1.515,1	
SERBEST ÜR.ŞTİ.      IPP	1.315,3	9.867,8	9.867,8	
<b>JEOTER.+RÜZGAR TOP.</b> <b>GEO THERMAL+WIND TOTAL</b>	<b>594,9</b>	<b>2.287,0</b>	<b>1.971,7</b>	
SERBEST ÜR.ŞTİ.      IPP	594,9	2.287,0	1.971,7	
<b>HİDROLİK TOPLAM</b> <b>HYDRO TOTAL</b>	<b>2.724,3</b>	<b>9.328,8</b>	<b>5.783,9</b>	
SERBEST ÜR.ŞTİ.      IPP	1.987,3	6.727,1	3.897,7	
EÜAŞ      EUAS	624,4	2.201,7	1.595,2	
İŞLETME HAKKI DEVİR      TOOR	112,6	400,0	291,0	
<b>GENEL TOPLAM</b> <b>GENERAL TOTAL</b>	<b>4.860,1</b>	<b>22.998,7</b>	<b>19.138,5</b>	

2012 YILINDA İŞLETMEDEN ÇIKARILAN / GÜÇ REVİZEİ YAPILAN / LİSANS TİPİ DEĞİŞEN ÜRETİM TESİSLERİ OUT OF OPERATION / REVISED CAPACITY/CHANGED LICENCE OF POWER PLANTS IN 2012				
KURULUŞ ADI ELECTRICITY UTILITIES	KURULU GÜÇ INSTALLED CAPACITY (MW)	ÜRETİM KAPASİTESİ (GWh) GENERATION CAPACITY (GWh)		
		Ortalama Average	Güvenilir Firm	
<b>TERMİK TOPLAM</b> <b>THERMAL TOTAL</b>	<b>-445,9</b>	<b>-3.162,3</b>	<b>-3.162,3</b>	
OTOPRODÜKTÖR      AUTOPRODUCER	-43,6	-247,2	-247,2	
SERBEST ÜR.ŞTİ.      IPP	-402,4	-2.915,1	-2.915,1	
<b>HİDROLİK +JEOTER. TOPLAM</b> <b>HYDRO TOTAL</b>	<b>-266,9</b>	<b>-869,3</b>	<b>-685,0</b>	
SERBEST ÜR.ŞTİ.      IPP	-266,8	-869,3	-685,0	
İŞLETME HAKKI DEVİR      TOOR	-0,1	0,0	0,0	
<b>GENEL TOPLAM</b> <b>GENERAL TOTAL</b>	<b>-712,8</b>	<b>-4.031,6</b>	<b>-3.847,3</b>	

Tablo 2.12. Türkiye'nin kurulu gücü (URL-5,2013).

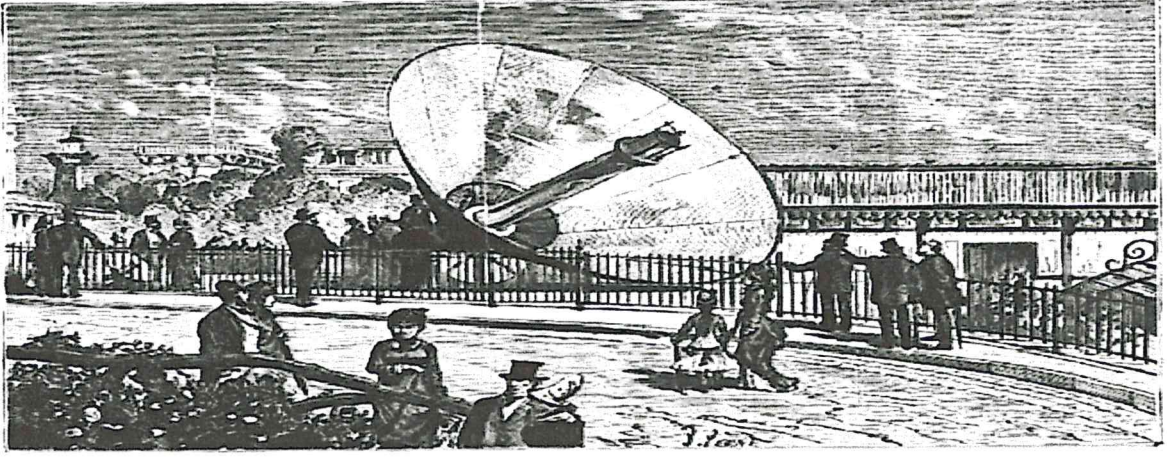
OECD ÜLKELERİNDE KURULU GÜÇ										
		KÖMÜR	SIVI	DOĞAL GAZ	YENİLEN EBİLİR	TERMİK	NÜKLEER	HİDROLİK	DİĞER	TOPLAM GW
ÜLKELER		(*)		(*)	ATIK	TOPLAM			(**)	
1	AVUSTYA.	30,87	1,56	16,86	0,34	49,63	-	8,79	2,70	61,12
2	AVUSTRY.	2,16	0,32	5,21	0,48	8,17	-	13,21	1,40	22,78
3	BELÇİKA	..	..	..	..	9,19	5,93	1,43	2,46	19,01
4	KANADA	..	0,14	2,37	4,24	39,61	12,7	75,08	5,84	133,20
5	ŞİLİ	3,33	2,87	4,68	0,55	10,58	-	5,95	0,21	16,74
6	ÇEK.	11,89	-	-	..	11,89	3,97	2,20	2,13	20,19
7	DANİMAR.	5,86	1,39	2,13	0,23	9,61	-	0,01	3,97	13,59
8	ESTONYA	2,36	..	0,25	0,03	2,64	-	0,01	0,18	2,83
9	FİNLAN.	7,78	0,77	2,08	..	10,63	2,70	3,16	0,21	16,70
10	FRANSA	7,94	10,36	9,49	..	25,63	63,1	25,33	10,96	125,05
11	ALMANYA	..	..	..	..	80,25	12,1	11,56	57,82	161,68
12	YUNAN.	4,79	2,51	3,68	0,07	11,05	-	3,22	2,25	16,52
13	MACAR.	1,37	0,41	5,24	0,38	7,40	2,00	0,06	0,34	9,80
14	İZLANDA	..	0,12	..	..	0,12	-	1,88	0,67	2,67
15	İRLANDA	1,20	1,14	4,04	0,05	6,43	-	0,53	1,83	8,79
16	İSRAİL	4,84	0,06	6,70	2,14	15,33	-	0,01	0,30	15,64
17	İTALYA	11,20	9,89	52,7	2,14	75,98		21,74	20,73	118,45
18	JAPONYA	48,29	41,16	46,6	..	136,13	48,9	48,42	7,87	241,38
19	KORE	28,80	6,77	22,4	0,30	58,31	18,7	6,42	1,22	84,67
20	LÜKSEMB.	..	..	0,49	0,03	0,52	-	1,13	0,09	1,74
21	MEKSİKA	5,88	9,39	31,7	0,05	47,07	1,37	11,65	1,52	61,61
22	HOLLAND	..	..	..	..	23,09	0,51	0,04	2,53	26,17
23	ZELLAND	1,16	0,16	1,73	0,08	3,13	-	5,25	1,26	9,64
24	NORVEÇ	0,01	0,02	1,39	0,12	1,54	-	29,69	0,47	31,70
25	POLONYA	28,78	0,47	0,87	0,28	30,40	-	2,35	1,80	34,55
26	PORTEKİZ	2,33	2,85	4,69	0,07	9,94	-	5,55	4,45	19,94
27	SLOVAK.	1,46	0,13	1,59	0,20	3,38	1,94	2,52	0,21	8,05
28	SLOVENY.	0,85	..	0,39	0,04	1,28	0,69	1,25	0,06	3,28
29	İSPANYA	..	..	..	..	47,76	7,45	18,54	27,03	100,78
30	İSVEÇ	..	..	..	..	8,34	9,32	16,58	2,78	37,02
31	İSVİÇRE	0,30	0,09	0,27	0,27	0,93	3,28	15,59	0,24	20,04
32	TÜRKİYE	13,03	1,30	19,5	0,13	33,94	-	17,14	1,84	52,92
33	İNGİLTER.	29,37	6,01	32,6	3,26	71,28	10,7	4,42	7,47	93,83
34	ABD	319,92	51,70	415	12,02	798,83	101	100,94	54,08	1055,3
	OECD	575,7	151,5	695,0	27,31	1449,7	306,7	461,6	228,9	2713,5

## 2.2.GÜNEŞ ENERJİSİ

### 2.2.1.Güneş Enerjisi Tarihi

İlk güneş kolektörünü 1767'de İsviçreli bilim adamı Horace de Saussure yapmış olup bu kolektör 1830 da Sir John Herschel tarafından yemek pişirme amacıyla kullanılmıştır. Robert Stirling 27 Eylül 1816'da icat ettiği bir makine için patent başvurusu yapmış olup daha sonraları Çanak/Stirling Sistemi diye adlandırılan güneşin ısı enerjisini yoğunlaştırılarak elektrik üretmek için kullanılmıştır. Fransız fizikçi Alexandre-Edmund Becquerel 1839 yılında iki metal plaka arasındaki elektrik akımı şiddetini gözlemleyip ışık şiddetini ölçebilen bugün fotovoltaik etki diye adlandırılan bir makine icat etmiştir. Ama bu sistemden elde ettiği verim%1'de kalmıştır.1873 te İngiliz bilim adamı Willoughby Smith selenyumun foto iletkenliğini keşfetmiştir. 1877 yılında ise İngiliz bilim adamları W.G. Adams ve R.E. Day katı selenyumdaki fotovoltaik etkiyi gözlemlemiştir. Amerikalı kâşif Charles Fritts 1884 senesinde selenyumu çok ince bir altın tabakasıyla kaplayarak dünyanın ilk çalışan güneş pilini yapmıştır. Bundan elde edilen verimde % 1 de kalmıştır. Kullanılan malzemenin yüksek maliyetine karşılık verimindeki düşüklük bu pilin enerji üretiminde kullanımını engellemiştir. Güneş pilleri ile alakalı araştırmalar sürmüş ve 1888, 1894 ve 1897 yıllarında Amerikan Patent Dairesi'nden çeşitli patentler alınmıştır. Fransız bilim adamı Auguste Mouchout, endüstri devriminde kömürün sınırsız olduğunu ifade edip alternatif enerji kaynakları alanında faaliyet göstermiş ve 1860 güneş enerjisi yardımıyla suyu kaynatarak elde ettiği buharla küçük bir buhar türbinini çalıştırmıştır. Dünyanın güneş enerjisiyle çalışan ilk makinesi olup 1861'de bu makinenin patentini almış ve 1865 'te icadını geliştirip çanak şeklinde bir reflektör kullanarak bir buhar türbinini çalıştırmıştır. 1866 yılında bu keşfini İmparator 3. Napolyon'a göstermiş ve çalışmalarını ilerletmek için gerekli destek ve teşviki almıştır. Güneşi takip eden bir mekanizmayı da sisteme ekleyerek 1872 yılında yeni makinesini tanıtmıştır. Bu icadını kullanarak bir su pompasını çalıştırmayı başarıp çalışmalarını Cezayir'de sürdürmüştür. 1878 Paris Fuarı'nda güneş makinesini kullanarak bir soğutma cihazı yardımıyla buz elde etmeyi başarmış ve 1882'deki Fransız Gençlik Birliği Festivali'nde Abel Pifre, Mouchout'nun güneş enerjisi makinesini kullanarak bir baskı makinesini çalıştırmış ve bununla bir dergi basmayı başarmıştır. Âmâ kömür fiyatlarında ki düşüş nedeniyle hükümet icadın teknik olarak başarılı, fakat ekonomik olarak başarısız olduğuna karar

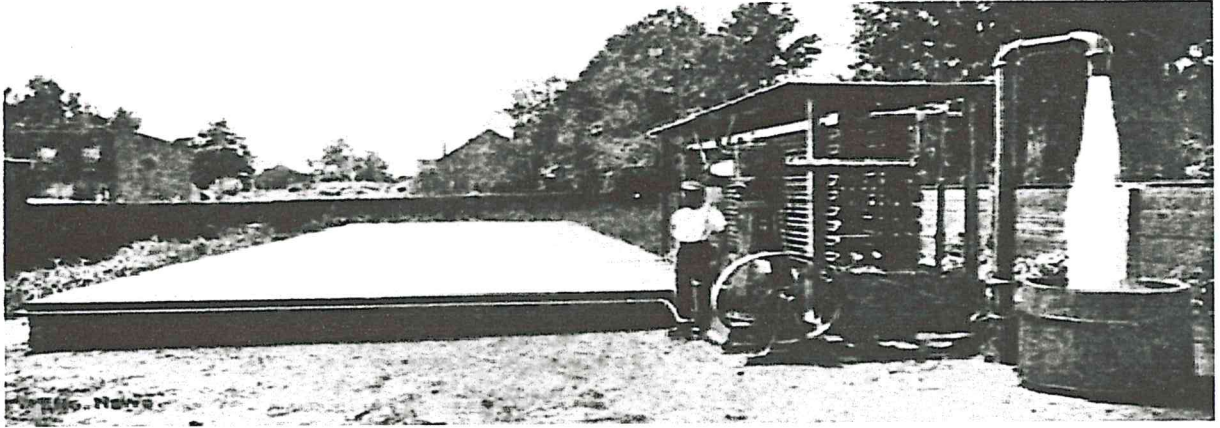
verip icadının gereksiz olduğu düşünölmüş ve aktarılan yardım fonları kesilmiştir. 19. Yüzyılın sonlarına doğru John Ericsson tarafından keşfedilen parabolik oluk teknolojisinin önünü açmasına yardım etmiştir. Mouchout'nun çalışmalarını inceleyen Adams, Mouchout'nun icadının kullanışsız olduğu sonucuna varmıştır. Ona göre 0,5 Beygir Gücü değerindeki Mouchout'nun makinesinden daha güçlü bir makine yapmak için daha büyük boyutlarda çanak şeklinde bir reflektör inşa etmek imkânsızdı. Adams, problemleri; cilalanmış metal reflektörün kolayca paslanıp kararacak olması, inşasının çok pahalıya mal olması ve güneşi etkili bir şekilde izlemek için aşırı hantal olması olarak sıralıyordu. Bu sorunlara çözüm olarak düz aynaların yarım daire şeklinde toplandığı bir sistem önermiştir. Bu aynalar güneşin hareketini izlemek amacıyla bir grup olarak dönme hareketi yapacak ve böylece sabit bir kazana güneş ışınlarını yoğunlaştıracaklardı. Adams 1878 sonlarında bu planını uygulamaya geçirmiştir. 17x10 inç ölçüsündeki 72 düz aynayı Mouchout'nun orijinal tasarımına sadık olarak bir kazanın çevresine yerleştirmiş ve odaklanma noktasında 1.200 °F (649 °C) sıcaklık elde ederek bu sistemle 2,5 Beygir Gücünde bir buhar türbinini çalıştırmayı başarmıştır. Günümüzün "Güneş Kulesi" kavramının temelini oluşturur. Tellier 1885'de evinin çatısına bugün kullanılanlara benzer düz levha kolektörler yerleştirmiştir. Her kolektör, her biri birbirine su geçirmez bir şekilde sabitlenmiş iki demir tabakadan oluşan ve tüplerle birbirine bağlanıp tek bir birim oluşturan, 10 adet levhadan oluşmaktaydı. Buhar oluşturmak için su yerine düşük kaynama noktası nedeniyle amonyağı çalışma sıvısı olarak seçmişti. Gündüz vakti güneşe maruz kaldığında bu sistem Tellier'nin kuyusuna yerleştirdiği bir su pompasını saatte 300 galon çekecek kapasitede çalıştırmaya yetecek güç üretiyordu. 1889'da Tellier yaptığı sistemin üst kısmını camla kaplayarak ve altını da yalıtarak kolektörlerin verimini arttırmıştır. Yaptığı bu çalışmalara rağmen Tellier zaman içinde çalışmasını soğutma sistemlerine yönlendirmiş ve bunu da güneş ısısı kullanmadan yapmaya karar vermiştir. Tellier'den sonra güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar Avrupa'dan Amerika'ya kaymıştır.



Şekil.2.4.1878 yılına ait bir çanak reflektör. (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi,2013).

John Ericsson Kariyerinin ilk yıllarında gemi makineleri, pervane sistemleri ve buharlı lokomotifler üzerinde çalışıp,1869 yılından itibaren alternatif enerji konusunda çalışmalara başlamıştır.1872 senesinde Mouchout' un tasarımıyla benzer konik/çanak reflektör kullanarak güneş ışınlarını bir Stirling motoruna ileten bir sistem bulmuştur. 1883'te parabolik oluğu keşfetmesidir. Uzunlamasına kesilmiş bir silindiri andıran bu sistemin avantajı, doğrusal olması ve ayrıca çanak şeklindeki yoğunlaştırıcılardan farklı olarak parabolik oluk güneşi doğrusal olarak izleyebilmekteydi. Yaptığı icat yanlamasına dururken doğudan batıya bir çizgi üzerinde, yatay pozisyonda ise aşağı yukarı hareket edebilmekte yatırım maliyetleri de basit ve ucuzdu. Ericsson tasarımlarını ticarileştirmeye uğraşmış çalışmalarını ilerletmesine rağmen gizliliğe verdiği aşırı önem yüzünden 1889'da öldüğünde bu ileri çalışması hakkında herhangi bir kayıt bırakmamıştır. 1912'de Meadi, Mısır'da 45 kW (55 BG) gücünde bir güneş makinesi yapmış olmasına rağmen Birinci Dünya Savaşı'nın çıkması ve fosil yakıtları fiyatlarının düşmesi nedeniyle santral kapanmıştır. Daha modern bir şekilde günümüzde kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin ticari uygulamaları ilk defa ABD'de başlamıştır. Aubrey Eneas güneş makinesi deneylerine 1892'de başlamış ve 1900 yılında dünyanın ilk güneş enerjisi şirketini (The Solar Motor Co.) kurarak çalışmalarını 1905'e kadar sürdürmüştür. Mouchout'nun tasarımını geliştirip Güneş ışığı yardımıyla makinesi suyu kaynatarak oluşturduğu buhar gücü ile bir su pompası yardımıyla kuyudan dakikada 1.400 galon su çekmeyi başarmıştır. Yaptığı fırtınalar ve sert iklim koşullarında dayanıksız olduğu için iflas etmiştir. Daha sonra Henry E. Willsie kendi güneş makinesinin yapım çalışmalarına başlayıp yansıtmasız ve düşük sıcaklıklı bir sistemin güneş enerjisinden doğrudan yararlanmada en iyi yöntem

olduğu kanaatine varıp zamanını ısı depolama uygulamalarına odakladı. Willsie güneş enerjisini depolamak için amonyağa karşılık kükürt dioksiti kullanmıştır. Sıvı borulardan geçtikten sonra yüksek basınçlı buhara dönüşüp türbini çalıştırmakta, sonra bir yoğunlaşma tüpünde soğuyarak tekrar sıvı hale dönmekte idi. Yaptığı testlerde çöktüğü gündüz topladığı ısıyla gece karanlık çökmesine rağmen çalışan dünyanın ilk güneş makinesini yapmıştır. Düşük verimlilikle beraber ilk yatırım maliyetinin fazla olmasından ötürü şirketi iflas edip kapanmıştır. Shuman 1906'da Willsie ile benzer bir düz levha kolektör tasarımıyla çalışmalarını başlatmış ama oda çalışma sıvısı kükürtdioksit kullanmayıp eter kullanmış olup düşük buharın özgül ağırlığı yüzünden bir sonuç alamamıştır. 1910'da tasarım geliştirip yalıtımı arttıran ve çalışma sıvısı olarak da suyu kullanan Shuman yine istediği gücü elde edememiş ve yoğunlaştırmaya gereksinim olduğu bulunmuştur. 1911'de Sun Power Co. Şirketini kurup güneş kolektörleriyle 33 BG gücünde ve dakikada 3.000 galon su çeken bir su pompasını çalıştırmayı başarmıştır. Mısır'da yaptığı makinesine ek donanımlar koyarak % 33 daha fazla buhar üretip ve çıkış gücü de 55 beygir gücünü geçmiştir. Bir ay sonra Birinci Dünya Savaşı başladı ve güneş sulama santrali imha edildi. Frank Shuman ise savaş bitmeden öldü.



Şekil. 2.5. Frank Shuman'ın Filadelfiya'da güneş enerjisi ile su pompasını çalıştırması (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi,2013).

Fotovoltaik güneş enerjisi konusundaki çalışmalar özellikle Albert Einstein'ın 1905 yılında yayımlanan ve kendisine 1921 Nobel Fizik Ödülü'nü kazandıran Fotoelektrik Etki hakkındaki makalesi en önemli adımdır. 1946'da Russell Ohl'un çalışmalarından sonra Gerald Pearson, Calvin Fuller ve Daryl Chapin 1954'te ilk silikon güneş pilini yapmışlardır. Yüksek maliyet ve % 4,5 – 6 civarında verim yüzünden rağbet görmemesine rağmen uzay araştırmaları için yapılan deneylerle sınırlı kalmıştır. 1920 ve 1930'larda düz

levha kolektörler kullanan güneş enerjili ısıtma sistemleri yaygınlaşmaya başlamıştır. 1860 ile 1914 yılları arasında geçen sürede güneş enerjisi alanında elliden fazla patent alınmasına rağmen güneş enerjisi pratik endüstriyel bir uygulama alanı bulamamış ve 1914 yılından sonra arasında kömür ve petrol firmalarının baskısının yanında gerçekleşen savaşlar yüzünden güneş enerjisiyle ilgili çalışmalar elli yıllık bir duraklama yaşamıştır. Ancak, 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi, petrol ambargosu ve nükleer kirlilik, temiz ve yenilenebilir enerjiyi yeniden en üst sıralara taşımıştır. Teknolojik gelişmeler sonucu düşen maliyetler ve artan verimle beraber bu konudaki çalışmalar yeniden hız kazanmıştır. Bu sıçramayla birlikte ilk endüstriyel tip enerji üretimi 1984 yılında Los Angeles'ta Luz Co. tarafından yapılmıştır. Yapılan parabolik aynalı sistem ile 354 MW bir güç üretimi elde edilmiştir. Doksanlı yıllarda biri 10 MW'lık Kaliforniya'da, diğeri de 30 MW'lık Ürdün'de olmak üzere iki adet güneş kulesi sistemi kurulmuş ve 2000'lerde yatırımların artmasıyla özellikle fotovoltaik sanayi üretimi büyük bir sıçrama göstermiş ve 2006 yılına gelindiğinde dünya fotovoltaik üretimi, toplam 2.520 MWp modül kapasitesine ulaşmıştır (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi,2013).

### 2.2.2.Güneş

Yaşam için temel enerji kaynağı olan güneş, günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının hepsinin ana maddesini teşkil etmektedir. Dünyamızın kendi ve güneşin etrafında dönmesi sonucunda gece ve gündüz olayının meydana gelmesinin yanında mevsimler, rüzgârlar, aynı zamanda fotosentez olayı da meydana gelir ki bu aynı zamanda güneş olmazsa hayatta olmaz anlamı çıkmaktadır. Güneş yapısı itibari ile kendini oluşturan maddelerin kütle çekimleri sayesinde yoğunlaşma ile birbirlerine yaklaşarak kütle çekim enerjisini kinetik enerji formatına dönüştürüp, sıcaklığı 15-16 milyon  $^{\circ}\text{C}$  ye kadar çıkmasını sağlar. Bu sıcaklık neticesinde oluşan basınç, daha fazla yoğunlaşarak çökmesini engeller.  $1,39 \times 10^9$  m çapında olan güneş dünyamızın yarıçapının yaklaşık 109 katı olup yoğun sıcak gazlar içeren,  $2 \times 10^{30}$  kg ağırlığında, yüzey sıcaklığının 5777  $^{\circ}\text{K}$  olan, merkez sıcaklığının  $4 \times 10^6$  ile  $8 \times 10^6$   $^{\circ}\text{K}$  arasında olan, sudan 100 kez daha yoğun olup, ekvator bölgesinde 24, kutuplar bölgesinde 30 günde tamamlayan bir yıldızdır. Yapısı itibari ile yaklaşık olarak %90'nını oluşturan hidrojen atomu kendi aralarında birleşerek helyum çekirdeklerini meydana getirir. Proton proton döngüsü olarak adlandırılan bu tepkime sonucu ile büyük bir enerji açığa çıkmaktadır. Dört protondan oluşan (hidrojen atomu çekirdeği) bir helyum



çekirdeğine Füzyon adı verilmektedir. Oluşan helyum miktarı harcanan hidrojen miktarından az olduğundan, aradaki fark güneşten radyasyon yani ışıyım enerjisi olarak yayılır. Bu olay merkezde gerçekleşip yüzeye doğru yayılır. Güneşten 150 milyon km uzaklıkta olan dünyamızın güneşin etrafında 23,5 derecelik bir açı ile döndüğü yörüngesinde mevsimler, gece gündüz uzunluğunda değişmeler meydana gelmektedir. Güneşten dünyamıza bir günde gelen enerji, güneşin toplam enerjisinin yaklaşık milyarda bir olup  $1.5 \times 10^{16}$  MJ olup bu değer  $1367 \text{ W/m}^2$  olarak değerlendirilerek buna güneş sabitesi denmektedir. Başka bir ifade ile 130 milyon ton kömüre denk gelir ki, bu ise dünyada tüketilen toplam enerjinin 15000 katına tekabül eder. Ülkemizin üzerine yılda  $3.517 \times 10^{15}$  MJ güneş enerjisi düşüp, bu değer hali hazırda Türkiye’de kurulu olan tüm elektrik santrallerinin 500 katını aşmaktadır. 36-42 kuzey paralelleri arasında bulunan ülkemiz güneş kuşağı olarak adlandırılan alan içerisindedir (Acaroğlu, 2007).

Güneş, ısı ve ışık ile birlikte yoğunluğu düşük, artı ve eksi yüklü parçacıklar yayar. Güneş rüzgârları diye adlandırılan yüklü parçacıkların bu akımı, çevreye saniyede 450 km hızla yayılır. 4,5 milyar yaşında olan güneş yaratılışından günümüze yapısındaki hidrojenin yarısını kullanmıştır bu aşamadan sonra gelecekte hidrojen yakıtını tüketerek diğer yıldızlar gibi, dünyayı da içine alacak bir kırmızı deveye dönüşecektir. Daha sonra ise kendi içine çökerek, bir beyaz cüce haline gelecektir (Küpeli, 2005).

Güneşte meydana gelen enerji, dört proton kütlesi ile bir helyum çekirdeği kütlesi arasındaki kütle farkından kaynaklanan enerji yaklaşık olarak bir proton başına 10 -12 J. kadardır. Güneşin toplam ışınması  $3.8 \times 10^{26}$  J/s olup, güneşte bir saniyede yaklaşık  $6 \times 10^{11}$  kg. hidrojen tüketilmektedir. Bu veriler ışığında güneşteki hidrojen yakıtının tükenmesi olayı ortaya çıkmaktadır. Bu ise şuan itibari ile güneşin yaklaşık 5 milyar yıl sonra tükeneyeceği anlamına gelmektedir. Yeryüzü ve atmosferin ısınmasını sağlayan güneş enerjisi ışınları; Radyasyonlar, Kozmik ışınlar ve tanecikler halinde dünyamıza gelir. Güneş ışınları saniyede 300000 km'lik bir hızla 8 dakikalık sürede yeryüzüne ulaşırlar (Duffie ve Beckman, 1974; İnan, 1997).

Işınların yeryüzüne temas ettiği alanda salacağı ısı, ışınlar ile birlikte yüzeyin yapacağı açığa ve güneşlenme süresine bağlıdır. Açı ne kadar  $90^\circ$  ‘ye yaklaşırsa ısı da o kadar fazla, ne kadar küçük olursa ısı da o kadar az olur. Dünya, hem kendi eksenini hem de güneşin

ekseni etrafında eliptik bir yörüngede  $23,5^\circ$  'lik eğiklikte döner. Bu eğiklikten dolayı yeryüzüne gelen enerjinin sürekli değiştiği ve mevsimlerin oluştuğu görülmektedir (Ardel, Kurtel ve Dönmez, 1998; Söhmen, Tırıs ve Erdallı, 1997).

Güneşlenme süresi, herhangi bir yerin güneş radyasyonunu doğrudan doğruya aldığı, yani güneşin doğuşundan batışına kadar geçen süredir. Güneşlenme süresi coğrafi enleme göre değiştiği gibi, mevsimlere göre de değişir. Güneşlenme süresinin en fazla olduğu yerler kutuplar olup, bu süre ekvatora doğru gittikçe azalır (Ardel, Kurtel ve Dönmez, 1998).

Güneşten yeryüzüne gelen toplam güneş ışıını, direkt ve dolaylı olarak iki bileşene ayrılabilir. Direkt ışıını adından da anlaşılacağı gibi, doğrudan güneşten gelen ışıınıdır. Yaygın ışıınımlarsa, tüm gök küreden gelen belirli yönü ve doğrultusu olmayan ışıınımlardır. Yutulan ve saçılan güneş ışıınıının dağınık bir şekilde yeryüzüne ulaşabilen kısmı, yaygın ışıınıyı oluşturur (Engin, 1995).



Şekil 2.6. Atmosfere gelen güneş ışığı (URL-4,2013).

- 1 = Güneş ışığı
- 2 = Atmosferden yansıyan
- 3 = Bulutlardan yansıyan

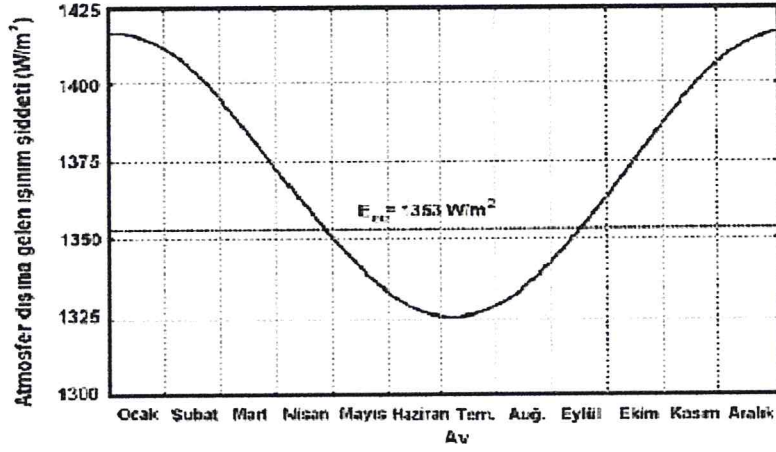
- 4 = Yeryüzüne ulaşan
- 5 = Toprak tarafından emilir ve kızıl ötesi ışın yayar
- 6 = Yeryüzünden yansıyan
- 7 = Bulutlardan ve atmosfer tabakalarından yansıyan (8)
- 9 = Yeryüzünden uzaya yansıyan ışınlar.

Güneş tarafından gelen enerjinin %30 yansıma ile uzaya geri döner, %20 atmosfer katmanlarında ve bulutlarda soğurulur, Geri kalan %50 ise yeryüzüne ulaşır. Ulaşan bu enerji sayesinde su döngüsü gerçekleşerek tabiata ve doğaya gerekli olan besin zincirinin katmanlarının oluşmasını sağlar (Yücel, 1994).

Güneş enerjisinin diğer bir formatı da rüzgâr ve deniz dalgaları ile birlikte okyanus akıntılarıdır. Rüzgârların oluşmasının temel sebebi basınç farklarıdır. Basınç farkının olabilmesi içinde gerekli olan unsur sıcaklık değişimleridir. Tabiat her daim kendini dengeleme mekanizması şeklinde tasarlanmıştır. Sıcak bölgeler ile soğuk bölgeler arasında bir hava sirkülasyonu olması münasebetiyle rüzgârlar ortaya çıkar. Bu olayın gerçekleşmesi için de güneş etkin rol oynamaktadır. Deniz dalgaları ve akıntıları temelde rüzgârın etkisiyle ortaya çıkarlar. Dolayısıyla, hem rüzgâr, hem de deniz dalgaları ve akıntılar birer güneş enerjisi türevidir (URL-5, 2013).

Güneş ışınımının teknolojik olarak kullanılması oldukça yenidir. Güneş enerjisine verilen önem 1973 'deki dünya enerji krizi ile birlikte ortaya çıkmıştır. Günümüzde, güneş enerjisinden yararlanılan alanlar her geçen gün artmaktadır (Baykul, 1987).

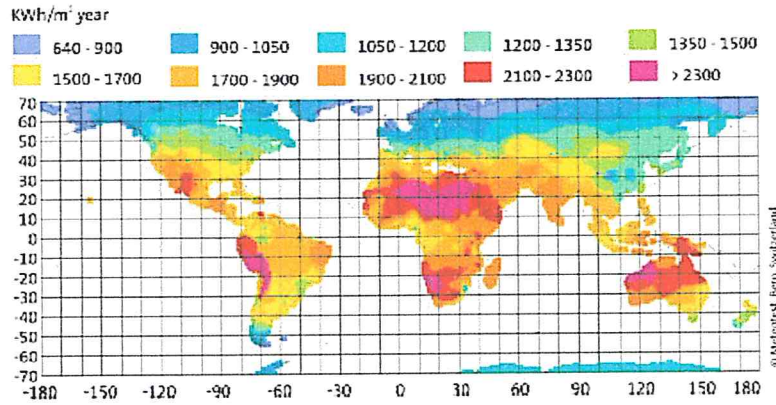
Güneş enerjisi, yeni ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasının yanı sıra, toplumlar ve ekosistem için önemli bir sorun olan kirletici atıkları barındırmaması, yerel ve lokal olarak uygulanabilirliği ve karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda üzerinde yoğun çalışmalar yapıldığı bir alan olarak ortaya çıkmıştır. Binaların ısıtılması, soğutulması, endüstriyel, bitkilerin kurutulması ve elektrik üretimi güneş enerjisinin yaygın olarak kullanıldığı alanlardır (Özbalta, 2000). Güneşin ışınım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji kaynağıdır (Çıtıroğlu, 2005).



Şekil. 2.7. Güneşten atmosfere gelen enerjinin aylara göre değişimi (Batman, 2001).

Tablo 2.13. Çeşitli gökyüzü durumları için toplam ışınım ve bu toplam ışınımında yayılmış ışınım oranları (Batman, 2001).

	Açık gökyüzü	Puslu gökyüzü	Tam kapalı gökyüzü
Toplam ışınım (W/m <sup>2</sup> )	600-1000	200-400	50-150
Yayılmış ışınım (%)	10-20	20-80	80-100



Şekil. 2.8. Yeryüzü yıllık ısıtım dağılımı (Kılıç, 1982).

Güneş tarafından dünya atmosferinin dışına gelen enerjinin en az %3'ü atmosfer tarafından yutulmakta veya saçılmakla beraber bulutsuz açık bir günde yere dik olarak gelen güneş enerjisi maksimum 1000 W/m<sup>2</sup>'dir (Ertürk, 1997).

**Tablo 2.14.**Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (URL-6,2011).

Aylar	Aylık toplam güneş enerjisi		Güneşlenme süresi (Saat/ay)
	Kcal/cm <sup>2</sup> -ay	kWh/m <sup>2</sup> -ay	
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,40	343
Eylül	10,60	123,28	280
Ekim	7,73	89,90	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

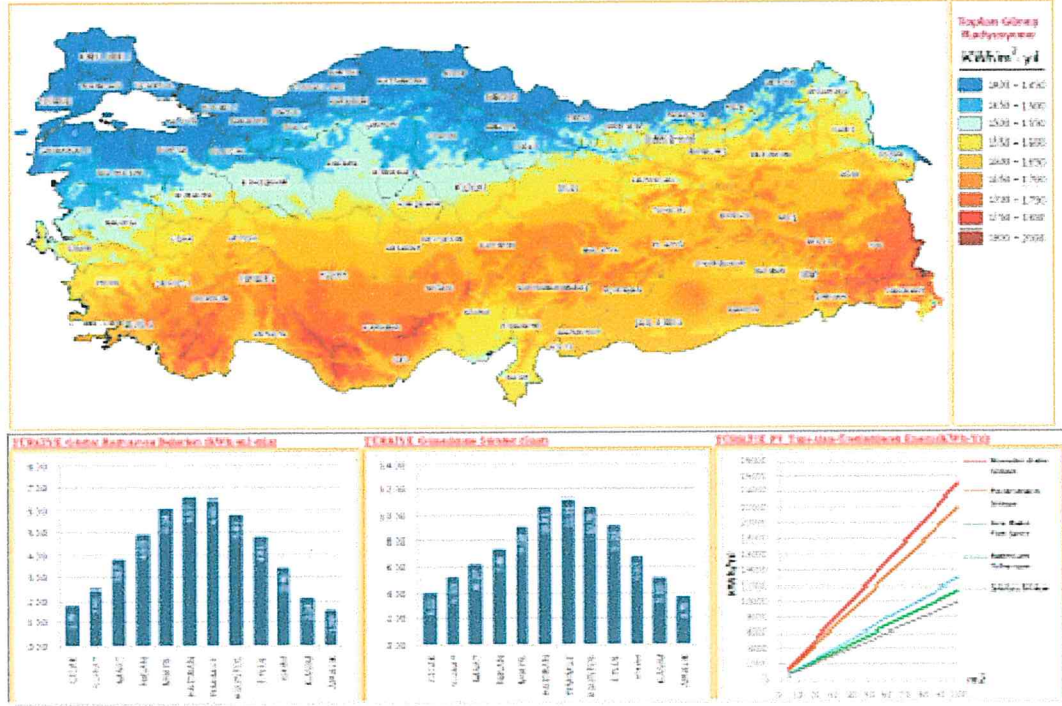
**Tablo 2.15.**Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin (URL-6,2011).

Bölge	Toplam güneş enerjisi kWh/m <sup>2</sup> -yıl	Güneşlenme süresi (Saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Güneş Enerjisinin amaçlanan ve uygulanan kullanım alanları şöyle sıralanabilir:

1. Konutlarda, işyerlerinde ve gündelik yaşam yapısının çeşitli kesimlerinde ısı ve elektriğe dayalı bir bölümün enerji ihtiyacının karşılanması.
2. Endüstriyel enerji ihtiyacının bir bölümünün, ısı ve elektriğin birlikte karşılanması.
3. Kırsal yörelerde ve tarımsal faaliyetlerde ihtiyacının karşılanması.
4. Kara, deniz ve hava taşıtlarının bir bölümünde kullanılması.
5. İletişim araçlarında, sinyalizasyon ve otomasyonda kullanılması.
6. Elektrik sektörünün içerisine aktif olarak dâhil edilmesi.
7. Askeri ve uzay çalışmalarında enerji gereksiniminin karşılanması (İnan ve Ültanır, 1996).

Güneş enerjisinden yeterince istifade etmek için çağımız teknolojilerini kullanıp ve geliştirmekle sağlayabiliriz. Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan sıcak su sistemleri dahi ülkemizde tam olarak kullanılmamaktadır. Güneş santralleri için ön koşul sayılan yıllık en az 2000 saat güneşli olma süresi; Türkiye 'de yaklaşık 2600, özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi 'nde ise, 3000 saatlik süre ile sağlanmaktadır. Bu rakamlara sahip olan ülkemiz güneş santralleri başta olmak üzere ihtiyaç duyduğumuz enerji ihtiyacımızı bir hayli hafifleteceğini göstermektedir. Daha az yakıt kullanmak, daha temiz ve sağlıklı çevre demektir. Temiz Enerji Vakfı (TEMEV) ve Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu-Türkiye Bölümü (UGET-TB) güneş enerjisi kullanımını arttırmak için faaliyetlerini sürdürmektedir (İnan ve Ültanır, 1996).



Şekil 2.9. Türkiye güneş haritası (URL-7, 2013).

Güneş enerjisi teknolojileri; yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte, su şekilde sınıflandırılabilir:

### 2.2.3. Isıl Güneş Teknolojileri

- Düşük sıcaklık sistemleri: Düzlemsel güneş kolektörleri, vakumlu güneş kolektörleri, güneş havuzları, güneş bacaları, su arıtma sistemleri, güneş mimarisi, ürün kurutma sistemleri ve seralar, güneş ocaklarıdır.
- Yoğunlaştırıcı sistemler: Parabolik oluk kolektörler, parabolik çanak sistemler, merkezi alıcı sistemlerdir.

### 2.2.4. Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Sistemleri

- Doğrusal yoğunlaştırıcılar.
- Noktasal yoğunlaştırıcılar.

Güneş enerjisi uygun bir teknoloji ile başka bir enerji türüne dönüştürülür. Isı ve elektrik enerjisi şuan itibariyle en fazla ihtiyaç duyulan etmendir. Yapılan çalışmalar genellikle, güneş enerjisinin ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülmesine yöneliktir. Hidrojen taşıma, ısıtma ve güç üretimindeki yüksek verimliliklerinden dolayı; nitelikli bir enerji kaynağı olarak tanımlanmıştır. Buna paralel olarak güneş enerjisinden hidrojen elde etme çalışmalarına hız verilmiştir. Güneş enerjisinden ısı enerjisi elde etme, pasif ısıtma ve aktif ısıtma yöntemleriyle yapılmaktadır (Gürsoy, 1999).

Elektrik enerjisi üretimi açısından, güneşten gelen enerji başlıca iki sınıfa ayrılabilir. Biri kızılötesi dalga boylarını içeren ve ısı enerjisi olarak açığa çıkan bir diğeri ise, görünür ve mor ötesi dalga boylarını kapsayan bölümdür. Güneşten gelen ısı enerjisini kullanan elektrik santralleri, güneş ışığını bilgisayar kontrollü aynalar tarafından bir kulede odaklanmaktadır. Bu sistemde güneşten gelen ısı enerjisi bir akışkana aktarılıp buhara dönüştürülerek bir türbo jeneratörü tahrik edip elektrik elde edilmektedir. Bu santrallerinin verimi %5 ile %6 arasında değişmektedir (Batman, 2001).

Kısaca değinmek gerekirse güneş enerjisini çeşitli aparatlar kullanarak, ısı ve elektrik formlarına dönüştürebiliriz. Bunları aşağıda ki gibi sıralayabiliriz;

Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri, Güneş Enerjisi ile Kurutma, Güneş Enerjisi ile Damıtma, Güneş Enerjisi ile Soğutma, Güneş Enerjisi ile Pişirme, Düşük Sıcaklık Uygulamaları, Orta sıcaklık uygulamaları (100-350 °C), Yüksek sıcaklık uygulamaları (350°C ve üzeri), Stirling Motorları İle Elektrik Üretimi, Güneş Enerjisinin Yoğunlaştırılması, Yoğunlaştırma uygulaması ise kendi arasında üçe ayrılır. Bunlar; parabolik oluk, ayna/motor ve güneş kulesi sistemleridir.

Güneş enerjisi sayesinde elde edilen bu sistemler arasında çağımız koşullarında dikkat çeken en önemli sistem fotovoltaiik sistemlerdir. Fotovoltaiik sistemlerin konu olarak ele alınabilmesi için öncelikli olarak, fotovoltaiik sistemlerde kullanılan malzemeler ve bunların kimyasal etkileşimleri göz önüne alınmalıdır. Bu sebepten dolayı Güneş Pilleri diye de adlandırılan bu sistemi anlamak için yapılarında bulunan malzemelerin periyodik cetvelde ki konumları, yalıtkan, iletken, yarı iletken kavramlarının iyi irdelenmesi gerekmektedir.



### 2.3.Yarı İletkenlerin Özellikleri

Fotovoltaik sistemlerin çalışma prensibini anlamak için, yapılarında kullanılacak malzemelerin periyodik olarak incelenmesi gerekmektedir. Tabiatta katı maddelerde iki komsu atom arasındaki uzaklık  $1^{\circ}A = 10^{-10}$  m angströmdür. Atomlar özelliklerine göre iki grupta toplanırlar. Biri atomlarının çok düzenli bir şekilde sıralandıkları kristal yapı olup diğeri atomlarının veya moleküllerinin bir sıvı içerisindeki kadar düzensiz ve karmaşık oldukları amorf yapıdır (Taylor ve Zafaritos, 1996; Küpeli 2005).

Elektriksel ve optik özelliklerine göre katılar; iletkenler, yalıtkanlar ve yarıiletkenler olmak üzere üç grupta toplanırlar. Bu farklar, katıyı oluşturan atomların dış yörüngelerindeki elektron sayısı, kristal yapıdan gelen periyodiklik ve Pauli İlkesi'dir. Yani elektriği iyi ileten maddelere iletken, iyi iletmevene ise yalıtkan adı verilir. Yarıiletken maddeler ise; öz dirençleri sıcaklıkla hızlı bir şekilde azalan, iletkenlerden daha az, fakat yalıtkanlardan daha çok elektriği ileten maddelerdir (Oral, 1979; Kittel,1996; Erol, 2001).

#### 2.3.1.Yarı iletkenler

Edmond Becquerel 'in 1839 senesinde yarı iletkenliği ele alarak başlattığı hareket günümüze kadar elektrik enerjisi elde edilme safhasına kadar gelmiştir. Edmond 1839'da aynı elektrolit içine batırılmış iki elektrottan biri üzerine ışık düşürerek bunlar arasında bir potansiyel farkı oluştuğunu gözlemlemiştir. Faraday 1883'te gümüş sülfatın direncinin sıcaklıkla azaldığını tespit etmiştir. 1915'te detektörler, 1920 'de ise selenyum ve bakır oksit detektörler kullanılmaya başlanmıştır. 1923'te Schottky'nin kuru redresörler teorisi, yarıiletkenlerin teorik olarak incelemesinde temel kabul edilmiştir. 1958 'de ise ABD'de Brattain ve Bordein tarafından nokta temaslı detektörler keşfedilmiştir. Bundan kısa bir süre sonra Shockley, yüzey temaslı transistörü meydana getirmiştir (Oral, 1979; Küpeli 2005).

İletkenlerde, sıcaklık arttıkça direnç artar. Sebebi ise iletkenliği sağlayan elektronların birbirleri ile birlikte ve etrafındaki diğ er etmenlerle daha fazla çarpışma yapmaları ve bundan dolayı hareketlerinin kısıtlanıp engellenmesidir. Sıcaklığın artması elektron

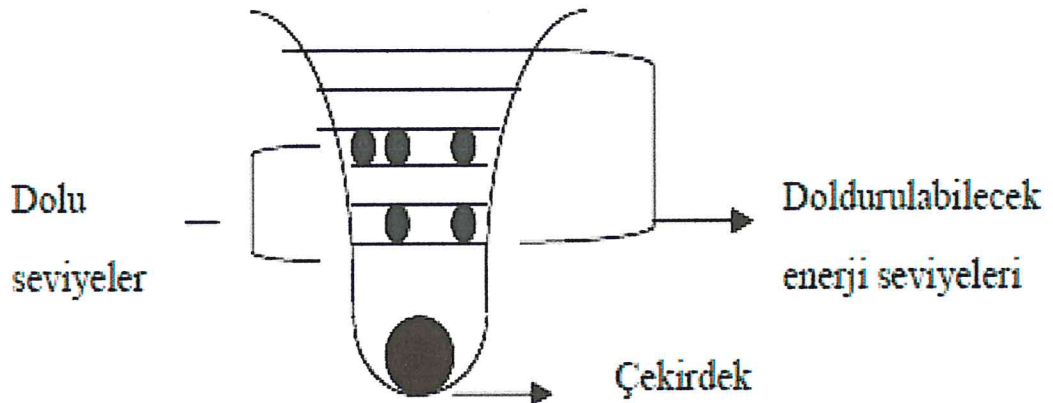
yoğunluğunda bir değişim meydana getirmez. Yani kısaca iletkenlerde birim hacimde bulunan elektron sayısı her sıcaklık için sabit olup değişmediği için tüm metaller bu gruba dâhil olur. İletkenlerde sıcaklık arttıkça direnç artar ama buna karşın yarı iletkenlerde ise sıcaklık arttıkça öz direnç azalır. Normal sıcaklık koşullarında, yarıiletkenlerin öz dirençleri  $10^{-2}$ – $10^9$   $\Omega\text{cm}$  arasında değişir. Bu bulduğumuz değer iletkenlerin öz dirençleri ile yalıtkanların öz dirençleri arasında bir değere tekabül ediyor. Yarı iletkenleri iletkenlerden ayıran en önemli özellik sıcaklık arttıkça öz dirençleri küçülür. Öz direncin üzerine etki eden diğer bir hususta madde yoğunluğudur (Oral, 1979; Kittel,1996; Küpeli,2005).

### 2.3.2.Bant Yapısı

Yalıtkanlar iletkenler ve yarı iletkenlerin yapısı enerji bant modeli yardımıyla izah edilmiştir.

### 2.3.3.Madde Yapısı

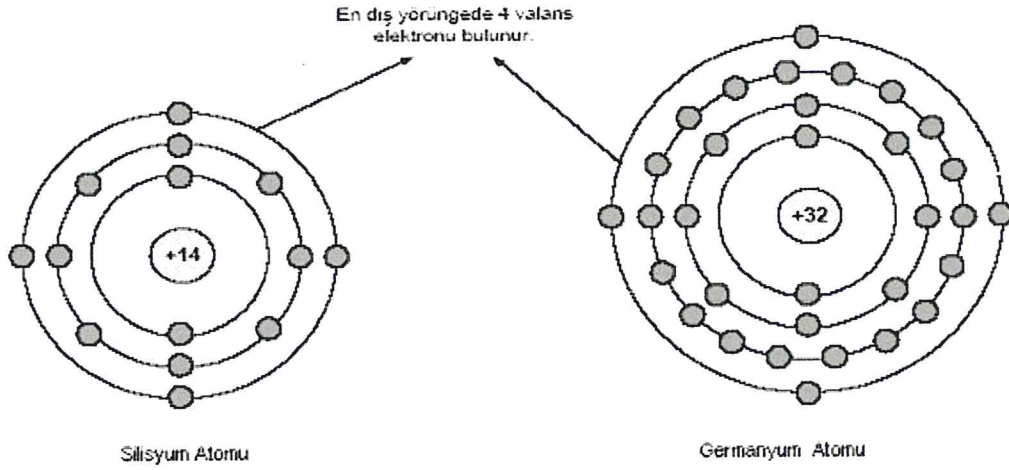
Doğada gördüğümüz tüm atomlar pozitif yüklü ağır bir çekirdek ve onun etrafında farklı yörüngelerde dolanan belirli tabakalardan meydana gelen belirli sayıda negatif yüklerden (elektronlardan) oluşur. Dolu bir tabakaya başka bir elektron yerleşemez.



Şekil 2.10.Yalıtılmış durumdaki bir atomun enerji seviyelerinin şematik gösterimi (Oral, 1979).

Enerji seviyeleri yatay çizgilerle belirtilir. Çekirdeğe en yakın elektrona ait olan enerji en küçüktür. Sistem enerjisinin en küçük olduğu duruma gelme eğilimi gösterir bu sonuca göre verilen atomun bütün elektronlarının, en düşük enerji seviyelerini işgal etmelerinin gerekli olduğu düşünülür. Ama Pauli İlkesi, özel bir enerji seviyesinde bulunabilecek

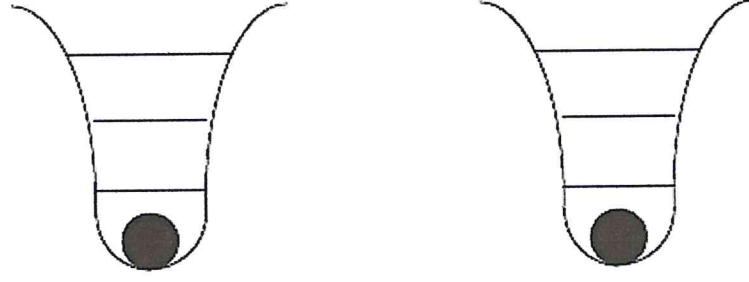
elektron sayısının sınırlı olduğunu kanıtlamıştır. Tüm atomlar için birinci tabakaya yerleşebilecek elektron sayısı en fazla 2, ikinci tabakaya yerleşebilecek elektron sayısı en fazla 8 ve üçüncü tabakaya yerleşebilecek elektron sayısı en fazla 18 'dir. Bu farklı enerji tabakalarının her biri, belirli enerji seviyelerine denk gelirler. Çünkü alt seviyelerde bulunan bir elektronu, üst seviyelerden herhangi bir seviyeye çıkarmak için gerekli enerjiler farklıdır. Son tabakadaki elektronlara valans elektronları denir. Son tabakada bulunabilecek toplam elektron sayısı hal olarak tanımlanır. Elektron şayet çekirdek etrafındaki yörüngesinde kalmak şartıyla hareket ettiği sürece ne enerji alır nede enerji yayar. Şayet elektron yörüngesini terk ederse enerji alıp veya verebilir. Yani yüksek bir enerji seviyesinden daha alçak bir enerji seviyesine geçtiğinde enerji emisyonu gerçekleşip, elektron alçak bir enerji seviyesinden daha yüksek bir enerji seviyesine geçerse enerji soğurulması olur (Küpeli, 2005).



Şekil 2.11. Silisyum ve Germanyum atomları(Küpeli,2005).

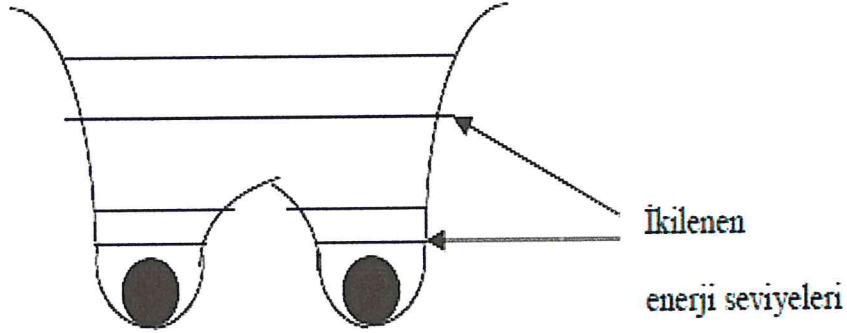
#### 2.3.4.Enerji Bantları

İki atom bir birlerine yaklaştırıldığı zaman, atomların enerji seviyelerinde bulunan elektronlar bu iki atom tarafından çekilir. Bundan dolayı bir elektronu bir çekirdeğin çevresinden kaldırıp, diğerinin çevresine yerleştirmek için gerekli enerji azalır her iki atom tarafından aynı şekilde yerleşir sonucu elde edilir ki her enerji seviyesi ikilenir.



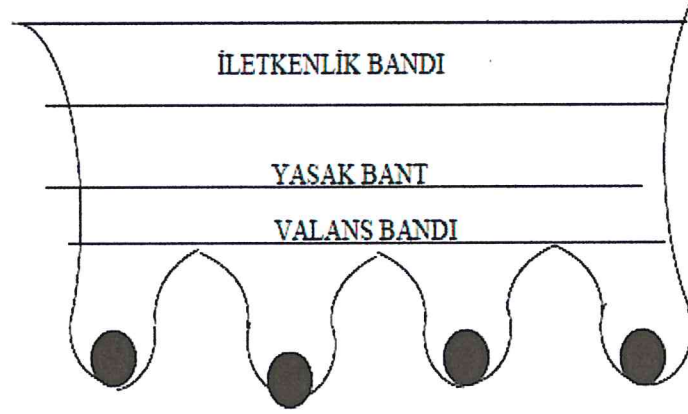
Şekil 2.12. Dış elektronlarına ait enerji seviyeleri belirtilmiş iki atomun gösterimi (Oral, 1979).

Atomlar birbirine çok yakın oldukları zaman her atomun çekirdeğinin yakınında iki enerji seviyesi oluşur. İşgal edilmemiş enerji seviyeleri de, her biri iki elektron içerecek şekilde ikilenir.



Şekil 2.13. İki atomun birbirine yakın olduğu andaki enerji seviyesi diyagramı (Oral, 1979).

Eğer üç atom olursa üç enerji seviyesi olur. Bir katıyı oluşturmak üzere atomların bir araya gelmesi ile oluşan ve bu atomların yalıtılmış veya birbirlerinden etkilenmeyecek uzaklıklarda buldukları durumdaki enerji seviyesinin yerini alan; bir araya gelen atom sayısı kadar farklı ve yakın enerji seviyeleri topluluğuna enerji bandı adı verilir. Yalıtılmış haldeki bir atomda, işgal edilmemiş yüksek seviyelere karşılık gelen yukarıdaki bantta elektron yoktur. Tamamen bos olan bu banda, iletkenlik bandı, Valans bandı ile iletkenlik bandı arasında yer alan ve hiçbir elektronun yer alamayacağı bölgeye yasak bant denir. Yasak bant aralığı  $E_g$  ile ifade edilir (Oral, 1979; Kittel, 1996; Küpeli, 2005).

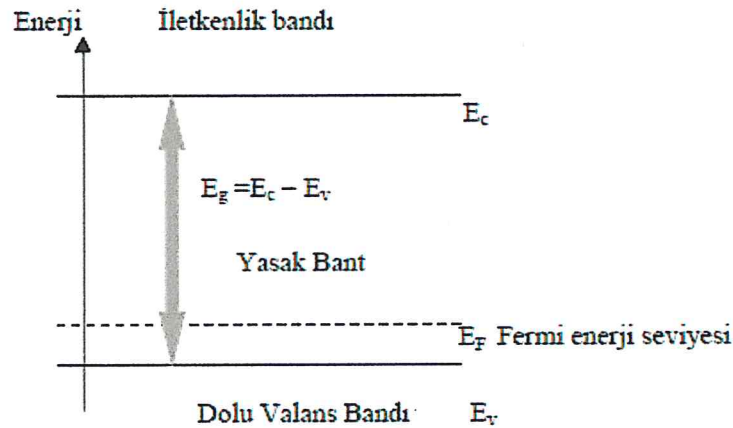


Şekil 2.14. Kristal bir yapıda oluşan valans bandı, iletkenlik bandı ve yasak bandı (Oral, 1979).

Yarı iletkenlerin valans bandındaki enerji seviyelerinde mutlak sıfır sıcaklığında, serbest elektron yoktur. Bütün seviyeler, elektronların hareket etmelerine olanak vermeyecek şekilde tamamen doludur. Bu şartlarda mutlak sıfır sıcaklığı dâhilinde yarı iletkenler yalıtkanlardır (Kittel, 1996; Erol, 2001). Elektronlar, valans bandının en üst seviyesi  $E_v$  ile iletkenlik bandının en alt seviyesi  $E_c$  arasında yer alan yasak bant aralığındaki hiçbir enerji seviyesinde yer almayıp yasak enerji aralığı  $E_g$  'nin değeri,

$$E_g = E_c - E_v$$

Termik uyarım koşullarında, foton ve tanecik bombardımanı şartlarında, elektronlar yasak enerji aralığına eşit veya daha fazla enerji kazanırlarsa; arkalarında holler bırakarak iletim bandına geçebilirler. Bu durumda bir elektrik alan uygulandığında; hem iletim bandında bulunan elektronlar, hem de valans bandındaki holler akıma katkı sağlarlar.

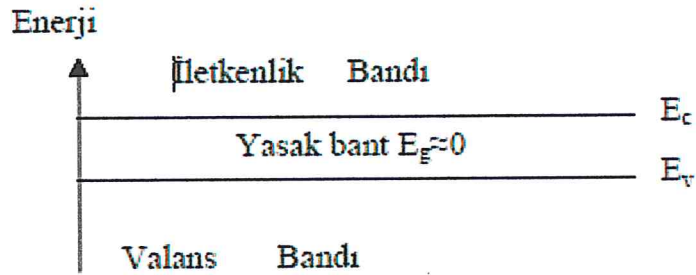


Şekil 2.15. Genel olarak tipik bir yarı iletkenin enerji bant diyagramı (Küpeli, 2005).

Bir katıda EF ile gösterilen Fermi enerji seviyesi mutlak sıfır sıcaklığında ( $T=0$  K), elektronların bulunabileceği en yüksek enerji seviyesi olarak ifade edilip Fermi enerji seviyesi, katkı maddesi içermeyen saf yarıiletkenler olarak tanımlanan has yarıiletkenler için yasak bandın ortasındadır. Katkılı yarıiletkenler için katkı türüne ve yoğunluğuna bağlı olarak; yasak bant içerisinde, aşağı ya da yukarı doğru kayar (Kittel, 1996; Küpeli, 2005).

### 2.3.5.İletkenlerin Enerji Bant Modeliyle İncelenmesi

Yasak bant aralığı iletkenlerde hemen hemen sıfır olup bundan dolayı Valans Bandı içerisinde bulunan tüm elektronlar, aynı zamanda iletkenlik bandında kabul edilir. Bundan dolayı iletkenlik ve valans bandı tamamen doludur denir. Valans elektronlarının birçoğu, bir elektrik alanın olması durumunda katının içinde hareket etmeye hazırdırlar. Sıcaklık değiştirildiği zaman elektron yoğunluğu değişmemekte, sıcaklık arttığında, elektronların birbirleriyle ve çevredeki diğer saçılma faktörleriyle (fononlar, kristal hataları) çarpışmaları artar. Bu durum elektronların hareketlerinin engellenmesine yol açtığından iletkenlerin direnci sıcaklıkla artar (Kittel, 1996; Küpeli, 2005).

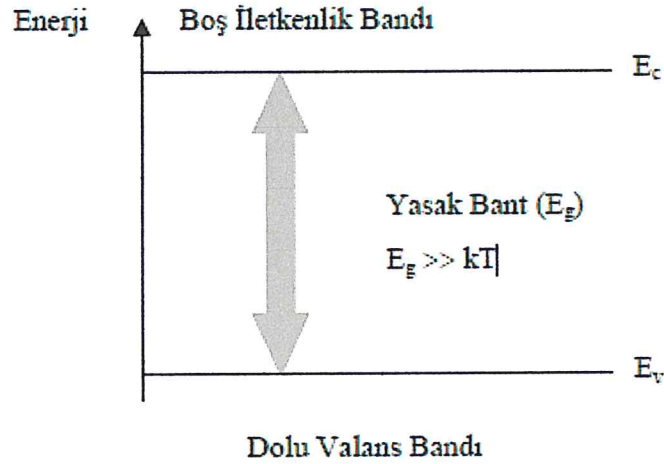


Şekil 2.16. İletkenlerde enerji bant modelinin gösterilmesi (Kittel,1996;Küpeli,2005).

### 2.3.6.Yalıtkanların enerji bant modeliyle incelenmesi

İletkenlerde veya yarı iletkenlerdeki yük taşıyıcılar elektronlar ve hollerdir. Elektronlar maddenin yapısında negatif yüklü tanecikler diye de adlandırılır. Valans bandından iletkenlik bandına geçen elektronların geride bıraktıkları boşluklara da hol adı verilir. Bu yük taşıyıcılarının, sadece sıcaklıklarından dolayı sahip oldukları  $kT$  değerindeki kinetik

enerjiye termik kinetik enerji veya termal enerji adı verilir. (Ökten, 1994). Termal enerji ifadesinde;  $k$  Boltzmann sabitini,  $T$  ise mutlak sıcaklığı ifade eder (Küpeli,2005).



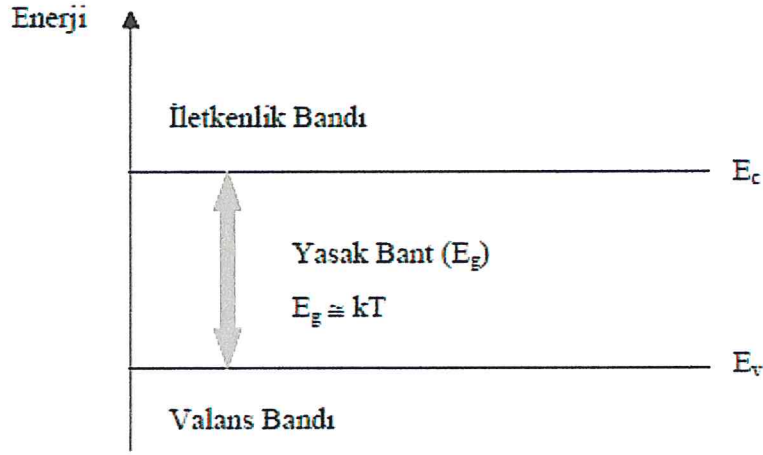
Şekil 2.17. Yalıtkanlarda enerji bant modelinin şematik gösterimi (Küpeli, 2005).

Yalıtkan bir kristalin yasak bant aralığı, taneciklerin sıcaklık etkisi ile kazanabilecekleri  $kT$  değerindeki termal enerjiden çok daha büyüktür. Bundan dolayı valans bandındaki hiçbir elektron, üstteki iletkenlik bandına geçemez. Valans bandı tamamen dolu iken iletkenlik bandı tamamen boş olduğundan, iletimi sağlayacak elektronların sayısı yok denecek kadar az olur. Bu yüzden Valans bandındaki elektronlar da iletkenliğe katılamazlar ve elektriği iyi iletmezler (Kittel, 1996; Küpeli, 2005).

Yalıtkan bir kristalin valans bandında bulunan bir elektronun, iletkenlik bandına geçebilmesi için ona çok büyük bir enerji verilmesi gerekmekte olup ama bu derecede büyük bir enerji kristale zarar verir (Oral, 1979).

### 2.3.7.Yarı iletkenlerin enerji bant modeliyle incelenmesi

Yarıiletkenlerin enerji bant modeli yalıtkanların enerji bant modeline benzemekle birlikte, yarıiletkenin yasak bant aralığı daha küçük olup  $1eV$  değerindedir.

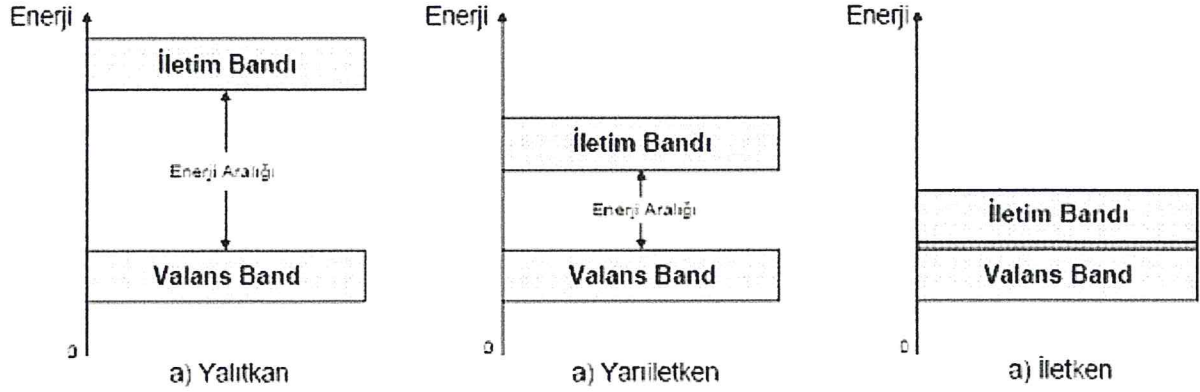


Şekil 2.18. Yarıiletkenlerde enerji bant modelinin şematik gösterimi (Küpeli, 2005).

Yarı iletkenler mutlak sıfır sıcaklığında ( $T=0$  K), elektronların termal enerjileri  $kT$  ifadesine göre sıfır olacağı için bütün elektronlar valans bandında bulunur. Yani  $T=0$  K 'de yarıiletkenler yalıtkan gibi davranır. Sıcaklık arttığında, elektronlar sıcaklığa bağlı olarak  $kT$  değerinde bir termal enerji kazanırlar. Bu enerji yasak enerji aralığına eşit veya büyük olursa; valans bandındaki elektronlar arkalarında holler bırakıp iletkenlik bandına geçerler. Geride bıraktıkları holler, valans bandındaki elektronlara hareket imkânı tanıdığından; hem bu holler, hem de iletkenlik bandına geçen elektronlar iletkenliğe katkıda bulunur (Kittel, 1996; Küpeli, 2005).

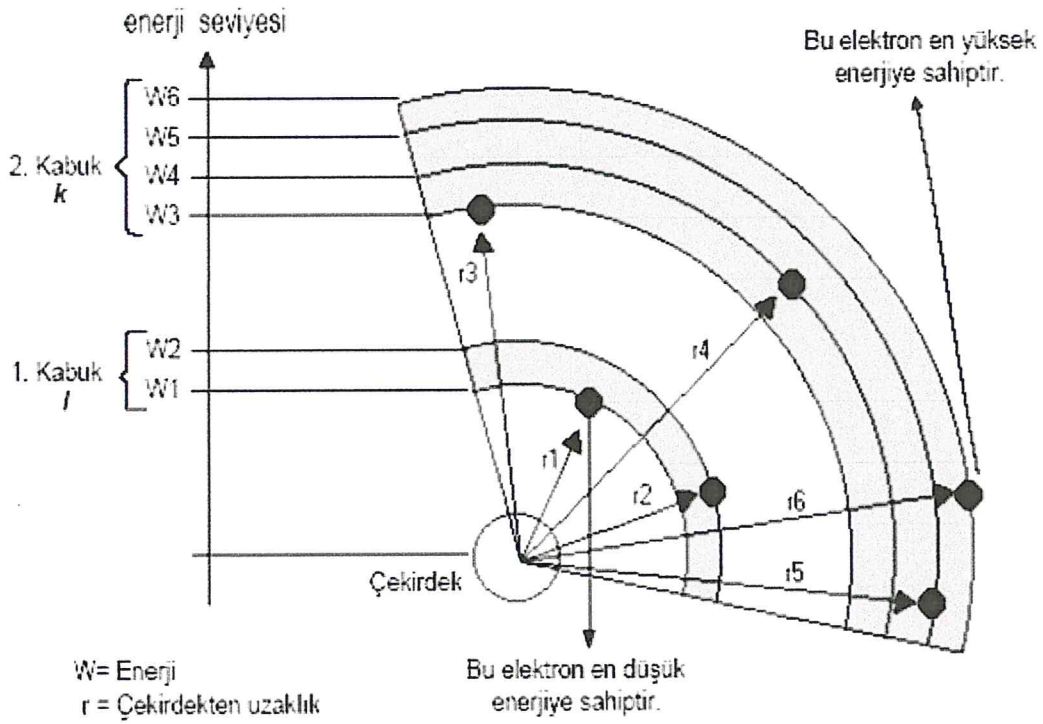
Gazlarda bulunan elektronlar belirli bir enerji bandını işgal ettikleri halde bir kristalin atomları, kristal içinde düzenli bir şekilde yer alırlar. Atomlar birbirlerine çok yakın olup elektronlar, birbirine yakın enerjileri temsil eden enerji bandları üzerinde bulunurlar. Mesela sadece tek bir germanyum atomunda atom temel haldedir. Mutlak sıfır, sıcaklıkta, elektron minimum enerji seviyesine sahip iken Germanyum kristalinde ise, mutlak sıfır sıcaklıkta, temel seviyenin yerini valans bandı alır. Daha sonra hiçbir elektronun bulunmadığı yasak bölge ve sonra da yüksek enerjili iletkenlik bandı bulunur. Bu sıcaklıkta Ge kristalinde iletkenlik bandında hiçbir elektron bulunmadığından kristal ideal bir yalıtıcıdır (Karamanav, 2007).





Şekil 2.19. Enerji Bandları (Karamanav, 2007).

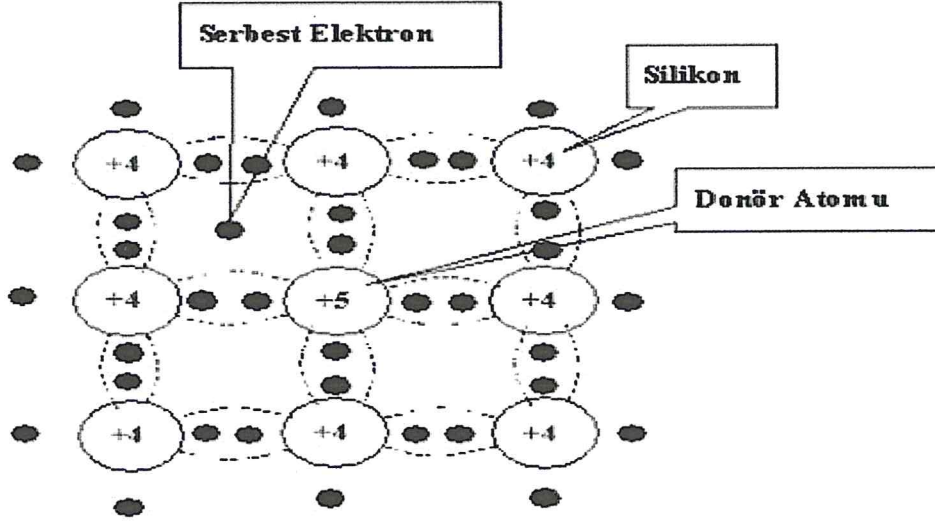
Ge kristalini iletken yapabilmek için, iletkenlik seviyesine elektron vermeliyiz ki bunun için gerekli olan enerji 0,7 eV civarındadır. Fotoelektrik olayı için  $E_g$ , kristalin soğurabileceği minimum enerjisini ifade eder. Buna karşı, bir metalik kristalde yasak band olmadığı gibi iletkenliği temin edecek, iletkenlik bandında çok sayıda elektron bulunur. Yarı iletkenlerde, yasak bandı geçmek için 1 eV yeterli olmakla birlikte oda sıcaklığında kristal atomlarından birkaç tanesinin elektronları, iletkenlik bandına geçer ve iletkenliği sağlarlar. Geride bıraktıkları boşluğa ise başka bir elektron gelir ve o da iletkenliğe katılmış olur. Kristaller ortak elektronla birbirine bağlı atomların düzgün olarak birleşmeleriyle meydana gelmiş olup bu bağa Kovalent bağ adı verilir. Valans elektronlar ise kovalent bağ içinde, bir atomdakinden daha düşük enerji seviyesinde bulunurlar. Kristali bozmak için, bu enerji farkı kadar enerji gerekir ki buda kristalin kararlılığını gösterir. İki atomu birbirine bağlayan valans elektronların serbest hale geçmesini sağlamak için gerekli olan enerji metaller için sıfır, yalıtkanlar için birçok elektron volt, yarı iletkenler için 1eV civarındadır (Karamanav, 2007).



Şekil 2.20. Elektronların çekirdekten uzaklıklarına göre enerji seviyeleri (Karamanav, 2007).

### 2.3.8.N Tipi Yarı İletken

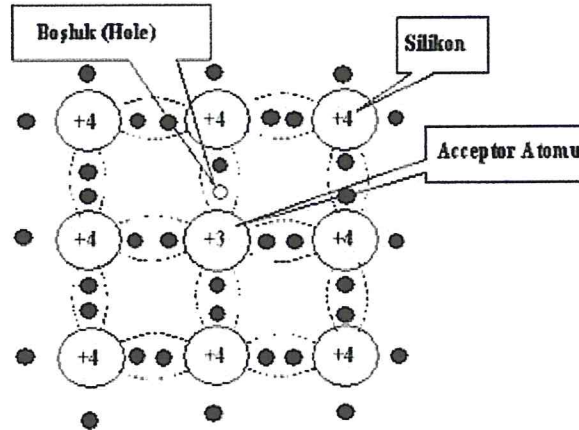
Bu yarı iletken tipe iletkenlik tipini değiştirmek için Si ve Ge içine, periyodik cetvelin III ve V. Grup elementleri ilave edilerek sonuç elde edilir. Bu elementler boş valans elektronu bulundurlar. Arsenik, Bor, Fosfor, Antimuan gibi elementler bu türdendir. Daha da açacak olursak ergimiş halde bulunan Ge elementine arsenik ilave edilirse, her arsenik atomu, bir Ge atomu yerini alacak ve 4 elektronuyla kovalant bağ oluşturup 5. Valans elektronu serbest kalıp iletkenliği sağlayacaktır. Burada iletkenlik (-) yükü ile sağlandığı için N tipi yarı iletken ismini alır. Ve bu elektronlar, oda sıcaklığında, iletkenlik bandına ulaşır (Çıtıroğlu, 2007; Karamanav, 2007).



Şekil 2.21. N Tipi Yarı İletken (Karamanav, 2007).

### 2.3.9.P Tipi Yarı İletken

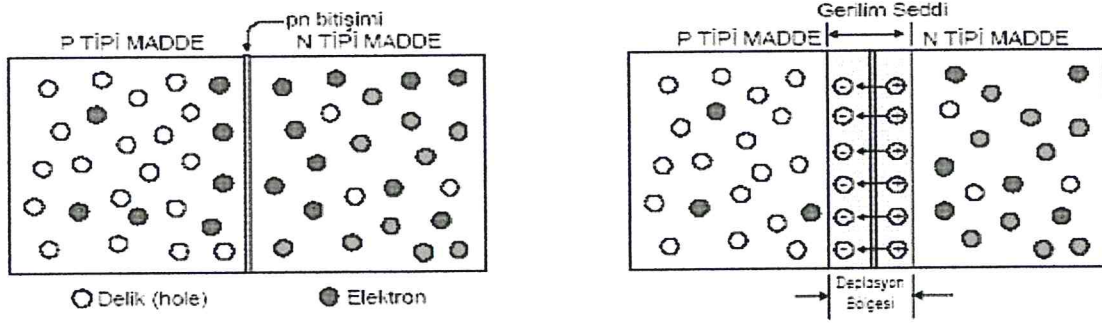
Ergimiş halde bulunan germanyuma, III. gruptan üç valans elektronu bulunduran elementler ilave edilerek işlem yapılır. Örnek olarak İndium, Galyum, vb. elementlerini verebiliriz. Yapılacak olan işlemde Katılma sırasında indium atomları kristal örgü içinde Ge atomunun yerine geçer. İşlem sırasında kovalent bağ için 3 elektron mevcuttur ve komşu atomdan bir elektron kopararak bağ oluşturur. Böylece komşu atomda bir boşluk oluşmuş olur ki buda elektron hareketine sebep olur. Bir yarı iletkenin kullanılabilme maksimum sıcaklığı, aktivasyon enerjisiyle artar. Kullanabilme maksimum frekans ise yük taşıyıcıların hareketliliği ile artar (Çıtıroğlu, 2007; Karamanav, 2007).



Şekil 2.22. P Tipi Yarı İletken (Karamanav, 2007).

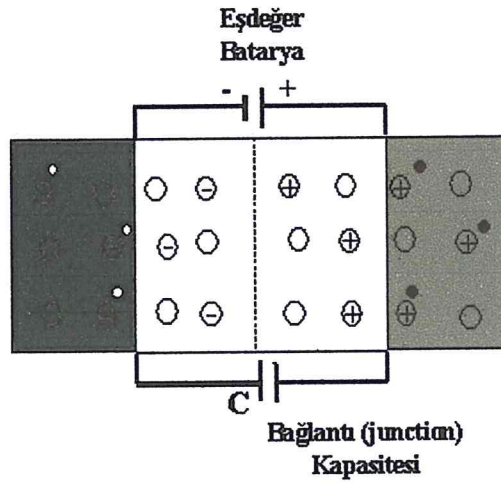
### 2.3.10.P – N kavşağı

Bu kavşak bir monokristal yarı iletkenliğinin P tipinden N tipine geçiş bölgesi diye adlandırılan bu bölge kristalleşme sırasında oluşturulup N bölgesinde, termik uyarımla azınlıkta olan boşluk ve çoğunlukta olan elektron yükleri ve (+) iyonize atomlar mevcuttur.



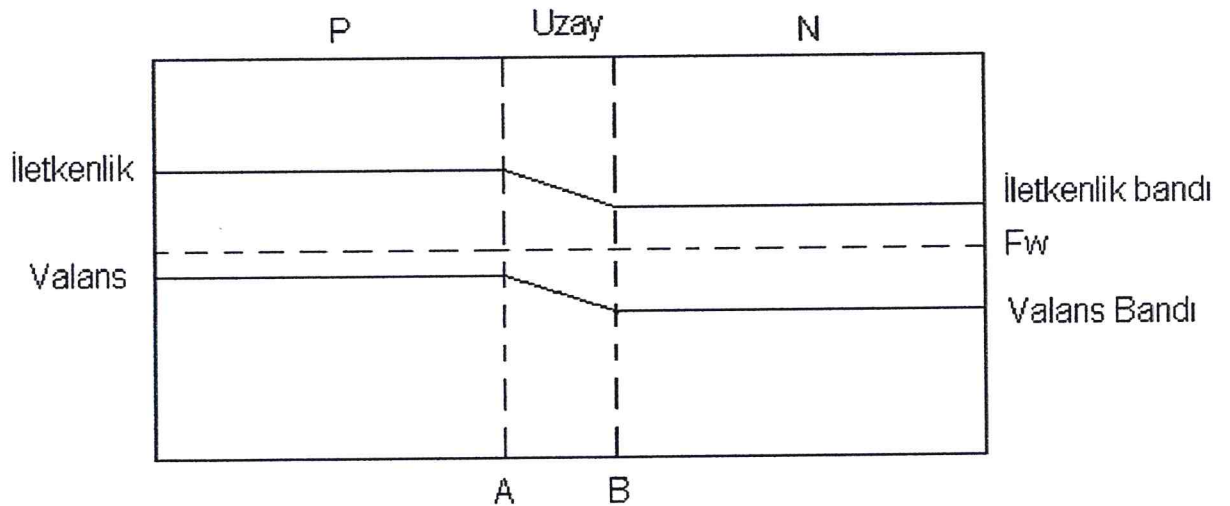
Şekil 2.23. P – N Kavşağının Oluşum (Karamanav, 2007).

Buna karşın P bölgesinde negatif iyonize atom, termik uyarımla bulunabilen azınlık elektron ve çoğunluk elektron boşlukları vardır. P ve N ikisi beraber temasa geçirildiğinde, N bölgesindeki elektronlar(çoğunlukta) P tipi bölgeye hareket edip P bölgesindeki elektron boşlukları da N bölgesine hareket eder. Böylece N tipi bölgedeki atomlar (+), P tipi bölgedeki atomlar (-) olarak iyonlaşıp kristal içinde sabit yük merkezleri meydana getirirler. Kavşağın her iki yüzünde iyonize olmuş atomlar kristal içinde yönü N'den P'ye olan bir elektrik alan oluşturur. Geçiş bölgesi olan bu bölgede serbest yük yoktur. Bu kavşakta meydana gelen potansiyel farkı P'den N'ye geçecek boşluklar ve N'den P'ye geçecek elektronlar için bir potansiyel duvarı meydana getirerek N'den ayrılacak bir elektron, arkasında kendini geri çağırarak bir boşluk bırakır ve önündeki P tipi bölgedeki (-) yükler elektronu püskürtür. Yani kısaca P-N kavşağında meydana gelen elektrik alan, kavşak civarındaki elektronu, P'den N'ye doğru iter (N'deki elektronu geri püskürtür, P'deki elektronu N'ye iletir). Kavşağın enerji bandı N bölgesinde, valans ve iletkenlik bandı enerjileri, P'dekilerden düşüktür (Çıtıroğlu, 2007; Karamanav,2007).

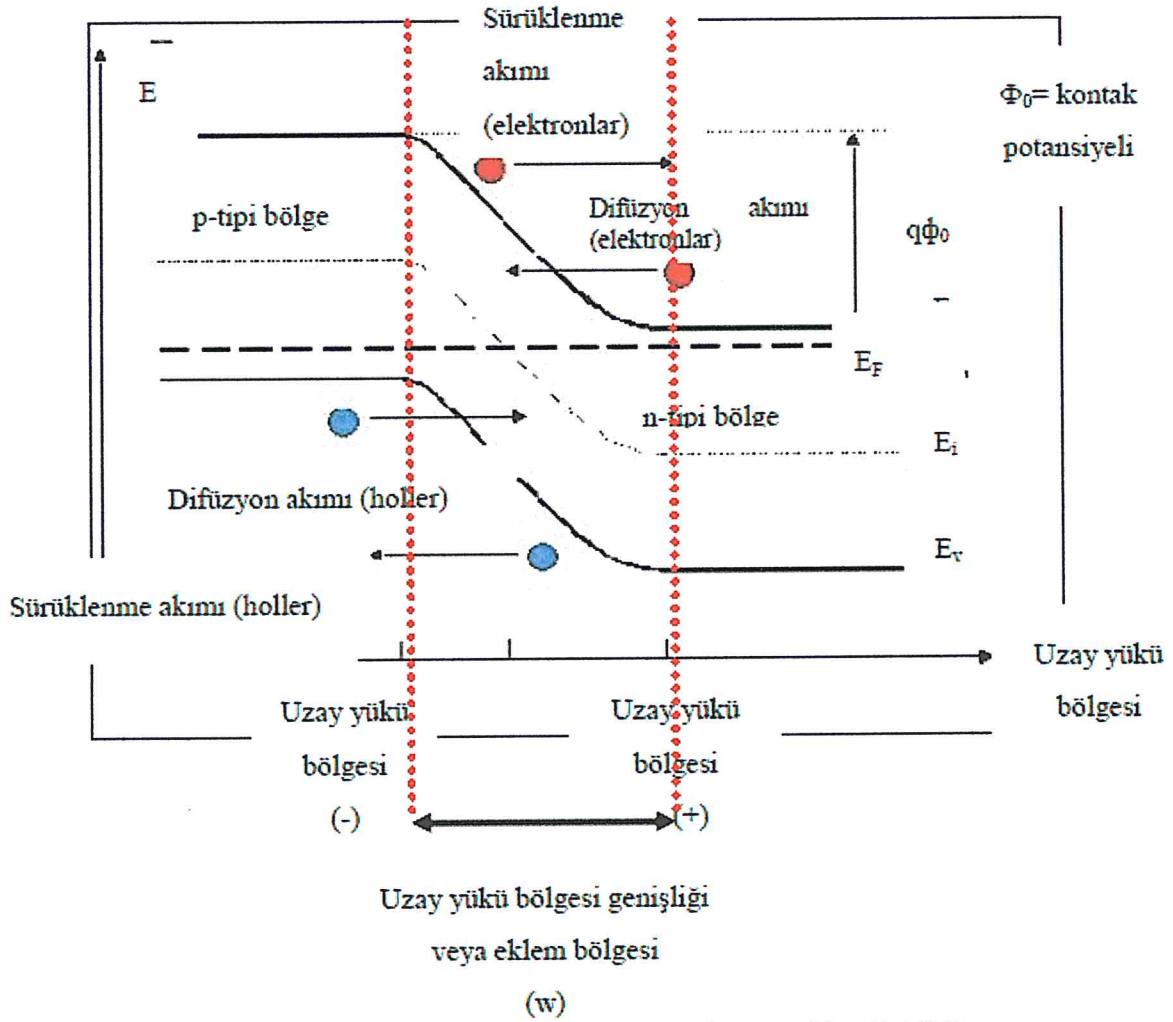


Şekil 2.24. P – N Kavşağı ve İç Akım (Karamanav, 2007).

Bir ışık demeti yeterli enerjiye sahipse ve P-N kavşağı üzerine aktarılırsa, foton, valans elektronu ile karşılaşır ve ona enerjisini bırakarak iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. İletkenlik bandına çıkan elektron arkasında bir elektron boşluğu bırakır. Bu olay şayet olay A-B aralığında olursa elektron, oluşan elektrik alanla N bölgesine, boşluk da P bölgesine doğru itilir. Ama olay kavşağa yakın N bölgesinde oluşmuş ise, boşluk yine P bölgesine götürülür. Kavşaktan uzakta oluşan elektron boşluk, zaman içerisinde birbirlerini bulur. Kısaca söylemek gerekirse P tipi bölge (+), N tipi bölge (-) yüklenmiş ve bir potansiyel doğmuştur (Karamanav, 2007).



Şekil 2.25. P – N Kavşağında Enerji Bandı (Karamanav, 2007).



Şekil 2.26. Termal denge durumunda p-n eklemının enerji bant diyagramı (Küpeli, 2005).

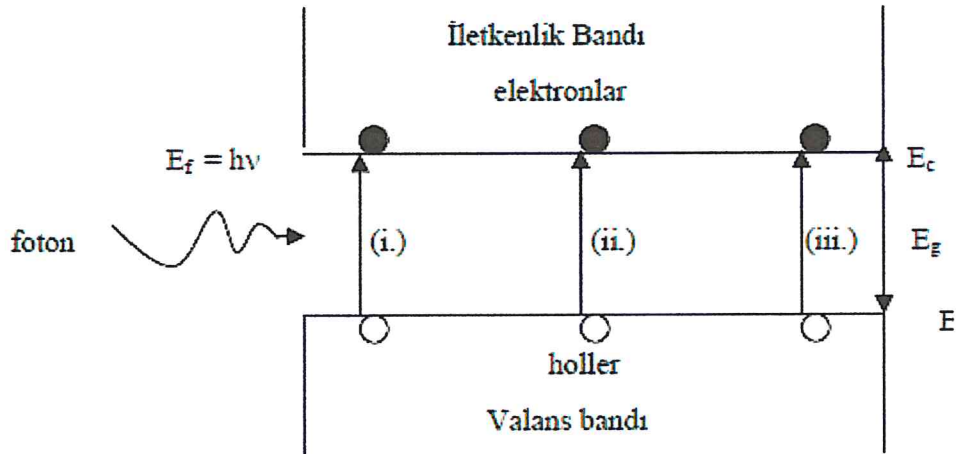
### 2.3.11. Yarıiletken Türleri

Yarıiletkenlerden yararlanılarak yapılan düzenekler diyotlar, foto-diyotlar, transistörler, güneş pilleri, detektörler, termistörler, fotoseller, modülatörler vb. sayabiliriz. Bu düzenekleri elde etmek için kullanılacak olan uygun özelliklere sahip yarıiletkenler, çoğu zaman doğal bir şekilde bulunmadıklarından bazı işlemlerden geçirilerek, bir takım özelliklerinin değiştirilmesi gerekir. Örneğin en basit şekilde yarıiletken düzenekler p-n eklemi içerdiklerinden bir p-n eklemi elde edebilmek için çoğunluk yük taşıyıcısı holler olan p-tipi yarıiletkenler ile çoğunluk yük taşıyıcısı elektronlar olan n-tipi yarıiletkenler elde edilip, bunlar bir birine eklenmektedir. Nedeni p-n eklemi, mono kristal (tek kristal) yarıiletkenin iletkenliğinin bir tipten başka bir tipe değiştiği alan olup p-tipi ve n-tipi iletkenliğe sahip yarıiletkenler uygun katkılama işlemleriyle elde edilebilirler. İçinde hiç

yabancı atom bulundurmeyan yarı iletkenlere has yarıiletkenler denir (Kittel, 1996; Erol, 2001).

Periyodik cetvelin IV. grubunda yer alan silisyum (Si), germanyum (Ge) gibi elementler içerisinde III. ve V. gruptan bir atom katılması işlemine katkılama denir. Bu şekilde elde edilen elektriksel ve optik özellikleri değişen maddelere has olmayan ya da katkı yarıiletkenler denir. Katkılama işlemiyle p-tipi ve n-tipi iletkenliğe sahip yarıiletkenler elde edilir (Oral, 1979; Küpeli, 2005).

Yapılan işlemde maddenin üzerine ışık düşürüldüğünde; ışığın bir kısmı maddeden geçer, bir kısmı da yansır. Maddeden geçen ve yansıyan ışınların absorplanmasından yararlanılarak yapılan ölçümler, absorpsiyon spektrometrisinin temelini oluşturur (Kul, 1996; Akyüz, 2000).



Şekil 2.27. Yarıiletkenlerde gerçekleşen temel geçişlerin şematik gösterimi (Küpeli, 2005).

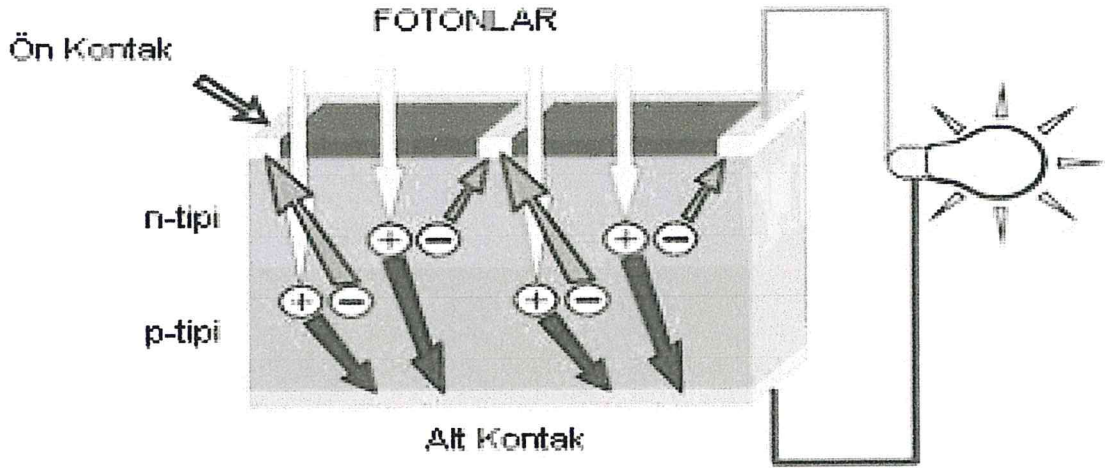
Katkılama konusunu anlamak için verilmesi gereken en güzel örnek silisyum kristalidir. Saf silisyum kristalinde her atom 14 elektrona sahip olup en dış yörüngedeki dört elektron, komşu atomlarla olan durumu belirler. Bu dışta bulunan dört atoma değerlik elektronları adı verilerek bunların her biri, en yakınında bulunan dört silisyum atomu ile bağ yapıp silisyum kristalindeki ana yapı taşını oluşturur. Bu ana yapı taşı, küpün merkezindeki bir silisyum atomu ve küpün birbirine komşu olmayan köşelerinde birer silisyum atomu yerleşmesi ile elde edilir. Saf silisyum kristali ile fosfor katkılanırsa bir elektron açığa çıkar. Şayet çok küçük bir enerji verildiği an, boşta kalan bu elektron atomdan ayrılarak

silisyum kristalinin iletkenlik bandına çıkar ki fosfor atomunda olduğu gibi, katıldığı kristal yapıya elektron veren safsızlık atomlarına verici denir. Bu yolla katkılanmış yarı-iletkenlerde elektriksel yük, elektronlar ile iletkenlik bandında taşınır ve bu nedenle bu yarıiletkenler n-tipi olarak adlandırılır. Ama şayet saf silisyum kristali içerisinde değerlik elektron sayısı üç olan boron atomu katkıladığımızı düşünürsek silisyum atomunun yerini alan boron atomu, silisyum kristalindeki üç atomla bağ yaparken dördüncü atomla paylaşacağı elektronu olmadığından bir eksik bağ ortaya çıkacaktır ki değerlik bandının düzeylerine küçük bir enerji vermemiz bile boşlukların oluşmasını sağlar. Ve bu şekilde katkılanmış yarı-iletkenlerde değerlik bandındaki boşlukların sayısı iletkenlik bandındaki serbest elektron sayısından daha çok olduğundan, çoğunluk taşıyıcıları artı yükleri gibi düşünülen boşluklardır. Boşlukların çoğunluk taşıyıcısı olduğu bu tür malzemeler p-tipi yarı-iletken diye adlandırılır. Ama unutulmaması gereken en önemli konu yarı iletken ister n-tipi isterse p-tipi olsun kendi içlerinden nötür oldukları için dışarıya karşı herhangi net bir elektrik yükü açığa çıkarmayıp sadece dışarıdan bir elektrik alan uygulandığında elektrik alana tepki veren çoğunluk taşıyıcılarıdır. Kısaca özetlersek N-tipi yarı iletkendeki çoğunluk taşıyıcıları elektronlar ve azınlık taşıyıcıları boşluklar olup buna karşılık p-tipi yarı iletkende tersi olur ki elektronlar elektrik alan ile ters yönde hareket ederken, boşluklar elektrik alan doğrultusunda hareket ederler (Karamanav, 2007).

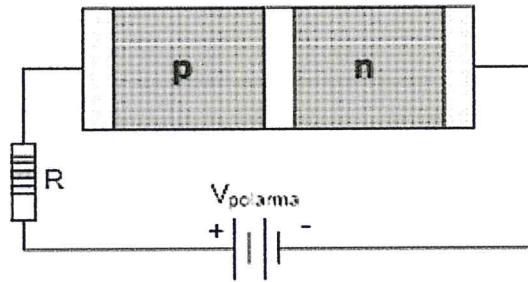
### **2.3.12.Güneş Pili Eşdeğer Şeması**

Yukarıda detaylı bir şekilde açıkladığımız gibi güneş pili bir yarı iletken düzenek olup N tipi ile çoğunluk yük taşıyıcıları oyuklardan oluşan P tipi yarı iletkenlerin yan yana getirilerek bu birleşme noktasına ışık enerjisi düşürülürse dış devreden bir akım geçebilmektedir.



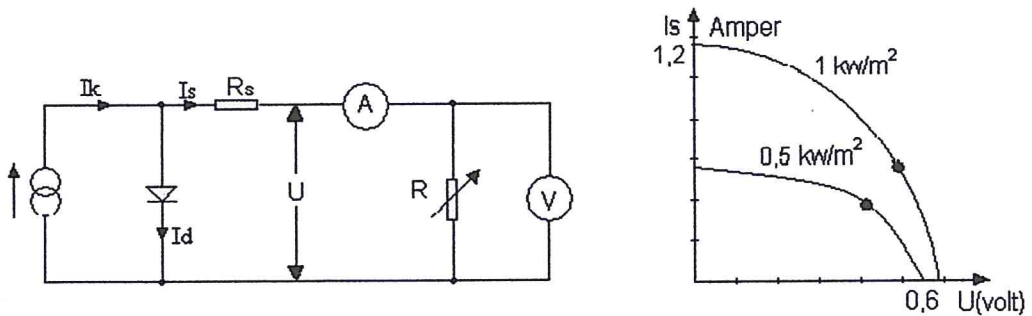


Şekil 2.28. Güneş Pili (Karamanav, 2007).



Şekil 2.29. P – N kavşağının oluşturulması ve kavşağa düşen foton enerjisi ile iletkenlik temini (Karamanav, 2007).

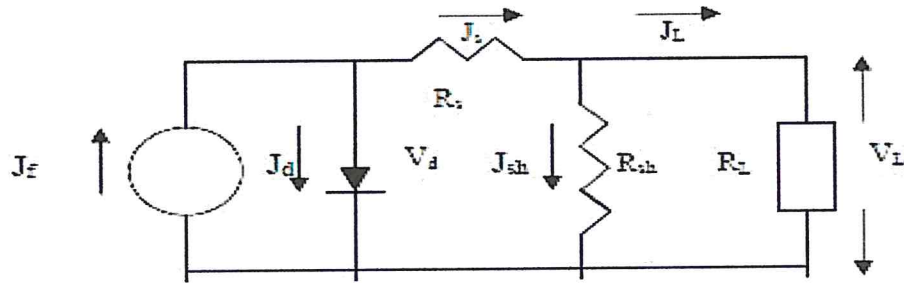
Şimdi bu elde edilen veriler ışığında sistemin volt ve amper durumunu şematik olarak ele alıp ve varsayalım ki güneş pilinde N tipi bölgede elektron üreten bir elektromotor kuvveti olsun buna gelen eşdeğer devre aşağıda görülmektedir. Bunun yanında devre elemanları bir elektromotor kuvvet, bir iç diyot ve bir iç direnç şeklinde sembolize edilebilir.



Şekil 2.30. Güneş Pili Eşdeğer Elektrik Şeması (Karamanav, 2007).

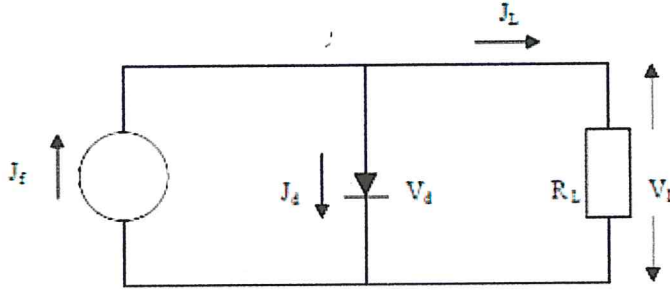
Bu aşamada güneş pilleri güneşlenme koşullarında birim alan başına belirli bir akım ve voltaj üretirler ihtiyaç duyulması gereken enerji için birçok pili seri ve paralel olarak bağlamak lazım gelir ki buda güneş panellerini meydana getirir. Güneş pilinde dış devre akım şiddetini ve uçlardaki gerilimi ölçebiliriz. Kontrol edilebilen bir dış dirençle yani ayarlanabilir bir dış dirençle, gerilim ve akım açık devreden kısa devreye kadar değiştirilerek gerilim akım şiddeti eğrileri elde edilebilir. 1 cm<sup>2</sup>'lik pil güneşlenme alanı için ışıma şiddeti 0.5 – 1.0 kW/m<sup>2</sup> arasında değişirken, optimum çalışma noktaları ve sabit yük eğrisi şekilde gösterildiği gibi oluşturulur (Karamanav, 2007).

Aşağıda güneş pilinin eşdeğer devresi verilip,  $R_s$  güneş pilinin iç seri direncini,  $R_{sh}$  şönt direncini,  $R_L$  yük direncini,  $J_L$  ise yük direnci içinden geçen akım yoğunluklarını ifade ederse,



Şekil 2.31. Bir Güneş Pilinin Eş Değer Devresi (Köse, 1986).

güneş pilinin açık devre gerilimi şekilde gösterildiği gibi olup pilden geçen akımın sıfır olduğu durumda pil uçlarında ki ölçüm potansiyel farkını verip pilin kısa devre akımı sıfır gerilim altında ve aydınlatma altında pilden geçen akımı verdiği gibi bu akımın şiddeti ise seri direnç etkilerinin ihmal edildiği ideal durumda ışıkla oluşan akıma eşit olup, ışıma şiddetine bağlıdır. İdeal bir güneş pili için  $R_s=0$  ve  $R_{sh}=\infty$  kabul edilir.



Şekil 2.32. İdeal Bir Fotovoltaik Güneş Piliin Eşdeğer Devresi (Köse, 1986).

### 2.3.13. Yarıiletken Güneş Pillerinde Kullanılan Malzemeler

Fotovoltaik güneş pillerinde kullanılan malzeme seçiminde ekonomik değerlerin yanı sıra malzemenin yüksek verimliliği de göz önüne alınmalıdır. Bugün yaygın olarak kullanılan yarı iletken silisyum olup tek-çoklu kristal veya tabakadan elde edilebilip dilimlenmiş kalın kristal malzemeden veya bir taşıyıcı üzerinde oluşturulmuş çoklu kristal veya ince film tabakalarından üretilir.

**Kalın kristal malzeme:** Kristal silisyum, galyum arsenik (GaAs).

**İnce film malzeme:** Amorf silisyum, kadmiyum sülfür (CdS), kadmiyum tellür (CdTe), bakır indium diselenoid (CuInSe<sub>2</sub>).

**Optik yoğunlaştırıcı hücreler** (Küveli, 2005).

Güneş pili yapımında kullanacağımız malzeme seçinde, yarıiletkenin optik özellikleri dikkate göz ardı edilmemelidir. Doğrudan bant geçişine sahip yarıiletkenlerde gelen ışınlar kısa mesafelerde absorplanmalarına rağmen, indirekt bant geçişli malzemelerde ise daha derinlerde absorplanmaktadır. Direkt bant geçişli malzeme kullanılarak yapılan güneş pilleri, indirekt bant geçişli malzeme kullanılarak yapılanlara göre daha ince ve daha az malzemeyle Üretilebileceği gibi indirekt bant geçişli malzemelerde, yüzey birleşmeleri daha çok olur ve pilin çıkış gücü düşerken, direkt bant geçişli yarıiletkenlerin elde edilmesi hem zor, hem de pahalıdır (Köse, 1986).

Yüksek verimlik için fotovoltaik dönüşümün yasak enerji aralığı en uygun malzemenin seçilmesi. Malzemenin yapısal ve elektriksel özelliklerinin dikkate alınıp geliştirilmesi ve heteroeklem yapının oluşturulurken, yarıiletkenlerin seçiminde en uygun kombinasyonun kullanılması göz önüne alınmalıdır. Aynı zamanda seçilen malzemenin ekonomik olması, bol bulunması, ayrıca çevre dostu olması veya çevreye en az zararı verecek nitelikte olması gerekmektedir. Diğer bir ölçüt ise yarıiletken maddenin kristal yapısıdır. Yarıiletken malzemedeki kusurlar, iletimi düşürdüğü gibi elektron hareketini de kısıtlarlar. Tek kristalli malzemelerin yapısal özellikleri kristali oluşturan tüm yapıda aynı olmasına rağmen çok kristalli malzeme, yapısal özellikleri birbirlerinden farklı olan ve “damar” adı verilen bölgeler bulunur ki damarlar arası geçişler elektron göçünün hareketini kısıtlar. Bunu önlemek için p veya n-tipi katkılandırılmış yarıiletkenlerin uygun şekilde üst üste getirilmesi ile oluşturulan heteroeklemler yapı kullanılabilir. Bu uygulamada; güneş ışınlarının büyük oranda soğurulmasını sağlayan düşük yasak bant aralığına sahip bir yarıiletken malzeme ile eklem ışık alan tarafı yapılır. Eklem diğer tarafının oluşturulmasında seçilen yarıiletken malzemenin, eklemden yüksek bir gerilim elde etmeyi sağlayacak yasak bant aralığına sahip olması gerekir. Fakat bu şekilde üretilmiş yapılarda da eklem ara yüzeyleri ve taşıyıcıların yeniden birleşmesine neden olan kusurlar da karşımıza çıkmaktadır (Oktik, 2001).

## 2.4. Güneş Pilleri Çeşitleri

Güneş pilleri üretimlerinde kullanılan kristalin cinsine göre üç ana grup altında toplanır. Bunlar:

1. p-n homoeklemler güneş pilleri,
2. p-n heteroeklemler güneş pilleri,
3. Amorf silisyum (a:Si) güneş pilleridir.

### 2.4.1.P-N Homoeklemler Güneş Pilleri

Bunlar Tek kristalli veya çok kristalli (polikristal) olarak aynı cins yarı iletken materyallerle üretilirler. Polikristallerin elde edilmesi hem zor hem de pahalıdır. Polikristalden yapılan homoeklemler güneş pilleri, tek kristale oranla sıcaklığa karşı daha

dayanıklı, daha yüksek verimli ve daha uzun ömürlü olup p-n homoeklemlı güneş pillerinin ideal verimlilikleri yaklaşık %28 'dir (Köse, 1986; Küpeli, 2005).

Bu tip güneş pillerinde p-n eklemının her iki tarafı aynı kristal yapılı yarıiletken içerir. Ama katkılama yöntemlerine göre, dört ayrı p-n homoeklemlı güneş pili yapısı bulunur. Bunlar ise sıg homoeklemlı güneş pilleri, yüksek alçak yayınlayıcı (High-low emitter) güneş pilleri, ön yüzey alanlı güneş pilleri ve düşey homoeklemlı güneş pilleridir (Engin, 1995; Küpeli, 2005).

p-n homoeklemlı güneş pillerinin yapımında en çok kullanılan malzemeler, Silisyum(Si) ve Galyum arseniktir (GaAs). Fakat daha çok silisyum tercih edilir. Nedeni silisyum kullanılarak elde edilen p-n eklemının açık devre gerilimi daha büyüktür. (Oral, 1979; Küpeli, 2005).

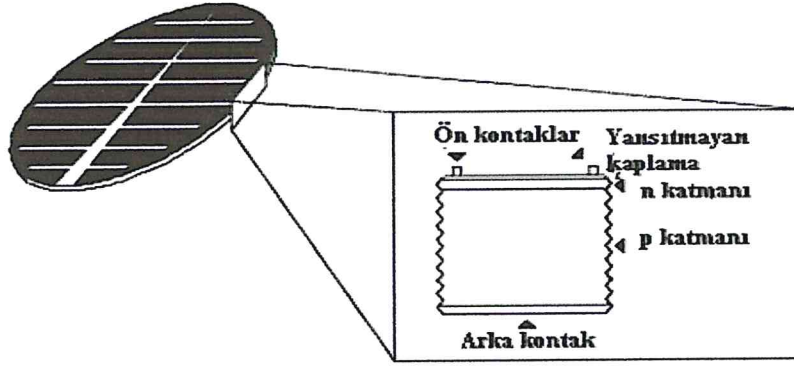
#### **2.4.1.1. Silisyum Güneş Pilleri**

Silisyum (Si), güneş pili üretiminde en çok kullanılan materyaldir. Nedeni elektriksel, optiksel, yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve üretiminde elde edilen başarılar bu malzemeyi öne çıkarmıştır. Tabiatta oksijenden sonra en çok bulunan element olan silisyumun, doğada en yaygın bulunan biçimi kum (SiO<sub>2</sub>) ve kuartzdır. Kumun saflık derecesi çok düşük olduğu için uygun değildir. Fakat kuartzın %90 'ı silisyum olup işlenerek %99 silika elde edilip sonrada silikadan metalürji kalitesinde silisyum elde edilir (Oktik, 2001; Küpeli, 2005).

Silisyum, in direkt bant yapısına sahip bir materyal olması sebebiyle ışık soğurulmasında fonon yardımına ihtiyaç duyar ki buda güneş tayfı boyunca silisyumun oldukça düşük bir absorpsiyon katsayısına yol açar (Küpeli,2005). Silisyumun yasak bant aralığı 0 K 'de 1.21 eV, oda sıcaklığında (300 K) 1.12 eV 'tur (Köse, 1986).

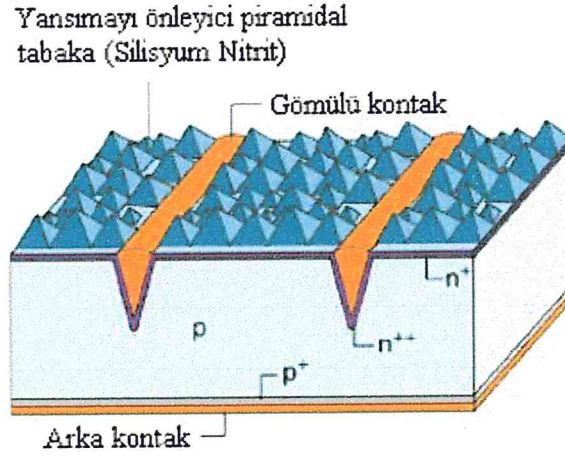
Tek kristalli silisyum güneş pilinin rengi koyu mavi ağırlığı ise 10 gram 'danazdır. Şekilde gösterildiği gibi pilin üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar bulunup negatif kontaklardır. Kontaktarın altında 150 mm kalınlığında, yansıtıcı özelliği olmayan bir kaplama tabakası mevcut olup

şayet bu tabaka olmazsa; silisyum, üzerine düşen ışınının üçte birine yakın kısmını yansıtacaktır. Pilin ön yüzeyi yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek için piramitler ve konikler şeklinde yapılır. Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında ise pildeki elektrik akımının oluştuğu p-n eklemi bulunur. N-bölgesi, pilin negatif tarafını; p-bölgesi ise, pilin pozitif tarafını meydana getirir. Arka yüzeyde ise elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak yer alır(Küpeli,2005).



Şekil 2.33. Güneş pili yapısının şematik gösterimi (Çıtıroğlu, 2000; Küpeli, 2005).

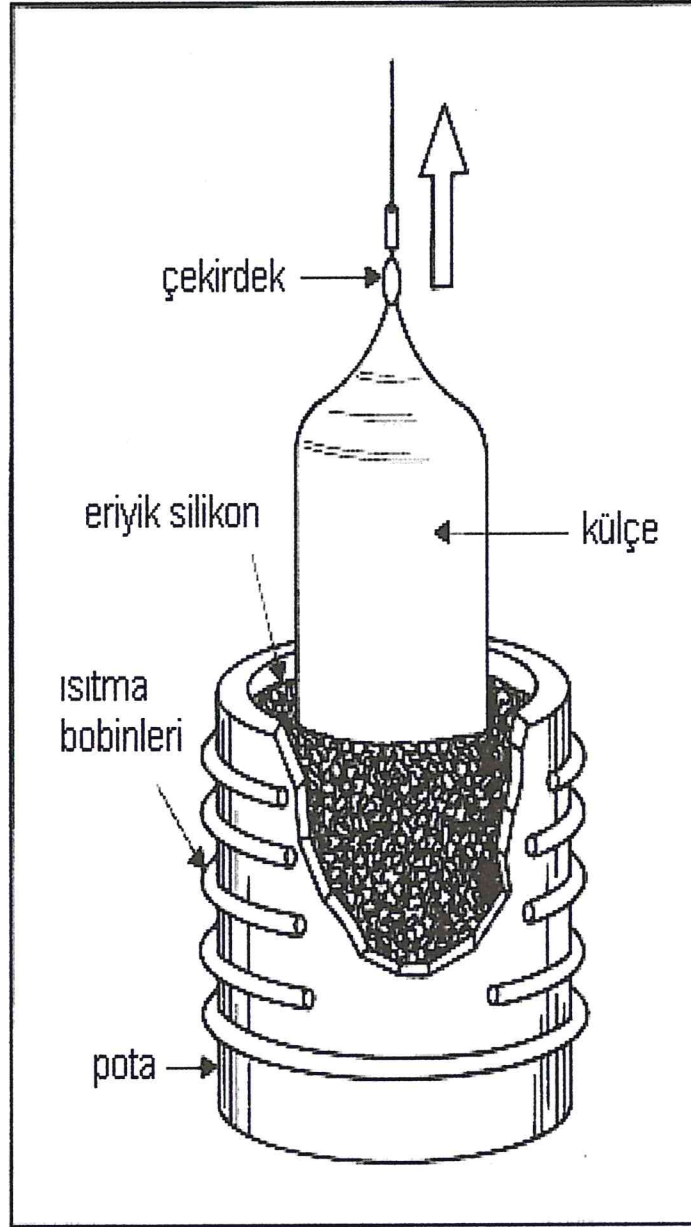
Tek kristalli malzeme dışında birde çok kristalli malzeme kullanılır. Bunda ise damarların kristal yapılarının bir birlerine göre yönlenmeleri dışında; elektriksel, optiksel ve yapısal özellikleri aynı olup damarların büyüklükleri, kristalin kalitesi ile doğru orantılı olmasının yanın damarlar arasındaki süreksizlik, özellikle elektriksel yük taşıyıcılarının aktarılmasında büyük ölçüde engelleyici rol oynamaktadır. Çok kristallinin elektriksel özelliklerinin, küçülen damar büyüklüğü ile orantılı olarak bozulması; elde edilebilecek verimliliğin tek kristalle karşılaştırıldığında küçük olmasına sebep olur. Çok kristalli silisyumun maliyeti düşüktür (Küpeli, 2005).



Şekil 2.34. Yansımayı Önleyici Piramit Yapılı Tabaka (Boz, 2011).

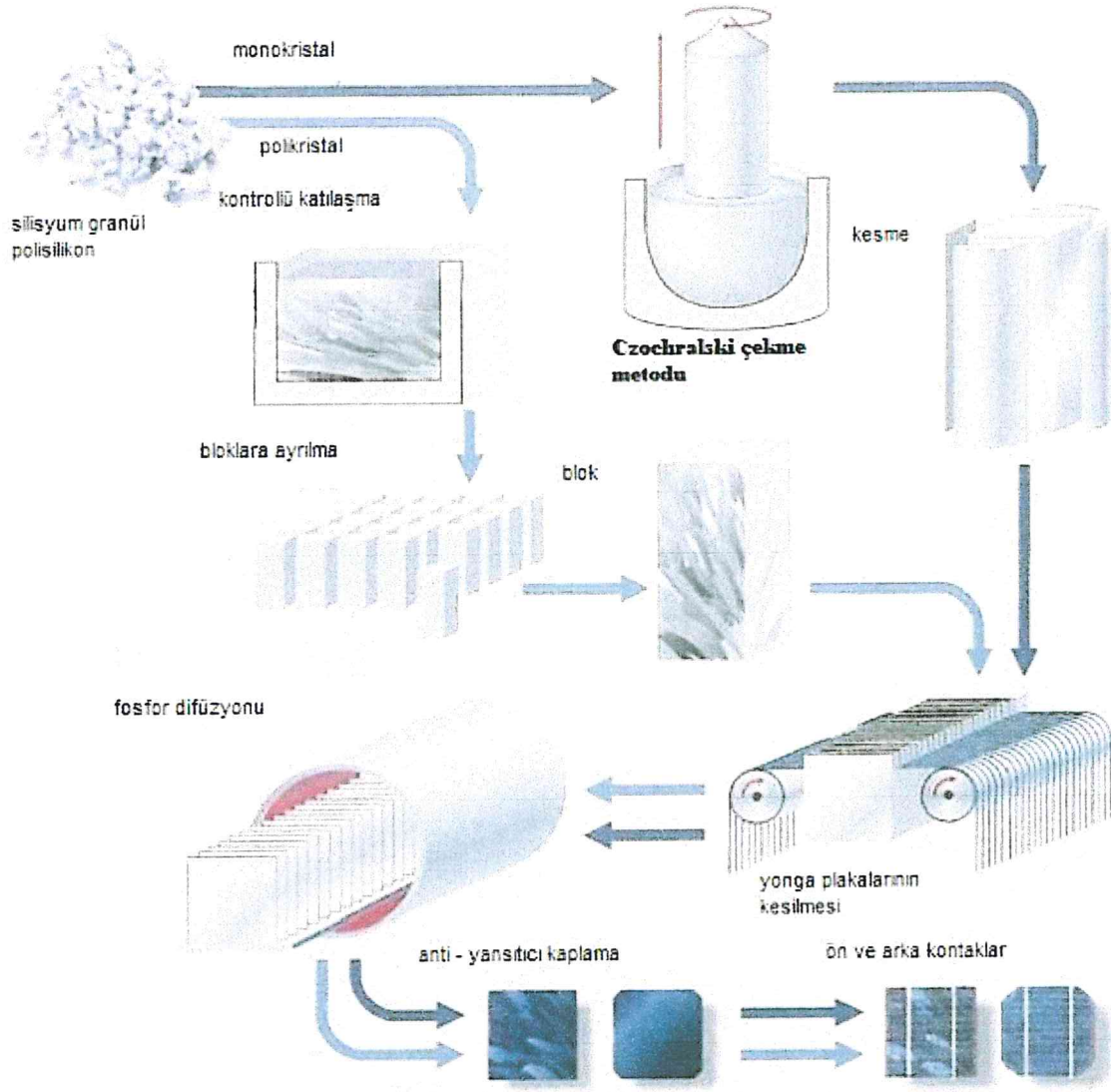
#### 2.4.1.2. Galyum Arsenik Güneş Pilleri

Bu güneş pil çeşidinde Galyum ve arsenik elementlerinden oluşan Galyum arsenik (GaAs), polikristalbir yapıya sahip olup kristal yapıları silisyuma benzemekle birlikte silisyumdan yapılan güneş pillerinin p-n eklemünde daha büyük bir açık devre gerilimi elde edilir. Bundan dolayı silisyuma oranla daha az tercih edilen bir materyaldir (Küpeli, 2005). Galyum arsenik kristalinin direkt bant aralıklı bir yarıiletken olduğu için üzerine gelen ışınları kısa mesafede absorblayabilir. Bundan dolayı GaAs güneş pilleri ince yapılı ve yapımında materyal daha az kullanılır (Küpeli, 2005). GaAs güneş pilleri hem elektrik, hem de termal enerji elde etmek için kullanılıp bu ise Fresnel merceklerinin arkasına uygun olarak yerleştirilmiş GaAs güneş pil panelleri ile sağlanır. Bu paneller ise su ile soğutulurak 120°C ve 140°C arasında sıcak su buharı elde edilir ve klima cihazları çalıştırılır. Ticari modüllerde %22, laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenli çok eklemli GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir (Köse, 1986; Küpeli, 2005).



Şekil 2.35. Czochralski Yöntemiyle mono kristalli Silisyum Üretimi (Boz, 2011).





Şekil 2.36.Czochralski Monokristal ve Polikristal Silisyum Üretimi (Boz, 2011).

#### 2.4.2. P-N Heteroeklemlı Güneş Pilleri

Teknoloji ile birlikte günümüzde p-n homoeklemlı güneş pillerine göre daha kolay ve daha ucuz elde edilebilmesinin yanında sıcaklığa ve radyasyona karşı daha dayanıklılık göstermesi gibi üstünlüklerinden dolayı heteroeklem ince film güneş pilleri kullanılmaya başlanmıştır (Oral, 1979). Ama verimleri homoeklemlı güneş pillerine göre düşüktür (Köse, 1986).

Bu pillerde p-n eklemının her iki tarafı farklı iki yarıiletken den oluşur. Termal dengede olan iki yarıiletken birleştirildiğinde, Fermi düzeyleri sistemin her yerinde aynı olur. Ama sistemde iş fonksiyonlarının farkına eşit olan bir elektrostatik potansiyel enerji, dolayısıyla

bir potansiyel engeli meydana gelir. Bununla birlikte p-n eklemının iletim bandı kenarında, kullanılan yarıiletkenlerin elektron ilgileri farkına eşit olan ve valans bandı kenarında, bant aralıkları farkına bağımlı olan süreksizlikler görülür ki oluşan bu süreksizlikler, fotovoltaiik olay için istenmeyen özelliklerdir. Fakat uygun katkılamanın yapılması ve uygun elektron ilgisi olan yarıiletkenlerin seçilmesiyle ortadan kaldırılabilir (Küpeli, 2005).

Bu güneş pil çeşidinde p-n eklemının her iki tarafını, tamamen aynı kristal yapıda yapmak imkânsız olmakla birlikte bu uyumsuzluk (bozukluk), yasak bant aralığında izinli enerji durumlarının ortaya çıkmasına ve geçiş bölgesinde birleşme merkezlerinin oluşmasına neden olur. Bu da p-n ekleminde tünelleme olayını meydana getirip güneş pilinin isleyişini olumsuz yönde etkiler. Heteroeklem güneş pili yapımında, soğurucu olarak kullanılacak materyalin 1-1,7 Ev aralığı içinde, direkt bir yasak bant aralığına sahip olmasına özen gösterilmelidir. Soğurucu, yaklaşık 2,5 eV 'luk yasak bant aralığına sahip bir pencere katmanı içerisinden aydınlatılmalı ve pencere materyali fazlaca katkılanmış, soğurucu materyal ise orta derecede katkılanmış olmalıdır. Bununla birlikte soğurucu materyal ile pencere materyalinin yarı iletkenlik tipleri karşıt tipte seçilmelidir (Oral, 1979; Küpeli, 2005).

#### **2.4.2.1. Kadmiyum sülfür-bakır sülfür güneş pilleri**

Bu pil çeşidi, verimlerinin düşük olması ve uzun ömürlü olmamaları nedeniyle piyasa tutunamamıştır. Burada en önemli sorun, Cu<sub>2</sub>S bileşimindeki bakırın, bulunduğu ortamdaki oksijen ile birleşip oksitlenmesidir (Köse, 1986; Küpeli,2005). Üretilmeleri vakumda buharlaştırma veya püskürtme yöntemleriyle olur. Elektriksel bağlantı; taban elemanı olan CdS için çinko, indium, kalay; soğurucu katman olan Cu<sub>2</sub>S için bakır veya altın kullanılarak işlem yapılır (Oral, 1979).

#### **2.4.2.2. Kadmiyum sülfür-bakır indium diselenit güneş pilleri**

Bu güneş pili çeşidi, Periyodik cetvelin I.- III. ve VI. Grup elementlerinden meydana gelen, tetragonal chalcopyrite adı verilen örgü yapısına sahip I-III-VI<sub>2</sub> yarıiletken bileşiklerindedir (Küpeli, 2005). I-III-VI<sub>2</sub> bileşikleri; örgü parametreleri, büyük absorpsiyon katsayıları ve oda sıcaklığında sahip oldukları direkt bant aralıklarıyla, non-

lineer optik ve termoelektrik gibi çok değişik kullanım alanı için uygun materyallerdir (Peker, 1999). Bakır indium ve selenyumdan yapılan üçlü bileşik yarıiletkenlerden yapılan güneş pilleri CIS güneş pilleri olarak anılır (Oktik, 2001; Küpeli, 2005). Bakır indium diselenit, fotovoltaik düzeneklerde soğurucu katman için uygun olan belirli materyal davranışlarına sahip olup atmosferik ve mekanik etkilere karşı dayanıklılığı ve kararlılığı kusursuz olmakla birlikte soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak bant genişlikleri güneş spektrumu ile uyuşacak biçimde ayarlanabilir. İnce filmleri hem n-tipi, hem de p-tipi biçimde hazırlanabilir. Bundan dolayı hem homoeklem, hem de heteroeklem olarak kullanım potansiyeline sahiptirler. Avantajlarından bir diğeri ise soğurma katsayısının büyük oluşu, bakır indium diselenit ince filmlerinin çok ince üretilmesine imkân tanıyıp üretim aşamasındaki materyal maliyeti ve bulunabilirliğidir (Oktik, 2001; Küpeli, 2005).

Yapılan teknolojik hamleler sonucunda yüksek kalitede ve geniş yüzeyli CIS güneş pillerinin ekonomik olarak üretilmesi için kaplama yöntemlerinin detaylanmasına neden olmuş ve ısısal buharlaştırma, püskürtme, spreyleme, selenizasyon, elektro kaplama, elektroforetik kaplama, elementsel katmanların lazerle ışınlanması ya da ısısal tavlama gibi teknikler geliştirilmiştir. Laboratuvar şartlarında %17.7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10.2 verime ulaşılmıştır (Küpeli, 2005).

#### **2.4.2.3. Bakır sülfür-çinko kadmiyum sülfür güneş pilleri**

n-CdS/p-Cu<sub>2</sub>S pillerinin p-n eklemlerinde açık devre voltajı 500 mV olup kristal uyuşmazlıklarını en aza indirmek yada kısmen de olsa önlemek için CdS kristali yerine, Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>S kristali kullanılarak bakır sülfür-çinko kadmiyum sülfür güneş pilleri üretilerek 800 mV açık devre voltajı elde edilip verim %10 değerinin üzerine çıkarılabilmektedir. Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>S materyali içerisindeki Zn konsantrasyonu arttırıldığında bu pillerin elektrik ve optik özellikleri değişmekte ve açık devre voltajı artarken, kısa devre akımı azalmaktadır (Köse, 1986).

#### **2.4.2.4 Kadmiyum Sülfür-Silisyum Güneş Pilleri**

Kadmiyum sülfür-silisyum (n-CdS/p-Si) güneş pilleri; yasak bant genişliği 1.21 eV olan silisyumun, yasak bant aralığı 2.24 eV olan CdS ile özel şartlar altında birleştirilmesiyle

oluşur. P-tipi silisyum tabanı üzerine CdS kristali kaplanarak, p-n heteroeklemi meydana getirilir. Yüksek bir verim sağlamak için omik kontak; silisyum için Au 'dan, CdS için In 'dan yapılmalıdır. Bu güneş pillerinin verimi yaklaşık %9 civarındadır (Köse, 1986).

#### **2.4.2.5. Kadmiyum Sülfür-Kadmiyum Tellür Güneş Pilleri**

Bu güneş pil çeşidi ise periyodik tablonun ikinci gurubunda bulunan kadmiyum elementinin ve altıncı gurubunda bulunan tellür elementinin bir araya gelmesiyle oluşan II-VI yarıiletken bileşiği kadmiyum tellürün (CdTe), oda sıcaklığında yasak enerji aralığı (Eg) 1,5 eV 'tur. Bu değer ise güneş spektrumundan maksimum dönüşümü elde etmek için gerekli olan değere çok yakın olup bunun yanında yüksek soğurma katsayısıyla birlikte ince film büyütme teknolojisinin birçoğu ile kolayca üretime olanak tanınması, geniş yüzey alanlı güneş pili üretiminde CdTe bileşik yarıiletkeninin öne çıkmasını sağlamıştır. Bu güneş pili üretiminde kadmiyum tellür (CdTe), kadmiyum sülfür (CdS) ile bir araya getirilerek heteroeklem diyot üretilir. Yasak enerji aralığı yaklaşık 2,4 eV olan kadmiyum sülfür yarıiletkeni, çok ince bir tabaka olarak Uygulanmakla birlikte güneş ışınımının çoğunu geçiren CdS, heteroeklemede pencere görevi yapar CdTe ince filmlerinin büyütülmesinde safhasında üç teknoloji ortaya çıkmış olup yakın mesafeden buharlaştırma yöntemi ile en yüksek kalitede CdTe malzeme üretilmektedir. Bu yöntemde sıcaklık farklılıkları çok az olan kaynak ve filmin büyüdüğü yüzey bir birine çok yakın tutularak, malzemenin sublimasyon yoluyla büyümesine olanak sağlanır. İkinci CdTe büyütme yöntemi olan elektro-depozisyon yani elektrotta biriktirim yönteminde ise; kadmiyum ve tellür iyonu taşıyan elektrolitten akım geçirilerek, CdTe yarıiletkeninin katotta büyümesi sağlanır (Oktik, 2001; Küpeli, 2005).

#### **2.4.3. Amorf silisyum güneş pilleri**

Hidrojenlenmiş amorf silisyum (a-Si:H) ilk olarak, 1955 yılında Sterling tarafından incelenmesine rağmen hidrojenin rolü üzerinde durulmamıştır. a-Si:H, amorf silisyumdan (a-Si 'dan) farklı çok değişik özelliğe sahiptir. Foto iletkenlik, a-Si filmlerde ihmal edilebilir olduğu halde, a-Si: H filmlerde büyük bir foto iletkenlik olayı gözlenmekte olup güneş pilleri için de önemli bir yeri olan foto iletkenliktir. 1977 yılında, Wronski ve Carlson ilk a-Si: H güneş pilini yapmış ve verimi %5,5 bulmuştur (Köse, 1986).

Amorf silisyum malzemesini kristalli silisyumdan ayıran özellik ise silisyum atomlarının malzeme içindeki düzenlerinin, birinci derece komşu atomların ötesinde gelişmiş güzel olmasıdır. Amorf silisyum malzemedeki atomların, uzun mesafelerde etkili olabilen (uzun erimli) bir düzenlemesi bulunmamaktadır. Silisyum atomlarının arasındaki bağların bazıları doymamış durumdadır. Atomların düzenli sıralanmaması; yasak bant aralığına çok fazla izinli enerji durumu sokarak, birleşme merkezleri oluşmasına neden olur. Malzeme içindeki yapı taşlarının bu gelişmiş dizilişi, amorf-silisyumun elektriksel iletim kalitesini düşürse de; yarıiletken içerisine %5-10 oranında hidrojen aktararak, elektriksel özellikleri fotovoltaik çevrime uygun düzeyde tutulabilir. Hidrojen ise doymamış Si bağlarının bazılarını doyurarak, yasak enerji aralığında bulunan izinli durumların sayısını azaltır. Amorf silisyum elde etmek için kullanılan en yaygın yöntem ışık boşalım tekniğidir. Bu yöntemde silane ( $\text{SiH}_4$ ) gazı ve hidrojen karışımı, bir çift elektrot arasından geçirilerek; elektrotların işaretleri yüksek frekanslarda değiştirilerek  $\text{SiH}_4$  parçalanıp kararsız  $\text{SiH}_3$  radikalini oluşturur. Bir sonraki safhada ise, kararsız  $\text{SiH}_3$  elektrotlardan birine giderek bağlanır ve kararlı hale geldikten sonra hidrojen, yüzeyden ayrılarak geride silisyumu bırakıp yüzey silisyumla kaplanmış olur. Elektrot üzerinde büyüyen silisyum gazının içerisine boron ya da fosfor katılarak, n-tipi ya da p-tipi'de yapılabilir (Oktik, 2001; Küpeli, 2005).

Soğurma katsayısı büyük olan amorf silisyum,  $250^\circ\text{C}$  dolayındaki sıcaklıklarda geniş yüzeylere düzgün bir şekilde kaplanabilmesi sayesinde amorf silisyumdan elde edilen güneş pillerinin, kristal yapıdakilere göre daha ucuza mal edilebilmelerine olanak sağlamasının yanında üzerlerine düşen ışıkla verimlerinin azalması dezavantajlarıdır. Buna Steabler-Wronsk yetkisi denir. Güneş pilinin aydınlatılması sonucu, serbest yük taşıyıcıları yani elektronlar ve holler meydana gelir. Güneş pilinde meydana gelen bu elektron ve holler bir birinden ayırarak, yapısal bir elektrik alan oluşturulmalıdır. Katılanmış bölgelerdeki yüksek orandaki kusur yoğunluğu, taşıyıcı mobilitesini düşürdüğünden p-tipi ve n-tipi yarıiletken tabakaların arasına, düşük kusurlu katkısız bir tabaka eklenir. Bu tabaka optik olarak aktif olup görevi ise üzerine ışık düştüğünde, yapısal elektrik alan tarafından bir birinden ayrılacak serbest taşıyıcılar üretmektir. Böylece p-i-n eklem yapısına sahip a-Si: H güneş pilleri elde edilir (Tercan,2000).Kristal yapı özelliği göstermeyen bu amorf silisyum pillerden elde edilen verim %10 dolayında olup ticari modüllerde ise %5-7 seviyelerindedir. Günümüzde saat, hesap makinesi ve oyuncak gibi

küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadırlar. Amorf silisyum güneş pillerinin bir başka uygulama sahasıda, binalara bütünleşmiş yarı saydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilceği tahmin edilmektedir (Küpeli, 2005).

#### 2.4.4. Güneş Pillerinin p-n Eklem Yapısına Göre Sınıflandırılması

P-N eklemlerinin yapısına bağılı olarak yapılan sınıflandırmada, güneş pilleri altı grup altında toplayabiliriz.

1. Tek eklem güneş pilleri,
2. Çok eklem güneş pilleri,
3. Metal-yarıiletken heteroeklem (MS) güneş pilleri,
4. Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) heteroeklem güneş pilleri,
5. Yarı iletken-yalıtkan-yarıiletken (SIS) heteroeklem güneş pilleri,
6. Elektrolit pillerdir.

Güneş pillerinde fotovoltaj dönüşümün gerçekleştirilebilmesi için p-n eklemi oluşturulup, ışığın p-n eklemi yakınına düşürülmesi gerekmektedir. Bünyesinde bir tane p-n eklemi bulunduran güneş pillerine tek eklemli güneş pilleri, birden fazla p-n eklemi bulunduran güneş pillerine de çok eklemli güneş pilleri adı verilmektedir. Tek eklemli güneş pillerin ise p-n eklemi, homoeklem ya da heteroeklem şeklinde de olabilir. Güneş pillerinden elde edilen verimi arttırabilmek için başvurulan yöntemlerden birisi de, çok eklemli yani birçok bant aralıklı güneş pili üretimidir (Küpeli, 2005).

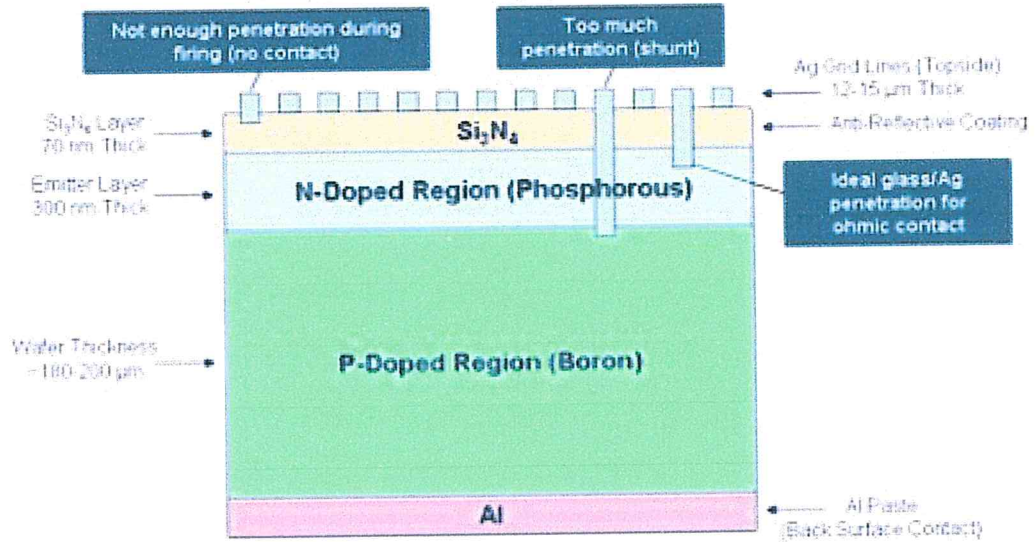
#### 2.4.5. Gelişim Sırasına Göre Fotovoltaj Güneş Pilleri

- |                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1. Nesil Fotovoltaj Piller : | Monokristal Silisyum Piller   |
| 2. Nesil Fotovoltaj Piller : | Polikristal Silisyum Piller   |
|                              | Amorf Silisyum Piller         |
|                              | Kadmiyum Tellür Piller        |
|                              | Bakır İndiyum Selenoid Piller |
|                              | Galyum Arsenik Piller         |

- 3. Nesil Fotovoltaik Piller :** Çok Eklemlili Piller  
Organik Piller (OPV)  
Boya İle Duyarlaştırılmış Piller (DSSC)  
Plastik Piller  
Nanokristaliki Yapılar
- 4. Nesil Fotovoltaik Piller :** Bitkiler (Öngörülen) (Boz, 2011).

#### 2.4.6. Anorganik Silikon Güneş Pilleri

Ağırlıklı N ve P katkılanmış tabakaların bir araya getirilmesiyle oluşan sistemdir. Alt yüzey metalle üst yüzey ise yansıtıcı olmayan metal grid elektrotla örtülür ve P tipi tabakalar Si elementinin periyodik tabloda V. ve III. Grup elementlerinin katkılanması sonucu oluşur. Bu tabakalar üst üste bırakılıp ve kontak kurulduğunda ara yüzde elektron ve boşluk geçişleri meydana getirilir. Geçişler denge hali oluncaya kadar devam edip denge halinden sonra deplasyon bölgesi veya uzay yükü bölgesi diye adlandırılan bir bölge oluşup burada serbest yük taşıyıcıları bulunmamasına rağmen içerde elektrik alanı meydana gelir. Bu alana ışık verdiğimiz zaman fotonlar elektron-boşluk çifti meydana getirir. Burada elektron N tarafına, boşlukta P tarafına sürüklenip sistemin iki ucu arasında açık devre voltajı oluşur (Alpaslan, 2009).

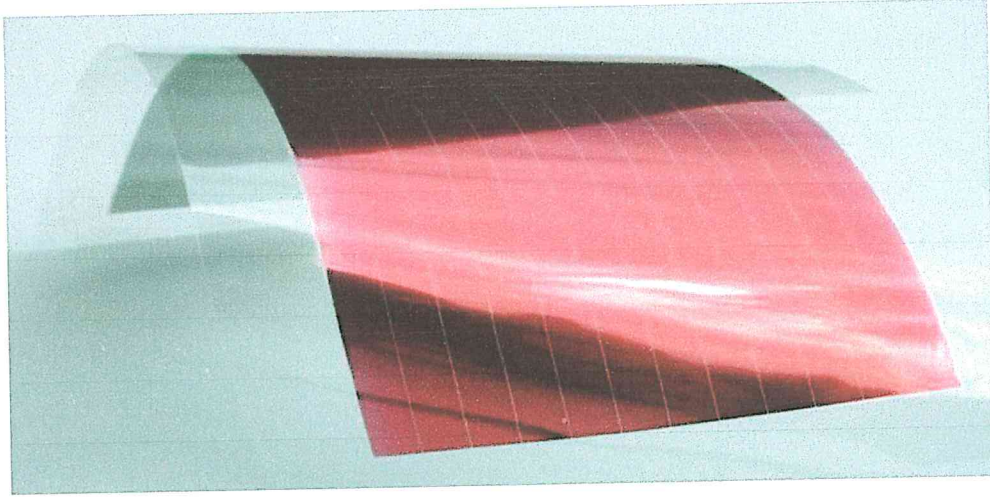


Şekil 2.37. Anorganik pilin yan kesiti (Alpaslan, 2009).

## 2.4.7. Organik Güneş Pilleri

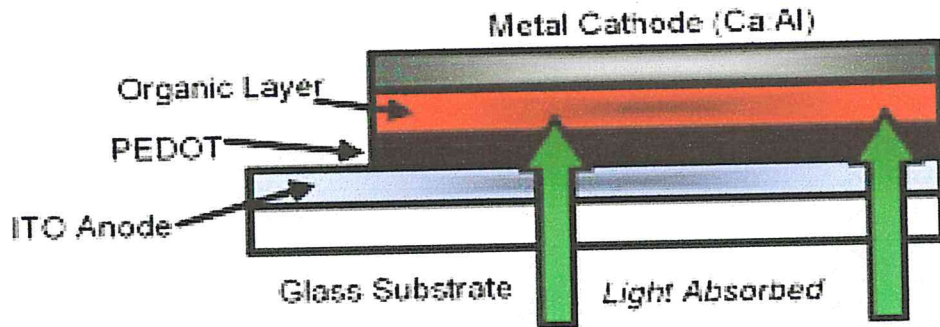
Dünyamızda, 6,5 milyar insanın şu an enerji ihtiyacı miktarı, yaklaşık olarak 13 terawatt (TW) dır. 2050 yılına gelindiğinde, insanoğlunun enerji talebi günümüze nazaran 10 terawatt daha fazla olacaktır. Bu ise, 2050'ye kadar her gün 1 gigawatt (GW)'lık nükleer enerji santrali kurmak gerekecektir. Dünya üzerindeki toplam rüzgar enerjisi potansiyeli 2-4 TW civarında olup, hidroelektrik enerji kaynağı 0,5TW, jeotermal enerji kaynağı 12TW, gelgit ve okyanus akıntılarından üretilebilecek enerji miktarı 2TW ve dünya üzerinde kullanılabilir güneş enerjisi miktarı ise 120000 TW dır. Güneş yeryüzünde tüketilen toplam enerjiden 10 000 kez daha fazla enerjiyi yeryüzüne yollayan çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Güneş pilleri direkt olarak güneş ışınlarını elektriğe dönüştüren cihazlar olup şu anda en hızlı büyüyen endüstrilerden biridir. Klasik Silikon Fotovoltaik Piller pahalı olduklarından bunların yerine ucuz ve üretimi kolay Organik Güneş Pilleri üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bugün güneş pillerinin üretimi için genellikle inorganik maddeler, örneğin silikon (Si), galyum-arsenit (GaAs), kadmiyum-tellür (CdTe), kadmiyum-indiyum-selenyum (CIS) gibi maddeler kullanılır. Bu güneş pilleri için enerji verimliliği 8- 29 % arasında değişmekte olup Silikon güneş pillerinin üretim maliyetleri yüksek olması, yaygın olmalarına büyük bir engel teşkil etmektedir. Bunun yanında Organik güneş pilleri genel olarak ITO (İndiyum Çinko Oksit) üzerine konjuge polimerler verici (donor), karbon fullerene (C60) alıcı (acceptor) olarak uygulanıp üretilirler. Konjuge polimerlerin yüzey ve kimyasal yönüyle avantajları, band aralığı gibi özelliklerini değiştirmek imkânına sahiptirler. Konjuge polimerler işlemi kolaylaştırmasıyla ve plastiklerin mekanik esnekliği ile klasik yarıiletkenler ve iletkenlerin elektronik özelliklerini birleştirmiş. Organik güneş pilleri döndürme kaplama veya püskürtme baskı gibi metotlarla çok geniş alanlara ve esnek plastikler üzerine kaplanarak üretilebilme özelliklerine sahip olup verimi 11% civarında olup verimin artırılması için faaliyetler devam ediyor (Ataollah Khanlari, 2012).





Şekil 2.38. Kitap sayfası gibi ince ve esnek bir güneş pili ( Ataollah Khanlari, 2012).

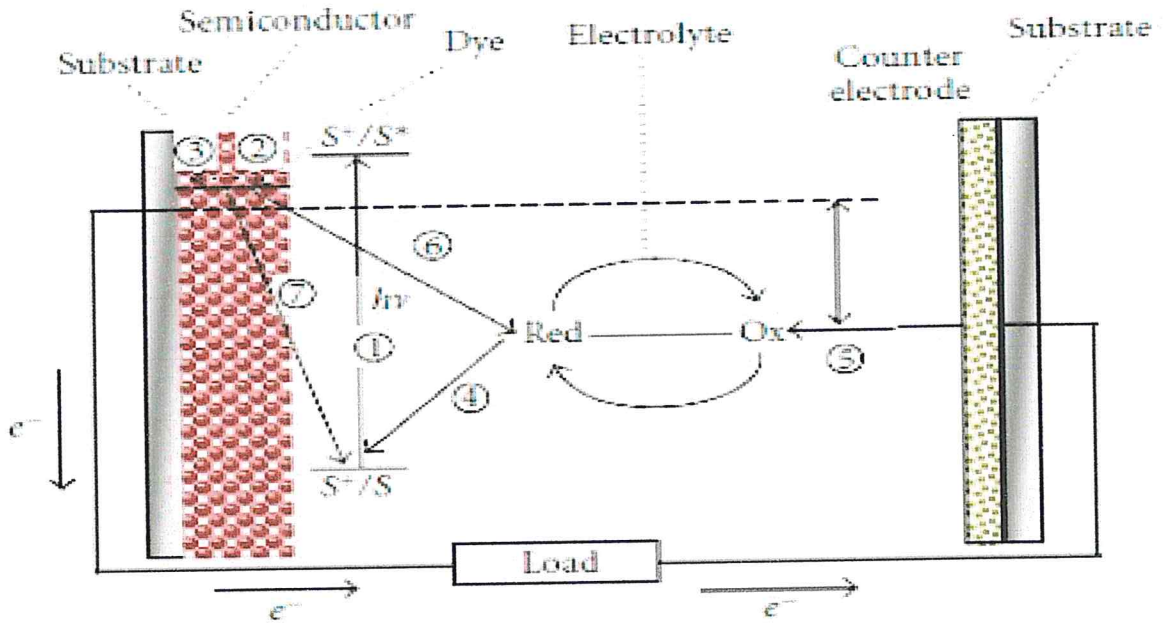
Malzeme olarak organik molekül içeren maddelerle yapılan güneş pillerine denir. Kullanılan bu malzemelerin ucuz olması, kolay işlenebilirliği ve görünebilir bölgeye kadar uzanabilen absorpsiyon aralığının olması, birkaç nanometre kalınlığında kaplanabilmesinin yanında, düşük sıcaklıklarda bile sıyırıcı mala, döndürerek kaplama, silindir döndürerek boyama ve elektrokimyasal yöntemle kaplanabilmesi büyük avantajdır. Bununla beraber düşük sıcaklıklarda işlenebilme özelliği, malzemenin esnek plastik altlıklar üzerine yapılabilmesi ve ayrıca büyük alanlarda kullanıldığı zamanda çok daha hafif olması nedenlerinden dolayı ileride teknolojik olarak kullanımının artmasıyla en çok tutunan güneş pili çeşitleri arasında en önde olacağını tahmin edebiliriz. Organik güneş pillerine eksitonik güneş pilleride denir. Çünkü güneş pilli tarafından absorbe edilen ışık elektron-boşluk çifti olan eksitonları oluşturmaktadır. Düşük dielektrik sabitleri ve moleküller arası zayıf bağlar nedeniyle ışık absorpsiyonuyla eksitonlar oluşturulur (Alpaslan, 2009 ).



Şekil 2.39. Organik Güneş Pili (Alpaslan, 2009 ).

## 2.4.8.Boya Bazlı Güneş Pilleri

%7.9 verime ulaşan Boya bazlı güneş pilleri nanokristalize titanyum film olan fotoanod ile arası organik çözücünden olan elektrolit ile doldurulmuş platinlenmiş karşıt elektrottan meydana gelir. Güneş ışığı pile uygulandığında boya molekülleri fotonlar tarafından uyarılıp uyarılan molekülün elektron çok hızlı bir şekilde yarı iletken elektrotun iletkenlik bandına geçip buradan nano kristal yapı boyunca ilerleyip saydam elektroda ulaşarak dış devreye geçer. Elektron kaybeden boya daha sonra elektrolit tarafından verilen elektronla eski haline döner. Bu durumdan dolayı boya bazlı güneş pillerinde net yük sıfır olup kimyasal bir değişime uğramaz. Elektron veren organik çözücülü çözelti ya da iyonik sıvılı çözelti redoks sistemi içerir. Redoks reaksiyonlarının sürekli olması devrede sürekli bir akım olmasını sağlayıp fotoakım oluşturur. Bu pillerde çoğunlukla ruthenyum bazlı boyalar kullanılıp sıklıkla 4-tert-butilpridin (TBP) ve N-metilbenzimidazole (NMBI) denilen maddeler elektrolit çözeltisinin içerisinde kullanılarak bu malzemeler elektronların rekombine olma olasılığını azaltıp belirgin bir şekilde enerji dönüşümünün verimliliğini ve doyum faktörünü artırır (Alpaslan, 2009 ).



Şekil 2.40. Boya bazlı güneş pilinin işleyişi ve yapısı (Alpaslan, 2009 ).

## 2.4.9. Güneş Pilinin Çalışmasını Etkileyen Dış Faktörler

### 2.4.9.1. Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklığın önemli bir yere sahip olduğu güneş pilleri sıcaklığın artması ile kısa devre akımı yükselme eğilimi gösterir. Yarıiletken enerji bant aralıkları genelde sıcaklıkla azaldığından açık devre voltajı ve dolun faktörü de azalır. Enerji bant aralığı da buna paralel olarak oda sıcaklığında lineer değişme gösterirken düşük sıcaklıklarda ise doğrusal olmayan bir değişme gösterir.

Tablo 2.16. Bazı yarıiletken enerji bant aralığının sıcaklıkla değişimi (Karamanav, 2007).

Malzeme	T=300°K	T=0°K
Si	1.12 eV	1.17 eV
Ge	0.67 eV	0.75 eV
PbS	0.37 eV	0.29 eV
PbTe	0.29 eV	0.19 eV
InSb	0.16 eV	0.23 eV
GaSb	0.69 eV	0.79 eV

Tablo 2.17. GaAs güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi (Karamanav, 2007).

T (°K)	eV	V	%η
273	1.4345	1.047	29.51
300	1.4245	0.989	27.73
323	1.4120	0.940	26.19
353	1.3981	0.875	25.14
373	1.3887	0.830	22.75

**Tablo 2.18.** Silisyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi (Karamanav, 2007).

T ( °K)	eV	V	%η
273	1.1312	0.750	26.83
300	1.1245	0.699	24.67
323	1.1185	0.654	22.80
353	1.1104	0.595	20.33
373	1.1048	0.555	18.67

**Tablo 2.19.** Germanyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi (Karamanav, 2007).

T ( °K)	eV	V	%η
273	0.67366	0.302	13.88
300	0.66339	0.248	10.60
323	0.65444	0.201	7.89
353	0.64253	0.139	4.62
373	0.63446	0.099	2.79

#### **2.4.9.2. Yüzey Parametresinin Etkisi**

Işığın yansımalarını azaltmada kullanılan özel yapıları yüzeyler ile silisyum ince tabakalarının kullanımı artmaktadır. Silisyum tabakaların yüzeylerinde dağlama yöntemi ile küçük piramitler oluşturulup bu piramitlerin yüzeylerinden yansıyan ışık, diğer piramitlerden de yansıyarak pilin içine girer. Ayrıca Güneş pillerinde anti yansıtıcı kaplama kullanılarak yansıma kayıpları azaltılır. Bu arada Işığın yüzeye düştüğü her noktadaki toplam yansıma, silisyuma dik gelen ışıkta olduğu gibi olup yüzeydeki toplam yansıma %0.33 ile %11 seviyeleri arasında değişir. Yüzeyleri piramitleştirme tekniği

kullanılarak yansımayı önleyici kaplama olmaksızın yüksek performanslar elde edilebilmektedir (Karamanav, 2007).

Monokromatik ışık, yarıiletken içinde elektron-oyuk çiftinin oluşmasına sebep olup bununda uzaysal dağılımı;

$G=(1-R)\alpha\theta^{-\alpha x}$  ile ifade edilir.

Burada  $\theta$ ; gelen ışığın foton açısını, R; yansımaya katsayısını,  $\alpha$  ise soğurma katsayısını ifade eder. Kısa dalga boyları için  $\alpha$  büyük bir değer teşkil eder ve ışık yarı iletken malzeme içinde çabucak soğurulur. Hücrelerde fotonların bütün enerjileri kullanılamaz. Sadece görünür dalga boylarında verim en yüksek, kızılötesi bölgelerde ise en düşüktür (Karamanav, 2007).

Tablo 2.20. Güneş piline ışığın spektral etkisi (Karamanav, 2007).

RENK	DALGABOYU(nm)	VOLT
MOR	410	3.11
MAVİ	470	3.34
YEŞİL	520	3.52
SARI	590	3.44
TURUNCU	650	3.22
KIRMIZI	725	3.20

### 2.4.9.3. Foto Açısal Etki

Yüzeye çarpan fotonların bir kısmı yansırken, diğer kısım ise yarıiletken tarafından soğurulur. Bu olay sonunda yansımaya katsayısı aşağıdaki gibidir.

$$R = \frac{(n_2 - n_1)^2 + k_1^2}{(n_2 + n_1)^2 + k_2^2}$$

Işık yansdıktan ve yutulduktan sonra zayıflar. Geriye kalan kısım ise aşağıdaki gibidir (Erel, 1994)

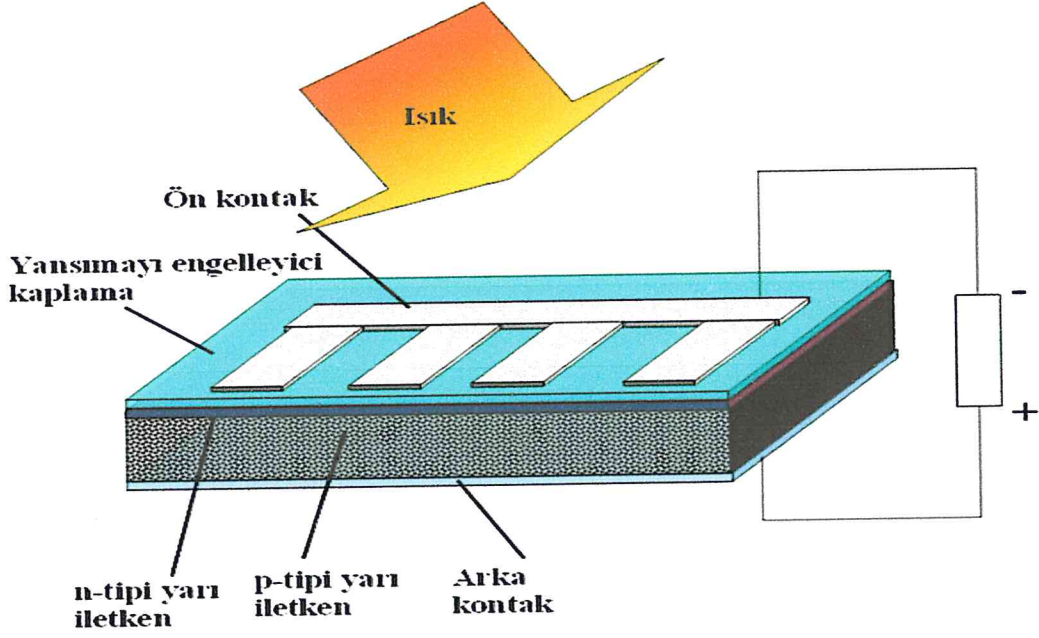
$$T = \frac{(1-R)^2 \cdot e^{-\alpha x}}{(1-R)^2 \cdot e^{-2\alpha x}}$$

**Tablo 2.21.** Güneş pili verimlilikleri (Karamanav, 2007).

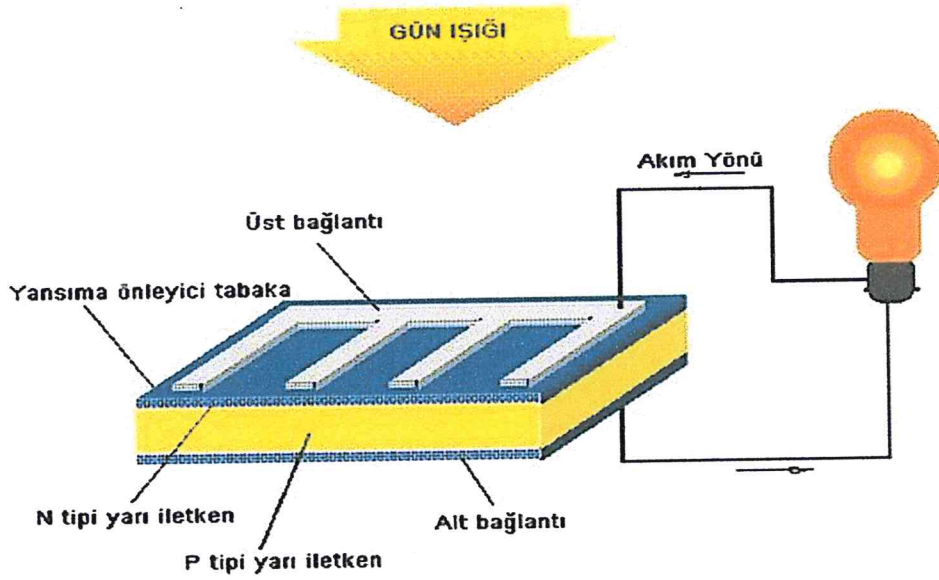
Güneş Pili Cinsi	Alan (cm <sup>2</sup> )	Verimlilik (%)	Üretilen Birim
Tek Kristalli Silisyum	4	24	UNSW, Sydney Avustralya
Çok Kristalli Silisyum	21,2	17,4	ISE, Freiburg, Almanya
Amorf Silisyum	1	14,7	United Solar
Cu/In, Ga)Se <sub>2</sub>	0,4	17,7	NREL, USA
CdTe/CdS		15,8	USA
GaAs Tek Kristal	1	23,9	K.Univ, Nijmegen Hollanda

## 2.5.Güneş Pilleri

Fotovoltaik, görünür veya diğer ışık ışınlarına maruz kaldığında, elektriksel gerilim farkı (voltaj) üretimi yapabilme özelliğidir. “Fotovoltaik” sözcüğü, ışık anlamına gelen “foto” ve elektrik anlamına gelen “voltaik” sözcüklerinin birleşmesi ile oluşturulmuştur. Fotovoltaik teknolojisi, yani güneş enerjisini kullanılabilir güce çeviren donanımları açıklamak için kullanılan terim, ışıktan elektrik üretir. Fotovoltaik pil” ise fotovoltaik özellik sonucu elektrik enerjisi üreten yapılardır. Yaygın olarak “Fotovoltaik pil” tanımlaması kullanılmasına rağmen, “bariyer tabakalı fotopil”, “kendi kendine üreten pil”, “güneş pili”, “fototronik fotopil” gibi isimlerle de adlandırılmaktadır (Graf, R.F., 1999). Dolayısıyla güneş pilleri şekil 5 te yüzeylerine gelen güneş ışığını kullanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletkenleri içeren ve mevcut yenilenebilir enerji kaynakları arasında en temizlerden birisi olan yapılardır.(Messenger, R.A. ve Ventre, J., 2004).



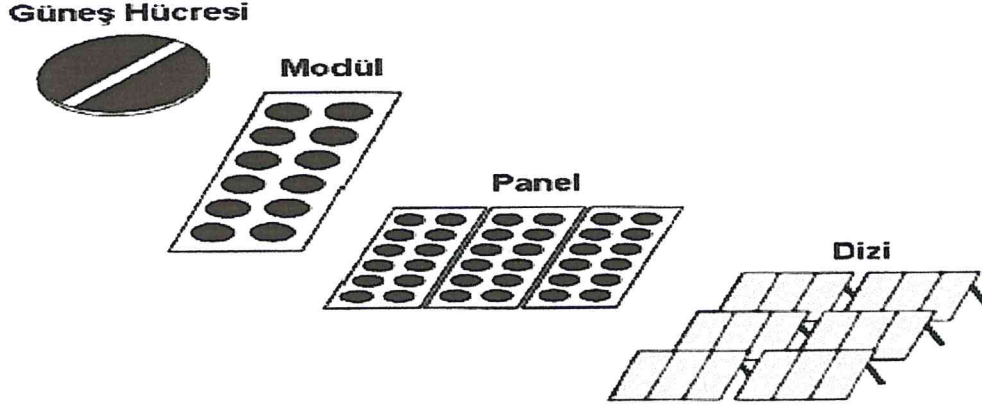
Şekil 2.41. Güneş pilinin genel bir gösterimi (Bedeloğlu, Bozkurt, 2010)



Şekil 2.42. Fotovoltaik Dönüşüm Sistemi (BOZ, 2011).

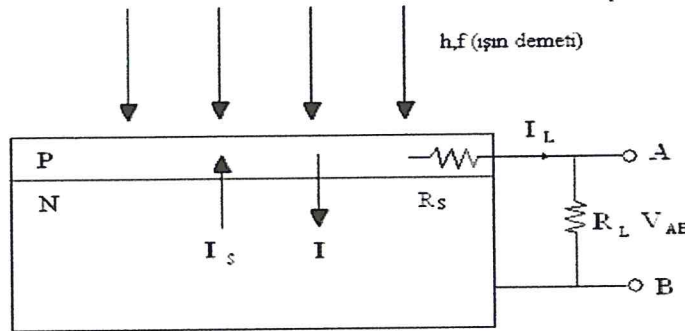
Yüzeyine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddeler güneş pilleri diye adlandırılıp dikdörtgen, daire, kare seklinde değişik yüzey şekillerine sahip olup yüzey alanları  $100 \text{ cm}^2$  civarında olup, kalınlıkları da 0,2-0,4 mm arasında değişmektedir. Fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışan güneş pilleri yüzeylerine düşen güneş ışığını uçlarında elektrik gerilimine çevirir. Çıkış gücünü artırmak için güneş

pilleri birbirine paralel ya da seri bağlanarak düz bir yüzey üzerine monte edilir. Güneş pillerinde hareketli parça olmadığından teorik ömürleri sonsuzdur diyebiliriz. Güneş hücrelerinden yüksek miktarlarda güç üretmek için çeşitli bağlantı şekilleri vardır (Batman, 2001).



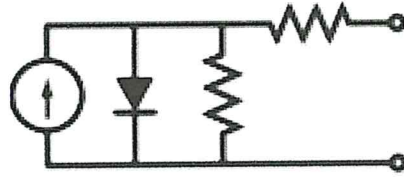
Şekil 2.43. Fotovoltaik gruplar

Foton emdirilmesiyle kavşaktan  $I_s$  akımı geçerek N(-), P'de (+)Yüklenir. Meydana gelen ısı akımı kavşağın ileri yönde kutuplaşmasını sağladığı gibi kavşak potansiyel duvarının alçalmasına neden olur. Eğer dış devre açık ise yani akım yoksa P'den N'ye akım geçer ve kavşak potansiyel duvarı tekrar yükselir ki P bölgesi (-), N bölgesi (+) yükle yüklenir. Şartlar bu şekilde olursa  $I_s = I$  olur. Dış devreden akım geçerse  $I_s = I - I_L$  olur. Yeşil ışık en yüksek foton enerjisine sahip olup değeri  $h.f = 2,5 \text{ eV}$  'dir. P-N kavşağındaki temas potansiyelinin rolü, elektronları daha yüksek potansiyele çıkaran batarya rolü olur (Karamanav, 2007).

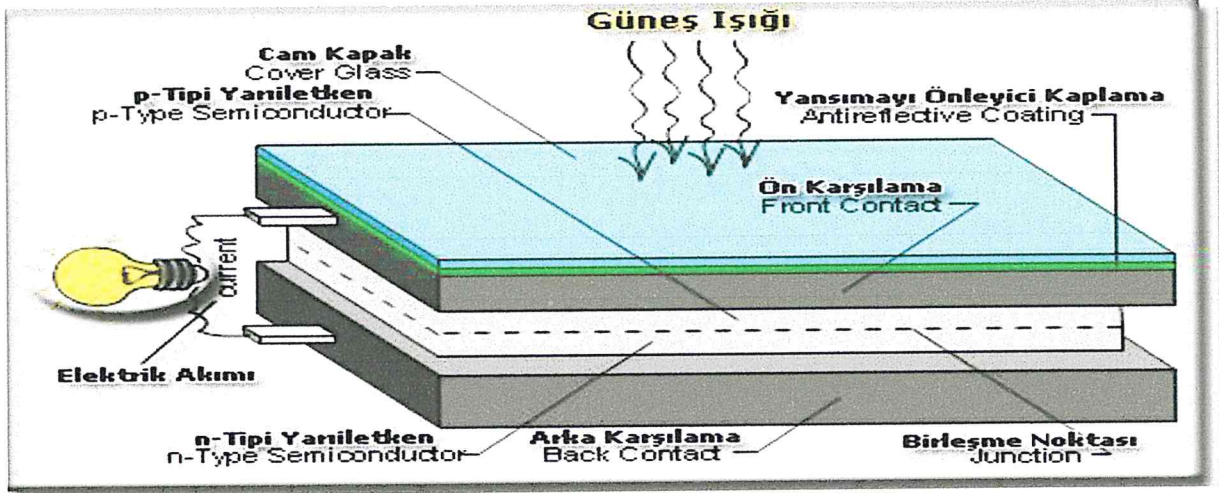


Şekil 2.44. Fotovoltaik Pilin Yapısı (Karamanav, 2007).





Şekil 2.45. Fotovoltaik Pil Eşdeğer Elektrik Devresi (Karamanav, 2007).



Şekil 2.46. Fotovoltaik Dönüşüm Sistemi (Boz, 2011).

### 2.5.1. Güneş Pili Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Güneş pilleriyle elektrik üretiminin avantaj ve dezavantajlarından bazıları aşağıda sıralanmıştır.

#### Avantajları:

- Sessiz, temiz ve çevre dostudur.
- Fosil yakıtlara gereksinim duymadan elektrik üretebilir.
- Yakıtı güneş olduğundan ücretsizdir. Taşıma ve depolama sorunu yoktur.
- Bakım giderleri azdır.
- Kurulumu çabuk ve kolaydır olup, modüler sistemler olduklarından güç çıkışı rahatça artırılabilir.
- Şuan en çok kullanılan hammadde silisyum olup doğada en bol bulunan maddelerdendir ve seri üretime uygundur.

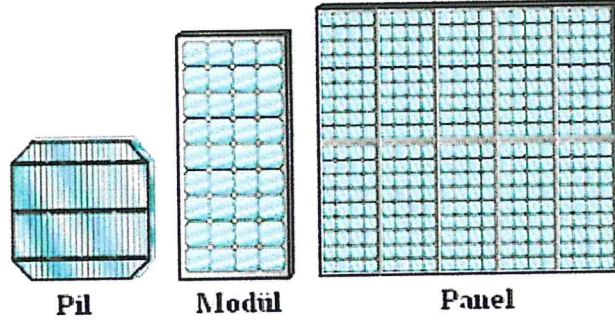
- Teorik olarak çok uzun olsa da pratikte 25-30 yıl ömürleri vardır.
- Enerji kaynağı ile kullanım noktası arasında kısa mesafe olduğu için oluşabilecek kayıplar yok denecek kadar azdır.
- Rüzgârlar, kum fırtınaları, nem, ısı, kar ve buz gibi doğa olaylarına karşı dayanıklıdırlar.
- Bağımsız çalışabilecekleri gibi inverter ve trafo gruplarıyla enterkonnekte sisteme enerji verebilirler (Boes, 1981).

#### **Dezavantajları:**

- İlk yatırım maliyetleri yüksektir.
- Geceleri enerji üretilmediği için elektrik üretimi kesintilidir. Bu yüzden üretilen enerjinin akü ile depolanma sıkıntısı oluşmaktadır.
- Verimleri düşüktür.
- İstenilen enerjinin boyutuna göre geniş alanlara ihtiyaç vardır.
- Güneşlenme bakımından zengin bölgeler için uygun olmakla beraber fazla güneş ışını alan bölgelerde pil sıcaklığının artmasıyla verim düşer.
- Yedek parça temini istenilen düzeyde değildir (Ural, 2007).

### **2.5.2.Fotovoltaik Sistemin Genel Bölümleri**

Güneş pili, aktif fotovoltaik malzeme, metal ızgaralar, yansımayı önleyici tabakalar ve destekleme malzemesinden meydana gelir. Güneş pilleri ve bağlantı telleri kırılğan olmalarının yanında nem ve uygulanacak baskı ile kolayca aşınabilecek bir yapıya sahiptirler. Yalnız başına bir güneş pilinin gerilimi 0,5 V civarında olduğundan ihtiyacı karşılayamamaktadır. Güneş pillerinin paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilen fotovoltaik modüllerde İki güneş pilinin paralel bağlanması ile voltaj sabit kalırken akım iki katına çıkar, seri bağlandığında ise, akım sabit kalırken, voltaj iki katına çıkar. Bu yöntem ile gerilimi 14-16 volta çıkarabiliriz. Fotovoltaik modüller ağır ortam şartları için tasarlanmış olup güneş pillerinin ve elektriksel aksanlarının dış ortamdan korunması için modüller kapsül içinde muhafaza edilir. Fotovoltaik paneller ise fotovoltaik modüllerin, paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilirler. Bu yolla 12-600 V arasında gerilim elde edilebilir (Kalogirou, 2009).



Şekil 2.47. Güneş pili, modül ve panele ait görüntüm  
(Bedeloğlu ,vd. 2010).

Fotovoltaik modüllerin birlikte kullanıldıkları cihazlar arasında, batarya (battery), şarj kontrolcülerini(charge controller), evireç (inverter) ve tepe güç noktası takipçisi (peak-power trackers) bulunmaktadır.

**Bataryalar;** fotovoltaik sistemlerin talebi karşılayamadığı durumlarda veya geceleri güç sağlamak için kullanılan aparattır.

**Evireç;** doğru akımı alternatif akıma dönüştüren cihazdır.

**Şarj kontrolcülerini;** fotovoltaik modüllerden gelen gücü, bataryaları fazla yüklenmeden korumak için, ayarlamak amacıyla kullanılır.

**Tepe güç noktası takipçisi;** oluşturulan akımı maksimum yapmak için, fotovoltaik sistem tarafından üretilen gerilimi optimize etmek amacıyla kullanılır (Kalogirou, 2009).

### 2.5.3.Fotovoltaik Teknolojisinin Uygulama Alanları

Fotovoltaik uygulamalardan, elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her yerde yararlanılabilir. Güneş ışığından bulutlu havalarda ve gece yararlanamama durumunun üstesinden ise, daha önce üretilen enerjinin akülere depolanması ile gelinebilir. Uygulamalara örnekler (Kalogirou, 2009; Bedelolu ,vd. 2010).

### **2.5.3.1. Genel Uygulamalar**

### **2.5.3.2. Doğrudan Bağlanmış Fotovoltaik Sistem**

Bu sistemde fotovoltaik panel, yapılan işle doğrudan bağlanmıştır. Bundan ötürü iş ancak, güneş ışığı olduğunda gerçekleştiğinden çok sınırlı miktarda uygulama gerçekleştirilir. Örnek verecek olursak su pompalarında sistem sadece güneş olduğu sürece çalışır ve genellikle elektrik depolamak yerine su depolanır.

### **2.5.3.3. Tek Basına Uygulamalar**

Bu sistemlerde elektrik şebekesine erişimin olmadığı veya zor olduğu yerlerde kullanılır. Böyle bir sistem, elektrik şebekesinden bağımsız olup ve üretilen enerji genelde bataryalarda depolanır. Bu sistem, fotovoltaik modüller, bataryalar ve şarj kontrolcüsünü içermektedir. Bunun yanında fotovoltaik modüller tarafından üretilen doğru akımı, normal uygulamalarda kullanabilmek için alternatif akıma çeviren bir evireç de sisteme monte edilir. Bu sistemlerde bir evin ihtiyacı için küçük bir sisteme ihtiyaç duyulurken birkaç ev için küçük bir şebeke üzerinden elektrik sağlayan daha büyük bir sistem olabilir.

### **2.5.3.4. Şebekeye Bağlı Sistemler**

Bu sistemler şebekeye bağlıdır. Güneş olduğu zamanlarda fotovoltaik sistem tarafından üretilen elektrik enerjisi hem kullanılır hem de şebeke bağlantısı yardımıyla şebekeye satılır. Güneş olmadığı zamanda şebekeden elektrik satın alınır. Bu sistemde kısaca özetlemek gerekirse şebeke, bataryalara ihtiyaç duymadan, bir çeşit elektrik depolama sistemi olarak görev yapmaktadır. Bunun yanında tek bir noktada büyük miktarda elektrik üreten şebeke bağlantılı sistemlerde olabilirler. Bu tür sistemlerin ölçekleri birkaç yüz kW ile birkaç MW arasında değişebilir. Hava alanı, demiryolu ve endüstriyel binalarda yapılabilirler.

### **2.5.3.5 Hibrit Bağlı Sistemler**

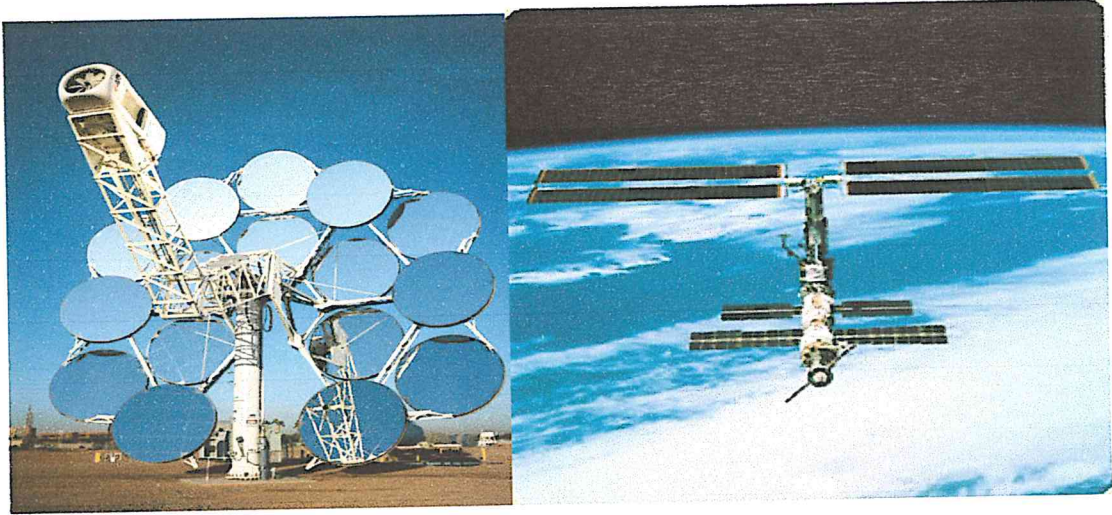
Bu sistemlerde birden farklı tipte elektrik üretici mevcuttur. İkinci tip elektrik üretici sistem yenilenebilir bir enerji (rüzgâr enerjisi gibi) veya geleneksel enerji çeşidi (dizel motor ya da şehir elektrik şebekesi) olabilir. Yani elektrik ihtiyacını sağlamak için bir biyokütle generator, bir rüzgâr türbini veya dizel generator gibi diğer bir güç kaynağı ile birlikte çalıştırılabilen bu hibrit sistemler şebeke bağlantılı veya bağlantısız şeklinde sınıflandırılabilir.

### **2.5.3.6. Günlük uygulamalara örnekler**

Daha çok silikon bazlı malzemelerden yapılan fotovoltaik paneller, elektrik enerjisi üreterek elektrik ihtiyacını karşılamak için yeni nesil araba ve çatıların üzerinde, sokak ışıkları, trafik sinyalleri, hesap makineleri, saatler, doğru akım motorlar ve fanlar, dönüştürücülerde kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda, çok ilgi çeken diğer bir konu da fotovoltaik yapıların binalara, duvar, çatı, pencere gibi bina bölümlerine bağlanmasıdır. Bu şekilde binalar hem barınma hem de enerji sağlayan üniteler durumuna gelmektedir.

### **2.5.3.7. Uzay uygulamaları**

1958 yılında uzay mekiği ve uydularda mekiğin elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılmaya başlanan Fotovoltaik teknolojisi günümüzde GaAs (Galyum Arsenit) esaslı güneş pilleri uzay çalışmaları için bulunmuştur. Yüksek verimdeki ince silikon esaslı güneş pilleri ile de iyi sonuçlar alınmaktadır. Bu sayede güneş ışığının yoğunlaştırılması ile ısınmadan dolayı pil veriminin düşmesine rağmen, daha yüksek elektrik gücü üretmektedir (Kalogirou, 2009; Bedeloğlu ,vd. 2010).



Şekil 2.48. Yoğunlaştırıcı fotovoltaik panel ve fotovoltaik panelli bir uydu (Kalogirou,2009;Bedelolu2010).

#### 2.5.4.Fotovoltaik Hücrelerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

**Kalın kristal malzeme:** Kristal silisyum, galyum arsenik (GaAs).

**İnce film malzeme:** Amorf silisyum, kadmiyum sülfür (CdS), kadmiyumtellür (CdTe), bakır indium diselenoid (CuInSe<sub>2</sub>).

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

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

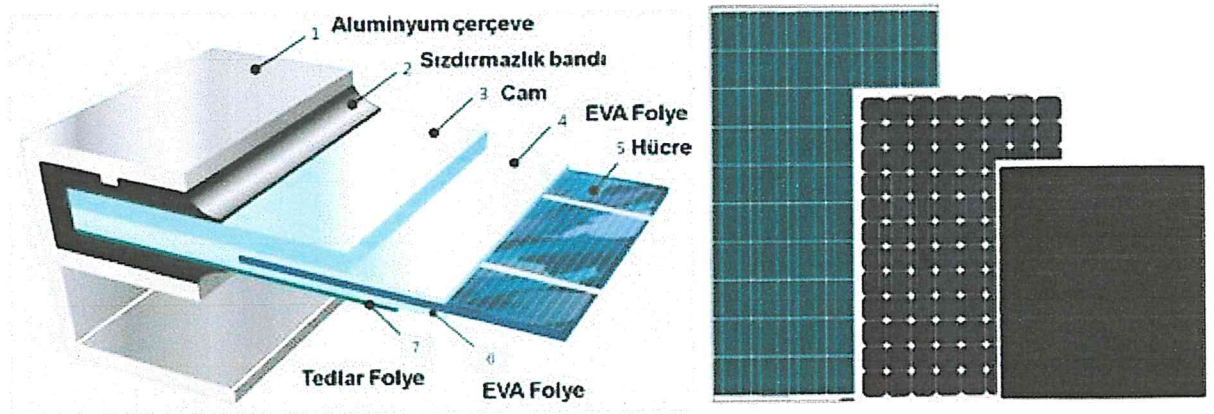
**Amorf Silisyum:** Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesindedir. Günümüzde daha çok küçük

elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum direkt güneş ışınımı az olan bölgelerde de santral uygulamalarında kullanılmaktadır.

**Kadmiyum Tellürid (CdTe):**Yapılan bilimsel çalışmalar ve buluşlar neticesinde çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş hücre maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Şuan laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

**Bakır İndium Diselenoid (CuInSe<sub>2</sub>):** Çok kristal yapıda olan bu hücre laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

**Optik Yoğunlaştırıcılı Hücreler:** Üzerine düşen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %20'nin, hücre verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Aynı zamanda yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden veya camdan yapılmaktadır.



Şekil 2.49. Fotovoltaik pilin yapısı (URL-6, 2013).

Laboratuvarlarda ulaşılan en yüksek hücre verimleri 1 cm<sup>2</sup> 'lik hücre alanı için:

Kristalsi güneş hücresi için: % 24,5

Polikristalsi : % 19,8

Amorfsi : % 12,7

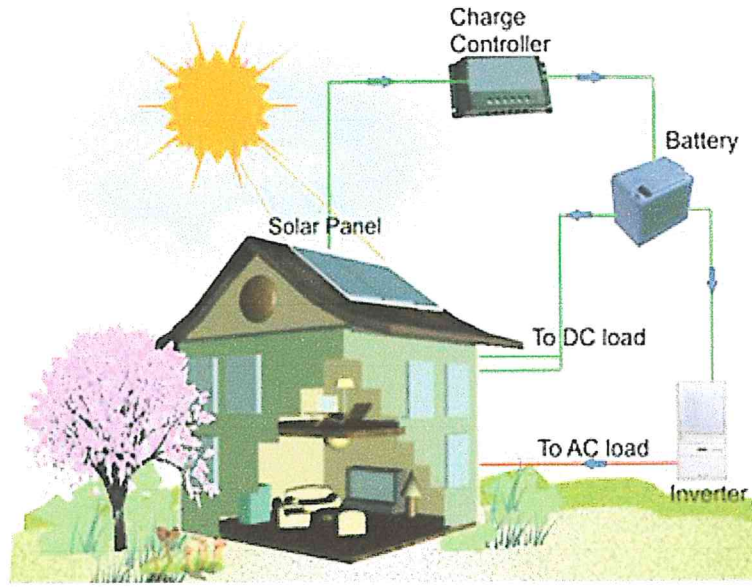
Çok Katlı Güneş Hücreleri : % 40

Si güneş hücrelerinin yerini alabilecek verimleri aynı ama üretim teknolojileri daha kolay ve daha ucuz olan güneş hücreleri üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde; foto elektrokimyasal çok kristalli Titanyum Dioksit hücreler, polimer yapılı Plastik hücreler ve güneş spektrumunun çeşitli dalga boylarına uyum sağlayacak şekilde üretilen enerji bant aralığına sahip Kuantum güneş hücreleri gibi yeni teknolojiler elde edilmiştir (URL-6, 2013).

### 2.5.5.Fotovoltaik Sistemler

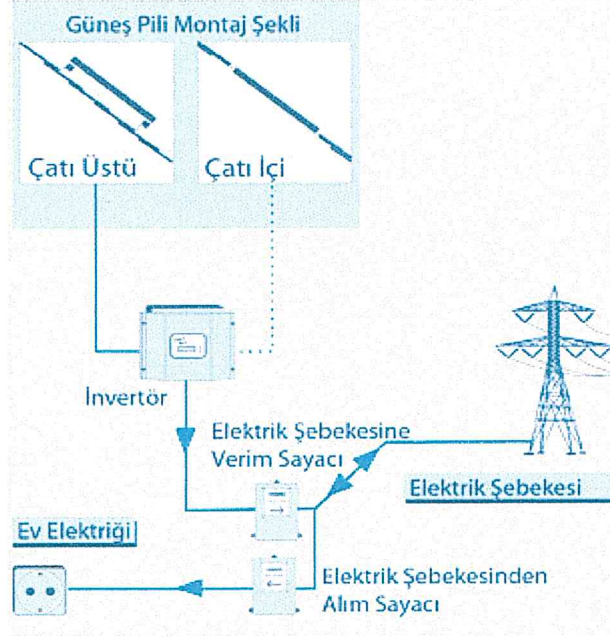
Elektrik elde etmek amacıyla güneş hücrelerinden yararlanılır. Kullanım amacına göre fotovoltaik modüller, akümülatörler, inverterler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak fotovoltaik sistemi meydana getirirler. İlk kullanılmaya başlandığı zaman uzak yerleşim yerleri, elektrik şebekesi olmayan yerlerde, jeneratöre yakıt taşımamanın zor ve pahalı olduğu zamanlarda kullanılırken, günümüzde artık şebeke bağlantısı olan yerleşim yerlerinde de şebeke bağlantılı olarak evlerin çatılarına ve büyük ölçekli santral uygulamalarında da kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca dizel jeneratörler veya başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür. Şebekeden bağımsız sistemlerde yeterli sayıda fotovoltaik modül kullanılarak enerji elde edilir. Zor atmosferik koşullar ve geceleri güneşin yetersiz olduğu anlarda kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulunur. Fotovoltaik modüller güneş olduğu sürece elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden karşılanır. Bu sistemde bir denetim birimi mevcuttur. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan bu denetim birimi, akünün durumuna göre, ya fotovoltaik modüllerden 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 dönüştürülerek DC AC ye çevrilir (URL-6, 2013).





Şekil 2.50. Şebekeden bağımsız bir fotovoltaiik (URL-6, 2013).

Kullanım amacına göre şebeke bağlantılı fotovoltaiik sistemler yüksek güçte-santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklinde de olabilir. Basit bir şekilde ifade etmek gerekirse bu sistem sayesinde bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine verilir, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınarak enerji ihtiyacı karşılanır. Sistem içerisinde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir (URL-6, 2013).



Şekil2.51. Şebeke bağlantılı (URL-8, 2013)

Fotovoltaik sistemlerin şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb.) korozyondan koruması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan tele metrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dışı aydınlatma
- Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompası
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri

- İlkyardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma (URL-6, 2013).

Güneş pili sistemi uygulamaları iki ana gruba ayrılabilir:

- Şebeke bağlantılı sistemler
- Şebekeden bağımsız sistemler

Şebekeye bağlı sistemin avantajları ve dezavantajları, bunun yanında sistemde kullanılan ekipmanları, Sistemin maliyet analizini ve Güneş pili sistemlerinin üstünlüklerini kısaca özetlemeye çalışalım.

#### **2.5.5.1.Şebekeye Bağlı Sistemin Avantajları**

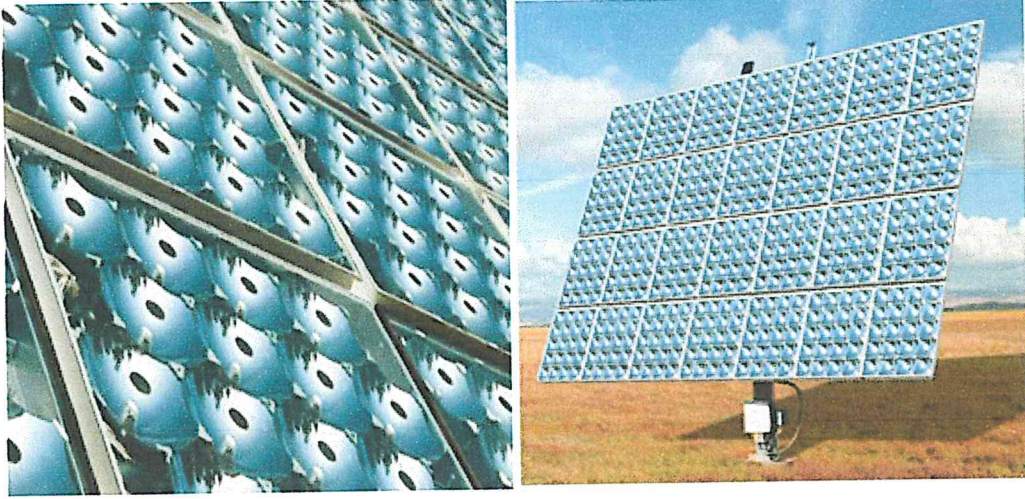
Batarya ya gerek yoktur acil durumlar için sisteme eklenebilir. PV sistemin ürettiği fazla elektrik şebekeye satılabilir. Herhangi bir arıza veya PV sistemin yeterli olmadığı durumlarda şebeke direk devreye girer. Modül sayısı yani başka bir tabirle çıkış gücü istenildiği zaman artırılabilir. Bu fotovoltaik sistem tasarlanırken tüketicinin aşırı kullanımına göre modül boyutu belirlenemez. Gerekli olan toplam yükün belirli bir oranı PV tarafından karşılanması yeterli olmaktadır.

#### **2.5.5.2.Şebekeye Bağlı Sistemin Dezavantajları**

Şebekede sorun olursa ve PV sistem yeterli gelmediğinde, tüketici enerji ihtiyacını karşılayamaz. Frekans, güç faktörü, harmonikler, dalga şekli gibi önemli elektriksel parametreler çok düzenli kontrol ister. Bunu yapmak için yüksek kalitede elektronik ekipmanlara ihtiyaç duyulur ki bu da maliyeti artırır. Az maliyetli ve güvenilir bir sistem isteniyorsa şebekeye bağlı ve küçük bir bataryalı sistem düşünülmesi gerekmektedir. Şebeke kesintisinin sık olduğu kötü ve yağışlı havalarda PV sistem elektrik üretemeyeceğinden, bir jeneratör ihtiyacı doğabilir (Cebeci, 2013).

### 2.5.5.3. Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemler

Yapısı gereği silisyum bazlı düzlemsel fotovoltaik malzemedен oluşan hücre yüzeyine çarpan güneş ışığı, elektrik enerjisine dönüştürülür. En büyük sorun kullanılan malzeme ve hücre alanı büyük, verim düşüktür bu da maliyeti beraberinde arttırmaktadır. Son yıllarda yapılan teknolojik gelişmeler neticesinde silisyum olmayan ince film veya CPV (yoğunlaştırıcı fotovoltaik) teknolojileri ile silisyum veya diğer yarıiletken malzemenin kullanımını azaltmak mümkün hale gelmiştir. Buna paralel olarak fosil yakıtlardan oluşan geleneksel şebeke elektriği ile güneş santral sistemlerinin ürettiği elektrik rekabet edebilecek düzeye ulaşacaktır. Fakat bunun önündeki en büyük engel ince film teknolojilerinin üretimi ucuz olmasına rağmen, daha nadir kullanılması ve kaynak malzemenin (Ga, In gibi) pahalı olması, verimli ve güvenilir olmalarına rağmen, yaygın kullanımını kısıtlamaktadır. Fakat CPV teknolojisi, daha az malzeme kullanılmasıyla beraber ortaya çıkan daha düşük maliyet, yüksek verim ve daha etkin pratik bir yol olarak gözükmektedir. Optik yoğunlaştırıcılar (CPV), güneş ışınlarını 1 cm<sup>2</sup> gibi çok küçük bir alan kaplayan hücrenin üzerine odaklar ve güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistem teknolojilerinde pahalı olmayan aynalar ve mercekler gibi optik malzemeler kullanılır. CPV yoğunlaştırıcıdaki ışığın odaklandığı hedef alana bir PV yarıiletken malzeme yerleştirilir, diğer düzlemsel güneş hücrelerine göre daha küçük alana merceklerle sağlanan daha yüksek yoğunluktaki ışık ışınlarının düşürülmesi ile daha yüksek verimde enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Sistem içerisinde kullanılan PV malzeme Si dan 10 kat daha pahalı olmasına rağmen yüksek verim ve az malzeme kullanımından dolayı toplam maliyet daha düşük olmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde çok eklemlı güneş hücrelerinin kullanılmasıyla verimi % 40 'a kadar çıkmıştır. Aşağıdaki resimde geleneksel PV modülden daha küçük, ince, düzlemsel, yüksek performanslı ve düşük fiyatlı bir CPV modül örneği görülmektedir (URL-6, 2013).










Şekil 2.52. Cpv Sistemi (URL-6, 2013).

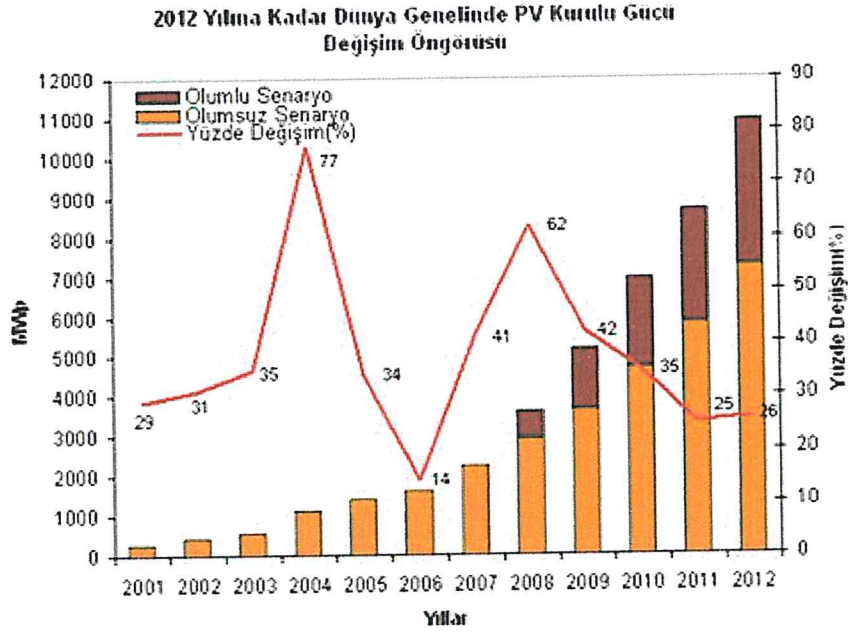
#### 2.5.5.4. CPV modüllerin düzlemsel PV'lerden üstünlükleri:

- Verilen bir alana düşen güneş enerjisinden üretilen aynı miktardaki enerji için, diğer PV sistemlere göre aktif yarıiletken malzemenin maliyeti 1/1000 i kadardır.
- Güneşten üretilen elektriğin fiyatı günümüzde kullanılanın yarısından azdır.
- Düzlemsel PV nin veriminin iki katı verime sahiptir. (URL-6,2013).

Tablo 2.22. pv sistemde kullanılan malzemelerin verimleri (URL-6,2013).

Technology	Thin Film					Crystalline Silicon	
	(a-Si)	(CdTe)	Cl/G/S	a-Si pc-Si	Dye s. cells	Mono	Multi
							
Cell efficiency	4-8%	10-11%	7-11%	7-9%	2-4% (LAB)	13-19%	11-15%
Module efficiency							
Area Needed per KW (for modules)	~ 15 m <sup>2</sup>	~ 9m <sup>2</sup>	~ 10m <sup>2</sup>	~12m <sup>2</sup>		~7m <sup>2</sup>	~8m <sup>2</sup>

Source: EPIA 2010, Photon international, March 2010, EPIA analysis.  
Efficiency based on Standard Test conditions.



Şekil 2.52. Dünyada PV kurulu gücü (URL-6, 2013).

## 2.5.6. Pv Sistemlerde Kullanılan Elemanlar

### 2.5.6.1. PV Sistemlerde Aküler



Şekil 2.53. Akü

### **2.5.6.2. Temel özellikler**

Fotovoltaik sistemlerde şu aksaklıklar görülmüştür.

Güneş ışığının az olduğu anlarda aşırı deşarj olması. Güneş ışığının fazla olduğu anlarda aşırı şarj olması. PV kaynağının az olmasından kaynaklanan ve iç kayıplar sebebiyle daha da ağırlaşan sürekli yetersiz şarjda kalma durumunun olması. Daha çok güneş kuşağı bölgelerinde çevre sıcaklığının yüksek olması bunun sonucunda iç tüketimin ve korozyonun artması, aşırı şarj koşullarının ağırlaşması ve malzemenin daha hızlı yıpranması. Bu sorunların nedenleri ise; İşletme ve bakım yöntemlerinin yeterli olmaması, yetersiz şarj kontrol, yetersiz tasarım ve boyutlandırma, akü hakkında bilgi sahibi olmamaktır. Günümüzde PV sistemlerde kullanılan akülerden verimli sonuçlar alınamamıştır. Bunun nedeni 7-8 yıl olarak hesaplanan akü ömrünün, uygulamada 4-5 yıl civarında olmasıdır. PV sistemlerde kullanılacak aküler için aşağıdaki şartların takip edilmesi gerekir. Günlük veya mevsimlik şarj-deşarja dayanma, yüksek ve düşük dış devre sıcaklığına karşı dayanma, bakımsız veya az bakımla güvenli çalışabilme, hasar görmeden uzak ve kırsal bölgelere taşınabilme, az sayıda alet ve niteliksiz işgücü ile kolaylıkla kullanılabilme, ev modüllerinin 20 yıllık ömrü süresince güvenli bir şekilde çalışma.

### **2.5.6.3. Akü İşletimini Geliştirmek İçin Yapılabilecek Çalışmalar**

Günümüzde fotovoltaik sistemlerde kullanılan akülerin yaklaşık 8 yıllık bir ömrü ve minimum bakım gerektirme gibi özellikleri yerine getiremediğini görmekteyiz. Bunu sağlamak için akü endüstrisinin daha gelişmiş akü tasarımları yapması gerekmektedir. Sistemi kurarken uygun akü seçilmesi ve akünün çalışma şartları, ömrünü uzatacak şekilde optimize edilmelidir. Aküler için yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları talebe cevap verememektedir. PV sistemlerde kullanılan aküler toplam akü pazarının ancak % 1'i civarındadır. Son yapılan çalışmalar sonucunda, Ni Cd ve kurşun asit akülerde asit ajitasyonu, gelişmiş ızgara yapıları ve akü durumunu izleme konuları incelenmiş olup sodyum sülfür, çinko-bromür ve lityum gibi yeni akü teknolojilerinde gelişmeler olmuştur. Bu ve benzeri aküler, taşınabilir kaynak olarak kullanılmak için yapılmakta ve toksin metallerin, kurşun, civa ve kadmiyumun üretimde kullanılmasını azaltmak için çalışmalar devam etmektedir.

#### 2.5.6.4. Akü ömrünü arttırmak için yapılması gerekenler:

- Şarj denetiminin aşağıda sayılan maddeler ışığında geliştirilmesi,
- Aşırı şarj eşiklerinde sıcaklık kompanzasyonu,
- Derin deşarj ve aşırı şarj sınırlarının mevsimlik değişmesi,
- Hata durumunda akünün korunması,
- Derin deşarj ısının deşarj akımına göre kompanze edilmesi,
- Akünün yaşlanmasını takip etme,
- Akü hücrelerinin birbirine göre eşitlenmesi,
- Güvenilir akü izleme cihazlarının kullanılması ve tüketici izlenen akü verilerinden ve hücrelerin durumundan akünün çalışmasını ayarlayabilir.
- Optimum boyutlandırma ve seçme( Cebeci, 2013).

#### 2.5.7. Fotovoltaik Levhalar (Paneller)



Şekil 2.54. Fotovoltaik Levhalar (Paneller) ( Cebeci, 2013).

Fotovoltaik sistemin en önemli bölümü olan fotovoltaik levhalar güneş enerjisini doğru akım elektrik enerjisine dönüştürürler. Güneş pilleri bir araya gelerek fotovoltaik modülleri, fotovoltaik modüller bir araya gelerek fotovoltaik levhaları, levhalarda bir araya gelerek fotovoltaik sistemi meydana getirir. Normal bir fotovoltaik levha güneşli açık bir havada 12 volt, 10 amper k yani 120 watt elektrik üretilebilir. Meydana gelen gerilimi artırmak için levhalar seri olarak, akımı artırmak için ise paralel olarak bağlanabilirler. Küçük uygulamalarda bir veya birkaç tane fotovoltaik levha kullanılmaktadır. Güneşin olmadığı zamanlarda bataryalardan daimi akım çekilir ve güneşin olduğu zamanlarda



batarya şarj edilir. Bataryalar yapısı itibari ile kurşun asit çeşidi olmalarına rağmen, araba bataryalarına kıyasla derin şarj-deşarj özelliklerine sahiptirler. Fotovoltaik sistemlerde fazla enerji depolamak için bataryalar paralel olarak bağlanır ve bu şekilde toplam depolama kapasitesi artırılmış olur.

### **2.5.8. Regülatör**

Fotovoltaik sistemlerde güneşin bol olduğu zamanlarda bataryaların tamamıyla dolduktan sonra akım almalarını önlemeliyiz. Şayet bunu yapmazsak fazla şarj meydana gelir ve buda bataryanın ısınmasına, sıvı kaybına ve batarya ömrünün kısalmasına sebep olur. Bunu önlemek için Regülatör kullanırız. Kullandığımız bu regülatör, fotovoltaik levhalar ile bataryalar arasına konur ve bataryaların fazla şarj olmalarını önler. Ve ayrıca batarya voltajını sürekli kontrol ederek batarya dolunca bataryaya giden akımı otomatik olarak keser. Regülatör seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli husus, regülatörün gerekli olan maksimum akıma dayanıklı olması ve kullanılan batarya voltajı ile uyumlu olması gerekmektedir.

#### **2.5.8.1 Zener Diyot İle Regülasyon**

Gücü düşük olan bir fotovoltaik sistemde aküye paralel bağlanmış bir zener diyodu ile akü gerilimi sürekli olarak aynı değer civarında tutulabilir.

#### **2.5.8.2 Paralel Regülatör**

Fotovoltaik sistemde aküye paralel bağlanan bir transistörün elektriksel geçirgenliği, akü gerilimine veya akü akımına orantılı olarak otomatik ayarlanır.

#### **2.5.8.3 Seri Regülatör**

Ayarlanma şekli paralel tipte olduğu gibidir. Fakat paralel tipten farklı olarak, seri transistör devrede sürekli aktif durumda olduğundan belirli bir enerji burada ısıya dönüşüp kayba uğrar.

#### **2.5.8.4 Süreksiz Çalışan Şarj-Deşarj Regülatörü**

Birden fazla modülün paralel olarak bağlandığı PV jeneratörlerde, aküye giden şarj akımı, bazı modüllerin devreden çıkarılması veya devreye alınması ile azaltılıp çoğaltılabilir. Bu mantıkla akü şarj seviyesi kritik değerin altına indiğinde de yük devreden çıkartılır. Bu müdahaleler sisteme süreksiz karakterde çalışan bir regülatör sayesinde olur. ( Cebeci, 2013).

#### **2.5.9. İnverter**

Fotovoltaik sistemin en önemli parçalarından biri olan inverter 12 veya 24 Volt düşük doğru akımı 240 volt alternatif akıma dönüştürür. Küçük fotovoltaik sistemlerde inverter yerine düşük voltajlı doğru akımla çalışan elektrikli cihazlar kullanmak daha uygundur. Mesela, 12 Volt ile çalışan buzdolabı, televizyon, lamba vb. elektrikli cihazlar kullanıldığı takdirde inverter kullanmamıza gerek yoktur. Fakat düşük voltaj ile çalışan elektrikli cihazlar genelde hem pahalı hem de çeşit bulmakta zordur. İnverter D.C gerilimi alır bir veya bir kaç çift transistörden geçirir. Bu transistörlerin tetiklenip bırakılması sonucunda A.C. gerilimi elde edilir. Bir transformatör yardımı ile konutlarda kullanılan 220 volt şebeke gerilimi elde edilir. Kare dalga inverterler genelde motorlarda ve el aletlerinde kullanışlı olup sinüs dalga inverterler diğer elektronik cihazlarda kullanılır. Sinüs dalga inverterler, kare dalga inverterlere göre daha düzenlenmiş ve temizlenmiş bir inverter tipi olmasının yanında maliyet bakımından daha pahalıdır. Çıkış dalga şekline bağlı olarak 3 çeşit inverter kullanabiliriz.

##### **2.5.9.1 Kare Dalga İnverter**

Bu inverter çeşidi doğru akımı kare dalgaya çevirir. Kare dalga inverter diğer inverter türlerine göre ucuz olup daha çok aydınlatma, soba, motor vb. hassas olmayan elektrikli cihazlar için kullanılır.

### **2.5.9.2 Değiştirilmiş Sinüs Dalgası İnverter**

Değiştirilmiş Sinüs Dalgası İnverterde ıkış dalga şekli sinüs dalgasına benzetilmiştir. Bu inverter sayesinde televizyon, radyo, mikrodalga vb. birçok elektronik cihazı çalıştırabiliriz.

### **2.5.9.3 Sinüs Dalgası İnverter**

Sinüs Dalgası İnverter tam bir sinüs dalgası üretir. Pahalı olup çok hassas elektronik cihazlarını (lazer yazıcı, bilgisayar vb.) alıştırmak için kullanılır. İnverter seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, inverterin daimi ve kısa anlık güç kapasitesidir. Aynı zamanda kullanılan batarya voltajı ile uyumuna dikkat edilmelidir (Cebeci, 2013).

## **2.6 Güneş Pili Sistemlerinin Ekonomisi**

Güneş pili sistemlerinin enerji maliyetini üç önemli madde belirler.

- Pil verimi
- Sistemin ilk yatırım maliyeti
- Sistemin ömrü

### **2.6.1. Verim**

Pil veriminin maliyet üzerinde etkisinin büyük olması aşıkârdır. Yapılacak çalışmalarda verim arttırılabilirse maliyette azalacaktır.

### **2.6.2. Yatırım Maliyeti**

Fotovoltaik sistemlerde işletme ve bakım maliyetleri çok az olduğu için toplam sistem maliyetinin büyük bir kısmını ilk yatırım maliyeti meydana getirir. İlk yatırım maliyetleri arasında arazi, tesisat, montaj, inverter ve diğer güç cihazları gibi destek elemanlarının maliyeti yer almaktadır. Destek sistemlerinin maliyeti bir güneş pili sistemini maliyetinin yaklaşık yarısını oluşturur. Bu ve benzeri maliyetleri azaltmak en az modül maliyetini azaltmak kadar önemlidir.

### 2.6.3.Modül Ömrü

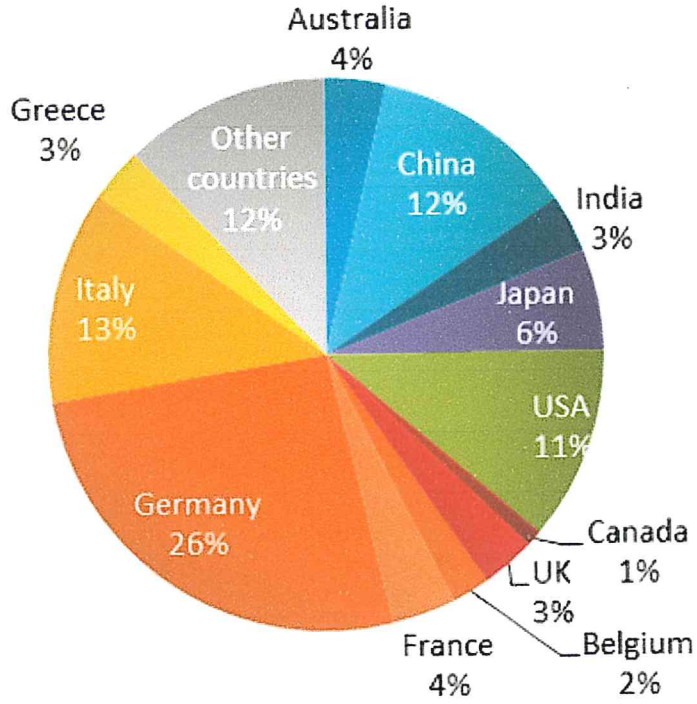
30 yıllık ömre ulaşan Silisyum kristal piller için bu etken fazla önem taşımaz. Fakat bunun yanında Amorf silisyum ve diğer güneş pili türlerinde zamanla güç çıkışı bozulur azalır. Modül ömrünün artmasının enerji maliyetleri üzerinde etkisi olacağı aşikârdır (Cebeci, 2013).

### 2.7.Güneş Pili Sistemlerinin Üstünlükleri

Fotovoltaik sistemler dayanıklı, güvenilir ve uzun ömürlü olmalarının yanında çalıştıkları sürece bir elektriksel sorun çıkarmazlar ve bozulmazlar. Sisteme en büyük tehdit yıldırım düşmesi ve uzun dönemde bu ise yaklaşık 20 yıl civarında olup hava koşullarının etkisiyle aşınmadır. Güneş pilleri modüler yapıda olduğundan uygun şekilde düzenlenerek 1 V'tan, bir kaç kW'a kadar çıkabilir. Küçük güç ihtiyaçlarını karşılayabildikleri gibi, kendi başlarına bir güç santrali olarak da çalışabilme kapasitesine sahip olabilir. İlk yatırım maliyetlerinin fazla olması elektrik şebekesinin olduğu yerlerde uygun olmayabilir. Fakat elektrik şebeke hattı bulunmayan veya elektrik şebeke hattının götürülmesinin pahalıya mal olduğu kırsal yörelerde güneş pillerinin kullanımı daha ekonomik bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Nedeni ise güneş pili sistemlerinde bir kez yatırım yapıldıktan sonra başka masraf olmamaktadır. Bunun akabinde dizel jeneratörlerin ucuz olmasının yanında bakım ve yakıt masraflarının büyük olması sebebiyle uzun dönemde daha pahalıya mal olduğu görülmektedir. Jeneratörlerin aksine, güneş pilleri bakım gerektirmez, parça değişimleri gibi bir sorunları bulunmamaktadır. En üstün özelliklerinden biride çevre dostu olmasıdır. %80 fosil kökenli yakıtlarla enerji ihtiyacını karşılayan dünyamız, asit yağmurları karbondioksit salınımı sebebiyle iklimleri ve atmosferi tehdit etmektedir. Güneş pillerinin yakıtı güneş enerjisi olduğundan yakıt masrafı yoktur. Çevreyi kirletmediği gibi doğaya hiçbir zararlı etkisi yoktur ( Cebeci, 2013).

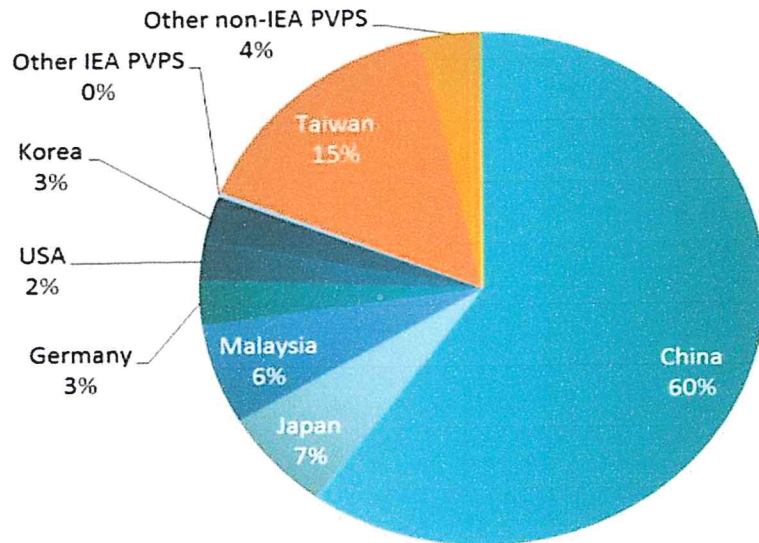
Fotovoltaik sistemlerin dünya genelinde son durumu tablo ve grafikler halinde aşağıda sunulmuştur.

## The Global PV Market in 2012

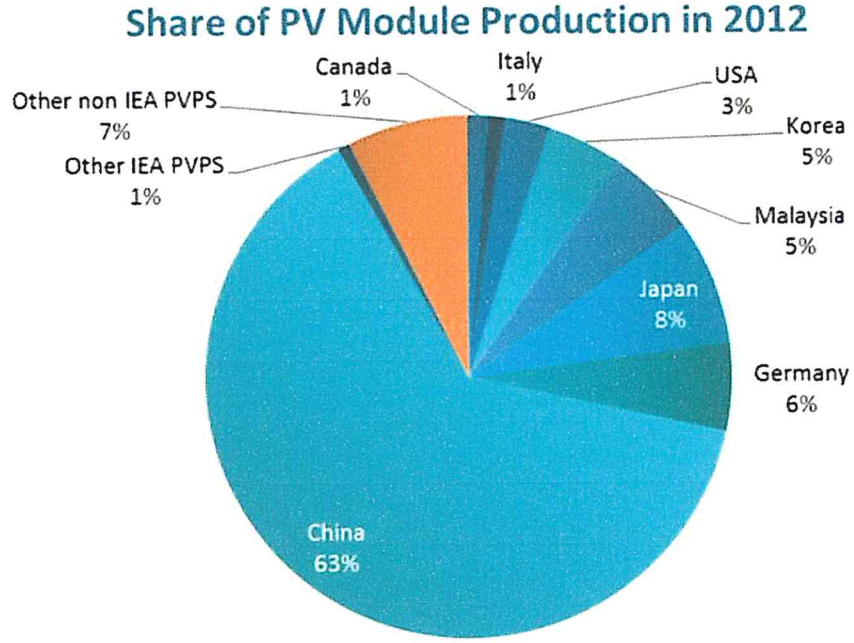


Şekil 2.55. Dünya üzerindeki fotovoltaik Pazar (URL-5, 2013).

## Share of PV Cells Production - 2012

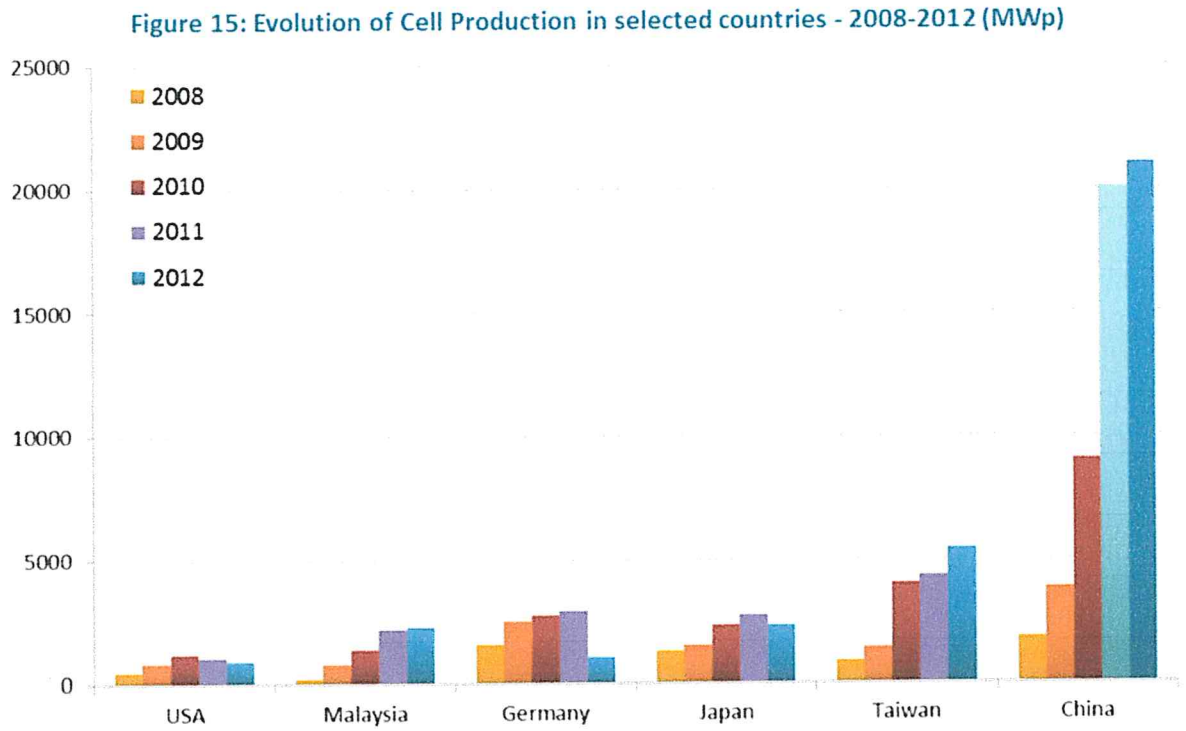


Şekil 2.56. Dünya üzerindeki fotovoltaik pil üreticileri (URL-5, 2013).



Şekil 2.57. Dünya üzerindeki fotovoltaik modül üreticiler (URL-5, 2013).

Tablo 2.23. 2008-2012 yılları arasındaki fotovoltaik pil üretimindeki dalgalanma (URL-5, 2013).



## 2.8. Literatür Taraması

Hiendro ve arkadaşları Endonezya'nın fiziki ve coğrafi yapısını dikkate alarak, ülkelerinde ki fotovoltaik sistemler ile rüzgâr enerjisi kullanımının artırılması konusunda yapmış oldukları matematiksel modellemeyi teknik ve ekonomik analiz eşliğinde kaleme almışlardır. Endonezya'nın güneş ve rüzgar enerjisi potansiyelinin iyi bir konumda olmasına rağmen yatırım maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle kullanım alanları düşük olması sebebiyle ve ayrıca fotovoltaik sistemlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması safhasında yaptıkları modellemeyi simülasyon eşliğinde, bir KW rüzgar türbininin 496 kWh / yıl elektrik üretme yeteneğinin olduğunu bunun yanında aynı boyutta PV panelinin 2.079 kW / yıl elektrik üretebileceğini göstermiştir (Ayong, 2013).

Sergio ve arkadaşları Brezilya Amazon bölgesinde bulunan izole topluluklarda elektrik eksikliğinin önemli bir sorun olması sebebiyle Brezilya'nın Tocantins Eyaletinde proje dahilinde pilot bir bölge tespit edilip fotovoltaik sistemler, yakıt pilleri, elektroliz, bataryalar ve dizel jeneratör ile elde edilen elektriğin ve bunların kendi aralarında ki ekonomik ve teknik analizlerini simülasyon eşliğinde(HOMER) yaparak fotovoltaik sistemlerin daha avantajlı olduğunu göstermişlerdir. Elde ettikleri bulgular ile Fotovoltaik sistemlerin avantajları arasında çalışma sürecinde elektronik kullanılması, diğer sistemlere göre daha zeki olması, daha az bakımı olduğu görülmüş. Ve diğer sistemlere göre daha yüksek verim ve daha düşük üretim maliyetlerinin yanı sıra çevre kirliliğine yol açmayıp sessiz çalışması ve ücretsiz yakıtı sahip olduğunu, yoksulluğun ve sosyo ekonominin az geliştiği Brezilya'nın kuzey bölgelerinde refah düzeyini arttıracak bir hamle olduğunu göstermişlerdir (Sergio, 2010).

Markvart Güneş pili pompaları ile dizel pompalarla yapılan karşılaştırma neticesinde 3kW'ya kadar olan yerlere su iletmek için ve sulamadaysa ise 1kW civarında güç gerektiren uygulamalarda güneş pili ile çalışan pompaların daha ekonomik olduğu göstermiştir (Markvart, 1994).

Filippo ve arkadaşları Almanya ve İtalya piyasalarında 2006 dan 2013 e kadar yaptıkları uzun vadeli araştırma ile çatı fotovoltaik sistemlerinin yatırım ve ekonomik analizini inceleyip, çatı PV sistemleri için dört farklı yatırım marjları ele alınarak hangisinin daha

karlı olduğu tespiti yapıp, PV piyasalarında montaj hacminin artırılması ve maliyetin azaltılması için hükümetler nezdinde PV uygulamaları için 2013 e kadar verilen teşviklerin ve verilmesi gereken teşvik ve yatırımları ele almışlardır (Filippo, 2013).

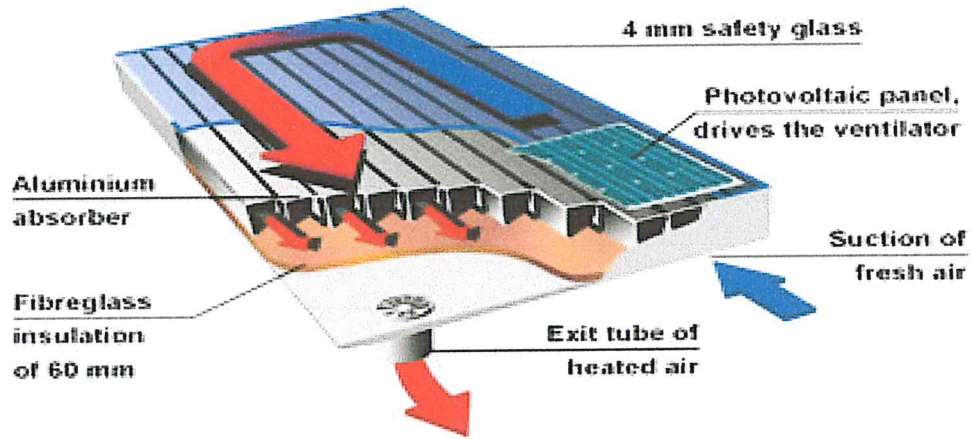
Zghal ve arkadaşları bağımsız bir fotovoltaik sistemin modellenmesini ve teknik - ekonomik optimizasyonunu incelemiştir. Hedefledikleri amaç optimumu bulmaktır. Bu bağlamda belirli bir yükün enerji ihtiyacını gerçekleştirmek için mümkün olan bir fotovoltaik sistemin özelliklerini, belirli bir site için dağıtımını Matematiksel modelleme yaparak analiz etmişlerdir. Bu yöntem ile boyutlandırma yapılarak meteorolojik veriler, tüketici istekleri ve sistemin montajı gözönüne alınarak herhangi bir yerde uygulanabilirliği yapılmıştır (Zghal, 2013).

Min ve arkadaşları Güney Kore'de bir sergi binasının elektriğinin bir fotovoltaik sistem ile uygulamasını ekonomik ve çevresel etkilerini analiz ederek, salınan CO<sub>2</sub> miktarındaki azalmayı ve elektriğe ödenen yıllık masraftaki düşüşü 5,10 ve 15 senelik periyotlarla makalelerinde göstermişlerdir (Min, 2004).

Tekeli (2013), yaptığı araştırmada Hibrit Fotovoltaik-Termal Sistemleri ele almıştır. Yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılması fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması ve çevresel kaygılar nedeniyle son zamanlarda artmıştır. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin üretim miktarlarının artırılmasının yanında kurulum maliyetleri daha yüksek olduğu için, bu sistemlerin daha verimli kullanımı önemli bir soru hale gelmiştir. Güneş enerjisinden fotovoltaik dönüşüm ilkesinden yararlanılarak güneş pilleri aracılığıyla elektrik enerjisi elde edilmektedir. Güneş enerjisinden ısı enerjisi elde eden sistemler sıcak su ihtiyacını karşılamanın yanı sıra iç mekân ısıtmasında da kullanılmaktadır. Her iki enerji dönüşümü ile fosil yakıtların kullanımı ve CO<sub>2</sub> salınımı azalacaktır. Elektrik enerjisi kullanımı ile su ısıtma verimi % 90 civarındadır. Bu nedenle su ısıtma ve elektrik enerjisi üretiminde fosil yakıtlarını azaltabiliriz. PV ve PV/T paneller çevreye zararsız şekilde düşük işletim bakım maliyetleriyle hemen hemen kalıcı bir şekilde enerji üretim seçenekleri sağlayabilir. Birleşik fotovoltaik sistemler /termal kolektörler (PV/T) güneş enerjisini eş zamanlı olarak elektrik ve ısı enerjisine çeviren sistemlerdir. Güneş pilleri tarafından soğurulan güneş ışınımının tamamı elektrik enerjisine dönüştürülmez ve hücre sıcaklığını artırarak elektriksel verimi düşürür. Dolayısıyla PV sıcaklığı, doğal ya da



zorlanmış sıvı/hava dolaşımı ile soğutma yapılarak düşürülebilir. Bu amaçla PV modüllerinin aynı anda elektrik ve ısı enerjisi üretilebilen bir PV modülün soğutma donanımı ile birlikte kullanıldığı Hibrit güneş pili termal toplayıcı (PV/T) sistemleri üzerinde çalışmalar vardır. Fotovoltaik termal kolektörler, sıvı soğutmalı, hava soğutmalı ve konsantre fotovoltaik termal kolektörler olmak üzere 3 çeşittir. Fotovoltaik termal kolektörler (PV/T), PV modülü ve arkasına yerleştirilmiş olan emici plakadan oluşmaktadır. Emici plakanın iki görevi bulunmaktadır. Birincisi fotovoltaik (PV) modülünü soğutmak ikincisi ise PV sistem tarafından çevreye atılan atık ısıyı yararlı işe çevirmektir. Hibrit PV/T sistemlerinin toplam enerji çıkışı güneş enerjisi girişi, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, sistem bileşenlerini çalışma sıcaklığı ve soğutma moduna bağlıdır. Güneş pili ve termal toplayıcı kullanımı binaların çatısında daha az yer kaplayarak gerek alan tasarrufu sağlamanın yanı sıra hem elektrik enerjisini hem de sıcak su ihtiyacını da karşılayacaktır. Bu bağlamda ekonomik olarak daha az masraf ile elektrik ve sıcak su ihtiyacı elde edilmiş olacaktır (Tekeli, 2013).



Şekil 2.58. PV/T ve PV'nin birlikte uygulanabilirliği(Tekeli,2013).

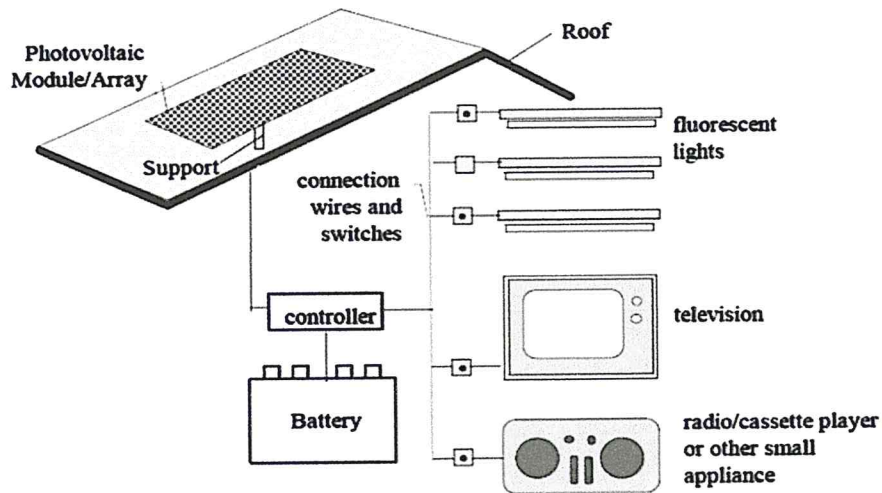
Abolfazl ve arkadaşları İran'da elektriğin zor gidebileceği dağlık ve kırsal alanlarda bulunan köyler için Hibrit fotovoltaik sistemin kullanılması bağlamında, jeneratör ile elde edilen elektriğin ekonomik analizini yapmış ve %35 oranında bütçede iyileşme gördüğünü matematiksel olarak hesaplamıştır (Abolfazl, 2013).

Martin ve arkadaşları Brezilya'da konut düzeyinde şebekeye bağlı güneş fotovoltaik sistemlerin ekonomik analizlerini yaparak, hükümetin enerji politikalarını ele almıştır. Yaptıkları çalışmada şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin avantajlı olduğunu verilerle ele almıştır (Martin, 2012).

İsmail ve arkadaşları Malezya'da iki aşamadan oluşan bir simülasyon programı yardımıyla, aynı şartlar, aynı koşullar ve aynı mekanda, optimize edilmiş bir fotovoltaik sistem ile dizel jeneratörün, CO2 miktarı salınımla beraber teknik ve ekonomik analizini yaparak tropikal bölgelerde şebekenin ulaşamayacağı yerlerde fotovoltaik sistemlerin daha elverişli ve avantajlı olduğunu yaptıkları çalışmada kaleme almışlardır (İsmail, 2013).

Bhattarai ve arkadaşları fotovoltaik ve termal güneş enerjisi sistemleri ile farklı depolama kapasitelerinin (25, 50, 75, 100 ve 125 kg/m<sup>2</sup>) karşılaştırmalı çalışma prensiplerinin, performans değerlendirmesini ve ekonomik analizlerini ele almışlardır (Sujala, 2013).

Alam Hossain Bangladeş'in kırsal bölgelerinde yaşayan insanlar ağırlıklı olarak geceleri evlerini aydınlatmak için gazyağı, yağ bazlı lambaları kullanımının fazla olmasını incelemiş ve bunu fotovoltaik sistemle karşılanmasını sağlamak için teknik ve ekonomik analizini kaleme dökmüş avantajlarını kanıtlamıştır (Alam, 2009).



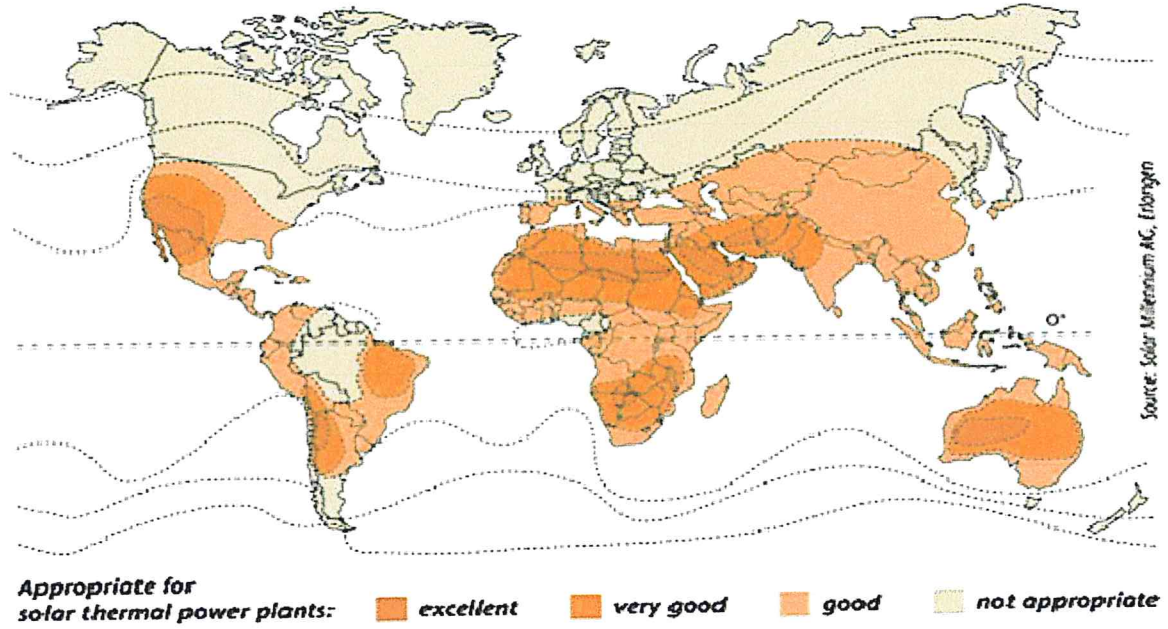
Şekil 2.59. Güneş enerjisi ile elektrik üretimi yapan tipik bir ev (Alam, 2009).

Zhang ve arkadaşları Fukushima Daiichi'deki nükleer kaza sonrası Japonya'daki enerji üretiminin genişlemesini ekonomik ve çevre analizini yapmıştır. Bu analiz sonucunda güneş enerjisinden yararlanılıp fotovoltaik sistemlerin önemini yaptığı çalışma ile dile getirmiş, Ayrıca yılda ithal edilen 80 milyon ton kömür, 20 milyon ton LNG den kaynaklanan bir çevre kirliliğinin boyutlarını sayısal olarak göstermiş. Bu enerji kaynaklarının 20 yıl içerisinde 5 milyar ton CO<sub>2</sub> emisyonunun ortadan kaldırılması amacıyla güneş ve fotovoltaik sistemler çerçevesinde yeni enerji politikalarının düzenlenmesine yönelik teknik ve ekonomik olarak verisel bir çalışma yapmışlardır (Zhang, 2012).

Shaahid ve arkadaşları fosil yakıtlara bağımlılığın endişe verici olduğunu bu nedenle, güneş enerjisi yatırımlarının artırılması gerektiğini, fotovoltaik ve Hibrit sistemlerin Arabistan'ın Rawdhat Bin Habbas yerleşkesinde teknik ve ekonomik analizlerini yapıp, yıllık atmosfere salınan 1.005 ton/yıl karbon emisyonunun önlenebildiğini, karşılaştırmalı olarak %24 azalma kaydedildiğini, ekonomik olarak ise %27 avantajlı olduğunu çalışmada ifade etmişlerdir (Shaahid, 2013).

Ananda ve arkadaşları Colorado State University – Pueblo'da 1,2 MW kapasiteli şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin güç ve ekonomik analizini projelendirip, yatırım, maliyet ve geliri, bir ekonomik modele dayalı Proje ile uygulamışlardır. PV kurulum ekonomik analizini Microsoft Excel 2007 kullanarak RETScreen yazılım tarafından yapmışlardır. Tesis, Aralık 2008 yılında, yenilenebilir enerji portföyü standartları kurallarına göre bölgesel bir elektrik şirketi tarafından yaptırılmış olup, sistem Colorado Çölü'nde simüle edilmiş ve sekiz yılda kendini amorti ettiği tespit etmişlerdir (Ananda, 2013).

Ishan ve arkadaşları 2022 yılına kadar güneş enerjisinden 20.000 MW elektrik sağlamak ve bu tarihe kadarda kırsal alanlar için 20 milyon güneş aydınlatma sistemleri dağıtmak için fotovoltaik sistemlerin finansal ve teknik fizibilitesini yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada güneş popülasyonunun yoğunlukta olduğu yerler belirlenerek kırsal, dağlık ve uzak yerlerde bulunan dağınık yerleşkeler için fotovoltaik sistemlerin önemi üzerine çalışmalarını tamamlamışlardır (Ishan, 2010).



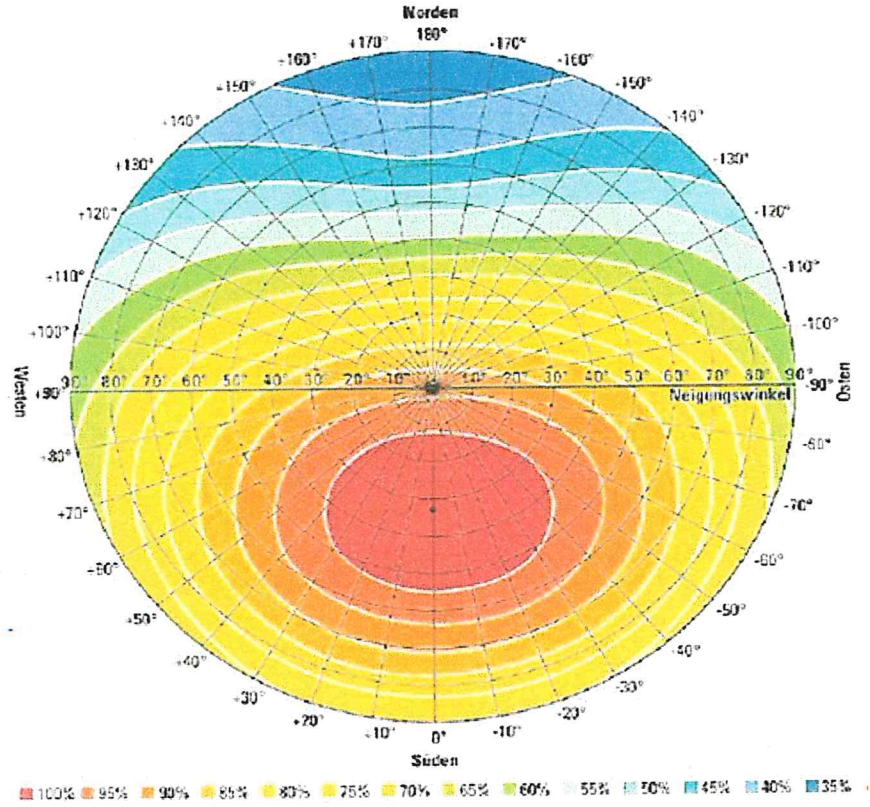
Şekil 2.60.CSP tesisleri için en umut verici alanlar (Solar Millennium AG, 2013).

Diap ve arkadaşları Korsika Adası'nın meteorolojik şartları, hükümetin enerji politikası parametreleri ile güneş ve rüzgâr kaynaklı sistemlerinin ücretleri ışığında yapmış olduğu çalışma neticesinde, %75'e varan bir avantaj elde edilebileceğini analiz etmiştir (Diap, 2008).

Abraham ve arkadaşları fotovoltaik sistemlerin membranlar ile ilgili boyutunu inceleyerek teknik ve ekonomik değerlendirmesini analiz etmişlerdir. Hindistan'da 42 milyon vatandaşı etkileyen acı yeraltı suları ile Hindistan'ın kıyı şeritlerinde bulunan denizlerden tatlı su elde etmek için fotovoltaik sistemlerin aktif olarak çalışması gerektiği konusu üzerinde çalışılmıştır. Ve bunun için Ters osmoz ( RO ) ve elektrodializ teknik yönleri ( ED ) ile kullanılan PV sistemi sayesinde membran arıtma süreci incelenmiş. Tuz ve su ayrıştırılarak tatlı su elde edilerek devletler tarafından artan talebi ve deniz suyu arıtımı hakkında daha fazla odaklanarak, 2008 yılında / gün 291.820 m<sup>3</sup> olan arıtma işlemini 2015 yılı itibari ile kapasitesini 1.449.942 m<sup>3</sup> 'e nasıl ulaştırabileceğini PV sistemleri yardımıyla analiz etmiştir. Bu sayede ülkenin arıtma için harcadığı bütçenin ekonomik olarak değerlendirmesini sunmuştur (Tinu, 2010).

## 2.9.Tunceli Optimum Global Güneş Radyasyon Değerleri

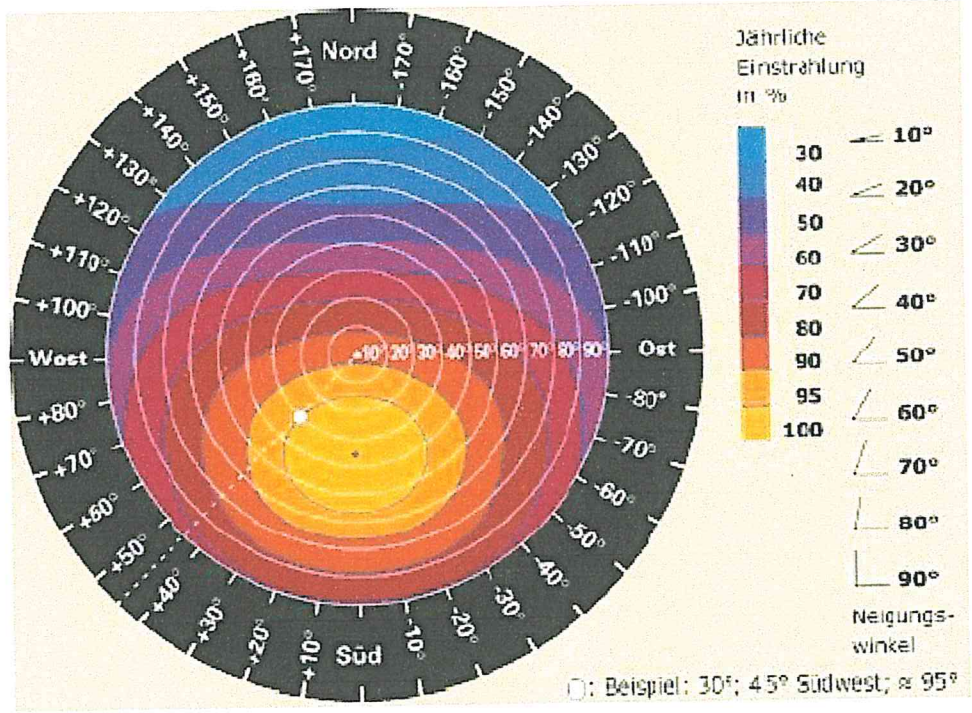
Optimum Açısı=30°, Horizont-Azimut Güney =0°, Doğu =-90°, Batı = + 90°, Kuzey =180°



Şekil 2.61. Tunceli için güneş enerji çizelgesi

Şekil 2.61. Tunceli'nin Optimum Açısı=30°, Horizont-Azimut Güney =0°, Doğu = 90°, Batı = + 90°, Kuzey =180° matematiksel konumuyla güneş enerji çizelgesi gösterilmektedir.

**Açı = 30° Derece, Azimut= 0° Derece, Optimum Enerji = 100 %**



**Açı: 30° Derece, Azimut= +45 Derece, Optimum Enerji = 95 %**

Şekil 2.62. Yıllık güneş ışınımı

Şekil 2.62. de Tunceli ili için açımız 30 derece kalmak şartı ile azimut açısını sıfır ve kırk beş derece almamız halinde elde edilen optimum enerji miktarı görülmektedir.

### 3. MATERYAL VE METOD

Yapılan çalışmada, 2 eksenli Fotovoltaik-Sistem yani güneşe doğru Doğu-Batı istikametinde ve Azimut ayarlı olan bir sistem ile Sabit PV Sistem yani Aı = 30<sup>0</sup>, Azimut=0<sup>0</sup> güneye doğru olan, iki farklı fotovoltaik sistem yardımıyla Tunceli ilimizde on beş dakikalık periyotlarla ölçümler yapılmış olup, ilimizin merkez ve ilçelerinde bir yıl boyunca global radyasyon değerleri elde edilmiş ve bu veriler ışığında Tunceli ilinde Photovoltaik Tipi-Alanda retilebilecek Elektrik Enerjisi miktarı tespit edilmiştir. Bunun yanında optimum aı 30<sup>0</sup> kalma şartı ile ve azimut açısının değiştirilmesi sonucu fotovoltaik ‘kristalin silikon’ ve ‘ince bakır film şerit’ tipi alanda üretilebilecek elektrik enerjisi miktarları da tespit edilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tunceli İlinin Solar Enerji Potansiyelinin Teknik Ve Ekonomik Analizinden elde edilen sonuçları vermeden önce hesaplama yapılan ilimiz Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat bölümünde yer alan, kuzeyde ve batıda Munzur Dağları ile Karasu Irmağı, doğuda Bingöl Dağları ve Peri Suyu, güneyde Keban Baraj Gölü ile çevrilidir. Belirgin doğal sınırlarla kuşatılmış olan il toprakları, doğuda Bingöl ve Elazığ, güneyde Elazığ, batı ve kuzeyde Erzincan illeriyle komşudur.

Tunceli ili için hesaplamalarda iki farklı fotovoltaik sistemler ile alakalı bilgiler dikkate alınmıştır. İlk olarak sabit açılı fotovoltaik sistem ele alınmıştır. Daha sonra ise 2 eksenli fotovoltaik sistem incelenmiştir. İlk olarak incelenen sabit açılı fotovoltaik sistem için 39°6'28" Kuzey, 39°32'24" Doğu, 909 m. denizden yüksekliğe sahip, açısı 30° derece, azimut açısı ise(Güney) 0° derece kabul edilen bir merkez için m<sup>2</sup>-modül alanına düşen Global Radyasyon; 1770[kWh/m<sup>2</sup>-Yıl] olarak hesaplanmıştır. Aynı hesaplama iki eksenli 39°2'30" Kuzey, 39°30'7" Doğu, yükseklik sahip 961 m. denizden yüksekliğe sahip güneşe doğru Doğu-Batı-Azimut ayarlı açısı 30° derece, azimut açısı ise 0° derece kabul edilen bir merkez için m<sup>2</sup>-modül alanına düşen yıllık Global Radyasyon; 1810 [kWh/m<sup>2</sup>-Yıl] olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için kullanılan çerçeveli panel ölçüsü 1.650m\*0.992m, dolayısıyla alan olarak 1.64 m<sup>2</sup> dir. Bu alana karşılık üretilen enerji 240 W, diğer bir ifade ile, 0.24 kW tır. Bahse konu merkezlerde 1 kW lık enerji elde etmek için yaklaşık 6.84 m<sup>2</sup> alana sahip panel kullanmamız gerekir. Bu çalışmada kullanılan veriler Tunceli Üniversitesi'nin ortak olduğu ve yürütücülüğünün Tunceli İl Özel İdaresi tarafından yapılan "Tunceli İli Solar Enerji Fizibilitesi" projesinden alınmıştır. 1 kWp PV-Sistemin Fiyatı (Montaj, Modül, İnverter) dâhil kaliteye göre: 1.650,00 - 2.000,00 €/kWp. Türkiyede Fotovoltaik den Lisanslı ve Lisansız Elektrik Üretimi. 500 kWp Altı Lisansız Üretim

Elektrik Fiyatları (Ticarethane): 0,315 TL/kWh + %0,55 Zam = 0,317 TL/kWh

Elektrik Fiyatları (Konut) : 0,27 TL/kWh + %9,57 Zam = 0,296 TL/kWh



Tablo 4.1 PV sistemin maliyet hesabı.

PV Sistem Güç [kWp]	PV Tipi Alan [m2]	PV Sistem Fiyat [€/kWp]	PV sistem Sabit. Açısı=30°, Azimut=0° Yaklaşık Yıllık Enerji [kWh- Yıl]	Yaklaşık Yıllık Gelir [TL/kWh]	2-Eksenli PV Sistem Açısı=30°, Azimut=0° Doğu-Batı; Azimut Eksen [kWh- Yıl]
1	8	2 354,78 €	1 310	415,27	1 630
2,5 *	20	5 886,92 €	3 290	1.042,93	4 070
5	40	8 250,00 €	6 570	2.082,69	8 140
10	80	16 500,00 €	13 100	4 152,70	16 300
100	800	165 000,00 €	131 000	41 527,00	163 000
125	1 000	206 250,00 €	164 000	51 988,00	204 000
500	4 000	825 000,00 €	657 000	208 269,00	814 000
1 250	10 000	2 062 500,00 €	1 640 000	519 880,00	2 040 000

Yukarıda ki tabloda sabit PV sistemi ile 2 eksenli PV Sistemlerinin ekonomik analizlerinin yanında elde edilen enerji miktarı da gösterilmiştir. Sağlanan enerji bakımından 2 eksenli PV Sistemlerinin sabit PV sistemden enerji bakımından üstün olduğu elde edilmiştir.

#### Munzur Barajlarına Alternatif Yenilenebilir Güneş Enerji

Munzur Barajları: 358,450 MW, Türkiye Barajları: 37 079 MW

Munzur Barajlarından planlanan Enerji:  $(358,450 / 37079) = 0,00967 = \% 0,967, < \% 1$

Munzur Barajlarına Alternatif Yenilenebilir Güneş Enerji: 358450 kWp.

Tunceli İlinin FV-Alanı: 4 km<sup>2</sup>

Fotovoltaik için İhtiyaç duyulan Alan 286,76 Hektar. (1 Hektar = 100m x 100m = 10.000 m<sup>2</sup>)

TUNCELİ: 39°2'30" Kuzey, 39°30'7" Doğu, Yükseklik: 961 m.

PV [kWp] = 358 450 kWp, 286,76 Ha Alan, (1 € = 2,3651 TL), (1 \$ = 1,7952 TL)

PV sistem Sabit: Aç=30°, Azimut=0° [kWh]

483 000 000 kWh-Yıl

Elektrik Fıatı=0,317 TL/kWh

Yıllık Gelir = 153 111 000,-- TL

Yıllık Gelir = 64 737 643,20 €

PV Tesisin Fıatı: 591 442 500,-- €

Yaklaşık Amortisation-Yıl: 9 Sene

**2-Eksenli PV sistem [kWh]**

622 000 000 kWh-Yıl

Elektrik Fıatı=0,317 TL/kWh

Yıllık Gelir = 197 174 000,-- TL

Yıllık Gelir = 83 368 145,10 €

PV Tesisin Fıatı: 591 442 500,-- €

Yaklaşık Amortisation-Yıl: 7 Sene

Güneşten yer küresinin metre karesine (m<sup>2</sup>) düşen ortalama global yıllık radyasyon değeri ise 1000 W/m<sup>2</sup>. Güneş ve Dünya arasında ki mesafe ise 150.000.000 km. 450 km x 450 km = 202500 (km<sup>2</sup>) Güneş Paneli alanı üzerinde üretilebilecek güneş elektrik enerjisi tüm dünyanın elektrik enerjisini karşılamaktadır.

#### 4.1.Tunceli Aylık Ortalama Global Güneş Radyasyon Değerleri

Tunceli: 39°6'28" Kuzey, 39°32'24" Doğu, 909 m Denizden Yükseklik, Tunceli Aylık ortalama Global Radyasyon Değerleri (Wh/m<sup>2</sup>-Gün),Optimum Açısı: 30° (Derece).

Tablo 4.2 de matematiksel konumu verilmiş olan Tunceli İlimizin bir yıl boyunca global radyasyon değerleri elde edilmiş olup Mayıs ve Ağustos ayları arasında en yüksek değerler elde edilmiştir.

Tablo 4.2. Tunceli İçin Yıllık Radyasyon Değerleri

AY	H <sub>h</sub>	H <sub>opt</sub>	H(30)	I <sub>opt</sub>	T <sub>L</sub>	D/G	T <sub>D</sub>	T <sub>24h</sub>	N <sub>DD</sub>
Ocak	1870	2560	2560	55	2.2	0.63	0.9	-0.0	566
Şubat	2640	3420	3420	49	3.0	0.57	2.2	1.3	453
Mart	4250	5010	5010	39	1.9	0.53	7.1	5.8	318
Nisan	5010	5320	5320	25	4.2	0.50	13.0	11.4	139
Mayıs	6250	6140	6140	12	3.5	0.48	18.7	16.4	16
Haziran	6840	6490	6490	7	4.3	0.43	24.1	21.4	0
Temmuz	6660	6450	6450	10	4.6	0.43	28.4	25.5	0
Ağustos	5900	6130	6130	21	4.9	0.44	28.4	25.6	0
Eylül	5160	6010	6010	36	3.1	0.42	22.9	20.1	26
Ekim	3750	4870	4870	48	2.2	0.49	16.3	14.3	194
Kasım	2350	3270	3270	55	1.9	0.58	8.8	7.3	385
Aralık	1760	2500	2500	58	1.9	0.63	3.0	2.0	512
YIL	4380	4850	4850	30	3.1	0.48	14.5	12.6	2609

**H<sub>h</sub>**: Yatay-Horizontal seviyesine düşen Radyasyon Değerler (Wh/m<sup>2</sup>/Gün)

**H<sub>opt</sub>**: Optimum Azimut meğil üzerinden Radyasyon Değerler (Wh/m<sup>2</sup>/ Gün)

**H(90)**: Açısı 90 derece de alana düşen Radyasyon Değerler (Wh/m<sup>2</sup>/ Gün)

**Iopt:** Optimum eğim Açısı: 30° (Derece)

**T L:** Linke-Trübheit/ Gökyüzü yoğunluğu (-)

**D/G:** Orantılı olarak muğlak ve global Radyasyon (-)

**TD:** Ortalama gündüz sıcaklığı (°C)

**T24h:** 24-Saat Ortalama gündüz sıcaklığı (°C)

**NDD:** Sayısal olarak ısıtmaya ihtiyaç duyulan (-)

#### 4.2. Tunceli Photovoltaik Tipi-Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 de Sabit PV sistem ve 2 eksenli PV sisteminin, yıllık üretebilecekleri elektrik enerjisinin ve radyasyon değerlerinin karşılaştırılması ile sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde 2 eksenli PV sistemin, sabit PV sistemden yıllık radyasyon değerinin daha yüksek olduğu sonucu bulunmuştur.

Tablo 4.3. Pv Sistem Sabit

39°6'28" Kuzey, 39°32'24" Doğu, 909 m PVGIS © Europäische Union, 2001-2010				
Photovoltaik-System, Açısı = 30° (Derece), Azimut = 0° (Güney)				
Ay	E <sub>d</sub> kWh	E <sub>m</sub> kWh	H <sub>d</sub> kWh/m <sup>2</sup>	H <sub>m</sub> kWh/m <sup>2</sup>
Ocak	1.98	61.3	2.47	76.6
Şubat	2.70	75.6	3.35	93.9
Mart	3.65	113	4.77	148
Nisan	3.97	119	5.22	157
Mayıs	4.35	135	5.95	184
Haziran	4.58	137	6.38	191
Temmuz	4.48	139	6.37	197
Ağustos	4.30	133	6.09	189
Eylül	4.26	128	5.92	178
Ekim	3.51	109	4.74	147
Kasım	2.41	72.4	3.15	94.4
Aralık	1.89	58.5	2.39	74.2
Yıllık ortalama Radyasyon Değerleri	3.51	107	4.74	144
Toplam yıllık Radyasyon Değerleri	1280		1730	

Tablo 4.4. 2-Eksenli PV sistem

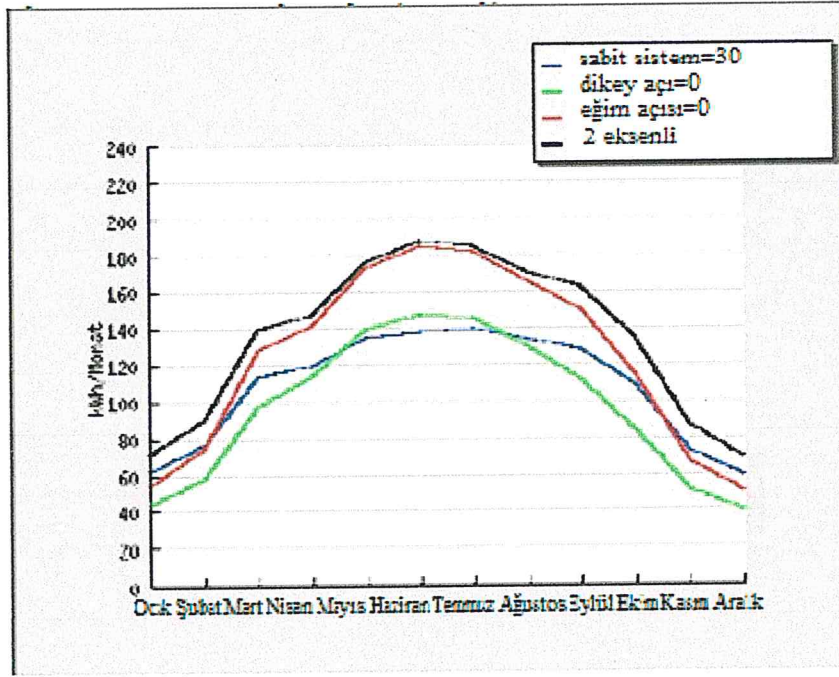
2-EKSENLİ FOTOVOLTAİK-SİSTEM (Güneşe doğru Doğu-Bati ve Azimut ayarlı)				
Ay	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Ocak	2.28	70.6	2.92	90.4
Şubat	3.18	89.1	4.02	113
Mart	4.48	139	5.95	184
Nisan	4.91	147	6.49	195
Mayıs	5.68	176	7.80	242
Haziran	6.24	187	8.69	261
Temmuz	5.93	184	8.45	262
Ağustos	5.50	170	7.79	241
Eylül	5.39	162	7.55	227
Ekim	4.33	134	5.94	184
Kasım	2.87	86.0	3.83	115
Aralık	2.21	68.6	2.88	89.3
Yıllık ortalama Radyasyon Değerleri	4.42	134	6.04	184
Toplam yıllık Radyasyon Değerleri	1610		2200	

**$E_d$ :** ortalama olarak üretilebilecek günlük Güneş Enerjisi (kWh)

**$E_m$ :** ortalama olarak üretilebilecek aylık Güneş Enerjisi (kWh)

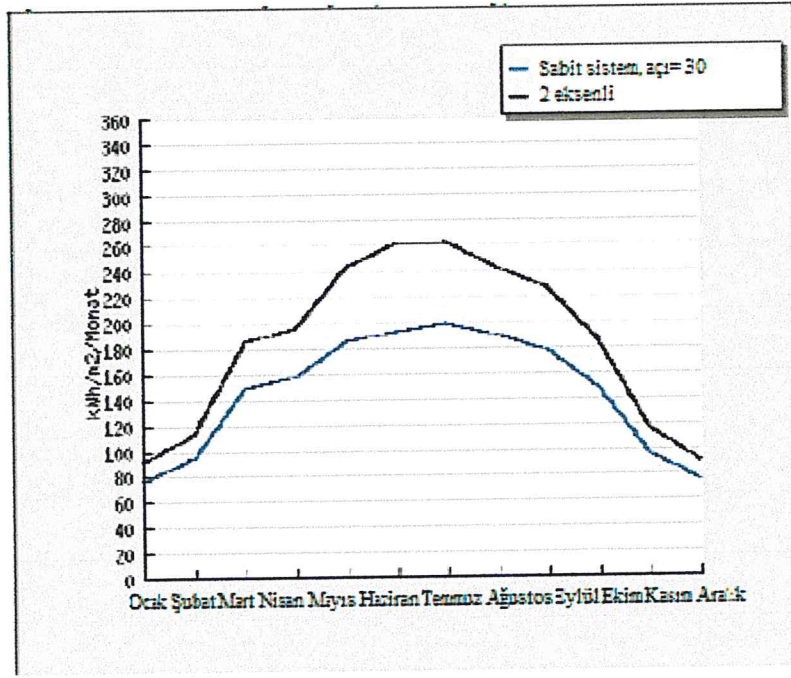
**$H_d$ :** toplam ortalama olarak  $m^2$  üzerine düşen günlük Global Güneş Radyasyon değerleri ( $kWh/m^2$ )

**$H_m$ :** toplam ortalama olarak  $m^2$  üzeri Fotovoltaik Güneş Panelinde üretilebilecek Global Güneş Radyasyon değerleri ( $kWh/m^2$ )



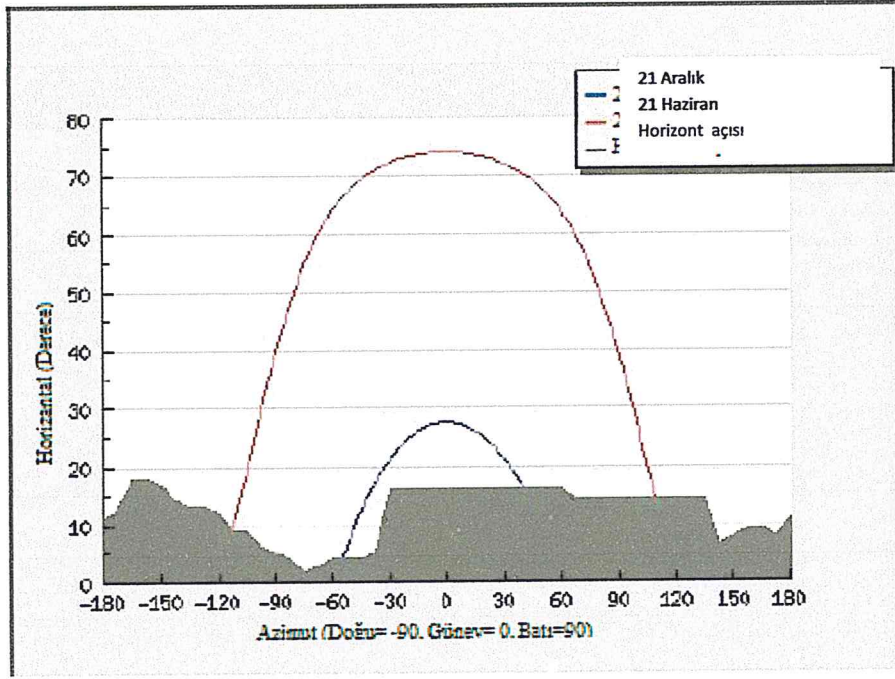
Şekil 4.1. Aylık Üretililecek Güneş Enerjisi (kWh-Ay).

Sabit sistemde eğim açısının  $30^0$  olduğu andaki grafik mavi ile, dikey eksenle eğim açısının sıfır derece olduğu anda ki grafik yeşil ile eğimli bir eksenle eğim açısının sıfır olduğu grafik kırmızı ile iki eksenli fotovoltaik sistem ise siyah ile gösterilmiştir. Dört unsur ile yapılan ölçümlerde en düşük elektrik üreten sistemin dikey olduğu en yüksek çıkan değer ise iki eksenli fotovoltaik sistem çıktığı tespit edilmiştir. Bu dört sistem için en yüksek değerler Mayıs ve Ağustos aylarında tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Aylık Üretililecek Güneş Enerjisi (kWh/m<sup>2</sup>-Ay)

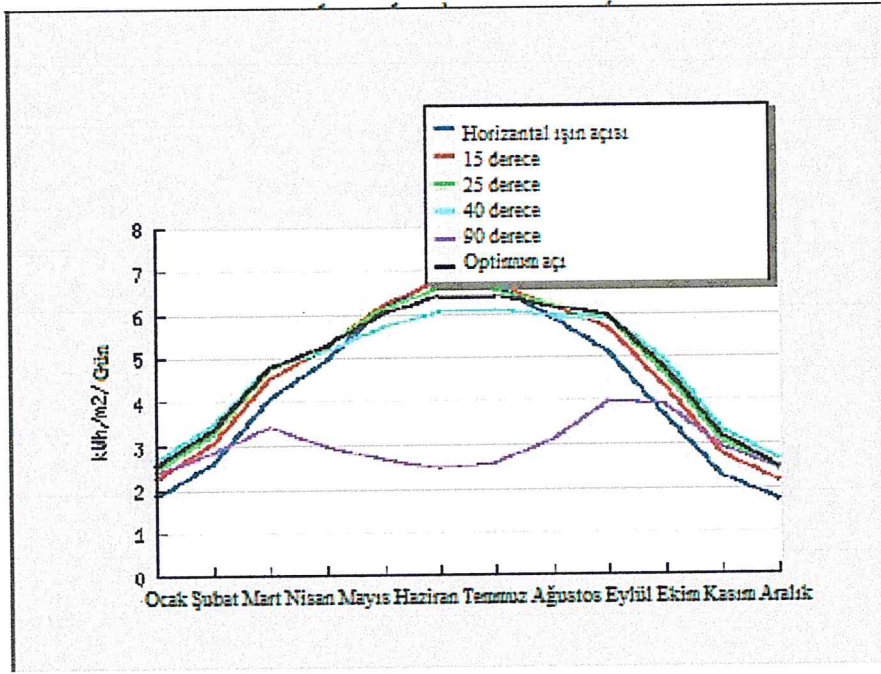
Mavi ile gösterilen sabit fotovoltaik sistem olup siyah ile gösterilen 2 eksenli fotovoltaik sistemi temsil etmektedir. Mayıs ve Ağustos aylarında en yüksek elektrik enerjisi elde edildiği ortaya çıkmıştır. Karşılaştırma sadece sabit fotovoltaik sistem ile 2 eksenli fotovoltaik sistem arasında yapılmıştır.



Şekil 4.3. Horizont ve Azimut (Doğu =  $-90^{\circ}$ , Güney =  $0$  Derece, Batı =  $+90^{\circ}$ )

Horizont ve azimut açılarının haziran ve aralık ayı içerisinde ki değişimlerine paralel olarak güneşin yüksekliğini gösteren grafiğe göre en uzun gündüzün olduğu 21 Haziran günü ile en kısa gün olan 21 Aralık gününe ait grafikte ufuk yüksekliğinin 70 ile 80 derece arasında olduğu görülmüştür. 21 Aralık günü ise  $20^{\circ}$  ile  $30^{\circ}$  arasında olduğu görülmektedir.





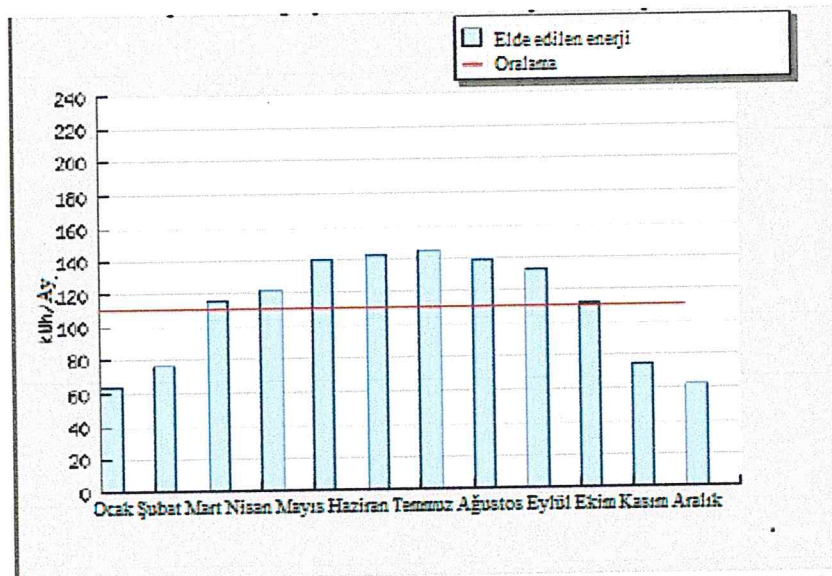
Şekil 4.4. Günlük üretilebilecek Güneş Enerjisi (kWh/m<sup>2</sup>-Gün)

15<sup>0</sup>, 25<sup>0</sup>, 40<sup>0</sup>, 90<sup>0</sup> ile gelen ışıklardan yatayda gelen elde edilebilecek elektrik enerjisinin günlük grafiği yapılmış olup siyah renkle gösterilen eğimin optimum açı elde edilmiştir.



Şekil 4.5. Ortalama Aylık Üretililecek Elektrik Enerjisi (kWh-Ay)

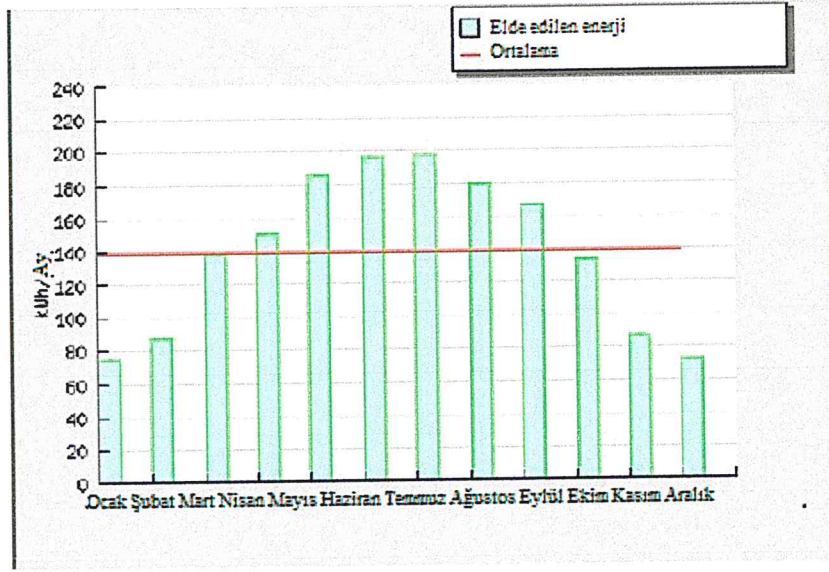
Tunceli'nin matematik konumu gereği 35 derecelik eğim açısıyla konulan fotovoltaik sistemden elde edilen aylık ortalama elektrik enerjisi miktarı mayıs ve ağustos aylarında en fazla olduğu görülmektedir. Aylık 140 kwh/ay elektrik enerjisine kadar ulaşmaktadır. Kayıplar %14 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.6. Toplam Aylık ortalama Üretililecek Elektrik Enerjisi (kWh-Ay)

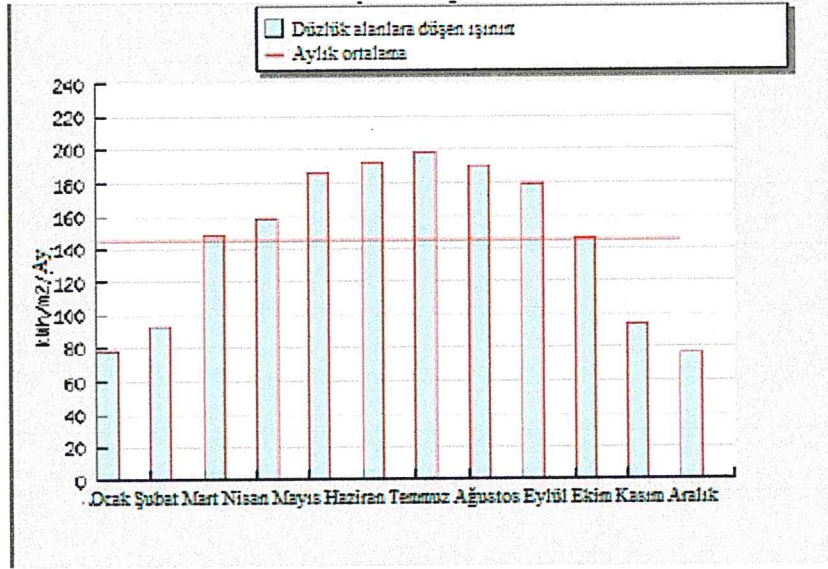
Tunceli'nin matematik konumu gereği 30° eğim açısıyla konulan fotovoltaik sistemden elde edilen aylık ortalama elektrik enerjisi miktarı mayıs ve ağustos aylarında en fazla

olduğu görülmektedir. Aylık 140 kwh'ın üzerine çıkmaktadır. Kayıplar %14 olarak hesaplanmıştır.



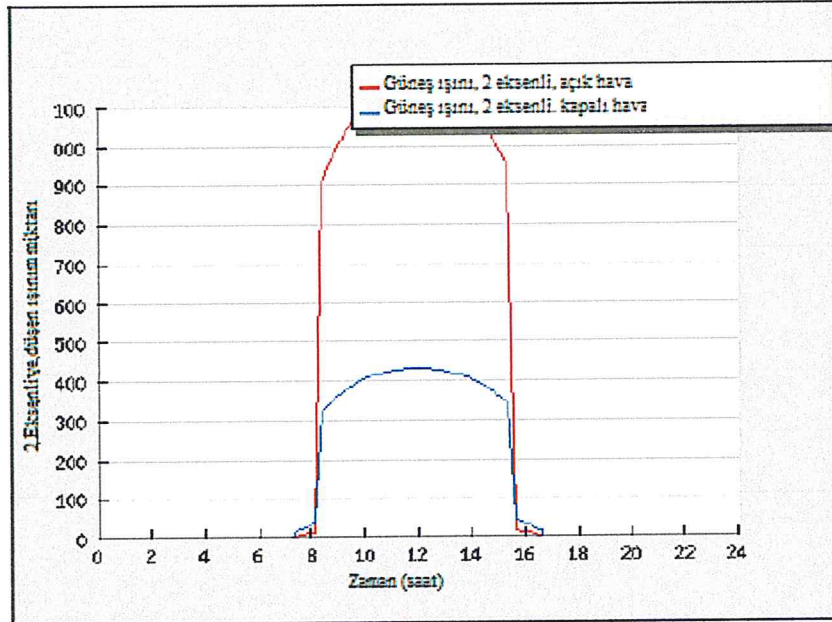
şekil 4.7. Ortalama Aylık retilebilecek Elektrik Enerjisi (kWh-Ay)

Tunceli'nin matematik konumu gereği 2 eksenli fotovoltaik sistemde elde edilen aylık ortalama elektrik enerjisi miktarı Mart ve Ekim aylarında en fazla olduğu görülmektedir. Kayıplar %14 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.8. Ortalama aylık Global Güneş Radyasyon Değerleri (kWh/m<sup>2</sup>-Ay)

Tunceli ili için düzlük alanlarda elde edilen verilerde aylık 200 kwh e kadar çıktığı görülmektedir.



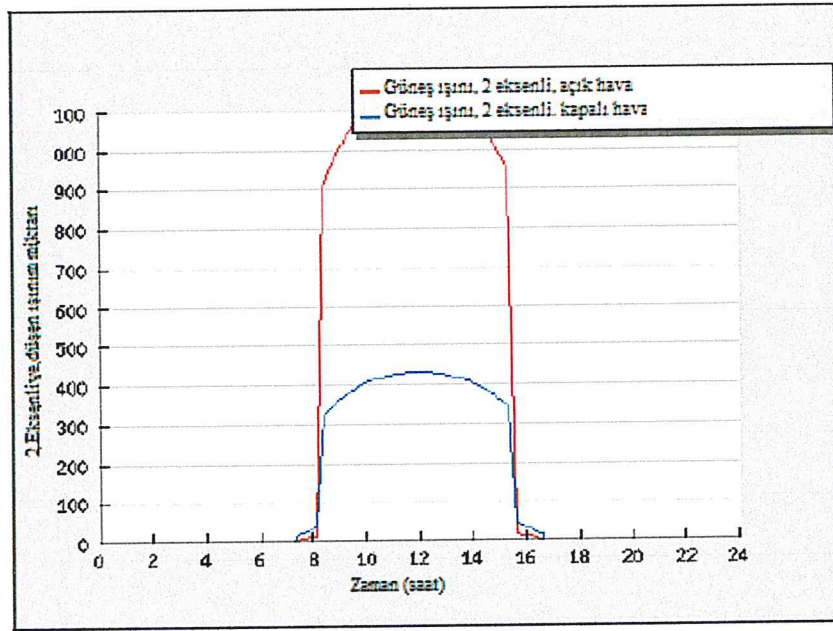
Şekil 4.9. Horizont (Grad=Derece), Güneşin konumu (Mavi Renk: 21.Aralık, Kırmızı Renk: 21.Haziran )

21 Haziran ve 21 Aralık tarihleri arasında azimut açısının doğu 90, güney sıfır, batı 90 derece olarak yapılan hesaplamalarda horizont açısının 70 ile 80 derece arasına kadar geldiği, aralık ayı içerisinde ise 20 ile 30 derece arasında değiştiği görülmektedir.

#### 4.3. Grafik Güneş Radyasyon Değerleri (Aralık - Ocak)

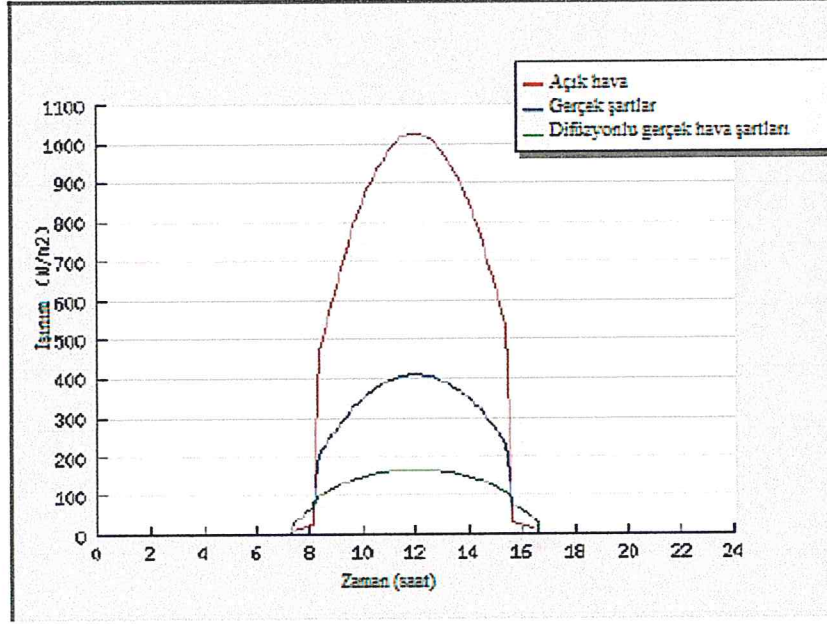
39°6'59" Kuzey, 39°31'59" Doğu, 904 m

Ocak – Güneş Radyasyonu



Şekil 4.10. İki eksenli Doğu-Batı ve Azimut, Açık gökyüzü

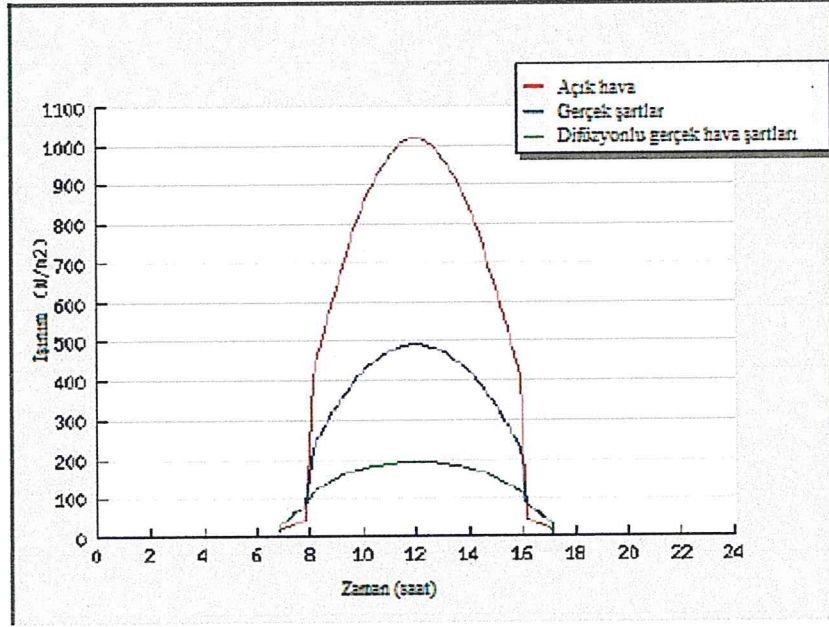
2 eksenli fotovoltaik sistemin ocak ayı için açık gökyüzü tahmini ile gerçekte var olan gökyüzünün karşılaştırılması yapılmış ve açık gökyüzünde metrekareye 1100 W enerji gelmesi gerektiği ancak gerçekte var olan hava koşulları nedeniyle 400 ile 500 W arasında olduğu bulunmuştur. En yüksek değerler saat 10 ile 14 arasında gerçekleşmektedir.



Şekil 4.11. Global Radyasyon Değerleri (W/h), Açık gökyüzü

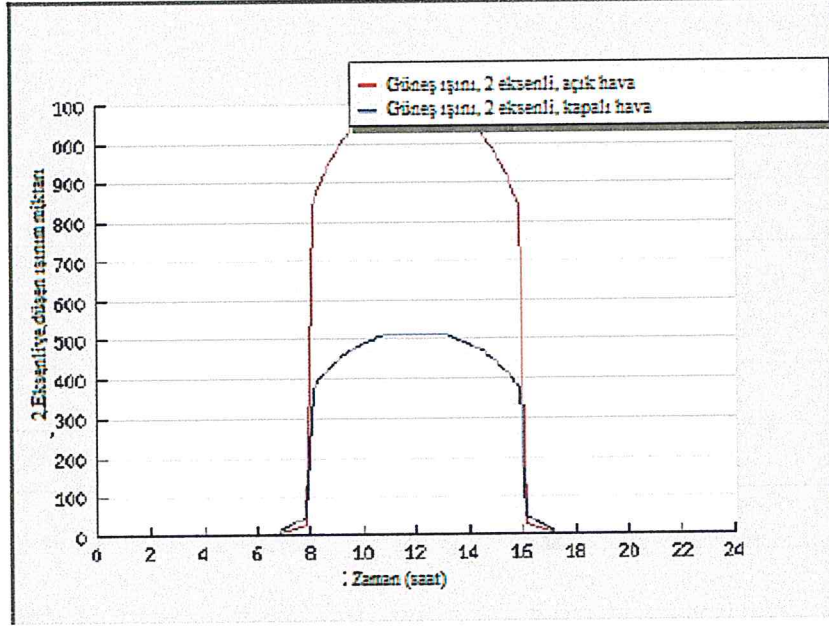
35<sup>0</sup> eğim ile Ocak ayı içerisinde yapılan ölçümlerde açık gökyüzü, kapalı gökyüzü ve difüzyonlu gerçek hava şartları göz önüne alınarak elde edilen bulgular 10 ile 14 saatleri arasında en yüksek değerleri elde ettiği, açık gökyüzü koşullarının difüzyonlu gerçek hava şartlarından ve gerçek atmosferik hava şartlarından üstün çıktığı görülmektedir.

## Şubat Güneş Radyasyonu



Şekil 4.12. Açı = 30°, Azimut= 0°, Açık gökyüzü

30° eğim ile Şubat ayı içerisinde yapılan ölçümlerde açık gökyüzü, kapalı gökyüzü ve difüzyonlu gerçek hava şartları göz önüne alınarak elde edilen bulgular 10 ile 14 saatleri arasında en yüksek değerleri elde ettiği, açık gökyüzü koşullarının difüzyonlu gerçek hava şartlarından ve gerçek atmosferik hava şartlarından üstün çıktığı görülmektedir.

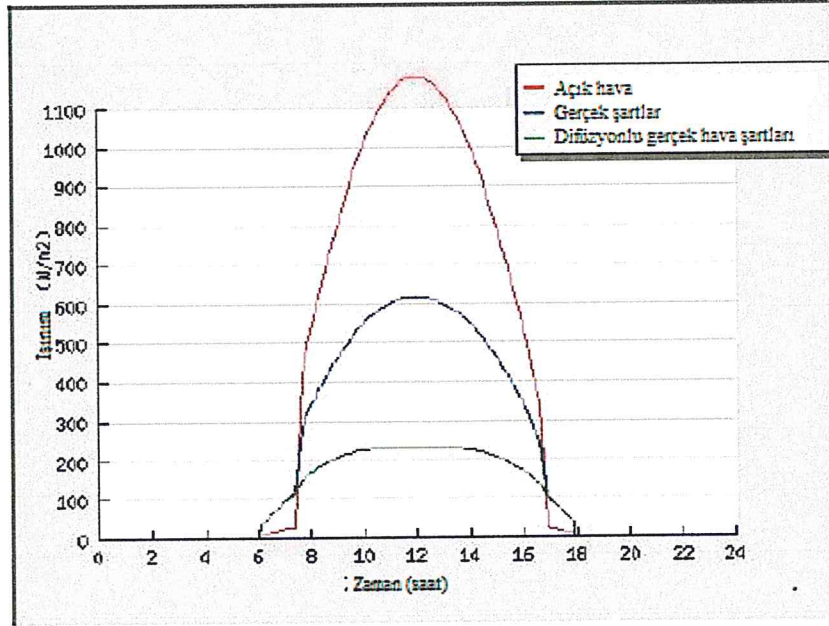


Şekil 4.12. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü

Şubat ayı içinde 2 eksenli fotovoltaik sistemin, açık gökyüzü koşullarında ve gerçek atmosferik gök yüzü koşullarında ki değerleri saat 10 ile 14 arasında en iyi sonuçları vermiştir. Gerçek atmosferik koşullarda 500 W'ın üzerine çıkarken, açık gökyüzü koşullarında 1100 W'ın üzerine çıktığı tespit edilmiştir.

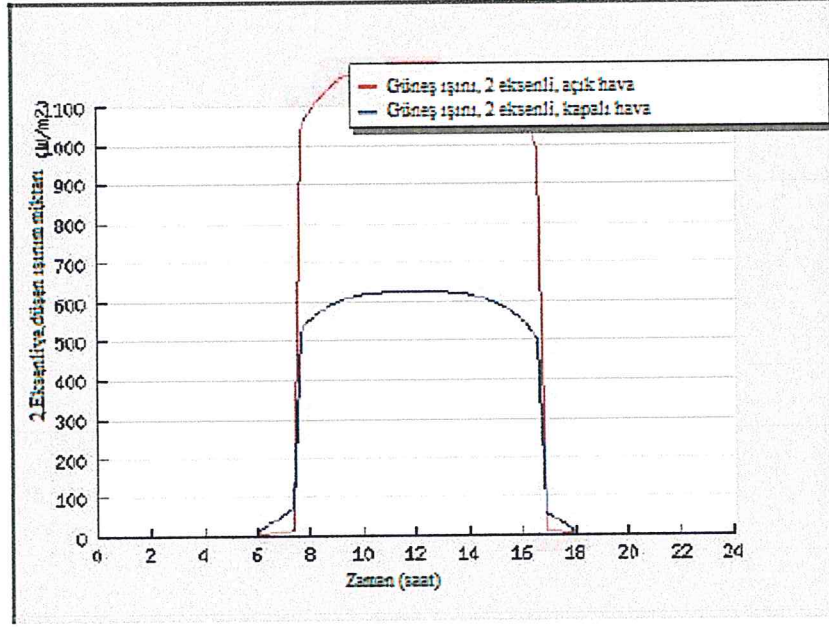


## Mart – Güneş Radyasyonu



Şekil 4.13. Açı = 30°, Azimut = 0°, Açık gökyüzü

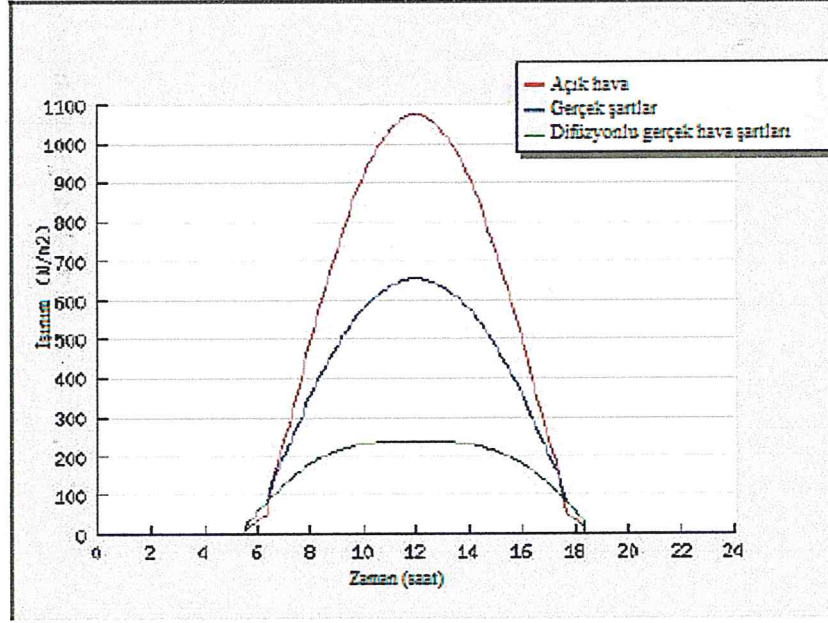
30° eğim ile Mart ayı içerisinde yapılan ölçümlerde açık gökyüzü, kapalı gökyüzü ve difüzyonlu gerçek hava şartları göz önüne alınarak elde edilen bulgular 10 ile 14 saatleri arasında en yüksek değerleri elde ettiği, açık gökyüzü koşullarının difüzyonlu gerçek hava şartlarından ve gerçek atmosferik hava şartlarından üstün çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.14. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü

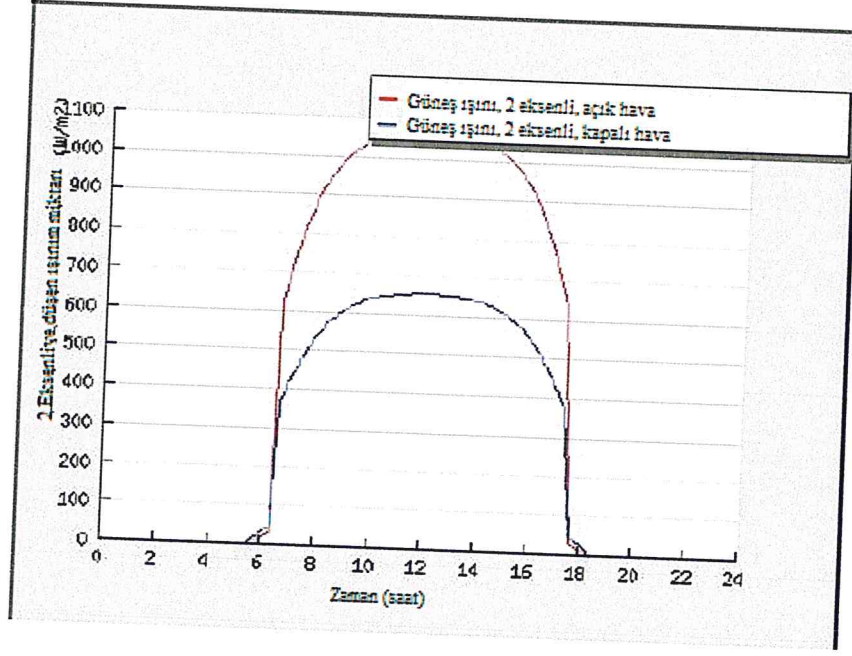
Şubat ayı içinde 2 eksenli fotovoltaik sistemin, açık gökyüzü koşullarında ve gerçek atmosferik gök yüzü koşullarında ki değerleri saat 10 ile 14 arasında en iyi sonuçları vermiştir. Gerçek atmosferik koşullarda 600 W'ın üzerine çıkarken, açık gökyüzü koşullarında 1100 W'ın üzerine çıktığı tespit edilmiştir.

## Nisan - Güneş Radyasyonu



Şekil 4.15. Açıt = 30°, Azimut= 0°, Açık gökyüzü

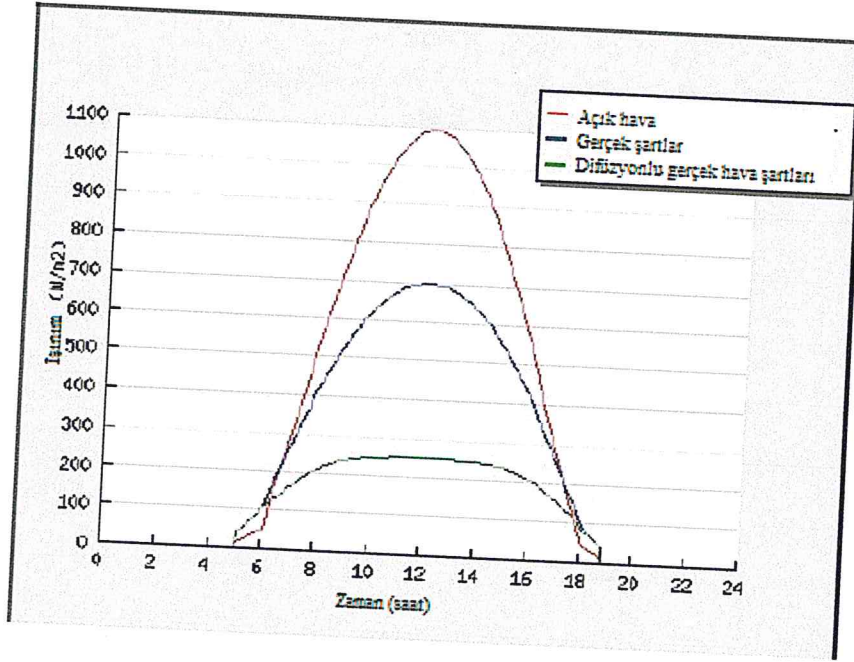
30° eğim ile Nisan ayı içerisinde yapılan ölçümlerde açık gökyüzü, kapalı gökyüzü ve difüzyonlu gerçek hava şartları göz önüne alınarak elde edilen bulgular 10 ile 14 saatleri arasında metrekareye düşen ışın miktarının en yüksek değerleri elde ettiği, açık gökyüzü koşullarının difüzyonlu gerçek hava şartlarından ve gerçek atmosferik hava şartlarından üstün çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.16. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü

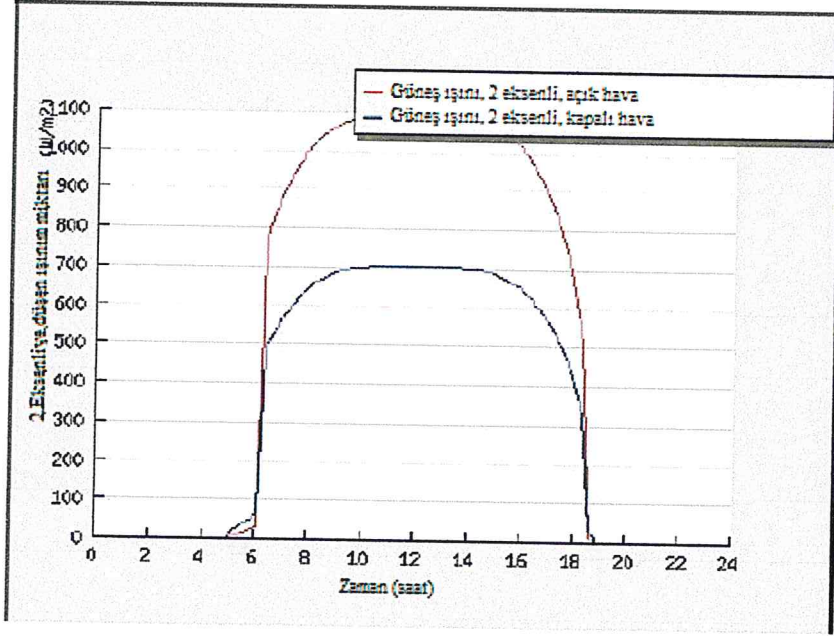
Nisan ayı içinde 2 eksenli fotovoltaik sistemin, açık gökyüzü koşullarında ve gerçek atmosferik gök yüzü koşullarında ki değerleri saat 10 ile 14 arasında en iyi sonuçları vermiştir. Gerçek atmosferik koşullarda 600 W'ın üzerine çıkarken, açık gökyüzü koşullarında 1100 W'ın üzerine çıktığı tespit edilmiştir.

## Mayıs - Güneş Radyasyonu



Şekil 4.17. Açı = 30°, Azimut= 0° Açık gökyüzü

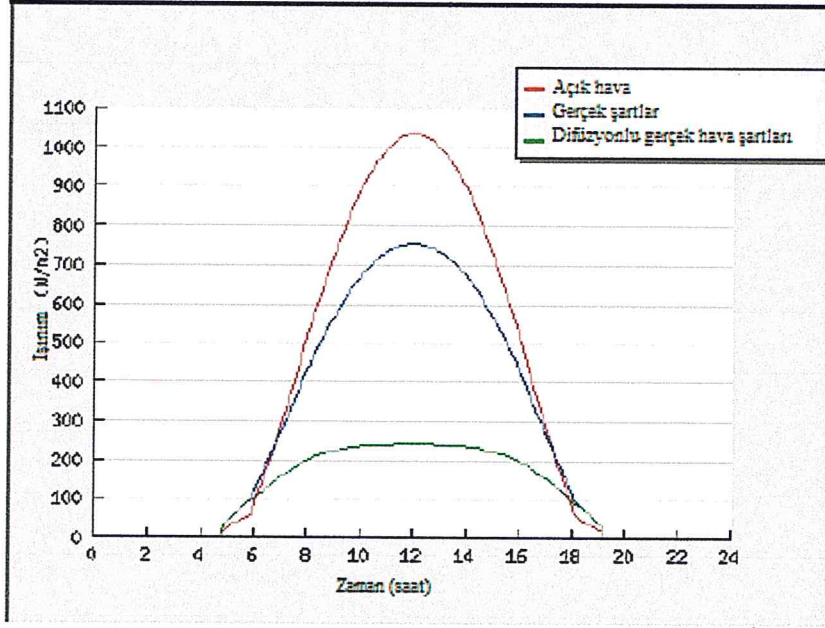
30° eğim ile Mayıs ayı içerisinde yapılan ölçümlerde açık gökyüzü, kapalı gökyüzü ve difüzyonlu gerçek hava şartları göz önüne alınarak elde edilen bulgular 10 ile 14 saatleri arasında metrekaresine düşen ışın miktarının en yüksek değerleri elde ettiği, açık gökyüzü koşullarının difüzyonlu gerçek hava şartlarından ve gerçek atmosferik hava şartlarından üstün çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.18. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü

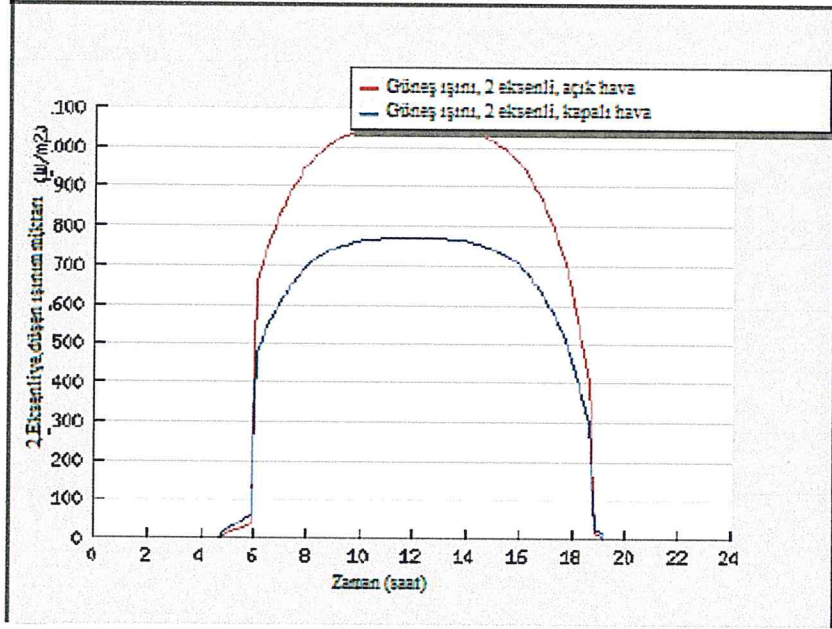
Mayıs ayı içinde 2 eksenli fotovoltaik sistemin, açık gökyüzü koşullarında ve gerçek atmosferik gökyüzü koşullarında ki değerleri saat 10 ile 14 arasında en iyi sonuçları vermiştir. Gerçek atmosferik koşullarda 700 W civarında olurken, açık gökyüzü koşullarında 1100 W'ın üzerine çıktığı tespit edilmiştir.

## Haziran - Güneş Radyasyonu



Şekil 4.19. Açı = 30°, Azimut = 0°, Açık gökyüzü

30° eğim ile Haziran ayı içerisinde yapılan ölçümlerde açık gökyüzü, kapalı gökyüzü ve difüzyonlu gerçek hava şartları göz önüne alınarak elde edilen bulgular 10 ile 14 saatleri arasında metrekareye düşen ışın miktarının en yüksek değerleri elde ettiği, açık gökyüzü koşullarının difüzyonlu gerçek hava şartlarından ve gerçek atmosferik hava şartlarından üstün çıktığı görülmüştür.

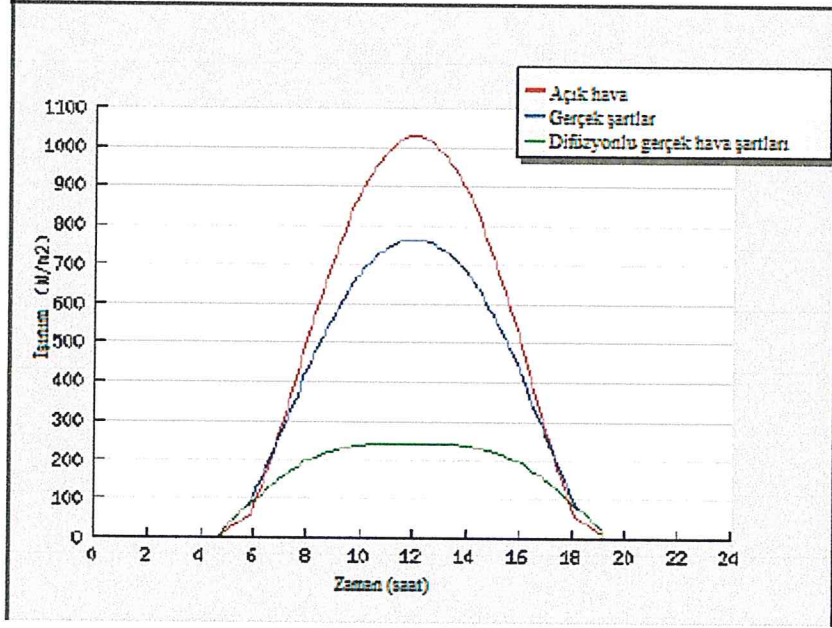


Şekil 4.20. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü

Haziran ayı içinde 2 eksenli fotovoltaik sistemin, açık gökyüzü koşullarında ve gerçek atmosferik gökyüzü koşullarında ki değerleri saat 08 ile 16 arasında en iyi sonuçları vermiştir. Gerçek atmosferik koşullarda 700 W ve 800 W civarında olurken, açık gökyüzü koşullarında 1100 W'ın üzerine çıktığı tespit edilmiştir.

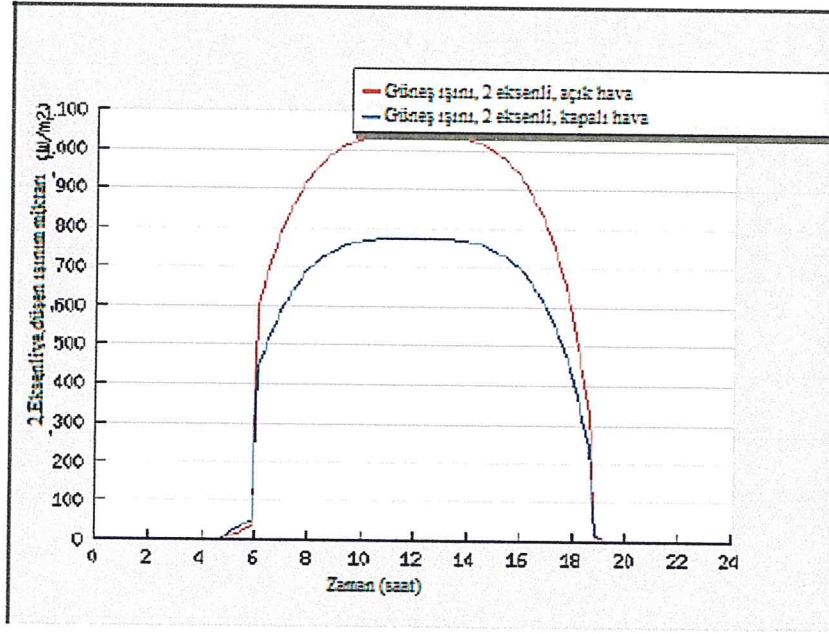


## Temmuz - Güneş Radyasyonu



Şekil 4.21. Açı = 30°, Azimut = 0°, Açık gökyüzü

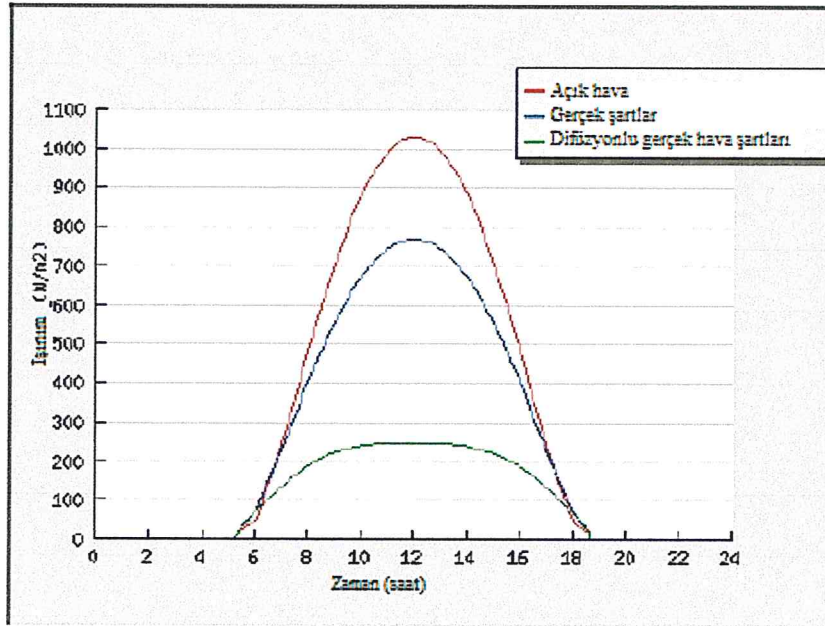
30° eğim ile Temmuz ayı içerisinde yapılan ölçümlerde açık gökyüzü, kapalı gökyüzü ve difüzyonlu gerçek hava şartları göz önüne alınarak elde edilen bulgular 10 ile 14 saatleri arasında metrekareye düşen ışın miktarının en yüksek değerleri elde ettiği, açık gökyüzü koşullarının difüzyonlu gerçek hava şartlarından ve gerçek atmosferik hava şartlarından üstün çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.22. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü

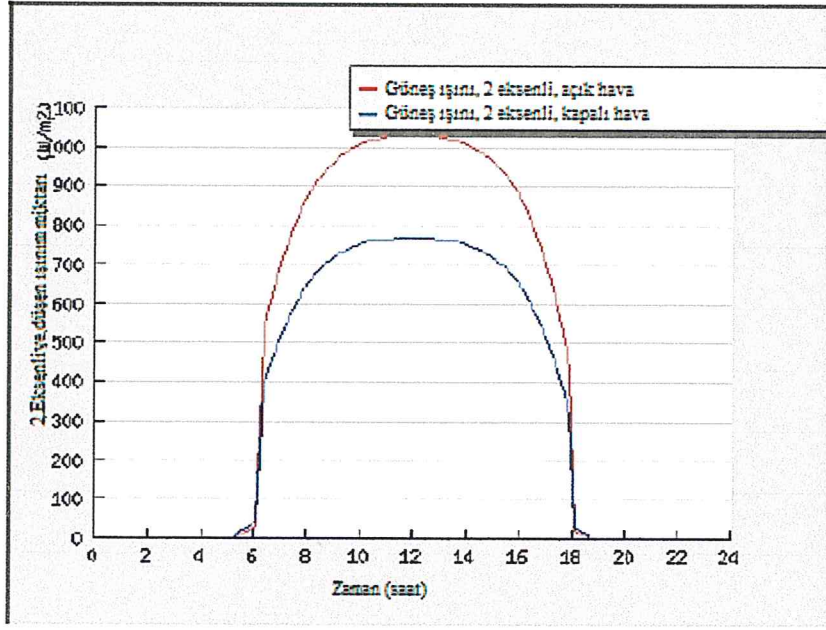
Temmuz ayı içinde 2 eksenli fotovoltaik sistemin, açık gökyüzü koşullarında ve gerçek atmosferik gökyüzü koşullarında ki değerleri saat 10 ile 14 arasında en iyi sonuçları vermiştir. Gerçek atmosferik koşullarda 700 W ve 800 W civarında olurken, açık gökyüzü koşullarında 1000 ile 1100 W'ın civarında olduğu tespit edilmiştir.

## Ağustos - Güneş Radyasyonu



Şekil 4.23. Açı = 30°, Azimut= 0°, Açık gökyüzü

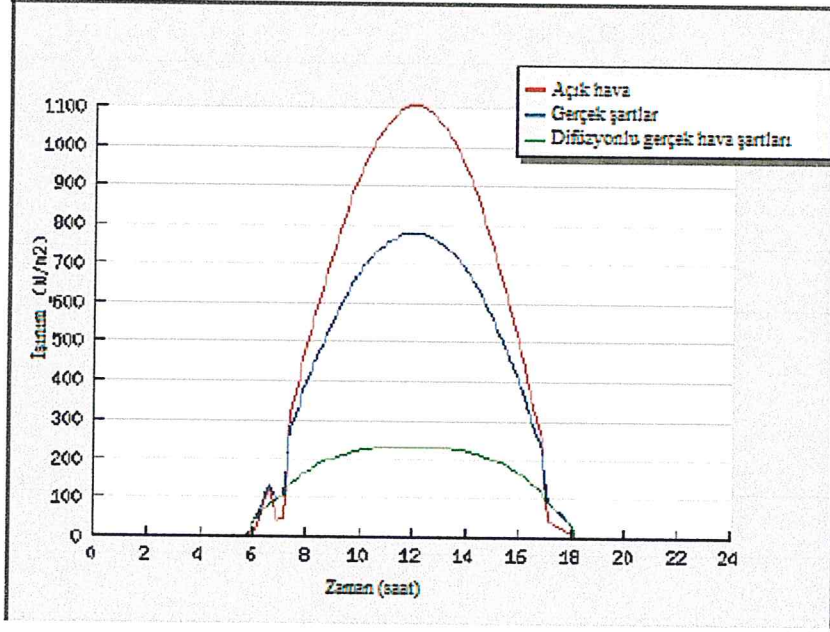
30° eğim ile Ağustos ayı içerisinde yapılan ölçümlerde açık gökyüzü, kapalı gökyüzü ve difüzyonlu gerçek hava şartları göz önüne alınarak elde edilen bulgular 10 ile 14 saatleri arasında metrekareye düşen ışın miktarının en yüksek değerleri elde ettiği, açık gökyüzü koşullarının difüzyonlu gerçek hava şartlarından ve gerçek atmosferik hava şartlarından üstün çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.24. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü

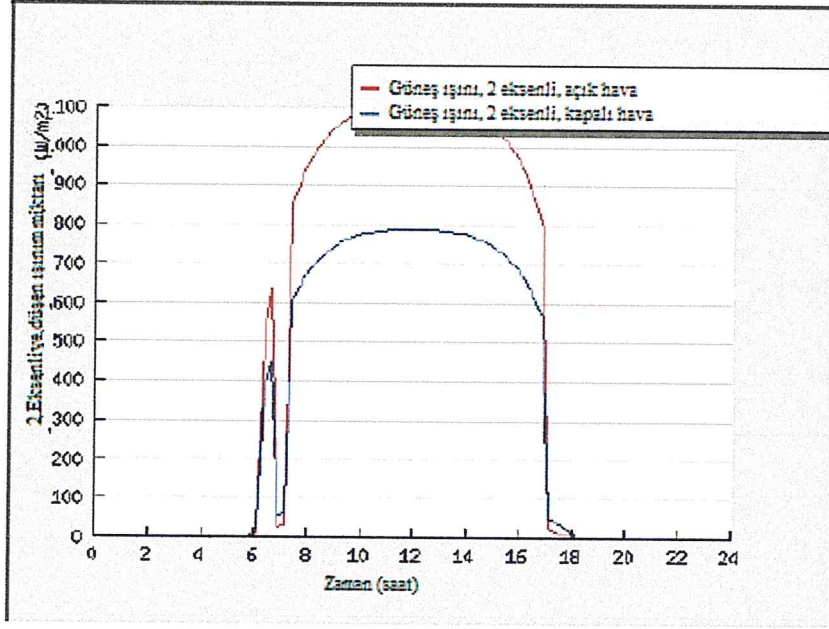
Ağustos ayı içinde 2 eksenli fotovoltaik sistemin, açık gökyüzü koşullarında ve gerçek atmosferik gökyüzü koşullarında ki değerleri saat 10 ile 14 arasında en iyi sonuçları vermiştir. Gerçek atmosferik koşullarda 700 W ve 800 W civarında olurken, açık gökyüzü koşullarında 1000 ile 1100 W'ın civarında olduğu tespit edilmiştir.

## Eylül – Güneş Radyasyonu



Şekil 4.25. Açı = 30°, Azimut= 0°, Açık gökyüzü

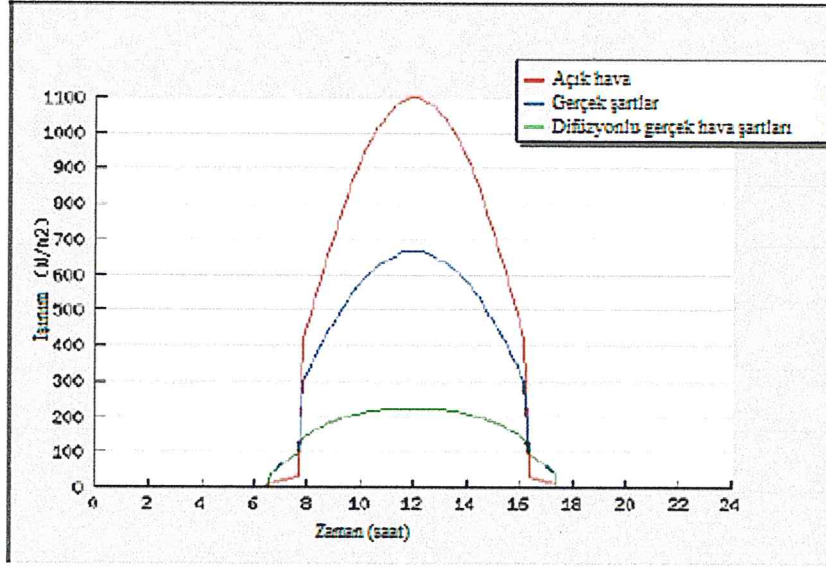
30° eğim ile Eylül ayı içerisinde yapılan ölçümlerde açık gökyüzü, kapalı gökyüzü ve difüzyonlu gerçek hava şartları göz önüne alınarak elde edilen bulgular 12 saatleri arasında metrekareye düşen ışın miktarının en yüksek değerleri elde ettiği, açık gökyüzü koşullarının difüzyonlu gerçek hava şartlarından ve gerçek atmosferik hava şartlarından üstün çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.26. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü

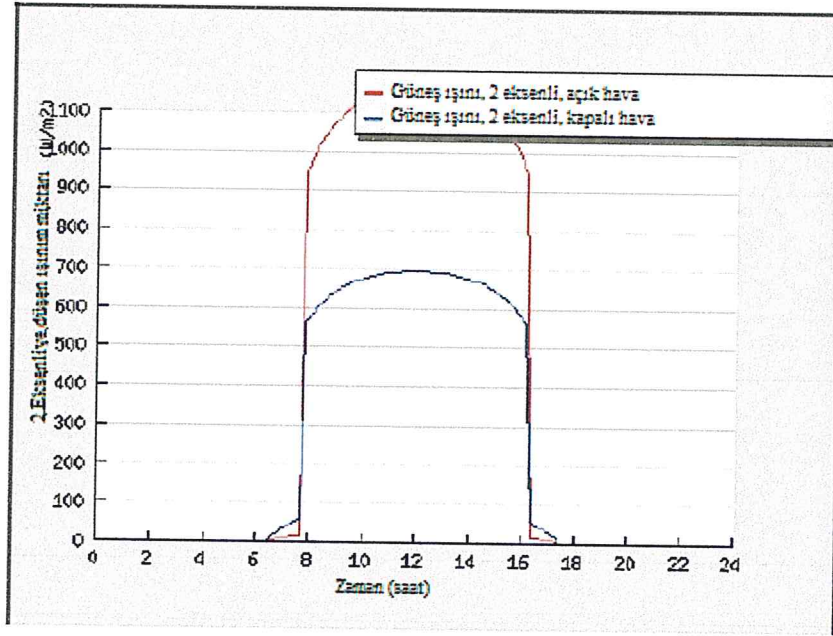
Eylül ayı içinde 2 eksenli fotovoltaik sistemin, açık gökyüzü koşullarında ve gerçek atmosferik gökyüzü koşullarında ki değerleri saat 10 ile 14 arasında en iyi sonuçları vermiştir. Gerçek atmosferik koşullarda 800 W civarında olurken, açık gökyüzü koşullarında 1000 ile 1100 W'ın civarında olduğu tespit edilmiştir.

## Ekim - Güneş Radyasyonu



Şekil 4.27. Açılı = 30°, Azimut = 0°, Açık gökyüzü

30° eğim ile Ekim ayı içerisinde yapılan ölçümlerde açık gökyüzü, kapalı gökyüzü ve difüzyonlu gerçek hava şartları göz önüne alınarak elde edilen bulgular öğlen 12 saatleri arasında metrekareye düşen ışın miktarının en yüksek değerleri elde ettiği, açık gökyüzü koşullarının difüzyonlu gerçek hava şartlarından ve gerçek atmosferik hava şartlarından üstün çıktığı görülmüştür.

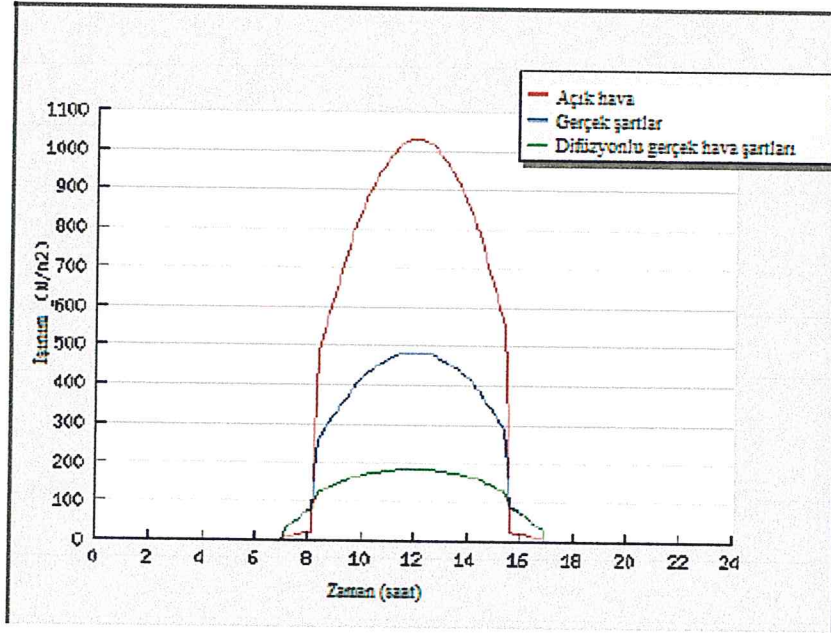


Şekil 4.28. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü

Ekim ayı içinde 2 eksenli fotovoltaik sistemin, açık gökyüzü koşullarında ve gerçek atmosferik gökyüzü koşullarında ki değerleri saat 10 ile 14 arasında en iyi sonuçları vermiştir. Gerçek atmosferik koşullarda 600 W ve 700 W civarında olurken, açık gökyüzü koşullarında 1000 ile 1100 W'ın civarında olduğu tespit edilmiştir.

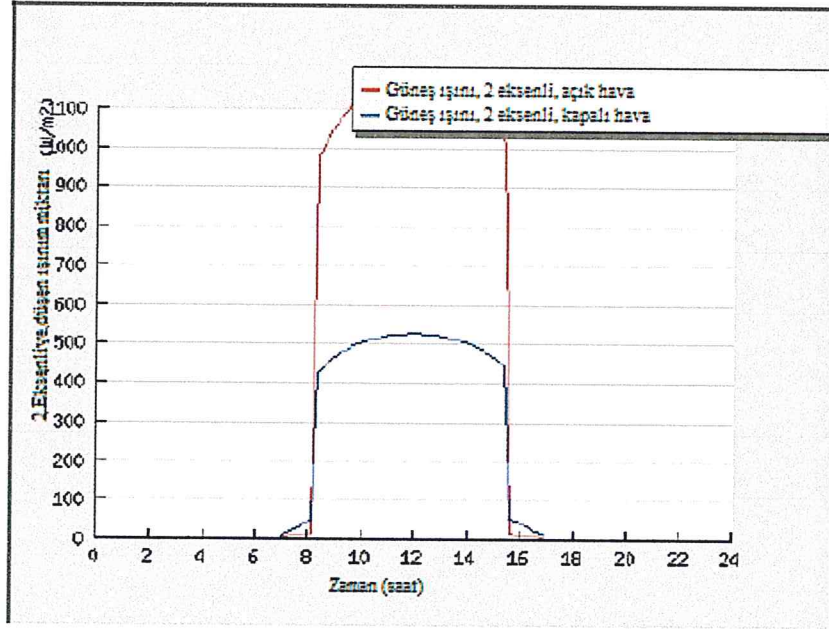


## Kasım – Güneş Radyasyonu



Şekil 4.29. Açı = 30°, Azimut= 0°, Açık gökyüzü

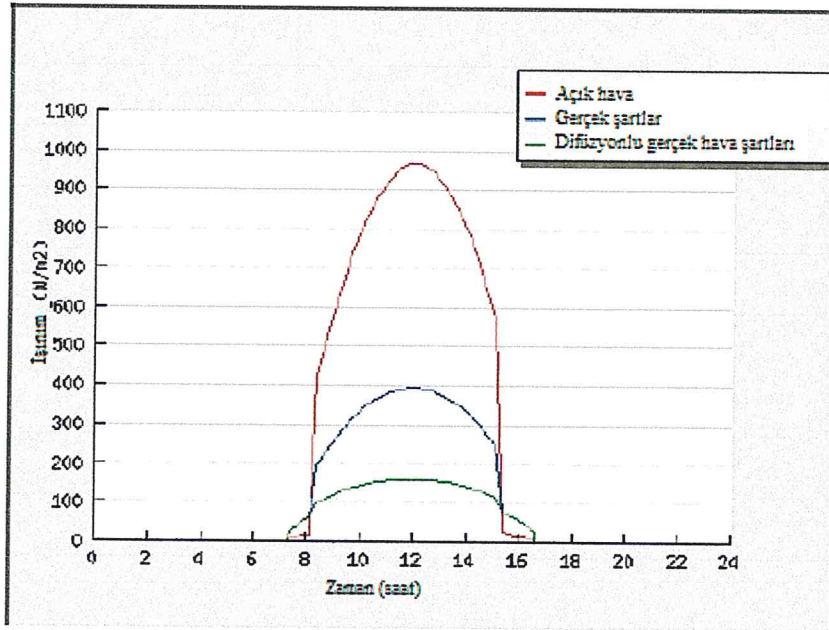
30° eğim ile Kasım ayı içerisinde yapılan ölçümlerde açık gökyüzü, kapalı gökyüzü ve difüzyonlu gerçek hava şartları göz önüne alınarak elde edilen bulgular öğlen 12 saatleri arasında metrekareye düşen ışın miktarının en yüksek değerleri elde ettiği, açık gökyüzü koşullarının difüzyonlu gerçek hava şartlarından ve gerçek atmosferik hava şartlarından üstün çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.30. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü

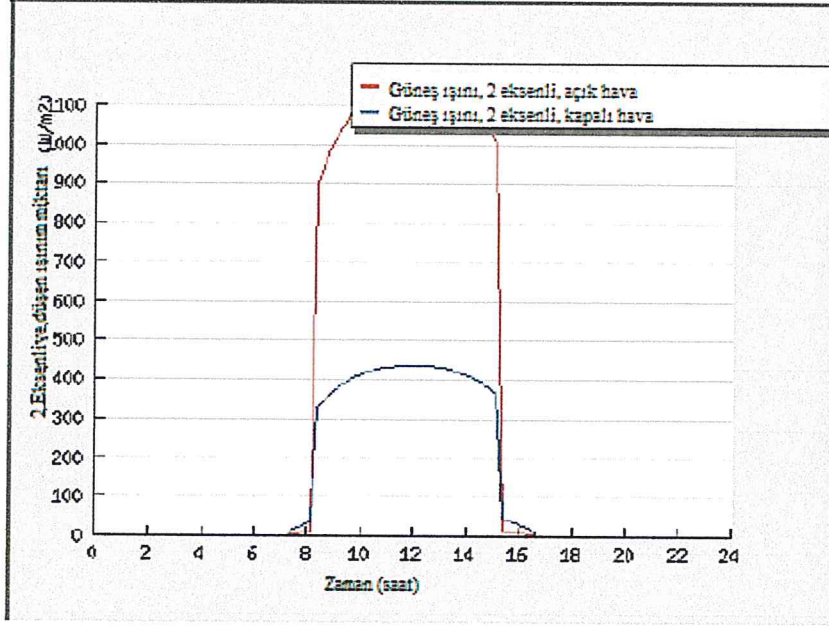
Kasım ayı içinde 2 eksenli fotovoltaik sistemin, açık gökyüzü koşullarında ve gerçek atmosferik gökyüzü koşullarında ki değerleri saat 10 ile 14 arasında en iyi sonuçları vermiştir. Gerçek atmosferik koşullarda 500 W ve 600 W civarında olurken, açık gökyüzü koşullarında 1000 ile 1100 W'ın civarında olduğu tespit edilmiştir.

## Aralık – Güneş Radyasyonu



Şekil 4.31. Açı = 30°, Azimut = 0°, Açık gökyüzü

30° eğim ile Aralık ayı içerisinde yapılan ölçümlerde açık gökyüzü, kapalı gökyüzü ve difüzyonlu gerçek hava şartları göz önüne alınarak elde edilen bulgular öğlen 12 saatleri arasında metrekareye düşen ışın miktarının en yüksek değerleri elde ettiği, açık gökyüzü koşullarının difüzyonlu gerçek hava şartlarından ve gerçek atmosferik hava şartlarından üstün çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.32. İki eksenli Doğu-Bati ve Azimut, Açık gökyüzü

Aralık ayı içinde 2 eksenli fotovoltaik sistemin, açık gökyüzü koşullarında ve gerçek atmosferik gökyüzü koşullarında ki değerleri saat 10 ile 14 arasında en iyi sonuçları vermiştir. Gerçek atmosferik koşullarda 400 W ve 500 W civarında olurken, açık gökyüzü koşullarında 1000 ile 1100 W'ın civarında olduğu tespit edilmiştir.

**4.5.Tunceli’de Fotovoltaik Kristalin Silikon Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi (Optimum Aç ı = 30°, Azimut: Güney = 0°, Do ğ u = -90°, Bati = + 90°, Kuzey = 180°)**

4.5 te Tunceli’de Fotovoltaik Kristalin Silikon Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi, ve 4.6 da ise Tunceli de Fotovoltaik „İnce Bakır Film Şerit“ -Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi hesapları yapılmıştır.

**Tablo 4.21. Optimum Aç ı = 30°, Azimut: Güney = 0°**

<b>1 kWp PV sistem:</b>				
<b>Aç ı = 30° Derece, Azimut = Güney = 0° Derece</b>				
<b>AY</b>	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m <sup>2</sup> -Gün	$H_m$ kWh/m <sup>2</sup> -Yıl
<b>Ocak</b>	2.06	63.8	2.56	79.5
<b>Şubat</b>	2.76	77.2	3.42	95.8
<b>Mart</b>	3.83	119	5.01	155
<b>Nisan</b>	4.05	121	5.32	160
<b>Mayıs</b>	4.50	139	6.14	190
<b>Haziran</b>	4.66	140	6.49	195
<b>Temmuz</b>	4.55	141	6.45	200
<b>Ağustos</b>	4.34	134	6.13	190
<b>Eylül</b>	4.33	130	6.01	180
<b>Ekim</b>	3.62	112	4.87	151
<b>Kasım</b>	2.52	75.5	3.27	98.2
<b>Aralık</b>	1.97	61.1	2.50	77.4
<b>Yıllık Ortalama</b>	3.60	110	4.85	148
<b>Toplam Yıllık</b>		<b>1310</b>		<b>1770</b>

Mayıs ve Eylül ayları arasında en fazla verim elde edilmiştir.

Tablo 4.22. Optimum Açısı = 30°, Azimut: Batı = 90°

<b>1 kWp PV sistem:</b>				
<b>Açısı = 30° Derece, Azimut = Batı = +90°</b>				
AY	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m <sup>2</sup> -Gün	$H_m$ kWh/m <sup>2</sup> -Yıl
Ocak	1.28	39.7	1.68	52.2
Şubat	1.90	53.1	2.41	67.4
Mart	2.92	90.6	3.91	121
Nisan	3.51	105	4.63	139
Mayıs	4.20	130	5.78	179
Haziran	4.50	135	6.29	189
Temmuz	4.29	133	6.12	190
Ağustos	3.84	119	5.45	169
Eylül	3.37	101	4.73	142
Ekim	2.47	76.6	3.41	106
Kasım	1.54	46.2	2.12	63.5
Aralık	1.14	35.3	1.56	48.5
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>2.92</b>	<b>88.7</b>	<b>4.02</b>	<b>122</b>
<b>Toplam Yıllık</b>	<b>1060</b>		<b>1470</b>	

Mayıs ve Eylül ayları arasında en fazla verim elde edilmiştir.

Tablo 4.23. Optimum Aç $\acute{\i}$  = 30°, Azimut: Doğu = - 90°

<b>1 kWp PV sistem:</b>				
<b>Aç<math>\acute{\i}</math> = 30° Derece, Azimut = Doğu = -90°</b>				
<b>AY</b>	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m <sup>2</sup> -Gün	$H_m$ kWh/m <sup>2</sup> -Yıl
<b>Ocak</b>	1.46	45.3	1.85	57.3
<b>Şubat</b>	2.08	58.1	2.57	72.0
<b>Mart</b>	3.21	99.6	4.17	129
<b>Nisan</b>	3.64	109	4.74	142
<b>Mayıs</b>	4.33	134	5.88	182
<b>Haziran</b>	4.63	139	6.38	192
<b>Temmuz</b>	4.42	137	6.22	193
<b>Ağustos</b>	3.96	123	5.53	171
<b>Eylül</b>	3.63	109	4.97	149
<b>Ekim</b>	2.77	85.9	3.70	115
<b>Kasım</b>	1.78	53.3	2.34	70.2
<b>Aralık</b>	1.36	42.2	1.77	54.8
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>3.11</b>	<b>94.6</b>	<b>4.19</b>	<b>127</b>
<b>Toplam Yıllık</b>	<b>1130</b>		<b>1530</b>	

Mayıs ve Ağustos ayları arasında en fazla verim elde edilmiştir.

Tablo 4.24. Optimum Aç $\i$  = 30°, Azimut: Kuzey = 180°

<b>1 kWp PV sistem:</b>				
<b>Aç<math>\i</math> = 30° Derece, Azimut = Kuzey = 180°</b>				
AY	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m <sup>2</sup> -Gün	$H_m$ kWh/m <sup>2</sup> -Yıl
Ocak	0.61	18.9	1.05	32.6
Şubat	0.94	26.3	1.44	40.3
Mart	2.03	62.9	2.77	85.9
Nisan	2.96	88.9	3.83	115
Mayıs	3.99	124	5.26	163
Haziran	4.41	132	5.95	179
Temmuz	4.11	127	5.66	176
Ağustos	3.34	103	4.62	143
Eylül	2.38	71.3	3.36	101
Ekim	1.23	38.2	1.98	61.4
Kasım	0.56	16.9	1.17	35.2
Aralık	0.56	17.2	1.01	31.2
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>2.27</b>	<b>69.0</b>	<b>3.19</b>	<b>96.9</b>
<b>Toplam Yıllık</b>	<b>828</b>		<b>1160</b>	

Haziran ve Temmuz ayları arasında en fazla verim elde edilmiştir.



**4.6. Tunceli De Fotovoltaik „İnce Bakır Film Şerit“ -Tipi Alanda üretililecek Elektrik Enerjisi (Optimum Aç $\alpha$  = 30°, Azimut: Güney = 0°,Doğu = -90°, Batı = + 90°, Kuzey = 180°)**

**Tablo 4.25.** Optimum Aç $\alpha$  = 30°, Azimut Güney =0°

<b>1 kWp PV sistem:</b>				
<b>Aç<math>\alpha</math> = 30° Derece, Azimut = Güney = 0° Derece</b>				
<b>AY</b>	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m <sup>2</sup> -Gün	$H_m$ kWh/m <sup>2</sup> -Yıl
<b>Ocak</b>	1.95	60.4	2.56	79.5
<b>Şubat</b>	2.60	72.8	3.42	95.8
<b>Mart</b>	3.80	118	5.01	155
<b>Nisan</b>	4.03	121	5.32	160
<b>Mayıs</b>	4.64	144	6.14	190
<b>Haziran</b>	4.90	147	6.49	195
<b>Temmuz</b>	4.88	151	6.45	200
<b>Ağustos</b>	4.65	144	6.13	190
<b>Eylül</b>	4.57	137	6.01	180
<b>Ekim</b>	3.71	115	4.87	151
<b>Kasım</b>	2.49	74.7	3.27	98.2
<b>Aralık</b>	1.90	58.8	2.50	77.4
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>3.68</b>	<b>112</b>	<b>4.85</b>	<b>148</b>
<b>Toplam Yıllık</b>	<b>1340</b>		<b>1770</b>	

Mayıs ve Eylül ayları arasında en fazla verim elde edilmiştir.

Tablo 4.26. Optimum Aç $\i$  = 30°, Azimut Batı = 90°

1 kWp PV sistem:  
Aç $\i$  = 30° Derece, Azimut = Batı = +90° Derece

AY	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m <sup>2</sup> -Gün	$H_m$ kWh/m <sup>2</sup> -Yıl
Ocak	1.25	38.6	1.68	52.2
Şubat	1.80	50.3	2.41	67.4
Mart	2.94	91.2	3.91	121
Nisan	3.49	105	4.63	139
Mayıs	4.37	135	5.78	179
Haziran	4.77	143	6.29	189
Temmuz	4.63	144	6.12	190
Ağustos	4.12	128	5.45	169
Eylül	3.57	107	4.73	142
Ekim	2.56	79.2	3.41	106
Kasım	1.57	47.1	2.12	63.5
Aralık	1.15	35.7	1.56	48.5
Yıllık Ortalama	3.02	92.0	4.02	122
Toplam Yıllık	1100		1470	

Mayıs ve Ağustos ayları arasında en fazla verim elde edilmiştir.

Tablo 4.28. Optimum Aç $\i$  = 30°, Azimut Doğu = -90°

1 kWp PV sistem:				
Aç $\i$ = 30° Derece, Azimut = Doğu = - 90°				
AY	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m <sup>2</sup> -Gün	$H_m$ kWh/m <sup>2</sup> -Yıl
Ocak	1.37	42.5	1.85	57.3
Şubat	1.92	53.8	2.57	72.0
Mart	3.14	97.3	4.17	129
Nisan	3.57	107	4.74	142
Mayıs	4.44	138	5.88	182
Haziran	4.83	145	6.38	192
Temmuz	4.71	146	6.22	193
Ağustos	4.18	130	5.53	171
Eylül	3.75	112	4.97	149
Ekim	2.78	86.1	3.70	115
Kasım	1.74	52.1	2.34	70.2
Aralık	1.30	40.4	1.77	54.8
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>3.15</b>	<b>95.9</b>	<b>4.19</b>	<b>127</b>
<b>Toplam Yıllık</b>	<b>1150</b>		<b>1530</b>	

Mayıs ve Ağustos ayları arasında en fazla verim elde edilmiştir.

Tablo 4.29. Optimum Aç $\acute{\i}$  = 30°, Azimut Kuzey =180°

<b>1 kWp PV sistem:</b>				
<b>Aç<math>\acute{\i}</math> = 30° Derece, Azimut = Kuzey=180°</b>				
AY	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m2-Gün	$H_m$ kWh/m2-Yıl
Ocak	0.78	24.3	1.05	32.6
Şubat	1.00	28.1	1.44	40.3
Mart	1.97	61.0	2.77	85.9
Nisan	2.82	84.7	3.83	115
Mayıs	3.94	122	5.26	163
Haziran	4.49	135	5.95	179
Temmuz	4.26	132	5.66	176
Ağustos	3.43	106	4.62	143
Eylül	2.40	72.1	3.36	101
Ekim	1.35	41.9	1.98	61.4
Kasım	0.85	25.6	1.17	35.2
Aralık	0.75	23.3	1.01	31.2
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>2.35</b>	<b>71.4</b>	<b>3.19</b>	<b>96.9</b>
<b>Toplam Yıllık</b>		<b>856</b>		<b>1160</b>

Haziran ve Temmuz ayları arasında en fazla verim elde edilmiştir.

**4.7. Tunceli İlinin Merkez İlçeleri Hozat, Pülümür, Nazımiye, Mazgirt, Ovacık, Pertek ve Çemişgezek de Global Güneş Radyasyon Değerleri.**

Hozat PV Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

**Tablo 4.30.** Hozat PV Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

1 kWp PV sistem:				
Açı = 30° Derece, Azimut = Güney = 0° Derece				
AY	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m <sup>2</sup> -Gün	$H_m$ kWh/m <sup>2</sup> -Yıl
Ocak	2.39	74.0	2.90	89.8
Şubat	2.99	83.6	3.65	102
Mart	4.17	129	5.37	166
Nisan	4.19	126	5.47	164
Mayıs	4.71	146	6.39	198
Haziran	4.85	145	6.69	201
Temmuz	4.74	147	6.66	206
Ağustos	4.56	141	6.40	198
Eylül	4.61	138	6.34	190
Ekim	3.97	123	5.27	163
Kasım	2.89	86.8	3.68	110
Aralık	2.31	71.7	2.84	88.1
Yıllık Ortalama	3.87	118	5.15	157
Toplam Yıllık		1410		1880

Hozat ilçesinde Mayıs ve Eylül aylarında en yüksek değerler elde edilmiştir.

## Pülümür PV Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

**Tablo 4.31.** Pülümür Pv Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

<b>1 kWp PV sistem:</b>				
<b>Açı = 30° Derece, Azimut = Güney = 0° Derece</b>				
<b>AY</b>	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m <sup>2</sup> -Gün	$H_m$ kWh/m <sup>2</sup> -Yıl
Ocak	1.56	48.5	2.10	65.2
Şubat	2.46	68.9	3.15	88.3
Mart	3.75	116	4.94	153
Nisan	4.34	130	5.70	171
Mayıs	4.64	144	6.25	194
Haziran	4.89	147	6.71	201
Temmuz	4.78	148	6.68	207
Ağustos	4.65	144	6.50	202
Eylül	4.27	128	5.90	177
Ekim	3.19	98.8	4.33	134
Kasım	1.94	58.1	2.66	79.7
Aralık	1.36	42.2	1.88	58.1
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>3.49</b>	<b>106</b>	<b>4.74</b>	<b>144</b>
<b>Toplam Yıllık</b>	<b>1270</b>		<b>1730</b>	

Pülümür ilçesinde Mayıs ve Eylül aylarında en yüksek değerler elde edilmiştir.

## Nazımiye PV Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

Tablo 4.32. Nazımiye Pv Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

<b>1 kWp PV sistem:</b>				
<b>Açı = 30° Derece, Azimut = Güney = 0° Derece</b>				
AY	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m2-Gün	$H_m$ kWh/m2-Yıl
Ocak	2.40	74.5	2.90	89.9
Şubat	2.98	83.6	3.64	102
Mart	4.14	128	5.31	165
Nisan	4.23	127	5.52	165
Mayıs	4.67	145	6.32	196
Haziran	4.83	145	6.64	199
Temmuz	4.69	145	6.57	204
Ağustos	4.52	140	6.33	196
Eylül	4.57	137	6.27	188
Ekim	3.91	121	5.18	160
Kasım	2.87	86.0	3.64	109
Aralık	2.32	71.9	2.84	88.0
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>3.85</b>	<b>117</b>	<b>5.10</b>	<b>155</b>
<b>Toplam Yıllık</b>		<b>1400</b>		<b>186</b>

Nazımiye ilçesinde Mayıs ve Ağustos aylarında en yüksek değerler elde edilmiştir.

## Mazgirt PV Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

Tablo 4.33. Mazgirt Pv Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

1 kWp PV sistem:				
Açı = 30° Derece, Azimut = Güney = 0° Derece				
AY	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m <sup>2</sup> -Gün	$H_m$ kWh/m <sup>2</sup> -Yıl
Ocak	2.40	74.3	2.91	90.2
Şubat	3.03	84.8	3.70	104
Mart	4.15	129	5.36	166
Nisan	4.26	128	5.57	167
Mayıs	4.69	145	6.37	198
Haziran	4.85	145	6.70	201
Temmuz	4.74	147	6.68	207
Ağustos	4.55	141	6.40	198
Eylül	4.60	138	6.33	190
Ekim	3.98	123	5.29	164
Kasım	2.89	86.7	3.68	110
Aralık	2.33	72.4	2.88	89.2
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>3.88</b>	<b>118</b>	<b>5.16</b>	<b>157</b>
<b>Toplam Yıllık</b>	<b>1410</b>		<b>1880</b>	

Mazgirt ilçesinde Haziran ve Ağustos aylarında en yüksek değerler elde edilmiştir.



## Ovacık PV Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

Tablo 4.34. Ovacık Pv Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

<b>1 kWp PV sistem:</b>				
<b>Açı = 30° Derece, Azimut = Güney = 0° Derece</b>				
AY	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m <sup>2</sup> -Gün	$H_m$ kWh/m <sup>2</sup> -Yıl
Ocak	2.33	72.2	2.83	87.7
Şubat	3.07	85.9	3.78	106
Mart	3.99	124	5.14	159
Nisan	4.26	128	5.60	168
Mayıs	4.53	141	6.15	191
Haziran	4.78	143	6.61	198
Temmuz	4.68	145	6.60	205
Ağustos	4.52	140	6.36	197
Eylül	4.45	133	6.12	183
Ekim	3.77	117	5.00	155
Kasım	2.69	80.8	3.41	102
Aralık	2.20	68.2	2.70	83.8
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>3.77</b>	<b>115</b>	<b>5.03</b>	<b>153</b>
<b>Toplam Yıllık</b>	<b>1380</b>		<b>1840</b>	

Ovacık ilçesinde Mayıs ve Ağustos aylarında en yüksek değerler elde edilmiştir.

## Pertek PV Tipi Alanda Üretililecek Elektrik Enerjisi

Tablo 4.35. Pertek Pv Tipi Alanda Üretililecek Elektrik Enerjisi

1 kWp PV sistem:				
Açı = 30° Derece, Azimut = Güney = 0° Derece				
AY	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m2-Gün	$H_m$ kWh/m2-Yıl
Ocak	2.32	71.8	2.84	88.1
Şubat	2.97	83.2	3.68	103
Mart	4.01	124	5.23	162
Nisan	4.15	124	5.47	164
Mayıs	4.56	141	6.24	193
Haziran	4.74	142	6.62	198
Temmuz	4.62	143	6.57	204
Ağustos	4.41	137	6.26	194
Eylül	4.47	134	6.21	186
Ekim	3.82	118	5.12	159
Kasım	2.81	84.4	3.61	108
Aralık	2.22	68.8	2.76	85.6
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>3.76</b>	<b>114</b>	<b>5.06</b>	<b>154</b>
<b>Toplam Yıllık</b>	<b>1370</b>		<b>1850</b>	

Pertek ilçesinde Haziran ve Ağustos aylarında en yüksek değerler elde edilmiştir.

## Çemişgezek PV Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

Tablo 4.36. Çemişgezek Pv Tipi Alanda Üretilebilecek Elektrik Enerjisi

<b>1 kWp PV sistem:</b>				
<b>Açı = 30° Derece, Azimut = Güney = 0° Derece</b>				
AY	$E_d$ kWh-Gün	$E_m$ kWh-Ay	$H_d$ kWh/m2-Gün	$H_m$ kWh/m2-Yıl
Ocak	2.21	68.4	2.74	84.9
Şubat	2.84	79.4	3.52	98.6
Mart	3.91	121	5.11	158
Nisan	4.07	122	5.36	161
Mayıs	4.51	140	6.18	191
Haziran	4.67	140	6.50	195
Temmuz	4.57	142	6.50	201
Ağustos	4.37	135	6.19	192
Eylül	4.43	133	6.15	185
Ekim	3.70	115	4.99	155
Kasım	2.59	77.6	3.37	101
Aralık	2.08	64.6	2.63	81.6
<b>Yıllık Ortalama</b>	<b>3.67</b>	<b>112</b>	<b>4.94</b>	<b>150</b>
<b>Toplam Yıllık</b>	<b>1340</b>		<b>1800</b>	

Çemişgezek ilçesinde Haziran ve Ağustos aylarında en yüksek değerler elde edilmiştir.

## 5. ÖNERİLER

Yapılan çalışmada elde edilen bulgular neticesinde fotovoltaik sistemlerin Tunceli ili için kullanımı ele alınmıştır. Ortaya çıkan tablo bize gösteriyor ki, doğa harikası olan Tunceli'de fotovoltaik sistemlerin kullanılması ile birlikte, hem doğaya hem çevreye hem de insan sağlığına zararlı olan fosil kökenli yakıtların minimum asgari düzeye ineceği sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda Valilik Belediye ve STK'ların Tunceli Üniversitesi önderliğinde birlikte hareket edip ortak bir çalışma yapmaları gerektiği aşikardır. Sivil Toplum Örgütlerinin Barajlar konusunda ki hassasiyeti ve ülkemizin enerji ihtiyacı gereksinimi baz alınarak, çağımızın popüler enerji kaynağı olan güneşten yararlanma yollarına gidilerek yapılmış olan bu çalışma örnek teşkil etme açısından önemli bir yere sahiptir. İleride Tunceli ilimizde kurulması planlanan otel, hastane, pansiyon, sokak ve cadde aydınlatımı, okul ve hatta atık su depolama merkezlerinde kirli suyun arındırılması için gerekli olan enerjinin PV sistemler ile elde edilebileceği ortaya çıkmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Abraham, T. ve Luthra, A., 2010.** Socio-economic & technical assessment of photovoltaic powered membrane desalination processes for India, Science Direct.
- Abolfazl G. , Arash A., Mahdi Z. ve Sherif A., 2013.** Techno-economic analysis of stand-alone hybrid photovoltaic–diesel–battery systems for rural electrification in eastern part of Iran—A step toward sustainable rural development, Science Direct.
- Abolfazl G., Arash A. , Mahdi Z. ve Sherif A., 2013.** Techno-economic analysis of stand-alone hybrid photovoltaic–diesel–battery systems for rural electrification in eastern part of Iran—A step toward sustainable rural development, Science Direct.
- Acaroğlu, M., 2007.** ‘‘Alternatif enerji kaynakları’’ Nobel Basımevi, Ankara.
- Alam, M. ve Mondal H., 2009.** Economic viability of solar home systems: Case study of Bangladesh, Science Direct.
- Akyüz, İ., 2000.** Püskürtme Tekniği İle Elde Edilen Zn 1-x CdxS Filmlerinin Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmangazi.
- Alpaslan ve Gebze, 2009.** ‘Bazı İletken Polimerlerin Güneş Pili Uygulamaları’, Yüksek Lisans Tezi Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Ananda M. P., Sarper H., 2013.** Economic analysis of a grid-connected commercial photovoltaic system at Colorado State University-Pueblo, Science Direct.
- Ardel, A., Kurtel, A. ve Dönmez, Y., 1969.** Klimatoloji Tatbikatı, Taş matbaası, 15, 25, 32 s. İstanbul.
- Ataollah, Khanlari, 2012.** Temiz Tükenmez Enerjiler AD, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ayong, H., Rudi K., Managam R. ve Yohannes M., 2013.** Techno-economic analysis of photovoltaic/wind hybrid system for onshore/remote area in Indonesia, Science Direct.

- Başol, K., 1994.** Doğal Kaynaklar Ekonomisi, 4.Baskı, İzmir Anadolu Matbaası, 1994, s.114
- Batman, M. A., 2001.** Elektrik Üretimi için Güneş Pillerinin Kullanımında Verimi Arttırıcı Yeni Bir Yöntem, i.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Baykul, M. C., 1987.** Güneş Enerjisinin Depolanması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Bayrak, E.Ş. ve Saltık, M., 1994.** Kaymak “Güneş Pillerinin Çalışmasında Foto Açısal Etki ve Optimal Verimin Sağlanması” Elektrik Enerjisi ve Teknolojisi Sempozyumu, İTÜ, İstanbul.
- Bedeloğlu, A., Demir, B. ve Bozkurt, Y., 2010.** “Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller ” Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010, 4(2) 43-58
- Behçet, Y.F., 1994.** Enerji Ekonomisi, Febel Yayın, Birinci Baskı, İstanbul, 1994. s.297
- Berberoğlu, C. N., 1982.** Türkiye'nin Ekonomik Gelişmesinde Elektrik Enerjisi Sorunu, E.İ.T.İ.A Yayını No:245/165 Eskişehir, 1982.s .11
- Boes, E.G., 1981.** Fundamentals of Solar Radiation, in Solar Energy Handbook, Chapter 2, New York, McGraw-Hill.
- Boz, O., 2011.** ‘Günümüzün alternatif enerji kaynağı: fotovoltaik güneş pilleri’, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Bhattacharai , S., vd., 2013.** Comparative study of photovoltaic and thermal solar systems with different storage capacities: Performance evaluation and economic analysis, Science Direct.
- Cebeci, M., 2013.** “Güneş Pilleri ve Teknolojik Uygulamaları” <http://www.guneshaber.net/haber/1089-uzman-gozuyle-gunes-enerjisi-uygulamalarinin-tarihsel-gelisimi.html> 18.Eylül.2013
- Çabuk, S., 1992.** “İnce Film SNO<sub>2</sub>/CuO<sub>2</sub> Güneş Pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, Adana.
- Çıtıroğlu, A., 2005.** Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, Makale, Mühendis ve Makine, Cilt: 41, S: 485.
- Çıtıroğlu, A., 2005.** Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi İnternet Yayını, Ankara, s: 1-5., <http://www.gunes.gov.tr>, 10 Temmuz2013.

- Diaf, S., Nottona, G., Belhamel, M., Haddadi, M. ve Louche, A., 2008.** Design and techno-economical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions, Science Direct.
- Duffie, J.A. ve Beckman, W.A., 1974.** Solar Energy Thermal Processes, Willey and Sons, Newyork, s: 65-66
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Dünya’da Ve Türkiye’de Güneş Enerjisi**  
Isbn: 978-605-89548-2-3 Dek-Tmk Yayın No: 0011/2009 Baskı: Ekc Form Ofset - (0312) 342 16 16), Ankara, 2013.
- Engin, R., 1995.** Güneş Pilleri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Fizik Bölümü Yayınları No:3, s: 151., Van.
- Ertürk, N., 1997.** “Simulation und experimentelle Untersuchungen von Stationären und Nachgeführten Photovoltaiksystemen”, PhD Thesis, Berlin Technical University, Berlin.
- Graf, R.F., 1999.** Modern dictionary of electronics, Butterworth-Heinemann, A.B.D.
- Gürsoy, U., 1999.** Dikensiz Gül: Temiz Enerji; Dogu Akdeniz Çevrecileri, Temiz ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarımız Raporu, İskenderun Çevre Koruma Derneği Yayını Temiz Enerji Dizisi 1, s: 283.1999.
- Hédi, K vd., 2013.** Modeling and technical-economic optimization of an autonomous photovoltaic system, Science Direct.
- İbrahim, D., 1996.** Güneş Enerjisi Ve Fotovoltaik Pil Kullanarak Su Pompası Sistem Tasarımı, Elektrik Dergisi Sayı: 93,s: 104-111
- Ishan Purohit , Pallav Purohit,2010.** Techno-economic evaluation of concentrating solar power generation in India, Science Direct.
- İnan, D., 1997.** Enerji Kaynağı olarak Güneş,Güneş Enerjisi Sistemleri Semineri,İçel, s: 20-21.
- Jang, M. ve Hong, W., 2004.** The analysis of the economic and environmental effects of the application of a photovoltaic system to the, EXCO(Ex. + Con. Bldg) in Daegu, South Korea, Science Direct.
- Küpeli, A. Ö., 2005.** Güneş Pilleri ve verimleri yüksek lisans tezi Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Köse, S., 1986.** Yarıiletken Güneş Pilleri ve Verimlilikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Kalogirou, S., 2009.** Solar Energy Engineering: Processes and Systems, ISBN-13: 978-0-12-374501-9, Academic Pres.
- Karamanav, M., 2007.** Güneş Enerjisi Ve Güneş Pilleri, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Köse, S., 1986.** “Yarıiletken Güneş Pilleri ve Verimlilikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Kul, M., 1996.** Cd(In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)S Yarıiletken Filmlerinin Bazı Özellikleri, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Makine Mühendisleri Odası (Mmo), Türkiye'nin Enerji Görünümü, Yayın No: MMO/588 ISBN: 978-605-01-0358-8 MRK Baskı ve Tanıtım Hizmetleri Tic. Ltd. Şti, 2. Baskı, Ankara, 2012.**
- Markvart, T., 1994.** Solar Electricity, J. Wiley and Sons, Chichester, UK.
- McLellan, B. C., vd., 2012.** Economic and environmental analysis of power generation expansion in Japan considering Fukushima nuclear accident using a multi-objective optimization, Science Direct.
- Mitscher M. ve Ruther, R., 2012.** Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil, Science Direct
- Messenger, R.A. ve Ventre, J., 2004.** Photovoltaic systems engineering, Taylor & Francis, Florida.
- Moghavvemi, M., vd., 2013.** Techno-economic analysis of an optimized photovoltaic and diesel generator hybrid power system for remote houses in a tropical climate, Science Direct.
- Oktik, S., 2001.** ‘Güneş Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri’, Ankara Temiz Enerji Vakfı Yayınları, 2001.
- Özbalta, N., 2000.** Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Uygulamalar, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Uygulamaları Enstitüsü Yayınları, 1-5 s.,2000. İzmir.
- Pagliaro, M., Palmisano, G. ve Ciriminna, R., 2008.** Flexible Solar Cells, ISBN-13: 9783527323753, Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- Severino, M. M., vd., 2010.** Economic evaluation and optimization of a photovoltaic–fuel cell–batteries hybrid system for use in the Brazilian Amazon, Science Direct.
- Shaahid, S.M. ve El-Amin, I., 2013.** Techno-economic evaluation of off-grid hybrid photovoltaic– diesel–battery power systems for rural electrification in Saudi Arabia—A way forward for sustainable development, Science Direct.



- Söhmen, H.M., Tırıs, M., Tırıs, Ç. ve Erdallı, Y., 1997.** Güneş Kollektörleri Test Yöntemleri ve Seçici Yüzey Uygulamaları, Güneş Enerji Sistemleri Semineri, İçel, 20-21 s.
- Spertino, F., Di Leo, P. ve Cocina, V., 2013.** Economic analysis of investment in the rooftop photovoltaic systems A long-term research in the two main markets ,Science Direct.
- ŞEN, Z., 1996.** “Enerji Meteorolojisi ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, İTÜ Vakfı Dergisi, No:18, s.24, İstanbul.
- Tasdemiroğlu, E., 1988.** Solar Energy Utilization: Tecnical and Economic Aspects, Mechanical Engineering Department, M.E. T.U. , Ankara, May 1988, s.11
- Tekeli, M., 2013.** Hibrit Fotovoltaik - Termal Sistemler. Temiz Tükenmez Enerjiler AD <http://www.temiztukenmezenenjiler.hacettepe.edu.tr>, 10 Temmuz.2013.
- Tercan, M.B., 2000.** Güneş Pili Karakterizasyon Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tunceli İli Solar Enerji Fizibilitesi, 2011** Proje Yöneticisi İl Özel İdaresi, Fırat Kalkınma Ajansı, Tunceli.
- Ural, E.B., 2007.** “Fotovoltaik Enerji ve Tasıtlarda Kullanımı”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- URL-1,** [www.gençfizik.net/enerji-kaynaklari-slayt.html](http://www.gençfizik.net/enerji-kaynaklari-slayt.html) Enerji Kaynakları.11 Temmuz 2013.
- URL-2,** <http://www.dsi.gov.tr/ska/ska.htm>. 10 Kasım 2011.
- URL-3,** <http://www.teias.gov.tr/TurkiyeElektrikIstatistikleri.aspx>.10 Haziran 2013.
- URL-4,** 2013, [www.klimaat.be](http://www.klimaat.be). 10 Eylül 2013.
- URL-5,** 2013, IEA, The Present and Future use of Thermal Energy as a Primary Source of Energy, <http://www.iea.org/textbase/papers.htm>. 10 Eylül 2013
- URL-6,** 2011, <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/pvilke.html>. 24.01.2011
- URL-7,** 2013, <http://www.yesilplatform.com/2011/08/06/fotovoltaik>. 5 Temmuz 2013
- URL-8,** 2013, <http://www.derinmarin.com/Derin-Marin-Urunler-Gunes.htm>.3 Eylül 2013
- World Resources Institute Working Paper, 2012.** Global Coal Risk Assessment Data Analysis and Market Research. [http://pdf.wri.org/global\\_coal\\_risk\\_assessment.pdf](http://pdf.wri.org/global_coal_risk_assessment.pdf)), 10.ağustos.2013.

**World renewable electricity generation (TWh) Medium-Term Renewable Energy  
Market Report 2012.** Preliminary information from the IEA PVPS  
Programme Report IEA-PVPS T1-22: 2013 11.Eylül.2013.

## ÖZGEÇMİŞ

1978'de Diyarbakır'da doğdu. İlk, orta, lise ve üniversiteyi Diyarbakır'da tamamladı. 2003 yılında Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2003-2007 yılları arasında Stuttgart Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde eğitimini tamamladı. 2007-2011 yılları arasında özel sektörde çalıştı. 2011 yılı itibari ile Tunceli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2011 yılında Tunceli Üniversitesi ile Erzurum Atatürk Üniversitesi arasında yapılan ortak yüksek lisans programı kapsamında Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Halen Tunceli Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.