



**Alınış tarihi (Received):** 21.04.2017  
**Kabul tarihi (Accepted):** 27.12.2017

**Baş editor/Editors-in-Chief:** Ebubekir ALTUNTAŞ  
**Alan editörü/Area Editor:** Hakan POLATCI

## **Fotovoltaik Piller İle Elektrik Üretiminde Uygun Eğim Açısının ve Yıllık Oluşan Enerji Farkının Belirlenmesi**

**M. Emin BİLGİLİ<sup>a\*</sup>**

**Metin DAĞTEKİN<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana

<sup>b</sup> Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Meslek Yüksekokulu, Ceyhan, Adana

\*: Sorumlu yazar, e-posta: [eminbilgili@gmail.com](mailto:eminbilgili@gmail.com)

**ÖZET:** Çalışmada, fotovoltaik (PV) panellerin farklı eğim açılarında (15°-30°-45° ve 60°), 2016 yılında, belirli periyotlarda ürettiği enerji miktarı ve değişimleri anlık, günlük ve aylık gözlem ve ölçümler sonucunda hesaplanmıştır. Çalışmada farklı eğim açılarındaki ünitelerin ürettiği enerjinin aylık bazda karşılaştırılması yapılmıştır. Bu verilere göre eğim açısının etkisi sonucu enerji miktarındaki farklılık % olarak hesaplanmıştır. Buna göre panellerin yıl boyunca 15° eğimle konumlandırılması durumunda diğer açılara kıyasla yılın ilk 4 ve son 4 ayı yaklaşık % 7-10 enerji kayıpları gerçekleşmiştir. Yine aynı eğimle konumlandırılan paneller arada kalan 4 aylık sürede diğer eğim açılarında göre daha avantajlıdır.

**Anahtar Kelimeler - Enerji farkı, Fotovoltaik (PV), Uygun eğim açısı, Yüreğir Ovası**

## **Determination of Appropriate Slope Angle and Yearly Energy Difference in Electricity Production with Photovoltaic Battery**

**ABSTRACT:** In the study, energy produced by Photovoltaic Panels (PV) at different slopes (15°-30°-45° and 60°) during different time periods in year 2016 was measured and calculated. A comparison was made between the energy produced by the units at different slopes on a monthly basis. According to these data, effect of the slope angle to the difference in the amount of energy is calculated as %. Around 7-10 % energy loss occurred in the first 4 and last 4 months of year when panels were positioned at 15° inclination throughout the year compared to other angles. Same angle was found superior during the remaining 4 months of year.

**Keywords - Yüreğir plane, photovoltaic (PV), appropriate slope angle, energy difference.**

### **1. Giriş**

Son yıllarda nüfus ve sanayileşmenin artış oranı ile birlikte elektrik enerjisine olan taleple her geçen gün artmaktadır. Buna ek olarak elde edilen elektrik enerjisinin büyük bir kısmının kayıp ve kaçak kullanımından dolayı beklenen verimlilik elde edilememektedir. Ayrıca enerji ihtiyacının 3/4'ü dışa bağımlı olması, yeni alternatifleri gündeme getirmiştir. Özellikle alternatif enerji kaynaklarından olan yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) açısından kontrol edilebilir, çözümler üretilebilir bu nedenle önem arz etmektedir.

YEK arasında yer alan güneş enerjisi, temiz, tükenmez ve kullanımının kolay olması açısından daha cazip hale getirmektedir (Karafil ve ark. 2016).

Dünyanın geoit şeklinde olmasından dolayı güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açısı bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu nedenle Fotovoltaik panel (PV) tasarımı yapılacak olan bir yerin bulunduğu bölgenin yıllık güneşlenme değerleri, panelden elde edilecek enerjiyi doğrudan etkilemektedir (Thomas ve Fordham2001).

Güneş hücresi, fotovoltaik sistemlerde güneş ışığını doğrudan doğru gerilime (DC) dönüştüren en küçük birimdir. Güneş hücreleri seri ve/veya paralel bağlanarak PV modülünü oluşturur. PV modüllerin seri-paralel birleştirilmesi ile de istenilen akım, gerilim ve güç değerlerin elde edilir (Almaktarve ark. 2012; Turhan ve Çetiner 2012).

PV paneli, panel yapısındaki yarı iletken malzemeye bağlı olarak güneş enerjisini %6-20 verimle elektrik enerjisine dönüştürür. Düşük verimliliğe sahip PV panellerin verimine etki eden birçok faktör yer almaktadır. Bunlar; panel eğim açısı, gölgelenme, tozlanma, güneş ışınım şiddeti, sıcaklık ve diğer kayıplardır (Irwantove ark. 2014; Bholve ark. 2015).

Bu faktörler arasında “güneş ışınım şiddeti” ve “sıcaklık” panel verimine etki eden en önemli iki parametredir. Gün boyunca güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık gibi atmosferik şartların değişmesi panel verimini de önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle değişen atmosferik şartlara bağlı olarak güneş ışınım şiddeti ve sıcaklığın panel verimine olan etkisinin bilinmesi önemlidir. Fakat PV panel üretici firmaları kataloglarında laboratuvar ortamlarında gerçekleştirdikleri testler sonucu Standart Test Koşulları (STC) olarak adlandırılan 1000 W/m<sup>2</sup>güneş ışınım şiddeti, 25°C hücre sıcaklığı ve hava kütle oranı (AirMass-A.M) 1.5 şartlarındaki panelin elektriksel değerlerini vermektedirler. STC dışındaki değişimlerde PV’in elektriksel değerleri bilinmemektedir. Değişen atmosferik şartlarda da PV panelin elektriksel değerlerinin bilinmesi gereklidir. Özellikle şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistemlerin tasarımında değişen atmosferik şartlar göz önünde bulundurularak hesaplamaların yapılması daha doğru sonuçlar verecektir (Karafil 2016; Islam ve ark. 2014; Beslive ark. 2010).

Fotovoltaiklerin tekno-ekonomik ömürleri 20-30 yıl gibi bir zaman kabul görmekte ve finansal analizlerde buna göre hesaplanmaktadır. Tekno-ekonomik ömürleri boyunca sistemin verimliliğindeki çok küçük değişimlerin kümülatif olarak yıllar içindeki etkisi önemli seviyelere çıkmaktadır.

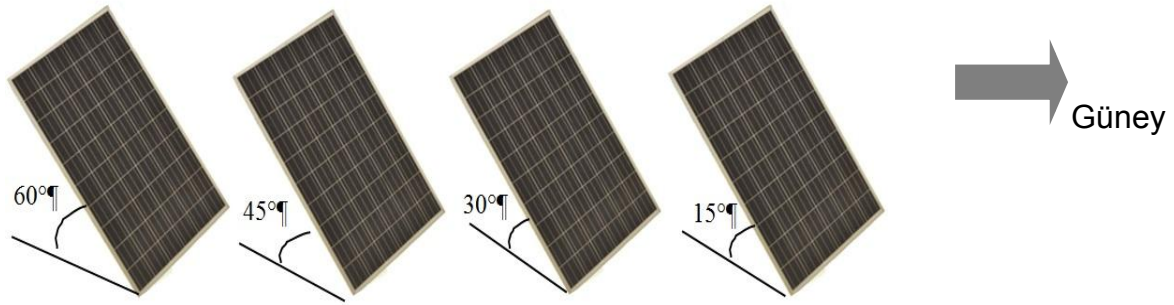
PV verimliliğini üretilen enerjideki kayıplar belirler. PV kayıpları çevresel koşullardan tasarıma, kullanılan malzemedan işçiliğe kadar birçok faktöre bağlıdır ve hem yatırımcılar, hem de uygulamacılar tarafından iyi analiz edilmelidir. (Deniz 2013).

Bu çalışmada, PV ’ler de görülmesi muhtemel kayıpların içinde önemli bir yer tutan panel eğim açısından kaynaklı kayıplar incelenmiştir. Bu kayıpların muhtemel sonuçları ve PV’in performansına etkileri açıklanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Bu çalışma, 2016 yılında, Yüreğir ovasında 36°51'17" K. Enlem ve 35°20'37" D. Boylam koordinatlarındaki toplam 5 kW ’lık, eşit güce sahip dört ünite (her ünite 5 adet 250W ’lık fotovoltaik panel, seri bağlı olarak montaj edilmiştir) fotovoltaik panellerden oluşturulmuştur.

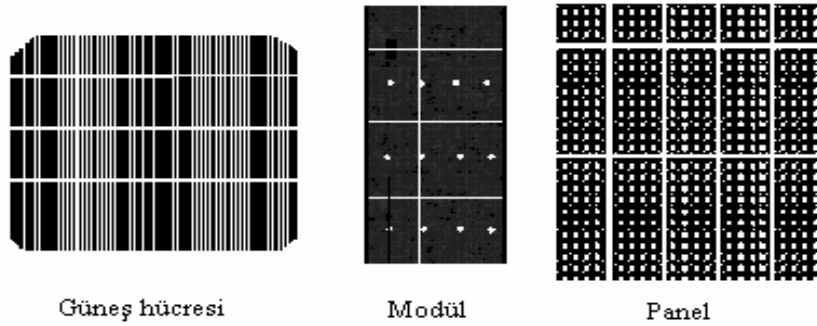


**Şekil 2.** Araştırmada kurulan, 1.25 kWh'lık dört ünitenin panel eğim açıları ve yöneyleri  
**Figure 2.** Panel slope angles and orientations of four units of 1.25 kWh installed in the study

Ünitelerin yıl içerisindeki optimum eğim açısının karşılaştırmalı olarak belirlenmesi amacıyla aylık gözlem ve hesaplamalara göre PV 'nin farklı eğim ( $15^{\circ}$ - $30^{\circ}$ - $45^{\circ}$  ve  $60^{\circ}$ ) açılarında, tam güneşe yönlendirilmiş konumda üretmiş oldukları enerjinin miktarı açısından, değişimlerin % olarak ne kadar fark ettiğini gösteren değerler hesaplanmıştır.

## Fotovoltaikler

Güneş pilleri; yüzeylerine gelen güneş ışınını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken kristaldir. Yüzeyleri; kare, dikdörtgen ve daire şeklinde yapılmaktadır. Standart ölçülerde bir güneş pili,  $1000 \text{ W/m}^2$  yoğunluğunda gelen güneş ışınımı altında (bir yaz günü öğle saatlerinde alınan güneş ışınımı), 0.57-0.6V doğru gerilim ve 18.5–25 mA doğru akım (DC) üretir. Şekil 1. 'de güneş pili yapıları verilmiştir.



**Şekil 1.** Güneş pili yapıları  
**Figure 1.** Photovoltaic constructions

Güneş pilleri güneş enerjisini yaklaşık % 6–22 verimle elektrik enerjisine dönüştürürler. Uygun sayıda güneş pilleri 15-18 V gerilim üretmek üzere seri bağlanarak solar modüller oluşturulur. Bu solar modülleri seri ve/veya paralel bağlanarak istenilen güç elde edilir (Akgün 2006).

## 2.2. Metot

Çalışmada, iki iş paketi uygulanmıştır, I. İş paketinde matematiksel yaklaşım ve II. İş paketi ise uygulamalı deneme ortamı. Kurulan eşit güce sahip dört fotovoltaik panel ünitelerinin yıl içerisinde optimum eğim açısının karşılaştırmalı olarak belirlenmesi amacıyla ilk önce fotovoltaik panelin tahmini optimum eğim açısı matematiksel olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar, PC'de Vssolmo programı ile aylık Güneş ışınımının açığa bağlı verileri hesaplanabilir bir program kullanılarak (Web-2. 2016); deneme alanı ve planında belirtilen koordinat ve açılardaki aylık global güneş ışınımı miktarları değerleri

hesaplanarak ilgili grafikler ve polinom eğrileri oluşturulmuştur. Buna göre optimum eğim açıları; her ay için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ölçümler 0°;15°;30°;45°;60° ve 75°'lik açılarda gerçekleştirilmiştir.

### **Fotovoltaik Panel İçin Optimum Eğim Açısı Hesaplanması**

Fotovoltaik panelin tahmini optimum eğim açısının matematiksel hesaplanması yapılmıştır. Hesaplamalar kişisel bilgisayarla (PC) excel ortamında değerlendirilmiştir.

Eğik düzleme gelen aylık, maksimum güneş ışınımı değerlerini bulmak için PC ile excel'de bir modül kullanılarak yapılmıştır (Web-2 2016). 0°-75° eğim değerleri arasında 15° 'lik açı farkıyla altı farklı eğim için ayrı ayrı hesaplamalar yapılarak, maksimum ışınımın olduğu açı değeri tespit edilerek optimum açı değeri saptanmıştır. Daha sonra PC'de excel ortamında grafiksel sonuçlar elde edilmiştir.

Aylık Güneş ışınımı hesaplamasında kullanılan parametreler: enlem açısı, kaçınıcı ay olduğu, yüzey azimut açısı, yüzey açısı, deklinasyon açısı, zaman denklemi, yüzey alana gelen ışınım enerjisi ( $W/m^2$ ), atmosferik yutma katsayısı (birimsiz), direkt normal radyasyonun yatay yüzeye gelen yaygın radyasyona oranı (birimsiz), güneşin doğuş saati, gün uzunluğu (saat), yüzey yansıtıcılık katsayısı (0.2), direkt, difüze yayılı ve toplam radyasyon gibi bazı veriler kullanılmıştır (Web-2 2016).

### **En Küçük Kareler Metodu ile Optimum Eğim Açısı ve Güneş Işınım Tahmini**

Bir serpmeye diyagramındaki verilere en iyi uyan doğruyu bulmak için veri noktalarının doğrusal regresyon denkleminden olan sapmalarının, diğer bir deyişle gerçek koordinat sistemi üzerinde Y değerleri ile doğru üzerinde yer alan teorik  $\hat{Y}$  değerleri arasındaki farklar olan hataların kareleri toplamını minimize eden doğru seçilir (Gürsakar, 2002). Bu durum hata kareleri toplamının minimum olması anlamına gelir.

Bu yöntemle "en küçük kareler metodu" denilmektedir. Bu fonksiyonun ( $y=ax^2+bx+c$ ) minimum olabilmesi için a ve b parametrelerine göre birinci dereceden türevleri bulunup sıfıra eşitledikten sonra gerekli sadeleştirme işlemleri yapıldığında normal denklemler adı verilen denklem sistemi elde edilir (Yavuz 2009). Buradan da belirlilik katsayısı belirlenir. Bulunan belirlilik katsayısı ( $R^2$ ), bağımsız değişken değerlerindeki değişimlerin ne kadarının (%) kurulan regresyon modeli ile açıklandığını gösterir.  $R^2$  değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir ve 1'e yaklaştıkça modelin uygunluğu artmaktadır.

### **Eğimli Yüzeye Gelen Güneş Işınımı ve Hesaplanması**

Aylık ortalama güneş ışın miktarının bilinmesi bu tür çalışmalar için çok önemlidir. Bu konuda yapılmış birçok araştırma vardır. Aylık yatay düzleme gelen güneş ışınım miktarı ile ilgili veriler mevcuttur. Eğik düzleme gelen ışınım miktarları ise Liu ve Jordan (1962) tarafından geliştirilen bir metot ile hesaplanmıştır.

PV ünitelerinin konumlandırma eğim açılarına göre eğimli yüzeye gelen günlük radyasyonun aylık ortalamasının hesaplanmasında 1 no'lu Eşitlik kullanılmıştır (Liu ve Jordan 1962; Doğan 2006).

$$\bar{H}_T = \bar{H} \left( 1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \bar{R}_d + \bar{H} \bar{R}_r \quad (1)$$

Güneye bakan bir yüzey için ( $\gamma = 0^\circ$ ),

$$\bar{R}_b = \frac{\cos \delta \sin \omega_{sT} \cos(\varnothing - \beta) + (\pi/180) \omega_{sT} \sin \delta \sin(\varnothing - \beta)}{((\pi/180) \omega_{sT} \sin \varnothing \sin \delta + \cos \varnothing \cos \delta \sin \omega_s)} \quad (2)$$

$$\bar{R}_d = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (3)$$

$$\bar{R}_r = \rho \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (4)$$

$$\omega_{sT} = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan \varnothing \tan \delta) \\ \cos^{-1}(-\tan \varnothing - \beta) \tan \delta \end{array} \right\} \quad (5)$$

Burada,

$\bar{H}_T$ ; eğimli yüzeydeki günlük radyasyonun aylık ortalama değeri,

$\bar{H}$ ; yataydaki günlük radyasyonun aylık ortalama değeri,

$\bar{H}_d$ , yataydaki dağılan radyasyonun aylık ortalama değeri,

$\bar{R}_b$ ;  $R_b$ 'nin aylık ortalama değeri,

$\bar{R}_d$ ;  $R_d$ 'nin aylık ortalama değeri,

$\bar{R}_r$ ;  $R_r$ 'nin aylık ortalama değeri,

$\omega_{sT}$ ; eğimli yüzeydeki gündoğumu saat açısıdır. ( $^\circ$ )

Aylık ortalama açıklı indeksi,  $\bar{K}_T$ , aylık ortalama dünya dışı radyasyon değeri ile günlük ortalama değerlerin oranına eşittir.

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{H_0} \quad (6)$$

Burada,  $H_0$  ayın ortasındaki günde hesaplanmalıdır. Aylık ortalama günlük dağılan radyasyon ile ortalama günlük radyasyon değerleri, Erbs bağıntısı ile aşağıdaki gibi verilmiştir:

$\omega_s = 81,4^\circ$  için Eşitlik 7 hesaplanır.

$$\frac{\bar{H}_d}{H} = 1,391 - 3,560 \bar{K}_T + 4,189 \bar{K}_T^2 - 2,137 \bar{K}_T^3 \quad (7)$$

Burada;  $0,3 = \bar{K}_T = 0,8$

$\omega_s > 81,4^\circ$  için Eşitlik 8 hesaplanır.

$$\frac{\bar{H}d}{H} = 1,311 - 3,022\bar{K}_T + 3,427\bar{K}_T^2 - 1,181\bar{K}_T^3 \quad (8)$$

Burada;  $0,3 = \bar{K}_T = 0,8$

Güneş enerjisi uygulamalarında, panellerin (Fotovoltaik panel ya da ısı paneli) yatayla uygun açı ile montajı, üretilecek elektrik ve ısı bakımından çok önemlidir. Güneş enerjisinden faydalanmada özellikle de elektrik üretiminde panellerden maksimum enerji dönüşümü sağlayabilmek için paneller yatayla belirli açıda monte edilmelidir. Paneller güneş yöne, enleme bağlı uygun bir açı değeriyle montajlanmalıdır. Olası olumsuzlukların önüne geçmek için panellerin hangi açıyla monte edilmesi gerektiğini birçok araştırmacı farklı model ve yaklaşımlarla değerlendirmiştir. Bu literatürde, güneş ışınımı haricinde temel şart sistemin kurulacağı bölgenin enlem derecesi olduğunu vurgulamışlardır. Buna göre optimum eğim açısı araştırmalarında önerilen basit kurallar şöyledir (Web-1 2016):

- 1- Bütün yıl için yaklaşık olarak: eğim = enlem
- 2- Yaz ayları için: eğim = enlem –  $10^\circ$
- 3- Kış ayları için: eğim = enlem +  $10^\circ$

Benzer sonuçlara vararak yıllık optimum verim için “eğim =  $0.9 \times$  enlem” kuralını önerenler de mevcuttur (Arınç 1986). Konuyu ekonomik yönden inceleyenler ise kış için “eğim = enlem +  $15^\circ$ ” kuralını geliştirmişlerdir (MEB 2013). Bu bağlamda, literatüre göre optimum eğim açısı için aşağıdaki kurallar geliştirilmiştir (Karafil ve ark. 2016).

- 1- Yıllık optimum verim için eğim açısı:  $\beta = 0.9 \times$  enlem
- 2- 7 aylık kış mevsiminde optimum verim için eğim açısı :  $\beta =$  enlem +  $15^\circ$
- 3- Kış mevsiminde en soğuk üç ayda optimum verim için eğim açısı:  $\beta =$  enlem+  $25^\circ$
- 4- Yaz mevsiminde optimum verim için eğim açısı:  $\beta =$  enlem –  $25^\circ$

Optimum verim elde etmekte iklim şartları önemli bir faktördür. Örneğin bir yörede Aralık ve Ocak ayları % 80 kapalı geçiyorsa, panel bu aylara göre yönlendirilmelidir. İkinci önemli faktör sistemin kullanım amacıdır. İlkbahar veya sonbahar mevsimlerinde azami verimle çalışması gereken mevsimlik bir iş için sistem kurulacaksa eğim açısı buna göre hesaplanmalıdır (Irwantove ark. 2014).

Önceki çalışmalarda, optimum eğim açısı için hesaplanan ve geliştirilen bazı kurallar belirlenmiştir. Bunların uygulanmasında çevresel ve diğer özellikler dikkate alınmalıdır.

Bu kısımda verilen bilgi ile her türlü esnek uygulama olanakları sağlanabilir.

Bu çalışmada, optimum eğim açıları bir yıl içerisinde matematiksel olarak aylık; eğim açısı  $4^\circ$ - $67^\circ$  arasında hesaplanmıştır. Ayrıca yılın belirli bir günü için optimum eğim açısı eşitliği en küçük kareler metoduna göre hesaplanarak belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) ile aylık ışınım ve eğim açısı durumu elde edilmiştir, yılın belirli bir günü için optimum eğim açısı eşitliği  $y=1,926x^2-24,16x+87,52$  şeklinde elde edilmiştir ( $R^2=0,895$ ).

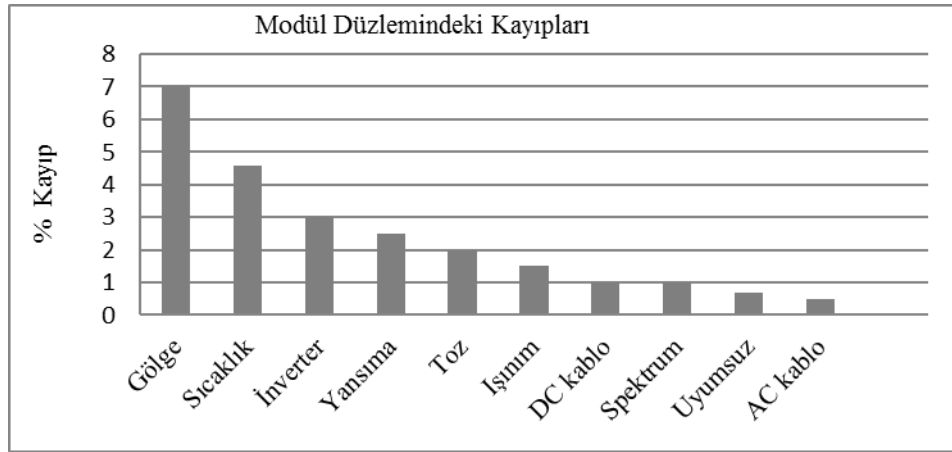
Buna göre polinom eğrisi incelendiğinde, bir matematiksel yaklaşım olarak kabul edilerek, çalışmanın zaman ve diğer imkânları dikkate alınması ile yıllık eğim açıları dört farklı eğim açısı ile uygulamalı olarak karşılaştırılabileceği öngörülmüştür. Bu nedenle çalışma dört

eşit üniteden oluşturulmuş en küçük açı olarak 15° dikkate alınmış ve diğer paneller 15°'lik açı eklenerek farklı konumlandırılmıştır.

### Pv Sistemlerinde Kayıplar

Bu çalışmada, PV 'ler de eğim açısından kaynaklı, muhtemel kayıplar açıklanacaktır. Bunun yanı sıra PV dahilinde bulunan modüllere düşen ışınım kayıpları, PV 'i oluşturan bileşenlerde görülmesi muhtemel yapısal, tasarımsal ve çevreden kaynaklanan sistem kayıpları, inverterlerde görülen kayıplar genel anlamda ifade edileceklerdir. Bir PV sistemin ürettiği enerji birçok faktöre bağlıdır. Sistemi oluşturan bileşenlerin nominal karakteristik değerleri, konfigürasyonu, coğrafi konumu, çevredeki yapılar ve işletim sırasında gerçekleşebilecek arızalar bunlardan bazılarıdır.

Panel eğim açısından kaynaklı kayıpların dışında kalan kayıpların önceki çalışmalara göre % 24 civarında olduğu söylenebilir, modül düzlemine gelen 100 birimlik enerji şebekeye 76 birim olarak çıkış vermektedir (Deniz 2013).



Şekil 3 . PV sistemde kayıplar/ Figure 3. Losses in the PV system

Bu durum şekil 3'te de görüldüğü gibi % 8 kayıpla ilk sırada gölgeleme etkisinden ve son sırada ise alternatif akım (AC) kablo kayıplarından kaynaklı olduğu görülmektedir.

Panel, düzlemin eğim açısı nedeniyle, yatay düzleme göre elde edilen kazanç ya da kaybı ortaya koyar. Bu parametrenin etkisi genellikle pozitifdir. Yani panelin yatay yüzeye göre eğimli konumda kalması enerji üretimi açısından faydalıdır. Kayıpların etkisini görmek için PV performans oranının değerlendirilmesi önemlidir.

### Performans Oranı (PO)

Fotovoltaik sistemlerinin verimliliğini ölçmek için kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Performans Oranı, PV 'te üretilen enerji üretiminin teorik olarak mümkün olan en yüksek enerji üretimine oranıyla bulunur.

Bir PV sisteminin performansı, sistemin AC çıkışında üretilen enerjinin Standart Test Koşulları altında sistemdeki PV paneller tarafından üretilen enerjiye oranıdır. PV sistem çıkışındaki enerji, STC 'da sistemdeki PV modüller tarafından üretilebilecek enerjiden sistem kayıplarının düşülmesiyle elde edilir. Yani bir PV sistem, kayıpları ne kadar

düşükse o kadar yüksek PO 'ya sahiptir. PO 9. ve 10. nolu eşitlik ile hesaplanabilir. Bir PV sistemdeki kayıpları Şekil 3'teki gibi sınıflandırılabilir (Deniz 2013).

$$PO = \frac{\text{Üretilen Enerji (Çıkış)}}{\text{Referans Enerji}} \quad (9)$$

$$PO = \frac{\text{Üretilen Enerji (Çıkış)}}{\text{Güneş Işınımı} \times \text{PV alanı} \times \text{ST C'daki modül Verimi}} \quad (10)$$

Bu bağlamda; bir PV 'in kalitesini ortaya koyan parametre Performans Oranı 'dır. Yatırımcılar ile sistem tasarımı ve kurulumu yapan firmaların da yüksek performans oranını dikkate almaları önemlidir, yüksek performans oranı mühendislik ve bilimin getirdiği gereksinimler kapsamında yapılan tasarım, kaliteli malzeme ve işçilikle yakalanır. Bu bakımdan hem yatırımcıları hem de uygulamacıları seçim ve karar aşamalarında yüksek PO ve düşük maliyeti dengelemelilerdir.

Performansı etkileyebilen diğer beklenilmeyen faktör ise bulut durumudur. Atmosfer dışından güneşe dik olarak yapılan ölçümlerde, birim alandaki ışınım şiddeti yaklaşık 1370 W/m<sup>2</sup> civarındadır (Fröhlich ve Lean 1998). Fakat bu değer kullanılabilir seviyelere indikçe çeşitli etkenlerden dolayı zayıflamalara uğrar. Bu zayıflatıcı etkenlerden ilki atmosfer zayıflamalarıdır. Atmosferde % 6'lık yansıma % 16 'lık sönümlenme kayıpları meydana gelmekte ve yeryüzüne ulaşan ışınım şiddeti saate bağlı olarak 1100 W/m<sup>2</sup> seviyelerine düşmektedir. Bir diğer zayıflatıcı etken ise bulutlardır. Bulutlar yaklaşık % 20'lik bir zayıflama %16'lık bir sönümlenme etkisine sahiptirler. Sonuç olarak; yeryüzüne ulaşan enerji seviyesi, havanın bulutluluk miktarına göre 50-1100 W/m<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Literatüre göre, havanın bulut durumuna göre yatay yüzeye gelen enerji şöyle ifade edilmektedir; bulutlu (50–200 W/m<sup>2</sup>), az bulutlu (200–700 W/m<sup>2</sup>) ve bulutsuz (700–1100 W/m<sup>2</sup>) olarak değerlendirilmektedir (Kıyanççek 2013).

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Fotovoltaik panellerde kullanılan yarı iletken malzemeler ile güneş enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür. Son dönemlerde yarı iletken malzeme teknolojisi gelişim kaydetse de PV panellerin verimliliği düşüktür. PV panel verimine etki eden birçok etken vardır. Bunlar; panel eğim açısı, gölgelenme, tozlanma, güneş ışınım şiddeti, sıcaklık ve kablolama kayıplarıdır. Güneş ışınım şiddeti ve panel sıcaklığı panel verimine etki eden en önemli parametrelerdir. PV panelin yüzeyine gelen güneş ışınım şiddeti, panelin kurulduğu yerleşim yerinin coğrafi konumu ile o güne ait gün içindeki zaman dilimlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Dolayısıyla güneş ışınım şiddeti panel gücünü doğrudan etkilemektedir. Güneş ışınım şiddetinin düşmesi panel gücünü de düşürmektedir. Panel sıcaklığı ile panel gücü arasındaki ilişki ise ters orantılıdır. Yani; ortam sıcaklığı arttıkça panelin gücü düşmektedir.

Literatürde, PV panel eğiminin ideal konumdan  $\pm 15^\circ$  sapma halinde kayıp oranı % 6 düzeyinde olabileceği belirtilmektedir. Bu nedenle mimari ve diğer etkenler sebebi ile ideal açı uygulanamazsa kayıplar çok büyük olmayacaktır (Deriş 1979) denilmektedir. Ancak kümülatif olarak tesisin büyüklüğü dikkate alınırsa önemsenecek bir enerji kaybı demektir.

Fotovoltaik diziler, optimum açıda yerleştirilmekle birlikte, gün içerisinde güneş ışınımı dizi üzerine farklı açılarda geleceğinden, PV sistemin verimi azalır. Fotovoltaik diziler,



optimum açıda yerleştirildiğinde, açı değişimi  $15^\circ$ 'dir. Açı değişimindeki  $15^\circ$ 'lik fark için verim azalması % 5 alınır (Dağtekin 2012).

PV panellerinin yönlendirme ve yüzey eğim açısı bakımından, panelden elde edebilecek enerji miktarı; binanın bulunduğu enleme ve panelin yüzey ile yaptığı eğim açısına göre değişebilmektedir. Panellerin uygulanması gereken yön güneydir. Ancak performans düşüklüğü göz önüne alınarak Güney-Doğu ve Güney-Batı yönlerinde de uygulama yapılabilir. Türkiye'de PV panellerin yaz ve kış ortalamasına göre optimum yerleştirme açısı  $30^\circ$ 'dir. Farklı yön ve açılarda yerleştirilen PV panellerdeki performans düşüşü, modül tipine göre farklılıklar gösterir. Türkiye şartlarında  $10^\circ$  ile  $30^\circ$  arasındaki yıllık performans farkı % 15 'i geçmeyecek denilmektedir (Turhan ve Çetiner 2012).

Tozlanmadan kaynaklanan güç kaybı tozun cinsine, en son düşen yağmurdan beri geçen zamana ve temizlik programına bağlıdır. Yatayla eğim açısı  $15^\circ$ 'den büyükse yağmurun tozu temizlemede etkili olacağı varsayılır. Bu durumda tozlanmadan kaynaklanan verim kaybı % 0,5 'le sınırlıdır. Açı  $15^\circ$ 'den küçükse, ya da yağışın az ya da seyrek olması, çevredeki arazilerde tarımsal ya da endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan tozlanma ve hava kirliliği gibi kurulum sahasına has özellikler varsa bu değer arttırılabilir. Fakat yapılan araştırmalar göstermiştir ki tozlanmadan kaynaklanan kayıplar nadiren %4'ün üstüne çıkar (Deniz 2013).

Fotovoltaik panel açılarının değiştirilmesi mümkün olmadığı durumlarda yıllık olarak hesaplanan optimum açı değeri kullanılabilir. Yüreğir Ovası için matematiksel olarak yıllık optimum açı değeri  $34^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Yıllık optimum açı kullanıldığında fotovoltaik panel yüzeyine düşen güneş ışınım miktarı hesaplanabilir. Yılda iki kez altı aylık süreler ile fotovoltaik panel açısını değiştirildiğinde ortaya çıkan güneş ışınım miktarları hesaplanabilir. Ayrıca yılda mevsimlere göre fotovoltaik panel açısını değiştirildiğinde ortaya çıkan güneş ışınım miktarları hesaplanabilir. Bu farklı eğim açısından kaynaklı ışınım değeri artmaktadır. Büyük kapasiteli işletmeler düşünüldüğünde bu farkın önemi daha da çok artmaktadır.

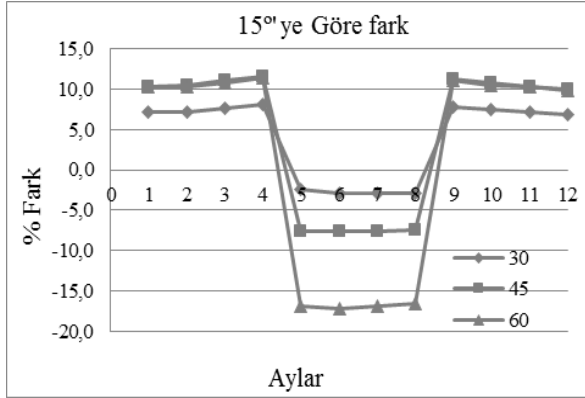
Bu çalışmada, elde edilen verilere göre yıl içerisinde  $15^\circ$  'lik eğimle konumlandırılan panellerin ilk dört ay ve son dört ay içinde yaklaşık % 7-10 kayıp beklenmektedir. Yine aynı eğimle paneller konumlandırılırsa arada kalan 4 aylık sürede diğer eğim açılara göre  $15^\circ$  eğimli ünite avantajlıdır. Bu farklar Şekil 4. ve Çizelge 1.'de verilmiştir.

Aynı şekilde yıl içerisinde  $30^\circ$ 'lik eğimle konumlandırılan panellerin ilk dört ay ve son dört ay içinde yaklaşık % 3,1-3,9 kayıp beklenmektedir. Yine aynı eğimle paneller konumlandırılırsa arada kalan 4 aylık sürede diğer eğim açılara göre  $30^\circ$  eğimli ünite avantajlıdır. Bu durum Şekil 5. ve Çizelge 2.'de verilmiştir.

Panellerin  $45^\circ$ 'lik eğime göre yıl içerisinde konumlandırılmaları durumunda ilk dört ay ve son dört ay içinde yaklaşık % (-0,3)-0,0 kayıp beklenmektedir. Yine aynı eğimle paneller konumlandırılırsa arada kalan 4 aylık sürede diğer eğim açılara göre  $45^\circ$  eğimli ünite avantajlıdır.

Çalışmada, 2016 yılında, 12 aylık gözlem ve hesaplamalara göre PV panellerinin farklı eğim açılarında, üretmiş oldukları enerjinin miktarı açısından, değişimlerin % olarak ne kadar fark ettiğini gösteren değerler Çizelge 1, 2 ve 3'te ayrıca Şekil 4., Şekil 5. ve Şekil 6.'da gösterilmiştir.

Buna göre Şekil 4. incelendiğinde panellerin yıl boyunca  $15^\circ$  eğimle konumlandırılması durumunda ilk 4 ay ve son 4 ay yaklaşık % 7-10 kayıp olması beklenmektedir. Yine aynı eğimle paneller konumlandırılırsa arada kalan 4 aylık sürede diğer eğim açalarına göre  $15^\circ$  eğimli ünite avantajlıdır.

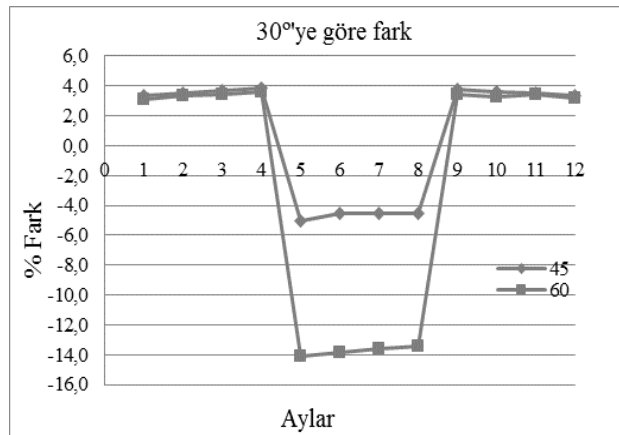


Şekil 4. PV panellerinin  $15^\circ$ 'ye göre aylık % enerji farkı

Çizelge 1.  $15^\circ$ 'ye göre fark

Aylar	30° fark %	45° fark %	60° fark %
1	7,1	10,3	10,3
2	7,2	10,5	10,3
3	7,6	11,0	10,8
4	8,0	11,6	11,3
5	-2,4	-7,6	-16,9
6	-2,9	-7,6	-17,2
7	-2,9	-7,5	-16,9
8	-2,8	-7,4	-16,6
9	7,8	11,3	11,0
10	7,5	10,8	10,5
11	7,1	10,3	10,3
12	6,9	10,0	9,9

Yıllık global güneş radyasyonu, sıcaklık ve yatay yüzeye gelen güneş enerjisi değerleri ölçülmüştür. Buna göre elde edilen verilerin aritmetik ortalamaları sonucu grafikler çizilerek; farklı eğim açalarına sahip panellerin yıl içerisinde her ay sabit açıda kalması durumunda ne kadarlık bir enerji farkı oluştuğu hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda farkın  $- \% < 0 < + \%$  aralığında değişim gösterdiği durumlar incelenmiştir.

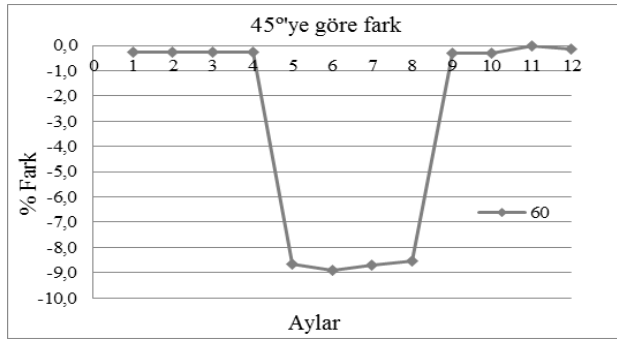


Şekil 5. PV panellerinin  $30^\circ$ 'ye göre % aylık enerji farkı

Çizelge 2.  $30^\circ$ 'ye göre fark

Aylar	45° fark %	60° fark %
1	3,4	3,1
2	3,6	3,3
3	3,7	3,4
4	3,9	3,6
5	-5,0	-14,1
6	-4,5	-13,9
7	-4,5	-13,6
8	-4,5	-13,4
9	3,7	3,5
10	3,6	3,3
11	3,5	3,4
12	3,3	3,2

Yapılan değerlendirmelerde panellerin yıl boyunca  $15^\circ$  eğimle konumlandırılması durumunda ilk 4 ay ve son 4 ay yaklaşık % 7-10 kayıp olması beklenmektedir. Yine aynı eğimle paneller konumlandırılırsa arada kalan 4 aylık sürede diğer eğim açalarına göre  $15^\circ$  eğimli ünite avantajlıdır. Sonuç olarak; yapılan çalışmalara göre farklı eğim açılarındaki ünitelerin ürettiği enerjinin aylık bazda karşılaştırılması yapılmıştır. Bu verilere göre eğim açısının etkisi sonucu enerji miktarındaki farklılık % olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. PV panellerinin 45°'ye göre % aylık enerji farkı

Çizelge 3. 45°'ye göre fark

Aylar	60° fark %
1	-0,3
2	-0,2
3	-0,2
4	-0,3
5	-8,7
6	-8,9
7	-8,7
8	-8,5
9	-0,3
10	-0,3
11	0,0
12	-0,2

Bu tip sistemlerde, kayıplar arasında eğim açısının yanlış uygulanması sonucu oluşacak kaybın diğer kayıplar içinde oransal olarak çok fazla olacağı görülmektedir.

## Kaynaklar

- Akgün A (2006). "Mikro denetleyici Tabanlı Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Sisteminin Tasarımı" Yüksek Lisans Tezi. Elektrik Eğitimi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Almaktar M, Rahman H A ve Hassan M Y (2012). "Effect of losses resistances, module temperature variation, and partial shading on PV output power", *Power and Energy (PECon), 2012 IEEE International Conference on. IEEE, 2012, 360-365.*
- Arınç ÜD (1986). Güneşli Su Isıtıcılarının Projelendirilmesi, *Elektrik Mühendisleri Dergisi, Sayı 344, 1987/6, S.137-141.*
- Besli N, Aktacir MA ve Yesilata B (2010). "Fotovoltaik panellerin gerçek arazi koşullarında test ve karakterizasyonu", *Engineer & the Machinery Magazine, 51(601), 2010, 21-28.*
- Bhol R, Pradhan A, Dash R. ve Ali SM (2015). "Environmental effect assessment on performance of solar PV panel", *Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2015 International Conference on. IEEE, 2015, 1-5.*
- Dağtekin M (2012). "Etlik Piliç Kümeslerinin Serinletilmesinde Güneş Enerjisi Kullanımının Tekno-Ekonomik Analizi". *Ç.Ü.Z.F. Dergisi, 2012, 27 (2): 11-20.*
- Deniz E (2013). "Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar" III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri. 21-24 Kasım 2013 İzmir.
- Deriş N (1979). Güneş Enerjisi Sıcak Su ile Isıtma Tekniği, Sermet Matbaası, İstanbul.
- Doğan İ (2006). "Güneş Enerjisi Uygulamaları" Bileşim Yayınları: 240 Teknik 73 - 8.01.060. ISBN: 975 271 108 1. İstanbul.
- Fröhlich C and Lean J (1998). Total solar irradiance variations: the construction of a composite and its comparison with models, *International Astronomical Union Symposium, The Netherlands.*
- Gürsakaal N (2002). "Bilgisayar Uygulamalı İstatistik II", Alfa Yayınları, İstanbul.
- Irwantom, IrwanYM, Safwati I, Leow WZ ve GomeshN (2014). "Analysis simulation of the photovoltaic output performance", *Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2014 IEEE 8th International. IEEE, 2014, 477-481.*
- Islam M, RahmanMZ ve Mominuzzaman SM (2014). "The effect of irradiation on different parameters of monocrystalline photovoltaic solar cell", *Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), 2014 3rd International Conference on the IEEE, 2014, 1-6.*
- Karafil A, Özbay H, ve Kesler M (2016). Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi. *EEB 2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 11-13 Mayıs 2016, Tokat.*
- Kıyanççık E (2013). Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması İçin Pvs2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı. Konya.
- Liu BYH and Jordan RC (1962). "Daily Insolation on Surfaces Tilted Toward the Equator", *ASHRAE Journal, 3, (10), 53.1962.*
- MEB (2013). T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. "Yenilenebilir Enerji Teknolojileri. Yapılarda Güneş Panel Sisteminin Kurulması". Ankara.
- Thomas R, ve Fordham M (2001). "Photovoltaics and Architecture", SponPress, London and New York.

- Turhan S, Çetiner İ (2012). “Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi”.6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 12-13/04/ 2012 Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi. Bursa.
- Yavuz S (2009). “Regresyon analizinde doğrusala dönüştürme Yöntemleri ve bir uygulama” Atatürk Üni. iktisadi ve idari Bilimler Dergisi, Cilt: 23 Ocak 2009 Sayı: 1.
- Web-1. (2016). <http://www.unienerji.com/arsivler/18>. Erişim:12/02/2016.
- Web-2. (2016). <http://vitalsigns.ced.berkeley.edu/res/downloads/vssolmo.xls>. Erişim: 10.02.2016.