F15

ISSN 1019-1011

Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ Aralık 1996 Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH.
CİLT 11 SAYI 2 December VOL.11 NO.2

ÇUKUROVA BÖLGESİNDE GÜNEŞ PİLİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN DENENMESİ

Orhan BÜYÜKALACA ve Mustafa KARAÇORLU
Ç.Ü., Makina Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada güneş pilinden elektrik enerjisi üretimi ve akümülatör kullanılarak depolanması deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler, güneş enerjisinden sıcak su üretimi için düz güneş toplayıcılarının yaygın olarak kullanıldığı Adana'da yapılmıştır. Güneş pilinden sağlanan elektrik enerjisi ile akümülatörün önce şarj sonra deşarj ve aynı anda hem şarj hem de deşarj edilmesi şeklinde gerçekleştirilen deneylerde toplam sistem veriminin ortalama %6 mertebesinde olduğu görülmüştür.*

TESTING PHOTOVOLTAIC ELECTRICITY PRODUCTION IN ÇUKUROVA REGION

ABSTRACT : *In this study, fotovoltaic electricity production and its storage using an acumulator was investigated experimentally. Experiments were performed in Adana in which flat plate solar collectors are commonly used for hot-water production. In the experiments, using the electricity produced by a solar cell, a battery either charged firstly and then discharged or charged and discharged at the same time. It was found that the mean total system efficiency was 6%.*

1. GİRİŞ

Toplumlar yaşam standartlarını yükseltebilmek için daha çok enerji tüketmekte ve enerji tüketim hızı teknolojinin artmasına paralel olarak gittikçe artmaktadır. Günümüzde tüketilen enerjinin büyük bir bölümü fosil kökenli yakacaklardan temin edilmektedir. Ayrıca hidrolik ve nükleer enerjiden de belirli oranlarda faydalanılmaktadır. Bu alışılmış enerji kaynaklarına ilave olarak güneş, rüzgar, gel-git ve dalga enerjisi gibi alternatif enerji kaynaklarından da faydalanmak mümkündür. Bu tür kaynaklar yenilenebilir enerji kaynakları olarak da adlandırılmaktadır. Ancak günümüzde alternatif enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin toplam enerji üretimi içerisindeki payı küçüktür. Fosil kökenli yakacakların sınırlı olduğu ve yakın bir gelecekte tükeneceği bilinmektedir. Ayrıca enerji fiyatlarında sürekli bir artış görülmektedir. Bütün bu faktörler son yıllarda alternatif enerji kaynaklarına yönelişi hızlandırmıştır.

Ülkemizin belirli bölgeleri, alternatif enerji kaynaklarının en güncel ve en çok uygulama alanı olan güneş enerjisi yönünden oldukça zengindir. Güneş enerjisinden faydalanarak sıcak su üreten düz güneş toplayıcıları yurdumuzun Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Düz levhalı güneş toplayıcılarının üretimi tamamen yerli malzeme ve teknoloji ile yapılmakta olup bu konuda yeterli altyapı ve bilgi birikimi oluşmuş durumdadır. Güneş enerjisinden ısıl olarak (sıcak su üretiminde olduğu gibi) faydalanmak mümkün olduğu gibi, güneş pilleri kullanılarak elektrik enerjisi de elde edilebilir.

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken kristallerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları 100 cm^2 civarında, kalınlıkları ise özellikle en yaygın olan silisyum güneş pillerinde 0.2-0.4 mm arasındadır (1,2). Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir (3). Uygulamada güç çıkışını artırmak amacı ile çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilmektedir. Bu yapıya güneş pili modülü adı verilmektedir. Bu modülleri de birbirlerine seri ya da paralel bağlayarak, güneş pili dizisi oluşturmak da mümkündür. Güneş pillerinin verimini artırmak, maliyetini ucuzlatmak ve üretim aşamasında çevreye verilen zararı azaltmak için yeni malzemeler ve üretim teknikleri üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Günümüzde kullanılan modern güneş pillerinin çalışma prensibi bundan yaklaşık 160 yıl önce ortaya konmasına rağmen (4), ilk güneş pili 1940'lı yılların sonunda imal edilmiştir (5). İlk güneş pili 1958 yılında Vanguard-I adı verilen uydunun elektrik enerjisini sağlamak üzere kullanılmıştır. İmal edilen ilk güneş pillerinin verimi yaklaşık %5 civarında olmuştur. İlk pilin imalinden günümüze kadar güneş pilleri üzerinde bir çok araştırma yapılmış olmakla birlikte güneş pillerine olan ilgi 1970'li yılların başında patlak veren petrol krizinden sonra artmıştır.

Güneşten yeryüzüne bir saatten az bir zaman dilimi içersinde gelen enerji tüm dünyanın bir yıllık toplam enerji ihtiyacını karşılayacak büyüklüktedir. Yeryüzüne güneşten gelen enerji ortalama olarak 1.2×10^{17} W'tır. Güneş pilleri yardımıyla elektrik enerjisi üretiminin temiz olması, çevreyi kirletmemesi, yerel uygulamalara uygun olması, çok az bakım gerektirmesi, işletme masraflarının çok düşük olması gibi birçok avantajları vardır. Bu avantajlara karşın, birim yüzeye gelen güneş ışınımının düşük olmasından dolayı büyük yüzey alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca güneş enerjisi sürekli olmadığından depolama gerektirir. Bu ise akümülatör gibi bir depolama sistemini gerekli kılar. Güneş pili kullanarak elektrik enerjisi üreten sistemlerde özel olarak imal edilmiş akümülatörlerin kullanılmaması durumunda, güneş pilinden elde edilen gerilim ile akümülatörün şarj gerilimi arasında bir fark oluşabilir. Bu durumda gerilimi dengeleyebilmek için, pil ile akümülatör arasına bir gerilim düzenleyici (şarj regülatörü) yerleştirilmelidir.

Diğer bir sorun ise akümülatörden çekilebilecek gerilimin cinsi ve büyüklüğü ile bu enerjinin kullanılacağı cihazların gereksinimleri arasındaki farktır. Ülkemizde evlerde kullanılan elektrikli cihazların büyük bir çoğunluğu alternatif akımla (AC) ve 220 V gerilimle çalışmaktadır. Bu sebepten dolayı akümülatörden çekilen doğru akımın (DC) alternatif akıma çevrilmesi gereklidir. Ayrıca gerilimin de 12 V'tan 220 V'a yükseltilmesi gereklidir. Bu amaçla, akümülatör ile yük arasında bir çevirici/yükselticiye (invertör) ihtiyaç vardır.

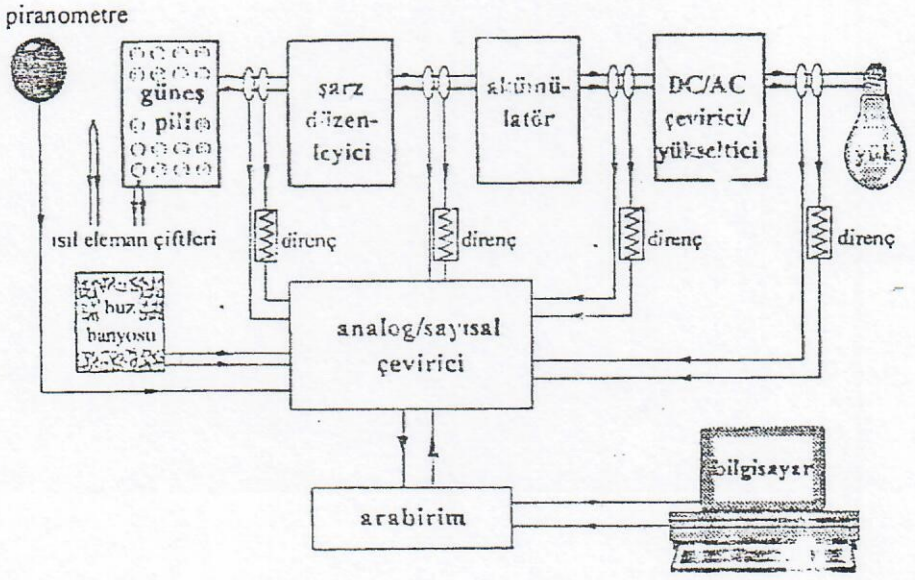
Güneş pilleri günümüzde birçok alanda elektrik enerjisi üretmek için kullanılmaktadır. Güneş pili sistemleri özellikle elektrik enerjisi gereksiniminin küçük olduğu ve elektrik hattı bulunmayan yerleşim yerlerinden uzak yöreler için uygun olmaktadır. Örneğin küçük hesap makinaları, saatler, konutlar, deniz fenerleri, yatlar, televizyon ve radyo verici istasyonları, petrol boru hatlarının korunması, orman gözetleme kuleleri gibi birçok sistem için gerekli elektrik enerjisi güneş pillerinden temin edilebilir (6). Güneş pilleri günümüzde bazı ülkelerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Örneğin, Kenya'da 1991 yılında 10000'nin üzerinde evin elektrik enerjisinin güneş pillerinden sağlandığı bildirilmiştir (7). Almanya'da bazı sokak lambaları güneş pilleri ile çalışmaktadır (8). Ülkemizde ise güneş pillerinin kullanımı yaygın değildir. Elektrik İşleri Etüd İdaresi tarafından su pompalanması ve aydınlatma amaçlı küçük ölçekli bazı projeler gerçekleştirilmiştir (9). Ayrıca Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü tarafından 756 Wp'lik bir sistem kurularak dört kişilik bir ailenin elektrik enerjisi gereksiniminin 2 kWh'lik bir bölümünün karşılanması amaçlanmıştır (10). Bu çalışmada kullanılabilir bir güneş pili sistemi için gerekli parçaların dışarıdan ithal edilmesinin zorunlu olduğu belirtilmiştir.

Büyükalaca ve Karaçorlu (11), örnek enerji tüketim senaryoları hazırlayarak, Adana için güneş pili ile elektrik enerjisi üretiminin hangi koşullarda ekonomik olduğunu incelemişlerdir.

Güneş pili sistemlerinin tasarımı için, sistemi oluşturan elemanların performanslarının gün boyunca değişiminin ve toplam sistem verimlerinin bilinmesi önemlidir. Bu amaçla, küçük ölçekli bir düzenek kurularak, güneş enerjisi yönünden zengin ve sıcak su üretimi için düz toplayıcıların yaygın olarak kullanıldığı bir bölgemiz olan Çukurova bölgesinde güneş pili kullanılarak elektrik enerjisi üretimi deneysel olarak araştırılmıştır.

2. DENEY DÜZENEĞİ

Güneş pili kullanılarak elektrik enerjisi üretiminin Çukurova Bölgesi koşullarında denenmesi amacıyla güneş pili hariç bütün elemanları ülkemizden temin edilen bir deney düzeneği kurularak deneyler yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı düzenek şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Sistem bir güneş pili, bir şarj devresi, bir akümülatör, bir AC/DC çevirici/yükseltici (invertör), bir yük ve değişik ölçüm aletlerinden oluşmuştur.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik resmi.

Sistemde Siemens tarafından üretilmiş 0.36 m^2 yüzey alana sahip tek kristal yapılı, standart şartlarda (1000 W/m^2 güneş ışınımı ve 25 °C pil sıcaklığında) 53 Wp güce sahip bir silisyum güneş pili modülü kullanılmıştır. Pilden elde edilen elektrik enerjisi, 3 yaşındaki kuru tip bir kurşun-asit akümülatörde depolanmıştır. Akümülatörün kapasitesi 38 Ah'tir ve maksimum 13.6 V'luk bir gerilim ile şarj edilebilmektedir.

Kullanılan güneş pilinden elde edilen gerilim, pil üzerine gelen güneş ışınımına bağlı olarak 0 ile 21 V arasında değiştiğinden (8) pil ile akümülatör arasına bir şarj düzenleyicisi yerleştirilmiştir. Güneş pili sistemleri için özel olarak imal edilmiş şarj düzenleyicileri mevcut olmakla birlikte bunlar ülkemizde imal edilmediğinden fiyatları oldukça yüksektir. Bu göz önüne alınarak yerel imkanlara yönelinmiş ve bölgemizde faaliyet gösteren bir firmaya (12) şarj düzenleyicisi imal ettirilerek deneylerde kullanılmıştır.

Deney düzeneğinde, 150 W'lık bir adet çevirici/yükseltici kullanılarak akümülatörden çekilen elektrik enerjisi DC den AC ye çevrilmiş ve aynı zamanda gerilimi yükseltilmiştir. Şarj düzenleyicisinde olduğu gibi çevirici/yükseltici de yerel imkanlarla (12) imal ettirilmiştir.

Deneyler iki grup halinde yapılmıştır. Birinci grup deneylerde tüm gün boyunca (gün doğuşu ile gün batışı arasında) güneş pilinden elde edilen enerji akümülatörde depo edilmiş ve gün batımından sonra bir yük vasıtası ile akümülatördeki enerji deşarj edilmiştir. İkinci grup deneylerde ise tüm gün boyunca aynı anda hem akümülatör şarj edilmiş, hem de güneş pilinden elde edilen elektrik bir yük tarafından kullanılmıştır. Yük olarak birinci grup deneylerde 60 W'lık, ikinci grup deneylerde ise 25 W'lık ampüller kullanılmıştır.

Deneylerde güneş piline gelen güneş ışınımı, ortam sıcaklığı, pil sıcaklığı ve sistemde dört değişik noktada gerilim ve akım ölçümüştür. Pil üzerine gelen güneş ışınımının doğru olarak ölçülebilmesi için iki değişik piranometre kullanılmıştır. Kullanılan piranometreler 0.3 μm ile 3 μm arasındaki bütün dalga boylarında gelen güneş ışınımına duyarlıdırlar. Yapılan deneylerde, iki piranometreden elde edilen ışınım değerleri arasındaki farkın %5'den küçük olduğu görülmüştür. Güneş pili etkinliğini belirleyen parametrelerden bir tanesi de pil sıcaklığı olduğundan deneyler süresince hem güneş pili yüzey sıcaklığı hem de ortam sıcaklığı ölçülmüştür. Bunun için ısıl eleman çiftlerinden faydalanılmıştır. Gerek güneş pili verimini gerekse sistemde kullanılan diğer her bir elemanın verimini ve bunlara bağlı olarak toplam sistem verimini belirleyebilmek için deney düzeneğinde dört noktada gerilim ve akım ölçülerek bu noktalardaki elektrik enerjisinin büyüklüğü belirlenmiştir. Ölçümler güneş pili çıkışında, şarj devresi çıkışında, akümülatör çıkışında ve çevirici/yükseltici çıkışında yapılmıştır.

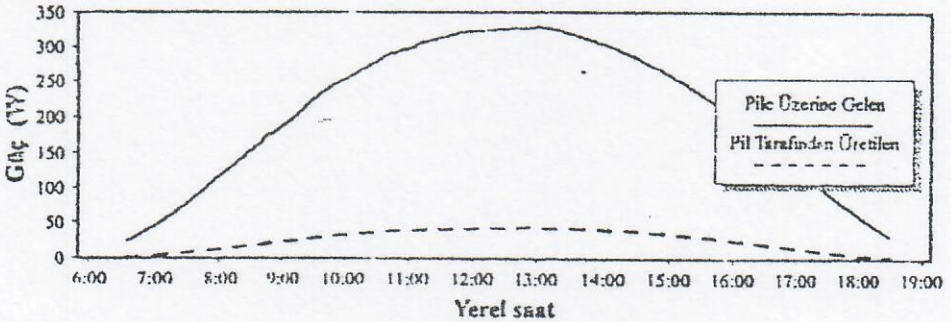
Ölçümlerin gün boyunca kısa süreli aralıklarla, düzenli olarak yapılabilmesi için bilgisayar kontrollü bir veri toplama sistemi kullanılmıştır. Sistem, 16 bitlik bir analog-sayısal çevirici, bir bilgisayar ve analog-sayısal çevirici ile bilgisayar arasında bağlantıyı sağlayan bir arabirimden oluşmuştur. Piranometre ve ısıl eleman çiftlerinde üretilen elekro motor kuvvetler analog-sayısal çeviriciye gönderilerek sayısal sinyallere çevrilmiştir. Gerilim ölçümü için, sinyal düzenleyici devreler kullanılarak sinyaller analog-sayısal çeviricinin çalışma aralığına (±5 V) getirilmiştir. Akım değerlerinin

ölçülebilmesi için ise sinyaller dirençler üzerinden geçirilerek, dirençler üzerinde meydana gelen gerilim düşümü analog-sayısal çeviriciye gönderilmiştir. Yazılan bir bilgisayar programı yardımıyla veri toplama sistemi kontrol edilmiştir. Deneyler süresince her bir dakikada bütün kanallar taranarak elde edilen değerler bilgisayarda depolanmıştır.

Deneyler Adana'da, 1996 yılı Mart-Haziran ayları arasında ve Eylül ayı içerisinde gün doğuşundan batımına kadar yapılmıştır. Güneş pili tam güneye 36° eğimle (Adana için enlem açısı) yerleştirilmiştir. Birinci grup deneylere gün batımından sonra deşarj işlemine geçilmiş ve akümülatördeki gerilim sabah deney başlangıcındaki gerilim seviyesine düşünceye kadar devam edilmiştir. Bu işlem günden güne değişmekle birlikte yaklaşık üç saat sürmüştür.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

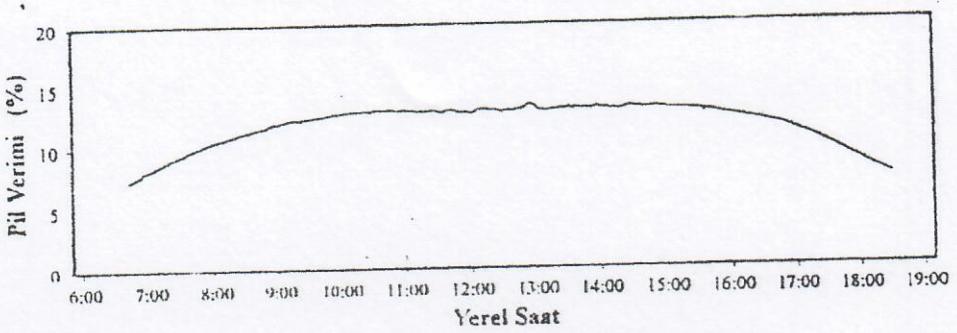
İlk olarak gün doğuşu ile batışı arasında depolama, gün batışından sonra kullanma şeklinde gerçekleştirilen 1. grup deneylerden elde edilen sonuçlar ele alınmıştır. Tipik bir günde (12 Haziran 1996) güneş pili üzerene gelen güneş ışınımının ve pilden elde edilen gücün gün boyunca değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi güneş pilinden elde edilen güç, güneş pili üzerine düşen güneş ışınımının değişimini takip etmektedir.



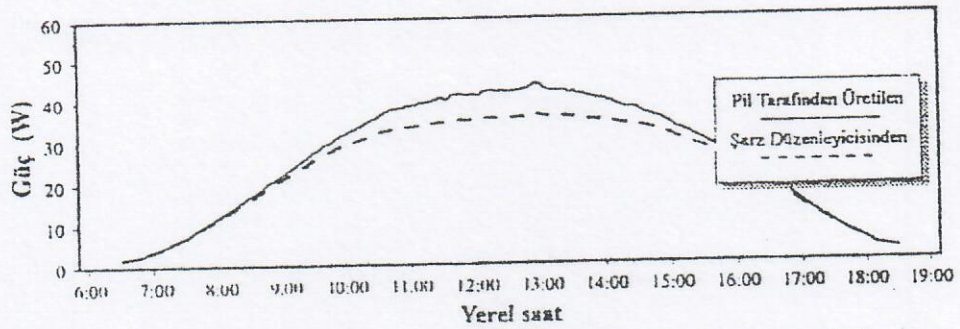
Şekil 2. Pil üzerine gelen ve pil tarafından üretilen gücün gün boyunca değişimi.

Şekil 2'de verilen değerler kullanılarak elde edilen güneş pili verimi Şekil 3'te gösterilmiştir. Pil veriminin saat 9 ile 17 arasında hemen hemen sabit olduğu ve değerinin yaklaşık %12 olduğu görülmektedir.

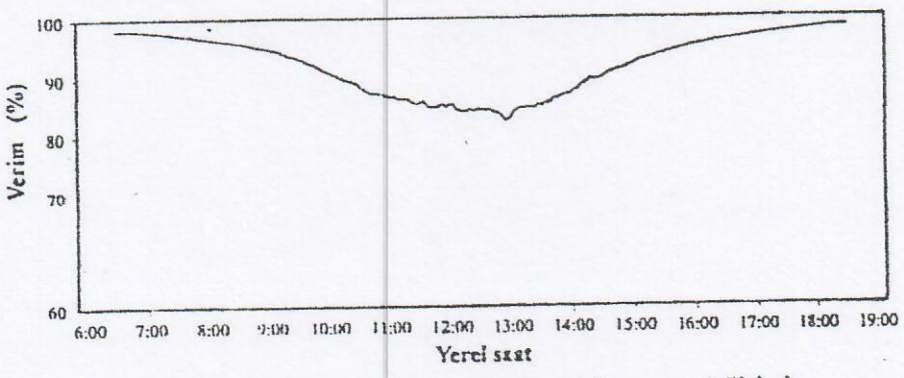
Aynı günde şarj düzenleyicisinden elde edilen güç Şekil 4'te verilmiştir. Pilden elde edilen enerjinin tamamı akümülatöre gönderilememekte, bir miktarı şarj düzenleyicisi üzerinde ısıya dönüşmektedir. Şarj düzenleyicisi verimi sabah yaklaşık %97'den başlayarak azalmakta ve saat 13 civarında bir minumuma (%83) ulaştıktan sonra artarak akşam saatlerinde tekrar sabahki değerine ulaşmaktadır (Şekil 5).



Şekil 3. Güneş pili veriminin gün boyunca değişimi.

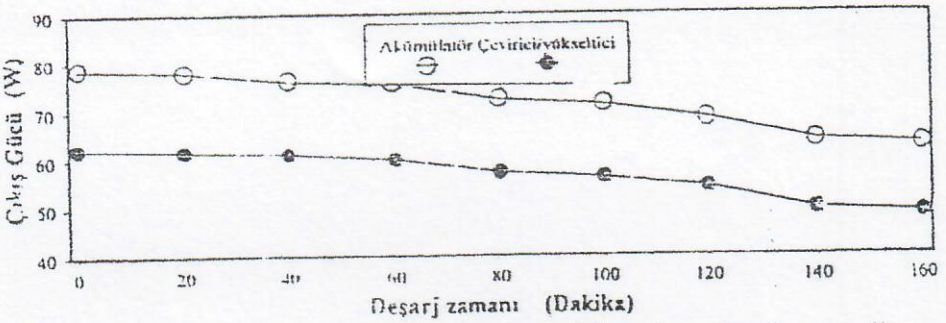


Şekil 4. Pil tarafından üretilen ve şarz düzenleyicisinden çekilen gücün gün boyunca değişimi.

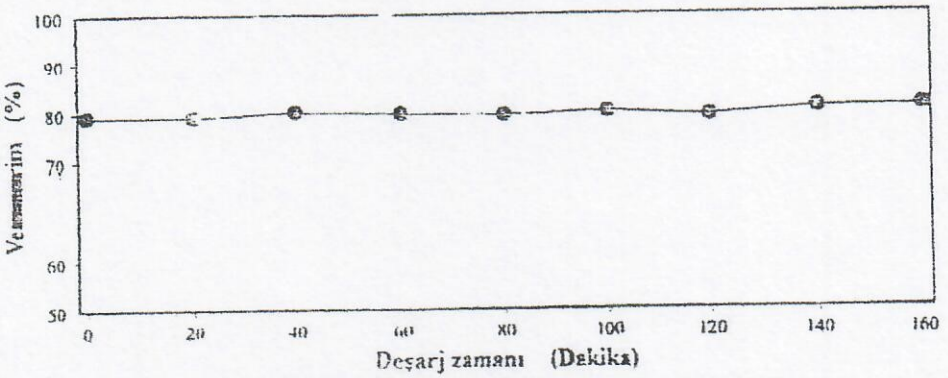


Şekil 5. Şarz düzenleyicisi veriminin gün boyunca değişimi.

Şarj işleminin tamamlanmasından sonra gerçekleştirilen deşarj süresince akümülatörden ve çevirici/yükselticiden çekilen gücün zamanla değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Şarj düzenleyicisinde olduğu gibi, akümülatörden çekilen enerjinin tamamı yüke gönderilememekte, bir miktarı çevirici/yükselticide ısıya dönüşmektedir. Şekil 7'den ise çevirici/yükselticinin deşarj işlemi süresince %81 gibi sabit bir verimle çalıştığı görülmektedir.



Şekil 6. Akümülatörden ve çevirici/yükselticiden çekilen gücün deşarj zamanı ile

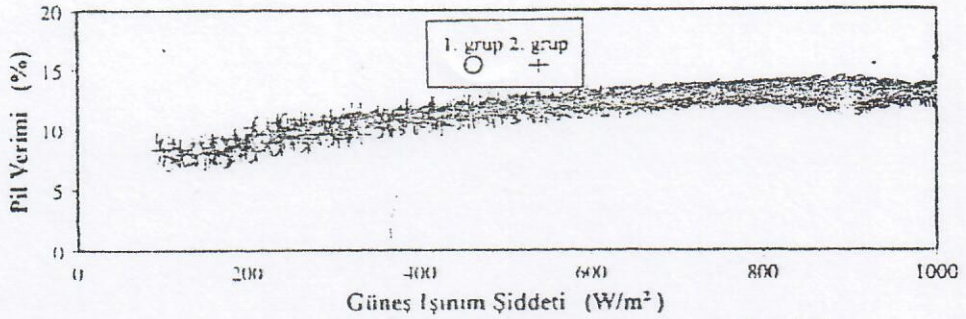


Şekil 7. Çevirici/yükseltici veriminin deşarj zamanı ile değişimi.

Burada sonuçları verilen tipik bir deney gününde, şarj işlemi süresince akümülatöre gönderilen toplam enerji miktarı yaklaşık 283 Wh olurken deşarj işleminde bu enerjinin ancak 191 Wh'ı çekilebilmiştir. Aradaki fark akümülatörde şarj ve deşarj işlemleri sırasında meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır. Buradan akümülatörün yaklaşık %70 verimle çalıştığı anlaşılmaktadır.

Ölçüm yapılan diğer günlerde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 8'de değişik günlerde gerçekleştirilen 1. ve 2. grup deneylerden elde edilen güneş pili veriminin pil üzerine gelen güneş ışınımının şiddeti ile değişimi görülmektedir. Buradan pil verimi açısından 1. ve 2. grup deneyler arasında bir fark olmadığı görülmektedir. Pil verimi yaklaşık %8'den başlayarak ışınımın artmasıyla artmakta ve maksimum ışınımda %13'e ulaşmaktadır. Buradan ortalama pil veriminin yaklaşık %12 olduğu görülmektedir.

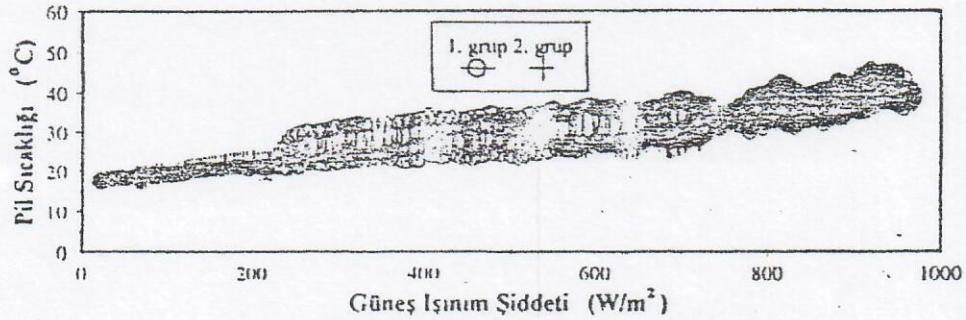
Bir güneş pilinin ürettiği enerji, ışınım şiddeti, pil sıcaklığı ve çekilen yüke bağlı olarak değişir (13). Bu durum, pilin akım-gerilim karakteristiği olarak ifade edilir. Akım-gerilim karakteristiğine göre, güneş pili sabit ışınım şiddetinde ve sabit sıcaklıkta, ancak belirli bir gerilim ve akımda maksimum gücü verir. Bu nokta



Şekil 8. Deney yapılan değişik günlerde elde edilen güneş pili verimleri.

maksimum güç noktası (Wp) olarak adlandırılır. Pil bu noktada maksimum verimle çalışırken bu noktadan uzaklaşıldıkça pil verimi düşmektedir. Bu nokta güneş ışınımına ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. Kullanılan deney düzeneğinde akümülatörün şarj seviyesinin değişmesine bağlı olarak pilden çekilen gerilim ve akım zamanla değişmekte bu sebeple de pil veriminde bir değişme görülmektedir (Şekil 8). Sistemin sürekli olarak maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayacak şekilde özel olarak tasarlanmış şarj düzenleyicileri de mevcuttur.

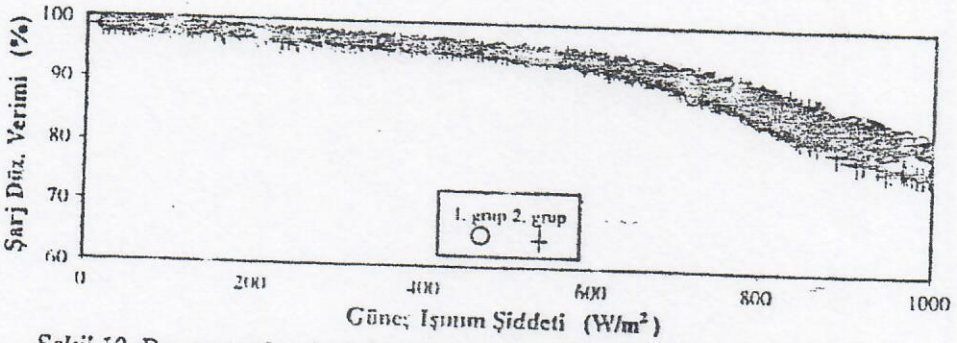
Pil verimini etkileyen bir parametre de pil sıcaklığıdır. Pil sıcaklığının artması pil verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 9'da ölçüm yapılan bazı günlerde pil sıcaklığının güneş ışınımı ile değişimi gösterilmiştir. Işınım değeri arttıkça, pil sıcaklığı da artmaktadır. Büyük ışınım değerlerinde pil sıcaklığı artmakta ve bunun sonucu olarak da pil veriminde bir azalma gözlenmektedir. Şekil 8'den da görüldüğü gibi yaklaşık 700 W/m^2 ışınım değerinden sonra pil veriminin artış hızında bir azalma olmaktadır. Bu, pil sıcaklığındaki artıştan kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. Deney yapılan değişik günlerde ölçülen pil sıcaklıkları.

Yukarıda da bahsedildiği gibi pil tarafından üretilen enerjinin bir kısmı şarj düzenleyicisi üzerinde kaybolmaktadır. Güneş ışınım şiddetinin artmasıyla pil tarafından üretilen ve dolayısıyla düzenleyici üzerinden geçen enerji artmaktadır. Bu

durumda düzenleyici üzerindeki kayıplar artmaktadır. Bu durum Şekil 10'dan açıkça görülmektedir. Bu şekilde şarj düzenleyicisi veriminin pil üzerine gelen güneş ışınımının şiddeti ile değişimi gösterilmiştir. Işınım şiddetinin artmasıyla düzenleyici veriminde özellikle 600 W/m²'den sonra belirgin bir düşme gözlenmektedir. Bu durumda düzenleyici verimi %80 civarında olmaktadır. Ortalama şarj düzenleyicisi verimi %91 civarındadır. Pratik olarak düzenleyici üzerindeki kaybı sıfırlamak mümkün olmamakla beraber, daha iyi bir şarj düzenleyicisi ile kayıplar azaltılabilir. Sistemde kullanılan şarj düzenleyicisi yerel imkanlarla imal ettirilmiştir. Daha yüksek verimle çalışan, güneş pili sistemlerinde kullanılmak üzere özel olarak tasarlanmış düzenleyiciler mevcut olmakla birlikte bunlar ülkemizde imal edilmemekte, ithali gerekmektedir. Ancak bunların fiyatı bu çalışmada kullanılan düzenleyicinin fiyatından yaklaşık 1.5 kat daha fazladır. Pil veriminde olduğu gibi, sistemin önce şarj edilip daha sonra deşarj edilmesi (1. grup) veya aynı zamanda hem şarj hem de deşarj edilmesi (2. grup), şarj düzenleyici verimini etkilememektedir.



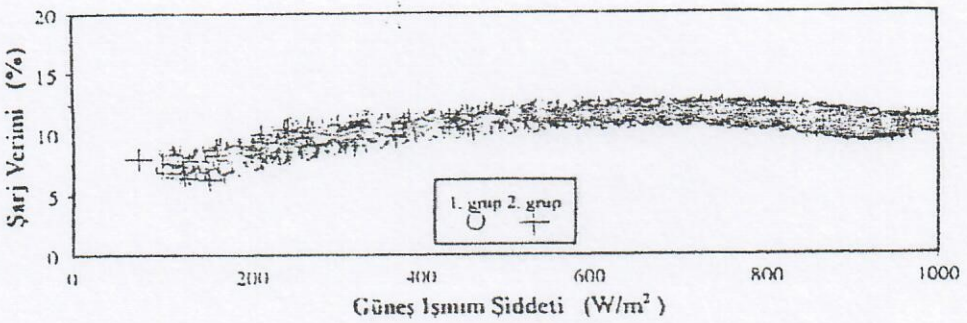
Şekil 10. Deney yapılan değişik günlerde elde edilen şarj düzenleyicisi verimleri.

Şekil 11'de, pil verimi ve şarj düzenleyicisi verimini içeren toplam şarj verimi gösterilmiştir. Ortalama şarj verimi %11 mertebesindedir. Yaklaşık 700 W/m² ışınım değerinden sonra pil verimindeki düşmelerden ve şarj düzenleyicisindeki kayıpların artmasından dolayı şarj veriminde belirli bir düşme görülmektedir.

Şarj süresince akümülatöre gönderilen toplam enerjinin, deşarj süresince akümülatörden çekilen enerji ile karşılaştırılması sonucu elde edilen akümülatör veriminin yaklaşık %70 olduğu görülmüştür. Akümülatörlerin veriminin tiplerine ve yaşlarına bağlı olarak %70 ile %80 arasında değiştiği (7) ve kullanılan akümülatörün 3 yaşında olduğu göz önünde bulundurulursa kullanılan akümülatör için elde edilen bu verimin kabül edilebilir bir değer olduğu görülür.

Çevirici/yükseltici verimi de 1. ve 2. grup deneyler için birbirine yakın çıkmıştır. Ortalama çevirici/yükseltici veriminin %80 olduğu hesaplanmıştır. Şarj düzenleyicisinde olduğu gibi güneş pili sistemleri için özel olarak imal edilmiş

çevirici/yükselticiler mevcut olmakla birlikte, bunların fiyatı bu çalışmada kullanılan çevirici/yükseltici maliyetinin yaklaşık 4 katıdır ve ülkemizde imal edilmemektedir. Literatürde çevirici/yükseltici verimlerinin %75 ile %95 arasında değiştiği bildirilmektedir (3).



Şekil 11. Deney yapılan değişik günlerde elde edilen şarj verimleri.

Deneyler sonucu elde edilen 1. ve 2. gruba ait toplam sistem verimleri de birbiriyle uyum içerisindedir. Ortalama toplam sistem verimi % 6 olarak bulunmuştur. Her iki grup için de sistem yaklaşık aynı verimle çalışmıştır. Bu ise böyle bir sistemin esnek olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır ve pratikte önemlidir. Bazı günlerde, güneş pili sisteminden gün boyunca enerji talebi olmayacaktır. Enerjiye ancak akşam saatlerinde ihtiyaç olacaktır. Bazı günlerde ise gün boyunca şarj işlemi esnasında aynı zamanda sistemden enerji çekilecektir. Toplam sistem veriminin bu iki değişik çalışma koşullarından bağımsız olması, böyle bir sistemin esnek olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Daha iyi bir şarj düzenleyicisi ve çevirici/yükseltici kullanılarak toplam sistem veriminde belirli bir artış sağlamak mümkündür. Ancak bu, sistem maliyetinde belirli bir artışı da beraberinde getirecektir. Diğer taraftan herhangi bir uygulama için gereken enerji sadece güneş pili sisteminden sağlanıyorsa bazı günlerde bulutlanmadan dolayı şarj işlemi yapılamacağı göz önünde bulundurularak akümülatör kapasitesinin buna göre belirlenmesi gereklidir.

Gelişen teknoloji ile birlikte watt başına güneş pili maliyeti her yıl düşmekte ve önümüzdeki yıllarda da düşmeye devam edeceği beklenmektedir. 1996 yılı için watt başına pilin üretim maliyeti yaklaşık 3 $'dır. Bu fiyatlara kar payı, paketleme ve taşıma masrafları, gümrük ve fon vergisi gibi maliyetler eklenince, watt başına pil maliyeti 8 $'a kadar yükselmektedir. Ülkemizdeki mevcut ekonomik şartlara göre 53 Wp'lik bir güneş pili 440 $'a satın alınabilmektedir. Bazı üretici firmalar, 100000 $ ve üzerindeki pil satışlarında % 20 'lik bir indirim yapmaktadırlar. Güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üreten bir sistemin toplam maliyetinde %70 ile %90 arasında değişen oranda bir paya

sahip olan pil maliyetinin düşmesiyle toplam sistem maliyeti de büyük oranda düşecektir. Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte her geçen gün biraz daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Buna paralel olarak da klasik enerji kaynakları hızla tükenmektedir. İleriki yıllarda arz talep dengesini karşılamak üzere alternatif enerji kaynaklarının kullanılması kaçınılmazdır. Bu alternatif enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisi de güneş enerjisidir. Günümüzde pahalı ve verimlerinin düşük olması sebebiyle çok fazla kullanılmamakla birlikte, güneş pili sistemlerinin uzun ömürlü olmaları, çevreyi kirletmemeleri, gürültüsüz çalışmaları, bakım gerektirmemeleri ve en önemlisi enerji kullanımı için para ödenmemesi gibi sebeplerle yakın bir gelecekte yaygın olarak kullanılmaları beklenmektedir.

Değişik amaçlar için kullanılan güneş pili satışları son on yılda büyük bir artış göstermiş ve bu artışın önümüzdeki yıllarda da artan bir hızla devam edeceği tahmin edilmektedir. 2000 yılında yıllık pil satışının aileler ve kişisel amaçlı sistemler için 40 MWp, endüstri amaçlı uygulamalar için 150 MWp, elektrik hattı bulunmayan yerleşim bölgelerine elektrik sağlamak amacını taşıyan toplu sistemler için 250 MWp'e ve şebeke bağlantılı elektrik üretimi sistemleri için 100 MWp mertebesine çıkması beklenmektedir (14).

4. SONUÇ

Yapılan deneyler sonucunda, yurt dışından satın alınan bir güneş pili ve diğer elemanları yerel imkanlarla imal edilen sistemin toplam veriminin % 6 olduğu bulunmuştur. Verim açısından 1. grup ve 2. grup deneyler arasında bir fark görülmemiştir. Bu sistemin esnek olarak kullanılabileceğini, pilden elde edilen enerjinin bazı durumlarda sürekli olarak kullanılabileceğini, bazı durumlarda ise daha sonra kullanılmak üzere depolanabileceğini göstermektedir.

Deneysel olarak incelenen sistemde, kullanılan güneş pilinin ideal şartlardaki verimi %14.74 'tür. Buna yüzeye gelen güneş ışınımı ve pil sıcaklığı etki etmektedir. Yapılan deneyler sonucunda ortalama güneş pili veriminin % 12 olduğu görülmüştür. Güneş pilinden alınan gerilim değerlerini akümülatörün şarj gerilimine uydurmak amacıyla sisteme ilave edilen şarj düzenleyicisinin ortalama veriminin % 91 dolaylarında olduğu bulunmuştur. Elektrik enerjisinin depolanması amacıyla kullanılan akümülatörün yaklaşık % 70 verimle çalıştığı hesaplanmıştır. Akümülatörden çekilen enerjiden kullanıma uygun gerilim türünü ve büyüklüğünü elde etmek için kullanılan çevirici/yükselticinin ortalama %80 verimle çalıştığı bulunmuştur. Güneş pili sistemleri için özel olarak tasarlanmış şarj düzenleyicileri ve çevirici/yükselticiler ve daha kaliteli akümülatörler kullanılarak toplam sistem veriminde belirli bir artış sağlamak mümkün olmakla birlikte bu, sistem maliyetinde belirli bir artışı da beraberinde getirecektir.

Günümüz şartlarında, güneş pili sistemleri yüksek fiyatları ve düşük verimleri dolayısıyla ancak elektrik hattı bulunmayan uzak bölgeler için avantajlı olabilmektedir.

Ancak hem enerji fiyatlarındaki artış hem de pil teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak pil fiyatlarının düşmesi ve verimlerinin artması sebebiyle bu sistemlerin yakın bir gelecekte daha yaygın olarak kullanılacağı tahmin edilmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. *Chow,D., Solar Cells Brochures and Catalogues, Novaest International Company Ltd., Taiwan, 1995.*

2. *Ichikawa,Y., Fabrication technology for large-area a-Si solar cells, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 34, 321-328, 1994.*

3. *Markvart,T., Solar Electricity, John Wiley and Sons Inc., 1994.*

4. *United Nations, The Direct Conversion of Solar Energy to Electricity, United Nations Publication, New York, 1992.*

5. *Chapin, D.M., Fuller, C.S. ve Pearson, G.L., A new p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power, J. Appl. Phys. 25, 676-677, 1954.*

6. *Çolak, M., Güneş pilleri ve uygulamaları, Mühendis ve Makina, Cilt 32, 21-25, 1991.*

7. *Hankins,M., Small Solar Electric Systems for Africa, Commenwealth Science Council, U.K., 1991.*

8. *Siemens, Solar Energy Products Catalog and Brochures, Germany, 1996.*

9. *E.Y.E., Güneş Pilleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Direktörlüğü, Ankara, 1992.*

10. *Çolak,M. ve Erdiş,F., Fotovoltaik prensibi ile güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretimi", Ege Üniversitesi Araştırma Fonu, Araştırma Raporu, 1989.*

11. *Büyükalaca,O. ve Karaçorlu,M., Çukurova Bölgesi için küçük ölçekli güneş pili sistemi tasarımı, Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 11, 139-151, 1996.*

12. *Or Eektronik, Or Elektronik Regülatör, İnvertör ve Transformatörleri Broşür ve Katalokları, 1996.*

13. *Duffie,J.A. ve Beckman,W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Inc., 1991.*

14. *Hill,R., Photovoltaic market analysis, Solar Cells and Their Applications, (Ed : Partain, L.D.), John Willey and Sons Inc, 1995.*