

**GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN OPTİMUM EĞİM AÇISININ
BELİRLENMESİ, RÜZGARIN SOĞUTMA ETKİSİNİN
VERİME ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Buket Seçil EKER



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN OPTİMUM EĞİM AÇISININ BELİRLENMESİ,
RÜZGARIN SOĞUTMA ETKİSİNİN VERİME ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Buket Seçil EKER

Doç.Dr. Nurullah ARSLANOĞLU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

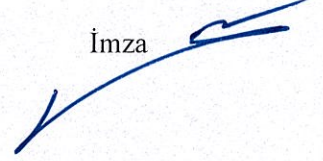
TEZ ONAYI

Buket Seçil EKER tarafından hazırlanan ‘‘Güneş Panelleri İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi, Rüzgarın Soğutma Etkisinin Verime Etkilerinin İncelenmesi’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr. Nurullah ARSLANOĞLU

Başkan : Prof.Dr. Abdulvahap YİĞİT
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza




Üye : Doç.Dr. Nurullah ARSLANOĞLU
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Osman TURAN
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik Ve Doğa
Bilimleri Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
13.7.2019

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../2019

Buket Seçil EKER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Güneş Panelleri İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi, Rüzgarın Soğutma Etkisinin Verime Etkilerinin İncelenmesi

Buket Seçil EKER

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nurullah ARSLANOĞLU

Tüm dünya ülkelerinde enerji tüketiminin gün geçtikçe artmasından dolayı, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep ve ilgi de aynı oranda artmaktadır. Mevcut enerjinin en iyi şekilde kullanılması ve farklı enerji kaynakları arayışı ülkeler için önemli bir çalışma sahası oluşturmuştur. Güneş enerjisi potansiyeli bakımından şanslı olan ülkemizde de, bu alandaki çalışmalar devam etmektedir.

Giriş kısmında, öncelikle güneş enerjisi ile ilgili genel bir literatür taraması yapılmıştır. Fotovoltaik teknolojisinin keşfinden günümüze kadar yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, sistem elemanları, avantaj ve dezavantajları, detaylı olarak anlatılmıştır.

Bu tez kapsamında Bursa ilinde kurulacak güneş panelleri için optimum eğim açıları elde edilmiş olup, bu optimum eğim açılarının aylık, mevsimlik ve yıllık değişimi geliştirilen bir simülasyon programı ile incelenmiştir. Ayrıca bu simülasyon programı ile güneş panellerinin hücre sıcaklıklarına, ürettiği elektrik enerjilerine ve verimlerine rüzgarın soğutma etkisinin etkileri de incelenmiştir.

Sonuç olarak güneş paneline en fazla güneş ışınımı güneş panelinin aylık optimum eğim açısında yerleştiğinde geldiği tespit edilmiştir. Güneş panellerinden elektrik enerjisinin en fazla Temmuz ayında en az Ocak ayında üretildiği, panel verim değerlerinin ise en yüksek Ocak ayında en az Ağustos ayında olduğu belirlenmiştir. Bursa ili için hava sıcaklık değerinin panel verimi üzerindeki etkisinin rüzgar hızına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Paneli, Eğim Açısı, Rüzgarın Soğutma Etkisi, Verim
2019, ix +79 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

Determination Of Optimum Slope Angle of inclination For Solar Panels, Wind Direction
And Effects Of Pollution On Efficiency

Buket Seçil EKER

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nurullah ARSLANOĞLU

Because of the increasing energy consumption in all countries of the world day by day, demand and interest in renewable energy sources are increasing at the same rate. The ideal usage of existing energy and searching different energy sources have been an important field of study for countries. In our country, which is lucky in terms of solar energy potential, studies in this field are continuing.

At the beginning, a general literature review about solar energy has been done within the scope of this thesis. Research and development studies from the discovery of photovoltaic technology to the present, system components, advantages and disadvantages are explained in detail.

Within the scope of this thesis, optimum slope angles for solar panels to be installed in Bursa were obtained, and monthly, seasonal and annual change of these optimum angles are investigated.

Cooling effect of wind to cell temperature, generated electrical energy and efficiency of photovoltaic panels that installed with the optimum angle are investigated with the simulation program.

As a result, it has been identified that the maximum solar radiation from the solar panels comes when the solar panel is positioned at the optimum angle of inclination per month. It has determined that highest amount of electricity generated from solar panels was generated in July, lowest amount was in January. And also the panel efficiency values were highest in January, lowest in August. It has been identified that the effect of air temperature value on panel efficiency was higher than the wind speed for Bursa.

Key words: Solar Panel, Slope Angle, Cooling Effect of Wind, Efficiency
2019, ix + 79 pages.

TEŐEKKÖR

Uludağ Üniversitesi'ndeki Yüksek lisans eğitimim süresince tüm çalışmalarımnda engin bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve bana yol gösteren, tez çalışmam boyunca bana ayırdığı zamanı, paylaştığı değerli bilgileri ve önerileri için tez danışman Hocam Sayın Doç. Dr. Nurullah ARSLANOĞLU'na, bu süreçte kıymetli görüşlerini aldığım Hocam Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT'e, tezimin tamamlanmasında emekleri olan Yrd. Doç. Dr. Erdem IŞIK ve her daim yanımda olan tüm arkadaşlarıma ve dostlarıma teşekkür ederim.

En önemlisi bugünlere gelmemi sağlayan, her türlü destekleriyle yanımda olan ve tüm başarılarımın arkasında gizli aktör rolü oynayan annem Ayten HANGÖN, babam Abdullah HANGÖN ve değerli abim Ahmet Emre HANGÖN'e, beni her zaman destekleyen ve yanımda olan sevgili eşim Şerif Kamil EKER'e her şey için sonsuz teşekkür ederim.

Buket Seçil EKER
.../.../2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2.KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Tanımı.....	11
2.2. Yenilenebilir Enerjinin Önemi.....	12
2.3. Yenilenebilir Enerjinin Tarihsel Gelişimi.....	12
2.4. Yenilenebilir Enerji Çeşitleri.....	13
2.4.1. Rüzgar Enerjisi.....	13
2.4.2. Jeotermal Enerji.....	14
2.4.3. Hidrolik Enerji.....	14
2.4.4. Biyokütle Enerji.....	15
2.4.5. Dalga Enerjisi.....	17
2.4.6. Güneş Enerjisi ve Kullanım Alanları.....	17
2.5. PV Paneller (Fotovoltaik Güneş Panelleri).....	23
2.5.1. Fotovoltaik Güneş Panellerinin Tarihçesi.....	24
2.5.2. Fotovoltaik Etki.....	25
2.5.3. Fotovoltaik Hücre Tipleri.....	27
2.5.4. Kristal Silikon Yapılı Güneş Hücreleri.....	27
2.5.5. Monokristal Güneş Hücreleri.....	27
2.5.6. Polikristal Güneş Hücreleri.....	28
2.5.7. Kristal Yapılı Güneş Panelleri.....	29
2.5.8. İnce Film Güneş Panelleri.....	29
2.5.9. Diğer Teknolojiler.....	31
2.6. Heliostatlı Sistemler.....	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	36
3.1. PV Panelin Konumlandırılmasında Etkili Faktörler.....	36
3.1.1. PV Hücre Yüzey Malzemesinin Işınım Özellikleri.....	36
3.1.2. Ortamdaki Havanın Sıcaklığı ve Rüzgar Etkisi.....	37
3.1.3. PV Hücrenin Temizliği (Ortam Tozluğu).....	39
3.1.4. PV Hücrenin Üstüne Yoğuşan Nemin Etkisi.....	39
3.1.5. Güneş Işınımının Spektral Özellikleri ve Konumlandırma.....	40
3.1.6. Güneş Işınlarının PV Hücre Üzerine Geliş Açısı.....	43
3.1.7. PV Hücrenin Eğim Açısı.....	44
3.2. Kullanılacak Açıların PV modül yerleşimi için hesaplamaları.....	46
3.2.1. Rüzgarın PV Panel Verimine Etkisi.....	50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	52
5. SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR.....	63
EKLER.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	79

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	Panel Alanı (m^2)
B	Doğrudan Gelen Işınım (W/m^2)
C	Işık Hızı (km/s)
D	Yayılmış Işınım (W/m^2)
E	Üretilen Enerji (Wh)
G	Güneşten Gelen Anlık Işınım Miktarı (W/m^2)
Galt	Alt Panele Dik Gelen Anlık Işınım Miktarı (W/m^2)
Gsc	Güneş Sabiti (W/m^2)
Güst	Üst Panele Dik Gelen Anlık Işınım Miktarı (W/m^2)
Gya	Yansıyan Işınım (W/m^2)
h	Planck Sabiti ($W.sn^2$)
k	Boltzman Sabiti (J/K)
m	Kütle (kg)
Tç	Ortam Sıcaklığı ($^{\circ}C$)
z	Işının Yatay Düzleme Geliş Açısı (Derece)
α	Yükseklik Açısı (Derece)
α_c	Fotovoltaik Model Emiciliği
β	Elektrik Verimliliği Sıcaklık Katsayısı ($1/K$)

γ	Azimet Açısı
δ	Deklinasyon Açısı (Derece)
δ_c	Paket Faktörü
θ_1	Güneşten Gelen Işımların Ayna Normali İle Yaptığı Açık (Derece)
θ_2	Aynadan Yansıyan Işımların Alt Panelin Normali İle Yaptığı Açık (Derece)
λ	Dalga Boyu (m)
ρ	Yansıtma Katsayısı
τ_g	Fotovoltaik Model Geçirgenliği
φ	Coğrafi Enlem (Derece)
ψ	Zenit Açısı (Derece)
ω	Saat Açısı (Derece)

Kısaltmalar	Açıklama
GES	Güneş enerjisi sistemleri
n	Her ayı temsil eden ortalama gün
NASA	Ulusal havacılık ve uzay dairesi
PV	Fotovoltaik
η_0	Standart şartlardaki panel verimi
η_c	Sıcaklık etkisi altındaki panel verimi
η_m	En genel panel verimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 ABD Kaliforniya’da 1982’de kurulan güneş enerjisi santrali	34
Şekil 4.1 H_0 , H ve H_D ışınım değerlerinin karşılaştırılması	53
Şekil 4.2 Farklı eğim açıları için eğimli yüzeye düşen günlük global güneş ışınım değerleri (H_T) (Ocak-Haziran)	54
Şekil 4.3 Farklı eğim açıları için eğimli yüzeye düşen günlük global güneş ışınım değerleri (H_T) (Temmuz-Aralık)	54
Şekil 4.4 Farklı eğim açıları için eğimli yüzeye düşen mevsimlik ve yıllık ortalama global güneş ışınım değerleri (H_T).....	55
Şekil 4.5 Aylık, mevsimlik ortalama ve yıllık ortalama optimum eğim açıları.....	57
Şekil 4.6 Bursa’da aylık, mevsimlik ve yıllık ortalama eğim açıları için toplam güneş enerjisi ışınımı	57
Şekil 4.7 Rüzgarın PV panelin aylık ortalama sıcaklığına etkisi	58
Şekil 4.8 Rüzgarın PV panelin ürettiği aylık ortalama günlük elektrik enerjisine etkisi	58
Şekil 4.9 Rüzgarın PV panelin aylık ortalama verimine etkisi	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Bursa ili için aylık maksimum hava sıcaklık ortalamaları ve aylık rüzgar hızı ortalamaları	51
Çizelge 4.1 Bursa için aylık ortalama günlük güneş ışınım değerleri (H_0 , H , H_D)	53
Çizelge 4.2 Bursa'da her ay için eğimli yüzey üzerine düşen global güneş ışınımları ve optimum eğim açısı	55
Çizelge 4.3 Bursa'da mevsimlik ve yıllık ortalama optimum eğim açıları ve aylık ortalama günlük güneş ışınımı değerleri	56
Çizelge 4.4 Eğim açısının her ay için belirlenen β_{opt} olması durumunda rüzgar etkisindeki güneş panelinin birim alanındaki aylık ortalama hücre sıcaklıkları, ürettiği elektrik enerjileri ve verimleri	59

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasının amacı günümüzde elektrik üretiminde kullanılan ve giderek popülerliği artan Fotovoltaik (PV) güneş panellerinin verimine mevsimler, rüzgar gibi çevresel faktörlerin etkilerinin incelenmesi ve Bursa ili için yerleştirilmesi planlanan olası PV panelli elektrik santrali için teorik bir fizibilite çalışmasının ön kısmı olan yıllık üretilen elektrik enerjisi hakkında bilgi sahibi olmaktır. Bu problemin cevaplanmasıyla panel verimliliğine etki eden faktörler tam anlamıyla anlaşılmış olacak ve gelecekte yapılacak ön fizibilite çalışmalarına ışık tutacaktır.

Çalışmanın yürütülmesi, literatür araştırması, MATLAB ortamında yapılan hesaplamalar ve ortaya çıkan grafiklerin mevcut panel teknolojisi ve güncel bilgi ile elde edilen bilgilerin uyumluluğunun yorumlanması şeklinde tamamlanmıştır.

Literatür araştırması sırasında 2. bölümde yenilenebilir enerji ve tarihçesi ve kullanım gerekçeleri sıralanmış ve enerji elde etmek için kullanılan çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları tanıtılmıştır.

3. Bölümde güneş enerjisi teknolojileri ve fotovoltaik paneller hakkında bilgi verilmiş, 4. Bölümde ise PV panellerin verimliliğini etkileyen çevresel ve dahili faktörler hakkında bilgiler verilmiştir.

4. bölüm bu tezin ana literatür araştırması kısmını oluşturduğundan bu bölümle ilgili daha detaylı bilgi vermemiz gerekmektedir. Bu bölümde alt başlık olarak yapılan literatür araştırmasını;

- PV paneller ve bu panellerin yerel (coğrafi) ve global (güneş-dünya arası) açılarla olan ilişkileri
- PV panellerin verimine sıcaklık ve rüzgar faktörlerinin etkisi
- PV panellerin verimine toz ve kirlenme faktörünün etkisi
- PV panellerin verimine nem faktörünün etkisi şeklinde sıralayabiliriz.

2.KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

PV panellerin açılarla olan ilişkileri konusunda literatürde incelenen makaleler aşağıda sunulmuştur. Bunlardan ilki Bakırcı'nın (2012) yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada Türkiye'de yerleşik olan ve yerleştirilecek olan PV panellerin optimum eğim açısının tespiti yapılmıştır. Bu araştırma yapılırken ülkemizin 8 büyük ilinde yıllık güneş ışınım değerleri ölçülmüş ve optimizasyon yapılmıştır. Bulgulara göre optimum eğim açısı Türkiye için bir yıllık periyotta 0-65 derece arasında değişmekte haziran-temmuz aylarında 0 derece değerini alarak minimum değerini almakta ve aralık ayında maksimum değerini almaktadır (Bakırcı 2012).

Raptis ve arkadaşları (2017), yaptıkları çalışmada bir yıllık süre zarfında Atina bölgesine gerçek atmosferik hava koşulları altında gelen güneş ışınım değeri ve bu ışınım değerinden faydalanılabilecekleri optimum eğim açısını hesaplamaya çalışmışlardır. 4 adet piranometreyi Atina Merkez Laboratuvarlarına 1 yıllık periyot ve 1 dakikalık frekans sıklığı değerleri için yerleştirmişler ve ölçüm yapmışlardır. PV panellerin düzlem üzerinde farklı yerleşim senaryoları için GHI ve Gİb açılarının değerleri de ölçülmüştür. Optimum açı değerlerini 1 yıllık süre zarfı için 30 derece olarak bulmuşlardır (Raptis ve ark. 2017).

Abdeen ve arkadaşları (2017), yaptıkları çalışmada Yukarı-Mısır bölgesinde çöl ikliminde bulunan ve 12, 20, 30, 45 derecelik değişik eğim açılara sahip PV panellerin üstünde biriken tozların, çıkış gücü ve verimliliğe etkisini araştırmışlardır. Ayrıca biriken bu tozların panel üstünde oluşturduğu sıcaklık artışı da ölçülmüştür. 10 ay boyunca yapılan temizlenmemiş paneller üstünde yapılan çalışmalarda 15 derece için %43, 20 derece için %38, 30 derece için %31, 40 derece için %25 elde edilen güç çıkışında kayıp meydana gelmiştir. Son olarak, tozlanan panellerin, tuttuğu toz miktarına bağlı olarak ne kadar sıklıkta temizlenmesi gerektiğini optimum olarak tespit eden ampirik bir formül de geliştirilmiştir (Abdeen ve ark. 2017).

Kaddoura ve arkadaşları (2016), Suudi Arabistan ülkesinde farklı şehirler için PV panellere ait optimum eğim açısını teorik olarak tespit etmeye çalışmışlardır. Yıllık güneş

ışınım değerlerini NASA'dan elde edip optimizasyon yapan kodu MATLAB ortamında simüle etmişlerdir. Sonuç olarak PV panellerin eğim açılarının yılda 6 defa ayarlanmasının, yıllık toplam güneş ışıınım değerinin %99,5 ini yakalamasını sağladığı tespit edilmiştir (Kaddoura ve ark. 2016).

Xu ve arkadaşları (2017), sabit eğim açısına sahip PV paneller için optimum çıkış gücü değerini veren yeni bir eğim açısı formülü geliştirmişlerdir. Bu formülde eğim açısına bağlı olarak etki eden çevresel faktörler (tozluluk ve sıcaklık gibi) göz önünde bulundurulmuş ve HDKR (Hay, Davies, Klucher, Reindl) modeli analiz edilerek güneş ışıınım modeli kurulmuştur. Bunun yanında tozluluk değerinin PV paneldeki transmittans (iletkenlik) değerine olan etkileri de araştırılmış ve MATLAB ortamında simüle edilmiştir (Xu ve ark. 2017).

Bertrand ve arkadaşları (2018), çatı üstü olarak tabir edilen şehir içi evsel PV panel uygulamalarından elde edilen güç çıkışına bağlı olarak Belçika bölgesine düşen yıllık güneş ışıınım değerinin hesaplanması çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. 1500'e yakın çatı üstü uygulaması projeye dahil edilmiş ve uydu bazlı ışıınım hesaplama teknik ve aygıtları ile sonuçlar kıyaslanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, faydalanılan güneş ışıınım değeri, PV sistemlerin verimliliğini etkileyen birçok parametreye bağlıdır ve hava durumu, PV sistemlerin (kümülatif toplamının) m² başına kapladığı alan (PV sistem yoğunluğu) ve diğer parametreler, PV sistemleri etkileyen veriler arasındadır. Hesaplanmış güneş yansıma verileri, PV panellerin dizilimini olumsuz anlamda etkilemekte, eğim açılarının PV sistemlerin verimliliği üstündeki etkisini azaltmaktadır ve güneşin bazı pozisyonları, bu çalışmada kullanılan yaklaşımın daha kaba sonuçlar vermesini sağlamaktadır (Bertrand ve ark. 2018).

Hafez ve arkadaşları (2017), eğim ve azimut açılarının güneş enerjisi uygulamalarındaki yerine ait derleme çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada PV panellerin yerleşimi ve tasarımında kullanılan parametreler, uygulamalar, simülasyonlar ve matematiksel tekniklerin farklı uygulamalarda nasıl kullanıldığını göstermişlerdir. Ayrıca 1956 yılından günümüze kullanılan güneş takip tekniklerine ve enerji eldesine ait değişik

matematiksel modellere (inklinasyon, eğim ve güneş ışınım parametrelerini içeren) çalışmalarında değinmişlerdir (Hafez ve ark. 2017).

Ozbay ve arkadaşları (2017), 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 derece eğim açısı ile yerleştirdikleri panellerden maksimum güç çıkışının Bilecik şehri için hangi açıda olduğunu tespit etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada güç çıkışının kontrolü raspberry-pi kartı ile yapılmış ve zamana bağlı olarak bilgisayar ortamında kurulan entegre devre vasıtasıyla izlenmiştir (Ozbay ve ark. 2017).

Lee ve arkadaşları (2017), çalışmalarında maksimum enerji elde edilebilecek eğim açısının tespiti için, maksimum güç üretilebilmesine olanak veren tek eksenli güneş takip algoritması geliştirmişlerdir. İlk olarak tek eksenli maksimum güç çıkışına olanak sağlayacak güneş takip sistemleri 50 derece doğu 50 derece batı açıları arasında döndürülecek şekilde ayarlanmıştır. Bu dönüş sırasında her bir açı değerine karşılık gelen güç çıkışı değerleri kaydedilmiş ve en fazla güç çıkışının olduğu eğim açısı değeri tespit edilmiştir. Sonuç olarak bir doğrultuda güneş takip eden ancak iki eksenli sabit bir sistemin, üç eksenli optimize edilmiş sabit eğim açısına göre kurulmuş sisteme göre ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde %3.4 ,yaz döneminde %5.4, kışın %8.3 verim artışına sebep olduğu görülmüştür (Lee ve ark. 2017).

Nadia ve arkadaşları (2018), PV sistemlerin maksimum enerji üretmesi için gereken faktörleri (PV malzeme, coğrafi konum, ortam sıcaklığı ve panelin yerleşimi gibi) ve güneş takip mekanizmalarını, en iyi PV panel yerleşimi için avantaj ve dezavantajları ile kıyaslamışlar ve gelecekte kullanılması muhtemel güneş takip sistem ve sürücülerinden bahsetmişlerdir (Nadia ve ark. 2018).

Babatunde ve arkadaşları (2018), yaptıkları çalışmada, PV sistemlerinin toz, eğim açısı ve yönlenme gibi farklılık gösteren şartlar altında verimliliklerini hem teorik hemde pratik olarak kıyaslamışlardır. Çalışma, sahada 1 yıl boyunca toplanan veriler, analitik olarak hesaplanan veriler ve simüle edilen verilerin kıyaslanması şeklinde gerçekleşmiştir. Verilerin toplandığı 3 farklı PV santrali olup bu santrallerin toplam güç çıkışı 1280 kW olmakta ve santral sahaları Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinde bulunmaktadır. Sonuç

olarak, tozlu ve temizlenmiş sistemler arasında %2.5 farklılık bulunmaktadır. Ayrıca eğim açıları belirlenmiş 3 farklı santral sahası için üretilen enerji, analitik yol ile hesaplanan miktara simüle edilen verilerden daha yakın olup %0.3 lük bir ortalama varyans değerine sahiptir (Babatunde ve ark. 2018).

Vasel ve Iakovidis (2017), PV panellerin enerji verimliliğine esen rüzgarın yönünü araştırmışlar ve bunun için İngiltere’de kurulu olan Hadley Güneş Çiftliği’nden faydalanmışlardır. Araştırmacıların tezine göre aynı güneş irradyans değeri, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızında, esen rüzgarın güney yönünden yada diğer yönlerden gelmesi şeklinde olması PV panellerin ürettiği enerji miktarında farklılığa sebebiyet verecektir. Yapılan çalışmalar sonucunda 42 adet çiftli güneş panellerinin ürettiği enerjiler ayrı ayrı, rüzgar yönüne bağlı gözlemlendiğinde, gerçekten güneyden esen rüzgarın etkisine maruz kalan panellerin hepsinin diğer yönlerde esen rüzgarlara göre çok daha fazla enerji ürettiği görülmüştür (Vasel ve Iakovidis 2017).

Jacobson ve Jadhav (2018), çalışmasında dünya çapında coğrafi konumu nerede olursa olsun PV yerleşimi için optimum eğim açısı değerini hesaplamaya çalışmışlardır. Enleme bağlı olarak optimum eğim açısını 3.dereceden polinom uydurarak türetmişlerdir. 40 derece kuzey enlem civarlarında bulunan eğim açıları uydurulan eğriye daha yakın sonuçlar vermektedir. Optimum olarak bulunan açılar 1 yatay 1 dikey doğrultuda güneş takip sistemine sahip 2 eksenli takip sistemi yapabilen panellere entegre edilmiştir. 1 eksenli takip sistemine sahip sistemlerdeki verimlilik 2 eksenli takip yapan sistemlere nazaran %1-3 arasında farklı olmakta ve 75 derece kuzey-yukarı ve 60 derece güney-aşağı enleminde takip sistemleri en kazançlı çözümleri sağlamaktadır (Jacobson ve Jadhav 2018).

Sumathi ve arkadaşları (2017), farklı MPPT (maksimum güç çıkış noktası) algoritmalarını ve güneş takip sistemlerini kıyaslamışlardır. Bunun yanısıra, mikroişlemci kontrollü tek eksenli takip yapabilen takipçi PV sistemine entegre edilmiş ve test edilmiştir. Bu çalışmanın amacı gelecekte yapılması planlanan tek eksenli takipli, ARM mikroişlemci kontrollü step motor tahrikli PV sistemlerinin yönelimlerini kontrol ederek maksimum güneş ışınım değerini elde etmeye çalışma konusuna temel hazırlamaktır (Sumathi ve ark. 2017).

Said ve Walwil (2014), PV panelleri üstündeki camda toplanan tozun, panelin güneş ışınım emilimine etkisinin ölçüsü olan geçirgenlik miktarını incelemişlerdir. Ayrıca düz cam kaplı PV panelleri ile soğurganlık değeri çok yüksek olan özel cam kaplı PV panelleri üstünde biriken toz miktarları ile tozların fiziksel ve kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. 45 gün boyunca ve 26 kuzey enleminde gerçekleştirilen bu deneyde 5 g/m^2 lik toz birikimi meydana gelmiş ve bu durum camdaki transmittans değerlerini %20 azaltmıştır. Soğurganlığı fazla olan camda ise bu oran bir miktar daha az olmuştur (Said ve Walwil 2014).

Jiang ve arkadaşları (2016), PV panelleri üstünde biriken tozun giderilmesi için gerekli temizleme sıklığını veren yeni bir formül geliştirmiştir. Buna göre sıklık, toz toplanma hızı, tozun yoğunluğu ve PV panelin güç performansı parametreleri ile ilişkili olmaktadır. Bu formülasyonun geliştirilmesi sırasında üstünde çalışılan parametreler ise, eğim açısı, havadaki toz yoğunluğu ve partikül çapıdır. Sonuç olarak kritik güç çıkış kaybı %5 ve parçacık yoğunluğu 100 g/m^2 olduğunda temizleme sıklığı 20 gün civarında olmaktadır (Jiang ve ark. 2016).

Paudyal ve Shakya (2016), Katmandu bölgesinde yerleştirdikleri PV panel üstündeki toz birikim miktarına bağlı olarak yaşanan çıkış gücü kaybını gözlemlemişlerdir. 5 ay boyunca yapılan çalışmada 9.6711 g/m^2 lik tozun biriktiği ve bu durumun %29.76 lık bir kayba sebep olduğu gösterilmiştir. Ayrıca yer yer biriken tozun panel üstünde yüksek sıcaklık adacıkları oluşturabileceği ve bu durumun PV modüllerinde yer yer kalıcı hasara sebep olabileceğini belirtmişlerdir (Paudyal ve Shakya 2016).

Jiang ve arkadaşları (2011), PV panelleri üstünde toz birikmesi olayının farklı tipteki PV modülleri üstündeki güç çıkış etkisini ve biriken toz miktarının çıkış gücü kaybı ile olan ilişkisini formülize etmeye çalışmışlardır. Buna göre kapalı ortamda bulunan test düzeneğinde verilen toz miktarı 0 ile 22 g/m^2 arasında değişmiş, buna bağlı olarak da çıkış gücü % 0 - % 26 ya varan oranlarda azalmıştır. Epoksi paketli polikristalin PV modüllerin diğer malzemeden yapılmış modüllere göre, aynı miktardaki toz birikmesi olayından daha fazla etkilendiğini belirtmişlerdir (Jiang ve ark. 2011).

Jiang ve Lu (2015), değişik sıcaklık şartlarında işletilen PV panellerin üstünde toz birikim olayının sıcaklığa bağlı toplanma olgusunu (termoporezis) incelemişlerdir. Toz miktarı deneysel koşullar altında sistematik olarak 0.50 - 0.84 mg/m² arasında ayarlanmıştır. Yüksek yüzey sıcaklığına sahip PV paneller düşük termoporezis etkisine sahip olmuş, ayrıca m² ye düşen aynı gram toz miktarına karşılık panellerin enerji verimliliği 0.947 ile 0.971 arasında sıcaklık gradyeninin artmasına bağlı olarak değişim göstermiştir. Termoporezis etkisi için en önemli sıcaklık değerinin 40 derece olduğu anlaşılmıştır (Jiang ve Lu 2015).

Lu ve Zhao (2018), zemine entegre PV modüllerin üstünde toplanan toz miktarına bağlı olarak panellerin gösterdiği çıkış gücü verimliliğini incelemişlerdir. K-w türbülans modeli ve kesikli parçacık modeli rüzgar akış alanlarını ve PV panellerdeki toz toplanma oranını temsil etmede kullanılan modellerdir. Ayrıca farklı çaplardaki toz partikülleri ve bu partiküllerin değişik eğim açısına sahip paneller üstünde toplanma karakteristikleri de incelenmiştir. 150 mikron çapındaki tozlar maksimum anlamda verimlilik düşüşüne sebebiyet vermiş ve açılara bağlı olarak sırasıyla 25, 40, 140 ve 155 derecelik eğim açısına sahip panellerde biriken toz oranı %14.28, %13.53, %6.79 ve %9.78 olarak gözlemlenmiştir. Sonuç olarak PV panellerin üstünde toz birikme olgusu analiz edilmiş ve eğim açısının değişimine bağlı olarak panelin üstündeki toz miktarını veren ampirik formül geliştirilmiştir (Lu ve Zhao 2018).

Piedra ve arkadaşları (2018), PV paneller üstüne toplanan tozların cinsinin, panelin optik iletim miktarına olan etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada optik olarak iletken olan ve optik olarak iletken olmadığı kabul edilen iki farklı toz tipinin sistematik olarak panel camında biriktirilmesi ve panele tozdan geçen (diffüze olan) ışığın spektrofotometre ile ölçülmesi sonrasında, deney sonuçlarının iki akımlı ışınım transfer modeliyle Monte-Carlo transfer modelinin bu deneye entegre edilmesi sonucu tozların karakteri hakkında yaklaşımda bulunulmuştur. Sonuç olarak toplam iletilen ışığın ya da (diğer deyişle ışınım miktarının), panel üstüne düşen toz miktarı ile lineer orantılı olduğu, tozun geçirgen yada yansıtıcı oluşu ile eğimin gözle görölür ölçüde değiştiği tespit edilmiştir (Piedra ve ark. 2018).

Lay-Ekuakille ve arkadaşları (2018), MPPT (maksimum güç noktası takip) algoritması destekli bir PV panel sistemi üstüne etkiyen toz yoğunluğunun, çıkış gücüne olan etkisini araştırmışlardır. Temiz PV panelinin ürettiği enerji miktarı ve tozlu CdTe (kadmiyum tellür) teknolojisine sahip PV panellerin kıyaslaması gerçekleştirilmiştir (Lay-Ekuakille ve ark. 2018).

Ba ve arkadaşları (2018), PV panellerin üstüne etkiyen çevresel parametrelerin tespiti ve bunların enerji verimliliğine etkisi ile FGPA (Alan Programlanabilir Kapı Dizisi) entegreli PV panel yönetim sisteminin enerji verimliliğini kıyaslamışlardır. PV panellerin testi sırasında yüzey sıcaklığı değeri ile PV hücre sıcaklığı ile yüksek ölçüde korelasyon olduğu tespit edilmiş, güneş ışınım değeri ile bu parametrelerin arasında bağıntı kurularak çıkış gücü için matematiksel formül geliştirilmiştir. Bu formülde Weibull olasılık yoğunluğu dağılımı model olarak kullanılmış ve geliştirilen model 2013-2016 yılları arasında yapılan ölçümlerle büyük ölçüde uyum göstermiştir (Ba ve ark. 2018).

Said ve arkadaşları 2018, PV panellerin verimliliğine etkiyen tozluluk faktörü, neden olduğu ve yüzey temizlik teknolojileri hakkında derleme çalışması yapmışlardır. Ayrıca çalışmalarında kuraklık, PV panelin ortam sıcaklığı, nemlilik gibi faktörlerinde, ışık geçirgenliğini engelleyen toz faktörü gibi verimliliğe ciddi ölçüde etki eden parametreler olduğuna değinmişlerdir. Elektrostatik temizlik ile mikro/nano yüzey fonksiyonelleştirme işlemlerinin gelecekteki potansiyeli, bugünkü avantaj ve dezavantajları ile hangi atmosferik koşullarda uygulanması gerektiği gibi konular da değerlendirilen konular arasındadır (Said ve ark. 2018).

Akhsassi ve arkadaşları (2018), PV panellerin bulunduğu ortam sıcaklığının (rüzgar etkisi de katılarak) enerji üretimine olan etkisini incelemişlerdir. Bu etkiyi incelerken Fas'ın Elkaria köyünde bulunan 7.2 kWp gücüne sahip PV santralden elde edilen elektrik enerjisi datalarıyla, bu konu üstünde geliştirilen formüller ve kendilerinin geliştirdikleri analitik yaklaşımları kıyaslamışlardır. Bunun sonucunda rüzgar hızı katılmadan kendi geliştirdikleri formül ile elde edilen veriler arasında $R^2=96.7\%$ lik doğruluğa ve rüzgar hızı katıldığında $R^2=98.8\%$ lik bir tahmin doğruluğuna eriştikleri gözlemlenmiştir (Akhsassi ve ark. 2018).

Aly (2016), PV panellerin üstüne etki eden kritik rüzgar yükü hakkında çalışma yapmıştır. Buna göre açıkta bulunan PV santrallerinin rüzgar yüküne olan dayanımı hakkında herhangi bir standart bulunmadığından santral sahasının güvenliği tehlike içinde bulunmakta ve bu konu ile ilgili hesaplama metodolojisi geliştirilmesi gerekmektedir. Araştırmacı, PV panellerin rüzgar tünellerinde test edilmesinin yeterli olmadığını savunmakta ve açık arazi için yapılacak CFD analizleri ile rüzgar tüneli testlerinin arasındaki farkın geometrik ölçekten kaynaklandığını bu durumun da tünel içi türbülanslı akışın teste dahil edilmemesi gerektiğini savunmaktadır (Aly 2016).

Jubayer ve Hangan (2016), zemine temellendirilmiş açık hava PV sistemlerinin üstüne etkiyen aerodinamik yüklerin RANS (Reynolds – ortalama Navier Stokes) yaklaşımı ile analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu analiz yapılırken OpenFOAM gibi bir çözüm paketi SST (kayma gerilmesi taşınımı) k-w türbülans modeli ile kullanılmıştır. Reynolds sayısı 3×10^6 ve rüzgar açıları 0 derece güney, 45 derece güneybatı, 135 derece kuzeybatı ve 180 derece kuzey olarak baz alınmıştır. Burada gerçekleştirilen nümerik çözümleme rüzgar tüneli testleri ile de gerçekleşmiştir. Sonuç olarak en fazla rüzgar yükünü (hem kaldırma hem de sürüklenme etkisi olarak) bahsi geçen ilk rüzgar yönü oluşturmuş, en fazla döndürme momenti katsayısını ise 45 ve 135 derecelik rüzgar yönelimi oluşturmuştur (Jubayer ve Hangan 2016).

Hsu ve Wu (2017), açık araziye kurulu PV santrallerinin üstüne etkiyen rüzgarın soğutma etkisinin PV panellerin çalışma performansına olan etkisini incelemişlerdir. İlk olarak, farklı eğim açıları içinden optimum olanı 1 yıllık gözlem sonucu seçilmiş, ardından rüzgar hızı katılarak ve hariç tutularak PV panellerin yıllık enerji üretim miktarları karşılaştırılmıştır. Enerji üretim miktarlarını veren algoritma olarak PSO (parçacık sürü optimizasyonu) kullanılmış ve optimum eğim açısının tespitinde kullanılmıştır. Veriler, Danimarka'nın Aalborg kenti için modellenmiştir ve araştırmacıların iddiasına göre kullanılan metodoloji bütün şehirler için uygulanabilmektedir (Hsu ve Wu 2017).

Schwingschackl ve arkadaşları (2013), İtalya'da PV panellerin ortam çalışma sıcaklığının, rüzgar hızı hesaba katılarak yeniden hesaplandığında daha doğru sonucu vereceğini belirten bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İlaveten, hava tahmin raporları

tarafından iletilen tahmini rüzgar hızı değerlerinin anlık rüzgar hızı ölçümünden daha hassas sonuçlar verdiğini söylemişler ve modellerinde doğrulamışlardır (Schwingschackl ve ark. 2013).

Chandra ve arkadaşları (2018), GLA üniversitesi, Mathura, Hindistan'da gerçekleştirdikleri deneyde, iki adet PV panelin yıllık enerji üretimine, rüzgar hızının etkisini araştırmışlar ve bu işlemi okul laboratuvarında yapay rüzgar oluşturarak gerçekleştirmişlerdir. Suni rüzgar oluştururken, mevsimlere göre yıllık rüzgar hızı değerlerinden faydalanmışlar ve belirli süre zarfı için enerji üretiminde %5.07 lik artış gözlemlemişlerdir. Ayrıca deneysel ve simülasyon çalışmalar sırasında bu iki yöntemin sonucunda üretilen enerji değerlerinin sırasıyla 431.28 Wh ve 439.98 Wh değerlerinde olduğunu gözlemlemişlerdir (Chandra ve ark. 2018).

Abiola-Ogedengbe ve arkadaşları (2015), rüzgar tüneline, 24 bağımsız PV panelleri üstünde gerçekleştirdikleri çalışmada, panellerin üst ve alt yüzeylerinde oluşan basınç dağılımı ve basınç alanlarını araştırmışlardır. Sonuç olarak rüzgar istikametinde panel üstündeki basınç dağılımı simetrik olmakta ve diğer istikametlere asimetrik olmaktadır. Çok geniş yüzeyli panellerde paneller arası bırakılması zorunlu olan boşluk, panelin üstündeki basınç alanını etkilemektedir ve bu alan üstündeki basınç büyüklükleri inklınasyon açısıyla değişim göstermektedir (Abiola-Ogedengbe ve ark. 2015).

Goverde ve arkadaşları (2015), hızı ve doğrultusu sürekli olarak değişen rüzgar akımları altında bulunan PV panellerin enerji üretimi ve bu tip rüzgarların panellerin soğuma hızına olan etkisini rüzgar tüneline 156x156 mm ebatlarındaki mini panellerde incelemişlerdir. Sonuç olarak bu tipteki hava akışının 21°C ve daha fazla sıcaklık farkına yol açtığı gözlemlenmiştir. Ayrıca rüzgarın panel üstündeki sürtünmesinden dolayı üretilen ısı, rüzgarın konveksiyon etkisinden dolayı oluşturduğu ısı transferinin yanında ihmal edilebilir ölçekte dir (Goverde ve ark. 2015).

Kaplani ve Kaplanis (2014), PV panellerinin, eğim açısı, rüzgar hızı ve yönüne bağlı olarak sahip olduğu çalışma sıcaklığını incelemiştir. Çalışma 1 yıl boyunca saat başı çevresel parametrelerin verilerinin iki eksende güneş takibi yapan PV panel üstünden toplanması şeklinde gerçekleşmiştir. Sistemin çalışma sıcaklığını veren analitik ifade,

enerji dengesi ifadesi üstünden gerçekleştirilmiş ve sistemin ısınmasını etkileyen faktörler tek bir katsayı üstünde toplanmıştır. Katsayı hem teorik hesaplamaların hem de deneysel çalışmaların birer kesişim ürünüdür. Simüle edilen modelde doğal/cebri taşınım modelleri, hava akışı laminer/türbülanslı oluşu, PV modülün geometrisi ve buna bağlı olan rüzgar yönü bulunmaktadır (Kaplani ve Kaplanis 2014).

Kaldellis ve arkadaşları (2014), Güney Yunanistan bölgesinde, akıma kapalı bir binaya entegre PV panellerini (81 kWp) ve açık ortama entegre panelleri (150 kWp) üstünden 1 yıl boyunca veriler toplamıştır. Kendisinden ölçüm yapılan PV paneller arka yüzeyinde barındırdığı sıcaklık sensörleri sayesinde hem üst yüzeyden akan rüzgarı bozmamış ve ısının transfer edilmesine olanak vermiş hem de PV panelin çalışma sıcaklığını ve ortam sıcaklığının ölçülmesine olanak sağlamıştır. Sonuç olarak güç sıcaklık katsayısı negatif çıkmış, $\pm 0.30/^{\circ}\text{C}$ ve $\pm 0.45/^{\circ}\text{C}$ değerleri arasında bulunmuştur. Bu sayılardan mutlak değerce düşük olan değerler, havalandırılmış PV panel çerçevelerini temsil etmektedir (Kaldellis ve ark. 2014).

Tez çalışması için yukarıda belirtilen makalelerin geniş bir çerçevede özeti sunulmuştur. Bu özeti sonrasında kullanılacak formüller bu makalelerden tespit edilip 5. Bölümde hesaplama sistematığını oluşturacak şekilde anlatılmıştır. 6. Bölümde Bursa ili için gerekli sayısal veriler bu formülasyonlarda yerine yerleştirilmiş ve döngüsel MATLAB kodu ile aylık ve yıllık veriler hesaplanmıştır. Son bölümde ise yapılan çalışmaların genel değerlendirmesi yapılmıştır.

2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Tanımı

Birçok farklı tanım ile ifade edilen yenilenebilir enerji en temel hali ile kendi kendine rejenere olan, kendini otomatik olarak yenileyen enerji kaynaklarının tümü olarak adlandırılabilir. Günümüzde giderek artan popülaritesiyle ülkelerin ve insanlığın dikkatini hızla üzerine çekmekte, bu alana yapılan yatırımların sayısı ve tutarı her geçen gün artmaktadır.

En temel kaynağı olan güneş vasıtasıyla, gerek güneş ışınları, gerek bu ışınların oluşturduğu rüzgar, bulut ve dalga akımları gerekse bu enerjiye ait ışınımın bitkilerde

birikmesi ve oradan hayvanlara geçmesiyle ve canlı organizmalardan dışarı atılmasıyla biyoenerji yenilenebilir enerjinin ana bileşenlerini oluşturmaktadır. Alternatif ve temiz enerji kaynakları olarak da yer yer bahsedilen bu kaynaklar fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin bilinçsizce tüketilmesi sonrası dünyadaki sürdürülebilir gelecek mirası açısından son derece önem arz etmektedir (Gülay 2008).

2.2. Yenilenebilir Enerjinin Önemi

Teknolojinin ve enerji kaynaklarının değerlendirilmesinin tarihçesini incelediğimizde dönemsel gelişmelere bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttığını gözlemlemekteyiz. Özellikle 18. yüzyıl sonlarında gerçekleşen sanayi devrimi ile “yenilenebilir” bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulabileceği konusunda insanların aklında bir fikir ve dönüm noktası oluşturmuştur.

Yaşadığımız bu çağda, sanayileşme hareketinin ve artan insan popülasyonunun ihtiyaçlarını karşılamak açısından fosil yakıtlara dayalı enerji sistemleri, kaynakların çevreye verdiği zarar ve sınırlılığı nedeniyle gerekli ihtiyacı karşılayamamaktadır. Özellikle 1970’li yıllardan bugüne yaşanan siyasi, ekonomik ve çevresel olaylar bu durumu desteklemektedir. Dolayısıyla insanoğlunun enerji kaynaklarından faydalanma sürecini incelemek aslında yenilenebilir enerjinin neden önemli olduğu konusunun algılanmasında bize kolaylık sağlayacaktır (Gülay 2008).

2.3. Yenilenebilir Enerjinin Tarihsel Gelişimi

Yüzyıllarca rüzgâr, odun, su ve gelgit enerji kaynakları pek çok uygarlığın önemli derecedeki üretimine dayalı yöntemlerinde, ticaret yaşantılarında ve mimari eserlerinde, bazen artarak ya da azalarak aktif rol oynamıştır. Alvin Toffler'ın söylediği "Birinci Dalga" medeniyetlerinin enerji kaynağı, Sanayi Devrimi'ne kadar bu enerji kaynakları olmuştur. İnsanların gereksinimi olan ısınmak ve yemek pişirmek için ağaçlar kesilmiş, gelgitte ve akarsu yardımıyla dönen çark ve yel değirmeni kullanılmıştır.

Belirtilen enerjilerin kullanım oranı, bu kaynakların kendilerini yenileyebilme oranından ve hızından daha düşük olduğu için doğal ekosistem kendisini yenileyebilmiş ve

tüketilenlerin yerlerine hemen yenisi gelebilmiştir. Yenilenebilir kaynaklar içerisinde gösterilen bu enerji kaynakları, insanoğlunun yaşamındaki vazgeçilmez konumunu, 1712 senesinde Thomas Newcomen tarafından buharlı makinenin icat edilmesinin ardından fosil kaynakların almaya başlamasıyla terk etmiştir.

Evvel kömür rezervlerinin, demirin ve başka madenlerin eritilmesinde kullanılması ve buhar makinesinde uzak yerlere nakledilebilmesiyle endüstriyelleşme seri bir biçimde çoğalmıştır. Amerika'nın Pensilvanya bölgesinde Edwin L. Drake'in 1859 senesinde bulunduğu kuyu ile petrol, ilk defa ticaret amaçlı işletilmiş ve kullanılmıştır. 20. yüzyılın başlarında içten yanmalı motorun insanın günlük yaşantısında yer bulması ile, o zamana kadarki enerji ihtiyacının neredeyse tamamını karşılayan odun vb. yenilenebilir kaynakların önem kaybetmesine yol açmıştır.

Fosil kaynaklı yakıtların hızlı ve yüksek enerji sağlamada oluşturduğu kolaylık, bu enerji türü ile çalışan makinelerin oluşturduğu olumsuzlukların görmezden gelinmesini ve çevreye olan zararlarının dikkate alınmamasını sağlamıştır. 1970'li yıllardaki petrol krizinden doğan enerji krizi ve fiyat artışı enerji kaynaklarının nasıl daha efektif kullanılabileceği sorusunu ortaya çıkarmış ve yenilenebilir enerji kaynakları tekrardan önem kazanmaya başlamıştır. Bu doğrunun akabinde 1980'li yıllarda enerji krizinin aşılmasına ve fiyatların düşmesine rağmen, insanlığın zihniyeti değişim geçirmiş ve yenilenebilir enerji kaynak ve teknolojilerine yatırım yapılmasının zaruri olduğu anlaşılmıştır (Gülay 2008).

2.4. Yenilenebilir Enerji Çeşitleri

2.4.1. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, Güneş'in atmosferi ve yerkabuğunu farklı miktarda ısıtmasının sonucu olarak meydana gelen basınç ve sıcaklık farkından oluşan hava akımıdır. Güneş yeryüzünün ihtiyaç duyduğu enerjinin kaynağı olmakla birlikte, bu büyük enerji kaynağından gelen enerjinin yaklaşık %1 ila %2'si rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Bu bağlamda rüzgar enerjisi kinetik enerjiye dönüşmüş güneş enerjisi olarak da düşünülebilir. Rüzgarı oluşturan hava akımlarının nedeni basınç farklılıklarıdır. Basınç farklılıklarının kaynağı

ise yeryüzünün farklı oranlarda ısınması, nemin ve hava sıcaklığının farklı olmasıdır. Rüzgarın sağlayacağı enerjinin miktarı ise esme süresine ve rüzgarın gücüne bağlıdır.

Atmosferde meydana gelen sıcaklık farkları ile birlikte bir hava kütlesi ısındığında atmosferin üst kısımlarına doğru hareket eder, yükselen hava kütlelerinin yerini aynı hacimdeki bir diğer daha soğuk hava kütlesi alır. Bahsi geçen hava kütlelerinin yer değiştirmesi ile oluşan hava akımlarına rüzgar adı verilir. Rüzgarlar yüksek basınç bölgelerinden alçak basınç bölgelerine doğru akar. Rüzgarları şekillendiren faktörler yerel ısı yayılımları, yüzey sürtünmeleri, Dünya'nın kendi ekseninde dönmesi, arazinin topografik yapısı ve birtakım atmosferik olaylardır. Rüzgarın enerjisini orman, dağ, tepe, yerleşim merkezi gibi yer şekilleri de etkilemektedir (Gülay 2008).

2.4.2. Jeotermal Enerji

Jeotermal kelimesi, kaynağı yer olan ve yerkabuğunun farklı derinliklerindeki eriyik maddelerin ısıısının bir şekilde yeryüzündeki maddelere iletilmesiyle oluşan eriyik tuz mineral ve su buharının ısıısı olarak tanımlandırılabilir. Bunun haricinde bazı yöntemlerle ısılarından faydalanılan kaya şeklindeki yapılar da jeotermal kaynak olarak tanımlandırılabilir.

Jeotermal enerji, jeotermal kaynak vasıtasıyla ısınan yeryüzündeki maddelerin ısı enerjisinden faydalanmayı tanımlayan bir diğer isimdir. Isınan su, buhar, kızgın buhar ve kuru buhar olarak kuru kayalara taşınır ve enerjinin çeşitli şekillerine dönüştürülmek ve faydalanmak üzere çeşitli proseslerden geçirilir. Jeotermal kaynaklar, aktif volkanik araziler ve yüksek manyetik özellikler gösteren coğrafi bölgelerde bulunmaktadır. Bu enerji türü, en önemli özelliği olan tükenmeme ve kendini sürekli yenileme özelliğine, ucuz ve çevreci olması gibi özelliklere sahiptir (Gülay 2008).

2.4.3. Hidrolik Enerji

Belirli bir yükseltiye ya da fizik terimleriyle bir potansiyele sahip enerji türüne hidrolik enerji denmektedir. Bu, suyun potansiyelinden faydalanarak onu kinetik enerjiye

ardından da elektrik jeneratörleri vasıtasıyla elektrik enerjisine çevrilmesine hidroelektrik enerji, bu enerjiyi üreten tesise hidroelektrik santral(HES) denir.

Hidroelektrik santraller (HES) ya belirli miktarda suyun çok yüksekten düşürüldüğü bölgelere ya da yükseltisi daha az olan ancak debisi (birim zamandaki su kütlesi) fazla olan bölgelere kurulmakta ve suyun kütle ve hız özelliklerinden faydalanmaktadır. Enerji taşıyan su belirli kanallar ile belirli bölgelere taşınmakta ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılan türbinlere sevk edilmektedir. Türbinler suyun akış enerjisini dönme enerjisine çevirir ve bu enerji elektrik üretimi amacıyla elektrik jeneratörlerinde elektrik enerjisine çevrilir. Enerjisini kaybeden su tekrar yeryüzüne geri bırakıldığında, su döngüsü vasıtasıyla buhar-bulut-yağmur olarak yeryüzündeki kaynakları beslemekte ve bu durum barajların tekrardan kullanılmasını yani kaynağın “yenilenebilir” olduğunu göstermektedir.

Dünya üzerinde su olduğu müddetçe hidroelektrik enerji, yenilenebilir enerji kaynağı olarak kalacaktır. Elektrik enerjisinin % 92’sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen dünya elektrik enerjisi arzının % 16’sı hidroelektrik kaynaklardan sağlanmaktadır.

Hidroelektrik santrallerde, yaşamın kaynağı ve doğal bir kaynak olan sudan enerji elde edilmesi, ilk yatırım haricinde neredeyse emisyonun olmaması, ekipmanların ömrünün fosil yakıtlarla çalışan tesislere nazaran daha uzun olması, inşaat ekipman ve mühendisliklerinin yerli imkanlarla yapılabilmesi ve tesis enerjisinin depolanabilir ve istendiği zaman elektriğe çevrilebiliyor olması, işletme ve bakım masraflarının az ve istihdama katkı sağlaması bu yenilenebilir enerji türünü diğer fosil yakıtlara göre önemli bir rakip olmasını sağlamaktadır (Gülay 2008).

2.4.4. Biyokütle Enerji

Güneş enerjisini fotosentez yolu ile bünyesinde depolayan bitki ve diğer organizmaların içinde barındırdıkları enerji türü “biyokütle enerjisi” olarak tanımlanmaktadır. Doğada ekolojik döngü ve besin zinciri kavramı bulunduğundan, canlı organizmaların tümünün sahip olduğu kütlelerin enerjisinin toplamına biyokütle enerjisi demek mümkündür.

Sadece besinlerin değil tükenmez bir enerji kaynağı olan bitkilerin, doğada yakılması sonucu oluşan karbondioksit, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alındığı için CO₂ emisyonu bakımından korunmuş olacaktır. Organik maddelerin içindeki enerjinin fosil yakıtlarla belirli ölçülerde karıştırılması sonucunda biyodizel, bioetanol elde edilmekte, sadece organik atıklardan çıkan gazın değerlendirilmesi sonucu biyogaz enerjisi elde etmek mümkün olmaktadır.

Dünyada sürekli olarak artan nüfus ve sanayileşme, enerjiye duyulan ihtiyacı artırmakta bir taraftan da çevrenin korunmasına yönelik politikaların daha etkili bir biçimde yürütülmesi konusunda insanları itici bir etmen olmaktadır. Tam da bu noktada yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle enerjisi, sürekli yenilenmesi, maliyetinin neredeyse sıfır olması özellikle kırsal kesimlerdeki insanlar için ekonomik ve tarımda kullanılabilir olması sebebiyle önemli bir enerji kaynağı olmaktadır.

Bilinen anlamdaki ilk biyokütle enerjisinden faydalanma biçimi, odunun yakılması ile elde edilen ısı vasıtasıyla yemek pişirmek ve ısınma ihtiyaçlarının giderilmesidir. Perslilerin antik çağlarda banyo için gerekli sıcak su enerjisini biyogazdan elde ettikleri bilinmektedir. Sadece birkaç yüzyıl öncesinde bile İngiltere’de kanalizasyonda biriken gazların enerjisi cadde aydınlatmalarında kullanılsa da şimdiki bilgi çağı toplumlarının bu enerjiden istenilen ölçüde faydalanamaması, durumun vehametini gözler önüne sermektedir.

Biyokütle enerjisinden efektif anlamda faydalanmak için araştırma kuruluşları ve üniversiteler özel olarak mısır, buğday, yosunlar, algler, otlar yetiştirmekte ve sanayi atıkları, hayvansal atıklar, dışkılar ve organik tüm çöplerin kullanılabilmesi için özel teknolojiler geliştirmektedir. Bu teknolojileri geliştiren insanların enerji üretimi açısından farkında oldukları gerçek ve motivasyon kaynakları, biyokütle enerjisinin, sürekli olarak kullanılabilmesinden ötürü dışa bağımlılığın az ve ekosisteme neredeyse zarar vermiyor olmasıdır (Gülay 2008).

2.4.5. Dalga Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından bir diğeri ise dalga enerjisidir. Bu enerjinin kaynağı da aslında güneştir. Güneş'ten gelen ışınlar ile farklı yükseltileri bulunan bölgeler farklı olarak ısınmakta ve bunun sonucunda rüzgarlar ortaya çıkmaktadır. Rüzgarlar da deniz ve okyanuslarda dalgaların oluşumunu tetikler. Araştırmalar göstermiştir ki dalga enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla yaklaşık 10-15 kat daha etkin ve yoğundur. Denize kıyısı bulunan ülkelerin ve bölgelerin enerji ihtiyacını karşılamak için kullanıldığında büyük katkılar sağlayacaktır. Son zamanlarda popüler olan dalga enerjisi elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Bir takım göl ve denizlerden elde edilen dalgaların potansiyeli elektrik üretimini etkileyen en önemli hususlardandır (Gülay 2008).

2.4.6. Güneş Enerjisi ve Kullanım Alanları

Güneş, evrene yaydığı yüksek miktardaki ışık ve ısı enerjisi yoluyla, Dünyamızın hem aydınlanmasında hem de ısınıp hayatın devam etmesinde çok önemli bir işleve sahiptir. Güneş'in bu denli verimli özelliklere sahip oluşu insanoğlunu Güneş'ten çeşitli alanlarda yararlanmaya itmiştir. Güneş'ten yararlanma çalışmaları günümüzde de hızla devam etmektedir.

Güneş'in özelliklerine bakıldığında, Dünya'ya yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta, 1.39 milyon km çapında ve sıcak gazlardan (% 95 oranında hidrojen) meydana gelmiş devasa bir küttedir. Güneş enerjisi, Güneş'in çekirdeğinde yer alan ve hidrojen gazını helyuma dönüştüren füzyon (parçalanma) tepkimesi sonucunda ortaya çıkan ışımaya gücüdür. Tepkime sonucunda açığa çıkan enerji, ışımaya yoluyla uzaya yayılmaktadır. Güneş'ten Dünya'ya gelen enerjinin kuvveti yaklaşık olarak 1.370 W/m^2 'dir, fakat yüzeye gelen ışımaya gücü atmosfer sebebi ile $0 - 1100 \text{ W/m}^2$ 'ye kadar düşmektedir. Bu düşüşe rağmen, Güneş'ten yayılan enerji o kadar büyüktür ki bu enerjinin Dünya'ya gelen küçük bir bölümü bile insanlığın bütün enerji gereksinimini fazlasıyla karşılayabilecek miktardadır.

Güneş'ten Dünya'ya, Dünya'nın bir sene için kullandığı enerji miktarının 20.000 katı kadar enerji yayılımı olmaktadır. Araştırmalar sonucunda görülmüştür ki Güneş ışınlarının yaklaşık % 30'u yansımalar nedeniyle atmosfere girmeden uzaya, geriye kalan

% 70'i ise, atmosfer tarafından alınarak uzayın derinliklerine doğru ışınım halinde yayılmaktadır. Sonuç itibariyle, güneş ışınlarının %50'si atmosferden geçmeyi başarıp Dünya'ya ulaşmaktadır. Hayatın devamlılığı için yeryüzü, yeterli miktardaki ışınımı dengeli bir şekilde sürekli almak ve yansıtma zorundadır. Güneş ışınlarının Dünya'ya ulaşması ile yeryüzünün sıcaklığı artar ve yeryüzü yaşama elverişli bir yer haline gelir. Okyanuslardaki, denizlerdeki dalgalanmalar ve rüzgar oluşumları güneş enerjisinin yardımı ile oluşmaktadır.

Güneş enerjisi kendisi başlı başına bir enerji kaynağı olmasının yanı sıra diğer enerji türlerinin de kaynağıdır. Güneş, nükleer enerji dışındaki bütün enerjilere doğrudan veya dolaylı yoldan hizmet etmektedir. Güneş enerjisi, çevresel kirlilik oluşturmaması, dağıtımında ve iletiminde sorun olmaması, sonsuz olması, kurulum maliyeti dışında ücretsiz ve doğal yollardan eldesi gibi artıları ile vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. Temiz, yenilenebilir, güvenilir, doğal, yeni ve çevre ile dost olması güneş enerjisinin diğer avantajlarından. Bu bağlamda, faydalanılabilir enerji potansiyeli açısından da diğer enerji türleri ile karşılaştırıldığında üstündür. Araştırmalar göstermiştir ki, Dünya'mızın faydalanabileceği güneş ışınlarının bir yılda ürettiği enerji, tanımlanmış kömür rezervlerinin sağlayabileceği enerjiden 50 kat daha fazladır.

Ölçüm sonuçları, Dünya'ya gelen ışınların metrekare başına ortalama olarak 1.35 kW'lık bir enerji oluşturabileceği yönündedir. Ancak unutulmamalıdır ki, güneş ışınlarının dünyaya ulaşmasında mevsimsel etkiler, günlük değişkenler ve coğrafi koşullar etkilidir. Bu kısıtlarla birlikte gelen ışınlar bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Bu özelliğinden dolayı güneş enerjisi, dağınık ve düşük yoğunluklu, değişken ve aralıklı bir enerji türüdür. Tüm bu kısıtlara rağmen güneş enerjisi, yıllarca problemsiz çalışma potansiyeli, temiz, çevreyle dost ve modüler oluşu, kısa sürede kurulumunun gerçekleşmesi, işletmesinin kolay oluşu, yakıta bağımlı olmayışı ile tercih edilmeyi sürdürecektir.

Güneş enerjisinin kullanım alanlarına baktığımızda iki amaç temeldir. Bu amaçlardan ilki güneş enerjisi ile ısı elde etmek, diğeri ise güneş enerjisi ile elektrik elde etmektir. Bu eldeler için farklı teknolojiler kullanılmakta ve her geçen gün bu teknolojiler

gelişmektedir. Güneş enerjisi, sanayide ve ulaşımda, yemeklerin hazırlanmasında, tarımsal ürünlerin kurutulmasında, suların ve havuzların ısıtılmasında, iş yerleri ve konutların ısıtılması ve soğutulmasında ve seralarda kullanım alanı bulmaktadır. Deniz suyundan tatlı ve tuzlu su eldesi, güneş kaynaklı piller, sinyalizasyon sistemleri ve elektrik üretimi, güneşe bağlı havuzlar, ocak ve fırınlar ise güneş enerjisinin kullanım alanlarının spesifik örnekleridir.

İnsanlık tarihinin başlarında, güneş ve onun gönderdiği ışınlar kutsal kabul edilerek tapınılmıştır. Ünlü Roma imparatoru Muma Pompilus devrinde (M.Ö 714-671), konik metalik kaplarda odaklandırılmış güneş ışınlarına kutsaliyet atfedildiği çeşitli kaynaklarca bilinmektedir. M.Ö 210 yılları civarında, ünlü fizikçi Arşimet, aynalar vasıtasıyla odaklandığı güneş ışınlarını düşman gemilerini yakarak (Syrakuza Savunması) uzaktan imha etme konusunda üne kavuşmuş bir bilim adamıdır.

17. yüzyılın sonlarında güneş enerjisi, A.Kircher adlı bilim adamının yakıcı aynalar vasıtasıyla odunları tutuşturması ile tekrardan popülerlik kazanmıştır. 18. yüzyılda J. Priestley, civa oksidin üzerine güneş ışınlarını odaklayarak oksijen elementini keşfetmiştir. De Saussure, ısı kutusu adını verdiği düzenek ile güneş enerjisi ile besin pişirmeyi olanaklı kılan sistemi geliştirmiştir. H. Bessemer, çelik konvertör sistemlerinden birine isim veren bilim adamı, demiri eritebilmek için bir fırın tasarlamış ve bu fırın güneş ışınlarının odaklanmasıyla çalışmıştır.

Güneş ile çalışan sıcak hava motorunun kaşifi J.Ericsson 1870 yılında bu sistemin patentini almıştır. 1872 yılında ise 4700 m² alanı kaplayan ve güneş ile çalışan damıtma sistemi ilk defa devreye alınmıştır. Bu tesisin asıl amacı ise suyun içindeki nitrat minerallerini ayrıştırıp tatlı su elde edebilmektir ve tam 40 yıl boyunca kullanıldı. Buhar gücünün farkına varan kara Avrupasında, Paris'te, buharla çalışan matbaa makinesi ilk defa imal edilmiş ve buhar üretim sistemi güneş ışınlarından faydalanmıştır. 1900 yılında A.B.D Güney Pasadena'da kurulan su pompalama tesisinde sistemi tahrik etmek için güneşli buhar makinesi kullanılmıştır. 1913 yılında Mısır'da Nil nehrinin kenarına kurulu gücü 74 kW olan güneş enerjili su pompalama sistemi inşa edilmiştir.

1949 yılında A.B.D, Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde (MIT), ilk güneş evi yapılmış akabinde 1953 yılında ise Sovyetler Birliği Krzhizhanovsky Güç Enstitüsü'nde buhar üretimi üstünde kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Güneş enerjisinden elektrik eldesini amaçlayan ilk fotovoltaiik paneller Bell Labaratuvarlarında (A.B.D) 1954 yılında yapılmıştır. A.B.D'de 1957 yılına kadar sadece 21 güneş fırınının kurulduğu düşünülürse, güneş enerjisinden başka enerji türlerine geçiş çalışmalarının bu yıllarda ne kadar popüler olduğu anlaşılabilir.

20. yüzyıl ortalarında, İngiltere, Japonya ve A.B.D'de güneş enerjili su ısıtıcılarının kullanımı başlamış, akdeniz bölgesinde yer alan İtalya ve Fransa gibi ülkelerde de yaygınlık kazanmaya başlamıştır. Fransa'nın Pirene yöresine kurulan 1 MW gücündeki Mont-Louis Güneş Santrali bu teknolojiye büyük ölçekte faydalanma konusunda atılan ilk adım olarak kabul edilebilirse de, ilk yatırım maliyetlerinin, dönemin petrol ve doğalgaz kaynaklı santrallerinin yatırım masrafiyla karşılaştırıldığında bir dezavantaj oluşturduğunun görülmesi bu teknolojiye yapılan yatırımın kısa süreli duraksamasına yol açmıştır. Ancak 1970'li yılların ortasında patlak veren petrol krizi, bu çalışmalara tekrardan hız kazandırılması konusunda önemli bir rol oynamıştır.

Özellikle 1970'li yıllardan itibaren alternatif enerji kaynaklarından ve daha özel konuşmak gerekirse güneş enerjisinden faydalanma ile ilgili yapılan çalışmalar hızlanmış ve maliyeti düşürerek daha ileri teknoloji geliştirme çalışmaları ivme kazanmıştır (Gülay 2008).

Güneş enerjisi ile ısıtma

Güneş'ten faydalanılarak ısıtma veya ısınmanın tarihi oldukça eskilere dayanmaktadır. Bu tarih ilk insana kadar gidebilir ve bu süreç içerisinde güneş hep ısınmada kullanılmıştır. Teknoloji ilerledikçe güneş enerjisinin ısıtma gücünden faydalanmak için kullanılan ısıtıcılar da oldukça değişmiştir. Kullanılan bu sistemler ısının yoğunluğuna bağlı olarak çok karmaşık olabilmektedir. Sistemin genel çalışma prensibi güneşten toplanan ısının bir akışkan yoluyla gerekli ortama aktarılması şeklindedir.

Yüksek derece ısıya ihtiyaç olmayan sistemlerde düzlemsel veya vakumlu tür güneş kolektörleri tercih edilmektedir. Pasif ısıtma teknolojileri gibi günlük yaşamda farklı türde uygulamalar bulunmaktadır (Gülay 2008).

Düzlemsel güneş kolektörleri

Güneş'ten elde edilen enerjiyi toplayan ve ısı olarak aktaran farklı tipteki cihazlardır. Sıcak su elde etmek için evlerimizde daha çok tercih ederiz. Yaklaşık 70 °C sıcaklıklara kadar ulaşabilir. Düzlemsel güneş kolektörleri, üstten başlayarak alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmaktadır. Absorblayan plaka kısımda koyu renk tercih edilir, ayrıca seçilimi arttıran bir madde ile kaplama yapılmaktadır. Kolektörlerin yerleşiminde bulunduğu bölgeye bağlı olarak güneşi en iyi alacak açıda yerleştirilmesi gerekir.

Güneş kolektörlü sistemlerin sınıflandırılmasında iki sistem vardır. Bunlar tabii dolaşım ve pompalı sistemlerdir. Bu sistemlerden, evdeki cihazların yanı sıra, yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için de sıcak su eldesinde faydalanılabilir. Ar-Ge faaliyetleri yoğun olarak devam etmektedir ve ticari ürünler haline gelmiştir. Dünya genelinde faaliyette olan güneş kolektörünün kapladığı alanının 30 milyon m²'yi aştığı bilinmektedir. Bulunan ülkeler arasında Çin, ABD, Japonya, Avustralya, İsrail ve Yunanistan gibi ülkeler en çok güneş kolektörünün bulunduğu ülkelerdir. Türkiye de bu ülkeler arasında yer almaktadır ve bu sistemlerin kurulu olduğu alan 7,5 milyon m²'dir.

Güneş havuzları, güneşin toplanmasına ve depolanmasına yarayan ünitelerdir. Havuzdan birim alanda elde edilen enerji ve düzlemsel kolektörden elde edilen enerji ile karşılaştırıldığında havuzun düşük maliyeti öne çıkmaktadır. Ancak bu havuzları yüksek yerlere yada eğimli bölgelere kurmak zahmetlidir. Havuzun izolasyonu da diğer bir eksik nokta olarak ele alınmaktadır.

5-6 metre su ile doldurulmuş bir havuzun zemini siyah renkte olduğunda güneş ışığını yakalayarak 90 °C sıcaklığında su sağlanabilir. Bu sıcak su, bir eşanjöre pompalanarak,

doğrudan ısı olarak yararlanılabileceği gibi, Rankin çevrimi ile elektrik üretiminde de kullanılabilir.

Güneş havuzlarında kullanılan tuzlar, NaCl ve MgCl olarak söylenebilir. Güneş havuzlarının kullanımı oldukça kolaydır ve elverişlidir. Havuzda oluşabilecek biyolojik organizmaların kontrol edilmesi ve havuzun temizlenmesi klasik yüzme havuzlarında olduğu gibidir. Güneş havuzundan ısıyı çekmek için akışkanı pompalamak gerekirken, toplama ve depolama tamamen pasiftir. Buharlaşma sebebiyle havuzun eksilmesini önlemek amacıyla su takviyesi yapılması gerekir. Deniz suyu ya da göl suyu gibi tuzlu sular bu amaçla kullanılabilir (Gülay 2008).

Vakumlu güneş kolektörleri

Vakumlu kolektörlerde cam boru kullanılmaktadır. Ayrıca absorblama yüzeylerinde enerji emilimini arttırmak amacıyla metal veya cam yansıtma sistemleri kullanılabilir. Vakumlu güneş kolektörlerinin çıkış kısımları daha sıcak olduğu için (100-120 °C), düzlemsel kolektörlerin kullanıldığı yerlerde kullanılabilir. Bunlara ek olarak yiyeceklerin dondurulmasında, bina soğutmasında kullanılabilirler (Gülay 2008).

Güneş bacaları

Bu sistemde enerji üretimi güneşin ısısından oluşan hava hareketinden faydalanılarak elektrik üretilmesini içermektedir. Güneş bacalarının çalışma prensibi hidroelektrik santrallere benzerdir. İki sistemde de elektrik üretimi türbinler sayesinde gerçekleştirilmektedir. Hidroelektrik santral sistemlerinde türbinlerin hareketi su ile yapılmasına rağmen, güneş bacalarında türbinler hava akışı ile olmaktadır. İkisinin de olumlu yönleri elektrik üretim ve bakım onarım maliyetlerinin düşük olmasıdır.

Güneşle temas ettirilen şeffaf malzemeyle kaplanmış yapının içindeki toprak ve hava ısınmaktadır. Hava ısındıkça yükseldiği için (çatı eğimli olmalı) hava akışı hayli yüksek bir bacaya yönlendirilirse baca içinde yüksek hızda hava akışı oluşmaktadır. Bacanın giriş kısmına konabilecek yatay rüzgâr türbini ile bu akış elektriğe dönüştürülebilir. Bu tip uygulamalar için farklı güçte tesisler kurulabilir. Ancak,

dünya üzerinde deneysel birkaç sistem dışında uygulaması bulunmamaktadır (Gülay 2008).

Güneş mimarisi

Güneş mimarisi, yüzyıllardan beri kullanılagelen bir uygulamadır. Topluluklar bulunduğu bölgeye ait meteorolojik yapıya göre evlerini dizayn etmektedir ve güneşin enerjisinden en verimli şekilde yararlanmaya çalışmaktadırlar. Konutların yapı ve tasarımında yapılan değişiklikler sayesinde ısıtma, aydınlatma ve soğutma sistemleri daha modern ve kullanışlı hale getirilmeye çalışılmaktadır. Pasif olarak doğal ısı transfer mekanizmasıyla güneş enerjisi toplanabilir, depolanabilir ve hatta bu depolanan enerjinin dağıtımını yapılabilir. Ayrıca güneş kolektörleri, güneş panelleri gibi aktif güneş enerjisi donanımları da güneş mimarisinin örnekleri arasında yer alabilmektedir (Gülay 2008).

Kurutma ve seralar

Güneş'in bize sağladığı birçok enerji türü bulunmaktadır. İlk olarak güneşten elde edilen ısıtma örnek verilebilir. Güneş'ten sağlanan ısıtma sayesinde kırsal yörelerde toplanan ürünler kurutulabilmekte ve saklanabilmektedir (Gülay 2008).

Güneş Enerjisinden Elektrik Elde Edilmesi

Güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi 2 tür teknoloji ile ifade edilebilir. Bunlar ışığın doğrudan elektrik enerjisine çevrilmesi ilkesi ile çalışan fotovoltaiik sistemler ve yüksek sıcaklık prensibi ile çalışan yoğunlaştırıcı sistemlerdir (Gülay 2008).

2.5. PV Paneller (Fotovoltaiik Güneş Panelleri)

Güneş panelleri, yarı iletken özelliğe sahip olan yüzeyine gelen güneş ışığını elektrik enerjisine çeviren aygıtlardır. Güneş hücrelerinin üzerine güneş ışınları düştüğünde hücrelerin uçları arasında elektrik gerilimi oluşur. Bu olay fotovoltaiik ilke olarak bilinir. Güneş panelleri fotovoltaiik ilkeye göre çalışmaktadır. Güneş hücrelerinin genel yapılarına bakıldığında yüzey şekillerinin dikdörtgen, daire veya kare biçiminde olabileceği görülür.

Kalınlıkları 0.15 mm ile 0.2 m arasında değişmektedir. Yıllar geçtikçe gelişen teknoloji ile birlikte hücre kalınlıkları giderek azalmıştır. Güneş hücrelerinin boyutları çoğunlukla 156x156 mm veya 125x125 mm'dir. Güneş hücrelerinin sabit yapılı olup mekanik olarak çalışmaması bu aygıtları teorik olarak sonsuz ömürlü yapmaktadır. Hücrenin ürettiği elektrik enerjisinin kaynağı güneş enerjisidir.

Çok sayıda güneş hücresi birbirine bağlanarak istenen güç elde edilebilir. Hücreler birbirine paralel ya da seri olarak bağlanmaktadır. Bu şekilde elde edilen yapıya fotovoltaik panel ya da güneş paneli denmektedir. Böylece birkaç Watt'lık küçük enerji üreteçlerinden dev enerji santrallerine kadar sistemler oluşturulabilir. Güneş panellerinin ıkışımdan doğru akım elde edilir (<http://www.intmarketing.org> 2017).

2.5.1. Fotovoltaik Güneş Panellerinin Tarihçesi

Güneş enerjisinden insanlar asırlardır farklı alanlarda faydalanmasına rağmen güneş enerjisi kullanılarak elektrik üretilmesine yönelik ilk çalışmaların 19. yüzyılın ortalarında başladığı görülmektedir. 1839 tarihinde Fransız bilim insanı Becquerel ilk olarak, elektrolit içine daldırdığı elektrotlar arası gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağlı olarak değiştiğini bularak Fotovoltaik etkiyi keşfetmiştir.

1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day yaptığı çalışmalarla katılarda selenyum kristalleri üzerinde benzer etkiyi tespit ettikleri bilinmektedir. Literatür çalışmalarında 1914 senesinde fotovoltaik hücrelere ait verimlilik değerlerinin % 1 gibi çok düşük bir değerde olduğu gözlemlenmektedir. 1954'de ise Chapin, Fueller ve Pearson isimli araştırmacılar silikon güneş hücresi üzerinde % 6 değerine ulaşmışlar ve güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmenin ticari adımını atmışlardır. Fotovoltaik enerji için milat sayılabilecek bu yıldan sonra güneş enerjisinden elektrik eldesi uzay araçlarında kullanılmak üzere çalışmalar arasına dahil edilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri 1960'lı yıllardan bu yana uzay araştırmalarında kullanılan araçlar için önemli bir kaynak olmuştur. 1970 döneminin ilk başlarında, güneş panellerinden faydalanılmasının çok yaygın olmadığı görülmektedir. Güneş panellerinin yeryüzünde de elektrikselsel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'lerde başlamış olmasına

karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki "1. petrol bunalımını" izleyen yıllarda olmuştur.

Büyük bütçeye sahip teknoloji olarak ileride olan ülkelerde, çok geniş ölçekte çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar, uzay araçlarında kullanılabilecek silikon kristaline dayalı güneş panellerinin verimlilik artırma projelerini kapsamaktadır (<http://www.intmarketing.org> 2017).

2.5.2. Fotovoltaik Etki

Yarı iletken devre elemanlarında, güneş hücrelerinde silisyum elementi kullanılmaktadır. Atomlarının dış kabuğunda dörder adet valans elektronu bulunduran bu element, yabancı atomlardan arındırılmasının ardından uygun şekilde kristalleştirilmesi koşulu ile has yarı iletken olan düzgün bir kristal yapı meydana getirir. Bahsi geçen kristal yapıda silisyum atomlarının her valans elektronunu en yakın silisyum atomları ile ortaklaşa kullanmasıyla atomlar arası birtakım bağlayıcı kuvvetler oluşur. Elektronlar ısıl tahrik ile yerlerinden çıkarak 'serbest elektron'a dönüşebilmektedir. Serbest elektronlar kristal yapı içerisinde rastgele dolaşırken bir elektriksel alan uygulandığında, negatif uçtan pozitif uca doğru sürüklenmek suretiyle elektrik akımının ilerlemesine imkan verirler.

Isıl tahrik sonucunda, yerini terk eden elektronun oluşturduğu boşluk, bölgede pozitif yükün bulunması şeklinde yorumlanır. Elektronun yerini almasına izin verdiği bu pozitif yük 'delik' olarak bilinir. Delikler komşu atomlardan alınan elektronlar ile doldurulurlar ve kristal yapı içerisinde rastgele hareket sağlarlar. Elektriksel alanın uygulanmasıyla birlikte delikler, pozitif uçtan negatif uca doğru sürüklenerek bir elektriksel akım meydana getirirler. Deliklerin ve elektronların elektriksel alanın etkisi ile belirlenen yönleri de taşıdıkları yükler de birbirine zıttır. Bu sebeple, oluşturdukları akım aynı yönde ve pozitif yükten negatif yüke doğrudur.

Düzgün kristal yapıda has yarı iletkene beş valans elektrona sahip atomlar (P, As, ..) katılırsa bu "katkı atomları" dört dış yörünge elektronları ile komşu atomlara bağlanarak

yapıya yerleşirler. Geriye kalan beşinci elektron ise atomdan kolayca ayrılarak serbest elektron haline geçer.

Bunun sonucunda mevcut serbest elektron sayısı, sistemin yapısına dahil olan 5 son yörünge elektronlu atomların sayısına eşittir. Bir adet elektronu serbest kalmış ve kafes yapısı içinde kalmış olan atom +1 yüklenmiş iyon olarak kalmaktadır. Kafes yapısı içinde serbest biçimde dolaşan elektronlarla ısıtma sonucu kopan elektronların gezinmesi ve yerlerini terketmesi sonucu yapı içinde ortaya çıkan boşluklar mevcut olacaktır. Kısaca, 5 son yörünge elektronlu atomların dahil olduğu bir sistemde elektrik akımını taşıyan çok miktarda elektron ve az bir miktar delik bulunması gerekir. Çoğunlukla negatif yüklenmiş bu taşıyıcıların olduğu yarı iletken malzemeye 'n tipi yarı iletken' denilmektedir.

Ancak yapıya, 3 son yörünge elektronuna sahip Al, B gibi atomlar katılırsa, bu yapıya girilebilmesi için mevcut yarı iletken atomlarından birer elektron çekmeleri lazımdır. Bunun sonucunda yapı içinde sabit kalan negatif yüklü iyonların haricinde pozitif yüklü iyonlar kafes içinde serbest ve rastgele hareket etmeye başlar. Isıtma sonucu da pozitif akım taşıyıcıları boş kalan deliklere eklenir ve pozitif yüklü iyonlar çoğunlukta olduğu için bu yarı iletken tipine 'p tipi yarı iletken' denir.

Bir yarı iletken parçasının bir bölgesi p tipi, diğer bölgesi ise n tipi olacak şekilde katılınırsa p tipi bölgede çok sayıda bulunan delikler n tipi bölgeye doğru ve n tipi bölgede çok sayıda bulunan elektronlar p tipi bölgeye doğru yayılmaya başlayacaktır. Hareket edebilen taneciklerin yüksek yoğunlukta buldukları yerden alçak yoğunlukta buldukları yerlere doğru bu şekilde yayılmaları olayına difüzyon adı verilmektedir.

Difüzyon başladıktan sonra p bölgesinin n bölgesi ile birleştiği bölgede negatif yük fazlalığı, n bölgesinin p bölgesine yakın kısımlarında ise pozitif yük fazlalığı olduğu görülmektedir. Bunun sonucu olarak bölgelerin temas kısmına yakın yerlerde bir elektrik alanı oluşur. Bu alan difüzyon ile doğru orantılı olarak artış gösterir. Bir süre sonra, alan tarafından elektron ve delik difüzyonunun engellendiği görülmektedir. Denge kurulduktan sonra p-n fonksiyonunun yapısı tamamlanmış olur. Bir p-n fonksiyonunda

herhangi bir dış elektrik alan yardımı olmadan sürekli bir makroskopik elektrik alanı mevcuttur (<http://www.intmarketing.org> 2017).

2.5.3. Fotovoltaik Hücre Tipleri

Fotovoltaik hücreler temelde, kristal silikon yapıli hücreler (C-Si) ve ince film hücreler olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Günümüzde açık ara farkla %93'lük bir oran ile kristal silikon yapıli hücreler kullanım alanı bulmaktadır. Bunun yanı sıra, ince film teknolojisinin de son yıllarda büyük gelişim göstermesi ve pazar payının artması göz ardı edilemeyecek seviyededir (<http://www.intmarketing.org> 2017).

2.5.4. Kristal Silikon Yapılı Güneş Hücreleri

Bahsedildiği üzere, hammaddesi silisyum olan kristal silikon yapıli güneş hücreleri en yaygın kullanılan fotovoltaik hücre tipleridir. Silisyum atomu, yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi, elektriksel ve optik özellikleri ve teknolojisinin ileri olması ile ön plandadır. Tüm bu üstün özelliklerinin yanı sıra oksijenden sonra yeryüzünde en çok bulunan element olan silisyumun, güneş hücresi olarak kullanılabilmesi için çeşitli işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Silisyum doğada saf olarak bulunamamaktadır ve saf kristal üretimi oldukça pahalı ve zor bir teknolojidir. Silisyum, yüksek sıcaklık gerektiren ısıli işlem ile silisyum dioksit (kuartz) bileşiginden ayrıştırılmaktadır ve saflığı artırılmaktadır. Sonuç itibariyle, yüksek kalite ve saflıkta güneş hücreleri üretiminde kullanılmaktadır (<http://www.intmarketing.org> 2017).

2.5.5. Monokristal Güneş Hücreleri

Monokristal yapıli güneş hücreleri, en yüksek verimlilik değerlerine sahip, üretim teknikleri ile en eski ve aynı zamanda en pahalı hücre tipleridir. Verimlilik, konu güneş hücreleri olduğunda en kritik özelliklerden biridir. Monokristal hücrelerin verimlilikleri yaklaşık olarak %15-%18 arasında değişkenlik göstermektedir. Ancak yapılan çalışmalar sonucunda, son yıllarda piyasadaki monokristal hücrelerin verimlilik değerlerinin %20-%22'ye ulaştığı görülmektedir.

Monokristal silikon hücrelerin bilinen ve en yaygın olarak kullanılan üretim metodu 'Czochralski Metodu'dur. Bu metotta yüksek sıcaklık eşliğinde, 300 mm çapında tek kristalli ve birkaç metre boyunda silikon silindirler oluşturulur. Dairesel, dörtgen ve çokgen olarak pahlanır ve 0.15-0.2 mm kalınlıklar ile birlikte dilimlenir. 'p' tabakası hazır olan plakaların 'n' tabakası ise fosfor difüzyonu ile oluşturulur. Elektriksel akım yolu da ön ve arka kontak noktalarının bağlanması ile oluşturulmuş olur. Hücre üretiminin son aşaması ise, hücrenin üzerine düşen güneş ışınlarının yansımalarının engellenmesi amacıyla ön yüzey yansıma önleyici malzeme ile kaplanmasıdır.

Bu metot, transistor ve entegre üretiminde kullanılmaktadır. Monokristal hücrelerin üretiminde, ısıtma işlemi sonrası dilimleme işlemlerinde büyük hacim kayıpları yaşanmaktadır. Bu durum, monokristal yapıları hücrelerin üretiminde yaşanan en büyük sorun olarak bilinmektedir. Sorunun giderilmesi ile ilgili çalışmalar sürdürülmektedir.

Homojen bir yapıya sahip olan monokristal güneş hücrelerinin renkleri görünüş itibarıyla karakteristik olarak koyu mavimsiyaha doğru değişkenlik göstermektedir. Hücreler 4 inç, 5 inç ve 6 inç gibi boyutlara sahip olabileceği gibi, şekilleri de dairesel, kare ve yarı köşeli olabilmektedir (<http://www.intmarketing.org> 2017).

2.5.6. Polikristal Güneş Hücreleri

Polikristal güneş hücreleri, çok kristalli (Polikristal) silisyum hücreleridir. Üretiminde en yaygın kullanılan yöntem dökme yöntemidir. Polikristal özelliğe sahip silisyumda istenen saflık derecesi monokristal özelliğe sahip silisyumda olduğu gibidir. Bunun yanı sıra, başlangıç malzemesi de monokristalli silisyumda olduğu gibi hazırlanmaktadır. Eriyik hale getirilmiş yarı iletken silisyum, kalıplara dökülerek soğumaya bırakılır, soğuduktan sonra ise kare bloklar şeklinde kesilir.

Üretim metodu monokristal yapıları hücreler ile karşılaştırıldığında, daha az hassasiyet gerektirdiği için maliyet olarak daha düşüktür. Polikristal güneş hücrelerinin verimlilik değerleri %14-%17 arasında değişmektedir. Bu hücrelerin yapıları çok kristallidir ve ışığın yansımalarıyla kırılmalar gözlemlenebilmektedir. Yansımayla oluşan kırılmaları

engellemek için antirefleksif kaplama yapılır. Bu kaplama ile hücrelerin renkleri maviye dönmektedir. Kaplaması olmayan hücrelerin rengi ise gümüş rengindedir (<http://www.intmarketing.org> 2017).

2.5.7. Kristal Yapılı Güneş Panelleri

Monokristal ve polikristal hücreler ile güneş panellerinin oluşturulması, bu hücrelerin birbirine seri veya paralel bağlanması ile olmaktadır. Hücre çeşidi ne olursa olsun, hücrelerden panel elde edilmesi işlemi benzerdir. Önemli olan husus, hücrelerin istenen akım, gerilim ve güç değerlerine ulaşabilmeleri için seri ve paralel olarak birbirlerine uygun bir şekilde bağlanmasıdır. Güneş hücreleri robotlar yardımıyla birbirine lehimlenerek kristal yapılu güneş panellerini meydana getirir. Öncelikle, soğurma özelliği çok iyi olan temperlenmiş camın üzerine EVA (Etilen Vinil Asetat) yerleştirilir. Bunların da üstüne birbirine lehimlenmiş hücreler birleştirilerek birleştirme işlemleri nihayete erdirilmiş olur. EVA'nın görevi, hücreleri dış etkenlere karşı korumaktır.

Polimer bir malzeme olan EVA, hücrelerin ön ve arka yüzeylerine kaplanır. Kaplama şekli sandviç olarak bilinir. Ardından EVA'nın üstüne tedlar olarak adlandırılan arka kılıf serilmektedir. Tedlar malzemesi, UV ışınları, yüksek nem ve yüksek sıcaklığa karşı hücreleri koruduğu gibi, panelin aynı zamanda dış ortama uyum sağlayarak uzun süre ortam koşullarında sorunsuz çalışmasına olanak sağlar.

Korumak amacıyla cam veya EVA, arka kılıflar ile sarılan kristal hücreler bir miktar yüksek basınç ve sıcaklık altında bekletildikten sonra koruyucu malzeme ile sarılır. Laminasyondan sonra gölgelenmenin neden olduğu etkilerini düşürmek amacıyla kullanılan atlama (by-pass) diyotları içeren bağlantı kutusu panele yerleştirilir ve alüminyum çerçeve işlemi tamamlanır. Bu prosedürün yerine getirilmesi ile güneş panelleri bir güç üretici haline almaktadır (<http://www.intmarketing.org> 2017).

2.5.8. İnce Film Güneş Panelleri

2000'li yılların hemen öncesinde, ışığa duyarlı yarı iletken malzeme tipinin cam, plastik ve metal gibi birçok değişik malzeme üstüne kaplanabileceğinin anlaşılması, güneş

hücrelerinin imalatında yeni bir çığır açmış ve farklı verim ve karakterdeki hücrelerin geliştirilmesi yolunu açmıştır.

İnce film tabakasına sahip fotovoltaik malzeme, polikristalin malzemelerden seçilmektedir. Başka bir anlatımla, ince film malzeme tabakası boyutu nanometre mertebesine kadar inen fiber yapılardan meydana gelmektedir. Fiber yapıların arasındaki hatalar ise polikristalin malzemenin fotovoltaik özelliğini etkileyen en önemli özelliklerdendir. Optik özellikleri uygun olan bir yarı iletken tipinde, güneş ışınlarının tamamına yakını mikrometre mertebesindeki bir boyutta absorbe edilebilmektedir.

Bu sebepten ötürü ince film teknolojisine sahip PV hücreler ile silisyum tabanlı PV hücrelerin kalınlığı arasında fark vardır. Ayrıca ince film yarı iletken, istenen malzeme üstüne ve çok daha geniş yüzeylere kaplanabilmektedir. Elektrolitik banyo, katot saçınımı ve buhar ayrışması ince film teknolojisinin üretiminde kullanılan temel metodlardır. Bu teknolojinin üretiminde kullanılan malzemeler ise kadmiyum tellür, bakır-indiyum-diselenid ve silikondur.

İnce film hücre teknolojisini kullanan PV panellerde elektriksel bağlantı arkada ve mat bir metal kaplama ile yapılmaktadır. Ön yüzde, yani ışınları doğrudan alan kısımda, bağlantı saydam bir iletken oksit tabakası sayesinde gerçekleştirilmektedir. Saydam iletken oksit (Çinko, kalay, indiyum-kalay ve oksitleri) tabakasının üretiminin, üretici şirketler tarafından maliyetler açısından son derece kritik olduğu belirtilmektedir. Özellikle silikon tabanlı PV panel teknolojilerinde görülen olumsuzlukların başında, sıcaklık artışıyla gerçekleşen verim düşüşü, ince film teknolojisinde nispeten daha azdır. Bu sebeptendir ki, aşırı sıcakların görüldüğü ülkelerde ince film teknolojisine dayalı hücrelerin olduğu PV paneller hızla yaygınlaşmaktadır.

Öte yandan güneş paneli şirketlerinin 25 yıla yakın verdikleri garanti süresi ile ilgili olarak kullanıcıların ince film teknolojisinin kullanılabilirliği ile ilgili önemli sorunlar yaşadığı tespit edilmiştir. En eski ince film kaplamalı panellerin 15 yılı bile bulmayan ömürleri ve bu teknolojide yıllara bağlı olarak meydana gelen verim düşüşü, uzmanlar ve tüketiciler tarafından kristal panellerin halen tercih edilme sebeplerindendir. Birim güç

başına harcanan ilk yatırım maliyeti ince film tabaka teknolojisine sahip PV panellerde daha düşük olsa da, sisteme ait diğer ekipmanların kullanım miktarlarını artırmaları sebebiyle, toplam maliyet açısından ince film ve kristal PV panellerin hemen hemen aynı maliyete denk geleceği bildirilmektedir (<http://www.intmarketing.org> 2017).

2.5.9. Diğer Teknolojiler

Güneş enerjisi teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar günümüzde hızla ilerlemektedir. Verimlilikleri diğer güç sistemlerine oranla oldukça düşük olan ve değişen güneş koşullarına bağlılığı oldukça fazla olan güneş sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar oldukça yoğundur. Kristal silikon panel sistemlerinin yerine ince film teknolojisinin geliştirilmesiyle üçüncü nesil olarak bilinen yeni nesil panellerde de önemli gelişmeler sağlanmıştır. Bu çalışmaların en temel amacı ise giderleri azaltarak verimliliği yükseltmektir.

Bu süreçte, önemli uygulamalardan birisi de çok düşük maliyetli organik fotovoltaik hücreler olarak görülmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde bu hücrelerin istenilen verimlilik değerlerine ulaşamadığı görülmektedir. Buna benzer bütünüyle yeni hammadde tüketimi ile elde edilen sistemlerle beraber hali hazırdaki sistemlerin geliştirilerek elde edildiği değişik sistemler de vardır. Bu çalışmalardan mikromorf tandem ve HIT (Saf ince katman ile farklı bağlantı) sistemleri diğer sistemler arasında göze çarpan sistemlerdir.

HIT güneş hücreleri, geleneksel kristal ve ince film güneş hücrelerinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. HIT ifadesi bu melez hücreye verilen İngilizce ismin kısaltılarak yazılmasıdır. Bu hücreyi katkısız ince film tabakayla bağ oluşturan kristal ve amorf silikon meydana getirmektedir. Kristal hücrelere nazaran HIT hücrelerinin sıcaklıktan dolayı verim kayıpları daha az olmaktadır ve üretim sürecinde daha az enerji ve hammadde harcanmaktadır.

Hücre biçim bakımından 104 mm x 104 mm pahlanmış karedir ve kalınlıkları 0.2 mm'ye kadar azalabilmektedir. Hücre verimlilikleri %19-%20 dolaylarında iken panel

verimliliği de %16-%17'dir. Hücrelerin homojen yapıda olduğu belirtilebilir ve hücreler koyu mavi hatta hemen hemen siyah renktedir. Tandem güneş paneli ise güneş ışınını daha fazla absorblayabilmek amacıyla farklı enerji aralığına sahip birden fazla güneş panelinin üstüste ilave edilmesiyle meydana gelmektedir. Birçok güneş paneli üstüste yerleştirilerek gelen ışınım spektrumuna daha hassas bir yapının oluşturulması sağlanır ve geleneksel güneş hücrelerine oranla emilen enerji oldukça artar.

Mikromorf ismi, amorf ve mikrokristal silisyumun beraber kullanılmasından kaynaklı olarak kısaltılmış şeklidir. Dolayısıyla mikromorf güneş panelinde üstte bulunan a-Si:H tabakası düşük dalga boylarını absorblarken, diğerı $\mu\text{c-Si:H}$ tabakası daha yüksek dalga boylarını absorblamaktadır. Mikromorf tandem güneş paneli kalınlıkları genel olarak 2-3 μm dolaylarında olmaktadır (<http://www.intmarketing.org> 2017).

2.6. Heliostatlı Sistemler

Yoğunlaştırıcı sistemler, esas enerji kaynağı olarak güneş enerjisini tüketen şebekelerdir. Temel olarak, diğer sistemlerle aynı esaslarda hareket etmektedir. Farklı olan kısımları ise kolektörleri diğer bir ifadeyle ışınları toplama şekilleridir.

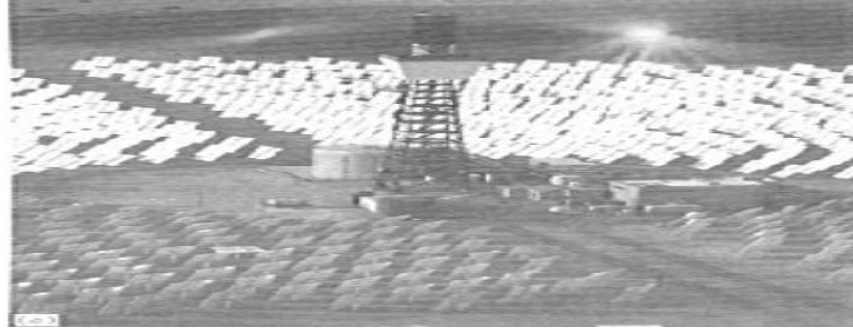
Güneş ışınlarının toplanmasında değişik geometrilere sahip aynalar kullanılmakta olup en yaygın kullanılan parabolik oluklu tip adı verilen sistemlerdir. Bu sistemlerin kullanıldığı enerji santrallerinde iş akışkanı olan sıvı, kolektörlerin tam odak noktasına yerleştirilen bir boru tesisatı içinde dolaştırılmaktadır. Aynı yöntem, striling motoru eklenerek de parabolik oluklu kolektörlere eklenebilir.

Kollektör ile çalışan sistemlerde elektrik enerjisinin haricinde buhar ve ısı enerjisi de üretebilmek mümkündür. Böylelikle ön ısıtma ve soğutma proseslerini de gerçekleştirebilmek mümkündür. Heliostatlı yani merkezi güneş alıcılı sistemlerde ise yeryüzüne yayılan güneş ışınları açılı aynalar vasıtasıyla merkezi toplama kulesine gönderilir. Buradan kulede yüksek basınçla gelen suyun kızgın buhara dönmesiyle ve bir buhar türbininde işlenmesiyle elektrik enerjisi elde edilir.

Güneş ışınlarının oluşturduğu ısı enerjisinden faydalanarak elektrik üretimi günümüzde değişik ayna yada kollektör sistemleri ile mümkün olmaktadır. Silindirik, parabolik ve fresnel tipi yansıtıcıların kullanıldığı heliostatlı santrallerden çok büyük güçlerde elektrik enerjisi üretilebilir. Bunun sebebi bir noktaya yoğunlaştırılan güneş ışınlarının yeryüzüne düşen güneş ışınım miktarının 2000 katına kadar olan ısı enerjisinin elde edilebilmesidir.

Heliostatlı sistemlerde bulunan her bir toplayıcının bağımsız hareket kabiliyeti ve çok büyük ebatlardaki toplayıcılara göre daha az rüzgar kuvvetine maruz kalması bu sistemin diğer yoğunlaştırıcı sistemlere göre üstünlüklerindedir. EURELIOS adı verilen heliostatlı güneş santrali 1981 yılında Sicilya'da Avrupa ülkelerinin ortak işbirliği olarak kurulmuştur. Bu santralde güneşi izleyen 6216 m²'lik heliostat aynalar ve 55 m uzunluğunda güneş kulesi kurulmuştur. Bu kulede 785 K sıcaklıkta kızgın buhar elde edilmekte olup kurulu güç, 4.8 MW gücünde ve verim %21 civarındadır.

Avrupa’da kurulan bu santralin akabinde, 1982 yılında A.B.D Kaliforniya’da 1818 adet yansıtıcı bulunan 10 MW’lık bir santral kurulmuştur. Bu santralde de 7 m çapında ve 13.7 m yüksekliğinde alıcı kule bulunmakta ve ayrıca 789 K sıcaklıkta kızgın buhar üretmektedir. Bu santralin fotoğrafı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 2.1. ABD Kaliforniya’da 1982’de kurulan güneş enerjisi santrali

Ülkemizde ise bu konuyla ilgili ilk çalışma 1982 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü bünyesinde gerçekleştirilmiş olup, tasarımı gerçekleştirilen santral 20 m yükseklikte kuleye, 1875 m² yansıtıcı yüzeyine sahiptir. Bu santralden elde edilen net güç 300 kW dir.

Heliostatlı güneş santrallerinde, hareketli veya sabit ayna sistemleri kullanıldığı görülmektedir. Hareketli aynalar vasıtasıyla sabit aynalara nazaran daha yüksek sıcaklık ve verimlilik değerleri elde etmek mümkün olmakta ancak bu sistemler sabit olanlara göre sahip olduğu ilave hareket mekanizmaları nedeniyle çok daha maliyetli olmaktadır. Bu yüzden, heliostatlı sistemlerde ilk yatırım maliyetinin düşürülmesi amacıyla ülkemizde kurulan bahsi geçen sistemde sabit aynalı sistem kurulmuştur.

Hareketli ve sabit aynalı sistemleri daha detaylı olarak irdelediğimizde, sabit ayna maliyetinin m² başına ortalama 15 dolar olduğu, hareketli sistemlerde ise ortalama 60 dolar civarında olduğu dikkat çekmektedir. Ayna maliyetinin toplam santral masrafı içindeki payı %50-%85 arasında olduğu göz önünde bulundurulduğunda, teorik olarak ilk yatırım maliyeti sabit aynalı sistemde %75 civarından daha az olmaktadır.

Güneş santrallerinin tasarımında, santralin kurulacağı bölgenin seçimi, iklimin değerlendirilmesi ve olası etkilerin belirlenmesi ve diğer değişkenlerin optimizasyonu

dikkate alınması gereken en önemli parametrelerdir. İdeal bölge seçimi aşamasında, seçilecek bölgenin ağaç yönünden zengin ormanlık bölgelerden uzak olması, yıllık yağış miktarı ve don olaylarının az olması, havanın sissiz ve bulutsuz olması, rüzgar hızının çok yüksek olmaması ve hava kirliliğinin mümkün olduğunca az olması gibi hususlara dikkat edilmelidir (<http://www.intmarketing.org/tr/> 2017).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. PV Panelin Konumlandırılmasında Etkili Faktörler

PV panelli güneş santrali kurulması gerekirken yapılması gereken ilk husus santral sahası ve PV panellere ait bir takım özelliklerin tespit edilmesidir. Bunlar kabaca;

- 1.PV hücre yüzey malzemesinin ışınım özellikleri
- 2.Ortamdaki havanın sıcaklığı ve rüzgar etkisi
- 3.PV hücrenin temizliği (ortam tozluluğu)
- 4.PV hücrenin üstüne yoğunlaşan nemin etkisi
- 5.Güneş ışınımının spektral özellikleri ve ışın değerlerine göre konumlandırma
- 6.Güneş ışınlarının PV hücre üzerine geliş açısı
- 7.PV hücrenin eğim açısı

Bu tez çalışmasında özellikle hesaplamalarda madde 2,6 ve 7 deki parametreler referans alınacaktır. Madde 3 ve 4 için kullanılması gerekli olan parametrelerin teorik olarak tespit edilme şansı bulunmamakta, yapılacak fizibilite hesapları için ancak tahmin ya da doğrudan bölgede lokal çalışma yapmak gereklidir.

3.1.1. PV Hücre Yüzey Malzemesinin Işınım Özellikleri

PV prensiple çalışan sistemlere ait verimlilik değerlerini etkileyen birincil etken PV üretimi ve ortam koşullarıdır. Günümüzde PV hücre sistemler tek kristal silikon, çok kristal silikon, çok eklemli ve yoğunlaştırıcı olarak üç kola ayrılmaktadır. Tek kristal silikon hücreleri diğerlerinden ayıran özellikleri verimlerinin yüksek olmasıdır.

Bu hücreleri diğerlerinin altında kılan ise tek kristal silikon üretiminin oldukça zor olmasıdır. Çok kristal silikon hücreleri üretimi nispeten kolaydır ve bundan dolayı daha ucuzdur. Verimlilikleri ise daha düşüktür. Tek kristal silikon PV hücrelerden elde edilebilecek verim değeri sadece % 15 civarındadır. Bu verim % 40 a kadar artırılabilir ve bunun için çok eklemli hücreler kullanılabilir (<http://www.intmarketing.org> 2017). Bu tarz sistemleri oluşturmanın da maliyeti yüksek ve karmaşıktır.

Işınım şiddeti, takip açısı, hücre sıcaklığı gibi çevresel faktörler silikon PV hücrenin verimini belirlemektedir. En yüksek çıkış gücü, kısa devre akımı ve açık devrenin gerilimi gibi değerleri hücrenin sıcaklığı belirlerken bu parametreler içinde en kritik olanı, yani en fazla etkileneni açık devre gerilimidir. Sıcaklığın verimi etkileyen katsayı değeri, dolum oranı, en fazla çıkış gücü ve açık devre gerilimi için negatif değerdeyken kısa devre akımı için pozitif değer almaktadır.

3.1.2. Ortamdaki Havanın Sıcaklığı ve Rüzgar Etkisi

Silikon PV hücrenin kalitesi hakkında bilgi sahibi olmak ve bir PV hücrenin verimini belirlemek için çevresel değişkenlerin doğru bir şekilde bilinmesi gerekir. Çevresel değişkenler her zaman silikon PV hücrelerin verimi için önemlidir. Bu çevresel değişkenlerin başında rüzgar etkisi gelmektedir.

PV paneller boyunca esen rüzgar, paneller üstünde soğutucu etki yapmakta, ki bu etki alt sınırlarda sıcaklık etkisini azalttığı için olumlu etki yapıyorsa da, panelin konstrüktif anlamda inşasında ve panellerin mukavemetinde olumsuz etki oluşturduğu için panellere zarar verebilmektedir. Dolayısıyla PV santral inşasında 1, 10, 50 yıllık rüzgar verileri iyice irdelenmeli yıllık ortalama ve maksimum rüzgar hızı hem verimlilik için hem de santral sahası inşası ve panel yerleşimi için göz önünde bulundurulmalıdır.

Jubayer ve Hangan (2016), yaptıkları çalışmada rüzgarın esiş doğrultusu ile 45 ve 135 derecelik açılar yapan panellerin mukavemet açısından maksimum döndürme momentine maruz kalacağını belirtmişler ve hesaplamaların buna göre yapılması gerektiğini anlatmışlardır. Hsu ve Wu ise özellikle Tayvan gibi rüzgar hızlarının yüksek olduğu ülkelerde statik (IEC 61215-2) veya dinamik (IEC TS 62782) üniform rüzgar yüklerine maruz kalan paneller için standartların hesaplamalarda kullanılmasının yeterli olmayacağını non-üniform yükler için göstermişlerdir.

Ancak PV panellerin rüzgarın taşıdığı tozlardan ve bu tozların nem ile panel yüzeyinde birikmesinden dolayı, bu tozların mineral olmasından kaynaklı olarak panel yüzeyinde ısı

tuttuğu ve bu ısının sıcaklık artışına sebep olarak panelin verimine olumsuz etki ettiği görülmüştür (Figgis ve ark. 2018).

Sıcaklık PV hücreleri doğal olarak etkilemektedir. PV hücreler, sıcaklığın düşmesi ile daha fazla gerilim üretirler, sıcaklık artışı ile ise gerilim azalır. Geri yansıyan ışık düşürülerek enerji eldesi yükselttirilir. Maksimum güç izleyicisinin işlevi, verimi artırmak için PV hücre dizisi tarafından eşdeğer yükü değiştirmek ve dizinin çalışma noktasını ayarlamaktır.

Tsuno ve arkadaşları 2009, yaptığı çalışmalarda doğrusal enterpolasyon ile sıcaklık ve ışınımın farklı güneş pillerinin akım voltaj özelliğine göre değişimini araştırmıştır. Sıcaklık için doğrusal enterpolasyonun fiziksel geçerliliğinin p-n birleşiminin akım-gerilim özellikleri ile değiştiğini ifade etmişlerdir. Sabry ve Ghitas, sıcaklığın silikon PV hücrelerin seri direnci üzerindeki etkisini incelemişlerdir ve serinin direncinin sıcaklık ve aydınlatmalarla değiştiğini bildirmişlerdir. Hücre sıcaklığı, kristal silikon PV hücrenin kalitesini ve verimini belirlemek için önemli bir değişkendir.

Verimliliği arttırmak için yapılabilecek çalışmalara ek olarak mercekler veya aynalar gibi ucuz yansıtıcılar kullanılarak güneş ışınlarını PV hücrelere yoğunlaştırmaktır. Açık devre gerilimi, güneş ışınımının artmasıyla logaritmik olarak artarken, kısa devre akımı doğrusal olarak artar. Böylece, çıkış gücü de artmış olur. Aynı zamanda hücre sıcaklığının artmasının en temel etkisi açık devre gerilimindedir. Açık devrede gerilim, hücre sıcaklığıyla azalmaktadır.

Hücre sıcaklığında meydana gelen artış ile kısa devre akımı da artar. Bu durumda hücre verimliliği azalır. PV modüllerinin verimlerini artırmada, yüzeyinin çalışma sıcaklığını azaltmak kullanılabilir bir yöntemdir. Bu yöntem, PV modülü soğutarak ve çalışma sırasında PV hücrelerde depolanan ısıyı azaltarak uygulanabilir. Ortamdaki sıcaklık artışı ile birlikte hücre sıcaklıkları artmaktadır ve sistemde kayıplara neden olmaktadır. Oluşan kayıpların önüne geçmek amacıyla PV dizilerin alt kısımlarından su dolaştırılarak soğutma sağlanır.

Isınan PV modüllerinin verimini sıcaklığa bağlı nonlinear fonksiyon olarak Bennounna ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 10 farklı empirik model ile kıyaslamışlardır. Sıcaklığı doğrudan ve en tutarlı biçimde ($R^2 = \%98.77$), rüzgar faktörünü (rüzgar dataları mevcutsa) de işin içine aktarmışlardır.

3.1.3. PV Hücresinin Temizliği (Ortam Tozliliği)

Yüzeyde meydana gelen kirlenmeler Fotovoltaik modüllerin verimliliğini etkilemektedir. Yüzeyde oluşan kirlilikler ışınları engeller ve verimde kayıpların oluşmasına neden olur. Bu tozlar ve kirler iletimi yavaşlatır. Işınımdaki bu azalma soğurulma miktarını azaltır ve üretimde kayıplar görülür. Kirlenmeye neden olan etmenler yağışlar, tozlar veya doğal çevresel etkilerdir.

Piedra ve arkadaşları (2018), yaptıkları çalışmada PV panellerin üzerinde biriken tozların kütlesine bağlı olarak PV panelin ürettiği çıkış gücünde %50 ye yakın düşüş meydana gelmekte olduğu ve toz kütlesi ile çıkış gücünün lineer bir fonksiyon şeklinde ilişkilendirildiği belirtilmektedir. Ayrıca çıkış gücünün düşmesini tozun ışık absorpsiyon kabiliyeti de etkilemekte, kimi tozlar ışığı geçirdiğinden dolayı PV panelin gücünü etkilememekte, kimisi ise ışığın panel yüzeyine geçmesini engellediğinden verimi düşürmektedir.

Lay-Ekuakille ve arkadaşları (2018), yaptıkları çalışmaların sonucunda Piedra ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmaları doğrular nitelikte çalışmalar bulmuşlar ve 6 yıl boyunca tozlanmaya maruz kalan ve başlangıçta 75 W çıkış gücü veren sistemden 20 W çıkış gücü elde etmeye başlamışlardır. Bu ve buna benzer çalışmalar PV hücresinin temizliği konusunu gözler önüne sermektedir.

3.1.4. PV Hücresinin Üstüne Yoğuşan Nemin Etkisi

PV hücresinin üstüne yoğuşan su zerreciklerinin rüzgar etkisiyle üstüne yapışan biriken tozlar PV hücresinin temizliğini etkilemekte, bu durum hücrelerin verimlerini düşürmektedir. PV panellerin üst yüzeyinin higroskopik (su tutmayan) PTFE tarzı şeffaf ama aynı zamanda dolaylı yoldan kirlenmeyi engelleyici maddelerle kaplanması,

hücrelerin hem 1-2 derecelik sıcaklık farkının oluşmasını hem de yüzeye düşen ışınım değerinin artmasını sağlamıştır. Bu konu ile ilgili elde edilen kesin formüller (sadece su yoğunlaşmasına ait) bulunmamakta, bu konu üstünde hala çalışmalar sürdürülmektedir (Figgis ve ark. 2018).

3.1.5. Güneş Işınımının Spektral Özellikleri ve Konumlandırma

Modüllerin yerleşim açıları verim üzerinde etki eden diğer bir parametredir. Modüllerden en yüksek verimin alındığı yön ise güneydir. Modüllerin hareket edebilme kabiliyetleri sayesinde güneşi takip etmekte ve güneş ışınlarından her daim faydalanılmaktadır. Yerleşim öncesi yıllık sıcaklık değerleri kontrol edilir ve buna göre açı ayarlanır. Fotovoltaik modüller eğer karanlık alanlarda kalırsa modül verimleri düşer. Karanlık bölgelerin oluşmasına neden olan etmenler dağlar, ağaçlar, ormanlar ve binalardır. Oluşacak en küçük gölge bile verimde düşüşe neden olur. Dizi içerisindeki bir panelin gölgede kalması bütün sistemin verimini etkiler. Dış etmenlerden başka sistem içerisindeki panellerin yanlış yerleşiminden dolayı gölge de oluşabilir.

Güneş enerjisinin bize elektrik enerjisi sağlamasında büyük avantajlar vardır. Hammadde maliyeti, tedarik ve nakliye, depolama veya kirlilik gibi çevresel sorunları yoktur. Güneş enerjisi gündelik hayatta aklınıza gelebilecek her alanda kullanılabilir, buna ayda kullanılan keşif araçları da dâhildir. Güneş panelinden daha etkin bir şekilde yararlanabilmek amacıyla ışınımına direkt olarak maruz kalması sağlanmalıdır.

Güneş panellerinin yerleşiminde tartışmaya yol açan iki temel soru mevcuttur. Bunlardan ilki, verilen bir çizgi hat boyunca kaç tane panelin yerleştirilebileceğidir. İkinci soru ise belirli bir kot farkı yani yükseklik boyunca kaç adet panelin yerleştirilebileceğidir. Bu soruları yanıtlarken, ilk düşünülmesi gereken enlemesine çizilen hatlar (enlem) boyunca oluşan gölgeleme miktarının ne kadar olduğudur. Gölgeleme mesafesi, enlemler arasında verilen en az mesafe olmalıdır. Böylelikle minimum enlemler arası boşluğu ve toplam enlem sayısı kısıt şartları olarak belirlenmiş olur.

Fotovoltaik paneller, bazen güneş enerjisini en iyi şekilde alabilmek için yan yana sıralanabilirken, bazen bir binanın çatısına veya çerçeveye sabitlenebilmektedir. Panellerin verimli çalışmasını engelleyen parametrelerden biri ise güneşin, gökyüzündeki yerini sürekli olarak ve birden çok ekseninde değiştirmesidir.

Bu sebepten ötürü, bedavaya temin edebileceğimiz güneş enerjisinden azami oranda faydalanmanın kesin yolu, PV panel ya da panellerinin günün her saatinde gelen doğrudan güneş ışığına göre konumlandırılması ve doğru biçimde pozisyonlandırılmasıdır. Güneş enerjisinden faydalanmak için gerekli diğer parametreler de, panelin gün ışığından faydalanma süresi, güneş ışığının yoğunluğu ve parlaklığıdır.

Örnek vermek gerekirse, Güneş ışınlarının yataya daha yakın düştüğü kış aylarında güneş panellerinin güneşe olan yönelimi daha dik olmalıyken, güneş ışın yoğunluğunun dik açılara yakın olduğu yaz aylarında panelin takip açısının yataya daha yakın olması gerekir (<http://www.intmarketing.org> 2017)..

Güneş Paneli Azimuth ve Zenith Oryantasyonu

Güneş PV modülleri ve panellerinin en iyi çalıştığı pozisyon güneşe dik olduğu andır. Gökyüzündeki güneşin konumu azimuth ve zenit adında iki açının kullanılmasıyla çizilebilir ve güneş paneli açısı bu iki değere bağlıdır.

Güneş Paneli Yönlendirmesi - Azimuth Oryantasyonu

Azimuth - Güneşin pusula açısı, doğu-batı yönünde hareketi olmasına rağmen, azimuth gerçek güneyden bir açı olarak hesaplanabilir. Güneşin öğle saatindeki açısı azimuth açısı olarak tanımlanır. Bu nedenle $Azimuth = 0^\circ$, güneş kuzey yarımkürede doğrudan güneyde ve güney yarımkürede doğrudan kuzeyde olacaktır.

Güneyin doğusuna doğru olan güneş azimuth açıları doğuda negatiftir, çünkü doğuda -90° lik bir azimuth açısı vardır. Doğuda olumlu olarak değerlendirilebilecek olan, güneye bağlı güneybatıdaki güneş azimuth açılarıdır, batıda ise 90° luk bir azimuth açısı vardır. Ayrıca, doğru güneş paneli yöneliminin ayarlanabilmesi için azimuth açısının, yılın enlem ve süresine göre değiştiği göz önünde bulundurulmalıdır.

Güneş Paneli Yönlendirmesi - Zenith Oryantasyonu

Zenith: Güneşin yer seviyesinden veya ufuktan baktığı açıdır. Güneşin zirve açısı, gün içerisinde güneşin en fazla yüksekliğe ulaşan bir yay olarak tanımlanabilir. Güneşin yüksekliği gün doğumu ve batımında 0° , güneşin doğrudan dik olduğu gün ortası 90° olarak tanımlanır.

Güneşin sahip olduğu yükseklik ve azimut değerinin bir yıl boyunca aldığı pozisyonlar bir güneş şemasına çizilebilir. Bu çizimin olduğu çizelge, güneşin bir yıllık periyot boyunca günün herhangi bir saatinde bulunduğu pozisyonu bize söylediği için, güneş panellerinin konumlandırılmasının bu çizime göre yapılması azami verimi elde etmemizi sağlayacaktır. Bu çizimi doğrudan yapmak yerine, daha önceden yapılmış olan güneş yolu şemaları çeşitli platformlardan satın alınarak temin edilebilir veya bahçenizde oluşan güneş ile benzerlik ilkesi kullanılarak bir grafik kağıdı üzerine ölçekli olarak çizilebilir.

Azimuth ölçeği haritanın çevresi etrafında dolanırken, zenit ölçeklendirmesi güneş çizelgesinde soldan sağa doğru eşmerkezli daireler şeklinde ifade edilir. Azimut açısının okunması için gerek şart, grafiğin merkezinden düz bir kenarın tarih ve saat yolu çizgilerinin kesişimine ayarlanması ve grafik çizgilerinin bitiminin olduğu noktaya bakılmasıdır. Yeryüzündeki farklı mekanlar için farklı grafiklerin oluşturulması ya da temin edilmesi gereklidir.

Londra'da (50° kuzey enleminde) yaz ekinoksunda güneş yolu 262° genişliğinde bir açı değeri alırken maksimum güneş yükseklik değeri 62° olmaktadır. Kış ekinoksunda güneşin yolu maksimum 104° olmaktadır ve 15° değerine kadar azalabilmektedir. Başka bir örnek olan İspanya (40° kuzey enlemi), yaz mevsiminde güneş yolu 245° lik açı değerine sahip iken maksimum güneş yüksekliği 72° olmaktadır. Kış ekinoksunda güneş yolu 120° genişliğinde ve azami yükseklik 25° olmaktadır (<http://www.intmarketing.org> 2017)..

3.1.6 Güneş Işıklarının PV Hücre Üzerine Geliş Açısı

Gökyüzünün (güneş azimutu) hareketi yanı sıra, güneşin yıl içerisinde yukarı ve aşağı (güneş zenith) hareketi ve sabit bir güneş paneli oryantasyonu sağladığı görülmektedir. Güneş ışığının maksimum seviyede güneş enerjisine dönüşmesi için, güneş panellerinin direkt olarak güneşe bakmaları için uygun bir açıda yerleştirilmesi gerekir. Panelin nasıl monte edildiği çok önemli olmakla birlikte, panellerin güneşi tam olarak alabilmesi için sürekli bir açıda tutulabilir veya yıl boyunca döndürülebilir. Statik monteli fotovoltaik güneş sisteminin ayarlanması, yılda % 10 ila % 40 arasında fazladan güç çıkışına neden olabilir ve bu da pillerin şarj süresinde ciddi bir fark yaratır.

Güneş Panel Hizalama

Güneş Paneli Oryantasyonu azimuth ayarımızı ifade eder. Güneşin sağladığı enerjinin birçoğu düz bir çizgide gelir. Bir güneş paneli veya güneş dizisi eğer güneşe doğrudan bakarsa ve hatta, dik olarak yerleştirilirse daha fazla enerji yakalar. Panellerin güneşe bakış açıları bu yüzden önemlidir.

Kuzey yarı kürede tercih edilen güneş paneli yerleşimi, güneş panellerinin gerçek güney (ve güney, gerçek kuzey) ile karşı karşıya olmasıdır. Genel olarak bu en çok tercih edilen yoldur çünkü bu sayede güneş panelleri gün boyunca doğrudan ışık alır. Ayrıca, dikkate alınması gereken bir diğer nokta ise manyetik güney ve gerçek güney arasında bir farktır. Manyetik güney olarak ifade edilen, pusula kullanıldığında gösterdiği “güney” dir ve bu da Dünya'nın güney manyetik kutbunu gösterir. Bununla birlikte, güneş panelleri yerleştirilirken güneye doğru yönelmesi istenir, ki bu da Güney Kutbu'na denk gelen güneye ya da coğrafi güneye yönelmiş demektir. Eğer güneş panellerimizi güney yarımkürede kuruyorsak, panellerin gerçek kuzey yönünde olması gerekir.

Güneş panellerinin kullanım yerleri dikkate alınarak, güneye doğru hafif bir dönüş yaptırarak daha çok verim elde edebiliriz. Örnek olarak evde kullandığımız güneş panelleri verilebilir ve burada biraz güney batıya bakması tavsiye edilebilir. Eğer paneller güneye bakarlarsa daha fazla enerji toplarlar. Bu sayede güneş panellerinin istenilen saatlerde daha fazla elektrik üretmesi sağlanmış olacaktır. Panellerin hafifçe güney-batı

yönünde olması, Güneş'in konumuna bağlı olarak, insanların evlerinde akşamları daha fazla enerji üretmelerini sağlayacaktır. Çoğu bölgede sabah ve öğleden sonra enerji kullanımına bağlı olarak gerekli olan enerjinin temini için diğer kaynaklarda elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

Güneş kollektörleri, ısıtmak ve aydınlatma için kullanılmaktadır ve bu toplayıcıların doğuya bakması istenir. Evin güneş sayesinde ısınması sağlanmış olur ve en çok güneş ışığına, sabah ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir.

Gerekli güneş panellerinin yönlendirilmesi birçok farklı yolla yapılabilir. PV panelini veya dizinin yönünü belirlemede pusula kullanılabilir, yaz ve kış azimut ayarları arasındaki merkezi açıyı bulabilir veya panelleri en uygun açıda konumlandırabiliriz.

Güneşli öğlen, güneşin gökyüzüne yayıldığı saat 12:00 en çok enerji elde edilen saat aralığı olarak görülmektedir. Güneşin en çok ışın yaydığı öğlen saati, lokasyona göre saat 12:00 ile 14:00 arasında gerçekleşir.

Panelden % 100 faydalanabilmek istendiğinde panelin gölgede kalan kısmı olmaması gerekir. Panel veya diziyi çevreleyen öğelerin (ağaçlar, binalar, duvarlar, diğer paneller vb.) panellere gölge yapmamasına dikkat edilmeli ve panellerin yerleşimi buna göre yapılmalıdır (<http://www.intmarketing.org> 2017)..

3.1.7. PV Hücrenin Eğim Açısı

Statik Eğim Açısı

Güneş paneli eğim değerlerinde bir değişiklik yapılması gerektiğinde, zenit açısı ya da panelin bulunduğu eğim açısı faktörlerinde değişiklik yapmamız gereklidir. İlk olarak en iyi azimut açısına sahip olunabilecek pozisyon tespit edilir. Ardından panelin bulunduğu yükseklik değeri devreye girer. Bir önceki bölümden Londra'da güneşin maksimum yüksekliğinin, yaz ekinoksu için 62° ve kış için 15° olduğu anlatılmıştı. Hareket etmeyen PV paneller için, panelin sonbahar ekinoksu değerini temsil eden 38° açısı ile yerleştirilmesi tavsiye edilmektedir. Ancak bu eğim değeri panellerin yönelimi

açısından hayati derecede önemli değildir. Paneller en uygun şekilde hizalansa bile güneş ışınlarına göre 45° lik bir eğim açısında panelin birim hücresi başına güneş ışınım değerinin %75 i alınmaktadır. $\pm 15^\circ$ lik eğim açısının sapması PV panel çıkış güçlerinde gerçekten ihmal edilebilecek bir farklılık oluşturmaktadır. İdeal yerleştirme şartı, panellerin mümkün olduğu kadar güneş ışığı alabileceği mekanlara yerleştirilmeleri ve gün içinde ve yıl boyunca ortalama bir değer tespit edilerek kullanılmalıdır.

Günümüzde güneş panellerinin statik olarak yönlendirilmeleri ya da bir diğer anlamı ile sabit bir açı için optimize edilmeleri günlük, mevsimlik ve yıllık olarak yapılabilmektedir.

Bu açısal düzenlemelerin en popüler olanları bir PV panelinin ya da PV panel dizisinin eğiminin çok az da olsa ayarlanmasına izin verecek şekilde (güney-kuzey istikametinde) dik eğimli bir çatıya entegre edilmesidir. Çoğu platform sabitleme fikstürü ve destek amaçlı kullanılan çerçeveler bazı ufak ayarlamaların yapılmasına müsaade etmektedir. Bu yöntemin uygulanması güneş enerjisinden azami istifade etmeyi sağladığı için, panellere ve sisteme yapılan geri ödeme süresini minimize etmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Her ne kadar maksimum güç çıkışı için optimizasyonlar yapılsa da, hiç bir sistem güneş takip sistemi entegreli yani dinamik panel oryantasyonu gibi olamamaktadır. İçinde güneş takip sistemi barındıran “dinamik sistemler” sabit açılı sistemlere göre %25-%30 arasında daha fazla güç çıkışına olanak sağlamakta, bu durum daha az panelle aynı güç çıkışını elde etmeyi dolayısıyla geri ödeme süresini kısaltmaktadır (<http://www.intmarketing.org> 2017)..

Dinamik Eğim Açısı (Güneş İzleme)

PV panelleri olabildiğince yüksek oranda ışınım altında bırakmak amacıyla güneşin gökyüzündeki konumunu takip etmek ve günün her anında en iyi açıyı yakalamak amacıyla en sistematik panel düzeneğinin kurulması amaçlanmaktadır. Güneşin doğuşundan batışına kadar geçen süre içerisinde maksimum verimde enerji elde edilmesi için güneşin ufuktaki hareketi takip edilir.

En ideal güneş paneli sistemi, karmaşık teleskoplar ve uydu antenlerinde de kullanılan motorlara benzer sistemlerin kullanıldığı sistemlerdir. Bu yolla PV panel sistemleri bütün gün boyunca güneşi takip etmektedir. Bu döner sistemlerle yıl boyunca enerji üretimi en verimli şekilde olmaktadır. Ancak bu sistemlerde kullanılan motorların çok büyük olması istenmez, çünkü hem maliyet hem de kurulum aşamasında zorluk ortaya çıkmaktadır.

Dahası güneş takipçileri montaj alanının yeterli olmaması ve dönecek yeterli alan bulunamaması nedeniyle kurulamamaktadır. Bir diğer güzel nokta ise, kullanıcının elle kontrolüne izin veren bir yuvanın olmasıdır ve bu manuel kontrole izin vermektedir.

Ticari olarak da elde edilebilen güneş takip sistemleri güneşin açısına bağlı olarak gökyüzünü takip ederek ışıktan faydalanmayı sağlar. Bu alınan ışınların %25-%30 artmasını sağlamaktadır. Bu sistem ikiz yada çift eksenli olarak hareket eder ve yazın daha az ayarlama yaparken kışın az miktarda olan ışığı yakalamak için daha fazla ayar gerektirir. Daha güneşli yerler çift eksenli izlemeden daha fazla fayda sağlar.

Fotovoltaik Güneş Panelleri, kullanıldığı yere göre güneşe yada kuzeye bakabilir. Panellerden maksimum verim alabilmek için güneşten en etkili şekilde faydalanılmalı ve gün ışığının en çok etki ettiği saatlerde panellerin ışınları doğrudan alacak açıda olması gerekmektedir. Paneller genellikle elektrikli ev aletlerinin çalıştırılması için kullanılmaktadır. PV panellerin sayısı bazen alan daraltmak için azaltılırken bu, elde edilecek enerjinin de düşmesine neden olabilir (<http://www.intmarketing.org> 2017)..

3.2. Kullanılacak Açıkların PV modül yerleşimi için hesaplamaları

Bir PV panel, elektrik üretiminde temel olarak güneş ışınımını kullanmaktadır. Dolayısıyla PV panellerin üreteceği enerjiyi hesaplarken ışınım değerini tespit etmek gerekir. PV panellerin konumlandırılması, kullanılan panellerin verimi, bulunduğu bölge, coğrafi koşullar, hava olayları, rüzgar, toz ve çevresel etkiler elektrik üretimini doğrudan etkilemektedir. Bölgede kurulacak PV panellere gelen toplam ışınım miktarı panellere doğrudan gelen ışınım, dağınık ışınım ve yerden yansıyan ışınımın toplamı şeklinde ifade edilir. Eğik düzleme gelen toplam ışınımın hesabı (Yiğit ve Atmaca 2010);

$$H_T = H * (1 - H_d/H) R_b + H_d * ((1 + \cos\beta)/2) + H * \rho * ((1 - \cos\beta)/2) \quad (1)$$

formülü ile yapılır. Burada β PV panel eğim açısı, ρ yerin yansıtma oranı, R_b ise direkt ışınımın yataydaki ışınımına oranı olan geometrik faktördür. Burada H_d aylık ortalama günlük yayılı (difüz) ışınım oranı olup

$$H_d/H = 1 - 1.13 * K_T \quad (2)$$

eşitliği (Yiğit ve Atmaca 2010) ile tanımlıdır. K_T ise aylık ortalama günlük açıklık indeksidir ve

$$K_T = H/H_0 \quad (3)$$

ile tanımlıdır. H_0 atmosfer dışı yatay düzleme gelen günlük güneş ışınımı (Yiğit ve Atmaca 2010). R_b ,

$$\overline{R_b} = \frac{H_{bT}}{H_b} \quad (4)$$

Kuzey yarımkürede güneye dönük yön için ($\gamma = 0^\circ$) için,

$$\overline{R_b} = \cos(\varphi - \beta) \cos\delta \sin w_s + (\pi/180) w_s \sin(\varphi - \beta) \sin\delta / \cos\varphi * \cos\delta * \cos w_s + (\pi/180) w_s \sin\varphi \sin\delta \quad (5)$$

ile hesaplanır (Yiğit ve Atmaca 2010). Burada w_s' hesaplama yapılan ayın ortalama gününde eğik düzlem için güneş ışınlarının eğik yüzey üzerine ilk düşüş saat açısıdır. Bu saat açısı yatay düzlemde farklıdır. Yatay düzlemde gün doğuş saat açısı olarak alınır. Eğik düzlemde ise bu farklıdır ve şu şekilde bulunur (Yiğit ve Atmaca 2010);

$$W_s' = \min \left[\begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan\varphi \tan\delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \tan\delta) \end{array} \right] \quad (6)$$

Denklemden kullanılan 'min'in anlamı bu iki değerden küçük olanının alınacağını göstermektedir.

Güney yarımkürede yüzey azimut açısı $\gamma = 180^\circ$ olan eğik yüzey için şeklinde hesaplanır (Yiğit ve Atmaca 2010).

Kuzey yarımkürede optimum yüzey azimut açısı (γ) 0° (Güneye dönük yüzey)'dir. Güney yarımkürede ise 180° dir. Bu tezde azimut açısı 0° alınmıştır. Kuzey yarımküre için (3) eşitliği

$$\overline{R_b} = \cos(\varphi + \beta) \cos\delta \sin w_s + (\pi/180) w_s \sin(\varphi + \beta) \sin\delta / \cos\varphi * \cos\delta * \sin w_s + (\pi/180) w_s \sin\varphi \sin\delta \quad (7)$$

haline dönüşür (Yiğit ve Atmaca 2010). Burada w , hesaplama yapılan ayın ortalama gününde eğik düzlem için güneş ışınlarının eğik yüzey üzerine ilk düşüş saat açısıdır ve

$$w = \min(\arccos(-\tan\varphi \cdot \tan\delta), \arccos(-\tan(\varphi - \beta) \cdot \tan\delta)) \quad (8)$$

şeklinde hesaplanır (Yiğit ve Atmaca 2010).

Formülde kullanılan φ yerel enlem açısı, w saat açısı, γ azimuth açısı, δ deklinasyon açısıdır. Saat açısı her saat için 15° farklılık gösterir. Sabah saatlerinde negatif, öğleden sonra ise pozitif değer alır (12.00 'de 0°). Deklinasyon açısı ise aşağıdaki gibi hesaplanır (Yiğit ve Atmaca 2010);

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(360 \cdot (284 + n) / 365) \quad (9)$$

Optimum eğim açısı için çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Ancak bütün yaklaşımlarda açıkça görülmektedir ki eğim açısını belirlemek için göz önünde bulundurulması gereken iki kriter PV panellerin konumlandırıldığı enlem ile dünyanın her yıl yaşadığı dönence ve ekinoks döngüleridir.

Dolayısıyla optimum eğim açısı yılın her günü farklılık göstermektedir. Güneşi takip eden sistemler için bu durum bir sorun teşkil etmezken, sabit sistemler için yapılan etütler sonucunda optimum açı net olarak seçilmelidir. Türkiye koşullarında güneş takibi yapan sistemler için aşağıdaki formülün kullanılması uygundur (Yiğit ve Atmaca 2010);

$$\beta_{opt} = 34,783 - 1,4317 \cdot \delta - 0,0081 \cdot \delta^2 + 0,0002 \cdot \delta^3 \quad (10)$$

Sabit sistemler için ise $\beta_{opt} = \varphi \pm 15$ (yaz ve kış için), eylül ve mart ayları için $\beta_{opt} = \varphi$ kabul edilebilir (Yiğit ve Atmaca 2010). Söz konusu kabuller İzmir ili için yapılan çalışmalar sonucu ortaya konulan verilerdir.

Gelen ışınım miktarının hesabından sonra, aylık toplam güneş ışınımı ve bu ışınımlardan elde edilen elektrik enerjisinin hesabı yapılabilir. H , yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük güneş ışınımı olmak üzere literatürde en çok kullanılan

$$H/H_0 = (a + b \cdot (n/N)) \quad (11)$$

eşitliği kullanılabilir (Yiğit ve Atmaca 2010). Burada n/N izafi güneşlenme süresini, a ve b bölgeye bağlı sabitleri, H_0 aynı bölgede aylık ortalama atmosfer dışında yatay düzleme gelen güneş ışınımını simgelemektedir. H_0

$$H_0=(24*3600*G_{sc}/\pi)*(1+0.033*\cos(360*n/365))*(\cos\varphi*\cos\delta*\sin w_s+(2*\pi*w_s/360)*\sin\varphi*\sin\delta) \quad (12)$$

şeklinde hesaplanır (Yiğit ve Atmaca 2010). Burada G_{sc} güneş sabitidir.

w_s güneş batış saat açısı olmak üzere

$$w_s=\arccos(-\tan\varphi*\tan\delta) \quad (13)$$

şeklinde hesaplanır (Yiğit ve Atmaca 2010). a ve b katsayılarının alacağı değerler konuma bağlı olarak değişmektedir.

Buraya kadar olan değerler PV panellerin kurulacağı bölgenin enlemine ve güneşlenme süresine ait verilerin çekilmesi ile doğrudan hesaplanabilir. Ancak bölgedeki tozluluk, bulutlu gün sayısı, rüzgar yönü ve şiddeti, nemliliğe dair etkilerin tam olarak belirlenebilmesi için sayısal hesaplar yeterli olmayacaktır. Bu etkilerin kesin olarak sisteme katılabilmesi, panellerin kurulacağı bölgede yapılacak olan gözlem ve ölçümler ile mümkün olacaktır.

Rüzgarın sistemin çalışmasına dair birçok etkisi vardır. Soğutma etkisi, rüzgarın taşıdığı toz miktarı, PV panellere etki eden rüzgar yükü bu etkilerin başlıcalarıdır. Yaptığımız hesaplarda rüzgarın soğutma etkisini dikkate almış bulunmaktayız. Çünkü bu kriterler PV panellerden üretilen elektrikte doğrudan etki etmektedir. PV panellere etki eden rüzgar yükü ise sisteme dair mekanik dayanım hesaplarına dair olduğundan tezde bu hesaba yer verilmemiştir.

Bursa ilinin bulunduğu coğrafi konum dolayısıyla, bu ile ait kullanılacak veriler şu şekildedir;

- Enlem ve boylam: 40.1 kuzey enlemi, 29.01 batı boylamı
- Deniz seviyesinden yükseklik: $Z=100$ m
- Güneş sabiti: $G_{sc}=1367$ W/m²
- Yerin yansıtma oranı: $\rho=0.2$
- İzafi güneşlenme süreleri (n/N);

Ocak; 0.31;	Mayıs; 0.63;	Eylül; 0.71;
Şubat; 0.36;	Haziran; 0.71;	Ekim; 0.58;
Mart; 0.37;	Temmuz; 0.79;	Kasım; 0.49;
Nisan; 0.45;	Ağustos; 0.78;	Aralık; 0.37

3.2.1. Rüzgarın PV Panel Verimine Etkisi

Rüzgarın panel sıcaklıklarına etki ettiği, dolayısıyla panel verimini de etkilediği bilinmektedir. Rüzgar hızının şiddeti bu etkiyi değiştirmektedir. Verimin incelenmesinde panel hücrelerinin sıcaklığı kullanılmaktadır. Bu sıcaklık ile rüzgar arasındaki ilişki için, kullanılan formül aşağıdadır (Spoklaki ve ark. 2008);

$$T_c = T_a + w * (0.32 / (8.91 + 2 * V_f)) * I_T \quad (14)$$

Formülde yer alan T_c , T_a , w , V_f ve I_T sırası ile; panel hücre sıcaklığı, atmosfer sıcaklığı, montaj katsayısı, rüzgar hızı ve anlık ışınlam (W/m^2) şeklindedir. Bursa için aylık ortalama maksimum hava sıcaklık ortalamaları (T_a) ve aylık rüzgar hızı ortalamaları (V_f) aşağıdadır (Çizelge 3.1.). Bu çizelgedeki veriler, Bursa ili için 1983-2005 yılları arasında 22 yıllık ölçülen aylık ortalama maksimum hava sıcaklıkları ve rüzgar hızlarıdır (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer> 2018).

Çizelge 3.1. Bursa ili için aylık maksimum hava sıcaklık ve rüzgar hızı ortalamaları

Aylar	Aylık ortalama maksimum hava sıcaklıkları (T_a) ($^{\circ}C$)	Aylık ortalama rüzgar hızı değerleri (V_f) (m/s)	Aylar	Aylık ortalama maksimum hava sıcaklıkları (T_a) ($^{\circ}C$)	Aylık ortalama rüzgar hızı değerleri (V_f) (m/s)
Ocak	6,74	3,22	Temmuz	28,25	3,36
Şubat	7,54	3,42	Ağustos	28,75	3,41
Mart	10,81	3,30	Eylül	24,81	3,04
Nisan	15,86	2,93	Ekim	19,19	3,02
Mayıs	20,68	2,68	Kasım	13,4	3,03
Haziran	24,93	2,82	Aralık	8,26	3,23

Buradan yararlanılarak hücre verimi şu şekilde hesaplanır (Kaldellis ve ark. 2014);

$$\eta_c = \eta_i * (1 - \beta_{ref} * (T_c - T_r)) \quad (15)$$

η_c PV panel hücresinin verimi, η_t referans sıcaklıktaki panel hücresinin verimi, β_{ref} sıcaklık katsayısı ve T_r referans sıcaklıktır.

Bu kısımda yapılan incelemeler için Bursa için olan değerler göz önünde bulundurulmuş ve bazı kabuller yapılmıştır. $\eta_t = 0.16$, $T_r = 25 \text{ C}^0$, $w = 1$, $\beta_{ref} = 0.004 \text{ 1/}^\circ\text{C}$ olarak kabul edilmiştir.

Üretilen elektrik enerjisinin hesabı için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Kaldellis ve ark. 2014);

$$\eta_c = E/H_T \quad (16)$$

Burada η_c panel verimi, E üretilen elektrik enerjisi ($\text{MJ/m}^2\text{gün}$), H_T eğik düzleme düşen günlük toplam ışınım ($\text{MJ/m}^2\text{gün}$) olarak kabul edilmiştir.

Rüzgarsız durum için hücre sıcaklığı

$$T_c = T_a + (T_{nom} - 20) \frac{I_t}{800} \quad \text{ifadesinden bulunmuş olup } T_{nom} = 45^\circ\text{C} \quad (17)$$

Verim ise

$$\eta_c = \frac{-0.05T_c + 12.757}{100} \quad \text{formülleri kullanılmıştır. (Meral ve ark. 2010)} \quad (18)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

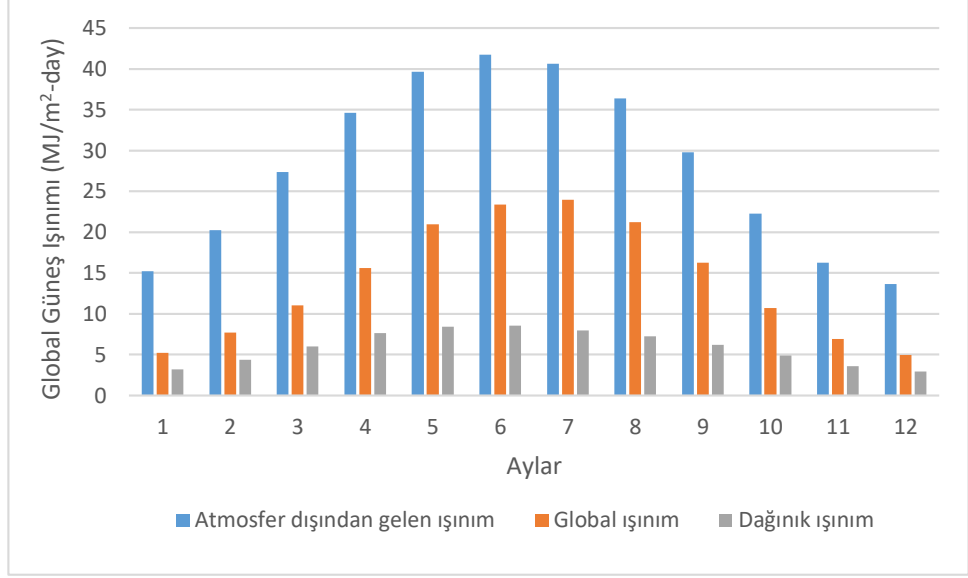
Yukarıdaki formüller kullanılarak yapılan MATLAB algoritması ile; optimum eğim açısı, eğim açısının sabit veya dönemsel (yaz-sonbahar-kış-ilkbahar) kullanılması durumundaki fark, 0-90⁰ eğim açısında panellere gelen toplam ışınım, rüzgarın soğutma etkisinin panel verimine etkisi hesaplanmıştır.

Oluşturulan algorithmada çoğu parametre sistem kombinasyonu ve elde edilecek veri miktarının artırılması amacı ile döngüler içerisinde olası bütün değerleri kullanılarak hesaplar gerçekleştirilmiştir. Algoritmanın çalışması için PV panellerin kurulacağı bölgenin enlemi ve azimuth açısı girilmesi yeterlidir. Azimuth açısı bütün hesaplarda 0⁰ olarak girilmiştir (panellerin güneye baktığı varsayılmıştır).

Optimum eğim açısının hesabı Bursa ili için yapılmış aylık, yıllık, kış dönemi, ilkbahar dönemi, yaz dönemi ve sonbahar dönemi için olmak üzere optimum eğim açıları elde edilmiştir.

Daha önce de bahsettiğimiz gibi güneş takibi olmayan sistemlerde optimum eğim açısı için farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Elde ettiğimiz sonuçlar göstermektedir ki yeryüzü şekilleri ve şehirleşmenin getirdiği etkilerden bağımsız olarak, bu yaklaşımlar içerisinde hesaplarımıza en tutarlı kabul yıllık sabit eğim açısının $\beta_{opt}=\varphi$ olarak alınmasıdır. Bursa için global güneş ışınımları her ay için farklı eğim açılarına göre hesaplanmıştır.

Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1'de Bursa için yatay düzlem üzerine gelen atmosfer dışı global ve dağılık güneş ışınımlarının aylık ortalama günlük değerleri verilmiştir.



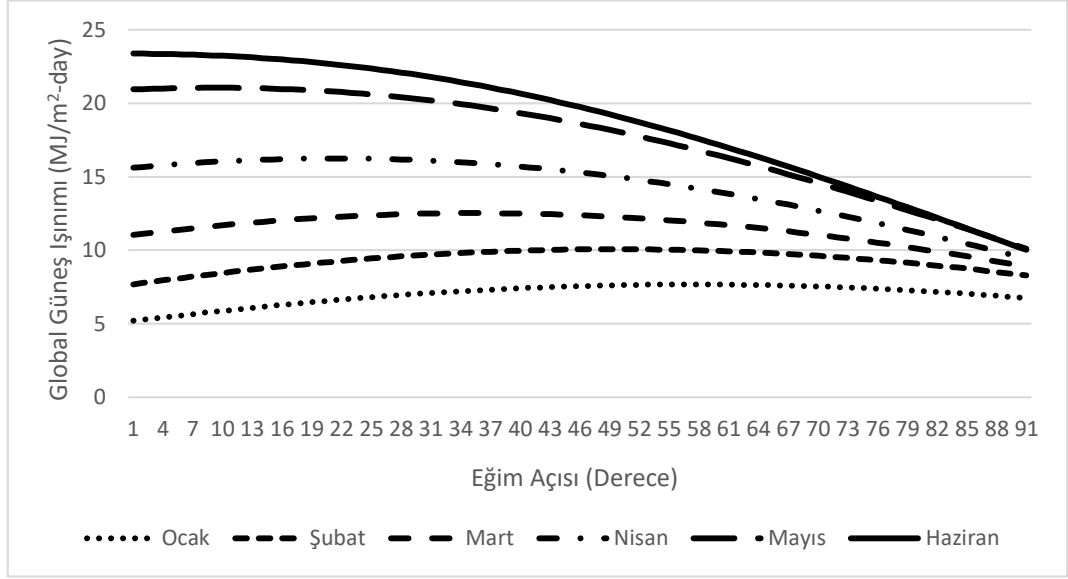
Şekil 4.1. H₀, H ve H_d ışınım değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.1. Bursa için aylık ortalama günlük güneş ışınım değerleri (H₀, H, H_d)

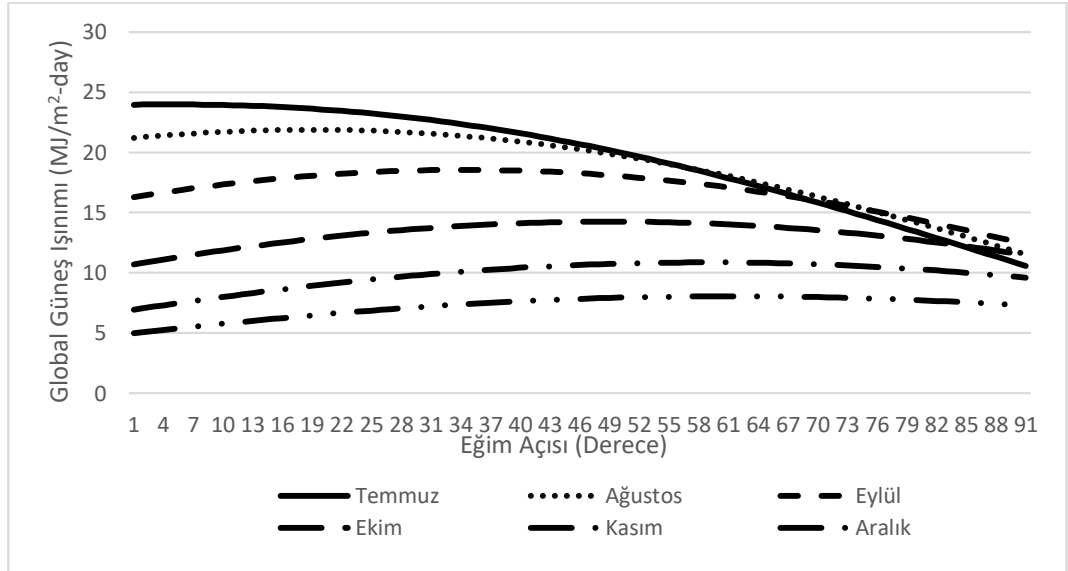
Aylar	H ₀ (MJ/m ² gün)	H (MJ/m ² gün)	H _d (MJ/m ² gün)
Ocak	15.1970	5.1892	3.1867
Şubat	20.2298	7.6778	4.3844
Mart	27.3844	11.0408	6.0097
Nisan	34.6124	15.6130	7.6542
Mayıs	39.6745	20.9519	8.4488
Haziran	41.7339	23.3892	8.5770
Temmuz	40.6211	23.9553	7.9917
Ağustos	36.4037	21.1973	7.2497
Eylül	29.7928	16.2921	6.2243
Ekim	22.3062	10.7065	4.8991
Kasım	16.2934	6.9440	3.5996
Aralık	13.6740	4.9730	2.9293

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 farklı eğim açıları için aylık ortalama günlük global ışınım değerlerini göstermektedir. Bu şekillerden güneş enerjisi ışınımının belirli bir ay için

zirvede olduğu ve yılın her ayı için bir ideal eğim açısının bulunduğu açık olarak görülmektedir.



Şekil 4.2. Farklı eğim açıları için eğimli yüzeye düşen günlük global güneş ışıınım değerleri (H_T) (Ocak-Haziran)



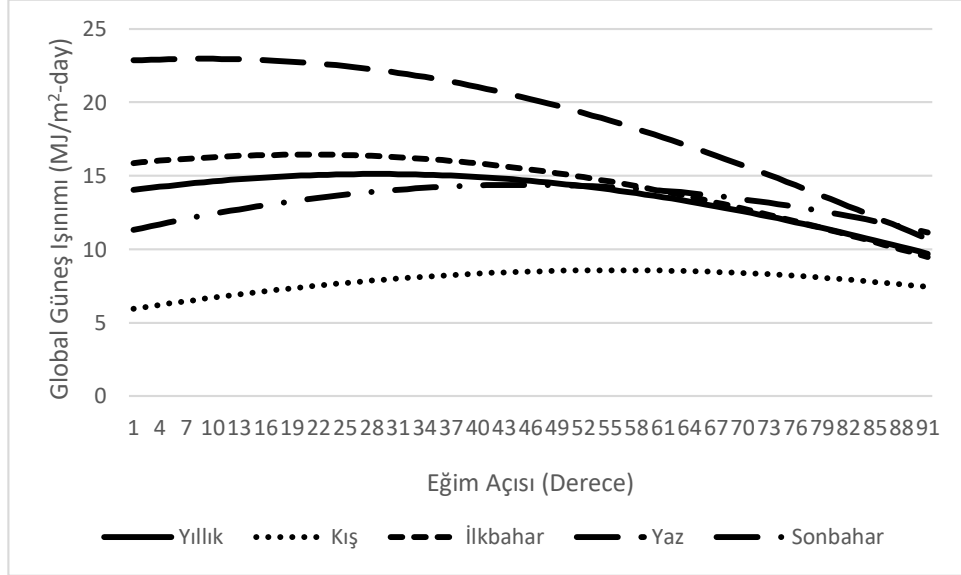
Şekil 4.3. Farklı eğim açıları için eğimli yüzeye düşen günlük global güneş ışıınım değerleri (H_T) (Temmuz-Aralık)

Çizelge 4.2. optimum eğim açısının yıl içinde 0° (Haziran) ile 60° arasında değiştiğini göstermektedir.

Çizelge 4.2. Bursa’da her ay için eğimli yüzey üzerine düşen toplam güneş ışınımları ve optimum eğim açısı

Aylar	β_{opt} (°)	H_{opt} (MJ/m ² gün)	Aylar	β_{opt} (°)	H_{opt} (MJ/m ² gün)
Ocak	56	7.6713	Temmuz	4	23.9772
Şubat	48	10.0720	Ağustos	18	21.8771
Mart	35	12.5235	Eylül	33	18.5415
Nisan	20	16.2471	Ekim	48	14.2540
Mayıs	8	21.0581	Kasım	58	10.8633
Haziran	0	23.3892	Aralık	60	8.0550

Şekil 4.4 farklı eğim açıları için mevsimlik ve yıllık ortalama toplam ışınım değerlerini göstermektedir. Bu şekilden güneş enerjisi ışınımının belirli bir mevsim için zirvede olduğu, yılın her mevsimi ve ayrıca o yıl için bir ideal eğim açısının bulunduğu açık olarak görülmektedir.



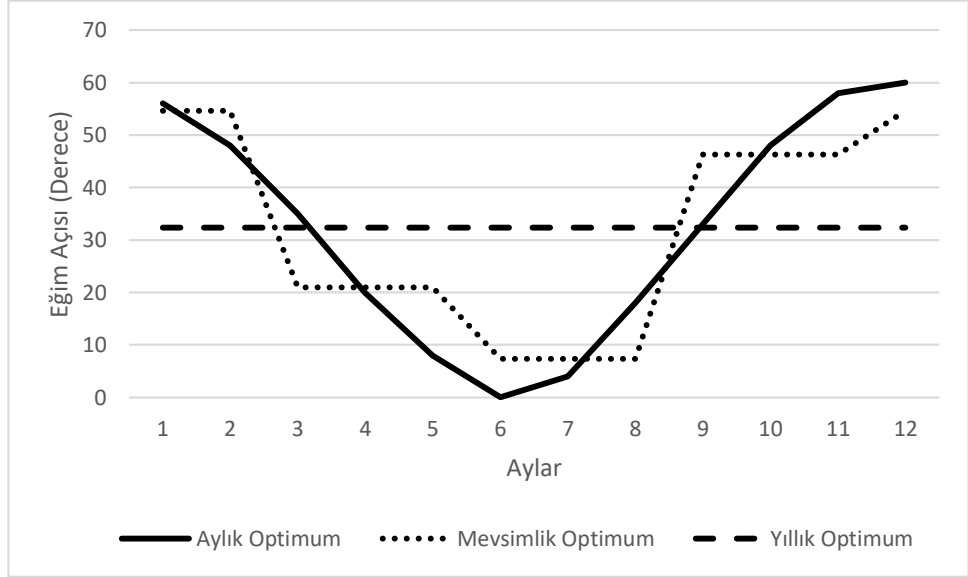
Şekil 4.4. Farklı eğim açıları için eğimli yüzeye düşen mevsimlik ve yıllık ortalama toplam güneş ışınım değerleri (H_T)

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.5’de ise her ay için optimum eğim açıları, mevsimlik ortalama optimum eğim açıları ve yıllık ortalama optimum eğim açıları gösterilmiştir. Mevsimlik ortalama, her mevsim için optimum eğim açısının ortalama değeriyle bulunmasıyla hesaplanmıştır ve bunun uygulanması, panel eğiminin yılda dört kez değişmesini gerektirir. Kış mevsiminde eğim 54.6667° , ilkbahar mevsiminde 21° , yaz mevsiminde 7.3333° , sonbahar mevsiminde ise 46.3333° olmalıdır. Yıllık ortalama yılın her ayı için elde edilen eğim açılarının ortalamasının bulunmasıyla hesaplanmıştır. Yıllık ortalama eğim 32.3333° olarak bulunmuştur ve bu sonuç yıl boyunca ideal olan eğimi simgelemektedir.

Çizelge 4.3. Bursa’da mevsimlik ve yıllık ortalama optimum eğim açıları ve aylık ortalama günlük güneş ışınımı değerleri

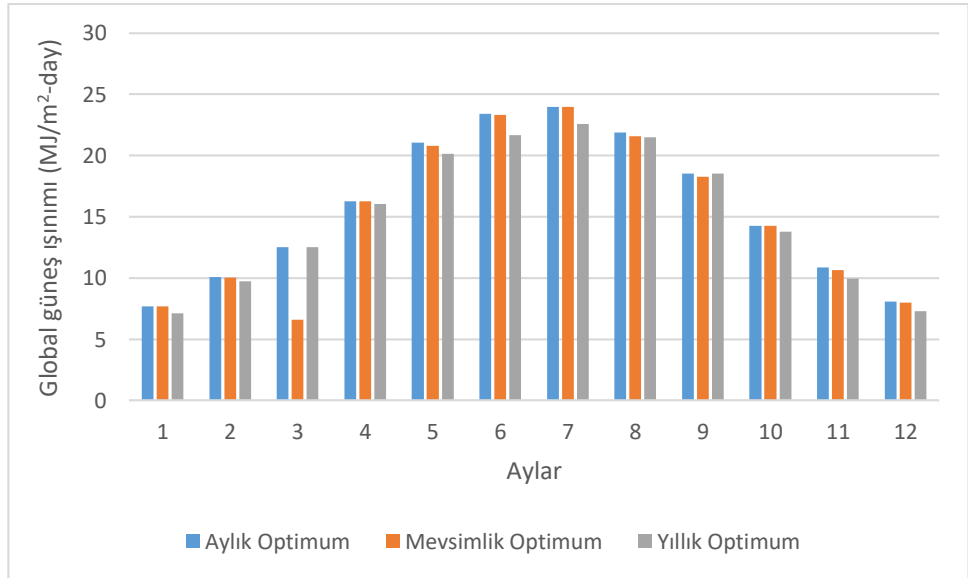
Aylar	Mevsimler	Mevsimlik Ortalama		Yıllık ortalama	
		β_{opt} ($^\circ$)	H_{opt} (MJ/m ² gün)	β_{opt} ($^\circ$)	H_{opt} (MJ/m ² gün)
Aralık	Kış	54.6667	8.0046	32.3333	7.2711
Ocak			7.6617		7.1343
Şubat			10.0497		9.7451
Mart	İlkbahar	21	12.2540		12.5076
Nisan			16.2471		16.0675
Mayıs			20.8128		20.1220
Haziran	Yaz	7.3333	23.3091		21.6770
Temmuz			23.9699		22.5764
Ağustos			21.5712		21.4947
Eylül	Sonbahar	46.3333	18.2581		18.5304
Ekim			14.2396		13.7866
Kasım			10.6528		9.9591

Kış mevsimi için $\beta_{opt}=\varphi+10^\circ$ kabul edilebilir (Chiou ve ark,1986). $\beta_{opt}=50.1$ olduğu bulunmuştur.Sonuçlar birbirine yakın olduğu için işlemlerimize bulduğumuz değerden (kış için 54.6667) devam edilmiştir.



Şekil 4.5. Aylık, mevsimlik ortalama ve yıllık ortalama optimum eğim açıları

Şekil 4.6. eğim açısı aylık, mevsimlik ve yıllık ortalama optimum değerinde olduğunda alınan toplam güneş ışınlamı değerlerini göstermektedir.

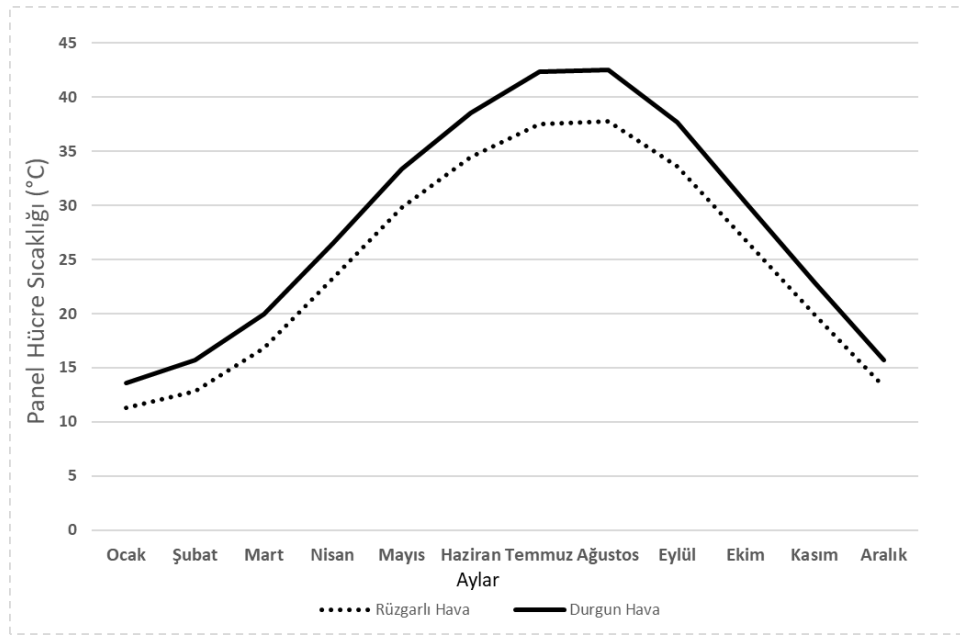


Şekil 4.6. Bursa'da aylık, mevsimlik ve yıllık ortalama eğim açıları için toplam güneş enerjisi ışınlamı

Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Çizelge 4.4'te her ay için belirlenen β_{opt} eğim açısına sahip güneş panellerinin rüzgar etkisinde ve durgun hava şartlarında her ay için birim alandaki sıcaklıkları, ürettikleri elektrik enerjileri ve verimleri gösterilmektedir. Her iki durumda da en fazla elektrik enerjisi Temmuz ayında, en az ise Ocak ayında elde

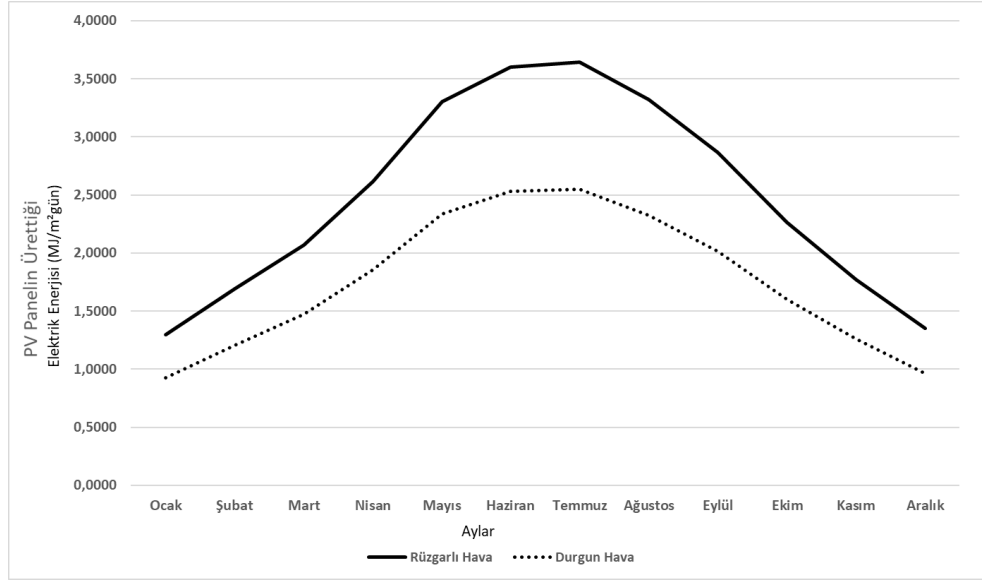
edilmektedir. Her iki hava şartı için sistemden en az Ağustos ayında, en fazla ise Ocak ayında verim alınmaktadır.

Rüzgarın soğutma etkisinin durgun hava koşullarına göre panel hücre sıcaklığına etkisi incelendiğinde durgun hava şartlarında panel hücre sıcaklığının daha yüksek olduğu görülmüştür. Yıl boyunca durgun hava şartlarında panel sıcaklığının rüzgarlı havaya göre yaklaşık 2.3 °C den yaklaşık 4.9 °C ye kadar arttığı belirlenmiştir. En az panel sıcaklık farkı Ocak ayında, en fazla panel sıcaklık farkı Temmuz ayında oluşmuştur. Sistemden en az Ağustos ayında verim alınması, panel hücre sıcaklığının en fazla Ağustos ayında olmasının; sistemden en fazla Ocak ayında verim alınması da panel hücre sıcaklığının en az Ocak ayında olmasının bir sonucudur (Şekil 4.7 – Çizelge 4.4).



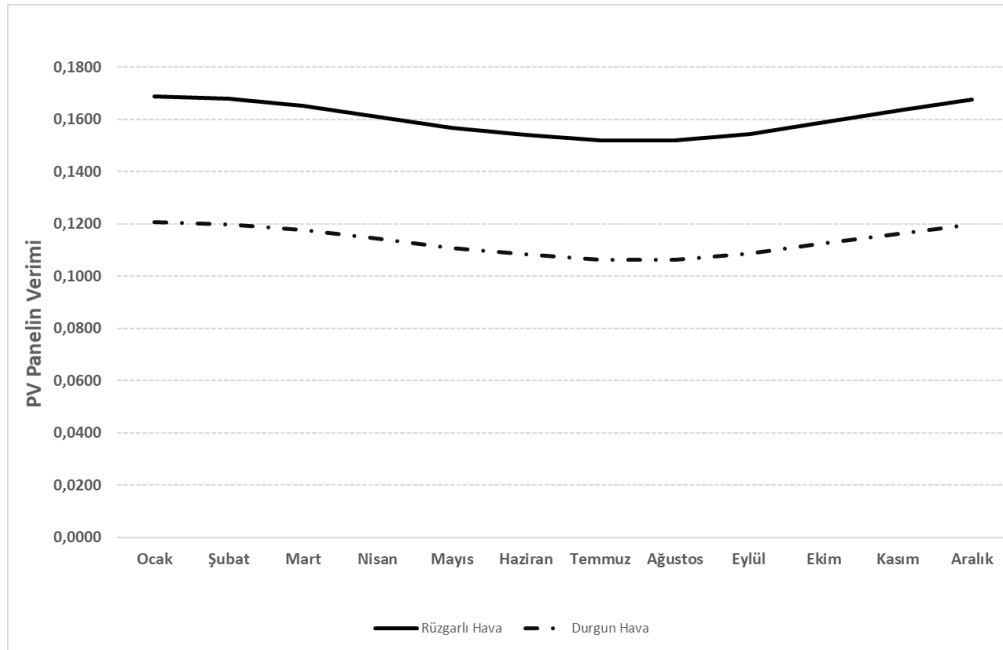
Şekil 4.7. Rüzgarın aylık ortalama panel hücre sıcaklığına etkisi

Rüzgarın soğutma etkisinin durgun hava şartlarına göre panel tarafından üretilen elektrik enerjileri karşılaştırıldığında rüzgarın soğutma etkisindeki panelin daha fazla elektrik ürettiği görülmektedir. En fazla elektrik enerjisinin Temmuz ayında olması, güneş ışınım enerjisinin en fazla Temmuz ayında olmasının; en az elektrik enerjisinin Ocak ayında olması da güneş ışınım enerjisinin en az Ocak ayında olmasının bir sonucudur (Şekil 4.8 -Çizelge 4.2).



Şekil 4.8. Rüzgarın PV panelin ürettiği aylık ortalama günlük elektrik enerjisine etkisi

Rüzgarın soğutma etkisinin durgun hava koşullarına göre panel verimine etkisi incelendiğinde rüzgarın soğutma etkisinde panel veriminin yıl boyunca yaklaşık %4,8 fazla olduğu görülmüştür(Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Rüzgarın PV panelin aylık ortalama verimine etkisi

Çizelge 4.4. Eğim açısının her ay için belirlenen β_{opt} olması durumunda rüzgar etkisindeki güneş panelinin birim alanındaki aylık ortalama günlük hücre sıcaklıkları, ürettiği elektrik enerjileri ve verimleri

Aylar	Sıcaklık (°C)	Elektrik enerjisi (MJ/m ² gün)	Verim
Ocak	6.74	1,294526819	0,168749341
Şubat	7.54	1,689887653	0,167780744
Mart	10.81	2,069273479	0,165231244
Nisan	15.86	2,617841929	0,16112672
Mayıs	20.68	3,304580336	0,156926804
Haziran	24.93	3,600439194	0,15393597
Temmuz	28.25	3,644325912	0,151991305
Ağustos	28.75	3,321945511	0,151845789
Eylül	24.81	2,864517472	0,154492219
Ekim	19.19	2,264487969	0,158866842
Kasım	13.4	1,774020087	0,163303976
Aralık	8.26	1,349550053	0,167541906

5. SONUÇ

Bu tez kapsamında Bursa ilinde kurulacak güneş panelleri için optimum eğim açıları elde edilmiş olup, bu optimum eğim açılarının aylık, mevsimlik ve yıllık değişimi incelenmiştir. Bu optimum eğim açısıyla kurulan güneş panellerinin hücre sıcaklıklarına, ürettiği elektrik enerjilerine ve verimlerine rüzgarın soğutma etkisinin etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler şeklinde verilmiştir.

- i. Optimum eğim açısı en az 0° ile Haziran ayında olmaktadır. Bu açı değerindeki toplam güneş ışınımı 23.3892 MJ/m^2 gün ve panelin ürettiği elektrik enerjisi 3.6 MJ/m^2 gün dür. En fazla optimum eğim açısı ise Aralık ayında 60° olarak bulunmuştur. Bu açı değerindeki toplam güneş ışınımı 8.0550 MJ/m^2 gün ve panelin ürettiği elektrik enerjisi 1.3495 MJ/m^2 gün dür.
- ii. Ortalama optimum eğim açısı yaz mevsiminde 7.3333° olarak, sonbahar mevsiminde 46.3333° olarak, kış mevsiminde 54.6667° olarak ve ilkbahar mevsiminde 21° olarak bulunmuştur.
- iii. Güneye bakan güneş panelleri için yıllık ortalama optimum eğim açısı 32.3333° olarak bulunmuştur.
- iv. Aylık optimum eğim açısı kullanıldığında alınan yıllık güneş ışınım enerjisi $5655,879 \text{ MJ/m}^2$ gün, mevsimlik ortalama optimum eğim açısı kullanıldığında alınan yıllık güneş ışınım enerjisi $5610,918 \text{ MJ/m}^2$ gün, yıllık ortalama optimum eğim açısı kullanıldığında ise alınan yıllık güneş ışınım enerjisi $5426,154 \text{ MJ/m}^2$ gün dür. Yani alınan yıllık güneş ışınım değerleri, panellerin hangi optimum eğim açılarında alındığına göre sıralanacak olursa en fazla aylık optimum, sonra mevsimlik ortalama optimum ve en az yıllık ortalama optimum eğim açılarında alınmaktadır.
- v. Her ay için belirlenen optimum eğim açısına sahip güneş panellerinin rüzgar etkisinde her ay için birim alandaki sıcaklıkları, ürettikleri elektrik enerjileri ve verimleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre en fazla elektrik enerjisi Temmuz ayında, en az ise Ocak ayında elde edilmektedir. Bunun sebebi güneş ışınım enerjisinin en fazla Temmuz ayında, en az ise Ocak ayında olmasıdır. Her ay için panel verim değerlerine bakıldığında artan panel hücre sıcaklığı ile panel veriminin azaldığı görülmektedir. Sistemden en az Ağustos ayında, en fazla ise

Ocak ayında verim alınmaktadır. Bunun sebebi ise panel hücre sıcaklığının en fazla Ağustos ayında, en az ise Ocak ayında olmasıdır.

- vi. Rüzgarın soğutma etkisinin durgun hava koşullarına göre panel hücre sıcaklığına etkisi her ay için incelendiğinde, temmuz ayında rüzgarın soğutma etkisindeki panel sıcaklığının yaklaşık 4.9 °C daha düşük olduğu bulunmuştur.
- vii. Rüzgar soğutma etkisinin durgun hava koşullarına göre panel verimine olan etkisi incelendiğinde yıl boyunca rüzgarın soğutma etkisindeki panel veriminin yaklaşık %4,8 fazla olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla rüzgarın soğutma etkisindeki panellerin daha fazla elektrik enerjisi ürettiği bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Abdeen, E., Orabi, M., Hasaneen, E. 2017.** Optimum tilt angle for photovoltaic system in desert environment. *Solar Energy*.
- Abiola-Ogedengbe, A., Hangan, H., Siddiqui, K. 2015.** Experimental investigation of wind effects on a standalone photovoltaic (PV) module. *Renewable Energy*, 78:657-665.
- Akhsassi, M., El Fathi, A., Erraissi, N., Aarich, N., Bennouna, A., Raoufi, M., Outzourhit, A. 2018.** Experimental investigation and modeling of the thermal behavior of a solar PV module. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 180:271-279.
- Aly, A.M. 2016.** On the evaluation of wind loads on solar panels: The scale issue. *Solar Energy*, 135:423-434.
- Anonim, 2017.** Renewable Energy. <http://www.intmarketing.org>-(Erişim Tarihi: 2017).
- Anonim, 2018.** Power Data Access Viewer. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>-(Erişim Tarihi: 2018).
- Ba, M., Ramenah, H., Tanougast, C. 2018.** Forseeing energy photovoltaic output determination by a statistical model using real module temperature in the north east of France. *Renewable Energy*, 119:935-948.
- Babatunde, A.A., Abbasoglu, S., Senol, M. 2018.** Analysis of the impact of dust, tilt angle and orientation on performance of PV plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90:1017-1026.
- Bakirci, K. 2012.** General models for optimum tilt angles of solar panels:Turkey case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Bertrand, C., Housmans, C., Leloux, J., Journee, M. 2018.** Solar irradiation from the energy production of residential PV systems. *Renewable Energy*, 125:306-318.
- Chandra, S., Agrawal, S., Chauhan, D.S. 2018.** Soft computing based approach to evaluate the performance of solar PV module considering wind effect in laboratory condition. *Energy Reports*, 4:252-259.
- Chiou, J.P., and El-Naggar, M.M. 1986.** Optimum slope for solar insolation on flat surface tilted toward the equator in heating season.*Solar Energy*, 36(5):471-478.
- Figgis, B., Nouviaire, A., Wubulikasimu, Y., Javed, W., Guod, B., Ait-Mokhtarc, A., Belarbi, R., Ahzi, S., Rémond, Y., Ennaoui, A. 2018.** Investigation of factors affecting condensation on soiled PV modules. *Solar Energy*, 159:488-500.
- Goverde, H., Goossens, D., Govaerts, J., Dubey, V., Catthoor, F., Baert, K., Poortmans, J., Driesen, J. 2015.** Spatial and temporal analysis of wind effects on PV module temperature and performance. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 11:36-41.

Gülay, A.N. 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Geleceği ve Avrupa Birliği ile Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi-Sosyal Bilimleri Enstitüsü-İşletme Ana Bilim Dalı, İzmir.

Hafez, A.Z., Soliman, A., El-Metwally, K.A., Ismail, I.M. 2017. Tilt and azimuth angles in solar energy applications - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77:147-168.

Hsu, S.T., Wu, T.C. 2017. Simulated wind action on photovoltaic module by non-uniform dynamic mechanical load and mean extended wind load. *Energy Procedia*, 130:94-101.

Jacobson, M.Z., Jadhav, V. 2018. World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels. *Solar Energy*, 169:55-66.

Jiang, H., Lu, L., Sun, K. 2011. Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) modules. *Atmospheric Environment*, 45:4299-4304.

Jiang, Y., Lu, L. 2015. A study of dust accumulating process on solar photovoltaic modules with different surface temperatures. *Energy Procedia*, 75:337-342.

Jiang, Y., Lu, L., Lu, H. 2016. A novel model to estimate the cleaning frequency for dirty solar photovoltaic (PV) modules in desert environment. *Solar Energy*, 140:236-240.

Jubayer, C.M., Hangan, H., Wind, J. 2016. A numerical approach to the investigation of wind loading on an array of ground mounted solar photovoltaic (PV) panels. *Journal of Wind Eng. and Ind. Aerodyn.*, 153:60-70.

Kaddoura, T.O., Ramli, M.A.M., Al-Turki, Y.A. 2016. On the estimation of the optimum tilt angle of PV panel in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Kaldellis, J.K., Kapsali, M., Kavadias, K.A. 2014. Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece. *Renewable Energy*, 66:612-624.

Kaplani, E., Kaplanis, S. 2014. Thermal modelling and experimental assessment of the dependence of PV module temperature on wind velocity and direction, module orientation and inclination. *Solar Energy*, 107:443-460.

Lay-Ekuakille, A., Ciaccioli, A., Griffo, G., Visconti, P., Andria, G. 2018. Effects of dust on photovoltaic measurements: A comparative study. *Measurement*, 113:181-188.

Lee, K.Y., Chung, C.Y., Huang, B.J., Kuo, T.J., Yang, H.W., Cheng, H.Y., Hsu, P.C., Li, K. 2017. A novel algorithm for single-axis maximum power generation sun trackers. *Energy Conversion and Management*. 149:543-552.

- Lu, H., Zhao, W. 2018.** Effects of particle sizes and tilt angles on dust deposition characteristics of a ground-mounted solar photovoltaic system. *Applied Energy*, 220:514-526.
- Nadia, A.L.R., Isa, N.A.M., Desa, M.K.M. 2018.** Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 82:2548-2569.
- Meral, M.E., Dinçer, F. 2011.** A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15:2176-2184.
- Ozbay, H., Karafil, A., Onal, Y., Kesler, M., Parmaksiz, H. 2017.** The monitoring of monthly, seasonal and yearly optimum tilt angles by raspberry pi card for Bilecik city, Turkey. *Energy Procedia*, 113:311-318.
- Paudyal, B.R., Shakya, S.R. 2016.** Dust accumulation effects on efficiency of solar PV modules for off grid purpose: A case study of Kathmandu. *Solar Energy*, 135:103-110.
- Piedra, P.G., Llanza, L.R., Moosmüller, H. 2018.** Optical losses of photovoltaic modules due to mineral dust deposition: Experimental measurements and theoretical modeling. *Solar Energy*, 164:160-173.
- Raptis, P.I., Kazadzis, S., Psiloglou, B., Kouremeti, N., Kosmopoulos P., Kazantzidis A. 2017.** Measurements and model simulations of solar radiation at tilted planes, towards the maximization of energy capture. *Energy*.
- Said, S.A.M., Walwil, H.M. 2014.** Fundamental studies on dust fouling effects on PV module performance. *Solar Energy*, 107:328–337.
- Said, S.A.M., Hassan, G., Walwil, H.M., Al-Aqeeli, N. 2018.** The effect of environmental factors and dust accumulation on photovoltaic modules and dust accumulation mitigation strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82:743-760.
- Schwingshackl, C., Petitta, M., Wagner, J.E., Belluardo, G., Moserc, D., Castella, M., Zebisch, M., Tetzlaff, A. 2013.** Wind effect on PV module temperature: Analysis of different techniques for an accurate estimation. *Energy Procedia*, 40:77-86.
- Skoplaki, E., Boudouvis, A.G., Palyvos, J.A. 2008.** A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92: 1393-1402.
- Sumathi, V., Jayapragash, R., Bakshi, A., Akella, P.K. 2017.** Solar tracking methods to maximize PV system output – A review of the methods adopted in recent decade. *Renewable and Sustainable Reviews*.
- Tsuno, Y., Hishikawa, Y., Kurokawa, K. 2009.** Modeling of the I-V curves of the PV modules using linear interpolation/extrapolation. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93:1070-1073.

Vasel, A., Iakovidis, F. 2017. The effect of wind direction on the performance of solar PV plants. *Energy Conversion and Management*. 153:455-461.

Xu, R., Ni, K., Hu, Y., Si, J., Wen, H., Yu, D. 2017. Analysis of the optimum tilt angle for a soiled PV panel. *Energy Conversion and Management*, 148:100-109.

EKLER

EK 1 Matlab Kodları

EK 1. Matlab Kodları

% Meteoroloji aylık ortalama radyasyon

r1=3.6*1.932;

r2=3.6*2.444;

r3=3.6*3.444;

r4=3.6*4.787;

r5=3.6*5.917;

r6=3.6*6.717;

r7=3.6*6.369;

r8=3.6*6.13;

r9=3.6*4.598;

r10=3.6*3.092;

r11=3.6*2.194;

r12=3.6*1.667;

% Rüzgar

w=1; Br=0.004; nt=0.16; Tr=25; Ts=5503.35;

% Enlem

ph=40.1;

% Günler

D=1:1:365;

% Solar constant

Gsc=1367;

% Delta, ws, H0 hesabı

for i=1:365

 delta(i)=23.45*sind((360*(D(i)+284)/365));

 ws(i)=acosd(-tand(delta(i))*tand(ph));

 H0(i)=0.0864*((Gsc/pi)*(1+(0.033*cosd(360*D(i)/365)))*(cosd(ph)*cos

 d(delta(i))*sind(ws(i))+(2*pi*ws(i)/360)*sind(ph)*sind(delta(i))));

end

% Monthly average daily extraterrestrial radiation on a horizontal surface


```

AverageH0=zeros(12,1);
AverageH0(1)=sum(H0(1:31))/31;
AverageH0(2)=sum(H0(32:59))/28;
AverageH0(3)=sum(H0(60:90))/31;
AverageH0(4)=sum(H0(91:120))/30;
AverageH0(5)=sum(H0(121:151))/31;
AverageH0(6)=sum(H0(152:181))/30;
AverageH0(7)=sum(H0(182:212))/31;
AverageH0(8)=sum(H0(213:243))/31;
AverageH0(9)=sum(H0(244:273))/30;
AverageH0(10)=sum(H0(274:304))/31;
AverageH0(11)=sum(H0(305:334))/30;
AverageH0(12)=sum(H0(335:365))/31;
for i=1:365
    a(i)=0.103+0.000017*100+0.198*cosd(ph-delta(i));
    b(i)=0.533-0.165*cosd(ph-delta(i));
end
% İzafi güneşlenme süresi n/N hesabı
G=zeros(365,1);
G(1:31)=0.31;
G(32:59)=0.36;
G(60:90)=0.37;
G(91:120)=0.45;
G(121:151)=0.63;
G(152:181)=0.71;
G(182:212)=0.79;
G(213:243)=0.78;
G(244:273)=0.71;
G(274:304)=0.58;
G(305:334)=0.49;
G(335:365)=0.37;
for i=1:365

```

```

    H(i)=H0(i)*(a(i)+b(i)*G(i));
end
AverageH=zeros(12,1);
AverageH(1)=sum(H(1:31))/31;
AverageH(2)=sum(H(32:59))/28;
AverageH(3)=sum(H(60:90))/31;
AverageH(4)=sum(H(91:120))/30;
AverageH(5)=sum(H(121:151))/31;
AverageH(6)=sum(H(152:181))/30;
AverageH(7)=sum(H(182:212))/31;
AverageH(8)=sum(H(213:243))/31;
AverageH(9)=sum(H(244:273))/30;
AverageH(10)=sum(H(274:304))/31;
AverageH(11)=sum(H(305:334))/30;
AverageH(12)=sum(H(335:365))/31;
AverageHYearly=sum(AverageH)/12;
% Monthly average daily clearness index
Kt=H./H0;
% Montly average daily diffuse radiation
Hd=H.*(1-1.13*Kt);
AverageHd=zeros(12,1);
AverageHd(1)=sum(Hd(1:31))/31;
AverageHd(2)=sum(Hd(32:59))/28;
AverageHd(3)=sum(Hd(60:90))/31;
AverageHd(4)=sum(Hd(91:120))/30;
AverageHd(5)=sum(Hd(121:151))/31;
AverageHd(6)=sum(Hd(152:181))/30;
AverageHd(7)=sum(Hd(182:212))/31;
AverageHd(8)=sum(Hd(213:243))/31;
AverageHd(9)=sum(Hd(244:273))/30;
AverageHd(10)=sum(Hd(274:304))/31;
AverageHd(11)=sum(Hd(305:334))/30;

```

```

AverageHd(12)=sum(Hd(335:365))/31;
AverageHdYearly=sum(AverageHd)/12;
for i=1:12
    Grafik1(i,1)=AverageH0(i);
    Grafik1(i,2)=AverageH(i);
    Grafik1(i,3)=AverageHd(i);
end
figure(1)
bar(Grafik1);
xlabel('Aylar');
ylabel('Global Güneş Radyasyonu (MJ/m^2-day)');
legend({'Atmosfer dışından gelen radyasyon','Global Radyasyon','Dağılık Radyasyon'});
% Ocak-Haziran Global solar radiation grafiği
% Tilt angle
h=1;
beta=0:h:90;
for i=1:365
    wsunset1(i)=acosd(-tand(delta(i))*tand(ph));
end
for j=1:90/h+1
for i=1:365
    wsunset2(i,j)=acosd(-tand(ph-beta(j))*tand(delta(i)));
end
end
for j=1:90/h+1
    for i=1:365
        wsunset(i,j)=min(wsunset1(i),wsunset2(i,j));
    end
end

for j=1:90/h+1
    for i=1:365

```

```

Rb(i,j)=((cosd(ph-beta(j))*cosd(delta(i))*sind(wsunset(i,j)))...
+((pi/180)*wsunset(i,j)*sind(ph-beta(j))*sind(delta(i)))...
/((cosd(ph)*cosd(delta(i))*sind(wsunset(i,j)))...
+((pi/180)*wsunset(i,j)*sind(ph)*sind(delta(i))));
end
end
rho=0.2;
for j=1:90/h+1
for i=1:365
Ht(i,j)=(H(i)*(1-Hd(i)/H(i))*Rb(i,j))+(Hd(i)*((1+cosd(beta(j)))/2))+(H(i)*rho*((1-
cosd(beta(j)))/2));
end
end
for j=1:90/h+1
AverageHt(1,j)=sum(Ht(1:31,j))/31;
AverageHt(2,j)=sum(Ht(32:59,j))/28;
AverageHt(3,j)=sum(Ht(60:90,j))/31;
AverageHt(4,j)=sum(Ht(91:120,j))/30;
AverageHt(5,j)=sum(Ht(121:151,j))/31;
AverageHt(6,j)=sum(Ht(152:181,j))/30;
AverageHt(7,j)=sum(Ht(182:212,j))/31;
AverageHt(8,j)=sum(Ht(213:243,j))/31;
AverageHt(9,j)=sum(Ht(244:273,j))/30;
AverageHt(10,j)=sum(Ht(274:304,j))/31;
AverageHt(11,j)=sum(Ht(305:334,j))/30;
AverageHt(12,j)=sum(Ht(335:365,j))/31;
AverageHtwinter(j)=(AverageHt(12,j)+AverageHt(1,j)+AverageHt(2,j))/3;
AverageHtspring(j)=(AverageHt(3,j)+AverageHt(4,j)+AverageHt(5,j))/3;
AverageHtsummer(j)=(AverageHt(6,j)+AverageHt(7,j)+AverageHt(8,j))/3;
AverageHtautumn(j)=(AverageHt(9,j)+AverageHt(10,j)+AverageHt(11,j))/3;
AverageHtyearly(j)=sum(Ht(1:365,j))/365;
end

```

```

figure(2)
plot(beta,AverageHt(1,:),'-');
hold on
plot(beta,AverageHt(2,:),'-');
plot(beta,AverageHt(3,:),'--');
plot(beta,AverageHt(4,:),'-.');
plot(beta,AverageHt(5,:),'*');
plot(beta,AverageHt(6,:),'-');
xlabel('Eğim açısı');
ylabel('Global güneş radyasyonu (MJ/m^2-day)');
legend({'Ocak','Şubat','Mart','Nisan','Mayıs','Haziran'});
figure(3)
plot(beta,AverageHt(7,:),'-');
hold on
plot(beta,AverageHt(8,:),'-');
plot(beta,AverageHt(9,:),'--');
plot(beta,AverageHt(10,:),'-.');
plot(beta,AverageHt(11,:),'*');
plot(beta,AverageHt(12,:),'-');
xlabel('Eğim açısı');
ylabel('Global güneş radyasyonu (MJ/m^2-day)');
legend({'Temmuz','Ağustos','Eylül','Ekim','Kasım','Aralık'});
% HOptimum ve Betaoptimum
for i=1:12
    [Hopt(i), idx(i)]=max(AverageHt(i,:));
    betaopt(i)=-1+idx(i);
end
% Seasonal average

winter=(betaopt(12)+betaopt(1)+betaopt(2))/3;
spring=(betaopt(3)+betaopt(4)+betaopt(5))/3;
summer=(betaopt(6)+betaopt(7)+betaopt(8))/3;

```

```

autumn=(betaopt(9)+betaopt(10)+betaopt(11))/3;
seasonal(1)=winter; seasonal(2)=winter; seasonal(3)=spring; seasonal(4)=spring;
    seasonal(5)=spring; seasonal(6)=summer;
seasonal(7)=summer; seasonal(8)=summer; seasonal(9)=autumn; seasonal(10)=autumn;
    seasonal(11)=autumn; seasonal(12)=winter;

% yearly average
    Yearly=sum(betaopt(:))/12;
for i=1:12
    Yearlyy(i)=Yearly;
end
figure(4)
plot(1:12,betaopt,'-');
hold on
plot(1:12,seasonal,'-');
plot(1:12,Yearlyy,'-');
xlabel('Aylar');
ylabel('Eğim Açısı');
legend({'Optimum','Mevsimlik ortalama','Yıllık ortalama'});
Hoptseasonal(1)=AverageHt(1,floor(winter));
Hoptseasonal(2)=AverageHt(2,floor(winter));
Hoptseasonal(3)=AverageHt(1,floor(spring));
Hoptseasonal(4)=AverageHt(4,floor(spring));
Hoptseasonal(5)=AverageHt(5,floor(spring));
Hoptseasonal(6)=AverageHt(6,floor(summer));
Hoptseasonal(7)=AverageHt(7,floor(summer));
Hoptseasonal(8)=AverageHt(8,floor(summer));
Hoptseasonal(9)=AverageHt(9,floor(autumn));
Hoptseasonal(10)=AverageHt(10,floor(autumn));
Hoptseasonal(11)=AverageHt(11,floor(autumn));
Hoptseasonal(12)=AverageHt(12,floor(winter));
HYearly=sum(Hoptseasonal);
for i=1:12

```

```

    Grafik2(i,1)=Hopt(i);
    Grafik2(i,2)=Hoptseasonal(i);
    Grafik2(i,3)=AverageHt(i,floor(Yearly));
end
figure(5)
bar(Grafik2);
xlabel('Aylar');
ylabel('Global güneş radyasyonu (MJ/m^2-day)');
legend({'Optimum','Mevsimlik ortalama','Yıllık ortalama'});
figure(6)
plot(beta,AverageHtyearly,'-');
hold on
plot(beta,AverageHtwinter,'-');
plot(beta,AverageHtspring,'-');
plot(beta,AverageHtsummer,'*');
plot(beta,AverageHtautumn,'-');
xlabel('Eğim açısı');
ylabel('Global güneş radyasyonu (MJ/m^2-day)');
legend({'Yıllık','Kış','İlkbahar','Yaz','Sonbahar'});
%Enerji ve verim
%Elektrik enerjisi
E(1)=Hopt(1)*31;
E(2)=Hopt(2)*28;
E(3)=Hopt(3)*31;
E(4)=Hopt(4)*30;
E(5)=Hopt(5)*31;
E(6)=Hopt(6)*30;
E(7)=Hopt(7)*31;
E(8)=Hopt(8)*31;
E(9)=Hopt(9)*30;
E(10)=Hopt(10)*31;
E(11)=Hopt(11)*30;

```

$$E(12)=Hopt(12)*31;$$

$$E_{winter}=Hoptseasonal(12)*31+Hoptseasonal(1)*31+Hoptseasonal(2)*28;$$

$$E_{spring}=Hoptseasonal(3)*31+Hoptseasonal(4)*30+Hoptseasonal(5)*31;$$

$$E_{summer}=Hoptseasonal(6)*30+Hoptseasonal(7)*31+Hoptseasonal(8)*31;$$

$$E_{autumn}=Hoptseasonal(9)*30+Hoptseasonal(10)*31+Hoptseasonal(11)*30;$$

$$E_{yearly}=AverageHt(1,floor(Yearly))*31+AverageHt(2,floor(Yearly))*28+AverageHt(3,floor(Yearly))*31... \\ +AverageHt(4,floor(Yearly))*30+AverageHt(5,floor(Yearly))*31+Aver- \\ ageHt(6,floor(Yearly))*30... \\ +AverageHt(7,floor(Yearly))*31+AverageHt(8,floor(Yearly))*31+Avera- \\ geHt(9,floor(Yearly))*30... \\ +AverageHt(10,floor(Yearly))*31+AverageHt(11,floor(Yearly))*30+Av- \\ erageHt(12,floor(Yearly))*31;$$

% Verim

$$V(1)=E(1)/(max(Ht(1:31,idx(1)))*31);$$

$$V(2)=E(2)/(max(Ht(32:59,idx(2)))*28);$$

$$V(3)=E(3)/(max(Ht(60:90,idx(3)))*31);$$

$$V(4)=E(4)/(max(Ht(91:120,idx(4)))*30);$$

$$V(5)=E(5)/(max(Ht(121:151,idx(5)))*31);$$

$$V(6)=E(6)/(max(Ht(152:181,idx(6)))*30);$$

$$V(7)=E(7)/(max(Ht(182:212,idx(7)))*31);$$

$$V(8)=E(8)/(max(Ht(213:242,idx(8)))*31);$$

$$V(9)=E(9)/(max(Ht(243:273,idx(9)))*30);$$

$$V(10)=E(10)/(max(Ht(274:303,idx(10)))*31);$$

$$V(11)=E(11)/(max(Ht(304:334,idx(11)))*30);$$

$$V(12)=E(12)/(max(Ht(335:365,idx(12)))*31);$$

$$V_{winter}=E_{winter}/(max(union(Ht(335:365,floor(winter)),Ht(1:59,floor(winter))))*90);$$

$$V_{spring}=E_{spring}/(max(Ht(60:151,floor(spring)))*92);$$

$$V_{summer}=E_{summer}/(max(Ht(152:242,floor(summer)))*92);$$

$$V_{autumn}=E_{autumn}/(max(Ht(243:334,floor(autumn)))*91);$$

$$V_{yearly}=E_{yearly}/(max(Ht(1:365,floor(Yearly)))*365);$$

%Rüzgarın PV Panellere Etkisi

Vf(1)=3.22;

Vf(2)=3.42;

Vf(3)=3.30;

Vf(4)=2.93;

Vf(5)=2.68;

Vf(6)=2.82;

Vf(7)=3.36;

Vf(8)=3.41;

Vf(9)=3.04;

Vf(10)=3.02;

Vf(11)=3.03;

Vf(12)=3.23;

Ta(1)=2.60;

Ta(2)=2.96;

Ta(3)=5.57;

Ta(4)=10.43;

Ta(5)=15.22;

Ta(6)=19.43;

Ta(7)=22;

Ta(8)=22.13;

Ta(9)=18.41;

Ta(10)=13.62;

Ta(11)=8.40;

Ta(12)=4.18;

for i=1:12

GuneyTc(i)=Ta(i)+w*(0.32/(8.91+2*Vf(i)))*(Hopt(i));

Guneynowindtemp(i)=Ta(i)+w*(0.32/(8.91))*(Hopt(i));

Guneync(i)=100*nt*(1-Br*(GuneyTc(i)-Tr));

Guneynowindverim(i)=100*nt*(1-Br*(Guneynowindtemp(i)-Tr));

EGuney(i)=Guneync(i)*Hopt(i);

Enowind(i)=Guneynowindverim(i)*Hopt(i);

```
end
figure(7)
plot(1:12,GuneyTc,'-');
xlabel('Aylar');
ylabel('Panel hücre sıcaklığı (C)');
figure(8)
plot(1:12,Guneync,'-');
xlabel('Aylar');
ylabel('PV panelin verimi (%)');
figure(9)
plot(1:12,EGuney,'-');
xlabel('Aylar');
ylabel('PV panelin ürettiği elektrik enerjisi (MJ)');
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Buket Seçil EKER
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 25/03/1991
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Nuri Erbak Lisesi
Lisans : Fırat Üniversitesi,2015

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Turna Yapı Denetim,2016 Şubat-Devam

İletişim (e-posta) : buketsecileker@gmail.com

Yayınları : -

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Buket Seçil EKER
Tez Adı	Güneş Panelleri İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi, Rüzgarın Soğutma Etkisinin Verime Etkilerinin İncelenmesi
Enstitü	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	Makine Mühendisliği
Tez Türü	Yüksek Lisans
Tez Danışman(lar)ı	Doç.Dr.Nurullah ARSLANOĞLU
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input checked="" type="checkbox"/> Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin Veriyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih :19.07.2019

İmza : 