

# GÜNEŞ PİLLERİNİN ENERJİ DÖNÜŞÜM KALİTESİNİ ETKİLEYEN ÖNEMLİ FAKTÖRLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ercan KÖSE<sup>1</sup> Ercan ZENGİN<sup>2</sup>

Mekatronik Mühendisliği Bölümü<sup>1</sup>  
Mersin Üniversitesi, Tarsus Teknoloji Fakültesi, Mersin

Elektrik-Elektronik Bölümü<sup>2</sup>  
Kurttepe Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Adana

<sup>1</sup>e-posta [ekose@mersin.edu.tr](mailto:ekose@mersin.edu.tr) <sup>2</sup>e-posta [zenginceran@gmail.com](mailto:zenginceran@gmail.com)

## ÖZET

Ülkelerin sanayi devrimiyle birlikte başlayan ekonomik kalkınma yarışı, teknolojik gelişmeler, nüfus artışı, insanların daha konforlu yaşam arzusu gibi nedenlerden dolayı özellikle son 50 yılda enerji tüketimi hızla artmıştır. Elektrik enerjisi açısından ise, sanayilere her geçen gün yeni tesislerin eklenmesi ve evlerde kullanılan elektrik enerjisinin sürekli artması, yeni enerji üretim tesislerinin kurulma ihtiyacını doğurmaktadır. Güneş enerjisi elektrik santrallerinin kurulması, bu enerji ihtiyaçlarının karşılanması açısından önem arz etmektedir. Birçok ülkede PV (Photovoltaics) elektrik üretimi santrallerinin kurumları ilk dönemlerini yaşamaktadır. Öte yandan, PV santralleri kurulmadan önce, kurulum noktalarının belirlenmesi için iyi bir fizibilite çalışması yapılması gerekmektedir. Çünkü PV santrallerindeki güneş pillerinde enerji kalitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Söz konusu faktörler; yüksek güneş ışınımı değerleri, güneş açısı, rüzgâr yönü ve hızı, sıcaklık, nem, hava kirliliği, güneş panelinin yüzeyinin temizliği, kullanılan PV panelin yarı iletken yapısı ve PV verimlilik oranı, elverişli arazilerin varlığı gibi sıralanabilir. Bu faktörler göz önüne alınarak, güneş pillerinden üretilen elektrik enerjisinin kalitesi önemli ölçüde artırılabilir.

**Anahtar sözcükler:** PV panel, Enerji Kalitesi, Verim, Güneş ışınımı, Yarıiletken.,

## 1. GİRİŞ

Günümüzde tüketilen enerjinin yaklaşık %90'nını kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kaynaklar oluşturmaktadır. Fosil kaynakların rezervlerinin sınırlı olması, küresel ısınma, asit yağmurları vb. çevre ve insan sağlığına zararlı ve olumsuz etkileri nedeniyle, güneş enerjisi (basta PV sistemler olmak üzere) ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş ve günümüzde bu tip enerji kaynaklarının

kullanımı artmıştır. Bu gelişmelerin doğal bir sonucu olarak, ticari anlamda fotovoltaik enerji dönüşümüne olan ilgi ve buna bağlı olarak bu amaca yönelik cihazları üreten işletmelerin sayısı da artmıştır [1,2].

Kullanımdaki bu artışa rağmen, fotovoltaik yöntemle elektrik üretimi, henüz büyük miktarlardaki elektrik üretimi için diğer yöntemlerle rekabet edebilecek düzeyde değildir [3]. Sürekli elektriksel yük artımı güç sistemlerini kararlılık limitine yakın noktalarda çalışmaya zorlamakta ve elektrik enerji sistemlerinde önemli sorunlara yol açmaktadır [4]. Bu sınırların aşağı seviyelere çekilmesi için yeni elektrik üretim tesislerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, dünyadaki ve ülkemizdeki ekonomik gelişmeler, yaygın teknoloji kullanımı ve nüfus artışı nedeniyle daha fazla enerji ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden ekonomik büyüme ve sosyal gelişim için enerji önemli bir unsur haline gelmiştir [5].

Bu enerji ihtiyaçlarını karşılamak için ülkemiz yeterli doğal fosil enerji kaynaklarına sahip değildir. Bu durum, yeni enerji üretim tesislerinin nükleer ve güneş enerjisi gibi farklı kaynaklara yönelmeye yol açmaktadır. Yıl boyunca ülkemiz sürekli güneşlenme ve yoğun ışıma miktarına sahip olduğu için [6], PV güneş elektrik santralleri bu sorunların aşılması için önemli bir enerji üretim kaynağı olarak görülebilir.

PV güneş santrallerinde enerji üretimi için en önemli eleman güneş panelleridir. PV panellerde enerji kalitesini etkileyen faktörler; yüksek güneş ışınımı değerleri, güneş açısı, rüzgâr yönü ve hızı, sıcaklık, nem, hava kirliliği, güneş panelinin yüzeyinin temizliği, kullanılan PV panelin yarı iletken yapısı ve PV verimlilik oranıdır [4,6,7].

Yüksek güneş ışınımı değerleri PV sistemlerinde güneş radyasyonu güç çıkışı üzerinde en büyük etkiye sahiptir [7]. Radyasyonun ötesinde hava koşulları (ortam sıcaklığı, açı, toz vb.) enerji üretiminde güç çıkışı etkiler. Bu noktada hava koşulları PV hücre sıcaklığı rüzgâr hızına oldukça, rüzgâr yönüne küçük

ölçüde duyarlıdır [8]. PV sistemler yapı açısından incelendiğinde İnce film PV paneller kristal panellere göre sıcak iklimlerde her yıl % 30 daha fazla enerji üretir [9]. Yüksek sıcaklıklardan daha az etkilenmesi ve dönüşüm verimliliği nedeniyle ince film PV panelleri sıcak iklimlerde mono kristal PV panellerine göre tercih edilebilir [5].

Sabit eğimli bir sisteme göre güneşi takip eden sistemlerde verim daha yüksektir. Tek eksenli sisteme göre çift eksenli güneş takip sisteminin güç çıkışının % 17.87 kazanç üretildiği belirtilmiştir. Çift eksenli güneş takip sisteminin ise 23.5° eğimli sabit bir sisteme kıyasla güç çıkışı çok daha yüksek (% 52) olmuştur [10].

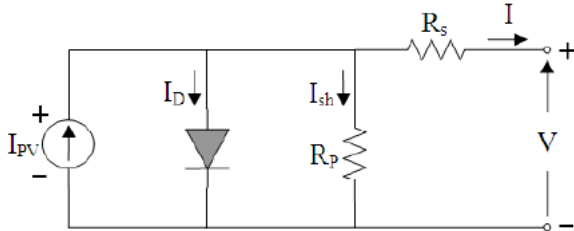
PV sistemlerin yıllık performanslarının değerlendirilmesi için doğru yöntemin belirlenmesinde çevresel ve iklimsel coğrafi faktörün dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca PV sistemlerinin çıkışlarının öngörülen ve gerçek çıkışları arasında anlayış eksikliği, iklim parametrelerinin dikkate alınmaması ve bunların karşılık gelen etkileri nedeniyle farklılıklar olduğunu belirtmiştir [11].

PV verimliliğine parçacık kompozisyonu ve hava kirlenmeleri büyük ölçüde etki eder. Temiz bir panelle karşılaştırıldığında en büyük bozulmanın kırmızı toprak birikiminde olduğu, kireçtaşı ve kül birikimlerinin etkilerinin daha az olduğu belirtilmiştir [12].

Bu çalışmada, PV elektrik üretim panellerinin enerji dönüşümü etkileyen önemli faktörler incelenmiştir. PV elektrik santralleri için bu faktörlerin, enerji üretim kalitesini önemli ölçüde etkilediği ortaya çıkmıştır.

## 2. PV HÜCRELERİNİN ELEKTRİKSEL EŞDEĞER DEVRESİ

PV hücre yüksek bir akım yoğunluğunda oldukça düşük bir gerilim üretir. Dolayısıyla PV eleman bir Akım Kaynağıdır. Standart şartlarda, yani 1kW/m<sup>2</sup> ışınım ve 25 C kristal sıcaklığında, tipik elektriksel değerleri; Kısa Devre Akım Yoğunluğu olarak I<sub>sc</sub>=30..40 mA/cm<sup>2</sup> ve Açık Devre Gerilimi olarak da U<sub>oc</sub>=0,5..0,6 V dur [13]. Şekil 1' de PV hücrenin elektriksel eşdeğer devresi görülmektedir [14].



Şekil 1. PV Hücrenin Elektriksel Eşdeğer Devresi [14]

PV hücrenin eş değer devresinde seri ve paralel iç dirençler bulunmaktadır. Buna göre PV hücrenin çıkış akımı denklem (2.1)' deki gibi ifade edilebilir.

$$I = I_{PV,hücre} - I_0 \left[ \exp \left( \frac{V + R_s I}{V_t a} \right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

Formüldeki,

I: Fotovoltaik çıkış akımı,

V: Fotovoltaik çıkış gerilimi,

V<sub>t</sub> = N<sub>s</sub> .k.T/q

N<sub>s</sub> hücrenin seri bağlanmasıyla oluşan dizinin termal gerilimi,

q=Elektron yükü (1.60217646 e<sup>-19</sup> C),

k: Boltzmann sabiti (1.3806503 e<sup>-23</sup> J K<sup>-1</sup>),

T: p-n birleşim noktasındaki sıcaklık (Kelvin),

K ve a: İdeal diyot sabiti [15].

Fotovoltaik hücre tarafından üretilen ışık akımı I<sub>pv, hücre</sub> ile güneş ışınımı ve sıcaklık arasında doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişki denklem (2.2)' de verilmiştir.

$$I_{PV,hücre} = (I_{pv,n} + k_i \cdot \Delta T) \cdot \frac{G}{G_n} \quad (2.2)$$

Formüldeki,

I<sub>pv,n</sub>: 1000 W/m<sup>2</sup> ve 25° C' lik nominal şartlar altında üretilen ışık akımı,

G: PV yüzeyindeki güneş ışınımı (W/m<sup>2</sup>),

G<sub>n</sub>: Nominal güneş ışınımıdır [15].

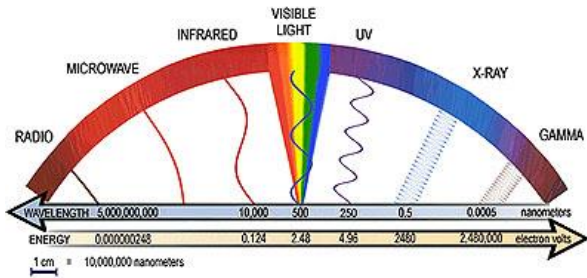
ΔT=T-T<sub>n</sub>, T ve T<sub>n</sub> (Kelvin) gerçek ve nominal sıcaklıklardır.

## 3. GÜNEŞ İŞİMA FÖKTÖRÜ

Güneşten doğrudan gelen enerji 174 petawatt olup bunun 10 PW'lık kısmı atmosferden, 35 PW'lık kısmı bulutlardan ve 7 PW'lık kısmı dünyanın yüzeyinden yansarak uzaya geri döner. Geriye kalan kısım atmosfer, kara ve denizler tarafından emilir. Atmosfer tarafından emilen kısım 33 PW, kara ve denizler tarafından emilen kısım ise 89 PW civarındadır [16].

PV sistemlerde güneş radyasyonu güç çıkışı üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Birimi W/m<sup>2</sup> olan güneş ışınımı, güneş yoğunluğu (sun intensity) veya güneş radyasyonu (solar radiation/solar irradiance) olarak da ifade edilir. Foto-akım (PV kısa devre akımı) genliği güneş yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değişir [17].

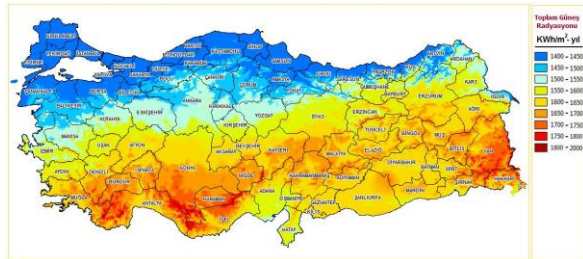
PV hücrenin pratik çalışma aralığındaki foto-dönüştürme verimi güneş radyasyonundaki değişimlerden fazla etkilenmez. Fakat bu aynı gücün elde edileceği anlamına gelmez, çünkü bulutlu bir gündeki hücrenin topladığı enerjide düşük olacağından, yani giriş enerjisi azaldığından (verim sabit) çıkış gücü de düşer [17].



Şekil 2. Elektromanyetik Spektrum[18]

Şekil 2'de görüldüğü gibi, güneş ışınımı PV panel verimine büyük oranda etki etmektedir.

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır (Şekil 3).



Şekil 3. Türkiye İl Bazlı Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) [19]

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat); ortalama yıllık toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m² (günlük toplam 3.6 kWh/m²) olarak belirtilmiştir [20].

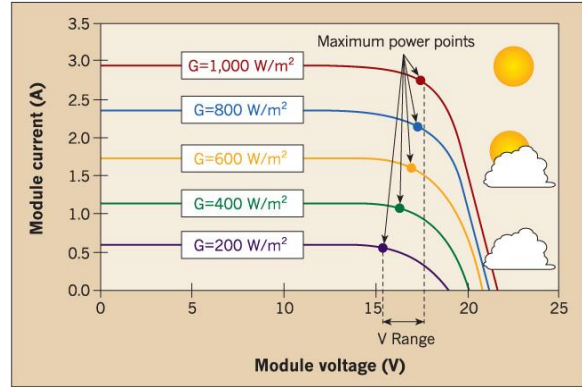
#### 4. RÜZGÂR YÖNÜ VE HIZI

Hava koşulları enerji üretiminde güç çıkışını etkiler. Modül ısısı ortam ısısından, bulut yapısından, rüzgâr hızından ve PV sistemin pozisyonundan etkilenir. Rüzgâr hızı PV panel sıcaklığını düşüreceğinden; PV hücre sıcaklığı rüzgâr hızına oldukça, rüzgâr yönüne küçük ölçüde duyarlıdır [8].

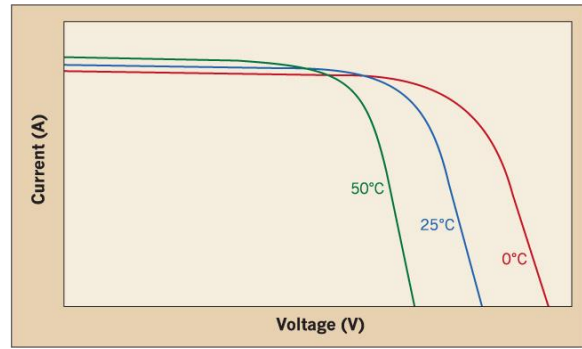
#### 5. SICAKLIK, NEM

Sıcaklığın artması PV hücrelerin kısa devre akımını artırırken açık devre gerilimini azaltır. Dolayısıyla yüksek çalışma sıcaklıkları PV sistemlerde güç ve verimi olumsuz etkilemektedir. Hücrenin verimi artan sıcaklıkla düşüş gösterir. Mono ve Polikristal silikon hücrelerde bu düşüş ince tabaka (thin film) hücrelerine göre daha belirgindir. Bu nedenle kristal silikon hücreli modüller soğuk tutulması için çaba harcanmalı, çok sıcak şartlarda ince tabaka-amorphous silicon hücreler tercih edilmelidir. Şekil

4'de sıcaklığın kristal silikon hücreli PV modüllerin I-V Akım Gerilim eğrisine olan etkisi görülmektedir. Her 1°C'lık sıcaklık artışı, elde edilen gücü % 0.5 oranında azaltmaktadır. Amorphous silicon hücrelerde ise 1 °C'lık artış, gücü % 0.2 oranında azaltmaktadır [21]. Ayrıca, PV panelde üretilen akım güneş ışığı yoğunluğu ve radyasyonu ile artmaktadır. Işınımın önemli oranda değişmesi akımı önemli ölçüde değiştirmesine rağmen gerilim neredeyse sabit kalır [22].



(a)



(b)

Şekil 4. Sıcaklığın Kristal Silikon Hücreli PV modüllerin I-V eğrisine olan etkisi [22]

Şekil 1a ve 1b'de verilen, PV eşdeğer devredeki diyotun doyma akımı  $I_0$  ve  $I_0'$ 'ın sıcaklığa bağlı ifadesi denklem (5.1)'de verilmiştir. Bu denklemde, Şekil 4'de verilen eğrinin sıcaklığa bağlı olarak akım değişimini nasıl etkilediğini açıkça ortaya koymaktadır.

$$I_0 = \frac{I_{sc,n} + K_i \cdot \Delta T}{\exp\left(\frac{V_{oc,n} + K_v \cdot \Delta T}{aV_t}\right) - 1} \quad (5.1)$$

Formülde; nominal şartlar altında  $I_{sc}$  kısa devre akımı,  $V_{oc,n}$  açık devre gerilimi iken,  $K_v$  ve  $K_i$  açık devre gerilim/sıcaklık katsayısı ve kısa devre gerilim/Sıcaklık katsayısıdır [14].

Atmosferdeki fazla su buharı, ışınımın perdelenmesine neden olmaktadır. Havadaki su buharı, yağmur ve kar şeklinde yoğunlaştığında atmosfer daha berrak olup ışınımın engellenmesi en az seviyede olur [23].

## 6. HAVA KİRLİLİĞİ, GÜNEŞ PANEL YÜZEYİNİN TEMİZLİĞİ

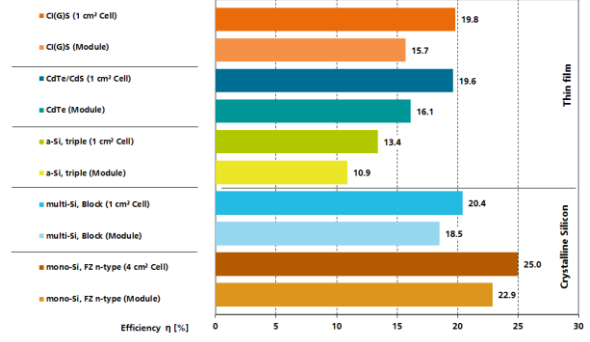
Atmosferdeki fazla su buharı, ışınımın perdelenmesine neden olmaktadır. Benzer şekilde havanın kirli olması gökyüzünde ışınımın perdelenmesine yol açarak PV panelin yeterli radyasyon almasını engelleyecektir. Meydana gelen bulut etkisi benzeri durum PV panel verimini düşürecek. PV modüllerin yüzeylerinin kirlenmesinden ya da yüzeyde kar birikmesinden dolayı modüllere ulaşan solar ışınım miktarının azalması nedeniyle gerçekleşen kayıplardır. Tozlanma üzerine yapılan araştırmalar göstermiştir ki, özellikle az yağış alan bölgelerde bu kayıplar aşırı durumlarda %15 oranlarına ulaşmaktadır [24]. Bu durumda yapılması gereken modüllerin temizlenmesidir. Fakat büyük güçlü Güneş Elektrik Santrallerinde, özellikle su sıkıntısı çeken alanlarda bu işlem pahalıya mal olur. Tozlanmadan kaynaklanan güç kaybı tozun cinsine, en son düşen yağmurdan beri geçen zamana ve temizlik programına bağlıdır [25].

Kar yağışının sık olarak görüldüğü bölgelerde, PV üreteç çıkışlarında karlanmadan dolayı kayıplar görülür. Başta Almanya olmak üzere Avrupa'nın birçok ülkesinde hazırlanan *Kar Örtüsü Haritaları*, karlanmadan kaynaklanan kayıpların tahmin edilmesinde belirleyici rol oynar [26].

## 7. PV PANELİN YARI İLETKEN YAPISI VE PV VERİMLİLİK ORANI

Fotovoltaik akım üretimi özel işlenmiş yarı iletken malzemelerden yapılan kare, dikdörtgen veya daire şeklinde biçimlendirilebilen solar hücrelerle sağlanır. Deniz seviyesinde, güneşli bir günde güneş ışınımının şiddeti  $1000\text{W/m}^2$  civarındadır. Bölgeye bağlı olarak  $1\text{m}^2$  ye düşen enerji miktarı yılda 800-2600 kWh arasındadır. Bu enerji PV yapısına bağlı olarak % 5-% 30 arasında bir verimle elektrik enerjisine dönüştürülebilir [22]. Bir PV hücrenin çıkış voltajı yaklaşık olarak 0.5 volt civarındadır [27]. Güç çıkışını arttırmak için çok sayıda hücreler seri veya paralel bağlanarak "solar modül", modüller birleştirilerek panel, ve paneller birleşerek "solar dizisi" elde edilir. Solar modüller yalnız direkt güneş ışığından değil, yaygın ışınım da (bulutlu havalarda) daha düşük güçte elektrik üretebilmektedir [28].

c-Si (Kristal Silisyum) ve CIS (Bakır İndiyum Elenür) teknolojilerinin spektral tepki aralıkları diğer teknolojilere göre daha geniştir, böylece spektral abzorsiyonları daha yüksektir. CdTe (Kadmiyum Tellürid) ve a-Si malzemeden üretilmiş PV paneller 350 – 800 nm aralığında salınan daha dar spektral tepki alanlarına sahiptir. a-Si malzemeden yapılmış modüller difüz güneş ışınımında ve yüksek güneş elevasyon açılarında daha çok enerji üretirler [29].



Şekil 5. Çeşitli PV üretim teknolojileri verim karşılaştırma tablosu [30]

Şekil 5'de çeşitli PV modül teknolojileri verim karşılaştırma tablosu ayrıntılı olarak verilmiştir. Üretildiği malzemeye göre PV verimi % 10.9-%25 aralığında değişmektedir.

## 8. SONUÇLAR

Sınırsız bir enerji kaynağı olarak Güneşin önemi, çevre dostu olması ve diğer enerji kaynaklarının azalması sonucu giderek artmaktadır. Birçok bölge için Güneşlenme sürelerinin uzun olduğu ülkemizde verimli olan bu kaynağı en iyi şekilde kullanmak hem tasarrufu arttıracak hem de çevre kirliliğini azaltacaktır.

Güneş pillerinde enerji dönüşüm kalitesinin yüksek olması isteniyorsa, ışınma yoğunluğu ve süresi fazla olan bölgelerin seçilmesi, sıcaklık  $25^{\circ}\text{C}$ ' nin altında tutulması veya bu bölgelerin tercih edilmesi, rüzgar hızının ve nemin düşük olması, verimi % 20' nin üzerinde olan PV paneli kullanılması ve panellerin güneş takip sistemleriyle kontrol edilmesi gerekir. Ayrıca, arazinin düz olması kurulum maliyetini düşürecektir.

## 9. KAYNAKLAR

- [1] K. S. Karimov, M. A. Saqibb, P. Akhterc, M. M. Ahmedd, J. A. Chatthad ve S. A. Yousafzaid, "A simple photovoltaic tracking system", Solar Energy Materials & Solar Cells, 87, sayfa 49–59, 2005.
- [2] M. A. Muntasser, M. F. Bara, H. A. Quadri, R. El-Tarabelsi ve I. F. Laazezi, "Photovoltaic marketing in developing countries", Applied Energy, cilt 65, sayı 1-4, sayfa 67-72, 2000.
- [3] D. H. W. Li, G. H. W. Cheung ve J. C. Lam, "Analysis of the operational performance and efficiency characteristic for photovoltaic system in Hong Kong", Energy Conversion and Management, 46, 1107-1118, 2005.
- [4] Reactive Power Reserve Work Group. Final Report, voltage stability criteria, undervoltage load shedding strategy, and reactive power reserve monitoring methodology, p.154, 1999.



- [5] S. Kesler, S. Kıvrak, F. Dinçer, S. Rüstemli, M. Karaaslan, E. Ünal, U. Erdiven, "PV Güç Potansiyeli ve Sistem Yükleme Analizi-Manavgat (Kış Mevsiminde Bir Vaka Çalışması)", 2014.
- [6] <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>
- [7] Diaf S, Notton G, Belhamel M, Haddadi M, Louche A. Design and technoeconomical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions. *Appl Energy*, 85:968-87, 2008.
- [8] J. K. Kaldellis, M. Kapsali, K. A. Kavadias, Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece, 2014.
- [9] Makrides, G., Zinsser, B., Phinikarides, A., Schubert, M., Georghiou, G.E., "Temperature and thermal annealing effects on different photovoltaic technologies", *Renew. Energy* 43, 407–417, 2012.
- [10] B. Gupta, N. Sonkar, B. S. Bhalavi, P. J Edla, "Design, Construction and Effectiveness Analysis of Hybrid Automatic Solar Tracking System for Amorphous and Crystalline Solar Cells", 2013.
- [11] S. Ghazi , K. Ip, "The effect of weather conditions on the efficiency of PV panels in the southeast of UK", 2014.
- [12] J.K. Kaldellis, A. Kokala, Quantifying the decrease of the photovoltaic panels' energy yield due to phenomena of natural air pollution disposal. *Energy*, 35(12):4862e9, 2010.
- [13] Çolak, M., "Fotovoltaik Sistemler Ders Notu", İzmir 2003.
- [14] K. Başaran, N.S. Çetin, H. Çelik, "Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması", 6<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey, 114-119, 2011.
- [15] M.G.Villava, J.R.Gazoli, E.R.Filho, "Modeling and Circuit-Based Simulation of Photovoltaic Arrays", *Power Electronics Conference, COBEP '09. Brazilian*, 2009.
- [16] Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı Güneş Enerjisi Sektör Raporu, 2011.
- [17] Yıldız Teknik Üniversitesi Yıldız Araştırmacı Bilgi Sistemi Yarbis, [http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/tanriov\\_1b2f9b8d0e6537370b0f0b274687f835.pdf](http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/tanriov_1b2f9b8d0e6537370b0f0b274687f835.pdf)
- [18] [http://chandra.harvard.edu/resources/em\\_radiation.html](http://chandra.harvard.edu/resources/em_radiation.html)
- [19] <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>
- [20] Güneş Pilleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, 1992.
- [21] [sct.emu.edu.tr/courses/eet/elet319/userfiles/.../ch2.doc](http://sct.emu.edu.tr/courses/eet/elet319/userfiles/.../ch2.doc)
- [22] R. Mayfield, *The Highs and Lows of Photovoltaic System Calculations*, Renewable Energy Consultants Electrical Construction and Maintenance, 2012.
- [23] K. M. Aksungur, M. Kurban, Ü. B. Filik, "Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi", V. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 2013.
- [24] M. Piliouguine, J. Carretero, M. Sidrachde-Cardona, D. Montiel, P. Sánchez-Friera. "Comparative analysis of the dust losses in photovoltaic modules with different cover glasses", *Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference*, 2008.
- [25] E. Kymakis, S. Kalykakis, T.M. Papazoglou, "T.M. Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic Park on the Island of Crete. *Energy Conversion and Management*, Vol. 50, No. 3, March 2009, pp. 433–438, 2009.
- [26] G. Wirth, G. T. Weigl, J. Weizenbeck, M. Zehner, M. Schroedter-Homscheidt, G. Becker. Mapping of snow cover periods for yield assessment and dimensioning of PV systems." 24. *European Photovoltaic Solar Energy Conference*. Hamburg, Germany, 2009.
- [27] S.Strong, W. Scheller, (The Solar Electric House, Sustainability Press, Massachusetts, 1993.
- [28] "Photovoltaics:Basic Design Principles and Components", *Consumer Energy Information*, [www.eren.doe.gov/erec/factsheets/pvbasics.html](http://www.eren.doe.gov/erec/factsheets/pvbasics.html)
- [29] P. Grunow, A. Preiss, S. Koch, S. Krauter, "Yield and Spectral Effects of A-Si Modules", *Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 2009.
- [30] *Photovoltaics Report*, Fraunhofer Institute For Solar Energy Systems Ise, pp. 23-24, 2014.