

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK PANELLER YARDIMI İLE GÜNEŞ  
ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN  
MALİYET ANALİZİ VE GELECEKTEKİ PROJEKSİYONU**

Gemi İnşaatı ve Makinaları Mühendisi, Şevki Çağlar ÇOLAK

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programına  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı:** Yrd. Doç. Dr. Zehra YUMURTACI (YTÜ)

**İSTANBUL, 2010**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK PANELLER YARDIMI İLE GÜNEŞ  
ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN  
MALİYET ANALİZİ VE GELECEKTEKİ PROJEKSİYONU**

Gemi İnşaatı ve Makinaları Mühendisi, Şevki Çağlar ÇOLAK

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programına  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı:** Yrd. Doç. Dr. Zehra YUMURTACI (YTÜ)

**İSTANBUL, 2010**

# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	2
1.1.1. Hidrolik.....	2
1.1.2. Rüzgar.....	3
1.1.3. Biyokütle ve Biyoyakıtlar.....	3
1.1.4. Dalga, Gel-Git ve Okyanus Akıntıları.....	3
1.1.5. Jeotermal.....	4
1.1.6. Güneş.....	4
1.2. Dünyamızın Yenilenebilir Enerji Kaynakları Görünümü.....	4
2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	8
2.1. Güneş Enerjisi ile İlgili Genel Bilgiler.....	8
2.2. Enerji Kaynağı Olarak Güneş.....	9
2.3. Dünyada Güneş Enerjisi Görünümü.....	10
2.4. Türkiye’ de Güneş Enerjisi Görünümü.....	11
3. GÜNEŞ PİLLERİ ve FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	14
3.1. Güneş Pilleri.....	14
3.1.1. Yarı İletkenler.....	15
3.1.2. P-N Ekleme.....	17
3.1.3. Fotovoltaik Etki.....	19
3.2. Fotovoltaik Paneller.....	21
3.3. Fotovoltaik Panel Çeşitleri.....	22
3.3.1. Kristal Silikon Piller.....	22
3.3.2. Galyum Arsenit Piller.....	25
3.3.3. Optik Yoğunlaştırıcı Düzenekler.....	25
3.3.4. Diğer.....	25
3.4. Fotovoltaik Panellerin Verimlilikleri.....	25
3.5. Fotovoltaik Panellerin Değerlendirilmesi.....	26
3.6. Fotovoltaik Sistem Uygulamaları.....	26
3.6.1. Doğrudan Bağlı PV sistemleri.....	27

3.6.2. Bağımsız PV sistemleri.....	28
3.6.3. Şebekeye Bağlı Evsel PV Sistemler.....	29
3.6.4. Hibrit Bağlı Sistemler.....	31
3.7. Fotovoltaik Sistemlerin Çevresel Etkileri.....	32
3.8. Fotovoltaik Sistemlerin Elektrik Üretiminden Öte Yararları.....	34
3.8.1. Fosil Yakıt Kullanımının Önlenmesi ve Buna Bağlı Çevresel Yararlar.....	34
3.8.2. Son Kullanıcılar Açısından Bireysel Yararları.....	35
<b>4. TÜRKİYE’ DE KURULACAK BİR FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SANRTALİNİN FİZİBİLİTE DETAYLARI VE BİRİM ENERJİ ÜRETİM MALİYETİNİN HESABI.....</b>	<b>36</b>
4.1. Giriş.....	36
4.2. Kurulması Düşünülen bir GES’ in Fizibilite Çalışmasının Detayları.....	36
4.2.1. Türkiye’ de Yakın Geçmiş ve Günümüzde Elektrik Üretimi.....	36
4.2.2. Türkiye’ de GES’ler İle İlgili Hukuki Altyapı.....	38
4.2.3. Ulusal Elektrik Sistemine Bağlantı Koşulları.....	41
4.3. Proje Sahası Seçimi ve Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi.....	41
4.4. Güneş Pillerinden Elde Edilecek Elektrik Enerjisinin Hesabı.....	43
4.4.1. Fotovoltaik Panel-Güneş Işınları Arasındaki Açılar.....	43
4.4.2. Bir Fotovoltaik Panelden Elde Edilecek Enerjinin Hesaplanması.....	45
4.4.3. Örnek Bir Fotovoltaik Panel ile Elde Edilecek Gücün Hesabı.....	48
4.5. PVSYST Programı Kullanılarak GES Tasarımı ve Enerji Maliyeti.....	56
4.5.1. PVSYST Programı Kullanılarak Hesaplama Yapılacak Yerlerin Seçimi.....	57
4.5.2. Kullanılacak Güneş Paneli ve İnverter Seçimi ve Fiyatları.....	60
4.5.3. Seçilen Bölgeler İçin PVSYST İle Hesapların Yapılması.....	60
4.5.4. Muğla İline Kurulacak 10 MW Güce Sahip GES için hesaplamalar.....	60
4.5.5. Seçilen Diğer Bölgeler İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	89
4.5.6. Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.....	94
<b>5. FOTOVOLTAİK PANELLER İLE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN GELECEKTEKİ PROJEKSİYONU.....</b>	<b>99</b>
5.1. Avrupa Birliği Ülkelerinde ve Türkiye’de Fotovoltaik Sistemlere Uygulanan Teşvikler.....	99
5.2. Fotovoltaik Sistemlerin Kullanım Potansiyeli.....	100
5.3. Fotovoltaik Sistemlerin Gelecekteki Projeksiyonu.....	101
5.4. Fotovoltaik Sistemlerin Kullanımının Türkiye Enerji İthalatına Etkileri.....	103
<b>6. SONUÇ.....</b>	<b>105</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>108</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>110</b>

## SİMGE LİSTESİ

$\phi$	Enlem açısı
$\delta$	Sapma açısı
$\beta$	Eğim açısı
$\gamma$	Yüzey azimut açısı
$w$	Saatlik açı
$\theta$	Gelme açısı
$\theta_z$	Zenit açısı
$\alpha_s$	Solar yükseklik açısı
$\gamma_s$	Solar azimut açısı
$I_T$	Eğimli yüzeye gelen saatlik ışıınım
$H_0$	Uzaydan gelen saatlik radyasyon
$H_d$	Günlük difüz radyasyon
$H$	Günlük ışıınım
$\rho_g$	Yerin yansıtma katsayısı
$K_T$	Hava için açıklık indeksi
$r_t$	Saatlik toplam radyasyonun günlük toplam radyasyona oranı
$r_d$	Saatlik difüz radyasyonun günlük difüz radyasyona oranı
$R_b$	Eğimli yüzeye gelen radyasyonun yatay yüzeye gelene oranı
$I_o$	Uzaydan gelen saatlik radyasyon
$G_{SC}$	Solar sabit
$n$	Gün
$w_s$	Güneşin doğuş ve batışındaki saatlik açı
$U_L$	Kollektörün toplam ısı kaybı katsayısı
$\tau$	İletim
$\alpha$	Emilim kesri
$T_{C,NOCT}$	Nominal işletme sıcaklığı için pil sıcaklığı
$T_a$	Ortam sıcaklığı
$G_{T,NOCT}$	Nominal işletme sıcaklığı için eğimli yüzeydeki radyasyon
$\eta_{mp,ref}$	Maksimum güç verimi
$\eta_e$	Maksimum güç noktası elektroniği verimi
$\mu_{mp}$	Maksimum güç noktası sıcaklık katsayısı
$T_{a,i}$	Saatlik sıcaklık
$T_{ref}$	Referans sıcaklık
$E_i$	Ortalama saatlik elektrik üretimi
$A_c$	Panel alanı

## ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa
Şekil 1.1	Dünyada Yenilenebilir enerji kaynakları kapasite ve üretim durumu (hidroelektrik dahil)	5
Şekil 1.2	Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kapasite ve Üretim (Hidroelektrik Hariç)	5
Şekil 1.3	Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kurulu Kapasite Gelişimi (Hidroelektrik Hariç)	6
Şekil 1.4	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımının En Çok Olduğu Ülkeler	7
Şekil 2.1	Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli	11
Şekil 2.2	Türkiye Global Radyasyon Değerleri	12
Şekil 2.3	Türkiye Ortalama Güneşlenme Süreleri	12
Şekil 3.1	Üç farklı malzemenin enerji kuşağı diyagramı (a) yalıtkan (b) iletken(metal) (c) yarı iletken	16
Şekil 3.2	N-tipi ve p-tipi yarı iletkenler (a) n-tipi, geçiş elektronlu (b) p-tipi, geçiş pozitif boşluklu	18
Şekil 3.3	p-n eklemının şematik gösterimi	18
Şekil 3.4	N-tipi ve p-tipi yarı iletkenlerin enerji kuşak diyagramları (a) n-tipi yarı iletken (b) p-tipi yarı iletken	19
Şekil 3.5	Bir güneş pilinin çalışma şekli	20
Şekil 3.6	Kristal silikon yarı iletkenlifotovoltaik panelinin yapısı ve çalışma mantığı	21
Şekil 3.7	Monokristal silisyumdan üretilmiş bir güneş pili	23
Şekil 3.8	Polikristal silisyumdan üretilmiş bir güneş pili	24
Şekil 3.9	İnce film güneş pili	24
Şekil 3.10	Fotovoltaik sistemlerin temel çalışma prensibi	27
Şekil 3.11	Doğrudan şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin şematik gösterimi	27
Şekil 3.12	Doğrudan Şebekeye Bağlı Bir Güneş Tarlası (Waldpolenz Güneş Tarlası, Almanya)	28
Şekil 3.13	Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerin şematik gösterimi	28
Şekil 3.14	Şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistem uygulama örneği	29
Şekil 3.15	Şebekeye bağlı evsel kullanım amaçlı fotovoltaik sistemlerin Şematik Gösterimi	30
Şekil 3.16	Şebkeye bağlı bir ev fotovoltaik sistem uygulama örneği	30
Şekil 3.17	Hibrit bir fotovotaik sistemin şematik gösterimi	31
Şekil 3.18	Hibrit bir fotovoltaik sistem	32
Şekil 4.1	Güneş enerjisi potansiyel atlası	42
Şekil 4.2	Panel ile güneş arasındaki açılar	44
Şekil 4.3	Azimut Açısı	44
Şekil 4.4	Muğla iline ait güneş enerjisi potansiyeli	48
Şekil 4.5	Muğla ili günlük ortalama güneşlenme süresi	49
Şekil 4.6	Muğla ili global radyasyon değeri	49
Şekil 4.7	Dünya üzerindeki Meteororm İstasyonları ve sayıları	56
Şekil 4.8	Türkiye’deki Meteororm İstasyonları ve sayıları	57
Şekil 4.9	Hesaplamalar için seçilen konumların harita üzerinde gösterimi	57
Şekil 4.10	PVSYST programı giriş ekranı	61

Şekil 4.11	Proje ve Simulasyon bilgilerinin girişi	61
Şekil 4.12	Yer bilgilerinin girişi ve ilgili METEONORM dosyasının seçimi	62
Şekil 4.13	Seçilen Bölgeye Ait Meteorolojik Veriler Ekranı	63
Şekil 4.14	Albedo Değerlerinin Seçimi	64
Şekil 4.15	Projeye isim verilmesi ve kaydedilmesi	64
Şekil 4.16	Sistem Tipi Seçimi (Şebekeye Bağlı)	65
Şekil 4.17	GES teknik bilgilerinin girileceği ekran	66
Şekil 4.18	Oluşturulacak GES' in sistem şeması	67
Şekil 4.19	Seçimlerimizin ardından sistem teknik bilgileri	67
Şekil 4.20	Sistemin Boyutlandırma koşulları	68
Şekil 4.21(a), (b), (c)	Sistem Kayıpları	69
Şekil 4.22	Seçilen bölgeye ait ufuk çizgisi bilgileri	70
Şekil 4.23	Panel pozisyonuna ait parametreler	71
Şekil 4.24	Gölgelenme Bilgileri Ekranı	72
Şekil 4.25	Arazi gölge elemanları çizim ekranı	72
Şekil 4.26	Sistem bilgilerinin son kontrolü	73
Şekil 4.27	Simülasyon ekranı	74
Şekil 4.28	Sistemin simülasyonu	74
Şekil 4.29	Simülasyonun özet raporu	75
Şekil 4.30	Maliyet hesabı için verilerin girileceği ekran	75
Şekil 4.31	Finansal durum tablosu	77
Şekil 4.32	Enerji satış bedeli ve uzun vadeli finansmanı	78
Şekil 4.33	Üretim Maliyetleri ve Satış Fiyatları	97
Şekil 4.34	Yıllık Santral Ömrü Sonunda Kümülatif Kar/Zarar Durumu (Avro)	98
Şekil 4.35	Seçilen Panel Tipi ve Bölgelere Göre Çok Kristalli Panel Yerine Tek Kristalli Panel Kullanımından Kaynaklanan Yatırım Maliyeti Artışına Karşılık Elde Edilen Enerji Miktarlarındaki Değişimler	98

## ÇİZELGE LİSTESİ

		Sayfa
Çizelge 1.1	Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Dayalı Güç Üretim Tesislerinin Kurulu Gücünün Bir Önceki Yıla Göre Değişimi	6
Çizelge 1.2	Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elde Edilen Elektriğin Toplam Elektrik Üretimi İle Karşılaştırılması	7
Çizelge 2.1	Dünyada Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Üretim Miktarı (milyon kWh) ve Bir Önceki Yıla Göre Artış Oranları	10
Çizelge 2.2	Türkiye' nin yıllık ortalama güneş radyasyonu değerleri ve ortalama güneşlenme sürelerinin coğrafi bölgelere göre dağılımı	13
Çizelge 3.1	Fotovoltaik panellerin verimliliklerinin karşılaştırılması	26
Çizelge 4.1	Günlük ortalama radyasyon miktarı ( $MJ/m^2$ )	52
Çizelge 4.2	Örnek Bölgelerde Elde Edilen Sonuçlar	55
Çizelge 4.3	Hesapların Yapılacağı Yerler ve Yakındaki Gerçek Güneş Tarlaları	59
Çizelge 4.4	Hesaplamalarda Yapılan Kabuller	59
Çizelge 4.5	Fotovoltaik Sistemde Kullanılacak Ürünlere Ait Bilgiler ve Birim Fiyatlar	60
Çizelge 4.6(a,b,c,d,e)	PVSYST Programı Aracılığıyla Muğla İlinde Kurulması Öngörülen 10 MW Kurulu Güce Sahip GES' in Özet Teknik Raporu ve Maliyet Analizi (Çok Kristalli Paneller İle)	79
Çizelge 4.7(a,b,c,d,e)	PVSYST Programı Aracılığıyla Muğla İlinde Kurulması Öngörülen 10 MW Kurulu Güce Sahip GES' in Özet Teknik Raporu ve Maliyet Analizi (Tek Kristalli Paneller İle)	84
Çizelge 4.8	Çok Kristalli Paneller Kullanılarak 5 Farklı Bölgeye Kurulacak 10MW Gücündeki Güneş Enerjisi Santrallerinin Yatırım Maliyeti ve Gelir/Gider Dengesinin Karşılaştırılması	89
Çizelge 4.9	Tek Kristalli Paneller Kullanılarak 5 Farklı Bölgeye Kurulacak 10MW Gücündeki Güneş Enerjisi Santrallerinin Yatırım Maliyeti ve Gelir/Gider Dengesinin Karşılaştırılması	91
Çizelge 4.10	Yıllık global radyasyon ve elde edilecek enerjilerin karşılaştırılması	94
Çizelge 4.11	Tek kristalli ve çok kristalli paneller kullanılarak yapılacak yatırımlara ait maliyetler	95
Çizelge 4.12	Seçilen beş bölge için yıllık enerji satış gelirleri ve 30 yılın sonunda santralden elde edilecek toplam gelir/gider	96
Çizelge 5.1	Bazı Avrupa Birliği ülkelerinde fotovoltaik sistemlere uygulanan teşvikler	100
Çizelge 5.2	İyimser senaryoya göre 2030 yılına kadar fotovoltaik piyasasında gelişme	102
Çizelge 5.3	Ortalama senaryoya göre 2030 yılına kadar fotovoltaik piyasasında gelişme	102
Çizelge 5.4	Çatılara entegre fotovoltaik sistemlerden elektrik üretim maliyet beklentileri	103
Çizelge 5.5	Türkiye' nin Enerji Dengesi	104



## ÖNSÖZ

Dünyamızda artan enerji ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanması düşüncesi uzun yıllardır var olmakla beraber, güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretimine olanak sağlayan fotovoltaik sistemlerin gelişimi oldukça yeni sayılabilir. Türkiye’de de güneş enerjisi yıllardır kullanılmakta ancak ısıtmada kullanımdan öteye gidememektedir.

Yapmış olduğum bu çalışma ile fotovoltaik sistemler konusundaki bilgilerimi artırmayı, fotovoltaik sistemlerin Türkiye şartlarına uygunluğunu araştırmayı, fotovoltaik sistemler aracılığı ile elektrik üretiminin maliyetini günümüz koşullarında belirlemeyi ve gelecekteki projeksiyonunu yapmayı ve yapılan bu çalışmanın benzer konularda faaliyet gösteren değerli meslektaşlarım ve öğrenci arkadaşlarıma faydalı bir kaynak oluşturmasını amaçladım.

Öncelikle bana bu konuda bir tez çalışması yapma olanağı sağlayan ve her zaman destek olan tez danışmanım, değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Zehra Yumurtacı’ ya, tez çalışmam sırasında ve hayatımın her anında bana sonsuz destek sağlayan sevgili karım Ayça’ya, bugünlere gelmemdeki destek ve katkılarından dolayı değerli anne ve babama, hiçbir zaman bana yardımını esirgemeyen değerli arkadaşım ve meslektaşım Safa Yüzer’e ve bu çalışmamda bana yardımcı dokunan herkese teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışması, doğumunu beklediğimiz çocuğumuza adanmıştır.

2010, Beşiktaş

## ÖZET

Bu çalışmada, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olan güneşten doğrudan elektrik eldesinin çeşitli bölgeler için maliyet hesabı yapılarak fotovoltaik sistemlerin günümüz koşullarında ve gelecekteki durumu ele alınmıştır. Öncelikle dünyamızdaki ve Türkiye’deki enerji durumu incelenmiş, yenilenebilir enerji kaynakları genel olarak anlatılmış ve dünyadaki toplam elektrik üretimi içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı araştırılmıştır. Kurulması düşünülen bir güneş enerjisi santralının fizibilite çalışmasında nelere dikkat edilmesi gerektiği detayları ile irdelenmiş, fotovoltaik sistemlerden elektrik eldesinin Türkiye’deki hukuki altyapısı ve koşulları araştırılmıştır. Fotovoltaik panellerin yapısı, türleri ve çalışma prensipleri incelenmiş, örnek bir fotovoltaik panelden belirli bir bölgede elde edilebilecek elektrik enerjisinin hesabı yapılmıştır. Ardından belirlenen beş bölge için 10 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralinden elde edilecek elektrik enerjisinin miktarı, birim maliyeti ve santralin yatırım maliyetleri PVSYST programı aracılığı ile hesaplanmış, elde edilen sonuçlar detaylarıyla irdelenmiştir.

Elde edilen sonuçlarda, bugünün koşullarında Türkiye’de fotovoltaik sisteme dayalı güneş enerjisi santrali kurulmasının yatırımcıyı ciddi zarara uğratacağı görülmüştür. Buna karşın Almanya ve İspanya örneklerinde, ilgili devletlerin sağladığı alım garantileri ve destekleme fiyatları ile yatırımcıların uzun vadede kar ettikleri görülmüştür.

Günümüzde fotovoltaik panellerin üretim maliyeti yüksek olsa da, yakın gelecekte düşeceği ve kabul edilebilir seviyelere geleceği öngörüsü ile, ülkemizin enerjide dışa bağımlılığın ve fosil yakıtlardan elektrik enerjisi üretiminin zararlı çevresel etkilerin en aza indirilebilmesi için, güneş enerjisi bakımından son derece zengin olan Türkiye’de de fotovoltaik sistemlerin devlet tarafından üst seviyede desteklenmesi ve teşvik edilmesi durumunda fosil yakıtlara alternatif olabileceği ve enerjideki dışa bağımlılığı azaltabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Güneş, Enerji, Fotovoltaik, Güneş Enerjisi Santrali, Fizibilite, Maliyet, PVSYST

## **ABSTRACT**

In this thesis, the present and future status of the Photovoltaic Systems are discussed for different regions by calculating the costs of electricity generated directly from the sun which is a renewable and sustainable energy resource. First of all, the energy status in the World and Turkey is analysed, renewable energy resources are mentioned in general and ratio of the renewable energy resources in total electricity generation is researched. The important points to be noticed in case of a feasibility study for a probable solar power plant installation and the legal infrastructure in Turkey for electricity generation through Photovoltaic Systems are examined in detail. The structure, types and the working principle of the Photovoltaic Panels are researched and electric energy generation of a sample PV panel used in a specific area is calculated. After the quantity of electricity energy generated from solar power plants which have 10 MW of nominal power in five specified regions , unit cost and the investment cost of the power plants are calculated by using PVSYST computer programme, the derived results are analysed in detail.

Depending on the derived results, it is obviously seen that a PV system based solar power plant installation in Turkey can cause serious financial damages for the investor in present conditions. On the other hand, the examples of Germany and Spain point that due to the guarantee of purchase and support prices provided by the governments, the investors can make profit in the long term.

In conclusion, despite the high cost of the PV panels production in present -predicting the cost will decrease and reach to an admissible level in near future - it is stated that in case of a sufficient support and incentive by the government in Turkey which is highly a solar energy rich country, PV systems can also be an alternative to the fossil fuels to reduce the foreign dependence in energy and the environmental damages depending on the electricity energy generation.

**Keywords:** Sun, Energy, Photovoltaic, Solar Power Plant, Feasibility, Cost, PVSYST

## 1. GİRİŞ

Dünya nüfusu, milattan bin yıl önce 300 milyon olarak tahmin edilirken, ondokuzuncu yüzyıl başına kadar geçen yaklaşık 2800 yıllık süre zarfında yaklaşık 600 milyon artış ile 900 milyon civarına ulaşmış, 19. yüzyıl sonunda nüfus yaklaşık 1.7 milyar olmuştur. Dünya nüfusu yirminci yüzyıl boyunca da artmaya devam etmiş ve yüzyıl sonunda 6 milyara ulaşmıştır.[1] Ortalama senaryolara göre dünyamızın nüfusunun 2030 yılında 8,1 milyara, 2050 yılında da 8,9 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir.[2]

Bugün dünyamızda herkes tarafından kabul edilen bir enerji sorunu vardır, bu sorun savaşlara, ölümlere, yoksulluğa, geri kalmışlığa, açlığa ve insan hayatının hemen her alanında değişikliklere ve zorluklara sebep olmaktadır. Bugün karşı karşıya olduğumuz enerji sorunun en temelinde dünya nüfusundaki artış ve kıt enerji kaynakları vardır. Kıt enerji kaynaklarına sahip olan ülkeler, güçlü ve bu kaynakları ele geçirmek isteyen ülkelere işgal edilmekte, sömürülmekte ve halkı öldürülmektedir.

İnsanoğlunun başlangıçta enerji kaynağı olarak odun ve kömürü kullanmış, yirminci yüzyıl başı itibariyle de petrolden elde edilen yakıtların kullanımı çok büyük ölçüde yaygınlaşmıştır. Petrolün bir enerji kaynağı olarak kullanımının yaygınlaşması ile birlikte sanayide devrim yaşanmış, ulaşım olanakları ve insanların günlük hayatındaki imkanları büyük ölçüde artmıştır.

Yaklaşık 40 yıl önce yaşanan büyük petrol krizi insanları fosil yakıtlara alternatif enerji kaynaklarını aramaya yöneltmiştir. Bu yönelimin bir diğer sebebi de fosil yakıtların sebep olduğu çevresel felaketlerdir. İnsan olmanın bir gereği, yaşamakta olduğumuz dünyayı mümkün olduğunca zarar vermeden ve kaynaklarını tüketmeden gelecek nesillere devretmektir. Bugün gelinen noktada temelde fosil yakıtların kullanımından kaynaklı mevsimsel değişiklikler, küresel ısınma ve çevre kirliliği gibi faktörlerin etkileri daha fazla hissedilmekte, ve bu sebeple de temiz ve yenilenebilir-sürdürülebilir enerji kaynaklarının yaygın olarak kullanımı çabaları artmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidrolik, rüzgar, dalga, gel-git, biyokütle, jeotermal ve güneş enerjisi sayılabilir. Kullanım alanı bakımından en geniş olanağa sahip olan elektrik enerjisi doğrudan ya da dolaylı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilmektedir.

Temelde, dünyamızdaki bütün enerji kaynaklarının kökeni güneşe dayanmaktadır, buna fosil yakıtlar da dahildir. Bununla birlikte güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretiminin henüz önem kazanmaya başladığı ve gelecek için de önemli bir elektrik üretim yöntemi olarak değerlendirileceği söylenebilir.

Bu tezde yapılan çalışmanın amacı, günümüz koşullarında güneş enerjisinden fotovoltaik paneller yardımı ile elektrik enerjisi eldesinin maliyetinin incelenmesi, fotovoltaik panellerin kullanımının yaygınlaşması için neler yapılması gerektiğinin araştırılması, ülkemizin enerji ithalatına etkilerinin analizi ve gelecekteki projeksiyonudur. Bu amaçla, öncelikle fotovoltaik sistemler ile ilgili teknik konular ve çalışma prensipleri incelenmiş, bir fotovoltaik panelden elde edilebilecek elektrik enerjisinin seçilen bölgenin koşullarına göre hesaplanmasına olanak verecek matematik model oluşturulmuş ve seçilen beş bölge için hesaplamalar yapılmış, ardından PVSYST programı yardımı ile seçilen bölgeler için yıllık elektrik üretim miktarı ve birim maliyetleri, çeşitli alternatiflere ve günümüz koşullarına göre hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile fotovoltaik sistemlerin kullanımının yaygınlaştırılabilmesi için alınması gereken önlemler sıralanmış, enerji ithalatımıza olası etkileri irdelenmiş ve gelecekteki projeksiyonu yapılmıştır.

## **1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji, güneş, rüzgar, dalga gibi doğal enerji kaynaklarından elde edilen enerjiye verilen addır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidrolik, rüzgar, dalga, gel-git, biyokütle, biyoyakıtlar, jeotermal ve güneş enerjisi sayılabilir.

### **1.1.1. Hidrolik**

Hidrolik enerji genellikle büyük hidroelektrik santrallerinin çalıştırılmasında kullanılır, Hidroelektrik santralleri binlerce MW kurulu güce sahip olabileceği gibi, herhangi bir baraj yapısı olmaksızın (nehir tipi hidroelektrik santralleri) küçük kapasitelerde de (örneğin 100 kW) olabilir.

### **1.1.2. Rüzgar**

Hava akımlarının rüzgar türbinlerini çalıştırması yöntemiyle elde edilen elektrik enerjisi bu grup altında değerlendirilebilir. Modern rüzgar türbinlerinin her birisi 5MW'a kadar kapasiteye sahip olabilir. Rüzgar türbinleri karada ya da deniz üzerinde kurulu platformlarda çalıştırılabilmektedir.

### **1.1.3. Biyokütle ve Biyoyakıtlar**

Biyoküteller, petrol ve kömür hariç diğer bütün canlı ya da ölü organizmalardan oluşur. Fotosentez ile güneşten elde ettikleri enerjiyi depolayan bitkilerden enerji elde edilmesi, örneğin odunun yakılarak ısı elde edilmesi, biyokütellerden enerji eldesine örnek olarak verilebilir. Bu döngüde enerji kaynağı güneş olduğu için yenilenebilir enerji sınıfında değerlendirilir. Bu özelliği ile biyoküteller, güneş enerjisinin depolandığı piller olarak da düşünülebilir.

Biyoyakıtlar, bitkilerdeki şekerin fermente edilmesi ya da bitkilerden elde edilen yağların belli bir yöntem ile dizel yakıt haline getirilmesi ile elde edilir. Biyodizel çoğunlukla petrolden elde edilen motorine katılarak kullanılmaktadır. 2008 itibariyle dünyada nakliye için kullanılan dizel yakıtın %1,8'i biyodizeldir (3).

### **1.1.4. Dalga, Gel-Git ve Okyanus Akıntıları**

Okyanuslarda ve denizlerde meydana gelen büyük kütledeki su hareketlerinin yani dalgaların enerjisinden yararlanılarak elektrik elde edilebilmektedir. Özellikle deniz kıyılarında dalga potansiyeli yüksek olan ülkelerde bu yöntemden yararlanılarak elektrik elde edilebilmektedir.

Denizlerdeki gel-gitlerden elektrik elde edebilmek için gel-gitlerin olduğu koyların girişlerine yapılan barajlar ile yükselen sular tutulur (gel durumu), suların çekilmesi ile (git durumu) oluşacak yükseklik farkı sayesinde de bir hidroelektrik santrali gibi elektrik üretilir. Benzer mantık ile gel durumunda da elektrik üretimi yapılabilir.

Deniz ve okyanuslardaki düzenli akıntıların kinetik enerjisi, akıntıların içerisine türbinler yerleştirilmesi ile elektrik enerjisine dönüştürülebilir.

### 1.1.5. Jeotermal

Yerkabuğunun ısısı bazı yeraltı sularını ısıtır ve yeryüzüne çıkan bu sıcak sular enerji elde etmekte kullanılabilir. Bu şekilde elde edilen enerjiye jeotermal enerji denir.

### 1.1.6. Güneş

Güneşten dünyamıza gelen radyasyondan doğrudan ya da dolaylı olarak enerji elde edilebilir. Güneş ışınları ile doğrudan ısı ya da elektrik elde edilebileceği gibi, hidrojen eldesinde de yararlanılabilir. Güneş enerjisi detaylı olarak ikinci bölümde incelenmiştir.

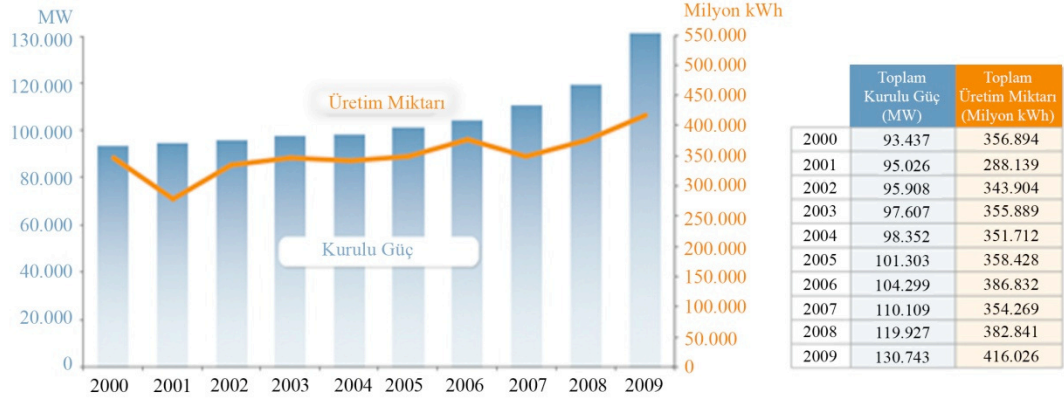
## 1.2. Dünyamızın Yenilenebilir Enerji Kaynakları Görünümü

Özellikle 2000 yılından sonra yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gelişme göstermiştir. Dünyada 2000-2009 yılları arasında hidrolik dahil yenilenebilir enerji kaynakları üzerine kurulu güç üretim santrallerinin kurulu kapasitesi yaklaşık %40, bu santrallerden elde edilen enerji miktarı da yaklaşık %17 artış göstermiştir (Şekil 1.1). Hidrolik enerji hariç yenilenebilir enerji kaynaklarının değişimine bakıldığında ise 2000-2009 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları üzerine kurulu güç üretim santrallerinin kurulu kapasitesinin yaklaşık %220, bu santrallerden elde edilen enerji miktarının da yaklaşık %77 artış gösterdiği görülür. (Şekil 1.2)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretim santrallerinin tipine göre kendi içerisinde gösterdiği gelişmeye bakıldığında yüzdesel olarak en büyük gelişmenin rüzgar santrallerinde, ikinci olarak da fotovoltaik sistemlerde olduğu görülmüştür. (Şekil 1.3) ve (Çizelge 1.1) Özellikle 2005 yılından sonra rüzgar enerjisi ve PV' deki artış göze çarpmaktadır.

Çizelge 1.2' den görülecek önemli bir nokta, 2000-2009 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin toplam elektrik enerjisi üretimindeki oranının çok fazla değişmemiş ve hatta bazı yıllarda düşmüş olduğudur. Buradan yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik eldesinin kapasitesinin yanında fosil yakıtlara dayalı elektrik enerjisi üretiminin de artış gösterdiği sonucuna ulaşılabilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları en çok kullanıldığı ülkeler Şekil 1.5 de görülmektedir. ABD birçok dalda lider iken, güneşlenme saat ve miktarının göreceli olarak düşük olduğu Almanya' nın PV' deki liderliği dikkate değerdir.

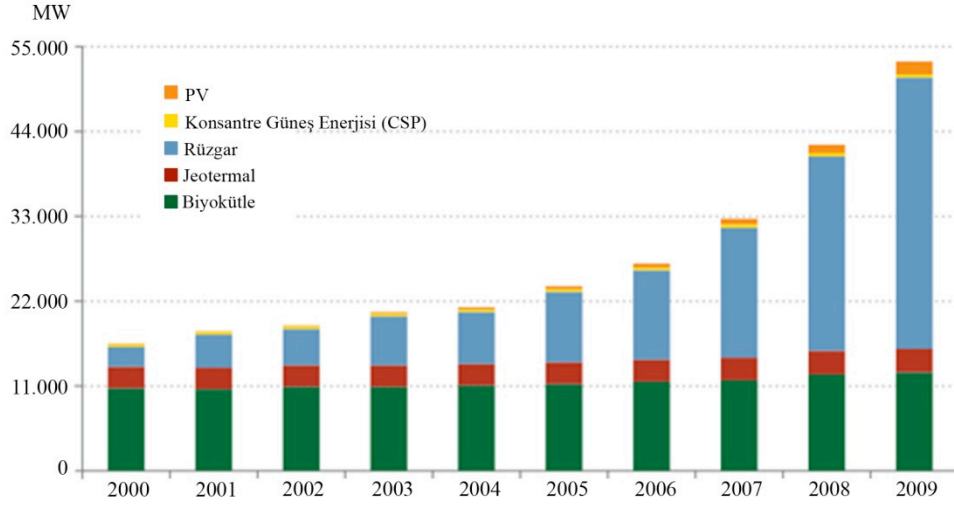


Şekil 1.1 Dünyada yenilenebilir enerji kaynakları kapasite ve üretim durumu (hidroelektrik dahil) (Kaynak: Renewable Energy Databook, Department of Energy, USA, 2009)



Şekil 1.2 Dünyada yenilenebilir enerji kaynakları kapasite ve üretim (hidroelektrik hariç) (Kaynak: Renewable Energy Databook, Department of Energy, USA, 2009)





Şekil 1.3 Dünyada yenilenebilir enerji kaynakları kurulu kapasite gelişimi (hidroelektrik hariç) (Kaynak: Renewable Energy Databook, Department of Energy, USA, 2009)

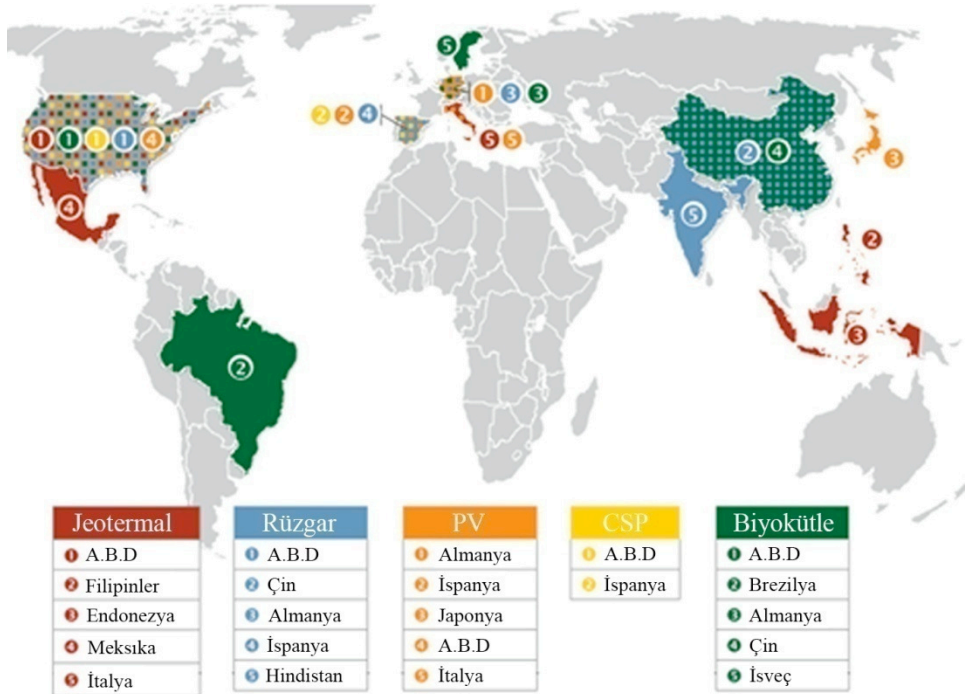
Çizelge 1.1 Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı güç üretim tesislerinin kurulu gücünün bir önceki yıla göre değişimi (Kaynak: Renewable Energy Databook, Department of Energy, USA, 2009)

	Hydro	PV	CSP	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle	Toplam (hidrolik hariç)	Toplam (ABD)
2000	76.946 %0	85 %26,9	354 %0	2.578 %2,6	2.798 %2,2	10.676 %2,6	16.491 %-1,1	93.437 %-0,3
2001	76.911 %0	112 %31,7	354 %0	4.275 %65,8	2.798 %0	10.576 %0,9	18.115 %9,8	95.026 %1,7
2002	77.047 %0,2	156 %39,2	354 %0	4.686 %9,6	2.798 %0	10.867 %2,8	18.861 %4,1	95.908 %0,9
2003	77.020 %0	226 %44,8	354 %0	6.353 %35,6	2.798 %0	10.856 %0,1	20.587 %9,1	97.607 %1,8
2004	77.130 %0,1	312 %38	354 %0	6.725 %5,9	2.798 %0	11.033 %1,6	21.222 %3,1	98.352 %0,8
2005	77.354 %0,3	424 %35,8	354 %0	9.121 %35,6	2.828 %1,1	11.222 %1,7	23.949 %12,8	101.303 %3
2006	77.419 %0,1	566 %33,4	355 %0,3	11.575 %26,9	2.831 %0,1	11.553 %2,9	26.880 %12,2	104.299 %3
2007	77.432 %0	771 %36,2	419 %18	16.812 %45,2	2.937 %3,7	11.738 %1,6	32.677 %21,6	110.109 %5,6
2008	77.640 %0,3	1.106 %43,5	419 %0	25.237 %50,1	3.040 %3,5	12.485 %6,4	42.287 %29,4	119.927 %8,9
2009	77.662 %0	1.677 %51,6	431 %2,9	35.159 %39,3	3.087 %1,5	12.727 %1,9	53.081 %25,5	130.743 %9

- yıllık düşüş      + yıllık artış

Çizelge 1.2 Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektriğin toplam elektrik üretimi içindeki payı (Kaynak: Renewable Energy Databook, Department of Energy, USA, 2009)

	Hidro	Güneş	Biyokütle	Rüzgar	Jeotermal	Yenilenebilirler (hidro hariç)	Tüm Yenilenebilirler
2000	%7,2	%0	%1,6	%0,1	%0,4	%2,1	%9,4
2001	%5,8	%0	%1,3	%0,2	%0,4	%1,9	%7,7
2002	%6,9	%0	%1,4	%0,3	%0,4	%2,1	%8,9
2003	%7,1	%0	%1,4	%0,3	%0,4	%2,1	%9,2
2004	%6,8	%0	%1,3	%0,4	%0,4	%2,1	%8,9
2005	%6,7	%0	%1,3	%0,4	%0,4	%2,2	%8,8
2006	%7,1	%0	%1,3	%0,7	%0,4	%2,4	%9,5
2007	%6,0	%0,1	%1,3	%0,8	%0,4	%2,6	%8,5
2008	%6,2	%0,1	%1,3	%1,3	%0,4	%3,1	%9,3
2009	%6,9	%0,1	%1,4	%1,8	%0,4	%3,6	%10,5



Şekil 1.4 Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının en çok olduğu ülkeler (Kaynak: Renewable Energy Databook, Department of Energy, USA, 2009)

## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Günümüzde, dünya nüfusundaki artış, modernleşme, gelişen teknoloji ve özellikle son on yıldaki ekonomik gelişmeye paralel olarak enerji gereksinimi artmaktadır. Enerji üretim ve tüketim miktarları ülkelerin kalkınmışlık ve gelişmişliğini belirlemede önemli bir araçtır. Dünyadaki enerji kaynaklarının dünya enerji talebini karşılamakta yetersiz kaldığı ve kalacağı öngörülmekte, ve bu öngörü de alternatif enerji kaynaklarına yönelime sebep olmaktadır. Ayrıca, günümüzde geniş bir alanda kullanılan fosil yakıtlar, doğada onarılması imkansız ya da onarılması yüzyıllar sürecektir yaralar açmıştır.

Güneş, temel olarak baktığımızda dünyanın enerji kaynağıdır. Yenilenebilir olması, doğrudan ya da dolaylı olarak kullanım kolaylığı, temiz olması gibi sebeplerden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları arasında ilk sıralarda gelmektedir.

Türkiye, konumu itibarıyla güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksek sayılabilecek ülkelerdendir.

### 2.1. Güneş Enerjisi ile İlgili Genel Bilgiler

Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneşten, çeşitli dalga boylarında ( $62 \text{ MW/m}^2$ ) enerji yayılmakta ve güneşin bütün yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir. Yılda dünyaya güneşten, 150 milyon km katederek gelen enerji, dünyada bir yılda kullanılan enerjinin, yaklaşık 15 bin katıdır.

Güneş enerjisinin atmosfer dışındaki ışınım değeri, yaklaşık olarak  $1370 \text{ W/m}^2$ 'dir. Güneş enerjisinin yeryüzündeki dağılımı, dünyanın şekli nedeniyle büyük farklılıklar göstermekte olup, dünyaya gelen ortalama güneş enerjisi  $0-1100 \text{ W/m}^2$  mertebesinde dir. Güneş radyasyonunun enerji olarak %46'sı spektrumun kızılötesi bölgesinde, %45'i görünür ışık bölgesinde, geri kalan yüzdesi de mor ötesinde bulunur. Güneş ışınımının tamamı yeryüzüne ulaşmaz, %30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır, %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Güneşten gelen ışınımın %20'si ise, atmosfer ve bulutlarda tutulur. Bu enerji ile dünyanın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgar hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Yeryüzüne gelen güneş ışınımının %1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Fotosentez yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Dünyaya gelen bütün güneş ışınımı, sonunda ısıya dönüşür veya geri yansıtılır.

Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri, teknolojik olarak ilerleme ve maliyet olarak düşme göstermiş ve güneş enerjisi çevresel bakımdan temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. (4)

## 2.2. Enerji Kaynağı Olarak Güneş

Geçmişte ve günümüzde yararlandığımız tüm enerjilerin kaynağı güneştir. Evrimsel kozmolojik süreçte, karbon atomunun oluşması ile başlayan organik maddeler, güneş ışınlarından soğurduğu enerjiyi, fotosentez yaparak gövdelerinde, dallarında ve yapraklarında depo etmişlerdir. Jeolojik devirlerde, bitkilerde dahil, tüm canlılar, yani organik yapılanmalar, çok çeşitli fiziksel, kimyasal ve jeolojik değişimler sonucu yerküreyi meydana getiren katmanların altında kalarak, kömürü, petrolü ve doğalgazı oluşturmuşlardır. Fosil yakıt olarak bilinen kömür, petrol ve doğalgaz, esasında güneş enerjisinin şekil değiştirmiş halleridir.

Karaların ısınma ısısı, denizlerin ısınma ısısından yüksektir. Bunun sonucu olarak, karalar denizlere göre daha çabuk ısınırlar. Karaların üzerindeki hava ısındıkça yükselirken yoğunluğu düşer ve boşluk oluşturur. Denizler karalara göre daha geç ısındığından, üzerindeki hava, kara üzerinde oluşan boşluğu doldurmak üzere karalara doğru hareket eder ve rüzgar meydana gelir. Kıyı ötesi rüzgar türbinlerine ilginin nedeni bu bölgelerdeki rüzgar kalitesidir. Görüldüğü gibi, rüzgarı meydana getiren güneştir. Dolayısıyla, rüzgar enerjisi, güneş enerjisinden soyutlanamaz.

Güneş, enerjisini ışıyarak yayar. Dünyanın yörünge yarıçapı, yaklaşık 150 milyon km'dir. Yani, güneşten dünyamıza enerji, bu uzun yolu 8 dakikada katederek gelir. Yerküre, 40 dakika içerisinde, dünya üzerinde bir senede tüketilen toplam enerjiye eşit enerjiyi güneş ışınlarından soğurur. Bu çok ciddi miktardır ve bu kaynaktan enerji elde etmeye çalışmak kadar doğru bir durum yoktur.

Güneşin, çeşitli yöntemler ile ölçülen sıcaklığı 5800 santigrat derecedir. Böylesine sıcak bir cismin gücü, yani 1 saniyede yaydığı ışın enerjisi, yaklaşık  $4 \times 10^{23}$  kW'tır. Güneşi bir küre olarak düşünersek, enerjisini tüm yönlerde homojen olarak yayar. Atmosferde soğurulduktan sonra yeryüzünün her metrekaresine düşen güç, ortalama 1000 watt/m<sup>2</sup>'dir. (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2009),

### 2.3. Dünyada Güneş Enerjisi Görünümü

Güneş enerjisinin doğrudan yenilenebilir enerji kaynağı olarak yaygın kullanımına 2006 yılından sonrasına rastlanmaktadır. 2000 yılından sonra yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artış göstermiş ve özellikle hidrolik dışı yenilenebilir enerji kaynakları % 70' lerin üzerinde bir kapasite artışı sağlamışken güneş enerjisi kullanımının bu artıştaki payı özellikle 2007 yılına kadar yok denecek kadar az seviyede kalmıştır. Bunun sebebi, fotovoltaik panellerin ve diğer güneş tarlası ekipmanlarının maliyetinin yüksek olması ve teknolojinin gelişimine paralel olarak düşüş göstermesidir. Bugünkü PV panel piyasa fiyatları araştırıldığında çok kristalli paneller için fiyatın 1,1 Avro/W seviyelerine gerilediği tespit edilmiştir. Bu fiyatın birkaç yıl öncesinde %65 ile %100 arasında daha pahalı olduğu da bilinmektedir. (Kaynak: Anel Elektrik Enerji Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.) PV panellerdeki bu maliyet düşüşünün güneş enerjisinin doğrudan kullanımına olumlu etki yapacağını da söyleyebiliriz. Çizelge 1.2 ve Çizelge 2.1' den dünya genelinde güneş enerjisi kullanılarak elektrik üretiminin yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki payı görülmektedir.

Çizelge 2.1 Dünyada yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretim miktarı (milyon kwh) ve bir önceki yıla göre artış oranları (Kaynak: Energy efficiency and renewable energy, U.S. Department of Energy, Ağustos 2010)

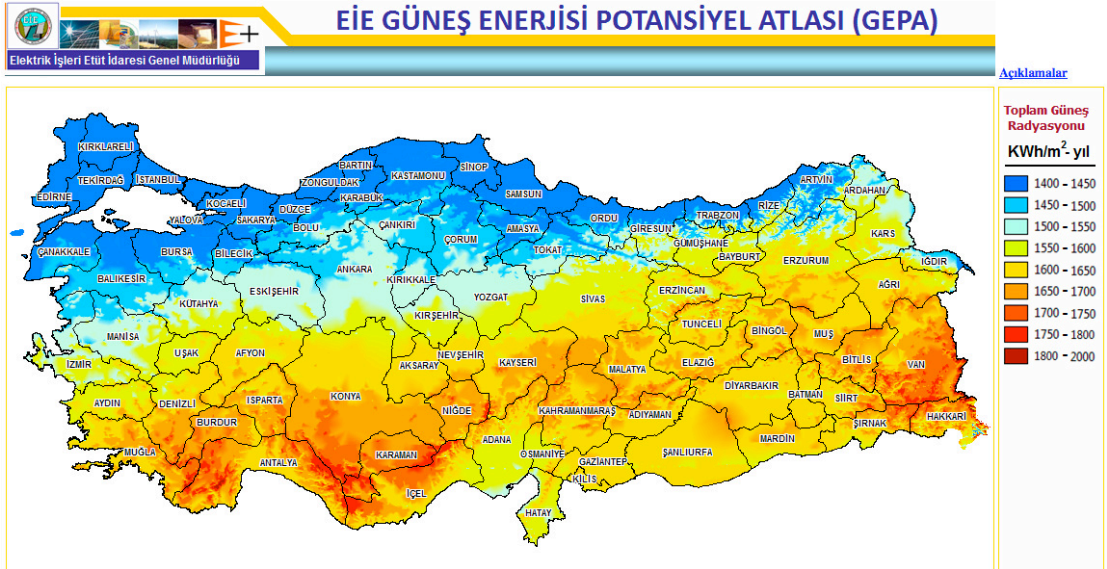
	Hidrolik Güç	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle	Tüm Yenilenebilirler	Yenilenebilirler (hidrolik hariç)
2000	275.573 %-13,8	909 %8,3	5.593 %24,6	14.093 %-5	60.726 %1,9	356.894 %-10,6	81.321 %2
2001	216.961 %-21,3	952 %4,7	6.737 %20,5	13.741 %-2,5	49.748 %-18,1	288.139 %19,3	71.178 %-12,5
2002	264.329 %21,8	1.021 %7,3	10.354 %53,7	14.491 %5,5	53.709 %8	343.904 %19,3	79.575 %11,8
2003	275.806 %4,3	1.132 %10,8	11.187 %8	14.424 %-0,5	53.340 %-0,7	355.889 %3,5	80.083 %0,6
2004	268.417 %-2,7	1.267 %12	14.144 %26,4	14.811 %2,7	53.073 %-0,5	351.712 %-1,2	83.295 %4
2005	270.321 %0,7	1.444 %13,9	17.811 %25,9	14.692 %-0,8	54.160 %2	358.428 %1,9	88.107 %5,8
2006	289.246 %7	1.670 %15,7	26.589 %49,3	14.568 %-0,8	54.759 %1,1	386.832 %7,9	97.586 %10,8
2007	247.510 %-14,4	2.133 %27,8	34.450 %29,6	14.637 %0,5	55.539 %1,4	354.269 %-8,4	106.759 %9,4
2008	254.831 %3	2.662 %24,8	55.363 %60,7	14.951 %2,1	55.034 %-0,9	382.841 %8,1	128.010 %19,9
2009	272.131 %6,8	3.588 %34,8	70.761 %27,8	15.210 %1,7	54.336 %-1,3	416.026 %8,7	143.895 %12,4

- yıllık düşüş      + yıllık artış +

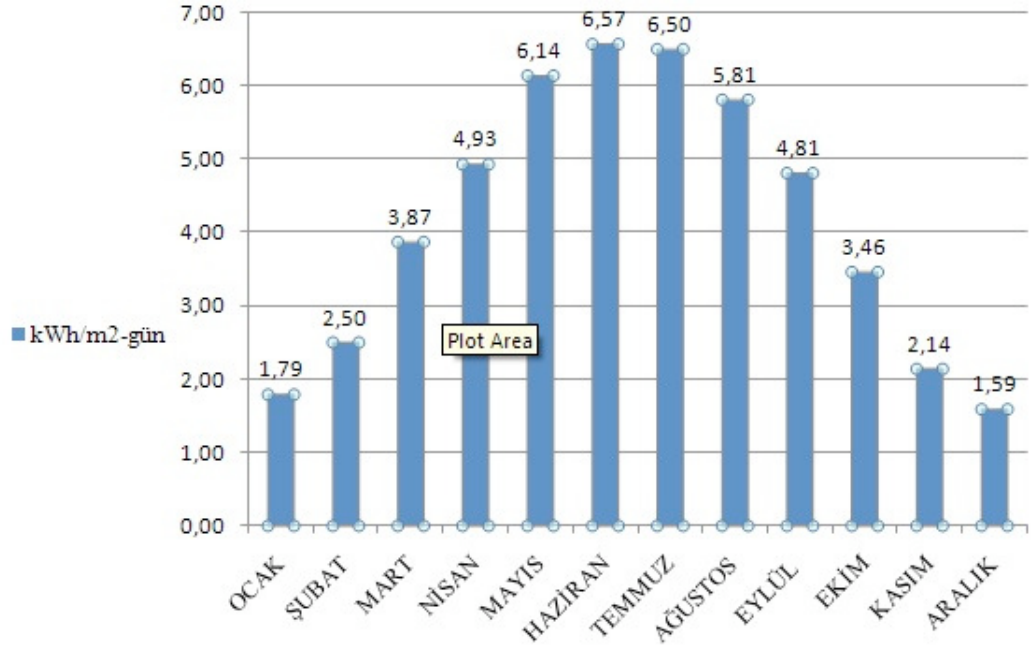
## 2.4. Türkiye’ de Güneş Enerjisi Görünümü

Yurdumuz güneş enerjisi potansiyeli bakımından zengin sayılabilecek konumdadır. Türkiye’nin yaklaşık 2/3’ü yıllık 1500 kWh/m<sup>2</sup> ya da daha fazla güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (Şekil 2.1). EİE nün yaptığı ölçüm ve değerlendirmelere göre Türkiye’ nin ortalama günlük güneş radyasyon değerinin ve ortalama günlük güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı sırasıyla Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’te görülebilir. Çizelge 2.2’ de Türkiye’ nin yıllık ortalama güneş radyasyonu değerleri ve ortalama güneşlenme sürelerinin coğrafi bölgelere göre dağılımı görülmektedir

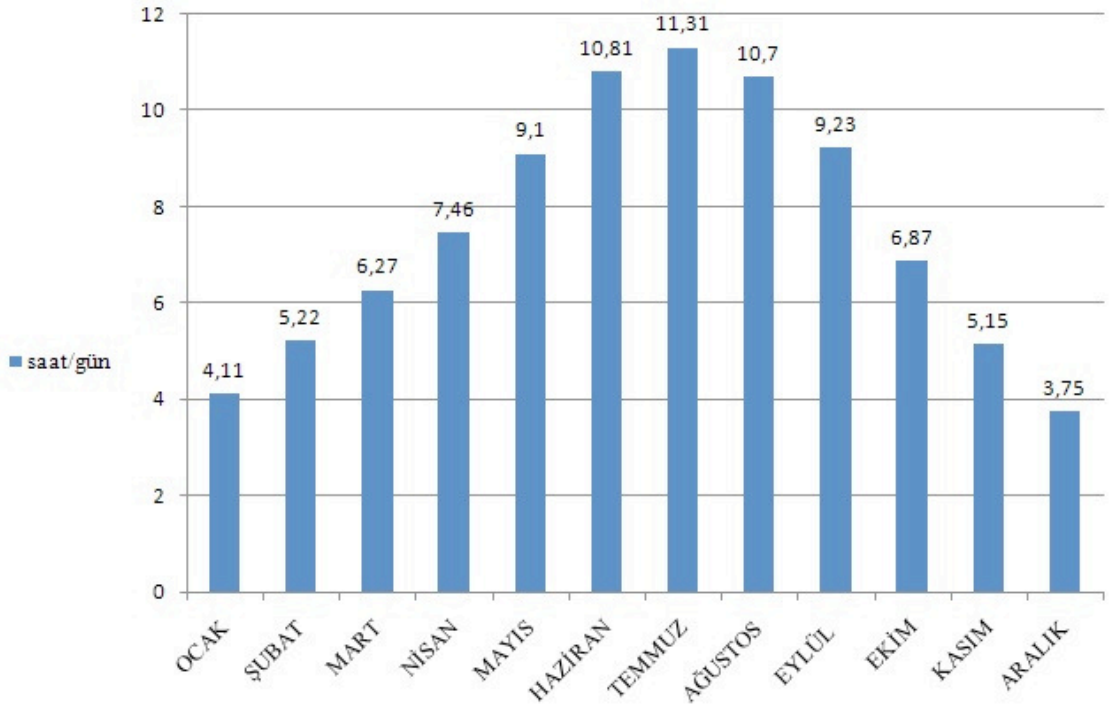
EİE verilerine göre Türkiye’ nin yıllık toplam güneşlenme süresi yaklaşık 2640 saattir. Bir yıl 365 gün kabul edildiğinde gece ve gündüz dahil bir yılın %30’ luk süresi boyunca kullanılabilir düzeyde güneş enerjisi potansiyelimizin olduğu görülür. Bu oldukça yüksek bir oran olmakla birlikte, ancak ortalama ışınım şiddeti ile birlikte değerlendirildiğinde anlam kazanır. Yine EİE verilerine göre Türkiye’ nin ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.1 Türkiye güneş enerjisi potansiyeli (GEPA, Kaynak: EİE)



Şekil 2.2 Türkiye global radyasyon değerleri (Kaynak: EİE)



Şekil 2.3 Türkiye ortalama güneşlenme süreleri (Kaynak: EİE)

Çizelge 2.2 Türkiye' nin yıllık ortalama güneş radyasyonu değerleri ve ortalama güneşlenme sürelerinin coğrafi bölgelere göre dağılımı

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (KWh/m <sup>2</sup> -Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güneydoğu Anadolu	1.460	2.993
Akdeniz	1.390	2.956
Doğu Anadolu	1.365	2.664
İç Anadolu	1.314	2.628
Ege	1.304	2.738
Marmara	1.168	2.409
Karadeniz	1.120	1.971

Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)'na göre yıllık güneş enerjisi elektrik üretimi teknik potansiyelinin 380 milyar kWh olarak belirlenmiştir. Bu potansiyel güneş radyasyonu yıllık metrekare başına 1650 kWh'den fazla olan 4600 km<sup>2</sup> kullanılabilir alan alınarak hesaplanmıştır[4] Bu enerjinin %82' lik bir kısmı ısı üretimi, %27' lik bir kısmı da elektrik üretimi için kullanılabilir konumdadır [5].



### 3. GÜNEŞ PİLLERİ VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Fotovoltaik, fotonlar tarafından aydınlatılan özel yarı iletken düzeneklerinden doğrudan elektrik enerjisi üretebilen teknolojiye verilen addır. Fotovoltaik teknoloji ile güneş enerjisinden doğrudan elektrik elde edilmesi için tasarlanan düzenekler güneş pili olarak adlandırılır.

Günümüzde güneş pillerinin geniş kullanım alanları mevcuttur. Özellikle ana elektrik şebekesine uzak bölgelerdeki telefon vericileri, aydınlatmalar, ışıklı uyarı levhalarının elektrik ihtiyacı fotovoltaik panellerden karşılanabilmekte, ayrıca evsel ya da endüstriyel enerji ihtiyacı da karşılanmaktadır. Günümüzde fotovoltaik panellerden oluşturulmuş güneş tarlaları ile elektrik üretim santrallerinin kurulumu yaygınlaşmaktadır.

#### 3.1. Güneş Pilleri

Güneş pili, fotovoltaik etki ile güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneğe verilen addır. Tipik bir güneş pili, iki ya da daha fazla ince yarıiletken katmandan oluşur. Genellikle yarıiletken olarak silikon kullanılmaktadır. Tek güneş pilinden elde edilen elektrik enerjisi miktarı düşük olmakla birlikte birden fazla güneş pilinin bir araya getirilmesi ile güneş panelleri, panellerin birlikte kullanımı ve diğer bileşenlerin eklenmesi ile de güneş paneli sistemleri ya da güneş tarlaları oluşturulur.

Fotovoltaik etki ilk olarak 1837 yılında Fransız fizikçi A. Edmond Becquerel tarafından bulunmuştur. Becquerel, bir elektrolit içine daldırılmış elektrotlara ışık geldiğinde bir gerilim oluştuğunu keşfetmiştir. Ardından 1873 yılında Willoughby Smith selenyumun (Se) fotovoltaik etkisini keşfetmiştir. William G Adams ve bir öğrencisi ise 1876 yılında selenyum (Se) ve platinin (Pt) oluşturduğu bir eklemin de fotovoltaik etkisi olduğunu keşfetmiştir. Bu iki buluşun sonucunda 1877 yılında ilk selenyum güneş pili üretilmiştir. Günümüzde de kullanılmakta olan mono kristal güneş pillerinin üretiminde temel olan mono kristal silikon üretim metodu 1918 yılında Jan Czochralski tarafından bulunmuş olup ilk silikon mono kristal güneş pili 1941 yılında üretilmiştir. 1951 yılında da ilk germanium güneş pili üretilmiştir. 1955 yılında güneş pillerinin uyduların enerjisini sağlaması çalışmaları başlamıştır. 1961 yılında Birleşmiş Milletler tarafından güneş enerjisi konferansı düzenlenmiştir. 1962 yılında üretilen ilk ticari haberleşme uydusu olan Telstar üzerine 14 W güce sahip bir fotovoltaik panel yerleştirilmiştir.

1963 yılında Sharp firması ilk silikon güneş pillerinden ilk kullanılabilir fotovoltaik paneli üretmiştir. 1970-1979 yılları arasında pv panel üreticisi firmaların sayısında artış olmuştur. Daha sonraki yıllarda hem fotovoltaik panel üretiminde hem de özellikle Almanya ve İspanya başta olmak üzere birçok Avrupa ülkelerinde güneş tarlalarında kullanımı ciddi artış göstermiştir. 2010 yılı itibariyle Anel Elektrik Enerji Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından Türkiye’ de fotovoltaik panel üretim ve ihracatına başlanmıştır.

Fotovoltaik etkiyi ve fotovoltaik sistemleri anlamak için öncelikle yarı iletken malzemelerin yapısını ve p-n eklemeni incelemek yararlı olacaktır. (Luque, A. ve Hegedus, S., 2003),

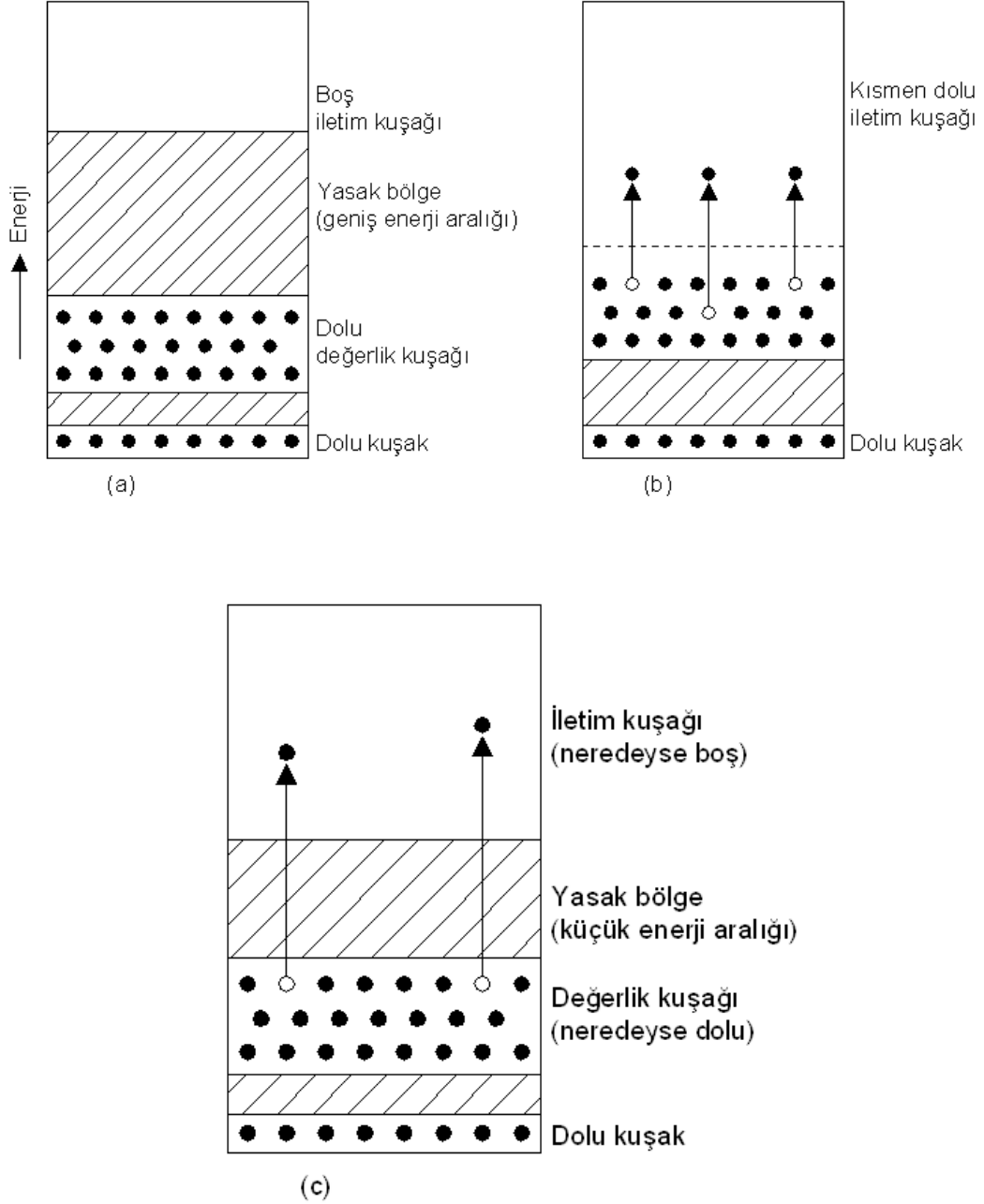
### **3.1.1. Yarı İletkenler**

Yarı iletken madde, elektriksel olarak iletken sayılmayan ancak bazı dış etkiler ile iletken duruma geçebilecek maddedir, yani yalıtkan olarak da kabul edilemezler. Normal koşullarda yalıtkan olan bu maddeler, manyetik etki, ısı, elektriksel gerilim ya da ışık gibi dış etmenler altında bir miktar elektronlarını serbest bırakacak şekilde iletken duruma geçerler.

Atomlar, çekirdek ve etrafında bir yörüngede elektronlardan oluşur. İzole edilmiş bir atomun elektronları sadece paket enerji seviyelerinde (kuantize) ya da belirli kısımlardan ibaret olabilir. Birden fazla elektron yörüngesine sahip atomlarda çekirdeğe en yakın elektronlar en az enerjiye sahip olduklarından, çekirdeğin çekimini yenerek serbest hale geçebilmeleri için en yüksek enerji miktarına ihtiyaç duyarlar. Atomlar bir araya geldiklerinde, her bir bağımsız atomun elektronik enerjisi uyarılmış olur ve enerji seviyeleri enerji kuşaklarında toplanır. Bazı enerji kuşaklarında elektronların kaçışı mümkünken bazı enerji kuşaklarında mümkün değildir. Ancak en dıştaki elektronlar diğer atomlar ile etkileşime girebilir. Bir atomun elektronlarının diğer atomlar ile etkileşime girebilecek elektronlarının normalde bulunduğu kuşak değerlik kuşağı olarak adlandırılır. Bu kuşakta bulunan elektronlar atoma zayıf bağlarla bağlıdır ve komşu atomlar ile kolaylıkla etkileşime girerek yer değiştirebilirler ve böylelikle katıldıkları atoma negatif yük verirken ayrıldıkları atomu da pozitif iyon olarak bırakırlar. Bu kuşaktaki bazı elektronlar oldukça fazla enerji taşırlar, bu enerji bir üst kuşağa atlamalarını sağlayabilir. Bu elektronlar ısı ve elektrik iletimini sağlayan elektronlardır, bu kuşak iletim kuşağı olarak adlandırılır. (Kalogirou, 2009)

Değerlik kuşağı ile iletim kuşağının en içteki seviyesinde bulunan elektronların enerji farkı, kuşak aralığı olarak adlandırılır.

Üç farklı malzemenin enerji kuşağı diyagramı Şekil 3.1 de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Üç farklı malzemenin enerji kuşağı diyagramı (a) yalıtkan (b) iletken(metal) (c) yarı iletken

Göreceli olarak boş değerlik kuşağı olan ve iletim kuşağında bir miktar elektronları olabilen maddelere iletken denir. Bu durumda değerlik ve iletim kuşağı çakışır. Değerlik elektronları dış alandan enerji alabilir ve aynı kuşak üzerinde enerji seviyesi biraz daha yüksek bir konuma gelebilir. Metaller bu kategoriye girer. Metallerdeki değerlik elektronları atomik yapının dışına kolaylıkla yayılabilir ve elektriği iletirler.

Değerlik aralıkları kısmen dolu olan maddeler orta seviyede kuşak aralıklarına sahiptir ve bunlara yarıiletken denir. Bu maddelerdeki kuşak aralıkları  $3eV$ 'tan küçüktür. Yarı iletkenler, yalıtkanlarla aynı kuşak yapısına sahiptirler fakat enerji aralıkları daha dardır. Yarı iletkenler, tamamen katkısız olan kendinden yarı iletkenler ve az miktarda yabancı tanecik katılmış olan katkılandırılmış yarıiletkenler olarak ikiye ayrılır. Kendinden yarı iletkenlerde değerlik elektronları ısı ve ışıkla yöntemlerle uyarılabilir. Böylece bunlar iletim kuşağında,elektronların atomik bağ kurmadığı ve böylece serbestçe hareket edebildikleri daha dar bir enerji aralığına atlayabilir. (Kalogirou, 2009)

### 3.1.2. P-N Ekleme

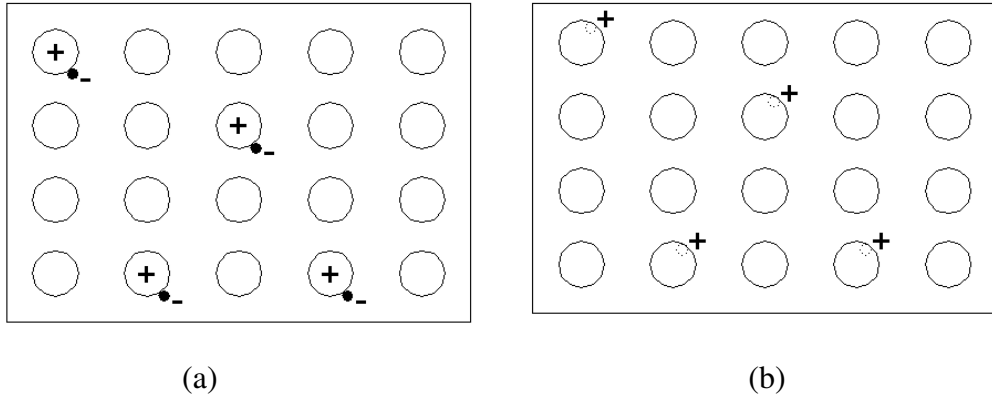
Silikon (Si) , periyodik tablonun dördüncü grubunda yer alır. Yarıiletkenlerde,katkılandırılmış yarıiletken (*doped*) değerlik aralığında yarıiletkenden daha fazla elektrona sahip ise, n-tipi yarı iletken malzeme olarak adlandırılır. N-tipi yarı iletken malzeme elektronik olarak yüksüzdür ancak iletkenlik için kullanılacak elektronlara sahiptir. Bu durum silikon atomlarının arsenik (As) ya da antimon (Sb) gibi periyodik tablonun beşinci grubu elementleri ile yer değiştirildiğinde elde edilebilir ve bu şekilde form elektronları kristal etrafında hareket edebilir. Bu fazla elektronlar alındığında atomlar pozitif yük ile bırakılmış olur.

Yarıiletkenlerde, katkılandırılmış yarı iletken (*doped*) değerlik aralığında yarıiletkenden daha az elektrona sahip ise P-tipi yarı iletken malzeme olarak adlandırılır. P-tipi yarı iletken malzeme elektronik olarak yüksüzdür ancak yapısında pozitif boşluklara, yani eksik elektronlara sahiptir. Bu durum silikon atomlarının galyum (Ga) ya da indiyum (In) gibi periyodik tablonun üçüncü grubu elementleri ile yer değiştirildiğinde elde edilebilir ve bu şekilde pozitif parçacıklar yani boşluklar yayılma ya da akıntı şeklinde kristal etrafında hareket edebilir. Elektronlar boşlukları doldurursa düzensiz atomlar ana yarı iletken yapısı içerisinde çok daha düzgün şekilde bulunacaklardır ancak atomlar negatif yüklü olacaktır.

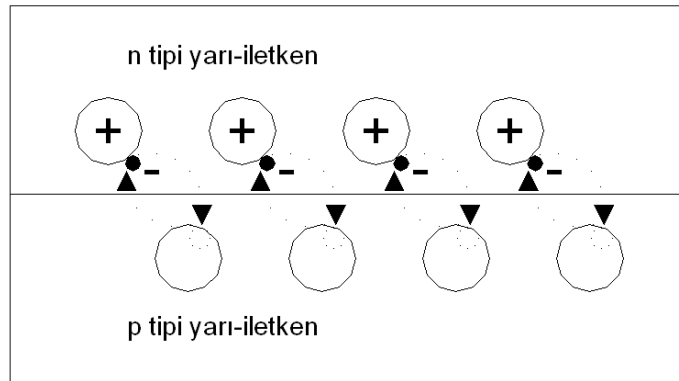
Her iki tip yarı iletken de Şekil 3.2 de şematik olarak gösterilmiştir. Hem p-tipi hem de n-tipi yarı iletkenler, elektronların ve boşlukların yarı iletken içerisinde rahatlıkla hareket etmesine izin verecektir. Silikon için p-n ekleminden elektron geçişini sağlamak için gerekecek enerji miktarı 1.11 eV olup bu değer her bir yarı iletkende değişiklik gösterir.

Yukarıdaki paragrafta tanımlanan durum p-tipi ve n-tipi yarı iletkenlerin yan yana getirilerek bir eklem halini alması ile oluşur, bu durum Şekil 3.3' de şematik olarak gösterilmiştir.

Şekilden görüleceği üzere, p-tipi ve n-tipi yarı iletkenler eklem oluşturduğunda n-tipi yarı iletkendeki fazlalık elektronlar p-tipi yarı iletkendeki boşlukları doldurmak üzere p-tipi yarı iletkene atlayacak, p-tipi yarı iletkendeki boşluklar da eklem n tarafını negatif yüklü ve p tarafını pozitif yüklü bırakacak şekilde n-tipi yarı iletkene doğru yayılacaktır.



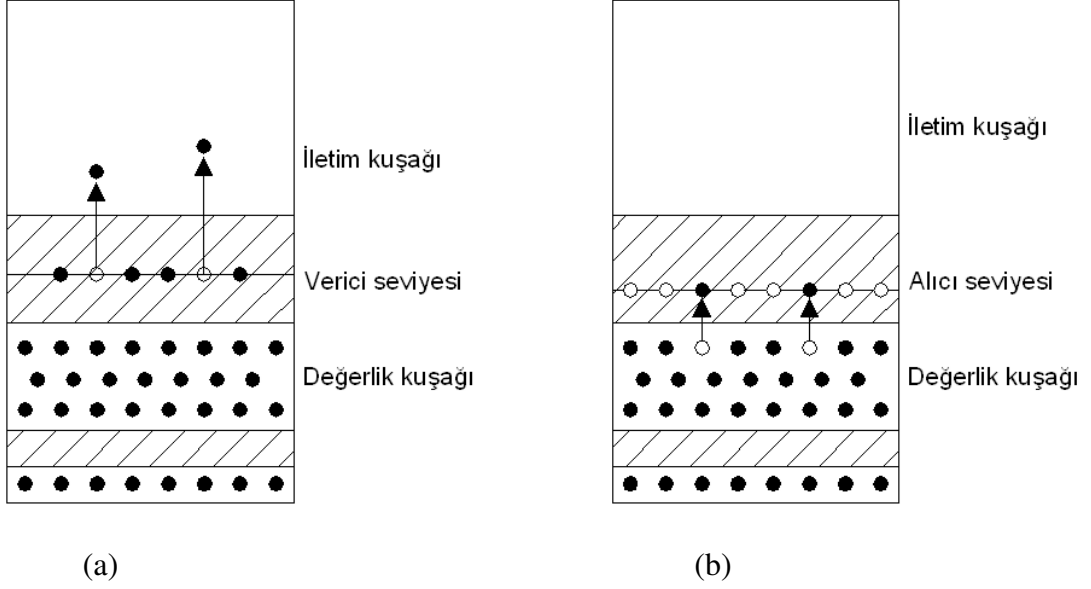
Şekil 3.2 N-tipi ve p-tipi yarı iletkenler (a) n-tipi, geçiş elektronlu (b) p-tipi, geçiş pozitif boşluklu



Şekil 3.3 P-N eklemine şematik gösterimi

P tarafındaki negatif yükler n tarafından daha fazla elektron gelmesini sınırlar ancak eklem n tarafındaki pozitif yüklerden dolayı p tarafından daha fazla elektron akışı daha kolaydır. Böylelikle p-n eklemi bir diyot gibi hareket eder.

N-tipi ve p-tipi yarı iletkenlerin enerji kuşakları şematik olarak Şekil 3.4' te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 N-tipi ve p-tipi yarı iletkenlerin enerji kuşak diyagramları (a) n-tipi yarı iletken (b) p-tipi yarı iletken

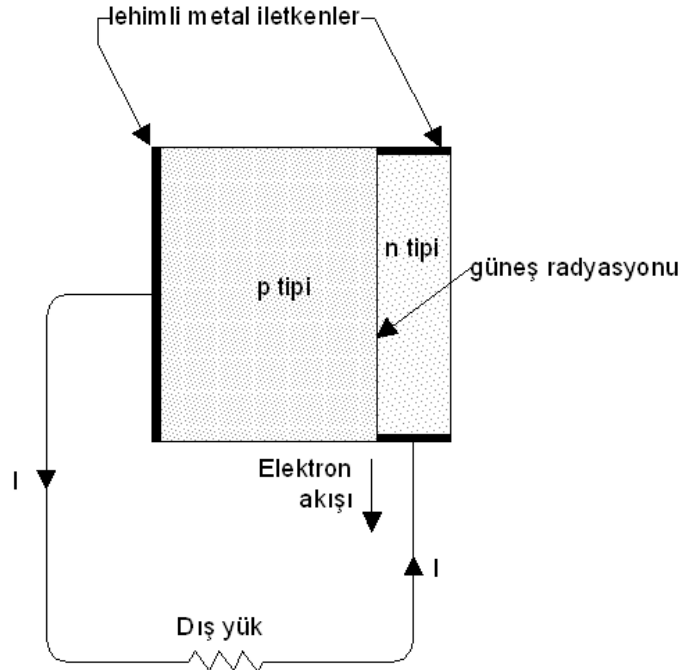
N-tipi yarı iletkende yaratılan düzensizlik (*doped impurity*) akımın devamlılığı için daha fazla elektron verdiği için verici (donör) olarak adlandırılır ve enerji seviyesi verici enerji seviyesi olarak adlandırılır. N-tipi enerji kuşağı Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Buradan görüldüğü üzere verici seviyesi Şekil 3.1' de gösterilen yasak bölgede yer almaktadır. P-tipi yarı iletkende yaratılan düzensizlik (*doped impurity*) gelen elektronları kabul ettiği için alıcı (akseptör) olarak adlandırılır ve enerji seviyesi alıcı seviyesi olarak adlandırılır. P-tipi enerji kuşağı Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Buradan görüldüğü üzere alıcı seviyesi Şekil 3.1' de gösterilen yasak bölgede yer almaktadır. (Kalogirou, 2009)

### 3.1.3. Fotovoltaik Etki

Bir foton fotovoltaik bir maddeye girdiğinde yansiyabilir, emilebilir veya yayılabilir (içinden geçebilir) Bu foton atomun değerlik elektronu tarafından emildiğinde elektronun enerjisi, fotonun enerji miktarıyla artar. Eğer bu durumda fotonun enerjisi yarı-iletkenin kuşak aralığından büyük ise fazla enerjiye sahip olan elektron serbestçe hareket edebileceği iletim kuşağına atlayabilir (geçebilir).

Bu nedenle foton emildiğinde atom bir elektron kaybeder. Elektron, fotovoltaik maddenin ön ve arkasında oluşan bir elektrik alandan atılabilir ve bu bir p-n eklemi yardımıyla gerçekleşir. Elektron, alan yokluğunda tekrar atomla birleşir; oysa ki, alan olduğunda bir akım yaratarak atomun içinden geçer (akar). Eğer foton enerjisi kuşak aralığından küçükse, elektron iletim kuşağına atlayabilmesi için gereken yeterli enerjiye sahip olamaz ama sahip olduğu fazla enerji kinetik enerjiye dönüşür ki bu da sıcaklık artışına neden olur. Foton enerjisinin kuşak aralığı enerjisine göre yoğunluğuna rağmen sadece bir adet elektronun serbest bırakılabildiği göz önünde bulundurulmalıdır. Güneş pillerinin düşük verimli olmasının sebebi budur.

Bir güneş pilinin çalışması şekil 3.5’ de gösterilmiştir. Bu tip güneş pilleri p-n eklemi olarak adlandırılan P-tipi ve N-tipi yarı iletkenlerin birleşiminden oluşmaktadır. Elektronlar ve boşluklar bu eklemenden yayılarak bir elektrik alanı oluştururlar. Serbest elektronlar, n-tabakasına gelen fotonların etkisi ile üretilmektedir. Güneş ışığının fotonları güneş pilinin yüzeyine çarptığında ve yarı iletken tarafından soğurulduğunda elektron ve boşluk çiftleri oluşturur. Eğer bu çiftler P-N eklemine yeterince yakın ise elektrik alanı yüklerin ayrılması sebep olur ve elektronlar N-tipi tarafına ve boşluklar da P-tipi tarafına hareket eder. Eğer güneş pilinin iki tarafı bir yüke bağlanmış ise, pile güneş geldiği sürece bir elektrik akımı devam edecektir. (Kalogirou, 2009)

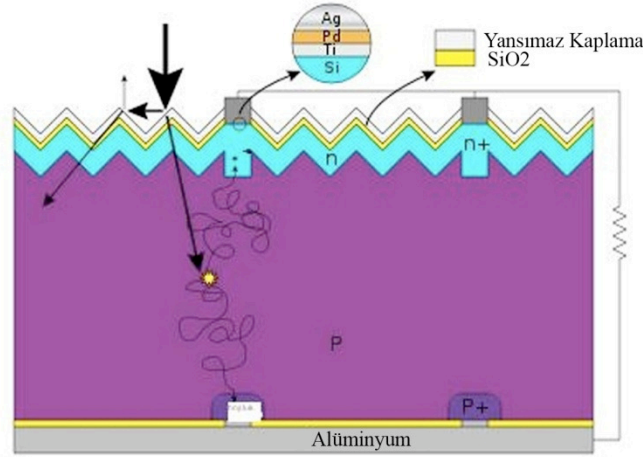


Şekil 3.5 Bir güneş pilinin çalışma şekli

### 3.2. Fotovoltaik Paneller

Güneş pilleri, çoğunlukla silikon olarak seçilen yarı iletken malzemelerin özel koşulları sağlayacak şekilde bir araya getirilmesi ile oluşmaktadır. N-tipi yarı iletkenin kalınlığı genellikle  $0,5\mu\text{m}$  ve P-tipi yarı iletkenin kalınlığı da genellikle  $0,25\text{mm}$  civarındadır.

Fotovoltaik paneller güneş pillerinin bir araya getirilmesi ile oluşturulur. Normal 12V akülerin şarj edilebilmesi için 14-18V aralığında gerilim gerektiğinden ve bir güneş pilinin sağladığı gerilimin genellikle 0,5V civarında olması sebebiyle çoğunlukla bir güneş paneli 36 adet güneş pilinden oluşturulmaktaydı. Daha sonra doğrudan yüke bağlı ve bir akü şarjı gerektirmeyen kullanım alanının artması ile 54-80 pilli paneller de üretilmiştir. Güneş panellerinin doğası gereği dış etmenlere açık alanlarda çalıştırılacağı düşünüldüğünde ve güneş pillerinin yapıları da göz önüne alındığında, güneş pilleri bir araya getirilerek güneş panelleri oluşturulurken koşullarının pillere ve bağlantılarına etkisini en aza indirecek bir yapıda olması gerekmektedir. Güneş paneli oluşturulurken göz önüne alınan bir diğer temel nokta da pilleri korumakta kullanılacak saydam ön kaplamanın güneş ışınlarını en düşük seviyede yansıtanlar arasından seçilmesidir. Şekil 3.6' da kristal silikon yarı iletkenli fotovoltaik panelinin yapısı ve çalışma şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Kristal silikon yarı iletkenli fotovoltaik panelinin yapısı ve çalışma mantığı



### 3.3. Fotovoltaik Panel Çeşitleri

Güneş pilleri kristal silikon piller ve ince film piller olmak üzere iki gruba ayrılır.

#### 3.3.1. Kristal Silikon Piller

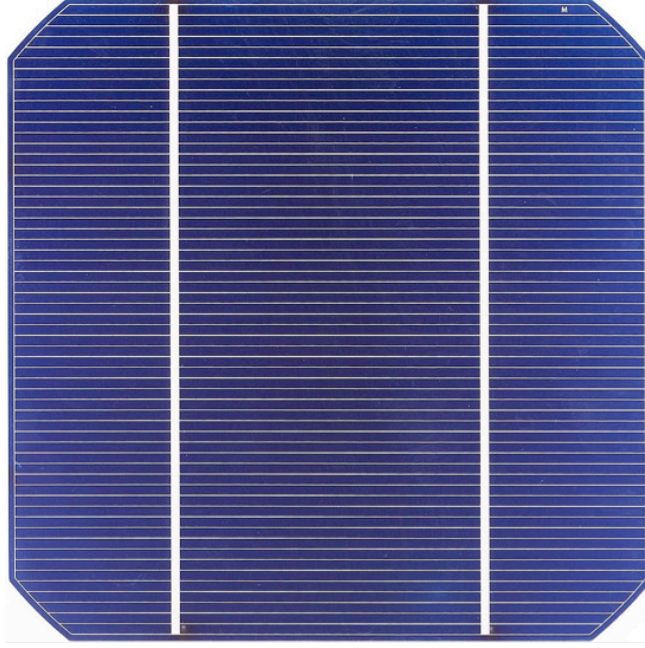
Kristal silikon yapıllı pillerin en önemli hammaddesi silisyumdur. Silisyumun atomunun optik, yapısal ve elektriksel özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve silisyum üretim teknolojisindeki gelişmeler bu malzemenin güneş pili üretimindeki kullanılabilirliğini artıran etmenlerdir. Bununla birlikte saf kristal üretimi oldukça zahmetli ve pahalıdır. Silisyum, oksijenden sonra yeryüzünde en çok bulunan element olmasına rağmen doğada saf halde bulunmaması sebebiyle güneş pilleri üretiminde kullanılabilmesi için öncelikle saflaştırılması gerekmektedir. Bunun için yüksek sıcaklık gerektiren ısı işlem uygulanarak silikon dioksit (kuvars) ( $\text{SiO}_2$ ) bileşiğinden ayrılması ve bazı diğer yöntemler ile saflığı artırılması gerekmektedir.

Kristal güneş pilleri mono kristal ve poli kristal piller olmak üzere ikiye ayrılır.

##### *Mono kristal Yapılı Piller*

Güneş pili üretim teknikleri arasında en eski ve en pahalı teknik olmasına rağmen, halen en yüksek verimlilik değerine sahip güneş pilleri, mono kristal yapıllı güneş pilleridir. Piyasada mevcut mono kristal yapıllı güneş pilleri incelendiğinde %15 ile %18 arası verimlilikle oldukları gözlemlenmiştir.

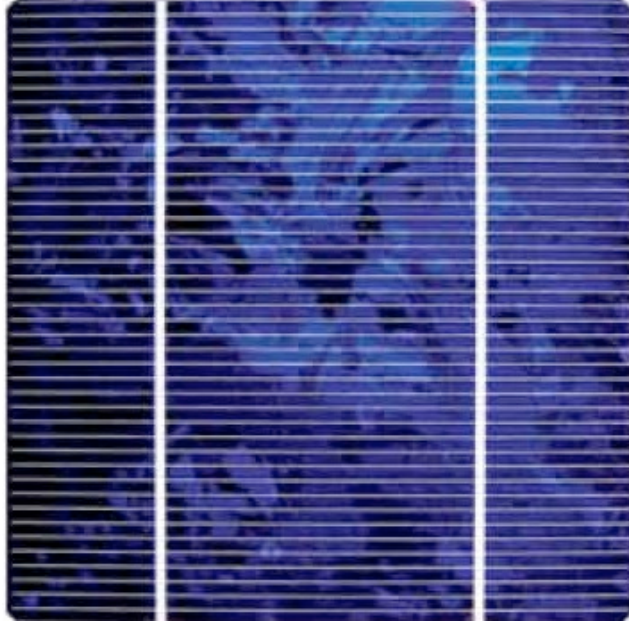
Mono kristal silikon üretiminde “Czochralski Metodu” olarak bilinen üretim yöntemi kullanılmaktadır. 1971 yılında geliştirilen bu yöntemde Czochralski, küçük bir aşırı kristalini, kristal malzemesi içine batırarak ve bunu yavaş yavaş soğuk bir bölgeye çekerek, uzun bir tek kristalli silindiri elde etmiştir. Çok yüksek sıcaklıklarda işlem gerektiren bu metotla 0,3m çapında ve birkaç metre boyunda silikon silindirler oluşturularak dairesel ya da dikdörtgen ya da çokgen şeklinde pahlanarak 0,2-0,3mm kalınlıklarında dilimlenmektedir. Sonuç olarak ortaya çıkan tabakalar güneş pilinin p-tipi tabakasını hazır hale getirmektedir. N-tipi tabaka da çok daha düşük kalınlıklarda ve fosfor yayılımı yolu ile elde edilmektedir. P-tipi ve n-tipi tabakalar bir araya getirilip arka bağlantıları yapılır, özel yapıştırıcılar ile yansıma önleyici cam tabaka yapıştırılır ve pil oluşturulur. Mono kristal pillerin yapıları homojendir ve renkleri karakteristik olarak koyu mavi-siyah aralığındadır. Şekil 3.7’ de bir mono kristal silisyumdan üretilmiş güneş pilinin fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 3.7 Mono kristal silisyumdan üretilmiş bir güneş pili

### ***Poli kristal Yapılı Piller***

Poli kristal silisyumun üretiminde en çok kullanılan yöntem başlangıç noktası mono kristal silisyumuna benzeyen dökme yöntemidir. Poli kristal yapıli silisyum, eriyik haldeki yarı iletken kalitesindeki (safliğındaki) silisyumun kalıplarda soğutulması ile elde edilmektedir. Kristal yapısının oluşumu mono kristal üretimindeki gibi takip ve kontrol edilmediğinden poli kristal yapı oluşur. Poli kristal silisyumdan üretilen yarı iletkenlerden mamul güneş pillerinin verimlilik değeri daha düşük olmakla birlikte, üretimin maliyeti de daha düşüktür. Şekil 3.8' de bir poli kristal silisyumdan üretilmiş güneş pilinin fotoğrafı görülmektedir. Poli kristal pillerin yapıları çok kristalli olduğundan bu durum ışığın kırılarak yansımamasından dolayı çıplak gözle gözlemlenebilir. Pil üzerine koyulan yansımayı engelleyici camdan dolayı pilin rengi mavi olarak gözükmele birlikte yansımaysız cam kaplaması olmayan pil gümüş rengindedir.



Şekil 3.8 Poli kristal silisyumdan üretilmiş bir güneş pili

### ***İnce Film Piller***

Yarıiletken malzemelerin geniş yüzeyler üzerine kaplanması mantığına dayanan bu yöntem, farklı karakteristik özelliklere sahip pillerin üretilmesine olanak sağlamıştır. Bu alanda yapılan araştırmalara göre güneş pili üretiminde kullanılacak birçok yarıiletken malzeme düşük maliyetlerle cam ya da plastik folyo gibi tabakalar gibi geniş yüzeylere kaplanabildiğini göstermiştir.

Şekil3.9’ da ince film yapıda güneş pillerinin esnek bir yüzey üzerine kaplanmış hali gözükmektedir.



Şekil 3.9 İnce film güneş pili

### ***Amorf Silikon Piller***

Amorf silikonun öngörülebilir bir kristal yapısı yoktur, bu yüzden silikondaki birçok potansiyel kovalent bağ oluşmamaktadır. Bu yapı, kuşak aralığında düzensizlik oluşturmakta ve çok düşük miktarlarda elektron ve boşluk yayılımına olanak vermektedir. Ancak bu olumsuzluklara sebep olan oluşmamış kovalent bağların hidrojen yardımıyla etkisiz hale getirilebildiği ve böylelikle de elektron ve boşluk yayılımında gelişme saplanabildiği görülmüştür. Bu yöntem ile amorf silikon pillerin ince film tabaka şeklinde güneş pillerinin üretiminde potansiyel oluşturduğu söylenebilir.

### **3.3.2. Galyum Arsenit Piller**

Göreceli olarak yüksek soğurma özeliği ve 1.43 eV doğrudan kuşak aralığı, Galyum Arsenit (GaAs)' in potansiyel bir fotovoltaik malzeme olarak görülmesine yol açmaktadır. Yüksek üretim maliyetleri, galyum arsenit (GaAs) bazlı güneş pillerinin kullanım alanını şimdilik bazı özel uygulamalar ile sınırlamaktadır.

### **3.3.3. Optik Yoğunlaştırıcı Düzenekler**

Mevcut güneş pillerini bazı optik yansıtıcı ya da yoğunlaştırıcı eklenerek güneş pili üzerine gelen güneş ışınları 10-500 kat yoğunlaştırılır. Bu şekilde güneş pili ve modülünün veriminde artış sağlanabilse de yüksek sıcaklık gibi bazı sorunlarla da karşılaşmaktadır.

### **3.3.4. Diğer**

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

## **3.4. Fotovoltaik Panellerin Verimlilikleri**

Güneş pillerinin ya da sistemlerinin verimlilikleri soğurma verimi, korucuyu camın geçirgenliği, atmosfer etkileri, eklem verimi, bağlantı düzeneklerinin verimi ve güneş ışınlarının geliş açısı gibi diğer birçok ekipman ya da düzeneğin verimliliğine bağlıdır.

Bir güneş pilinin eklem verimi, eklem geometrik parametrelerine ve eklem malzemesine bağlıdır. Bağlantı düzeneklerinin verimi güneş pilinden elde edilen enerjinin en üst seviyeye çıkartılabilmesi için ciddi önem arz etmektedir. Güneş pili yüzeyinin gelen güneş ışınlarının ne kadarını emebildiği, elde edilecek sonucu doğrudan etkilemektedir.

Bununla birlikte pil üzerinde kullanılacak koruyucu camın geçirgenliği de toplam verimi doğrudan doğruya etkilemektedir, kullanılacak camın mutlaka düşük yansıtma özeliği olması gerekmektedir.

Çizelge 3.1 Fotovoltaik panellerin verimliliklerinin karşılaştırılması (Kaynak: EPIA)

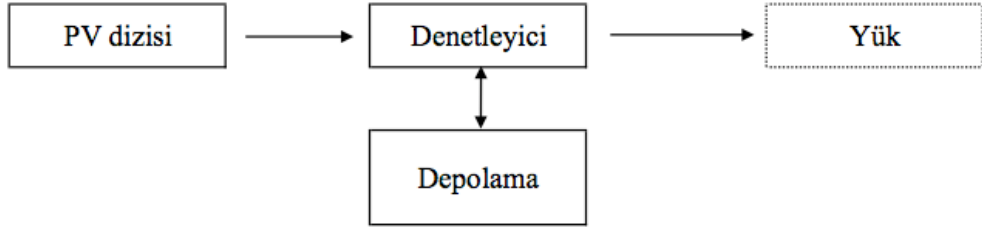
Teknoloji	İnce Film				Kristal Levha Bazlı	
	Amorf Silikon (a-si)	Kadmiyum Tellurit (CdTe)	CI(G)S	a-Si/m-Si	Tek Kristalli	Çok Kristalli
Pil Verimi (STK)	%5-7	%8-11	%7-11	8%	%16-19	%14-15
Modül Verimi					%13-15	%12-14
Her kW için gerekli alan(modüller için)	15 m <sup>2</sup>	11 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	12 m <sup>2</sup>	≈ 7 m <sup>2</sup>	≈ 8 m <sup>2</sup>

### 3.5. Fotovoltaik Panellerin Değerlendirilmesi

Görüldüğü üzere piyasada çok değişik tip ve yapıda güneş pili/paneli bulunmaktadır. İster bina uygulaması, ister elektrik üretim santrali olsun, herhangi bir proje için kullanılacak paneli seçebilmek için projenin özel koşulları ve projeden beklentiler ile birlikte pil karakteristiklerinin de değerlendirilmesi gereklidir. Piyasada en çok satılan ve kullanılan tip hücreler kristal silikon piller olup, ince film pillere göre daha yüksek verimlilik değerlerine sahiptirler. Bu nedenle özellikle bina çatısı gibi alanın kısıtlı olduğu yerlerde tercih edilirler. Mono kristal piller poli kristal pillere göre daha yüksek verimliliğe sahipken, poli kristal panellerin üretim maliyeti daha düşüktür.

### 3.6. Fotovoltaik Sistem Uygulamaları

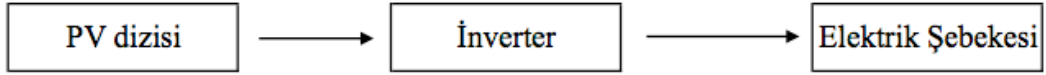
Fotovoltaik modüller hava koşullarına açık kullanım için üretilmiştir ve deniz şartları, tropikal şartlar, çöl şartları gibi durumlara dayanıklıdır. Bir fotovoltaik modül sistemi, istenilen akım ve gerilimi sağlayacak adette PV panelinin ve tamamlayıcı ekipmanlarının bir araya getirilmesi ile oluşturulur. Fotovoltaik sistemlerin temel çalışma prensibini gösteren şema Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10 Fotovoltaik sistemlerin temel çalışma prensibi

### 3.6.1. Doğrudan bağlı PV sistemleri

Doğrudan bağlı PV sistemlerinde, PV grubu doğrudan yüke bağlanmıştır. Arada herhangi bir depolama elemanı olmadığından ancak güneş ışınları panele geldiğinde sistem güç üretebilmektedir. Doğrudan bağlı PV sistemlerinin şematik çizimi Şekil 3.11’ de gösterilmiştir. Bu sistemin kullanımına en güzel örnek su pompalama düzenekleridir. Bu düzenekte amaç suyun bir yerden bir yere taşınması ya da yeraltından çıkartılmasıdır. Güneş ışınlarının olduğu saatlerde pompa çalışır, bu sayede elektrik enerjisi yerine pompalanan su depolanarak güneş ışınlarının olmadığı saatlerde kullanılır. Tüketicinin ya da sistemin gereksinimine göre sisteme invertör de eklenebilir.



Şekil 3.11 Doğrudan şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin şematik gösterimi

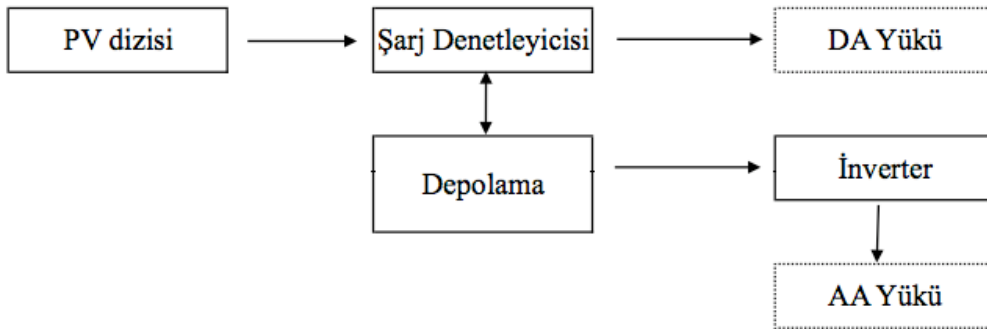
Doğrudan bağlı bir fotovoltaik sistem uygulama örneği olan doğrudan şebekeye bağlı bir güneş tarlası Şekil 3.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Doğrudan Şebekeye Bağlı Bir Güneş Tarlası (Waldpolenz Güneş Tarlası, Almanya)

### 3.6.2. Bağımsız PV Sistemleri

Bağımsız PV sistemleri genellikle elektrik dağıtım şebekesine erişimi olmayan ya da çok kısıtlı olan bölgelerde kullanılır. Bağımsız PV sistemleri elektrik şebekesinden (ya da yükten) ayrı çalıştığı için ürettiği elektrik akülerde depolanır. Tipik bir bağımsız PV sistemi PV panel grubu, şarj kontrol ünitesi ve akülerden oluşur. Gerekirse sisteme bir invertör eklenerek alternatif akım da elde edilebilir. Bağımsız PV sistemlerinin şematik çizimi Şekil 3.13’ te gösterilmiştir. Buradan da görüleceği üzere bu sistemler ile aynı anda hem alternatif akım hem de doğru akım tüketiciler beslenebilmektedir.



Şekil 3.13 Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerin şematik gösterimi

Şekil 3.14' te şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistem uygulaması olarak bir dağ evine kurulu sistem görülmektedir.

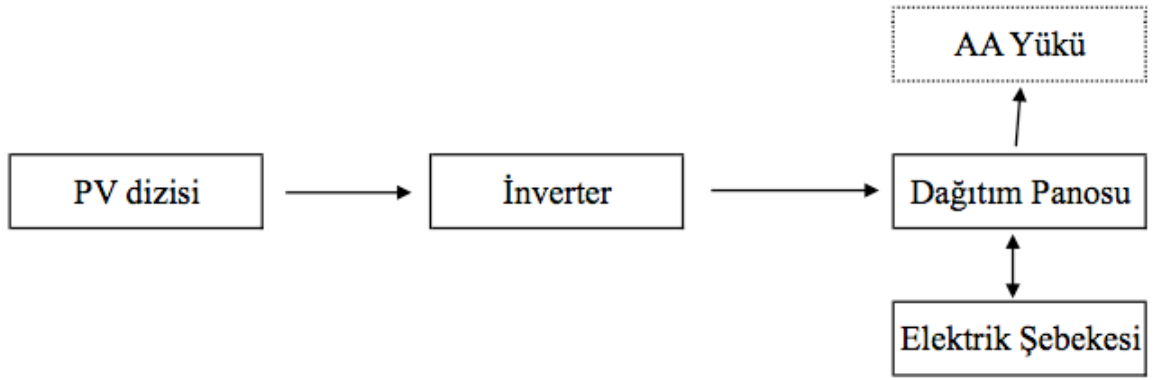


Şekil 3.14 Şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistem uygulama örneği

### 3.6.3. Şebekeye Bağlı Eysel PV Sistemler

Son dönemlerde şebekeye bağlı evsel PV sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Bu tip sistemlerde, güneş ışınlarının olduğu zamanda üretilen elektrik anında kullanılabilceği gibi bir kısmı ya da tamamı ülkenin elektrik şebekesine verilebilir, yani satılabilir. Aynı mantıkla, güneş ışınlarının olmadığı saatlerde elektrik ihtiyacı şebekeden karşılanabilir, yani satın alınabilir. Bu yöntemle herhangi bir akü yatırımına gerek olmaksızın ülkenin elektrik şebekesi bir depolama aracı gibi kullanılabilir. Şebekeye bağlı PV sistemlerinin şematik çizimi Şekil 3.15' te gösterilmiştir. Burada şebekeye bağlantı için invertör ve dağıtım panosu gereklidir.





Şekil 3.15 Şebekeye bağlı evsel kullanım amaçlı fotovoltaik sistemlerin Şematik Gösterimi

Şekil 3.16’ da bir ev uygulaması olarak şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistem görülmektedir.

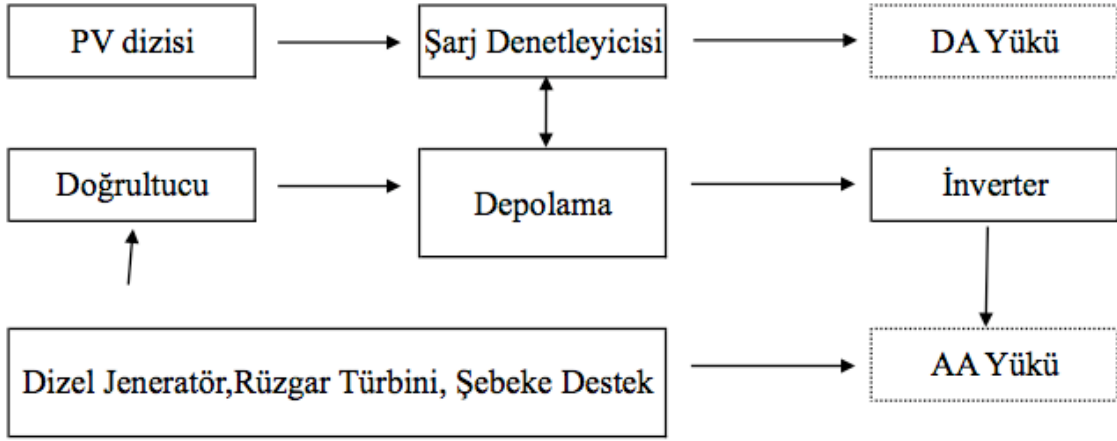


Şekil 3.16 Şebekeye bağlı bir ev fotovoltaik sistem uygulama örneği

### 3.6.4. Hibrit Bağlı Sistemler

Hibrit bağlı sistemlerde, PV panellere ek olarak bir yada daha fazla elektrik üretim sistemi vardır. Birincil elektrik üreticisinin PV paneller olduğunu kabul edersek, ikincil üretici sistem rüzgar türbini gibi yenilenebilir enerji kullanan bir kaynak olabileceği gibi dizel jeneratör gibi yenilenmez enerji kaynağı kullanan bir kaynak da olabilir.

(Dizel jeneratörde biyo yakıt kullanılırsa yenilenebilir enerji kullanan bir kaynağa dönüşmüş olur) Hibrit bağlı PV sistemlerinin şematik çizimi şekil 3.18’de gösterilmiştir. Buradan da görüleceği üzere bu sistemler ile de aynı anda hem alternatif akım hem de doğru akım tüketiciler beslenebilmektedir.



Şekil 3.17 Hibrit bir fotovoltaik sistemin şematik gösterimi

Hibrit bir fotovoltaik sisteme ait görsel şekil 3.18’ de görülmektedir.



Şekil 3.18 Hibrit bir fotovoltaik sistem

### 3.7. Fotovoltaik Sistemlerin Çevresel Etkileri

Fotovoltaik sistemlerin en önemli özelliği, işletmeleri sırasında küresel ısınmadan en çok sorumlu gaz olan karbondioksiti ( $\text{CO}_2$ ) üretmemesidir. Her ne kadar üretimleri esnasında bazı zararlı gazlar atmosfere salınsa da, bu miktar sakınımını engellediği gaz miktarı ile karşılaştırıldığında oldukça düşük kalmaktadır. Fotovoltaik üretiminde  $21,65 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$  atmosfere yayılmakla birlikte, fosil yakıtlara dayalı termal teknolojiler kullanılarak elektrik üretimi esnasında yaklaşık  $900 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$  ortaya çıkmaktadır [6] Öte yandan fotovoltaik panel üretiminde gerek duyulan enerjinin, daha önce üretilen ve elektrik üretimi sağlayan fotovoltaik sistemlerden karşılanabileceği göz önüne alındığında üretimde de sıfır emisyon sağlanabilir.

Fotovoltaik sistemlerin kullanımı ile sağlanacak fayda, fotovoltaik sistemin hangi enerji üretim yöntemi yerine kullanıldığı ile de ilgilidir. Örneğin fotovoltaik sistem bir dizel jeneratörlü elektrik üretim sisteminin yerini alıyor ise yaklaşık 1 kg CO<sub>2</sub>/kWh daha az salınma sebep olmaktadır [6]

Fotovoltaik sistem parçalarının bazıları geri dönüştürülebilir özelliğe sahip olduğundan, artan fotovoltaik sistem kullanımı ile birlikte daha fazla geri dönüştürülmüş malzemenin üretimde kullanılabileceği düşünüldüğünde, fotovoltaik panellerin üretim maliyetleri ve çevresel etkilerinin daha da düşeceği söylenebilir.

EPIA-Greenpeace güneş enerjisi kullanımı ileri senaryosuna göre, fotovoltaik panellerin kullanımı küresel CO<sub>2</sub> emisyonunda yılda 1,6 milyar ton düşüşe sebep olacaktır. Bu değer 750 MW ortalama gücünde 450 adet kömür yakıtlı termik santralin oluşturacağı emisyonu eşdeğerdir. Bu senaryoya göre fotovoltaik sistemler ile elektrik enerjisi üretimi sonucunda 2005-2030 yılları arasında toplam 9 milyar tondan fazla CO<sub>2</sub> emisyonunun oluşumu engellenecektir. [6]

İnsan kaynaklı küresel ısınmanın yarıya yakın kısmının atmosfere salınan CO<sub>2</sub> gazından oluştuğu göz önüne alındığında ve diğer bir düşük emisyonlu enerji üretim yöntemi olan nükleer enerjinin yüksek çevreye zarar verme riski değerlendirildiğinde, güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üretimine olanak sağlayan fotovoltaik sistemlerin kullanımının önemi daha iyi anlaşılabilir.

### **3.8. Fotovoltaik Sistemlerin Elektrik Üretiminin Dışındaki Yararları**

Diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında elektrik üretmek için şu anda pahalı bir seçenek olmasına rağmen gelecek vaat eden potansiyel nedeniyle birçok ülke bu teknolojiyi desteklemektedir. Kentsel planlamada PV sistemlerin kullanımına karar vermeye yardımcı olabilmesi için bu yararlar öncelikle tanımlanmalı ve (özellikle yatırımcılar ve kullanıcılar için) değerlendirilmelidir.

Fotovoltaik sistem kullanımının başlıca tarafları karar vericiler, hükümetler, kamu hizmet kuruluşları ve kullanıcılarıdır. Taraflar çeşitli tercihlere ve görüşlere sahip olsalar da sağlanan faydalar toplum refahına katkıda bulunmaktadır. Değerlendirilen ve/veya ölçülen yararlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Fosil yakıt kullanımının azaltılması
- Çevresel yararları
- Elektrik üreten kurumlara yararları
- Endüstriyel gelişim ve istihdam yaratma açısından yararları
- Kullanıcılar açısından bireysel yararları

#### **3.8.1. Fosil Yakıt Kullanımının Önlenmesi ve Buna Bağlı Çevresel Yararlar**

Genel olarak yenilenebilir enerjilerin ve özellikle de Fotovoltaik Sistemlerin olası çevresel yararları şu şekilde sıralanabilir:

- Fosil yakıt tedarikinde olası aksama ve buna bağlı olarak fiyat değişkenliği risklerini önlemek
- Sürdürülebilirlik konusunda çok önemli bir katkı elde etmek
- Sera gazı emisyonunu azaltmak
- Elektrik üretimine bağlı kirliliği azaltma ve belki de en sonunda tamamen ortadan kaldırma potansiyeli
- Dış alım maliyetlerini önlemek.

Kullanımının önlenmesi muhtemel olan fosil yakıtlar ülkeden ülkeye farklılık gösterirler. Örneğin Japonya'da pik talep akaryakıtla çalışan santraller tarafından karşılandığından fotovoltaik sistemler bunların yerine kullanılabilir. Avrupa ülkelerinde kullanımından kaçınılacak yakıt, ülkenin pik talep profiline, emisyon faktörlerine ve yakıt maliyetlerine bağlı olarak çoğunlukla doğal gaz veya kömürdür. Alışlagelmiş fosil yakıt kullanan elektrik santrallerinin yerini alan PV, böylece sera gazı emisyonları (CO<sub>2</sub> gibi), sülfür (SO<sub>2</sub>) ve nitrojen oksit (NO<sub>x</sub>) gibi hava kirleticilerinin ortadan kalkmasına da katkı sağlamış olur. Azaltılan emisyonların ölçümü için, hem ülkelere özgü fosil yakıtların oluşturduğu emisyon etkileri hem de PV panellerin üretimiyle ilişkili olarak ortaya çıkan emisyon etkileri hesaba katılarak net bir değer elde edilmelidir.

PV sistemler termik santrallerde soğutma için kullanılan suyun tüketiminin azaltılması konusunda da katkı sağlar. Örneğin Kaliforniya' da fotovoltaik sistemler aracılığı ile üretilen elektriğin her MWh' inin yaklaşık 0,19 m<sup>3</sup> su tasarrufu sağladığı hesaplanmıştır.

Enerji tedarikinin sebep olduğu dış alım maliyetleri yoğun olarak tartışılan bir diğer konudur. Fotovoltaik panel üreticisi olan ülkelere yakıt ithalatındaki azalma üretici olmayan ülkelere göre göreceli olarak daha yüksek kabul edilebilir.

Avrupa Birliği tarafından 2004 yılının sonundan beri bir emisyon ticaret şeması uygulanmaya başlanmıştır. Bu hesaba katılarak Avrupa ülkelerinde elektrik üreten kurumlar açısından fosil yakıtla elektrik üretimi yerine PV sistemlerin sağladığı yararları örnek olarak, Hollanda'da elektrik üretimi yapan bir kurumun ürettiği her kWh fotovoltaik elektrik için maliyet yükünü yaklaşık 0,62 Avro-sent azaltabildiği verilebilir [7].

### **3.8.2. Son Kullanıcılar Açısından Bireysel Yararları**

Çevresel yararlar, ekolojik imaj ve bir bireyin enerji tedarik güvenliğine katkı sağlamasının da ötesinde binalara entegre olabilen PV sistemler şüphesiz başka bireysel faydalar da sağlamaktadır. Daha yaşanabilir bir çevre yaratarak gelecek nesillere daha temiz bir dünyanın bırakılmasına olanak verir. Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı, bireye sosyal bir sorumluluğu yerine getirmiş olmanın hazzını verir.

## **4. TÜRKİYE’ DE KURULACAK BİR FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN FİZİBİLİTE DETAYLARI VE BİRİM ENERJİ ÜRETİM MALİYETİNİN HESABI**

### **4.1. Giriş**

Bir enerji santralının yatırım maliyeti oldukça yüksektir. Böylesi bir yatırımın yapılması kararının verilmesi için öncelikle iyi bir fizibilite çalışması yapılmalı ve ardından yatırım kararı tekrar gözden geçirilmelidir. Fizibilite çalışmasının sonucunda yatırımın karlı olacağı kararı verilir ise yatırıma başlanmalıdır.

Bu bölümde öncelikle bir güneş enerjisi santralının (GES) fizibilite çalışmasının adımları detaylarıyla anlatılacaktır. Fizibilitemizin temelini oluşturacak maliyet hesabı 10 MW kapasiteli bir GES için bazı kabuller çerçevesinde gerçeğine olabildiğince uygun olarak yapılacaktır. Maliyet hesabı yapılırken PVSYST isimli program kullanılacak, ancak öncelikle bir PV panelden elde edilecek elektrik miktarının hesabı formülleri ile birlikte açık olarak yapılarak gösterilecek, ardından PVSYST ile çeşitli bölgeler için hesaplamalar yapılacaktır. Yazılım firması tarafından PVSYST programına ait detaylı bir kullanım kılavuzu yayınlanmadığı için yapılacak hesaplama adım adım ekran görselleri ile birlikte anlatılacak, böylelikle hem hesaplamanın aşamaları açıkça gösterilecek, hem de ileride PVSYST kullanacak meslektaşlarımıza detaylı bir kullanım bilgisi sağlanmış olacaktır.

### **4.2. Kurulması Düşünülen Bir GES’ in Fizibilite Çalışmasının Detayları**

Bir sektörde belli bir yatırım ile ilgili fizibilite çalışması yapılırken ilk önce sektörün projenin uygulanması düşünülen ülkedeki durumu ve altyapısı incelenmelidir. Bu amaç ile öncelikle ülkemizdeki elektrik enerjisi üretimi durumu, hukuki altyapısı ve kurulması düşünülen Güneş Enerjisi Santrali (GES) ile ilgili özel durumlar incelenmiştir.

#### **4.2.1. Türkiye’ de Yakın Geçmiş ve Günümüzde Elektrik Üretimi**

Ülkemiz, 1980’ li yıllardan itibaren enerji sektöründe serbestleşmeyi ve özelleştirmeyi öngören bir süreç içerisine girmiş, 90’ lı yıllardan itibaren de bir ivmelenme kazanmıştır. İlk olarak eski adı Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) olan ulusal elektrik üretim ve dağıtım kuruluşumuz, elektrik üretim-iletim ve dağıtım faaliyetlerini iki farklı çatı altında bölmek üzere Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. (TEAŞ) ve Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) olmak üzere yapılandırılmıştır. 2001 yılında TEAŞ’ da

da yine bir bölünmeye gidilmiştir, bunun sonucunda elektrik üretim faaliyetlerini yerine getirmek üzere Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), iletim faaliyetlerini yerine getirmek üzere Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (EİAŞ) ve elektriğin toptan satış faaliyetlerini yerine getirmek üzere Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ) kurulmuştur.

Türkiye' nin Avrupa Birliği' ne (AB) tam üyelik hedefi çerçevesinde elektrik piyasalarında da AB kuralları ile uyumu sağlamak ve denetlemek amacıyla 3 Mart 2001 tarihinde 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu (EPK) kabul edilerek yürürlüğe girmiştir. EPK ile, elektrik üretimindeki tekel kaldırılarak Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) düzenleme ve denetimi altında elektrik piyasasında iletim faaliyetleri dışındaki faaliyetlerin rekabete açılması amaçlanmıştır. İçinde bulunduğumuz sürecin hedefi, serbest piyasa ilkeleri çerçevesinde rekabetçi, istikrarlı, mali açıdan güçlü ve güvenilir, saydam bir elektrik piyasasının oluşturularak kamu hazinesine ek yük getirmeksizin arz güvenliliği ve devamlılığının sağlanması ve tüketicilerin rekabetin bir sonucu olarak daha düşük maliyetli, kaliteli ve sürekli elektrik arzına kavuşmasıdır. Türkiye elektrik piyasasındaki serbestleşme süreci 2001 yılından beri devam etmekte olup, bu şekilde artan elektrik enerjisi talebinin de sağlıklı şekilde karşılanması amaçlanmaktadır.

Bu amaçlara uygun olarak elektrik piyasasında bulunulacak tüm faaliyetler EPDK' dan alınacak lisanslar kapsamında yürütülmektedir.

2004 yılında yayınlanan Elektrik Enerjisi Sektörü Reformu ve Özelleştirme Strateji Belgesi ile sektörün yol haritası çizilmiş ancak aradan geçen süre içerisinde Strateji Belgesi'nde öngörülen takvimin gerisinde kalınmış, bazı uygulamalar, mevzuat düzenlemeleri ve özelleştirmelerde gecikmeler yaşanmıştır.

Bununla birlikte iklim değişikliği etkilerinin daha fazla hissedilir hale gelmesi, artan sera gazı salınımları, Türkiye' nin enerjide dışa bağımlılığı durumu gibi konular yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimini piyasanın en öncelikli konularından bir tanesi haline getirmiştir.



#### 4.2.2. Türkiye' de GES'ler İle İlgili Hukuki Altyapı

Türkiye'de, elektrik piyasası faaliyetleri, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile düzenlenmektedir. 4628 sayılı kanun, birinci maddesinde tanımlandığı üzere Elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı, toptan satışı, perakende satışı, perakende satış hizmeti, ithalat ve ihracatı ile bu faaliyetlerle ilişkili tüm gerçek ve tüzel kişilerin hak ve yükümlülüklerini, Elektrik (Enerji) Piyasası Düzenleme Kurumunun kurulması ile çalışma usul ve esaslarını ve elektrik üretim ve dağıtım varlıklarının özelleştirilmesinde izlenecek usulü kapsar. Üretim faaliyeti de dahil olmak üzere tüm piyasa faaliyetleri lisansa tabi olup, faaliyet gösterecek tüzel kişilerin, 6762 sayılı Türk Ticaret Kanunu hükümlerine göre anonim şirket veya limited şirket olarak kurulması, anonim şirketlerin sermaye piyasası mevzuatına göre borsada işlem görenler dışındaki hisselerinin nama yazılı olması gerekmektedir.

Özel sektör üretim şirketlerinin toplam piyasa payı kanunla sınırlandırılmaktadır. İlgili kanun hükmü uyarınca, bir gerçek kişinin veya özel sektör tüzel kişisinin kontrol ettiği üretim şirketleri aracılığıyla sahip olacağı toplam kurulu güç, bir önceki yıla ait yayımlanmış Türkiye toplam elektrik enerjisi kurulu gücünün %20'sini geçmemektedir. 2008 itibariyle Türkiye' nin kurulu toplam elektrik üretim kapasitesi 41.817,2 MW dır [8]. Elektrik piyasasında her faaliyet ve söz konusu faaliyetlerin birden fazla tesiste yürütülecek olması durumunda her tesis için ayrı lisans almak gerekmektedir. Bu bağlamda, birden fazla üretim tesisi kurulmak istenmesi durumunda her tesis için ayrıca lisans almak gerekecektir. Ayrıca, kanunen lisans devri yasaklanmış olduğu için, her bir lisansın farklı bir tüzel kişilik için alınması, gerekli olması durumunda üretim lisansının bir başka tüzel kişiliğe devrinde kolaylık sağlayacaktır. Üretim lisansı bir defada en az 10 en fazla 49 yıl için verilmektedir. Elektrik piyasası Kanunu'nda 2007 yılında 5627 sayılı kanunla eklenen madde ve 2008 yılı içerisinde 5784 sayılı kanunla yapılan değişiklik uyarınca kurulu gücü azami 500 kW olan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulmaktadır. Ancak, bu tüzel kişilerin ürettikleri ihtiyaç fazlası enerjiyi sisteme vermeleri halinde uygulanacak teknik ve mali usul ve esasları belirleyecek yönetmelik henüz yayımlanmamıştır.

2001 yılı sonrasında piyasanın özel sektöre açılması ile çeşitli sorunlar da gün yüzüne çıkmıştır. Bunlardan bir tanesi teknik ve mali açılardan yetkin/yeterli olmayan firmaların sadece ticaret amaçlı lisans başvurusunda bulunmaları olup bu durum çok sayıda lisans verilmesine rağmen devreye alınan kapasitelerin aynı oranda gerçekleşmemesine yol açmıştır. Bu durumu önleyebilmek için kanunda bazı değişikliklere gidilmiştir. Bunlardan bir tanesi 2007 yılında uygulamaya konulan ek fıkra ile üretim tesisleri için lisans başvurusunda teminat zorunluluğu getirilmesi, bir diğeri ise üretim tesisi yatırımlarının mevzuat çerçevesinde belirlenen süreler içerisinde gerçekleştirme şartı getirilmesi olmuştur. Gerekli teminat sağlanmadan lisans başvurusu kabul edilmemektedir. Mevzuat uyarınca belirlenmiş sürelerde tamamlanmayan tesislerin lisansları ise iptal edilmekte ve ilgili tüzel kişi üç yıl süreyle lisans başvurusundan men edilmektedir.

Kısa dönemde gerekli arz kapasitesinin yeterli bir yedekle oluşturulması amacıyla yürürlüğe konulan bu uygulamalar kapsamında, 31/12/2012 tarihine kadar işletmeye girecek üretim lisansı sahibi tüzel kişilere aşağıdaki teşvikler uygulanmaktadır; Bu teşviklerden ilki işletmeye giriş tarihinden itibaren beş yıl süreyle iletim sistemi sistem kullanım bedellerinden yüzde elli indirim yapılması ve ikincisi de üretim tesisleri yatırım döneminde, üretim tesisleri ile ilgili yapılan işlemler ve düzenlenen kağıtlar damga vergisi ve harçtan müstesna tutulmaktadır. Bu bölümde fizibilite çalışmasını yapacağımız GES' in kurulum sırasında ortaya çıkabilecek bazı aksaklıklar da göz önüne alındığında 31/12/2012 tarihine kadar faaliyete geçeceği düşünülmemektedir, bu sebeple kanunda herhangi bir değişiklik olmaz ise bu teşviklerden yararlanılamayacaktır.

GES santrali kurulum ve işletmesi ile ilgili genel hükümleri içeren bir diğer kanun da 10.5.2005 tarihinde kabul edilen 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanundur (YEK). Bu kanunda yenilenebilir enerji kaynakları 'hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynakları' şeklinde tanımlanmaktadır.

YEK Kanunu, kamu veya hazine arazilerini, yenilenebilir kaynakların kullanımı ve verimliliğini etkileyecek imar düzenlemelerini yasaklayarak bir bakıma koruma altına almaktadır. Kanunun getirdiği önemli yeniliklerden bir tanesi, enerji ticaretinde kaynak

türünün belirlenebilmesi ve takibi için sertifikasyon uygulamasıdır. Kanun uyarınca, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten tüzel kişiye Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi (YEK Belgesi) verilecektir.

YEK Kanunu, perakende satış şirketlerine işletmede on yılını tamamlamamış olan YEK belgeli üretim tesislerinden kanunda tanımlanan usul ve esaslar doğrultusunda enerji alım şartı getirmekte olup, bu kapsamda satın alınacak enerjiye, EPDK'nın belirlediği bir önceki yıl Türkiye ortalama elektrik toptan satış fiyatı uygulanması kararlaştırılmıştır. Bu fiyat, 5 Avro-sent/kWh'dan az, 5.5 Avro-sent/kWh'dan fazla olamaz şartı getirilmiştir. [9] Burada önemli bir konu, YEK belgeli tesisler için getirilen 10 yıllık alım garantisinden faydalanabilmek için üretim tesisinin 31/12/2011 tarihinden önce devreye girmesi gerekliliğidir. Kanun kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi için getirilen bir başka teşvik de, Orman veya Hazine'nin özel mülkiyetinde ya da Devletin hüküm veya tasarrufu altında bulunan bir taşınmazın kullanılması durumunda, YEK belgeli tesislerin ulaşım yolları ve şebekeye bağlantı noktasına kadar olan enerji nakil hatlarından yatırım dönemi ve işletme döneminin ilk on yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izni bedellerine %85 indirim uygulamasıdır. Ancak yine bu teşvikten faydalanmak için de 2011 yılı sonuna kadar devreye alınma şartı bulunmaktadır.

GES lisans sahipleri, diğer üretim şirketleri gibi, yıllık planlı bakımlarını TEİAŞ'a bildirmek ve planlı bakımlar ile mücbir sebepler dışında üretim tesislerini çalışır halde tutmak mecburiyetindedir.

GES için Lisans Yönetmeliği uyarınca EPDK tarafından uygun bulunan lisans tamamlama süresinin lisansa eklenmesi gerekmektedir. Bu süre, inşaat öncesi süre ve inşaat süresi olmak üzere iki ayrı süreçte belirlenmektedir. EPDK'nın 20/11/2008 tarih ve 1855 sayılı kurul kararı uyarınca, kanuni süre içerisinde mücbir sebep harici tamamlanamayan tesislerin lisansının iptali dahil çeşitli yaptırımlarla gidilebilir.

Üretim lisansı sahibi tüzel kişilerin raporlama yükümlülükleri de bulunmaktadır. Bu kapsamda, GES projesi tamamlanıncaya kadar gerçekleştirilen faaliyetlerle ilgili olarak her yılın Ocak, Mayıs ve Eylül ayları içerisinde EPDK'ya ilerleme raporu sunulacaktır.

YEK Kanununda yapılması öngörülen değişiklik ile, GES tarafından üretilen elektriğin ilk 10 yıl için 18,5 Avro-sent/kWh'e çıkartılması öngörülmektedir. [10]

#### **4.2.3. Ulusal Elektrik Sistemine Bağlantı Koşulları**

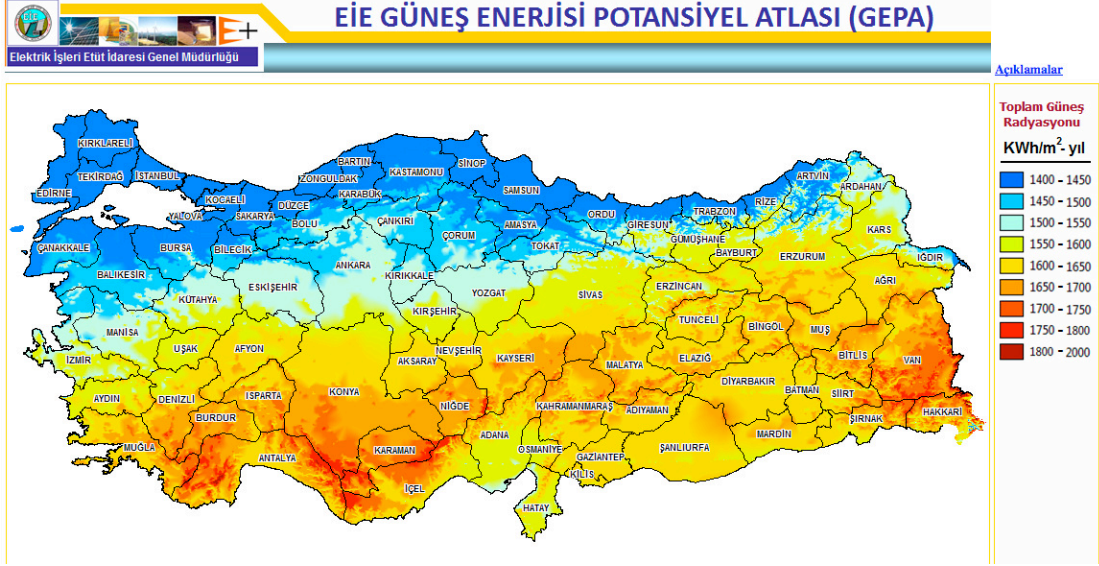
Şebekeye bağlantı, GES projesinin en kritik noktalarından bir tanesi olarak görülmektedir. Bu nedenle, bağlantı ile ilgili tüm hususların incelenmesi ve yükümlülüklerin tanımlanması önem taşımaktadır. Lisans Yönetmeliği uyarınca, yerli doğal kaynaklar ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesislerine, TEİAŞ ve/veya dağıtım lisansı sahibi tüzel kişiler tarafından, sisteme bağlantı yapılmasında öncelik tanınmaktadır.

Herhangi bir dağıtım merkezine bağlanmadan, doğrudan iletim tesisi şalt sahalarının dağıtım gerilimi seviyesindeki giderlerine bağlanması Kurul tarafından uygun bulunan ve sadece ilgili üretim tesisini şebekeye bağlamak için tesis edilecek olan bağlantı hatları, üretim için başvuran tüzel kişi tarafından tesis edilmesi gerekmektedir.

İletim sistemi frekansının belli aralıklarda tutulma zorunluluğu bulunmaktadır. Bu nedenle, sisteme bağlı tüm kullanıcıların uyması zorunlu frekanslar TEİAŞ tarafından belirlenmektedir. Sistemin frekansı 50 Hertz (Hz) etrafında, 49.8 - 50.2 Hz aralığında kontrol edilmesi esas alınmaktadır.

#### **4.3. Proje Sahası Seçimi ve Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi**

Kurulacak tesis için arazi seçimi yapılırken göz önüne alınması gereken noktalardan ilki seçilecek arazinin güneş enerjisi potansiyelidir. EİE tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) Şekil 4.1 de görülmektedir.



Şekil 4.1 Güneş enerjisi potansiyel atlası (Kaynak: EİE)

Arazi seçimi yapılırken, yıllık güneş radyasyonu değerinin yanı sıra aşağıdaki noktalar da mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

- Topoğrafik koşullar,
- Enerji alt yapı durumu,
- Ulaşım kolaylığı,
- Yerleşim alanlarına uzaklık,
- Genel iklimsel özellikler ve hava kirliliği/endüstri yoğunluğu,
- Arazinin mevcut kullanım durumu

Güneş enerjisi santrali yatırımların enerji üretim değerleri söz konusu olduğunda santralın kurulacağı sahanın güneş enerjisi potansiyeli büyük önem taşımaktadır. GES projelerinde, aynı sistemin farklı coğrafyalarda ulaşacağı enerji üretim değerleri arasında önemli farklılıklar görülebilmekte ve bu durum aynı yatırımın bir sahada ekonomik olurken bir başka proje sahasında geri dönüşü olmayan bir yatırıma dönüşmesine neden olabilmektedir.

#### 4.4. Güneş Pillerinden Elde Edilecek Elektrik Enerjisinin Hesabı

Bir güneş enerjisi santralinden ne kadar elektrik enerjisi elde edebileceğimizi hesaplamak için öncelikle kullanılacak PV panellerin üzerine ne kadar güneş radyasyonu geldiğini ve güneş radyasyonunun ne kadarının elektrik enerjisine dönüştürülebileceğini hesaplamamız gerekir. Bir PV sistemin tasarımı yapılırken genellikle başlangıçta elde seçilen arazinin coğrafi bilgileri, 12 aylık global radyasyon değerleri ve kullanılacak panel ve ekipmanların standart koşullarda elde edilmiş teknik özellikleri vardır. Eldeki bu başlangıç bilgileri ile bir sistem tasarımının aşamaları ve detayları incelenecektir.

##### 4.4.1. Fotovoltaik Panel – Güneş Işımları Arasındaki Açılar

Yeryüzünün herhangi bir noktadaki sabit veya hareketli bir panel ile bu panele gelen güneş ışınımı arasındaki konum ilişkisi çeşitli açılar ile tanımlanmıştır. Bu açılardan bazıları şunlardır:

**Enlem Açısı:** Konumlandırılan bölgenin, Ekvator'un kuzeyinde veya güneyinde olmasına göre farklılık gösterir. Kuzey için pozitif alınır.  $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$

**Sapma Açısı:** Güneşin, Ekvator düzlemine göre açısal pozisyonunu verir. Kuzeyde pozitif alınır.  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$

**Eğim Açısı:** Panelin yüzey düzlemi ile yatay düzlem arasındaki açıdır.  $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$

**Yüzey Azimut Açısı:** Dikmenin yatay yüzeydeki izdüşümünün lokal meridyene göre sapma açısıdır. Güneyde sıfır, doğuda negatif, batıda ise pozitifdir.  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$

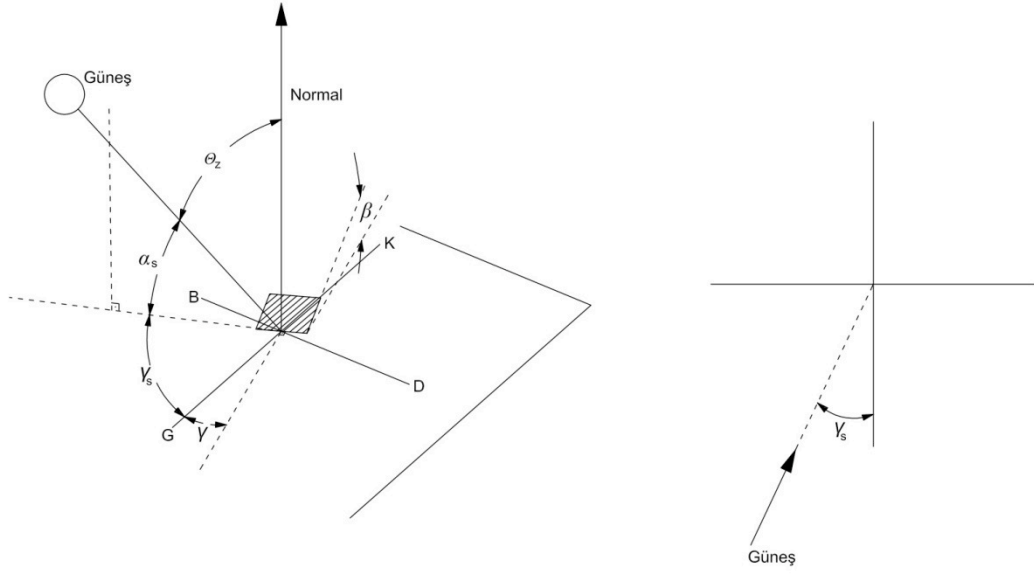
**Saatlik Açı (w):** Dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesiyle, doğu veya batıya saatte  $15^\circ$  açı farkı olarak meydana gelen açı burulmasıdır. Sabah saatlerinde negatif, öğleden sonra ise pozitifdir.

**Gelme Açısı ( $\theta$ ):** Yüzeye gelen ışın ile yüzeyin dikmesi(normal)arasında kalan açıdır.

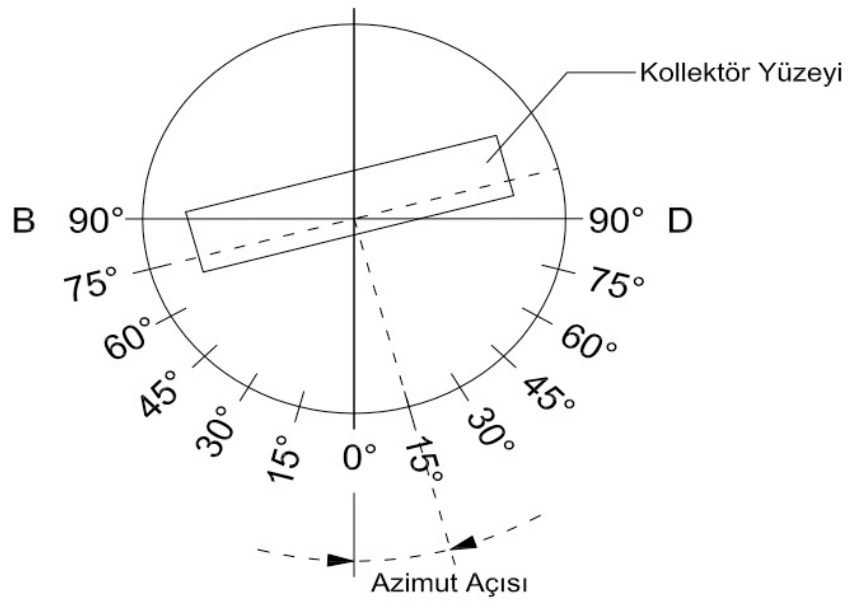
**Zenit Açısı ( $\theta_z$ ):** Güneş çizgisi ile dikme arasında kalan açıdır.

**Solar Yükseklik Açısı ( $\alpha_s$ ):** Yatay düzlem ile güneş çizgisi arasında kalan açıdır. Zenit açısının tamamlayıcısıdır.

**Solar Azimut Açısı ( $\gamma_s$ ):** Güneş ışınının yatay yüzeye olan izdüşümünün güneyden yaptığı burulmadır.



Şekil 4.2 Panel ile güneş arasındaki açılar



Şekil 4.3 Azimut Açısı

#### 4.4.2. Bir Fotovoltaik Panelden Elde Edilecek Enerjinin Hesaplanması

Bu bölümde, hesaplamalar yapılırken, önce panellerde toplanan toplam radyasyon, daha sonra da üretilen elektrik miktarı hesaplanır.

Panellerde toplanacak olan solar radyasyonun bulunuşu:

$$I_T = K_T H_0 \left[ \left( r_t - \frac{H_d}{H} r_d \right) R_b + \frac{H_d}{H} r_d \left( 1 + \frac{\cos \beta}{2} \right) + \rho_g r_t \left( 1 - \frac{\cos \beta}{2} \right) \right] \quad (4.1)$$

Panellerde toplanacak olan solar radyasyon 4.1 denkleminde göre bulunur. Denklem içerisinde geçen simgeler ve o simgelere ait denklemler verilmiştir.

$I_T$  : Eğimli yüzeye gelen saatlik ışıma

$H_0$  : Uzaydan gelen günlük radyasyon

$H_d$  : Günlük difüz radyasyon

$H$  : Günlük ışıma

$\rho_g$  : Yerin yansıtma katsayısı

$\beta$  : Eğim açısı

$K_T$  : Hava için günlük açıklık indeksi

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (4.2)$$

$r_t$  : Saatlik toplam radyasyonun günlük toplam radyasyona oranı

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b * \cos w) \frac{\cos w - \cos w_s}{\frac{\pi}{180} w_s \cos w_s - \sin w_s} \quad (4.3)$$

$r_d$  : Saatlik difüz radyasyonun günlük difüz radyasyona oranı

$$r_d = \frac{\pi}{24} \left( \frac{\cos w - \cos w_s}{\frac{\pi}{180} w_s \cos w_s - \sin w_s} \right) \quad (4.4)$$

Denklem 4.3 ve 4.4' te geçen a ve b katsayıları aşağıda verilen 4.5 ve 4.6 denkleminde göre bulunur.

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(w_s + 60) \quad (4.5)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin(w_s + 60) \quad (4.6)$$

$R_b$  : Eğimli yüzeye gelen radyasyonun yatay yüzeye gelene oranı

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos w + \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos w + \sin \phi \sin \delta} \quad (4.7)$$



$\frac{H_d}{H}$  değeri  $w_s$  ve  $K_T$ 'nin büyüklüğüne göre, denklem 4.8 ve 4.9'a göre hesaplanır.

Eğer;  $|w_s| < 81,4$  ve  $0,3 \leq K_T \leq 0,8$  ise;

$$\frac{H_d}{H} = 1,391 - 3,560K_T + 4,189K_T^2 - 2,137K_T^3 \quad (4.8)$$

Eğer;  $|w_s| > 81,4$  ve  $0,3 \leq K_T \leq 0,8$  ise;

$$\frac{H_d}{H} = 1,311 - 3,022K_T + 3,427K_T^2 - 1,821K_T^3 \quad (4.9)$$

Saatlik uzay radyasyonu denklem 4.10'a göre bulunur:

$$I_o = \frac{12 \cdot 3600}{\pi} G_{SC} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \left[ \cos \phi \cos \delta (\sin w_2 - \sin w_1) + \frac{\pi(w_2 - w_1)}{180} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (4.10)$$

$I_o$  : Uzaydan gelen saatlik radyasyon

$G_{SC}$  : solar sabit

$n$  : gün

$w_s$  : Güneşin doğuş ve batışındaki saatlik açı

$w$  : saatlik açı

$\phi$  : lokal açı

$\delta$  : sapma açı

Eğimli yüzeye gelen saatlik ışınlım  $I_T$  ve uzaydan gelen saatlik radyasyon  $I_o$  bulunduktan sonra,  $Z_i$  değeri denklem 4.11'e göre bulunur.

$$Z_i = \left( \frac{I_o}{I_T} \right)^2 (a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3) \quad (4.11)$$

4.11 denkleminde geçen katsayılar aşağıda verilen denklemlere göre bulunur.

$$a_1 = \frac{R_b^2 + \rho(1 - \cos \beta)R_b + \rho^2(1 - \cos \beta)^2}{4} \quad (4.12)$$

$$a_2 = \frac{R_b(1 + \cos \beta - 2R_b) + \rho(1 + \cos \beta - 2R_b)(1 - \cos \beta)}{2} \quad (4.13)$$

$$a_3 = \left[ \frac{1 - \cos \beta}{2} - R_b \right]^2 \quad (4.14)$$

$$b_1 = -0,1551 + 0,9226K_T \quad (4.15)$$

$$b_2 = 0,1456 + 0,0544 * \ln K_T \quad (4.16)$$

$$b_3 = K_T * (0,2769 - 0,3184 * K_T) \quad (4.17)$$

Ardından,  $\frac{U_L}{\tau * \alpha}$  aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\frac{U_L}{\tau * \alpha} = \frac{G_{T,NOCT}}{(T_{C,NOCT} - T_a)} \quad (4.18)$$

$U_L$  : Kollektörün toplam ısı kaybı katsayısı

$\tau$  : iletim

$\alpha$  : emilim kesri

$T_{C,NOCT}$  : nominal işletme sıcaklığı için pil sıcaklığı

$T_a$  : ortam sıcaklığı

$G_{T,NOCT}$  : nominal işletme sıcaklığı için eğimli yüzeydeki radyasyon

NOCT : nominal operating cell temperature

Saatlik modül verimi 4.19 denklemine göre hesaplanır.

$$\eta_i = \eta_{mp,ref} \eta_e \left[ 1 + \frac{\mu_{mp}}{\eta_{mp,ref}} (T_{a,i} - T_{ref}) + \frac{\mu_{mp} I_T}{\eta_{mp,ref} U_L} \frac{\tau * \alpha}{U_L} (1 - \eta_{mp,ref}) Z_i \right] \quad (4.19)$$

$\eta_{mp,ref}$  : maksimum güç verimi

$\eta_e$  : maksimum güç noktası elektroniği verimi

$\mu_{mp}$  : maksimum güç noktası sıcaklık katsayısı

$T_{a,i}$  : saatlik sıcaklık (12 ayın ortalaması)

$T_{ref}$  : referans sıcaklık

Yukarıda verilen tüm değerler hesaplandıktan sonra, ortalama saatlik elektrik üretimi  $E_i$  4.20 denklemindeki değerler yerine konularak hesaplanır.

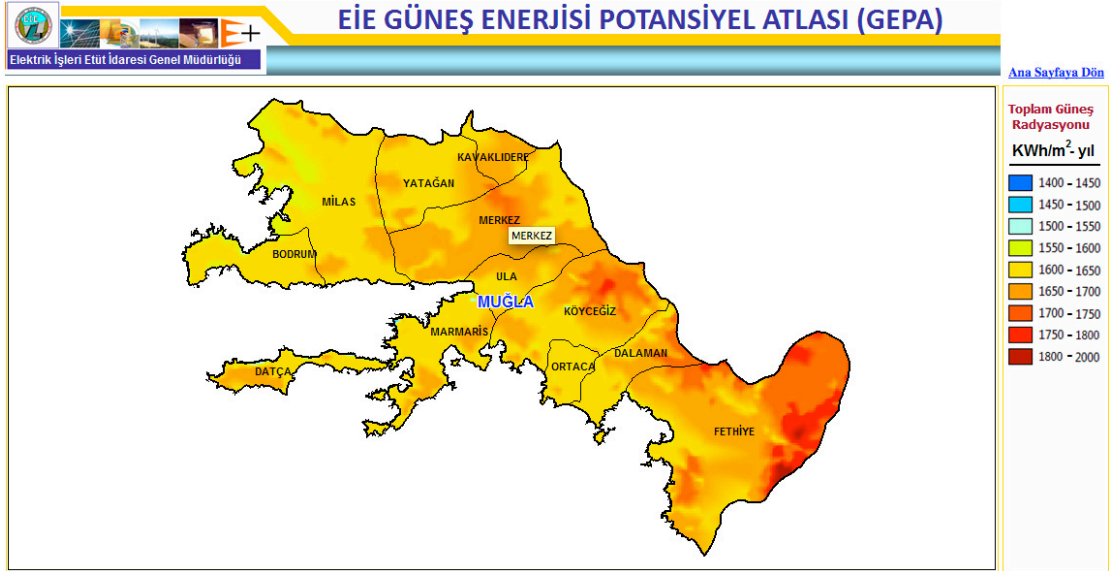
$$E_i = \eta_i A_c I_T \quad (4.20)$$

$A_c$  : Panel alanı

#### 4.4.3. Örnek Bir Fotovoltaik Panel İle Elde Edilecek Gücün Hesabı

Yıllık güneş radyasyonu ölçüm bilgilerinin Uluslararası Meteorolojik Veri Bankası (METEONORM) sisteminde bulunması sebebi ile Muğla ili çalışmanın yapılacağı bölge olarak seçilmiştir.

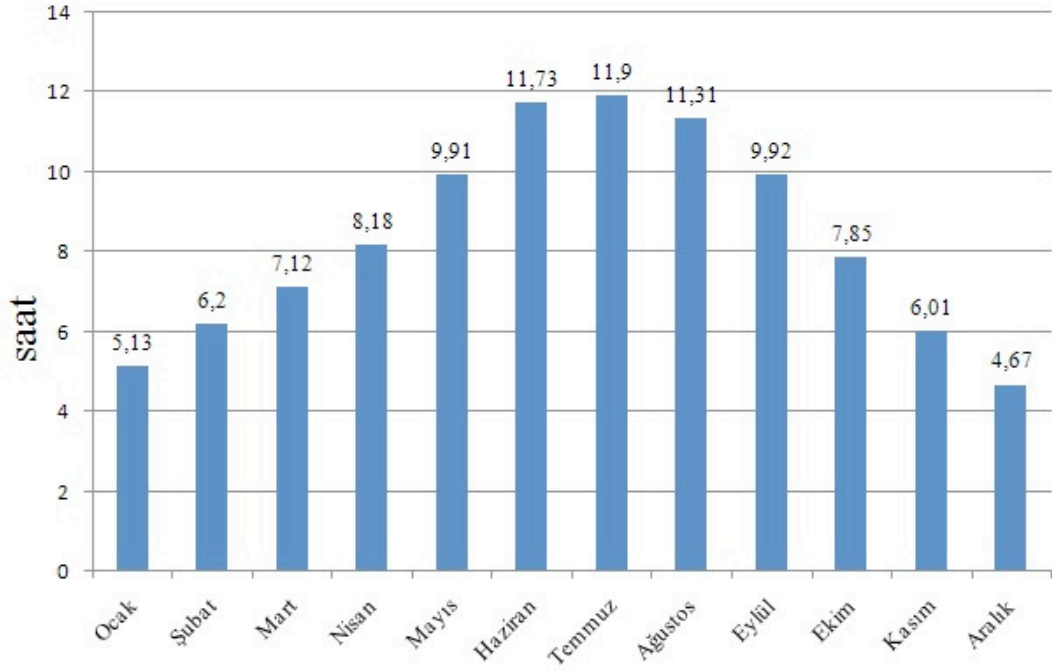
Muğla iline ait Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası Şekil 4.4'de görülmektedir.



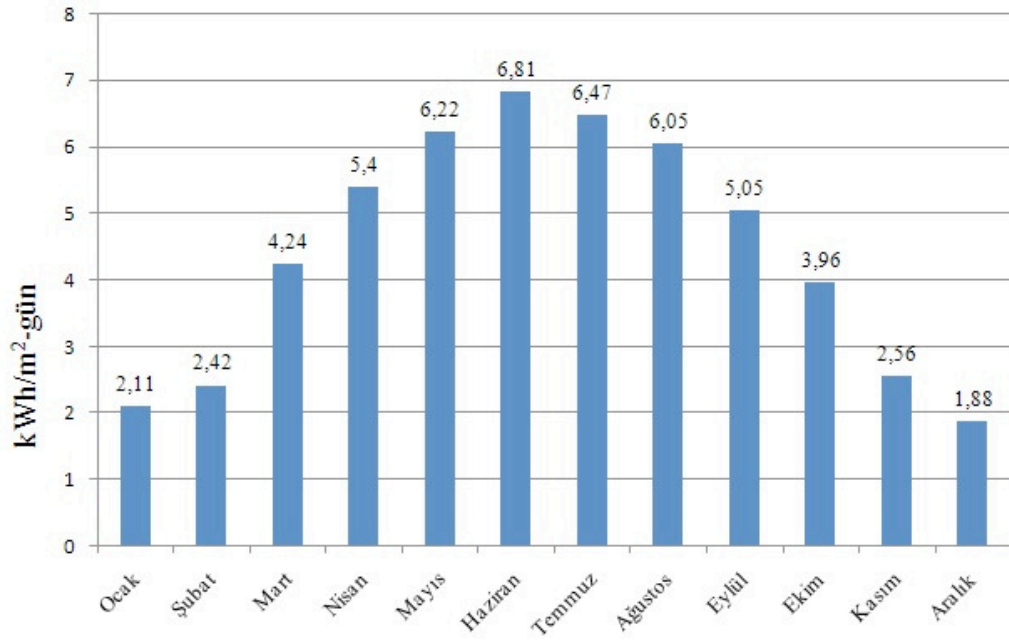
Şekil 4.4 Muğla iline ait güneş enerjisi potansiyeli (Kaynak: EİE)

Şekilden görüleceği üzere il genelinde oldukça yüksek güneş enerjisi potansiyeli vardır. Özellikle güney-doğu kısımlarda 1,800 kWh/m<sup>2</sup>'ye ulaşan radyasyon değerleri okunabilmektedir. GEP, haritanın yanı sıra günlük güneşlenme süresi ve günlük global radyasyon değerlerini detay bazında vermektedir. Bu bilgiler sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da grafiksel olarak sunulmuştur.

Şekilden görüleceği üzere, Mayıs ayında 10 saatin hemen altında olmakla birlikte, Mayıs - Eylül döneminde ortalama güneşlenme süresinin 11 saate yakın olduğu görülmektedir. En düşük güneşlenme süreleri, Aralık ayında yaşanmakta olup bu ayda günlük güneşlenme süresi 5 saatin altında kalmaktadır. Aylık değerler karşılaştırıldığında toplam güneş radyasyonunun da güneşlenme süresine paralel bir yol izlediği görülmektedir.



Şekil 4.5 Muğla ili günlük ortalama güneşlenme süresi (Kaynak: EİE)



Şekil 4.6 Muğla ili global radyasyon değeri (Kaynak: EİE)

Bir önceki bölümde, fotovoltaik panel aracılığıyla, ortalama saatlik elektrik üretiminin nasıl hesaplandığı anlatılmıştır. Bu anlatımdan yola çıkarak, Muğla’da, 20 Haziran gününde, saat 11:00-12:00 arasında “Sharp” marka panelden elde edilecek ortalama saatlik elektrik üretimi hesabının uygulaması yapılmıştır. Gerekli bilgiler aşağıda verilmiştir.

**Panel:** Sharp NE Series

**NOCT:** 47,5 °C

**Modül Verimi  $\eta_{mp,ref}$ :** 12,8 %

**Efektif Alan:** 1,3 m<sup>2</sup>

**Referans Sıcaklık Değeri:** 25°C

**Konum ( $\phi$ ):** 37,1’

**Panel Eğimi ( $\beta$ ):** 30°

**Maksimum Güç Noktası Sıcaklık Katsayısı ( $\mu_{mp}$ ):** -0,0005

**Maksimum Güç Noktası Elektronik Verimi ( $\eta_e$ ):** 0,9

**Yerin Yansıtma Katsayısı ( $\rho_g$ ):** 0,2

**Modül Sıcaklığı ( $G_{T,NOCT}$ ):** 800 W/m<sup>2</sup>

**Ortam Sıcaklığı ( $T_a$ ):** 31°C

Yukarıda bahsedilen hesaplamaya başlamadan önce, sapma açısının( $\delta$ ) ve güneşin doğuşundaki ve batışındaki saatlik açı değeri ( $w_s$ ), hesaplanması gerekir. Sapma açısı, aşağıda verilen denklem 4.21’e göre hesaplanır. Denklem içerisinde geçen “n” değeri, hesap yapılacak günün, o yıldaki kaçınıcı gün olduğunu tanımlamak için verilmiş simgedir.

$\delta$ : sapma açısı

n: 171 (20 Haziran, yılın 171. günü)

$$\delta = 23,45 \sin \left( 360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (4.21)$$

Denklem 4.21’ e göre yukarıda değerler yerine konulduğunda;

$$\delta = 23,45 \sin \left( 360 \frac{284 + 171}{365} \right) = 23,445^\circ$$

$$\delta = 23,445^\circ$$

Daha sonra, güneşin doğuşundaki ve batışındaki saatlik açı değeri ( $w_s$ ), aşağıdaki, denklem 4.22'ye göre bulunur.

Daha sonra, güneşin doğuşundaki ve batışındaki saatlik açı değeri ( $w_s$ ), aşağıdaki, denklem 4.22'ye göre bulunur.

$$w_s = -\cos^{-1}((- \tan \phi)(\tan \delta)) \quad (4.22)$$

Yukarıda verilen değerler yerine konulduğunda;

$$w_s = -\cos^{-1}((- \tan 37,1)(\tan 23,445)) = -109,146^\circ$$

$$w_s = -109,146^\circ$$

Denklem 4.2'de belirtildiği gibi  $K_T = \frac{H}{H_0}$ 'dır. Buradaki “**H**” değeri ortalama günlük ışıınım miktarını belirtir. Muğla için, 20 Haziran' da ortalama günlük ışıınım miktarı,

$$H = 29,61 \text{ MJ/m}^2 \text{ dir.}$$

Uzaydan gelen günlük radyasyon ( $H_0$ ) ise, Duffie&Beckman'ın yayınladığı Çizelge 4.1' den seçilir.

$$H_0 = 41,584 \text{ MJ/m}^2$$

Yukarıda verilen bilgiler denklem 4.2'de yerine konulduğunda;

$$K_T = \frac{29,61}{41,584} = 0,712$$

$$K_T = 0,712$$

Denklem 4.3 ve 4.4' te geçen  $r_t$  ve  $r_d$  değerlerinin hesaplanması için, denklem 4.5 ve 4.6'da geçen a ve b değerlerinin, bunun haricinde de saatlik açı ( $w$ ) değerinin hesaplanması gerekir.

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(-109,146 + 60) = 0,788$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin(-109,146 + 60) = 0,300$$

$$a = 0,788$$

$$b = 0,300$$

Çizelge 4.1 Günlük ortalama radyasyon miktarı (MJ/m<sup>2</sup>) (Duffie&Beckman, 1991)

	Oc	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
90	0,00	0,00	1,20	19,30	37,20	44,80	41,20	26,50	5,40	0,00	0,00	0,00
85	0,00	0,00	2,20	19,20	37,00	44,70	41,00	26,40	6,40	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	4,70	19,60	36,60	44,20	40,50	26,10	9,00	0,60	0,00	0,00
75	0,00	0,70	7,80	21,00	35,90	43,30	39,80	26,30	11,90	2,20	0,00	0,00
70	0,10	2,70	10,90	23,10	35,30	42,10	39,70	27,50	14,80	4,90	0,30	0,00
65	1,20	5,40	13,90	25,40	35,70	41,00	38,30	29,20	17,70	7,80	2,00	0,40
60	3,50	8,30	16,90	27,60	36,60	41,00	38,80	30,90	20,50	10,80	4,50	2,30
55	6,20	11,30	19,80	29,60	37,60	41,30	39,40	32,60	23,10	13,80	7,30	4,80
50	9,10	14,40	22,50	31,50	38,50	41,50	40,00	34,10	25,50	16,70	10,30	7,70
45	12,20	17,40	25,10	33,20	39,20	41,70	40,40	35,30	27,80	19,60	13,30	10,70
40	15,30	20,30	27,40	34,60	39,70	41,70	40,60	36,40	29,80	22,40	16,40	13,70
35	18,30	23,10	29,60	35,80	40,00	41,50	40,60	37,30	31,70	25,00	19,30	16,80
30	21,30	25,70	31,50	36,80	40,00	41,10	40,40	37,80	33,20	27,40	22,20	19,90
25	24,20	28,20	33,20	37,50	39,80	40,40	40,00	38,20	34,60	29,60	25,00	22,90
20	27,00	31,50	34,70	37,90	39,30	39,50	39,30	38,20	35,60	31,60	27,70	25,80
15	29,60	32,60	35,90	38,00	38,50	38,40	38,30	38,00	36,40	33,40	30,10	28,50
10	32,00	34,40	36,80	37,90	37,50	37,00	37,10	37,50	37,00	35,00	32,40	31,10
5	34,20	36,00	37,50	37,40	36,30	35,30	35,60	36,70	37,20	36,30	34,50	33,50
0	36,20	37,40	37,80	36,70	34,80	33,50	34,00	35,70	37,20	37,30	36,30	35,70
-5	38,00	38,50	37,90	35,80	33,00	31,40	32,10	34,40	36,90	38,00	37,90	37,60
-10	39,50	39,30	37,70	34,50	31,10	29,20	29,90	32,90	36,30	38,50	39,30	39,40
-15	40,80	39,80	37,20	33,00	28,90	26,80	27,60	31,10	35,40	38,70	40,40	40,90
-20	41,80	40,00	36,40	31,30	26,60	24,20	25,30	29,40	34,30	38,60	41,20	42,10
-25	42,50	40,00	35,40	29,30	24,10	21,50	22,60	27,00	32,90	38,20	41,70	43,10
-30	43,00	39,70	34,00	27,20	21,40	18,70	19,90	24,60	31,20	37,60	42,00	43,80
-35	43,20	39,10	32,50	24,80	18,60	15,80	17,00	22,10	29,30	36,60	42,00	44,20
-40	43,10	38,20	30,60	22,30	15,80	12,90	14,20	19,40	27,20	35,50	41,70	44,50
-45	42,80	37,10	28,60	19,60	12,90	10,00	11,30	16,60	24,90	34,00	41,20	44,50
-50	42,30	35,70	26,30	16,80	10,00	7,20	8,40	13,30	22,40	32,40	40,50	44,30
-55	41,70	34,10	23,90	13,90	7,20	4,50	5,70	10,60	19,80	30,50	39,60	44,00
-60	41,00	32,40	21,20	10,90	4,50	2,20	3,10	8,00	17,00	28,40	38,70	43,70
-65	40,50	30,60	18,50	7,90	2,10	0,30	1,00	5,20	14,10	26,20	37,80	43,70
-70	40,80	28,80	15,60	5,00	0,40	0,00	0,00	2,60	11,10	24,00	37,40	44,90
-75	41,90	27,60	12,60	2,40	0,00	0,00	0,00	0,80	8,00	21,90	38,10	46,20
-80	42,70	27,40	9,70	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	20,60	38,80	47,10
-85	43,20	27,70	7,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40	20,30	39,30	47,60
-90	43,30	27,80	6,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	20,40	39,40	47,80

Saatlik açı, saat 11:00-12:00 arası seçildiğinden,  $w = -7,5^\circ$  tir. Saat 12:00 için, saatlik açı  $0^\circ$  kabul edilir. Öğleden sonra pozitif, önce ise negatif olarak saatte  $15^\circ$  artar veya azalır. (Duffie&Beckman, 1991)

$$w = -7,5^\circ$$

$a, b$  ve  $w$  değerleri denklem 4.3 ve 4.4'te yerine konulduğunda;

$$r_t = \frac{\pi}{24} (0,503 + 0,3 * \cos(-7,5)) \frac{\cos(-7,5) - \cos(-109,146)}{\frac{\pi}{180}(-109,146) \cos(-109,146) - \sin(-109,146)} = 0,120$$

$$r_t = 0,120$$

$$r_d = \frac{\pi}{24} \left( \frac{\cos(-7,5) - \cos(-109,146)}{\frac{\pi}{180}(-109,146) \cos(-109,146) - \sin(-109,146)} \right) = 0,110$$

$$r_d = 0,110$$

Denklem 4.7'de değerler yerine konulduğunda:

$$R_b = \frac{\cos(37,1-30) \cos(23,445) \cos(-7,5) + \sin(37,1-30) \sin(23,445)}{\cos(37,1) \cos(23,445) \cos(-7,5) + \sin(37,1) \sin(23,445)} = 0,986$$

$$R_b = 0,986$$

Bu değerler hesaplandıktan sonra, denklem 4.8 ve 4.9'da verilen,  $\frac{H_d}{H}$  değerinin hesaplanması gerekir.

$$|w_s| > 109,146^\circ$$

$$K_T = 0,712 \text{ ve } 0,3 \leq 0,712 \leq 0,8 \text{ ise;}$$

$$\frac{H_d}{H} = 1,311 - 3,022(0,712) + 3,427(0,712^2) - 1,821(0,712^3) = 0,239$$

$$\frac{H_d}{H} = 0,239$$

Panellerde toplanacak olan solar radyasyon denklem 4.1'e göre;

$$I_T = (0,712)(41,584) \left[ (0,120 - (0,239)(0,110))(0,986) + (0,239)(0,110) \left( 1 + \frac{\cos(30)}{2} \right) + (0,2)(0,120) \left( 1 - \frac{\cos(30)}{2} \right) \right] = 4,239 \text{ MJ}$$

$$I_T = 4,239 \text{ MJ}$$

$$I_T = 4239087 \text{ J}$$



Ayrıca, saatlik uzay radyasyonu denklem 4.10'a göre bulunur.

$$G_{SC} = 1367$$

$$I_o =$$

$$\frac{12 \cdot 3600}{\pi} (1367) \left( 1 + 0,033 \cos\left(\frac{(360)(171)}{365}\right) \right) \left[ \cos(37,1) \cos(23,445) (\sin(0) - \sin(-15)) + \frac{\pi(0 - (-15))}{180} \sin(37,1) \sin(23,445) \right] = 4,588 \text{ J}$$

$$I_o = 4,588 \text{ MJ}$$

$$I_o = 4587697 \text{ J}$$

Denklem 4.11'de belirtilen,  $Z_i$  değerinin hesaplanabilmesi için, denklem 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17' de geçen katsayıların hesaplanması gerekir.

$$a_1 = \frac{(0,986^2) + 0,2(1 - \cos(30))(0,986) + 0,2^2(1 - \cos(30))^2}{4} = 0,250$$

$$a_1 = 0,250$$

$$a_2 = \frac{0,986(1 + \cos(30)) - 2(0,986) + 0,2(1 + \cos(30)) - 2(0,986)(1 - \cos(30))}{2} = -0,053$$

$$a_2 = -0,053$$

$$a_3 = \left[ \frac{1 - \cos(30)}{2} - (0,986) \right]^2 = 0,844$$

$$a_3 = 0,844$$

$$b_1 = -0,1551 + 0,9226(0,712) = 0,502$$

$$b_1 = 0,502$$

$$b_2 = 0,1456 + 0,0544 * \ln(0,712) = 0,127$$

$$b_2 = 0,127$$

$$b_3 = (0,712) * (0,2769 - 0,3184 * (0,712)) = 0,036$$

$$b_3 = 0,036$$

Yukarıdaki katsayılar hesaplandıktan sonra, denklem 4.11' e göre:

$$Z_i = \left( \frac{4,588}{4,239} \right)^2 \left( (0,250)(0,502) + (-0,053)(0,127) + (0,844)(0,036) \right) = 0,174$$

$$Z_i = 0,174$$

Denklem 4.18'de değerler yerine konulduğunda;

Denklem 4.18'de değerler yerine konulduğunda;

$$\frac{U_L}{\tau * \alpha} = \frac{800}{(47,5-20)} = 29,091$$

$$\frac{U_L}{\tau * \alpha} = 29,091$$

Yukarıdaki hesaplamalar yapıldıktan sonra, saatlik panel verimi, denklem 4.19'a göre hesaplanır.

$$\eta_i = (0,128)(0,9) \left[ 1 + \frac{-0,0005}{0,128} (31,2 - 25) + \frac{(-0,0005)(4,239)}{(0,128)} \frac{1}{29,091} (1 - (0,128))(0,174) \right] = 0,112$$

$$\eta_i = 0,1124$$

Yapılan tüm hesaplamalarla, saatlik panel verimi ve panelde toplanacak olan solar radyasyon hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler, denklem 4.20'de yerine konulduğunda, saatlik elektrik çıkışı elde edilir.

$A_c$  : Panel alanı

$$A_c = 1,3 \text{ m}^2$$

$$E_i = \frac{(0,1124)(1,3)(4239087)}{3600} = 172,06 \text{ Watt x Saat}$$

Olarak elde edilmiştir.

Aynı yöntem ile seçilen diğer dört örnek bölge için elde edilen sonuçlar izelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Seçilen rnek Bölgelerde Elde Edilen Sonuçlar

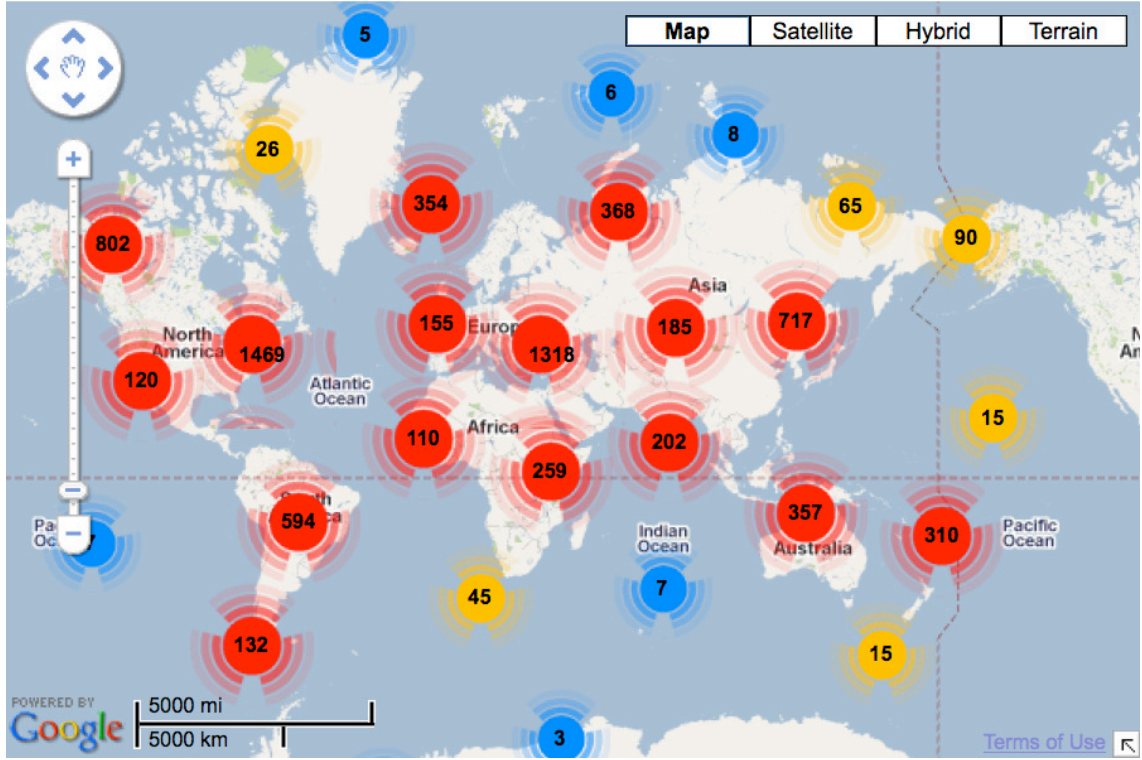
		Muğla	İzmir	İstanbul	Münih	Toledo
Konum: (f)	°	37,1	38,2	41	48,1	39,9
Haziran ayı günlük ortalama güneş enerjisi	MJ/m <sup>2</sup>	29,61	27,46	22,3	25,21	28,73
Haziran ayı günlük ortalama sıcaklık	°C	31,2	31	28,6	21	29
Saatlik elektrik retimi	WattxSaat	172,06	162,28	137,53	156,24	169,75

Bu aşamadan sonra PVSYST programı ile detaylı maliyet analizleri yapılacaktır.

#### 4.5. PVSYST Programı Kullanılarak GES Tasarımı ve Enerji Maliyeti

PVSYST, bütün halinde bir PV sisteminin ön çalışma, boyutlandırma ve simülasyonunu yapan Windows bazlı bir paket programdır.

PVSYST veri bankasında barındırdığı gerçek ve güncel bilgileri kullanarak simülasyon gerçekleştirdiği için elde edilen sonuçlar oldukça gerçekçidir. Sistemin kurulacağı araziye ilişkin güneş radyasyonu bilgilerini Meteonorm' un gerçek ölçüm değerlerinin saklandığı veri bankasından almaktadır. Güneş tarlasının kurulacağı arazinin topoğrafik özellikleri de sisteme tanımlanabilmektedir. Meteonorm'a veri sağlayan istasyonlarının dünya üzerindeki dağılım ve sayıları Şekil 4.7 de, Türkiye' deki ölçüm istasyonları da Şekil 4.8 'de görülmektedir.



Şekil .4.7 Dünya üzerindeki Meteonorm istasyonları ve sayıları

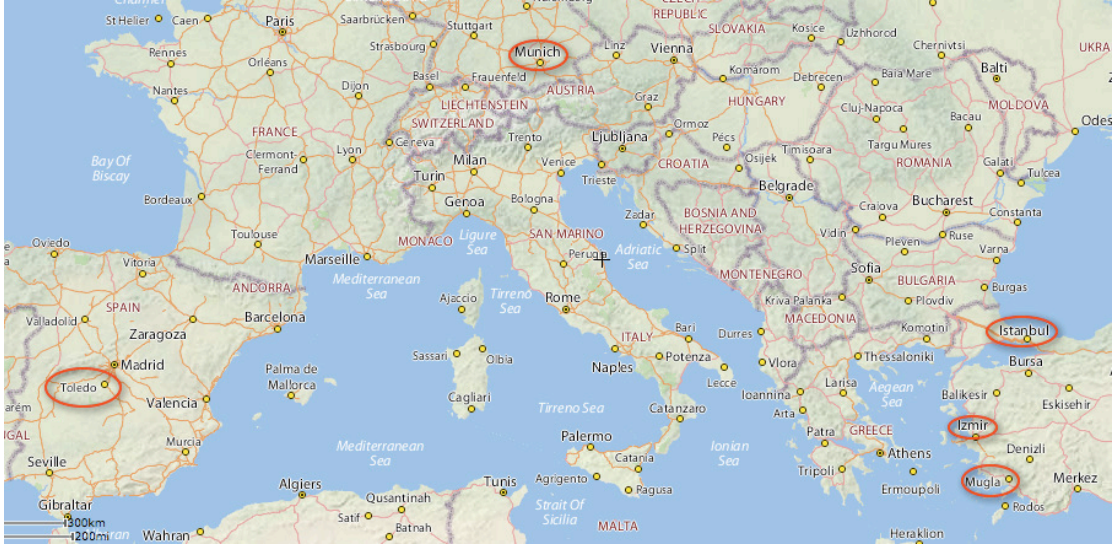


Şekil 4.8 Türkiye’deki Meteorolojik istasyonları ve sayıları

#### 4.5.1. PVSYST Programı Kullanılarak Hesaplama Yapılacak Yerlerin Seçimi

PVSYST programı aracılığı ile Türkiye’de üç ve Avrupa’da iki olmak üzere beş bölgeye ait 10 MW gücünde istasyonların kurulduğu kabul edildiğinde elde edilecek enerjinin birim maliyeti hesaplanacaktır.

Meteorolojik veri bankasında ölçüm değerleri bulunan ve güneş radyasyonu bakımından çeşitlilik göstermesi adına seçilen yerler Çizelge 4.3’te ve Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Hesaplamalar için seçilen konumların harita üzerinde gösterimi

Çizelge 4.3 Hesapların yapılacağı yerler ve yakındaki gerçek güneş tarlaları

Seçilen Yer	Yakındaki Güneş Tarlası	Kurulu Güç
İstanbul-Türkiye 41°N; 26,8°E GMT+2	-----	-----
İzmir – Türkiye 38,2°N; 27,2°E GMT+2	-----	-----
Muğla – Türkiye 37,1°N; 28,2°E GMT+2	-----	-----
Münih - Almanya 48,1°N; 27,2°E GMT+1	Strasskirchen Solar Park 48,5°N; 12,4°E GMT+1	54 MW
İspanya – Toledo 39,9°N; 4°W GMT+1	Puertollano Photovoltaic Park 38,5°N; 4°W GMT+1	47,6 MW

Hesapların yapılacağı yerler seçilirken Çizelge 4.4' de gösterilen kabuller yapılmıştır.

Çizelge 4.4 Hesaplamalarda yapılan kabuller

Ulaşım	Projenin yapılacağı sahaya ulaşım altyapısının olduğu kabul edilmiştir.
Topoğrafik Yapı	Sahanın topoğrafik yapısının projenin inşasına uygun olduğu kabul edilmiştir.
Trafo Merkezi	Sahanın ilgili kamu ya da özel elektrik idaresinin trafo merkezlerine yakın olduğu kabul edilmiştir.
Sahanın Durumu	Saha içerisinde herhangi bir boru hattı bulunmadığı ve mülkiyeti ile ilgili belirsizlik olmadığı kabul edilmiştir.
Gölgelenme	Arazide gölge yaratacak yapı ya da bitki örtüsü olmadığı kabul edilmiştir.
Arazi Gereksinimi	GES' in kurulumu için gerekli arazinin alanı, kurulacak toplam PV panel alanının %70 fazlası olarak kabul edilmiştir.
Arazi Bedeli	Arazi bedeli, bütün örneklerde 2,80 Avro/m <sup>2</sup> kabul edilmiştir.
Personel Giderleri	Santralde 1 makine mühendisi, 1 elektrik mühendisi, 5 elektrik teknisyeni ve 5 güvenlik/temizlik personeli çalışacağı ve yıllık personel giderinin 200.000 Avro olacağı kabul edilmiştir.
Bakım-Tutum Bedeli	Santralin yıllık bakım-tutum bedelinin 30.000 Avro olacağı kabul edilmiştir.
Sigorta Bedeli	Santralin yıllık sigorta bedelinin 135.000 Avro olduğu kabul edilmiştir.

#### 4.5.2. Kullanılacak Güneş Paneli ve İntertör Seçimi ve Fiyatları

Kurulacak GES’lerde kullanılmak üzere seçilen tek kristalli panel; çok kristalli panel ve invertöre ait bilgiler Çizelge 4.5’de görülmektedir. Çeşitli üreticiler ile yapılan fiyat araştırmalarına göre belirlenen ürün fiyatları da ilgili çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Fotovoltaik Sistemde Kullanılacak Ürünlere Ait Bilgiler ve Birim Fiyatlar

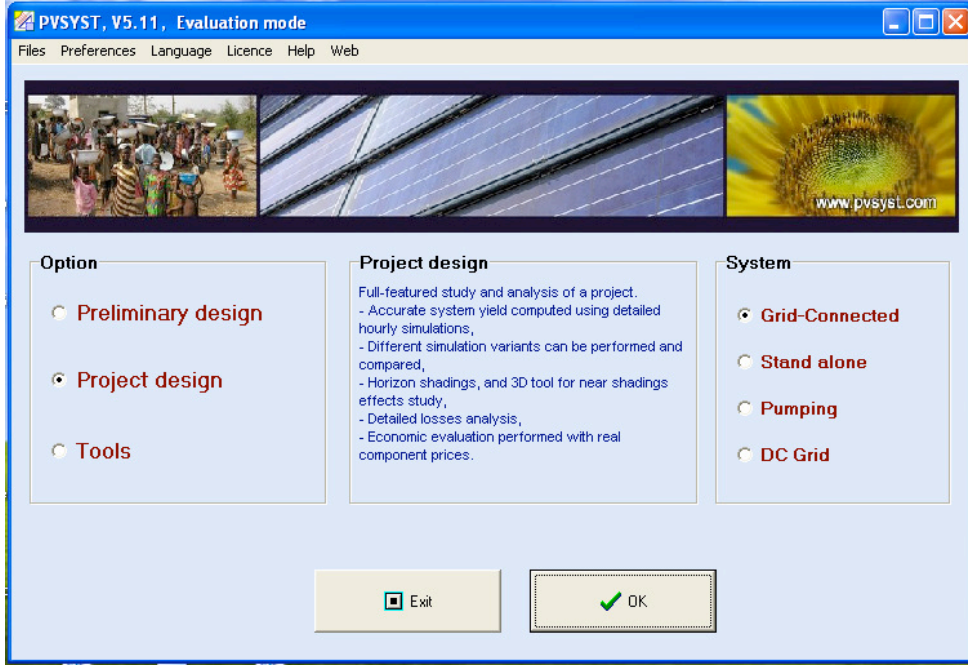
Ürün	Üretici ve model	Nominal Güç (kW)	Birim Fiyat
Çok kristalli güneş paneli	Sharp - NE-Q7E3E	167	1,1 Avro / W
Tek kristalli güneş paneli	Sharp - NU-R0E3E	170	1,155 Avro / W
İntertör	Siemens - Sinvert PVM10	10	7.200 Avro / adet

#### 4.5.3. Seçilen Bölgeler İçin PVSYST İle Hesapların Yapılması

PVSYST programı aracılığı ile seçilen 5 bölge için, tek kristalli ve çok kristalli PV paneller kullanıldığında oluşacak maliyetlerin karşılaştırılabilmesi için toplam 10 adet hesaplama yapılacaktır. Hesaplamaların ilki Muğla için yapılacak olup ekran görselleri ile birlikte gösterilecek, diğer bölgeler için sadece sonuçlara yer verilecektir. Daha sonra da sonuçlar tablosu üzerinden seçilen yer ve kullanılan panellere göz önüne alınarak değerlendirme yapılacaktır.

#### 4.5.4. Muğla İline Kurulacak 10 MW Güce Sahip GES için hesaplamalar

İlk hesaplamamız çok kristalli modüller ile yapılacaktır. PVSYST programı çalıştırıldığında giriş ekranı gelir. Proje tasarımı yapacağımız için “project design” ve sistem ülke şebekesine bağlı olacağı için “grid-connected” seçenekleri işaretlenerek devam edilir.(Şekil 4.10)



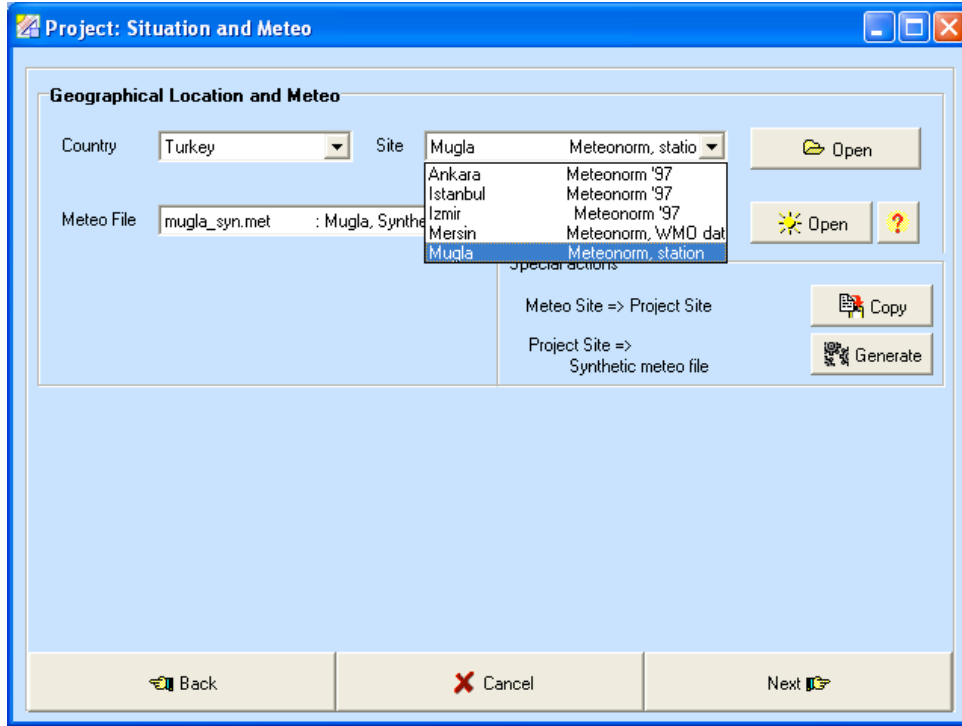
Şekil 4.10 PVSYSY programı giriş ekranı

Önümüze gelen ekranda proje ile ilgili bilgileri girebilmek için “project” tuşuna tıklanarak devam edilir. “Project and Simulation Definitions” ekranından projeyi tanımlayıcı bilgiler girilir (Şekil 4.11) ve “site and meteo” tuşuna tıklanır.

Şekil 4.11 Proje ve simülasyon bilgilerinin girişi

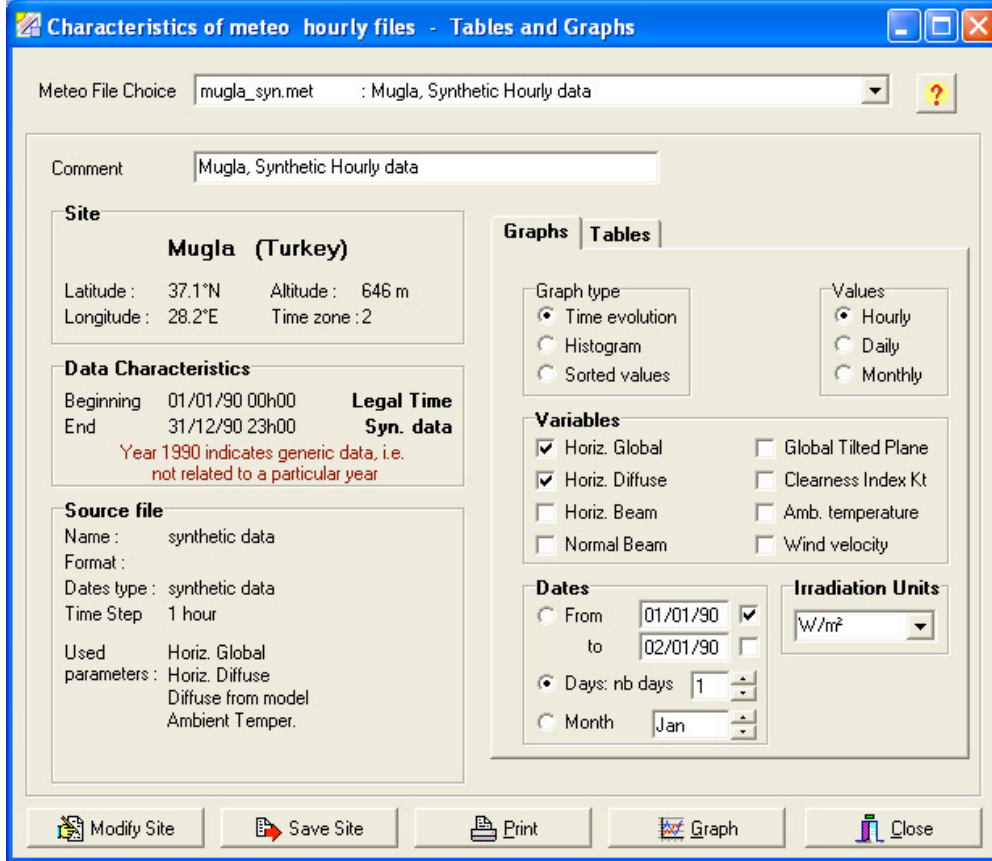


Açılan ekrandan Muğla ili seçilir. (Şekil 4.12)



Şekil 4.12 Yer bilgilerinin girişi ve ilgili Meteonorm dosyasının seçimi

“Meteo File” yanındaki “open” tuşuna basılarak seçilen bölgeye ait detaylı meteorolojik verilere ulaşılabilir. (Şekil 4.13) Bu menüden seçilen bölgeye ait saatlik ya da aylık güneşlenme bilgileri tablo ya da grafiklerine ulaşılabilir.



Şekil 4.13 Seçilen bölgeye ait meteorolojik veriler ekranı

Meteonorm dosyasının seçildiği ekrana dönülerek “next” tuşu ile devam edilir. Daha sonra karşımıza albedo değerlerinin seçilebileceği ekran gelir. Arazi ile ilgili elimizde net bir bilgi olmadığı için genel değer olarak 0,2 seçilir ve devam edilir (Şekil 4.14)

Daha sonra gelen proje kayıt ekranından proje adı verilir ve kaydedilir. (Şekil 4.15)

Önümüze gelen proje ekranından, sistemimiz ülke elektrik şebekesine bağlı olduğu için ilgili seçeneğe (elektrik direği resmi) tıklanır. (Şekil 4.16 )

Project's parameter: Albedo for the project's situation

**Albedo values** ?

**Monthly values**

Jan.	0.20	July	0.20
Feb.	0.20	Aug.	0.20
Mar.	0.20	Sep.	0.20
Apr.	0.20	Oct.	0.20
May	0.20	Nov.	0.20
June	0.20	Dec.	0.20

**Set a common value**

Common value: 0.20  
(Default: albedo = 0.2)

**Usual values for albedo**

Urban situation	0.14 - 0.22
Grass	0.15 - 0.25
Fresh Grass	0.26
Fresh snow	0.82
Wet snow	0.55 - 0.75
Dry asphalt	0.09 - 0.15
Wet asphalt	0.18
Concrete	0.25 - 0.35
Red tiles	0.33
Aluminium	0.85
New galvanised steel	0.35
Very dirty galvanised steel	0.08

**Site-dependent Design parameters**

**Reference temperatures for array design by respect to the inverter input voltages**

Lower temperature for VmaxAbs limit	-10	°C	Default	<input checked="" type="checkbox"/>
Winter operating temperature for VmppMax design	20	°C		<input checked="" type="checkbox"/>
Usual operating temperature under 1000 W/m	50	°C		<input checked="" type="checkbox"/>
Summer operating temperature for VmppMin design	60	°C		<input checked="" type="checkbox"/>

Şekil 4.14 Albedo değerlerinin seçimi

Save project as ...

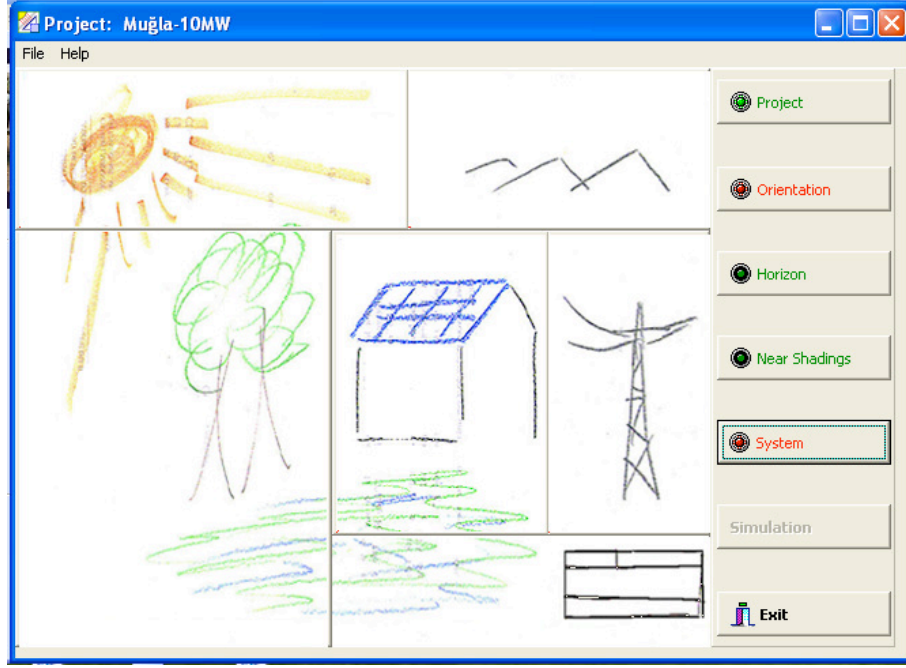
Description: Mugla GES - TEZ

File name: Mugla\_Project

Directory: C:\Program Files\PV\sys5\data\Projects

Bremen\_Project.PRJ  
Dakar\_Pumping\_Demo.PRJ  
Dakar\_StandAlone\_Demo.PRJ  
Geneve\_DCGrid\_Demo.PRJ  
Geneve\_grid\_demo.PRJ  
Istanbul\_GES.PRJ  
Izmir\_Project.PRJ  
Mugla\_GES.PRJ  
Mugla-10MW.PRJ  
Munchen\_Project.PRJ  
N13\_Motorway\_Data\_DEMO.PRJ  
Toledo\_Project.PRJ

Şekil 4.15 Proje ismi verilmesi ve kaydedilmesi



Şekil 4.16 Sistem tipi seçimi (şebekeye bağlı)

Açılan ekran kurulacak GES ile ilgili teknik bilgilerin girileceği ekrandır. (Şekil 4.17)

Tasarımımızı tek başına çalışacak ve bir adet GES için yaptığımızdan dolayı “number of kinds of fields” 1 olarak seçilir. Bu durumda göre oluşturulmuş GES’ in şeması Şekil 4.18’ de görülebilir. Daha sonra oluşturacağımız GES’ in nominal gücü olan 10MW değeri “enter planned power” bölümüne girilir. Ardından “select PV module” kısmından daha önceden belirlediğimiz nominal 167W güce sahip Sharp NE-Q7E3E model PV panel seçilir. Seçim yapılır yapılmaz program gerekli panel adedi ve gerekli inverter gücünü hesaplayacaktır. Bizim seçimimize göre panel adedi 59.880 ve gerekli invertör gücü en az 8.635 kW olarak hesaplanmıştır. “Select the invertör” bölümünden yine daha önceden belirlediğimiz üzere 10 kW nominal güce sahip Siemens Sinvert PVM10 modeli seçilir. Seçimin ardından Program gerekli invertör sayısını hesaplar. Sistemimizde yeterli güce gelebilmek için invertör sayısı bir miktar artırılarak ve yıldan yıla oluşacak kayıplar ve olası arızalar göz önüne alınarak 1000 olarak seçilmiştir. Panel ve invertör seçiminin ardından program toplam modül alanını 77.901 m<sup>2</sup>, maksimum PV gücünü 9.691kWdc, nominal AC gücünü de 10.000 kW olarak hesaplanmıştır. Seçimlerimizin ardından sistem teknik bilgileri Şekil 4.19 de görülmektedir.

**Grid system definition , Variant "New simulation variant"**

**Global System configuration**

1 Number of kinds of sub-fields

Simplified Schema

**Global system summary**

Nb. of modules	xx	Nominal PV Power	xx kWp
Module area	xx m <sup>2</sup>	Maximum PV Power	xx kWdc
Nb. of inverters	xx	Nominal AC Power	xx kWac

**Homogeneous System**

**Presizing Help**

No Sizing Enter planned power  kWp, ... or available area  m<sup>2</sup>

**Select the PV module**

Sort modules:  Power  Technology  Manufacturer Available Now

Open

Sizing voltages: V<sub>mpp</sub> (60°C) 0 V  
V<sub>oc</sub> (-10°C) 0 V **PowerBox**  350 W

**Select the inverter**

Sort inverters by:  Power  Voltage (max)  Manufacturer All inverters

Open

Number of inverters:   Use multi-MPPT feature

Operating Voltage: 300-600 V Global Inverter's power: 0 kWac  
Input maximum voltage: +/- 0 V **Bi-polar voltage inputs**

**Design the array**

**Number of modules and strings**

Initial degrad.  %  should be

Mod. in series   between

Nbre strings

Overload loss  %  Show sizing

Phom ratio

**Nb. modules** 0 **Area** 0 m<sup>2</sup>

**Operating conditions**

Please define the desired power or available area!

V<sub>mpp</sub> 0 V  
V<sub>mpp</sub> 0 V  
V<sub>oc</sub> 0 V

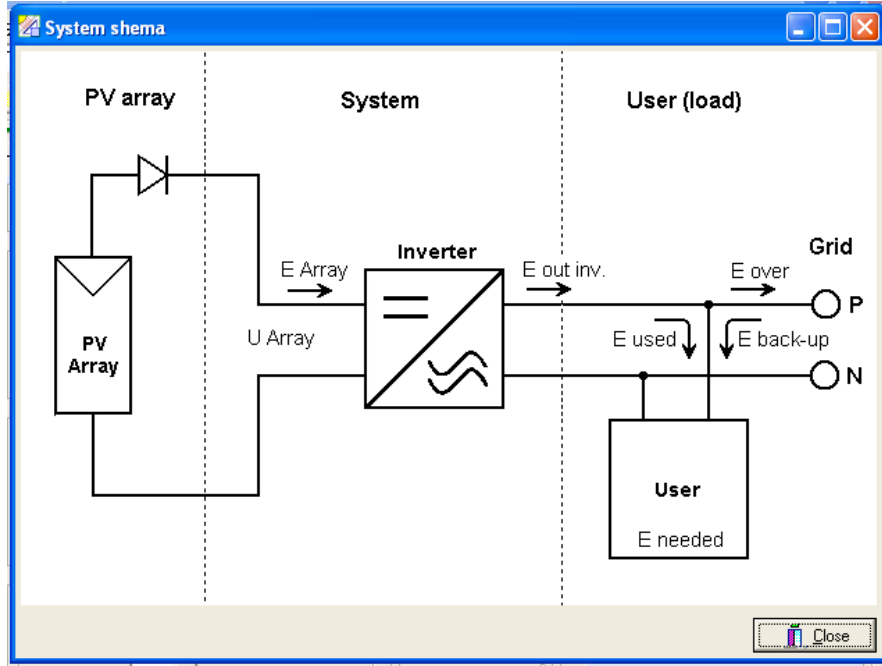
Plane irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>  Max. in data  STC

I<sub>mpp</sub> 0 A Max. operating power 0 kW  
I<sub>sc</sub> 0 A (at max. irrad and 50°C)

I<sub>sc</sub> (at STC) 0 A **Array nom. Power (STC)** 0 kWp

User's needs Detailed losses Cancel OK

Şekil 4.17 GES teknik bilgilerinin girileceği ekran



Şekil 4.18 Oluşturulacak GES' in sistem şeması

The screenshot shows the 'Grid system definition, Variant Mugla-10MW-POLY' software interface. The interface is divided into several sections:

- Global System configuration:** Number of kinds of sub-fields: 1. Simplified Schema:
- Global system summary:**
  - Nb. of modules: 59880
  - Module area: 77901 m<sup>2</sup>
  - Nb. of inverters: 1000
  - Nominal PV Power: 10000 kWp
  - Maximum PV Power: 9691 kWdc
  - Nominal AC Power: 10000 kWac
- Homogeneous System:**
  - Presizing Help:** No Sizing. Enter planned power: 10000.0 kWp. ... or available area: 77901 m<sup>2</sup>.
  - Select the PV module:** Sort modules by: Power. Selected module: 167 Wp 29V Si-poly NE-Q7E3E Sharp Photon Maq. 20C. Maximum nb. of modules: 59880. Sizing voltages: Vmpp (60°C) 28.9 V, Voc (-10°C) 48.3 V.
  - Select the inverter:** Sort inverters by: Power. Selected inverter: 10 kW 380 - 850 V 50 Hz Sinvert PVM10 Siemens. Nb. of inverters: 1000. Operating Voltage: 380-850 V. Global Inverter's power: 10000 kWac. Input maximum voltage: 1000 V.
  - Design the array:**
    - Number of modules and strings: Mod. in series: 20 (should be between 14 and 20). Nbre strings: 2994 (only possibility 2994).
    - Operating conditions: Vmpp (60°C) 579 V, Vmpp (20°C) 699 V, Voc (-10°C) 966 V.
    - Plane irradiance: 1000 W/m<sup>2</sup>. Max. in data: STC. Iimp (STC) 14626 A. Max. operating power: 8895 kW. Isc (STC) 16280 A. at 1000 W/m<sup>2</sup> and 50°C.
    - Nb. modules: 59880. Area: 77901 m<sup>2</sup>. Isc (at STC) 16078 A. Array nom. Power (STC) 10000 kWp.

Şekil 4.19 Seçimlerimizin ardından sistem teknik bilgileri

Sistem teknik bilgileri ekranından “show sizing” tuşuna tıkladığında Şekil 4.20 de görülen ekrandan sistemin boyutlandırılmasına ait bilgilere ulaşılır. “Detailed losses” tuşuna basılarak ta sistemin kayıp hesap koşulları görülebilir. (Şekil 4.21) “OK” tuşuna basılarak ana ekrana dönülür. (Şekil 4.16)



Şekil 4.20 Sistemin boyutlandırma koşulları

**PV field detailed losses parameter**

Thermal parameter | Ohmic Losses | Module quality - Mismatch | Soiling Loss | IAM Losses

You can define either the Field thermal Loss factor or the standard NOCT coefficient: the program gives the equivalence!

**Field Thermal Loss Factor**

Thermal Loss factor  $U = U_c + U_v \cdot \text{Wind vel}$

Constant loss factor  $U_c$   W/m<sup>2</sup>

Wind loss factor  $U_v$   W/m<sup>2</sup> / m/s

**Default value acc. to mounting**

"Free" mounted modules with air circulation

Semi-integrated with air duct behind

Integration with fully insulated back

**Standard NOCT factor**

Alternative definition:

NOCT coefficient  °C

for "Nominal Operating Collector Temperature"  
Temperature of "free" mounted modules in open circuit, under  $G=800 \text{ W/m}^2$ ,  $T_{amb}=20^\circ\text{C}$ , Wind velocity = 1m/s.

NOCT definition:

Open circuit (at Voc)

Loaded (at Pmpp)

(a)

**PV field detailed losses parameter**

Thermal parameter | Ohmic Losses | Module quality - Mismatch | Soiling Loss | IAM Losses

**DC circuit: ohmic losses for the array**

Global wiring resistance  mOhm  Calculated

or in loss fraction at STC  %  Default

Voltage Drop across series diode  V  Default

**AC circuit: inverter to injection point**

Significant length, to be accounted for

Length Inverter to injection  m

Loss fraction at STC  %

Voltage drop at STC 5.2V

**External transformer**

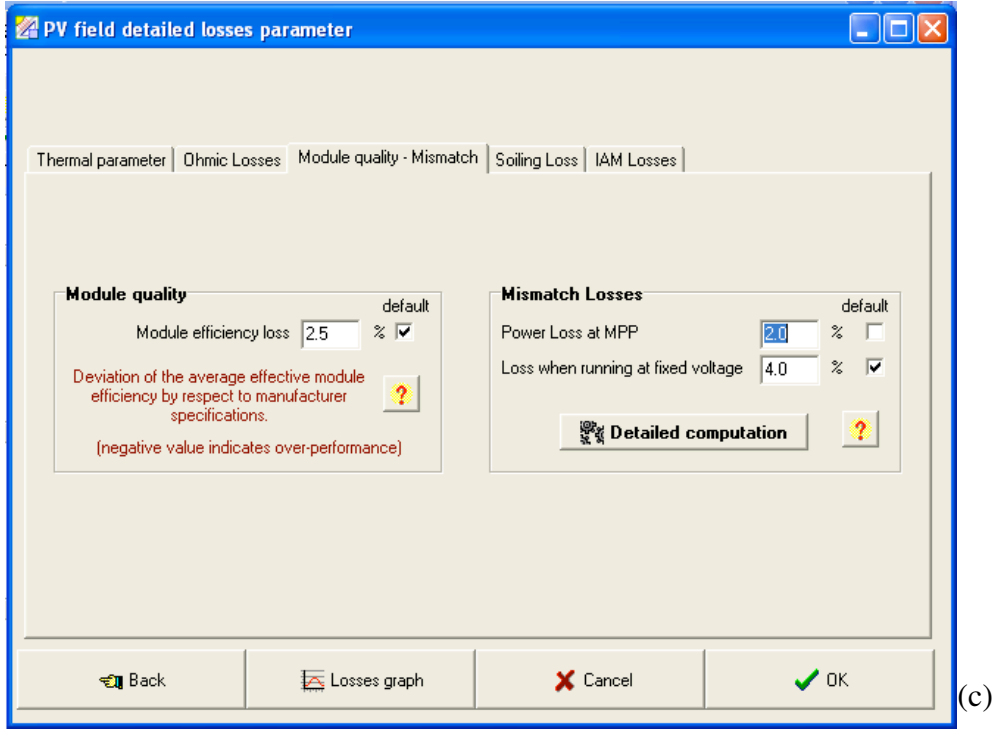
External transformer present default

Iron loss (constant value)  %  W

Resistive/Inductive losses  % at STC   
(quadratic,  $R \cdot I^2$ ,  $R = 0.0 \text{ mOhm}$ )

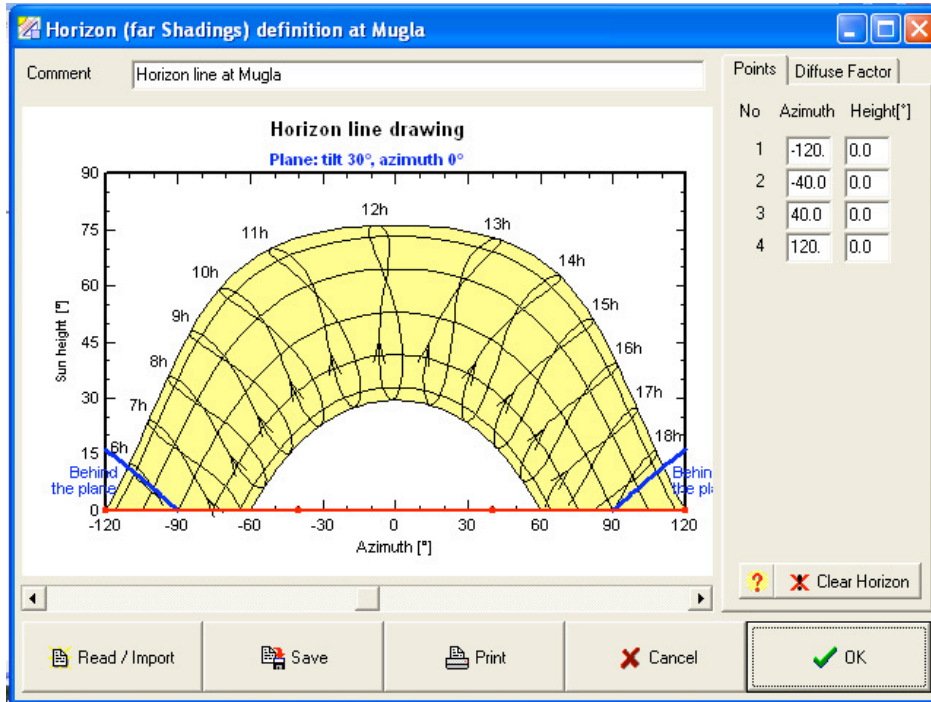
(b)





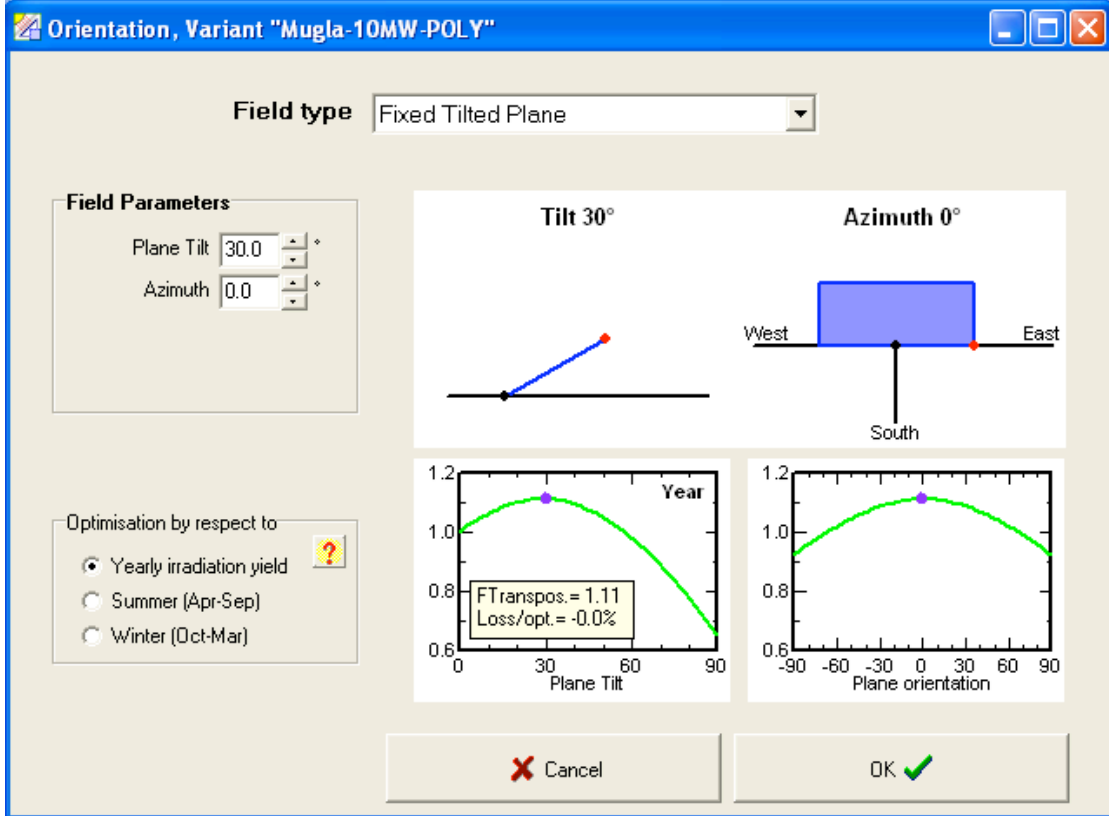
Şekil 4.21 (a), (b), (c) Sistem kayıpları

Ana ekrandan “Horizon” tuşuna basılarak seçilen bölgeye ait ufuk çizgisi bilgilerine ulaşılabilir. (Şekil 4.22)



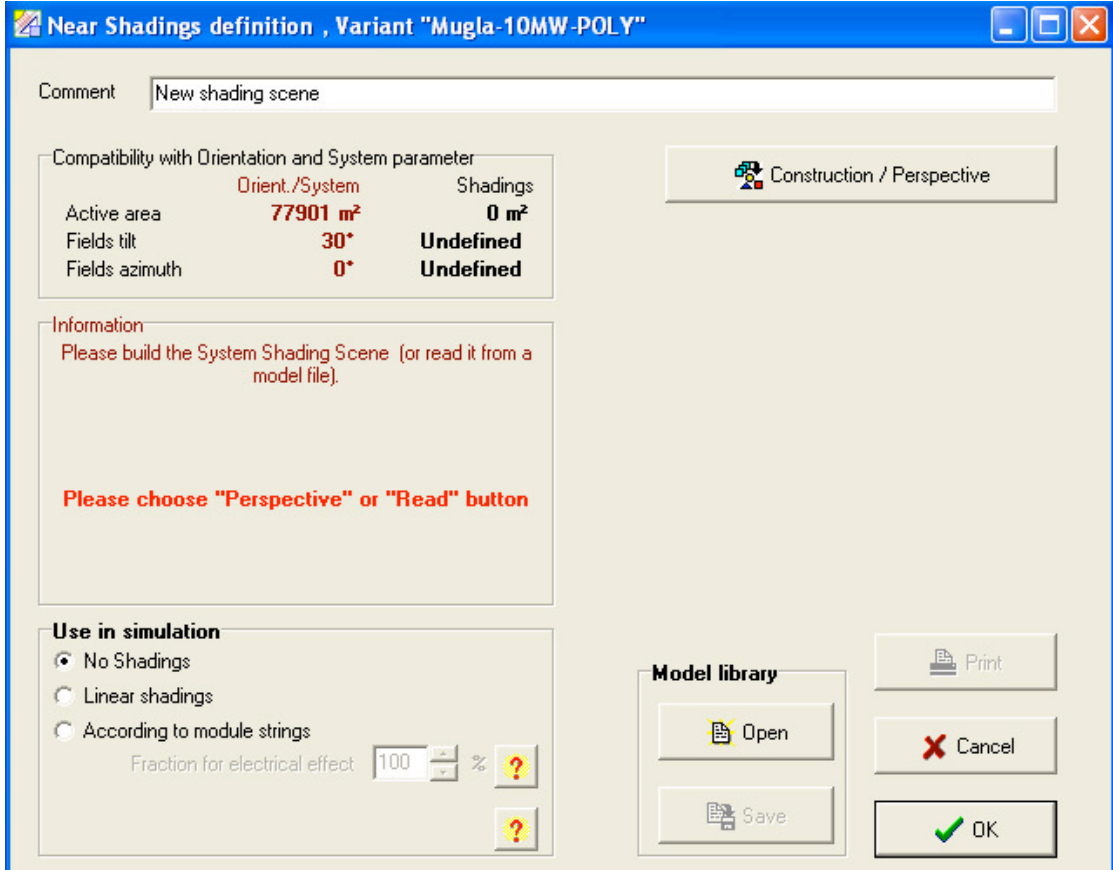
Şekil 4.22 Seçilen bölgeye ait ufuk çizgisi bilgileri

Ufuk çizgisi ekranından “OK” tuşuna basılarak ana ekrana dönülür (Şekil 4.16) Ana ekrandan “Orientation” tuşuna tıklanarak parametreler girilir. Kurulacak panellerin montaj şekil sabit, eğimi  $30^{\circ}$  ve azimut açısı  $0^{\circ}$  olarak seçilmiştir. (Şekil 4.23)

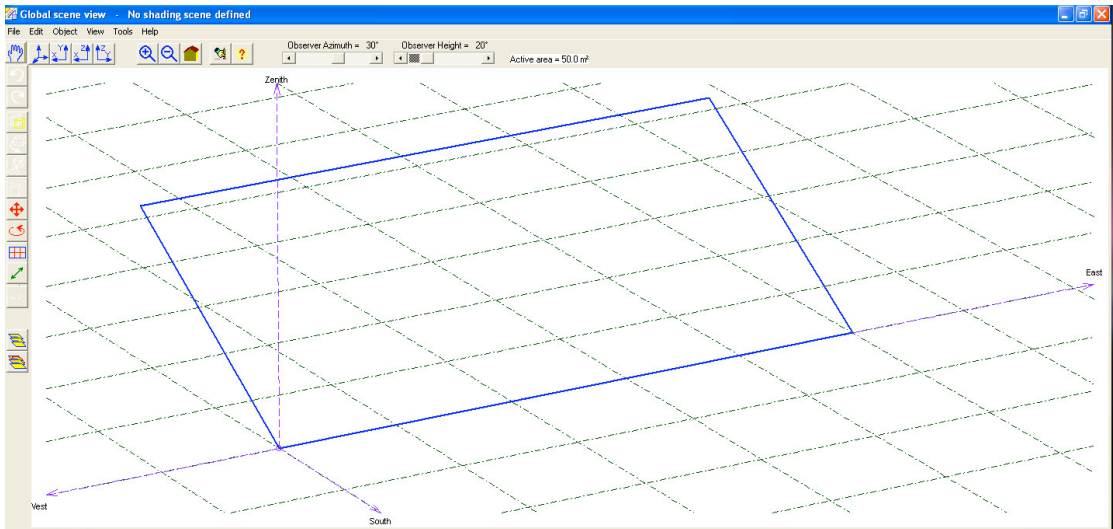


Şekil 4.23 Panel pozisyonuna ait parametreler

“OK” tuşuna basılarak ana ekrana dönülür (Şekil 4.16) . Buradan “Near Shading” butonuna basılarak gölgeleme bilgileri ekranına geçilir. (Şekil 4.24) Buradan arazinin önceden kaydedilen bilgileri yüklenebileceği gibi “Construction/Perspective” tuşuna basılarak arazinin üzerindeki gölge yaratıcılar belirtilebilir. (Şekil 4.25). Bizim projemizde arazi de ekstra gölgeleme olmadığı kabul edilmiştir. Tekrar ana ekrana dönülür. (Şekil 4.16)



Şekil 4.24 Gölgenme bilgileri ekranı



Şekil 4.25 Arazi gölge elemanları çizim ekranı

Ana ekrandan “system” tuşuna basılarak oluşturulan sistemin bilgileri son kez kontrol edilir (Şekil 4.26) ve yine ana ekrana dönlür.

**Grid system definition , Variant "Mugla-10MW-POLY"**

**Global System configuration**

1 Number of kinds of sub-fields

**Global system summary**

Nb. of modules	59880	Nominal PV Power	10000 kWp
Module area	77901 m²	Maximum PV Power	9691 kWdc
Nb. of inverters	1000	Nominal AC Power	10000 kWac

**Homogeneous System**

**Presizing Help**

No Sizing  Enter planned power  kWp, ... or available area  m²

**Select the PV module**

Sort modules:  Power  Technology  Manufacturer Available Now

167 Wp 29V Si-poly NE-Q7E3E Sharp Photon Maq. 20C

Maximum nb. of modules: **59880** Sizing voltages: Vmpp (60°C) **28.9 V**  
Voc (-10°C) **48.3 V**

**Select the inverter**

Sort inverters by:  Power  Voltage (max)  Manufacturer All inverters  50 Hz  60 Hz

10 kW 380 - 850 V 50 Hz Sinvert PVM10 Siemens

Nb. of inverters:   Operating Voltage: **380-850 V** Global Inverter's power: **10000 kWac**  
Input maximum voltage: **1000 V**

**Design the array**

**Number of modules and strings**

Mod. in series:  should be between 14 and 20

Nbre strings:  only possibility 2994

Overload loss: **0.0 %**

Pnom ratio: **1.00**

**Nb. modules: 59880 Area: 77901 m²**

**Operating conditions**

The inverter power is slightly oversized.

Vmpp (60°C) 579 V  
Vmpp (20°C) 699 V  
Voc (-10°C) 966 V

Plane irradiance: **1000 W/m²**  Max. in data  STC

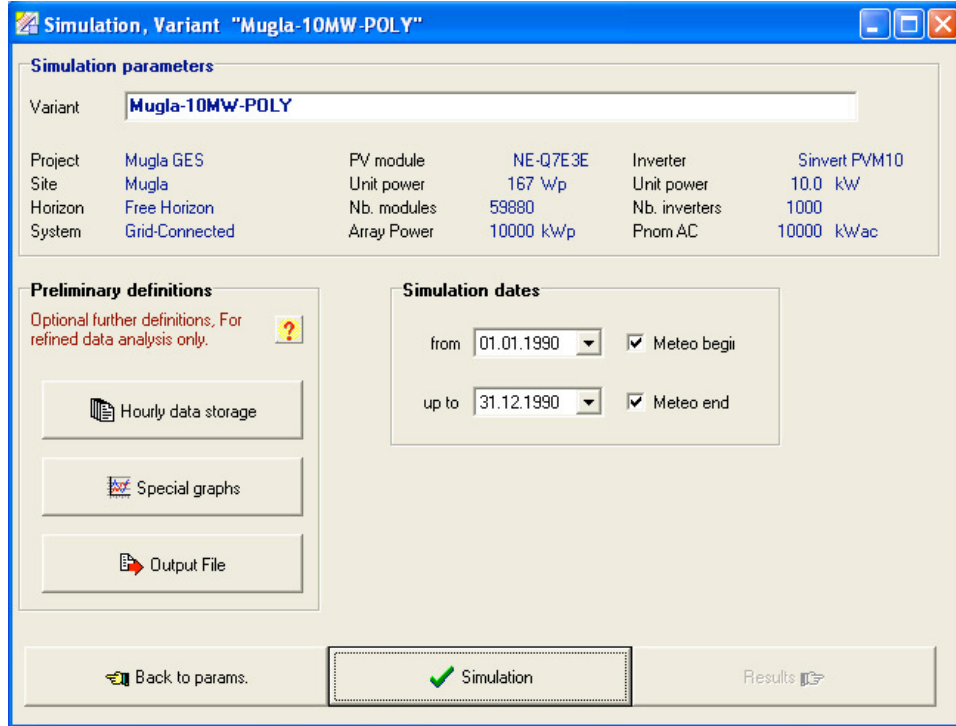
Impp (STC) 14626 A Max. operating power: **8895 kW**  
Isc (STC) 16280 A at 1000 W/m² and 50°C

Isc (at STC) 16078 A **Array nom. Power (STC) 10000 kWp**

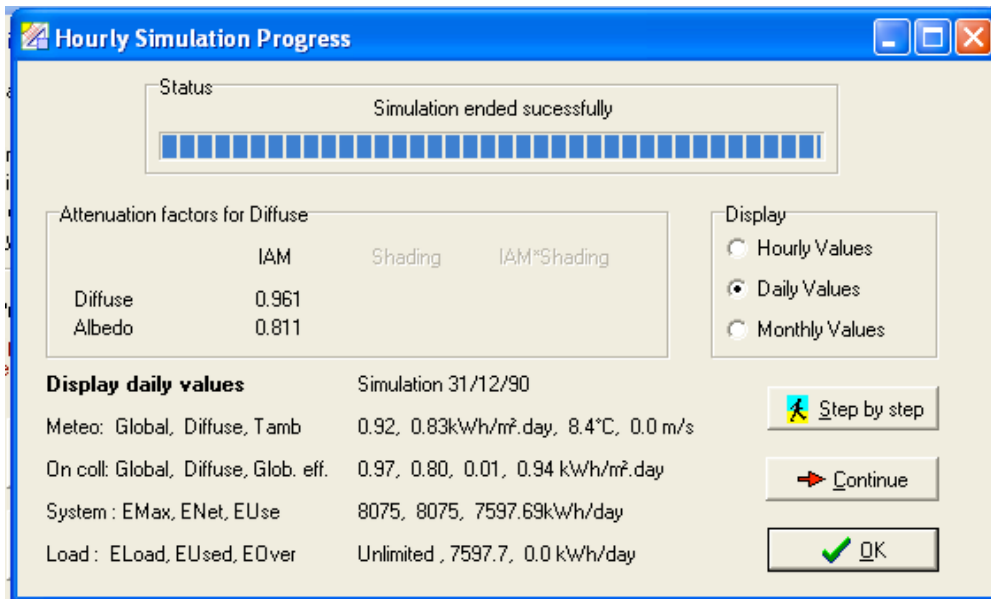
Şekil 4.26 Sistem bilgilerinin son kontrolü

Ana ekrandan “Simulation” tuşuna basılarak sistemin simülasyonunun yapılacağı ekrana geçilir. (Şekil 4.27)

Simülasyon ekranından “Simulation” tuşuna basılarak sistemin simülasyonu yapılır. (Şekil 4.28)

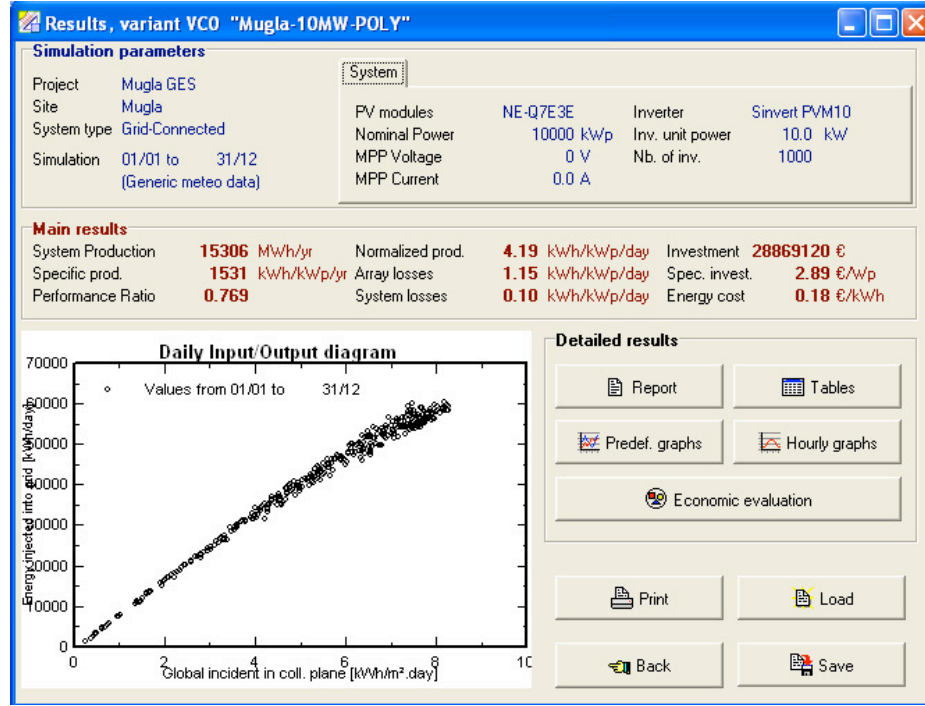


Şekil 4.27 Simülasyon ekranı



Şekil 4.28 Sistemin simülasyonu

Simülasyonun yapıldığı ekrandan “OK” tuşuna basılarak çıktığında simülasyonun özet raporu elde edilir. (Şekil 4.29)



Şekil 4.29 Simülasyonun özet raporu

Buradan “economic evaluation” tuşuna basılarak maliyet hesabı için verilerin girileceği ekrana geçilir. (Şekil 4.30)

**Economic evaluation**

**Project and Simulation variant**

Project: Mugla-10MW  
Simulation: Mugla-10MW  
PV Array, P<sub>nom</sub> = 10000 kWp  
PV module: NE-Q7E3E  
System: Grid-Connected System  
Inverter: Sinvert PVM10

Values:  
 Global  By Wp  
 By piece  By m²

**Investment**

PV modules	59880 units of 167 Wp	0.00	€/ pce
Supports / Integration		0.00	€/ pce
Inverters	1050 units of 10.00 kW	0.00	€/ pce
Settings, wiring, ...		0.00	€
Others, miscellaneous...	Details	0.00	€
Substitution underworth		0.00	€
<b>Gross investment, (excl. taxes)</b>		<b>0.00</b>	<b>€</b>

**Financing**

Taxes	18.00 %	0.00	€
Subsidies		- 0.00	€
<b>Net investment</b>		<b>0.00</b>	<b>€</b>
Annuities		0.00	€/ yr
Running Costs, Maintenance, insur.		0.00	€/ yr
<b>Total yearly cost</b>		<b>0.00</b>	<b>€/ yr</b>

**Loan**

Duration: 20 Years  
Rate: 5.0 %  
Ann. factor 8.02 %cap./yr

**Currency**

Europa - EU  
Rates

**Energy cost**

Produced Energy	15590 MWh / year
Yearly cost	0 €/ year
Energy cost	0.00 €/ kWh

Buttons: Financial Balance, Print, Cancel, OK

Şekil 4.30 Maliyet hesabı için verilerin girileceği ekran

Bu ekranda daha önce belirlenen değerler girilir. Supports/Integration değeri, panellerin monte edileceği yapıları ve montaj maliyetlerini içerir. Bu değer panel başına 80 Avro olarak alınmıştır. “Settings, wiring” kısmına kurulum, kablolama, inşaat, lisans bedelleri ve beklenmeyen diğer giderler için toplam panel maliyetinin %10’u olarak 1.100.000 Avro girilmiştir.

şu ana kadar arazi alım bedeli ile ilgili herhangi bir bilgi girilmemişti, arazi bedeli “other/miscellaneous” kısmına girilecektir. Program, aktif panel alanını 77.901 m<sup>2</sup> olarak bulmuştu. GES’ in kurulumu için gerekecek arazinin alanının hesaplanabilmesi için bu değerden yola çıkılarak panellerin monte edilebileceği alanın bulunabilmesi için 50%, GES’ in diğer tesis ve binaların kurulumu, dahili yollar ve bunun gibi kullanımı gereken yerler için 20% olmak üzere %70 oranında artırılmış ve gerekli arazi alanı yaklaşık 134.000 m<sup>2</sup> olarak tahmin edilmiştir. Tahmini arazi bedeli de tahmini yapılan araştırmaya göre 2,80 Avro/m<sup>2</sup> olarak alınmış, böylelikle arsa bedeli 375.000 Avro olarak tahmin edilmiştir. İşletmede 1 elektrik mühendisi, 1 makina mühendisi, 5 elektrik teknisyeni ve 5 güvenlik/temizlik personeli istihdam edileceği öngörülerek yıllık 200.000 Avro, bakım-tutum bedeli olarak 30.000 Avro ve sigorta bedeli olarak 135.000 Avro olmak üzere toplam 365.000 Avro yıllık gider “Running costs, maintenance and insurance” başlığı altına girilmiştir.

Sonuç olarak sistemin net yatırım bedeli KDV dahil 28.869.121,- Avro olarak hesaplanmıştır. Bu yatırımın %5 faizli 20 yıllık bir kredi ile finanse edildiği varsayılmıştır.

Elde edilen finansal durum tablosu şekil 4.31’ de gösterilmiştir.

**Economic evaluation**

**Project and Simulation variant**

Project: Mugla GES  
Simulation: Mugla-10MW-POLY  
PV Array, Pnom = 10000 kWp System: Grid-Connected System  
PV module : NE-Q7E3E Inverter : Sinvert PVM10

Values:  
 Global  By Wp  
 By piece  By m²

**Investment**

PV modules	59880 units of 167 Wp	183.70	€ / pce	<input type="checkbox"/>	
Supports / Integration		80.00	€ / pce	<input type="checkbox"/>	
Inverters	1000 units of 10.0 kW	7200.00	€ / pce	<input checked="" type="checkbox"/>	
Settings, wiring, ...		1100000.0	€		
Others, miscellaneous...	<input type="button" value="Details"/>	375000.00	€		
Substitution underworth		0.00	€		
<b>Gross investment, (excl. taxes)</b>		<b>24465356</b>	<b>€</b>		

**Financing**

Taxes	18.00 %	4403764.08	€
Subsidies		- 0.00	€
<b>Net investment</b>		<b>28869120.08</b>	<b>€</b>
Annuities		2316532.89	€ / yr
Running Costs, Maintenance, insur.		365000.00	€ / yr
<b>Total yearly cost</b>		<b>2681532.89</b>	<b>€ / yr</b>

**Loan**

Duration: 20 Years  
Rate: 5.0 %  
Ann. factor 8.02 %cap./yr

**Currency**

Europa - EU

**Energy cost**

Produced Energy: 15306 MWh / year  
Yearly cost: 2681533 € / year  
Energy cost: 0.18 € / kWh

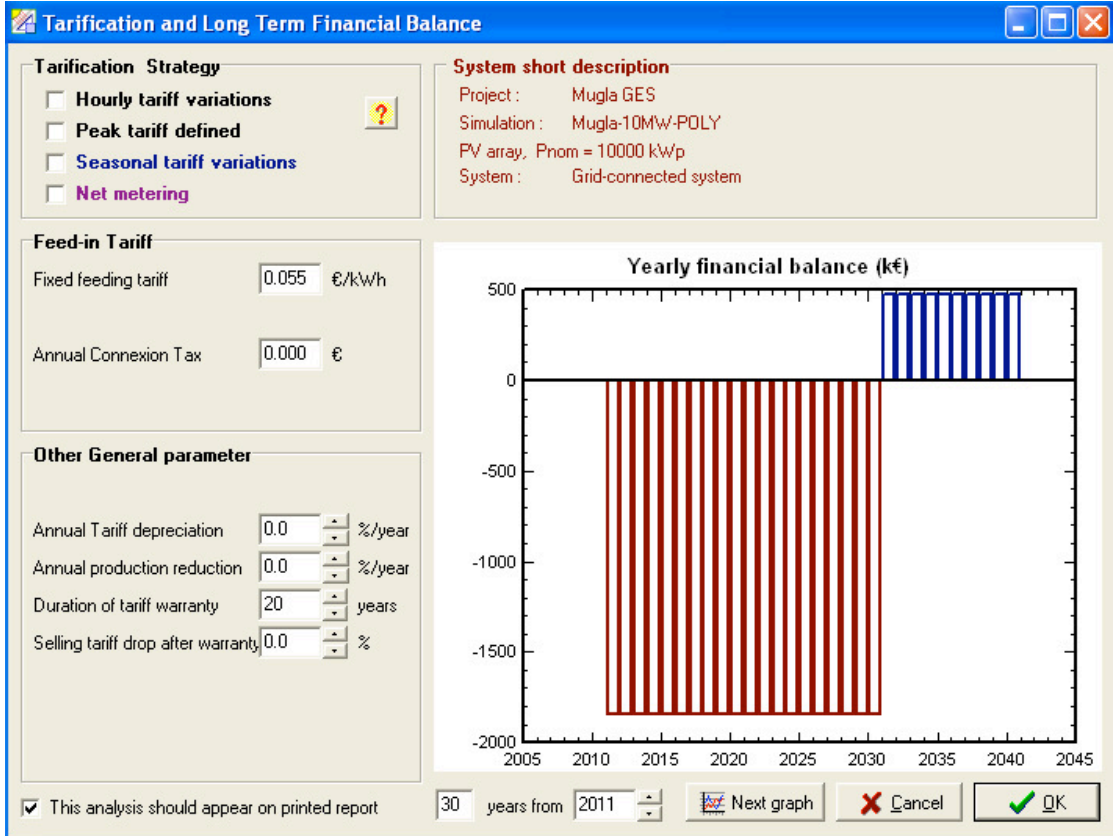
Şekil 4.31 Finansal durum tablosu

Finansal durum tablosun ekranında “Financial Balance” tuşuna basılarak elektrik satışında baz alınacak tarife bilgileri girilir. Yürürlükteki YEK kanununa göre yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektriğe ödenecek alım bedelinin tavanı 5,5 Avro-SENT olduğu için bu değer elektrik satış bedeli olarak girilmiştir. (Şekil 4.32)

Finansal durum tablosu ekranından “OK” tuşuna basılarak simülasyon özet raporu sayfasına dönülür (Şekil 4.29)


PVSYST programından elde edilen özet rapor tabloları Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’ de verilmiştir.

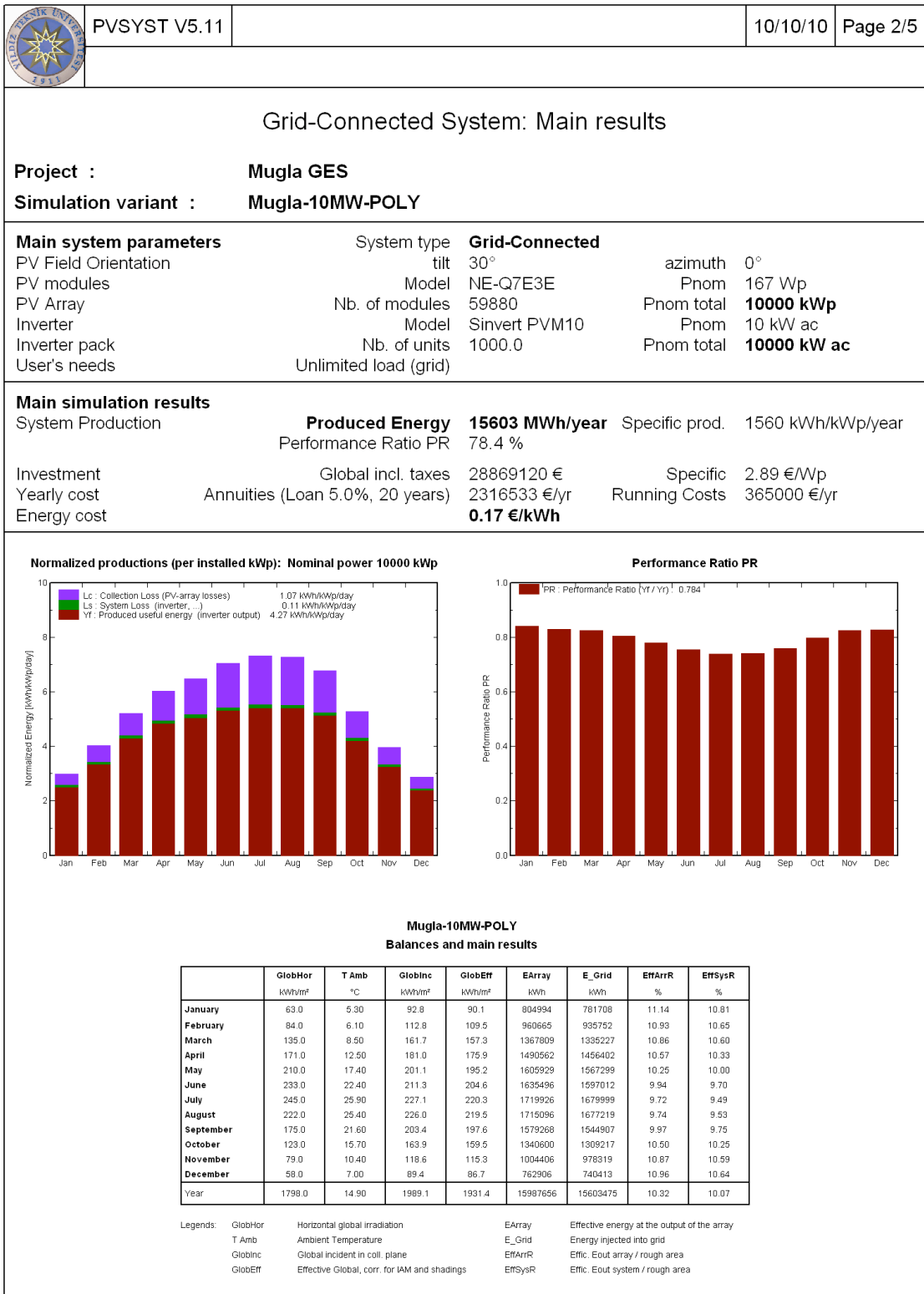




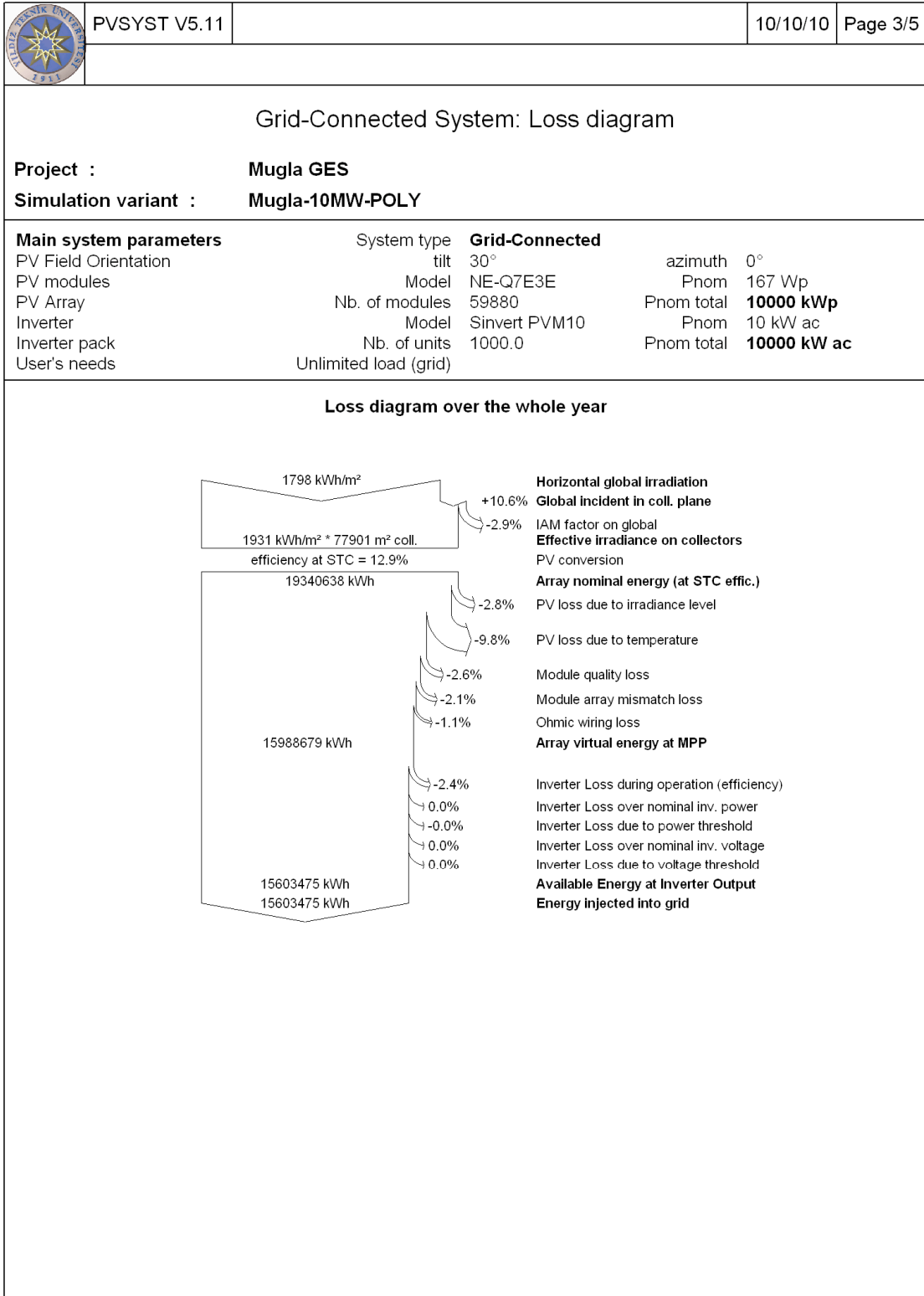
Şekil 4.32 Enerji satış bedeli ve uzun vadeli finansmanı

Çizelge 4.6 (a,b,c,d,e) PVSYST Programı Aracılığıyla Muğla İlinde Kurulması Öngörülen 10 MW Kurulu Güce Sahip GES' in Özet Teknik Raporu ve Maliyet Analizi (Çok Kristalli Paneller İle)


	PVSYST V5.11		10/10/10	Page 1/5
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>				
<b>Project :</b>	<b>Mugla GES</b>			
<b>Geographical Site</b>	<b>Mugla</b>	<b>Country</b>	<b>Turkey</b>	
<b>Situation</b>	Latitude 37.1°N	Longitude	28.2°E	
Time defined as	Legal Time Time zone UT+2	Altitude	646 m	
	Albedo 0.20			
<b>Meteo data :</b>	<b>Mugla, Synthetic Hourly data</b>			
<b>Simulation variant :</b>	<b>Mugla-10MW-POLY</b>			
	Simulation date	06/10/10 10h14		
<b>Simulation parameters</b>				
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	30°	Azimuth	0°
<b>Horizon</b>	Free Horizon			
<b>Near Shadings</b>	No Shadings			
<b>PV Array Characteristics</b>				
<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>NE-Q7E3E</b>	
	Manufacturer	Sharp		
Number of PV modules	In series	20 modules	In parallel	2994 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	59880	Unit Nom. Power	167 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>10000 kWp</b>	At operating cond.	8895 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	608 V	I mpp	14626 A
Total area	Module area	<b>77901 m<sup>2</sup></b>		
<b>Inverter</b>	Model	<b>Sinvert PVM10</b>		
	Manufacturer	Siemens		
Characteristics	Operating Voltage	380-850 V	Unit Nom. Power	10.0 kW AC
Inverter pack	Number of Inverter	1000 units	Total Power	10000.0 kW AC
<b>PV Array loss factors</b>				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m <sup>2</sup> , Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s.)	NOCT	56 °C		
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	0.70 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	2.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)			



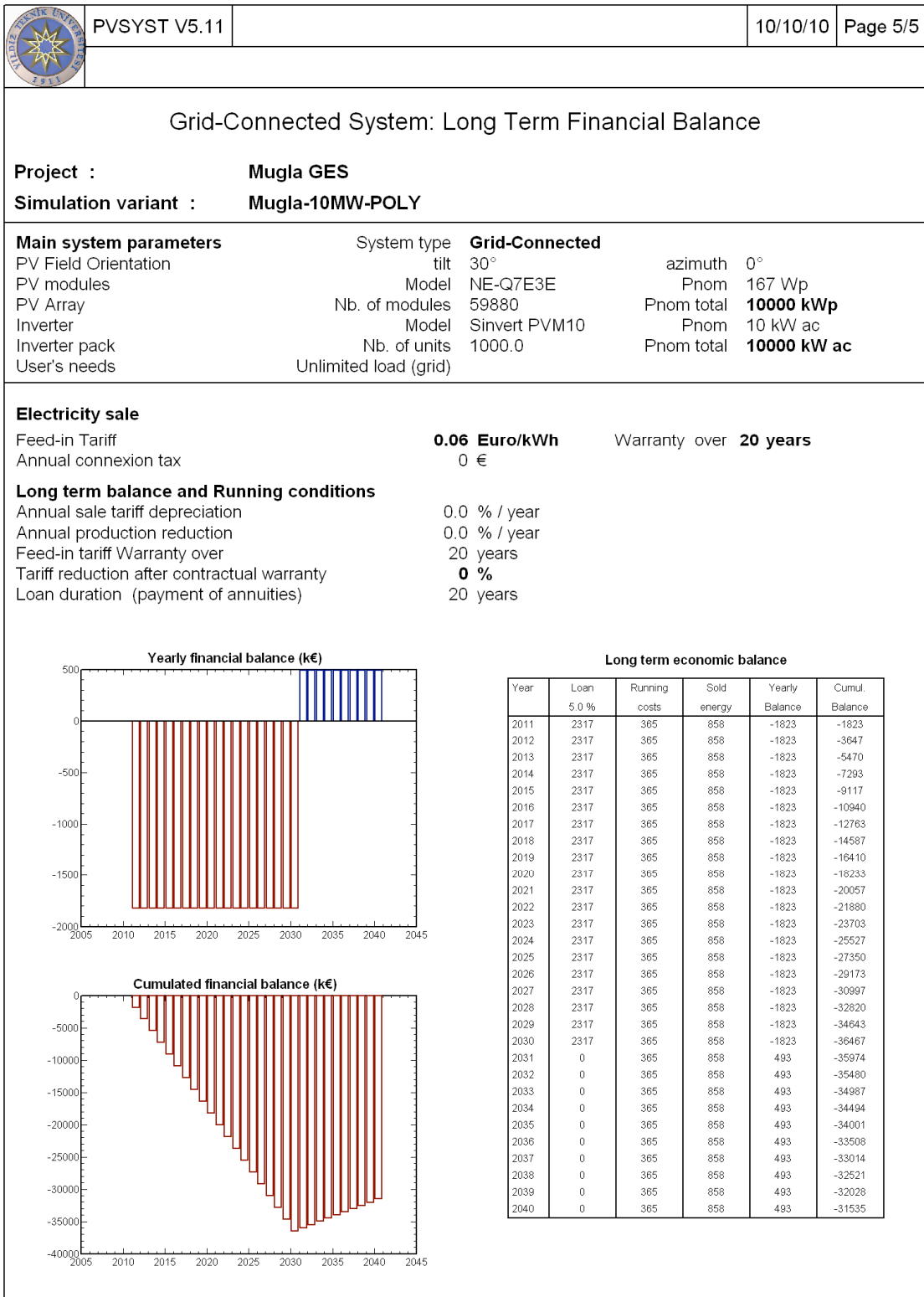
(b)



(c)


	PVSYST V5.11	10/10/10	Page 4/5
<b>Grid-Connected System: Economic evaluation</b>			
<b>Project :</b>		<b>Mugla GES</b>	
<b>Simulation variant :</b>		<b>Mugla-10MW-POLY</b>	
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	NE-Q7E3E	Pnom 167 Wp
PV Array	Nb. of modules	59880	Pnom total <b>10000 kWp</b>
Inverter	Model	Sinvert PVM10	Pnom 10 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	1000.0	Pnom total <b>10000 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		
<b>Investment</b>			
PV modules (Pnom = 167 Wp)	59880 units	184 € / unit	10999956 €
Supports / Integration		80 € / module	4790400 €
Inverters (Pnom = 10.0 kW ac)	1000 units	7200 € / unit	7200000 €
Settings, wiring, ...			1100000 €
Substitution underworth			-0 €
<b>Gross investment</b> (without taxes)			<b>24465356 €</b>
<b>Financing</b>			
Gross investment (without taxes)			24465356 €
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		4403764 €
Gross investment (including VAT)			28869120 €
Subsidies			-0 €
<b>Net investment (all taxes included)</b>			<b>28869120 €</b>
Annuities	( Loan 5.0 % over 20 years)		2316533 €/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			365000 €/year
<b>Total yearly cost</b>			<b>2681533 €/year</b>
<b>Energy cost</b>			
Produced Energy			15603 MWh / year
Cost of produced energy			0.17 € / kWh

(d)




(e)

Çizelge 4.7 (a,b,c,d,e) PVSYST Programı Aracılığıyla Muğla İlinde Kurulması Öngörülen 10 MW Kurulu Güce Sahip GES' in Özet Teknik Raporu ve Maliyet Analizi (Tek Kristalli Paneller İle)

		PVSYST V5.11	10/10/10	Page 1/5
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>				
<b>Project :</b>	<b>Mugla GES</b>			
<b>Geographical Site</b>	<b>Mugla</b>	<b>Country</b>	<b>Turkey</b>	
<b>Situation</b>	Latitude	37.1°N	Longitude	28.2°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	646 m
	Albedo	0.20		
<b>Meteo data :</b>	<b>Mugla, Synthetic Hourly data</b>			
<b>Simulation variant :</b>	<b>Mugla GES-10MW-MONO</b>			
	Simulation date	06/10/10 10h09		
<b>Simulation parameters</b>				
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	30°	Azimuth	0°
<b>Horizon</b>	Free Horizon			
<b>Near Shadings</b>	No Shadings			
<b>PV Array Characteristics</b>				
<b>PV module</b>	Si-mono	Model	<b>NU-R0E3E</b>	
		Manufacturer	Sharp	
Number of PV modules		In series	29 modules	In parallel
Total number of PV modules		Nb. modules	58812	Unit Nom. Power
Array global power		Nominal (STC)	<b>9998 kWp</b>	At operating cond.
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	570 V	1 mpp
Total area		Module area	<b>77049 m²</b>	Cell area
				68012 m²
<b>Inverter</b>				
		Model	<b>Sinvert PVM10</b>	
		Manufacturer	Siemens	
Characteristics		Operating Voltage	380-850 V	Unit Nom. Power
Inverter pack		Number of Inverter	1000 units	Total Power
				10.0 kW AC
				10000.0 kW AC
<b>PV Array loss factors</b>				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s.)	NOCT 56 °C			
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	0.63 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	2.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)			

(a)

	PVSYS V5.11	10/10/10	Page 2/5
---	-------------	----------	----------

Grid-Connected System: Main results

**Project :** Mugla GES  
**Simulation variant :** Mugla GES-10MW-MONO

---

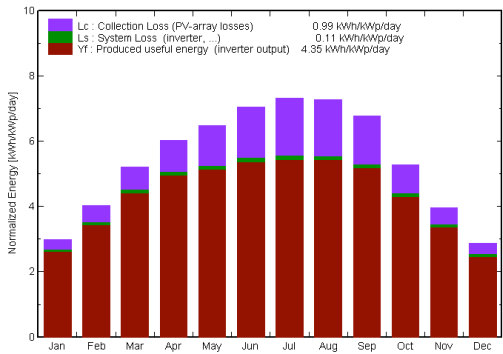
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	NU-R0E3E	Pnom 170 Wp
PV Array	Nb. of modules	58812	Pnom total <b>9998 kWp</b>
Inverter	Model	Sinvert PVM10	Pnom 10 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	1000.0	Pnom total <b>10000 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		

---

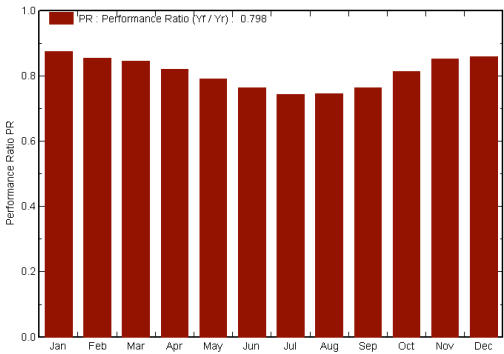
<b>Main simulation results</b>	<b>Produced Energy</b>	15879 MWh/year	Specific prod. 1588 kWh/kWp/year
System Production	Performance Ratio PR	79.8 %	
Investment	Global incl. taxes	29414682 €	Specific 2.94 €/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 5.0%, 20 years)	2360310 €/yr	Running Costs 360000 €/yr
Energy cost		<b>0.17 €/kWh</b>	

---

**Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 9998 kWp**



**Performance Ratio PR**



**Mugla GES-10MW-MONO**  
Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	%	%
<b>January</b>	63.0	5.30	92.8	90.1	835618	811970	11.69	11.36
<b>February</b>	84.0	6.10	112.8	109.5	989487	964229	11.38	11.09
<b>March</b>	135.0	8.50	161.7	157.3	1401658	1368703	11.25	10.99
<b>April</b>	171.0	12.50	181.0	175.9	1519957	1485396	10.90	10.65
<b>May</b>	210.0	17.40	201.1	195.2	1631023	1591842	10.52	10.27
<b>June</b>	233.0	22.40	211.3	204.6	1653122	1614296	10.16	9.92
<b>July</b>	245.0	25.90	227.1	220.3	1729558	1688915	9.88	9.65
<b>August</b>	222.0	25.40	226.0	219.5	1722180	1665795	9.69	9.67
<b>September</b>	175.0	21.60	203.4	197.6	1590274	1555640	10.15	9.93
<b>October</b>	123.0	15.70	163.9	159.5	1367897	1336142	10.83	10.58
<b>November</b>	79.0	10.40	118.6	115.3	1036838	1010378	11.35	11.06
<b>December</b>	58.0	7.00	89.4	86.7	790386	767614	11.48	11.15
<b>Year</b>	1798.0	14.90	1989.1	1931.4	16267995	15679318	10.61	10.36

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

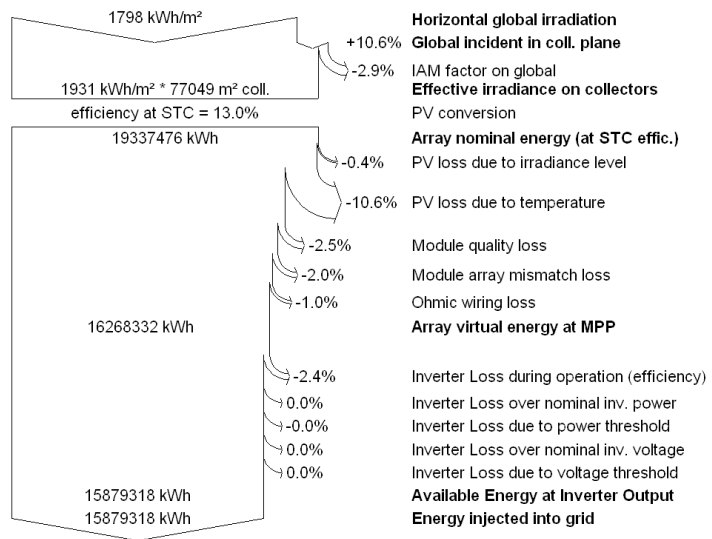



### Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** Mugla GES  
**Simulation variant :** Mugla GES-10MW-MONO

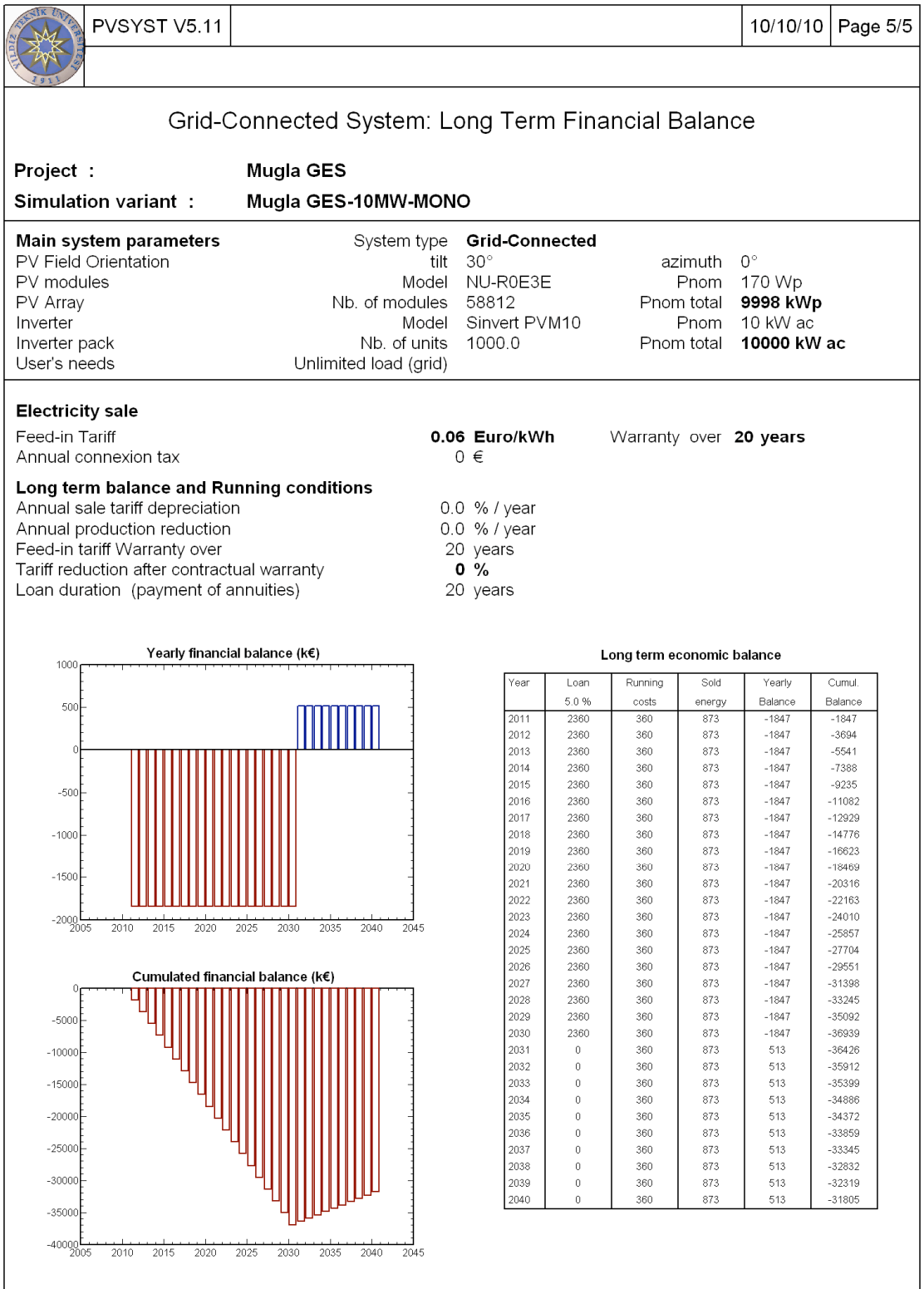
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	NU-R0E3E	Pnom 170 Wp
PV Array	Nb. of modules	58812	Pnom total <b>9998 kWp</b>
Inverter	Model	Sinvert PVM10	Pnom 10 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	1000.0	Pnom total <b>10000 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		

#### Loss diagram over the whole year



	PVSYST V5.11	10/10/10	Page 4/5
<b>Grid-Connected System: Economic evaluation</b>			
<b>Project :</b>		<b>Mugla GES</b>	
<b>Simulation variant :</b>		<b>Mugla GES-10MW-MONO</b>	
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	NU-R0E3E	Pnom 170 Wp
PV Array	Nb. of modules	58812	Pnom total <b>9998 kWp</b>
Inverter	Model	Sinvert PVM10	Pnom 10 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	1000.0	Pnom total <b>10000 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		
<b>Investment</b>			
PV modules (Pnom = 170 Wp)	58812 units	196 € / unit	11547736 €
Supports / Integration		80 € / module	4704960 €
Inverters (Pnom = 10.0 kW ac)	1000 units	7200 € / unit	7200000 €
Settings, wiring, ...			1100000 €
Substitution underworth			-0 €
<b>Gross investment</b> (without taxes)			<b>24927696 €</b>
<b>Financing</b>			
Gross investment (without taxes)			24927696 €
Taxes on investment (VAT)	Rate 18.0 %		4486985 €
Gross investment (including VAT)			29414682 €
Subsidies			-0 €
<b>Net investment (all taxes included)</b>			<b>29414682 €</b>
Annuities	( Loan 5.0 % over 20 years)		2360310 €/year
Annual running costs: maintenance, insurances ...			360000 €/year
<b>Total yearly cost</b>			<b>2720310 €/year</b>
<b>Energy cost</b>			
Produced Energy			15879 MWh / year
Cost of produced energy			0.17 € / kWh

(d)



(e)

#### 4.5.5. Seçilen Diğer Bölgeler İçin Elde Edilen Sonuçlar

Bir önceki bölümde detayları ile anlatıldığı şekilde PVSYST programı aracılığı ile Muğla, İzmir, İstanbul, Münih ve Toledo için çok kristalli ve tek kristalli panellerin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar sırası ile Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9' da gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 Çok kristalli paneller kullanılarak 5 farklı bölgeye kurulacak 10mw gücündeki güneş enerjisi santrallerinin yatırım maliyeti ve gelir/gider dengesinin karşılaştırılması

Proje Adı		Muğla	İzmir	İstanbul	Münih	Toledo
<b>Proje konumu</b>						
Enlem	°	37,1 K	38,2 K	41,0 K	48,1 K	39,9 K
Boylam	°	28,2 D	27,2 D	28,6 D	11,2 D	4,0 B
Yükseklik	m	646	5	5	520	516
Greenwich'e göre zaman dilimi		+2	+2	+2	+1	+1
<b>Sistem Bilgileri</b>						
Panel eğimi	°	30	30	30	30	30
Azimut açısı	°	0	0	0	0	0
Yakın gölgelenme	---	yok	yok	yok	yok	yok
<b>PV modül bilgileri</b>						
Modül üreticisi	---	Sharp	Sharp	Sharp	Sharp	Sharp
Modeli	---	NE-Q7E3E	NE-Q7E3E	NE-Q7E3E	NE-Q7E3E	NE-Q7E3E
Etiket gücü	Wp	167	167	167	167	167
Kullanılacak modül adedi	---	59.880	59.880	59.880	59.880	59.880
Toplam modül alanı	m <sup>2</sup>	77.901	77.901	77.901	77.901	77.901
Etiket kurulu gücü	Wp	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
İşletme şartlarında güç	Wp	8.895	8.895	8.895	8.895	8.895
<b>İnvertör bilgileri</b>						
İnvertör üreticisi	---	Siemens	Siemens	Siemens	Siemens	Siemens
Modeli		Sinvert	Sinvert	Sinvert	Sinvert	Sinvert

		PVM10	PVM10	PVM10	PVM10	PVM10
Etiket gücü (AA)	kW	10	10	10	10	10
Kullanılacak invertör adedi	---	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Etiket kurulu gücü (AA)	kW	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
<b>Kazanç ve kayıplar</b>						
Toplam yıllık global radyasyon	kWh /m2	1.798	1.697	1.486	1.145	1.719
Yatay global radyasyon kazancı	%	10,6	10,4	9,8	13,4	12,7
Geliş açısı faktörü	%	-2,9	-2,9	-3	-3,3	-3,0
Panelin test verimi	%	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9
Radyasyon miktarından dolayı PV modüllerdeki kayıp	%	-2,8	-3	-3,7	-4,8	-2,9
Sıcaklıktan dolayı PV modüllerdeki kayıp	%	-9,8	-10,6	-7,8	-4,0	-9,9
Modül kalite kayıpları	%	-2,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6
GES yanlış eşleşme kayıpları	%	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
Kablolama kayıpları	%	-1,1	-1	-0,9	-0,8	-1
İnvertör kayıpları	%	-2,4	-2,5	-2,7	-3,0	-2,5
İnvertör çıkışındaki enerji	kWh /yıl	15.603.475	14.525.475	12.937.152	10.536.067	15.143.942
Şebekeye verilen enerji	kWh /yıl	15.603.475	14.525.475	12.937.152	10.536.067	15.143.942
<b>Yatırım ve finansman</b>						
PV modül birim fiyatı	Avro	183,7	183,7	183,7	183,7	183,7
İnvertör birim fiyatı	Avro	7.200	7.200	7.200	7.200	7.200
Destek ayakları birim fiyatı	Avro	80	80	80	80	80
Kurulum ve kablolama	Avro	1.100.000	1.100.000	1.100.000	1.100.000	1.100.000
Diğer	Avro	375.000	375.000	375.000	375.000	375.000
Brüt yatırım bedeli	Avro	24.483.320	24.483.320	24.483.320	24.483.320	24.483.320

Vergi	%	18	18	18	19	16
Net yatırım maliyeti	Avro	28.890.318	28.890.318	28.869.120	29.135.151	28.400.651
Yıllık finansman maliyeti (ilk 20 yıl)	Avro	2.318.324	2.318.324	2.316.533	2.337.880	2.278.942
Yıllık işletme giderleri	Avro	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000
Ortalama enerji birim maliyeti	Avro /kWh	0,17	0,18	0,21	0,26	0,17
<b>Gelir/Gider durumu</b>						
Enerji satış fiyatı [9] [11] [12]	Avro /kWh	0.055	0.055	0.055	0,22	0,32
Yıllık satış geliri (30 yıl)	Avro	858.191	798.901	711.543	2.317.934	4.846.061
Yıllık gider (ilk 20 yıl)	Avro	2.678.234	2.678.234	2.678.234	2.697.880	2.638.942
Yıllık gider (son 10 yıl)	Avro	360.000	360.000	360.000	360.000	360000
30 yıl sonunda toplam gelir/gider	Avro	(-) 31.535.000	(-) 33.198.000	(-) 35.784.000	11.980.000	89.000.000

Çizelge 4.9 Tek kristalli paneller kullanılarak 5 farklı bölgeye kurulacak 10mw gücündeki güneş enerjisi santrallerinin yatırım maliyeti ve gelir/gider dengesinin karşılaştırılması

<b>Proje Adı</b>		Muğla	İzmir	İstanbul	Münih	Toledo
<b>Proje konumu</b>						
Enlem	°	37,1 K	38,2 K	41,0 K	48,1 K	39,9 K
Boylam	°	28,2 D	27,2 D	28,6 D	11,2 D	4,0 B
Yükseklik	m	646	5	5	520	516
Greenwich'e göre zaman dilimi		+2	+2	+2	+1	+1
<b>Sistem bilgileri</b>						
Panel eğimi	°	30	30	30	30	30
Azimut açısı	°	0	0	0	0	0
Yakın gölgeleme	---	yok	yok	yok	yok	yok
<b>PV modül bilgileri</b>						
Modül üreticisi	---	Sharp	Sharp	Sharp	Sharp	Sharp

Modeli	---	NU-R0E3E	NU-R0E3E	NU-R0E3E	NU-R0E3E	NU-R0E3E
Etiket gücü	Wp	170	170	170	170	170
Kullanılacak modül adedi	---	58.812	58.812	58.812	58.812	58.812
Toplam modül alanı	m <sup>2</sup>	77.049	77.049	77.049	77.049	77.049
Etiket kurulu gücü	Wp	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
İşletme şartlarında güç	Wp	8.776	8.776	8.776	8.776	8.776
<b>İnvertör bilgileri</b>						
İnvertör üreticisi	---	Siemens	Siemens	Siemens	Siemens	Siemens
Modeli		Sinvert PVM10	Sinvert PVM10	Sinvert PVM10	Sinvert PVM10	Sinvert PVM10
Etiket gücü (aa)	kW	10	10	10	10	10
Kullanılacak invertör adedi	---	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Etiket kurulu gücü (aa)	kW	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
<b>Kazanç ve Kayıplar</b>						
Toplam yıllık global radyasyon	kWh /m2	1.798	1.697	1.486	1.145	1.719
Yatay global radyasyon kazancı	%	10,6	10,4	9,8	13,4	12,7
Geliş açısı faktörü	%	-2,9	-2,9	-3	-3,3	-3,0
Panelin test verimi	%	13	13	13	13	13
Radyasyon Miktarından dolayı PV Modüllerdeki Kayıp	%	-0,4	-0,6	-0,8	-1,5	-0,5
Sıcaklıktan dolayı pv modüllerdeki kayıp	%	-10,6	-11,4	-8,3	-4,2	-10,7
Modül kalite kayıpları	%	-2,5	-2,5	-2,5	-2,6	-2,5
Ges yanlış eşleşme kayıpları	%	-2	-2	-2	-2,1	-2
Kablolama kayıpları	%	-1	-1	-0,9	-0,8	-1
İnvertör kayıpları	%	-2,4	-2,5	-2,6	-2,9	-2,4
İnvertör çıkışındaki enerji	kWh /yıl	15.879.318	14.791.783	13.276.053	10.902.660	15.428.055

Şebekeye verilen enerji	kWh /yıl	15.879.318	14.791.783	13.276.053	10.902.660	15.428.055
<b>Yatırım ve finansman</b>						
Pv modül birim fiyatı	Avro	196	196	196	196	196
İnvertör birim fiyatı	Avro	7.200	7.200	7.200	7.200	7.200
Destek ayakları birim fiyatı	Avro	80	80	80	80	80
Kurulum ve Kablolama	Avro	1.100.000	1.100.000	1.100.000	1.100.000	1.100.000
Diğer	Avro	375.000	375.000	375.000	375.000	375.000
Brüt yatırım bedeli	Avro	24.927.696	24.927.696	24.927.696	24.927.696	24.927.696
Vergi	%	18	18	18	19	16
Net yatırım maliyeti	Avro	29.414.682	29.414.682	29.414.682	29.663.958	28.916.128
Yıllık finansman maliyeti (ilk 20 yıl)	Avro	2.360.310	2.360.310	2.360.310	2.380.313	2.320.305
Yıllık işletme giderleri	Avro	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000
Ortalama enerji birim maliyeti	Avro /kWh	0,17	0,18	0,20	0,25	0,17
<b>Gelir/gider durumu</b>						
Enerji satış fiyatı	Avro /kWh	0,055 (15)	0,055 (15)	0,055 (15)	0,22 (16)	0,32 (17)
Yıllık satış geliri (30 yıl)	Avro	873.362	813.548	730.183	2.398.585	4.936.477
Yıllık gider (ilk 20 yıl)	Avro	2.720.310	2.720.310	2.720.310	2.740.313	2.680.305
Yıllık gider (son 10 yıl)	Avro	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000
30 yıl sonunda toplam gelir/gider	Avro	(-) 31.805.000	(-) 33.600.000	(-) 36.101.000	13.551.000	90.903.000



#### 4.5.6. Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Seçilen beş bölge için tek kristalli paneller ve çok kristalli paneller kullanılması durumları karşılaştırılarak 10 MW kurulu güce sahip santrallerden elde edilebilecek yıllık enerji miktarları ve maliyetleri hesaplanmış ve Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9' de tablo halinde verilmiştir.

Yıllık global radyasyon ve yıllık elde edilen enerjilerin karşılaştırması Çizelge 4.10' da görülmektedir.

Çizelge 4.10 Yıllık global radyasyon ve elde edilecek enerjilerin karşılaştırılması

	Yıllık Global Radyasyon (kWh/m <sup>2</sup> )	Çok Kristalli Paneller İle Elde Edilen Enerji (MWh/yıl)	Tek Kristalli Paneller İle Elde Edilen Enerji (MWh/yıl)
Muğla	1.798	15.603	15.879
İzmir	1.697	14.525	14.792
İstanbul	1.486	12.937	13.276
Münih	1.145	10.536	10.903
Toledo	1.719	15.144	15.428

Elde edilen sonuçlar beklendiği gibi yıllık global radyasyon miktarındaki artışa paralel olarak elde edilecek enerji miktarlarında artışı göstermektedir. Elde edilecek enerji miktarı, tek kristalli panellerin verimlerinin daha yüksek olması sebebiyle, tek kristalli panellerin kullanımı durumunda artış göstermektedir.

Çizelge 4.10' da tek kristalli ve çok kristalli paneller kullanılarak yapılacak yatırımlara ait maliyetler karşılaştırılmıştır. Muğla' da kurulacak santralde çok kristalli paneller yerine tek kristalli paneller kullanıldığında maliyetteki % 1,73' lük artışa karşın %1,77' lik bir üretim artışı elde edilmektedir. Benzer yıllık global radyasyon seviyelerine sahip İzmir ve Toledo' da da Muğla örneğinde olduğu gibi yatırım maliyetindeki artış yüzdesinin biraz üzerinde üretim miktarında yüzdesel artış elde edilmiştir. Buna karşın, yıllık global radyasyon seviyesinin en düşük olduğu Münih örneğinde, tek kristalli panellerin kullanımından kaynaklanan % 2,06' lık maliyet artışına karşın % 3,48' lik üretim artışı elde edilmiştir. Benzer durum İstanbul örneğinde de elde edilmiştir, İstanbul' da kurulacak santralin çok kristalli paneller yerine tek kristalli panellerden oluşturulması durumunda yatırım maliyetinde %1,73' lük artış olmakta, buna karşın üretimde % 2,62' lik artış meydana gelmektedir.

Elde ettiğimiz sonuçlara göre yıllık global radyasyon değeri ortalama 1700 kWh/m<sup>2</sup> ve üzerin olan bölgelerde yatırımın yapılmasından kaynaklanan üretimdeki artış çok kristalli paneller yerine tek kristalli paneller ile yapılması yapılacak yatırımdaki artışa paralel bir seyir izlerken, yıllık global radyasyon değeri ortalama 1500 kWh/m<sup>2</sup> ve altı olan bölgelerde tek kristalli panellerin kullanımı yapılacak yatırıma göre daha fazla enerji elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Çizelge 4.11 Tek kristalli ve çok kristalli paneller kullanılarak yapılacak yatırımlara ait maliyetler

		Muğla	İzmir	İstanbul	Münih	Toledo
Çok kristalli panel kullanımı durumunda	Yatırım maliyeti (milyon avro)	28,9	28,9	28,9	29,1	28,4
	Elde edilen enerji (mwh/yıl)	15.603	14.525	12.937	10.536	15.144
Tek kristalli panel kullanımı durumunda	Yatırım maliyeti (milyon avro)	29,4	29,4	29,4	29,7	28,9
	Elde edilen enerji (mwh/yıl)	15.879	14.792	13.276	10.903	15.428
Tek kristalli panel kullanımından kaynaklı artışlar	Yatırım maliyeti	1,73%	1,73%	1,73%	2,06%	1,76%
	Elde edilen enerji	1,77%	1,84%	2,62%	3,48%	1,88%

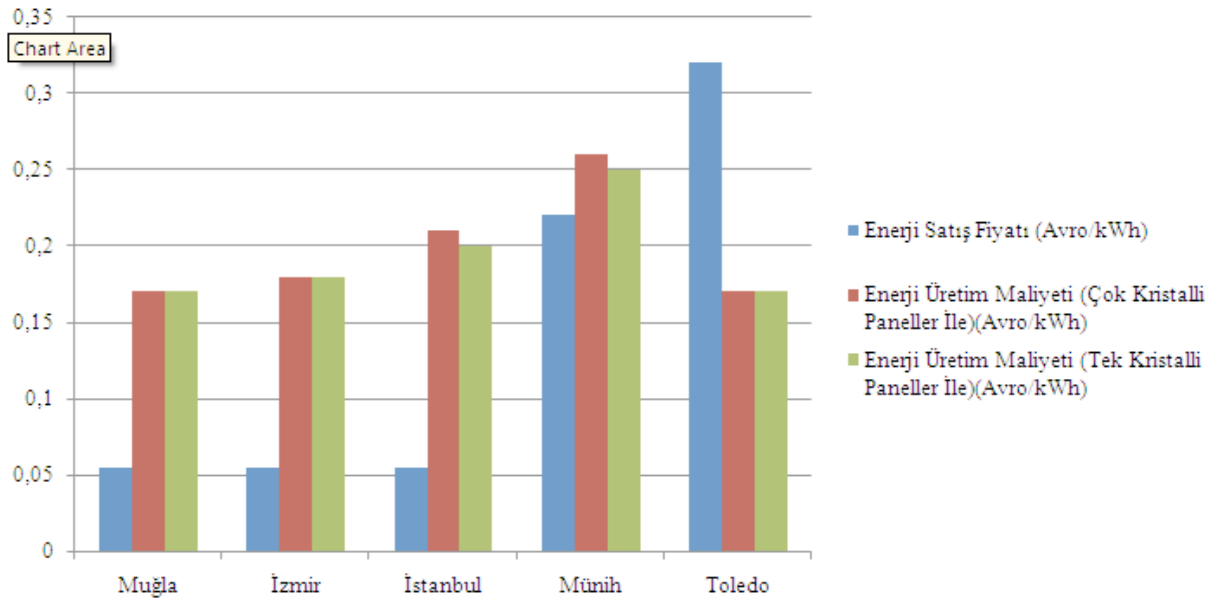
Her ne kadar bazı bölgelerde çok kristalli paneller yerine tek kristalli panellerin kullanımı üretilen enerji miktarında artış meydana getirirse de, bu santrali kuracak işletmenin karında artış olacağı anlamına gelmemektedir. Çizelge 4.12' de seçilen beş bölge için yıllık enerji

satış gelirleri ve 30 yılın sonunda santralden elde edilecek toplam gelir/gider gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Münih ve Toledo’ da enerji üretimindeki artış işletmenin karında artışa sebep olurken, Muğla, İzmir ve İstanbul’ da işletmenin 30 yıl sonundaki zararını daha da artırmaktadır. Bu durum, Türkiye’ de fotovoltaik paneller aracılığı ile elde edilen elektrik enerjisinin devlet tarafından garanti edilen alış fiyatı olan 0,055 Avro/kWh bedelin, Türkiye’ de kurulacak güneş enerjisi santrallerinden elde edilecek enerji maliyetinin çok altında kalmasından kaynaklanmaktadır. Aksine, Almanya ve İspanya’ da devlet tarafından garanti edilen alış fiyatları üretim maliyetlerinin üzerinde olduğu için bu iki ülkede yapılacak yatırımlarda yatırımcı üretim miktarındaki artışa paralel olarak karını da artırmaktadır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.12, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34’ de gösterilmiştir.

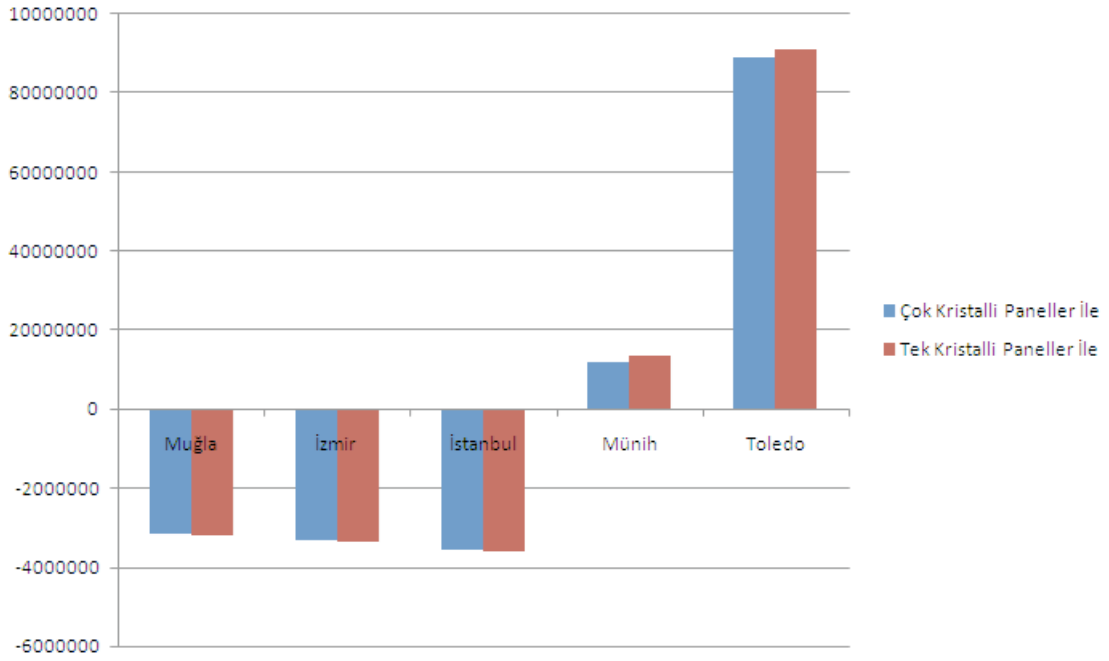
Çizelge 4.12 Seçilen beş bölge için yıllık enerji satış gelirleri ve 30 yılın sonunda santralden elde edilecek toplam gelir/gider (bugüne indirgenmiş)

		Muğla	İzmir	İstanbul	Münih	Toledo
panel kristalli Çok kullanımı durumunda	Enerji satış fiyatı (Avro/kWh)	0,055	0,055	0,055	0,22	0,32
	Enerji maliyeti (avro/kwh)	0,17	0,18	0,21	0,26	0,17
	Enerji Satışından Elde Edilecek Yıllık Gelir (Milyon Avro)	0,858	0,799	0,712	2,318	4,846
	30 Yıl Sonunda Net Kar/Zarar	(-)31,535	(-)33,198	(-)35,784	11,980	89,000
panel kristalli Tek kullanımı durumunda	Enerji maliyeti (avro/kwh)	0,17	0,18	0,20	0,25	0,17
	Enerji Satışından Elde Edilecek Yıllık Gelir (Milyon Avro)	0,873	0,814	0,730	2,399	4,936
	30 Yıl Sonunda Net Kar/Zarar	(-)31,805	(-)33,600	(-)36,101	13,551	90,903
panel kristalli Tek kullanımdan kaynaklı artışlar	Yıllık gelir	1,75%	1,88%	2,53%	3,49%	1,86%
	30 Yıl Sonunda Net Kar/Zarar	0,86%	1,21%	0,89%	13,11%	2,14%

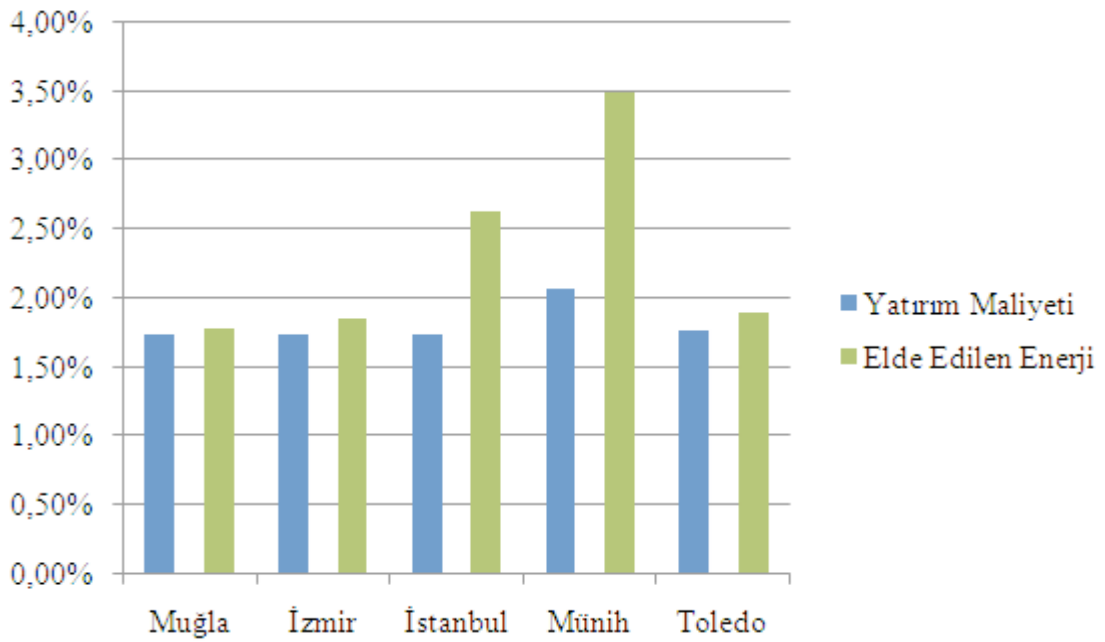
Görüldüğü üzere, tek kristalli panellerin kullanımı, yıllık global radyasyon değerinin göreceli olarak düşük olduğu bölgelerde, yapılacak ek yatırıma oranla daha yüksek bir yüzdede üretim artışı sağlamakta, ancak bu daha fazla kar anlamına gelmemektedir. Toplam yıllık global radyasyonun göreceli olarak yüksek olduğu bölgelerde ise tek kristalli panellerin kullanımı, yapılacak yatırımdaki artış miktarına paralel bir üretim artışı sağlamaktadır. Bu tip bölgelerde tek kristalli ya da çok kristalli panel kullanımı tercihi yatırımcıya bırakılmalıdır. Diğer taraftan, tek kristalli panellerin kullanımı toplam arazi gereksinimini düşürdüğünden, arazi bedelinin yüksek olduğu bölgelerde tercih edilebilir.



Şekil 4.33 Enerji üretim maliyetleri ve satış fiyatları



Şekil 4.34 30 Yıllık santral ömrü sonunda kümülatif kar/zarar durumu (Avro)



Şekil 4.35 Seçilen panel tipi ve bölgelere göre çok kristalli panel yerine tek kristalli panel kullanımından kaynaklanan yatırım maliyeti artışına karşılık elde edilen enerji miktarlarındaki değişimler

## **5. FOTOVOLTAİK PANELLER İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN GELECEKTEKİ PROJEKSİYONU**

Bir önceki bölümde günümüz koşullarında fotovoltaik paneller aracılığı ile elektrik eldesinin maliyeti hesaplanmış ve devlet teşvikinin olmadığı ülkemizde fotovoltaik panellere dayalı güneş enerjisi santrallerinin kurulmasının yatırımcısını zarar ettireceği görülmüştür. Fotovoltaik paneller aracılığı ile elektrik eldesinin birim maliyetinin diğer enerji kaynaklarına göre yüksek olması sebebiyle günümüz itibarıyla çekiciliğinin az olduğu söylenebilir.

Bu olumsuzluklara karşın, özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde fotovoltaik sistemlerin kurulum ve kullanımı devletler tarafından desteklenmekte ve teşvik edilmektedir.

### **5.1. Avrupa Birliği Ülkelerinde ve Türkiye’ de Fotovoltaik Sistemlere Uygulanan Teşvikler**

Çizelge 5.1’ de bazı Avrupa Birliği ülkelerinde fotovoltaik sistemler için uygulanan teşvikler gösterilmiştir.

Alım garantisi, devletin üretilecek elektriği, yatırımı teşvik edecek bir fiyattan alacağını garanti ettiğini göstermektedir. Örnek ülkelerden Danimarka hariç tamamı bu garantiyi vermektedir.

Şebekeye geri satış uygulaması, fotovoltaik sistemlerin evsel kullanımını teşvik etmek amacıyla uygulanmaktadır. Bu sistemde, elektrik sayacı iki yönlü çalışmakta, üretilen fazla elektriği şebekeye vererek bir anlamda satmaktadır. Böylelikle enerji tüketiminin düşük ancak üretiminin yüksek olduğu saatlerde üretilen fazla enerji ülke şebekesine verilmekte ve bu şekilde değerlendirilmektedir. Bu uygulama örnek ülkelerden Çek Cumhuriyeti, Danimarka ve İtalya’ da uygulanmaktadır.

Sermaye katkısı Danimarka ve Türkiye hariç diğer bütün örnek ülkelerde uygulanmakta olup, yatırımı yapacak kişi ya da kuruluşa doğrudan ya da dolaylı sermaye katkısını öngörmektedir.

Çizelge 5.1 Bazı Avrupa Birliği ülkelerinde fotovoltaik sistemlere uygulanan teşvikler

	Alım Garantisi	Şebekeye Geri Satış (Evsel)	Sermaye Katkısı
Avusturya	+		+
Çek Cumhuriyeti	+	+	+
Danimarka		+	
Fransa	+		+
Almanya	+		+
İtalya	+	+	+
Portekiz	+		+
İspanya	+		+
İsveç	+		+
Türkiye	+		

Her ne kadar Türkiye’ de devlet tarafından alım garantisi verilmiş olsa da, uygulanan fiyat üretim maliyetlerinin çok altında olduğu için bu teşvikin uygulanabilirliği bulunmamaktadır.

## 5.2. Fotovoltaik Sistemlerin Kullanım Potansiyeli

Fotovoltaik endüstrisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında orta ve uzun vadede gelişme potansiyeli en yüksek olan endüstrilerden birisidir. Nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Fotovoltaik teknoloji ile elektrik üretiminde kWh başına 21-65 g CO<sub>2</sub> ortaya çıkarken, fosil yakıtlara dayalı santrallerde CO<sub>2</sub> salınımı 900 g seviyelerindedir.(18)

- Fotovoltaik panel üretimindeki artış ile birlikte, bugünün koşullarında bile birim üretim maliyetleri düşmektedir. Üretimdeki %100' lük artış, maliyetlerde %20 azalmaya olanak vermektedir. (16)
- Yapılan AR-GE çalışmaları ile, fotovoltaik panellerin üretim maliyetlerinin düşeceği, verimlerinin yükseleceği öngörülmektedir. Ayrıca daha düşük verimli ancak çok daha düşük maliyetli fotovoltaik teknolojiler üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır.
- Kyoto protokolünde öngörülen sera gazları salınımının azaltılması hedefi ile tam uyum içerisindedir.
- Avrupa Birliği hedeflerinde, 2020 yılına kadar sera gazı emisyonlarının 1990 seviyelerine göre %20 azaltılması hedeflenmektedir.
- Petrol fiyatlarının son 10 yıldaki artışının kalıcı olduğu anlaşılmış ve bundan sonra da artmaya devam edeceği öngörülmektedir. Bu yüzden petrol üreticisi olmayan ülkelerin kendi enerji kaynaklarını bulması zorunludur.

### **5.3. Fotovoltaik Sistemlerin Gelecekteki Projeksiyonu**

Yukarıda belirtilen sebepler doğrultusunda fotovoltaik sistemlerin gelişmeye devam edeceği öngörülmektedir. İyimser bir senaryoda, fotovoltaik sistemlerin kullanımına ilişkin devlet teşviklerinin süreceği, bu teşviklere bağlı olarak fotovoltaik sistem kurulumunun artarak devam edeceği, bunlara bağlı olarak üretim maliyetlerinin düşeceği kabul edilmiştir. Bu kabuller doğrultusunda fotovoltaik piyasasının 2020 yılına kadar %28, 2020-2030 yılları arasında da %18 büyüyeceği öngörülmektedir ( 14) Çizelge 5.2' de iyimser senaryoya göre 2030 yılına kadar fotovoltaik piyasasında gelişme gösterilmiştir.

Ortalama senaryoda ise fotovoltaik sistemlere olan devlet desteklerinin daha düşük kalacağı, buna bağlı olarak fotovoltaik piyasasının dinamik bir şekilde büyüyemeyeceği, üretim maliyetlerinin daha yavaş düşeceği öngörülmektedir. Bu durumda bile fotovoltaik piyasasının 2020 yılına kadar %21, 2020-2030 yılları arasında da %12 büyüyeceği öngörülmektedir ( 16) Çizelge 5.3' te ortalama senaryoya göre 2030 yılına kadar fotovoltaik piyasasında gelişme gösterilmiştir.



Çizelge 5.2 İyimser senaryoya göre 2030 yılına kadar fotovoltaik piyasasında gelişme

(Kaynak: Solar Generation V, EPIA, – 2008)

	2007	2010	2020	2030
Yıllık Ortalama Kurulum (GW)	2,4	6,9	56,0	281,0
Kümüle Kapasite (GW)	9,2	25,4	278,0	1.864,0
Elektrik üretimi (TWh)	10,0	29,0	362,0	2.646,0
Fotovoltaik sistemlerden karşılanan elektrik tüketimi (%)	0,07%	0,16%	2,05%	8,90%
Fotovoltaik sistemlerden kaynaklı istihdam (bin kişi)	119,0	333,0	2.343,0	9.967,0
Piyasa değeri (milyar Avro)	13,0	30,0	139,0	454,0
Yıllık CO2 salınımdaki azalma (ton)	6,0	17,0	217,0	1.588,0
CO2 salınımdaki toplam azalma (ton)	27,0	65,0	976,0	8.953,0

Çizelge 5.3 Ortalama senaryoya göre 2030 yılına kadar fotovoltaik piyasasında gelişme

(Kaynak: Solar Generation V , EPIA, – 2008)

	2007	2010	2020	2030
Yıllık Ortalama Kurulum (GW)	2,4	5,3	35,0	105,0
Kümüle Kapasite (GW)	9,2	21,6	211,0	912,0
Elektrik üretimi (TWh)	10,0	24,0	283,0	1.291,0
Fotovoltaik sistemlerden karşılanan elektrik tüketimi (%)	0,07%	0,14%	1,20%	4,34%
Fotovoltaik sistemlerden kaynaklı istihdam (bin kişi)	119,0	252,0	1.462,0	3.718,0
Piyasa değeri (milyar Avro)	13,0	24,0	94,0	204,0
Yıllık CO2 salınımdaki azalma (ton)	6,0	15,0	170,0	775,0
CO2 salınımdaki toplam azalma (ton)	27,0	61,0	839,0	5.333,0

Her iki senaryoda da açıkça görüldüğü üzere fotovoltaik sistemlerin elektrik üretiminde kullanımında ciddi artış beklenmektedir. Yine her iki senaryoda da sera gazları salınımında önemli miktarda azalma öngörülmektedir.

İyimser senaryoya göre 2030 yılında fotovoltaik panellerin toplam kurulu kapasitesinin 1.864 GW'a ulaşması beklenmekte olup bu kapasitenin yaklaşık %75' lik kısmını şebekeye bağlı sistemler oluşturacaktır.

Artacak kullanım ve düşecek yatırım maliyetleri ile çatılara entegre fotovoltaik sistemlerden elektrik üretim maliyetindeki beklentiler Çizelge 5.4' de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Çatılara entegre fotovoltaik sistemlerden elektrik üretim maliyet beklentileri  
(Kaynak: Solar Generation V , EPIA, – 2008)

Yer	Yıllık Güneşlenme Saati	2020 yılı fiyat beklentisi (Avro/kWh)	2030 yılı fiyat beklentisi (Avro/kWh)
Berlin	900	0,20	0,13
Washington	1.200	0,15	0,10
Madrid	1.400	0,13	0,08
Dubai	1.800	0,10	0,07

#### 5.4. Fotovoltaik Sistemlerin Kullanımının Türkiye Enerji İthalatına Etkileri

Türkiye, enerji bakımından dışa bağlı ülkelerin arasında yer almaktadır. Çizelge 5.5' te, Türkiye' nin 2008 yılı itibariyle enerji dengesi verilmiştir.

Çizelge 5.5 Türkiye' nin Enerji Dengesi (Kaynak: Genel Enerji Dengesi, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2008)

	Kok (bin ton)	Petrol (bin ton)	Doğalgaz (m3)	Biyoyakıt (bin ton)	Elektrik (GWh)
Yerli Üretim	-	2.160	1.017	74	-
İthalat	216	35.595	37.153	-	789
Toplam Nihai Enerji Tüketimi	4.098	27.706	15.245	74	159.979
Enerji Dışı Tüketim	-	4.522	-	-	-

Türkiye, ana enerji kaynakları olarak petrol ve doğal gazı kullanmakta, petrolde toplam tüketiminin yalnızca % 6,7' sini, doğalgazda da yalnızca 6,6' sını yerli üretimden karşılamaktadır. 2008 yılı ham petrolün ortalama ton fiyatı OPEC verilerine göre yaklaşık 65 Avro dur. Bu veriye göre Türkiye 2008 yılında sadece ham petrol ithalatı için 2,3 Milyar Avro' nun üzerinde para harcamıştır. Türkiye 2008 yılında ithal edilen petrolün bir kısmı ile 7.500 GWh elektrik üretmiştir [13]

Bugünün koşullarında fotovoltaik sistemlerden elektrik üretim maliyeti, fosil yakıtlardan elektrik üretim maliyetine göre yüksek olmasına karşın, Türkiye' nin petrol ithal eden bir ülke olduğu için yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin Türkiye' ye gerçek maliyetinin, sağladığı faydalar ve yurttan kalacak döviz göz önüne alındığında göreceli olarak yüksek olmadığını söylemek mümkündür. Türkiye teorik olarak güneş enerjisi potansiyeli ile enerji ithalatının tamamını karşılayabilecek durumdadır.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada öncelikle yenilenebilir enerji kaynakları konusunda genel bilgiler verilmiştir. Bir enerji kaynağı olarak güneş incelenmiş ve enerjisinden doğrudan elektrik eldesini sağlayan fotovoltaik panellerin yapıları ve çalışma prensipleri detaylı olarak irdelenmiştir. Daha sonra elde edilecek enerjinin maliyetinin hesaplanabilmesi için matematik modeli verilmiş, seçilen örnek bir panel ile toplam yıllık global radyasyon bakımından çeşitlilik gösteren beş değişik bölge için belirli bir panelden elde edilecek enerjinin birim maliyet hesapları yapılmıştır. Ardından bir güneş enerjisi santralının fizibilite çalışmasının aşamaları irdelenmiş ve yine aynı bölgelerde 10MW gücünde fotovoltaik panellerden elektrik üretimine dayalı bir güneş enerjisi santralının kurulum maliyeti ve elde edilecek enerjinin maliyeti PVSYST programı aracılığı ile hesaplanmıştır. Aradaki farkların görülmesi açısından bu hesaplar santrallerde çok kristalli ve tek kristalli panellerin kullanılması durumuna göre ayrı ayrı tekrarlanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, tek kristalli panellerin kullanımı durumunda çok kristalli panellerin kullanımına göre % 1,77 ile %3,48 arasında daha fazla enerji elde edilmekte ve kurulması gereken fotovoltaik panel alanında % 1,1 oranında düşüş elde edilmektedir. Buna karşın yatırım maliyetindeki artış % 1,73 ile % 2,06 arasında kalmıştır. Hesaplamaların sonucunda yıllık global radyasyonunun  $1700 \text{ kWh/m}^2$ 'nin üzerinde olduğu bölgelerde enerji üretiminde elde edilen artış miktarı yapılacak yatırım maliyetindeki artış ile paralel seyir izlemekte iken, yıllık global radyasyon değeri  $1500 \text{ kWh/m}^2$  ve altı bölgelerde elektrik enerjisi eldesindeki yüzdesel artışın yapılacak yatırım maliyetindeki artışa göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre yıllık global radyasyonu düşük bölgelerde tek kristalli panellerin kullanımının daha uygun olduğu görülmüştür.

Elde edilecek elektrik enerjisindeki artışın her zaman yatırımcı için kar anlamı taşımadığı görülmüştür. Münih ve Toledo örneklerinde enerji üretiminin birim maliyeti, satış fiyatının altında olduğu için üretimdeki artış yatırımcı için kar demekken, Türkiye' de alım fiyatı üretim maliyetinin çok altında kaldığı için bütün örneklerde artan üretim zarar anlamı taşımaktadır.

Hesaplamalarda en yüksek enerji eldesi ve en düşük maliyet Muğla için elde edilirken, Muğla' da 10MW' lık bir güneş enerjisi santrali yatırımı yapan yatırımcının 30 yıllık santral ömrü sonunda 31,8 Milyon Avro zarar ettiği görülmesine karşın, yıllık global radyasyon değerinin çok daha düşük olduğu Münih'te aynı yatırımı yapan yatırımcının 30 yıl sonunda 13 Milyon Avro, aynı yatırımı yıllık global radyasyon değerinin Muğla ile benzerlik gösterdiği Toledo' da yapan bir yatırımcının da 90,9 Milyon Avro kar edeceği görülmüştür.

Fotovoltaik panellerden elektrik eldesi günümüzde pahalı bir yöntem olmakla birlikte, çevreci bir elektrik elde yöntemi olması, en bol bulunan enerji kaynağına doğrudan bağlı olması ve evsel kullanımının mümkün olması sebebiyle birçok Avrupa ülkesi tarafından desteklenmekte ve özel alım fiyatları uygulanmaktadır. Türkiye' deki yatırımcının büyük zarar, Almanya ve İspanya' daki yatırımcının da kar ediyor olmasının sebebi devletlerin uyguladığı destekleme politikaları ve alım maliyetleri altında yatmaktadır.

Türkiye enerji bakımından büyük ölçüde dışa bağlı bir ülke konumundadır. Büyük ölçüde petrol ve doğalgaz ithalatı yapılmakta ve ithal edilen bu enerjinin bir kısmı da elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

Fotovoltaik sistemlerin kullanımı konusunda önümüzdeki 20 yıllık süreçte kayda değer artış beklenirken, günümüz şartları ile Türkiye' nin bu artışa paralel bir seyir izlemesi mümkün değildir. Türkiye' nin enerjide dışa bağımlılığının azaltılabilmesi ve temiz ve çevreci bir enerji kaynağı olan güneş enerjisine erişimi ve doğrudan elektrik eldesinin desteklenmesi için alınabilecek önlemler aşağıda sıralanmıştır:

- Öncelikli olarak yatırımı teşvik edici önlemler artırılmalı, fotovoltaik sistem için gereken malzeme ithalatında vergi muafiyetleri sağlanmalıdır
- Yerli fotovoltaik panel üretimi desteklenmeli, dışa bağımlılık olabildiği ölçüde azaltılmaya çalışılmalıdır
- Fotovoltaik endüstri alanındaki AR-GE çalışmaları desteklenmelidir
- Tarımsal ve beşeri kullanımı olmayan ancak güneş enerjisi bakımından verimli hazine arazileri fotovoltaik güneş tarlalarının kurulumu için yatırımcılara kiralanmalıdır.

- Enerji ulusal anlamda stratejik bir konudur ve özellikle yerli yatırımcılara, yatırımlarını yabancı ortaklarla paylaşmama ya da devretmeme koşulu ile ek teşvikler sağlanmalıdır.
- Devlet tarafından garanti edilen elektrik alım fiyatı ilk aşamada 0,20 Avro-Sent'e çıkartılmalı, bu fiyatlar yatırımın yapıldığı yıldan itibaren en az 10 yıl süre ile sabit tutulmalı, fotovoltaik sistem kurulum maliyetlerindeki değişimlere göre yeni kurulacak sistemlere uygulanmak üzere yıllık olarak güncellenmelidir.
- Fotovoltaik sistemlerin evsel kullanımı için şahısların şebekeye elektrik satışı ile ilgili yasal altyapı hazırlanmalıdır.
- Evsel fotovoltaik sistemlerin kullanımının teşvik edilmesi amacıyla, şebekeye satılacak enerjinin fiyatı, uygulanan ulusal şebeke elektrik satış fiyatının üzerinde olmalıdır.

Her ne kadar dünyada petrolün kısa sürede tükeneceği düşüncesi ve korkusu etkisini yitirmiş olsa da, ham petrol fiyatlarındaki son 10 yıldaki artış piyasa tarafından hazmedilmiştir. 2008 krizi ile birlikte azalan ham petrol talebi fiyatları bir miktar düşürmüştü olsa da, petrol üreticisi ülkeler petrol fiyatlarını 2009 seviyelerinde tutmak için gerektiğinde arzı kısımakta ve fiyatlardaki düşmeye izin vermemektedir. Petrol fiyatlarındaki eğilim önümüzdeki yıllarda artış yönündedir.

Benzer durum ülkemizin ikinci en büyük ithal enerji kalemini oluşturan doğalgaz için de geçerlidir. Doğalgaz üreticisi ülkeler çeşitli yöntemler kullanarak fiyatları artırmaya çalışmakta, hatta Türkiye'yi daha önce anlaşılan ve garanti edilen fiyatları artırmaya zorlamaktadır.

Günümüzdeki bütün savaşların sebebi ülkelerin enerji kaynaklarına sahip olma arzusundan kaynaklanmaktadır. "Yurtta barış dünyada barış" ilkesini benimseyen ülkemizin bu savaşların içerisinde olmayacağı açıktır. Bu yüzden, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından son derece zengin olan ülkemizin vakit kaybetmeksizin yukarıda sıralanan tedbirleri alması, sadece fotovoltaik ya da güneş değil, diğer bütün yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını her anlamda teşvik etmeli ve desteklemelidir.

## KAYNAKLAR

- Aksoy, S. (2008), Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına İlişkin Kanun Teklifi, Ankara
- Bubbenzer, A. ve Luther, J., (2003), Photovoltaics Guidebook for Decision Makers, Springer, New York
- Council Of the European Union, (2009), “Second Strategic Energy Review-An EU Energy Security and Solidarity Action Plan”, Brussels
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, (2009), “Dünya’ da ve Türkiye’ de Güneş Enerjisi”, Ankara
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, (2009), “Türkiye Enerji Raporu 2009”, Ankara
- EIA, (2008), “Analysis of PV Syatems Values Beyond Energy”, Vienna, Austria
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2008), “Enerji Dengesi Raporu”
- Envy, (2009), “Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrali Fizibilite Raporu”, Ankara
- EPIA, (2010), “Photovoltaic Observatory Policy Recommendations”, Belgium
- EPIA, (2010), Supporting Solar Photovoltaic Electricity – An Argument for Feed-in Tarrifs, Renewable Energy House, Belgium
- EPIA, (2010), “Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2014”
- Gelman, R. (2009), Renewable Energy Databook, Department of Energy, USA
- Gürel, C. ve Güçlü, A. “Solar Electrical Energy”, Ankara
- Jha, A.R., (2010), Solar Cell Technology and Applications, Taylor&Francis Group, New York
- Kalogirou, S.A., (2009), Solar Energy Engineering Process and Systems, Elsevier, New York,
- Kaşhan, Ö. (2007), “Solar-Fotovoltaik Sistemlerden Hidrojen Üretimi ve Ekonomik Etüdü Yüksek Lisans Tezi”, YTÜ FBE, İstanbul
- Luque, A. ve Hegedus, S., (2003), Handbook Of Photovoltaic Science and Enginerering, Wiley, England
- Markvart, T. ve Castaner, L., (2003), Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Elsevier, London
- Messenger, R.A. ve Ventre. J, (2010), Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press, New York
- Özkaya, Y., (2010), “Yenilenebilir Enerji Kaynakları” T.C. Dışişleri Bakanlığı, Çevre İşleri Dairesi, Ankara
- Öztürk, H., (2008), Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Ren 21 Steerin Committee, (2010), “Renewables 2010 Global Status Report”
- Solar Energy International, (2004), Photovoltaics Design and Installation Manual, New Society Publishers, Canada
- T.C. Kanun No. 4628, (2001), Elektrik Piyasası Kanunu
- T.C. Kanun No. 5346, (2005), Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun

TEİAŞ Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı, (2009), Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu

Telaretti, E. ve Dusonchet, L. ve Campoccia, A., (2007) “Feed-in Tarrifs for Grid-Cennected PV Systems: The Situation in the European Community”

Telli, A.Y., (2010), “Şebeke Bağlantılı ve Şebekeden Bağımsız Hibrit Güç Sistemleriyle Enerji Üretiminin Ekonomik Analizi Yüksek Lisans Tezi”, İTÜ FBE, İstanbul

TMMOB, (2010), “Türkiye’ nin Enerji Görünümü”, MMO/528, Ankara

Yüksek Planlama Kurulu, (2004), “Elektrik Enerjisi Sektörü Reformu ve Özelleştirme Strateji Belgesi”, Ankara

## İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/World\\_population](http://en.wikipedia.org/wiki/World_population))
- [2] <http://www.un.org/esa/population/>
- [3] [http://www.wikipedia.org/wiki/Renewable\\_energy](http://www.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy)
- [4] [http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes\\_index.html](http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes_index.html)
- [5] [www.dektmk.org.tr/upresimler/enerji\\_raporu\\_2009.pdf](http://www.dektmk.org.tr/upresimler/enerji_raporu_2009.pdf)
- [6] [www.epia.org/solar-pv/environmental-impact.html](http://www.epia.org/solar-pv/environmental-impact.html)
- [7] [www.iea-pvps.org/products/download/rep10\\_02.pdf](http://www.iea-pvps.org/products/download/rep10_02.pdf)
- [8] [www.teias.gov.tr/projeksiyon](http://www.teias.gov.tr/projeksiyon)
- [9] [www.epdk.gov.tr/mevzuat/diger/yenilenebilir](http://www.epdk.gov.tr/mevzuat/diger/yenilenebilir)
- [10] [http://www.soneraksoy.net/icerik\\_detay.asp?id=351](http://www.soneraksoy.net/icerik_detay.asp?id=351)
- [11] [http://www.germanenergyblog.de/?page\\_id=2740](http://www.germanenergyblog.de/?page_id=2740)
- [12] [http://en.wikipedia.org/wiki/Feed-in\\_tariff#cite\\_note-59](http://en.wikipedia.org/wiki/Feed-in_tariff#cite_note-59)
- [13] <http://www.enerji.gov.tr/index.php>
- [14] [en.wikipedia.org/wiki/Feed-in\\_tariff#cite\\_note-59](http://en.wikipedia.org/wiki/Feed-in_tariff#cite_note-59)
- [15] [en.wikipedia.org/wiki/Renewable\\_energy](http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy)
- [16] [en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell)
- [17] [tr.wikipedia.org/wiki/Yari\\_iletken](http://tr.wikipedia.org/wiki/Yari_iletken)
- [18] [www.bbc.co.uk/weather/world/city\\_guides/results.shtml?tt=TT003680](http://www.bbc.co.uk/weather/world/city_guides/results.shtml?tt=TT003680)
- [19] [www.climatetemp.info/spain/toledo.html](http://www.climatetemp.info/spain/toledo.html)
- [20] [www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes\\_index.html](http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes_index.html)
- [21] [www.epdk.gov.tr/istatistikiveriler/istatistikiveriler.htm](http://www.epdk.gov.tr/istatistikiveriler/istatistikiveriler.htm)
- [22] [www.germanenergyblog.de/?page\\_id=2740](http://www.germanenergyblog.de/?page_id=2740)
- [23] [www.nrel.gov/analysis](http://www.nrel.gov/analysis)
- [24] [www.thesolarguide.com/solar-energy-systems/pv-system-components.aspx](http://www.thesolarguide.com/solar-energy-systems/pv-system-components.aspx)
- [25] [www.wikipedia.org/wiki/Renewable\\_energy](http://www.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy)



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	20.06.1977	
Doğum Yeri	Bayburt	
Lise	1991-1994	Ödemiş Lisesi, İzmir
Lisans	1994-1999	İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı ve Makinaları Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2010	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı

**Çalıştığı Kurumlar**

2010-	ZF Marine Eurasia Makina Ticaret Ltd. Şti, Genel Müdür ve Avrasya Bölge Müdürü
2008-2010	Beşiktaş Gemi İnşa A.Ş., Satınalma Müdürü
2003-2008	Niveko Makina Ticaret Ltd. Şti., Satış Müdürü
2000-2003	Novakaya Finans A.Ş., Pazarlama Yetkilisi
1999-2000	Egebank A.Ş., Pazarlama Yetkili Yardımcısı