

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**500 KW'LIK GÜNEŞ ENERJİSİ PANEL TASARIMINDA  
OPTİMİZASYON VE EKONOMİK ANALİZ**

**Pelin EREN KILINÇ**

**Danışman  
Prof. Dr. Mustafa ACAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2019**



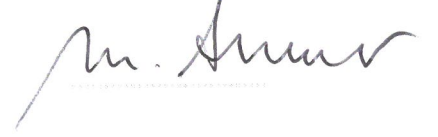
© 2019 [Pelin EREN KILINÇ]

## TEZ ONAYI

**Pelin EREN KILINÇ** tarafından hazırlanan "**500 kW'lık Güneş Enerjisi Panel Tasarımında Optimizasyon ve Ekonomik Analiz**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

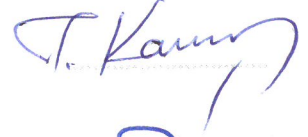
**Danışman**

**Prof. Dr. Mustafa ACAR**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



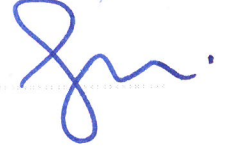
**Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Tansel KOYUN**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Reşat SELBAŞ**  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



**Enstitü Müdürü**

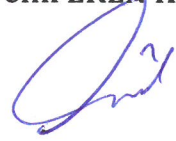
**Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR**



## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Pelin EREN KILINÇ**



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	2
2.1. Güneş Enerjisi ile İlgili Genel Bilgiler .....	2
2.2. Fotoelektrik Etki .....	8
2.3. Güneş Pillerinin Özellikleri.....	11
2.4. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretme Yöntemlerinin Sınıflandırılması .....	11
2.5. Güneş Enerjisi Uygulama Alanlarının Sınıflandırılması.....	14
2.5.1. Düşük Sıcaklık Uygulamaları .....	14
2.5.2. Orta Sıcaklık Uygulamaları .....	15
2.5.3. Yüksek Sıcaklık Uygulamaları.....	15
2.5.4. Diğer Uygulamalar ; .....	15
2.6. PV Elektrik Üretiminin Avantajları ve Dezavantajları.....	15
2.6.1. PV Elektrik Üretiminin Avantajları.....	15
2.6.2. PV Elektrik Üretiminin Dezavantajları.....	16
3. PV PANELLER VE ÇEŞİTLERİ.....	17
3.1. Monokristal Piller .....	17
3.2. Polikristal Piller .....	18
3.3. İnce Film Piller .....	20
3.4. Amorf Silikon Piller.....	21
3.5. Bakır İndiyum Diselenit Piller .....	21
3.6. Diğer Piller .....	22
3.7. Monokristal Ve Polikristal Panel Farkları.....	22
4. GÜNEŞ GEOMETRİSİ VE ATMOSFER DIŞI GÜNEŞ IŞINIMI.....	25
4.1. Güneş Sabiti (The Solar Constant) ve Atmosfer Dışı Işınımın Değişimi.....	25
4.2. Güneş Açılırları.....	26
4.3. Atmosfer Dışında Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınımı.....	30
5. YERYÜZÜNE GELEN GÜNEŞ IŞINIMI .....	32
5.1. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı .....	32
5.2. Yeryüzüne Düşen Güneş Işınımının Hesabı.....	33
5.2.1. Yatay Düzleme Düşen Güneş Işınımı .....	33

5.2.1.1. Günlük Işınım Hesabı.....	33
5.2.1.2. Anlık Işınım Hesabı .....	36
5.2.2. Eğik Düzleme Düşen Işınım Hesabı.....	37
5.2.2.1. Anlık Işınım Hesabı .....	38
5.2.2.2. Günlük Işınım Hesabı.....	40
5.3. İzmir İçin Işınım Hesabı .....	41
5.4. Farklı Eğim Açılarının Güneş Panellerine Etkisinin Analizi .....	49
6. FOTOVOLTAİK SİSTEM HESABI .....	62
6.1. Fotovoltaik Modül Alanı Hesabı.....	62
6.2. Fotovoltaik Modülün Pik Gücü.....	63
7. 500 KW'LIK GÜNEŞ ENERJİSİ PANEL TASARIMI .....	64
7.1. PV Panel Tasarımında Gölgeleme Faktörü .....	64
7.1.1. Ufuk Gölgeleme.....	65
7.1.2. Modül Sırası Gölgeleme.....	65
7.2. Eğim Açısının PV Panellere Optimizasyondaki Etkisi.....	66
7.3. PV Panell Seçiminin Optimizasyondaki Etkisi .....	68
7.4. İki Farklı Optimizasyon Yöteminin Kıyaslanması .....	70
7.5. 500 kW'lık Fotovoltaik Modülün Pik Gücü.....	71
8. 500 KW'LIK PV MODÜLÜN EKONOMİK ANALİZİ .....	72
8.1. PV Panel Maliyeti .....	72
8.2. Solar İnverter (Eviriciler).....	72
8.3. Solar Konstrüksiyon Maliyeti .....	73
8.4. Çift Yönlü Sayaç ve Tek Yönlü Sayaç Maliyeti .....	73
8.5. Güneş Panelleri için Kablo Kanalı Maliyeti .....	73
8.6. Solar Kablo (Fotovoltaik Kablo) Maliyeti.....	73
8.7. Paratoner (Yıldırımdan Koruma) Maliyeti.....	74
8.8. Enerji Nakil Hattı ve Trafo Tesisi Maliyeti .....	74
8.9. Saha İnşaat İşleri için Maliyet.....	74
8.10. Güneş Enerji Santrali için Saha Aydınlatması Maliyeti.....	74
8.11. Proje ve Arazi Maliyetleri .....	75
9. 500 KW'LIK GES AMORTİSMAN HESABI.....	77
10. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR .....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	87

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **500 KW'LIK GÜNEŞ ENERJİSİ PANEL TASARIMINDA OPTİMİZASYON VE EKONOMİK ANALİZ**

**Pelin EREN KILINÇ**

**Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Mustafa ACAR**

Dünyanın en önemli ve en büyük enerji kaynağı güneştir. Madde ve enerji akışları güneş enerjisi sayesinde olabilmektedir. Güneş enerjisi her şeyden önce bol ve tükenmeyen temiz bir enerji kaynağıdır. Yerel veya bölgesel uygulamalar için oldukça elverişlidir. Bu tez çalışması kapsamında; İzmir'de kurulacağı düşünülen 500kW'lık güneş enerjisi panel tasarımında optimizasyon ve ekonomik analizi incelenmiştir. Araştırmanın amacı; optimizasyon ve ekonomik analiz çerçevesinde İzmir ili için günlük 500kW'lık enerji üreten panel dizisinde en uygun panel açısını ve panel tipini belirlemek, böylece sistemin verimini arttırmaktır. Güneş enerjisi ile fotovoltaik sistemden elde edilecek elektrik enerjisinin hesabı yapılırken Türkiye için istatistiksel ölçümlere dayalı ışınım şiddeti kullanılabilir, ancak bir güneş enerjisi sisteminin optimizasyonu için detaylı bir güneş ışınımı hesabı ve analizi gereklidir.

İzmir için yapılan detaylı aylık ve yıllık güneş ışınım hesabı ile çıkan sonuçlardan, yıllık ortalama günlük 500 kW'lık fotovoltaik bir sistemin yüzey alanı hesabı yapılmıştır. Daha sonra yüzey alan hesabı yapılan PV panellerin optimizasyonu için panellerin yatayla yaptığı eğim açısını sabit tutmak yerine, yaz ve kış aylarında farklı eğim açılarında kurulum yapılacağı düşünülerek, sistemin hangi aylarda, hangi açılarda daha fazla güneş ışınımından yararlanabileceği ortaya konulmuştur. Değişken açılı sistem kurulumu, sabit açılı sistem kurulumuna göre; panel alanını %4,63 oranında azaltmıştır. İkinci olarakta 500kW'lık fotovoltaik sistem için panel tipi seçimi yapılarak sistem optimize edilmiştir. Monokristal PV panelin veriminin, polikristal PV panel veriminden yüksek olması, sistemde panel alanını %23,6 oranında azaltmıştır. Güneş panellerinde yapılan açısal değişiklik ve panel seçimi, sistemin amortisman süresini 4 yıl 9 ay olarak belirlenmesini sağlamıştır.

Elde edilen sonuçlarda, bugünün koşullarında Türkiye' de fotovoltaik sisteme dayalı güneş enerjisi santrali kurulmasının çeşitli optimizasyon yöntemleri olduğu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** 500 kW, Fotovoltaik, güneş enerjisi, ışınım hesabı

**2019, 87 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **OPTIMIZATION AND ECONOMIC ANALYSIS OF 500 KW SOLAR ENERGY PANEL DESIGN**

**Pelin EREN KILINÇ**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineer**

**Supervisor:Prof. Dr. Mustafa ACAR**

The world's most important and largest energy source is the sun. Material and energy flows can be caused by solar energy. Above all, solar energy is an abundant and inexhaustible source of clean energy. Very suitable for local or regional applications. Within the scope of this thesis; Optimization and economic analysis of 500kW solar panel design which is thought to be established in İzmir has been examined. Purpose of the research; In order to determine the most suitable panel angle and panel type in the 500kW panel series producing energy for İzmir within the framework of optimization and economic analysis, thus increasing the efficiency of the system. Solar radiation intensity based on statistical measurements available for Turkey, while the account of the electric power obtained from photovoltaic systems, but solar detailed solar radiation account for the optimization of energy systems and analysis is required.

The surface area of a 500 kW photovoltaic system is calculated from the detailed monthly and annual solar radiation calculations for İzmir. Then, instead of keeping the angle of inclination of the panels horizontally for the optimization of the PV panels with surface area calculation, it has been revealed that the system can benefit from more solar radiation in which months and at which angles the installation can be made at different inclination angles in summer and winter months. Variable angle system installation according to fixed angle system installation; panel area by 4.63%. Secondly, the system was optimized by selecting panel type for 500kW photovoltaic system. The efficiency of the monocrystalline PV panel is higher than the efficiency of the polycrystalline PV panel, thus reducing the panel area by 24%. The angular changes and the selection of the panels made the depreciation period of the system 4 years and 9 months.

The results obtained in today's conditions in Turkey also showed that there are various optimization methods to establish solar power plant based on photovoltaic systems.

**Keywords:** 500 kW, photovoltaic, solar energy, radiation calculation

**2019, 87 pages**



## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ile bana yol gösterici olan Danışman Hocam Prof. Dr. Mustafa ACAR'a teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eőim Őahin KILINÇ, annem AYŐE EREN ve babam Hüseyin EREN'e de sonsuz teőekkürler ederim. Tez çalıőmam sırasında sabrından dolayı oğlum Doruk KILINÇ 'a da ayrıca teőekkürlerimi sunarım.

Pelin EREN KILINÇ  
ISPARTA, 2019



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Dünya güneş enerjisi haritası .....	2
Şekil 2.2. Türkiye güneş enerjisi haritası .....	4
Şekil 2.3. 2016 yılındaki Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı .....	5
Şekil 2.4. PV panel yüzeyi ile güneş enerjisinin gösterilişi .....	6
Şekil 2.5. Fotoelektrik etki.....	8
Şekil 2.6. Fotoelektrik etki mekanizması.....	9
Şekil 2.7. Fotovoltaik dizi.....	11
Şekil 3.1. Fotovoltaik dizi oluşumu .....	17
Şekil 3.2. Monokristal panel .....	18
Şekil 3.3. Polikristal panel .....	19
Şekil 3.4. Küresel güneş pili üretiminde farklı tipteki silikonların üretim yoğunluğu .....	22
Şekil 3.5. Polikristal (a) ve monokristal (b) panel düzeneği ön görünüşü .....	23
Şekil 3.6. Laboratuvar ve uygulama koşullarına bağlı olarak silikon hücrelerinin verimliliği .....	24
Şekil 4.1. Dünya ile güneş arasındaki ilişki .....	25
Şekil 4.2. Güneş açıları ve arasındaki ilişki .....	26
Şekil 4.3. Güneş açıları .....	28
Şekil 5.1. Güneş panelinin mekanik yapısı.....	49
Şekil 5.2. Atmosfer dışı ve yatay düzleme gelen ışınım miktarları.....	52
Şekil 5.3. Yüzyüzünde yatay düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam ışınım miktarı.....	52
Şekil 5.4. Atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışınım miktarları .....	54
Şekil 5.5. Sabit ve değişken açılı güneş paneli kurulumu.....	57
Şekil 5.6. Atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışınım miktarları eğim açısı 38,39° .....	58
Şekil 5.7. Atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışınım miktarları eğim açısı 23,39° .....	58
Şekil 5.8. Atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışınım miktarları eğim açısı 48,39° .....	59
Şekil 5.9. Farklı eğim açıları için günlük ortalama aylık ışınım değerlerindeki değişim .....	60
Şekil 5.10. Eğim açısı yaz ve kış aylarında değiştirildiğinde faydalanılan ışınım miktarı arttırılabilir .....	60
Şekil 5.11. Sabit değişken eğim açılarına göre günlük ortalama aylık ışınım miktarlarındaki fark .....	61
Şekil 7.1. Eğim açısının optimizasyonda etkisi.....	68
Şekil 7.2. Pv panellerin optimizasyonda etkisi.....	69
Şekil 7.3. İki farklı optimizasyon yönetiminin kıyaslanması .....	70
Şekil 8.1. 500 kW'lık bir güneş enerjisi paneli kurulum maliyeti karşılaştırılması .	76

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı .....	7
Çizelge 4.1. Ayları temsil eden ortalama gün ve çeşitli aylar için "n" değerleri.....	27
Çizelge 5.1. İzmir için aylık ortalama günlük güneşlenme süresi .....	34
Çizelge 5.2. İzmir için izafi güneşlenme süresi.....	34
Çizelge 5.3. İzmir için enlem ve rakım.....	35
Çizelge 5.4. Saat 12:00 ile 13:00 için yeryüzüne düşen anlık yayılı, direkt ve toplam güneş ışınımı hesabı ve elde edilen sonuçlar .....	46
Çizelge 5.5. Saat 12:00 - 13:00 arasında gelen anlık, yayılı, yansıyan ve anlık toplam ışınım hesaplanması ve elde edilen sonuçlar .....	48
Çizelge 5.6. İzmir için yapılan hesaplarda kullanılan parametreler .....	50
Çizelge 5.7. Açık saat ve yön için kullanılan değerler.....	50
Çizelge 5.8. Atmosfer dışı ve yatay düzleme gelen ışınım miktarları.....	51
Çizelge 5.9. Atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışınım miktarları .....	53
Çizelge 5.10. Eğim açısı yaz ayları için enlem açısından 15° az.....	54
Çizelge 5.11. Eğim açısı kış ayları için enlem açısından 10° fazla.....	55
Çizelge 5.12. Yaz ve kış ayları eğim açıları birleştirilmiş çizelge .....	56
Çizelge 8.1. 500 kW'lık bir güneş enerjisi paneli kurulum maliyeti.....	75
Çizelge 9.1. Eğim açısı değişken olan 500 kW'lık sistemin analizi .....	77
Çizelge 9.2. Eğim açısı değişken olan 500 kW'lık güneş enerjisi santrali için yıllık elektrik satış analizi.....	78

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a, b	Bölgeye bağlı sabitler
a' , b'	Ampirik sabitler
E <sub>el</sub>	Günlük elektrik miktarı [kWh/gün]
E <sub>k</sub>	Elektronun kinetik enerjisi
E <sub>sr</sub>	Ortalama günlük güneş ışınımı enerjisi [kWh/m <sup>2</sup> gün]
f	Dalganın frekansı
G <sub>sc</sub>	Güneş sabiti
H̄	Yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük güneş ışınımı miktarı
H̄ <sub>c</sub>	Uygulama bölgesinin konumuna ve aya bağlı olarak havanın açık olduğu bir günde ortalama güneş ışınım miktarı (the average clear sky daily radiation )
H	Yeryüzünde yatay düzleme gelen aylık ort.günlük toplam ışınım [MJ/m <sup>2</sup> (gün)]
H <sub>b</sub>	Yeryüzünde yatay düzleme gelen aylık ort. günlük direkt ışınım [MJ/m <sup>2</sup> (gün)]
h	Planck sabiti
H <sub>bT</sub>	Yeryüzünde eğik düzleme gelen aylık ort. günlük direkt ışınım $\left[ \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2(\text{gün})} \right]$
H <sub>d</sub>	Yeryüzünde yatay düzleme gelen aylık ort. günlük yayılı ışınım [MJ/m <sup>2</sup> (gün)]
H <sub>dT</sub>	Yeryüzünde eğik düzleme gelen aylık ort. günlük yayılı ışınım [MJ/m <sup>2</sup> (gün)]
H <sub>o</sub>	Atmosfer dışına gelen aylık ortalama günlük ışınım [MJ/m <sup>2</sup> (gün)]
H <sub>T</sub>	Yeryüzünde eğik düzleme gelen aylık ort. günlük toplam ışınım [MJ/m <sup>2</sup> (gün)]
I	Yeryüzünde yatay düzleme gelen aylık ortalama anlık toplam ışınım [MJ/m <sup>2</sup> ]
I <sub>b</sub>	Yeryüzünde yatay düzleme gelen aylık ortalama anlık direkt ışınım [MJ/m <sup>2</sup> ]
I <sub>d</sub>	Yeryüzünde yatay düzleme gelen aylık ortalama anlık difüz ışınım [MJ/m <sup>2</sup> ]
I <sub>o</sub>	Atmosfer dışına gelen aylık ortalama anlık ışınım [MJ/m <sup>2</sup> ]

$I_T$	Yeryüzünde eğik düzleme gelen aylık ortalama anlık toplam ışınım [MJ/m <sup>2</sup> ]
$I_{bT}$	Yeryüzünde eğik düzleme gelen aylık ortalama anlık direkt ışınım [MJ/m <sup>2</sup> ]
$I_{dT}$	Yeryüzünde eğik düzleme gelen aylık ortalama anlık difüz ışınım [MJ/m <sup>2</sup> ]
$I_{max}$	Yer yüzünde eğik düzleme gelen en yüksek anlık ışınım [kW/m <sup>2</sup> ]
$I_{ref}$	Yeryüzünde eğik düzleme yansiyarak gelen aylık ortalama anlık ışınım [MJ/m <sup>2</sup> ]
$K_T$	Berraklık İndeksi (Clearness Index)
$\bar{N}$	Aylık ortalama gün uzunluğu
$\bar{n}$	Aylık ortalama günlük güneşlenme süresi
$\bar{n}/\bar{N}$	İzafi güneşlenme süresi
$\eta_c$	Çıkış verimi dönüştürücü verimi kablo direnç kayıpları vb. için 0.8
$\eta_{PV}$	PV modül verimi tek kristalli silikon için %15
$P_{maxPV}$	PV dizinin pik gücü [ kW]
$R_b$	Eğik düzeye gelen direkt ışınım geometrik faktörü [MJ/m <sup>2</sup> ]
TCF	Sıcaklık düzeltme faktörü 0.8
$\varphi$	İş fonksiyonu
$\phi$	Enlem açısı
$\delta$	Denklikasyon açısı
$\beta$	Eğim açısı
$\gamma$	Yüzey azimut açısı
$\theta$	Güneş geliş açısı
$\theta_z$	Zenit açısı

## 1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, günümüzde genellikle kullanılan fosil yakıt ve doğalgaz kaynaklı enerjiye alternatif olarak kullanılan ve kullanımı giderek yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynaklarındadır. Giderek artan dünya nüfusu ve teknolojinin hızla ilerlemesi gibi sebeplerle enerji ihtiyacı artmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle yeni nesil cihazlar her ne kadar enerji tüketimleri daha tasarruflu olsa da kullanım adetleri arttığından enerji ihtiyacı da zamanla artmaktadır. Tüm bunlarla birlikte halen fosil yakıtlar ile üretilen enerji dünya enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılamaktadır, ancak fosil yakıtlar kullanılması nedeni ile açığa çıkan CO<sub>2</sub> gazının yarattığı hava kirliliği ve küresel ısınmaya neden olması doğalgaz ve petrol rezervlerinin sınırlı olması gibi etkenler güneş enerjisi gibi alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu kılmıştır.

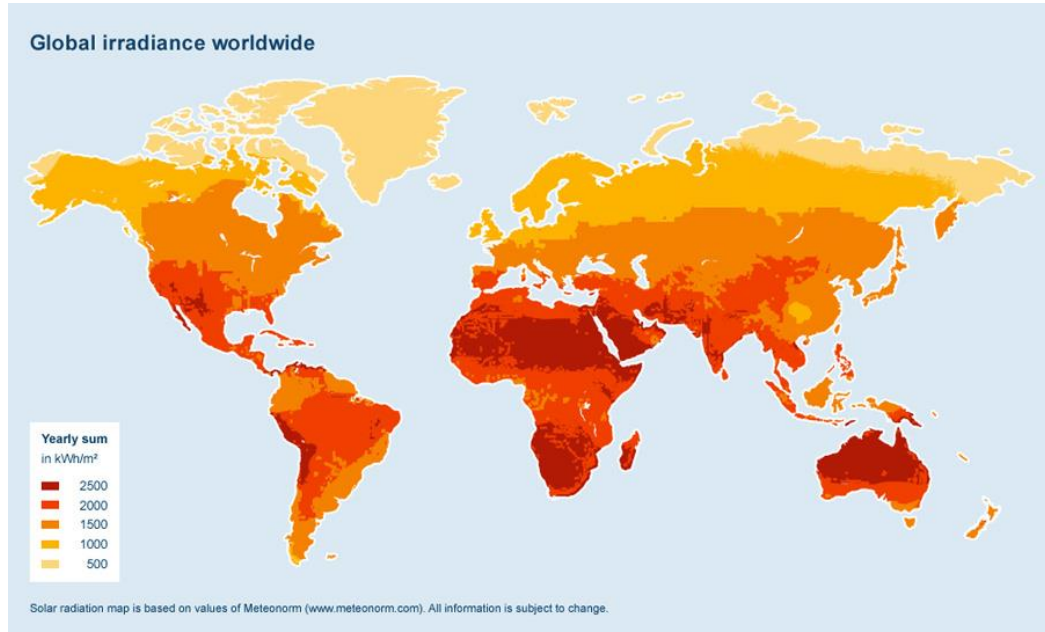
PV etki, 1839 yılında Becquerel tarafından, elektrolitik hücrelerde ışınım etkilerini çalışırken keşfedilmiştir. PV uygulamalarında, yeteri kadar yüksek bir verime ulaşmak için, uzun bir dönem geçmiştir. Güneş hücreleri, uzay programı sayesinde, 1950'lerde hızla gelişme kaydetmiş ve uydular üzerinde kullanılmıştır. Bu uygulamalar, verim düzeyleri %6 - %10 arasında değişen, kristal silisyum (c-Si) güneş hücreleri ile gerçekleştirilmiştir. 1970'lerdeki enerji krizi nedeniyle, PV teknolojisindeki araştırma ve geliştirme (AR&GE) çalışmaları büyük ölçüde hızlandırılmıştır. Günümüzde, dünyada ortalama olarak güç tüketimi 10 TeraWatt (TW) düzeyindedir. Dünya yıllık enerji tüketiminin 2050 yılına kadar yaklaşık 30 TW düzeyine ulaşacağı öngörülmektedir. Dünyamızda yüzyılın ortalarında atmosferdeki CO<sub>2</sub>'i dengede tutabilmek için, yaklaşık 20 TW CO<sub>2</sub> dışı enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde, CO<sub>2</sub>'i dengede tutabilmek için en basit yöntemlerden birisi, PV teknolojisidir. Böylece, PV teknolojisinin dünyanın gelecekteki enerji gereksinimini karşılamak amacıyla önemli bir işlevi olacaktır. Bu çalışma ile 500kW'lık fotovoltaik bir sistemin tasarlanması ve enerji optimizasyonunun yapılmasına ilişkin bilgilere yer verilmiştir. Çalışma kapsamında, verilen bilgilerin ilgilenele yararlı olmasını dilerim.

## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ

### 2.1. Güneş Enerjisi ile İlgili Genel Bilgiler

Nüfus patlaması ve teknolojik gelişmeler nedeniyle dünyanın enerji talebi hızla artmaktadır. Bu nedenle gelecekte ortaya çıkacak enerji talebinde güvenilir, uygun maliyetli ve sonsuz yenilenebilir enerji kaynağı olması önemlidir. Güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında, enerji krizinde uzun vadeli sorunları yönetmek için gelecek vaat eden ve özgürce kullanılabilen bir enerji kaynağıdır (Kannan ve Vakeesan, 2016).

Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden açığa çıkan ışıma enerjisidir. Termonükleer bir reaktör olan güneşten çeşitli dalga boylarında ( $62 \text{ MW/m}^2$ ) enerji yayılmakta ve güneşin bütün yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir. Yapı olarak bakıldığında güneşin %90'ı hidrojen, %10'u helyumdan oluşmaktadır. Bunun yanında çok az miktarda da ağır metaller içermektedir (Kılıç vd, 2016).



Şekil 2.1. Dünya güneş enerjisi haritası (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2009)

Dünya'ya güneşten, 150 milyon km kat ederek gelen enerji, dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 15 bin katıdır. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, aşağı yukarı sabit  $1370 \text{ W/m}^2$  değerindedir, ancak yeryüzüne düşen enerji miktarı  $0-1100 \text{ W/m}^2$  değerleri arasında değişim göstermektedir (Kılıç vd, 2016). Dünyanın güneşten aldığı enerji miktarının yılda 1.5 katrilyon ( $1.5 \times 10^{15}$ ) MW/h olduğu düşünülürse bu enerji miktarı dünyada insanların 1 yılda tükettiği enerjinin 28000 katına eşdeğerdir. Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, yeryüzüne 90 dakikada gelen güneş ışığı, tüm dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayacak miktardadır (Kılıç, 2015).

Güneş radyasyonunun enerji olarak %46'sı spektrumun kızılötesi bölgesinde, %45'i görünür ışık bölgesinde geri kalan yüzdesi de mor ötesinde bulunur. Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz, %30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır, %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Güneşten gelen ışınımının %20'si ise, atmosfer ve bulutlarda tutulur. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde ancak yaşam mümkün olur. Rüzgar hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma sebep olur (Antalya Güneş Enerjisi, 2016).

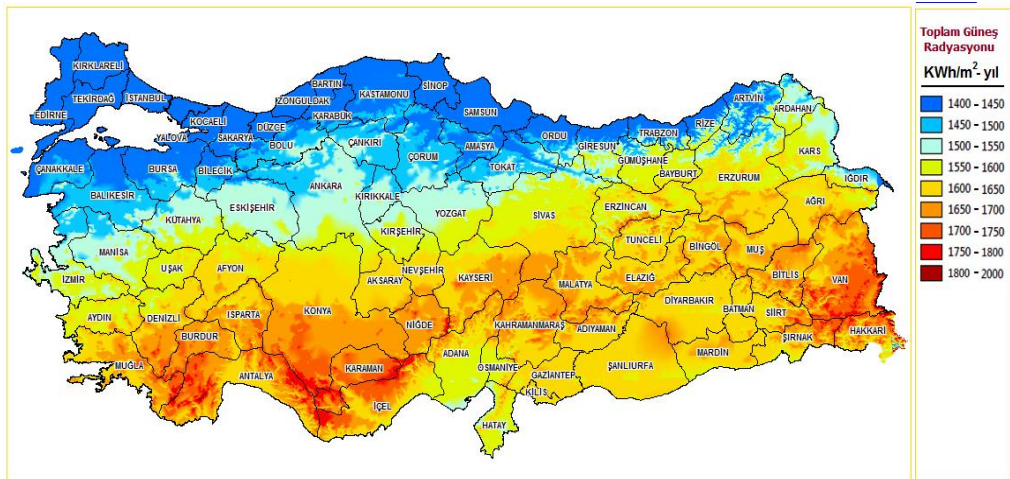
Dünya'ya gelen bütün güneş ışınımı, sonunda ısıya dönüşür ve uzaya geri verilir. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri, teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş ve güneş enerjisi çevresel bakımdan temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (Kılıç vd, 2016). Güneş fotovoltaik santralleri günümüzde fosil yakıtlara dayalı enerji santrallerine rekabetçi bir alternatif olduğu için teknoloji dünya çapında hızlı bir şekilde genişlemeye devam etmektedir (Fernández vd, 2019).

Enerji sorununun üstesinden gelmek için, bilimsel ve teknolojik gelişmelere ve gerçek dünya etkisine açık bir yolla ilerlemeye ihtiyaç vardır. 2015 yılında Birleşmiş Milletler (BM), 2030 yılına kadar herkes için evrensel temiz enerji sağlamayı amaçlayan Hedef 7 - Herkes için Uygun Fiyatlı ve Temiz Enerji ile Sürdürülebilir Kalkınma Hedefini açıklamıştır. Yenilenebilir enerjinin nihai



enerji tüketimindeki payı 2015 yılında %17,5'e yükselmiş ve 2030 yılına kadar uygun fiyatlı, güvenilir ve modern enerji hizmetlerine evrensel erişimin sağlanması, yenilenebilir enerji, enerji şekil ve ileri ve daha temiz fosil yakıt teknolojisi dahil olmak üzere temiz enerji araştırma ve teknolojisine erişimin kolaylaştırılması ve enerji altyapısı ve temiz enerji teknolojisine yatırımın teşvik edilmesi için uluslararası işbirliğinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır (United Nations, 2015). Enerji ortamındaki önemli değişikliklerle birlikte, özellikle nükleer enerjinin durumu ve iklim değişikliğinin yeniden değerlendirilmesiyle PV 'nin küresel elektrik payının 2050 yılına kadar %16 'ya ulaşması düşünülmektedir. 2013 yılında 100 megawatt (MW) kapasite ile yeni sistemler kurulurken, 2014 yılının başlarında toplam küresel kapasite 150 gigawatt (GW) olarak belirlenmiştir (International Energy Agency, 2014).

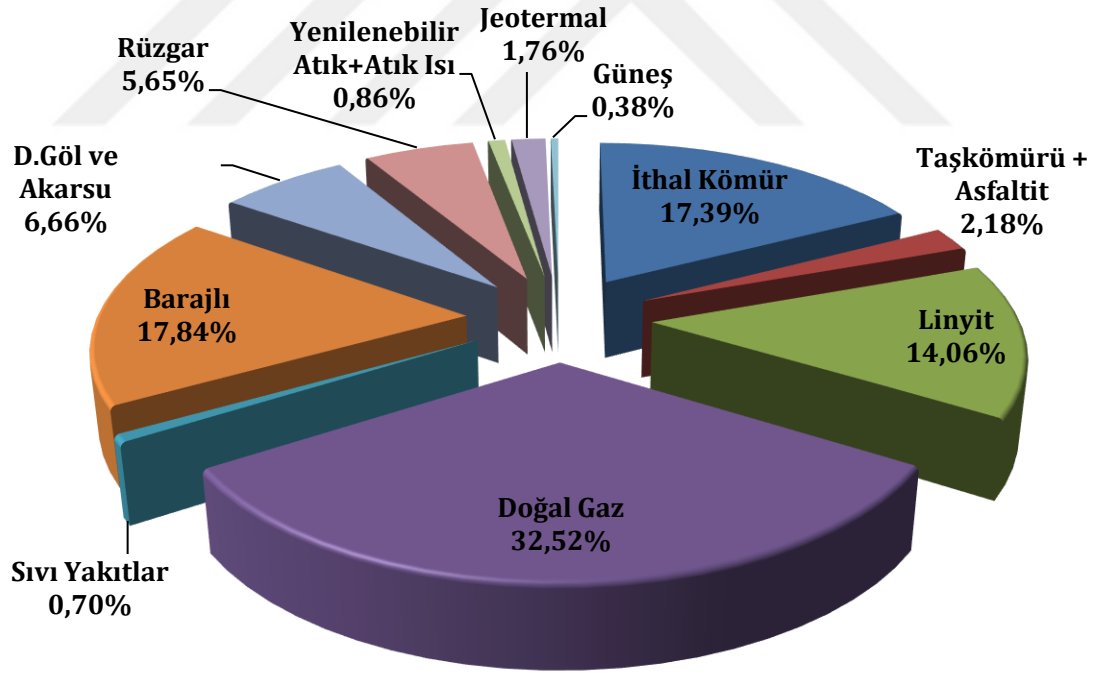
Ülkemiz, güneş kuşağı adı verilen ve güneş enerjisince zengin bir bölgede yer almasına rağmen, güneş enerjisinden yeterli miktarda faydalanamamaktadır. Ülkemizde ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.640 saat, yıllık güneş enerjisi ışınım şiddeti 1.311 Kwh/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir (Varınca vd, 2006). Türkiye'de güneş enerjisi nihayet ilk kez 2014 yılında kurulu güç pastası içindeki yerini alabilmiştir (Kılıç, 2015).



Şekil 2.2. Türkiye güneş enerjisi haritası(Ürün ve Soyu, 2016)

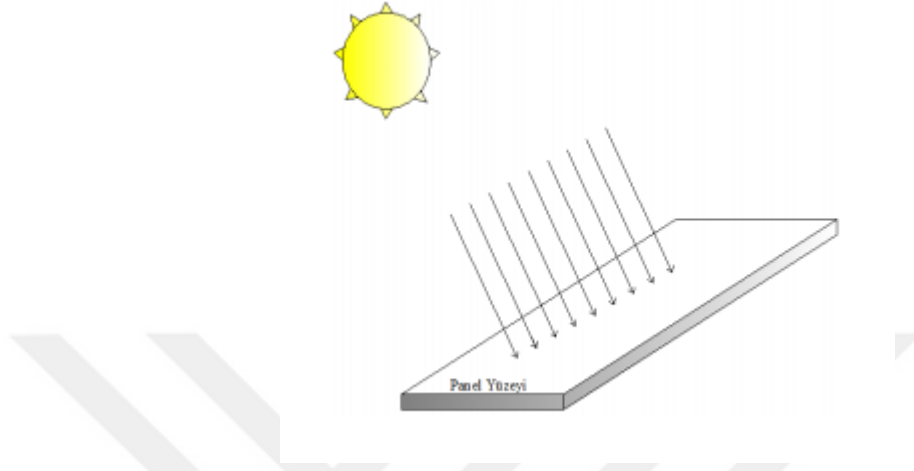
Ülkemiz, 2006 yılında enerji ithalatına 28 milyar dolar ödemiştir. Dış Ticaret açığımızın 40 milyar doların üzerinde olduğu ve bu açığı oluşturan en önemli kalemin enerji ithalatına ödediğimiz bedellerin oluşturduğu gözlemlenmektedir (Aras vd, 2012). Fotovoltaik enerjinin yenilenebilir enerji pazarına katılımını arttırmak için öncelikle faydaları konusunda farkındalık yaratılması gerekir. Yeni teknolojilerin araştırma ve geliştirmesini arttırmak, fotovoltaik enerji üretimini teşvik edecek programlar uygulamak farkındalık için birer örnektir (Sampaio ve González, 2017).

TEİAŞ 'ın 2016 yılındaki Türkiye'nin elektrik enerjisi üretimde kaynaklara göre dağılımına bakıldığında, doğalgaz %32 'lik bir oranla elektrik enerjisi üretiminde başı çekmektedir. Fakat hidroelektrik santrallerinden üretilen enerji ise yaklaşık %18 oranındadır, hatta ithal kömür ve linyiti geçmiştir. Rüzgâr enerjisinin payı %6 'ya yaklaşmış (%5,65), güneş enerjisinin payı (%0,38) ise diğer enerji kaynaklarına göre düşük kalmıştır (Yılmaz vd, 2018).



Şekil 2.3. 2016 yılındaki Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Yılmaz vd, 2018).

Her ne kadar güneş enerjisi kullanımı zamanla artış gösterse de, güneş enerjisinden elektrik üretiminin, daha az maliyetli ve daha verimli paneller geliştirilmediği sürece, geleneksel olarak üretilen elektrikle rekabet edemeyeceği öngörülmektedir (Faiers ve Neame, 2006).



Şekil 2.4. PV panel yüzeyi ile güneş enerjisinin gösterilişi

Fotovoltaik panellerden güneş enerjisi kullanımı son yıllarda büyük bir rol oynamaya başlamıştır. Her ne kadar bu büyüme batı ülkelerinin hemen hemen tamamını kapsamasına rağmen, fotovoltaik üretim kapasitesinin bölgesel dağılımında belirgin farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılıkların genel olarak iklim koşullarıyla ve özel olarak güneş radyasyonu ile zayıf bir şekilde ilişkili olduğu görülmektedir. Fotovoltaik enerji üretiminin iklim, talep, gelir gibi yerel faktörlere bağlı olup olmadığını amaçlayan çalışmalar, fotovoltaik üretim kapasitesinin bölgesel dağılımının güçlü mekansal bağımlılıktan etkilendiğini ortaya koymuştur (Copiello ve Grillenzoni, 2017). Tüm bunların yanında ülkemizin bölgesel güneş enerjisi potansiyeli Çizelge 2.1 'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (Yılmaz vd, 2018).

<b>BÖLGE</b>	<b>Toplam Güneş Enerjisi kWh/m<sup>2</sup> -yıl</b>	<b>Güneşlenme Süresi (saat/yıl)</b>
<b>G.DOĞU ANADOLU</b>	1460	2993
<b>AKDENİZ</b>	1390	2956
<b>DOĞU ANADOLU</b>	1365	2664
<b>İÇ ANADOLU</b>	1314	2628
<b>EGE</b>	1304	2738
<b>MARMARA</b>	1168	2409
<b>KARADENİZ</b>	1120	1971

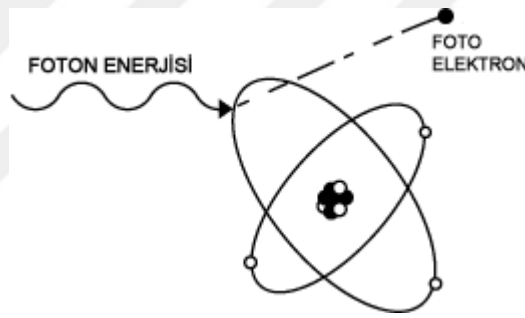
Bu potansiyelin kullanılması ise ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlayacaktır. Doğalgaz, kömür ve petrol gibi tükenmekte olan doğal kaynaklara bağımlılığın azalması açısından da önem taşımaktadır. Güneş enerjisi temiz ve güvenilir enerji kaynağı olduğundan küresel ısınma gibi sorunlardan kaçınılması açısından uygundur. Ülkemizde de elektrik üretimine en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir (Ürün ve Soyu, 2016).

Yeni güneş enerjisi teknolojilerinin gelişmesi, dünya çapında artan enerji talebini yerine getirme yolunda birçok önemli çözümden biri olarak kabul edilmektedir (Kabir vd, 2018). Günümüzde fotovoltaiik (PV) modüller içeren bir tesisteki tüm bileşenlerle ilgili harcamalar, PV modülünün kendisinden daha düşük maliyetlidir. Bu nedenle, PV elektrik üretiminin toplam maliyetini daha da azaltmak için invertörlere, montaj yapılarına ve planlama özelliklerine ek olarak işletme ve bakım maliyetlerine daha fazla önem verilir (Pearsall, 2017). Brötje vd. (2018) yaptıkları çalışmada, fotovoltaiik termal (PVT) toplayıcıların tasarım gerekliliklerinin, ısı veriminin optimizasyonundan daha yüksek önceliğe sahip olduğuna değinmişler ve montaj kusurlarının sistemin verimini düşürücü etki gösterdiğini vurgulamışlardır (Brötje vd, 2018).

## 2.2. Fotoelektrik Etki

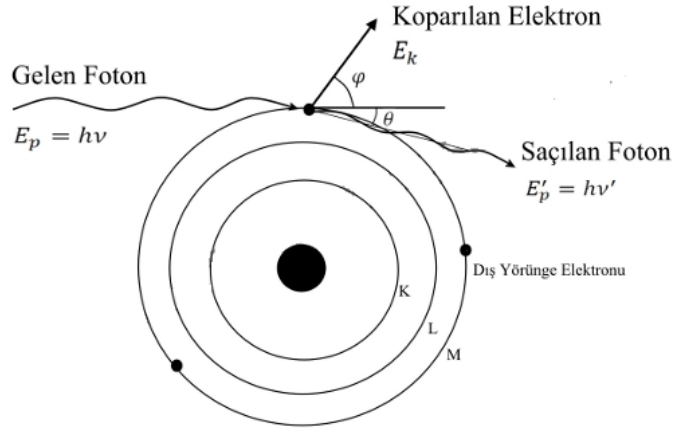
1905 yılında Einstein, kuantum kuramını genişleterek ışığın kendisinin foton değil, ışık kuantumlarından oluştuğunu ileri sürmüş ve fotokimyanın temel işlemi olan “ fotoelektrik olayı” açıklamıştır. Einstein’ın bu çalışması kuantum kuramına başlangıçta büyük bir destek sağladığı gibi kendisine de 1921 yılında Nobel ödülünü kazandırmıştır (Yürük, 2012).

Fotoelektrik etki; bir kaynaktan yayılan ışık veya daha yüksek enerjili elektromanyetik dalganın (morötesi ışın veya X-ışını), bir madde (metaller, metal olmayan katılar, sıvılar veya gazlar) yüzeyine düşmesi sonucunda, maddeden elektron yayınlanması olayıdır. Maddeden yayınlanan bu elektronlar, fotoelektron olarak adlandırılır (Yürük, 2012).



Şekil 2.5. Fotoelektrik etki (Kandemir, 2012).

Fotoelektrik olayı, ilk olarak Heinrich Rudolf Hertz tarafından, elektromanyetik dalgaların varlığı deneysel olarak gösterilmeye çalışılırken gözlemlenmiş olduğundan, bu olaya Hertz etkisi denir. Olay, deneysel olarak gözlemlenmiş, fakat 1905 yılında Albert Einstein tarafından açıklanana kadar olaya klasik fizik yasaları ile bir anlam verilememiştir.



Şekil 2.6. Fotoelektrik etki mekanizması (Kandemir, 2012).

Maxwell'in klasik dalga kuramına göre; yayılan elektronların enerjisi, çarpan ışığın şiddeti ile orantılı olmak durumundadır. Ancak, gözlemler sonucunda, yayılan elektronların enerjisinin, ışık şiddetinden bağımsız olduğu belirlenmiştir. Einstein Planck'ın foton kuramını dikkate almış bu kurama bir açıklama getirmiştir. Buna göre gelen ışık dalga değil, foton adında ve her biri  $E=h\nu$  enerjisine sahip parçacıklardan oluşuyordu. Buna göre, ışığın şiddetini arttırmak, birim zamanda yayılan foton sayısını arttırır. Ancak, frekans ışık şiddetinin sabit tutulması sonucunda, her fotonun enerjisi de sabit kalmıştır. Foton, madde yüzeyindeki bir elektrona çarptığında,  $h\nu$  enerjisinin bir kısmı, elektronun madde yüzeyinden sökmek için harcanır. Bu enerjiye maddenin iş fonksiyonu denir  $\phi$  ile gösterilir. Geri kalanı ise elektronun kinetik enerjisi olarak aktarılmaktadır.

Bu etkinin tam tersi de, benzer şekilde de gözlemlenebilir. Bir elektron bir yüzeye çarptığın zaman, o yüzeyden bir elektromanyetik dalga yayılır. Eğer, enerjinin korunumu yasası bu duruma uygulanırsa, aşağıdaki ilişki yazılabilir:

Çarpışmadan önceki toplam enerji = Çarpışmadan sonraki toplam enerji

Bu ilişki aşağıdaki eşitlik ile tanımlanabilir.

$$E_k = h\nu - \phi \quad (2.1)$$

Burada,  $E_k$  elektronun kinetik enerjisi,  $hxf$  yayılan dalğanın enerjisi ve  $\varphi$  maddeye özgül bir sabit olan, elektronu maddeden dışarı atmak için gereken enerjidir. Bu sabit, çoğu zaman çok küçük olduğu için  $E_k = hxf$  diyebiliriz. Burada;  $h$  Planck sabiti,  $f$  ise dalğanın frekansdır.

Bu eşitlik sayesinde, bir elektron maddeye çarptığında ortaya çıkan dalğanın frekansını veya bir dalga bir maddeye çarptığını zaman, saçtığı elektronun kinetik enerjisini bulabiliriz. Işığın kinetik enerjisi yalnızca ışığın frekansıyla doğrusal bir ilişki gösterir. Metalin eşik frekansı,  $\varphi$  iş fonksiyonunu tanımından, aşağıdaki gibi belirlenir.

$$f = \frac{\varphi}{h} \quad (2.2)$$

Eşik frekansı veya iş fonksiyonu biriminden  $hxf < \varphi$  olması durumunda, elektron koparılamayacaktır. Böylece, eşik frekansı doğrulanmıştır. Elektron koparılması ancak  $hxf > \varphi$  durumunda mümkündür. Böyle bir durumda,  $hxf - \varphi > 0$  olacağından, buradan açığa çıkan katkı kopan elektronun kinetik enerjisi olacaktır. Einstein tarafından verilen bu kuramsal olay, Millikan tarafından yapılan deneylerle doğrulanmıştır.

Fotovoltaik sistem tasarımı, mevcut iklimsel bilginin tasarımın detaylı görevi için başarıyla kullanılmasına bağlıdır. Performans sağlanması için tasarımın risk bağlamında değerlendirilerek arz ve talebin uygun enerji depolama stratejileri ile eşleştirilmesi gerekir. Sıcaklık verileriyle güneş radyasyonu verileri bağlantılı olduğu için gündüz ve gece sıcaklıkları farklı etki göstermektedir. Günlük ortalama sıcaklık genellikle sahadan geçen havanın kaynağı tarafından belirlenir. Bu nedenle, güneş hareketlerinin geometrisinin doğru bir şekilde anlaşılması gerekir (Page, 2012).

### 2.3. Güneş Pillerinin Özellikleri

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları özellikle en yaygın olan silisyum güneş pillerinde 0.2 – 0.4 mm arasındadır.



Şekil 2.7. Fotovoltaik dizi

Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pillerin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Deniz seviyesinde, parlak bulutsuz bir gündeki 8 ışınım şiddeti maksimum 1100 W/m<sup>2</sup> civarındadır. Yöreye bağlı olarak 1m<sup>2</sup> 'ye düşen güneş enerjisi miktarı yılda 800 - 2600 KWh arasında değişir. Bu enerji, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 - % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

### 2.4. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretme Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Güneş enerjisinden elektrik üretimi başlıca iki yöntem uygulanır:

1) Dolaylı yöntem: Güneşten ısıl yöntemle elektrik üretimidir. Güneş enerjisinin yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak odaklanması sonucunda, üretilen kızgın buhardan, bilinen yöntemlerle elektrik üretilir (Tabak vd, 2015).



2) Doğrudan yöntem: Fotovoltaik, termoelektrik ve termoiyonik çeviriciler yer alır. Büyük miktarda elektrik üretimi için sadece fotovoltaik pv sistemler kullanılabilir (Tabak vd, 2015).

Güneşten PV sistemlerle elektrik üretimi 1954 yılında gerçekleştirilmiş olmasına karşın, ilk güneş ısıl elektrik santralleri 1970'lerin sonunda kurulmuştur. Güneş enerjisi termal kolektörlerindeki ısı boruları, durgunluk dönemlerinde kuruma sınırlarından yararlanarak güneş devresindeki sıcaklık yüklerini azaltmayı sağlar. Bu yaklaşımla, güneş enerjisi devresindeki buhar oluşumundan tamamen kaçınılabilir. Bu durum güneş enerjisi sistemlerinin basitleştirilmiş ve daha güvenilir güneş enerjisi devrelerinin maliyetlerini azaltmak için gereklidir. Aşırı ısıtılmış buharın durgunluk sırasında ısı borusundaki etkisi de dikkate alınır (Schiebler vd, 2018).

Talbi vd, (2018), yaptıkları bir çalışmada fotovoltaik güneş enerjisinin ısınmasını modellemişler, ısıtma dirençlerinin ısıl çalışmasını düzenleyen termal modellerden ve geliştirilen ölçüm ekipmanından yararlanılarak 800 W/gün güneş ışınımı altında 2144 W derecesinde elektrik gücü ve 35 °C ortam sıcaklığında % 60 ve % 72 'ye ulaşan ısıl verimler elde edilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar, ısıtma dirençlerinin fotovoltaik paneller tarafından sağlanan elektrik enerjisi ile uyumlu çalıştığını göstermektedir (Talbi vd, 2018).

Güneş enerjisinden yararlanmak için kurulan sistem yoğunlaştırıcı, üst ayna ve alt aynadan oluşur. Üst ayna güneş ışınlarının fotovoltaiklere konsantre olmasını sağlarken alt ayna, kızılötesi ve ultraviyole spektrumlarının bir solar termokimyasal reaktöre konsantre olmasını sağlar (Qu vd, 2019). Fotovoltaik bir modülden sağlanan güç çıkışı, güneş hücrelerine ulaşan ışınım miktarına bağlıdır. Güneş ışınımı ve hücre sıcaklığı, bir fotovoltaik (PV) modülün performansını etkileyen iki faktördür. Bu faktörlere ek olarak, modül tarafından toplanan enerji miktarı, genel sistemin diğer bileşenlerinin güvenilirliği ve çevresel koşullar gibi diğer faktörlere de bağlıdır (Maghami vd, 2016). Bölgesel ve yerel ölçeklerde arazi (kabartma) yüksekliği, yüzey eğimi (eğim) ve oryantasyon (en-boy) değişkenliği ve arazinin gölge özelliği radyasyon dağılımını değiştiren ana faktörlerdir (Hofierka ve Süri, 2002).

Hava koşullarının fotovoltaik (PV) hücre oranı üzerindeki etkisi, PVT sisteminin genel termal enerji çıkışı ve şebekeye entegrasyonu üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (Shehadeh vd, 2019). Panelin güneş ışığı yönüne ve rüzgâra bağlı konumu, kirlenme işleminde de önemlidir. Yüzey ne kadar yatay olursa, o kadar fazla toz birikebilir. Bununla birlikte, rüzgar nedeniyle oluşan hava akımı güneş panelinin belirli yerlerinde toz birikimini veya dağılmasını etkileyebilir (El-Shobokshy ve Hussein, 1993).

Toz birikiminin güneş panelleri üzerindeki etkisini araştırmak için Hottel ve Woertz, (1942) tarafından Boston, Massachusetts'ten 90 m uzaklıktaki dört raylı bir demiryolu yakınlarındaki endüstriyel bir alanda üç ay süren test yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre güneş panelinin yüzeyinde 30° eğim açısında biriken toz nedeniyle en az % 1 en fazla % 4,7 güneş radyasyonu kaybı meydana gelmiştir (Hottel ve Woertz, 1942).

Maghami vd. (2016), güneş panelinde kirlenme nedeniyle ortaya çıkan güç kaybının anlaşılması, performans etkileri ve hafifletilmesine olan önemli katkıları üzerine çalışmışlar ve fotovoltaik sistemdeki elektriksel verimi, kirlenmelere bağlı olarak ele almışlardır. Kirlenme nedeniyle gölgelendirme etkisi meydana gelmekte ve biriken tozlar güneş ışığını engellediğinden fotovoltaik modül tarafından sağlanan akımı etkilediğini göstermiştir (Maghami vd, 2016).

El-Shobokshy ve Hussein, (1993) tarafından toz birikiminin fotovoltaik hücrelerin yüzeyi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiş ve çalışmada kullanılan toz, laboratuvarında hazırlanarak parçacıkların boyut dağılımını belirlemek için optik bir mikroskop altında incelenmiştir. Kontrollü deneyler yapmak için halojen lambalardan oluşan bir güneş simülatörü kullanılmış ve deney sonucunda fotovoltaik panel üzerindeki toz biriktirme yoğunluğu belirlenmiştir. Toz birikme yoğunluğunun kısa devre akımı, çıkış gücü ve dolum faktörü üzerindeki etkisi belirlenerek fotovoltaik hücrelerin performansını önemli ölçüde bozduğu sonucuna varılmıştır (El-Shobokshy ve Hussein, 1993).

Kirlenme terimi, fotovoltaik (PV) panellerde; kar, kir, toz, yaprak, polen ve kuş birikintilerinin birikimini tanımlamak için kullanılır. Bir PV modülünün performansı yüzey kirlenmesi ile azalır ve PV modülünün ürettiği enerjide önemli bir düşüşe yol açar. Verimliliğin artması için, PV panellerde ve aynalarda haftalık temizlik ve yoğun toz birikmesi durumunda günlük yıkama gibi öneriler verilmektedir (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, 2013).

## **2.5. Güneş Enerjisi Uygulama Alanlarının Sınıflandırılması**

Güneş enerjisi uygulamalarını sıcaklık aralığına göre;

- Düşük sıcaklık (20-100 °C)
- Orta sıcaklık (100-300 °C)
- Yüksek sıcaklık (> 300 °C), şeklinde özetlenebilir (Bulut, 2009).

### **2.5.1. Düşük Sıcaklık Uygulamaları**

- Kullanım sıcak suyu elde edilmesi
- Konut ısıtılması ve soğutulması
- Sera ısıtılması
- Kurutma
- Yüzme havuzu ısıtılması
- Güneş ocakları ve fırınları
- Deniz suyundan tatlı su elde edilmesi
- Tuz üretimi (Bulut, 2009).

### **2.5.2. Orta Sıcaklık Uygulamaları**

- Endüstriyel kullanım için buhar üretimi
- Büyük ısıtma soğutma sistemleri
- Elektrik üretimi (Bulut, 2009).

### **2.5.3. Yüksek Sıcaklık Uygulamaları**

- Güneş fırınları
- Güç santralleri (Bulut, 2009).

### **2.5.4. Diğer Uygulamalar ;**

- Aktif sistemler
- Pasif sistemler
- Fotovoltaik uygulamalar (Bulut, 2009).

## **2.6. PV Elektrik Üretiminin Avantajları ve Dezavantajları**

### **2.6.1. PV Elektrik Üretiminin Avantajları**

- Güneş radyasyonunu elektrik enerjisine çeviren tüm doğrudan enerji dönüştürücüleri içinde en yüksek verime sahip olanıdır. (Laboratuvarlarda özel olarak imal edilmiş deneysel hücreler %24 civarında bir verime ulaşabilmektedirler). (Taşcıoğlu,2015)
- İletim hattına gereksinimleri yoktur ve ihtiyacın olduğu yerde kurulabilir.
- Kurulması çabuk ve kolaydır.

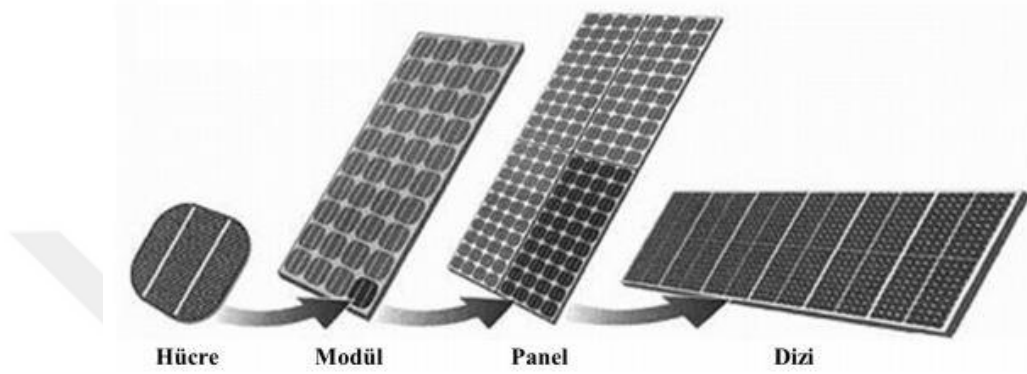
- İhtiyaca göre kapasitesi kolaylıkla arttırılabilir ya da azaltılabilir.
- Modüler yapısı nedeniyle bir panel devre dışı kalsa bile diğerleri elektrik üretmeye devam eder.
- Bakım gereksinimi yoktur.
- Oldukça uzun ömürlüdür (teorik olarak sonsuz olmasına karşın ortalama olarak 20-25 yıl).
- Sessiz ve temizdir. Çevre kirlenmesine neden olmaz.
- Seri üretim için uygundur.
- Birim ağırlık başına yüksek çıkış gücüne sahiptir.
- Ham maddesi olan silisyum dünyada en bol maddelerdendir. Petrol, kömür, bakır gibi tükenen maddeleri kullanmaz.
- En uzak kırsal alanlara enerji sağlayarak şehirlere göçü ve çarpık şehirleşmeyi engelleyebilir.
- Sulamada kullanılarak Güneydoğu Anadolu gibi güneşli fakat çorak yörelerin tarım ve toplumsal yönden gelişmesini sağlayabilir.

### **2.6.2. PV Elektrik Üretiminin Dezavantajları**

- İlk yatırımı yüksektir.
- Üretilen akım doğru akım olduğundan, ya doğru akımla çalışan cihazlar ya da çeviriciler kullanılmaktadır.
- Sürekli üretim yapamadığı için üretilen enerjinin bir akü ile depolanması gerekmektedir.
- Güneşlenme yönünden zengin bölgelere ihtiyaç vardır.
- Her kW güç için yaklaşık 10 m<sup>2</sup> alana gerek vardır.

### 3. PV PANELLER VE ÇEŞİTLERİ

PV panellerin yapıldığı malzemeye göre sahip oldukları özellikler değişmektedir. Laboratuvar şartlarında PV panellerin verimlilikleri kullanılan malzemeye göre değişmektedir. PV panel türleri ve özellikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.1. Fotovoltaik dizi oluşumu (Şençiçek, 2017)

Şekilde görüldüğü gibi; PV diziler panellerden, paneller modüllerden, modüller hücrelerden oluşmaktadır.

#### 3.1. Monokristal Piller

Monokristal silikon üretiminde 'Czochralski Metodu' olarak bilinen üretim yöntemi kullanılmaktadır. 1971 yılında geliştirilen bu yöntemde Czochralski, silisyum dioksit ( $SiO_2$ ) bileşimini bir kaba koymakta ve çok yüksek sıcaklıkta eritmektedir. Daha sonra küçük bir aşı kristali erimiş malzemenin içine batırılmakta ve yavaş yavaş yukarı, soğuk bölgeye doğru çekilmektedir. Bu işlem sonucunda uzun ve tek kristalli silindir elde edilmiştir. 30 cm çapında ve birkaç metre boyutunda oluşan tek kristalli silindir malzeme dairesel, dikdörtgen veya çokgen olacak şekilde ve 0,2-0,3 mm kalınlıklarında dilimlenmektedir. Ortaya çıkan bu tabakalar güneş pillerinin P-tipi yarı iletken malzemesidir. N-tipi yarı iletken malzemesi daha düşük kalınlıktadır. P-tipi ve N-tipi yarı iletken malzeme bir araya getirilerek bağlantılar yapılır, birbirlerine ayrılmayacak şekilde özel yapıştırıcılar ile tutturulur. En son işlem olarak da

yansıma önleyici cam tabaka yapıştırılarak güneş pili oluşturulur. Monokristal silikon pillerin rengi koyu mavi-siyah aralığında bir renktir. Aynı zamanda tek-kristal silisyum (tek-kristal-Si) olarak adlandırılır. Aşağıdaki şekilde monokristal panelin yapısı verilmiştir.



Şekil 3.2. Monokristal panel (Arslan, 2018)

Monokristal silikon piller güneş pili üretim teknikleri arasında en eski yöntemdir. Monokristal güneş pilleri tüm silikon güneş pillerinin en yüksek verimli hücreleridir, ancak üretimi en yüksek maliyetlidir. Endüstriyel olarak kullanılan en yaygın fotovoltaik hücrelerden bir tanesidir. Kalite ve verimlilik açısından monokristal güneş pilleri yüksek verimli monokristal hücrelerden oluşmuşlardır. Bu paneller polikristal fotovoltaik hücrelere göre daha yüksek verimlilikle çalışmaktadır. Buna karşın üretiminde kullanılan teknoloji sebebiyle üretim süreci uzun sürmektedir ve dolayısıyla birim fiyatı daha yüksektir. (L.A. Dobrzański, 2012) Laboratuvar çalışmalarında monokristal tek bir güneş pili hücresinin verimliliği % 24 oranına ulaşır. Ancak bu hücrelerden üretilen monokristal panelin uygulamada ki verimliliği % 17 civarındadır. (R. Ciach, J. ĩelazny, 2005 B. Parida, S. Iniyar, R. Goic, 2011)

Bu değer güneş pilinin kullanım yerine, maruz kaldığı güneş ışınlarının açısı ve değerine göre değişiklik göstermektedir.

### **3.2. Polikristal Piller**

Polikristal silisyum üretimde kullanılan yöntem monokristal silisyum yöntemine benzemektedir. Çok kristalli silisyum üretim teknolojileri daha

kolaydır. Üretimde en çok kullanılan yöntem dökme yöntemidir. Polikristal yapılı silisyum, eriyik haldeki yarı iletken silisyumun kalıplarda soğutulması ile elde edilir. Soğuyan yarı iletken, monokristal güneş pili yapımında olduğu gibi dairesel, dikdörtgen veya çokgen olacak şekilde ve 0,2-0,3 mm kalınlıklarında şekil 3.3. deki gibi kare dilimlenmektedir. Daha sonra yarı iletken malzemeler bir araya getirilerek bağlantılar yapılır ve birbirlerine ayrılmayacak şekilde özel yapıştırıcılar ile tutturulur. En son işlem olarak da yansıma önleyici cam tabaka yapıştırılarak güneş pili oluşturulur.



Şekil 3.3. Polikristal panel (Arslan, 2018)

Polikristal silisyum üretiminde Czochralski yöntemi veya başka bir saflaştırma yöntemi kullanılmadığından oluşan polikristal silisyumlar homojen değildir. Bundan dolayı polikristal güneş pilleri kalite ve verimlilikleri monokristal güneş pillerine göre daha düşüktür. Polikristal silisyum yapımındaki kolaylıktan dolayı fiyatı monokristal güneş pillerine göre daha düşüktür. Polikristal güneş pillerinde yansımayı engelleyici cam varsa mavi renkte görünmektedir, yansımayı engelleyici cam yoksa gümüş rengindedir.

Monokristal pille göre kullanım alanı daha yaygındır. Bunun en büyük nedeni ise daha kolay ulaşılabilir ve buna bağlı olarak daha uygun fiyatlı olmasıdır. Bu nedenle fayda/maliyet oranı yüksektir ( Pathak, M.J.M., Sanders, P.G., Pearce, J.M , 2014). Polikristal fotovoltaik güneş pillerinin verimlilik oranları yaklaşık % 13 civarındadır.



### 3.3. İnce Film Piller

İnce film güneş pilleri; emilim özelliği iyi olan maddeler kullanılarak daha az kalınlıkta yapılırlar. Örnek verilirse; amorf silisyum güneş pillerinin absorpsiyon katsayısı kristal güneş pilleri katsayısında daha fazladır. Dalga boyu katsayısı 0,7 mikrondan daha az olan bir bölgedeki güneş radyasyonunu emmek için 1000 mikron kalınlığında amorf silisyum gerekli iken kristal silisyum ile aynı radyasyonu emmek için 5000 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir.

İnce film hücreler, yarı iletken malzemelerin geniş yüzeyler üzerine kaplanmasıyla oluşmaktadır. Böylelikle farklı özelliklere sahip yarı iletken kullanılarak, farklı karakteristik özelliklere sahip piller üretilmiştir. Yapılan araştırmalarda güneş pilleri üretiminde kullanılacak birçok yarı iletken malzemenin düşük maliyetlerle cam, paslanmaz çelik ya da plastikten yapılmış geniş yüzeylere uygulanabildiği ispatlanmıştır. İnce film pillerde kullanılan yarı iletken malzemelerin büyüklükleri; bir milimetrenin binde birinden, milyonda birine kadar değişen damarlardan oluşmaktadır. Bunlarda dolayı ince film güneş panelleri esnek bir yapıya sahip olmaktadır. İnce film güneş pillerinde daha çok amorf silisyum, kadmiyum ve tellür elementlerinde meydana gelen bileşikler kullanılmaktadır. İnce film güneş pillerinde güneş ışınlarını soğurma oranları çok yüksek olmasına karşın çıkış akımları çok düşüktür. Bundan dolayı çıkış voltajları kristal silisyumlu pillere göre yaklaşık 2-3 kat daha fazla iken akımları bir o kadar küçüktür. İnce film malzeme istenilen birçok malzeme üzerine istenilen boyutta kaplanabilirken, silisyum pillerin boyutları kristalin boyutları ile sınırlıdır. Modül ve panel yapımında ince film malzeme kullanımı daha kolay ve uygundur. Verimleri %5 ile %8 arasında değişmektedir.

Işık yutma oranı yüksek olan bu hücreler, düşük verimlilikleri nedeni ile pazar payının küçük bir bölümünü oluştururlar. İnce film paneller sıcağa daha dayanıklıdır. Ayrıca paneller üzerine herhangi bir gölge düştüğünde gölge dışındaki alanın elektrik üretmesine olanak sağlamaktadır. İnce film fotovoltaiik malzeme genellikle çok kristalli malzemelerdir. Başka bir deyişle ince film yarı-iletken malzeme, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden, milyonda birine

değişen damarlardan oluşmaktadır. İnce film hücreleri laboratuvar ortamında % 13 verime kadar ulaşmıştır. (T. Markvart, L. Castaner, Practical 2006, B. Parida, S. Iniyar, R. Goic , 2011).

Kütle-üretim basittir ve ucuzdur. Homojen görünümü daha çekici görünmesini sağlar. Yeni potansiyel ile birçok uygulamalar açılır, esnek üretimler sağlanabilir. Yüksek sıcaklıklar ve gölgeleme-sahip güneş paneli performansı üzerinde daha az etkilidir. Alan bir sorun olmadığı durumlarda, ince film güneş panelleri düşünülebilir.

### **3.4. Amorf Silikon Piller**

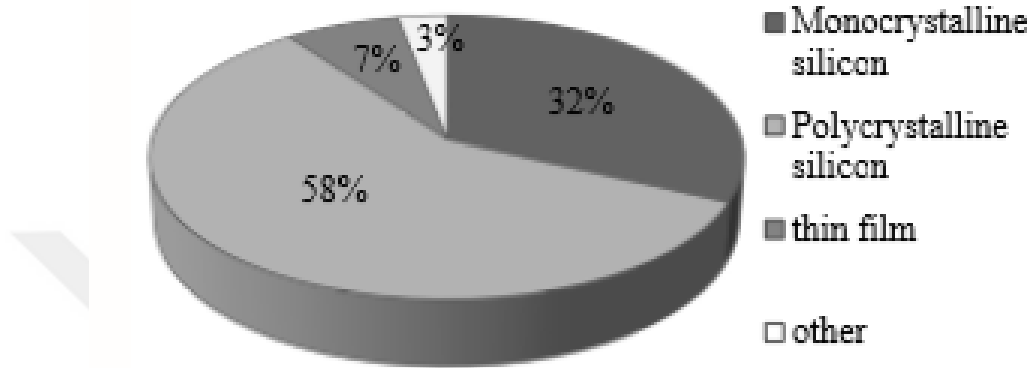
Piller Amorf silikon güneş pillerin silikonları çok ince tabakalardan oluşmaktadır. Bu pilleri oluşturmak için gerekli ısı, kristal silikon piller için gerekli ısıdan çok daha düşüktür. Bundan dolayı amorf silikon hücreleri üretmek çok daha ucuzdur. Laboratuvar ortamında bu pillerin verimlilikleri %10 civarında iken piyasada kullanılan pillerde bu verimlilik %5 ile %7 arasında değişmektedir. Bundan dolayı bu piller enerji ihtiyacı çok fazla olmayan yerlerde tercih edilirler. Günümüzde en çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılırlar. En önemli kullanım alanı ise binalarda entegre olarak yarı saydam cam yüzeyler, binanın dış cepheleridir. Maliyetleri düşük olmasına karşın verimlilikleri de düşüktür .

### **3.5. Bakır İndiyum Diselenit Piller**

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı gruptan elementlerin en az üçünün bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşik yarı iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumunu ile ideal bir şekilde uyuyacak biçimde ayarlanabilir. Bakır, indiyum ve selenyumdan yapılan üçlü bileşik (CuInSe) yarı iletkenle başlayan bu grup CIS güneş pilleri olarak anılır.

### 3.6. Diğer Piller

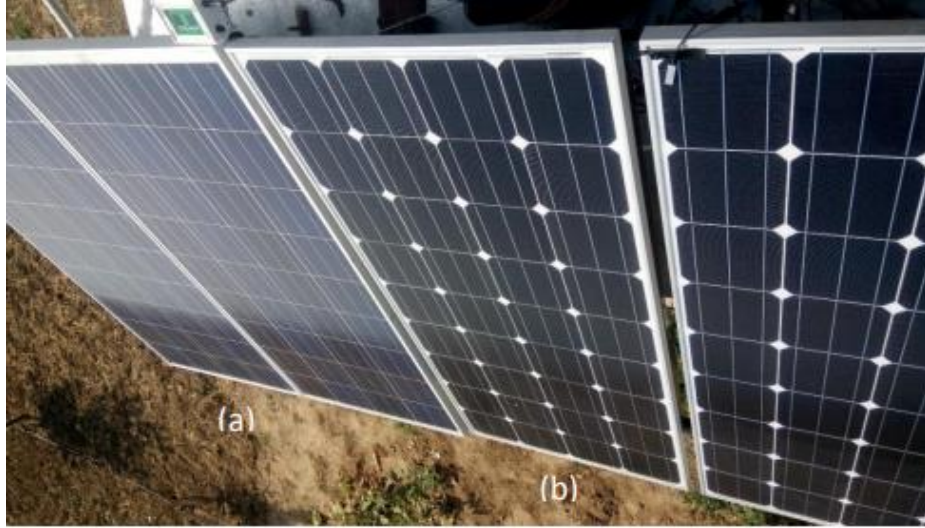
Çeşitli sebeplerden dolayı henüz yaygın kullanım olmamakla birlikte galyum diselenit, kadmiyum telurit, termovoltaik, orta kuşak, süpertandem, sıcak taşıyıcı, organik fotovoltaik piller gibi pil tipleri mevcuttur.



Şekil 3.4. Küresel güneş pili üretiminde farklı tipteki silikonların üretim yoğunluğu (L.A. Dobrzański, 2008)

### 3.7. Monokristal Ve Polikristal Panel Farkları

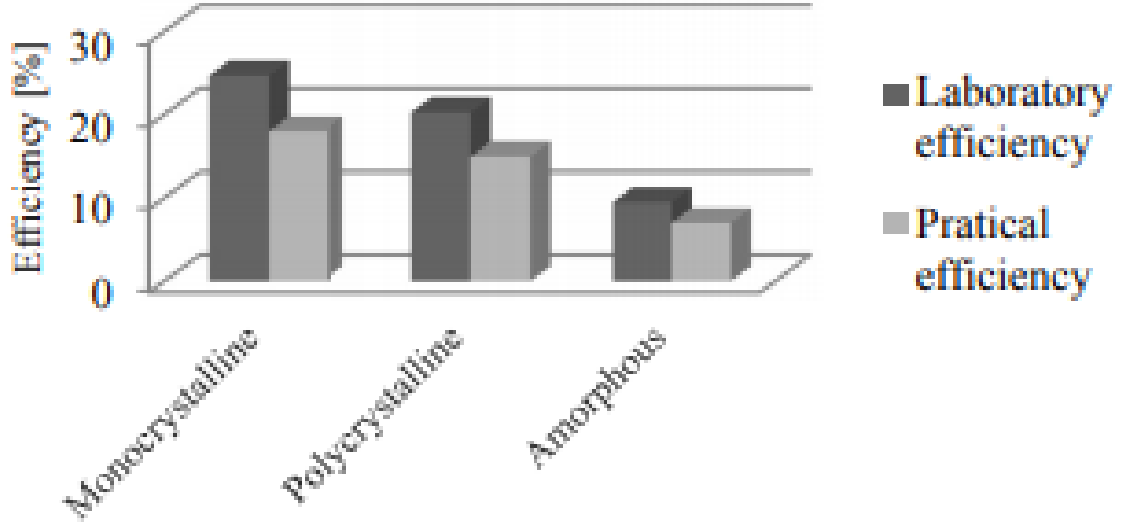
Fotovoltaik panel veya sistemlerin verimlilikleri, koruyucu camın geçirgenliği, atmosferik olaylar, eklem yerlerinin düzgünlüğü, bağlantı düzeneklerinin verimi, güneş ışınlarının geliş açısı ve diğer kullanılan malzemelerin verimliliğine bağlıdır (Taşcıoğlu, 2015). Mono ve polikristal güneş panelleri ayırmak için en iyi bir yol; polikristal solar hücreler yuvarlak kenarlı mı dikdörtgen kenarlı mı bakmaktır. Poly hücreler dikdörtgen kenarlıdır.



Şekil 3.5. Polikristal (a) ve monokristal (b) panel düzeni ön görünüşü (Arslan, 2018)

- Monokristaller yüksek dereceli silikondan yapılmıştır ve bu sebeple en yüksek verimlilik oranlarına ulaşabilir. Pratikte verimliliği %17, laboratuvar ortamında verimliliği %24 e ulaşabilmektedir.
- Monokristal güneş panelleri daha az güneşte daha çok üretim sağlayabilir. Akım, volt değerleri orantılaması farklıdır.
- Monokristal güneş panelleri, sıcak havalarda daha verimli olma eğilimindedir.
- Polikristalin silisyum yapmak için kullanılan yöntem daha basit ve daha az maliyetli. Atık silikon tutarı monokristalin ile karşılaştırıldığında daha düşüktür.
- Polikristalli güneş panelleri; monokristal güneş panellerine göre daha düşük ısı toleransı gösterir.
- Polikristal güneş panelleri monokristal güneş panellerine göre verimi daha düşüktür. Pratikte virimliliği %13, laboratuvar ortamında verimliliği %19 e ulaşabilmektedir.
- Polikristal güneş panelleri, monokristal güneş panellerine göre aynı gücü üreten sistem alanı daha büyüktür.

Şekil 3.6. 'da Laboratuvar ve uygulama koşullarına bağlı olarak silikon hücrelerin verimliliği kıyaslanmaktadır.



Şekil 3.6. Laboratuvar ve uygulama koşullarına bağlı olarak silikon hücrelerinin verimliliği (L.A. Dobrzański, 2008 - E. Radziemska, P. Ostrowski, 2007)

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi monokristal panel laboratuvar ortamında % 24, pratikte % 17 verime ulaşmaktadır. Polikristal panel ise laboratuvar ortamında % 19, pratikte % 13 verimle çalışmaktadır. Amorf silikon paneller ise monokristal ve polikristal panelin altında bir verimle (laboratuvar ortamında % 8, pratikte % 5) çalışmaktadır.

## 4. GÜNEŞ GEOMETRİSİ VE ATMOSFER DIŞI GÜNEŞ IŞINIMI

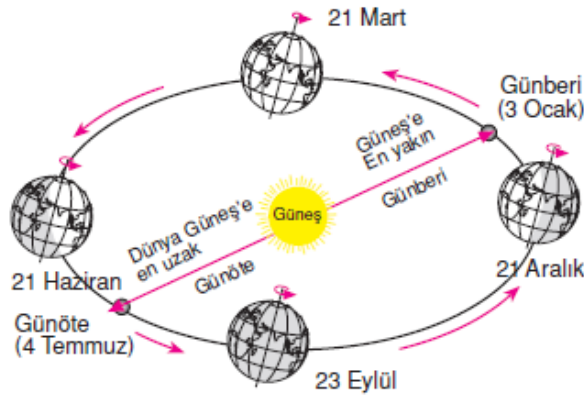
### 4.1. Güneş Sabiti (The Solar Constant) ve Atmosfer Dışı Işınımın Değişimi

Dünyanın Güneş etrafında çizdiği yörünge eksantriktir ve aralarındaki uzaklık % 1,7 kadar değişir. Güneşten yayılan radyasyon, dünya ile bu geometrik ilişkisinden dolayı yeryüzü atmosferi öncesinde yaklaşık olarak sabittir. Buna **güneş sabiti** denir ve  $G_{sc}$  ile gösterilir (Abuşka, 2012).

Güneş sabiti, atmosfer öncesinde ışınım doğrultusuna dik birim alana birim zamanda güneşten gelen enerjidir ve ortalama güneş-dünya mesafesi için değeri  $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$  'dir. Dünya güneş mesafesinin yukarıda bahsedildiği gibi değişken olması güneş sabitinin de günlere göre  $\pm \%3$  değişmesine neden olur. Bu nedenle yılın n. gününde birim alana dik gelen atmosfer öncesi radyasyon (güneş sabiti) aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$G_{on} = G_{sc} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (4.1)$$

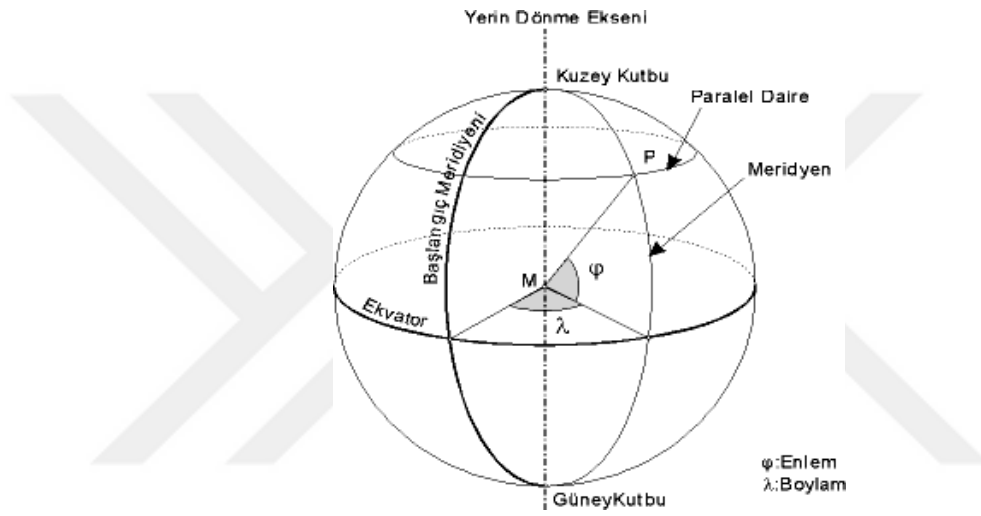
Burada n yılbaşından itibaren gün sayısıdır (Abuşka, 2012).



Şekil 4.1. Dünya ile güneş arasındaki ilişki (Abuşka, 2012).

## 4.2. Güneş Açıları

Herhangi bir anda yeryüzü üzerinde belirli bir yöndeki düzlem ile yeryüzüne gelen direkt güneş ışınımı arasındaki geometrik ilişkiler birkaç değişik açı ile belirlenebilir. Güneş enerjisi ile hesaplamalarda kullanılan bazı açılar ve eğik düzlem için kullanılan açılarla birlikte aşağıda tanımlanmıştır. Güneş açıları yeryüzündeki herhangi bir yüzey ile güneşin pozisyonuna bağlı terimlerdir. Bu açılar ile bu açılar arasındaki ilişkiler aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Abuşka, 2012).



Şekil 4.2. Güneş açıları ve arasındaki ilişki (Abuşka, 2012).

**Enlem Açısı (latitude),  $\phi$**  yeryüzündeki herhangi bir noktayı dünya merkezine birleştiren doğrunun dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açı olarak tanımlanır. Kuzey yarımküre pozitif olmak üzere  $-90^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında değişir.

$$(-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ)$$

İzmir için enlem açısı =  $38,39^\circ$  dir.

**Deklasyon Açısı (declination),  $\delta$** , güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açı olarak tanımlanır. Bu açı dünyanın yörünge düzlemi ile yaptığı  $23^\circ 27'$  lık açıdan kaynaklanır. Dünya güneş etrafında döndükçe  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$  arasında değişim gösterir (Abuşka, 2012).

Deklinasyon açısı Cooper (1996) eşitliğinden şu şekilde hesaplanabilmektedir;

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (4.2)$$

burada, n 1 ocaktan itibaren gün sayısıdır. Aşağıdaki çizelgede ayları temsil eden ortama gün ve çeşitli aylar için “n” değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ayları temsil eden ortalama gün ve çeşitli aylar için “n” değerleri

AYLAR	Belirli bir gün için n değeri	Ayı temsil eden gün	Ortalama gün için n değeri	Deklinasyon “δ”
Ocak	i	17	17	-20,9
Şubat	31+i	16	47	-13
Mart	59+i	16	75	-2,4
Nisan	90+i	15	105	9,4
Mayıs	120+i	15	135	18,8
Haziran	151+i	11	162	23,1
Temmuz	181+i	17	198	21,2
Ağustos	212+i	16	228	13,5
Eylül	243+i	15	258	2,2
Ekim	273+i	15	288	-9,6
Kasım	304+i	14	318	-18,9
Aralık	334+i	10	334	-23

**Eğim Açısı (slope), β**, ele alınan yüzeyin yatay ile yaptığı açıdır. Bu açı örneğin düzlemsel bir kolektör için yapılacak hesaplarda kolektörün yeryüzü ile (yatay) arasındaki açıyı ifade eder. Bu açı kış aylarında daha verimli kullanılmak istenen kolektörler için bulunduğu ilin enlem açısından 15° fazla, yaz aylarında daha verimli kullanılmak isteniyorsa bulunduğu şehrin enlem açısından 15° az alınmalıdır (Abuşka, 2012).

$$0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$$



**Yüzey Azimut Açısı (surface azimuth angle),  $\gamma$** , tam güneyde sıfır, doğuya doğru negatif, batıya doğru pozitif olmak üzere yüzeyin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusundaki açıdır (Kıncay, 2009).

$$0^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$$

**Saat Açısı (hour angle),  $\omega$** , öğleden önce negatif, öğleden sonra pozitif olmak üzere dünyanın kendi eksenini etrafında saatte  $15^\circ$  dönmesi dolayısıyla yerel meridyenin doğu veya batısı yönünde güneşin açısal yerdeğiştirilmesi olarak tanımlanabilir (Kıncay, 2009). Formül olarak ifade edilirse;

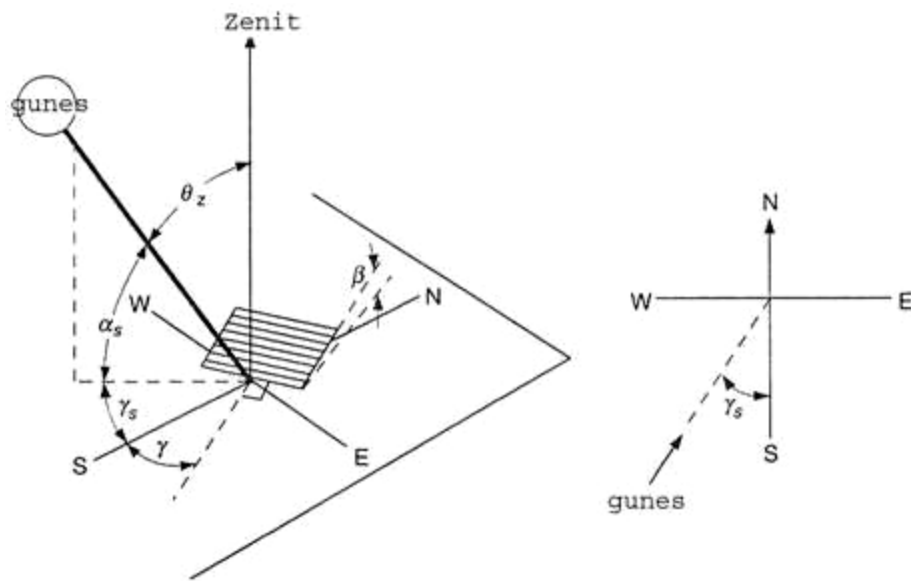
$$\omega = 15(\text{GS}-12) \quad (4.3)$$

Şeklinde tanımlanır. Burada (GS) güneş saatidir.

**Güneş Geliş Açısı (angle of incidence),  $\theta$** , yüzeye gelen direkt güneş ışınımı ile yüzeyin normali arasındaki açıdır (Kıncay, 2009).

**Zenit Açısı (zenith angle),  $\theta_z$** , yatay yüzey ( $\beta=0$ ) için tanımlanan güneş geliş açısıdır (Abuşka, 2012; Kıncay, 2009)

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\phi \cos\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\phi \sin\beta \sin\gamma \sin\omega \quad (4.4)$$



Şekil 4.3. Güneş açıları (Kıncay, 2009)

Güney ya da kuzeye dönük sabitlenmiş bir yüzey için yani azimut açısı  $0^\circ$  ve  $180^\circ$  olması durumu için eşitlik (4.4) deki son terim düşer ve

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta \sin\phi \cos\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega \\ &+ \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega \end{aligned} \quad (4.5)$$

Dikey yüzey yani  $\beta = 90^\circ$  için Eşitlik (4.4) yeniden yazılırsa;

$$\cos\theta = -\sin\delta \cos\phi \cos\gamma + \cos\delta \sin\phi \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\gamma \sin\omega \quad (4.6)$$

Güneş geliş açısı kuzey yarım kürede güneye bakan ( $\gamma = 0$ ) eğik yüzey için aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Abuşka, 2012; Kıncay, 2009)

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

$$\cos\theta = \cos\delta \cos\omega \cos(\phi-\beta) + \sin\delta \sin(\phi-\beta) \quad (4.7)$$

Yatay yüzey ( $\beta = 0^\circ$ ) için güneş geliş açısı zenit açısı ( $\theta_z$ ) olarak tanımlanır ve Eşitlik (4.4) yardımıyla,

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cos\phi \cos\omega + \sin\delta \sin\phi \quad (4.8)$$

şeklinde hesaplanır (Abuşka, 2012; Kıncay, 2009).

Güneşin batışında zenit açısı  $\theta_z = 90^\circ$  olur ve  $\cos\theta_z=90^\circ=0$  olduğundan güneş batış açısı ( $\omega_s$ ) şu şekilde bulunabilir,

$$\cos\omega_s = -\frac{\sin\phi \sin\delta}{\cos\phi \cos\delta} \quad (4.9)$$

$$\cos\omega_s = -\tan\phi \tan\delta \quad (4.10)$$

şeklinde hesaplanır (Abuşka, 2012; Kıncay, 2009).

Gün uzunluğu ise,

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1} (-\tan\phi \tan\delta) = \frac{2}{15} \omega_s \quad (4.11)$$

şeklinde hesaplanır (Abuşka, 2012; Kıncay, 2009).

### 4.3. Atmosfer Dışında Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınımı

Atmosfer dışında birim yatay düzleme herhangi bir anda gelen güneş ışınımı,

$$G_o = G_{on} \cos\theta_z$$

$$G_o = G_{sc} \left[ 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \cos\theta_z$$
$$G_o = G_{sc} \left[ 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos\omega \quad (4.12)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadede,  $G_{sc}$  güneş sabiti,  $n$  yılın kaçınıcı günü olduğu ve  $\theta_z$  zenit açısıdır (Abuşka, 2012; Kıncay, 2009; Kaynaklı vd, 2012).

Hesaplamlarda çoğunlukla gerekli olan günlük güneş ışınımıdır. Yukarıdaki eşitliğin gün doğuşundan gün batışına kadar integrasyonu ile atmosfer dışında yatay düzleme gelen günlük güneş ışınımı ( $H_o$ ) tespit edilebilir. Güneş sabiti  $G_{sc}$  için kullandığımız birim olan "W/m<sup>2</sup>" nin "J/m<sup>2</sup>" ye çevrilmesi ile elde edilen denklem;

$$H_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[ 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \times \left[ \cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin\phi \sin\delta \right] \quad (4.13)$$

şeklindedir. Burada  $\omega_s$  güneş batış saat açısıdır ve yukarıda hesap yöntemi verilmiştir (Abuşka, 2012; Kıncay, 2009).

Belirli bir saat aralığı için bir saatlik periyot içerisindeki atmosfer dışında yatay düzleme gelen güneş ışınımı hesabı da güneş enerjisi uygulamaları için önem taşır. Belirlenen saat aralığı için saat açılarının ( $\omega_1$  ve  $\omega_2$ ) belirlenmesi ile Eşitlik (4.12) nin bu saat açıları arasında integrasyonundan,

$$I_0 = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[ 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \\ \times \left[ \cos\phi \cos\delta (\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + \frac{2\pi (\omega_2 - \omega_1)}{360} \sin\phi \sin\delta \right] \quad (4.14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $\omega_2$  büyük olan saat açısıdır (Abuşka, 2012; Kıncay, 2009; Kaynaklı vd, 2012). Uygulamada önemli olan eşitlikler  $H_0$  ve  $I_0$  eşitlikleridir.

## 5. YERYÜZÜNE GELEN GÜNEŞ IŞINIMI

### 5.1. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı

Bir önceki başlıkta atmosfer dışına düşen ışınım miktarının hesaplanmasından bahsetmiştik. Fakat güneş ışınımı atmosferi geçerken atmosferde bulunan parçacıklar tarafından ışınımın bir kısmı yutulur ve atmosfer dışından gelen güneş ışınımının yaklaşık % 10 ile % 80 arasındaki bir oranı yeryüzüne ulaşır. Yeryüzüne gelen güneş ışınımını "direkt güneş ışınımı (beam radiation)" ve yayılı veya difüz güneş ışınımı (diffuse radiation) olarak ayırmak mümkündür (Ay, 2016).

**Direkt Güneş Işınımı (Beam radiation)**, atmosferde dağılmadan, güneşten doğrudan yeryüzüne düşen ışınım olarak tanımlanır. Yeryüzündeki herhangi bir nokta ile güneş arasındaki mesafe çok uzak olduğundan direkt güneş ışınları yüzeye paralel olarak düşünülebilir. Bu çalışmada ışınım hesapları yapılırken formüllerde direkt güneş ışınımı için alt indis "b" harfi olarak kullanılacaktır (Ay, 2016).

**Yayılı veya Difüz Işınım (Diffuse radiation)**, atmosferde dağılmak suretiyle yönü değişerek atmosferden herhangi bir yüzeye düşen ışınım olarak tanımlanır. Atmosferdeki toz, moleküller ve bulutlar tarafından yansımaya uğrayan ve değişik yönlerde saçılan güneş ışınımıdır. Literatür "sky radiation" veya "solar sky radiation" olarak da geçmektedir. Bu çalışmada ışınım hesapları yapılırken yayılı güneş ışınımı için formüllerde alt indis olarak "d" harfi kullanılacaktır (Ay, 2016).

**Toplam Güneş Işınımı (Total solar radiation)**, yeryüzüne düşen direkt ve yayılı ışınım toplamı olarak tanımlanır. Güneş ışınımı ölçümleri çoğunlukla yatay düzleme düşen toplam ışınımdır, bu global ışınım olarak da adlandırılır (Ay, 2016).

## 5.2. Yeryüzüne Düşen Güneş Işınımının Hesabı

Güneş enerjili proseslerin projelendirilmesinde uygulamanın yapıldığı bölgede güneş ışınımının daha önce bahsedilen yöntemler ile ölçümünün yapılması tavsiye edilir. Bu verilerin ölçülemediği bölgelerde deneysel ifadeler kullanılarak güneş ışınımı hesabının yapılması da mümkündür. Ölçülen güneş ışınımı datalarından faydalanılarak istatistiksel analiz sonucu elde edilen deneysel ifadeler vasıtasıyla ışınım miktarı hesaplanabilir. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı miktarı bulutlanma gibi meteorolojik faktörlerden dünya ile güneş arasındaki uzaklık gibi astronomik faktörlere, coğrafik faktörlere, yüzeyin geometrik etkenlerine vb. faktörlere bağlı olarak değişir. Bu bölümde yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı hesaplarında kullanılan bağıntılardan bahsedilecektir (Ay, 2016; Kaynaklı vd, 2012).

### 5.2.1. Yatay Düzleme Düşen Güneş Işınımı

#### 5.2.1.1. Günlük Işınım Hesabı

Belirli bir bölgede yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük güneş ışınımının havanın açık olduğu (bulutsuz - clear day) bir günde yatay düzleme gelen güneş ışınımına oranı ile izafi güneşlenme süresine bağlı olan orijinal Angstrom regresyonu şu şekildedir (Bakırcı, 2006; Gönültaş, 2017);

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_c} = a' + b' \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \quad (5.1)$$

Havanın açık olduğu bir günde güneş ışınımının ( $\bar{H}_c$ ) tespiti kısmen de olsa zordur. Havanın açık olduğu bir günde ortalama güneş ışınımı ( $\bar{H}_c$ ) yerine atmosfer dışında yatay yüzeye gelen güneş ışınımı kullanılmak suretiyle, literatürde en çok kullanılan ve Page tarafından verilen ifade şu şekildedir (Bakırcı, 2006; Gönültaş, 2017);

$$\frac{H}{H_0} = \left( a + b \frac{n}{N} \right) \quad (5.2)$$

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad \text{Berraklık İndeksi (clearness index)} \quad (5.3)$$

İzmir için aylık ortalama günlük güneşlenme süreleri çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. İzmir için aylık ortalama günlük güneşlenme süresi

N	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
İZMİR	4,3	5,0	6,5	7,4	9,6	11,7	12,1	11,6	10,1	7,4	5,3	4,1	7,9

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi İzmir için güneşlenme süresi en fazla olan ay, ağustos ayıdır.

Çizelge 5.2.'de İzmir için izafi güneşlenme süresi verilmiştir.

Çizelge 5.2. İzmir için izafi güneşlenme süresi

n/N	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HZİRAN	TMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
İZMİR	0,45	0,50	0,54	0,59	0,74	0,77	0,85	0,91	0,86	0,73	0,58	0,48	0,67

Bu ampirik bağıntıda verilen a ve b katsayıları güneş ışınımı ve izafi güneşlenme süresi ölçümlerine bağlı olarak istatistiksel metotlar ile tespit edilmektedir. a ve b katsayılarının alacağı değerler konuma bağlı olarak değişmektedir. Türkiye için bu değerler enlem açısı ( $\phi$ ), deklinasyon açısı ( $\delta$ ) ve konumun deniz seviyesinden yüksekliğine (Z) bağlı olarak şu şekilde verilmektedir (Kılıç ve Öztürk, 1980; Bakırcı, 2006; Gönültaş, 2017).

$$a = 0,103 + 0,000017Z + 0,198 \cos(\phi - \delta) \quad (5.4)$$

$$b = 0,533 - 0,165 \cos(\phi - \delta) \quad (5.5)$$

Bu ifadede gerekli olan enlem açıları ve deniz seviyesinden yükseklik bu çalışmada sadece İzmir için aşağıda verilmiştir; Ayrıca bu ifadeler Türkiye için yapılan hesaplamalar sonucu  $a=0,18$   $b=0,62$  olarak tespit edilmiştir. (Tırıs vd, 1997)

Çizelge 5.3. İzmir için enlem ve rakım

İl	Rakım (Z) (m)	Enlem ( $\phi$ )
İZMİR	29	38,39°

Atmosfer içinde yatay düzleme düşen günlük toplam güneş ışınımının yayılı ve direkt kısımlarının tespiti için de birçok ampirik ifade literatürde mevcuttur. Bu ifadeler genellikle berraklık indeksinin (clearness index) fonksiyonu şeklindedir. Günlük berraklık indeksi ( $K_T$ ) yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımının ( $H$ ) atmosfer dışına düşen günlük toplam güneş ışınımına ( $H_0$ ) oranı şeklinde tespit edilebilir (Bakırcı, 2006; Gönültaş, 2017);

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (5.6)$$

Elde edilen günlük ışınım dataları, yayılı (difüz) ışınımın günlük toplam ışınım oranının berraklık indeksine bağlı olduğunu göstermiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda berraklık indeksine bağlı olarak Türkiye için en kullanışlı ( $H_d / H$ ) ın değişimi,

$$\frac{H_d}{H} = 1 - 1,13 K_T \quad (5.7)$$

şeklinde ifade edilmiştir (Bakırcı, 2006; Gönültaş, 2017).



Gebze'de Tübitak-M.A.M. tarafından 1984-1992 yılları arasında yapılan ölçümlere bağlı olarak Tırıs vd, (1997) tarafından çıkarılan eşitlikler şu şekildedir (Bakırcı, 2006);

$$\frac{H_d}{H} = 0,703 - 0,414 K_T - 0,428 K_T^2 \quad (5.8)$$

### 5.2.1.2. Anlık Işınım Hesabı

Yatay yüzeye düşen günlük güneş ışınımından faydalanılarak anlık ışınımın hesabını yapmak mümkündür. Yatay yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınımının (I) yine yatay yüzeye düşen günlük toplam güneş ışınımına (H) oranı  $r_t$  olarak tanımlanmaktadır. Collares - Pereira ve Rabl tarafından verilen eşitlik şu şekildedir (Ay, 2016; Gönültaş, 2017);

$$r_t = \frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} (a+b \cos\omega) \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - (2\pi \omega_s / 360) \cos\omega_s} \quad (5.9)$$

Burada a ve b katsayıları;

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin (\omega_s - 60) \quad (5.10)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin (\omega_s - 60) \quad (5.11)$$

şeklinindedir. Bu denklemlerde  $\omega$  hesaplamanın yapıldığı an için saat açısıdır (Hesaplama yapılan saatlerin tam ortası alınabilir. Yani saat 8:00 ile 9:00 arasında hesaplama yapılıyorsa 8:30 için olan saat açısıdır) ve  $\omega_s$  gün batımındaki saat açısıdır (Ay, 2016; Gönültaş, 2017).

Yatay düzleme düşen toplam güneş ışınımının yayılı ve direkt kısımlarının tespiti de mümkündür. Hesaplar için kullanılacak iki metot burada gösterilmektedir. Birinci yöntem anlık berraklık indeksine bağlı olarak yatay düzleme düşen anlık yayılı ışınımın ( $I_d$ ) toplam ışınımına (I) oranını veren aşağıda ki kolerasyondur. Bu çalışmada kullanılan kolerasyon 1984-1992 yılları arasında Gebze'de yapılan ölçümler sonucu Tırıs vd. (1997) tarafından elde edilen denklem (Bakırcı, 2006; Gönültaş, 2017);

$$\frac{I_d}{I} = 0,788 - 0,802 k_T \quad (0,625 < k_T < 0,6) \quad (5.12)$$

şeklindedir (Tırıs vd, 1997).

Burada anlık berraklık indeksi yatay yüzeye düşen anlık toplam ışınımın (I) atmosfer dışında birim yatay düzleme düşen anlık toplam ışınımına (I<sub>0</sub>) oranı olarak,

$$k_T = \frac{I}{I_0} \quad (5.13)$$

şeklinde tanımlanmaktadır (Bakırcı, 2006; Gönültaş, 2017).

İkinci metot ise, uzun yıllar yapılan ölçüm ve hesaplanan değerlerden hareketle yatay düzleme gelen anlık yayılı ışınımın (I<sub>0</sub>) günlük yayılı ışınımına (H<sub>d</sub>) oranı ile atmosfer dışına düşen anlık ışınımın (I<sub>0</sub>) atmosfer dışına düşen günlük ışınımına (H<sub>0</sub>) oranının eşit olduğu tespitinden elde edilen,

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} = \frac{I_0}{H_0} \quad (5.14)$$

denklemleri ile yapılan hesaplamadır r<sub>d</sub> şu şekilde ifade edilebilir (Gönültaş, 2017);

$$r_d = \frac{\pi}{24} \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360}\right)\cos\omega_s} \quad (5.15)$$

### 5.2.2. Eğik Düzleme Düşen Işınım Hesabı

Sıklıkla kullanılan belli bir eğime haiz düz yüzeyli kolektörler hem direkt, hem yayılı hem de yansıyan ışınımı yutarlar. Güneş enerjili sistemlerin uygulama alanlarında genellikle eğik yüzeylere ihtiyaç duyulmaktadır. Eğik yüzeye gelen anlık ve günlük ışınımın hesabında hemen yukarıda hesap yöntemi verilen yatay yüzeye düşen anlık ve günlük toplam güneş ışınımı miktarları ile bunların direkt ve yayılı ışınım kısımlarının miktarlarından yararlanılmaktadır.

### 5.2.2.1. Anlık Işınım Hesabı

Güneş enerjili sistemlerin dizayn ve performans hesaplarını yapabilmek için yatay düzleme düşen güneş ışınımının ölçülmesi veya hesaplanması vasıtasıyla tespit edilebilecek olan eğik yüzeye düşen anlık ışınım miktarının elde edilmesine ihtiyaç duyulur. Genellikle elde edilebilen data yatay yüzeye düşen günlük veya anlık toplam ışınım miktarlarının belirlenmesinde yatay yüzeye düşen ışınım miktarının yerine bunun yayılı ve direkt kısımlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Geometrik faktör  $R_b$  eğik yüzeye düşen anlık direkt ışınımın ( $I_{bT}$ ), yatay yüzeye düşen anlık direkt ışınımına ( $I_b$ ) oranı olarak tanımlanmaktadır ve yukarıdaki eşitlikler yardımıyla;

$$R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} = \frac{I_{bn} \cos \theta}{I_{bn} \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (5.16)$$

şeklinde hesaplanabilir (Bakırcı, 2006; Gönültaş, 2017).

Kuzey yarımkürede optimum yüzey azimut açısı ( $\gamma$ )  $0^\circ$  (Güneye dönük yüzey için) dir. Güney yarımkürede ise  $180^\circ$  dir. Bu çalışmada, Kuzey yarımküre için yukarıdaki eşitlikte  $\cos \theta$  ve  $\cos \theta_z$  yerine yazılırsa güneye dönük yüzey için ( $\gamma=0^\circ$ ) için aşağıdaki ifade kullanılmıştır (Bakırcı, 2006; Gönültaş, 2017; Fıratoğlu vd, 2018);

$$R_b = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta\cos\omega+\sin(\phi-\beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\cos\omega+\sin\phi\sin\delta} \quad (5.17)$$

olarak tespit edilir (Gönültaş, 2017). Lui ve Jordan tarafından geliştirilen modelde direkt ve yayılı ışınımın yanında yansıyan ışınımda göz önüne alınmıştır. Eğik yüzeye gelen direkt ışınım geometrik faktör  $R_b$  ve yatay yüzeye düşen anlık direkt ışınım  $I_b$  vasıtasıyla,

$$I_{bT} = R_b I_b \quad (5.18)$$

şeklinde tespit edilir (Gönültaş, 2017; Fıratoğlu vd, 2018).

Eğik yüzeye gelen anlık yayılı ışınım ise yatay yüzeye gelen anlık yayılı ışınım  $I_d$  vasıtasıyla,

$$I_{dT} = I_d \frac{1+\cos\beta}{2} \quad (5.19)$$

ifadesi ile hesaplanabilir (Gönültaş, 2017; Fıratoğlu vd, 2018). Eğik yüzeye yansıtılarak gelen ışınım ise,

$$I_{ref} = (I_b + I_d)\rho \left( \frac{1-\cos\beta}{2} \right) = I\rho \left( \frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (5.20)$$

olarak bulunabilir (Fıratoğlu vd, 2018). Burada  $\rho$  yerin yansıtma oranıdır. Bu değer yerde kar olmaması durumunda 0,2 ve yerde kar olması durumunda 0,7 olarak alınması tavsiye edilmektedir. Yerin yansıtma oranı yerdeki kar durumunun yanında, bitki örtüsüne ve topografik yapıya bağlı olarak değişir ve ortalamam 0,2 değeri hesaplamalarda kullanılabilir.

Eğik yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınımı,

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} + I_{ref} \quad (5.21)$$

şeklinde yazılabilir (Gönültaş, 2017; Fıratoğlu vd, 2018). Sırasıyla  $I_{bT}$ ,  $I_{dT}$  ve  $I_{ref}$  Eşitlik (4.21)'de yerine yazılırsa;

$$I_T = I_b R_b + I_d \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) + (I_b + I_d)\rho \left( \frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (5.22)$$

şeklinde veya R katsayısı vasıtasıyla,

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) + \rho \left( \frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (5.23)$$

şeklinde hesaplanabilir (Gönültaş, 2017; Fıratoğlu vd, 2018). Burada R eğik yüzeye düşen anlık toplam ışınımın ( $I_T$ ) yatay yüzeye düşen anlık toplam ışınımına ( $I$ ) oranı şeklinde tanımlanmaktadır.

$$R = \frac{I_T}{I} \quad (5.24)$$

### 5.2.2.2. Günlük Işınım Hesabı

Güneş enerjili ısıtma sistemleri gibi uygulamalarda eğik düzleme düşen aylık ortalama günlük güneş ışınımı miktarları da gerekli olabilir. Bu durumda eğik düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam ışınımın ( $H_T$ ) yatay düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam ışınımına ( $H$ ) oranını ifade eden  $\bar{R}$  değerine ihtiyaç vardır.  $\bar{R}$  değeri direkt, yayılı ve yansıyan ışınım bileşenlerinin her birini içerir. Burada Lui ve Jordan tarafından verilen ve Klein tarafından genişletilen metot verilecektir. Bu modelde  $\bar{R}$  değeri,

$$R = \frac{H_T}{H} = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) \bar{R}_b + \frac{H_d}{H} \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (5.25)$$

şeklindedir (Gönültaş, 2017; Fıratoğlu vd, 2018; Kallioğlu, 2017).

Eğik yüzeye düşen günlük toplam ışınım,

$$H_T = H \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) \bar{R}_b + H_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + H\rho \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad (5.26)$$

şeklinde hesaplanabilir (Gönültaş, 2017; Fıratoğlu vd, 2018; Kallioğlu, 2017). Burada  $\bar{R}_b$  eğik yüzeye düşen günlük direkt ışınımın ( $H_{bT}$ ) yatay yüzeye düşen günlük direkt ışınımına ( $H_b$ ) oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\bar{R}_b = \frac{H_{bT}}{H_b} \quad (5.27)$$

Kuzey yarımkürede güneye dönük yüzey ( $\gamma=0^\circ$ ) için;

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta\cos\omega'_s + (\pi/180)\omega'_s\sin(\phi-\beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + (\pi/180)\omega_s\sin\phi\sin\delta} \quad (5.28)$$

olarak hesaplanır (Fıratoğlu vd, 2018; Kallioğlu, 2017). Burada  $\omega'_s$  hesaplama yapılan ayın ortalama gününde eğik düzlem için güneş ışınlarının eğik yüzey üzerine ilk düşüş saat açısıdır. Bu saat açısı yatay düzlemden farklıdır. Yatay düzlemde gün doğuş saat açısı olarak alınır. Eğik düzlemde ise bu farklıdır ve şu şekilde bulunur (Gönültaş, 2017; Fıratoğlu vd, 2018; Kallioğlu, 2017);

$$\omega_s' = \min \left[ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta)\tan\delta) \end{array} \right] \quad (5.29)$$

Denkleimde kullanılan "min" in anlamı bu iki değerden küçük olanın alınacağını göstermektedir.

Güney yarım kürede yüzey azimut açısı  $\gamma=180^\circ$  olan eğik yüzey için,

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi+\beta)\cos\delta\sin\omega_s' + (\pi/180)\omega_s'\sin(\phi+\beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + (\pi/180)\omega_s\sin\phi\sin\delta} \quad (5.30)$$

$$\omega_s' = \min \left[ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi + \beta)\tan\delta) \end{array} \right] \quad (5.31)$$

şeklinde tanımlanmaktadır (Gönültaş, 2017; Kallioğlu, 2017).

### 5.3. İzmir İçin Işınlım Hesabı

İzmir'de  $\phi=38,39^\circ$ , Kuzey, Z=29m Temmuz ayında ( $n=198$   $n/N=0,85$ )

- ❖ Yer yüzünde yatay bir düzleme gelen günlük güneş ışınlımını ve saat 12:00 ile 13:00 arasında düşen anlık güneş ışınlımını ve bunların direk ve yayılı ışınlım kısımlarını hesaplanır.
- ❖ Yeryüzünde güneye dönük eğik ( $\beta=35^\circ$ ) bir düzleme gelen günlük toplam güneş ışınlımını ile saat 12:00-13:00 arasında gelen anlık, yayılı, yansıyan ve anlık toplam ışınlım hesaplanır.

Bu hesaplama için öncelikle  $\phi=38,39^\circ$  enlemi için atmosfer dışında yatay düzleme gelen güneş ışınlımının hesaplanmalıdır;

### Açıların hesaplanması;

Eşitlik 4.2'ye göre Deklinasyon açısı ( $\delta$ ),

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) = 21,18^\circ \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Eşitlik 4.10'a göre; güneş batış saat açısı ( $\omega_s$ )

$$\cos\omega_s = -\tan\phi \tan\delta$$

$$\omega_s = 107,88^\circ$$

**$\phi = 38,39^\circ$  enleminde Atmosfer dışında yatay düzleme düşen günlük güneş ışınımı;**

Eşitlik 4.13'de verildiği gibi;

$$H_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[ 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \times \left[ \cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin\phi \sin\delta \right]$$

$$H_0 = 40,69 \text{ MJ/m}^2 \text{ günlük güneş ışınımı}$$

**$\phi = 38,39^\circ$  enleminde Atmosfer dışında yatay düzleme saat 12:00 ile 13:00 arasında düşen güneş ışınımı**

$$\omega = 15(GS - 12) \text{ (eşitlik 4.3)}$$

$$\omega_2 = 15(13 - 12) = 15^\circ$$

$$\omega_1 = 15(12 - 12) = 0^\circ$$

Eşitlik 4.14'den saatlik güneş ışınımı hesabı;

$$I_0 = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[ 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \times \left[ \cos\phi \cos\delta (\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + \frac{2\pi(\omega_2 - \omega_1)}{360} \sin\phi \sin\delta \right]$$

$$I_0 = 4,51 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{h} \quad \text{1saatlik güneş ışınımı}$$

## Sonuçlar;

$$\delta = 21,18^\circ$$

$$\omega_s = 107,88^\circ$$

$H_0 = 40,67 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$  Atmosfer dışında yatay düzleme gelen günlük güneş ışınımı.

$$\omega_2 = 15^\circ$$

$$\omega_1 = 0^\circ$$

$I_0 = 4,51 \text{ MJ/m}^2\text{-h}$  Atmosfer dışında yatay düzleme saat 12:00 ile 13:00 arasında gelen güneş ışınımı.

❖ Yer yüzünde yatay bir düzleme gelen günlük güneş ışınımını ve saat 12:00 ile 13:00 arasında düşen anlık güneş ışınımını ve bunların direkt ve yayılı ışınım kısımları hesaplanması;

Yeryüzüne düşen günlük yayılı, direkt ve toplam güneş ışınımı hesapları;

Eşitlik 5.4'den a katsayısı hesaplanır;

$$a = 0,103 + 0,000017Z + 0,198 \cos(\phi - \delta)$$

$$a = 0,293$$

Eşitlik 5.5'den b katsayısı hesaplanır;

$$b = 0,533 - 0,165 \cos(\phi - \delta)$$

$$b = 0,375$$

Yeryüzünde yatay düzleme düşen günlük güneş ışınımı(H), eşitlik 5.2'den hesaplanır.

$$\frac{H}{H_0} = a + b \frac{n}{N}$$

$$H = 24,9 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$$



Yeryüzünde yatay düzleme düşen günlük yayılı (difüz) güneş ışınımı.(  $H_d$ )

Türkiye’de yapılan ölçümlere bağlı olarak yatay düzleme düşen günlük yayılı ışınım hesabı için kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir;

$$\frac{H_d}{H} = 0,703 - 0,414 K_T - 0,428 K_T^2 \text{ (eşitlik 5.7'den)}$$

$$K_T = \frac{H}{H_0} \text{ (denklem 5.6)}$$

$$\frac{H_d}{H} \cong 0,29$$

$$H_d = 7,22 \text{ MJ/m}^2 \text{-gün}$$

Yeryüzünde yatay düzleme düşen günlük direkt güneş ışınımı.(  $H_b$ )

$$H_b = H - H_d = 17,68 \text{ MJ/m}^2 \text{-gün}$$

Buraya kadar yapılan hesaplar atmosfer dışında ve yeryüzünde yatay düzleme düşen günlük ışınım için yapılan hesaplardı, bundan sonraki yapılacak olan hesaplar yer yüzünde yatay düzleme düşen anlık ışınım hesabı olacak.

Saat 12:00 ile 13:00 için yer yüzüne düşen anlık yayılı, direkt ve toplam güneş ışınımı hesabı;

Yatay düzleme düşen anlık toplam ışınım I;

12:30 için (eşitlik 4.3) ;

$$\omega = 15(GS - 12)$$

$$\omega = 7,5^\circ$$

Eşitlik 5.10'dan a katsayısı hesaplanır;

$$a = 0,409 + 0,5019 \times \sin(\omega_s - 60)$$

$$a = 0,78$$

Eşitlik 5.11'dan b katsayısı hesaplanır;

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin(\omega_s - 60)$$

$$b = 0,31$$

$$r_t = \frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} (a + b \cos\omega) \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - (2\pi\omega_s/360)\cos\omega_s} \text{ (eşitlik 5.9'dan faydalanılarak)}$$

$$r_t = \frac{I}{H} = 0,112$$

$$I = r_t \times H = 2,79 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} = 775 \text{W/m}^2$$

$$I = \frac{2,79 \times 1000}{3600} = \frac{0,775 \text{MW}}{\text{m}^2} = 775 \text{W/m}^2$$

Yatay düzleme düşen anlık yayılı (difüz) ışınım  $I_d$ ;

$$k_t = \frac{I}{I_0} = 0,652 \text{ (eşitlik 5.13)}$$

$$k_t = 0,652$$

$$\frac{I_d}{I} = 0,788 - 0,802 \times k_t = 0,26 \text{ (eşitlik 5.12)}$$

$$I_d = 0,74 \text{MJ/m}^2 = 206 \text{W/m}^2$$

Yatay düzleme düşen anlık direkt ışınım  $I_b$ ;

$$I_b = I - I_d$$

$$I_b = 2,05 \text{MJ/m}^2 = 569 \text{W/m}^2$$

Çizelge 5.4. Saat 12:00 ile 13:00 için yer yüzüne düşen anlık yayılı, direkt ve toplam güneş ışınımı hesabı ve elde edilen sonuçlar

Simge	Açıklama	Sonuç
H	Yatay düzleme düşen günlük toplam ışınım	24,9 MJ/m <sup>2</sup> -gün
Hd	Yatay düzleme düşen günlük yayılı ışınım	7,22 MJ/m <sup>2</sup> -gün
Hb	Yatay düzleme düşen günlük direkt ışınım	17,68 MJ/m <sup>2</sup> -gün
I	Yatay düzleme düşen anlık toplam ışınım	775 W/m <sup>2</sup>
Id	Yatay düzleme düşen anlık yayılı ışınım	206 W/m <sup>2</sup>
Ib	Yatay düzleme düşen anlık direkt ışınım	569 W/m <sup>2</sup>

Çizelge 5.4.'ten de görüleceği üzere İzmir'de Temmuz ayı için ve Temmuz ayı saat 12:30 için yapılan hesaplar yatay düzleme gelen günlük veya anlık ışınım için. Bu çalışmaları ilerleyen sayfalarda bir excel programı yardımıyla yıllık analizler çeklinde hesaplanmış çizelgeleri paylaşılacaktır. Güneş enerjisinden yararlanmak adına yapılan uygulamalarda güneş enerjisinden en iyi şekilde yararlanabilmek için paneller veya diğer güneş enerjisi uygulamaları yatay olarak değil eğimli olacak şekilde montajları yapılmalıdır.

Güneş panellerinden yıl boyu optimum verim alınabilmesi için montaj eğim açısı bulunduğu ilin enlem açısına eşit olmalıdır. Bu değer İzmir için  $\phi=38,39^\circ$  idi, ancak bazı sistemlerde güneş enerjisinden daha fazla yararlanabilmek için sistemleri sabit kurmak yerine hareketli yani güneş takipli olarak ta kurulabilir. Bu sistemler ilk kurulum maliyeti yüksek olsa da kurulacak sistemin büyüklüğüne göre tercih edilebilir. Eğer bir sistem hareketli ve eğim açısı değişken olarak kurulacak ise gün içerisinde güneşi takip edebileceği gibi sadece yazın ve kışın eğim açısını değiştirecek şekilde de kurulabilir. Böyle bir sistem için kışın eğim açısı için en uygun değer normal enlem açısından  $10^\circ-15^\circ$  daha fazla olmalı ve yazın bu açı normal enlem açısından  $10^\circ-15^\circ$  derece az olacak şekilde ayarlanmalıdır.

Yeryüzünde güneye dönük eğik ( $\beta=35^\circ$ ) bir düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımı ile saat 12:00-13:00 arasında gelen anlık, yayılı, yansıyan ve anlık toplam ışınım hesaplanması:

Yeryüzüne düşen günlük yayılı, direkt ve toplam güneş ışınımı hesapları;

Eğik düzleme düşen anlık direkt ışınım  $I_{bT}$ ;

Kuzey yarım kürede yüzey azimut açısı  $\gamma = 0^\circ$  dir.

$$R_b = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta\cos\omega + \sin(\phi-\beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta} \quad (\text{eşitlik 5.17})$$

$$R_b = 0,98$$

$$I_{bT} = R_b \times I_b \quad (\text{eşitlik 5.18})$$

$$I_{bT} = 2,009 \text{ MJ/m}^2 \text{ h} = 558 \text{ W/m}$$

Eğik düzleme düşen anlık yayılı ışınım  $I_{dT}$ ;

$$I_{dT} = I_d \frac{1+\cos\beta}{2} \quad (\text{eşitlik 5.19})$$

$$I_{dT} = 0,67 \text{ MJ/m}^2 \text{ h} = 186,12 \text{ W/m}$$

Eğik düzleme düşen anlık yansıyan ışınım  $I_{ref}$ ;

$\rho$  yerde kar olmayan durumlarda 0,2, yerde kar bulunması durumlarda ise 0,7 olarak alınır. Burada 0,2 alınmıştır.

$$I_{ref} = (I_b + I_d) \rho \left( \frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (\text{eşitlik 5.20})$$

$$I_{ref} = 0,050 \text{ MJ/m}^2 \text{ h} = 13,88 \text{ W/m}^2$$

Eğik düzleme düşen anlık toplam ışınım  $I_T$ ;

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} + I_{ref} \quad (\text{eşitlik 5.21})$$

$$I_T = 2,73 \text{ MJ/m}^2 = 758 \text{ W/m}^2$$

Eğik düzleme düşen günlük toplam ışınım ( $H_T$ );

Kuzey yarım kürede güneye dönük yüzey için yüzey azimut açısı  $\gamma=0^\circ$  dir.

$$\omega_s' = \min \left[ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \tan\delta) \end{array} \right] \text{ (eşitlik 5.29)}$$

$$\omega_s' = 91,32^\circ$$

$$\bar{R}_b = \frac{H_{bT}}{H_b} = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta\sin\omega_s' + (\pi/180)\omega_s'\sin(\phi-\beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + (\pi/180)\omega_s\sin\phi\sin\delta} \text{ (eşitlik 5.30)}$$

$$\bar{R}_b \cong 0,86$$

$$H_T = H \left( 1 - \frac{H_d}{H} \right) \bar{R}_b + H_d \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) + H\rho \left( \frac{1-\cos\beta}{2} \right) \text{ (eşitlik 5.26)}$$

$$H_T = 22,2 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$$

Çizelge 5.5. Saat 12:00-13:00 arasında gelen anlık, yayılı, yansıyan ve anlık toplam ışınım hesaplanması ve elde edilen sonuçlar

Simge	Açıklama	Sonuç
HT	Eğik düzleme düşen günlük toplam ışınım	22,2 MJ/m <sup>2</sup> -gün
IT	Eğik düzleme düşen anlık toplam ışınım	758 W/m <sup>2</sup>
IdT	Eğik düzleme düşen anlık yayılı ışınım	186,12 W/m <sup>2</sup>
IbT	Eğik düzleme düşen anlık direkt ışınım	558 W/m <sup>2</sup>
Iref	Eğik düzleme düşen anlık yansıyan ışınım	13,88 W/m <sup>2</sup>

Çizelge 5.4. ve Çizelge 5.5. tende görüldüğü üzere güneş ışınım hesaplarının belirli bir enlemde belirli bir ay ve gün için yatay ve eğik düzleme belirli bir açı ile yapılması mümkün bu hesaplarla günün her saati için bir hesap yapılabilir ve çalışma daha da detaylandırılabilir. Fotovoltaik bir sistemin projelendirmesinde yıllık detaylı bir analiz için aylık ortalama günlük toplam güneş ışınımı üzerinden gidilecektir.

#### 5.4. Farklı Eğim Açılarının Güneş Panellerine Etkisinin Analizi

Solar paneller, taşıyıcı sistemler üzerine monte edilerek solar panellerin, uygun azimut ve tilt açılarında kalması sağlanmaktadır. Bu sistem sabit olabileceği gibi, güneş takibi yapabilmesi için hareketli olarak da tasarlanabilmektedir. Güneş takibi yapan panel taşıyıcı sistemler, sabit açılı sistemlere göre daha yüksek ilk kurulum maliyetine sahiptir. Ek olarak sistemdeki hareketli parça sayısının artması ile sistem kompleksitesi ve arıza ihtimali artmakta, bu durum sistemin enerji üretim süresinin devamlılığı açısından risk oluşturmaktadır. Buna karşın güneş takibi yapan sistemlerde, solar ışıınımdan daha fazla yararlanılabildiği için mevcut kapasite ile daha fazla elektrik üretebilme ihtimali oluşmaktadır.



Şekil 5.1. Güneş panelinin sisteminin mekanik yapısı (Beyoğlu, 2011)

Bu bölümde açıklanan formüller ve denklemler doğrultusunda İzmir için hesaplanan atmosfer dışında metrekaare alana gelen aylık ortalama günlük ve anlık ışıınımlar için kullanılan parametreler çizelge 5.6.'da verilmiştir,

Çizelge 5.6. İzmir için yapılan hesaplarda kullanılan parametreler

<b>Aylara Göre Güneşlenme ve İzafi Güneşlenme Süreleri</b>		
<b>Ay</b>	<b>Saat (h)</b>	<b>İzafi Saat (n/N)</b>
<b>Ocak</b>	4,3	0,45
<b>Şubat</b>	5,0	0,50
<b>Mart</b>	6,5	0,54
<b>Nisan</b>	7,4	0,59
<b>Mayıs</b>	9,6	0,74
<b>Haziran</b>	11,7	0,77
<b>Temmuz</b>	12,1	0,85
<b>Ağustos</b>	11,6	0,91
<b>Eylül</b>	10,1	0,86
<b>Ekim</b>	7,4	0,73
<b>Kasım</b>	5,3	0,58
<b>Aralık</b>	4,1	0,48
<b>Yıllık</b>	7,9	0,67

Çizelge 5.6 'da verilen değerler istatistikî veriler olup İzmir için aylara göre aylık ortalama güneşlenme sürelerini ve izafi saat değerini verir.

Çizelge 5.7. Açı, Saat ve Yön İçin Kullanılan Değerler

<b>Enlem (<math>\phi</math>)</b>	<b>Anlık Işınım Hesabı Parametreleri</b>			
38,39°	<b>Saat</b>		<b>Saat Açıları</b>	
<b>Rakım</b>	<b>İlk</b>	<b>Son</b>	<b><math>\omega_1</math></b>	<b><math>\omega_2</math></b>
29	12	13	15°	30°

<b>Yeryüzende Eğik Düzleme Düşen Güneş Işınımı Hesabı için Parametreler</b>			
Eğim Açısı $\beta = 35^\circ$	Yön Güneye Dönük $\gamma = 0^\circ$	Yön (Azimut)	
		Güney	0°
Batı		90°	
Kuzey		180°	
Yansıtma Oranı $\rho = 0,2$		Doğu	270°

Çizelge 5.7.'deki veriler hesaplamının yapılabilmesi için belirlenen özel değerlerdir. Burada fotovoltaik sistemden yaz ve kış olmak üzere tüm yıl optimum seviyede yararlanılmak isteniyorsa eğim açısının bulunduğu bölgenin enlem açısına eşit olması gerekmektedir. Daha sonra sistemin optimize edilmesi adına eğim açısının yaz aylarında 10°, 15° az ve kış aylarında 10°, 15° fazla olacak şekilde analizleri yapacaktır.

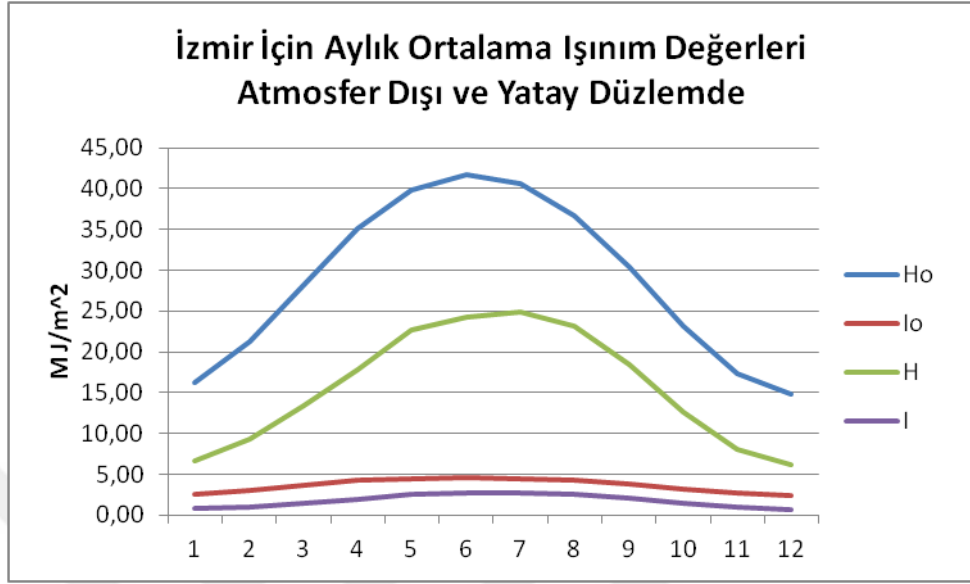
Çizelge 5.8. Atmosfer dışı ve yatay düzleme gelen ışınım miktarları

<b>Atmosfer Dışı Ve Yatay Düzleme Gelen Işınım Miktarları (Anlık için saat 12:00-13:00)</b>								
<b>Aylık Ort.</b>	<b>Atmosfer Dışı Işınım</b>		<b>Yeryüzünde Yatay Düzleme Gelen Işınım Miktarı</b>					
	<b>Günlük H<sub>o</sub></b>	<b>Anlık I<sub>o</sub></b>	<b>Işınım Günlük</b>			<b>Işınım Anlık</b>		
			<b>G.Toplam H</b>	<b>G.Difüz H<sub>d</sub></b>	<b>G.Direkt H<sub>b</sub></b>	<b>A.Toplam I</b>	<b>A.Difüz I<sub>d</sub></b>	<b>A.Direkt I<sub>b</sub></b>
<b>Ocak</b>	16,26	2,55	6,61	3,57	3,04	0,8	0,4	0,3
<b>Şubat</b>	21,22	3,07	9,37	4,69	4,68	1,0	0,5	0,5
<b>Mart</b>	28,17	3,71	13,35	6,20	7,15	1,5	0,7	0,8
<b>Nisan</b>	35,10	4,23	17,77	7,61	10,16	1,9	0,8	1,1
<b>Mayıs</b>	39,81	4,49	22,67	8,08	14,58	2,5	0,9	1,6
<b>Haziran</b>	41,70	4,56	24,29	8,30	15,98	2,7	0,9	1,8
<b>Temmuz</b>	40,67	4,51	24,88	7,68	17,19	2,7	0,8	1,9
<b>Ağustos</b>	36,73	4,31	23,21	6,64	16,57	2,5	0,8	1,7
<b>Eylül</b>	30,46	3,88	18,49	5,81	12,68	2,0	0,7	1,3
<b>Ekim</b>	23,23	3,26	12,65	4,87	7,78	1,4	0,6	0,8
<b>Kasım</b>	17,34	2,67	8,11	3,82	4,29	0,9	0,5	0,4
<b>Aralık</b>	14,75	2,38	6,14	3,25	2,88	0,7	0,4	0,3
<b>Yıllık</b>	28,79	3,64	15,63	5,88	9,75	1,72	0,67	1,05

Çizelge 5.8. de ışınımların birimi MJ/m<sup>2</sup> dir. Verilen değerler atmosfer dışı yatay düzleme gelen günlük toplam, anlık toplam ve bunların yayılı (difüz) ve direkt kısımlarını göstermektedir.



İzmir için aylık ortalama ışınım değerleri (atmosfer dışı yata düzlemde) şekil5.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Atmosfer dışı ve yatay düzleme gelen ışınım miktarları

Atmosfer dışı günlük ışınım ( $H_o$ ) değerleri, yeryüzünde yatay düzleme gelen ışınım ( $H$ ) değerlerinden büyük olduğu şekil 5.2.'de gösterilmektedir.

Yeryüzünde yatay düzleme düşen yıllık ortalama günlük ışınım miktarı şekil 5.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Yüzyüzünde yatay düzleme düşen aylık ortalama günlük toplam ışınım miktarı ( $H$ )

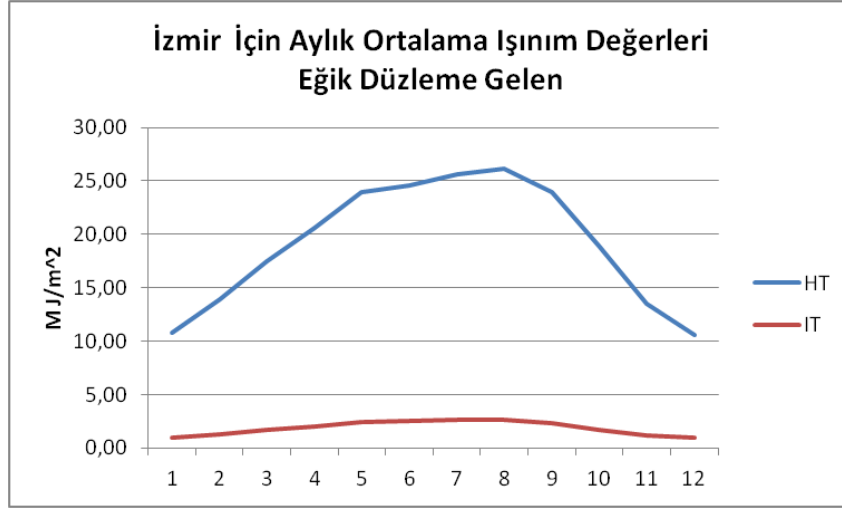
Atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışınım miktarları aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir.

Çizelge 5.9. Atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışınım miktarları

Atmosfer Dışı ve Eğik Düzleme Gelen Işınım Miktarları (Anlık İçin Saat 12:00-13:00)									
Aylık Ort.	Atmosfer Dışı Işınım		Yeryüzünde Eğik Düzleme Gelen Işınım Miktarı $\beta=38,39^\circ$						
	Günlük $H_0$	Anlık $I_0$	Işınım Günlük			Işınım Anlık			
			G.Toplam $H_T$	G.Difüz $H_{dT}$	G.Direkt $H_{bT}$	A.Toplam $I_T$	A.Difüz $I_{dT}$	A.Direkt $I_{bT}$	A.Yansıyark $I_{ref}$
<b>Ocak</b>	16,26	2,55	10,82	4,37	6,45	1,01	0,37	0,62	0,02
<b>Şubat</b>	21,22	3,07	13,95	5,86	8,09	1,30	0,48	0,79	0,02
<b>Mart</b>	28,17	3,71	17,49	7,91	9,58	1,66	0,61	1,02	0,03
<b>Nisan</b>	35,10	4,23	20,58	9,95	10,63	2,03	0,73	1,26	0,04
<b>Mayıs</b>	39,81	4,49	23,99	11,25	12,74	2,44	0,76	1,63	0,05
<b>Haziran</b>	41,70	4,56	24,58	11,74	12,84	2,54	0,76	1,73	0,06
<b>Temmuz</b>	40,67	4,51	25,65	11,29	14,36	2,65	0,74	1,85	0,06
<b>Ağustos</b>	36,73	4,31	26,17	10,06	16,11	2,62	0,71	1,86	0,05
<b>Eylül</b>	30,46	3,88	23,96	8,48	15,48	2,29	0,67	1,58	0,04
<b>Ekim</b>	23,23	3,26	18,95	6,60	12,35	1,73	0,55	1,15	0,03
<b>Kasım</b>	17,34	2,67	13,49	4,86	8,64	1,23	0,42	0,79	0,02
<b>Aralık</b>	14,75	2,38	10,56	3,99	6,57	0,97	0,35	0,61	0,02
<b>Yıllık</b>	28,79	3,64	19,18	8,03	11,15	1,87	0,60	1,24	0,04

Çizelge 5.9. de şınımların birimi MJ/m<sup>2</sup> dir. Verilen değerler eğik düzleme gelen günlük toplam, anlık toplam ve bunların yayılı (difüz), direkt ve anlık yansıyarak gelen kısımlarını göstermektedir. Burada anlık yansıyarak gelen ışınım hesaplanırken yansıtma oranı, kışın İzmir’de kar olmayacağından 0,2 alınmıştır. Bu grafikte aylara göre günlük toplam ışınım ve anlık toplam ışınım karşılaştırılması net olarak verilmiştir.

İzmir için aylık ortalama ışınım değerleri (eğik düzleme gelen) şekil 5.4.’de gösterilmektedir. Günlük toplam ışınım anlık toplam ışınımına göre her zaman daha üst düzeylere ulaşmaktadır.



Şekil 5.4. Atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışıınım miktarları

Yeryüzünde yaz ayları için eğik düzleme gelen ışıınım miktarı enlem açısından  $15^\circ$  az ( $\beta=23,39^\circ$ ) değerleri çizelge 5.10.'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Eğim açısı yaz ayları için enlem açısından  $15^\circ$  az

ATMOSFER DIŞI VE EĞİK DÜZLEME GELEN İŞINIM MİKTARLARI (Anlık İçin Saat 12:00-13:00)									
Aylık Ort.	Atmosfer Dışı Işınım		Yeryüzünde Eğik Düzleme Gelen Işınım Miktarı $\beta=23,39^\circ$						
	Günlük	Anlık	Işınım Günlük			Işınım Anlık			
			G.Toplam	G.Difüz	G.Direkt	A.Toplam	A.Difüz	A.Direkt	A.Yansıyarak
$H_o$	$I_o$	$H_T$	$H_{dT}$	$H_{bT}$	$I_T$	$I_{dT}$	$I_{bT}$	$I_{ref}$	
Ocak	16,26	2,55	10,09	4,70	5,39	0,94	0,40	0,54	0,01
Şubat	21,22	3,07	13,42	6,30	7,12	1,24	0,52	0,72	0,01
Mart	28,17	3,71	17,61	8,50	9,10	1,65	0,66	0,97	0,01
Nisan	35,10	4,23	21,71	10,70	11,01	2,07	0,78	1,27	0,02
Mayıs	39,81	4,49	26,22	12,10	14,12	2,56	0,82	1,72	0,02
Haziran	41,70	4,56	27,33	12,62	14,71	2,70	0,82	1,86	0,02
Temmuz	40,67	4,51	28,34	12,14	16,20	2,79	0,79	1,97	0,02
Ağustos	36,73	4,31	27,96	10,82	17,14	2,70	0,77	1,91	0,02
Eylül	30,46	3,88	24,29	9,11	15,18	2,27	0,72	1,54	0,02
Ekim	23,23	3,26	18,23	7,09	11,14	1,66	0,59	1,06	0,01
Kasım	17,34	2,67	12,53	5,22	7,31	1,15	0,45	0,69	0,01
Aralık	14,75	2,38	9,70	4,29	5,40	0,90	0,37	0,52	0,01
Yıllık	28,79	3,64	19,78	8,63	11,15	1,89	0,64	1,23	0,01

Güneş enerjisinden yararlanacak olan bir sistem değişken açılı olarak tasarlanacak ise bu sistemden optimum seviyede yararlanabilmek için bulunduğu ilin enlem açısından, yaz aylarında 10°-15° düşük olarak hesaplanmalıdır.

Yeryüzünde kış ayları için eğik düzleme gelen ışınım miktarı enlem açısından 10° fazla ( $\beta=48,39^\circ$ ) değerleri çizelge 5.11.'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Eğim açısı kış ayları için enlem açısından 10° fazla

Atmosfer Dışı Ve Eğik Düzleme Gelen Işınım Miktarları (Anlık İçin Saat 12:00-13:00)									
Aylık Ort.	Atmosfer Dışı Işınım		Yeryüzünde Eğik Düzleme Gelen Işınım Miktarı $B=48,39^\circ$						
	Günlük	Anlık	Işınım Günlük			Işınım Anlık			
			G.Toplam	G.Difüz	G.Direkt	A.Toplam	A.Difüz	A.Direkt	A.Yansıyarak
$H_o$	$I_o$	$H_t$	$H_{dT}$	$H_{bT}$	$I_T$	$I_{dT}$	$I_{bT}$	$I_{ref}$	
Ocak	16,26	2,55	11,00	4,07	6,92	1,02	0,35	0,65	0,03
Şubat	21,22	3,07	13,89	5,46	8,43	1,30	0,45	0,81	0,04
Mart	28,17	3,71	16,91	7,38	9,53	1,63	0,57	1,01	0,05
Nisan	35,10	4,23	19,27	9,28	9,98	1,95	0,68	1,20	0,07
Mayıs	39,81	4,49	21,88	10,50	11,39	2,30	0,71	1,51	0,08
Haziran	41,70	4,56	22,14	10,95	11,19	2,37	0,71	1,57	0,09
Temmuz	40,67	4,51	23,20	10,53	12,67	2,48	0,69	1,70	0,09
Ağustos	36,73	4,31	24,23	9,39	14,84	2,50	0,67	1,75	0,09
Eylül	30,46	3,88	23,01	7,91	15,10	2,23	0,62	1,54	0,07
Ekim	23,23	3,26	18,85	6,15	12,70	1,73	0,52	1,17	0,05
Kasım	17,34	2,67	13,73	4,53	9,20	1,24	0,39	0,82	0,03
Aralık	14,75	2,38	10,83	3,73	7,10	1,00	0,32	0,65	0,02
Yıllık	28,79	3,64	18,24	7,49	10,75	1,81	0,56	1,20	0,06

Güneş enerjisinden yararlanacak olan bir sistem değişken açılı olarak tasarlanacak ise bu sistemden optimum seviyede yararlanabilmek için bulunduğu ilin enlem açısından kış aylarında 10°-15° fazla olarak hesaplanmalıdır.

Yaz ve kış ayları sistem değişken açıda hesaplanacak olursa, hangi aylarda, hangi açılarda sistem max toplam ışınım değerlerinde olduğunu çizelge 5.12.'den görebiliriz.

Çizelge 5.12. Yaz ve kış ayları eğim açıları birleştirilmiş çizelge

Atmosfer Dışı Ve Eğik Düzleme Gelen Işınım Miktarları (Anlık İçin Saat 12:00-13:00)									
AYLIK ORT.	Atmosfer Dışı Işınım		Yeryüzünde Eğik D. Gelen Işınım Miktarı $\beta=23,39^\circ-48,39^\circ$						
	Günlük	Anlık	Işınım Günlük			Işınım Anlık			
			G.Toplam	G.Difüz	G.Direkt	A.Toplam	A.Difüz	A.Direkt	A.Yansıyarak
	$H_o$	$I_o$	$H_T$	$H_{dT}$	$H_{bT}$	$I_T$	$I_{dT}$	$I_{bT}$	$I_{ref}$
Ocak	16,26	2,55	11,00	4,07	6,92	1,02	0,4	0,54	0,0061
Şubat	21,22	3,07	13,89	5,46	8,43	1,30	0,5	0,72	0,0085
Mart	28,17	3,71	17,61	8,50	9,10	1,65	0,7	0,97	0,0120
Nisan	35,10	4,23	21,71	10,70	11,01	2,07	0,8	1,27	0,015
Mayıs	39,81	4,49	26,22	12,10	14,12	2,56	0,8	1,72	0,0203
Haziran	41,70	4,56	27,33	12,62	14,71	2,70	0,8	1,86	0,0219
Temmuz	40,67	4,51	28,34	12,14	16,20	2,79	0,8	1,97	0,0223
Ağustos	36,73	4,31	27,96	10,82	17,14	2,70	0,8	1,91	0,0208
Eylül	30,46	3,88	24,29	7,91	15,10	2,23	0,7	1,54	0,0165
Ekim	23,23	3,26	18,85	6,15	12,70	1,73	0,6	1,06	0,0114
Kasım	17,34	2,67	13,73	4,53	9,20	1,24	0,5	0,69	0,0075
Aralık	14,75	2,38	10,83	3,73	7,10	1,00	0,4	0,52	0,0057
Yıllık	28,79	3,64	20,15	8,23	11,81	1,91	0,6	1,23	0,0141

Çizelge 5.9, 5.10 ve 5.11 kıyaslanacak olursa eğim açıları bir birinden farklı olan bu eğik düzlem üzerine düşen ışınım aylara göre değişiklikler gösterir. Çizelge 5.9'da eğik düzlem açısı  $\beta = \phi = 38,39^\circ$  enleme eşittir ve tüm yıl için optimum bir ışınım miktarı elde edilir.

Çizelge 5.10'da eğik düzlem açısı yaz aylarında güneş ışınlarından en iyi şekilde yararlanılmak üzere enlem açısından  $15^\circ$  az olarak  $\beta = 23,39^\circ$  ayarlandığında Mart, Nisan, Mayıs Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında eğik düzlem üzerine düşen ışınım miktarı yükseldiği görülmüştür.

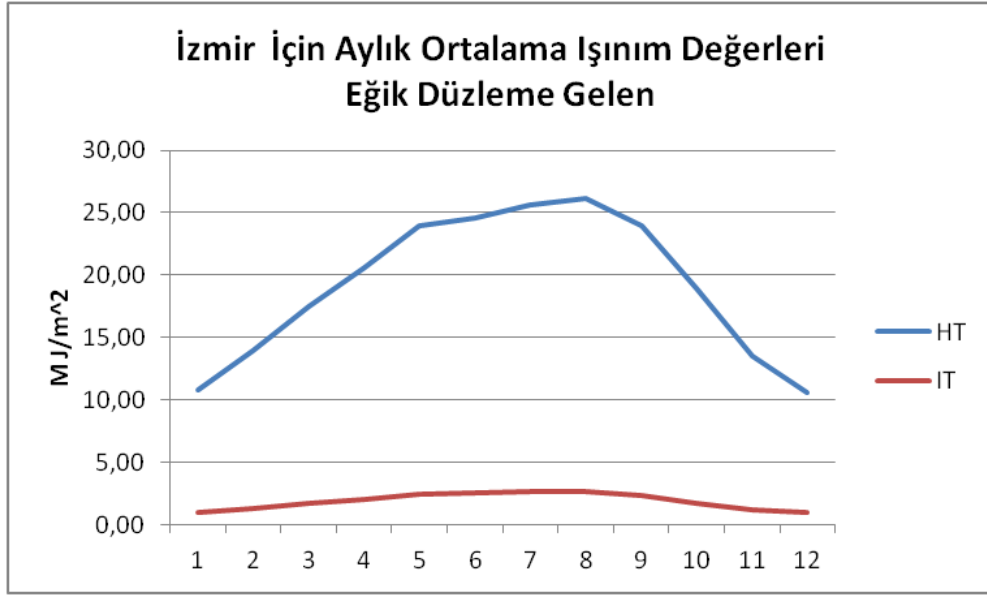
Kurulacak sistemden max fayda sağlayabilmek adına sabit açılı sistem yerine, yaz ve kış aylarında değişken açılı sistem kullanılması önerilmektedir.



Şekil 5.5. Sabit ve değişken açılı güneş paneli kurulumu (Beyoğlu, 2011)

Çizelge 5.11’de eğik düzlem açısı kış aylarında güneş ışınlarından en iyi şekilde yararlanılmak üzere enlem açısından  $10^\circ$  fazla olarak  $\beta = 48,39^\circ$  ayarlandığında Ekim, Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında eğik düzlem üzerine düşen ışınım miktarı yükseldiği görülmüştür. Bu farklılıkları aşağıdaki grafiklerden de gösterilmektedir.

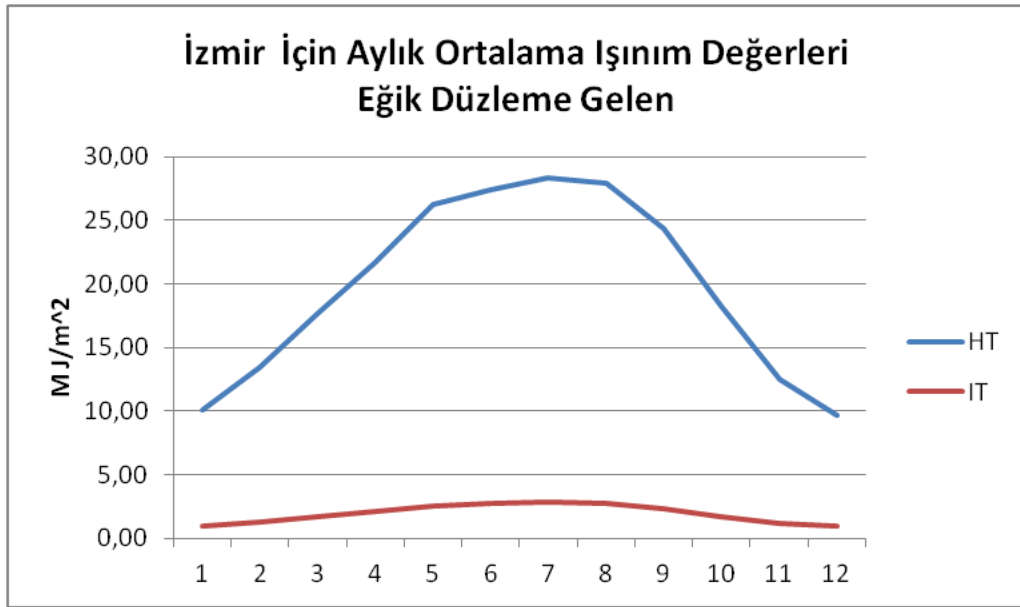
İzmir için atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışınım miktarları eğim açısı  $38,39^\circ$  iken şekil 5.6.’da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 . Atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışı nım miktarları eğim açısı 38,39°

Panellerin eğim açısı 38,39° iken günlük toplam ve anlık toplam ışı nım değerlerinin hangi aylarda daha yüksek olduğunu şekil 5.6.'da açıklamış bulunmaktayız.

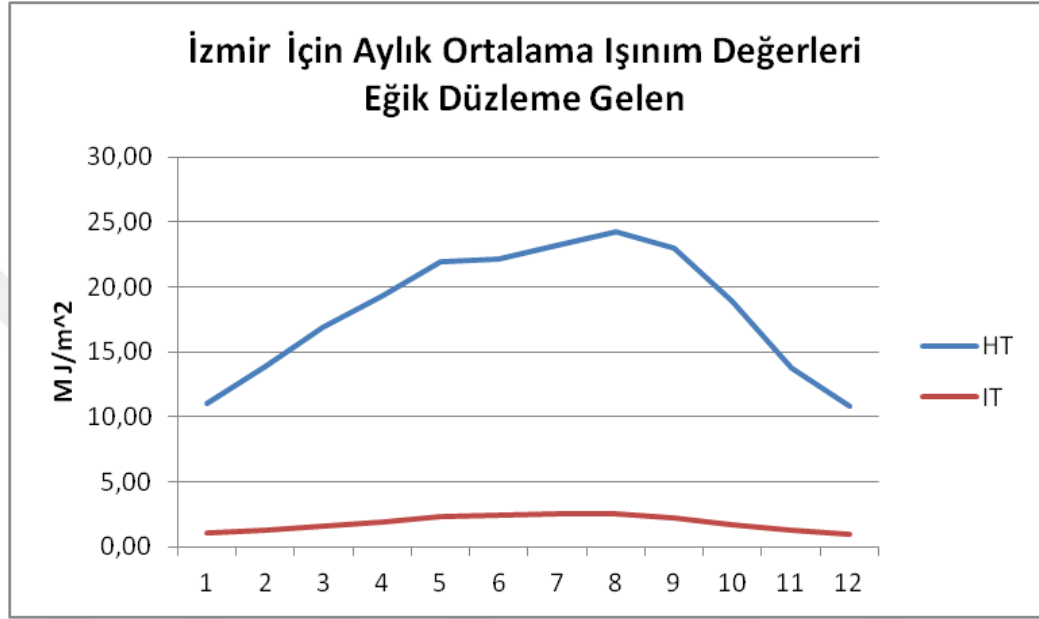
İzmir için atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışı nım miktarları eğim açısı 23,39° iken şekil 5.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışı nım miktarları eğim açısı 23,39°

Panellerin eğim açısı  $23,39^\circ$  iken günlük toplam ve anlık toplam ışınım değerlerinin hangi aylarda daha yüksek olduğunu şekil 5.7.'de açıklamış bulunmaktayız.

İzmir için atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışınım miktarları eğim açısı  $48,39^\circ$  iken şekil 5.8.'de gösterilmiştir.



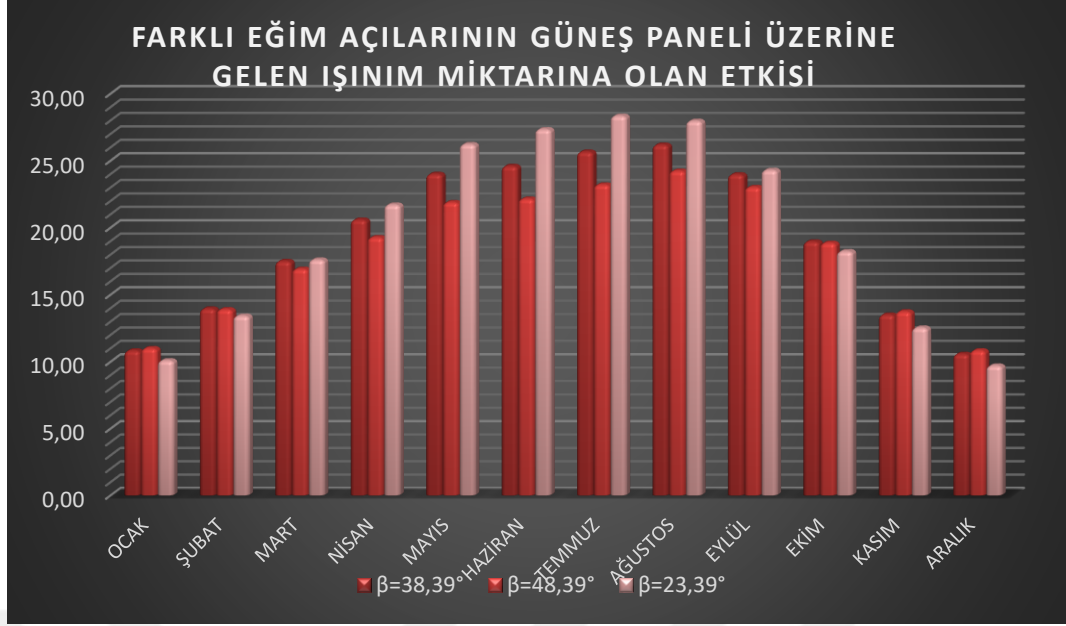
Şekil 5.8. Atmosfer dışı ve eğik düzleme gelen ışınım miktarları eğim açısı  $48,39^\circ$

Panellerin eğim açısı  $48,39^\circ$  iken günlük toplam ve anlık toplam ışınım değerlerinin hangi aylarda daha yüksek olduğunu şekil 5.8.'de açıklamış bulunmaktayız.

Farklı eğim açılarında güneş paneli üzerine gelen ışınım miktarına olan etkisi şekil 5.9 'da gösterilmiştir. Hangi ayda hangi eğim açısından daha fazla fayda sağlayacağımız basit bir şekilde karşılaştırılmıştır.

Eğik düzlem açısı kış aylarında güneş ışınlarından en iyi şekilde yararlanılmak üzere enlem açısından  $10^\circ$  fazla olarak  $\beta = 48,39^\circ$  ayarlandığında Ekim, Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında eğik düzlem üzerine düşen ışınım miktarı yükseldiği görülmüştür. yaz aylarında da enlem açısından  $15^\circ$  az olarak  $\beta=23,39^\circ$  ayarlandığında Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında eğik düzlem üzerine düşen ışınım miktarları yükseldiği görülmüştür.





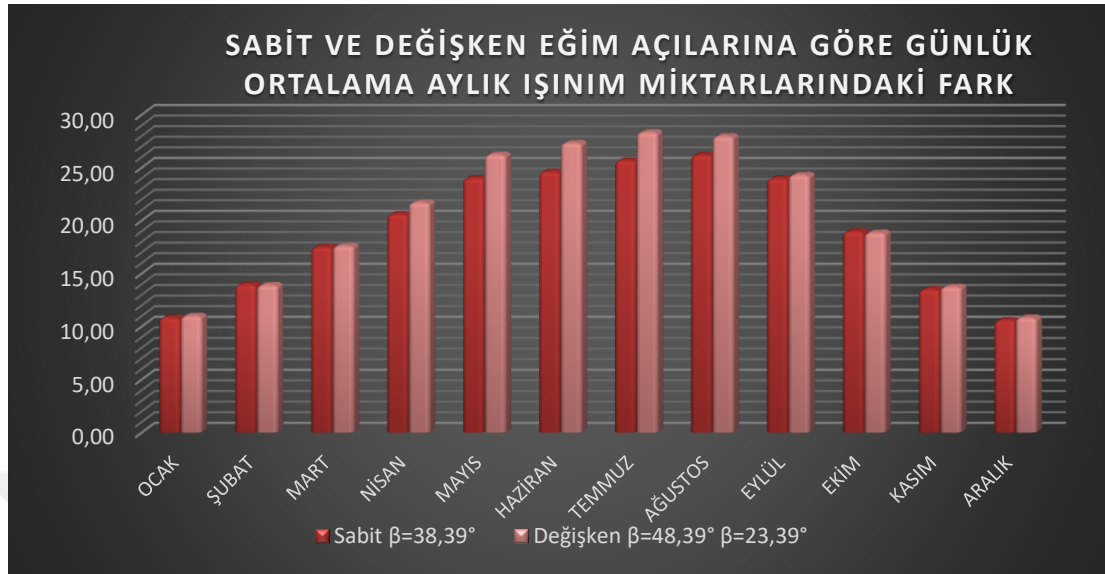
Şekil 5.9. Farklı eğim açıları için günlük ortalama aylık ışınım değerlerindeki değişim

Tüm bu grafikler ve çizelgelerden de görüleceği üzere güneş enerjisi toplayıcı yüzey olarak kullanılan materyal hangisi olursa olsun sadece eğim açısı değiştirilerek yüzeye düşen ışınım miktarı değişmiş ve sistem optimize edildiği görülmüştür. Sistemi hangi ayda, hangi açıda kullanılması daha fayda sağlayacağı şekil 5.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Eğim açısı yaz ve kış aylarında değiştirildiğinde faydalanılan ışınım miktarı arttırılabilir

Sabit ve değişken açılara göre günlük ortalama aylık ışınım miktarları arasındaki farklar aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 5.11. Sabit değişken eğim açılarna göre günlük ortalama aylık ışınım miktarlarındaki fark

Sabit ( $\beta=38,39^\circ$ ) açıda kullanılan panel ve değişken (yazlarında  $\beta=23,39^\circ$ , kış aylarında  $\beta=48,39^\circ$ ) açıda kullanılan sistemlerin sağlayacağı fayda yukarıdaki grafikte karşılaştırılmıştır. Değişken açılı sistemler güneşden daha fazla faydalanacağı için sistem açısından da faydalı olacaktır.

## 6. FOTOVOLTAİK SİSTEM HESABI

Fotovoltaik sistemlerin projelendirmesinde farklı yöntemler olmakla birlikte burada esas olan ihtiyaç duyulan enerji miktarı için gerekli olan fotovoltaik yüzey alanının hesabıdır. Fotovoltaik sistemler şebekeden bağımsız ve şebekeye direk ve endirek bağlı sistemler olarak üçe ayrılır. Şebekeden bağımsız sistemler genel olarak akülü ve düşük miktardaki enerji ihtiyacı için kullanılan sistemler olup bu sistemlerde şebekeye elektrik satışı yapılmaz elde edilen enerji akülerde depolanarak evsel v.b. ihtiyaçlar için kullanılır. Şebekeye endirek bağlı sistemlerde ise üretilen enerjinin ihtiyaç duyulan kısmı elektrik enerjisi olarak kullanılıp fazlası ise şebekeye verilerek satılabilir. Üçüncü bir sistem ise akü aracılığı ile depolama yapılmadan üretilen elektrik enerjisinin tamamı şebeke üzerinde satılan sistemlerdir.

### 6.1. Fotovoltaik Modül Alanı Hesabı

Gerekli fotovoltaik modül alanı;

$$A_{PV} = \frac{E}{H_T \eta_{PV} TCF \eta_c} \quad (6.1)$$

şeklindedir.

Burada;

E Günlük elektrik miktarı kWh/gün

$H_T$  Ortalama günlük güneş ışınımı enerjisi kWh/m<sup>2</sup> gün

$\eta_{PV}$  PV modül verimi

TCF Sıcaklık düzeltme faktörü 0,8

$\eta_c$  Çıkış verimi dönüştürücü verimi kablo direnç kayıpları vb. için 0,8

## 6.2. Fotovoltaik Modülün Pik Gücü

$$P_{\max PV} = A_{PV} \times I_{\max} \times \eta_{PV} \quad (6.2)$$

$P_{\max PV}$  PV dizinin pik gücü kW

$I_{\max}$  Yer yüzünde eğik düzleme gelen en yüksek anlık ışınım  $W/m^2$



## 7. 500 KW'LIK GÜNEŞ ENERJİSİ PANEL TASARIMI

Kapasitesi belli olan güneş paneli hesabında bu panellerin kurulacağı il ve bu ilin yeryüzünde eğik düzleme gelen en yüksek anlık ışınım miktarı fotovoltaik panellerin maliyetinde doğrudan etkindir. Çünkü yukarıdaki eşitliklerden de görüleceği üzere panel yüzey alanını doğrudan etkilemektedir. Ekonomik analiz kısmında ise ortalama günlük toplam güneş ışınımı kurulan sistemin amortisman süresini doğrudan etkileyecektir. Güneşlenme süresi yüksek olan illerde daha az yüzey alanı ile daha fazla elektrik enerjisi üretilebilecektir (Uyar, 2016).

500 kW'lık bu sistemin İzmir'de kurulduğu düşünülerek hesaplamalar yapılacak sistem optimizasyonu yine bu ildeki enlem açısına bağlı olarak yaz ve kış aylarında olması gereken en iyi eğim açısı ile analizi yapılacak ve son olarak da ekonomik analizi yapılacaktır.

Kapasitesi sabit olan bu sistemin modül alanı hesabında Eşitlik (5.2) den yararlanılarak gerekli fotovoltaik alanı hesaplanabilir. Modül alan hesabında kullanılacak bir diğer değişken ise yeryüzünde eğik düzleme düşen yıllık ortalama günlük ışınım ( $H_t$  kWh/m<sup>2</sup>) değeridir. Bu değer seçimi PV modül alanını doğrudan etkilemektedir. Çizelge 5.9, çizelge 5.10 ve çizelge 5.11 deki tablolarda görüleceği üzere aylık ortalama ışınım ve yıllık ortalama ışınım değerleri eğik düzlemin yatay ile yaptığı açıya göre değişmektedir. Çizelge 5.9, çizelge 5.10 ve çizelge 5.11 de yapılan çalışmalarda güneş ışınımından en fazla nasıl fayda sağlanabileceğini sonucuna varılmıştır.

### 7.1. PV Panel Tasarımında Gölgeleme Faktörü

Bir PV dizisinin (array) gölgelenmeyen ve gölgelenen kısımları arasındaki ışınım farkları gölgeleme kayıplarını ortaya çıkartır.

### **7.1.1. Ufuk Gölgelemesi**

Kurulum sahasından görünen dağ ve tepe dizilerinin oluşturduğu gölgeleme değildir. Genellikle bu tip gölgeleme kurulum sahasının tüm noktalarında eşittir.

### **7.1.2. Modül Sırası Gölgelemesi**

Aynı hizadaki bir modül sırasının, aynı sistemdeki öndeki başka bir modül sırası tarafından gölgelemesidir. Bu tip gölgelemeyle ilgili hesaplarda sadece direkt ışınımın engellenmesi değil, aynı zamanda difüz ışınımın da azalması hesaba katılır.

Gölgeleme PV sistemlerin hemen hemen hepsinin performansını etkileyen önemli bir tasarım faktörüdür. Güneşin pozisyonu yıl içinde ve gün içinde değiştiği için gölgeler hareket ettiği için gölgelemenin solar dizeler üzerindeki etkilerini ölçmek zor olmaktadır. Gölgeye sebep olan cisimlerdeki değişimler durumu daha da karmaşık hale getirmektedir; örneğin bir ağacın sebep olduğu gölge rüzgar nedeniyle sürekli olarak yer değiştirir ya da ağaçların yapraklarını dökmesi ve yeniden yapraklanması solar dize üzerindeki gölgelerin şiddetini değiştirir.

PV literatüründe gölgeleme analizine geniş bir yer ayrılır. Bunun sebebi bir solar panel ya da dize üzerinde küçük bir alanın bile gölgelemesinin PV sistemin toplam çıkışını önemli ölçüde etkilemesidir

Güneş paneli birden çok hücrenin seri ve paralel olarak bir araya getirilerek meydana gelen bir malzemedir .Güneş panelinin içindeki hücreler elektrik enerjisi üretir ama birbiri ile bağlantılı olarak, yani hiçbir hücre birbirinden bağımsız değildir. Yapılan bazı araştırmalara göre, güneş paneline çok az miktar gölge düşse dahi güneş panelinin ürettiği akım neredeyse yarı yarıya düştüğünü gözlemlenmiştir. Bu yüzden modüller arasındaki mesafeye dikkat edilmelidir. Modüllerin yerleşiminde gelen güneş ışınlarının bir önceki modül tarafından kesilmemesi gerekir.

## 7.2. Eğim Açısının PV Panellere Optimizasyondaki Etkisi

Eğer güneş enerjisinden yararlanacak olan bir sistem sabit açılı olarak tasarlanacak ise bu sistemden optimum seviyede yararlanabilmek için yatay düzlem ile yapacağı eğim açısı bulunduğu ilin enlem açısına eşit olmalıdır. İzmir için yapılan eğik düzleme düşen ışınım hesaplarında  $H_T$  yıllık ortalama günlük ışınım hesabı çizelge 5.12.'de hesaplanmıştır.

Gerekli fotovoltaik modül alanı(denklem 6.1);

$$A_{PV} = \frac{E}{H_T \eta_{PV} TCF \eta_c}$$

şeklindedir.

Burada;

$E$  PV panel tasarımında istenen kapasite (günlük) ( $E=500$  kWh gün)

$H_T$  Yıllık ortalama günlük toplam güneş enerjisi ( $H_T=19,18$ kWh/m<sup>2</sup> gün)  
(sabit eğim açılı sistem için hesaplanmış optimum değer)

$\eta_{PV}$  Monokristal PV modül verimi ( $\eta_{PV} = 0,17$ )

$TCF$  Sıcaklık düzeltme faktörü ( $TCF=0,8$ )

$\eta_c$  Çıkış verimi dönüştürücü verimi kablo direnç kayıpları vb. için ( $\eta_c = 0,8$ )

**Eğim açısı  $\beta = 38,39^\circ$**

$$H_T = 19,18 \text{ MJ/m}^2\text{gün} = 5,33 \text{ kWh/m}^2 \text{ gün}$$

İzmir için yıllık ortalama güneşlenme süresi  $h=7,9$  saattir (Yiğit, A., Atmaca, İ. 2010) Denklem 6.1'e göre;

$$A_{PV} = 6811,6 \text{ m}^2$$

PV modül alanı İzmir'de ( $\phi = 38,39^\circ$ ) eğim açısı  $\beta = 38,39^\circ$  için  $6812 \text{ m}^2$  çıkmaktadır.

Eğer güneş enerjisinden yararlanacak olan bir sistem değişken açılı olarak tasarlanacak ise bu sistemden optimum seviyede yararlanabilmek için bulunduğu ilin enlem açısından, yaz aylarında  $10^\circ-15^\circ$  düşük, kışın  $10^\circ-15^\circ$  fazla olarak hesaplanmalıdır. Düzlem İzmir için yapılan eğik düzeleme düşen ışınım hesaplarında  $H_T$  yıllık ortalama günlük ışınım hesabı çizelge 5.12'de hesaplanmıştır.

E PV panel tasarımında istenen kapasite (günlük) ( $E=500 \text{ kWh gün}$ )

$H_T$  Yıllık ortalama günlük toplam güneş enerjisi ( $H_T=20,15 \text{ kWh/m}^2\text{gün}$ ) (değişken eğim açılı sistem için hesaplanmış optimum değer)

$\eta_{PV}$  Monokristal PV modül verimi ( $\eta_{PV} = 0,17$ )

TCF Sıcaklık düzeltme faktörü ( $TCF=0,8$ )

$\eta_c$  Çıkış verimi dönüştürücü verimi kablo direnç kayıpları vb. için ( $\eta_c = 0,8$ )

**Eğim açısı yaz aylarında  $\beta = 23,39^\circ$ , kış aylarında  $\beta = 48,39^\circ$**

$$H_T = 20,15 \text{ MJ/m}^2\text{gün} = 5,59 \text{ kWh/m}^2 \text{ gün}$$

İzmir için yıllık ortalama güneşlenme süresi  $h=7,9$  saattir (Yiğit, A., Atmaca, İ. 2010) Denklem 6.1'e göre;

$$A_{PV} = 6495 \text{ m}^2$$



Eğer değişken açılı tasarım yapılacak olursa; çizelge 5.9. dan eğim açısı yaz aylarında  $\beta=23,39^\circ$ , kış aylarında  $\beta=48,39^\circ$  için alan  $6495 \text{ m}^2$  hesaplanmıştır. Sabit ve değişken açılı yıllık ortalama günlük 500Kw enerji üreten sistemlerin alanlarının karşılaştırılması aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 7.1. Eğim açısının optimizasyonda etkisi

Sonuç, olarak kapasite sabit olduğundan dolayı alan düşmektedir. Yüzde olarak kontrol edilirse alandan sağlanan kazanç % 4,63 tür.

### 7.3. PV Panell Seçiminin Optimizasyondaki Etkisi

Kapasitesi sabit olan bir sistem için; seçilecek olan PV paneller arasındaki verim farklılıkları doğrudan PV panel alanını etkileyecektir. Monokristal panellerin verimleri pratikte %17 civarında iken Polikristal panellerin pratikteki verimleri %13 civarındadır ve bu değerlere göre alan hesabı tekrar yapılabilir. Yukarıdaki hesaplamada monokristal kullanılmıştır, polikristal kullanılsaydı, Pv modül alanı hesabı:

E PV panel tasarımında istenen kapasite (günlük) ( $E = 500$  kWh gün)

$H_T$  Yıllık ortalama günlük toplam güneş enerjisi ( $H_T = 20,15$  kWh/m<sup>2</sup> gün)  
(değişken eğim açılı sistem için hesaplanmış optimum değer)

$\eta_{PV}$  polikristal PV modül verimi ( $\eta_{PV} = 0,13$ )

TCF Sıcaklık düzeltme faktörü (TCF = 0,8)

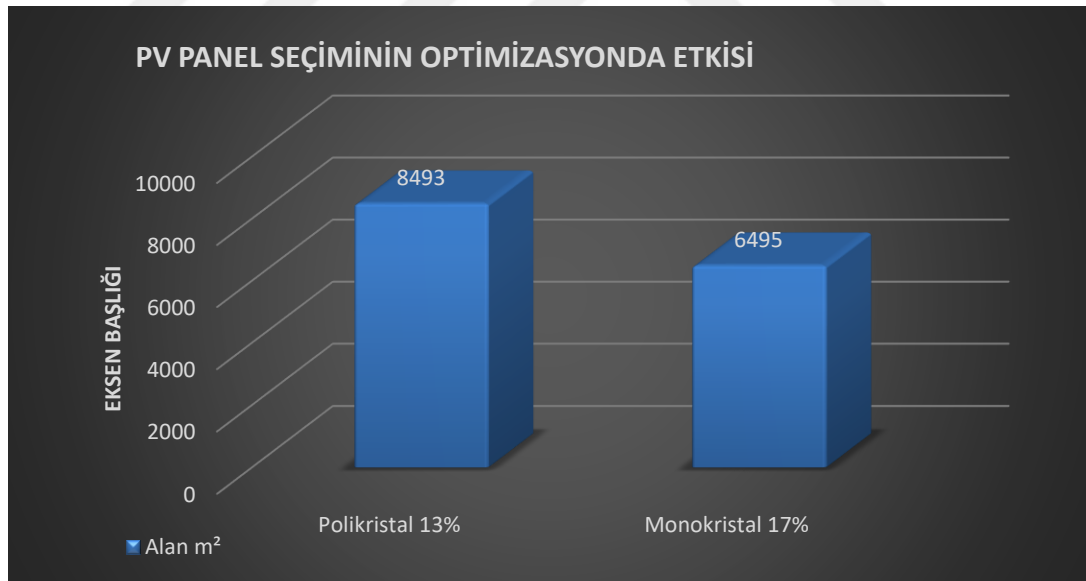
$\eta_c$  Çıkış verimi dönüştürücü verimi kablo direnç kayıpları vb. için ( $\eta_c = 0,8$ )

$H_T = 20,15$  MJ/m<sup>2</sup> gün=5,59 kWh/m<sup>2</sup> gün

İzmir için yıllık ortalama güneşlenme süresi  $h=7,9$  saattir (Yiğit, A., Atmaca, İ. 2010) Denklem 7.1'e göre;

$$A_{PV} = 8493\text{m}^2$$

Pv panel tipi seçiminin optimizasyondaki etkisini şekil 7.2 de görülmektedir.



Şekil 7.2. Pv panellerin optimizasyonda etkisi

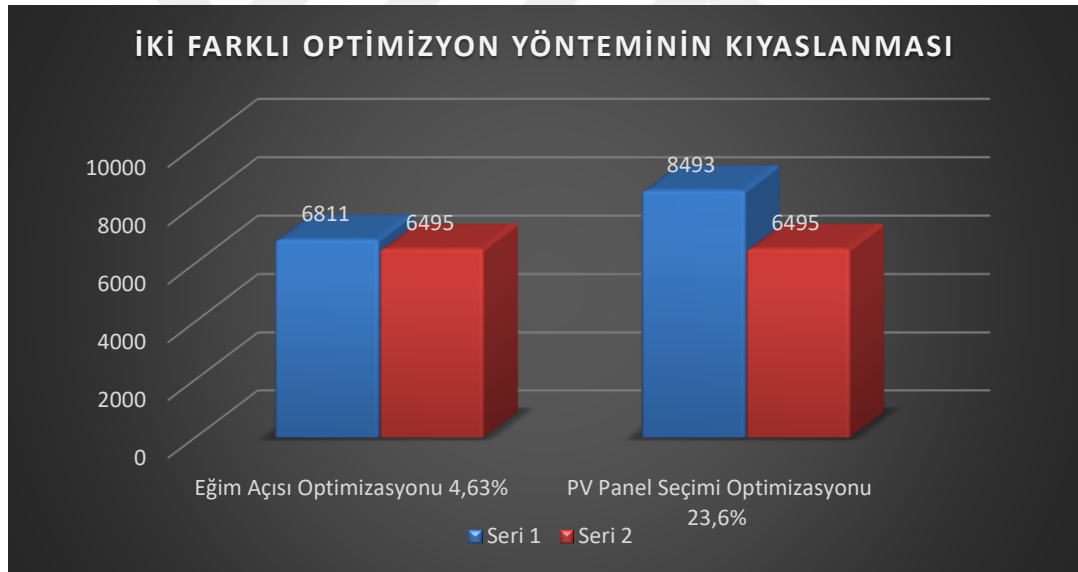
PV panellerin optimizasyona olan etkisi grafikte görüldüğü üzere verimi düşük olan panel ile verimi yüksek olan panellerden aynı kapasitede elektrik üretilmeye çalışıldığında ihtiyaç duyulan güneşlenme yüzey alanı

değişmektedir. Monokristal panel ile kurulacak sistem, polikristal ile kurulacak sisteme göre %23,6 panel alanından kazanç sağlamaktadır.

Sonuç: Monokristalli PV panellerde verim % 17, polikristalli PV panellerde ise verim % 13'tür. Ancak aradaki % 4'lük fark küçük gibi görülsede hesap yönteminde çarpanlar ile ilerlendiğinden bu fark küçük bir farklılık olarak algılanmamalıdır. Nitekim hesap yöntemi alanda sağlanan kazancı %23,6 olduğunu bize göstermektedir. Dolayısıyla burada alandan sağlanan kazanç verimler arasındaki fark değil düşük olan verimin büyük olan verime oranıdır.

#### 7.4. İki Farklı Optimizasyon Yönteminin Kıyaslanması

Aşağıdaki grafikten görüleceği üzere iki farklı optimizasyon yönteminin kıyaslaması yapılmıştır



Şekil 7.3.İki farklı optimizasyon yönetiminin kıyaslanması

Soldaki değerler monokristal kullanılarak alan hesabı yapıldığında çıkan sonucu göstermektedir. Sistemin eğim açısı sabitken(mavi grafik) 6811m<sup>2</sup> alana ihtiyaç vardır, yaz ve kış aylarında değişken açı kullanarak yaptığımız (kırmızı grafik) panel tasarımında ise 6495m<sup>2</sup> alana ihtiyaç vardır. Bu sonuç eğim açısı değiştirerek yaptığımız çalışmada %4.63'lük alandan kazanç sağlamaktayız.

Sağdaki grafik ise eğim açısı değişken panel kullanarak farklı verimlerde panel kullanılması sonucu çıkan alan hesaplarıdır. Kurulacak sistemi monokristal panel ile hesapladığımızda 8493m<sup>2</sup> alana ihtiyaç vardır. Eğer sistemin polikristal panel ile kurulacağı düşünülürse 6495m<sup>2</sup> alana ihtiyaç duyulacaktır. Bu sonuç gösteriyor ki; verimi yüksek olan monokristal panel kullanıldığında %23,6'lık daha az alana ihtiyaç duyulacaktır.

Bu sonuç Pv panellerin optimizasyonunda yaz ve kış aylarına geçişlerde olmak üzere iki farklı açı kullanarak sistemin gün ışığından daha fazla yararlandığını ve PV panel seçiminin önemini ortaya koymaktadır.

### 7.5. 500 kW'lık Fotovoltaik Modülün Pik Gücü

PV panellerin güneş aşınımlarının en yüksek aylarda ve güneş ışınım şiddetinin enyüksek olduğu saatlerdeki pik gücünü biliyor olmak AC/DC çevirici ekipmanların ve kablo kesitlerinin hesaplanması açısından önem arz etmektedir. 500 kW lık bu sistem için Pik gücü hesabı aşağıdaki formül ile yapılabilir;

$\eta_{PV}$  Monokristal PV panel verimi ( $\eta_{PV} = 0,17$ )

Eşitlik 5.2'den ve Çizelge 5.10'dan Temmuz ayı için;

$$I_{\max} = 0,775 \text{ kWh/m}^2$$

$$P_{\max PV} = A_{PV} I_{\max} \eta_{PV} = 855,7 \text{ kW}$$

## **8. 500 KW'LİK PV MODÜLÜN EKONOMİK ANALİZİ**

PV sistemi oluşturan öğeler, PV panel, panel taşıyıcı sistem, elektriksel bağlantı ve solar evirici olmak üzere 4 ana başlık altında toplanmaktadır. Sistemin şebekeden bağımsız olarak kurulabilmesi için, sistemi oluşturan yukarıdaki ana öğelere ek olarak opsiyonel olarak batarya ve şarj kontrol ünitesi kullanılabilir.

### **8.1. PV Panel Maliyeti**

500 kW büyüklüğünde güneş enerji santrali projesi için güneş paneli maliyeti watt başına 0,40\$ ile 0,80\$ arasında değişmektedir. Güneş Enerji Santrali için güneş paneli maliyeti;

$500.000 \text{ watt} \times 0,80 \text{ ¢}/\$ = 400.000\$$ 'dır.

### **8.2.Solar İncirter (Eviriciler)**

Eğer güneş enerji santrali amortisman süresini kısaltmak istiyorsanız, güneş paneli ve incirter için fiyat çalışmasını çok ciddi yapmalısınız. Çünkü bu kısımlar belki size 1 sene daha erken amortisman şansı verebilir. Türkiye'de çok çeşitte incirter modeli bulunmaktadır. İncirter tercihi çok önemlidir. Güneş paneli ne kadar önemli ise incirter de bir o kadar önemlidir.

Çünkü incirter çeşitleri arasında da verimlilik oranları değişmektedir. Bir incirterin verimliliği ne kadar çok ise amortisman süresini o kadar kısaltır.

500 kW'lık güneş enerji santrali için incirter maliyeti;

$500.000 \text{ watt} \times 0,2/\$ = 100.000\$$  'dır.

### **8.3. Solar Konstrüksiyon Maliyeti**

Konstrüksiyon maliyeti ile inverter maliyeti neredeyse aynıdır.

500 kW güneş enerji santrali için konstrüksiyon maliyeti;

$500.000 \text{ watt} \times 0,18\$ = 90.000\$$  'dır.

### **8.4. Çift Yönlü Sayaç ve Tek Yönlü Sayaç Maliyeti**

Güneş santralimiz için 1 adet tek yönlü sayaç ve 1 adet çift yönlü sayaç işimizi görecektir.

- Tek yönlü sayaç maliyeti 100 ₺
- Çift yönlü sayaç maliyeti 900 ₺

### **8.5. Güneş Panelleri için Kablo Kanalı Maliyeti**

500 kW'lık güneş enerji santrali için yaklaşık 1.200 m galvaniz kablo kanalı kullanılması gerekmektedir. Kablo kanallarının fiyatları değişkenlik gösterir. Ortalama kablo ortalama birim maliyetini 14₺ alırsak,

500 kW'lık ges için galvaniz kablo kanalı maliyeti;

$1.200 \text{ m} \times 14₺ = 16.800₺$  'dir.

### **8.6. Solar Kablo (Fotovoltaik Kablo) Maliyeti**

Güneş tarlası projemizde solar kablolar kullanacağız. Bu kablolar güneş panelleri için kullanılacaktır. Yaptığımız hesaplara göre 6mm çapında solar kablo işimizi çok rahat görüyor. Solar kablonun birim maliyetini ortalama 1,99₺ alırsak,

500 kW güneş enerji santrali için 6mm solar kablo maliyeti;

$4.200 \text{ m} \times 1,99 ₺ = 8.358₺$  'dir.

### **8.7. Paratoner (Yıldırımdan Koruma) Maliyeti**

Fotovoltaik sistemlerin ani aşırı gerilim ve yıldırım darbesine karşı zarar görmesini engellemek amacıyla IEC 62305-5 Standartı kapsamında fotovoltaik sistemleri koruma altına alması bir zorunluluktur. Yıldırımdan Korunma Merkezi olarak IEC 62305 standartları çerçevesinde solar yatırımlarda paratoner kullanımını öneriliyor.

Böyle bir güneş enerji santrali projesi için 1 adet 10 metre yüksekliğinde paratoner sistemi yıldırım düşmesinden koruyacaktır.

500 kW güneş tarlası için paratoner maliyeti;

1 Takım x 7.000₺ = 7.000₺ 'dir.

### **8.8. Enerji Nakil Hattı ve Trafo Tesisi Maliyeti**

500 kW güneş enerji santrali için E.N.H. ve Trafo maliyeti yaklaşık 130.000₺ 'dir.

### **8.9. Saha İnşaat İşleri için Maliyet**

10 dönümlük arazimizde güneş enerji tesisimizi kurmadan önce sahada stabilize çalışması yapılması ve sahanın düzenlenmesi gerekiyor. Ancak bu maliyet çok değişkenlik gösterebilir.

500 kW güneş santrali için yaklaşık saha düzenlemesi maliyeti 80.000₺ 'dir.

### **8.10. Güneş Enerji Santrali için Saha Aydınlatması Maliyeti**

Eğer güneş enerji santrali tesisimizin aydınlatılmasını istiyorsanız, saha aydınlatma maliyetlerini de hesaba katmanız gerekiyor. Ve düzgün bir arazi ve düzgün bir aydınlatma işi için yapılacak masraflar şunlardır.

500 kW güneş enerji santrali için yaklaşık aydınlatma maliyeti 15.000₺ 'dir.

### 8.11. Proje ve Arazi Maliyetleri

Tesis için proje bedelleri genelde standarttır. Ancak arsa bedelleri değişkenlik gösterir. Yaklaşık bir maliyet alıcak olursak;

Proje bedelleri 20.000₺

Özel imar izni bedelleri 15.000₺

Proje onay bedelleri 5.000 ₺ – 10.000₺ 'dir.

Arazi bedeli 10.000 m<sup>2</sup> x 15₺ = 150.000₺'dir.

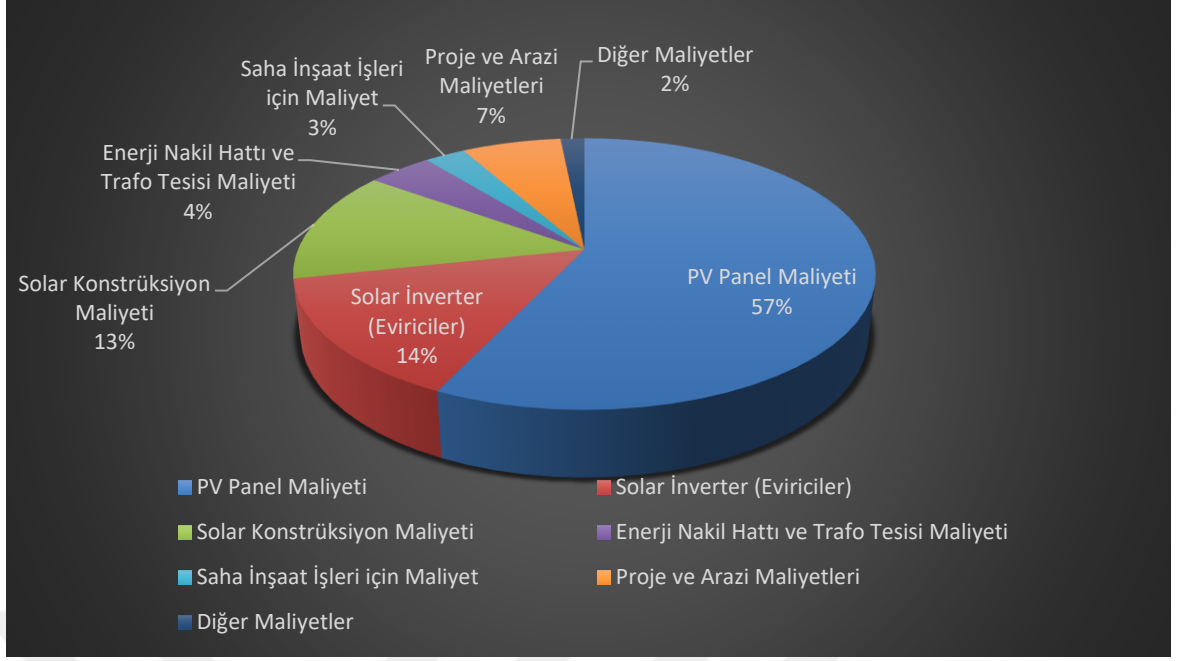
500 kW'lık güneş enerjisi santrali için harcanan bu maliyetler yaklaşık 195.000₺ 'dir.

Çizelge 8.1. 500 kW'lık bir güneş enerjisi paneli kurulum maliyeti

500 KW'lık PV PANEL KURULUM MALİYETLERİ			
1	<b>PV Panel Maliyeti</b>	400.000,00	\$
2	<b>Solar İnverter (Eviriciler)</b>	100.000,00	\$
3	<b>Solar Konstrüksiyon Maliyeti</b>	90.000,00	\$
4	<b>Çift Yönlü Sayaç ve Tek Yönlü Sayaç Maliyeti</b>	177,00	\$
5	<b>Güneş Panelleri için Kablo Kanalı Maliyeti</b>	3.010,00	\$
6	<b>Solar Kablo (Fotovoltaik Kablo) Maliyeti</b>	1.350,00	\$
7	<b>Paratoner (Yıldırımdan Koruma) Maliyeti</b>	1.200,00	\$
8	<b>Enerji Nakil Hattı ve Trafo Tesisi Maliyeti</b>	22.500,00	\$
9	<b>Saha İnşaat İşleri için Maliyet</b>	14.100,00	\$
10	<b>Güneş Enerji Santrali için Saha Aydınlatması Maliyeti</b>	2.550,00	\$
11	<b>Proje ve Arazi Maliyetleri</b>	34.450,00	\$
12	<b>İşletme Maliyeti Yıllık</b>	12.000,00	\$
13	<b>Bakım ve Temizlik Giderleri</b>	6.000,00	\$
	<b>Toplam maliyet</b>	677.334,00	\$

500kW'lık sistem kurulum maliyeti çizelge 8.1.'de verilmiştir. Bu hesaplamalarda maliyeti en fazla etkileyen panel maliyetidir. Aşağıdaki şekilde kurulum maliyetlerinin % olarak karşılaştırılmasını daha iyi görmekteyiz.





Şekil 8.1. 500 kW'lık bir güneş enerjisi paneli kurulum maliyeti karşılaştırılması

PV panel maliyeti sistemin kurulumunu %57 oranında etkilemektedir. Ancak yüksek verimli panel seçimimiz, panel alanını düşürdüğü için arazi, saha işleri ve diğer maliyetleride düşürmüştür.

## 9. 500 KW'LIK GES AMORTİSMAN HESABI

GES lerinde üretilen elektrik enerjisinin devlete satış fiyatı 2018 yılında 10,4 Dolar cent ( 0,104 \$ ) olarak belirlenmiştir. Kurulum maliyeti 677.334,00 \$ olan 500 kW'lık bir güneş enerji santralinin yıllık getirisi ve amortisman süresi hesabı aşağıdaki gibidir,

Çizelge 9.1. Eğim açısı değişken olan 500 kW'lık sistemin analizi

<b>Eğik Düzlem açısı Monokristal PV modülün yatay ile yaptığı açı yazın <math>\beta=23,39^\circ</math>, kışın <math>\beta=48,39^\circ</math></b>					
<b>AYLAR</b>	<b>G.Toplam</b>	<b>Anlık ışıınım</b>	<b>PV MODÜL 6495 m<sup>2</sup></b>		<b>Eğim Açısı Değişken</b>
	<b>MJ/m<sup>2</sup>-gün</b>	<b>MJ/m<sup>2</sup>-h</b>	<b>kWh-gün</b>	<b>kW</b>	
	<b>H<sub>T</sub></b>	<b>I<sub>T</sub></b>	<b>Eel</b>	<b>P<sub>maxpv</sub></b>	
OCAK	11,00	1,02	2183	276	48,39°
ŞUBAT	13,89	1,30	2771	351	48,39°
MART	17,61	1,65	3283	416	23,39°
NİSAN	21,71	2,07	4132	523	23,39°
MAYIS	26,22	2,56	6199	785	23,39°
HAZİRAN	27,33	2,70	6538	828	23,39°
TEMMUZ	28,34	2,79	6760	856	23,39°
AĞUSTOS	27,96	2,70	4612	584	23,39°
EYLÜL	24,29	2,27	3883	492	23,39°
EKİM	18,85	1,73	2957	374	48,39°
KASIM	13,73	1,24	2306	292	48,39°
ARALIK	10,83	1,00	1847	234	48,39°
<b>YILLIK</b>	<b>20,15</b>	<b>1,92</b>	<b>3956</b>	<b>501</b>	<b>!</b>

Aylara göre değişken eğim açısı ve günlük toplam ışıınım mikralarını çizelge 9.1.'de verilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar bu çizelgede birleştirilmiştir.

Çizelge 9.2.'de eğim açısı değişken olan 500 kW'lık güneş enerjisi santrali için yıllık elektrik satış analizi verilmiştir.

Çizelge 9.2. Eğim açısı değişken olan 500 kW'lık güneş enerjisi santrali için yıllık elektrik satış analizi

<b>Eğik Düzlem açısı PV modülün yatay ile yaptığı açı değişken PV Monokristal</b>				
<b>AYLAR</b>	<b>G.Toplam</b>	<b>Anlık ışınım</b>	<b>PV MODÜL 6495 m<sup>2</sup></b>	
	<b>kWh-gün</b>	<b>kW</b>	<b>MWh-ay</b>	<b>₺ satış tutarı</b>
	<b>Eel</b>	<b>Pmaxpv</b>	<b>Eel</b>	
OCAK	1861,85	270	65,49	6.484,55 \$
ŞUBAT	2352,83	343	83,14	8.232,04 \$
MART	2981,50	435	98,48	9.750,15 \$
NİSAN	3675,70	548	123,96	12.273,32 \$
MAYIS	4439,47	677	185,96	18.412,56 \$
HAZİRAN	4628,11	714	196,14	19.419,81 \$
TEMMUZ	4798,32	738	202,81	20.080,00 \$
AĞUSTOS	4733,87	714	138,37	13.700,26 \$
EYLÜL	4113,85	601	116,50	11.534,46 \$
EKİM	3192,07	457	88,72	8.784,05 \$
KASIM	2325,23	329	69,18	6.849,24 \$
ARALIK	1833,76	264	55,40	5.485,26 \$
YILLIK	3411,38	507	1424	141.005,69 \$

Eğim açısı değişken olarak düşünülen ve montajı sabit olarak yapılan güneş panellerinin yıllık ürettiği elektrik enerjisinin satış tutar 141.005,69 \$ ' dir.

Kurulum maliyeti 677.334,00 \$ olan bu güneş enerjisi santralinin amortisman süresi ;

$$\frac{677.334,00 \$}{141.005,69 \$ /yıl} = 4.8 \text{ yıl}$$

Yaklaşık 4 yıl 9 aydır.

## 10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi elektrik enerjisi üretiminde en büyük paylardan birine sahiptir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik sistemlerin maliyetini etkileyen bazı unsurlar vardır.

İzmir için yapılan güneş enerjisi hesabı, fotovoltaik sistemin tasarlanması ve diğer analizlerin sonucunda görülüyor ki bu tür güneş enerjisinden yararlanan sistemlerin optimizasyonu için eğik düzlemin açısı ve panel seçimi ile güneş enerjisinden en fazla fayda elde edilebilecek seçimler yapılabilir.

Günlük 500 kW'lık bir fotovoltaik güneş enerjisi sisteminin yeryüzünde eğik düzleme düşen günlük toplam güneş ışınımından daha fazla yararlanabilmek için panellerin açısını yaz aylarında  $23,39^\circ$  ve kış aylarında  $48,39^\circ$  olarak değiştirildiğinde, sabit panel açısına ( $38,39^\circ$ ) göre daha az panel kullanılacağı hesaplamalarla görülmüştür. Bu fark %4,63 oranında panel alanını olumlu yönde etkilemiştir. İkinci olarak sistemi optimize etmek adına güneş enerjisi sisteminin yeryüzünde eğik düzleme düşen günlük toplam güneş ışınımından en fazla faydayı sağlayabilmek için PV panel tipi seçimi yapılmış ve ilk kurulum maliyetinde ciddi bir kazanç sağladığı görülmüştür. Monokristalli PV paneller ile Polikristalli PV paneller arasındaki verim farkı sadece %4 olmasına rağmen, panel alanında %23,6 gibi ciddi bir kazanç vardır.

Panellerin iki farklı açıda kullanılması ve panel tipi seçimi gibi optimizasyonlarla birlikte sistemin kurulum maliyeti 525.637,00\$ olarak hesaplanmıştır. Sistemin amortisman süresini 4 yıl 9ay olduğu görülmüştür.

Bütün bu verilen bilgiler ve yapılan optimizasyonlar ışığında, alternatif enerji kaynaklarını en verimli ve en düşük maliyette kullanabilmemiz için çeşitli uygulamalar yapılabileceği sonucuna ulaşılmaktadır. Yapılan bu çalışmanın konu başlığına uygun olması ve amacına ulaşmış olması ümidiyle konuyla ilgilenenlere de faydalı olmasını dilerim.

## KAYNAKLAR

- Abuşka, M. 2012. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları Ders Notları. Erişim Tarihi: 10.03.2019. [http://akhisarmyocbu.edu.tr/db\\_images/file/gunes-enerjisi-1-1283TR.pdf](http://akhisarmyocbu.edu.tr/db_images/file/gunes-enerjisi-1-1283TR.pdf)
- Antalya Güneş Enerjisi. 2016. Güneş Enerjisi İle İlgili Genel Bilgiler. Erişim Tarihi: 11.05.2019. <https://antalyagunesenerjisi.wordpress.com/2016/06/22/1-2-gunes-enerjisi-ile-ilgili-genel-bilgiler/>
- Aras, O.N., Öztürk, M., Erdoğan, E. 2012. Türkiye'nin Cari Açık Sorunu ve Soruna Çözüm Noktasında Yeni Yatırım Teşvik Sisteminin Değerlendirmesi. Ekonomi Bilimleri Dergisi. 4(1), 91-104.
- Arslan, İ., 2018. Tekirdağ Koşullarında Polikristal Ve Monokristal Tip Pv Güneş Panellerinin Verimlilik Karşılaştırılması. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 14s.
- Ay, F. 2016. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı. Erişim Tarihi: 22.08.2019. <https://docplayer.biz.tr/10104881-Dr-fatih-ay-tel-0-388-225-22-55-ayfatih-nigde-edu-tr.html>
- Bakırcı, K. 2006. Optimum Toplayıcı Eğim Açısının Aylara Göre Değişimi. Mühendis ve Makina, 47(562), 26-30.
- Batman M., 2001. Elektrik Üretimi için Güneş Pillerinin Kullanımında Verimi Artırıcı Yeni Bir Yöntem, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s104, İstanbul.
- Beyoğlu, M. F. 2011, Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi İle Sabit Eksenli Pv Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması. Balıkesir Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir
- Brötje, S., Kirchner, M., Giovannetti, F. 2018. Performance and Heat Transfer Analysis of Uncovered Photovoltaic-Thermal Collectors with Detachable Compound. Solar Energy, 170, 406-418.
- Bulut, H. 2009. Güneş Enerjisi Isıl Uygulamalar. Temiz Enerji Teknolojileri Kursu, 9-13 Şubat, Gaziantep, 39s.
- B. Parida, S. Iniyana, R. Goic, A review of solar photovoltaic technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15/3 (2011) 1625-1636.

- C.Can Tutaşı, Güneş Enerjisinden Isı Ve Elektrik Eldesinin Tekno-Ekonomik Simülasyonu: Örnek Bir Uygulama Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 2018
- Copiello, S., Grillenzoni, C. 2017. Solar Photovoltaic Energy and Its Spatial Dependence. 4th International Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESE 2017), 25-29 September, Berlin, Germany, 86-90.
- Çengel, Y. A., Boles, M., 2008. Thermodynamics an Engineering Approach, Graw Hill Companies, p6.
- Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS). 2013. Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers. Earthscan from Routledge, 524p, Berlin.
- Duran F., 2014. Pv/T Hibrit Sistemlerin Termodinamik ve Performans Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,17s. Isparta
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. 2009. Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi. Erişim Tarihi: 10.03.2019. <https://docplayer.biz.tr/28558-Dunya-da-ve-turkiye-de-gunes-enerjisi.html>
- Eliyi, D.T., Çaylan, T. 2008. Güneş Enerjisi ve Led ile Etkin Enerji Kullanımı: Yol Aydınlatmalarına Yönelik Bir Uygulama. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 19(2), 2-15.
- El-Shobokshy, M.S., Hussein, F.M. 1993. Degradation of Photovoltaic Cell Performance Due to Dust Deposition on to Its Surface. Renewable Energy, 3(6-7), 585-590.
- E. Radziemska, P. Ostrowski, Recycling and reuse of photovoltaic systems components, Proceedings of ECOpole 2/1 2007, 237-242.
- Faiers, A., Neame, C. 2006. Consumer Attitudes Towards Domestic Solar Power Systems. Energy Policy, 34(14), 1797–1806.
- Fernández, R., Ortiz, C., Chacartegui, R., Valverde, J.M., Becerra, J.A. 2019. Dispatchability of Solar Photovoltaics from Thermochemical Energy Storage. Energy Conversion and Management, 191, 237-246.
- Fıratoglu, Z.A., İşiker, Y., Yemenici, O., Yeşilata, B. 2018. Fotovoltaik Panel Karakteristiklerini Hesaplayan Desktop Tabanlı Bir Yazılım Geliştirilmesi

- ve Şanlıurfa İli için Örnekleme Çalışması. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 1, 57-64.
- Gönültaş, E. 2017. Güneş Enerjisi Santrallerinin Tasarımı Ve Performans Analizi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56s, Elazığ.
- Hofierka, J., Süri, M. 2002. The Solar Radiation Model for Open Source GIS: Implementation and Applications. Proceedings of The Open Source GIS - GRASS Users Conference, 11-13 September, Trento, Italy, 1-19.
- Hottel, H., Woertz, B. 1942. Performance of Flat-Plate Solar-Heat Collectors. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, 64, 91-96.
- International Energy Agency. 2014. Solar Photovoltaic Energy. Technology Roadmap, Paris, 7-28.
- Joshi A., Dinçer I., Reddy B., 2009. Thermodynamic Assessment of Photovoltaic Systems. Solar Energy, 83, p1139-1149.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A.A., Kim, K.H. 2018. Solar Energy: Potential and Future Prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82(1), 894-900.
- Kaçan, E., Ülgen, K. 2012. Güneş Enerjisi Toplayıcılarında Eğitim ve Yönlendirmenin Yararlanabilirliğe Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(4), 837-846.
- Kallioğlu, M.A., Ercan, U., Avcı, A.S., Karakaya, H. 2017. 2. Uluslararası Enerji ve Mühendislik Konferansı, 12-13 Ekim, Gaziantep, 180-186.
- Kalogirou S., Tripanagnostopoulos Y., 2006. Hybrid PV/T Solar Systems for Domestic Hot Water and Electricity Production. Energy Conversion and Management, 47, p3368-3382.
- Kandemir, R. 2012. Compton Etkisi. Erişim Tarihi: 11.05.2019. <http://www.medikalfizikci.com/2012/09/lisans-tezimden-notlar-9-compton-etkisi.html>
- Kannan, N., Vakeesan, D. 2016. Solar energy for future world: - A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 1092-1105.
- Kantaroğlu, F. 2010. Fotovoltaik Sistemler. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, 68(1), 28-34.

- Kaynaklı Ö., Özdemir S., Karamangil M.İ., 2012. Güneş Işınımı ve Duvar Yönü Dikkate Alınarak Optimum Isıl Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(2), 367-374.
- Keçel S., 2007. Türkiye'nin Değişik Bölgelerinde Evsel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri İle Karşılmasına Yönelik Model Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 159s. Ankara.
- Keskin, A.O., Özgün, H., Verdioğlu, S. 2011. Fotovoltaik Hakkında Temel Bilgiler Semineri, 24 Ekim, İzmir, 1-90.
- Kılıç, F.Ç. 2015. Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. Mühendis ve Makina, 56(671), 28-40.
- Kılıç, A., Öztürk, A., 1980. Güneş Enerjisi. Kipaş Dağıtımcılık, 331, İstanbul.
- Kılıç, H., Gümüş, B., Yılmaz, M. 2016. Diyarbakır İli İçin Güneş Enerjisi Verilerinin Meteorolojik Standartlarda Ölçülmesi ve Analizi. Elektrik Mühendisleri Odası Bilimsel Dergi, 5(10), 47-52.
- Kıncay, O. 2009. Güneş Enerjisi II. Bölüm. Erişim Tarihi: 20.08.2019. <http://www.solar-academy.com/menus/Gunes-Enerjisi.021720.pdf>
- Köroğlu, T., Teke, A., Bayındır, Ç., Tümay, M., 2010. Güneş paneli sistemlerinin tasarımı. Çukurova Üniversitesi, Elektrik mühendisliği dergisi, 439sayı, 98s.
- L.A. Dobrzański, A. Drygała, M. Giedroć, M. Macek Monocrystalline silicon solar cells applied in photovoltaic system Received 21.05.2012; published in revised form 01.07.2012
- L.A. Dobrzański, Non-metallic engineering materials, Silesia University of Technology Press, Gliwice, 2008 (in Polish).
- Maghami, M. R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M. A., Rezadad, M. I., Hajighorbani, S. 2016. Power Loss Due to Soiling on Solar Panel: A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59, 1307-1316.
- Meder, S.E., Pennetier, O.A., Ansberry, D.M. and Brunner, M.I. 2007. Assessment of solar energy potential on existing buildings in a region. US 7305983, (10), Honolulu.
- Öztürk, H.H., Kaya, D. 2013. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji. Umuttepe Yayınları, 415s, Kocaeli.



- Page, J., 2012. Practical Handbook of Photovoltaics (573-643). Academic Press, 1268p, Cambridge.
- Pathak, M.J.M., Sanders, P.G., Pearce, J.M , Optimizing limited solar roof access by exergy analysis of solar thermal, photovoltaic, and hybrid photovoltaic thermal systems, Applied Energy, no.120, s.115-124, 2014.
- Pearsall, N., 2017. The Performance of Photovoltaic (PV) Systems: Modelling, Measurement and Assessment. Woodhead Publishing, 366p, Cambridge.
- R. Ciach, J. ĩelazny, Photovoltaic material and technology, Foundation of development in material science, Cracow, 2005 (in Polish).
- Oğuz, O., Karahan, A., Uslu, B.2015. Afyonkarahisar'da Kurulu Olan Monokristal, Polikristal ve İnce Film Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi.Tesisat Mühendisliğı Dergisi, 47s.
- Qu, W., Hong, H., Jin, H. 2019. A Spectral Splitting Solar Concentrator for Cascading Solar Energy Utilization by Integrating Photovoltaics and Solar Thermal Fuel. Applied Energy, 248, 162-173.
- Öztürk, H.,H., Kaya, D. 2013. Fotovoltaik Teknoloji, Umuttepe Yayınları, Kocaeli, 417s.
- Sampaio, P.G.V., González, M.O.A. 2017. Photovoltaic Solar Energy: Conceptual Framework. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, 590-601.
- Schiebler, B., Jack, S., Dieckmann, H., Giovannetti, F. 2018. Experimental and Theoretical Investigations on Temperature Limitation in Solar Thermal Collectors with Heat Pipes: Effect of Superheating on The Maximum Temperature. Solar Energy, 171, 271-278.
- Shehadeh, S.H., Aly, H.H., El-Hawary, M.E. 2019. Investigation of Photovoltaic Coverage Ratio for Maximum Overall Thermal Energy of Photovoltaic Thermal System. Renewable Energy, 134, 757-768.
- Sick, F., Erge, T., 1996. Photovoltaics in buildings: A Design Handbook for Architects and Engineers, James&James LTD, London.
- Şençiçek, H., 2017. Yüzer Ve Arazi Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Teknik Ve Ekonomik Açidan İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 17s.

- Tabak, C., Dinçer, H., Karayazı, K., Arslan, E., Yıldız, M.H., Karayazı, S. 2015. Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Sistemleri İle Elektrik Enerjisi Üretimi. Elektrik Mühendisleri Odası Bilimsel Dergi, 318-322.
- Talbi, S., Kassmi, K., Deblecker, O., Bachiri, N. 2018. Thermal Heating by Photovoltaic Solar Energy, International Conference on Materials and Environmental Science (ICMES2018), 26-28 April, Oujda, Morocco, 1125-1133.
- Taşcıoğlu, A., 2015. Monokristal Ve Polikristal Güneş Panellerinin Bursa Koşullarındaki Güç Performansı Üzerine Bir Araştırma. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Tırıs, M., Tırıs, Ç., Erdal, Y. 1997. Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Araştırma Enstitüsü Yayınları, 151s, Kocaeli.
- T. Markvart, L. Castaner, Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications, Elsevier, Oxford, 2006.
- T. Mirowski, E. Mokrzycki, T. Okulski, A. Skoczek, A. Szurlej, Basics of energy resources, Institutional Scientific - Didactic Press AGH, Cracow, 2005 (in Polish).
- United Nations, 2015. Ensure Access to Affordable, Reliable, Sustainable and Modern Energy. Erişim Tarihi: 20.08.2019. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/>
- Uyar, F. 2016. 500 kW Güneş Enerji Santrali Kurulumu ve Maliyeti. Erişim Tarihi: 10.03.2019. <http://enerjienstitusu.de/2016/07/04/500-kw-gunes-enerji-santrali-kurulumu-maliyeti/>
- Ürün, E., Soyu, E. 2016. Türkiye'nin Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üzerine Bir Değerlendirme. Sosyal Bilimler Dergisi ICEBSS Özel Sayısı, 31-45.
- Varınca, K.B., Gönüllü, M.T. 2006. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK), 21-23 Haziran, Eskişehir, 270-275.

Yılmaz, E.A., Öziç, H.C. 2018. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Gelecek Hedefleri. Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 8(3), 525-535.

Yiğit, A., Atmaca, İ. 2010. Güneş Enerjisi, Star Matbaacılık, Bursa, 216s.

Yürük, M. 2012. Fizik Hakkında Herşey. Erişim Tarihi: 11.05.2019.

<http://fizikmustafa.blogspot.com/2012/03/fotoelektrik-etki.html>



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Pelin EREN KILINÇ

Doğum Yeri ve Yılı : Kalecik, 1988

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : pelin.eren@mmo.org.tr



### Eğitim Durumu

Lise : Çeşme Süleyman Sami Sarı Anadolu Lisesi, 2006

Lisans : SDÜ, Mühendisli Fakültesi, Makina Mühendisliği

### Mesleki Deneyim

Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi 2016- (halen)