

Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Çalışma Parametrelerinin Araştırılması

Yusuf Işiker, Bülent Yeşilata ve Hüsamettin Bulut

Harran Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa
yusuf47@harran.edu.tr ; byesilata@harran.edu.tr ; hbulut@harran.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, panel yüzey sıcaklığı, panel eğim açısı ve elektriksel yüke ait direnç değerinin, PV panel güç çıktısı üzerindeki etkisi; teorik ve deneysel olarak incelenmektedir. Elde edilen sonuçlar, PV sistemlerin tasarlanması esnasında, eğim açısı ve yük direnci için, optimum değerlere ulaşmanın mümkün olduğunu göstermektedir. Panel yüzeyindeki farklı noktalardaki sıcaklık dağılımı belirlenerek, ölçüm yapılan noktalar arasında, 7-8°C'ye ulaşan farklar olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik; sıcaklık etkisi; panel eğim açısı; yük direnci

1.Giriş

Fotovoltaik cihazlar yarı iletken malzemeler kullanarak güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürler. Petrol ve diğer yenilenemeyen enerji kaynaklarının maliyetlerinin giderek artması ve bu tip enerji kaynaklarının çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, birçok insan konvansiyonel güç üretim yöntemleri yerine, güneş enerjisi (başta PV sistemler olmak üzere) ve rüzgar 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 [3,4].

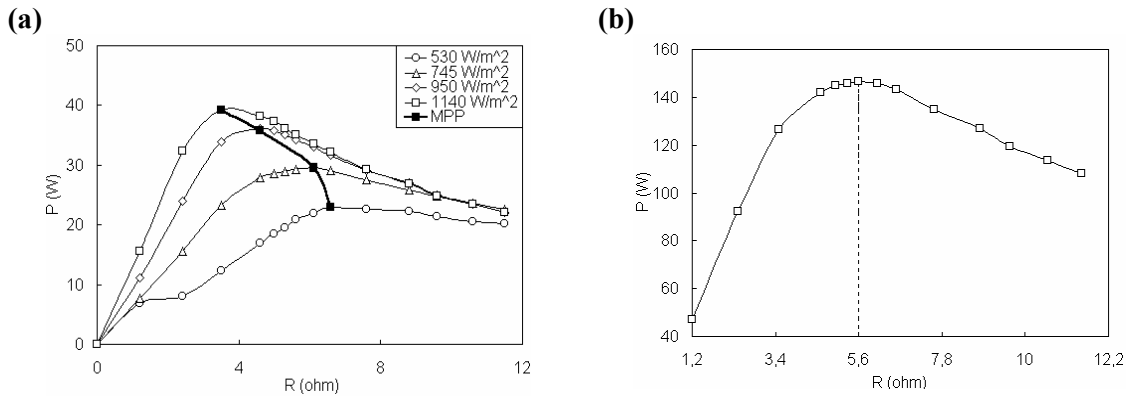
PV sistemin güç çıktısı; panel alanı, panel konfigürasyonu, panellerin yatay yüzeye yerleştirilme açıları, panel yüzeyine gelen ışınım şiddeti, panel karakteristikleri, panel/çevre sıcaklığı, ve rüzgar hızı gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu parametrelere ilave olarak, PV sistemin güç temin ettiği elektriksel cihazın iç direncine bağlı olarak da lineer olmayan bir değişim gösterir. PV sistem çıktısının yüke bağlı olarak büyük oranda değişim göstermesi, PV sistemlerin dizayn ve optimizasyon sürecinde yaşanan en önemli sorunlardan birisidir [4].

Bu çalışmada, panel yüzey sıcaklığı, panel eğim açısı ve elektriksel yüke ait direnç değerinin, PV panel güç çıktısı üzerindeki etkisi incelenmektedir.

2. PV Panel İçin Optimal Elektriksel Yük Direncinin Belirlenmesi

PV sistem çıktıları güç temin edilen elektriksel cihazın (yük) iç direncine bağlı olarak doğrusal olmayan bir değişim gösterdiği için, kullanılan PV panelin sabit ışınım şiddetindeki akım-gerilim ve güç-direnç ilişkileri araştırılmıştır. PV panelin sabit bir ışınım şiddetindeki $I-V$ ilişkisini

görmek için, öncelikle panelin yüksüz haldeki akım (I_{sc}) ve gerilim (V_{oc}) değerleri ölçülmüş ve hemen ardından ışınım şiddetinin yaklaşık sabit kabul edilebileceği çok kısa bir süre içerisinde, PV paneli farklı yükler uygulanarak her bir yük değerindeki akım ve gerilim değerleri kaydedilmiştir. Yöntem ile ilgili detaylı bilgiler daha önceki çalışmalarımızda [5,6] mevcuttur. Ölçümler günün değişik saatlerinde olmak üzere, 4 farklı ışınım şiddeti değeri için 14 farklı yükte tekrarlanmıştır. PV panelin karakteristik eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan dirençlerle, bu değerlere karşılık gelen panel gücü değerleri Şekil 1(a)'da gösterilmektedir. Şekilde, her bir ışınım şiddeti için ulaşılan maksimum güce ait noktaların oluşturduğu eğri, deneysel olarak tespit edilen MPP eğrisidir. Bu eğri beklenildiği üzere sabit bir direnç değerini temsil etmemektedir. Optimum yük direncinin belirlenmesi amacıyla, yukarıda bahsedilen 14 farklı yük direncinin her biri için, panelin Şekil 1(b)'de gösterilen 4 farklı ışınım şiddetinde ürettiği güç toplamı hesaplanmıştır. En yüksek gücün elde edildiği $R_{opt}=5.6 \Omega$ değeri, optimal yük direnci değerini temsil etmekte olup, grafikte bu nokta kesikli çizgiyle belirtilmiştir.



Şekil 1. (a) Farklı ışınım şiddetlerinde kullanılan dirençler ve bu dirençlerle elde edilen güç değerleri; (b) optimum direnç değeri (kesikli çizginin çakıştığı nokta).

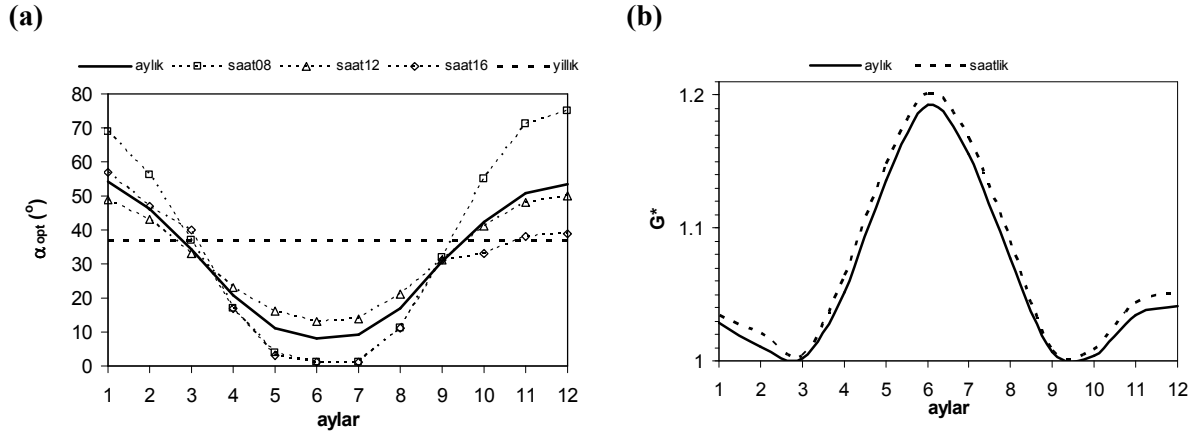
3. PV Panel İçin Optimum Eğim Açılarının Saptanması

Güneş ışınım şiddeti, güneş ışınımının yatayla yaptığı açılar, birer fonksiyonu olup, güneş enerjisinden maksimum şekilde yararlanabilmek için panelin güneşi gün içerisinde iki ekseninde takip etmesi gerekir. Bu tarz güneşi takip eden sistemlerde %20-40 oranında daha fazla güneş enerjisi elde edilebilmesine rağmen, sistemlerin yüksek maliyetli olması ve takip için ek bir enerjiye gereksinim duyması nedeniyle, kullanımları sınırlıdır. Türkiye'nin de yer aldığı kuzey yarımkürede sabit optimum eğim açıları güneşe dönük, yani yüzey azimut açıları sıfır olacak şekilde yatay yüzeye yerleştirilmesi tercih edilir. Optimum eğim açıları saptanabilmesinin ilk koşulu eğimli yüzeylere gelen ışınım şiddetinin hesaplanabilmesidir. Meteoroloji istasyonlarında yalnızca yatay yüzeye gelen ışınım ile ilgili ölçümler yapıldığından, eğimli yüzeyler için ek hesaplamalara gereksinim duyulur. Literatürde bu amaçla geliştirilmiş bir çok model bulunmakta olup, bunların ortak özellikleri yatay yüzeye gelen ışınım şiddetinin birer fonksiyonu olmalarıdır.

Güneşe dönük yatay yüzeye yerleştirilmiş, panellerin ortalama aylık ve saatlik optimum eğim açıları Şanlıurfa koşullarında Fıratoğlu [7] tarafından tespit edilmiştir. Öncelikle, günün farklı yerel saatlerinde (08:00-16:00 arası) panelin sahip olması gereken eğim açıları belirlenmiştir. Panelin saatlik optimum açılarda yerleştirilebilmesi için, tek eksenli bir güneş takip sistemine gereksinim vardır. Bunun yerine, saatlik eğim açısı değerlerinin her ay için ortalamasının alınması suretiyle elde edilecek

açı değeri (optimum aylık-ortalama eğim açısı) belirtilen 08:00-16:00 yerel saatleri arasında çalışılacak en uygun açı olacaktır. Bu durum, panel eğim açısının sadece ayda bir kez ayarlanması anlamına gelmektedir. Diğer bir seçenek ise, panelin yıl boyunca, yörenin enlem açısına (Şanlıurfa için, $\alpha=37^\circ$) eşit olan yıllık optimum eğim açısı ile sabit olarak yerleştirilmesidir. Tüm bu eğim açısı değerlerinin aylara göre değişimi Şekil 2(a)'da gösterilmiştir. Grafikte, saatlik optimum eğim açısı değerleri gösterilirken, sadece 08:00, 12:00 ve 16:00 saatlerine karşılık gelen optimum eğim açılarının aylara göre değişimi verilmiştir. Şekil 2(b)'de ise, yıllık, aylık ve saatlik optimum eğim açıları arasında yerleştirilmiş bir panelin birim yüzeyine gelen toplam ışınım şiddetlerinin ($G_{T,yıl}$, $G_{T,ay}$ ve $G_{T,saat}$) kıyaslaması gösterilmiştir. Kıyaslama yapılırken; saatlik ve aylık değişken yüzeylerle elde edilen ışınım şiddeti değerleri, yıllık sabit eğim açısı ile yerleştirilmiş panellerle elde edilen ışınım şiddetine oranlanmıştır. Diğer bir ifadeyle; grafikte kesikli çizgi ile gösterilen eğri için $G^* = G_{T,saat} / G_{T,yıl}$, sürekli çizgi ile gösterilen eğri için ise $G^* = G_{T,ay} / G_{T,yıl}$ oranları geçerlidir. Hesaplamalarda Şanlıurfa ili için, 16 yıllık (1985-2001 arası) meteorolojik ölçüm verilerinin ortalamalarından yararlanılmıştır [7].

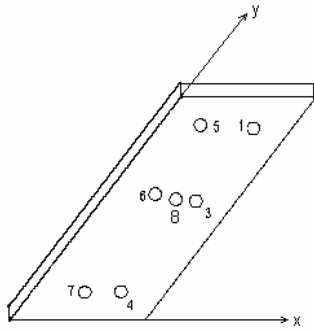
Şekil 2(b)'den görüleceği üzere; kış aylarında bu üç farklı yerleştirme için belirgin bir fark oluşmamaktadır. Optimum eğim açısıyla yerleştirmeden dolayı ortaya çıkan panel gücündeki kazanç %5'den daha azdır. Ancak, yaz aylarında %20'ye ulaşan oranlarda bir kazanç olduğu görülmektedir. Panel yüzeyi üzerine gelen günlük toplam ışınım şiddeti açısından, en avantajlı yerleştirme şeklinin, optimum saatlik eğim açısı olduğu açıktır. Ancak, saatlik ve aylık optimum eğim açılı panellerle elde edilen güç çıktıları arasındaki fark çok azdır (%2'den küçük). Ayda bir kez panel eğim açısının değiştirilmesi, kolaylıkla ve ekonomik bir sistemle yapılabileceğinden, panellerin optimum aylık eğim açıları ile yerleştirilmesi en uygun çözüm olarak gözükmektedir.



Şekil 2. (a) optimum yıllık, aylık ve saatlik (08.00, 12.00 ve 16.00 yerel saatleri için) eğim açılarının aylara göre değişimi; (b) optimum aylık ve saatlik eğim açılı panellerle sağlanan güç kazancının kıyaslanması.

4. Sıcaklığın PV Panel Güç Çıktısı Üzerindeki Etkileri

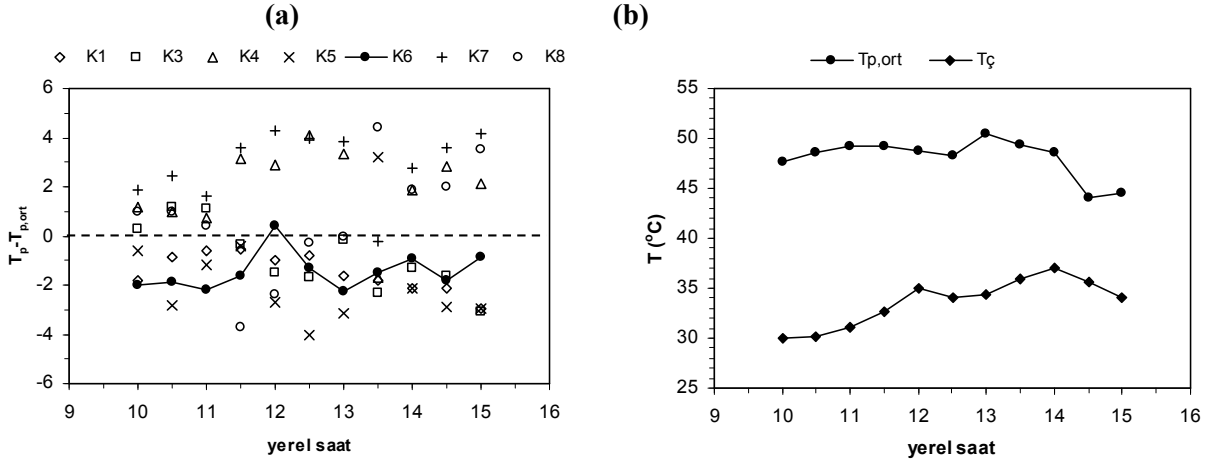
Fotovoltaik panellerle gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, panel sıcaklığında meydana gelen değişimler, panelin arka yüzeyine yapıştırılan sensörler aracılığıyla tespit edilmektedir. Bu işlem sırasında panel yüzeyinde herhangi bir noktaya (genellikle panelin ortasına) yapıştırılmaktadır. Ancak, homojen olmayan günlük hava şartları nedeniyle, aynı yüzeyde bulunan farklı hücrelerin, çalışma sıcaklıklarının farklı olabileceği durumu göz önünde bulundurularak, PV panelin arka yüzeyinde farklı noktalara bağlı sıcaklık sensörleri kullanılarak panel yüzeyi sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Bu amaçla, 16 kanallı Consort T851 model ($\pm 1C^\circ$ doğruluk derecesine sahip) sıcaklık ölçer kullanılmıştır. Ölçümlerde, cihazın 8 kanalı kullanılarak, çevre sıcaklığı (K_2) ile panel üzerindeki yedi farklı noktadan, panel sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Sıcaklığın ölçüldüğü noktalara ait bilgiler Şekil 3'de gösterilmektedir. Panel yüzeyindeki farklı noktalar için elde edilen sıcaklıkların aritmetik ortalaması, panel yüzey ortalama sıcaklığı ($T_{p,ort}$) değerini vermektedir.



Isıl çift Kanal No	x (cm)	y (cm)
K1	30	96
K3	30	55
K4	30	24
K5	20	96
K6	20	55
K7	20	24
K8	25	55

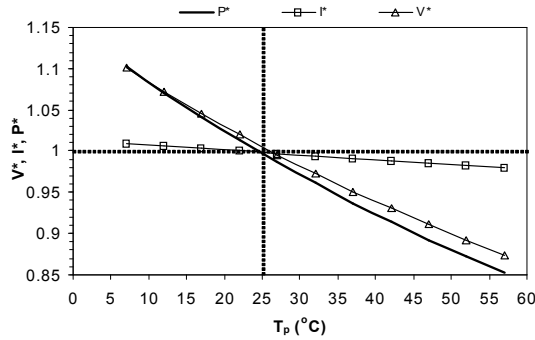
Şekil 3. PV panel üzerinde ölçü alınan noktalar ve koordinatları

Panel yüzeyinde hangi noktadan sıcaklık ölçülmesi gerektiği sorusuna bir yanıt bulmak amacıyla, seçilen bir gün (24/05/2005) için her bir noktada ölçülen sıcaklık değeri ile $T_{p,ort}$ arasındaki fark belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4(a)'da gösterilmiştir. Ölçüm yapılan zaman aralığı (saat 10:00 ile 15:00 arası) içerisinde, $T_{p,ort}$ değerine en yakın değerlerin merkez noktası (K8) yerine, aynı 'y' koordinatında fakat farklı 'x' mesafesinde bulunan noktadan (K6) alındığı gözlenmiştir. Ölçüm yapılan noktalar arasındaki sıcaklık farkı, bazı anlarda $8^\circ C$ gibi yüksek değerler almaktadır. Benzer sonuçlar aynı ay içerisinde yapılan farklı deneylerde de gözlenmiştir. Bu gözlemler, PV panellerin testlerinde sadece bir noktadan sıcaklık değeri almak yerine, merkeze yakın birkaç noktadan alınması gerektiği sonucunu doğurmaktadır. PV panel deneysel ölçümlerinde en sık yapılan hatalardan biri de, panel yüzey sıcaklığını ölçmek yerine direkt çevre sıcaklığı (T_c) değerlerinin kullanılmasıdır. Şekil 4(b)'de $T_{p,ort}$ ve T_c sıcaklıklarının yerel zamanla değişimi gösterilmiştir. İki sıcaklık arasındaki fark bazı anlarda $18^\circ C$ değerlerine ulaşmaktadır ve zamana bağlı değişim trendleri de paralel değildir. Bu nedenle, PV panel güç çıktıları kıyaslanırken, $T_{p,ort}$ yerine T_c değerlerinin kullanılması önemli yanlışlıklara sebep olabilecektir.



Şekil 4. a) Panel yüzeyindeki farklı noktadaki sıcaklıklarla, ortalama panel yüzeyi sıcaklığı ($T_{p,ort}$) arasındaki fark değerlerinin değişimi, b) çevre sıcaklığı ($T_{ç}$) ile $T_{p,ort}$ değerlerinin değişimi.

Sıcaklığın birim güç çıktısı üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla, ölçümlerde kullanılan SX60U tipi fotovoltaik panel için, literatürde silikon hücreler için kullanılan ve yalnızca panel katalog verilerinin yeterli olduğu matematiksel model [8] kullanılarak, teorik hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Panel kataloglarında teknik datalar standart test koşullarında (1000 W/m^2 ışınım şiddeti ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ çevre sıcaklığı) verilmektedir. SX60U tipi PV panele ait elektriksel parametrelerin farklı panel sıcaklıklarındaki değerleri belirlenerek, PV panel için standart test koşullarında (STD) verilen değerlere oranlanmıştır. Elde edilen boyutsuz büyüklükler ($I^*=I/I_{STD}$, $V^*=V/V_{STD}$ ve $P^*=P/P_{STD}$) formda Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Panel sıcaklığının PV panel boyutsuz akım, gerilim ve güç değerleri üzerindeki etkisi

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, panel yüzey sıcaklığı, panel eğim açısı ve elektriksel yüke ait direnç değerinin, PV panel güç çıktısı üzerindeki etkisi incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar kısa maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir:

- PV panel ile 4 farklı ışınım şiddeti değeri için, 14 farklı elektriksel yükte tekrarlanan karakterizasyon deneylerinde, en yüksek gücün elde edildiği optimal yük direnci değeri $R_{opt}=5.6 \text{ } \Omega$ değeri olarak belirlenmiştir.

- ii) PV panel yüzeyi üzerine gelen günlük toplam ışınım şiddetini optimize etmek amacıyla yapılan hesaplamalardan, panellerin optimum aylık eğim açılarında yerleştirilmesi en uygun çözüm olarak gözükmektedir.
- iii) PV panel yüzeyi üzerinde; ölçüm yapılan noktalar arasındaki önemli seviyede sıcaklık farkları (7-8°C) söz konusudur. Bu nedenle, PV panellerin testlerinde sadece bir noktadan sıcaklık değeri almak yerine, merkeze yakın birkaç noktadan ölçüm alınması daha uygundur.

6. Teşekkür

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu (HÜBAK Proje No: 457) tarafından desteklenmiştir.

7. Referanslar

- [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. Laazebi, “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]. Z.A. Fıratoğlu ve B. Yeşilata, “New approaches on the optimization of directly-coupled photovoltaic water-pumping systems ” *Solar Energy*, 77, 1, 81-93, (2004).
- [5]. M. Aydın, B. Yeşilata, “Fotovoltaik panellerde deneysel yöntemle güç optimizasyonu”, 15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi (ULIBTK'05, 7-9 Eylül 2005, Trabzon), Bildiriler Kitabı, sy .368-373 (2005).
- [6]. M.Aydın, B. Yeşilata, “PV Panel Güç Karakteristiklerinin Deneysel Yöntemle Belirlenmesi ”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, v25, sayı 1, sy. 1-8 (2005).
- [7]. Z.A. Fıratoğlu, “Fotovoltaik Destekli Su Pompalarının Analizi ve Optimizasyonu”, Y. Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, (2003).
- [8]. Q. Kou, A. Klein, W. Beckman, “A Method for Estimating the Long-Term Performance of Direct-Coupled PV Pumping Systems”, *Solar Energy*, 64, 33-40, (1998).