

**ERZİNCAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ERZİNCAN İLİNDE GÜNEŞ ENERJİLİ ELEKTRİK ÜRETİM
SİSTEMİNİN EKONOMİK ANALİZİ**

Osman Mert KÜÇÜKGÖZE

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZİNCAN
2016**

Her Hakkı Saklıdır

Bilimsel etiğe uygunluk sayfası

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Osman Mert KÜÇÜKGÖZE

İmza :

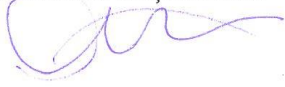
A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'O' followed by a series of connected loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Yönergeye uygunluk sayfası

“Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Osman Mert KÜÇÜKGÖZE



Danışman

Doç. Dr. Mehmet KAYA



Makine Mühendisliği ABD Başkanı ✓

Yrd. Doç. Dr. Özlem BARAN

Doç. Dr. Mehmet Kaya danışmanlığında, Osman Mert KÜÇÜKGÖZE tarafından hazırlanan bu çalışma 23.09.2016. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Mehmet KAYA

İmza:



Üye : Doç. Dr. Kadri BAKIRCI

İmza:



Üye : Yrd. Doç. Dr. Alihan KURNUÇ
BEYHAN

İmza:



Üye :

İmza:

Üye :

İmza:

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

23.09.2016



Prof. Dr. Ali SÜLÜN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**ERZİNCAN İLİNDE GÜNEŞ ENERJİLİ ELEKTRİK ÜRETİM SİSTEMİNİN
EKONOMİK ANALİZİ**

Osman Mert KÜÇÜKGÖZE

Erzincan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Kaya

Bu çalışmada, Erzincan ili için 50 kW kurulu gücünde bir güneş enerji santralinin maliyet analizi yapılmıştır. Sistem elektrik şebekesine bağlı olacak şekilde tasarlanıp, sistemin analizinde Photovoltaic System Study (PVSYST) programı kullanılmıştır. Erzincan iline ait 40 yıllık küresel radyasyon verileri Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden temin edilerek aylık ortalama ışınım değerleri hesaplanmıştır. Bu ışınım değerleri PVSYST programına aktarılarak yapılan hesaplamalar sonucunda Erzincan ili için kurulması planlanan 50 kW kurulu gücündeki bir güneş enerji santralinin yıllık üreteceği elektrik enerji değeri 70.459 kWh ve sistemin toplam yatırım maliyetinin ise 76.641 \$ olduğu tespit edilmiştir. Elektrik kullanım senaryosuna göre fotovoltaik santralin ilk yatırım maliyetini karşılama süresinin ise 9-10 yıl arası olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, elektrik enerjisi üretiminde güneş enerjisinden yararlanma da Erzincan ilinin yatırım yapmak için çok elverişli bir bölge olduğunu göstermiştir.

2016, 91 sayfa**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik, Güneş Enerjisi, Maliyet Analizi, PVSYST

ABSTRACT

Master Thesis

**ECONOMIC ANALYSIS OF SOLAR POWERED ELECTRICITY GENERATION
SYSTEM IN ERZİNCAN
Osman Mert KÜÇÜKGÖZE**

Erzincan University
Institute of Science and Technology Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet KAYA

In this study, cost analysis of a solar power plant of 50 kW power installation was built in Erzincan. The system will be designed and connected to the electricity network, system analysis Photovoltaic System Study (PVSYST) program was used. Monthly average radiation values were calculated by obtaining 40 years of global radiation data of Erzincan from Meteorology Affairs General Directorate. 50 kW power installation planning to Erzincan of a solar power plant's annual energy value of the product is 70.459 kWh and the total investment cost of 76.641 \$ was determined as a result of calculations made by transferring this radiation levels to the program PVSYST. The duration of the initial investment cost to meet the photovoltaic power plant based on electricity usage scenario was determined to be 9-10 years. Following results were obtained in studies of investing in electricity generation for use of solar energy in Erzincan province showed a very favorable area.

2016, 91 pages

Keywords: Solar Energy, PVSYST, Photovoltaic, Cost Analysis

TEŞEKKÜR

Tüm çalışmalar boyunca sabır ve hoşgörüsünü eksik etmeyen, engin bilgi, birikim ve tecrübesiyle bana yol gösteren ve beni yönlendiren, kendisiyle çalışabilme fırsatına nail olduğum için gurur duyduğum ve şanslı hissettiğim danışman hocam Sn. Doç. Dr. Mehmet KAYA'ya, tez kapsamında incelenen sistemle ilgili bilgi ve verileri büyük bir şeffaflıkla paylaşan ve bu süreçte bana destek olan Uytun Mühendislik kurucusu Elektrik Mühendisi Sn. Ayhan UYTUN'a, çalışma boyunca bana her türlü yardımı ve kolaylığı sağlayan, beni her zaman büyük bir sabırla dinleyen, bilgi ve birikimlerini paylaşan Sn. Yrd. Doç. Dr. Burcu ÇIRAK'A, tüm çalışmalarım boyunca yardımlarını benden esirgemeyen arkadaşlarıma ve en önemlisi beni her zaman destekleyen, her zaman yanımda olduklarını bildiğim, bu günlere gelmemdeki en büyük paya sahip aileme teşekkür ederim.

Güneş enerjisi konusunda büyük bir potansiyeli bulunan ve önünde uzun bir yol olan Türkiye'nin, bu büyük potansiyeli gerçeğe dönüştürmesi ve bu alanda dünyanın önemli aktörlerinden biri haline gelmesi dileğiyle.

Osman Mert KÜÇÜKGÖZE

(Eylül, 2016)

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
1.GİRİŞ	1
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	2
1.2. Dünyada Elektrik Enerjisi Üretimi.....	3
1.3. Türkiye’de Elektrik Enerjisi Üretimi.....	4
1.4. Dünya’da Güneş Enerjisi.....	7
1.5. Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	9
1.6. Güneş Pillerinin Tarihçesi	12
1.7. Fotovoltaik Uygulamaların Türkiye’deki Durumu	14
2. KURAMSAL TEMELLER.....	23
2.1. Yarı İletkenler.....	23
2.2. P-N Ekleminin Oluşturulması	24
2.3. Fotovoltaik Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi	26
2.4. Fotovoltaik Modüllerin Temel Karakteristikleri	27
2.5. Güneş Pili Çeşitleri.....	28
2.5.1. Monokristal (Tek Kristalli) güneş pilleri	30
2.5.2. Polikristal güneş pilleri.....	31
2.5.3. Galyum arsenik güneş pilleri	32
2.5.4. İnce film güneş modülleri	33
2.6. Güneş Pillerinde Verim	33
2.7. Güneş Pilleri İle Elektrik Üreten Sistemler	34
2.7.1 Şebekeden bağımsız (Off-Grid) fotovoltaik güç sistemleri.....	34
2.7.2 Şebekeye bağlı fotovoltaik güç sistemleri	36

2.7.3 Şebekeye bağımlı fotovoltaik güç santralleri.....	36
2.7.4. Şebekeye bağımlı evsel fotovoltaik güç sistemleri.....	37
2.7.5.Hibrid sistemler.....	38
2.8. Güneş Pili Sistemlerinde Kullanılan Ekipmanlar.....	39
2.8.1. Güneş panelleri	39
2.8.2. İnverterler.....	39
2.8.3 Solar kablolar.....	40
2.8.4. Çift yönlü sayaç	40
2.8.5.Uzaktan izleme ünitesi.....	41
2.8.6. Akü.....	41
2.8.7. Akü şarj regülatörü	42
2.9. Bir Fotovoltaik Santral İçin Gerekli Hesaplamalar.....	42
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	45
3.1. Erzincan İlinde Kurulması Planlanan 50 kW Kurulu Gücüne Sahip Bir Fotovoltaik Güneş Enerji Santralinin Fizibilite Detayları.....	45
3.1.1. Kurulumda yapılacak kabuller.....	49
3.1.2. Santralde kullanılacak panel ve inverter bilgileri	49
3.1.3. Santralin diğer maliyet kalemleri.....	49
3.2. Erzincan İline Kurulacak 50 kW Kurulu Güce Sahip GES İçin Hesaplamalar	50
3.2.1. Erzincan iline ait ışınlım ve sıcaklık değerlerinin ortalaması.....	50
3.3. PVSYST Programının Tanıtılması ve Gerekli Bilgilerin Girilmesi.....	51
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	68
4.1. PVSYST Programında Yapılan Hesaplamalar Sonucu Elde Edilen Özet Raporları.....	69
4.2. Ekonomik Analiz.....	73
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	91

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

A	Toplam panel alanı (m^2)
€	Euro
EA	Panellerin yatay düzlemle yaptıkları açı ($^{\circ}$)
E_g	Yasak enerji bant aralığı (eV)
E_{PV}	Güneş panelinden üretilen enerji (kWh)
G_m	Panel dizileri arasında bırakılması gereken mesafe (m)
GY	Güneş yükseklik açısı ($^{\circ}$)
I_{ed}	Eğik yüzeye gelen doğrudan ışınım (W/m^2)
I_{et}	Eğik yüzeye gelen toplam ışınım (W/m^2)
I_{ey}	Eğik yüzeye gelen yayılı ışınım (W/m^2)
I_{mpp}	Maximum power point current (A)
I_{SC}	Short circuit current (A)
I_t	Toplam ışınım (W/m^2)
I_y	Anlık ortalama yayılı ışınım (W/m^2)
I_{ya}	Eğik yüzeye gelen yansıyan ışınım (W/m^2)
L_K	Panel eğim doğrultusu ölçüsü (m)
N	Gün
η	Verim
N_D	İnverter verimi
N_P	Güneş panelinin verimi
ρ	Yerin yansıtma katsayısıdır
P_{in}	Atmosfer dışında birim alana düşen güneş enerjisi şiddeti (kW)
P_{max}	Maximum power (kW_{pdc})
P_{nom}	Nominal power (kW_{pac})
P_{nom} (STC)	Nominal power at standard test conditions (kW_p)
R_d	Doğrudan ışınım eğim faktörü

s	Eğim açısı ($^{\circ}$)
$\$$	Dolar
δ	Deklinasyon açısı ($^{\circ}$)
V_{mpp}	Maximum power point voltage (V)
V_{OC}	Open circuit voltage (V)
ω	Saat açısı ($^{\circ}$)
γ	Yüzey azimut açısı ($^{\circ}$)
φ	Enlem açısı ($^{\circ}$)

Kısaltmalar

AC	Alternative Current
DC	Direct Current
EArray	Effective Energy at The Output of The Array
EffArrR	Efficiency Array
EffSysR	Efficiency System
EGrid	Energy Injected Into Grid
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
GEPA	Güneş Enerji Potansiyel Atlası
GES	Güneş Enerji Santrali
GlobEff	Effective Global
GlobHor	Horizontal Global Irradiation
GlobInc	Global Incident in Collector Plane
HES	Hidroelektrik Santral
KAMAG	Kamu Araştırmaları Destek Grubu
MİLGES	Milli Güneş Enerjisi Santral Teknolojisi
MİLHES	Milli Hidroelektrik Santral Teknolojisi
MİLKANAT	Milli Türbin Kanadı Teknolojisi
NOCT	Nominal Operating Collector Temperature
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
PV	Photovoltaic
STC	Standard Test Conditions
Tamb	Ambient Temperature
TİGEM	Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YGDA	Yüksek Gerilim Doğru Akım Teknolojisi

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. 1973 ve 2013 yılları arasında dünya elektrik enerjisi üretimi bölgesel % dağılımı	3
Şekil 1.2. 1973-2013 yılları arasında dünya elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı	4
Şekil 1.3. 1973 ve 2013 yılları arasında elektrik üretiminde kullanılan kaynakların değişimi	4
Şekil 1.4. Kaynaklara göre kurulu güç (2015)	5
Şekil 1.5. Kaynaklara göre kurulu güç (2014)	5
Şekil 1.6. Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (2015)	6
Şekil 1.7. Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (2014)	7
Şekil 1.8. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli	10
Şekil 1.9. Türkiye aylık ortalama küresel radyasyon değerleri.....	11
Şekil 1.10. Türkiye'nin ortalama güneşlenme süreleri	11
Şekil 2.1. Üç farklı malzemenin enerji kuşağı diyagramı (a) yalıtkan (b) iletken (c) yarı iletken	24
Şekil 2.2. P-N Ekleminin oluşturulması.....	25
Şekil 2.3. Yarı iletken malzemelerde yasak enerji bandı.	26
Şekil 2.4. Fotovoltaik çalışma prensibi.	27
Şekil 2.5. Güneş pillerinin akım gerilim karakteristikleri.....	27
Şekil 2.6. Modülerin farklı yüzey sıcaklıklarda akım-gerilim değişimleri	28
Şekil 2.7. Güneş pillerinin üretim güçlerinin sıcaklıkla değişimi.....	28
Şekil 2.8. Farklı geometrilere sahip tek kristalli (Monokristal) silisyum güneş pilleri	31

Şekil 2.9. Tek kristalli (Monokristal) güneş paneli.....	31
Şekil 2.10. Çok kristalli (Polikristal) güneş pili.....	32
Şekil 2.11. Şebekeden bağımsız PV sistem örneği	35
Şekil 2.12. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerin şematik gösterimi	35
Şekil 2.13. Şebekeye bağımlı fotovoltaik güç santrallerinin şematik gösterimi	37
Şekil 2.14. Şebekeye bağımlı evsel fotovoltaik güç sistemi örneği	37
Şekil 2.15. Hibrid güneş pili sistemi tasarımı	38
Şekil 2.16. PV dizi	39
Şekil 2.17. Dizi halinde yerleştirilmiş güneş panelleri	42
Şekil 3.1. Erzincan iline ait güneş enerjisi potansiyeli.....	46
Şekil 3.2. Erzincan ili küresel radyasyon değerleri.....	47
Şekil 3.3. Erzincan ili günlük ortalama güneşlenme süresi	47
Şekil 3.4. Erzincan ilinde PV modülün cinsine göre m ² 'de üretilebilecek enerji ..	48
Şekil 3.5. PVSYST programı giriş ekranı	51
Şekil 3.6. Sistemdeki bilgilerin yüklü olduğu ekran	52
Şekil 3.7. Yeni kaydın yapılacağı ekran.....	52
Şekil 3.8. İle özgü bilgilerin girileceği sayfa	53
Şekil 3.9. Erzincan iline özgü bilgiler	53
Şekil 3.10. İle özgü meteorolojik değerlerinin girileceği ekran.....	54
Şekil 3.11. Erzincan iline özgü meteorolojik değerler	55
Şekil 3.12. Proje ve simülasyon bilgilerinin girişi	56
Şekil 3.13. Yer bilgilerinin girişi ve ilgili meteonorm dosyasının seçimi	56
Şekil 3.14. Albedo değerlerinin seçimi	57

Şekil 3.15. Sistem tipi seçimi (şebekeye bağlı).....	58
Şekil 3.16. GES teknik bilgilerinin girileceği ekran	59
Şekil 3.17. Seçimlerimizin ardından sistem teknik bilgileri	60
Şekil 3.18. Sistemin boyutlandırma koşulları	61
Şekil 3.19. Sistemin kayıpları	61
Şekil 3.20. Panel pozisyonuna ait parametreler(1).....	62
Şekil 3.21. Panel pozisyonuna ait parametreler(2).....	63
Şekil 3.22. Seçilen bölgeye ait ufuk çizgisi bilgileri.....	63
Şekil 3.23. Gölgeleme bilgileri ekranı	64
Şekil 3.24. Simülasyon ekranı.....	65
Şekil 3.25. Sistemin simülasyonu	65
Şekil 3.26. Simülasyonun özet raporu	66
Şekil 3.27. Maliyet hesabı için verilerin girileceği ekran	67
Şekil 4.1. Simülasyon parametreleri	70
Şekil 4.2. Elde edilen sonuçlar	71
Şekil 4.3. Kayıplar sonucu elde edilen enerji.....	72
Şekil 4.4. CHSM6610M-250 tipi monokristal panelden elde edilen enerji.....	77
Şekil 4.5. CHSM6610P-250 model polikristal panelden elde edilen enerji	78
Şekil 4.6. Black230/02 tipi monokristal panelden elde edilen enerji.....	79
Şekil 4.7. Blue220/16 tipi monokristal panelden elde edilen enerji	80

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Çeşitli gök durumları için toplam ışınım ve bu toplam ışınımında yayılı ışınım oranları	9
Tablo 1.2. Türkiye'nin yıllık ortalama güneş radyasyonu değerleri ve ortalama güneşlenme sürelerinin coğrafi bölgelere göre dağılımı.....	12
Tablo 3.1. GES kurulumunda yapılacak kabuller	49
Tablo 3.2. Santralde kullanılacak panel ve inverter fiyatları	49
Tablo 3.3. Santralde kullanılacak ekipmanlar ve diğer maliyetler.....	49
Tablo 3.4. Erzincan ili ışınım değerleri.....	50
Tablo 3.5. Erzincan ili ortalama sıcaklık değerleri	51
Tablo 4.1. Santralde kullanılacak ekipmanlar ve diğer maliyetleri toplamı	68
Tablo 4.2. İlk yatırım maliyetini geri ödeme süresi hesabı.....	73
Tablo 4.3. Proje Konum Bilgileri.....	75
Tablo 4.4. Sistem Açılımları ve Gölgeleme Bilgileri.....	75
Tablo 4.5. Santralde kullanılacak PV panel bilgileri	75
Tablo 4.6. Santralde kullanılacak inverter bilgileri.....	75
Tablo 4.7. Santralin Kazanç ve Kayıpları	76
Tablo 4.8. Santralin gelir-gider tablosu.....	76
Tablo 4.9. Polikristal ve Monokristal Güneş Panellerinin Finansal Olarak Karşılaştırılması	81

1.GİRİŞ

Bugün dünyamızda herkes tarafından kabul edilen bir enerji sorunu vardır. Karşı karşıya kaldığımız enerji sorununun en temelinde nüfustaki artış ve yetersiz enerji kaynakları yatmaktadır. 1973 yılında yaşanan petrol krizi ile birlikte insanlar fosil yakıtlara alternatif olarak enerji kaynakları aramaya yönelmiştir.

Günümüzde enerji sorunu her ülkenin yaşadığı bağımsız bir sıkıntı olmaktan çıkmış küresel bir sorun haline almıştır. Halen devam etmekte olan savaşlar ve işgaller de küresel enerji sorununun insanlara yansımalarıdır. Enerji insanların temel ihtiyaçlarını karşılayan bir ihtiyaç iken, uluslararası politikaları yönlendiren bir araç haline gelmiştir. Enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe birçok nedenden dolayı artmakta ve üretim ile tüketim arasındaki fark açılmaktadır (Sayın ve Koç, 2011).

Gelişen sanayi ve teknolojiyle, insanların yaşam konforunun artmasıyla enerji, hayatın en temel parçası olmuştur. Dünyada kullanılmakta olan enerjilerin %90'ı fosil tabanlı, dönüşümü olmayan enerji kaynaklarıdır. Fosil kaynaklı enerjiler sonsuz değildir ve bir gün tükeneceklerdir. Bununla birlikte ileride fosil kaynakları kullanan teknolojik sistemler de çalışamaz hale gelecektir (Çelik, 2002).

Bir diğer önemli bir nokta ise, fosil kaynakların oluşturduğu çevresel kirlenmedir. Dünya üzerinde meydana gelen çevresel problemlerin önemli bir kısmı fosil kaynakların tüketilmesi sonucu oluşmaktadır. Bu bağlamda ortaya çıkan zararlı gazlar çevre kirliliği oluşturmakla birlikte, insan sağlığına da zarar vermektedir. Bu etkilerin dışında küresel ısınma, suların ve toprağın kirlenmesi, bitki örtüsünün zarar görmesi, çölleşme ve biyolojik çeşitlilikte azalmalar gibi etkileri de bilinmektedir. Ekolojik dengeye zarar veren bu olayların ana sebebi fosil kaynak yakıtlarının büyük miktarlarda kullanılmasıdır (Sayın ve Koç, 2011).

Bu nedenle doğada bulunan ve kendini sürekli yenileyen diğer bir ismiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve talep gün geçtikçe artmaktadır. Bu

enerji kaynakları arasında güneş enerjisi kullanım kolaylığı ve potansiyeli bakımından önemli bir yer tutmaktadır. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren birçok yöntem var ise de bunların içinden fotovoltaik güneş pilleri uygulama alanı, kullanım kolaylığı ve ilk kurulum maliyetinin diğer sistemlere göre uygunluğu ile daha fazla tercih edilen ve gelecek için ümit veren bir yöntemdir. Güneş panelleri yardımıyla elektrik elde yöntemi yeni bir teknoloji olmamakla birlikte geçmişte maliyetlerin yüksek olması ile birlikte uygulamalar sınırlı kalmıştır. Günümüz teknolojisinde gelişmeler ve maliyetlerdeki düşüşlerle birlikte yaygınlaşmaya başlamıştır.

Türkiye bugüne kadar enerji ihtiyacını karşılamak için genelde ithal enerji kullanmış, ithalata dayalı yüksek maliyetli yatırımlar yapılmış ve enerjideki dışa bağımlılık ciddi boyutlara ulaşmıştır. Bu nedenle artık bundan sonra izlenmesi gereken politikanın sloganı "önce enerji verimliliği için yatırım yapılması, bu yatırımlarla sağlanan tasarruflar yeterli olmaz ise, yeni enerji üretim tesisi yatırımı" olmalıdır. İlerleyen yıllarda yaşanması beklenen enerji sıkıntısının aşılması ve bir an önce uyumlaştırılması gereken Türkiye iklim değişikliği politikası için yapılması gereken en önemli ve öncelikli uygulama, tasarrufa, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak yatırımlardır (M.M.O. Sonuç Bildirgesi, 2011).

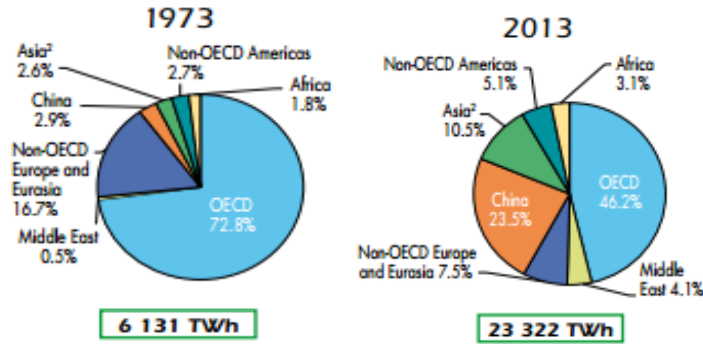
Güneş kuşağında yer alan ülkemiz için kurulacak olan fotovoltaik sistemlerin yaygınlaştırılması ve bu sistemlerin en yüksek verimi verecek şekilde kurulması, bu konuda eğitilmiş insan sayısına, güneş enerjisi teknolojisi konusunda yapılan akademik çalışmalara, yayımlanan kitap, dergi, makalelere, düzenlenen seminerlere ve devletin yapacağı düzenlemelere, teşviklere ve politikalara bağlıdır.

1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji doğal yollardan elde edilen ve sürekli kendini yenileyen enerjilere verilen isimdir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr, jeotermal, hidrolik, biokütle ve güneş enerjisi sayılabilir.

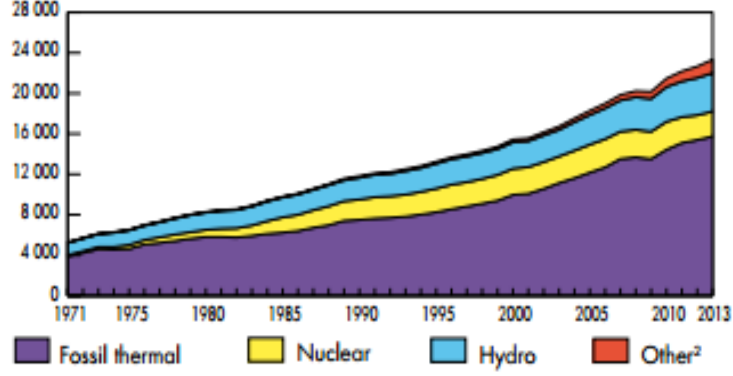
1.2. Dünyada Elektrik Enerjisi Üretimi

Şekil 1.1’de 1973 ve 2013 arasındaki yıllar için dünya elektrik enerjisi üretiminin bölgelere göre dağılımı verilmiştir. 1973 yılında dünya elektrik üretimi 6.131 TWh olarak gerçekleşmiş iken, OECD ülkelerinin payı %72,8 olmuştur. 2013 dünyada üretilen elektrik miktarı 3.80 kat artarak 23.322 TWh olmuştur. OECD ülkelerinin payı ise %46,2 seviyelerine kadar gerilemiştir.



Şekil 1.1. 1973 ve 2013 yılları arasında dünya elektrik enerjisi üretimi bölgesel % dağılımı (i.e.a., 2015)

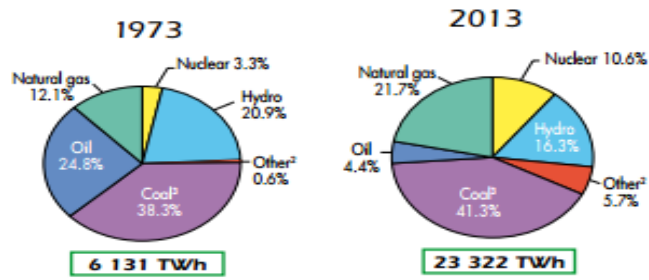
Şekil 1.2’de 1973-2013 yılları arasında dünyadaki elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı verilmiştir. Şekil 1.3’de ise elektrik üretiminin kaynaklar bazında kullanımının değişimi gösterilmiştir. Görüldüğü üzere petrolün elektrik üretimi üzerindeki payı %24,8’den %4,4 seviyelerine kadar gerilemiştir. Hidroelektrik kaynakların payı %20,9’dan yıllar içerisinde %16,3 seviyelerine kadar gerilemiştir. Bu durumlara karşılık olarak doğal gazın payı ise %12,1’den %21,7 seviyelerine yükselmiştir. Nükleer santrallerden üretilen elektrik enerjisinin payı %3,3’den %10,6’ya, kömürün payı ise %38,3’den %41,3’e yükselmiştir.



Şekil 1.2. 1973-2013 yılları arasında dünya elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (i.e.a., 2015)

1992 yılında Rio Sözleşmesi, 1994 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, 1997 yılındaki Kyoto Protokolü, fosil yakıtların kullanımı ile ekosistem arasındaki ilişkiler sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları konusundaki çalışmalar hızlanmıştır.

Şekil 1.3’de other diye görünen kaynaklar, yenilenebilir enerji kaynaklarını temsil etmektedir. Şekil 1.3’de görüleceği üzere bu oran 40 yıl içinde %0,6’dan %5,7’ya yükselmiştir.

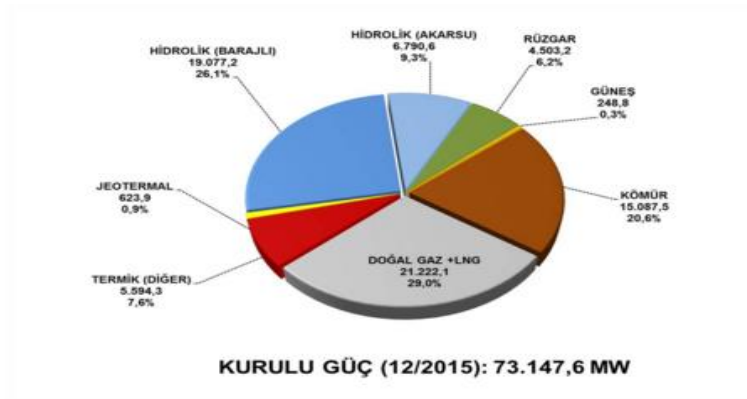


Şekil 1.3. 1973 ve 2013 yılları arasında elektrik üretiminde kullanılan kaynakların değişimi (i.e.a., 2015)

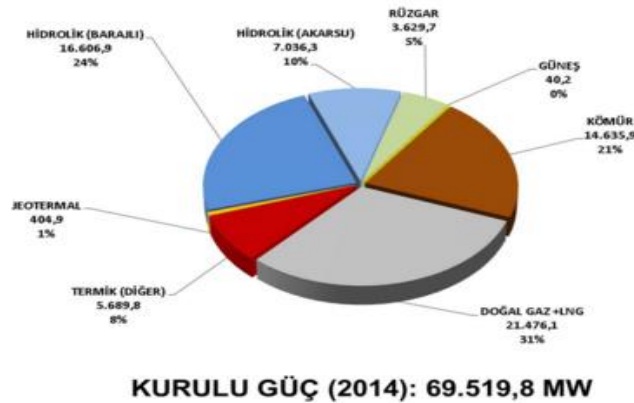
1.3. Türkiye’de Elektrik Enerjisi Üretimi

Şekil 1.4 ve Şekil 1.5’de 2014 ve 2015 yıllarına ait elektrik enerjisinin kaynaklara göre kurulu güçleri verilmiştir. Elektrik enerjisi için kurulu güç 2014 sonunda

69.519,8 MW iken 2015 sonunda %5,2 artışla 73.147,6 MW seviyelerine ulaşmıştır. Şekil 1.4'de hidrolik enerjiye dayalı kurulu güç 25.867,8 MW ile birinci sırada yer almaktadır. Doğalgaz santralleri ise 21.222,1 ile ikinci sırada yer almaktadır. Ancak katı, sıvı ve gaz esaslı çok yakıtlı santrallerin de, çoğunlukla gaz yakıtla çalıştığı dikkate alındığında, doğal gaz yakıtlı santraller kurulu güç içinde ilk sırada yer almaktadır. Ülkemizin enerji konusunda dışa bağımlılığı dikkate alındığında doğalgaza alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi gerekir. Şekil 1.5'de görüldüğü üzere yenilenebilir enerji kaynaklarında rüzgâr enerjisinin kurulu güç içerisindeki payı 2014 yılında %5 iken, Şekil 1.4'de görüldüğü gibi 2015 yılında %6,2 seviyelerine yükselmiştir. Güneş enerjisinin 2014 yılında kurulu gücü 40,2 MW iken, 2015 yılında 248,8 MW seviyelerine yükselmiştir.

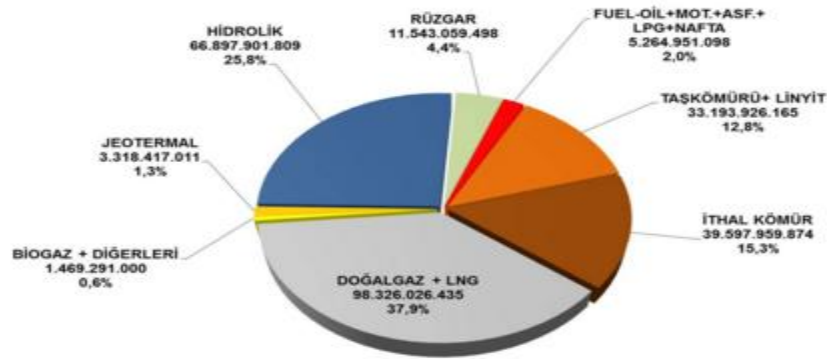


Şekil 1.4. Kaynaklara göre kurulu güç (e.m.o., 2015)



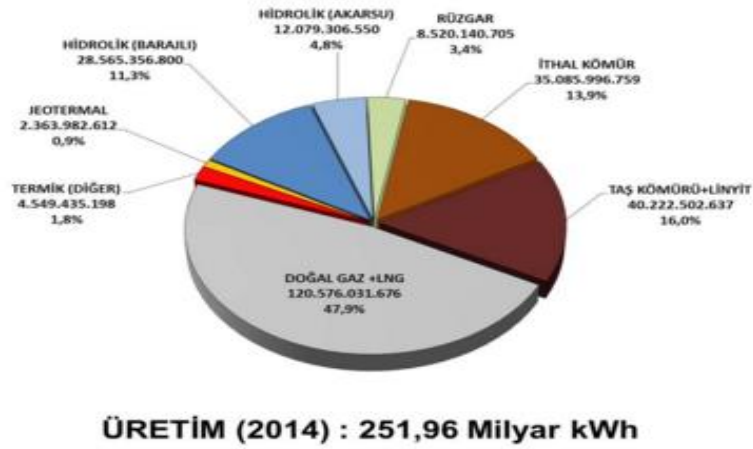
Şekil 1.5. Kaynaklara göre kurulu güç (e.m.o., 2014)

2014 yılında 251,96 milyar kWh olarak gerçekleşen elektrik üretiminin 2015 yılında 259,61'ya yükseldiği görülmüştür. 2014 ve 2015 yılındaki elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.6 ve Şekil 1.7'de verilmiştir. İlk sırada 2014 yılında %47,9'luk paya sahip iken, 2015 yılında ağırlığı azalan ve %37,9 seviyelerine gerileyen doğalgaz yer almaktadır. İkinci sırada ise 2014 yılında %15,1 seviyelerinde bulunan, 2015 yılında ise %25,8 seviyelerine ulaşan hidrolik enerji yer almaktadır. İthal kömürün payı ise %13,9 seviyelerinden %15,3 seviyelerine yükselmiştir. 2014 yılında %16,0'luk paya sahip olan taşkömürü- linyit, 2015 yılında %12,8 seviyelerine gerilemiştir. 2014 yılına göre yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal, rüzgâr, biyogaz ve güneş enerjiden elektrik enerjisi üretimi artış gösterse de enerjide Türkiye'nin dışa bağımlılığı düşünüldüğünde, yine istenilen seviyelerde olmadığı görülmektedir. 2014 yılında elektrik enerjisi üretimindeki payı %0,9 olan jeotermal enerji çok küçük bir artışla %1,3 seviyelerine yükselmiştir. Bir başka yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisi üretimindeki payı %3,4 iken 2015 yılında %4,4 seviyelerine yükselmiştir. Avrupa'da her geçen gün gelişme gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi ülkemizde yeterli seviyede olmadığı görülmüştür (e.m.o., 2015).



ÜRETİM (12/2015) : 259,61 Milyar kWh

Şekil 1.6. Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (e.m.o., 2015)



Şekil 1.7. Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (e.m.o., 2014)

1.4. Dünya’da Güneş Enerjisi

Güneş; H ve He gazlarından oluşan, enerjisi bol, devamlı yenilenebilir üstelik bedava bir ısı, ışık kaynağıdır. Güneş yüzeyi sıcaklığı 6000 °C sıcaklığında siyah bir kütleye eşdeğer bir radyasyon kaynağıdır. Merkezde sıcaklık ise 20 milyon °C’yi bulur. Güneşteki yüksek sıcaklık ile elektronlar çekirdeklerine ayrılır. Bu yüzden güneşte atom ve molekül değil, serbest elektron ve atom çekirdekleri bulunur. Bu karışım “plazma” halindedir. Güneş’te enerjinin önemli bir kısmı (%99) 4 hidrojen çekirdeğinin (protonun) helyum çekirdeğine dönüşmesi sonucunda elde edilir. Oluşan He miktarı harcanan H miktarından azdır. (4H→1He) Aradaki fark ise güneşten ışın (ısı ve ışık) olarak çıkan enerjiyi (radyasyonu) verir. Dünya, hem kendi çevresinde döner, hem de güneş çevresinde eliptik bir yörüngede döner. Dünyanın kendi etrafında dönmesi ile gece ve gündüz oluşur. Diğer taraftan, dünyanın güneş çevresinde dönmesi ile mevsimler oluşur. Bu nedenle, güneşten dünyaya gelen enerji miktarı günlük ve mevsimsel olarak değişir (Erkul, 2010).

Güneş enerjisi hem konvansiyonel enerji kaynakları hem de diğer temiz enerji kaynaklarına kıyasla çevreye verdiği zarar en az olan enerji kaynağıdır. Kullanım aşamasında küresel ısınmaya neden olan karbondioksit ve diğer sera gazlarından hiçbirini üretmez. Güneş ışınları dünyanın oluşumundan beri yeryüzündeki tüm

biyolojik yaşam formları için ana enerji kaynağı olması nedeniyle doğrudan veya dolaylı olarak canlıların yaşamak için gereksinim duydukları enerjiyi sağlamaktadır. Güneş enerjisinin doğal yollar dışında, insanoğlunun yönlendirmesi ile farklı alanlarda kullanılması çalışmaları sonucu önemi daha çok artmıştır (Sağlam, 2006).

Güneş enerjisinden yararlanma ile alakalı çalışmalar 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Dünya'ya güneşten gelen enerji, dünya da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır. Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşamaz, %30'u atmosfer tarafından geriye yansıtılır. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Yüzeye ulaşan bu enerji ile dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Güneşten dünyaya doğru gelen ışınımın %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur. Yeryüzüne gelen güneş ışınımının %1'den az bir kısmı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Fotosentez, yeryüzündeki bitkisel yaşamların kaynağıdır. Güneş enerjisi, nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin dolaylı veya direkt kaynağıdır (e.i.e., 2016).

Güneş, enerjisini ışıyarak yayar. Güneşten dünyamıza enerji, 8 dakikada gelir. Yerküre, 40 dakika içerisinde dünya üzerinde bir senede tüketilen toplam enerjiye eşit enerjiyi güneş ışınlarından soğurur. Bu miktar göz ardı edilemeyecek kadar büyük bir miktardır ve bu sebeptendir ki güneşten enerji elde etmeye çalışmak kadar doğru bir durum yoktur.

Güneşten yeryüzüne gelen ışınım dolaysız (direkt) ve dolaylı (yaygın) olarak iki bileşene ayrılır. Direkt ışınım doğrudan güneşten gelen ışınımdır. Yaygın ışınım ise belirli bir yönü ve doğrultusu olmayan ışınım verilir. Güneş ışınımının bir kısmı, atmosferin içine girdikten sonra yeryüzüne ulaşmaya kadar, miktarı geçtiği hava kütlesine bağlı olarak, atmosferi oluşturan bileşenlerden ozon ve su buharı

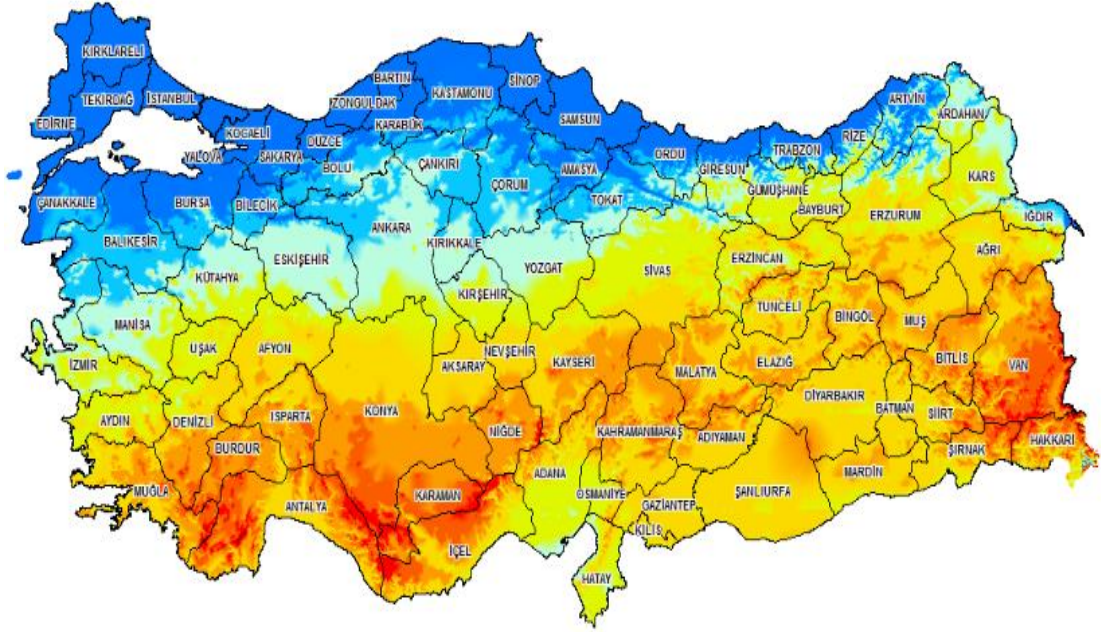
tarafından, belirli dalga uzunluklarında seçilmeli olarak yutulur. Hava içerisindeki moleküller, tuz ve su tarafından saçılır. Işınımın bu yutulan ve saçılan kısmı yaygın ışınımı oluşturur (Enarun, 1987). Tablo 1.1’de çeşitli gök durumları için toplam ışınım ve bu toplam ışınımında yayılı ışım oranları verilmiştir.

Tablo 1.1. Çeşitli gök durumları için toplam ışınım ve bu toplam ışınımında yayılı ışım oranları (Ertürk, 1997)

	Açık Gökyüzü	Puslu Gökyüzü	Tam Kapalı Gökyüzü
Toplam Işınım	600-1000 W/m ²	200-400 W/m ²	0-150W/m ²
Yayılı (Dolaylı) Işınım	%10-%20	%20-%80	%80-%100

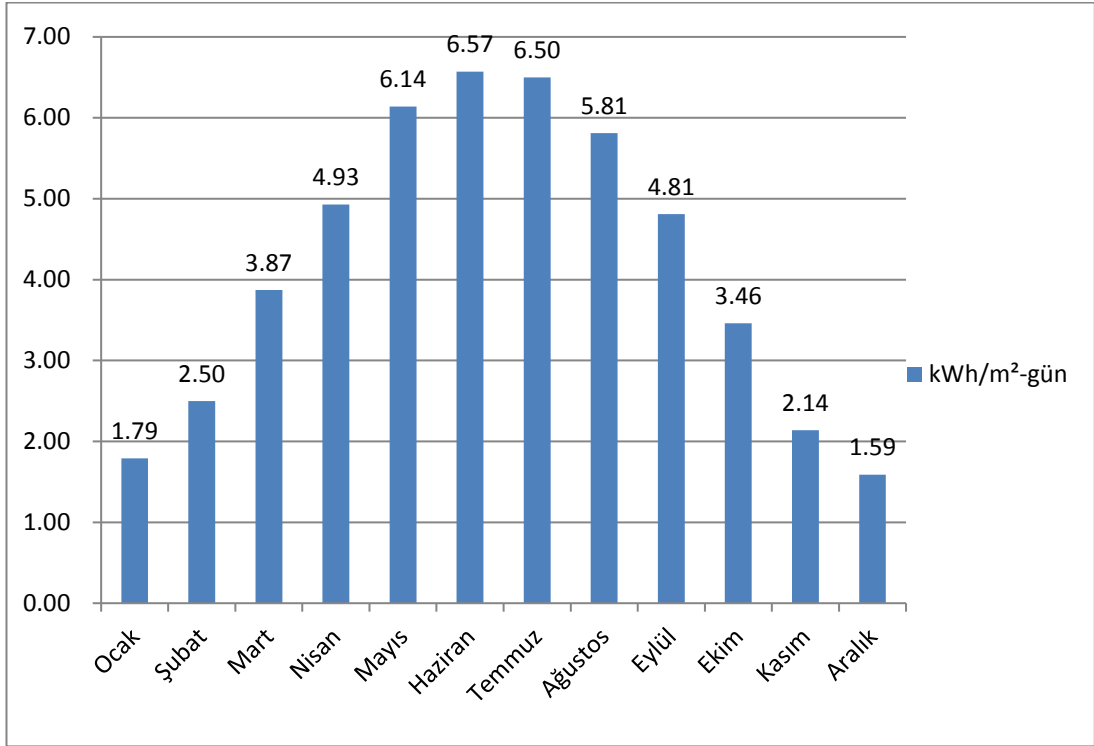
1.5. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Ülkemizin coğrafi konumu ve ekvatora yakın olması sebebiyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli bakımından birçok ülkeye göre oldukça avantajlı durumdadır. Ülkemizde, yenilenebilir enerji kaynakları açısından iyi bir potansiyel bulunmaktadır. Yapılan ölçümlerle birlikte, ülkemizin % 63’ünde 10 ay, %17’sinde ise 1 yıl boyunca güneş enerjisinden yararlanmak mümkün olduğu görülmüştür (Buldum, 2008). Şekil 1.8’de ülkemizin güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) verilmiştir.

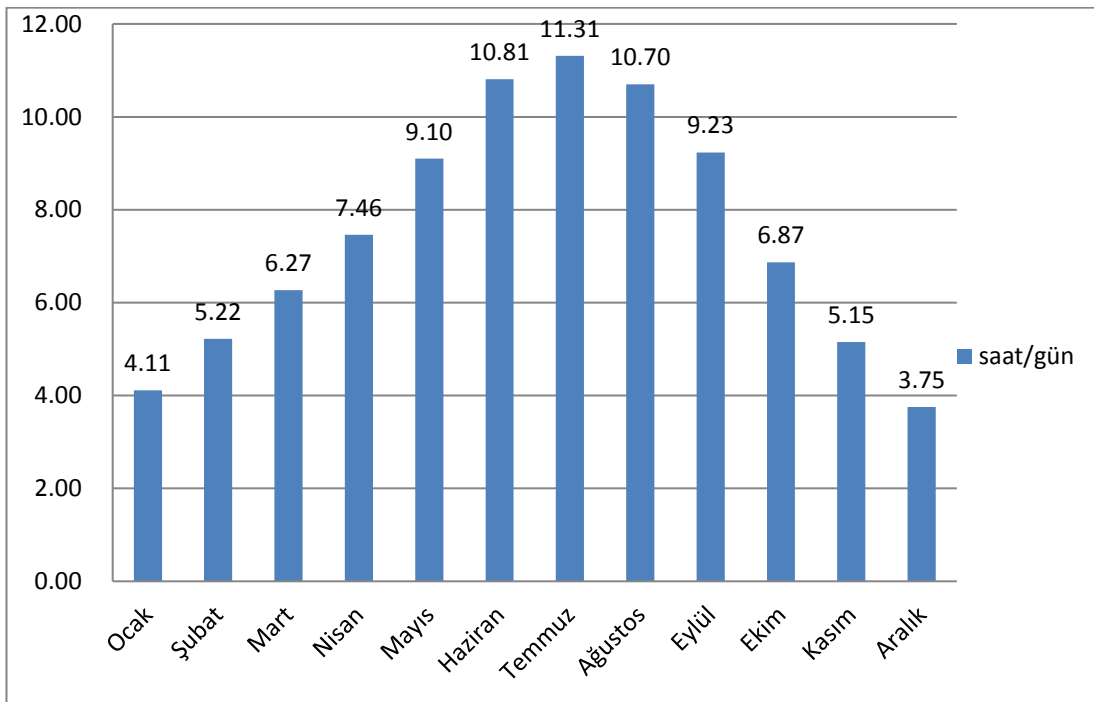


Şekil 1.8. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli (e.i.e., 2016)

Güneşten yeryüzüne saniyede 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yılda ürettiği enerjinin 100 milyon MW olduğu düşünülürse saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1.700 katıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün elinde bulunan 1966-1982 yılları arasında ölçülen güneşlenme süreleri ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt idaresi (EİE) tarafından bir çalışma yapılmıştır. Buna göre, Türkiye'nin yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2.640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ısınım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli uygulamaların yapılması ile birlikte Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir (e.i.e., 2015). Türkiye'de aylara göre küresel radyasyon değerleri Şekil 1.9'da, güneşlenme süreleri ise Şekil 1.10'da verilmiştir. Tablo 1.2'de Türkiye'nin yıllık ortalama güneş radyasyonu değerleri ve ortalama güneşlenme sürelerinin coğrafi bölgelere göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 1.9. Türkiye aylık ortalama küresel radyasyon değerleri (e.i.e., 2015)



Şekil 1.10. Türkiye'nin ortalama güneşlenme süreleri (e.i.e., 2015)

Tablo 1.2. Türkiye'nin yıllık ortalama güneş radyasyonu değerleri ve ortalama güneşlenme sürelerinin coğrafi bölgelere göre dağılımı

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -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 Atlasına göre yıllık güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyeli 380 milyar kWh olarak belirlenmiştir. Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Doğu Anadolu Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi'nin Ege Bölgesi'nden fazla güneş enerjisi aldığı görülmektedir. Güneşlenme sürelerine bakıldığında birinci sırada Güneydoğu Anadolu bölgesi, ikinci Akdeniz Bölgesi, üçüncü sırada ise Ege bölgesi yer almaktadır.

1.6. Güneş Pillerinin Tarihçesi

Güneş pilleri çok eski bir teknolojidir ve gelişimi yüzyılları aşkın bir süredir devam etmektedir. Kullanımları çok yaygın olmadığı için laboratuvar ortamıyla sınırlı kalmış ve güneş pilleri yeni bir teknolojiymiş gibi görünmesine rağmen ilk ortaya çıkışı 1800'lü yıllara dayanmaktadır.

Fotovoltaik etkiyi dünyada ilk gözlemleyen kişi Fransız Alexandre-Edmond Becquerel'dir. Becquerel 1839 yılında elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek

fotovoltaik olayını bulmuştur. Katı cisimlerde ise benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafında gösterilmiştir. Mum ışığı kullanarak selenyum içerisinde elektriksel bir akım oluşturmayı başarmışlardır. Bu gelişimlerden sonra selenyumla daha fazla uğraşmaya başlayan bilim adamları teknolojik gelişmeler sağlamıştır. 1883 yılında Charles Fritts selenyum kullanarak ilk fotovoltaik güneş pilini tasarlamıştır. Ancak tasarlanan bu güneş pilinin verimi %1 dolaylarında kalmıştır (Wolf, 1972; Keskinel, 2015).

1905 yılında ise Albert Einstein güneşin etkisiyle elektrik akımı oluşumuna yönelik bir çalışma yaparak makale yayımladı. 1916 yılında Robert Millikan, fotovoltaik etkinin deneysel olarak kanıtlanmasını sağlayan bir çalışma yapmıştır. 1931 yılında Alman Bruno Lange de selenyum bazlı bir güneş hücresi üretmiş ancak bu hücrenin verimi %1 dolaylarında kalmıştır. Audobert ve Stora 1932 yılında Cadmium-Selenide (CdS) kullanarak uzun bir süre kullanılacak olan fotovoltaik bir yöntem keşfetmiş oldu. 1954'de Chapin, Pearson ve Fuller silisyumun fotovoltaik etkisini keşfettiler. Böylece % 6 verimli bir güneş pili üretmeyi başardılar. Fotovoltaik enerji 1953-1954 yıllarında ilk kez uzaya fırlatılan uyduların ihtiyacı olan elektriği güneşten sağlaması amacıyla uzay bilimlerinde kullanılmıştır. Evlerde ve endüstriyel uygulamalardaki ilk denemeler ise 1970'li yıllarda gerçekleştirilmiştir (Ortaçtepe, 2011; Delorme, 2004).

Güneş pillerinden elektrik elde etme çabası 1954 yılında başlamasına karşın asıl ilgiyi 1973 yılı itibariyle görmeye başlamıştır. Bu yıllarda meydana gelen petrol krizi ile birlikte Amerika, Japonya ve Avrupa'da büyük ölçekli bütçeler ayrılarak geniş kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Ancak uzun süre güneş pilleri radyolar, uydular ve uyarı levhaları gibi belli sistemlerde kullanılmışlardır.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren çevre dostu güneş sistemlerinin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyelerinin düşürülme çabası uzun süre akademik olarak çalışılmış ve bu sebeptendir ki laboratuvarlarda kalan bir çalışma olarak akıllara yer etmiştir. Fakat son yıllarda çevreye olan duyarlılığın ve enerjiye olan

talebin artması ile yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar artmıştır. Yakın geçmişe kadar standart elektrik enerjisi üretim metotları ile karşılaştığında oldukça pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan maliyet olarak değerlendirilebilecek “sosyal maliyet” göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemler fosil kaynaklara dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir.

1.7. Fotovoltaik Uygulamaların Türkiye’deki Durumu

2005 yılı itibariyle yürürlüğe giren Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ve 2011 yılında yayınlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik sonrası Türkiye’de güneş enerjisine yönelik ilgi bir ölçüde artmıştır. 2011 yılında yayınlanan söz konusu yönetmelikteki 500 kW’lık lisanssız santral kurulum üst sınırının, 2013 yılında yayınlanan Yenilenebilir Enerji Kanunu (YEK) ile 1.000 kW’a çıkması da güneş enerji sektörünü hızlandırmıştır. Yönetmeliklerde 1 MW kapasiteden küçük santraller lisanssız olarak sınıflandırılmış ve elektrik enerjisi üretimi için lisans almaktan muaf bırakılmışlardır. 1.000 kW kapasite üstü santrallerle elektrik üretiminde lisans alma zorunluluğu ise devam etmektedir.

Güneş enerjisine yönelik son gelişmelerden bir tanesi de Ekonomi Bakanlığı tarafından 2015 yılı Şubat ayında teşvik belgelerinin verildiği 35 enerji üretim projesinden 28 tanesinin güneş enerjisi santralleri için gerçekleştirilmiş olmasıdır. Lisanslı fotovoltaik güneş enerjisi santralleri için 600 MW kurulu gücünde birinci etabın süreci halen devam etmektedir. Bu kapsamla birlikte, yaklaşık 8.000 MW’lık 500’e yakın proje başvurusu olmuştur. 2015 yılı Mart ayı itibarıyla, 2.100 MW kurulu gücünde üretim tesisi için çağrı mektubu verilmiş ve 388 MW’lık proje onayı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, 72,4 MW kurulu gücünde üretim tesisinin geçici kabulü yapılarak işletmeye alınmıştır. Konya’da bulunan Karapınar ilçesinin zengin güneş potansiyelinin Türk ekonomisine kazandırılması amacıyla yeni çalışmalar

başlatılmıştır. Kurulması planlanan 3.000 MW kurulu gücündeki güneş santralının dünyanın en büyük güneş enerjisi santrali olması planlanmaktadır. Yaklaşık olarak 6 milyar dolar yatırım bedeline sahip bu proje ile birlikte Türkiye'nin enerji güvenliğine çok önemli katkı sağlanacaktır. 2018 yılında üretime geçmesi planlanan santralde, Konya sanayisinden de destek alınacaktır ve kurulacak sistemde büyük oranda yerli güneş paneli kullanılması kararlaştırılmıştır. Kurulacak panel fabrikalarıyla birlikte bölge sanayisinin büyük oranda kalkınması ve istihdamın artması beklenmektedir. Ayrıca, bu yatırımların yerli üretim teçhizat ile donanımları sayesinde de ek teşvik kullanımı söz konusu olacaktır (Kılıç, 2015).

Türkiye güneş enerjisi sektöründe 17 yerli üretici 382,5 MW kapasiteye sahip güneş paneli üretim yatırımını gerçekleştirmiştir. Bu üretim tesislerinde yalnızca panel üretimi yapılmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Milli Güneş Enerjisi Santral Teknolojisi (MİLGES), Milli Hidroelektrik Santral Teknolojisi (MİLHES), Milli Türbin Kanadı Teknolojisi (MİLKANAT), Yüksek Gerilim Doğru Akım Teknolojisi (YDGA), sistemlerinin geliştirilmesi kapsamında fotovoltaik hücre üretimine yönelik yapılan çalışmalar halen devam etmektedir. Yakın zamanda, fotovoltaik hücre üretiminde yerli üreticilerin de ülke pazarında yer alması beklenmektedir. 2020 yılına kadar 10 milyar TL'lik güneş enerjisi santral yatırımının hayata geçirilmesi beklenmektedir (Kılıç, 2015).

TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı kapsamında, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün (TİGEM) ortak kurum olarak yer aldığı "Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Yerli Güneş Enerjisi Santral Teknolojilerinin Geliştirilmesi (MİLGES) başlığına yönelik, Kamu Araştırmaları Destek Grubu (KAMAG) tarafından çağrı duyurusu 19.06.2013 tarihinde yayımlanmıştır. MİLGES Projesiyle Şanlıurfa Ceylanpınar'da 10 MW kurulu güce sahip bir güneş enerjisi santralının TİGEM'in (Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü) Ceylanpınar Tarım İşletmesi'nin tarıma elverişli olmayan arazisinde kurulumun planlanması büyük önem taşımaktadır (Kılıç, 2015).

Literatürde konu ile çalışmalar özetlenirse: Eyigün (2010), yaptığı çalışmada NASA Meteororm adı verilen saatlik radyasyon tahmini yapan program yardımıyla elde edilen 1996-2005 yılları arasındaki saatlik radyasyon verilerini Photovoltaic System Study (PVSYST) programına aktarmıştır. Türkiye'nin 7 farklı bölgesinde (Antalya, Bursa, Diyarbakır, Erzurum, İzmir, Konya, Trabzon) farklı modül teknolojileri ve farklı evirici konseptleri ile 2,5 MW kurulu gücünde fotovoltaik santrallerin verimliliklerini ve üretim maliyetlerini karşılaştırılmıştır. Öncelikle kurulumu yapılacak santrallerde 500 kW gücünde merkezi 5 adet inverter kullanılarak 230 W gücünde monokristal ve 78 W gücünde ince film güneş panelleri kullanılmış, daha sonra 13 kW gücünde 181 adet dağıtılmış inverter, aynı boyut ve özelliklerde güneş panelleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Enerji üretimi konusunda merkezi inverter ve ince film panellerle kurulan santralin, monokristal panellerle kurulan santrallerden daha verimli olduğu görülmüştür. Antalya, Bursa, İzmir illeri hariç dağıtılmış inverter ve ince film panellerden kurulan santralin, monokristal panellerle kurulan santralden daha verimli olduğu görülmüştür.

Çolak (2010), yaptığı çalışmada Muğla ili için 10 MW kurulu güce sahip güneş enerjisi santralinden elde edilecek elektrik enerjisinin miktarı ve santralin yatırım maliyetini PVSYST programı aracılığı ile hesaplanmıştır. Polikristal Sharp-NE-Q7E3E model 167 W gücünde güneş paneli ve Siemens-SinvertPVM10 model 10 kW gücünde inverter kullanılmıştır. Yıllık üretilen enerji 15.603 MW olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak sistemin net yatırım bedeli KDV dâhil 28.869.121 € olarak hesaplanmıştır. Bu yatırımın %5 faizli 20 yıllık bir kredi ile finanse edildiği varsayılmıştır. İlk 20 yıl toplam yıllık gider 2.678.234 € iken, enerji satışından yıllık elde edilen kazanç 858.362 €'dur. Bu bilgilerden yola çıkarak 30 yıl sonunda 31.535.000 € zarar edildiği görülmüştür. Monokristal panelle yapılan çalışmada Sharp-NUR0E3E 170 W gücünde güneş panelleri Siemens-SinvertPVM10 model 10 kW gücünde inverter kullanılmıştır. Yıllık üretilen enerji 15.879 MW olarak hesaplanmıştır. Bu yatırımın da %5 faizli 20 yıllık bir kredi ile finanse edildiği varsayılmıştır. Net yatırım maliyeti ise KDV dâhil 29.414.682 € olarak hesaplanmıştır. Kurulum şartlarının fazla maliyetinden dolayı 30 yılsonunda toplam

31.805.000 € zarar edildiği görülmüştür. Günümüz koşullarında Muğla ilinde kurulacak bir fotovoltaik santral 30 yıl boyunca ilk yatırım maliyetini karşılayamayacağı için mantıklı olmadığı ön görülmüştür.

Ortaçtepe (2011), yaptığı çalışmada güneş pili sistemlerini incelemiş ve Milas'ta bulunan yazlık bir site için şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız güneş pili sisteminin analizini yapmıştır. Bir yıllık tahmini güneş ışınımı değerleri ile tek modülün ürettiği elektrik enerjisini benzetim yöntemiyle hesaplanmıştır. Kurulacak olan sistemle ilgili 3 adet öneri sunulmuştur. 1. öneride 19, 2. öneride 45, 3. öneride ise 80 adet panel kullanılmıştır. Off-grid olarak tasarlanan sistemin ilk yatırım maliyeti akü giderinden dolayı daha fazla olduğu hesaplanmıştır. 3 öneri içinde bugünün koşullarında elde edilen bulgular on-grid bir güneş sisteminin ilk yatırım maliyetini karşılama süresinin, off-grid sisteme göre daha kısa olduğu görülmüştür

Karataş (2012), yaptığı çalışmada (Transient System Simulation Tool) TRNSYS simülasyon programı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten bir sistem tasarlanmıştır. Edirne ilinde bulunan Trakya Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi için fotovoltaik paneller kullanılarak güneş enerjisinden elektrik üretiminin sağlanacağı bir sistemin tasarımı ve bu sistem için ekonomik durum tespiti yapılmıştır. Edirne İli için 1995 yılına ait hava verileri baz alınarak simülasyon yapılmıştır. Sistemde inverter ile beraber düzenlenmiş (photovoltaic) PV dizileri kullanılmıştır. Ayrıca sistemin geri ödeme süresi, kullanım süresince oluşan maliyet, ilk yatırım maliyeti ve panellerin eğim açılarının hesabı yapılmıştır. Kurulması planlanan sistemde 169 adet 100 W gücünde güneş paneli ve 13 adet 13 kW gücünde inverter kullanılmıştır. Güneş panellerinin optimum eğim açısı 33° olarak hesaplanmış ve yaz aylarındaki elektrik üretiminin kış aylarından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kampüsün şu andaki elektrik şebekesine bağımlı hali için 20 yıl süre zarfında maliyeti hesaplandığında, ilk kurulum masrafları olmamasına rağmen tasarlanan sistemden daha masraflı olduğu görülmektedir.

Özdemir (2013), yaptığı çalışmada Türkiye’de bulunan ve fotovoltaik enerji sistemlerinin uygun olduğu dört farklı bölge (Karaman, Denizli, Van, Niğde) seçilmiş ve bu bölgelere kurulacak olan sistemin büyüklüğünün her bölge için 10MW olacağı kabul edilmiş. Fotovoltaik enerji sistemlerinin Türkiye’ye uygulanabilirliğini değerlendirmek için güneş radyasyonu ve finansal yatırım teknikleri konusunda detaylı bir araştırma yapılmıştır. Seçilen alanların eğimli yüzeydeki güneş radyasyonu değerleri ve yıllık enerji üretim miktarları hesaplanmıştır. Bölgelerin radyasyon oranları ve ortalama güneşlenme saatleri baz alınarak, hesaplanan üretilebilecek enerji miktarını karşılamak için ne kadar panel gerektiği belirlenmiştir. Projeleri finansal açıdan değerlendirebilmek için, uygulanabilir temel bütçeleme teknikleri kullanılmıştır. Her bölge için toplam maliyet, yatırımın geri dönüş oranı ve geri ödeme zamanı hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi tahmininde bölgenin coğrafi özellikleri ve kullanılan teknolojinin verimlilik oranı göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre fotovoltaik bir enerji santrali kurmak için en uygun ilin Karaman olduğu görülmüştür. Ayrıca santralde kullanılacak güneş paneli teknolojisi incelendiğinde monokristal güneş panellerinin, polikristal güneş panellerine göre, ilk yatırım maliyeti karşılama süresinin daha kısa, verimlerinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Öztürk (2012), yaptığı çalışmada Erzincan şartlarında güneşlenme sürelerinin en verimsiz olduğu Ocak ve en verimli olduğu Temmuz aylarında yapılan ölçümlerle monokristal ve polikristal panellerin performansı incelenmiştir. Tasarlanan 45 W gücündeki sistemlerde monokristal modülün polikristal modüle göre verimli olduğu görülmüştür.

Turhan (2011), yaptığı çalışmada fotovoltaik modüllerin çeşitli şartlarda verimlerini ölçmek için İTÜ Enerji Enstitüsü çatısına bir deney sistemi kurulmuştur. Gerçek saha şartlarında Nisan ve Kasım ayları arasında 7 aylık veriler toplanmıştır. Alınan veriler sonucu sıcaklığın ve ışınımın panel verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ülkemizde üretilen veya ithal edilen ürünlerin bazılarında etiket değerlerinin saha performansı değerleri arasında farklılık olduğu görülmüştür. Standart test

koşullarında belirlenen panellerin verimi, yapılan deneyler sonucu elde edilen verimden fazla olduğu görülmüştür.

Keskin (2012), yaptığı çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinden seçilmiş 7 il için şebekeden bağımsız 5 kW gücündeki sistem için PVSYST 5.0 paket programı ile modellemeleri yapmıştır. FV sistemde kullanılan modüller incelendiğinde en yüksek verime tek kristal teknolojiye sahip modül, ardından polikristalli modül ve sonuncu olarak ise amorf silikon teknolojiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Eruz (2015), yaptığı çalışmada farklı özellikteki 3 güneş panelinin Karabük ilinin şartlarında verimlilik değerleri karşılaştırılmıştır. Panellerin verimleri gelen ışınım miktarları, akım, gerilim ve panellerin ışınım sonucu ürettiği güçler karşılaştırarak sonuca gidilmiştir. Monokristal panelin etiket verimi %15-18 arasında iken ölçümler sonrası %12-16 arası verim verdiği görülmüştür. Polikristal panelin etiket verimi %14-16 arası iken %21'e kadar yükseldiği tespit edilmiştir. **Thin** film güneş panelinin etiket verimi %7-14 arasında görünse de ölçümler sonrası %5'i geçmediği tespit edilmiştir. Karabük ili şartlarında verim oranları bakımından polikristal panel kullanımının cazip olduğu görülmüştür.

Okyay (2006), yaptığı çalışmada Dumlupınar Üniversitesi laboratuvar bahçesine 10 panelli bir güneş enerji sistemi kurulmuş ve güneşten gelen ışınım değerleri pyranometer sensörü ile ölçülmüştür. Işınım arttıkça panel veriminin de arttığı görülmüştür. Şarj denetleyicisinin verimi %91 olarak ölçülmüştür. Güneş panellerinin daha fazla güneş alması için Kütahya ilinin açı değeri 35 derece olarak belirlenmiştir.

Çağlayan *et al.* (2013), yaptıkları çalışmada (Renewable Energy Technology) RETSCREEN yazılımı ile Türkiye'nin 135 farklı bölgesi için 22 yıllık veriler kullanılarak (0.2, 0.5, 1, 3, 5, 10) MW kurulu güçlerinde şebekeye bağlı ve sabit, çift eksenli özelliklerine sahip olan PV santralleri incelemişlerdir. Çalışmada 50 W gücünde BP250F model BP Solar marka mono kristalli güneş panelleri ve %95

verimle çalışan inverterler kullanılmıştır. 200 kW kurulu gücündeki santral için 4.000 modüle ihtiyaç duyulmuş ve alanın 1.754,4 m² olduğu görülmüş, 10 MW kurulu gücündeki güneş santrali için ise 200.000 modül kullanılmış ve santral alanının 87.719,3 m² olduğu görülmüştür. Yıllık küresel güneş ışınımının minimum olduğu bölge 1,31 MWh/m² değeri ile Artvin, 2,05 MWh/m² değeri ile maksimum olduğu bölge Osmaniye olduğu görülmüştür. Artvin'de güneşlenme süresinin 4,98 saat ile minimum, Dalaman'da 8,28 saat ile maksimum olduğu görülmüştür. Yıllık elektrik üretimi 200 kW'lık santral için sabit sistemde 0,25 GWh/yıl ile 0,38 GWh/yıl arasında, çift eksenli sistemde 0,32 GWh/yıl ile 0,52 GWh/yıl arasında olduğu tespit edilmiştir. 5 MW'lık santral için sabit sistemde 6,35 GWh/yıl ile 9,49 GWh/yıl arasında, çift eksenli sistemde 8,09 GWh/yıl ile 13,09 GWh/yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir. 10 MW'lık santral için sabit sistemde 12,71 GWh/yıl ile 18,9 GWh/yıl arasında, çift eksenli sistemde 16,19 GWh/yıl ile 26,19 GWh/yıl arasında elektrik üretildiği görülmüştür. Yapılan çalışmalarda Osmaniye, Köyceğiz ve Dalaman'da uygulanacak fotovoltaik santrallerin diğer bölgelere göre daha elverişli olacağı görülmüştür.

EL-Shimy (2009), yaptığı çalışmada Mısır'da 29 farklı bölge için 10 MW kurulu gücündeki güneş enerji santralleri RETSCREEN yazılımı ile tekno-ekonomik açıdan incelenmiştir. Çalışmada monokristalli HIP-205BA3 tipi SANYO güneş panelleri kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu 205 W gücünde 48.781 adet modül kullanılacağı tespit edilmiştir. Toplam modül alanı ise 57.562 m² olarak belirlenmiştir. Santrallerde doğru akımı, alternatif akıma çevirmek için 4.750 kW nominal güç ve %95 verimli çalışan 2 adet özdeş inverter seçilmiştir. Yıllık küresel güneş radyasyonunun maksimum olduğu bölge 2.557 MWh/m² ile El Kosser, 1.752 MWh/m² değeri ile Sedi Baraany bölgesinde minimum olduğu görülmüştür. Yenilenebilir enerji üretiminin maksimum olduğu bölge 29.493 GWh/yıl ile Wahat Kharga, minimum olduğu bölge 24.202 GWh/yıl ile Safaga olduğu tespit edilmiştir. Santral kurulumunun net bugünkü değeri maksimum 144,3 milyon \$ ile Wahat Kharga iken, minimum değer 95,1 milyon \$ ile Safaga bölgesi olduğu görülmüştür.

Santrallerin ilk yatırım maliyetini karşılama süresinin en kısa olduğu bölge 4,9 yıl ile Wahat Kharga iken, en uzun 7,1 yıl ile Safaga bölgesi olduğu tespit edilmiştir.

Rehman *et al.* (2006), yaptığı çalışmada Suudi Arabistan'ın 41 farklı bölgesinde elektrik üretimi için 5 MW kurulu gücünde fotovoltaik temelli şebekeye bağlı güneş enerjisi santrali tekno-ekonomik açıdan incelenmiştir. Çalışmada enerji üretimi ve ekonomik değerlendirme için RETSCREEN yazılımı kullanılmıştır. Parametre olarak bölgelerin koordinatları, sıcaklık değerleri ve küresel güneş radyasyon değerleri kullanılmıştır. Çalışmada 90 W gücünde BP Solar/Solarex monokristal güneş panelleri kullanılmıştır. 5 MW kurulu gücünde fotovoltaik santral için 55.556 adet modül kullanılmıştır. 11.111 adet modül beş dizi olarak düzenlenmiştir. Her birimin kapsadığı toplam modül alanı 7.000 m² olarak bulunmuştur. Böylece tüm tesisin toplam PV modül alanı 35.000 m² olarak hesaplanmıştır. %95 verimle çalışan 4.750 kW nominal gücünde inverter seçilmiştir. Azimut açısı sıfır seçilmiş ve PV modüllerinin sabit olduğu, güneş izleme sistemlerinin olmadığı kabul edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu yıllık küresel güneş radyasyonu ortalama değeri 2,06 MWh/m², minimum değer Tabuk bölgesinde 1,63 MWh/m² olarak ölçülmüş, maksimum değer ise Bisha bölgesinde 2,56 MWh/m² olarak ölçülmüştür. Güneşlenme süreleri bölgeler arasında 7,4 ile 9,4 saatleri arasında değiştiği ve bir yıl içinde toplam 3.245 saat olduğu görülmüştür. Santralin yıllık ürettiği elektrik enerjisi ortalama 10.077 MWh/yıl, bölgeler arasındaki değişim 8.196 MWh/yıl ile 12.360 MWh/yıl şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Santralin kurulum maliyetinin 32 ve 74 milyon \$ arasında değiştiği, ortalama değeri ise 51.300.000 \$ olduğu görülmüştür. Bisha bölgesinde kurulacak bir fotovoltaik santralin diğer bölgelere göre daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, günümüz koşullarında güneş enerjisinden fotovoltaik paneller yardımı ile elektrik enerjisi üretiminin maliyeti incelenmiştir. Yatırımcılara yol gösterme amaçlı, güneş enerjisi simülasyon programı olan PVSYST programının 30 günlük deneme sürümü ile Erzincan ilinde kurulması planlanan 50 kW gücünde bir fotovoltaik güneş enerji santralinin gerekli hesaplamaları yapılmıştır.

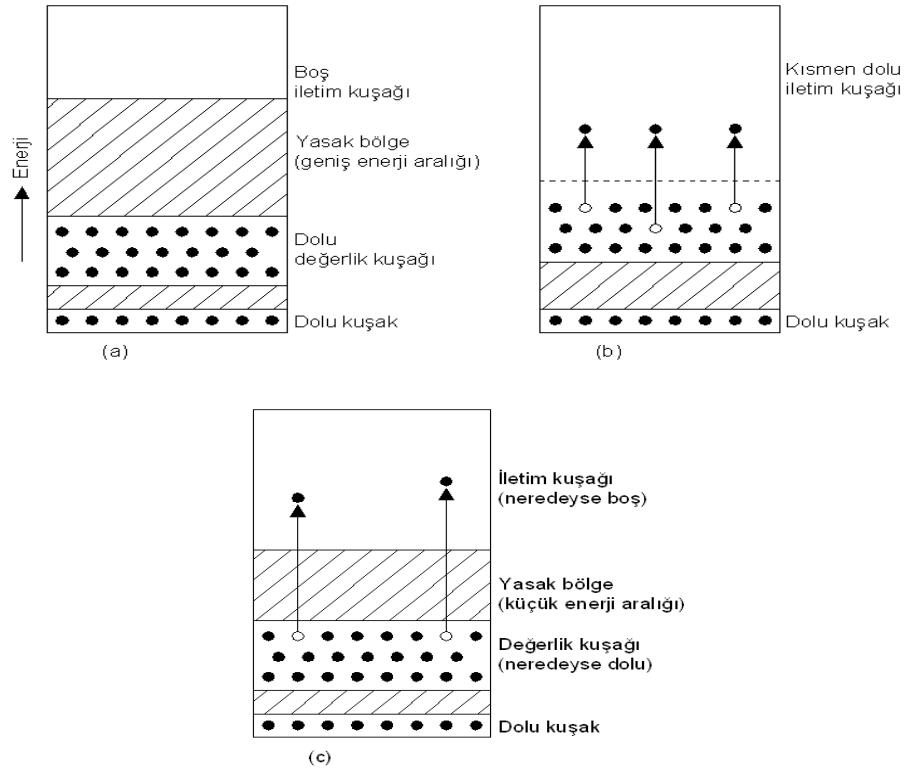
Yapılan çalışma kapsamında ayrıca bir araştırma projesi hazırlanarak, Erzincan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi'ne sunulmuştur. Projenin hazırlanması aşamasında, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynağı olan güneşten doğrudan elektrik enerjisi üretilmesinin Erzincan ili için maliyet analizi yapılarak fotovoltaik sistemin günümüz koşullarındaki durumu ele alınmış ve kurulması planlanan güneş enerjisi santralının fizibilite çalışması tamamlanmıştır. Projenin uygulanmasıyla, 50 kW gücünde bir fotovoltaik güneş enerji santralinin Erzincan ilinde kurulumu gerçekleştirilecektir. Bu çalışmanın kurulacak sisteme altyapı oluşturması amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Yarı İletkenler

Yarı iletken madde, elektrik iletkenliği olmayan fakat dışarıdan yapılacak olan müdahaleler ile iletken duruma geçebilecek maddelerdir. Yalıtkan olarak kabul edilmezler. Manyetik etki ve ışık gibi dış etkiler altında elektronlarını serbest bırakacak şekilde iletken hale geçerler.

Birden fazla elektron yörüngesine sahip olan atomlarda çekirdeğe en yakın elektronlar en az enerjiye sahip olduklarından, çekirdeğin çekimini yenip serbest hale geçebilmeleri için en yüksek enerji miktarına ihtiyaç duyarlar. Bir araya gelen atomlar, bağımsız olan atomların enerjisi ile uyarılıp, büyüklüklerince enerji kuşaklarında toplanırlar. Enerji kuşaklarının hepsinde enerji kaçıışı mümkün değildir. Yalnızca en dışta bulunan elektronlar ile diğer atomlar etkileşim yaşayabilir. Herhangi bir atomun elektronları ile etkileşime girecek diğer atomların elektronlarının bulunduğu kuşağa değerlilik kuşağı adı verilir. 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 kuşakta yer alan elektronların bazıları oldukça fazla enerji taşırlar. Elektronların taşıdığı bu enerji bir üst kuşağa atlamalarını sağlayabilir. Bu elektronlar ısı ve elektrik iletimini sağlayan elektronlardır, bu kuşak iletim kuşağı olarak adlandırılır. Şekil 2.1'de üç farklı malzemenin enerji kuşağı diyagramı verilmiştir.



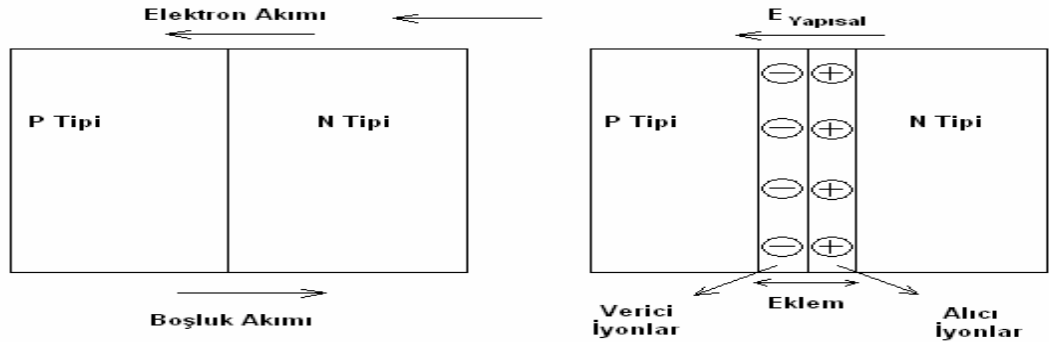
Şekil 2.1. Üç farklı malzemenin enerji kuşağı diyagramı (a) yalıtkan (b) iletken(metal) (c) yarı iletken

Değerlik aralıkları kısmen dolu olan maddeler orta seviyede kuşak aralıklarına sahiptir ve bunlara yarıiletken denir. 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 yarı iletkenler olarak ikiye ayrılır. Kendinden yarı iletkenlerde değerlik elektronları ısı ve ışıksal yöntemlerle uyarılabilir. Böylece bunlar iletim kuşağında, elektronların atomik bağ kurmadığı ve böylece serbestçe hareket edebildikleri daha dar bir enerji aralığına atlayabilir (Çolak, 2010; Kalogirou, 2009).

2.2. P-N Ekleminin Oluşturulması

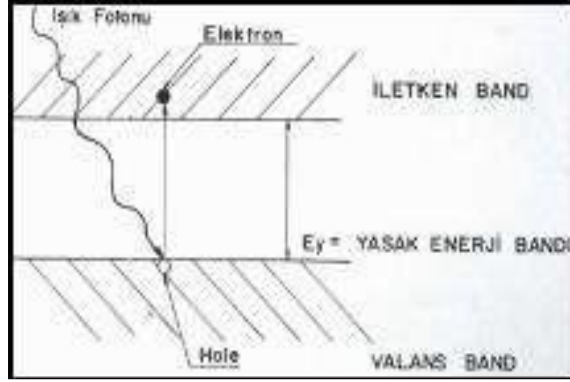
P veya N tipi malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile birlikte yarı iletken eklemler oluşturulur. P-N tipi yarı iletken maddeler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel olarak nötr durumdadır. Yani P tipinde negatif

enerji seviyeleri ile boşluk sayıları eşit, N tipinde ise pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları birbirine eşittir. P-N eklemi olduğu anda, N tipi maddedeki elektronlar, P tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. P-N tipi maddenin eklem bölgesinde, P bölgesi tarafından negatif verici iyonlar, N bölgesi tarafından pozitif alıcı iyonlar birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan, "yapısal elektrik alan" olarak adlandırılır. Yarı iletken eklemine güneş pili olarak çalışabilmesi için, eklem bölgesinde fotovoltaj dönüşümünün sağlanması gerekir. Bu fotovoltaj dönüşüm iki aşamada sağlanır. Şekil 2.2’de P-N eklemine oluşumu verilmiştir. İlk aşamada, eklem bölgesine ışık düşürülür ve elektron-boşluk çiftleri oluşturulur. İkinci aşamada ise, elektron-boşluk çiftleri bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirinden ayrılırlar (Okyay, 2006).



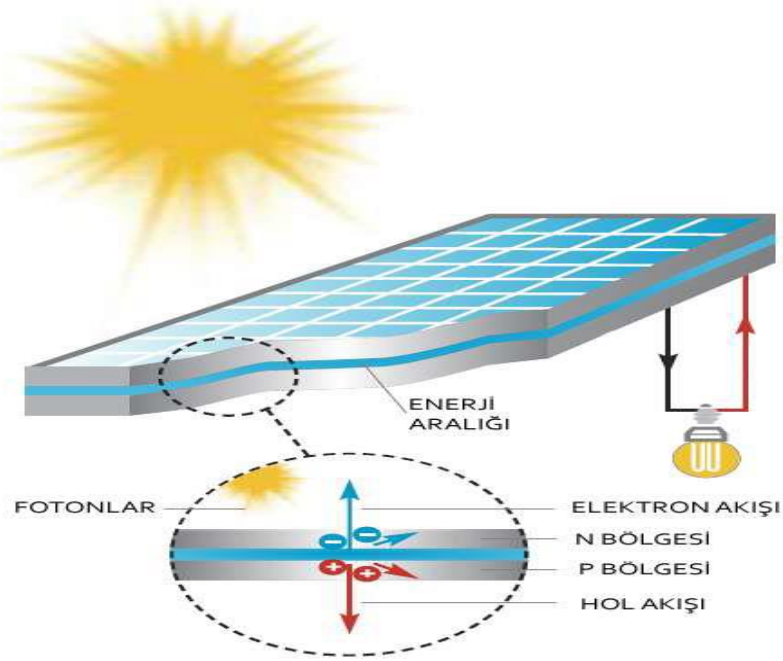
Şekil 2.2. P-N Eklemine Oluşturulması (Okyay, 2006)

2.3. Fotovoltaik Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi



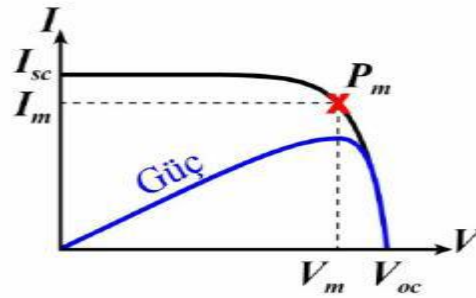
Şekil 2.3. Yarı iletken malzemelerde yasak enerji bandı (e.i.e., 2015)

Şekil 2.3’de yarı iletken malzemelerin elektron- hol çifti oluşumu gösterilmiştir. Yarı iletkenler, yasak enerji aralığı ile birbirinden ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu iki bant valans bandı ve iletkenlik bandı olarak adlandırılır. Yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından emildiği zaman, enerjisini valans bandındaki bir elektrona verir ve elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, P-N eklemine ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-hol çiftleri burada meydana gelen elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları n bölgesine doğru, holleri ise p bölgesine doğru iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında faydalı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç tekrar bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarı iletkenlerin iç kısımlarında da, fotonlar tarafından elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Ancak gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar (e.i.e., 2015). Şekil 2.4’de fotovoltaik güneş pillerinin çalışma prensibini anlatan gösterim yer almaktadır.



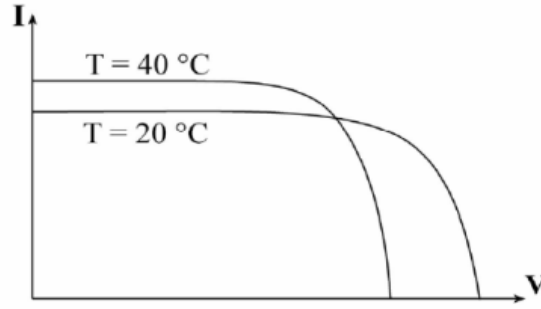
Şekil 2.4. Fotovoltaik çalışma prensibi (EPIA, 2011)

2.4. Fotovoltaik Modüllerin Temel Karakteristikleri



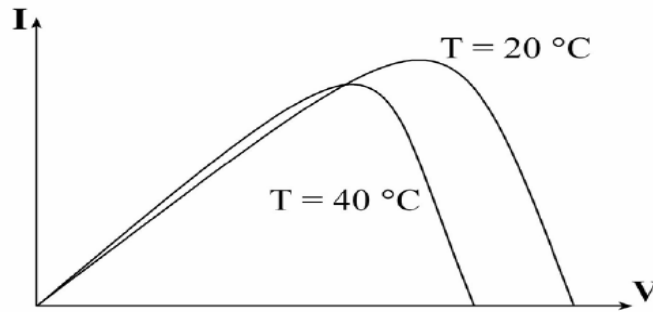
Şekil 2.5. Güneş pillerinin akım gerilim karakteristikleri (Turhan, 2011; Barutçu, 2009)

Burada V_{oc} açık devre gerilimini, I_{sc} kısa devre akımını, P_M maksimum güç noktasını, I_M maksimum güç noktasındaki akımı, V_M maksimum güç noktası gerilimini ifade etmektedir. Şekil 2.5’de gücün, akım ve gerilimle değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Modülerin farklı yüzey sıcaklıklarda akım-gerilim değişimleri
(Turhan, 2011; Barutçu, 2009)

Güneş pilleri sıcaktan direkt olarak etkilenmektedir. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi akım-gerilim değerleri sıcaklık artışına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bunun sonucunda akım ve gerilimin bir fonksiyonu olan çıkış gücünde bir azalma da görülmektedir.



Şekil 2.7. Güneş pillerinin üretim güçlerinin sıcaklıkla değişimi
(Turhan, 2011; Barutçu, 2009)

2.5. Güneş Pili Çeşitleri

Günümüzdeki güneş pili teknolojisi, sürekli gelişme göstermektedir. Fotovoltaik pillerin yapımında kullanılan malzemeler güneş pillerinin hem ekonomik, hem de yüksek verimli olması açısından büyük önem taşımaktadır.

Fotovoltaik güneş pili üretiminde dünya genelinde kristal-silikon teknolojisi en çok ilgi gören teknoloji durumundadır. Ancak yapılan araştırmalar bu teknolojiye

alternatif olabilecek yeni üretim teknikleri ve materyaller bulma yolunda ilerlemektedir. Thin-Film (ince-film) teknolojisinin ince tabakalar halinde olması ve kullanım alanlarının oldukça çeşitli olması gibi etkiler bu konuda yapılan araştırmaları artırmaktadır. Ayrıca maliyeti düşürmek için organik güneş pili teknolojilerine yönelik olan çalışmalar hızlanmıştır (Koç vd. 2007).

Fotovoltaik güneş pili üretiminde kullanılan başlıca malzemeler şunlardır;

- Kristal nesne: Kristal silisyum, galyum arsenik (GaAs).
- İnce film nesne: Amorf silisyum, kadmiyum sülfür (CdS), kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum diselenoid ($CuInSe_2$) (Küpeli, 2005).

Elektronik sanayisinde çok önemli bir rol oynayan silisyum (Si), güneş pili üretiminde en çok kullanılan materyaldir. Elektriksel ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve üretim teknolojisindeki büyük başarılar silisyumun, en popüler malzeme olarak öne çıkmasını sağlamıştır. Oksijenden sonra yer-yüzünde en çok bulunan element olan silisyumun, doğada en yaygın bulunan biçimi kum (SiO_2) ve kuartzdır. Saflık derecesi düşük olan kum kullanılmaya uygun değildir. Fakat kuartz elementinin %90 'ı silisyumdur. Kuartz elementi işlenerek %99 seviyelerinde silika elde edilir. Daha sonra silikadan silisyum elde edilir (Oktik, 2001).

Kristal büyütme işleminde kullanılan yöntemler: kimyasal buharlaştırma, Czochralski, yüzdürme ve kesme yöntemleridir. Silisyum kristalinde katkı maddesi olarak kullanılan atomlar: Galyum (Ga), arsenik (As), bor (B), fosfor (P) ve alüminyumdur (Köse, 1986).

Tek kristalli ve çok kristalli güneş pilleri, verimlilikleri ile 1950'li yıllardan itibaren kendilerini kanıtlamışlardır. Yakın geçmişte geliştirilen teknolojiler ile güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme verimlilikleri, beklentilerin bile çok üzerinde seyretmektedir. Tek kristal şeklinde üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari güneş pillerinde ise %15 'in üzerinde verim elde edilmektedir.

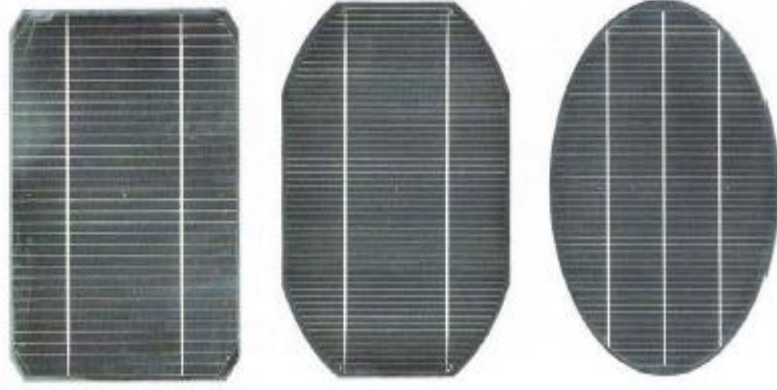
Çok kristalli (Polikristal) silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, fakat verimlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.. Polikristal Silisyum güneş pillerinin verimi %18, ticari güneş modüllerinde ise %14 civarındadır (Küpeli, 2005).

Günümüz piyasasında çalışmaların oldukça büyük bölümünün monokristal silisyum malzeme üretimine yönelik olması, teknolojik olarak monokristal malzeme üretim olanaklarının gelişmiş olması sonucunu doğurmuştur. Ancak yüksek verim elde edilmesini sağlayacak sistemlerin araştırma ve geliştirme çalışmaları halen sürdürülmektedir.

2.5.1. Monokristal (Tek Kristalli) güneş pilleri

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

Monokristal silikon üretiminde “Czochralski Metodu” olarak bilinen üretim yöntemi kullanılmaktadır. 1971 yılında geliştirilen bu yöntemde Czochralski, küçük bir aşı 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 0,3 cm çapında ve birkaç metre boyunda silikon silindirler oluşturularak dairesel ya da dikdörtgen ya da çokgen şeklinde pahalı olarak 0,2-0,3 mm 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. Şekil 2.8’de farklı geometrilere sahip monokristal güneş pilleri, Şekil 2.9’da ise monokristal bir güneş paneli örneği verilmiştir. Mono kristal pillerin yapıları homojendir ve renkleri karakteristik olarak koyu mavi-siyah aralığındadır (Çolak, 2010).



Şekil 2.8. Farklı geometrilere sahip tek kristalli (monokristal) silisyum güneş pilleri (Koryürek, 2008)

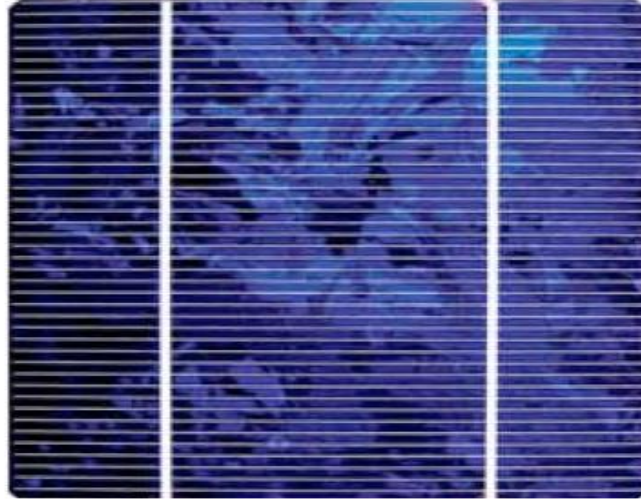


Şekil 2.9. Tek kristalli (Monokristal) güneş paneli (Öztürk, 2012)

2.5.2. Polikristal güneş pilleri

Polikristal silisyum üretiminde en fazla tercih edilen yöntem dökme demirdir. Monokristal silisyumda hazırlanan başlangıç malzemesi gibi polikristal başlangıç malzemesi de aynı şekilde hazırlanır. Aradığımız saflık derecesi de benzer basamakta olmalıdır. Erimiş durumdaki yarıiletken silisyum malzeme kalıplara dökülerek soğumaya bırakılır. Bu işlemlerden sonra elde edilen yapı bloklara ayrılır ve kare şeklinde kesilir. Bu teknoloji ile üretilen malzemelerden elde edilen güneş pillerinin verimleri ve maliyetleri düşük olmaktadır (Oktik, 2001). Bununla birlikte birkaç milimetre tanecik büyüklüğündeki polikristal silisyumdan, verimi %14 'ün üzerinde olan güneş pilleri yapılabilmektedir (Engin, 1995).

Polikristal malzemelerde, damarların kristal yapılarının bir birlerine göre yönlenmeleri dışında elektriksel ve yapısal özellikleri monokristal pillerle aynıdır. Polikristal malzemelerinin elektriksel özellikleri, küçülen damar büyüklüğü ile orantılı olarak bozulması, elde edilebilecek verimliliğin monokristal malzemelerle karşılaştırıldığında küçük olmasına sebep olur. Fakat polikristal silisyum üretim teknolojileri daha düşük enerji gerektirir ve kolaydır. Sonuç olarak, çok kristalli silisyumun maliyeti, tek kristalli silisyumun maliyetine göre oldukça düşüktür (Küpeli, 2005). Şekil 2.10’da polikristal yapılı güneş pili örneği verilmiştir.



Şekil 2.10. Çok kristalli (Polikristal) güneş pili (Çolak, 2010)

2.5.3. Galyum arsenik güneş pilleri

Galyum ve arsenik elementlerinden oluşan Galyum arsenik (GaAs), polikristal bir yapıya sahiptir. GaAs güneş pilleri hem elektrik, hem de termal enerji elde etmek üzere iki amaç için kullanılır. Bu durum Fresnel merceklerinin arkasına uygun olarak yerleştirilmiş GaAs güneş pil panelleri ile sağlanır. Bu paneller su ile soğutulurak 120 °C ve 140 °C arasında sıcak su buharı elde edilir ve klima cihazları çalıştırılır (Küpeli, 2005; Köse, 1986). GaAs güneş pilleri ile ticari modüllerde %22, laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir.

Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemli GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir (e.i.e., 2016).

2.5.4. İnce film güneş modülleri

Güneş pili imalatında kullanılan malzemelerin ve işçiliğin azaltılması, teknolojinin daha basite indirgenerek maliyetlerinin düşürülmesi yönünde yapılan araştırma çalışmaları, yarı-iletken malzemenin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanması yöntemi ile birlikte çekici bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Bu konu ile alakalı yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları ile birlikte güneş pili üretiminde kullanılacak olan birçok yarı-iletken malzemenin düşük maliyetlerde cam, metal ya da plastik folyo gibi tabakalar üzerinde geniş yüzeylere kaplanabileceğini göstermiştir. İnce film fotovoltaik malzemeler genellikle polikristalli malzemelerdir. Optiksel özellikleri uygun şekilde seçilen herhangi bir yarı iletken malzemede milimetrenin binde biri kadar kalınlık içerisinde güneş ışınlarının tümüne yakın kısmı soğurulabilir. Dolayısıyla, ince film fotovoltaik malzemelerde kalınlık, silisyum üzerinde yapılan pillere göre daha azdır. Ayrıca ince-film, yarı-iletkenler istenildiği biçimde çok farklı bir malzeme üzerinde ve geniş yüzeylere kaplanabilir, ancak silisyum piller büyütümüş kristal boyutları ile sınırlıdır. İnce-film güneş pilleri arasında üç büyük aday öne çıkmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanır, amorf silisyum, kadmiyum tellür ve bakır, indiyum, selenyum elementlerinin aralığı olan bakır indiyum-diselenid bileşik yarı-iletkenidir (unienerji, 2016).

2.6. Güneş pillerinde verim

Bir güneş pilinin verimi, onun kalitesinin göstergesi olarak çok önemlidir. Yani bir güneş pilinin verimi ne kadar yüksek olursa, pil o derece kaliteli olur (Köse, 1986). Pilin kaliteli olması ise, kullanım alanlarının yaygınlığı ve kullanıcı kitlesinin fazlalığı ile doğru orantılıdır. Güneş pillerinin çıkış güçleri; diğer dönüşüm sistemleri ile karşılaştırıldığında, daha düşüktür. Yüksek bir çıkış gücü elde

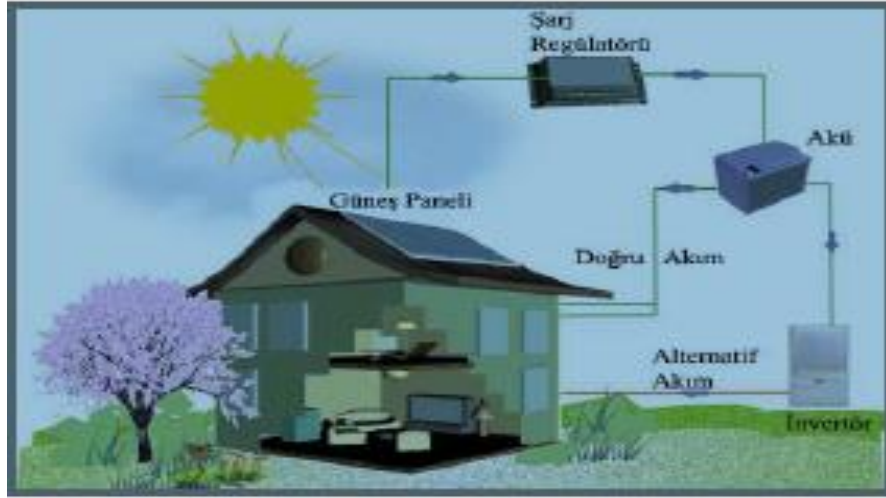
edebilmek için güneş pilleri birbirlerine seri ve paralel bağlanarak, güneş pili modülleri ve panelleri ile güneş pili sistemleri kurulmaktadır. Bunun dışında bilim adamları; güneş pillerinin verimini arttırmak amacıyla yaptıkları çalışmalarla, güneş pili teknolojisindeki gelişmelere her geçen gün bir yenisini eklemektedirler. Bir güneş pilinden sağlanan maksimum gücün, pil üzerine gelen maksimum güce oranına güneş pilinin verimi denir ve η simgesi ile gösterilir. Güneş pilinin maksimum güç çıkışı P_m ve optik giriş gücü (atmosfer dışında birim alana düşen güneş enerjisi şiddetidir) P_{in} olmak üzere güneş pillerinin verimi; $\eta = P_{in} / P_m$ bağıntısı ile elde edilir (Demirci, 1996).

2.7. Güneş Pilleri İle Elektrik Üreten Sistemler

Kurulum alanındaki koşullar ve yatırımcıların tercihleri ışığında farklı sistem tasarımları türetilmektedir. Bunlar, (1) şebekeden bağımsız sistemler, (2) şebekeye bağlı sistemler ve (3) hibrid sistemler olarak sınıflandırılmaktadır.

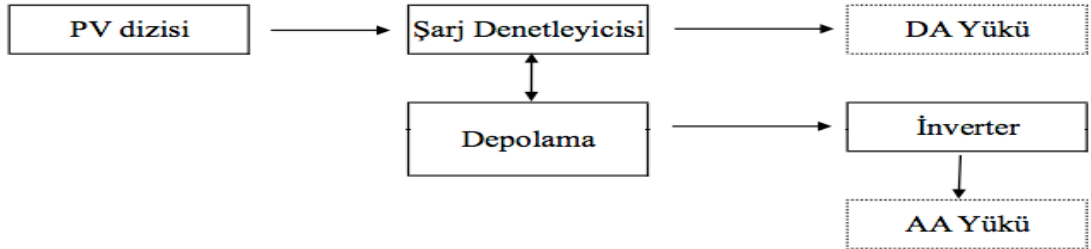
2.7.1 Şebekeden bağımsız (Off-Grid) fotovoltaik güç sistemleri

Şebekeden bağımsız PV güç sistemleri genellikle elektrik dağıtım şebekesine erişimi olmayan ya da elektriğin çok kısıtlı olduğu bölgeler için kullanılır. Bu tür sistemler elektrik şebekesinden bağımsız çalıştığı için üretilen elektrik enerjisi depolama ünitelerinde yani akülerde depolanır. Bağımsız PV sistemler genellikle fotovoltaik paneller, şarj kontrol ünitesi, akülerden oluşur. Akülerde depolanan enerji doğru akım (DC) ile çalışan cihazları besleyecek ise herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanıma sunulabilir. Ancak çalıştırılmak istenen cihazlar şebeke elektriğine uygun olan alternatif akım (AC) ile çalışıyor ise bir inverter vasıtası ile doğru akım alternatif akıma dönüştürülür. Şekil 2.11.'de şebekeden bağımsız bir fotovoltaik güç sistemi örneği verilmiştir.



Şekil 2.11. Şebekeden bağımsız PV sistem örneği (Ortaçtepe, 2011)

Bağımsız PV sistemlerin şematik gösterimi ise Şekil 2.12’de verilmiştir. Burada ki şemadan da anlaşılacağı üzere bu sistemler ile aynı anda hem alternatif akım hem de doğru akım tüketiciler beslenebilmektedir.



Şekil 2.12. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerin şematik gösterimi (Çolak, 2010)

Fotovoltaik sistemlerin şebekeden bağımsız (off-grid) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır;

- i. Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- ii. Metal yapıların (köprüler, kuleler vb.) korozyondan korunması
- iii. Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan ölçümler, hava gözlem istasyonları

- iv. Bina içi ya da dışı aydınlatma
- v. Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- vi. Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- vii. Orman gözetleme kuleleri
- viii. Deniz fenerleri
- ix. İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- x. Deprem ve hava gözlem istasyonları
- xi. İlaç ve aşı soğutma

2.7.2 Şebekeye bağlı fotovoltaik güç sistemleri

Şebekeye bağlı fotovoltaik güç sistemleri; yüksek güçte santraller şeklinde olabileceği gibi, binalarda küçük güçlü kullanım şeklinde de uygulanabilir. Bu tür fotovoltaik sistemler akülere ihtiyaç duymazlar.

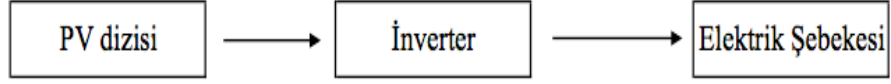
Şebekeye bağımlı sistemlerde kullanılan inverter; şebekeden yüke, fotovoltaik örgüden yüke ve örgüden şebeke ağına akan elektriği, şebekenin AC dalga formuyla uyum sağlayacak şekilde düzenlemek zorundadırlar (Çetinkaya, 2001). Şebekeye bağımlı fotovoltaik sistemler iki başlık altında ele alınabilir: Bunlardan birincisi, şebekeye bağımlı fotovoltaik güç santralleridir. İkincisi ise, şebekeye bağımlı evsel fotovoltaik güç sistemleridir.

2.7.3 Şebekeye bağımlı fotovoltaik güç santralleri

Güçleri, 10 kW ile onlarca MW arasında değişen fotovoltaik sistemler olup, çoğunlukla yerel enerji gereksinimlerine destek olmak üzere kurulmuşlardır.

Doğrudan şebekeye bağlı PV sistemlerinde, PV grubu doğrudan yüke bağlanmıştır. Arada herhangi bir depolama elemanı olmadığından ancak güneş ışınları panele

geldiğinde sistem güç üretebilmektedir. Doğrudan şebekeye bağlı PV sistemlerinin şematik çizimi Şekil 2.13’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Şebekeye bağlı fotovoltaik güç santrallerinin şematik gösterimi

2.7.4. Şebekeye bağlı evsel fotovoltaik güç sistemleri

Son dönemlerde yaygın hale gelen bu sistemlerden tipik olarak 1 kW ile 50 kW arasında güç elde edilebilmektedir. Kullanıcıların, binanın çatı ve yüzeylerine yerleştirdikleri bu sistemlerde, çift yönlü sayaç uygulaması kullanılmaktadır. Bu şekilde bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken; üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır (Oktik, 2001).

Elektrik tüketiminin gün içerisinde en yoğun kullanım değerlerine ulaştığı göz önüne alınırsa, şebekeye bağlı sistemlerin kullanımının yaygınlaşması, hem şebeke elektriğine binen yükü azaltacak hem de üretilen fazla enerji şebekeye satıldığında, şebeke elektriğinin dağıtımını rahatlatacaktır. Şekil 2.14’de on-grid fotovoltaik güç sisteminin örneği verilmiştir.



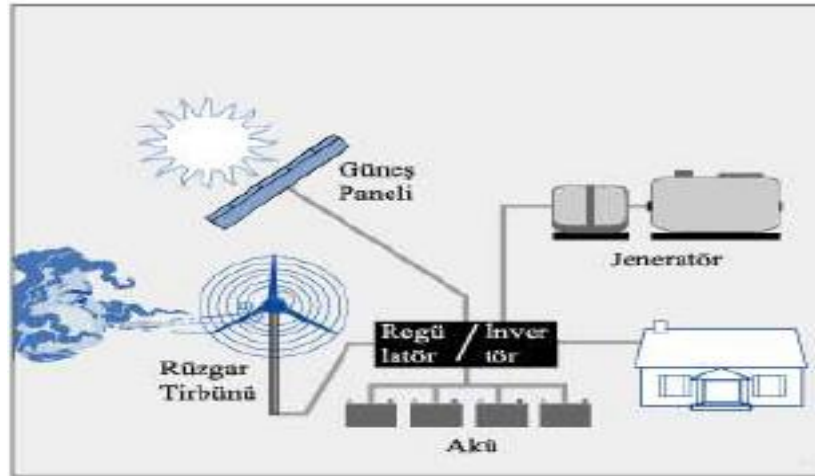
Şekil 2.14. Şebekeye bağlı evsel fotovoltaik güç sistemi örneği

Şebekeye bağlı sistemlerin avantajları şunlardır:

- i. Sistemin ürettiği ihtiyaç fazlası enerji şebekeye satılabilir.
- ii. Sistemin kapasitesi artırılabilir.
- iii. Sistemde meydana gelebilecek herhangi bir arızada şebeke anında devreye girecektir ve enerji kesintisi yaşanmayacaktır.
- iv. İlk üretim maliyeti şebeke bağlantısız (off-grid) sisteme göre daha uygundur. Çünkü akü ve akü şarj denetleyicisi maliyete dâhil edilmeyecektir.

2.7.5.Hibrid sistemler

Hibrid sistemler fotovoltaik panellere ek olarak biokütle, rüzgâr ya da dizel jeneratörler gibi alternatif bir enerji kaynağı da eklenmektedir. Öncelikli elektrik üreticisinin fotovoltaik paneller olduğunu kabul edersek, diğer üretici sistem rüzgâr türbini olabileceği gibi yenilenemez enerji kaynağı kullanılan jeneratör de olabilir. Bu sistemlerin en büyük getirisi güneş olsun olmasın, her zaman enerji üretebilme kapasitesinin sağlanmasıdır. Şekil 2.15’de hibrid bir güneş pili sisteminin tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Hibrid güneş pili sistemi tasarımı (Boztepe, 2009)

2.8. Güneş Pili Sistemlerinde Kullanılan Ekipmanlar

Güneş pili sistemleri uygulamanın özelliğine göre oluşturulur. Şebeke bağlantılı bir sistem fotovoltaiik paneller, inverterler ve çift yönlü sayaçlardan oluşurlar. Şebeke bağlantısız (off-grid) sistemlerde ise ek olarak akü ve akü şarj regülatörü dahil edilir.

2.8.1. Güneş panelleri

Bir güneş pili sisteminin en önemli elemanı olan güneş panelleri, güneş enerjisini doğru akım elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu paneller ihtiyaç duyulduğu miktarda kullanılarak güneş pili sistemi oluşturulur. Tipik bir güneş paneli güneşli bir havada saatte 200 W'ın üstünde elektrik üretebilir. Elde edilen gerilimi artırmak için paneller seri olarak, akımı artırmak için ise paralel olarak bağlanabilirler. Bunun sonucunda güneş paneli dizisi elde edilir. Elektrik enerjisi ihtiyacına göre panel sayısı belirlenerek kurulum gerçekleştirilir. Şekil 2.16'da fotovoltaiik bir dizi örneği verilmiştir.



Şekil 2.16. PV dizi

2.8.2. İnverterler

PV sistemlerdeki PV paneller DC güç üretirler. Üretilen DC gücü evlerde/iş yerlerinde AC güç tüketen cihazlara bağlayabilmek için, 220 V 50 Hz'lik AC güce

çevirmek gerekir. Bu DC gücü AC güce dönüştüren elektronik cihazlar evirici (inverter) olarak adlandırılırlar. Sistemin bir anda ne kadarlık güce ihtiyaç duyacağına, sistemin şebekeye bağlı olup olmayacağına göre kullanılacak evirici tipi ve boyutu değişeceğinden, sistem maliyeti de değişecektir.

Piyasada kare dalga, sinüs dalga ve modüle edilmiş sinüs dalga üreten, elektrikli cihazların ilk çalışma anlarında yüksek akım çekmesi durumunu karşılama oranları birbirinden farklı olan verimleri birbirinden farklı olan inverter tipleri mevcuttur. Bu nedenle, evirici seçiminde yukarıda belirtilen özelliklere dikkat etmek gerekir. İnverterlerin verimleri tipine göre genelde %90'dan fazladır (Keskin, 2012).

2.8.3 Solar kablolar

FV sistem tasarımında göz önünde bulundurulması gereken bir bileşen de kablolardır. Sistemin kablolaması yapılırken, sistemde enerji kaybının en alt düzeyde olması ve ileride olası elektrik kaçağı, yangın gibi durumlarla karşılaşılması için, kabloların dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Kabloların yeterli güvenlik şartlarını sağlaması için yayınlanmış ulusal ve uluslararası standartlar mevcuttur. PV sistemlerde üretilen DC elektrik, kablolarla eviriciye kadar gelir ve eviriciden (inverter) binanın elektrik şebekesine verilir. PV sistemlerde kullanılacak kabloların güneş ışığına dayanımının olması gerekir. Kablolar seçilirken içinden geçecek akıma göre bir hesaplama yapılır.

2.8.4. Çift yönlü sayaç

Çift yönlü sayaç, şebekeye verilen elektrik ile tüketim için şebekeden alınan elektriği kayıt altına alır, daha sonra mahsuplaşma yöntemi ile karşılaştırılır ve ay sonunda gelen elektrik faturası buna göre belirlenir. Ticari sistemlerde ise satılan elektriği hesaplar.

2.8.5.Uzaktan izleme ünitesi

Güneş panelleri tarafından üretilen enerji verileri, inverterlere bağlı modem tarafından GPRS ya da GSM network kullanılarak bir bilgisayara aktarılır. Kullanılan gerekli programlar ile aktarılan verileri toplanır ve kayıt altına alınır. Bu program sayesinde anlık, günlük, aylık, yıllık olarak üretilen enerji miktarı kişiye özel formatta görüntülenebilir. İstenildiği takdirde anlık/günlük/aylık/yıllık olarak üretilen enerji miktarı ile birlikte engellenen sera gazı emisyon miktarı, bölgeye gelen radyasyon değeri, modül sıcaklığı, rüzgar hızı gibi değerler de bilgisayar/internet sitesi/LCD televizyon/panoya aktarılarak topluma açık hale getirilebilir.

2.8.6. Akü

Güneş ışınımının yetersiz olduğu günlerde, özellikle geceleri kullanılmak üzere sistemde akü bulundurulur. Güneş panelleri, gün boyunca elektrik üreterek bunu akülerde depolar. Şebekeden bağımsız PV sistemlerde akü, üretilen elektriğin depolanmasını ve sonradan kullanılmasını sağlayan ünedir.

PV sistemlerde kullanılması gereken akü adedi belirlenirken, güneş panellerinden hiç elektrik akımı üretilmemesine rağmen, gereksinim duyulan güç miktarının aküler tarafından karşılanabilmesi dikkate alınır. Bu değere akü otonomisi denir.

Akünün yükleme ve boşalma hızları, çekilen veya gönderilen akım miktarına ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişir. Akülerin çalışması için en uygun sıcaklık aralığı 16-26 °C'dir (Karataş, 2012; Öztürk, 2008).

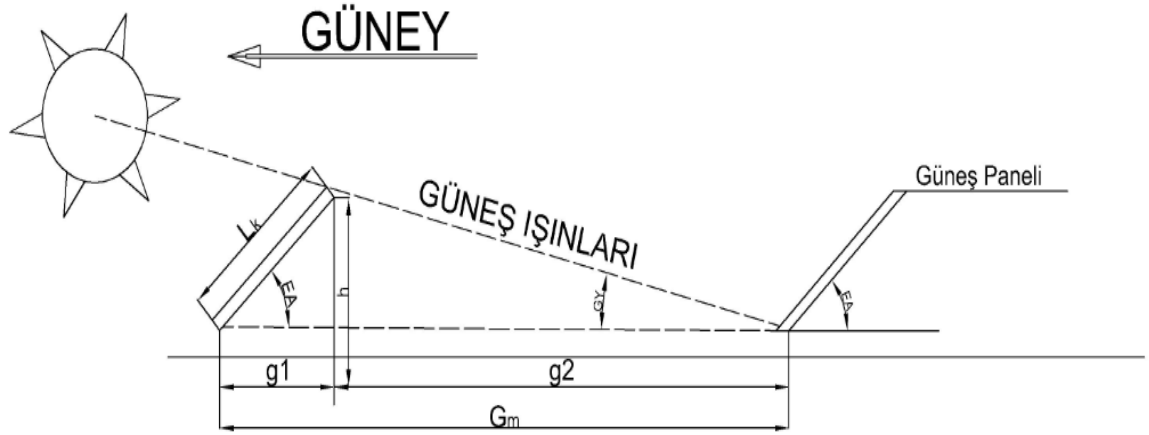
2.8.7. Akü şarj regülatörü

Akü şarj regülatörünün fotovoltaik sistemdeki temel görevi, gece ve güneş ışınımının yetersiz olduğu gündüz sürelerinde, panel geriliminin, akü geriliminin altına düştüğü durumlarda, akımın ters yönde, yani aküden panele doğru akmasını önlemektir (Karataş, 2012; Öztürk, 2008).

2.9. Bir Fotovoltaik Santral İçin Gerekli Hesaplamalar

Bu bölümde, hesaplamalardan bahsedilirken, önce panellerdeki toplam radyasyon, daha sonra da üretilen elektrik miktarı hesaplanır.

Paneller arasındaki mesafe ölçüsü hesabı;



Şekil 2.17. Dizi halinde yerleştirilmiş güneş panelleri (Abuşka, 2014)

Birbirini takip eden güneş panelleri arasındaki mesafe G_M olarak ifade edilir (Şekil 2.17) ve

$$G_m = g_1 + g_2 \quad (2.1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada güneş panelinin eğim doğrultusu ölçüsü ise L_K ile ifade edilir. EA güneş panelinin yatayla yaptığı açı, g_1 önde bulunan güneş panelinin yatay mesafesidir ve

$$g_1 : L_K \times \cos(EA) \quad (2.2)$$

eşitliği ile hesaplanır. g_2 , güneş panellerinin en yakın uç noktalarının yatay mesafesidir ve

$$g_2 : h / \tan(GY) \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanır. Burada h, açısı ayarlanmış güneş panelinin yüksekliği, GY ise Dizi halindeki panellerin güneşi direkt görmeye başladıkları güneş yükseklik açısıdır.

$$h : L_k \times \sin(EA) \quad (2.4)$$

$$G_m : L_k \times \cos(EA) + L_k \times \sin(EA) / \tan(GY) \quad (2.5)$$

$$G_m : L_k [\sin(EA) / \tan(GY) + \cos(EA)] \quad (2.6)$$

eşitlikleri ile hesaplamalar yapılır (Abuşka, 2014).

Eğik Yüzeğe Gelen Toplam Işınım;

Eğik yüzeğe gelen toplam ışınım 3 bileşenden oluşur. Doğrudan (direkt) ışınım, yayılı (diffuse) ışınım ve yansıyan ışınımdır. Burada eğik yüzeğe gelen yayılı ışınım

$$I_{ey} = I_y \left[\frac{1 + \cos(s)}{2} \right] \quad (2.7)$$

denklemleri ile bulunur. I_y anlık ortalama yayılı ışınımı ifade eder. Eğik yüzeye gelen yansıyan ışınım

$$I_{ya} = I_t \times \rho \left[\frac{1 - \cos(s)}{2} \right] \quad (2.8)$$

eşitliği ile hesaplanır. I_t toplam ışınım, (ρ) yerin yansımaya katsayısı, s ise eğim açısı olarak ifade edilir. Güneş panellerinin eğik yüzeyine gelen toplam ışınım

$$I_{et} = R_d(I_t - I_y) + (I_y) \left[\frac{1 + \cos(s)}{2} \right] + (I_t) \times \rho \left[\frac{1 - \cos(s)}{2} \right] \quad (2.9)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada, $R_d = (I_t - I_y)$ terimi eğik yüzeye gelen direkt ışınım değeri olup, R_d doğrudan güneş ışınım faktörüdür ve

$$R_d = \frac{I_{ed}}{I_d} = \frac{\cos(\varphi - s) \cos\delta \cos\omega + \sin\delta \sin(\varphi - s)}{\cos\varphi \cos\delta \cos\omega + \sin\delta \sin\varphi} \quad (2.10)$$

denklemleri ile hesaplanır. δ denklinyasyon açısı, φ enlem açısı, ω saat açısını, I_d ise doğrudan ışınımı ifade etmektedir (Abuşka, 2013).

Bir Güneş Panelinden Üretilen Elektrik Enerjisi;

$$E_{PV} = N_p \cdot N_D \cdot A \cdot I_{et} \quad (2.11)$$

Burada N_p güneş panelinin verimini, N_D inverter verimini, A toplam güneş paneli alanını, ifade eder (Ortaçtepe, 2011).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Erzincan İlinde Kurulması Planlanan 50 kW Kurulu Gücüne Sahip Bir Fotovoltaik Güneş Enerji Santralının Fizibilite Detayları

Böylesi bir yatırımın yapılması kararının verilmesi için öncelikle iyi bir fizibilite çalışması yapılmalı ve ardından yatırım kararı tekrar gözden geçirilmelidir. Bu çalışmadaki amaç, belirlenen hedefler ve tespit edilen kısıtlar doğrultusunda Erzincan ilinde örnek olacak 50 kW kurulu gücünde şebeke bağlantılı bir güneş pili sisteminin tasarlanması ve yatırım maliyetinin tespit edilerek yatırımın geri dönüş süresinin tespit edilmesidir.

Öncelikle Erzincan Meteoroloji İşleri Müdürlüğü'nden 1975-2015 yılları arasındaki aylık ışınlam ve güneşlenme süreleri temin edilmiştir. Ardından bu yıllar arasındaki değerlerin ortalaması alınarak PVSYST isimli programa aktarılmıştır. Kurulacak olan şebeke bağlantılı güneş enerji santralının PVSYST adı verilen fotovoltaik yazılım programı aracılığıyla elde edilecek elektrik enerjisinin miktarı, birim maliyeti, santralin yatırım maliyetleri ve santralin ilk yatırım maliyetini karşılama süresi hesaplanacaktır.

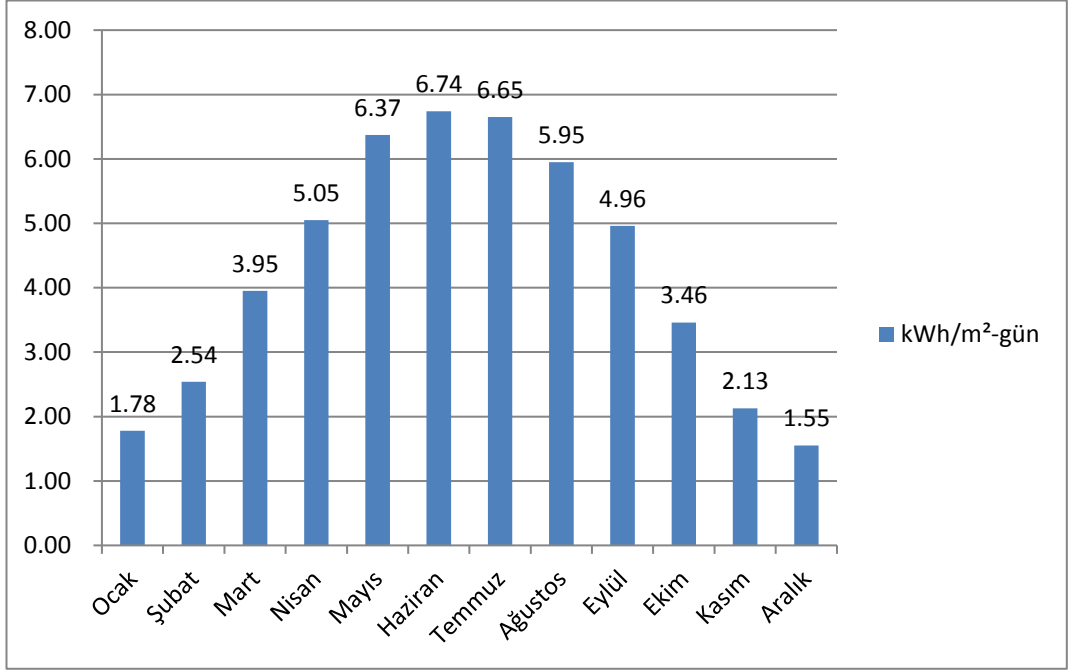
Şebeke bağlantılı sistemler, devlet teşviki ve satın alma garantisi eşliğinde gelecek yıllarda ülkemizde de yaygınlaşacak olup, bu gelişmenin temelleri ve elde edilecek sonuçlar bu çalışmada irdelenmiştir.



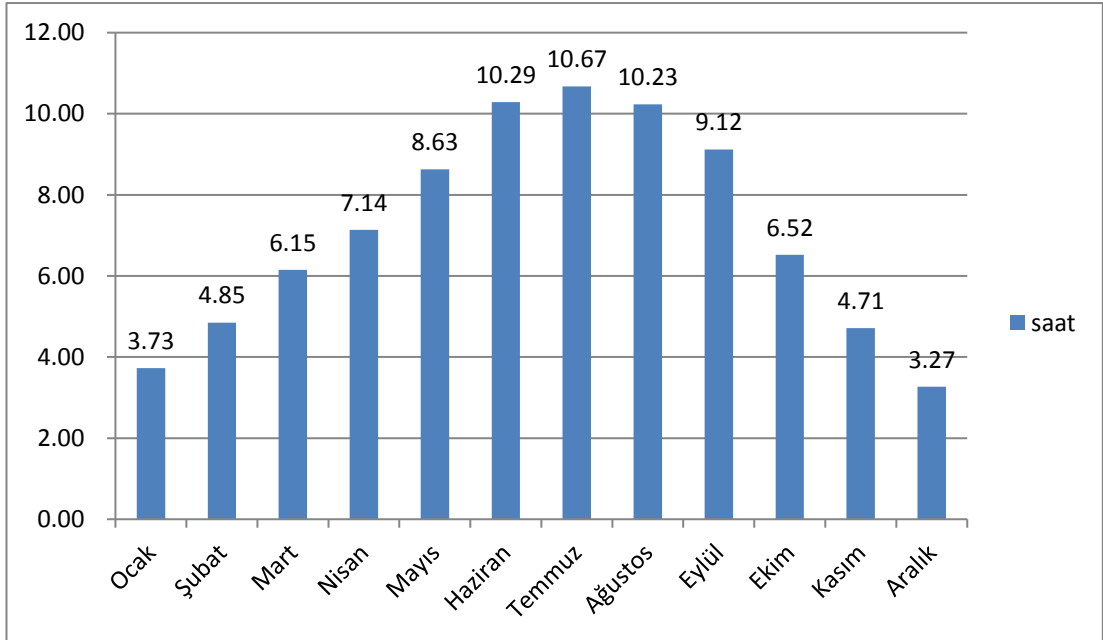
Şekil 3.1. Erzurum iline ait güneş enerjisi potansiyeli (e.i.e., 2016)

Şekil 3.1’de görüleceği üzere Erzurum ilinin güneş enerji potansiyeli iyi olabilecek seviyededir. Erzurum ilinin güneş enerji potansiyel atlasının yanı sıra günlük güneşlenme süresi ve günlük küresel radyasyon değerleri (ışınım) Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de verilmiştir.

Şekil 3.3’de güneşlenme süresinin en düşük olduğu ayın Aralık ayı, en yüksek olduğu ayın ise Temmuz olduğu görülmektedir. Haziran ile Eylül dönemindeki süreçlerde ise güneşlenme süresinin ortalama 10 saate yakın olduğu görülmektedir. Güneşlenme sürelerinin ışınım değerleriyle paralellik gösterdiği şekillerde görülmektedir.

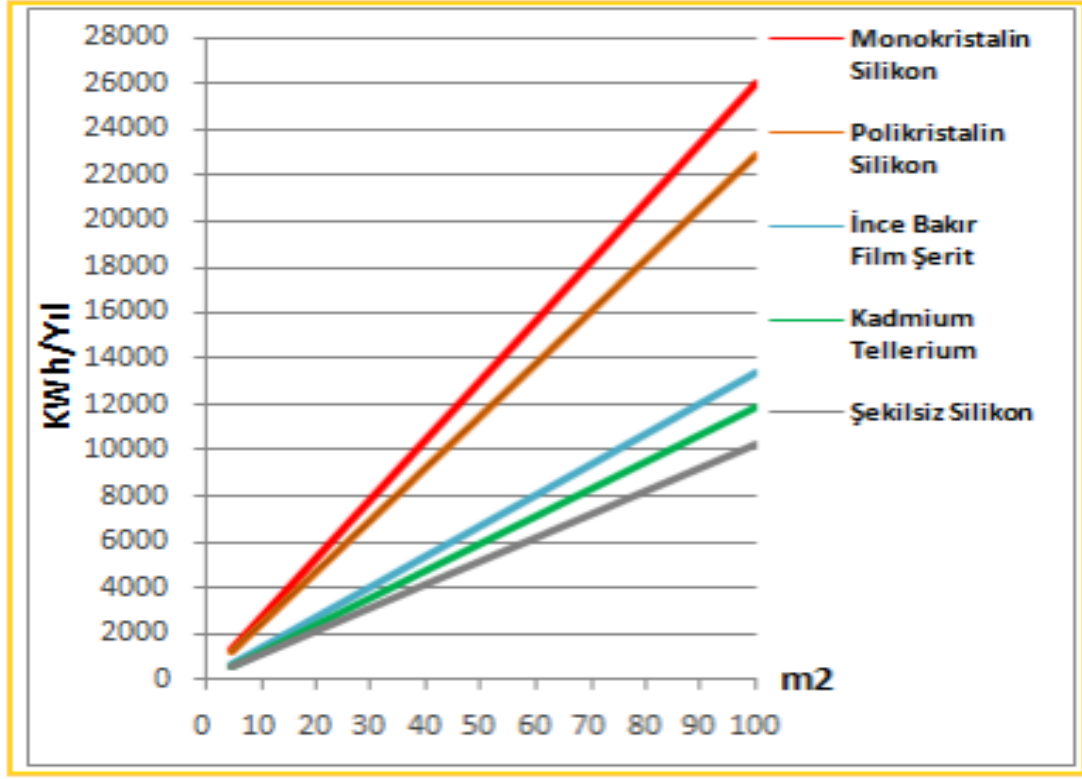


Şekil 3.2. Erzurum ili küresel radyasyon değerleri (e.i.e., 2016)



Şekil 3.3. Erzurum ili günlük ortalama güneşlenme süresi (e.i.e., 2016)

ERZİNCAN PV Tipi-Alan-Üretililecek Enerji (KWh-Yıl)



Şekil 3.4. Erzurum ilinde PV modülün cinsine göre m²'de üretililecek enerji (e.i.e., 2016)

Şekil 3.4'de Erzurum iline en uygun olan panel cinsi görülmektedir. Monokristal bir güneş enerji panelinde 100 m²'de yıllık üretililecek enerji 26.000 kWh iken polikristal bir panelde bu rakam 24.000 kWh değerinin altındadır. Erzurum iline en uygun fotovoltaik panel cinsinin monokristal panel olduğu görülmektedir. En az enerji üreten fotovoltaik panel cinsinin ise şekilsiz silikon olduğunu görüyoruz.

3.1.1. Kurulumda yapılacak kabuller

Tablo 3.1. GES kurulumunda yapılacak kabuller (Çolak, 2010)

Kabuller	
Ulaşım	Kurulumun yapılacağı alanın ulaşımına elverişli olduğu kabul edilmiştir
Sahanın Yapısı	Sahanın yapısının güneş santrali inşasına uygun olduğu kabul edilmiştir.
Gölgelenme	Arazide gölge yaratacak yapı ya da bitki örtüsü olmadığı kabul edilmiştir.
Arazi Bedeli	Arazinin, santrali yapacak şahsın kendisine ait olduğu kabul edilmiştir.
Sigorta Bedeli	50 kW kurulu gücündeki güneş enerji santralinin yıllık sigorta bedeli (Toplam Panel Maliyeti*%0,5)

3.1.2. Santralde kullanılacak panel ve inverter bilgileri

Tablo 3.2. Santralde kullanılacak panel ve inverter fiyatları (Cimo Mühendislik, Solar market)

Santralde Kullanılacak Panel ve Inverter	Üretici Firma ve Model	Nominal Güç	W Başına Birim Fiyat
Çok Kristalli Güneş Paneli	Suntech-STP 250-20 Wd	250 W	175 Dolar/W
İnverter	Refusol-10K	10 kW	7.200 TL (2.440 Dolar)/Adet

3.1.3. Santralin diğer maliyet kalemleri

Tablo 3.3. Santralde kullanılacak ekipmanlar ve diğer maliyetler (DBK Enerji)

Santralin Maliyet Kalemleri	1 Watt Birim Fiyatı (€)	50 kW Maliyeti (€)
Konstrüksiyon	0,07-0,08	3.500-4.000
Kablolama DC-AC	0,05-0,07	2.500-3.500
Koruma Ekipmanları	0,02-0,03	1.000-1.500
Trafo	0,02-0,03	1.000-1.500
İşçilik + Nakliyat	0,06-0,07	3.000-3.500
Diğer(Uzaktan İzleme, Sayaç, Trafo Kabini, Panolar, Tel Örgü, Betonlama vs.)	0,06-0,07	3.000-3.500

3.2. Erzincan İline Kurulacak 50 kW Kurulu Güce Sahip GES İçin Hesaplamalar

PVSYST programımızda Erzincan ilinin bilgileri bulunmamaktadır. Hesaplamalara başlamadan önce Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden Erzincan iline ait 1975-2015 yılları arasındaki küresel radyasyon değerleri temin edilmiş, 1950-2015 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değerleri Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinden alınarak PVSYST programımıza kaydedilecektir. PVSYST adı verilen program güneş enerjisi sistemleri hakkında kullanıcılara büyük kolaylıklar sunması amacıyla tasarlanmıştır. Program içeriğinde hem güneş enerjisi sistemleri ile ilgili genel bilgiler kullanıcıya verilerek ihtiyacının şekillenmesi hem de malzeme seçimi işlemlerinde kolaylıklar sağlanması, seçim işlemlerinde belirlenen malzemelerin uyumluluk kontrolü ve mali analiz işlemleri ile tasarımın genel karakteristiğinin görselleştirilmesi amaçlanmıştır.

3.2.1. Erzincan iline ait ışıınım ve sıcaklık değerlerinin ortalaması

Tablo 3.4. Erzincan ili ışıınım değerleri (Erzincan Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü)

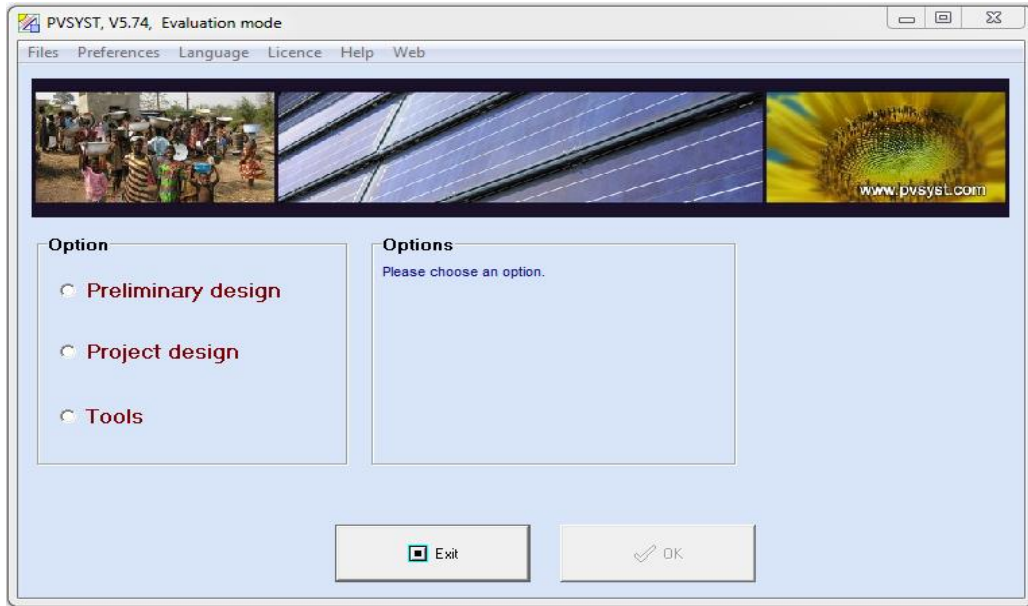
	Aylık Ortalama Günlük Toplam Global Güneşlenme Şiddeti (cal/cm ²)	Aylık Ortalama Günlük Toplam Global Güneşlenme Şiddeti (kWh/m ²)
OCAK	174,5	2,02
ŞUBAT	247	2,86
MART	332,7	3,86
NİSAN	389,8	4,52
MAYIS	462	5,36
HAZİRAN	542,3	6,29
TEMMUZ	541,3	6,27
AĞUSTOS	484,9	5,62
EYLÜL	405,2	4,70
EKİM	278,8	3,23
KASIM	189,3	2,19
ARALIK	147,3	1,71

Tablo 3.5. Erzincan ili ortalama sıcaklık değerleri (Erzincan Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü)

Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	
OCAK	-3
ŞUBAT	-1,2
MART	4,3
NİSAN	10,9
MAYIS	15,6
HAZİRAN	20,1
TEMMUZ	24,1
AĞUSTOS	24
EYLÜL	19,1
EKİM	12,2
KASIM	5,4
ARALIK	-0,1

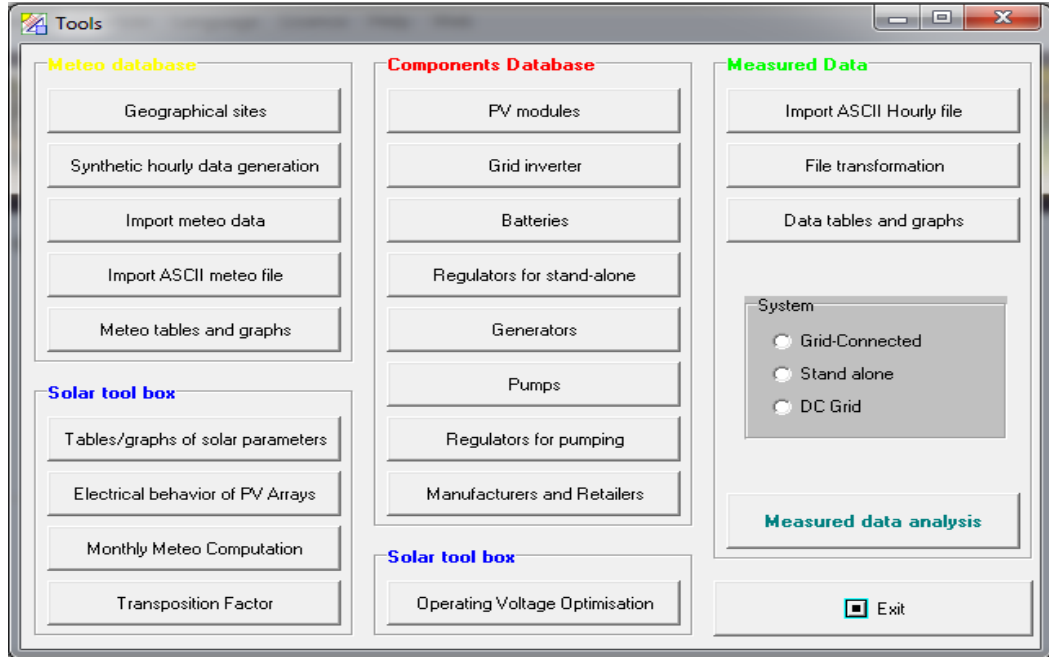
3.3. PVSYSY Programının Tanıtılması ve Gerekli Bilgilerin Girilmesi

PVSYSY programını çalıştırdığımız zaman giriş ekranı karşımıza gelir.



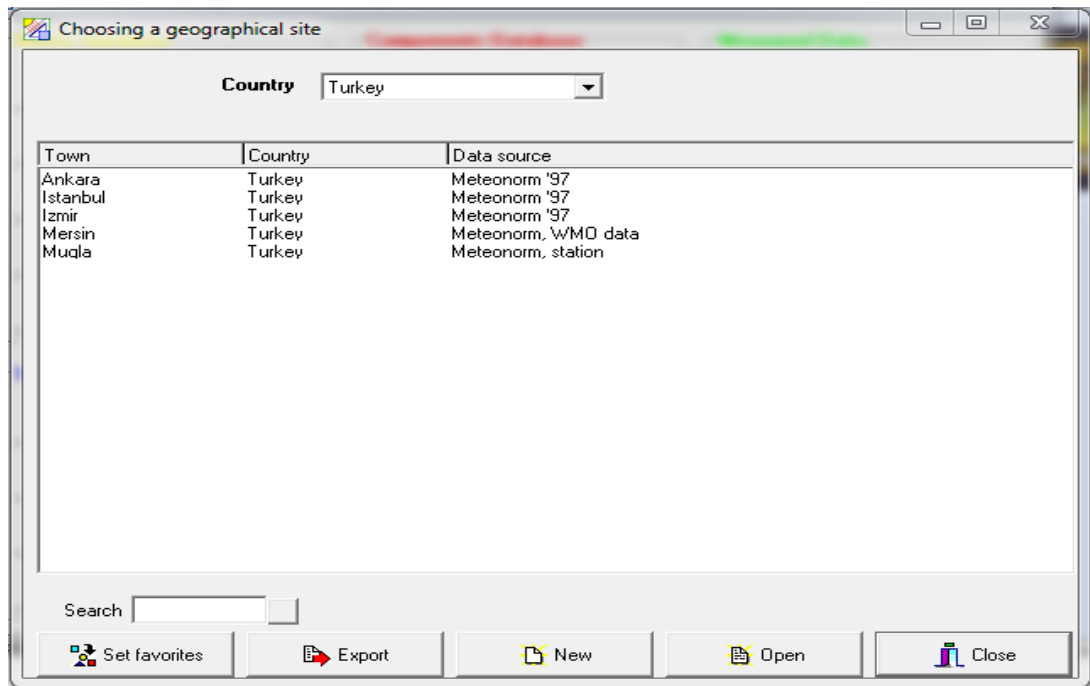
Şekil 3.5. PVSYSY programı giriş ekranı

Erzincan ilinin meteorolojik bilgileri programda kayıtlı olmadığı için öncelikle “tools” butonu işaretlenir. Karşımıza çıkan ekranda “meteo database” grubundan “geographical sites” butonu seçilir.



Şekil 3.6. Sistemdeki bilgilerin yüklü olduğu ekran

Erzincan ilinin kayıtlı olmadığını bu sayfada görülür ve değerlerimizi kaydetmek için “new” tuşuna basarak devam edilir.



Şekil 3.7. Yeni kaydın yapılacağı ekran

Geographical site parameters

Geographical Coordinates | Monthly meteo

Location

Site name

Country Region

Please define the site name.

Decimal Deg. min.

Latitude 0.00 0 0 (+ = North, - = South hemisph.)

Longitude 0.00 0 0 (+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude 0 M above sea level

Time zone 1 Corresponding to an average difference

Legal Time - Solar Time = 1h 0m

Sun paths

Print

New Site Export table Export line Import

Cancel OK

Şekil 3.8. İle özgü bilgilerin girileceği sayfa

“Geographical Coordinates” tuşuna basılarak Erzincan ilinin adı, hangi ülkede ve kıtada olduğu, enlem (latitude), boylam (longitude), yükseklik (altitude), Greenwich'e göre zaman dilimi (Time Zone) değerleri girilir ve “OK” tuşuna basılır.

Geographical site parameters

Geographical Coordinates | Monthly meteo

Location

Site name Erzincan

Country Turkey Region Europe

Decimal Deg. min.

Latitude 39.42 39 25 (+ = North, - = South hemisph.)

Longitude 39.31 39 19 (+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude 1218 M above sea level

Time zone 2 Corresponding to an average difference

Legal Time - Solar Time = 0h-36m

Sun paths

Print

New Site Export table Export line Import

Cancel OK

Şekil 3.9. Erzincan iline özgü bilgiler

“Monthly Meteo” tuşuna basarak ışınım ve ortalama sıcaklık değerlerinin girileceği ekran karşımıza gelir. Işınım değerleri ve ortalama sıcaklık değerleri girilerek “OK” tuşuna basılır ve devam edilir.

Geographical site parameters

Geographical Coordinates Monthly meteo

Site **Erzincan (Turkey)**

Data source

	Global Irrad. kWh/m ² .mth	Diffuse kWh/m ² .mth	Temper. °C	Wind Vel. m/s
January	0.0		0.0	
February	0.0		0.0	
March	0.0		0.0	
April	0.0		0.0	
May	0.0		0.0	
June	0.0		0.0	
July	0.0		0.0	
August	0.0		0.0	
September	0.0		0.0	
October	0.0		0.0	
November	0.0		0.0	
December	0.0		0.0	
Year	0.0		0.0	

Required Data

- Horizontal global irradiation
- Average Ext. Temperature

Extra data

- Horizontal diffuse irradiation
- Wind velocity

Irradiation units

- kWh/m².day
- kWh/m².mth
- MJ/m².day
- MJ/m².mth
- W/m²
- Clearness Index Kt

Default (from NASA-SEE)

Cancel OK

Şekil 3.10. İle özgü meteorolojik değerlerinin girileceği ekran

Geographical site parameters

Geographical Coordinates Monthly meteo

Site **Erzincan (Turkey)**

Data source

	Global Irrad. kWh/m ² .day	Diffuse kWh/m ² .day	Temper. °C	Wind Vel. m/s
January	2.02		-3.0	
February	2.86		-1.2	
March	3.86		4.3	
April	4.52		10.9	
May	5.36		15.6	
June	6.29		20.1	
July	6.27		24.1	
August	5.62		24.0	
September	4.70		19.1	
October	3.23		12.2	
November	2.19		5.4	
December	1.71		-0.1	
Year	4.06		11.0	

Required Data

Horizontal global irradiation

Average Ext. Temperature

Extra data

Horizontal diffuse irradiation

Wind velocity

Irradiation units

kWh/m².day

kWh/m².mth

MJ/m².day

MJ/m².mth

W/m²

Clearness Index Kt

Şekil 3.11. Erzincan iline özgü meteorolojik değerler

Gerekli bilgileri sisteme girip kaydettikten sonra tekrar PVSYS programının giriş ekranına geri dönülür. Bu ekrandan proje tasarımı yapacağımız için “project design” ve sistem ülke şebekesine bağlı olacağı için “grid-connected” seçenekleri işaretlenerek devam edilir. Önümüze gelen ekranda proje ile ilgili bilgileri girebilmek için “project” tuşuna tıklanarak devam edilir.

Project and Simulation version definitions

The Project includes mainly the geographic SITE definition, and the associated METEO hourly file

Project's designation

Project's name: ERZİNCAN GES TEZ Date: 24.05.2016

Customer: Phone:

Address: Fax:

City: Email:

Country:

Buttons: Cancel, New project, Load project, Site and Meteo

System Variant

A system version includes all Parameters required for a simulation, the Results of the simulation, and an eventual Economic Evaluation. Within a project, you may construct as many System versions as desired.

Variant n*: New simulation variant New Version

Back (Calculation)

Şekil 3.12. Proje ve simülasyon bilgilerinin girişi

Karşımıza gelen ekranda “site and meteo” sekmesi seçilir. Açılan sayfada Erzincan ili seçilir.

Project: Situation and Meteo

Geographical Location and Meteo

Country: Turkey Site: Erzincan Meteonorm: Meteonorm Open

Meteo File: erzincan_syn.met : Erzincan , Synthetic Hourly data Open

Special actions:

Meteo Site => Project Site Copy

Project Site => Synthetic meteo file Generate

Buttons: Back, Cancel, Next

Şekil 3.13. Yer bilgilerinin girişi ve ilgili meteonorm dosyasının seçimi

Üstteki “open” tuşundan “tolls” butonunda girdiğimiz bölgeye ait meteorolojik bilgilerin bulunduğu ekran gelir. Alttaki “open” tuşuna basıldığında bölgeye ait bilgilerin tablo ve grafiklerine ulaşılabilir. Ardından next tuşuna basılarak devam edilir. Bu sayfada karşımıza albedo değerlerinin girileceği ekran çıkar. Albedo, yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının yerden yansımalarının ölçüsüdür. Her yüzeyin albedo değeri farklıdır. Arazi ile ilgili net bilgi bulunmadığından ortak değer olan 0,2 seçilir ve devam edilir.

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:

(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

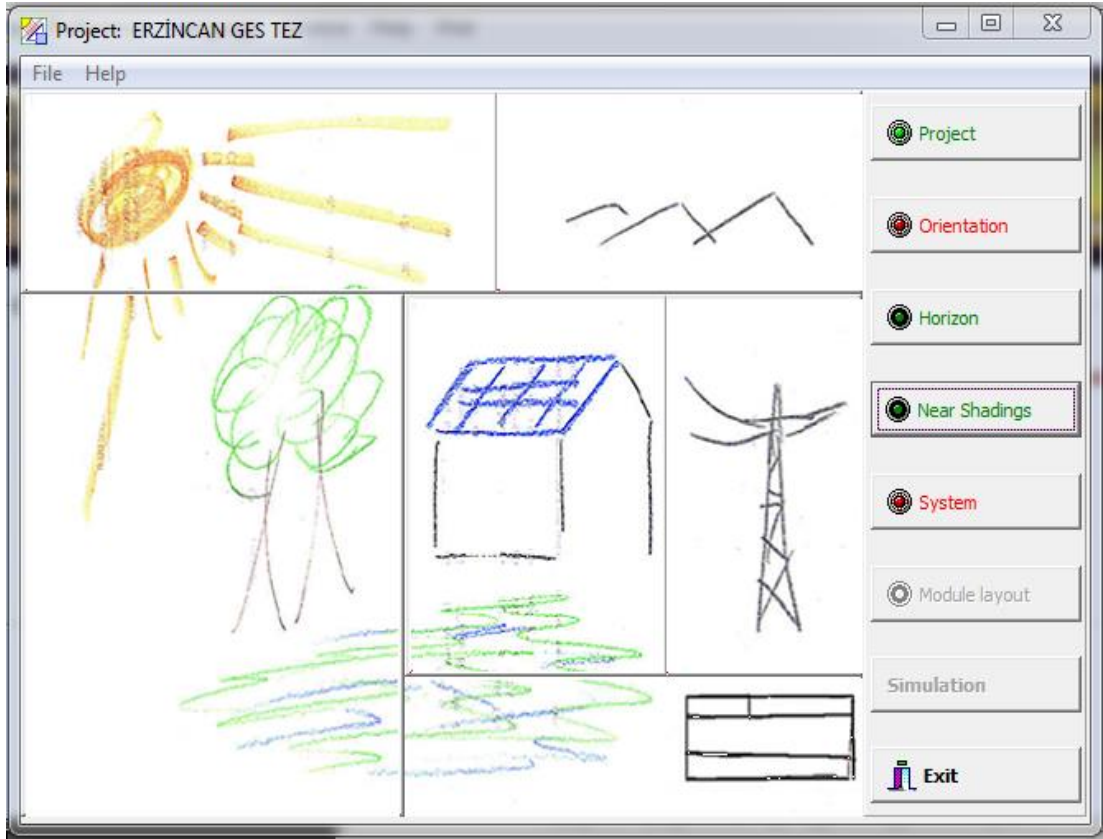
Site-dependent Design parameters

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

Lower temperature for VmaxAbs limit	-10	°C	<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"/>

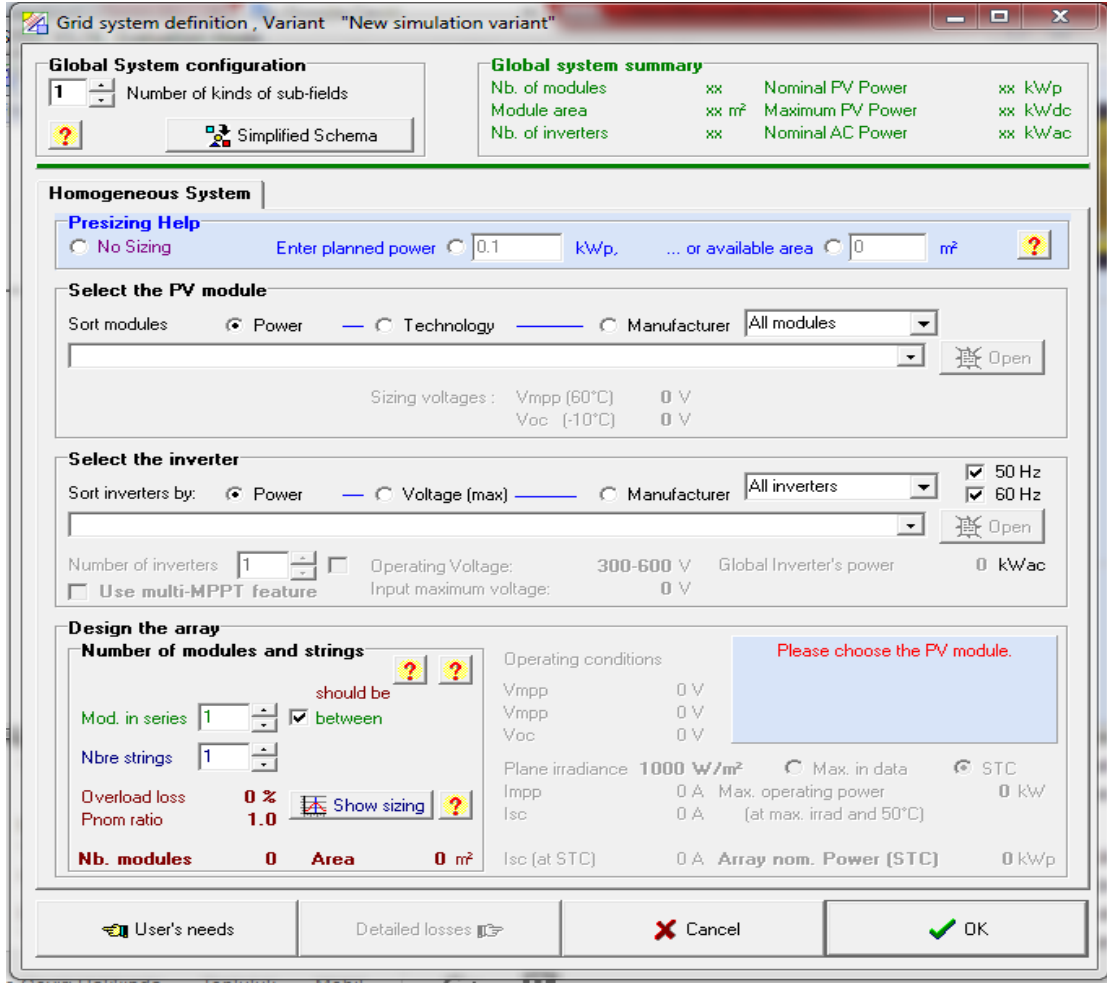
Şekil 3.14. Albedo değerlerinin seçimi

Daha sonra gelen proje kayıt ekranından proje adı verilir ve kaydedilir. Önümüze gelen proje ekranından, sistemimiz ülke elektrik şebekesine bağlı olduğu için ilgili seçeneğe (elektrik direği resmi) tıklanır.



Şekil 3.15. Sistem tipi seçimi (şebekeye bağlı)

“system” butonunu seçerek GES ile ilgili teknik bilgilerin girileceği sayfaya ulaşılır.



Şekil 3.16. GES teknik bilgilerinin girileceği ekran

Tasarımın yapacağımız GES tek başına çalışacak ve 1 adet olacağı için “number of kinds” 1 olarak seçilir. Daha sonra “enter planned power” bölümüne güneş enerji santralının nominal gücü girilir. Ardından “select PV module” kısmından daha önceden belirlenen nominal 250W güce sahip Suntech STP250-20Wd model PV panel seçilir. Seçim yapılır yapılmaz program gerekli panel adedi ve gerekli inverter gücünü hesaplayacaktır. “Select the inverter” alanından yine daha önceden belirlenen 10 kW nominal güce sahip Refusol-0010K modeli seçilir. Seçimlerimize göre sistem panel adedini 200, inverter adedini ise 5 olarak hesaplamıştır. Toplam modül alanını 325 m², maksimum PV gücünü 48,7 kW, nominal AC gücünü ise 50 kW olarak hesaplamıştır.

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	200	Nominal PV Power	50.0 kWp
Module area	325 m ²	Maximum PV Power	48.7 kWdc
Nb. of inverters	5	Nominal AC Power	50.0 kWac

Homogeneous System

Presizing Help

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

Select the PV module

Sort modules: Power Technology Manufacturer All modules

250 Wp 26V Si-poly STP 250-20/Wd Suntech Suntech Europe

Approx. needed modules: 200 Sizing voltages: V_{mpp} (60°C) 25.6 V
V_{oc} (-10°C) 41.9 V

Select the inverter

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

10 kW 380 - 850 V 50/60 Hz RefuSol 10K REFUsol GmbH

Nb. of inverters: Operating Voltage: 380-850 V Global Inverter's power: 50.0 kWac
Input maximum voltage: 1000 V

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: should be between 15 and 23

Nbre strings: only possibility 10

Overload loss: 0.0%

Phom ratio: 1.00

Nb. modules: 200 Area: 325 m²

Operating conditions

V_{mpp} (60°C) 512 V
V_{mpp} (20°C) 627 V
V_{oc} (-10°C) 838 V

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

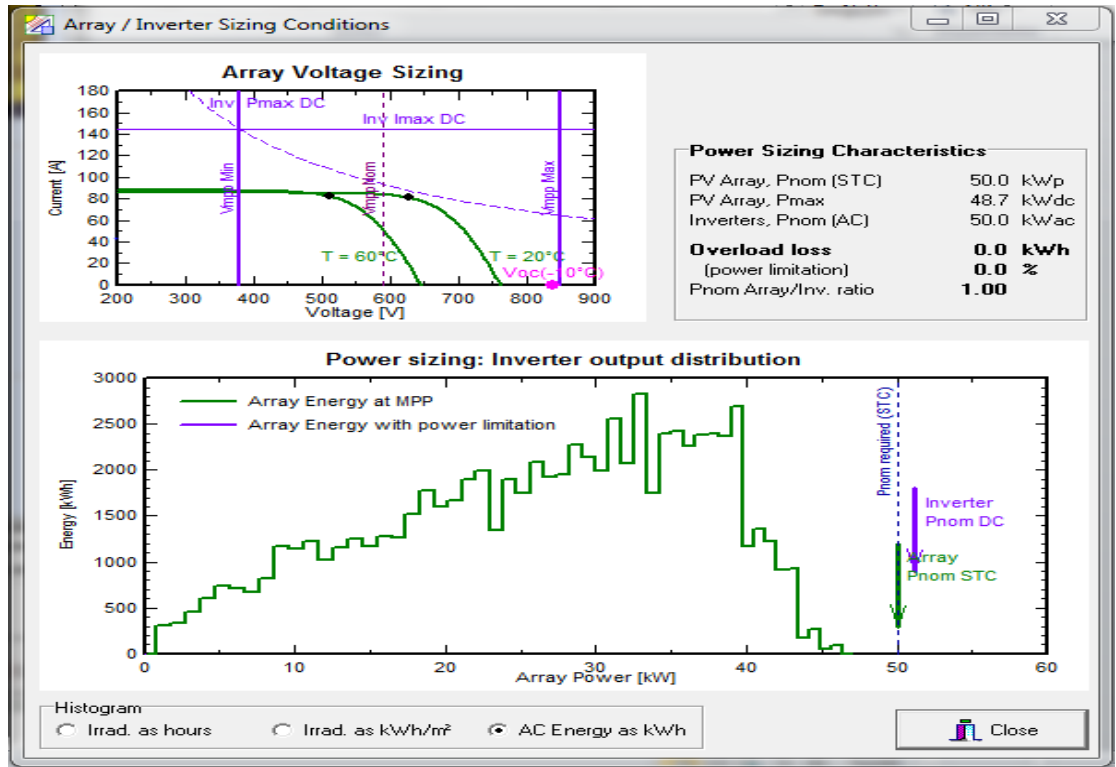
I_{mpp} (STC) 82.2 A Max. operating power: 44.5 kW
I_{sc} (STC) 87.7 A at 1000 W/m² and 50°C

I_{sc} (at STC) 86.3 A **Array nom. Power (STC) 50.0 kWp**

User's needs Detailed losses Cancel OK

Şekil 3.17. Seçimlerimizin ardından sistem teknik bilgileri

Sistem teknik bilgileri ekranından “show sizing” tuşuna tıklandığında ulaşılan ekrandan sistemin boyutlandırılmasına ait bilgilere ulaşılır. “Detailed losses” tuşuna basılarak da sistemin kayıp hesap koşulları görülebilir. “OK” tuşuna basılarak ana ekrana dönülür.



Şekil 3.18. 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 : 20.0 W/m²k

Wind loss factor U_v : 0.0 W/m²k / 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: 56 °C

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

NOCT definition:

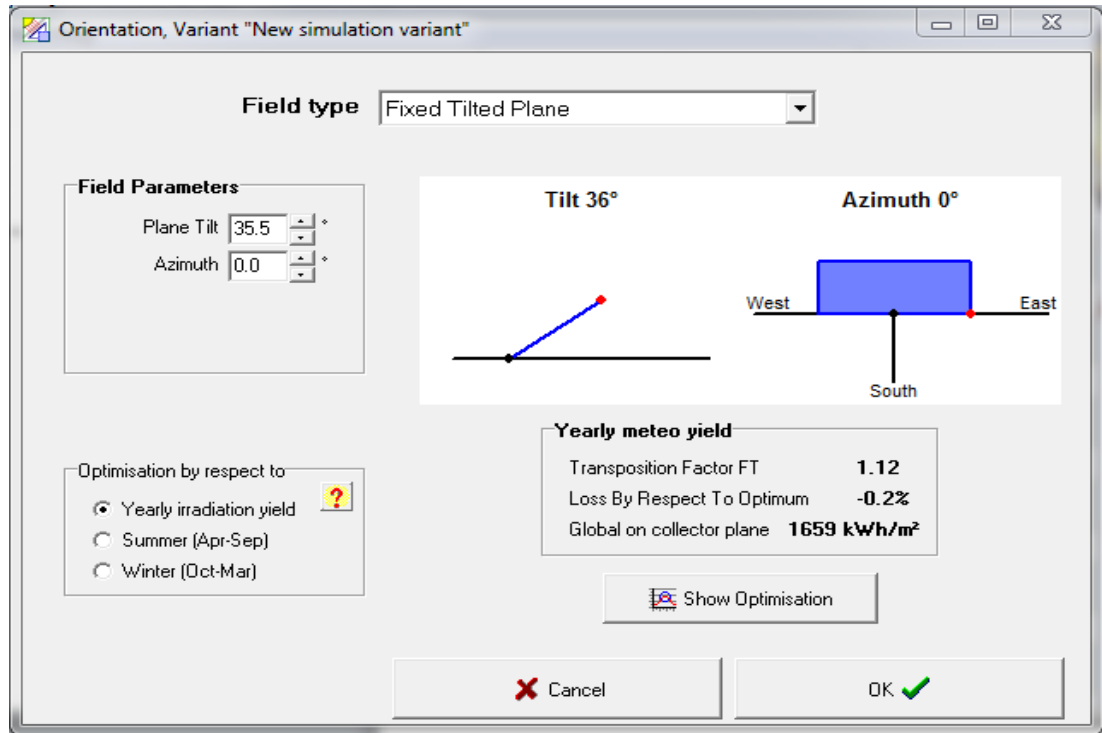
Open circuit (at V_{oc})

Loaded (at P_{mpp})

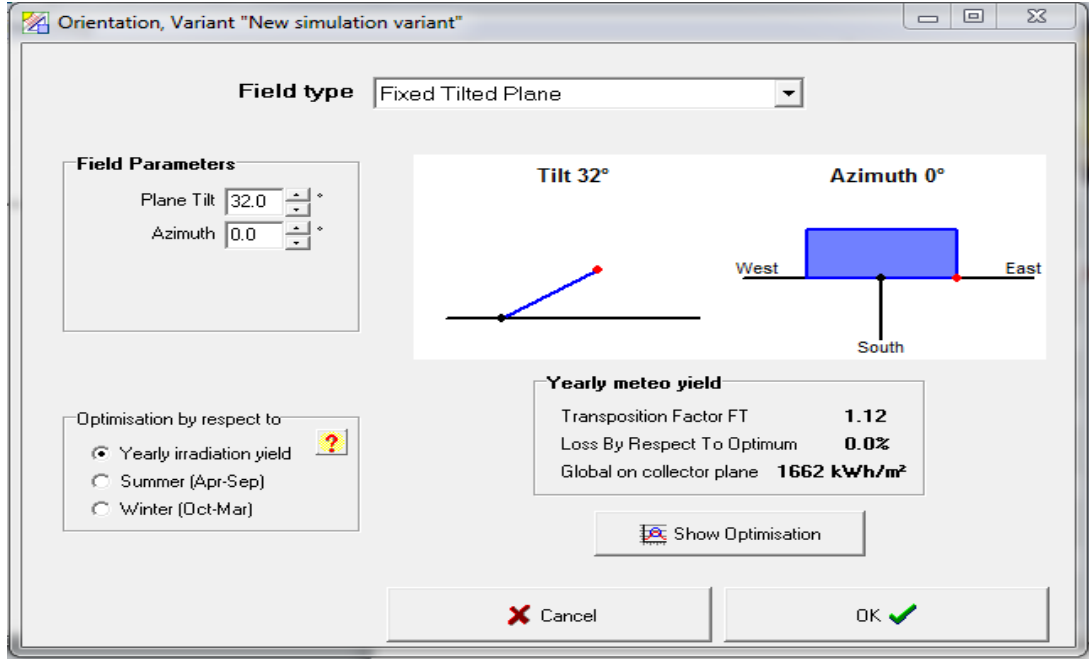
Buttons: Back, Losses graph, Cancel, OK

Şekil 3.19. Sistemin kayıpları

Ana ekrandan “orientation” tuşuna basılarak kurulacak panellerin montaj şekli, eğim açısı ve yüzey azimut açısı bilgileri girilir. Yüzey azimut açısı kuzey yarım kürede 0° olarak seçilir. Azimut açımız sıfırdan farklı seçildiği zaman performansın düştüğü görülmüştür. Güneş panellerinin yatayla oluşturduğu eğim açısı mevsimlere göre değişmektedir. Araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda optimum yıllık performansı yakalamak için güneş panellerinin yatayla oluşturduğu eğim yaklaşık $(0,9 \times \text{Enlem})$ şeklinde hesaplamıştır (Messenger, Ventre). Erzincan ili için eğim açısı $0,9 \times 39,42 = 35,5$ derece olarak hesaplanır. Fakat programda bu değer 32 derecelik değere göre daha düşük performans sağlamıştır. Bunun için eğim açısı değeri 32 derece olarak ayarlanır.

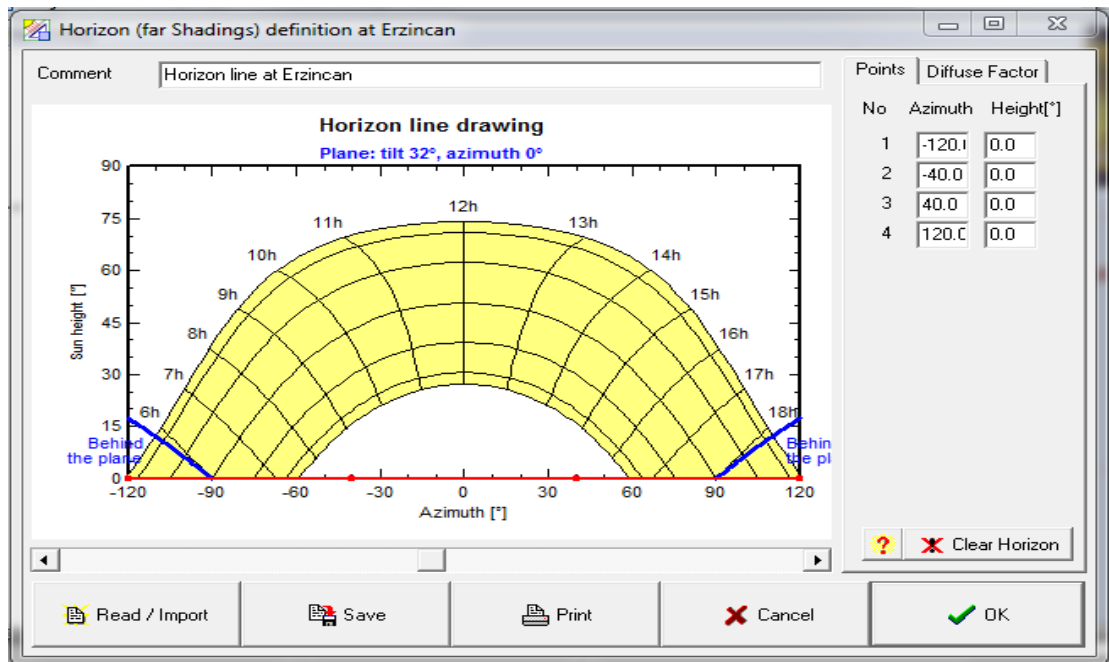


Şekil 3.20. Panel pozisyonuna ait parametreler (1)



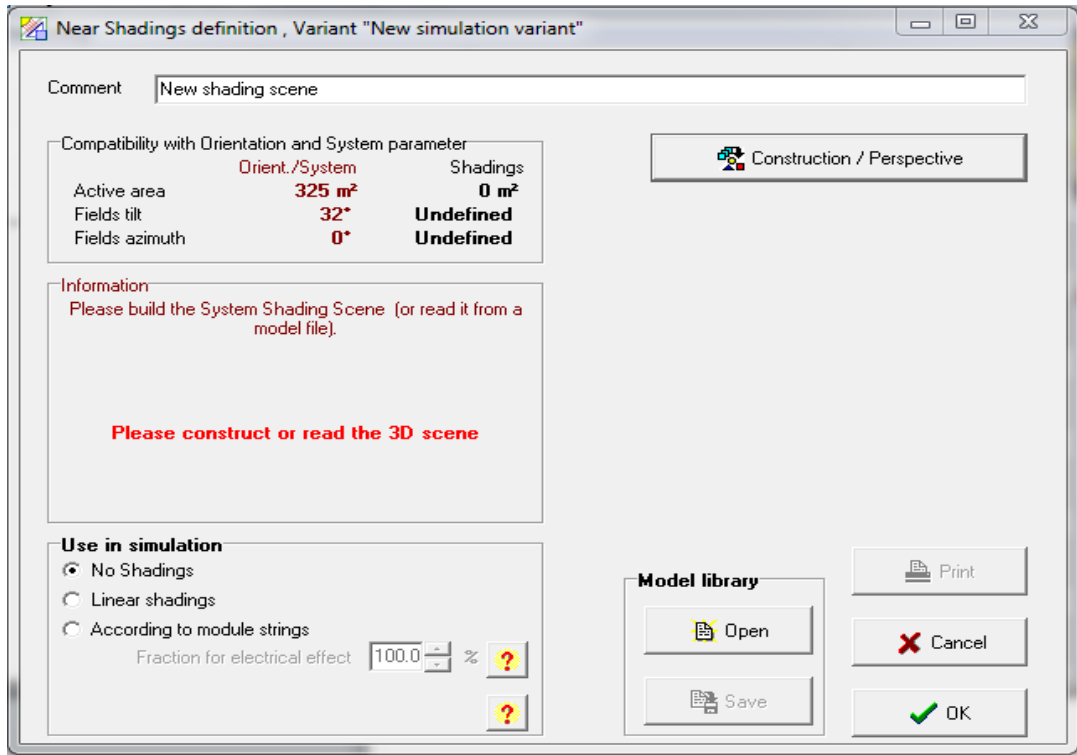
Şekil 3.21. Panel pozisyonuna ait parametreler (2)

Ana ekrandan “Horizon” tuşuna basılarak seçilen bölgeye ait ufuk çizgisi bilgilerine ulaşılabilir. “OK” tuşuna basılarak ana ekrana dönülür.



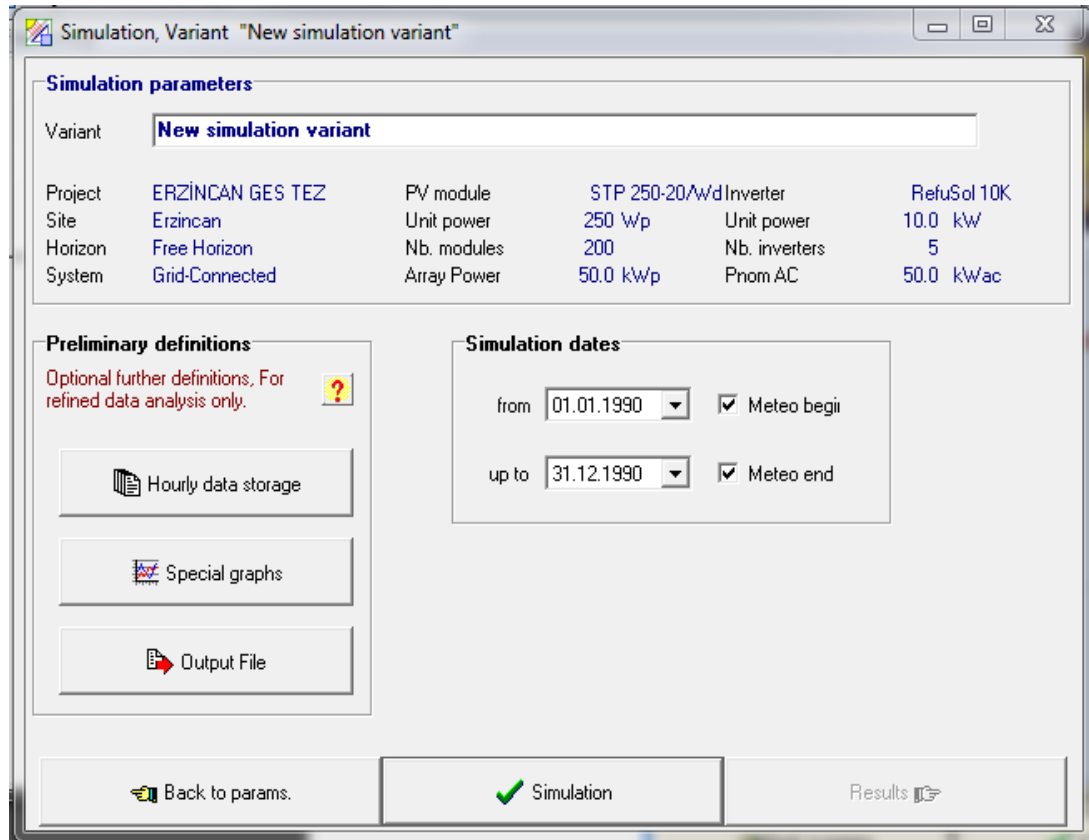
Şekil 3.22. Seçilen bölgeye ait ufuk çizgisi bilgileri

Ana ekrandan “Near Shading” butonuna basılarak gölgeleme bilgileri ekranına geçilir. Buradan arazinin önceden kaydedilen bilgileri yüklenebileceği gibi “Construction/Perspective” tuşuna basılarak arazinin üzerindeki gölge yaratıcılar belirtilebilir. Fakat bizim arazimizde herhangi bir gölgeleyici unsur olmadığı kabul edilmiştir. “OK” tuşuna basılarak ana ekrana dönülür.

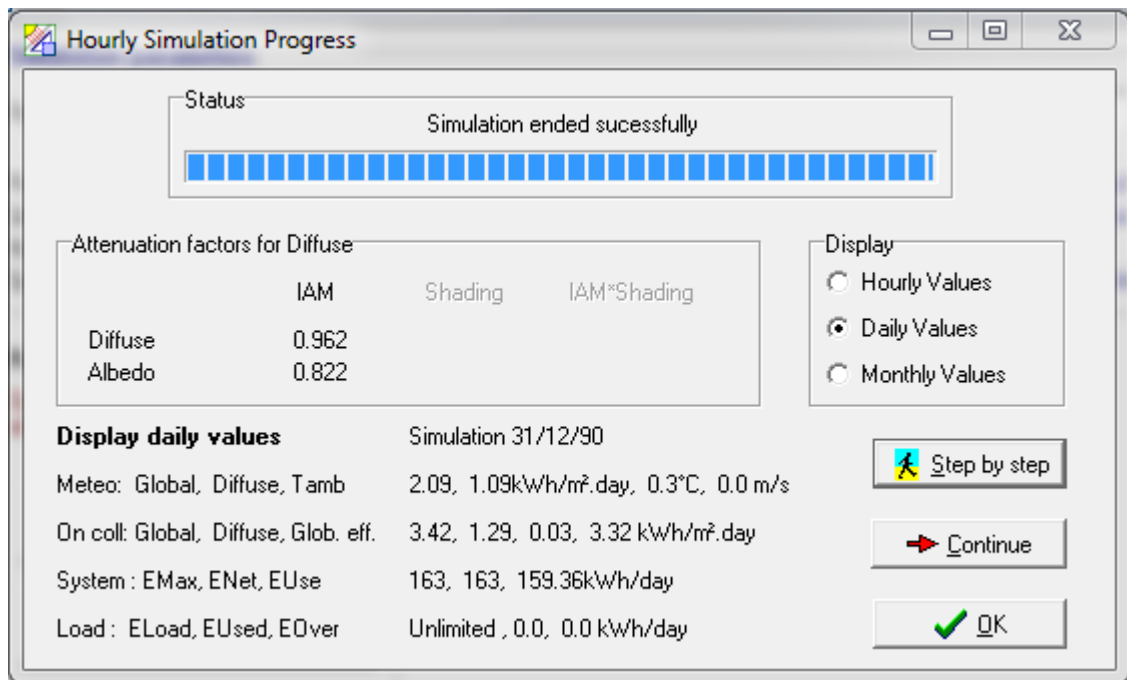


Şekil 3.23. Gölgeleme bilgileri ekranı

Simülasyon sayfasından “Simulation” butonuna basılarak sistemin simülasyonu yapılır.

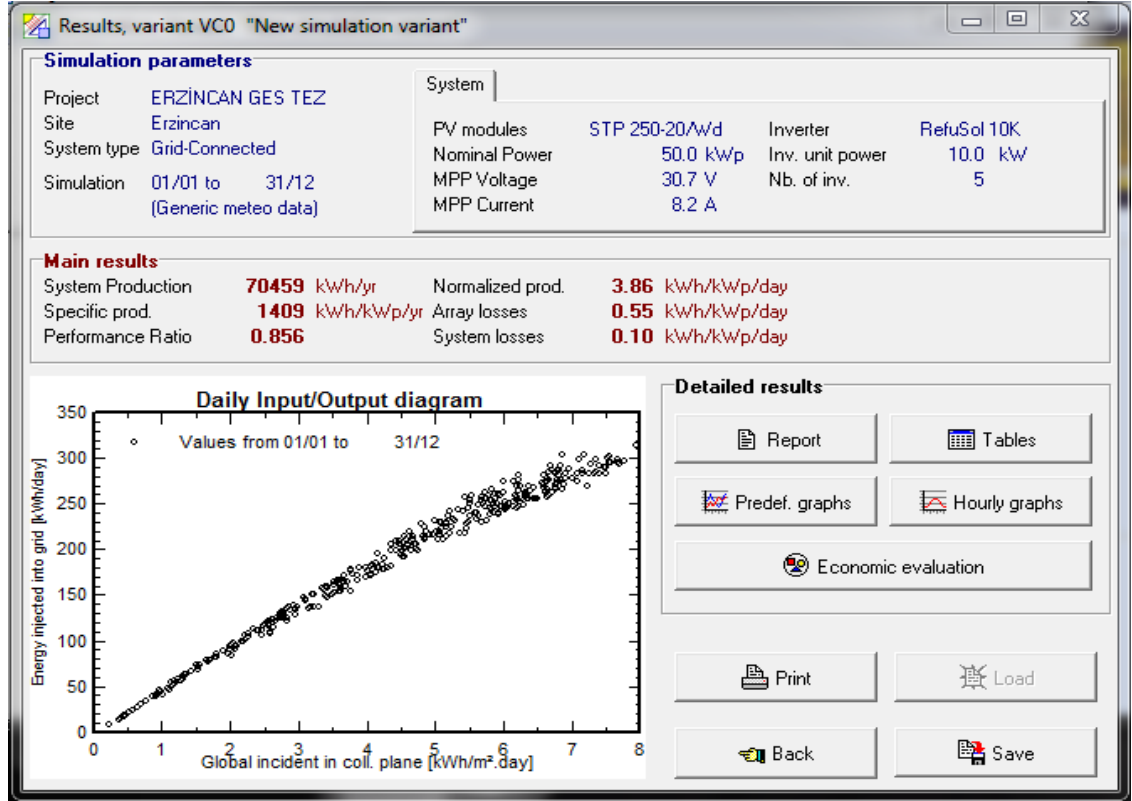


Şekil 3.24. Simülasyon ekranı



Şekil 3.25. Sistemin simülasyonu

Simülasyonun yapıldığı ekrandan “OK” tuşuna basılarak çıktığında simülasyonun özet raporu elde edilir.



Şekil 3.26. Simülasyonun özet raporu

Buradan “economic evaluation” tuşuna basılarak maliyet hesabı için verilerin girileceği ekrana geçilir.

Economic evaluation

Project and Simulation variant
 Project: ERZINCAN GES TEZ
 Simulation: New simulation variant
 PV Array, Pnom = 50.0 kWp System: Grid-Connected System
 PV module : STP 250-20/Wd Inverter : RefuSol 10K

Values
 Global By Wp
 By piece By m²

Investment

PV modules	200 units of 250 Wp	0.00	€ / pce	<input checked="" type="checkbox"/>	
Supports / Integration		0.00	€ / pce	<input type="checkbox"/>	
Inverters	5 units of 10.0 kW	0.00	€ / pce	<input checked="" type="checkbox"/>	
Settings, wiring, ...		0.00	€		
Others, miscellaneous...	<input type="button" value="Details"/>	0.00	€		
Substitution underworth		- 0.00	€		
Gross investment. (excl. taxes)		0.00	€		

Financing

Taxes	<input type="text" value="20.00"/> %	0.00	€
Subsidies		- 0.00	€
Net investment		0.00	€
Annuities		0.00	€ / yr
Running Costs, Maintenance, insur.		0.00	€ / yr
Total yearly cost		0.00	€ / yr

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

Currency

Energy cost
 Produced Energy: **70.5** MWh / year
 Yearly cost: **0** € / year
 Energy cost: **0.00** € / kWh

Şekil 3.27. Maliyet hesabı için verilerin girileceği ekran

Fakat ulaşılan ekranda kredilendirme zorunlu olduğu için maliyet analizi tarafımızdan yapılacaktır. Simülasyon özet raporu ekranından “report” tuşuna basılarak PVSYSY programından elde edilen özet rapor tablolarına ulaşılır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Erzincan ilinde kurulması planlanan 50 kW kurulu gücünde, şebeke bağlantılı (on-grid) güneş enerji santralının teorik ölçümleri PVSYST programı aracılığıyla yapılmıştır. Daha önceden belirtilen kabullere göre tasarlanan sistemin verimi ve elde edilen enerji hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ışığında santralin maliyet analizi yapılarak, ilk yatırım maliyetini karşılama süresi bulunmuştur. Bir PV panelin net alanı 1,625 m² ve gücü yaklaşık olarak 250 W değerindedir.

Kullanılacak PV Panel Fiyatı = 175 \$/Adet

Santralde Kullanılacak Panel Adedi = 200

Toplam Panel Maliyeti = 200 × 175 = 35.000 \$

Kullanılacak İnverter Fiyatı = 7.200 TL = 2.440 \$/Adet

Santralde Kullanılacak İnverter Adedi = 5

Toplam İnverter Maliyeti = 5×2.440 = 12.200 \$

Tablo 4.1. Santralde kullanılacak ekipmanlar ve diğer maliyetleri toplamı (DBK Enerji)

Santralin Maliyet Kalemleri	1 Watt Birim Fiyatı (€)	50 kW Maliyeti (€)
Konstrüksiyon	0,07-0,08	3.500-4.000
Kablolama DC-AC	0,05-0,07	2.500-3.500
Koruma Ekipmanları	0,02-0,03	1.000-1.500
Trafo	0,02-0,03	1.000-1.500
İşçilik + Nakliyat	0,06-0,07	3.000-3.500
Diğer(Uzaktan İzleme, Sayaç, Trafo Kabini, Panolar, Tel Örgü, Betonlama vs.)	0,06-0,07	3.000-3.500
Toplam	0,28-0,35	13.000-18.000

Santralin diğer maliyet kalemleri toplam 13.000-18.000 € arasında hesaplanmıştır. Ortalama değer 15.500 € = 17.750 \$ olarak hesaplara katılacaktır.

$$\text{Genel Toplam} = (35.000 \$) + (12.200 \$) + (17.750 \$) = 64.950 \$$$

$$(64.950 \$) + \text{KDV} = \mathbf{76.641 \$}$$

Yapılan araştırmalar sonucu yıllık bakım onarım maliyeti 250 \$, yıllık sigorta maliyeti ise 206,5 \$ olarak hesaplanmıştır.

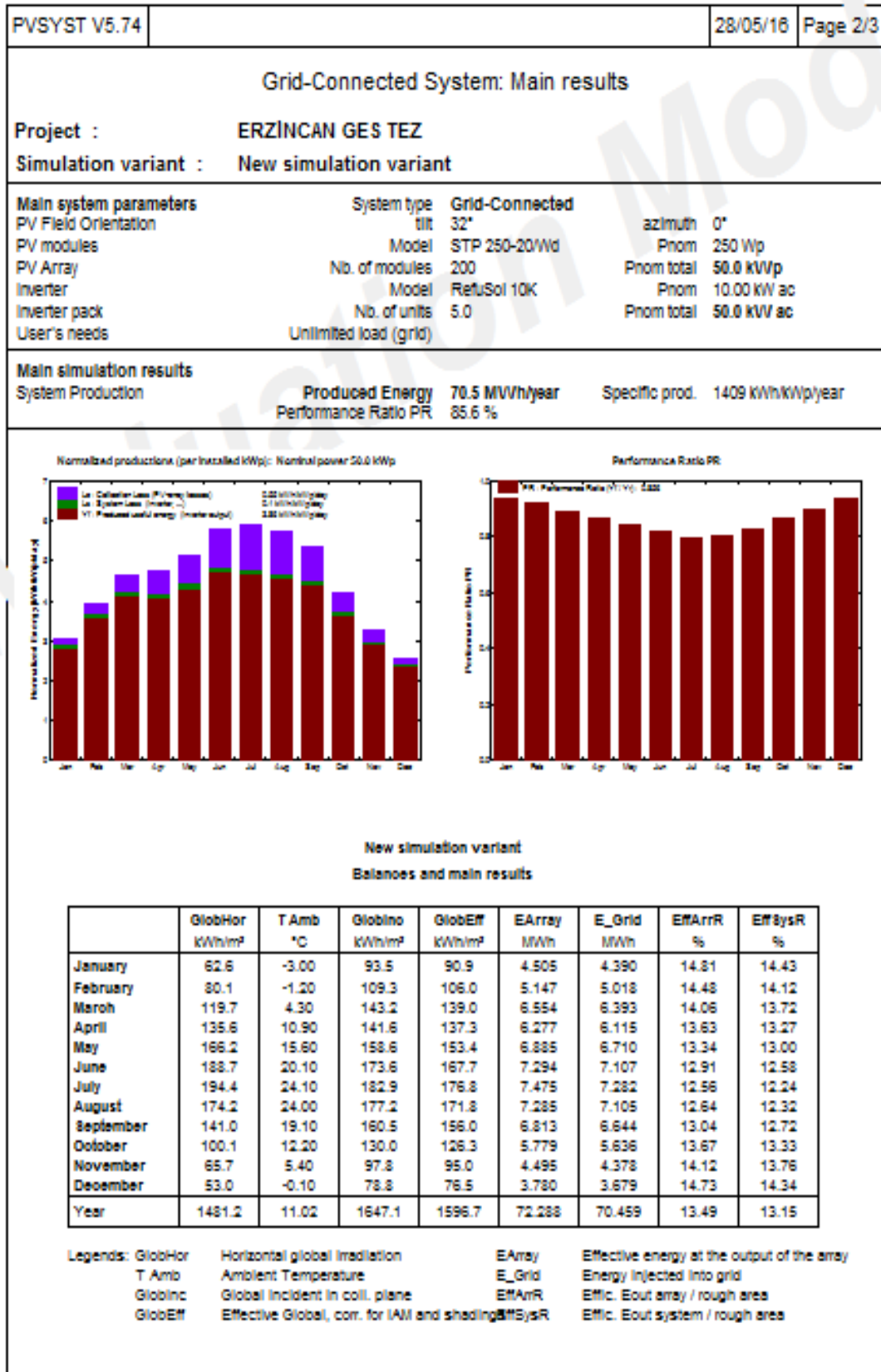
$$\text{Yıllık Toplam Gider} = 206,5 + 250 = 456,5 \$$$

4.1. PVSYST Programında Yapılan Hesaplamalar Sonucu Elde Edilen Özet Raporları

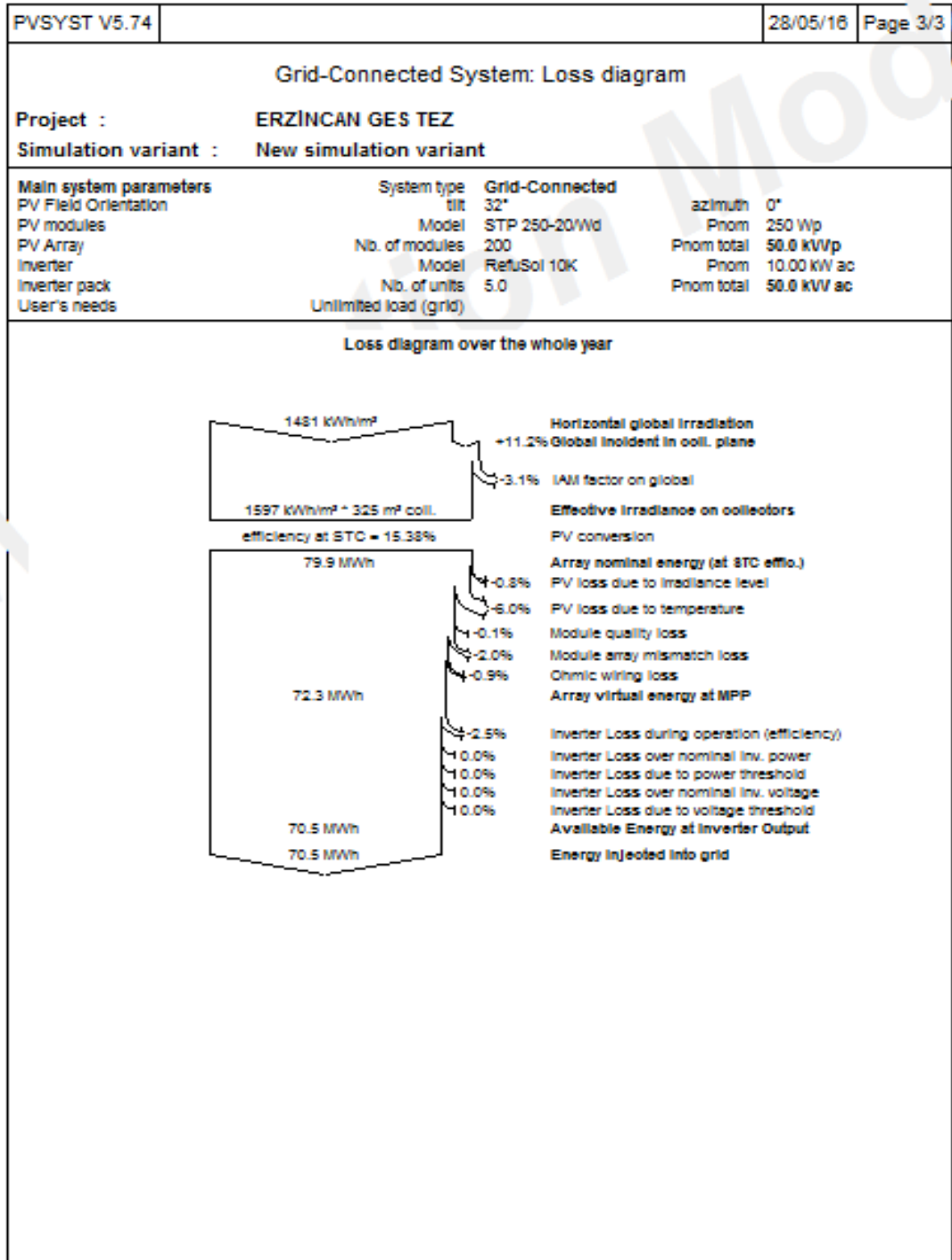
şekil 4.1, şekil 4.2 ve şekil 4.3'de PVSYST programı aracılığıyla Erzincan ilinde kurulması öngörölen 50 kW kurulu güce sahip güneş enerji santralinin teknik özet raporlarına ulaşılmıştır.

PVSYST V5.74		28/05/16		Page 1/3	
Grid-Connected System: Simulation parameters					
Project :	ERZINCAN GES TEZ				
Geographical site	Erzincan	Country	Turkey		
Situation	Latitude	39.4°N	Longitude	39.3°E	
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2		Altitude	1218 m
	Albedo	0.20			
Meteo data :	Erzincan , Synthetic Hourly data				
Simulation variant :	New simulation variant				
	Simulation date	28/05/16 12h07			
Simulation parameters					
Collector Plane Orientation	Tilt	32°	Azimuth	0°	
Horizon	Free Horizon				
Near Shadings	No Shadings				
PV Array Characteristics					
PV module	Si-poly	Model	STP 250-20/WVd		
	Manufacturer	Suntech			
Number of PV modules	In series	20 modules	In parallel	10 strings	
Total number of PV modules	Nb. modules	200	Unit Nom. Power	250 Wp	
Array global power	Nominal (STC)	50.0 kWp	At operating cond.	44.5 kWp (50°C)	
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	541 V	I mpp	82 A	
Total area	Module area	325 m²	Cell area	292 m²	
Inverter					
	Model	RefuSol 10K			
	Manufacturer	REFUsoL GmbH			
Characteristics	Operating Voltage	380-850 V	Unit Nom. Power	10.0 kW AC	
Inverter pack	Number of inverter	5 units	Total Power	50.0 kW AC	
PV Array loss factors					
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=1 m/s.)		NOCT	56 °C	
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	113 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC	
Module Quality Loss			Loss Fraction	0.1 %	
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	2.0 % at MPP	
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM = 1 - bo (1/cos I - 1)		bo Parameter	0.05	
User's needs :	Unlimited load (grid)				

Şekil 4.1. Simülasyon parametreleri



Şekil 4.2. Elde edilen sonuçlar



Şekil 4.3. Kayıplar sonucu elde edilen enerji

Son yayımlanan Yenilenebilir Enerji Kanununda (YEK), güneş enerjisi santralinden üretilen enerjinin kWh'i 13,3 \$ Cent birim fiyatından bölgedeki dağıtım firmasına satılmaktadır. Yıllık üretilen enerji PVSYST programında 70.459 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yıllık Satış Geliri} = (0,133 \$) \times (70.459 \text{ kWh}) = 9.372 \$$$

$$\text{Yıllık Net Gelir} = (9.372 \$) - (456,5 \$) = 8.915,5 \$$$

4.2. Ekonomik Analiz

Bu çalışmada, *Gelecek Değer* yöntemiyle santralin ilk yatırım maliyetini geri ödeme süresi aşağıdaki eşitlik yardımıyla ayrıca hesaplanmıştır:

$$F_V: P_V(1 + i)^n \quad (4.1)$$

Burada F_V paranın gelecekte ulaşacağı değer, i faiz oranı, n yıl sayısı ve P_V paranın bugünkü değerini ifade etmektedir. Bankalarca Amerikan Doları üzerinden açılan mevduat ağırlıklı ortalama faiz oranı 2015 yılı 12. ayı için %2,11 olarak belirlenmiştir (tcmb.gov.tr).

Tablo 4.2. İlk yatırım maliyetini geri ödeme süresinin hesabı

Yıl	Gelir (\$)	Yatırım maliyeti (\$)
0	-	76.641
1	8.915,5	78.258
2	18.019,1	79.909
3	27.314,8	81.595
4	36.806,7	83.317
5	46.498,8	85.075
6	56.395,4	86.870
7	66.500,9	88.703
8	76.819,5	90.575
9	87.355,9	92.486
10	98.114,6	94.437

1. Yıl (8.915,5)

$(8.915,5)(1+ 0,0211)^1 = (9.103,6)$ 2. Yıl (9.103,6) (kümülatif) toplam (18.019,1)

$(8.915,5)(1+ 0,0211)^2 = (9.295,7)$ 3. Yıl (9.295,7) toplam (27.314,8)

$(8.915,5)(1+ 0,0211)^3 = (9.491,8)$ 4. Yıl (9.491,8) toplam (36.806,6)

$(8.915,5)(1+ 0,0211)^4 = (9.692,1)$ 5. Yıl (9.692,1) toplam (46.498,8)

$(8.915,5)(1+ 0,0211)^5 = (9.896,6)$ 6. Yıl (9.896,6) toplam (56.395,4)

$(8.915,5)(1+ 0,0211)^6 = (10.105,4)$ 7. Yıl (10.105,4) toplam (66.500,9)

$(8.915,5)(1+ 0,0211)^7 = (10.318,6)$ 8. Yıl (10.318,6) toplam (76.819,5)

$(8.915,5)(1+ 0,0211)^8 = (10.536,4)$ 9. Yıl (10.536,4) toplam (87.355,9)

$(8.915,5)(1+ 0,0211)^9 = (10.758,7)$ 10. Yıl (10.758,7) toplam (98.114,6)

9 yıl içinde santralin yıllık net gelir değişim toplamı 89.199 \$ olarak hesaplanmıştır.

10 yıl içinde santralin yıllık net gelir değişim toplamı hesaplanarak 100.184,7 \$ olarak bulunmuştur.

$(76.641)(1+ 0,0211)^{10} = (94.437)$ 10. Yıl

$(76.641)(1+ 0,0211)^9 = (92.485)$ 9. Yıl

Santralin ilk yatırım maliyetinin gelecekteki değeri hesaplanarak 9. yıl 92.485,9 \$ 10. yıl 94.437,4 \$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden yola çıkarak santralin ilk yatırım maliyetini karşılama süresi 9-10 yıl arası olarak bulunmuştur.

Tablo 4.3. Proje Konum Bilgileri

Konum	Birim	Değer
Enlem	°	39,4
Boylam	°	39,3
Yükseklik	m	1218
Greenwich'e göre zaman dilimi	---	+2

Tablo 4.4. Sistem Açıları ve Gölgeleme Bilgileri

Sistem Bilgileri	Birim	Değer
Panel Eğimi	°	32
Azimut Açısı	°	0
Yakın Gölgeleme	---	yok

Tablo 4.5. Santralde kullanılacak PV panel bilgileri

PV Modül Bilgileri	Birim	Değerler ve Özellikler
Model Üreticisi	---	Suntech
Modeli	---	STP250-20Wd
Etiket Gücü	Wp	250
Kullanılacak Panel Adedi	---	200
Toplam Panel Alanı	m ²	325
Etiket Kurulu Gücü	kWp	50
İşletme Şartlarında Güç	kWp	44,5

Tablo 4.6. Santralde kullanılacak inverter bilgileri

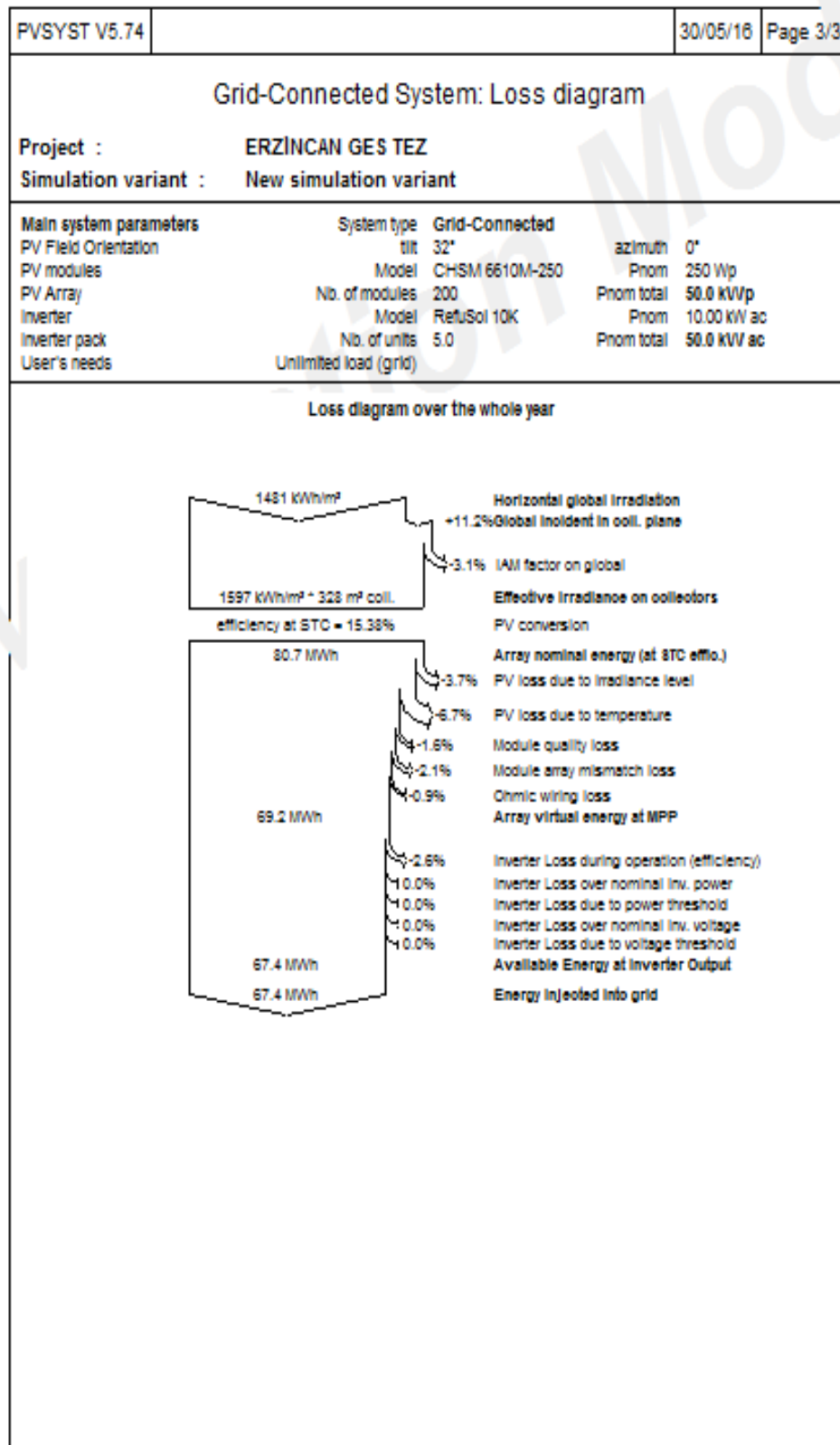
İnverter Bilgileri	Birim	Değerler ve Özellikler
İnverter Üreticisi	---	Refusol
Modeli	---	10K
Etiket Gücü	kW	10
Kullanılacak İnverter Adedi	---	5
Etiket Kurulu Gücü	kW	50

Tablo 4.7. Santralin Kazanç ve Kayıpları

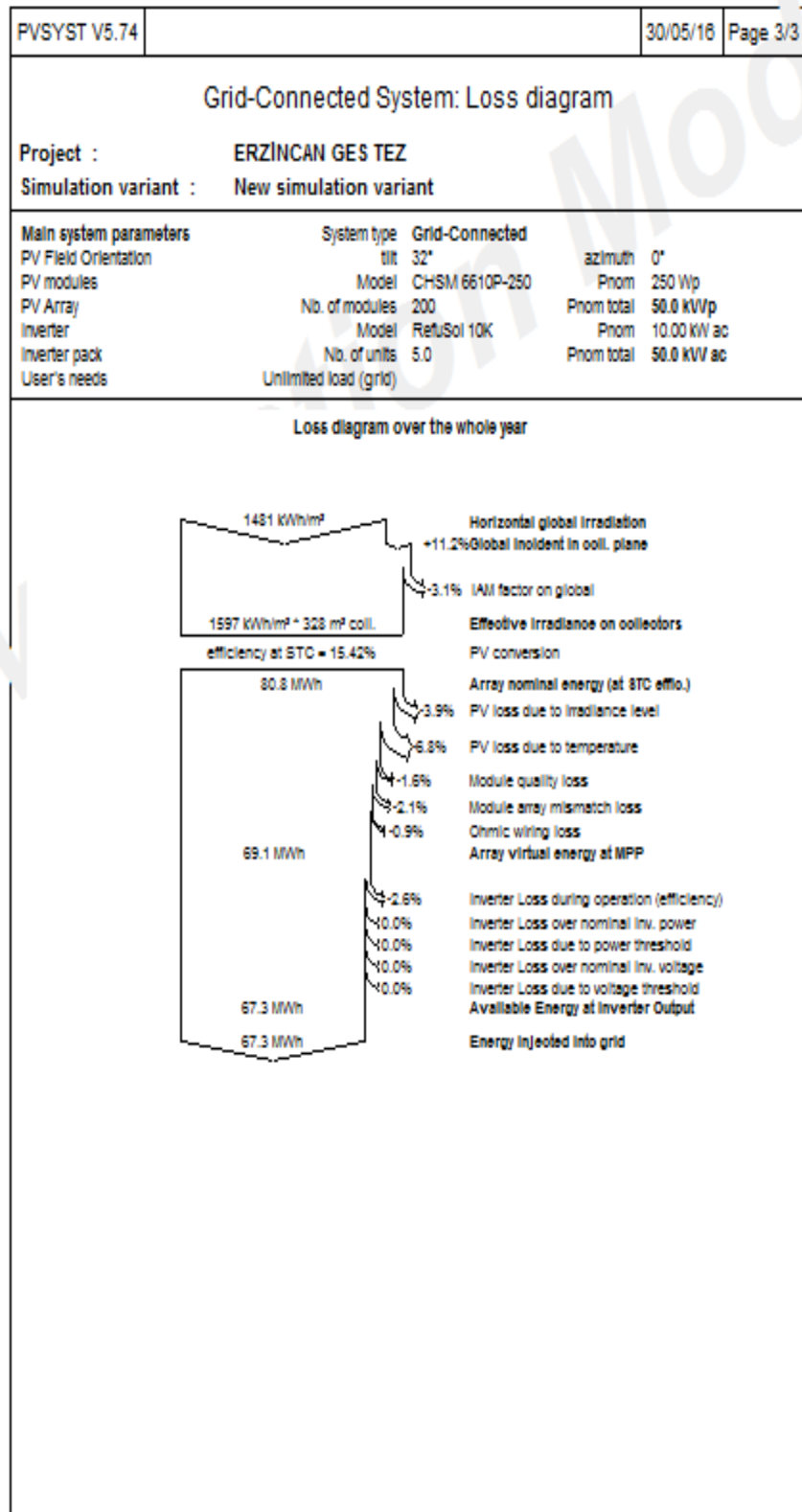
Kazanç ve Kayıplar	Birim	Değer
Toplam yıllık küresel radyasyon	kWh/m ²	1.481
Yatay küresel radyasyon kazancı	%	11,2
Geliş Açısı Faktörü	%	-3,1
Panelin test verimi	%	15,38
Radyasyon miktarından dolayı PV modüllerdeki kayıp	%	-0,8
Sıcaklıktan dolayı PV modüllerdeki kayıp	%	-6
Modül kalite kayıpları	%	-0,1
GES yanlış eşleşme kayıpları	%	-2
Kablolama kayıpları	%	-0,9
İnverter kayıpları	%	-2,5
İnverter Çıkışındaki Enerji	kWh	70.459
Şebekeye verilen enerji	kWh	70.459

Tablo 4.8. Santralin gelir-gider tablosu

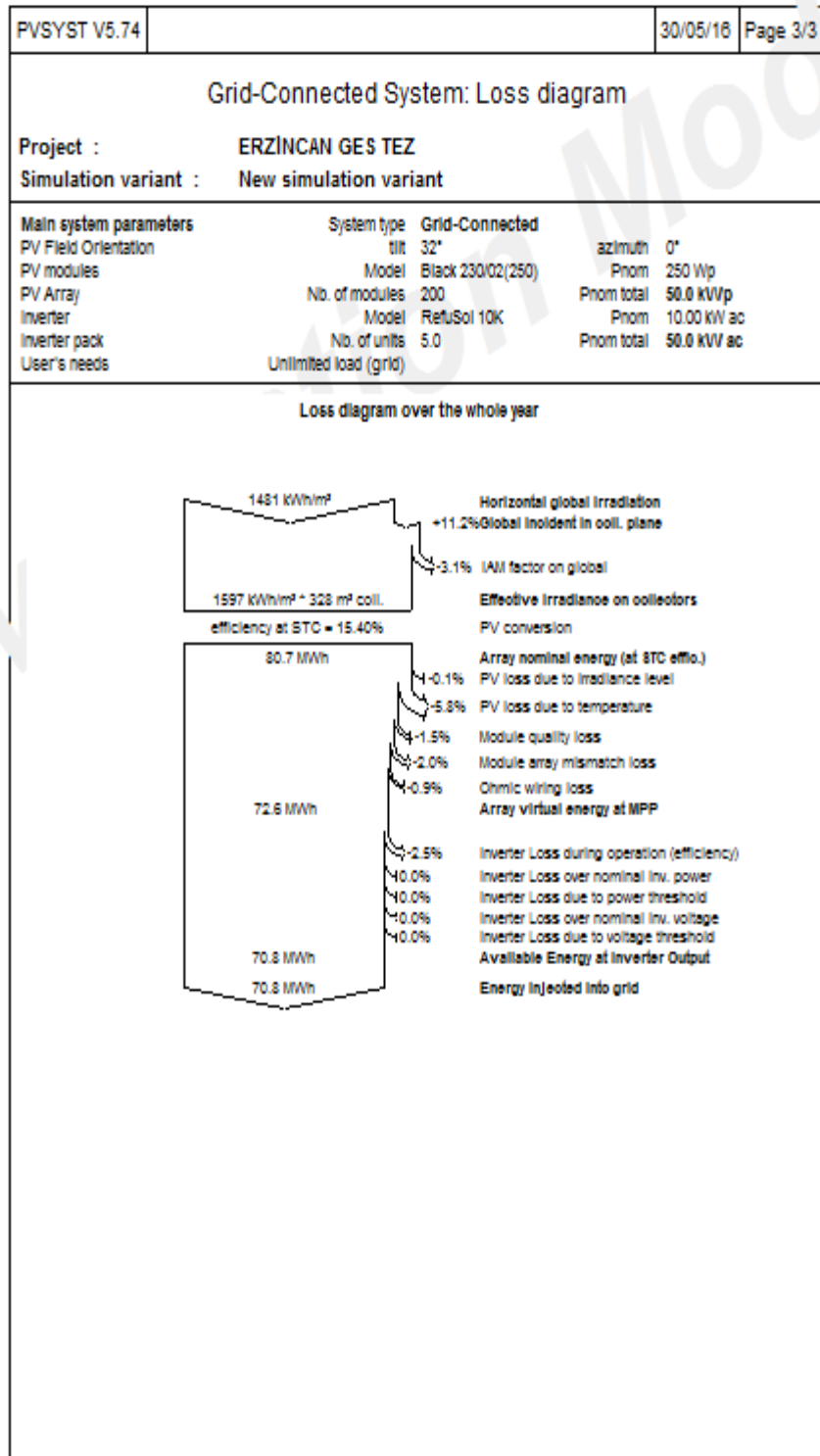
Finansal Analiz	Birim	Değer
Enerji Satış Fiyatı	Dolar Cent/kWh	13,3
Yıllık Satış Geliri	Dolar	9.372
Yıllık Gider	Dolar	456,5
Yıllık Net Gelir	Dolar	8.915,5
Santralin Toplam Maliyeti	Dolar	76.641
Geri Dönüşüm Süresi	Yıl	9-10



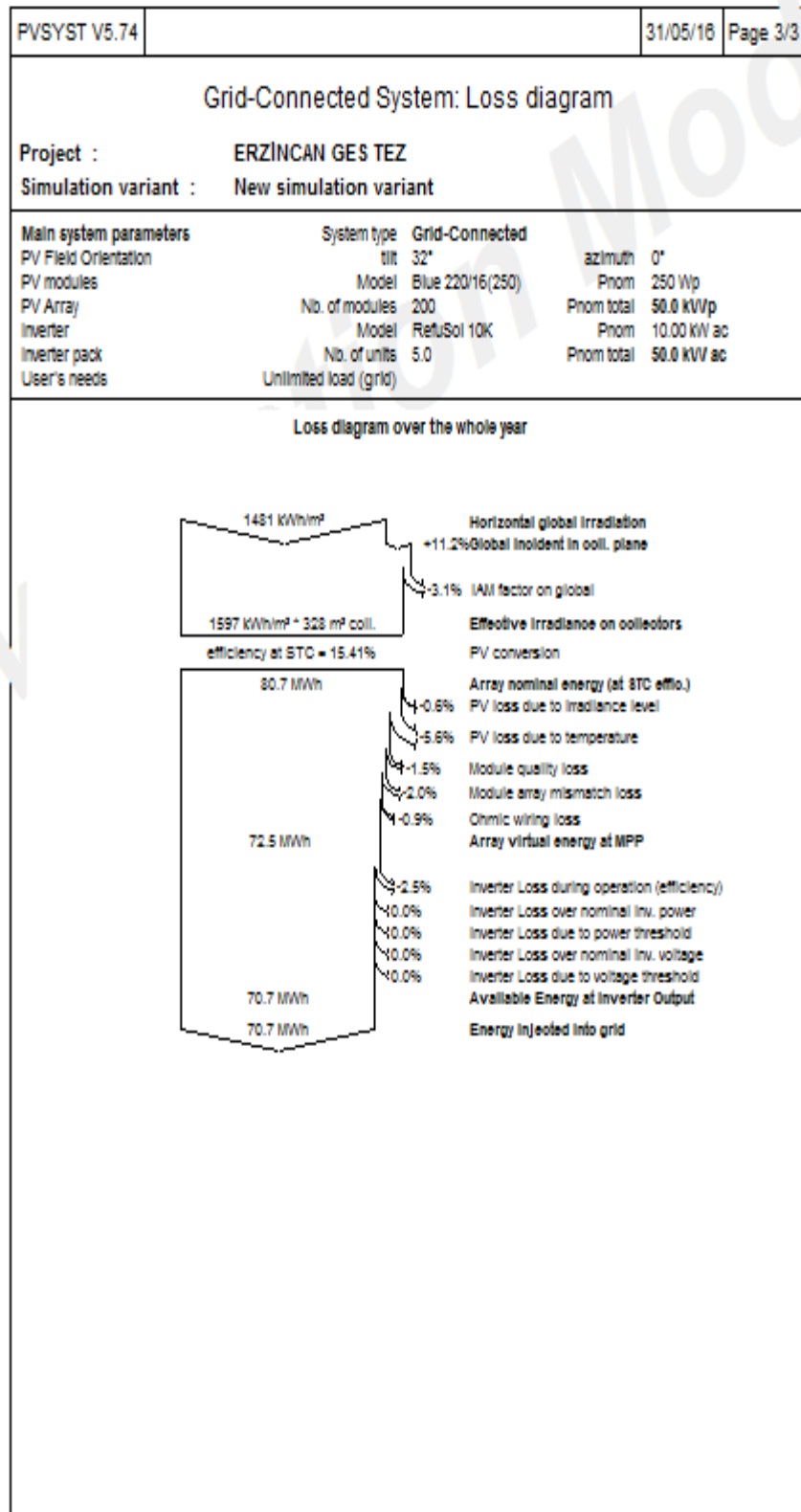
Şekil 4.4. CHSM6610M-250 tipi monokristal panelden elde edilen enerji



Şekil 4.5. CHSM6610P-250 model polikristal panelden elde edilen enerji



Şekil 4.6. Black230/02 tipi monokristal panelden elde edilen enerji



Şekil 4.7. Blue220/16 tipi monokristal panelden elde edilen enerji

Erzincan ilinde ve genelde monokristal paneller daha verimli olduğu halde polikristal panel seçmemizin sebebi monokristal panellerin piyasa değerinin yüksek olması ve bundan ötürü geri dönüş süresinin uzayacağından dolayıdır. 2 firmanın ürettiği polikristal ve monokristal panellerden elde edilen enerjiyi PVSYST programından hesaplayıp, ilk yatırım maliyetini karşılama süreçlerini karşılaştıralım.

Tablo 4.9. Polikristal ve Monokristal Güneş Panellerinin Finansal Olarak Karşılaştırılması

Santralde Kullanılacak 250W Gücünde Güneş Paneli Tipleri	Üretici Firma ve Model	Panel Adeti	Toplam Panel Gideri (\$)	Toplam Santral Gideri (\$)	Elde Edilen Yıllık Enerji (kWh)	Yıllık Net Kar (\$)	İlk Yatırım Maliyetini Karşılama Süresi (yıl)
Polikristal	Astroenergy CHSM 6610P-250	200	30.000	70.741	67,3	8.494,4	8,3
Monokristal	Astroenergy CHSM 6610M-250	200	35.000	76.641	67,4	8.507,7	9
Polikristal	Solon Blue 220/16	200	52.800	97.645	70,7	8.946,6	10,9
Monokristal	Solon Black 230/02	200	77.600	127.109	70,8	8.959,9	14,1

Bu ispatlar ışığında polikristal panel kullanmaya karar verilmiştir. 10 kW gücünde 5 adet inverter seçme sebebimiz ise herhangi bir inverter arızasında santralin büyük bir kısmının yine çalışıyor olması gerekmektedir ki zararımız minimize edilsin. Örneğin; 25 kW gücünde 2 adet inverter kullanabilirdik ancak, invertelerimizden biri arızalandığı zaman santralin yarısı işlevini kaybedecektir. Bu da fazla zarar etmemize sebep olacaktır. Aynı şekilde 50 kW gücünde 1 adet inverter kullanabilirdik fakat yine inverterimiz herhangi bir arıza yaşadığı zaman santralimizin çalışması mümkün olmayacaktır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Türkiye'deki enerji açığı göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik ilgi ve ihtiyaç, dünyada olduğu gibi ülkemizde de gün geçtikçe artmaktadır. Fosil yakıtların tükenmesi ve çevreye verdiği zararlar gibi hususlar, ülkelerin enerji politikalarını yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirdiği aşikârdır. Ülkemizde de yenilenebilir enerji sistemleri ile ilgili çalışmalara devlet desteği sağlanmaya başlamıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı sistemlerin başında güneş enerjisi gelmektedir. Güneş enerjisi ile elektrik üretilmesi; hem ekonomik, hem konforlu hem de çevreye zarar vermeden sağlandığından kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Özellikle elektrik şebekesinin olmadığı kırsal bölgelerde bulunan konutlar için temiz ve verimli sistemlerdir. Bununla birlikte, güneş enerji sistemlerinin bilinen en büyük dezavantajı ise ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olmasıdır.

Şebeke bağlantılı (on-grid) güneş enerji sistemleri, şebeke bağlantısız (off-grid) güneş enerji sistemlerine göre daha verimli ve ekonomiktir. Çünkü şebeke bağlantısız sistemin enerjiyi depolama durumu olduğu için kurulumu yapılacak sisteme depolama birimi olarak akü ve akü şarj denetleyicisi dâhil edilecektir. Dâhil edilen materyaller ilk kurulum maliyetini artıracak ve geri dönüşüm süresi uzayacaktır. Ayrıca herhangi bir arıza durumunda enerji üretimi tamamen duracağı için şebeke bağlantılı sisteme göre oldukça risklidir. Akülerde depolanan enerji sisteme verileceği zaman tekrar kayıp yaşanacağından verimde düşecektir.

Şebeke bağlantılı (on-grid) tasarlanan güneş enerji sistemine güneş takip sistemi yerleştirilerek ışıınım enerjisinden daha fazla elektrik enerjisi elde edilebilir. Bu da sistemin veriminin artmasını sağlayabilir. Ayrıca yaz aylarında fazla üretilen enerji bölgenin dağıtım firmasına satılarak kar elde edilebilir. Fakat bu sistem santralin ilk kurulum maliyetini artıracaktır.

Bu çalışmada; PVSYST programı aracılığıyla Erzincan ilinde kurulması planlanan 50 kW kurulu gücünde bir fotovoltaik güneş enerji santralinin maliyet analizi yapılmıştır. Teorik olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, tüm sistemin enerji ve performans analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- i. Yapılan çalışmada 50 kW gücündeki santral için 250 W gücünde polikristal güneş panelleri tercih edilmiş ve toplam panel alanı PVSYST programı tarafından 325 m² olarak hesaplanmıştır.
- ii. Santrallerden maksimum verim elde etmek için yıl boyunca güneş panellerinin eğim açısı 32° ve yüzey azimut açısı 0° olarak alınmıştır.
- iii. 50 kW kurulu gücünde tasarladığımız santral için seçilen panel ve inverter ışığında işletme çalışma koşullarındaki güç 44,5 kW olarak program tarafından hesaplanmıştır. Metrekareye düşen ışınım miktarımız 1.481 kWh/m² olarak hesaplanırken, standart test koşulları altında yapılan deneylerde panel verimi %15,38 olarak kabul edilmiştir. Teorik olarak çalıştığımız için panel verimini ölçme şansımız yoktur bu yüzden sisteme kayıtlı olan verim değeri kullanılır.
- iv. Kazanç ve kayıplar sonrası inverter çıkışındaki toplam enerji yani şebekeye aktarılan enerji yıllık 70.459 kWh olarak hesaplanmıştır. Sistemden elde edilen yıllık net gelir 8.915.5 \$ olarak bulunmuş ve santralin toplam yatırım maliyeti 76.641 \$ olarak hesaplanmıştır.
- v. Elde edilen veriler ışığında santralin ilk kurulum maliyetini karşılama süresi 9-10 yıl olarak hesaplanmıştır.
- vi. Enerji kaynağı ile kullanım yeri arasında, uzun kablolar ve bağlantı elemanları olmadığından arada oluşabilecek güç kaybından kaçınılmış olur.

Yapılan teorik çalışma sonucunda, Erzincan ilinde kurulması planlanan şebeke bağlantılı (on-grid) güneş sistemi ile elektrik enerjisi üretiminin uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Modüler bir sistem olduğu için güç çıkışı kolaylıkla arttırılabilir. Mevcut modüllere yenilerinin eklenmesi ile sistem, artan güç gereksinimini karşılayabilecek duruma getirilebilir. Ayrıca modüllerin ömrü uzun olduğu için santralden 20 yıl boyunca enerji elde edilebilir. Fakat belirli bir zamandan verim düşüşü kaçınılmazdır.

Uygulanması planlanan sistemde polikristal güneş panelleri kullanılmıştır. Monokristal güneş panellerinin daha verimli olmasına rağmen polikristal güneş paneli kullanmamızın sebebi, monokristal panellerle kurulan santrallerin ilk yatırım maliyetini karşılama süresinin, polikristal panellerle kurulan santrallere göre daha uzun olmasıdır.

Devlet tarafından üretilen enerjiyi santral kar etmeye başlayana kadar alım garantisi verilmesi gerekmektedir ve fotovoltaik sistem kurulum maliyetlerindeki değişimlere göre yeni kurulacak sistemlere uygulanmak üzere yıllık olarak güncellenmelidir.

Yatırımları teşvik etmek için gerekli yasal düzenlemeler yapılmalıdır. Özellikle yerli panel imalatı desteklenmeli ve üretilen panellerin geliştirilmesi için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca sulak tarım arazisi olarak geçen fakat tarım yapılmayan arazilerde santral kurulumuna izin verilmelidir. Aksi takdirde tarım da yapılmadığından arazi değerlendirilemeyecektir.

Sistemin performansını artırmak için mevsimlere göre açı ayarı yapılabilir. Kurulum yapılırken panellerden oluşan dizilerin arasındaki mesafe doğru ayarlanmalıdır. Aksi takdirde diziler birbirlerinin gölgesinden etkilenebilir ve sistemin performansı bu durumdan olumsuz etkilenir. Çürük veya hasarlı bağlantılar sisteme verilebilecek elektrik miktarını azaltır ve sistemin bütünüyle işlemez hale gelmesine neden

olabilir. Şimşekli, yıldırımli fırtınaların yaygın olduğu yerlerde, sistemler için paratoner görevi gören iletkenlere gereksinim duyulabilir.

Günümüzdeki bütün savaşların sebebi ülkelerin enerji kaynaklarına sahip olma arzusundan kaynaklanmaktadır. Bu yüzden, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından son derece zengin olan ülkemizin vakit kaybetmeksizin yukarıda sıralanan tedbirleri alması, sadece fotovoltaiik ya da güneş değil, diğer bütün yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını her anlamda teşvik etmeli ve desteklemelidir.

KAYNAKLAR

1. Abuşka M., “Güneş Enerjisi ve Uygulamaları Ders Notları”, *Celal Bayar Üniversitesi Akhisar Meslek Yüksek Okulu*, Manisa (2014).
2. Barutçu. B., “ Photovoltaic Power Systems Ders Notları-2”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul (2009).
3. Boztepe, M., “Yeni Enerji Kaynakları”, EES 487 (2009).
4. Buldum, B., Külekçi M., “Mersin ilinin güneş enerjisi potansiyeli ve mevcut durumu”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, UTES, İstanbul, 385-394 (2008).
5. Çağlayan, N., Ertekin, C., Evrendilek, F., “Spatial Viability Analysis Of Grid-Connected Photovoltaic Power Systems For Turkey”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 56: 270- 278 (2014).
6. Çelik, A. N., (2002). “The system performance of autonomous photovoltaic wind hybrid energy systems using synthetically generated weather data”. *Renewable Energy*, 27: 107–21 (2002).
7. Çolak, Ş. Ç., “Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-108 (2010).
8. Delorme D., “Lesson and Lab Activity with Photovoltaic Cells”, *CCMR Educational Programs*, New York (2004).
9. Demirci, F., “Fotovoltaik Güneş Pillerinin Çalışmasını Etkileyen Dış Faktörlerin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (1996).
10. El-Shimy, M., “Viability Analysis Of PV Power Plants In Egypt”, *Renewable Energy*, 35: 1870-1878 (2010).
11. Enarun, D., “Bina Tasarım Aşamasında Hacim içindeki Doğal Işık Dağılımını Belirlemek için Bir Model”, Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 1 -215 (1987).
12. Erkul, A., “Monokristal, polikristal, amorf silisyum güneş panellerinin verimliliğinin incelenmesi ve aydınlatma sistemine uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-89 (2010).

13. Ertürk, S., “Simulation und experimentelle Untersuchungen von Stationären und Nachgeführten Photovoltaiksystemen ” PhD Thesis, **Berlin Technical University Fachbereich Elektrotechnik**, 1-209 (1997).
14. Eruz, Ü. G., “Güneş Panel Çeşitlerinden Polikristal, Monokristal ve Thin Film Panellerinin Karabük Şartlarında Verimlilik Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 1-37 (2015).
15. Erzincan Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü “Erzincan İlinin 40 yıllık Global Radyasyon Değerleri”, Erzincan (2016).
16. Eyigün, S., “Türkiye’nin Farklı Yerlerinde Kurulacak Fotovoltaik Santrallerin Teknik ve Ekonomik Açından İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü**, İstanbul 1-117 (2010).
17. Ismael, A., “Monokristal güneş pili sistemlerinde elektrik enerji analizi” Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2012).
18. İnternet: DBK Enerji Broşür “Güneş Enerjisi Uygulaması için Diğer Maliyet Kalemleri”, <http://www.dbkenerji.com> 2016.
19. İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi “Güneş Enerjisi” <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir> 2016.
20. İnternet: Elektrik Mühendisler Odası “ Türkiye’deki Güneş Enerjisi Durumu” <http://www.emo.org.tr/ekler> 2015.
21. İnternet: Fotovoltaik Uygulamalar “ Fotovoltaik Hesap Programı” <http://www.pvsyst.com> 2016.
22. İnternet: Güneş Enerji Santralleri İşletmelerinin Sigortalanmasında Olası Riskler ve Risklerin Değerlendirmeleri “Güneş Enerji Santrali’nin Yıllık Bakım-Onarım Bedeli”, ekolekspertiz.com 2016.
23. İnternet: Güneş Enerjisi Yatırımlarının Değerlendirilmesi “Güneş Enerji Santrali’nin Yıllık Sigorta Bedeli”, tenva.org 2014.
24. İnternet: Güneş Panelleri “Güneş Panelinin Fiyatı” <http://www.solarmarket.com.tr> 2016.
25. İnternet: Güneş Panelleri “Polikristal ve Monokristal Güneş Panellerinin Fiyatı”, www.chint.com.tr/images/content/files/ASTRONERGY_FİYAT-LİSTESİ.pdf 2015.

26. İnternet: Güneş Pili Üretimi “Amorf Silisyum ve İnce Film Güneş Pilleri”, <http://www.unienerji.com> 2016.
27. İnternet: İnverterler “İnverter Fiyatları” <http://www.cimo.com.tr> 2016.
28. İnternet: International Energy Agency “Dünya’da Elektrik Enerjisi Durumu” https://www.iea.org/KeyWorld_Statistics_2015.
29. İnternet: Solar Paneller “Polikristal ve Monokristal Güneş Panellerinin Fiyatı” <http://www.solardükkan.com.tr> 2016.
30. İnternet: Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası “Bankalarca Amerikan Doları Üzerinden Açılan Mevduat Ağırlıklı Ortalama Faiz Oranı ”, tcmb.gov.tr 2015.
31. Kalogirou, S. A., “Solar Energy Engineering Process and Systems, Elsevier”, New York, (2009).
32. Karataş A., “ Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Edirne, 1-40 (2012).
33. Keskin, E., “Türkiye İklim Koşullarında Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Tasarımı Ve Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-88 (2012).
34. Kılıç, F.Ç., “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri”, Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 671, s. 28-40 (2015).
35. Koç,A., Karakaya, F., Altun, H., “Fotovoltaik Pil Teknolojileri ve Yenilenebilir Enerji Politikaları”, **Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi**, Eskişehir (2007).
36. Koryürek, E., “Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul 1-168 (2008).
37. Köse, S., “Yarı iletken güneş pilleri ve verimlilikleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, 1-78 (1986).
38. Küpeli, A.Ö., “Güneş pilleri ve verimleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir 1-175 (2005).
39. Messenger, R., Ventre J., “ Photovoltaic Systems Engineering, CRC Pres LLC”, Florida 385p (2000).

40. M.M.O., “Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Sonuç Bildirgesi”, (2011).
41. Oktik, S., “Güneş elektrik dönüşümleri fotovoltaik güneş gözeleri ve güç sistemleri”, *Ankara Temiz Enerji Vakfı Yayınları*, Ankara (2001).
42. Okyay, Y., “Kütahya Koşullarında Fotovoltaik Sistemin Deneysel İncelenmesi ve Ekonomik Analizi”, *Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 1-57 (2006).
43. Ortaçtepe, Y. C., “Güneş Pilinden Elektrik Üreten Bir Sistemin Analizi ve Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 1-85 (2011).
44. Özdemir, G. “Investment Analysis Of Solar Energy Systems”, Master’s Thesis, *Bahcesehir University Graduate School of Natural and Applied Sciences*, İstanbul, 1-89 (2013).
45. Öztürk, A., “Monokristal ve Polikristal Güneş Pili Modüllerinin Mevsimsel Performanslarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tunceli, 1-67 (2012).
46. Öztürk, H., “Güneş Enerjisi ve Uygulamaları”, *Birsene Yayınevi* (2008).
47. Rehman, S., Bader, M., Al –Moallem, S., “Cost Of Solar Energy Generated Using PV Panels”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11: 1643-1857 (2007).
48. Sağlam, Ş., “Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Aydınlatma Sisteminin Bulanık Mantık İle Kontrolü”, Doktora tezi, M.Ü., *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-150 (2006).
49. Sayın, S., ve Koç, İ., “Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri”, *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, Konya, 17 (3): 1-7, (2011).
50. Şenpınar, A., “Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması”, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, *Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Endüstriyel Elektronik Programı*, Elazığ, (2006).
51. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu., “Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik”. Ankara (2013).
52. Turhan, K., “Fotovoltaik Modüller İçin Bir Gerçek Saha Performans Ölçüm Platformunun Tasarımı, Kurulumu ve Testleri”, Yüksek Lisan Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul, 1-80 (2011).

53. Wolf, M., "Historical development of solar cells", *Power Sources Symposium 25th*, England, (1972).

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Erzincan'da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Erzincan'da tamamladı. Lisans eğitimine 2009 yılında Bozok Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde başladı ve 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılından itibaren özel bir yapı denetim firmasında Kontrol Mühendisi olarak çalışmaya başladı ve 120 inşaatın mekanik tesisat ve doğalgaz tesisatı kontrolünü yaptı. 2014 yılında Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2016 yılı itibariyle Yüksek Lisans eğitimine ve kontrol mühendisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.

