

## Erzincan İli İçin 50 kW Kurulu Gücünde Bir Güneş Enerji Santralinin Maliyet Analizi

Osman M. Küçükgoze,<sup>a</sup> M. Kaya<sup>b</sup>

<sup>a</sup> EÜFBEMMABD—Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Erzincan, TÜRKİYE

[osmn\\_24@e-mail.com.tr](mailto:osmn_24@e-mail.com.tr)

<sup>b</sup> EÜMF—Erzincan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Erzincan, TÜRKİYE

[mkaya@erzincan.edu.tr](mailto:mkaya@erzincan.edu.tr)

**Özet.** 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 aktararak yapılan hesaplamalar sonucunda Erzincan ili için kurulması planlanan 50 kW kurulu gücündeki bir güneş enerji santralinin yıllık üreteceği elektrik enerji değeri 70.500 kWh ve sistemin toplam yatırım maliyetinin ise 76.641 \$ olduğu tespit edilmiştir. Elektrik kullanım senaryosuna göre fotovoltaik santralin ilk yatırım maliyetini karşılama süresinin ise 8,2 yıl 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

**Keywords:** güneş enerjisi, pvsyst, fotovoltaik, maliyet analizi

**SEMBOLLER**

%	Yüzde
€	Euro
\$	Dolar
$GM$	Panel dizileri arasında bırakılması gereken mesafe (m)
$L_K$	Panel eğim doğrultusu ölçüsü (m)
$EA$	Panellerin yatay düzlemle yaptıkları açı (°)
$GY$	Güneş yükseklik açısı (°)
$I_{ey}$	Eğik yüzeye gelen yaygın ışınım ( $W/m^2$ )
$I_{ed}$	Eğik yüzeye gelen doğrudan ışınım ( $W/m^2$ )
$I_{et}$	Eğik yüzeye gelen toplam ışınım ( $W/m^2$ )
$I_y$	Aylık ortalama yaygın ışınım ( $W/m^2$ )
$I_d$	Doğrudan Işınım ( $W/m^2$ )
$s$	Eğim açısı (°)
$\rho$	Yerin yansıtma katsayısıdır.
$\delta$	Deklinasyon açısı (°)
$\omega$	Saat açısı (°)
$\varphi$	Enlem açısı (°)
$R_d$	Doğrudan ışınım eğim faktörü
$N_p$	Güneş panelinin verimi
$N_D$	İnverter verimi
$A$	Toplam güneş paneli alanı
$E_{PV}$	Güneş panelinden üretilen enerji (kWh)
$A$	Toplam panel alanı ( $m^2$ )
$h$	Açısı ayarlanmış güneş panelinin yüksekliği (m)
$g_1$	Güneş panelinin yatay mesafesi (m)
$g_2$	Güneş panellerinin en yakın uç noktalarının yatay mesafesidir (m)

## 1. GİRİŞ

Bugün dünyamızda herkesin kabul ettiği bir enerji sorunu vardır. Karşı karşıya kaldığımız enerji sorununun temelinde nüfustaki artış ve yetersiz enerji kaynakları yatmaktadır. 1973 yılında yaşanan petrol krizi ile insanlar fosil yakıtlara alternatif olacak enerji kaynaklarını aramaya yönelmiştir. Diğer önemli bir nokta ise, fosil yakıtların oluşturduğu çevresel kirlenmedir. Fosil yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan zararlı gazlar hem çevre kirliliği oluşturmakta hem de insan sağlığına zarar vermektedir. Ayrıca fosil yakıtlar küresel ısınma, suların ve toprağın kirlenmesi, bitki örtüsünün zarar görmesi, asit yağmurları, çölleşme ve biyolojik çeşitlilikte azalmalar gibi etkilere de sebep olmaktadır. Ekolojik dengeyi bozan bu olayların ana sebebi fosil kaynaklı 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 olması ile birlikte fotovoltaik güneş pilleri uygulama alanının genişliği, kullanım kolaylığı ve ilk kurulum maliyetinin diğer sistemlere göre uygunluğu gibi özelliklerinden dolayı daha fazla tercih edilen ve gelecek için ümit verici bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Güneş panelleri ile elektrik elde yöntemi yeni bir teknoloji olmamakla birlikte geçmişte maliyetlerin yüksek olması nedeniyle uygulamaları sınırlı kalmıştır. Günümüzde ki teknolojik gelişmeler ve maliyetlerdeki düşüşler fotovoltaik sistemlerin yaygınlaşmasını sağlamıştır. 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.

Literatürde konu ile çalışmalar özetlenirse: Çağlayan ve arkadaşları 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 50W 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 m<sup>2</sup> olduğu görülmüş, 10 MW kurulu gücündeki güneş santrali için ise 200.000 modül kullanılmış ve santral alanının 87.719,3 m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. Küresel güneş ışınımının minimum olduğu bölge 1,31 MWh/m<sup>2</sup>/yıl değeri ile Artvin, 2,05 MWh/m<sup>2</sup>/yıl 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 (Çağlayan vd, 2013). EL-Shimy 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 m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Santrallerde doğru akımı, alternatif akıma çevirmek için 4.750 kW nominal güç ve %95 verimli çalışan 2 adet özdeş inverter seçilmiştir. Küresel güneş radyasyonunun maksimum olduğu bölge 2.557 MWh/m<sup>2</sup>/yıl ile El Kossier, 1.752 MWh/m<sup>2</sup>/yıl 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 (EL-Shimy, 2009). Rehman ve arkadaşları, 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 m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Böylece tüm tesisin toplam PV modül alanı 35.000 m<sup>2</sup> 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 küresel güneş radyasyonu ortalama değeri 2,06 MWh/m<sup>2</sup>/yıl, minimum değer Tabuk bölgesinde 1,63 MWh/m<sup>2</sup>/yıl olarak ölçülmüş, maksimum değer ise Bisha bölgesinde 2,56 MWh/m<sup>2</sup>/yıl 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 (Rehman vd, 2006).

Eyigün yaptığı çalışmada NASA Meteororm adı verilen saatlik radyasyon tahmini yapan program yardımıyla elde edilen 1996-2005 yılları arasındaki saatlik radyasyon verileri 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 panellerle kurulan santralin, monokristal panellerle kurulan santralden daha verimli olduğu görülmüştür (Eyigün, 2010). Çolak 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 yılsonunda 31.535.000 € zarar edildiği görülmüştür. Monokristal panellerle 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 yıl sonunda 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 (Çolak, 2010). Ortaçtepe, 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 (Ortaçtepe, 2011).

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

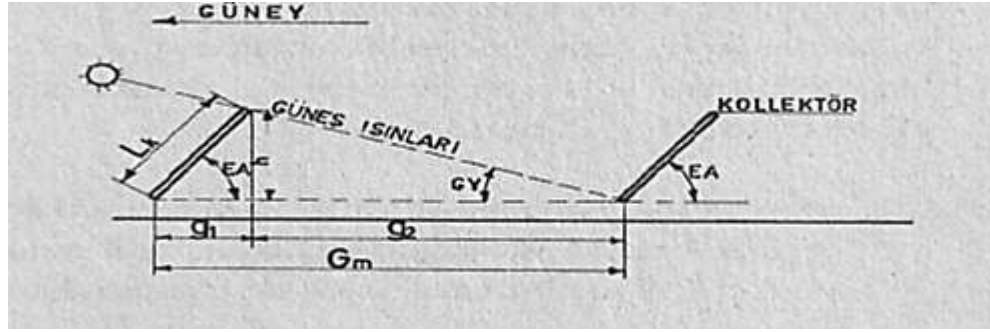
## 2.MATERYAL VE METOD

### 2.1. Fotovoltaik santraller için gerekli hesaplamalar

Panellerdeki toplam radyasyon ve üretilecek olan elektrik miktarının hesaplanması:

#### 2.1.1 Paneller arasındaki mesafe ölçüsü hesabı

Şekil 1'de dizi halinde yerleştirilmiş güneş panelleri arasındaki mesafenin gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. Dizi halinde yerleştirilmiş güneş panelleri (Abuşka, 2013).

Birbirini takip eden güneş panelleri arasındaki mesafe GM olarak ifade edilir (şekil 1) ve

$$GM: g1 + g2 \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada g1; önde bulunan güneş panelinin yatay mesafesidir. Güneş panelinin yatayla yaptığı açı EA, güneş panelinin eğim doğrultusu ölçüsü ise LK ile ifade edilir ve

$$g1 : L_k \times \cos(EA) \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanır. g2 güneş panellerinin en yakın uç noktalarının yatay mesafesidir ve

$$g2 : h / \tan(GY) \quad (3)$$

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

$$h : L_k \times \sin(EA) \quad (4)$$

$$GM: L_k \times \cos(EA) + L_k \times \sin(EA) / \tan(GY) \quad (5)$$

$$GM: L_k [ \sin(EA) / \tan(GY) + \cos(EA) ] \quad (6)$$

eşitlikleri ile hesaplamalar yapılır (Abuşka, 2013).

### 2.1.2 Eğik yüzeye gelen toplam ışınım

Eğik yüzeye gelen toplam ışınım 3 bileşenden oluşur. Doğrudan ışınım, yaygın ışınım ve yansıyan ışınımdır. Burada eğik yüzeye gelen yaygın ışınım

$$I_{ey} = I_y \left[ \frac{1 + \cos(s)}{2} \right] \quad (7)$$

denklemleri ile bulunur.  $I_y$  aylık ortalama yaygın ışınımı ifade eder. Eğik yüzeye gelen yansıyan ışınım

$$I_{ya} = I_t \times \rho \left[ \frac{1 - \cos(s)}{2} \right] \quad (8)$$

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

$$I_{et} = R_d(I_t - I_y) + (I_y) \left[ \frac{1 + \cos(s)}{2} \right] \quad (9)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada  $R_d$  doğrudan güneş ışınım faktörüdür ve

$$R_d = \frac{I_{ed}}{I_d} = \frac{\cos(\varphi - s) \cos\delta \cos\omega + \sin\delta(\varphi - s)}{\cos\varphi \cos\delta \cos\omega + \sin\delta \sin\varphi} \quad (10)$$

denklemleri ile hesaplanır.  $\delta$  denklinasyon açısı,  $\varphi$  enlem açısı,  $\omega$  saat açısını,  $I_d$  ise doğrudan ışınımı ifade etmektedir (Abuşka, 2013).

### 2.1.3. Bir güneş panelinden üretilen elektrik enerjisi

Güneş panelinden üretilen elektrik enerjisi

$$E_{PV} = N_p \cdot N_D \cdot A \cdot I_{et} \quad (11)$$

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

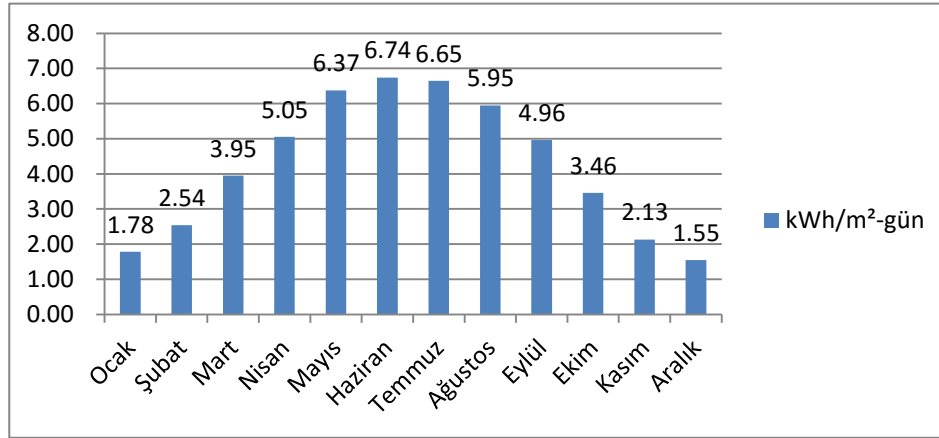
## 2.2. Erzincan ilinde kurulması planlanan 50 kW kurulu gücüne sahip bir fotovoltaik güneş enerji santralının fizibilite detayları

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



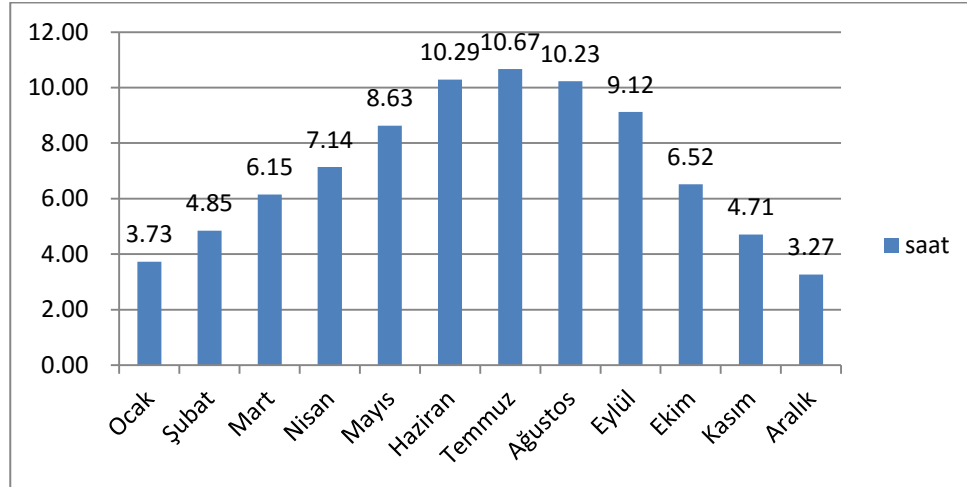
Şekil 2. Erzincan iline ait güneş enerjisi potansiyeli (EİE, 2016).

Şekil 2’de görüleceği üzere Erzincan ilinin güneş enerji potansiyeli elverişli bir seviyededir. Özellikle güney bölgelerde  $1.700 \text{ kWh/m}^2$ ’ye ulaşan radyasyon değerleri görülmektedir. Erzincan ilinin güneş enerji potansiyel atlasının yanı sıra günlük güneşlenme süresi ve günlük küresel radyasyon değerleri (ışınım) Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4’te güneşlenme süresinin en düşük olduğu ayın Aralık, 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. Erzincan ili küresel radyasyon değeri (EİE, 2016)





Şekil 4. Erzurum ili günlük ortalama güneşlenme süresi (EİE, 2016)

### 2.3. Kurulumda yapılacak kabuller

Tablo 1’de güneş enerji santrallerinin kurulumunda yapılacak kabuller verilmiştir.

Tablo 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.

### 2.4. Santralde kullanılacak panel ve inverter bilgileri

Tablo 2’de kurulumu yapılacak olan güneş enerji santralinin panel ve inverter bilgileri verilmiştir.

Tablo 2. Santralde kullanılacak panel ve inverter fiyatları (Cimo Mühendislik, Solar market).

Santralde Kullanılacak Panel ve İnverter	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

### 2.6. Erzurum iline kurulacak 50 kW kurulu güce sahip GES için hesaplamalar

PVSYST programımızda Erzurum ilinin bilgileri bulunmamaktadır. Hesaplamalara başlamadan önce Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden Erzurum iline ait 1975-2015

yılları arasındaki küresel radyasyon değerleri temin edilmiştir, ayrıca 1950-2015 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değerleri Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinden alınarak PVSYST programımıza aktarılacaktır. PVSYST adı verilen program güneş enerjisi sistemleri hakkında kullanıcılara büyük kolaylıklar sunması amacıyla tasarlanmıştır. Program içeriğinde güneş enerjisi sistemleri ile ilgili genel bilgiler kullanıcıya verilerek ihtiyacının şekillenmesi, malzeme seçimi işlemlerinde kolaylıklar sağlanması, seçim işlemlerinde belirlenen malzemelerin uyumluluk kontrolü ve mali analiz işlemleri ile tasarımın genel karakteristiğinin görselleştirilmesi amaçlanmıştır.

### 2.6.1 Erzincan iline ait ışıının ve sıcaklık değerlerinin ortalaması

PVSYST programına kayıt edeceğimiz Erzincan iline ait 40 yıllık ışıının değerleri Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Temin edilen verilerin ortalaması Tablo 3'de gösterilmiştir. Tablo 4'de ise Erzincan iline ait ortalama sıcaklık değerleri verilmiştir.

**Tablo 3.** Erzincan ili ışıının değerleri (Erzincan Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü).

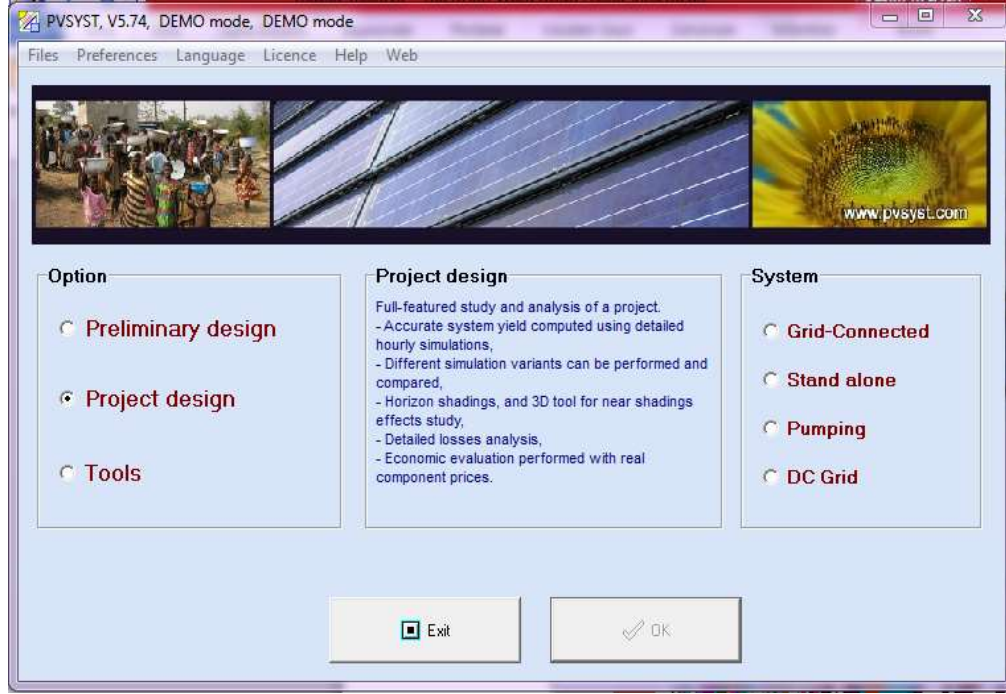
	Aylık Ortalama Günlük Toplam Global Güneşlenme Şiddeti (cal/cm <sup>2</sup> )	Aylık Ortalama Günlük Toplam Global Güneşlenme Şiddeti (kWh/m <sup>2</sup> )
OCAK	174,5	2,02
ŞUBAT	247	2,86
MART	332,7	3,86
NİSAN	389,8	4,52
MAYIS	462	5,36
HAZİRAN	542,3	6,29
TEMMUZ	541,3	6,27
AĞUSTOS	484,9	5,62
EYLÜL	405,2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

**Tablo 4.** 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

## 2.7. PVSYST programına gerekli bilgilerin girilmesi

Öncelikle Şekil 5’de PVSYST programı giriş ekranından “Tools” butonu seçilerek Şekil 6 ve Şekil 7’de Erzincan iline özgü coğrafi koordinatların ve meteorolojik bilgilerin sisteme kaydedileceği ekranlara ulaşılır.



Şekil 5. PVSYST programı giriş ekranı

The screenshot shows the 'Geographical site parameters' dialog box with the 'Geographical Coordinates' tab selected. The 'Location' section includes a text field for 'Site name' containing 'Erzincan', a dropdown for 'Country' set to 'Turkey', and a dropdown for 'Region' set to 'Europe'. Below this, there are input fields for 'Latitude' (39.42), 'Longitude' (39.31), and 'Altitude' (1218). The latitude and longitude fields are split into 'Decimal' and 'Deg. min.' columns. The time zone is set to '2'. There are buttons for 'Sun paths', 'Print', 'New Site', 'Export table', 'Export line', 'Import', 'Cancel', and 'OK'.

Şekil 6. Erzincan iline özgü coğrafi koordinat bilgileri

The screenshot shows the 'Geographical site parameters' dialog box with the 'Monthly meteo' tab selected. The 'Site' is 'Erzincan (Turkey)' and the 'Data source' is 'Meteonorm'. A table displays monthly meteorological data for Global Irradiation, Diffuse Irradiation, Temperature, and Wind Velocity. The 'Required Data' section has checkboxes for 'Horizontal global irradiation' and 'Average Ext. Temperature' checked. The 'Irradiation units' section has 'kWh/m².day' selected. There are buttons for 'Cancel' and 'OK'.

	Global Irrad. kWh/m².day	Diffuse kWh/m².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	
<b>Year</b>	<b>4.06</b>		<b>11.0</b>	

Şekil 7. Erzincan iline özgü meteorolojik değerler

Gerekli bilgileri sisteme girip kaydettikten sonra tekrar PVSYST 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 “system” butonu seçilerek seçerek GES ile ilgili teknik bilgilerin girileceği sayfaya ulaşılır.

Erzincan ilinde ve genelde monokristal paneller daha verimli olduğu halde polikristal panel seçmemizin sebebi monokristal panellerin piyasa değerinin yüksek olması ve bundan dolayı santralin ilk yatırım maliyetini karşılama süresinin uzayacağından ötürüdür. 2 firmanın ürettiği polikristal ve monokristal panellerden elde edilen enerjiyi PVSYST programından hesaplayıp, geri dönüşüm süreçlerinin karşılaştırılması Tablo 5’de görülmektedir.

**Tablo 5.** Polikristal ve monokristal güneş panellerinin finansal olarak karşılaştırılması

Santralde Kullanılacak 250W Gücünde Güneş Paneli Tipleri	Üretici Firma ve Model	Panel Adedi	Toplam Panel Maliyeti (\$)	Toplam Santral Maliyeti (\$)	Elde Edilen Yıllık Enerji (kWh)	Yıllık Net Kazanç (\$)	İlk Yatırım Maliyetini Karşılama Süresi (yıl)
Polikristal	Astroenergy CHSM6610P-250	200	30.000	70.741	67,3	8.494,4	8,3
Monokristal	Astroenergy CHSM6610M-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, invertelerin 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 inverter herhangi bir arıza yaşadığı zaman santralin çalışması mümkün olmayacaktır. Şekil 8’de seçimlerimizin yapılacağı ekrana ulaşılır.

The screenshot displays a software window titled "Grid system definition, Variant 'New simulation variant'". It is divided into several sections:

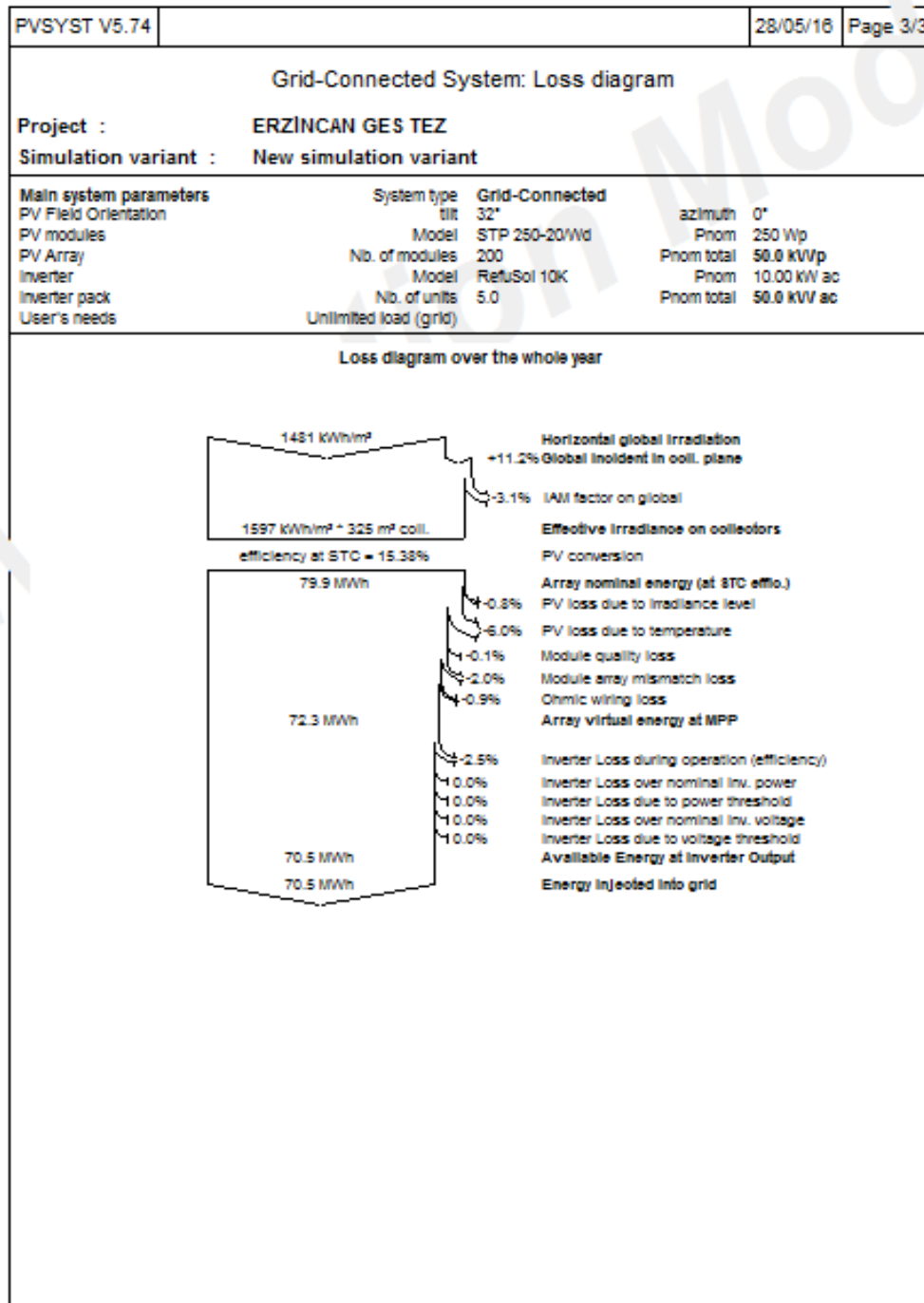
- Global System configuration:** Includes a dropdown for "Number of kinds of sub-fields" set to 1 and a "Simplified Schema" button.
- Global system summary:** A table showing:

Nb. of modules	200	Nominal PV Power	50.0 kWp
Module area	325 m <sup>2</sup>	Maximum PV Power	48.7 kWdc
Nb. of inverters	5	Nominal AC Power	50.0 kWac
- Homogeneous System:**
  - Presizing Help:** Radio buttons for "No Sizing", "Enter planned power" (50.0 kWp), and "or available area" (325 m<sup>2</sup>).
  - Select the PV module:** Sort by "Power", "Technology", or "Manufacturer". Selected: 250 Wp 26V Si-poly STP 250-20/Wd Suntech Suntech Europe. Approx. needed modules: 200. Sizing voltages: V<sub>mpp</sub> (60°C) 25.6 V, V<sub>oc</sub> (-10°C) 41.9 V.
  - Select the inverter:** Sort by "Power", "Voltage (max)", or "Manufacturer". Selected: 10 kW 380 - 850 V 50/60 Hz RefuSol 10K REFU Sol GmbH. Nb. of inverters: 5. 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: 20 (should be between 15 and 23), Nbre strings: 10 (only possibility 10), Overload loss: 0.0%, P<sub>nom</sub> ratio: 1.00. Buttons: "Show sizing".
  - Operating conditions:** V<sub>mpp</sub> (60°C) 512 V, V<sub>mpp</sub> (20°C) 627 V, V<sub>oc</sub> (-10°C) 838 V.
  - Plane irradiance:** 1000 W/m<sup>2</sup> (Max. in data, STC). I<sub>mpp</sub> (STC) 82.2 A, Max. operating power 44.5 kW at 1000 W/m<sup>2</sup> and 50°C. I<sub>sc</sub> (STC) 87.7 A. I<sub>sc</sub> (at STC) 86.3 A. **Array nom. Power (STC) 50.0 kWp.**

At the bottom, there are buttons for "User's needs", "Detailed losses", "Cancel", and "OK".

Şekil 8. Seçimlerimizin ardından sistem teknik bilgileri

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 santralinin 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-10K modeli seçilir. Seçimlerimize göre sistem panel adedini 200, inverter adedini ise 5 olarak hesaplamıştır. Toplam modül alanını 325 m<sup>2</sup>, maksimum PV gücünü 48,7 kW, nominal AC gücünü ise 50 kW olarak hesaplamıştır. Sisteme gerekli bilgiler girildikten sonra program yıllık santralden elde edilen enerjiyi Şekil 9'da görüldüğü üzere 70.5 MWh olarak hesaplamıştır.



Şekil 9. Sistem kayıpları sonucu elde edilen enerji

### 3. Araştırma Sonuçları

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.

Kullanılacak PV Panel Fiyatı=175 \$/Adet

Santralde Kullanılacak Panel Adedi=200

Toplam Panel Maliyeti=200x175=35.000 \$

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

Santralde Kullanılacak İnverter Adedi=5

Toplam İnverter Maliyeti=5x2.440=12.200 \$

**Tablo 6.** 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
<b>Toplam</b>	<b>0,28-0,35</b>	<b>13.000-18.000</b>

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

Genel Toplam=(35.000 \$)+(12.200 \$)+(17.750 \$)=64.950 \$  
(64.950 \$)+KDV(%18)=76.641 \$

Son yayımlanan Yenilenebilir Enerji Kanunu'nda (YEK) güneş enerji santralinden ürettiğimiz enerjinin kWh'sini 13,3 \$ Cent birim fiyatından bölgedeki dağıtım firmasına satmaktayız. Yıllık ürettiğimiz enerji PVSYST programında 70.500 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Yıllık Satış Geliri=(0,133 \$)x(70.500 kWh)=9.376 \$

Tablo 7'de PVSYST programından kazanç ve kayıplar sonucu elde edilen enerji verilmiştir. Santralden elde edilen enerji sonucu finansal analiz yapılarak gelir-gider durumu Tablo 8'de gösterilmiştir.



Tablo 7. Santralin kazanç ve kayıpları

Kazanç ve Kayıplar	Birim	Değer
Toplam yıllık küresel radyasyon	kWh/m <sup>2</sup>	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	70.500
Şebekeye verilen enerji	kWh	70.500

Tablo 8. Santralin gelir-gider tablosu

Finansal Analiz	Birim	Değer
Enerji Satış Fiyatı	Dolar	13,3
	Cent/kWh	
Yıllık Satış Geliri	Dolar	9.376
Santralin Toplam Maliyeti	Dolar	76.641
Geri Dönüşüm Süresi	Yıl	8,2

#### 4. Sonuç ve Öneriler

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:

- Yapılan çalışmada 50 kW gücündeki santral için 250 W gücünde polikristal güneş panelleri tercih edilmiş ve toplam panel alanı PVSYST programı tarafından 325 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.
- 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/m<sup>2</sup> olarak hesaplanırken, standart test koşulları altında yapılan deneylerde panel verimi %15,38 olarak kabul edilmiştir. Teorik olarak çalıştığımız için panel verimini ölçme şansı yoktur bu yüzden sisteme kayıtlı olan verim değeri kullanılır.
- Kazanç ve kayıplar sonrası inverter çıkışındaki toplam enerji yani şebekeye aktarılan enerji yıllık 70.5 kWh olarak hesaplanmıştır. Sistemden elde edilen yıllık satış geliri 9.376 \$ olarak bulunmuş ve santralin toplam yatırım maliyeti 76.641 \$ olarak hesaplanmıştır.
- Elde edilen veriler ışığında santrali ilk kurulum maliyetini karşılama süresi 8,2 yıl olarak hesaplanmıştır.
- 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 artırılabilir. 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. Belirli bir zamandan sonra verim düşüşü kaçınılmaz olacaktır. Fakat sistemin yıpranan parçaları yeniledikten sonra sistem, verimli bir şekilde enerji üretimine devam edecektir.

#### 4. Kaynaklar

- Sayın, S. ve Koç, İ. (2011). *Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri*, Konya: S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi, 17 (3), 1-7.
- Çağlayan, N. Ertekin, C. Evrendilek, F. (2014). *Spatial Viability Analysis Of Grid-Connected Photovoltaic Power Systems For Turkey*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 56: 270- 278.
- El-Shimy, M. (2010). *Viability Analysis Of PV Power Plants In Egypt*, Renewable Energy, 35: 1870-1878.
- Rehman, S. Bader, M. Al –Moallem, S. (2007). *Cost Of Solar Energy Generated Using PV Panels*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11: 1643-1857 .
- Eyigün, S. (2010). *Türkiye'nin Farklı Yerlerinde Kurulacak Fotovoltaik Santrallerin Teknik ve Ekonomik Açından İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü 1-117.
- Çolak, Ş. Ç. (2010). *Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-108.
- Ortaçtepe, Y. C. (2011). *Güneş Pilinden Elektrik Üreten Bir Sistemin Analizi ve Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-85.
- İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi (2016). Güneş Enerjisi, <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir>.
- İnternet: İnverterler (2016). İnverter Fiyatları, <http://www.cimo.com.tr>.
- İnternet: Güneş Panelleri (2016). Güneş Panelinin Fiyatı <http://www.solarmarket.com.tr>.
- İnternet: DBK Enerji Broşür (2016). Güneş Enerjisi Uygulaması için Diğer Maliyet Kalemleri, <http://www.dbkenerji.com>.
- Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Erzincan İl Müdürlüğü (2016). Erzincan İlinin 40 yıllık Global Radyasyon Değerleri.
- İnternet: Fotovoltaik Uygulamaları, Fotovoltaik Hesap Programı, <http://www.pvsyst.com>.
- İnternet: İnverterler (2016) “İnverter Fiyatları” <http://www.cimo.com.tr>.
- Abuşka, M. (2014). Güneş Enerjisi ve Uygulamaları Ders Notları, Manisa: Celal Bayar Üniversitesi Akhisar Meslek Yüksekokulu.

**Osman M. Küçükgoze** 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.

**M. Kaya** 1965 yılında Erzincan'da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Erzincan'da tamamladı. 1993 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2001 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 'de yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2005 yılında doktora eğitimini tamamladı. 2009-2016 yılları arasında Erzincan Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde Yardımcı Doçent olarak görev yaptı. 2016 yılı itibariyle Doçent unvanını aldı ve Erzincan Üniversitesi'nde görevine devam etmektedir. 6 adet SCI makale ve uygulanan bir çok bilimsel araştırma projesi bulunmaktadır.