



**GÜNEŞ PANELLERİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN  
TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ: BURSA ÖRNEĞİ**

**Tuğba BİÇEN**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ PANELLERİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN TEKNİK VE  
EKONOMİK ANALİZİ: BURSA ÖRNEĞİ**

**Tuğba BİÇEN**

Prof. Dr. Ali VARDAR  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI


BURSA – 2018  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Tuğba BİÇEN tarafından hazırlanan “GÜNEŞ PANELLERİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ: BURSA ÖRNEĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

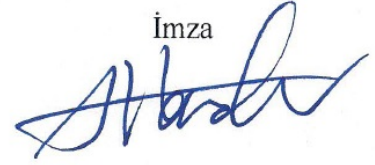
**Başkan :** Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU  
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi,  
Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



**Üye :** Prof. Dr. Ali VARDAR  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



**Üye :** Doç. Dr. Nazmi İZLİ  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



**Yukarıdaki sonucu onaylarım**



**Prof. Dr. Ali BAYRAM**

**Enstitü Müdürü**

**25.12.2018**

**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.**

**20/12/2018**

**Tuğba BİÇEN**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### GÜNEŞ PANELLERİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ: BURSA ÖRNEĞİ

**Tuğba BİÇEN**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Ali VARDAR

Bu çalışmada Bursa ilinde tarım arazilerine veya tarım işletmelerine kurulacak olan 23 kW'lık bir fotovoltaik güneş tesisinden elektrik enerjisi üretiminin teknik ve ekonomik analizi yapılmıştır.

Teknik analizde Bursa Uludağ Üniversitesi (BUÜ) meteoroloji istasyonu, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Osmangazi meteoroloji istasyonu ve Güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) güneş ışınım şiddeti verileri kullanılmıştır. Ayrıca BUÜ meteoroloji istasyonu verileri ile MGM Osmangazi meteoroloji istasyonunun güneş ışınım şiddeti verileri; günlük, aylık ve yıllık ortalamalar olarak karşılaştırılmıştır. Maliyet analizi de polikristal ve monokristal güneş paneli kullanılan iki tesis için; tesis kurulum maliyeti, tesis ekonomik ömrü süresince elde edilecek toplam gelir, yatırımcının kredi alması durumunda faiz ile devlet destek oranları ve sistemin kendini geri ödeme süresi değerlendirilmiştir.

Sonuçlara teknik açıdan bakıldığında monokristal panellerden oluşan tesisten elde edilen yıllık enerji üretimi 28 081 kWh/yıl ile 32 239 kWh/yıl arasında ve polikristal panellerden oluşan tesisten elde edilen yıllık enerji üretimi ise 26 209 kWh/yıl ile 31 886 kWh/yıl arasında olduğu tespit edilmiştir. Tesisin geri ödeme süreleri ise monokristal panellerden oluşan tesiste 1,5 ile 15,4 yıl arasında ve polikristal panellerden oluşan tesiste ise 1,5 ile 15,8 yıl arasında gerçekleşmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir enerji, Güneş enerjisi, Fotovoltaik, Maliyet analizi

**2018, vii + 69 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF ELECTRICITY PRODUCTION WITH SOLAR PANELS: BURSA EXAMPLE**

**Tuğba BİÇEN**

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

**Supervisor:** Prof. Dr. Ali VARDAR

The aim of this study was to examine the technical and economic analysis of electrical energy production from a photovoltaic solar plant of 23 kW, which will be installed in agricultural lands or agricultural enterprises in Bursa.

In the technical analysis the data, which include Bursa Uludag University (BUÜ) meteorological station, General Directorate of Meteorology (MGM) Osmangazi meteorological station and Solar energy potential atlas (GEPA) solar radiation, were used. In addition, the data of BUU Meteorology station and those of solar radiation intensity of MGM Osmangazi Meteorology station were compared daily, monthly and yearly averages. To compare costs that include plant installation cost, total income during the facility's economic life, interest and state support rates in case the investor receives loans and self-repayment period of the system are evaluated between the two facilities which were used in the polycrystalline and monocrystalline solar panels.

As a result, we determined that the annual energy production which were obtained from monocrystalline solar panels was between 28 081 kWh/year and 32 239 kWh/year. In addition those of polycrystalline solar panels was between 26 209 kWh/year and 31 886 kWh/year. The payback period of the facility is between 1.5 and 15.4 years in the monocrystalline panels and between 1.5 and 15.8 years in the polycrystalline panels.

**Key words:** Renewable energy, Solar energy, Photovoltaic, Cost analysis

**2018, vii + 69 pages.**

## TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca aynı zamanda bu tez çalışmasında bana bilgi ve tecrübeleriyle önderlik eden ve bir baba gibi hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen saygı değer hocam Prof. Dr. Ali VARDAR'a ve bu eğitim süreçlerine devam edebilmiş olmamın en büyük etkeni olan, bir abi gibi sevdiğim saygı değer hocam Doç. Dr. Nazmi İZLİ'ye en içten duygularıyla sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beni bu günlere getiren ve desteğiyle her zaman yanımda olan canım annem Huriye BATTAL ve beni her zaman motive eden canım kardeşim Yasin Tolga BİÇEN'e çok teşekkür ederim.

Tuğba BİÇEN

20/12/2018

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Güneş.....	5
2.2. Güneş Enerjisi.....	7
2.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	14
2.4. Güneş Enerjisi Teknolojileri.....	19
2.5. Fotovoltaik Enerji Teknolojisi Çalışma Prensibi.....	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Materyal.....	25
3.1.1. Fotovoltaik tesis ve tesis parçaları.....	25
3.1.2. BUÜ meteoroloji istasyonu.....	29
3.2. Yöntem.....	31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	36
4.1. Saatlik Güneşlenme Şiddeti.....	36
4.2. Güneşlenme Süreleri.....	49
4.3. Genel İstatistik Değerlendirme.....	50
4.4. Güneş Işınım Şiddeti ve Enerjisi.....	51
4.5. Güneş Enerjisi Tesislerinin Elektrik Üretim Değerleri.....	54
4.6. Güneş Enerjisi Tesislerinin Ekonomik Analizi.....	56
5. SONUÇ.....	62
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	69



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
A	Panel yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
BM	Alınan borç miktarı (€)
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
DFO	Dönemsel faiz oranı (%)
E	Güneş panellerinden üretilebilecek enerji (kWh)
E <sub>j</sub>	Eksa Joule
GWh	Gigawatt saat
h	Saat
Hz	Hertz
I	Güneş ışınım şiddeti (W/m <sup>2</sup> )
K	Kelvin
kg	Kilogram
km	Kilometre
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
m <sup>2</sup>	Metrekare
mm	Milimetre
MW	Megawatt
η	Panel verimi
ÖTM	Dönemsel olarak ödenecek taksit miktarı (anapara ve faizi ile birlikte) (€)
t	Güneşlenme süresi (saat)
V	Volt
W	Watt
W <sub>p</sub>	Wattpeak
°C	Santigrat derece
μm	Nanometre
P	Güç
N	Toplam geri ödeme sayısı (ay, yıl vb.)

### **Kısaltmalar Açıklama**

AC	Alternatif akım
BUÜ	Bursa Uludağ Üniversitesi
c-Si	Kristal silikon
DC	Doğru akım
mc-Si	Çok kristalli
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
PV	Fotovoltaik

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Güneş ışığı spektrumu .....	6
Şekil 2.2. Güneş açıları .....	7
Şekil 2.3. Dünya güneş enerjisi potansiyeli .....	8
Şekil 2.4. Türkiye toplam güneş ışınım atlası .....	15
Şekil 2.5. Pn eklemi .....	21
Şekil 2.6. Elektron ve hol akım yönü .....	22
Şekil 2.7. Fotovoltaik çalışma prensibi .....	22
Şekil 2.8. Monokristal güneş paneli .....	22
Şekil 2.9. Polikristal güneş paneli .....	23
Şekil 2.10. PV tesis maliyetlerinin oransal dağılımı .....	24
Şekil 3.1. Fotovoltaik güneş enerjisi tesisi .....	26
Şekil 3.2. Fotovoltaik güneş enerjisi tesisinin genel görünümü.....	27
Şekil 3.3. 15 kW'lık tesis grubuna ait güneş panellerinin bağlantı şeması.....	27
Şekil 3.4. Fotovoltaik güneş tesislerine ait inverterler .....	28
Şekil 3.5. Şebeke bağlantı panosu.....	29
Şekil 3.6. Piranometre .....	30
Şekil 3.7. BUÜ meteoroloji istasyonu.....	30
Şekil 3.8. Program ana giriş sayfası .....	31
Şekil 4.1. Ocak ayı saatlik güneş ışınım şiddeti.....	37
Şekil 4.2. Şubat ayı saatlik güneş ışınım şiddeti .....	38
Şekil 4.3. Mart ayı saatlik güneş ışınım şiddeti .....	39
Şekil 4.4. Nisan ayı saatlik güneş ışınım şiddeti.....	40
Şekil 4.5. Mayıs ayı saatlik güneş ışınım şiddeti .....	41
Şekil 4.6. Haziran ayı saatlik güneş ışınım şiddeti.....	42
Şekil 4.7. Temmuz ayı saatlik güneş ışınım şiddeti .....	43
Şekil 4.8. Ağustos ayı saatlik güneş ışınım şiddeti .....	44
Şekil 4.9. Eylül ayı saatlik güneş ışınım şiddeti.....	45
Şekil 4.10. Ekim ayı saatlik güneş ışınım şiddeti .....	46
Şekil 4.11. Kasım ayı saatlik güneş ışınım şiddeti.....	47
Şekil 4.12. Aralık ayı saatlik güneş ışınım şiddeti .....	48
Şekil 4.13. Bursa ili güneşlenme süreleri.....	49
Şekil 4.14. GEPA verilerine göre güneşlenme süreleri.....	50
Şekil 4.15. Güneş ışınım şiddet dağılımı ve güneş ışınım enerjisi dağılımı .....	51
Şekil 4.16. Güneş ışınım şiddeti değerlerinin karşılaştırılması.....	52
Şekil 4.17. Güneş ışınım enerjisi dağılımı .....	53
Şekil 4.18. Polikristal güneş enerjisi tesisinin elektrik üretim değerleri.....	54
Şekil 4.19. Monokristal güneş enerji tesisinin elektrik üretim değerleri .....	55

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Güneş enerjisi uygulamaları .....	19
Çizelge 3.1. Senaryo tanımlamaları .....	34
Çizelge 4.1. Farklı senaryolara göre sistem kurulum maliyetleri .....	57
Çizelge 4.2. Tesislere ait yıllık enerji üretimi ve yıllık gelirler .....	58
Çizelge 4.3. Sistemlere ait geri ödeme süreleri (yıl).....	60



## 1. GİRİŞ

Günümüzde dünya nüfusu giderek artmaktadır. Bu nüfus artışına bağlı olarak özellikle fosil enerji kaynakları rezervleri giderek azalmakta, zararlı atıklar atmosfere salınmakta ve aynı zamanda küresel iklim değişikliği gibi olaylar ortaya çıkarmaktadır. Dünyanın enerji taleplerini karşılamak için fosil yakıtlara olan bağımlılığı, yüksek CO<sub>2</sub> emisyonlarını, hava kirliliğini ve sera gazlarını da meydana getirmektedir (Dinçer 2011). Birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülke bu olumsuz etkileri belirli sınırlarda tutmak için çeşitli önlemler almakla birlikte iklimsel ve fosil enerji kaynaklı problemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelerek ve verimliliğini arttırarak en aza indirmeye çalışmaktadırlar (Hua ve ark. 2016).

Enerji tanım olarak incelendiğinde, iş yapabilme yeteneği olarak ifade edilmektedir. Günlük hayatımızdaki en temel ihtiyaçlarımızdan biri “iş yapma kapasitesi” olarak tanımlanan enerjidir (Ağaçbiçer 2010). Enerjinin temel bir gereksinim olması nedeniyle günümüz devletleri ilerleyen teknoloji ile var olan yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimini hızlandırma bilincindedirler. Enerjinin her alanda kullanılan bir gereksinim oluşu, fosil enerji kaynaklarının giderek azalması, küresel sorunların artması da bu gelişimi büyük ölçüde etkilemektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda enerji kaynakları değişime uğrayıp uğramadığına göre iki şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar rezervi kısa sürede yenilenemeyen fosil enerji kaynakları (petrol, taş kömürü, linyit, nükleer enerji vs.) ve yenilenebilir enerji olarak tanımlanan rezervi kısa sürede yenilenebilen enerji kaynaklarıdır (Yavuzcan 1994). Yenilenebilir enerji; güneş, rüzgar, biyokütle, hidrolik ve jeotermal enerji gibi modern teknolojileri kapsamaktadır (Martinot ve ark. 2002).

Enerji, çevre ve sürdürülebilir kalkınma birbirleriyle oldukça yakın ilişki içerisinde oldukları için ve bunların sürekliliğinin sağlanması için;

- *Enerji kaynaklarından etkin bir şekilde yararlanılmalıdır,*
- *Sanayi, ulaştırma ve konut sektörlerinde özellikle enerji verimliliği artırılmalıdır ve*
- *Fosil yakıt kullanımına ilişkin karbon ve yakıt vergileri gibi birçok önlem alınmalıdır* (Dinçer 2002, Selici ve ark. 2005).

Yenilenebilir enerjiye küresel olarak bakıldığında fosil yakıtlardan ve sanayiden gelen enerji kaynaklı karbondioksit emisyonları, dünya genelinde kömür kullanımının azalması, enerji verimliliğinin artması ve yenilenebilir enerji kullanımının gelişmesiyle 2016 yılında neredeyse sabit kalmıştır (Anonim 2017). Gelişmiş ve gelişmekte olan devletlerin yenilenebilir enerji politikalarını uygulamaya geçirerek alt yapılarını sağlamlaştırdığı gözlemlenmektedir. Yenilenebilir enerji, 2016 yılında toplam küresel enerji tüketiminin yaklaşık %18,2'sini oluştururken, modern yenilenebilir enerji yaklaşık %10,4'ünü oluşturmuştur (Anonim 2018). Son dönemlerde enerji sektörünün bir parçası olan yenilenebilir enerji kapasitesinde büyük artışlar görülmektedir. Özel sektörler tarafından yapılan çalışmalar ile de bu kapasite artışı desteklenmektedir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Almanya, Çin ve Hindistan gibi devletler yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını özel sektör üzerinden teşvik etmekte ve bu çerçevede protokoller imzalamakta ve çalışma planları oluşturmaktadırlar (Anonim 2016).

Ülkemiz fosil enerji kaynakları konusunda fakir bir ülke olsa da yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Ancak enerji konusunda ithalat bağımlılığı da devam etmektedir (Gençoğlu 2002). Son dönemlerde ülkemizde yenilenebilir enerji kullanımı devlet ve özel sektör politikaları ile desteklenmektedir. Ülke genelinde enerji konusunda bilinç düzeyinin artması ve enerji üretim, dağıtım ve tüketiminin doğru uygulamalarla sağlanması için “Enerji Verimliliği Kanunu” çıkarılmıştır (2007). Daha sonrasında da “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi” 2012 yılında yürürlüğe girmiştir (Anonim 2016a). Enerji politikalarının esas amacı, en az maliyetle giderek artan nüfusun ve ekonominin enerji gereksinimlerini karşılamaktır (Çapık ve ark. 2012).

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu gücü 2007’de 13 607 MW iken 2017 yılına gelindiğinde 38 908 MW’a yükselmiştir (Anonim 2018a). 30 Haziran 2018 sonu itibariyle ülkemizin toplam elektriksel gücü 87 138 MW’dır. Bu değerin 46 443 MW’lık kısmını yenilenebilir enerji kaynaklı oluşturmuştur (Anonim 2018b).

Dünya’da ve ülkemizde yenilenebilir enerjiden yaygın olarak elektrik üretiminde faydalanılmaktadır. Güneş ve rüzgar enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en öne çıkan konulardır. Gelişmiş ülkeler, özellikle Çin ve ABD yüksek nüfusları sebebiyle aşırı enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> salınımını azaltmak için güneş ve rüzgar enerjisine yoğunlaşmışlardır. Çin’de şebekeye entegre rüzgar, güneş ve hidroelektrik tesislerden enerji üretimi sırasıyla 2014 yılında yaklaşık olarak 97 milyon kW, 25 milyon kW ve 305 milyon kW olarak gerçekleşmiştir (Zhang ve ark. 2017a). Yenilenebilir enerji tesislerinin elektrik şebekesine dahil edilmesi, ABD’de yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin mevcudiyetini arttırmıştır (Tran ve Smith 2017).

Dünya’da güneş enerjisi teknolojilerinde yaşanan ilerlemelerin etkisinde Türkiye’de de bu alanda yapılan çalışmalar hızlanmış durumdadır. Ülkemizde güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretimi 2018 Temmuz ayı sonu itibariyle 4 337 GWh olup kurulu güç ise 4 617 MW’tır (Anonim 2018c). Pek çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de güneş enerjisi tesislerinin diğer yenilenebilir enerji tesisleri ile birlikte desteklenmesine yönelik mekanizmalar bulunmaktadır. Bu destek mekanizmalarının başında da tarımsal destekler, kalkınma ajansları, Küçük ve Orta ölçekli işletmeleri geliştirme ve destekleme idaresi başkanlığı (KOSGEB) vb. organizasyonlar yer almaktadır. Ayrıca AB projeleri kapsamında destek veren Tarımsal ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu (TKDK) bu konuda önemli mekanizmalardan biridir.

Bu tez çalışmasında Bursa ilinde çeşitli teşvik mekanizmaları da dikkate alınarak tarım arazisi veya tarım işletmelerine kurulabilecek fotovoltaik tesislerinden elde edilebilecek elektrik enerjisinin teknik ve ekonomik analizinin yapılması amaçlanmıştır. Bu çerçevede öncelikle bölgenin güneş enerjisi karakteristikleri belirlenmiştir. Daha sonra da örnek bir güneş enerjisi tesisi ele alınarak enerji üretim parametreleri ortaya konulmuştur. Örnek tesiste monokristal ve polikristal güneş panelleri kullanılması durumunda elde edilecek üretim değerleri ile toplam tesis maliyetleri, birim enerji üretim maliyetleri ve tesisin maliyetini geri ödeme süreleri değerlendirilmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Güneş

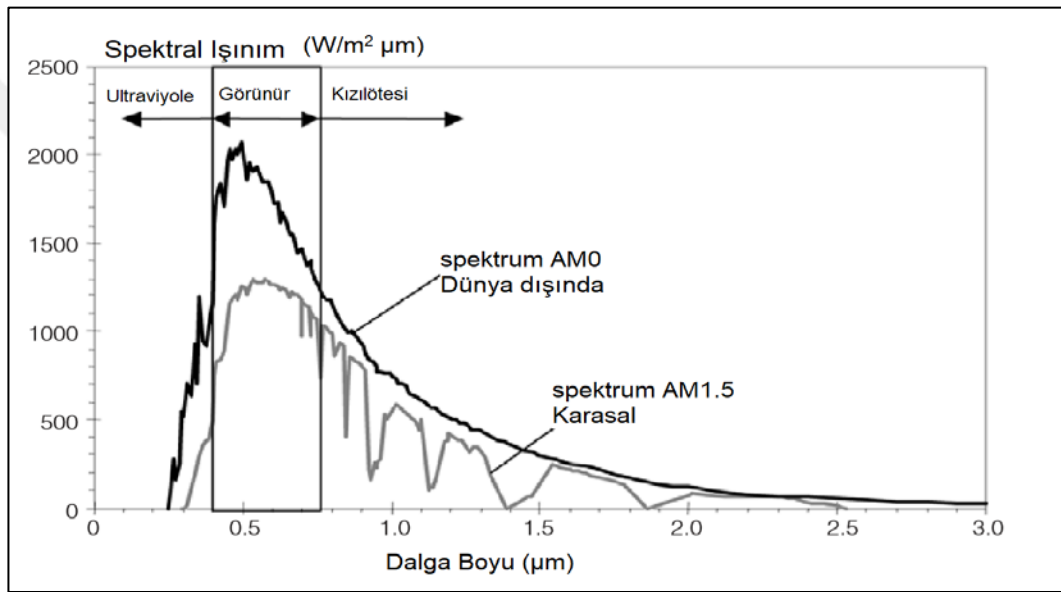
Milyonlarca yıldızdan sadece biri olan güneş, dünyamız için ısı ve ışık kaynağıdır. Güneşin sözlük anlamı “Gezegenlere ve yer yuvarlağına ısı ve ışık veren bir gökcisim” (Anonim 2018d) olarak tanımlansa da aynı zamanda dünyanın temel enerji kaynağıdır. Güneş ışınımı ve ısı ile birlikte rüzgar, hidrolik, okyanus akımları gibi yenilenebilir birçok enerji güneş kökenlidir. Güneş incelendiğinde yapısal, kimyasal, ısıl ve konum olarak bölümlere ayrılabilir. Kimyasal olarak bakıldığında içerisinde oksijen, karbon, kükürt gibi çeşitli atomlar bulunduran güneş, hidrojen ve helyum atomları bakımından zengindir. Güneşin yapısında bulunan yaklaşık %90 oranında H ve %7 oranında He atomunun kimyasal tepkimeleri sonucunda büyük bir enerji açığa çıkmaktadır (Öztürk 2008). Bu enerjinin sebebi güneşin merkezinde gerçekleşen füzyon reaksiyonudur. Güneşi yapısal olarak ele aldığımızda yüzey sıcaklığı yaklaşık 6000 K, kütlesi  $2 \times 10^{30}$  kg, yarıçapı  $7 \times 10^5$  km ve dünyamıza uzaklığı ortalama 149 568 000 km’dir (Esin 2012). Güneş enerjisi şiddeti, dünya atmosferinin hemen dışında yaklaşık olarak  $1370 \text{ W/m}^2$  değerinde olsa da yeryüzüne ulaşan miktar  $0 - 1100 \text{ W/m}^2$ ’dir (Anonim 2018e). Bu durum dünyanın ve güneşin birbirine göre konum ve hareket değişikliğinden kaynaklanmaktadır.

Yer küreye ulaşan güneş enerjisi farklı dalga boylarındaki ışıklardan oluşmaktadır. Genellikle ışınım gücü  $\text{kW/m}^2$  ve enerji miktarı  $\text{kWh/m}^2/\text{yıl}$  birimi ile ifade edilmektedir (Quaschnig 2010). Bu ışınların güneşten yeryüzüne ulaşması ortalama 8 dakika sürmektedir. Farklı dalga boylarındaki elektromanyetik radyasyonun tamamı “Elektromanyetik Güneş Spektrumu” olarak adlandırılmaktadır. Güneş ışınım spektrumu yoğunlukları  $0,1 - 3 \mu\text{m}$  dalga boyları (Öztürk 2008) aralığında değişmektedir.



Elektromanyetik Güneş Spektrumu (Şekil 2.1) dalga boyu aralıklarına göre temel bazı gruplara ayrılır (Anonim 2018f):

- Gama ışınları
- X- ışınları
- Ultraviyole ışınları
- Görünür (visible) ışık
- Kızılötesi (infrared) ışık
- Radyo dalgaları

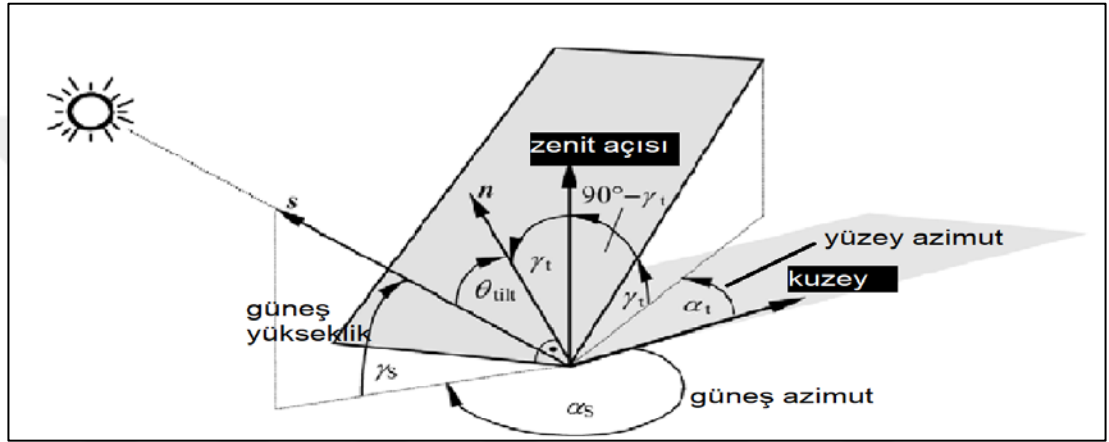


**Şekil 2.1.** Güneş ışığı spektrumu (Quaschnig 2005)

Dünya yüzeyi ile güneşten gelen ışınlar arasında “güneş açıları” olarak adlandırılan bazı açılar bulunmaktadır. Güneş ışınımından daha fazla yararlanmak için hesaplamalarda bu güneş açlarından faydalanılır. Burada söz konusu olan açılar dünyanın ve güneşin konumu ile yakından ilişkilidir.

Güneş açılarını (Şekil 2.2) aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz (Quaschnig 2010):

- Deklinasyon açısı
- Saat açısı
- Enlem açısı
- Zenit açısı
- Güneş yükseklik açısı
- Azimut açısı
- Geliş açısı

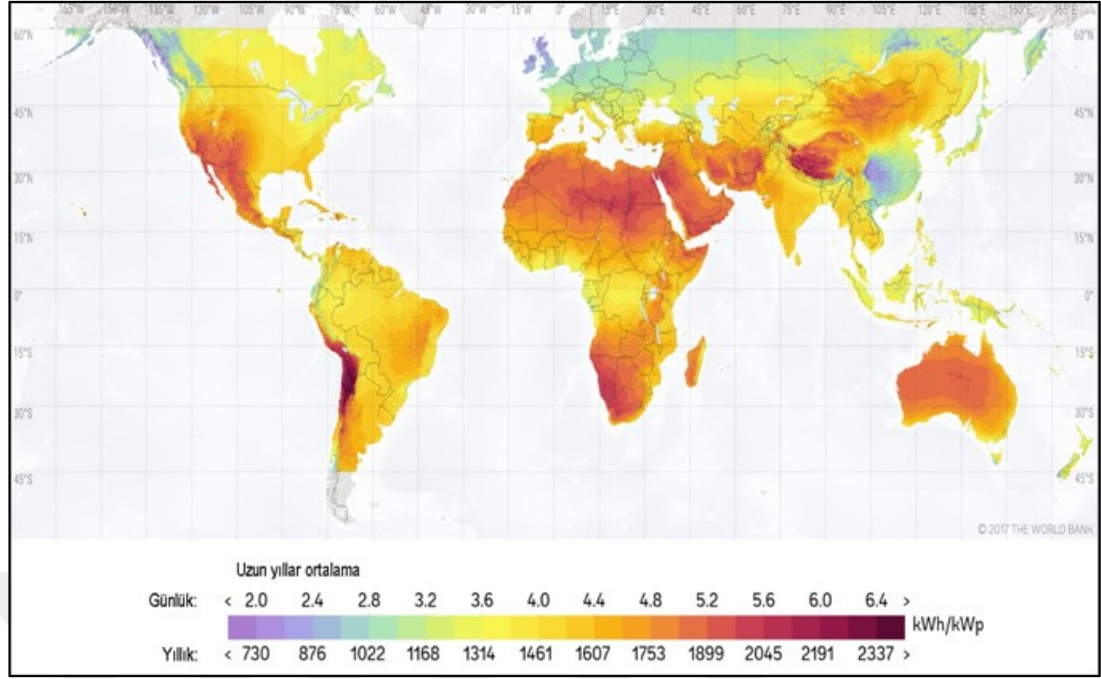


Şekil 2.2. Güneş açıları (Quaschnig 2005)

Toplam güneş ışınımı değerlendirildiğinde ışınım kalitesi ve miktarı gibi özellikler yayma ve soğurmaya bağlı olarak belirlenebilir. Bu durumda hava küre ile etkileşimi sonucu ışınım şiddeti değişiklik gösterir.

## 2.2. Güneş Enerjisi

Güneş, güneş ışınımından doğrudan elektrik enerjisi elde edilebilen, temiz ve uzun vadede tükenmez bir enerji kaynağıdır. Dünyaya yaklaşık olarak yıllık ortalama 5,4 EJ eşdeğeri güneş ışınımı ulaşmaktadır (Boyle 2004). Şekil 2.3’de dünya güneş enerjisi potansiyeli görülmektedir. Güneş enerjisi, yararlı olmakla birlikte bazı sorunları da içerisinde barındırmaktadır. Ünalın (2006)’a göre tüm dünya ülkeleri ondan faydalanabilir ve herhangi bir karmaşık teknoloji gerektirmiyor olmasına karşın güneş enerjisinin şiddeti düşüktür ve sürekli değildir.



**Şekil 2.3.** Dünya güneş enerjisi potansiyeli (GSA 2016)

Renewables Global Status (REN21) raporuna göre yenilenebilir enerjiyi küresel olarak ele aldığımızda, 2017 yılında güneş enerjisi yeni kurulan yenilenebilir enerji kapasitesinin yaklaşık %55'ini oluşturmaktadır (Anonim 2018). Uygulama alanları olarak güneş enerji sistemleri; endüstriyel işletmelerde, fabrikalarda, depo çatılarında, tarım ve hayvancılıkta, elektrik üretiminde, sera ısıtmada, hastanelerde ve sokak lambaları gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

International Renewable Energy Agency (IRENA) istatistiklerine göre fotovoltaik panellerden elektrik üretimi 2016 yılı sonunda 317 673 GWh iken 2017 yılında dünyada fotovoltaik panel elektrik kapasitesi 384 621 MW'a ulaşmıştır (IRENA 2018a). Nüfus yoğunluğu fazla olan Çin, Hindistan, ABD ve ekonomik olarak güçlü olan Almanya, İngiltere gibi devletler güneş enerjisi kurulu güç kapasitesi ve elektrik üretiminde ilk 10 ülke içerisinde yer almaktadırlar. IRENA istatistiklerine göre; 2016 yılında fotovoltaik enerjiden elektrik üretimi 67 865 158 GWh olan Çin Hükümeti birinci sırada yer almaktadır. Çin'i sırasıyla Japonya, ABD, Almanya, İtalya, İspanya, İngiltere, Hindistan, Fransa, ve Avustralya takip etmektedir (IRENA 2018b).

Dünya genelinde fotovoltaik modül fiyatlarına bakıldığında, yaşanan ekonomik sorunlar ve bu konudaki teknolojik çalışmaların ilerlemesi nedeniyle 2010 yılından 2015 yılına kadar gözle görülür bir düşüş yaşanmıştır. 2010 yılında Avrupa da kristal modül 3,13 USD/Wp iken 2015 yılında 0,64 USD/Wp değerine düşmüştür (Anonim 2018g).

Dünya devletlerinin yenilenebilir enerji politikaları incelendiğinde 2000 yılından bu yana yenilenebilir enerjinin birçok alanda kullanılması için hedefler belirlenmiş ve birçok ülke bu hedefleri desteklemiştir. 2014 ve 2015 istatistik raporu yenilenebilir enerji hedeflerine göre, 2005 yılında yenilenebilir enerjinin yaygın olarak kullanılmasına destek veren ülkelerin sayısı 43 iken 2015 yılına gelindiğinde bu sayısı 164'e ulaşmıştır (Anonim 2018h). Ferreira ve ark. (2018)'nin araştırmalarına göre Brezilya'da şebekeye bağlı fotovoltaik tesisler, pilot projeler halinde 1990'ların sonunda üniversite ve araştırma merkezlerine kurulmaya başlanmış ve 2015 yılı sonunda, REN 482 rejimine bağlı olarak 13,4 MW'lık, toplamda 1 675 adet fotovoltaik tesise ulaşılmıştır.

Li ve ark. (2018) Homer yazılımını kullanarak Çin'de 5 farklı bölgede çatıya monte ve şebekeye bağlı fotovoltaik (PV) güç tesislerinin tekno-ekonomik performansını değerlendirmişlerdir. Çalışmada; beş iklim bölgesi için şebeke/PV/pil sistemlerinin bugünkü net maliyet değerlerinin azaldığı, küresel güneş radyasyonu değerleri arttıkça da enerji birim maliyetinin azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca, küresel güneş radyasyonu arttıkça beş lokasyonda da PV dizisi üretimi arttığı saptanmıştır.

Liu ve ark. (2018) tarımsal fotovoltaik (APV) konusunun, yenilikçi bir sanayi devrimini başlatan, umut verici ve trend belirleyici bir teknoloji olduğunu bildirmişlerdir. Yoğunlaştırılmış fotovoltaik (CPV) ve ışınların kırılarak yayılmasına neden olan (difraktif) teknolojiyi birleştirerek, tarımsal fotovoltaik için yeni bir sistem ortaya koymuşlardır. Çalışmada APV sistemlerin ortalama verimliliği %8'in üzerinde ve CPV sistemlerin ise %6,8 olduğu vurgulanmıştır. Tarımsal fotovoltaik sistemlerin genel maliyetleri, silikon güneş panellerine (1,2 \$/W) kıyasla 0,8 \$/Watt civarında bulunmuştur. Cam panellerin maliyeti ise, kristalin silikon panellerin maliyetinin metrekare başına onda biri olan 7,3 \$'dan daha az olduğu saptanmıştır. Entegre fotovoltaik sistem yatırımının geri dönüşünün 10 yıl olacağı tahmin edildiğini bildirmişlerdir.

Nacer ve ark. (2014) Kuzey Cezayir'de bir mandıra çiftliğinde şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin fizibilite analizini yapmışlardır. 26 süt ineğinin bulunduğu çiftlikteki gerçek değerler HOMER yazılımında kullanılmış ve net maliyetler belirlenmiştir. Çalışmada ortaya konulan optimizasyon kriterlerine göre çiftliğin 23,6 kWh/gün olan elektriksel yükünü karşılayan iki optimal sistem belirlenmiştir. Bunlardan ilki 9,7 \$/kWh maliyet ile yenilenebilir elektrik enerjisi sunmaktadır. İkincisi ise yıllık 26,45 MWh fazladan elektrik enerjisi ve sistemin ekonomik ömrü boyunca 554 ton sera gazı azalımı sunmaktadır. Yapılan çalışmada en uygun PV sisteminin; 0,1 \$ / kWh enerji maliyetine, 23 yıl geri ödeme süresine ve 5,75 ton CO<sub>2</sub> tasarruf potansiyeline sahip olduğu bulunmuştur. Bu değerlerin, PV sisteminin kapasitesini 23 kWp olan maksimum uygulanabilir limite kadar artırarak geliştirilebileceği saptamışlardır.

Zhang ve ark. (2017b) çalışmalarında en uygun 11 mandıra çiftliğini seçerek, hem süt hem de yonca üretimi için güç sağlamak amacıyla PV su pompası (PVWP) sistemi ile güneş enerjisi üretim senaryosunu simüle etmişlerdir. Çalışmada, PV su pompası (PVWP) sisteminin süt çiftliği ile etkinliğinin ve iyileştirilmiş ekonomik performansının güneş enerjisi üretimi ile 0,254 kWh/kg enerji tasarrufu sağladığı, süt üretim maliyetini, 1 975 RMB (Çin yuani)/kg ve CO<sub>2</sub> emisyonunu 1,4 kg azalttığı bulunmuştur.

Nacer ve ark. (2015) çalışmalarında hibrit bir (şebekeye bağlı PV/rüzgar enerjisi) tesisin teknolojik ve ekonomik durumunu Ghardaia şehrinde 20 süt ineğinin bulunduğu bir çiftlikte incelemişlerdir. Homer yazılımının kullanıldığı sistemde 3 senaryo önerilmiştir. Her üç senaryo da; günde 18 kWh'lik çiftlik elektrik ihtiyacını karşılamıştır. İkinci senaryo; tesis ömrü boyunca, tesis yatırımlarının toplam maliyetini geri ödeme gereksinimini karşılamıştır. Üçüncü senaryoda ise tesis, güç şebekesi tepe yükünü 70 kW azaltıp, yılda 119 MWh ile şebekeyi besleyerek şebeke güvenilirliğini artırdığı bulunmuştur. HOMER simülasyon yazılımı ile hibrit şebeke / PV / rüzgar (86 PV modülü ve 2 PGE25 rüzgar türbini) kombinasyonun ekonomik olarak en uygun çözüm olduğunu belirtmişlerdir.

Nacer ve ark. (2016) çeşitli yenilenebilir enerji teknolojilerinin Cezayir'deki süt çiftliklerinde kullanımının Cezayir şebekesine 136 GWh/yıl büyüklüğünde bir katkı sağlayabileceğini ve sera gazı emisyonlarının tesis ömrü boyunca 80 milyon ton CO<sub>2</sub> azaltılabileceğini öngörmüştür. Ayrıca kuzey kıyı bölge çiftlikleri için şebekeye bağlı fotovoltaik tesislerin ve yayla çiftlikleri içinse şebekeye bağlı rüzgar enerjisi sistemlerinin daha uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Cossua ve ark. (2014) güney yönelimli fotovoltaik çatılar ile sera içinde güneş radyasyonu dağılımı ve ürün verimliliğine etkilerini araştırmışlardır. Deneyler doğu-batı yönelimli bir sera içinde (toplam 960 m<sup>2</sup> alan) gerçekleştirilmiştir. Burada çatılar tamamen 68 kWp'lik toplam nominal güce sahip çok kristalli silikon monokristal PV modülleriyle kaplanmıştır. PV sistemi, PV sistemi olmayan duruma göre sera içinde güneş ışınımının kullanılabilirliğini %64 oranında azaltmıştır. Plastik ve PV kapakların altındaki azalma, yıllık bazda sırasıyla %46 ve %82'dir. Bitki örtüsünde, PV kapağından en uzak noktada sadece %18'lik bir azalma gözlenmiştir. Bu durum, geleneksel seralarla karşılaştırıldığında domates verimini azaltmış, ancak PV enerjisinden büyük bir gelir elde edildiğini gözlemlemişlerdir.

Tudisca ve ark. (2013) Sicilya'da dört farklı çiftlikteki binalarda bulunan PV sistemlerin ekonomik analizi üzerine yaptıkları çalışmada, PV sistemlerinin tamamen kendi sermayesi ile gerçekleştirildiği durumlar göz önünde bulundurulmuştur. Bu durumda girişimci tarafından tamamen desteklenen yatırım maliyetleri; 5 ve 7,5 yıl arasındaki iskonto edilmiş geri ödeme süresi, minimum bugünkü net değer oranı (62 425 € dan 100 416 €'ya kadar) ve %15,92 ile % 23,63 arasındaki getiri oranı olarak verilmiştir.

Hassanien ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada seraların çevresel kontrol sistemlerinde (soğutma, ısıtma ve aydınlatma) ağırlıklı olarak PV ve güneş kolektörlerinden üretilen enerjinin yanı sıra sulama için PV su pompalamalarında güneş enerjisi uygulama teknolojilerini ele almışlardır. Çalışmada ayrıca güneş enerjisinin tarımsal seralarda kullanımı sırasında karşılaşılan sorunlar ve ekonomik parametreler de tartışılmıştır. Yeşil enerjinin kullanımı ve tarımsal seralarda gıda üretimi için sürdürülebilirlik, bu yüzyılda insanlık için, en önemli zorluklar olduğu saptanmıştır. Bu nedenle, tarımsal seraların ve güneş enerjisi uygulamalarının desteklenmesi için bu teknolojiye yönelik başka deneyler ve çalışmalar yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Tahri ve ark. (2018) Japonya'nın kuzeyinde bulunan Kantō bölgesinde, Tsukuba'daki Ulusal Endüstri Bilim ve Teknoloji Enstitüsünde kurulan dört adet şebeke bağlantılı fotovoltaik tesisin bir yıllık değerlendirmesini sunmuşlardır. Kullanılan iki adet şebeke bağlantılı PV tesisin biri multi-cristal silisyum diğeri ise ince film olan bakır indiyum selenyumdan oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı, şebekeye bağlı PV sisteminin özelliklerini, davranışlarını ve çevresel parametrelere olan duyarlılığını saptamaktır. Şebekeye bağlı dört PV sistem için dış mekan performans değerlendirmesinde çeşitli parametreler kullanılmıştır: Bunlar; performans oranı, sıcaklık kayıpları, son verim, referans verim, AC enerji üretimi ve sistem verimliliğidir. Mc-Si teknolojisine dayanan şebekeye bağlı PV sistemlerin bakır indiyum selenyuma göre sistemlerden çok daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Mc-Si modüllerine dayalı sistemlerin ortalama performans oranları, bakır indiyum selenyum modülüne dayalı sistemlere göre yaklaşık %5,53 daha yüksek ve bakır indiyum selenyumdan %42,85 daha yüksek bir ortalama AC enerji üretimi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Charfi ve ark. (2018) bu çalışmada, belirli bir fotovoltaik panelin deneysel çalışmasını sunmuşlardır. Özellikle günün sıcak saatlerinde performansını iyileştirmeye yardımcı olan ve yüzeyinde toz birikmesini önleyen açık tasarımı sayesinde, kendinden soğutmalı bir sistem oluşturmuşlardır. Bu güneş sistemi, beyaz ve gri olmak üzere iki toprak, iki eğim açısı ( $0^\circ$  ve  $30^\circ$ ) için test edilmiştir. Sonuçlar, fotovoltaik panelin eğimli ve beyaz bir toprağa yerleştirildiğinde daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Bu güneş sisteminin performansını açıklayan bir 3D CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) modeli geliştirilmiş ve sayısal sonuçlar ile deneysel veriler arasında uyum olduğunu saptamışlardır.

Elamim ve ark. (2018) Fas'taki Errachidia şehrinde, şebekeye bağlı üç fotovoltaik sistemin performansı ve ekonomik analizinin (5.94 kWp) değerlendirilmesi amacıyla bir çalışma yapmışlardır. PV sistemlerin tasarımında çeşitli parametreler değerlendirmişlerdir. Bunlar; toplam enerji, nihai verim, referans verim, performans oranı, kapasite faktörü ve aylık sistem verimliliğidir. Üç sistemin ekonomik girdisi, elektrik üretiminin ekonomik getirisine dayanarak belirlenmiştir. En yüksek günlük nihai verim ( $YF = 5.26$  h / gün), performans oranı ( $PR = \% 82$ ), kapasite faktörü ( $CF = \% 21.93$ ), elektriksel maliyet düzeyi ( $LCOE = 0.068$  €/ kWh) ve geri ödeme ( $PB = 12$ ), pc-Si solar modülü tarafından elde etmişlerdir. Bu nedenle, bu PV sistem teknolojisi, Fas'ta gelecekteki araştırma projeleri için önermişlerdir.

Zhang ve ark. (2018), bu çalışmada güneş enerjili su ısıtma sisteminin tekno-ekonomik fizibilitesi üzerine sistematik bir inceleme ve meta-analiz yürütmüşlerdir. Konut sektörüne ek olarak, güneş enerjili su ısıtma sisteminin (SWHS) tarım ve sanayi sektörlerinde de etkili olduğunu vurgulamışlardır. SWHS'nin teknik incelemeleri çok fazla olmasına rağmen ekonomik canlılık analizlerinin çok daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Sonuçlar; 9 negatif değişken (boşaltılan tüp toplayıcı, toplayıcıların sayısı / alanı, ek yakıt olarak dizel yakıt kullanımı, radyasyon, özel bölge, konut sektörü, Avrupa'da yapılan sayısal tahmin ve çalışma) ve 7 olumlu etki (tank suyu) dâhil olmak üzere 16 önemli değişkenin meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

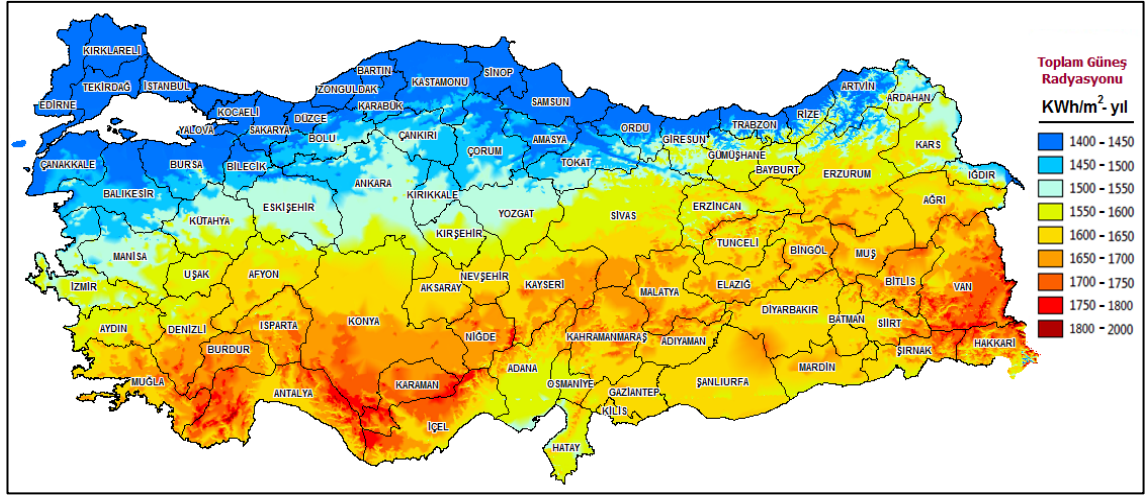


Korsavi ve ark. (2018) Kashan'da kurulu 5 kW gücündeki 14 çatı üstü PV sisteminin, enerji ve ekonomik performansı, toplam yıllık enerji üretimi ve simülasyonunu değerlendirmiştir. Tesislerin performans oranları ortalama olarak %68 ve devlet destekleri olmasına rağmen tesislerden elde edilen verilerin bir kaçında olumsuz sonuçlar gözlemlenmiştir. Bu durumda her ülkenin güneş enerjisi potansiyelinin farklı olması, panel tipi, malzemesi, kapasitesi, enflasyon oranı ve ülke politikaları gibi birçok faktörün geri ödeme dönemlerinde büyük bir fark yaratabileceği değerlendirilmiştir.

Al-Waeli ve ark. (2018), bu çalışmada bazik sıvı olarak nanofluid içeren bir şebeke bağlantılı fotovoltaik termal (GCPVT) sistemin tekno-ekonomik değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma, PV/T'nin elektrik ve termal performansına odaklanmaktadır. Bu sistem kurulmuş, test edilmiş ve UKM, Bangi'deki yeşil inovasyon ve teknoloji parkında veriler toplanmıştır. Değerlendirmenin sonuçları, GCPVT sisteminin yıllık verim faktörü ve kapasite faktörü (128.34–183.75) kWh/kWp ve (%17.82-25.52) olduğunu göstermiştir. Maliyeti, geri ödeme süresi ve enerji verimliliği sırasıyla 7,96 \$/kWh, 7-8 yıl ve %14,25'dir.

### **2.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi**

Türkiye yenilenebilir enerjiyi destekleyen ülkeler arasındadır. Türkiye’de elektrik üretimi kurulu gücü incelendiğinde toplam kurulu güç içerisinde yenilenebilir enerjinin payı 2003 yılında %35,5 olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 2010 yılında %35 ve 2017 yılında ise %45,7 olarak gerçekleşmiştir. 2017 yılı toplam kurulu güç değeri 85 200 MW’tır. Bu orana güneş enerjisinin katkısı 3 421 MW’tır (Anonim 2018). Türkiye’nin toplam güneş ışınımı Şekil 2.4’te verilmiştir.



**Şekil 2.4.** Türkiye toplam güneş ışınım atlası (YEGM 2018)

Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2 741 saat, günlük olarak bakıldığında ortalama 7,5 saattir ve yıllık gelen güneş ışınım şiddeti 1 527 kWh/m<sup>2</sup>yıl olup günlük ortalama 4,18 kWh/m<sup>2</sup>gün olarak tespit edilmiştir (Anonim 2018i). Ayrıca Konya Kızören de 22,5 MW kapasiteli Türkiye'nin en büyük güneş enerji santrali bulunmaktadır. Türkiye'de enerji verimliliğine yönelik strateji ve planlamalar son dönemlerde giderek daha da ön plana çıkmaktadır. 2007 yılından 2017 yılına kadar birçok düzenleme yapılmıştır.

Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Anonim 2018j):

- *Enerji Kaynakları ve Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelikler*
- *Binalarda Enerji Performansı ve Ulaşımında Enerji Verimliliğinin arttırılmasına ilişkin esaslar*
- *KOSGEB Destek Programları*
- *Ulusal İklim Değişikliği Stratejileri Belgesi*
- *Destekler, Yetki Belgesi ve Eğitim Hakkında Tebliğler*
- *Enerji Verimliliği Strateji Belgesi*
- *10. Kalkınma Planı*
- *Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı*

Ulusal Enerji Eylem Planı içerisinde tarım sektörüne ait enerji verimliliği önlemleri de alınmıştır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Anonim 2018j):

- *Traktörlerin ve Biçerdöverlerin Enerji Verimlilikleri ile Yenilenmesinin Özendirilmesi*
- *Enerji Verimli Sulama Yöntemlerine Geçilmesi*
- *Tarımsal Üretimde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Özendirilmesi*
- *Biyokütle Elde Etmek Amacıyla Tarım Yan Ürün ve Atık Potansiyelinin Belirlenmesi ve Kullanımının Teşvik Edilmesi*
- *Su Ürünleri Sektöründe Enerji Verimliliğinin Desteklenmesi*

Ülkemizde fotovoltaik sistemden elektrik üretimi ve maliyet analizi ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Çiftçi ve ark. (2014) yaptıkları araştırmada, Burdur'da yaşayan 4 kişilik bir ailenin elektrik tüketiminin fotovoltaik paneller ile elektrik üreten bir tesisten karşılanmasının ekonomik analizini ele almışlardır. Çalışmada elektrik şirketinden alınan verilere göre ailenin yılda 2 882 kWh elektrik tükettiği ve şirkete toplamda 997 TL ödediği bildirilmiştir. Ailenin kullandığı PV tesis ise günlük ortalama 8-10 kW elektrik üretmektedir ve tesis maliyeti 11 136 TL'dir. Araştırmada, tasarlanan sistemin yatırım maliyetini geri ödeme süresi 11 yıl olarak elde etmişlerdir.

Üçgül ve ark. (2014) çalışmalarında, Süleyman Demirel Üniversitesinde 29 adet uygun olan ve 25 m<sup>2</sup> çatı alanına sahip fakülte bina çatılarına 25 kW'lık elektrik enerjisi kapasitesine sahip güneş panel sistemi kurulması durumunda bir binadan yıllık 39 394 kW enerji sağlanabilirliğini belirlemişlerdir. Söz konusu tesisin kampüsün toplam elektrik giderleri içerisinde %15'lik kısmı karşılaması öngörülmüştür. Yatırımın geri dönüş süresi ise yaklaşık 14 yıl olarak bulmuşlardır.

Öztürk (2003) çalışmasında karavanlarda güneş paneli ile elektrik üretiminin analizini yapmıştır. Çalışmada bir karavanın günlük toplam enerji ihtiyacının 1 kWh/gün olduğu hesaplanmıştır. Karavandaki güneş panelinin ortalama günlük 5 saat güneş ışınımı alması durumunda üreteceği enerji 170 Wh/gün olarak bulunmuştur. Kullanılan akünün %70 verimle depolama yapması durumunda 1 680 Wh'lik enerji elde edilebileceği bildirilmiştir.

Büyükzeren ve ark. (2015) RETScreen programını kullanarak yaptıkları çalışmada, Konya Meram Tıp Fakültesi bina çatısına uygulanabilecek güneş enerji santralinin enerji ve mali analizini incelemişlerdir. Yapılan bu incelemede 2 senaryo üretilmiştir. 900 kW kurulu güce sahip sistemde senaryo 1 için, sera gazı emisyon azalım desteğinin alınmadığı kabul edilmiş ve sistemin geri ödeme süresi 5,1 yıl olarak bulunmuştur. Senaryo 2 için ise sera gazı emisyon azalım desteği 15\$/ton CO<sub>2</sub> olarak kabul edilmiş ve sistemin geri ödeme süresi 4,8 yıl olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu sistem ile Meram Tıp Fakültesi Hastanesinin yıllık elektrik ihtiyacının ortalama %16'sının karşılanabileceği hesaplanmışlardır.

Taşkın ve Vardar (2018) Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Amfi derslik binası çatısına PV-SOL yazılımının kullanılması ile 8 farklı senaryo oluşturmuşlardır. Ekonomik analiz ile geri ödeme sürelerinin yaklaşık 10 ile 11 yıl aralığında değiştiğini saptamışlardır. Bu çalışmanın geliştirilmesiyle Uludağ Üniversitesinin tüm ihtiyacını karşılamak adına diğer fakültelerin çatıları içinde uygulanmasının yararlı olacağı sonucuna varılmıştır.

Arslan (2018) yaptığı çalışmada monokristal ve polikristal panellerin Tekirdağ şartlarında verimliliklerini incelemiştir. Araştırma kapsamında gelen ışınım miktarı, akım, gerilim, panelin ürettiği güç parametreleri üzerinden verimleri karşılaştırılmış ve sonuca ulaşılmıştır. Teorik olarak % 15 ile % 18 oranında verime sahip olan monokristal panel, Tekirdağ iklim şartları altında ortalama %15 verim göstermiştir. Teorik olarak verimi % 14 ile %16 arasında değişen polikristal panel ise Tekirdağ iklim şartları altında %14,9 verimli bulunmuştur.

Yılmaz ve ark. (2010) yaptıkları araştırmada HOMER yazılımını kullanarak Gökçeada'da yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretim potansiyelini araştırmışlardır. Karma veya karma olmayan yenilenebilir enerji sistemlerinin uygun düzenlemelerini elde etmek için, güneş panelleri, rüzgâr türbinleri ve akülerden oluşan sistemleri çeşitli senaryolarla modellemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, Gökçeada için rüzgâr enerjisi sistemi ile enerji maliyeti diğer sistemlerle elde edilen değerlerden daha düşük bulunmuştur. Özellikle şebekeye bağlı çalışma senaryosuna göre fazla enerjinin şebekeye satılması söz konusu olduğunda rüzgâr enerjisinin Gökçeada için avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Yılmaz ve Diñer (2017) yaptıkları çalışmada, Kilis'te şebekeden bağımsız yaygın olarak bulunan yazlık binalarda hibrit (PV-Dizel-Akü) sistem kullanarak elektrik üretimi sağlamayı amaçlamışlardır. Optimize edilmiş en düşük yatırım maliyeti 12 400 TL olarak hesaplanmıştır. Sistemde bir tane 3 kW fotovoltatik panel, bir tane 1 kW dizel jeneratör ve 2 kW'lık 6 batarya kullanılmıştır. PV panel ve dizel jeneratörü yılda toplam 5 021 kWh/yıl, yani sırasıyla 4 248 kWh/yıl ve 773 kWh/yıl enerji üretmiştir. Toplam yıllık enerji talebi 2 354 kWh/yıl olup kalan miktar pillerde saklanmaktadır. Sistem aynı zamanda evre dostudur. Hibrit PV-Dizel-Akü sisteminin 44 024 ton CO<sub>2</sub>, 123 kg CO, 13 471 kg UHC, 9,16 kg PM, 90,52 kg SO<sub>2</sub> ve 1 100 kg NO<sub>x</sub> önlediğini gözlemlemişlerdir.

Bilgili (2018) yaptığı çalışmada Çukurova koşullarında modern süt sığırıcılığı işletmelerinde elektrik enerjisinin fotovoltatikler ile karşılanması ve karbondioksit azalımı için PV-atı sistemleri tasarımı geliştirmiştir. PV-atı sistemi, tekno-ekonomik yönden belirlenmiştir. 330 kW'lık kurulu fotovoltatik güç, 2 154 m<sup>2</sup> 'lik panelden elde edilmiştir. Sistemin geri ödeme süresi 6 yıl ve ekonomik ömrü 20 yıl olarak hesaplanmıştır.

## 2.4. Güneş Enerjisi Teknolojileri

Güneş enerjisi ile ilgili teknolojiler farklı parametrelere göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalardan biri sıcaklık parametresine göre yapılan sınıflandırmadır.

Bu sınıflandırmada güneş enerjisi uygulamaları genellikle 3 grupta incelenmektedir. Bunlar;

- Düşük sıcaklık (20-100°C)
- Orta sıcaklık (100-300°C)
- Yüksek sıcaklık (>300°C) 'tır.

Grupların kullanım alanları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Güneş enerjisi uygulamaları (Bulut 2009)

Düşük sıcaklık (20-100°C)	PV sistemler
	Sulama
	Sera ısıtılması
	Tarım ürünleri kurutulması
Orta sıcaklık (100-300°C)	Toprak solarizasyonu
	Konut ısıtılması ve soğutulması
	Endüstriyel kullanım için buhar üretimi
Yüksek sıcaklık (>300°C)	Büyük ısıtma ve soğutma sistemleri
	Güneş fırınları

Güneş enerjisi teknolojileri ile ilgili olarak yapılabilecek diğer bir sınıflandırma ise aşağıdaki gibidir:

- Isıl Güneş Enerjisi Sistemleri
- Fotovoltaik Güneş Enerjisi

Isıl güneş enerjisi tesisleri genellikle güneş ışınımından ısı üreten sistemlerdir. Bazı tesislerde bu elde edilen ısı ayrıca elektrik üretiminde de kullanılabilir. Isıl güneş enerjisi tesisleri; çatıya monte edilen güneş kolektörleri, yoğunlaştırıcı sistemler ve diğer güneş enerjisi tesisleri olarak sınıflandırılabilir. Çatıya monte edilen güneş kolektörleri kendi içinde, pompa ile beslenen güneş kolektörleri, termosifonlu güneş kolektörleri ve vakum tüplü güneş kolektörleri olarak üçe ayrılır. Güneş ışınımını yoğunlaştırarak gerek ısı amaçlı gerekse elektrik üretiminde kullanan yoğunlaştırıcı sistemler ise; parabolik oluklu tip güneş kolektörleri, parabolik çanak sistemler ve merkezi alıcılı sistemler olarak gruplandırılabilir. Diğer güneş enerjisi tesisleri ise; güneş havuzları, güneş bacaları, güneş ocakları vb. olarak sayılabilir.

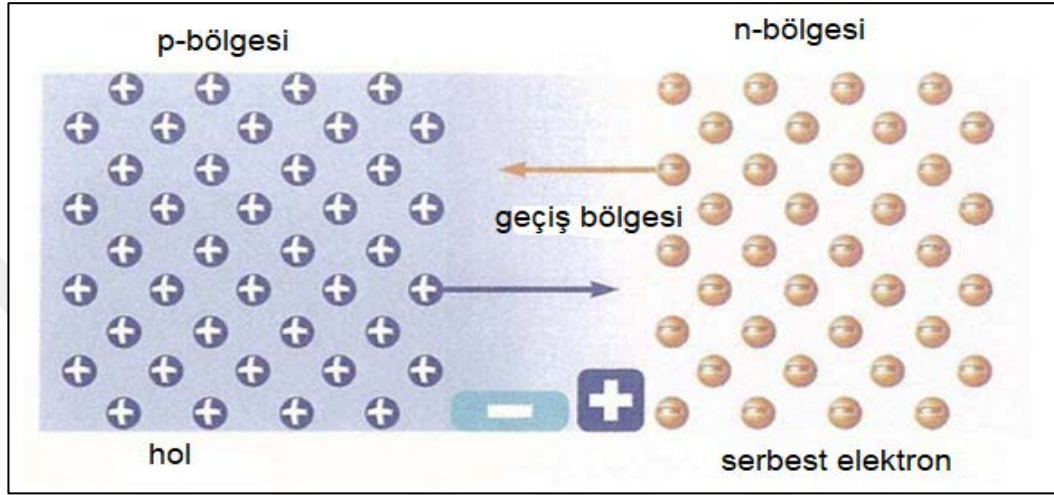
Güneş enerjisinden elektrik üretiminde ise çoğunlukla “Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri” kullanılmaktadır. Bu çalışmada fotovoltaik sistemlere yoğunlaşmış ve çalışma prensibi aşağıda açıklanmıştır.

## **2.5. Fotovoltaik Enerji Teknolojisi Çalışma Prensibi**

Güneş enerjisini, doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklere PV sistem denilmektedir. PV hücreler, silisyum, galyum, arsenit gibi yarı iletken maddelerden meydana gelmektedir ve bu maddeler üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşmaktadır. Yarı iletken maddelerin PV hücre olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkıları zorunludur.

Katkılama, saf yarı iletken sıvı içerisine gerekli katkı maddelerinin denetimli olarak eklenmesiyle yapılır. Oluşan yarı iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesi ile ilgilidir. Çoğunlukla PV hücre maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum katkısı bulunduran sıvıya periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyum'un dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğundan, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir.

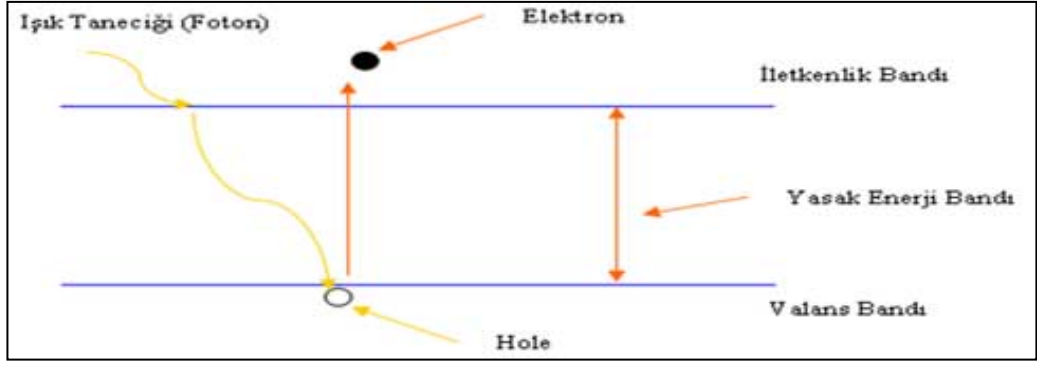
Bundan dolayı V. grup elementlerine “n tipi” katkı maddesi denir. P tipi silisyum oluşturmak için, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron eksikliğine “hol” denir ve pozitif yük taşıdığı düşünülür. Bu tür maddelere de “p tipi” katkı maddeleri denir.



Şekil 2.5. Pn eklemi (Haselhuhn ve Hemmerle 2008)

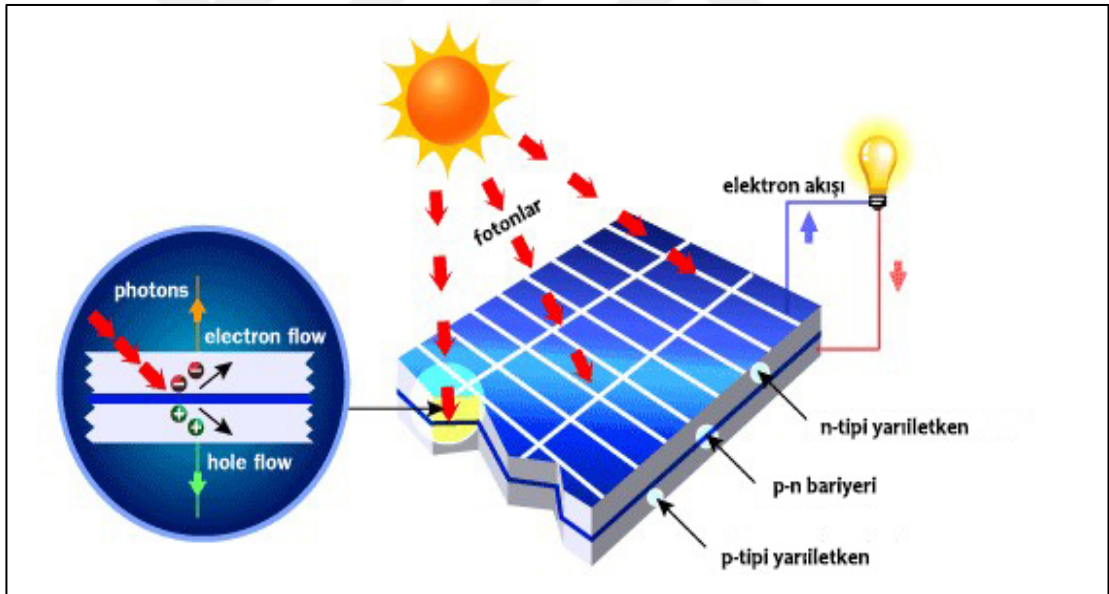
Pn tipi maddenin p bölgesi tarafında pozitif, n bölgesi tarafında negatif yük birikir. Pn ara yüzeyine “eklem bölgesi” veya “geçiş bölgesi” denir (Şekil 2.5). Bu bölgede oluşan elektrik alan ise “yapısal elektrik alan” olarak adlandırılır. Yarı iletkenler, yasak enerji aralığı ile ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bantlar valans bandı ve iletkenlik bandıdır. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarı iletken tarafından soğurulduğunda, enerjisini valans banttaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, PV hücresinin pn eklem ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır (Şekil 2.6).





Şekil 2.6. Elektron ve hol akım yönü (Haselhuhn ve Hemmerle 2008)

Bu şekilde PV hücresi, elektronları n bölgesine, holleri de p bölgesine gönderen bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, PV hücresinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun (Şekil 2.7) PV hücre yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder (Haselhuhn ve Hemmerle 2008).



Şekil 2.7. Fotovoltaik çalışma prensibi (ARC 2018)



**Şekil 2.8.** Monokristal güneş paneli

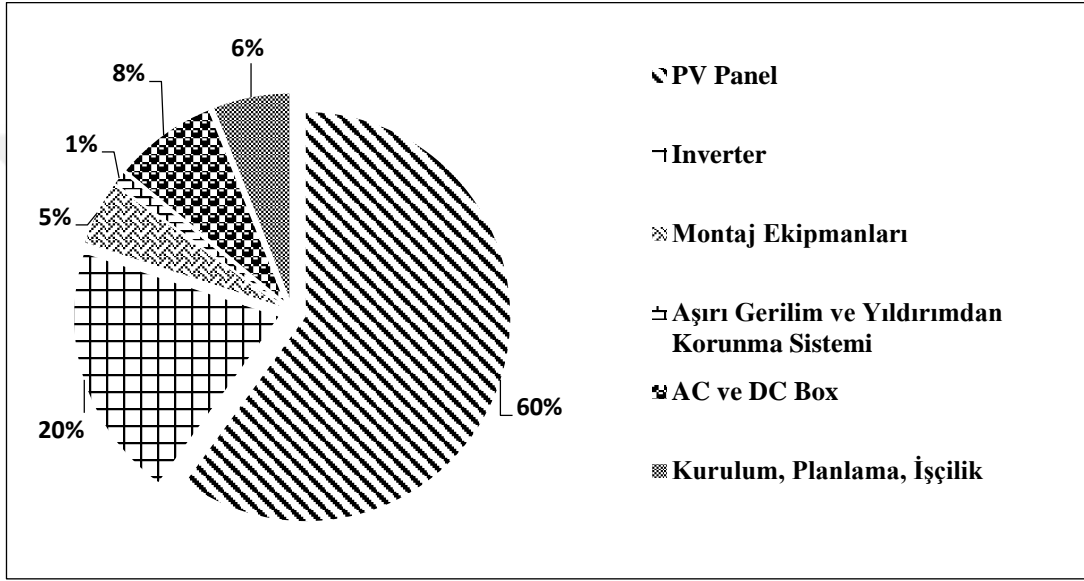


**Şekil 2.9.** Polikristal güneş paneli

Güneş hücreleri genellikle tek kristal (monokristal), çoklu kristal (polikristal), amorf silisyum veya ince film olarak üretilmektedir (Şekil 2.8 ve Şekil 2.9). Kristal güneş panellerinde en önemli malzeme silisyumdur. Monokristal Silisyum bloklardan üretilen güneş panellerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari panellerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Ömürleri ise ortalama 20-25 yıldır. Polikristal Silisyum güneş panelleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de %2-5 kadar düşüktür. Verim; laboratuvar şartlarında %18, ticari panellerde ise %13 civarında olup ömürleri 20 yıldır.

Fotovoltaik sistemler ikiye ayrılmaktadırlar. Bunlar şebeke bağlantılı sistemler ve şebekeden bağımsız sistemlerdir. Şebeke bağlantılı sistemler; üretilen fazla AC gücünü ana şebekeye iletirken, üretilen enerjinin yetersiz olduğu durumda ihtiyaç duyulan enerjiyi ana şebekeden çekebilmektedirler. Şebekeden bağımsız sistemler ise üretilen elektrik enerjisini akülerde depolamaktadırlar. Yani ana şebekeyle herhangi bir bağlantı içerisinde değildirler. Basit bir şekilde fotovoltaik sistemlerin ana bileşenleri ise PV modül, şarj kontrolörü, inverter (dönüştürücü), batarya, AC ya da DC güç tüketen cihazlardan oluşmaktadır.

Bu sistemlerde kurulum maliyeti ile güç arasında genellikle doğrusal bir ilişki yoktur. Sistemi oluşturan unsurlar burada daha çok belirleyicidir. Bu sistemi oluşturan parçaların kurulum maliyeti içerisindeki payları ise oransal olarak Şekil 2.10'da gösterildiği gibi verilebilir. Burada %60'lık dilimi PV panel, %20'lik dilimi inverter, %5'lik dilim montaj ekipmanları, %1'lik dilim aşırı gerilim ve yıldırımdan korunma sistemi, %8'lik dilim AC ve DC kutusu ve %6'lık dilimi ise kurulum, planlama ve işçilik oluşturmaktadır (Aksoy 2017).



Şekil 2.10. PV tesis maliyetlerinin oransal dağılımı (Aksoy 2017)

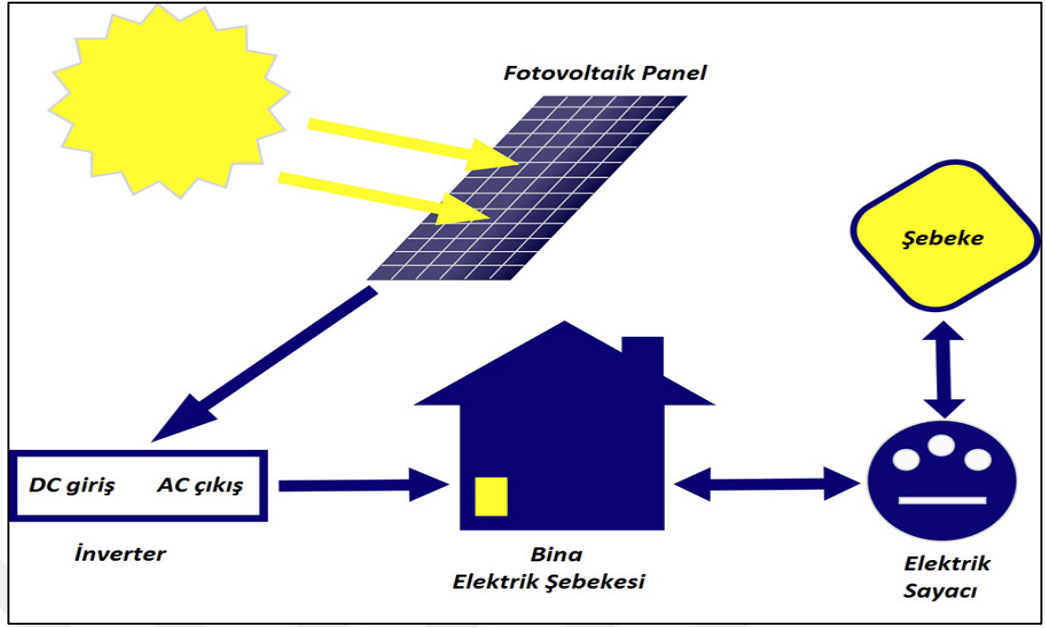
### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Materyal**

Çalışma kapsamında İnegöl'de bulunan Mediha Hayri Çelik Fen Lisesinde Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı (Bebka) destekli kurulan, güneş ışınımından elektrik üreten fotovoltaik tesis örnek alınmıştır. Bursa Uludağ Üniversitesi (BUÜ) meteoroloji istasyonundan ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Osmangazi meteoroloji istasyonundan güneş ışınımı ile ilgili veriler elde edilmiştir. Mediha Hayri Çelik Fen Lisesi fotovoltaik enerji üretim tesisi, polikristal paneller ve monokristal paneller ile örnek olarak oluşturulan tesisin panel özellikleri, tesisin parçaları, BUÜ meteoroloji istasyonunda kullanılan güneş ışınım ölçüm cihazı ve veri kayıt donanımı ile ilgili bilgiler bu bölüm kapsamında verilmiştir.

##### **3.1.1. Fotovoltaik tesis ve tesis parçaları**

Çalışma kapsamında kullanılan fotovoltaik tesis toplam 23 kW güç değerine sahip güneş panellerinden oluşmaktadır. Güneş panellerinden DC elektrik elde edilmektedir ve elde edilen bu elektrik şebeke bağlantısı olan bir inverter (dönüştürücü) ile AC elektriğe çevrilmektedir. AC elektrik ise bir elektrik sayacı üzerinden tüketim noktasına iletilmektedir. Tüketim noktasının enerji ihtiyacı fotovoltaik güneş enerjisi tesisi tarafından üretilen elektrik miktarından fazla ise ihtiyaç duyulan fark ulusal enerji şebekesinden karşılanmaktadır. Tüketim noktasının enerji isteği fotovoltaik güneş enerjisi tesisi tarafından üretilen elektrik miktarından az olması durumunda ise üretilen fazla enerji ulusal enerji şebekesine gönderilmektedir (Şekil 3.1).



**Şekil 3.1.** Fotovoltaik güneş enerjisi tesisi (Anonim 2018k)

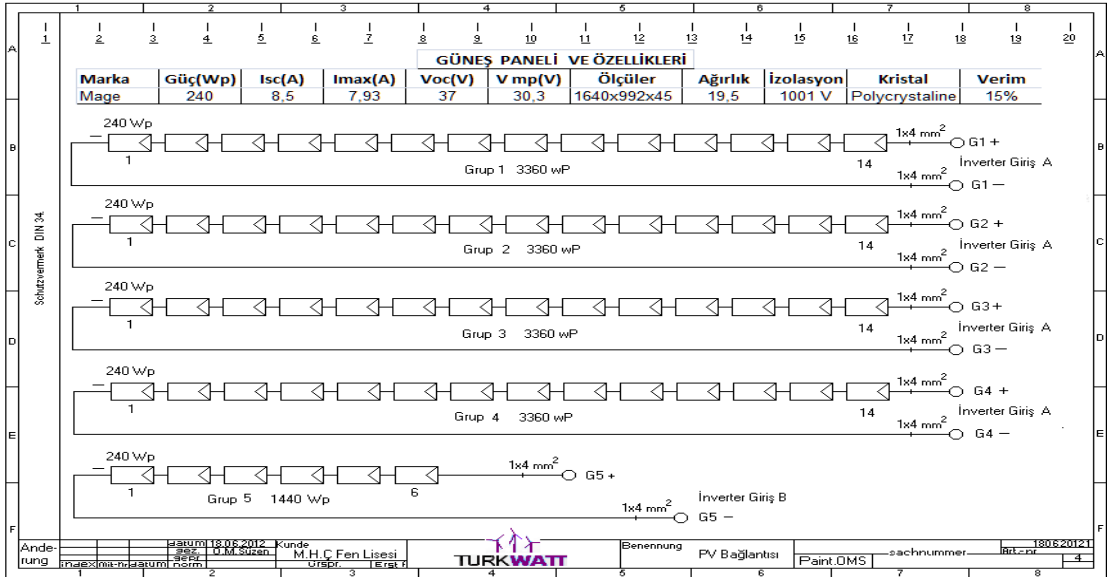
Toplamda 95 adet güneş paneli bulunduran tesis (Şekil 3.2) 62 panelden oluşan 15 kW kurulu güce sahip ve 33 panelden oluşan 8 kW kurulu güce sahip iki gruptan oluşmaktadır (Vardar ve Çetin 2013). Polikristal panellerin her biri 19,5 kg, 1640x992x45 mm ölçülerinde ve 240 Wp güç değerlerindedir. Yapılan verim hesaplamalarına göre bu gruptaki güneş panelinin verim değeri %14,75'dir. Silikon esaslı PV modüllerin ömrü 20 ile 30 yıl aralığındadır (Öztürk ve Kaya 2013). Polikristal sistemin ömrü 20 yıl olarak baz alınmıştır. Çalışmada örnek olarak oluşturulan diğer bir tesiste ise toplamda 84 adet güneş paneli bulunmaktadır. Bu tesis de 55 panelden oluşan 15 kW ve 29 panelden oluşan 8 kW kurulu güce sahip iki gruptan oluşmaktadır. Monokristal panellerden her biri 19,5 kg, 1640x990x35 mm ölçülerinde ve 275 Wp güç değerindedir. Panel verim değeri yapılan hesaplamalara göre ise %16,9'dur. Ayrıca sistem ömrü maliyet hesaplamalarında ortalama 22 yıl olarak alınmıştır. Panel verim hesabında kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir;

$$\eta = \frac{P (W_p)}{A \times 1000}$$



Şekil 3.2. Fotovoltaik güneş enerjisi tesisinin genel görünümü

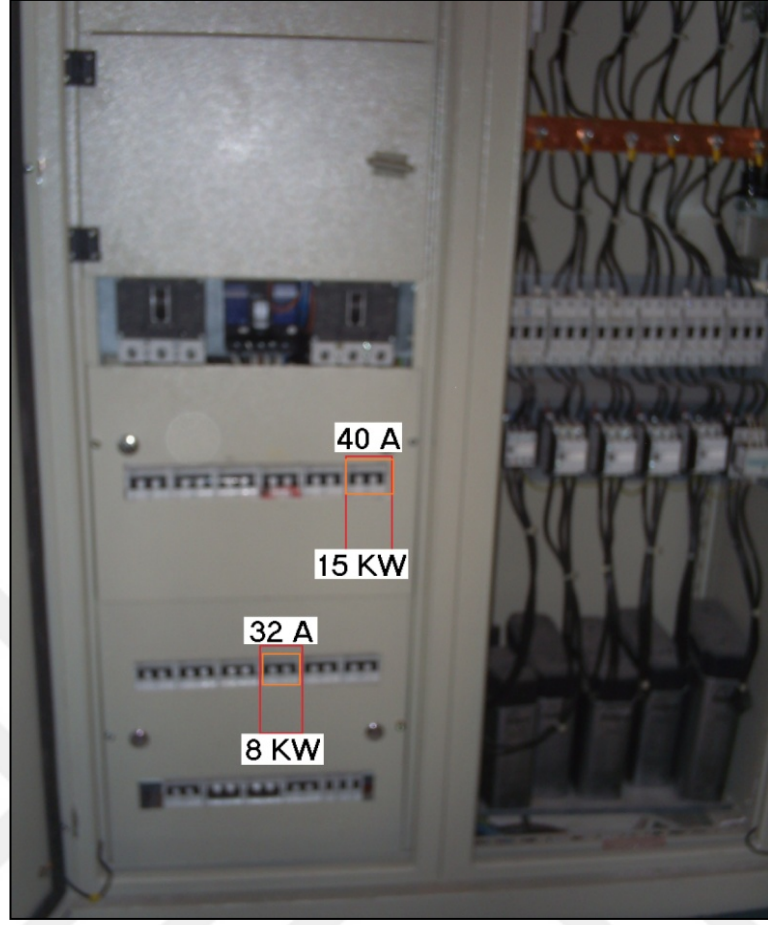
15 kW'lık tesis grubuna ait güneş panellerinin kurum çatısındaki bağlantı ve yerleşim şemaları Şekil 3.3'te verilmiştir.



Sistemde toplam 2 adet inverter bulunmaktadır (Şekil 3.4). Bunlardan biri 15 kW'lık grup için diğeri ise 8 kW'lık grup içindir. Bu inverterlerin her ikisi de şebeke bağlantılıdır (Şekil 3.5). PV panellerinden üretilen DC gerilim, kontrol sistemi mevcut olan inverterlere gelmektedir. İverterler 380/220V 50 Hz 3 faz 1 nötr, tam sinüs özelliğindedir. Fotovoltaik güneş enerjisi tesisi, mevcut şebeke hattına bağlanmıştır ve şebeke ile eşzamanlı çalışır durumdadır. Ayrıca tesiste kullanılan inverterlerin verimleri %97,7'dir (SMA 2018).



**Şekil 3.4.** Fotovoltaik güneş tesislerine ait inverterler

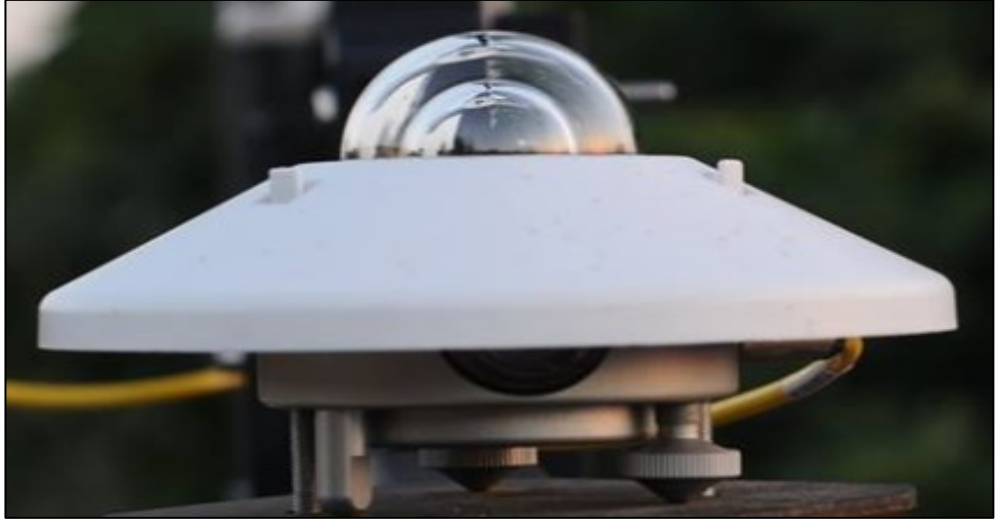


Şekil 3.5. Şebeke bağlantı panosu

### 3.1.2. BUÜ meteoroloji istasyonu

Bu çalışmada, BUÜ meteoroloji istasyonunda bulunan ve güneş ışınım miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılan piranometreden yararlanılmıştır. Piranometre ile toplam (direkt ve difuz) güneş ışınım verileri elde edilmiştir. Veriler aylık olarak ve veri kaydedici yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Şekil 3.6'da bölgedeki toplam güneş ışınım değerinin belirlenmesinde kullanılan piranometre ve Şekil 3.7'de BUÜ meteoroloji istasyonu verilmiştir.



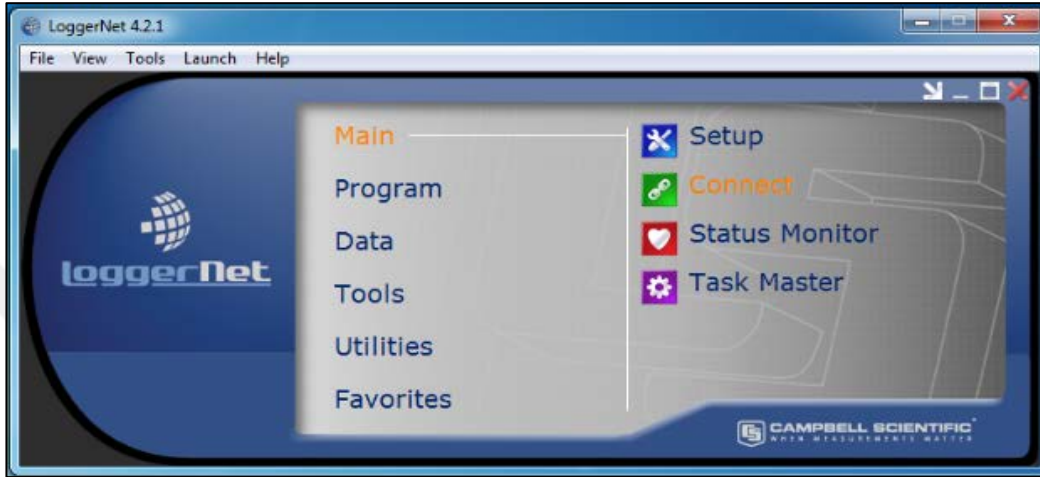


Şekil 3.6. Piranometre



Şekil 3.7. BUÜ meteoroloji istasyonu

Verilerin toplanması ve değerlendirilmesi için bir dizüstü bilgisayardan yararlanılmıştır. Bilgisayara Data logger ara kablosuyla bağlanılarak veriler kaydedilmiştir. Güneş ışınım verilerinin toplanmasında CR1000 data logger kullanılmıştır. Bilgisayar ortamına veri aktarımında ise *loggerNet 4.2.1*. yazılımından yararlanılmıştır. Şekil 3.8’de program ana giriş sayfası verilmiştir.



Şekil 3.8. Program ana giriş sayfası

### 3.2. Yöntem

Çalışmada öncelikli olarak Bursa Uludağ Üniversitesinde bulunan meteoroloji istasyonundan elde edilen 2016 ve 2017 yılları saatlik güneş ışınım şiddetleri kullanarak günlük, aylık ve yıllık ortalama güneş ışınım şiddeti hesaplanmıştır. Hesaplama aritmetik ortalama eşitliği kullanılmıştır.

$$\text{Analitik Ortalama} = \frac{\text{Terimlerin Toplamı}}{\text{Terim Sayısı}}$$

Elde edilen ortalamalar kullanılarak Bursa Nilüfer bölgesinde aylık güneş ışınım şiddeti ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) dağılımı elde edilmiş ve “Bulgular ve Tartışma” başlığı altında grafikler halinde verilmiştir.

MGM Osmangazi meteoroloji istasyonundan ve BUÜ meteoroloji istasyonundan elde edilen yıllık güneş ışınım enerjisi (kWh/m<sup>2</sup>) ve güneş ışınım şiddeti (W/m<sup>2</sup>) grafikler halinde karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Ayrıca 2016 ve 2017 Bursa bölgesi güneşlenme sürelerinin de yıllık olarak dağılımı hesaplanmıştır. Sonuçlar Bulgular ve Tartışma kısmında verilmiştir. Kullanılan CR1000 data logger programından aktarılan güneş ışınım şiddeti (W/m<sup>2</sup>) verileri güneş ışınım enerjisi (kWh/m<sup>2</sup>) verilerine dönüştürülmüştür.

Toplanan güneş ışınım şiddeti verileri göz önünde bulundurularak Mediha Hayri Çelik Fen Lisesinde bulunan fotovoltaik tesisin elektrik üretim potansiyeli ortaya konulmuştur. BUÜ meteoroloji istasyonu ve MGM Osmangazi meteoroloji istasyonundan alınan 2016 ve 2017 güneş ışınım verileri dikkate alınarak birim alana düşen güneş enerjisi potansiyeli ve 23 kW'lık fotovoltaik tesisin enerji üretim kapasitesi belirlenmiştir. Söz konusu tesisteki güneş panelleri polikristaldir. Ancak güneş panellerinin monokristal olması durumunda elde edilen enerji miktarı da çalışma kapsamında hesaplanmıştır.

Güneş panellerinin üretebileceği enerji miktarı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Yavuzcan 1994).

$$E = I(W/m^2) \cdot A(m^2) \cdot t(h) \cdot \eta$$

Tesislerden elde edilen toplam elektrik üretimi ve toplam gelir bu yıllar üzerinden hesaplanmıştır. Devletin güneş enerjisi santralleri için uyguladığı enerji alım fiyatı 1 kWh için 0,133\$'dır. Ancak bu çalışmada maliyet analizi Euro üzerinden hesaplandığından 1 kWh'in değeri 0,1142 € olarak baz alınmıştır.

Polikristal tesis için toplam elektrik üretimi ve toplam gelir aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Yıllık enerji üretimi x 20 yıl = Toplam enerji üretimi

Yıllık enerji üretimi x 20 yıl x 0,1142 € = Toplam gelir

Tesisin monokristal olması durumunda toplam elektrik üretimi ve toplam gelir aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Yıllık enerji üretimi x 22 yıl = Toplam enerji üretimi

Yıllık enerji üretimi x 22 yıl x 0,1142 € = Toplam gelir

Sistemin kendini geri ödeme süresi ise aşağıdaki eşitlik ile bulunmuştur:

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Toplam Sistem Maliyeti}}{\text{Yıllık Gelir}}$$

Hesaplamalardan elde edilen veriler sonucunda Bebka destekli olan Mediha Hayri Çelik Fen Lisesindeki tesis günümüz koşullarıyla bir tarım arazisine ya da işletmesine kurulmuş olması durumunda sistem maliyetinin ne kadar olacağı birçok farklı senaryo ile analiz edilmiştir. Bu senaryolar ülkemizde bulunan birçok destek mekanizmasına dayanarak oluşturulmuştur. Ülkemizde güneş enerjisi ile elektrik üretimine destek veren kurumlar şu şekilde sıralanabilir;

- Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığına bağlı Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu (TKDK)
- Sanayi ve Ticaret Bakanlığına bağlı Küçük ve Orta ölçekli işletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) Kobiler’de enerji verimliliği destekleri
- Türkiye Teknolojileri Geliştirme Vakfı
- Tursef destekleri (Anonim 2018l).

Kredi maliyetlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlik ise aşağıda verilmiştir (Darga 2005):

$$\text{ÖTM} = \frac{(BM) \times \left(\frac{DFO}{100}\right)}{\left(1 - \left(1 + \frac{DFO}{100}\right)^{-N}\right)}$$

Güneş enerjisi tesislerinin maliyet senaryoları aşağıda Çizelge 3.1’de tanımlanmıştır. Maliyet senaryolarına ilişkin sonuçlar ise çizelge halinde “Bulgular ve Tartışma” kısmında verilmiştir.

**Çizelge 3.1. Senaryo tanımlamaları**

<b>Senaryo</b>	<b>Devlet Destek Oranı</b>	<b>Kredi Durumu</b>	<b>Kredi Faiz Durumu</b>
<b>A1</b>	%0	-	-
<b>A2</b>	%0	√	%1
<b>A3</b>	%0	√	%2
<b>A4</b>	%0	√	%3
<b>B1</b>	%50	-	-
<b>B2</b>	%50	√	%1
<b>B3</b>	%50	√	%2
<b>B4</b>	%50	√	%3
<b>C1</b>	%75	-	-
<b>C2</b>	%75	√	%1
<b>C3</b>	%75	√	%2
<b>C4</b>	%75	√	%3

A1, B1 ve C1 senaryolarında yatırımcının kredi kullanmadığı kabul edilmiştir. A2, B2, ve C2 senaryolarında yatırımcı %1 faiz oranında kredi kullanmıştır. A3, B3 ve C3 senaryolarında yatırımcı %2 faiz oranında kredi kullanmıştır. A4, B4 ve C4 senaryolarında ise yatırımcının faiz oranı %3 olan bir kredi kullandığı varsayılmıştır. Devlet desteği açısından da; A senaryolarında yatırımcının devletten destek almadığı; B senaryolarında yatırımcının devletten %50 destek aldığı ve C senaryolarında ise yatırımcının devletten %75 destek aldığı kabul edilmiştir.

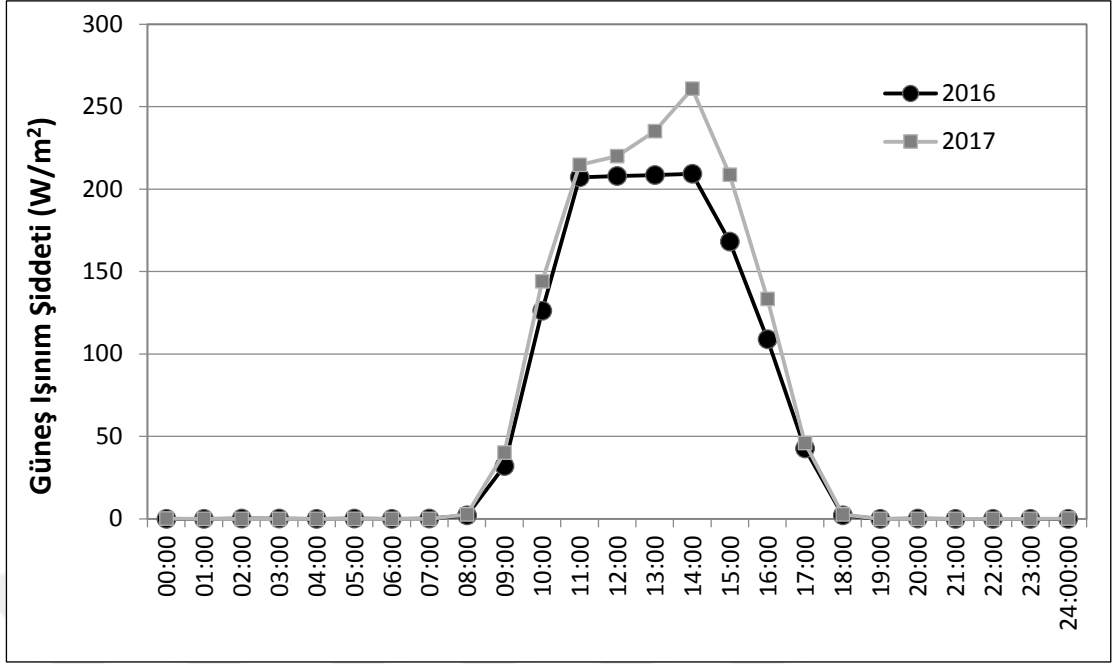


## **4. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Çalışma kapsamında BUÜ meteoroloji istasyonundan elde edilen 2016 ve 2017 ortalama güneş ışınım şiddetlerinin saatlik, aylık ve yıllık dağılımı grafikler halinde verilmiştir. BUÜ meteoroloji istasyonu ve MGM Osmangazi meteoroloji istasyonundan alınan ortalama güneş ışınım şiddetlerinin yıllık karşılaştırılmaları ile MGM Osmangazi meteoroloji istasyonundan alınan 2016 ve 2017 güneşlenme süreleri de grafikler halinde gösterilmiştir. Daha sonrada örnek bir güneş enerjisi tesisi ele alınarak monokristal ve polikristal güneş panellerinin kullanıldığı tesislerin enerji üretimi ile maliyet analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler çizelge ve şekiller haline verilmiştir.

### **4.1. Saatlik Güneşlenme Şiddeti**

Materyal kısmında teknik özellikleri verilen ve BUÜ Görükle kampüsünde yer alan meteoroloji istasyonundaki piranometreden elde edilen güneş ışınım şiddeti değerleri saatlik olarak aşağıda verilmiştir. Şekil 4.1-4.12'de 2016 ve 2017 yılı verilerine ait grafikler görülmektedir.

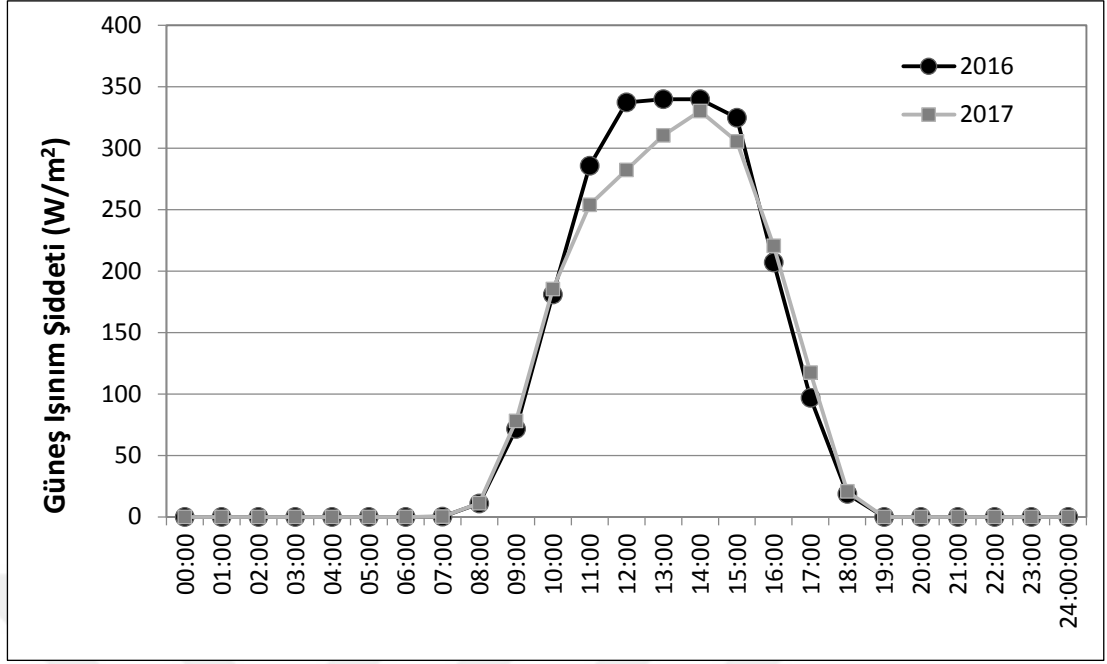


**Şekil 4.1.** Ocak ayı saatlik güneş ışınım şiddeti

Şekil 4.1’de 2016 yılı Ocak ayında yapılan güneş ışınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışınım saat 14:00’da  $209,3 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir. 2017 yılı Ocak ayındaki güneş ışınım şiddeti saat 14:00’da  $261 \text{ W/m}^2$  olarak saptanmıştır.

Ölçümler 24 saat esasına göre yapılmasına karşın güneşlenme süresi nedeniyle saat 08:00 ile 18:00 arasında ışınım değerleri elde edilmiştir.

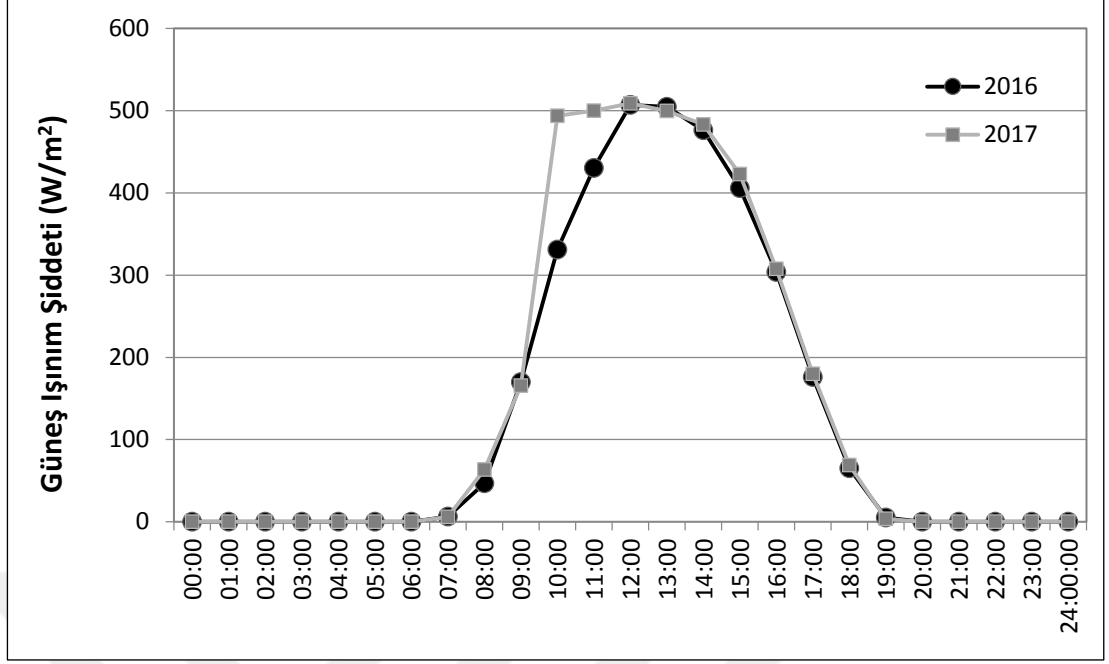




**Şekil 4.2.** Şubat ayı saatlik güneş ışınım şiddeti

Şekil 4.2’ de 2016 yılı Şubat ayında yapılan güneş ışınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışınım saat 13:00 ve 14:00’da  $340 \text{ W/m}^2$  olarak bulunmuştur. 2017 yılı Şubat ayındaki güneş ışınım şiddeti saat 14:00’da  $330 \text{ W/m}^2$  olarak gözlemlenmiştir.

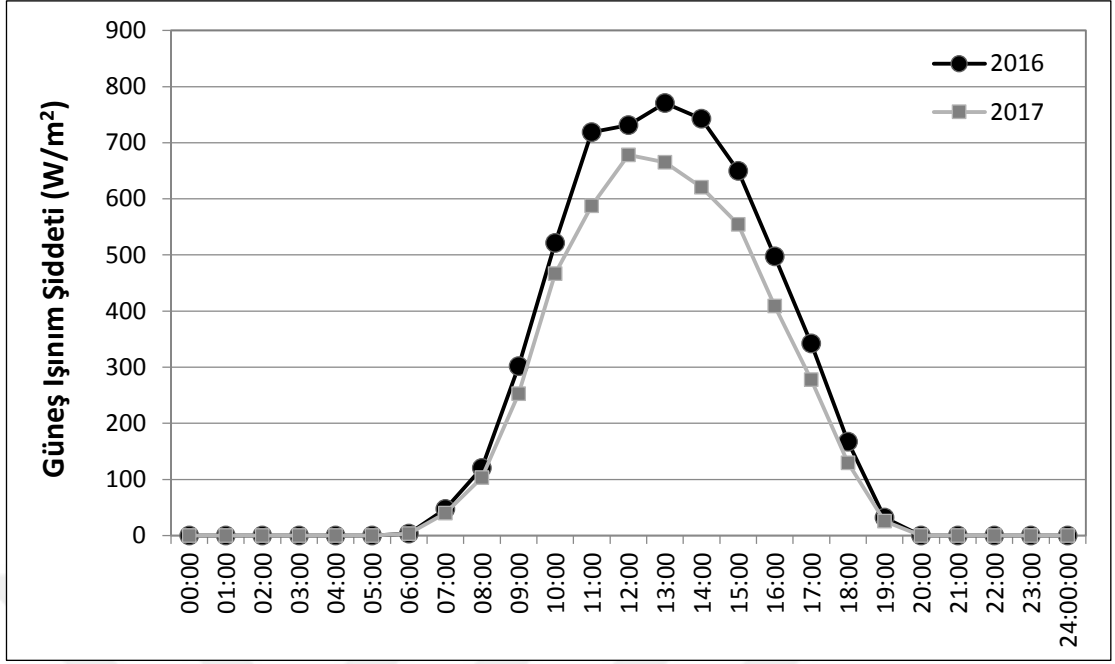
Ölçümler 24 saat esasına göre yapılmasına karşın güneşlenme süresi nedeniyle saat 08:00 ile 19:00 arasında ışınım değerleri ölçülmüştür.



**Şekil 4.3.** Mart ayı saatlik güneş ışınım şiddeti

Şekil 4.3’de 2016 yılı Mart ayında yapılan güneş ışınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışınım saat 12:00’da  $507 \text{ W/m}^2$  olarak gözlemlenmiştir. 2017 yılı Mart ayındaki güneş ışınım şiddeti saat 12:00’da  $509 \text{ W/m}^2$  olarak elde edilmiştir.

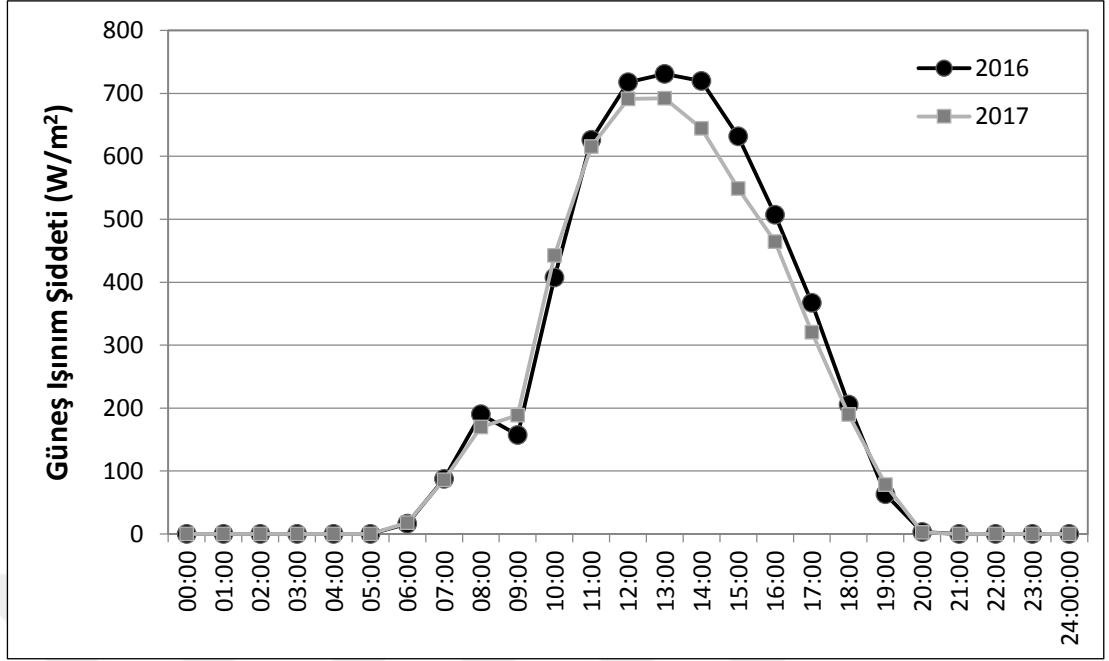
Ölçümler 24 saat esasına göre yapılmasına karşın güneşlenme süresi nedeniyle saat 07:00 ile 19:00 arasında ışınım değerler bulunmuştur.



**Şekil 4.4.** Nisan ayı saatlik güneş ışınım şiddeti

Şekil 4.4' de 2016 yılı Nisan ayında yapılan güneş ışınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışınım saat 13:00'da  $771 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir. 2017 yılı Nisan ayındaki güneş ışınım şiddeti saat 12:00'da  $678 \text{ W/m}^2$  olarak saptanmıştır.

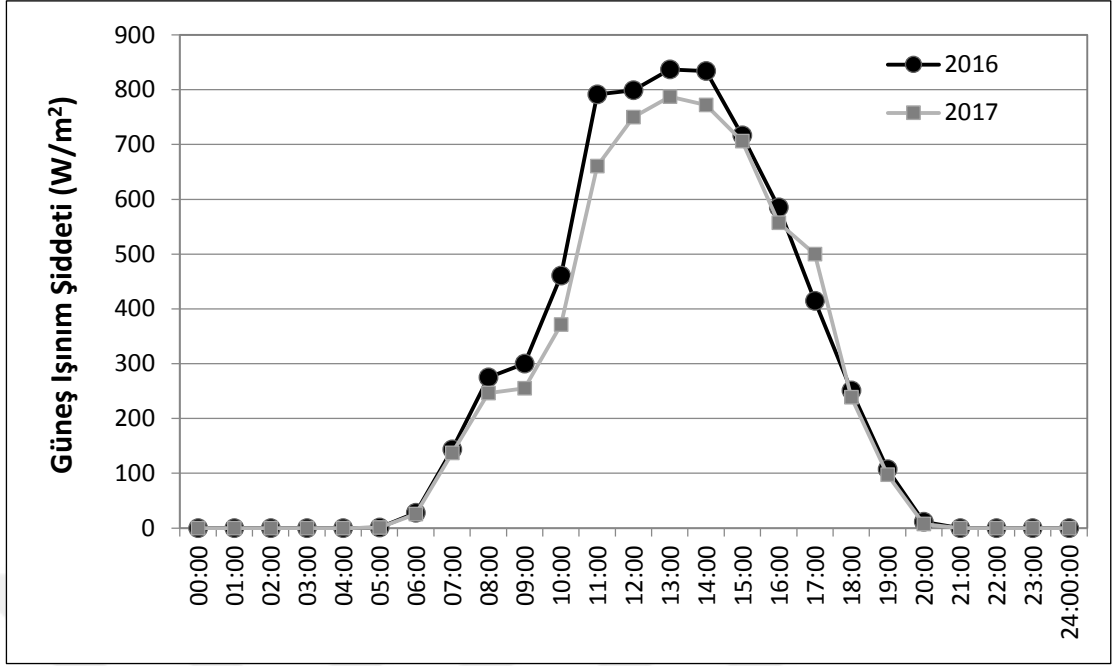
Ölçümler 24 saat esasına göre yapılmasına karşın güneşlenme süresi nedeniyle saat 06:00 ile 20:00 arasında ışınım değerleri hesaplanmıştır.



**Şekil 4.5.** Mayıs ayı saatlik güneş ışınım şiddeti

Şekil 4.5’ de 2016 yılı Mayıs ayında yapılan güneş ışınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışınım saat 13:00’da  $731 \text{ W/m}^2$  olarak bulunmuştur. 2017 yılı Mayıs ayındaki güneş ışınım şiddeti saat 13:00’da  $692 \text{ W/m}^2$  olarak gözlemlenmiştir.

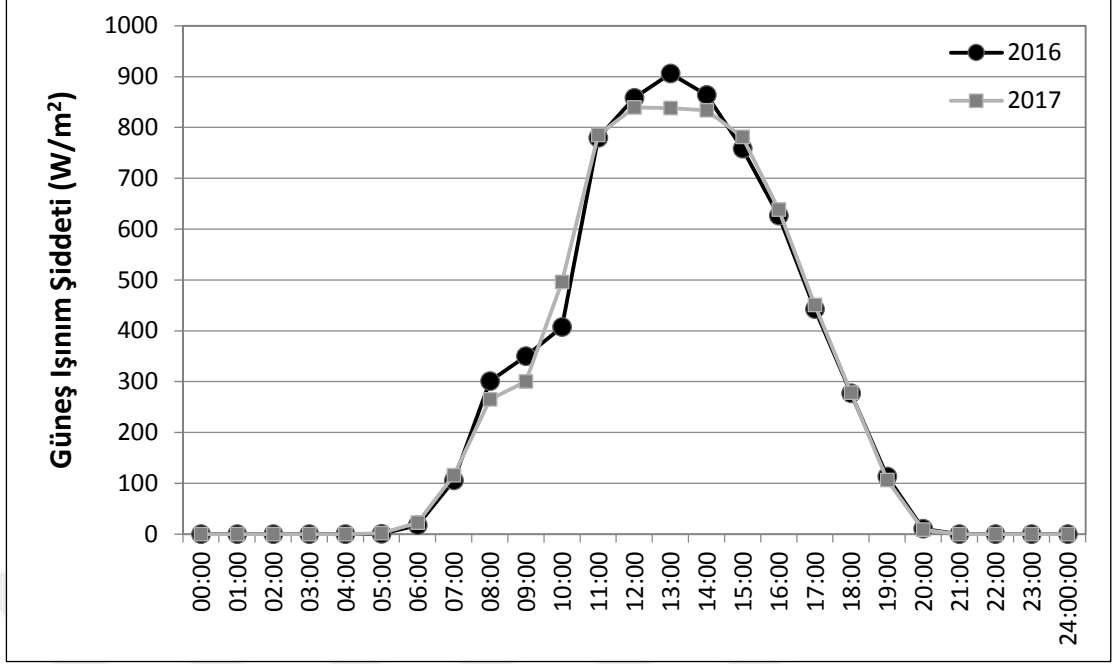
Ölçümler 24 saat esasına göre yapılmasına karşın güneşlenme süresi nedeniyle saat 06:00 ile 20:00 arasında ışınım değerleri saptanmıştır.



**Şekil 4.6.** Haziran ayı saatlik güneş ışınım şiddeti

Şekil 4.6' de 2016 yılı Haziran ayında yapılan güneş ışınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışınım saat 13:00'da  $837 \text{ W/m}^2$  olarak elde edilmiştir. 2017 yılı Haziran ayındaki güneş ışınım şiddeti saat 13:00'da  $787 \text{ W/m}^2$  olarak belirlenmiştir.

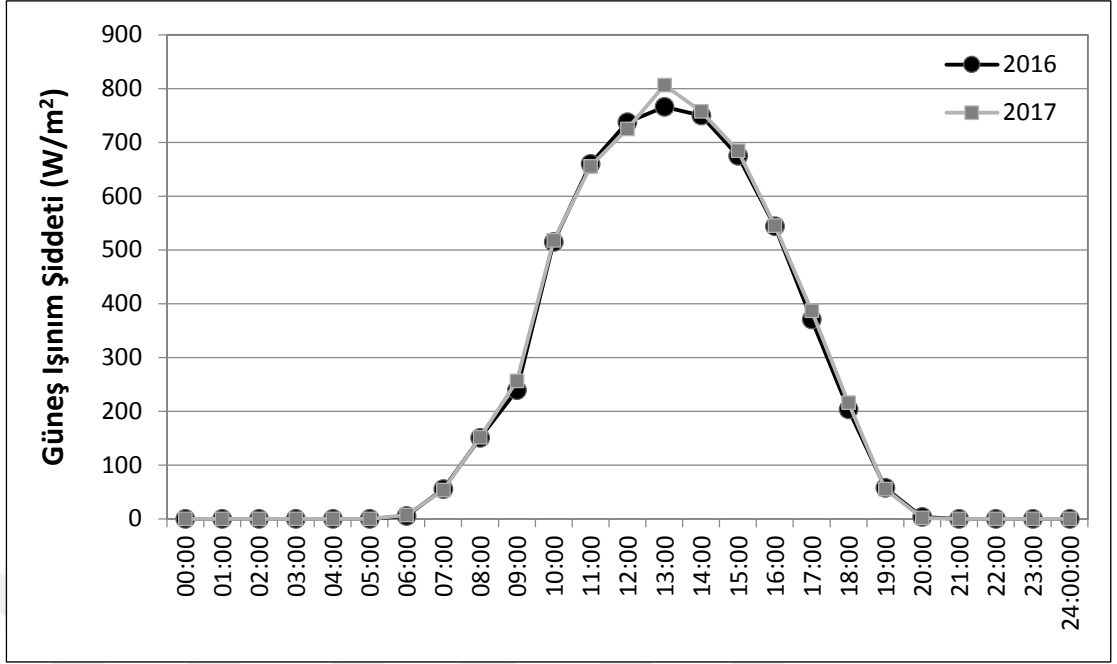
Ölçümler 24 saat esasına göre yapılmasına karşın güneşlenme süresi nedeniyle saat 05:00 ile 21:00 arasında ışınım değerleri gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.7.** Temmuz ayı saatlik güneş ışınım şiddeti

Şekil 4.7' de 2016 yılı Temmuz ayında yapılan güneş ışınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışınım saat 13:00'da  $906 \text{ W/m}^2$  olarak kaydedilmiştir. 2017 yılı Temmuz ayındaki güneş ışınım şiddeti saat 12:00'da  $839 \text{ W/m}^2$  olarak tespit edilmiştir.

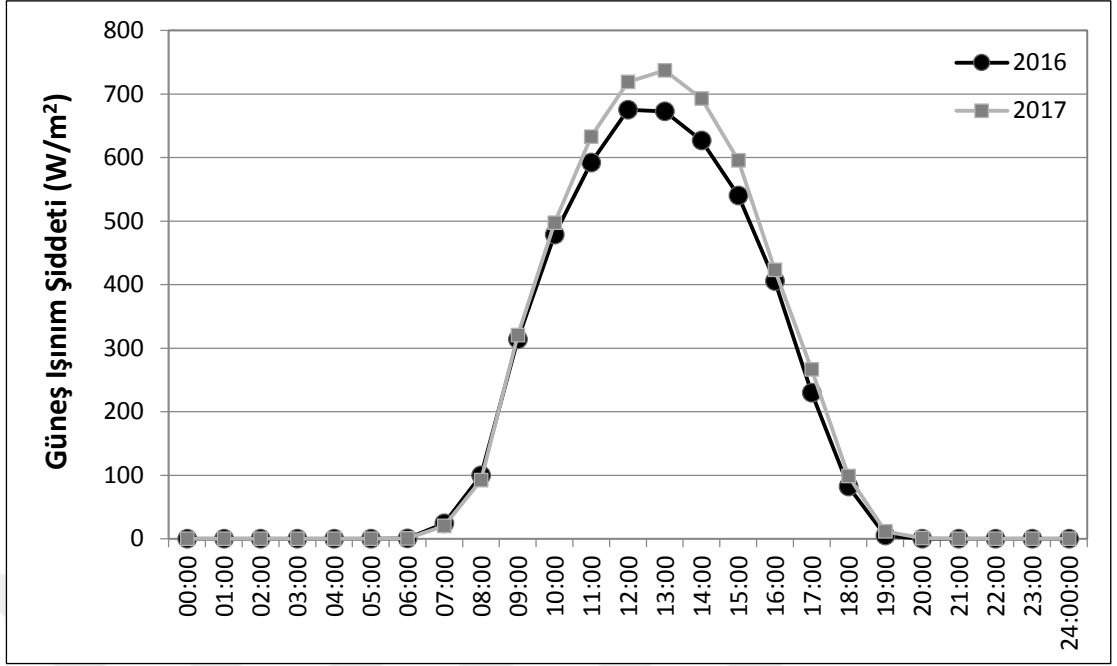
Ölçümler 24 saat esasına göre yapılmasına karşın güneşlenme süresi nedeniyle saat 05:00 ile 21:00 arasında ışınım değerleri belirlenmiştir.



**Şekil 4.8.** Ağustos ayı saatlik güneş ışınım şiddeti

Şekil 4.8' de 2016 yılı Ağustos ayında yapılan güneş ışınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışınım saat 13:00'da  $766 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir. 2017 yılı Ağustos ayındaki güneş ışınım şiddeti saat 13:00'da  $807 \text{ W/m}^2$  olarak saptanmıştır.

Ölçümler 24 saat esasına göre yapılmasına karşın güneşlenme süresi nedeniyle saat 06:00 ile 20:00 arasında ışınım değerleri gözlemlenmiştir.

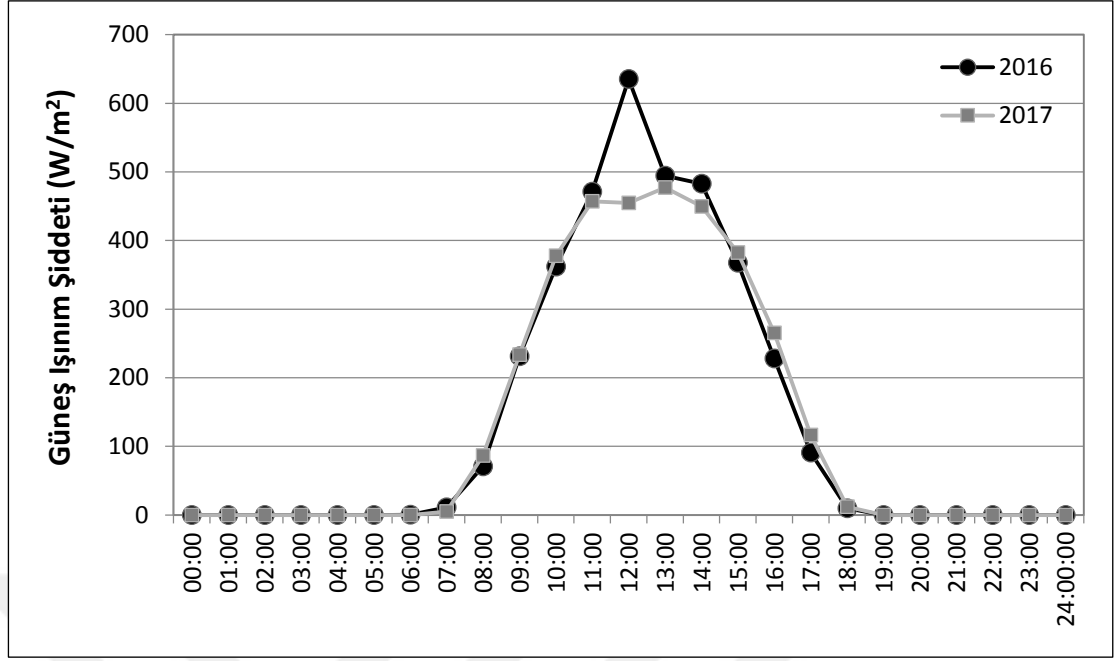


**Şekil 4.9.** Eylül ayı saatlik güneş ışınım şiddeti

Şekil 4.9’ da 2016 yılı Eylül ayında yapılan güneş ışınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışınım saat 12:00’da  $675 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir. 2017 yılı Eylül ayındaki güneş ışınım şiddeti saat 13:00’da  $737 \text{ W/m}^2$  olarak belirlenmiştir.

Ölçümler 24 saat esasına göre yapılmasına karşın güneşlenme süresi nedeniyle saat 06:00 ile 19:00 arasında ışınım değerleri saptanmıştır.

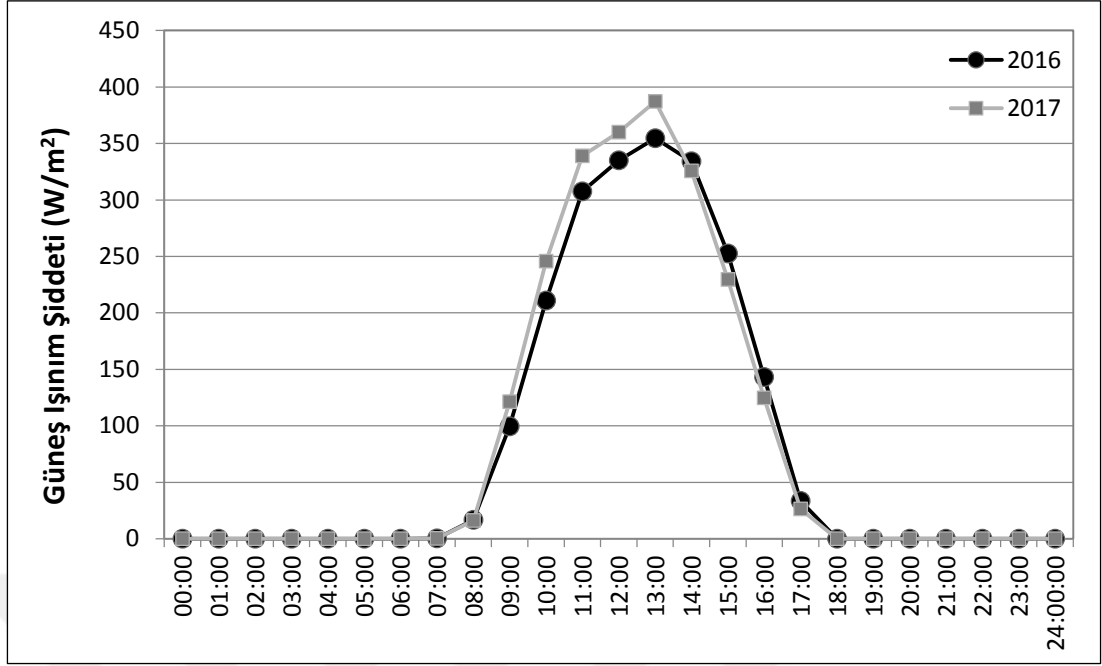




**Şekil 4.10.** Ekim ayı saatlik güneş ışınım şiddeti

Şekil 4.10' da 2016 yılı Ekim ayında yapılan güneş ışınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışınım saat 12:00'da  $635 \text{ W/m}^2$  olarak elde edilmiştir. 2017 yılı Ekim ayındaki güneş ışınım şiddeti saat 13:00'da  $477 \text{ W/m}^2$  olarak tespit edilmiştir.

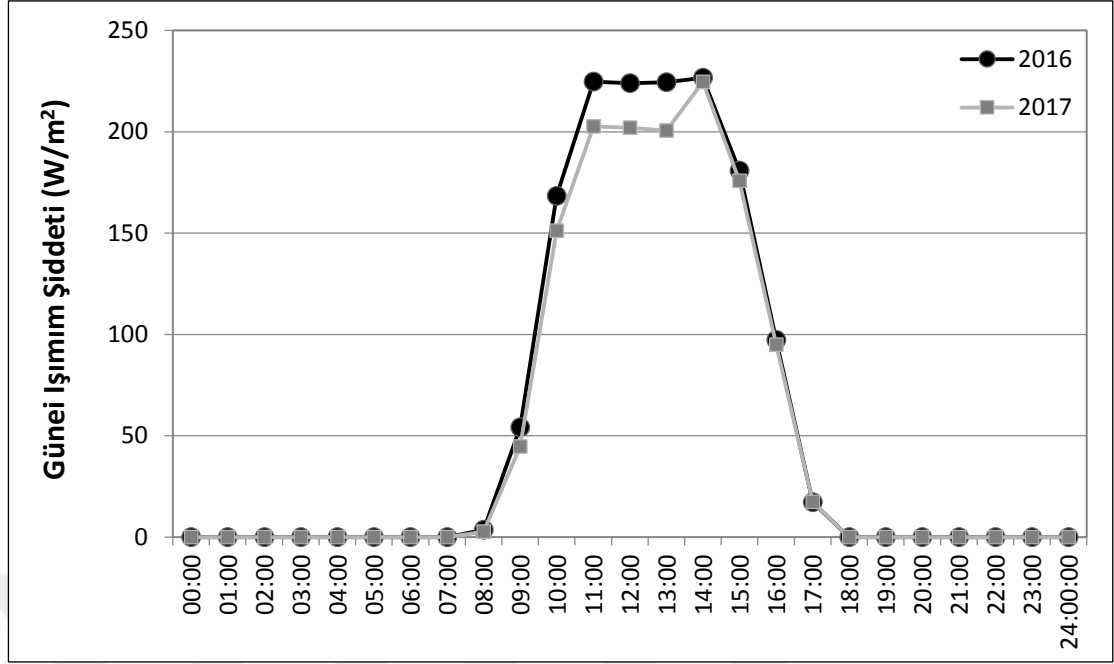
Ölçümler 24 saat esasına göre yapılmasına karşın güneşlenme süresi nedeniyle saat 07:00 ile 18:00 arasında ışınım değerleri saptanmıştır.



**Şekil 4.11.** Kasım ayı saatlik güneş ışı nım şiddeti

Şekil 4.11' de 2016 yılı Kasım ayında yapılan güneş ışı nım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışı nım saat 13:00'da  $355 \text{ W/m}^2$  olarak kaydedilmiştir. 2017 yılı Kasım ayındaki güneş ışı nım şiddeti saat 13:00'da  $387 \text{ W/m}^2$  olarak belirlenmiştir.

Ölçümler 24 saat esasına göre yapılmasına karşın güneşlenme süresi nedeniyle saat 08:00 ile 18:00 arasında ışı nım değerleri gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.12.** Aralık ayı saatlik güneş ışıınım şiddeti

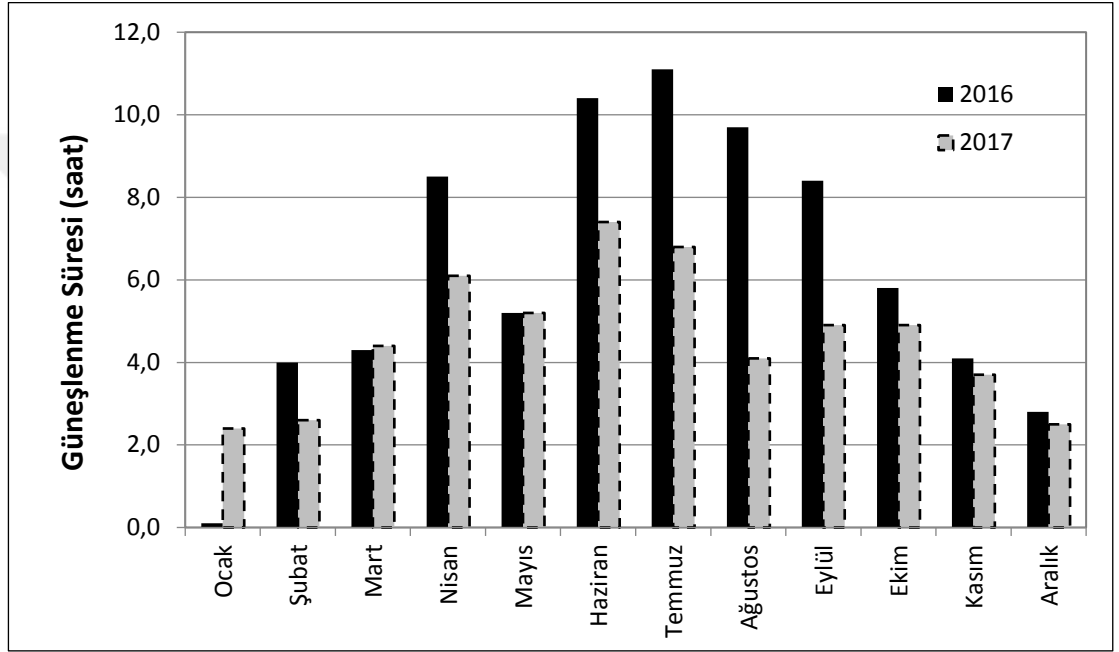
Şekil 4.12' de 2016 yılı Aralık ayında yapılan güneş ışıınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışıınım saat 14:00'da  $227 \text{ W/m}^2$  olarak gerçekleşmiştir. 2017 yılı Aralık ayındaki güneş ışıınım şiddeti saat 14:00'da  $225 \text{ W/m}^2$  olarak elde edilmiştir.

Ölçümler 24 saat esasına göre yapılmasına karşın güneşlenme süresi nedeniyle saat 08:00 ile 18:00 arasında ışıınım değerleri belirlenmiştir.

2016 ve 2017 yıllarında yapılan güneş ışıınım ölçümlerine göre en yüksek ışıınım değeri 2016 yılında Temmuz ayında  $906 \text{ W/m}^2$  olarak ve 2017 yılında da Temmuz ayında  $839 \text{ W/m}^2$  olarak tespit edilmiştir. Gün içerisindeki (aylık ortalama olarak) en yüksek ışıınım değerleri baz alındığında en düşük ışıınım değerleri ise 2016 yılında Ocak ayında  $209,3 \text{ W/m}^2$  ve 2017 yılında da Aralık ayında  $225 \text{ W/m}^2$  olarak saptanmıştır.

## 4.2. Güneşlenme Süreleri

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan Bursa ili 2016 ve 2017 yılı aylık ortalama güneşlenme süreleri Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Ayrıca GEPA'dan alınan Bursa ili güneşlenme süresi ve güneş enerjisi tesisinin yer aldığı İnegöl ilçesi ile BUÜ meteoroloji istasyonunun yer aldığı Nilüfer ilçesinin güneşlenme süreleri karşılaştırılarak Şekil 4.14'de verilmiştir.

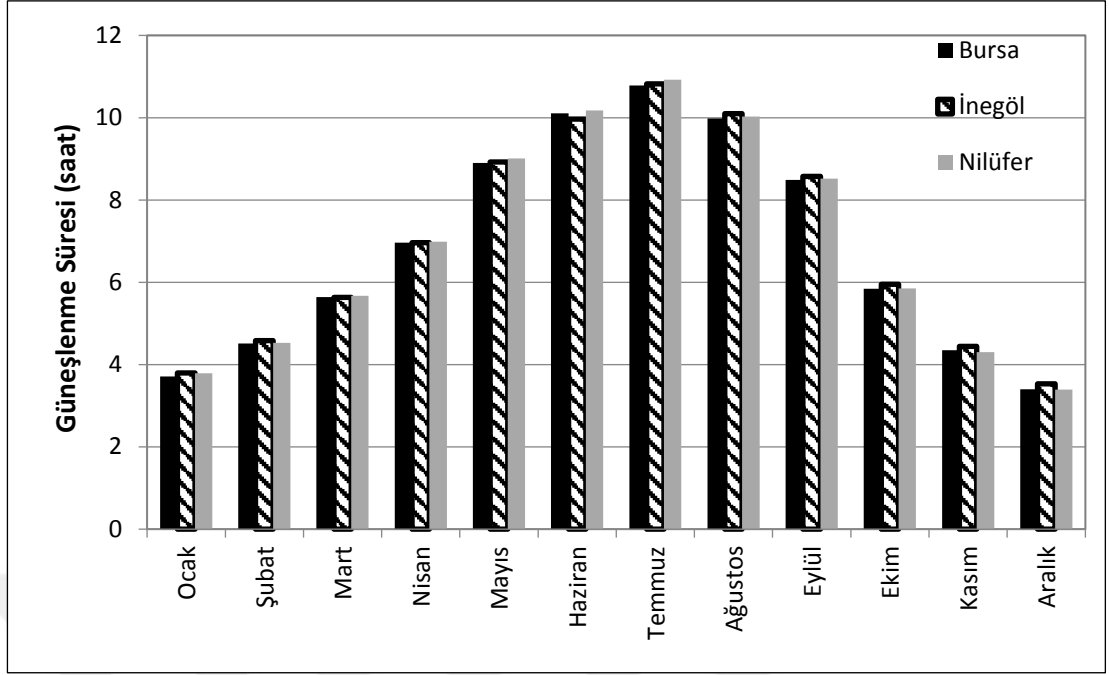


Şekil 4.13. Bursa ili güneşlenme süreleri

2016 yılı Bursa ili en yüksek güneşlenme süresi ortalama 11,1 saat ile Temmuz ayında görülürken en az aylık güneşlenme süresi Ocak ayında ortalama 0,1 saat olarak görülmektedir.

2017 yılı Bursa ili en yüksek güneşlenme süresi ortalama 7,4 saat ile Haziran ayında belirlenirken en az aylık güneşlenme süresi Ocak ayında ortalama 2,4 saat olarak tespit edilmiştir.

2016 ve 2017 yılında özellikle Mayıs ayı güneşlenme sürelerinde ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.14.** GEPA verilerine göre güneşlenme süreleri

GEPA'dan elde edilen verilere göre Bursa ili, Bursa İnegöl ilçesi ve Nilüfer ilçesinin karşılaştırılmasında aylık ortalama en yüksek güneşlenme süresi Temmuz ayında Bursa'da 10,78 saat, İnegöl'de 10,82 saat ve Nilüfer'de 10,92 saat olarak gerçekleşmiştir. Aylık ortalama en düşük güneşlenme süreleri ise Aralık ayında Bursa'da 3,40 saat, İnegöl'de 3,53 saat ve Nilüfer'de 3,39 saat olarak bulunmuştur.

### 4.3. Genel İstatistik Değerlendirme

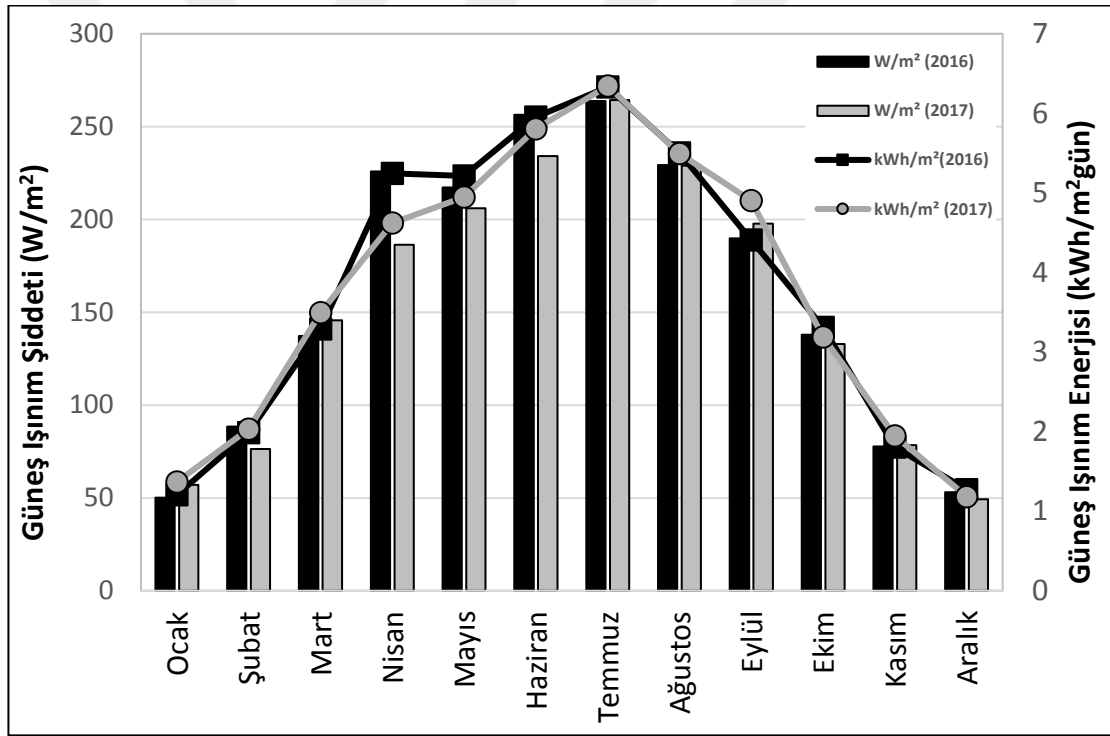
Gerek BUÜ meteoroloji istasyonunun 2016 ve 2017 yılı güneş ışınım verileri gerekse MGM Osmangazi meteoroloji istasyonunun 2016 ve 2017 yılı güneş ışınım verileri ile 2016 ve 2017 yılı güneşlenme süresi verilerinin istatistiksel olarak normal dağılım gösterdiği "SPSS Statistics 23" paket programı ile yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir.

Aynı veriler ile yapılan önem testlerine göre ise BUÜ meteoroloji istasyonu 2016 ve MGM Osmangazi meteoroloji istasyonunun 2016 yılları ile BUÜ meteoroloji 2017 ve MGM Osmangazi meteoroloji istasyonu 2017 yılı verilerinin benzer dağılım gösterdiği görülmüştür.

Bursa ili 2016 yılına ait güneşlenme süresi, BUÜ meteoroloji istasyonu ve MGM Osmangazi meteoroloji istasyonu verileri arasındaki ilişki istatistiksel olarak 0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur. Aynı şekilde 2017 yılına ait güneşlenme süresi, MGM Osmangazi meteoroloji istasyonu ve BUÜ meteoroloji istasyonu verileri arasındaki ilişki de istatistiksel olarak 0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur.

#### 4.4. Güneş Işınım Şiddeti ve Enerjisi

Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle kampüsünde yer alan meteoroloji istasyonundaki piranometreden elde edilen güneş ışınım şiddeti ( $W/m^2$ ) ve güneş ışınım enerjisi ( $kWh/m^2$ ) değerleri aşağıda verilmiştir (Şekil 4.15).

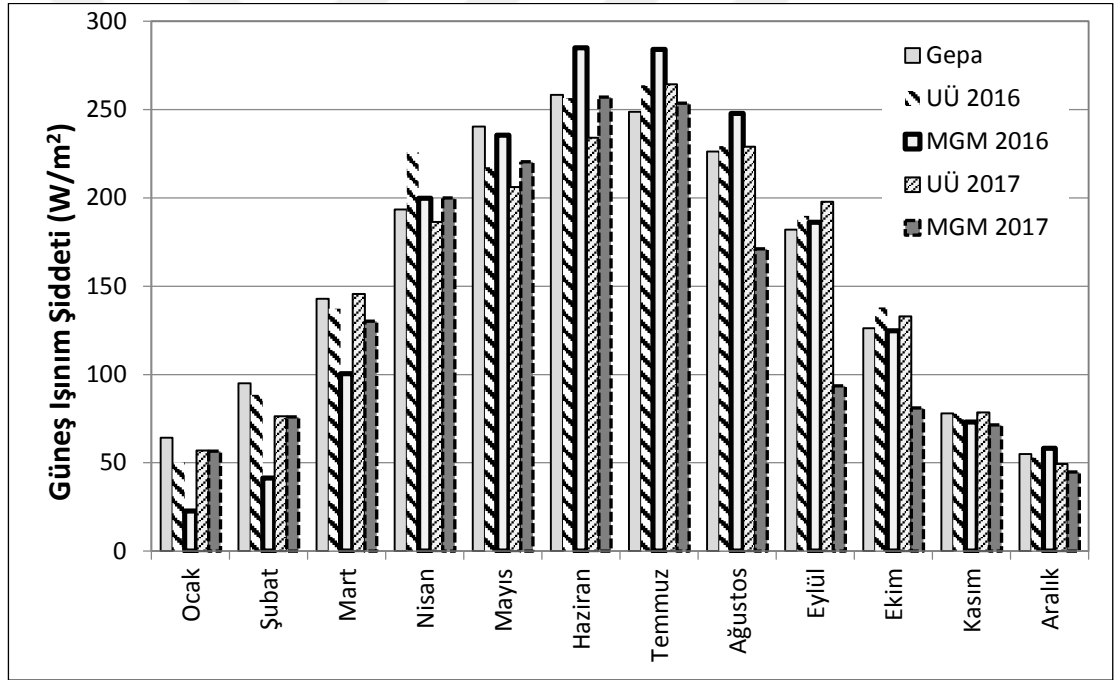


Şekil 4.15. Güneş ışınım şiddet dağılımı ve güneş ışınım enerjisi dağılımı

Şekil 4.15'te 2016 yılı aylık güneş ışınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışınımı Temmuz ayında  $263,8 W/m^2$  ve en düşük güneş ışınım şiddeti Ocak ayında  $50,2 W/m^2$  olarak bulunmuştur. 2017 yılında ise en yüksek güneş ışınım şiddeti Temmuz ayında  $264,3 W/m^2$  iken en düşük güneş ışınım şiddeti Aralık ayında  $49,3 W/m^2$  olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.15'te 2016 yılı aylık güneş ışınım şiddeti verilerine göre en yüksek güneş ışınımı Temmuz ayında  $6,3 \text{ kWh/m}^2\text{gün}$  ve en düşük güneş ışınım şiddeti Ocak ayında  $1,2 \text{ kWh/m}^2\text{gün}$  olarak tespit edilmiştir. 2017 yılında ise en yüksek güneş ışınım şiddeti Temmuz ayında  $6,3 \text{ kWh/m}^2\text{gün}$  iken en düşük güneş ışınım şiddeti Aralık ayında  $1,2 \text{ kWh/m}^2\text{gün}$  olarak gerçekleşmiştir.

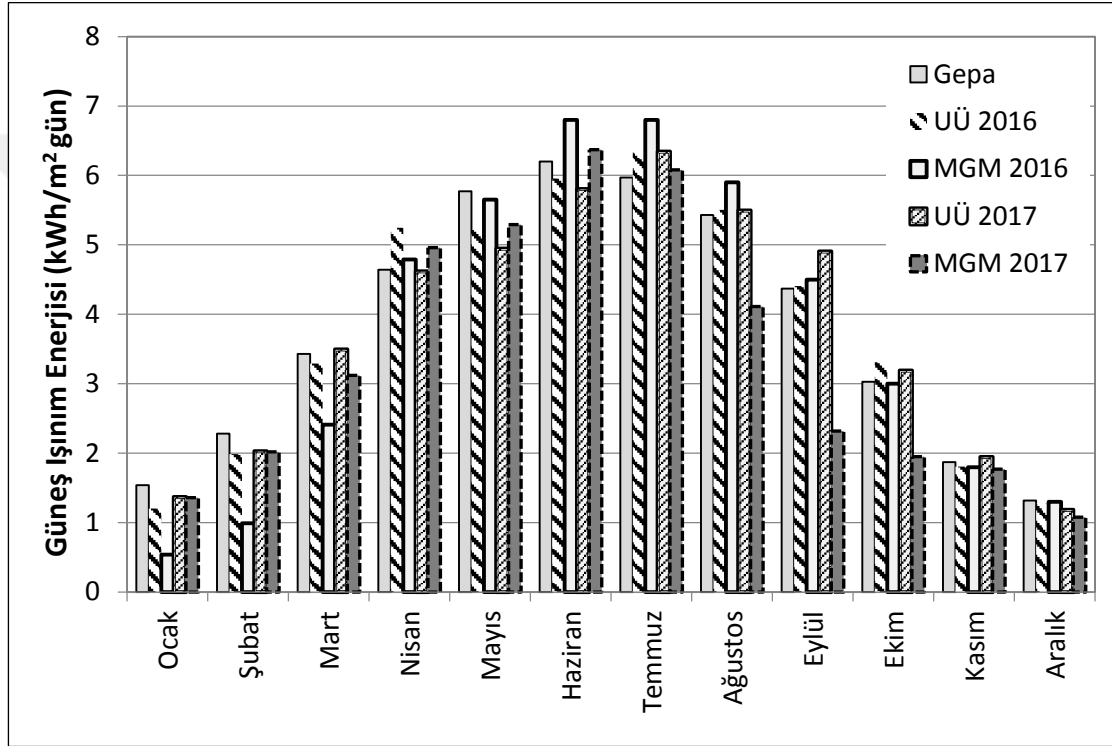
GEPA, BUÜ meteoroloji istasyonu ve MGM Osmangazi meteoroloji istasyonundan elde edilen 2016 ve 2017 güneş ışınım şiddeti ( $\text{W/m}^2$ ) ve hesaplanan güneş ışınım enerjisi değerleri karşılıkları aşağıda verilmiştir. Şekil 4.16'da güneş ışınım şiddetleri ve Şekil 4.17'de ise güneş ışınım enerjisi ( $\text{kWh/m}^2\text{gün}$ ) değerleri görülmektedir.



Şekil 4.16. Güneş ışınım şiddeti değerlerinin karşılaştırılması

Yapılan karşılaştırmada GEPA verilerinin ulaştığı en yüksek değer Haziran ayında  $258,3 \text{ W/m}^2$  iken en düşük değeri Aralık ayında  $55 \text{ W/m}^2$  dir.

BUÜ meteoroloji istasyonu verileri incelendiğinde 2016 ve 2017 yılları aylık güneş ışınım şiddeti en yüksek Temmuz ayında  $264,3 \text{ W/m}^2$  olarak saptanmıştır. 2016 yılı en düşük değeri Ocak ayında  $50,2 \text{ W/m}^2$  ve 2017 yılı en düşük değeri Aralık ayında  $49,3 \text{ W/m}^2$  dir. MGM Osmangazi meteoroloji istasyonundan elde edilen verilerde ise en yüksek ışınım şiddeti 2016 ve 2017 yılı Haziran ayında sırasıyla  $285 \text{ W/m}^2$  ve  $257 \text{ W/m}^2$ 'dir. MGM Osmangazi meteoroloji istasyonunda en düşük güneş ışınım değeri ise 2016 yılı için Ocak ayında  $23 \text{ W/m}^2$  ve 2017 yılı Aralık ayında  $45 \text{ W/m}^2$  dir.



Şekil 4.17. Güneş ışınım enerjisi dağılımı

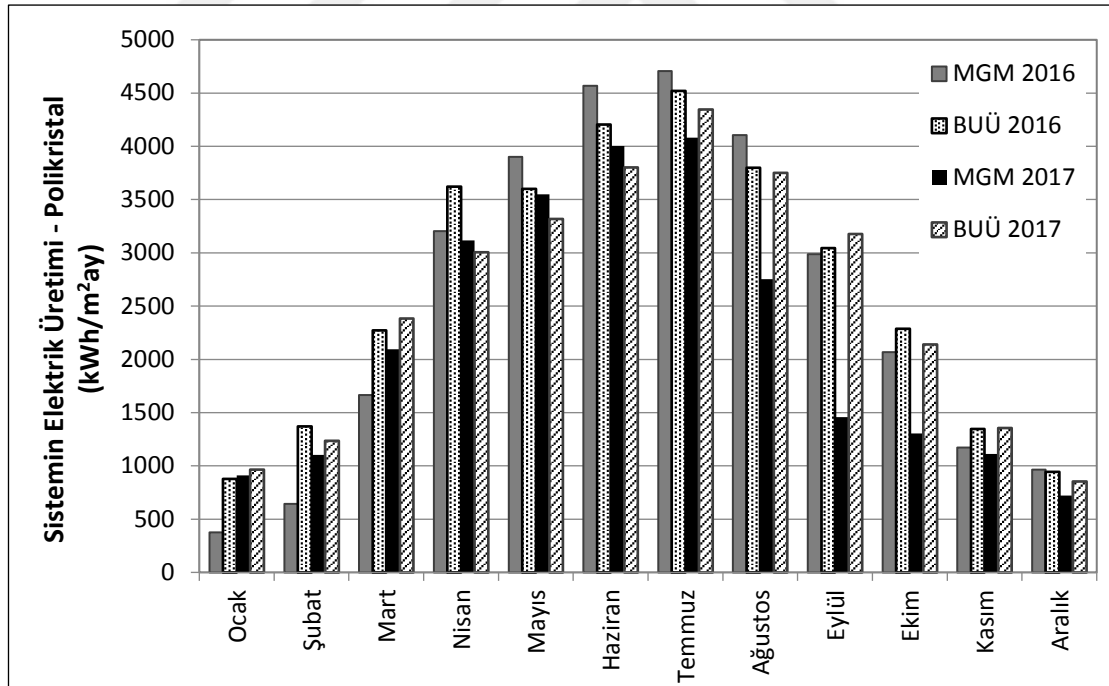
Yapılan karşılaştırmada GEPA verilerinin ulaştığı en yüksek değer Haziran ayında  $6,8 \text{ kWh/m}^2$ gün iken en düşük değeri Aralık ayında  $1,32 \text{ kWh/m}^2$ gün'dür. BUÜ meteoroloji istasyonu verileri incelendiğinde 2016 ve 2017 yılları aylık güneş ışınım enerjisi en yüksek Temmuz ayında  $6,30 \text{ kWh/m}^2$ gün olarak belirlenmiştir. 2016 yılı en düşük değeri Ocak ayında  $1,2 \text{ kWh/m}^2$ gün ve 2017 yılı en düşük değeri Aralık ayında  $1,2 \text{ kWh/m}^2$ gün dür.



MGM Osmangazi meteoroloji istasyonundan elde edilen verilerde ise en yüksek ışıınım enerjisi 2016 yılında Haziran ve Temmuz aylarında 6,8 kWh/m<sup>2</sup>gün olup 2017 yılı Haziran ayında 6,4 kWh/m<sup>2</sup>gündür. En düşük güneş ışıınım değerine bakıldığında ise 2016 yılı için Ocak ayında 0,54 kWh/m<sup>2</sup>gün ve 2017 yılı Aralık ayında 1,1 kWh/m<sup>2</sup>gündür.

#### 4.5. Güneş Enerjisi Tesislerinin Elektrik Üretim Değerleri

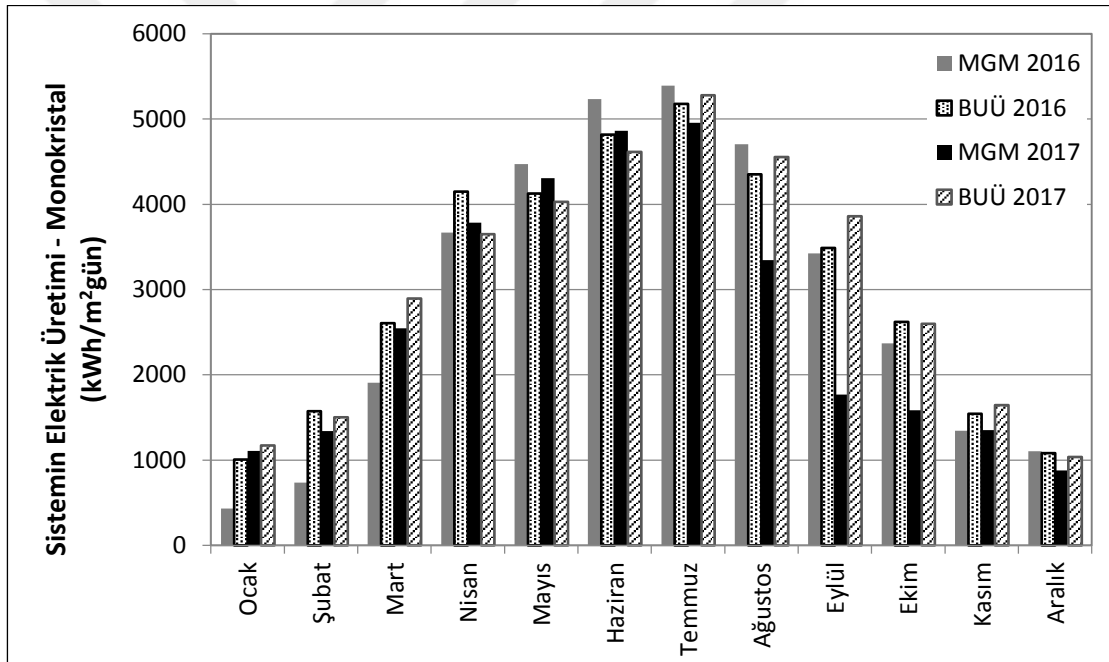
Bu bölümde; MGM Osmangazi meteoroloji istasyonu ve BUÜ meteoroloji istasyonundan elde edilen 2016 ve 2017 yılı güneş radyasyon verileri kullanılarak, polikristal ve monokristal fotovoltaik panellerden oluşan iki farklı güneş enerjisi tesisinden elde edilebilecek elektrik üretim değerleri incelenmiştir. Şekil 4.18'de polikristal panellerden oluşan tesisin ve şekil 4.19'da da monokristal panellerden oluşan tesisin elektrik üretim değerleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Polikristal güneş enerjisi tesisinin elektrik üretim değerleri

Polikristal güneş enerjisi tesisinin elektrik üretim değerlerine bakıldığında; MGM Osmangazi meteoroloji istasyonu 2016 yılı güneş ışınım değerlerine göre en yüksek değer 4 706 kWh/ay olarak Temmuz ayına aitken en düşük değer 376 kWh/ay ile Ocak ayına aittir.

BUÜ meteoroloji istasyonu verilerine göre ise 2016 yılında en yüksek değer 4 519 kWh/ay ile Temmuz ayına ait iken en düşük değer Ocak ayında 878 kWh/ay olmuştur. MGM Osmangazi meteoroloji istasyonu 2017 yılı verileri için en yüksek değer Temmuz ayında 4 081 kWh/ay'dır ve en düşük değer Aralık ayında 723 kWh/ay'dır. 2017 BUÜ meteoroloji istasyonu verilerine göre ise Temmuz ayında 4 346 kWh/ay ile en yüksek değer elde edilirken Aralık ayında 853 kWh/ay ile en düşük değer elde edilmiştir.



**Şekil 4.19.** Monokristal güneş enerji tesisinin elektrik üretim değerleri

Monokristal güneş enerjisi tesisinin elektrik üretim değerlerine bakıldığında; MGM Osmangazi meteoroloji istasyonu 2016 yılı güneş ışınım değerlerine göre en yüksek değer 5 392 kWh/ay olarak Temmuz ayına aitken en düşük değer 431 kWh/ay ile Ocak ayına aittir.

BUÜ meteoroloji istasyonu verilerine göre ise 2016 yılında en yüksek değer 5 177 kWh/ay ile Temmuz ayına ait iken en düşük değer Ocak ayında 1066 kWh/ay olmuştur. MGM Osmangazi meteoroloji istasyonu 2017 yılı verileri için en yüksek değer Temmuz ayında 4 955 kWh/ay'dır ve en düşük değer Aralık ayında 878 kWh/ay'dır. 2017 BUÜ meteoroloji istasyonu verilerine göre ise Temmuz ayında 5 278 kWh/ay ile en yüksek değer elde edilirken Aralık ayında 1036 kWh/ay ile en düşük değer tespit edilmiştir.

#### **4.6. Güneş Enerjisi Tesislerinin Ekonomik Analizi**

Çalışma kapsamında ele alınan iki farklı güneş enerjisi tesisinin 2018 yılı kurulum maliyetleri yapılan piyasa araştırması sonucunda monokristal panel için 0,99 €/Wp ve polikristal panel için 0,95 €/Wp olarak saptanmıştır. Üçgül ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada da PV ekipman maliyeti 1,25 €/Wp, destekleyici yapılar ve kurulum maliyeti 0,037 €/Wp ve sistemin toplam maliyeti ise 1,29 €/Wp olarak verilmiştir. Gerek monokristal gerekse polikristal güneş enerjisi tesisinin toplam kurulu güçleri 23 kW olması nedeniyle toplam kurulum maliyetleri monokristal panellerin kullanıldığı tesis için 22 770 € ve polikristal panellerin kullanıldığı tesis için 21 850 € olarak elde edilmiştir. Materyal ve Yöntem kısmında verilen destek mekanizmaları ve banka kredileri dikkate alındığında her bir senaryo için elde edilen gerçek maliyetler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Farklı senaryolara göre sistem kurulum maliyetleri

Senaryo	Destek Oranı	Faiz	Monokristal	Polikristal
A1		%0	22 770	21 850
A2	%0	%1	30 390	29 162
A3		%2	39 303	37 715
A4		%3	49 365	47 370
B1		%0	11 385	10 925
B2	%50	%1	15 195	14 581
B3		%2	19 651	18 857
B4		%3	24 682	23 685
C1		%0	5 693	5 463
C2	%75	%1	7 598	7 291
C3		%2	9 826	9 429
C4		%3	12 341	11 843

Çizelge 4.1’de de görüldüğü gibi devlet desteği almaksızın sadece banka kredisi kullanılması durumunda kredi faiz oranı arttıkça monokristal panelli enerji üretim tesisinin maliyeti 22 770 €’dan 49 365 €’ya ve polikristal panelli enerji üretim tesisinin maliyeti de 21 850 €’dan 47 370 €’ya çıkmaktadır.

Devlet desteğinin %50 olması durumunda; yine kredi faiz oranına bağlı olarak, monokristal panelli enerji üretim tesisinin maliyeti 11 385 € ile 24 682 € arasında ve polikristal panelli enerji üretim tesisinin maliyeti de 10 925 € ile 23 685 € arasında değişmektedir. Devlet desteğinin %75 olması durumunda ise; kredi faiz oranına bağlı olarak, monokristal panelli enerji üretim tesisinin maliyeti 5 693 € ile 12 341 € arasında ve polikristal panelli enerji üretim tesisinin maliyeti de 5 463 € ile 11 843 € arasında değişmektedir.

2016 ve 2017 yıllarında BUÜ meteoroloji istasyonunda ölçülen ve MGM Osmangazi meteoroloji istasyonundan alınan güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri verileri dikkate alındığında; monokristal panel kullanılan güneş enerjisi tesisinden ve polikristal panel kullanılan güneş enerjisi tesisinden elde edilen yıllık ve toplam enerji üretim sonuçları ile bu tesislerden elde edilecek toplam ve yıllık gelirler Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.2.** Tesislere ait yıllık enerji üretimi ve yıllık gelirler

		<b>Yıllık Enerji Üretimi kWh/yıl</b>	<b>Toplam Enerji Üretimi kWh/x yıl*</b>	<b>Yıllık Gelir €/x yıl</b>	<b>Toplam Gelir €/yıl</b>
<b>BUÜ Monokristal</b>	<b>2016</b>	32 239	709 250	3 682	80 996
	<b>2017</b>	32 503	715 067	3 712	81 661
<b>MGM Monokristal</b>	<b>2016</b>	30 691	675 206	3 505	77 109
	<b>2017</b>	28 081	617 838	3 207	70 557
<b>BUÜ Polikristal</b>	<b>2016</b>	31 886	637 720	3 641	72 828
	<b>2017</b>	30 333	606 669	3 464	69 282
<b>MGM Polikristal</b>	<b>2016</b>	30 355	607 110	3 647	69 332
	<b>2017</b>	26 209	524 179	2 993	59 861

\* x yıl = ekonomik ömür

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi yıllık enerji üretiminin monokristal enerji üretim tesisinde 28 081 kWh/yıl ile 32 239 kWh/yıl arasında ve polikristal enerji üretim tesisinde 26 209 kWh/yıl ile 31 886 kWh/yıl arasında gerçekleştiği görülmektedir. Yıllık gelirin ise monokristal enerji üretim tesisinde 3 207 € ile 3 682 € arasında ve polikristal enerji üretim tesisinde 2 993 € ile 3 641 € arasında olduğu saptanmıştır.

Toplam enerji üretimi ele alındığında; monokristal enerji üretim tesisinde 617 838 kWh/xyıl ile 709 250 kWh/xyıl arasında ve polikristal enerji üretim tesisinde 524 179 kWh/xyıl ile 637 720 kWh/xyıl arasında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ekonomik ömür boyunca elde edilecek toplam gelirin ise monokristal enerji üretim tesisinde 70 557 € ile 80 996 € arasında ve polikristal enerji üretim tesisinde 59 861 € ile 72 828 € arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Maliyet senaryoları ile 2016 ve 2017 yıllarında BUÜ meteoroloji istasyonunda ölçülen ve MGM Osmangazi meteoroloji istasyonundan alınan güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri verileri dikkate alındığında; monokristal panel kullanılan güneş enerjisi tesisinden ve polikristal panel kullanılan güneş enerjisi tesisinden elde edilen toplam gelirin tesisin toplam maliyetini geri ödeme süreleri aşağıda Çizelge 4.3’de verilmiştir.



**Çizelge 4.3.** Sistemlere ait geri ödeme süreleri (yıl)

		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>BUÜ Monokristal</b>	<b>2016</b>	6,2	8,3	10,7	13,4	3,1	4,1	5,3	6,7	1,5	2,1	2,7	3,4
	<b>2017</b>	6,1	8,2	10,6	13,3	3,1	4,1	5,3	6,6	1,5	2,0	2,6	3,3
<b>MGM Monokristal</b>	<b>2016</b>	6,5	8,7	11,2	14,1	3,2	4,3	5,6	7,0	1,6	2,2	2,8	3,5
	<b>2017</b>	7,1	9,5	12,3	15,4	3,5	4,7	6,1	6,7	1,8	2,4	3,1	3,8
<b>BUÜ Polikristal</b>	<b>2016</b>	6,0	8,0	10,4	13,0	3,0	4,0	5,2	6,4	1,5	2,0	2,6	3,3
	<b>2017</b>	6,3	8,4	10,9	13,7	3,2	4,2	5,4	6,8	1,6	2,1	2,7	3,4
<b>MGM Polikristal</b>	<b>2016</b>	6,3	8,4	10,9	13,7	3,2	4,2	5,4	7,4	1,6	2,1	2,7	3,4
	<b>2017</b>	7,3	9,7	12,6	15,8	3,7	4,9	6,3	6,5	1,8	2,4	3,2	4,0

Monokristal panel kullanılan güneş enerjisi tesisi için; Çizelge 4.3’de görüldüğü ve beklendiği gibi devlet desteğinin olmadığı senaryolarda (A senaryoları), tesis maliyetinin geri ödenme süreleri diğer senaryolara göre yüksek çıkmıştır. Bu koşullarda tesisin kendini geri ödeme süreleri 6,1 yıl ile 15,4 yıl arasında değişmektedir. Devlet desteğinin %50 olduğu senaryolarda (B senaryoları), tesisin kendini geri ödeme süreleri 3,1 yıl ile 7 yıl arasında bulunmuştur. Devlet desteğinin %75 kabul edildiği senaryolarda (C senaryoları) ise, tesisin kendini geri ödeme süreleri 1,5 yıl ile 3,8 yıl arasında saptanmıştır.

Polikristal panel kullanılan güneş enerjisi tesisi için ise; devlet desteğinin olmadığı senaryolarda (A senaryoları), tesisin kendini geri ödeme süreleri 6 yıl ile 15,8 yıl arasında değişmektedir. Devlet desteğinin %50 olduğu senaryolarda (B senaryoları), tesisin kendini geri ödeme süreleri 3 yıl ile 7,4 yıl arasında olduğu gözlemlenmiştir. Devlet desteğinin %75 kabul edildiği senaryolarda (C senaryoları) ise, tesisin kendini geri ödeme süreleri 1,5 yıl ile 4 yıl arasında olduğu tespit edilmiştir.

Fotovoltaik tesisin kendini geri ödeme süresine ait yapılan literatür araştırmalarına göre Nacer ve ark. (2014) 23 yıl, Çiftçi ve ark. (2014) 11 yıl, Üçgül ve ark. (2014) 14 yıl, Büyükzeren ve ark. (2015) ürettikleri senaryo 1 için 5,1 yıl, senaryo 2 için 4,8 yıl, Taşkın ve Vardar (2018) 10-11 yıl ve Bilgili (2018) 6 yıl olarak bulmuşlardır.



## 5. SONUÇ

Dünya’da giderek artan enerji ihtiyacı sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim artmıştır. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan fotovoltaik teknolojinin daha da ileri taşınarak kullanım alanlarının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.

Dünya devletlerinin fotovoltaik pazar fiyatlarını düşürmek ve temiz enerji üretiminde fotovoltaik enerji tesislerini artırma çabaları çeşitli politikalar ve stratejiler ile devam etmektedir. Nüfus ve ekonomik olarak güçlü olan ülkeler kamu kurum ve kuruluşlarında şebekeye bağlı sistemlerin entegre sorununu çözmeye çalışarak ekonomilerine katkıda bulunmayı amaçlamaktadırlar.

Bu tez çalışmasında ise özellikle ülkemiz piyasasından temin edilen Bursa ilinde tarım arazilerine ya da işletmelerine kurulacak 23 kW’lık bir fotovoltaik tesisin teknik ve ekonomik analizi incelenmiştir. Teknik açıdan bakıldığında monokristal panellerden oluşan tesisten elde edilen yıllık enerji üretimi 28 081 kWh/yıl ile 32 239 kWh/yıl arasında ve ekonomik ömür boyunca elde edilen toplam enerji üretimi 617 838 kWh/xyıl ile 709 250 kWh/xyıl arasında değişmektedir. Polikristal panellerden oluşan tesisten elde edilen yıllık enerji üretimi ise 26 209 kWh/yıl ile 31 886 kWh/yıl arasında ve toplam enerji üretimi 524 179 kWh/xyıl ile 637 720 kWh/xyıl arasında olup monokristal tesise göre daha azdır.

Maliyet açısından ise polikristal güneş enerjisi tesisi, monokristal güneş enerjisi tesisine göre daha ekonomiktir. Polikristal güneş enerjisi tesisinin maliyeti 21 850 € iken monokristal güneş enerjisi tesisinin maliyeti 22 770 €’dur. Devlet desteği olmaksızın (A senaryosu) tesislerin kendini geri ödeme sürelerine bakıldığında tesislerin ekonomik ömürlerinin farklı olması nedeniyle monokristal olan tesis en az 6,1 yılda kendini geri öderken polikristal tesisin kendini geri ödeme süresi en az 6 yıldır. Geri ödeme süreleri devlet desteği söz konusu olduğunda düşmektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerin fotovoltaik teknolojiyi sübvansede etmelerinin temel sebebinin bu olduğu görülmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde bir teşvik mekanizması olmadan da güneş enerjisi tesislerinin sürdürülebilir olduğu görülmektedir. Maliyetlerin zamanla düşmesi ve teknolojinin de gelişmesi dikkate alındığında gelecekte teşvik mekanizmalarına daha az gereksinim duyulabilir. Ancak günümüz koşullarında geleceğin enerji üretim teknolojilerinden biri olması beklenen fotovoltaik teknolojinin sübvansede edilmesi yaygınlaşmasını sağlamak açısından önemlidir.



## KAYNAKLAR

- Ağaçbiçer, G. 2010.** Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ekonomisine Katkısı ve Yapılan Swot Analizler. *Yüksek Lisans Tezi*, ÇOMÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Aksoy, S. 2017.** Günder güneş santrallerinde yıldırım ve ani aşırı gerilimden korunma-topraklama semineri. Günder Semineri, 31.03.2017, İstanbul.
- Al-Waeli, A.H.A., Sopian, K., Kazem, H.A., Chaichan, M.T. 2018.** Nanofluid based grid connected PV/T systems in Malaysia: A technoeconomical assessment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 28(2018): 81–95.
- Anonim, 2016.** Renewables 2016 Global Status Report. [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR\\_2016\\_Full\\_Report\\_lowres.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf) -(Erişim Tarihi: 30.08.2018).
- Anonim, 2016a.** Mavi Kitap, Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016. Ankara. [http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fMavi%20Kitap%2fMavi\\_kitap\\_2016.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fMavi%20Kitap%2fMavi_kitap_2016.pdf) -(Erişim Tarihi: 10.10.2018).
- Anonim, 2017.** UNECE Renewable Energy Status Report 2017. [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/renew/Renewable\\_energy\\_report\\_2017\\_web.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/renew/Renewable_energy_report_2017_web.pdf) -(Erişim Tarihi: 04.07.2018).
- Anonim, 2018.** Renewables 2018 Global Status Report. <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17> -(Erişim Tarihi: 30.08.2018).
- Anonim, 2018a.** Yenilenebilir enerji kurulu güç gelişimi. <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir.aspx> -(Erişim Tarihi: 15.09.2018).
- Anonim, 2018b.** Türkiye elektrik sistemi kuruluş ve kaynaklara göre kurulu güç. [https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-07/kurulu\\_guc\\_haziran\\_2018.pdf](https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-07/kurulu_guc_haziran_2018.pdf) - (Erişim Tarihi: 05.10.2018).
- Anonim, 2018c.** 2018 Temmuz ayı sonu itibariyle ülkemizin Birincil Kaynaklara göre Elektrik enerjisi Üretimi ve Kurulu güç. <http://www.guyad.org/pdf/TemmuzSonuBirincilKaynaklaraGoreElektrikEnerjisiUretimVeKuruluGucu.pdf> -(Erişim Tarihi: 08.10.2018).
- Anonim, 2018d.** Türk Dil Kurumu. [http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5bc4664d1553e5.68095150](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5bc4664d1553e5.68095150) -(Erişim Tarihi: 09.10.2018).
- Anonim, 2018e.** Güneş enerjisi ve teknolojileri. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, [http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx) -(Erişim Tarihi: 11.10.2018).
- Anonim, 2018f.** Güneşin Elektromanyetik Spektrumu. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/ozonuv/gunesspectrumu.pdf> -(Erişim Tarihi: 18.10.2018).
- Anonim, 2018g.** Solar PV Costs 2010-2015. <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=3&subTopic=32>-(Erişim Tarihi: 05.09.2018).
- Anonim, 2018h.** Renewable Energy Targets. <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=1021&subTopic=35> -(Erişim Tarihi: 06.11.2018).
- Anonim, 2018i.** Türkiye Kurulu Gücü. <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-0>-(Erişim Tarihi: 20.09.2018).

- Anonim, 2018i.** T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi Güneş. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes->(Erişim Tarihi: 17.09.2018).
- Anonim, 2018j.** 2000-2016 Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu 2018. [http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSayfalar%2fener\\_gelisim\\_rapor\\_2018.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSayfalar%2fener_gelisim_rapor_2018.pdf) – (Erişim Tarihi:12.09.2018).
- Anonim, 2018k.** Fotovoltaik güneş enerji sistemi. <https://www.gurlekoglumuhendislik.com/fotovoltaik-sistemler-pv/> -(Erişim Tarihi: 09.10.2018).
- Anonim, 2018l.** Teşvik Bilgilendirme Sitesi. <https://www.kosgebkredisi.com/elektrik-uretimine-devlet-destekleri-ges-projelerine-tesvik-hibe/> -(Erişim Tarihi: 25.10.2018).
- ARC, 2018.** Fotovoltaik Çalışma Prensipleri. [http://www.arcenerji.com.tr/faliyet?id=7&icerik\\_id=61](http://www.arcenerji.com.tr/faliyet?id=7&icerik_id=61) – (Erişim Tarihi: 08.10.2018).
- Arslan, İ. 2018.** Tekirdağ Koşullarında Polikristal ve Monokristal Tip PV Güneş Panellerinin Verimliliklerinin Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, NKU Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ.
- Bilgili, M.E. 2018.** Modern süt sığırcılığı işletmelerinde enerji ihtiyacının fotovoltaik güneş panelleri ile karşılanmasına yönelik bir araştırma, *Doktora Tezi*, KSU Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Boyle, G. 2004.** Renewable Energy Power for Sustainable Future, Oxford Press,Oxford, 452 pp.
- Bulut, H. 2009.** Güneş Enerjisi Isıl Uygulamalar. Temiz Enerjiler Teknolojileri Kursu, 9-13 Şubat 2009, Gaziantep. <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/Gunes1.pdf> -(Erişim Tarihi: 07.04.2018).
- Büyükzeren, R., Altıntaş, H.B., Martin, K., Kahraman A. 2015.** Binalardaki Fotovoltaik Uygulamasının Teknik, Çevresel ve Ekonomik İncelenmesi: Meram Tıp Fakültesi Hastanesi Örneği. *EMO Bilimsel Dergi*, Cilt 5, Sayı 10, Aralık 2015.
- Charfi, W., Chaabane, M., Mhiri, H., Bournot, P. 2018.** Performance evaluation of a solar photovoltaic system. *Energy Reports*, 4(2018): 400–406.
- Cossua, M., Murgia, L., Ledda, L., Deligios, P.A., Sirigu, A., Chessa, F., Pazzona, A. 2014.** Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity. *Applied Energy*, 133(2014): 89–100.
- Çapık, M., Yılmaz, A.O., Çavuşoğlu, İ. 2012.** Present situation and potential role of renewable energy in Turkey, *Renewable Energy* 46(2012): 1-13.
- Çifci, A., Kırbaş, İ., İşyarlar, B. 2014.** Güneş Pili Kullanılarak Burdur’da Bir Evin Ortalama Elektrik İhtiyacının Karşılanması, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (1): 14-17.
- Darga, A. 2005.** Tarım Makineleri İşletmeciliği. BUÜ Ziraat Fakültesi (Yayınlanmamış ders notları), 2005, Bursa.
- Diñer, F. 2011.** Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. *Journal of Engineering Sciences*, 14(1): 8-17.
- Diñer, İ. 2002.** The role of exergy in energy policy making. *Energy Policy*, 30(2002): 137–149.
- Elamim, A., Hartiti, B., Haibaoui, A., Lfakir, A., Thevenin, P. 2018.** Performance evaluation and economical analysis of three photovoltaic systems installed in an institutional building in Errachidia, Morocco. *Energy Procedia*, 147(2018):121-129.

- Esin, F. 2012.** Yaşamamızın kaynağı bir çüce yıldız güneş. Sarmal yayınevi, İstanbul, 316 s.
- Ferreira, A., Kunh, S.S., Fagnani K.C., De Souza, T.A., Tonezer, C., Dos Santos, G.R., Coimbra-Araujo, C.H. 2018.** Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2018): 181-191.
- Gençoğlu, M.T., 2002.** Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2): 57-64. <http://www.solar-academy.com/menus/Yenilenebilir-Enerji-Kaynaklarinin-Turkiye-Acisindan-Onemi.005039.pdf> -(Erişim tarihi: 12.10.2018).
- GSA, 2016.** Global Solar Atlas. <https://globalsolaratlas.info/?c=32.52532,44.764564,2> – (Erişim Tarihi: 12.09.2018).
- Haselhuhn, R., Hemmerle, C. 2008.** Planning and Installing Photovoltaic Systems A guide for installers. Architects and Engineers Second Edition, Earthscan in the UK and USA 384 pp.
- Hassanien, R., Hassanien, E., Li, M., Lin, W.D. 2016.** Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54 (2016): 989–1001.
- Hua, Y., Oliphant, M., Hu, E.J. 2016.** Development of renewable energy in Australia and China: A comparison of policies and status. *Renewable Energy*, 85: 1044-1051.
- IRENA, 2018a.** Capacity and Generation. <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=54> -(Erişim Tarihi:06.10.2018).
- IRENA, 2018b.** Country Rankings. <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=18> - (Erişim Tarihi: 06.10.2018).
- Korsavi, S.S., Zomorodian, Z.S., Tahsildoost, M. 2018.** Energy and economic performance of roof top PV panels in the hot and dry climate of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 174(2018): 1204-1214.
- Li, C., Zhou, D., Zheng, Y. 2018.** Techno-economic comparative study of grid-connected PV power systems in five climate zones, *Energy*, 165 (2018): 1352- 1369.
- Liu, W., Liu, L., Guan, C., Zhang, F., Li, M., Lv, H., Yao, P., Ingenhoff J. 2018.** A novel agricultural photovoltaic system based on solar spectrum separation. *Solar Energy*, 162(2018): 84-94.
- Martinot, E., Chaurey, A., Lew, D., Moreira, J. R., Wamukonya, N. 2002.** Renewable energy markets in developing countries. *Annual review of energy and the environment*, 27(1): 309-348.
- Nacer, T., Hamidat, A., Nadjemi, O. 2014.** Feasibility study and electric power flow of grid connected photovoltaic dairy farm in Mitidja (Algeria). *Energy Procedia*, 50(2014 ): 581 – 588.
- Nacer, T., Hamidat, A., Nadjemi, O. 2015.** Techno-economic impacts analysis of a hybrid grid connected energy system applied for a cattle farm. *Energy Procedia* 75(2015): 963 – 968.
- Nacer, T., Hamidat, A., Nadjemi, O. 2016.** A comprehensive method to assess the feasibility of renewable energy on Algerian dairy farms. *Journal of Cleaner Production*, 112(2016): 3631-3642.

- Öztürk, H.H. 2008.** Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı. Teknik Yayınevi, Ankara, 367 s.
- Öztürk, H.H., Kaya, D. 2013.** Fotovoltaik Teknoloji. Umuttepe Yayınları, Kocaeli, 417 s.
- Öztürk, R., 2003.** Güneş pilleri ile elektrik enerjisi üretimi ve Karavanlarda uygulanmasının Teknik ve Ekonomik Analizi. Tesisat Mühendisliği. Temmuz-Ağustos 2003. <https://docplayer.biz.tr/21545177-Makale-gunes-pilleri-ile-elektrik-enerjisi-ueetimi-ve-karavanlarda-uygulanmasinin-teknik-ve-ekonomik-analizi.html> Erişim Tarihi: 07.09.2018).
- Quaschnig, V. 2005.** Understanding Renewable Energy Systems. Earthscan, in UK and USA, 272 pp.
- Quaschnig, V. 2010.** Erneuerbare Energien und Klimaschutz. Hanser, Germany, 339 pp.
- Selici, T., Utlu, Z., İlten, N. 2005.** Enerji Kullanımının Çevresel etkileri ve Sürdürülebilir Gelişme Açısından Değerlendirilmesi. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı: 48-53, 19-21 Ekim, 2005, Mersin.
- SMA, 2018.** SMA Solar Technology. <https://www.sma.de/en/products/overview.html> - (Erişim tarihi: 24.12.2018).
- Tahri, F., Tahri, A., Oozeki, T. 2018.** Performance evaluation of grid-connected photovoltaic systems based on two photovoltaic module technologies under tropical climate conditions. *Energy Conversion and Management*, 165(2018): 244–252.
- Taşkın, O., Vardar, A. 2018.** Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Amfi Çatısının Güneş Elektriği Potansiyelinin Tahminlenmesi. 31. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, 5-7 Eylül 2018, Bursa.
- Tran, T.T.D., Smith, A.D., 2017.** Evaluation of renewable energy technologies and their potential for technical integration and cost-effective use within the U.S. energy sector, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80: 1372-1388.
- Tudisca, S., Di Trapani, A.M., Sgroin, F., Testa, R., Squatrito R. 2013.** Economic analysis of PV systems on buildings in Sicilian farms, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28(2013): 691-701.
- Üçgül, İ., Tüysüzoğlu, E., Yakut, M.Z., 2014.** PV Çatı Uygulaması için Enerji Hesaplaması ve Ekonomik Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(2): 1-6.
- Ünalın, S. 2006.** Alternatif Enerji Kaynakları. [https://birimler.dpu.edu.tr/app/views/panel/ckfinder/userfiles/48/files/alt\\_ener\\_kay\\_ders\\_notlari.pdf](https://birimler.dpu.edu.tr/app/views/panel/ckfinder/userfiles/48/files/alt_ener_kay_ders_notlari.pdf) -(Erişim tarihi: 01.09.2018).
- Vardar, A., Çetin, B. 2013.** Support of Electric Energy Requirement at Educational Institutions with Photovoltaic Systems Generating Electricity from Solar Radiation. ICEE Conference Proceedings, 9-10th May 2013, School of Economics and Management, University of Porto.
- Yavuzcan, G. 1994.** Enerji Teknolojisi. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları no: 1324 Ders Kitabı: 383, Ankara, 116 s.
- YEGM, 2018.** Güneş Enerji Potansiyel Atlası. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> - (Erişim Tarihi: 08.10.2018).

**Yılmaz, S., Dincer, F. 2017.** Optimal Design of Hybrid PV-Diesel-Battery systems for isolated lands: A case study for Kilis, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77(2017): 344-352.

**Yılmaz, U., Demiroren, A., Zeynelgil, H.L. 2010.** Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, Cilt:13 Sayı: 3 s. 215-223.

**Zhang, C., Campana, P., Yang, J., Zhang, J., Yan, J. 2017b.** Can Solar Energy be an Alternative Choice of Milk Production in Dairy Farms? ---A Case study of Integrated PVWP System with Alfalfa and Milk Production in Dairy Farms in China. *Energy Procedia*, 105(2017): 3953-3959.

**Zhang, D., Wang, J., Lin, Y., Si, Y., Huang, C., Yang, J., Huang, B., Li W., 2017a.** Present situation and future prospect of renewable energy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 76(2017): 865–871.

**Zhang, R., Shen, G.Q.P., Ni, M., Wong, J.K.W. 2018.** Techno-economic feasibility of solar water heating system: Overview and meta-analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 30(2018): 164–173.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuğba BİÇEN  
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul, 04.07.1991  
Yabancı Dil : İNGİLİZCE

Eğitim Durumu  
Lise : Özel Edirne Beykent Fen Lisesi, 2009

Lisans : Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri  
Bölümü, 2016

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

Yayımları :

**Biçen, T., Szczutkowski, M., Vardar, A.** 2018. A Research on Solar Based Renewable Energy Production. *J. Biol. Environ. Sci.*, 2018, 12(35), 59-68.

**Arslan Ayhan, A., Biçen, T., Vardar, A.** 2018. İklim Parametrelerindeki Değişimler ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeline Etkileri: Bursa Örneği. 31. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, 5-7 Eylül 2018, Bursa.