

Dilşad ENGİN¹
Metin ÇOLAK²
Mustafa ENGİN³

¹ Dr., E.Ü.Ege Meslek Yüksekokulu,
Bornova, İzmir
dilsad.engin@ege.edu.tr

² Prof. Dr., E.Ü. Mühendislik Fak., Elektrik-
Elektronik Müh., Bornova, İzmir

³ Yrd. Doç. Dr., E.Ü.Ege Meslek
Yüksekokulu, Bornova, İzmir

Anahtar Sözcükler:

Yaprak alanı, güneş pili, kısmi
gölgeleme

Key Words:

Leaf area, solar cell, partial
shadowing

**Güneş Pili ile Yaprak Alanı Ölçümü
Yapan Bir Sistemin Geliştirilmesi**

Development of a system that measures leaf area
using solar cell

Alınış (Received): 27.07.2008 Kabul tarihi (Accepted): 22.10.2008

ÖZET

Bu çalışmanın amacı güneş pili ile yaprak alanının ölçülmesidir. Bu amaçla altı adet seri hücreden oluşan 7x10 cm² ve 5x7 cm² 'lik amorf silisyum güneş pilleri kullanılmış ve çeşitli alanlarla gölgelenerek alan-akım ve alan-gerilim grafikleri çıkarılmıştır. Çalışmalarda önce güneş pili üzerinde gölgeleme yapılmış, ancak seri bağlı hücrelerden oluşan güneş pilinin kısmi gölgelenmesi sonucu aynı alanlar farklı geometrik şekiller için farklı akım değerleri ile ifade edilmiştir. Bunun üzerine ışık kaynağı üzerinde gölgeleme ile ışık miktarı değiştirilerek ölçümler tekrarlanmıştır. Alan-akım ve alan-gerilim eğrileri alan ile güneş pili akımındaki değişimin oldukça doğrusal olduğunu göstermektedir.

ABSTRACT

The aim of this project is to determine the leaf area using a solar cell. 7x10 cm² and 5x7 cm² amorphous silicon solar cells are used and shadowed by areas of various sizes. These areas are first positioned on the solar cell, but this caused partial shadowing problem, so the same areas are represented by different current values for different geometric shapes. Then, the areas are placed on the light source and the measurements are repeated. Area-current and area-voltage relations showed a good linearity.

GİRİŞ

Bitkilerin gelişimini izlemek amacıyla yaprak alanlarının ölçülmesi büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, alan ölçümünde pek çok yöntem kullanılmaktadır. 1967 yılında Murata ve Hayashi tarafından geliştirilen yarı otomatik besleme mekanizması olan bir aygıt, yaprak alanı ölçümünde yaygın olarak kullanılmıştır. Bu amaçla üretilen pahalı tarayıcıların yanı sıra milimetrik kâğıda yaprağın fotokopisinin çekilmesi ile alan ölçümü kullanılan yöntemlerden biridir. Bir diğer yöntemde de yaprak fotokopisinin tarayıcı aracılığıyla bilgisayara aktarılması ile yaprak alanı ölçümü yapılmaktadır (Tsuda, 1999; Flaudung ve Ritter, 1991). Yaprığın fotokopisinin çekilmesi ya da tarayıcı kullanılması yöntemlerinde koparılması gerekmektedir ki bu bazı ürünler için uygun olmayabilir. Önerilen bu yöntemde ise, birçok yaprak alanı ölçümünde yaprağın koparılmasına gerek yoktur.

Alan ölçümünde kullanılan ticari aygıtlarda yaprak, geçirgen bir taşıyıcı bant üzerinden belirli bir hızda geçirilirken üzerine gönderilen ışın demetinden geçmektedir. Yaprak tarafından kesilen ışık miktarının aygıt tarafından yapılan dijital tahmini aracılığıyla alan ölçümü gerçekleştirilir. Yaprak genişliği, boyu, kalınlığı ve çevresi gibi parametreleri de ölçülebilen ve verileri bilgisayara aktarabilen gelişmiş modeller de piyasada mevcuttur (CID, Inc., LI-COR Biosciences). Daha doğru ölçümlerin yapılabilmesi için yaprakların taşıyıcı banda doğru yerleştirilmesine dikkat edilmesinden kıvrık yaprakların düzeltilerek alan ölçüme verilmesine kadar pek çok kritere uyulması gerekmektedir. Yaprığın geçirgenliği de ölçüm sonucunu etkileyen diğer bir parametredir. Rengine ve kalınlığına bağlı olarak geçirdiği ışık miktarının artması sonucu yaprak alanı tahminlemesi olduğundan daha büyük bir değerde çıkacaktır. Yaprak klorofil miktarını belirleyen bir aygıt kullanılarak, örneğin sararmış bir yaprağın alanının belirlenmesinde klorofil miktarı değeri ile hata miktarı belirlenerek daha doğru tahminleme yapılabilir. Bu tahminleme bazı ekin örneklerinin yapraklarının bozulmasının belirlenmesi sırasında test edilmiştir (Tsuda, 1999).

$I_{sc} = c \Phi$; c: bir sabit ve Φ : ışınım gücü (kWh/m^2)

$$V_{oc} = ekT \ln \left(1 + \frac{I_{sc}}{I_0} \right) \quad (1)$$

V_{oc} = güneş pili açık devre gerilimi (V)

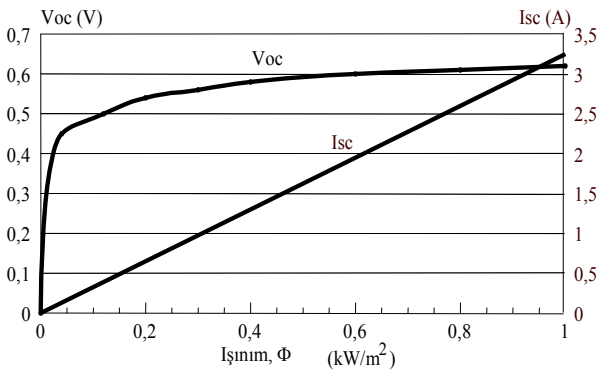
e = elektron yükü ($1,602 \times 10^{-19}$ C)

k = Boltzmann sabiti ($1,38 \times 10^{-23}$ J/°K)

T = mutlak sıcaklık (°K)

I_0 = doyma akımı (mA)

I_{sc} = güneş pili kısa devre akımı (mA)



Şekil 1. Işınımına göre Voc ve Isc'nin değişimi

Bu çalışmada izlenen yöntemde yaprak alanının ölçülmesi amacıyla yaprak üzerine bir ışık demetinin gönderilmesi suretiyle bir amorf silisyum güneş pilinin gölgeleme miktarına bağlı olarak değişen akım üretimi ölçülmüştür. Üzerine gelen güneş ışınımı miktarı ile en fazla değişme güneş pilinin akımında olmaktadır (Şekil 1) ve güneş pili kısa devre akımı I_{sc} , ışınım gücü Φ ile doğru orantılıdır ve açık devre gerilimi V_{oc} de I_{sc} 'nin bir fonksiyonudur (Eş.1) (Markqvart, 1994). Bu nedenle, güneş pilinin üzerine düşen ışık miktarı standart alanlar kullanılarak azaltılmış ve buna bağlı olarak akım ve gerilim değerleri kaydedilerek alan ölçümünde güneş pilinin kullanılıp kullanılmayacağı sınanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Güneş pili ile yaprak alanı ölçümü çalışmasında 6 adet seri bağlı hücreden oluşan 7×10 cm^2 ve 5×7 cm^2 'lik amorf silisyum ince film güneş pilleri kullanılmıştır. Deney düzeneğinde ışık kaynağı olarak kullanılan 11W gücündeki çift tüplü PL lamba, ışığı geçirmeyen bir kutunun tabanındaki parabolik yansıtıcının odağına yerleştirilmiştir. Bu yansıtıcı ışık kaynağından gelen ışığı güneş piline paralel yansıtacak şekilde paslanmaz çelik levhadan kıvrılmıştır (Şekil 2). Paralel yansıtılan ışığın dağıtılması için seçilen opal cam kutunun en üstüne, kapağın hemen altına, güneş pili ise, kutunun kapağına yerleştirilmiştir. Ölçülecek alanlar kapak kapatıldığında bu cam ile güneş pili arasında kalacak şekilde camın üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 3).

Yaprak alanının ölçülmesi amacıyla ışığı geçirmeyen ve ışığı bir miktar geçiren standart alanlar çeşitli şekillerdeki yaprak alanlarının ölçülebileceği göz önüne alınarak farklı geometrik şekillerde hazırlanmıştır. Seri bağlı güneş pilinin merkezine simetrik şekilde yerleştirilerek gölgelemenin akım ve gerilime etkisini gözlemek amacıyla $4\frac{1}{2}$ digit, 0.01mA akım çözünürlüğüne sahip ITT Metrics marka laboratuvar tipi bir dijital multimetre güneş piline bağlanmıştır. Alan ölçümlerinde güneş pilinin gölgeleme alanı ile değişen kısa devre akımı ve açık devre gerilimi ölçülmüştür.

Yaprak alanının ölçümü 7×10 cm^2 'lik ince film amorf silisyum güneş pili ile yapılmış ve güneş pilinin dikdörtgen geometrik şekle



Şekil 2. Yaprak alanı ölçümünde kullanılan deneme düzeneğinde lamba, parabolik yansıtıcı ve güneş pili yerleşimi.



Şekil 3. Işığı dağıtacak özellikteki opal camın ışık kaynağı üzerine yerleşimi.

sahip olmasından dolayı dikdörtgen standart alanlarla çeşitli ölçümler yapılmıştır. Güneş pilinin üzerini gölgeleyecek şekilde yerleştirilen bu alanların güneş pili akım ve gerilimine olan etkisi ölçülmüştür. Hazırlanan alanların boyu güneş pilinin genişliğinde ve enleri güneş pili alanının %10'undan %100'ünü gölgeleyecek kadardır. Daha sonra ölçümler aynı yöntemle 5x7 cm²'lik ince film güneş pili kullanılarak tekrarlanmıştır.

Ölçülecek yaprak alanlarının farklı geometrik şekillere sahip olacağı göz önünde bulundurularak altı farklı geometrik şekilde alanlar kullanılmıştır. Alanlar %10'dan geometrik şeklin ve güneş pilinin fiziksel boyutlarının izin verdiği yüzde alanına kadar gölgeleme yapılmak amacıyla hazırlanmıştır. Bu çalışmada alanı ölçülecek yaprakların farklı ışık geçirgenliğine sahip olacağı da düşünülerek alanlar geçirgen olmayan karton ve belli bir oranda geçirgenliğe sahip beyaz kâğıtlardan hazırlanmıştır.

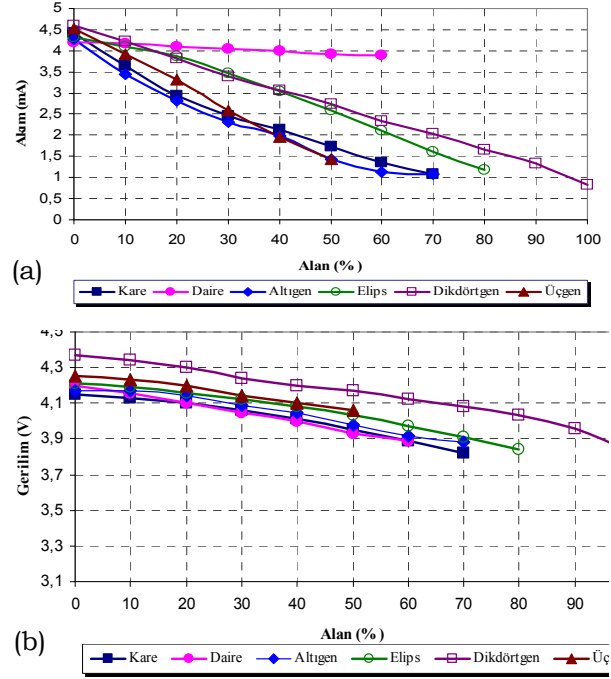
Kısmi gölgelemenin etkisini incelemek amacıyla farklı geometrik şekildedeki alanlarla bir hücrenin tamamı gölgelendiğinde, güneş pilinin akımında ani bir azalma olmuştur. Bunun nedeni de seri bağlı hücrelerden birinin gölgelenmesinin hücreye düşük enerji girişine neden olarak o hücrenin akımını, dolayısıyla tüm güneş pili akımını azaltmasıdır (Feldman ve ark., 1981).

Bu sonuçlar üzerine, güneş pili üzerinde gölgeleme yapmak yerine ışık kaynağı üzerinde gölgeleme yapılarak aynı ölçümler tekrarlanmıştır. Deney düzeneği biraz değiştirilerek ışık kaynağının üzerine ışığı geçiren düz cam konulmuş ve opal cam ise güneş pili ile temas etmeyecek ve gelen ışığı dağıtarak güneş piline iletecek şekilde yerleştirilmiştir. Opal cam üzerine yerleştirilen bu alanlarla gelen ışık miktarı değiştirilerek güneş pili kısa devre akımı ve açık devre gerilimi ölçümleri yapılmıştır.

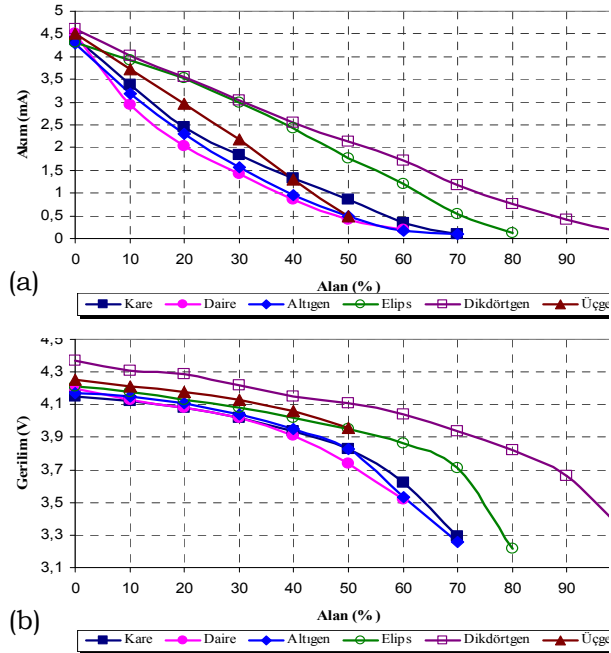
ARAŞTIRMA BULGULARI VE SONUÇ

Güneş pili ile yaprak alanı ölçümü çalışmalarında farklı boyut, şekil ve geçirgenliklere sahip yaprak alanlarının ölçüleceği göz önüne alınarak altı farklı geometrik şekilde geçirgen olmayan karton ve belli bir oranda geçirgenliğe sahip beyaz kâğıtlardan hazırlanan alanlarla güneş pili üzerinde gölgeleme yapılmıştır.

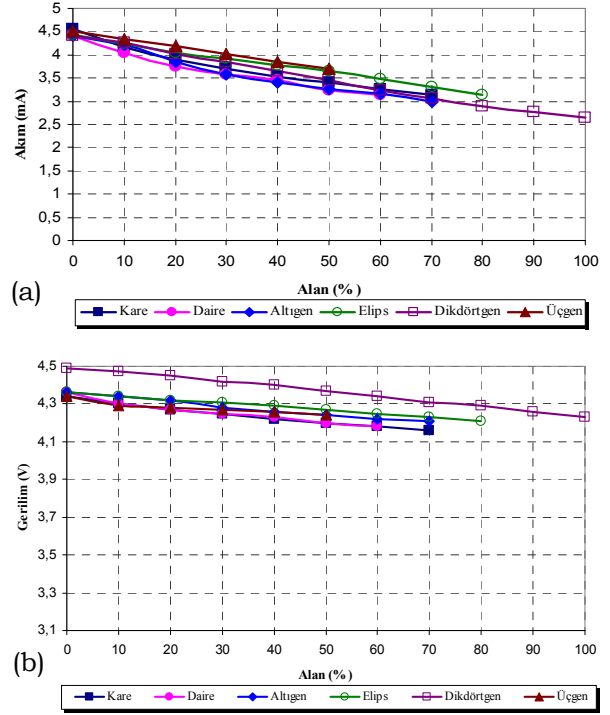
tır. Güneş pili yüzey alanın %10'u ile en fazla %100'üne kadar yapılan gölgeleme sonucu güneş piline gelen ışınım miktarı değişmiştir. Işınım ile değişen güneş pili kısa devre akımı ve açık devre gerilimi ölçülmüştür (Şekil 4 ve Şekil 5).



Şekil 4. Güneş pili üzerinde geçirgen alanlarla yapılan (a) akım ve (b) gerilim ölçümlerinin karşılaştırılması



Şekil 5. Güneş pili üzerinde geçirgen olmayan alanlarla yapılan (a) akım ve (b) gerilim ölçümlerinin karşılaştırılması

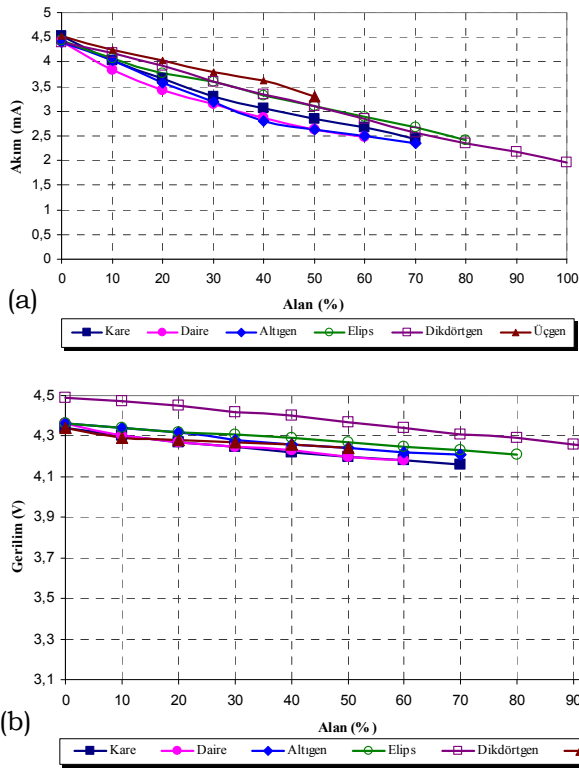


Şekil 6. Işık kaynağı üzerinde geçirgen alanlarla yapılan (a) akım ve (b) gerilim ölçümlerinin karşılaştırılması

Seri bağlı hücrelerden oluşan güneş pili üzerindeki kısmi gölgeleme sonucu altı farklı geometrik şekildeki alanın farklı alan-akım ve alan-gerilim ilişkisine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlar üzerine PL lambadan gelen ışık miktarını bu alanlarla değiştirerek akım ve gerilim ölçümleri yapılmıştır. Kare, daire, altıgen, üçgen, elips ve dikdörtgen alanlar kullanılarak geçirgen ve geçirgen olmayan malzeme ile gölgeleme yapıldığında elde edilen alan-akım ve alan-gerilim ölçümlerinin grafikleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Güneş pili ile yaprak alanının ölçümü çalışmasında önce güneş pili üzerinde gölgeleme yapılmış, ancak seri bağlı hücrelerden oluşan güneş pilinin kısmi gölgeleme sonucu her bir geometrik şekil için farklı alan-akım ve alan-gerilim değişimleri elde edilmiştir. Aynı alanlar farklı geometrik şekiller için farklı akım ve gerilim (Şekil 4 ve Şekil 5) değerleri ile ifade edilmiştir. Seri hücrelerden birinin tamamen ya da diğerlerinden fazla gölgelenerek akımının azalması tüm güneş pili akımını da azaltmakta ve gölgeleme-akım ilişkisinde ani düşüşlere neden olmaktadır. Seri bağlı hücrelerde kısmi gölgelemenin etkisi de yine



Şekil 7. Işık kaynağı üzerinde geçirgen olmayan alanlarla yapılan (a)akım, (b) gerilim ölçümlerinin karşılaştırılması

gölgeleme-akım ve gerilim ölçümleri yapılarak incelenmiş, güneş pili üzerinde gölgeleme yaparak alan ölçümü yapılamayacağı sonucuna varılmıştır.

Kısmi gölgelemenin etkisini gidermek amacıyla güneş pili üzerinde gölgeleme yapmak yerine alanları ışık kaynağı üzerine yerleştirerek güneş piline gelen ışık miktarı değiştirilerek aynı alanlarla ölçümler tekrarlanmıştır. Bu ölçümler sonucu elde edilen alan-akım ve alan-gerilim eğrileri (Şekil 6 ve Şekil 7) incelendiğinde ışık kaynağı üzerinde gölgeleme yapılmasının kısmi gölgelemenin etkilerini azalttığı ve alan ile güneş pili akımındaki değişimin oldukça doğrusal olduğu sonucuna varılmış ve bu düzeneğin yaprak alanının ölçülmesinde kullanılabilecek bir prototip olduğuna kanaat getirilmiştir (Engin, 1996).

Işık kaynağı üzerinde gölgeleme yapıldığında alınan ölçüm sonuçlarının görsel olarak da değerlendirilmesi amacıyla, Microsoft Excel programı ile Şekil 6 ve Şekil 7'deki grafikler çizdirilmiştir. Bu grafiklerdeki her bir eğri için eğilim çizgileri çizdirilerek eğri denklemleri hesaplatılmış ve güneş pili kısa devre akımı

ile alan arasında matematiksel bir bağıntı elde edilmiştir.

Geçirgen olmayan dikdörtgen alanlar için elde edilen grafik için Excel tarafından elde edilen denklem Eş. 2'deki gibidir. Bu doğru denklemi kullanarak alan değişimleri ile değişen kısa devre akımı değerleri hesaplatılmış ve karşılaştırma yapmak amacıyla ölçülen değerler de aynı çizelgeye eklenmiştir (Çizelge 1).

$$I_{SC} = -0.0251A + 4.3327; R^2=0.9965 \quad (2)$$

Burada

I_{SC} : kısa devre akımı (mA)

A: gölgeleme alanı (%)

R: belirleme (regresyon) katsayısı

Elips alan ile ölçülen değerler dikdörtgen alanları ile yaklaşık olarak aynı olduğu için Eş.3'teki benzer bağıntı ile hesaplanan değerler de aynı çizelgede sunulmuştur.

$$I_{SC} = -0.0243A + 4.3376; R^2=0.994 \quad (3)$$

Çizelge 1. Dikdörtgen ve elips alanlar için alan ile güneş pili kısa devre akımı arasındaki eşitlikten elde edilen değerler

Alan (%)	Dikdörtgen		Elips	
	Hesaplanan	Ölçülen	Hesaplanan	Ölçülen
0	4.383	4.40	4.338	4.44
10	4.132	4.18	4.095	4.08
20	3.881	3.93	3.852	3.77
30	3.630	3.60	3.609	3.60
40	3.379	3.33	3.366	3.32
50	3.128	3.11	3.123	3.11
60	2.877	2.84	2.880	2.88
70	2.626	2.57	2.637	2.67
80	2.375	2.34	2.394	2.42
90	2.124	2.17		
100	1.873	1.96		

Geçirgen olmayan ikizkenar üçgen alan ile aynı şekilde hesaplatılan alan- I_{SC} denklemi Eş. 4'tedir. Bu eşitliğe göre hesaplanan değerler ile ölçülen değerler Çizelge 2'dedir.

$$I_{SC} = -0.0235A + 4.5052; R^2=0.9961 \quad (4)$$

Benzer şekilde, alan ile kısa devre akımı ilişkisi geçirgen olmayan altıgen şekiller için Eş. 5'te ve daire alanlar için Eş. 6'da verilmiştir. Ölçülen değerler ile Şekil 7(a)'daki altıgen ve daire alanlar için alan-akım eğrisi incelendiğinde doğrusallıktan sapmanın diğer geometrik şekillere oranla daha fazla olduğu

görülmektedir. Dolayısıyla, bu geometrik şekillere benzer formdaki yaprakların alanları ölçüleceği zaman doğru denklemi yerine ikinci dereceden bir eğilim eğrisi (polinom) elde edilmiş ve denklemi hesaplatılmıştır. Bu eşitliklere göre hesaplanan değerler ile ölçülen değerler Çizelge 3'tedir.

Çizelge 2. Üçgen alanlar için alan ile güneş pili kısa devre akımı arasındaki eşitlikten elde edilen değerler

Alan (%)	Hesaplanan		Ölçülen	
	I _{sc} (mA)	I _{sc} (mA)	I _{sc} (mA)	I _{sc} (mA)
0	4.505		4.52	
10	4.270		4.25	
20	4.035		4.02	
30	3.800		3.80	
40	3.565		3.61	
50	3.330		3.30	

$$I_{sc} = 0.0003A^2 - 0.0514A + 4.4471; R^2=0.9965 \quad (5)$$

$$I_{sc} = 0.0004A^2 - 0.053A + 4.3786; R^2=0.9972 \quad (6)$$

Çizelge 3. Altıgen ve daire alanlar için alan ile güneş pili kısa devre akımı arasındaki eşitlikten elde edilen değerler

Gölgeleme (%)	Altıgen		Daire	
	Hesaplanan I _{sc} (mA)	Ölçülen I _{sc} (mA)	Hesaplanan I _{sc} (mA)	Ölçülen I _{sc} (mA)
0	4.447	4.40	4.379	4.42
10	3.963	4.02	3.889	3.83
20	3.539	3.58	3.479	3.43
30	3.175	3.18	3.149	3.15
40	2.871	2.81	2.899	2.86
50	2.627	2.64	2.729	2.64
60	2.443	2.51	2.639	2.48
70	2.319	2.35		

Bu çalışmada yaprağın geometrik şekli önemli bir faktördür. Alanı ölçülecek yaprağın şeklinin hangi geometrik şekle uygun olduğu belirlenerek ölçüm yapılırken o geometrik şekle ait grafiklerin ve eşitliklerin kullanılması

KAYNAKLAR

- Engin, D., 1996. Yaprak Büyüklüğünü Belirleyen Bir Ölçme Sisteminin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans tezi.
- Feldman, J., Singer S. and Braunstein, A, 1981. Solar Cell Interconnections and the Shadow Problem. Solar Energy, (26): 419-428.

gerekir. Diğer bir faktör ise, yaprağın geçirgenliğidir ve bu da güneş piline gelen ışık miktarını değiştirmektedir. Bu geçirgenlik etkisini ortadan kaldırmak için yaprağın, örneğin karton gibi, geçirgen olmayan bir malzemeden kalıbının çıkarılarak bu alanın ölçülmesi önerilmektedir.

Diğer bir yöntem ise, alanı ölçülecek yapraktan iki adet kullanılması ve birinin, örneğin güneş pili alanının %25, %50 ve %75'i boyutlarında kesilerek bu alanlarla referans alınacak olan akım ölçümlerinin yapılmasıdır. Bunun sonucu olarak elde edilecek alan-akım grafiği ve eşitliği diğer yaprağın alanının ölçülmesinde kullanılır. Bu yöntemde yaprak alanının geometrik şekli ve geçirgenliğinin bilinmesi artık önem taşımaz. Bu ikinci yöntem, ancak aynı çeşit yaprakların alanlarının sıkça ölçüleceği durumlarda daha kullanışlı olacaktır.

Değişen alanla güneş pilinin geriliminde fazla bir değişme olmadığından, güneş pili akımının bir akım sensörü ile algılanarak alan bilgisini bir göstergede gösterebilmesi için mikroişlemci tabanlı bir elektronik devrenin tasarlanması gerekir. Ölçülen akım değerinin çarpılacağı birkaç yaprak geçirgenlik oranı ve deneylerde kullanılan her bir geometrik şekil için hesaplanan şekil faktörünün klavyeden girilmesi daha doğru alan ölçümü için gereklidir (Engin, 1996). Ancak, yapılan çalışmanın amacı yaprak alanı ölçümünde güneş pilinin kullanılabilirliğini sınavan bir prototip geliştirmek olduğundan bu elektronik tasarım yapılmamıştır.

Çalışmalarda, mevcut 6 adet seri bağlı hücreden oluşan ince-film güneş pilleri kullanılmış, ilk denemelerde ortaya çıkan kısmi gölgeleme sorunu daha sonra ışık kaynağı üzerinde gölgeleme yapılarak giderilmiştir. Kısmi gölgeleme sorununun ortadan kaldırılması amacıyla seri bağlı hücrelerden oluşan güneş pili yerine tek hücreden oluşan tek-kristal silisyum güneş pili ile bu alan ölçümlerinin yapılması önerilmektedir.

- Flaudung, M. and Ritter E., 1991. Plant Leaf Area Measurements by Personal Computers. J. Agronomy and Crop Science, (166): 69-70.
- Markvart, T., 1994. Solar Electricity, ISBN 0471941611, England
- Overstraeten, R.J. and Mertens, R.P.,1986. Specific Device Physics of Solar Cells, Amorphous Silicon, pages 90-106 and Photovoltaic Module Operation, pages 197-206 in Physics, Technology and Photovoltaics, Modern Energy Studies.
- Rauschenbach, H.S., 1980. Network of Solar Cells, Modules and Arrays, pages 83-97 in Solar Cell Array Design Handbook.
- Tsuda, M., 1999. Errors in Leaf Area Measurement with an Automatic Area Meter due to Leaf Chlorophyll in Crop Plants. Annals of Botany, (84): 799-801,
- CID Inc. Portable Laser Area Meter, 2007. <http://www.cid-inc.com/products/ci-203.html>. Erişim: Eylül 2007
- LI-COR Biosciences Leaf Area Meters, 2007. http://www.licor.com/env/Products/AreaMeters/LI-3100C/3100C_intro.jsp. Erişim: Eylül 2007