



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2009, Volume: 4, Number: 4, Article Number: 1A0047

ENGINEERING SCIENCES

Received: March 2009
Accepted: September 2009
Series : 1A
ISSN : 1308-7231
© 2009 www.newwsa.com

Ayşe (Çelik) Bedeloğlu¹
Ali Demir², Yalçın Bozkurt¹
Dokuz Eylül University¹
Istanbul Technical University²
ayse.celik@deu.edu.tr
Izmir-Turkey

ORGANİK NANOMALZEMELER KULLANILARAK ÜRETİLEN FOTOVOLTAİK TEKSTİL YAPISININ ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, güneş ışığını kullanarak elektrik enerjisi üretebilen fotovoltaik bir tekstil yapısı hakkında bilgi verilmektedir. Polimer esaslı organik yarı-iletkenlerin karışım heteroeklem yapıda fotoaktif tabaka olarak kullanıldığı çalışmada, taşıyıcı tabaka olarak ışık geçirmeyen ve iletken olmayan polipropilen (PP) şerit kullanılmıştır. Örneklerin fotoelektriksel karakterizasyonu AM 1.5 (Hava kütlesi 1.5) şartları (100 mW/cm² ışık yoğunluğu) altında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen fotovoltaik tekstil malzemesi ile 1,7 mA/cm²'lik kısa-devre akım yoğunluğu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Tekstil, Konjüge Polimer, Organik Güneş Pili, Polipropilen Şerit, Yenilenebilir Enerji

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF A PHOTOVOLTAIC TEXTILE STRUCTURE USING ORGANIC NANOMATERIALS

ABSTRACT

In this study, a photovoltaic textile structure generating electricity by using solar radiation is presented. Polymer based organic semi-conductors as photoactive layer in heterojunction structure and polypropylene (PP) tape which was non-transparent and non-conductive as substrate were used. Photoelectrical characterization of samples were performed under AM 1.5 (Air mass 1.5) conditions (100 mW/cm² illumination intensity). Obtained photovoltaic textile structure exhibited a short-circuit current density of 1.7 mA/cm².

Keywords: Conjugated Polymer, Organic Solar Cell, Photovoltaic Textile, Polypropylene Tape, Renewable Energy

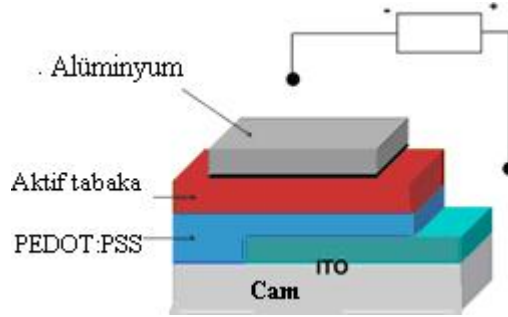
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1970lerde ortaya çıkan petrol krizinin ardından dünya genelinde, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi çok daha fazla artmıştır. Son yıllarda mevcut fosil yakıtları kullanan enerji üretim teknolojilerinin küresel ısınma ve diğer çevresel tehditlere yol açması nedeniyle de temiz enerji kaynağı olan fotovoltaik güneş pilleri konusundaki çalışmalar ivme kazanmıştır. Hem günlük hem de iş yaşamımızda vazgeçilmeyecek çeşitli faaliyetleri gerçekleştirmek için ihtiyaç duyduğumuz enerji, artık ülkelerin dünyada ekonomik ve siyasi geleceklerini de belirleyen bir kavram halini almıştır.

Akıllı tekstiller konusundaki gelişmeler, tekstilin, diğer bilim dallarıyla birlikte çalışması ile gerçekleştirilebilmektedir. Bir akıllı tekstil ve yenilenebilir enerji uygulaması olarak "fotovoltaik tekstil" kavramı, tekstil ürünleri ve sınırsız enerji kaynağı olan güneş ışığını kullanarak elektrik enerjisi üreten güneş pillerinin, her iki farklı yapının da kendine özgü özellik ve fonksiyonlarını kaybetmeden, bir araya getirilmesi ile ortaya çıkarılmıştır.

Diğer inorganik madde esaslı güneş pillerine göre, daha hafif, ucuz, çevreyle dost, kolay ve esnek yapılar üzerinde üretilebilir olan organik güneş pillerine ilgi son yıllarda gittikçe artmaktadır.

Yaygın olarak üretilen organik güneş pilinde, aktif tabaka iki kontak arasında sandviç yapılmıştır. Bu iki kontak; sistemdeki boşlukları toplayan poli(3,4-etilendioksitiofen: poli(stiren sülfonik asit)) (PEDOT:PSS) ile kaplanmış indiyum katkılı kalay oksit (ITO) elektrot ve üstte alüminyum elektrottur. Böyle bir standart yapıda ışık sisteme ITO kaplı cam yönünden verilmektedir. Organik güneş pillerinin ışığı emen aktif tabakasında bugün en fazla kullanılan yapı karışım heteroeklem (=bulk heterojunction) olup bu yaklaşım p-tipi elektron verici ve n-tipi elektron alıcı malzemenin uygun biçimde kombine edilmesi ile verimli organik güneş pillerinin imalinde önemli bir adım olmuştur. Karışım heteroeklem yapıda (Şekil 1), ilk içiçe geçmiş ağ yapının test edildiği güneş pili malzemesi ise poli[2-metoksi-5-(3,7-dimetiloktiloksi)]-1,4-fenilenvinilen (MDMO-PPV:PCBM)'dir [1].



Şekil 1. Polimer/fulleren malzemelerinden oluşan organik karışım heteroeklem güneş piline ait genel bir pil yapısı [1]

(Figure 1. A general organic heterojunction solar cell structure having polymer/fullerene materials mixture [1])

Standart organik güneş pillerinin üretiminde, çözelti esaslı kaplama işlemleri (döndürerek kaplama, daldırma, baskı gibi) ön plandadır. Polimer esaslı aktif tabaka ve PEDOT:PSS tabakası 100-200 nm arasında kaplanırlar. Üst elektrotlar ise (Lityumflorid(LiF)/Alüminyum (Al), Al/Gümüş (Ag) gibi) genellikle ısıyla buharlaştırma yöntemi kullanılarak toplam yaklaşık 100 nm olacak biçimde kaplanırlar [1]. Bu şekilde üretilen polimer esaslı



organik bir güneş pili ile elde edilen güç dönüşüm veriminin %5'i geçtiği yakın zamanda rapor edilmiştir [2].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Yenilenebilir enerji üretim sistemlerinden bir tanesi olan ve sınırsız güneş enerjisini kullanarak elektrik üreten fotovoltaik enerji üretim sistemleri, son yıllarda, tekstil alanında da önem kazanmaya başlamıştır. Organik güneş pillerinin imali için genel olarak ITO kaplanmış camlar kullanılmaktadır [1].

Şimdiye kadar esnek güneş pilleri ile ilgili yapılan çalışmalarda araştırmacılar, polietilentereftalat (PET) veya polietilen (PE) folyolar [3], optik lifler [4] veya polimer kaplı optik lifleri [5] taşıyıcı tabaka olarak kullanmışlardır. Bu çalışma ise gerçek tekstil malzemesi kullanarak fotovoltaik etki oluşturmaya açısından önemlidir.

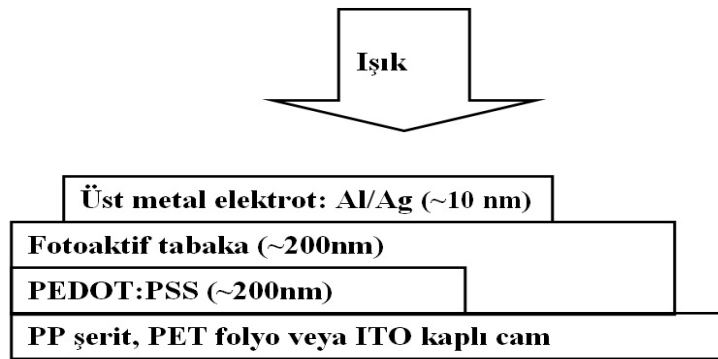
ITO, iletken ancak esnek olmayan, kırılma ve yüksek sıcaklıklarda işlem görmeyi gerektiren pahalı bir malzemedir. Oysa fotovoltaik tekstil malzemelerinin üretimi için, kullanılan güneş pili malzemelerin tekstil özelliklerine uygun ve esnek olması gerekmektedir. Ayrıca tekstil malzemeleri çoğunlukla şeffaf olmadıkları için, bu malzemelerle üretilen fotovoltaik yapılarda ışık dış ortamdan (Şekil 2) gelecek biçimde yapı tasarlanmalıdır.

Bu çalışmada [6], referans olarak üretilen ITO kaplı cam kullanan rijit yapıya karşılık, esnek PET folyo ve bir tekstil malzemesi olarak esnek ve ışığı geçirmeyen PP şerit üzerinde fotovoltaik yapılar geliştirilmiştir ve ışık üst elektrot yönünden pile verilmiştir. Böylece, şebekeden uzak bölgelerde veya hareket halindeyken, fotovoltaik etki göstererek küçük cihazlar için gerekli enerjiyi sağlayabilecek, bir tekstil malzemesi elde edilmiş ve bu çalışma ile elektriksel özellikleri incelenmiştir. MDMO-PPV:PCBM karışımının ışığı emen katman olarak kullanıldığı çalışmada, taşıyıcı tabaka olarak geçirgen olmayan tekstil yapısı polipropilen (PP) ince şerit kullanılmıştır. Fotoelektriksel karakterizasyonu AM 1.5 şartları (100 mW/cm² ışık yoğunluğu) altında gerçekleştirilen örneklerden en fazla 1,7 mA/cm² 'lik bir kısa-devre akım yoğunluğu elde edilmiştir.

3. DENEYSSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

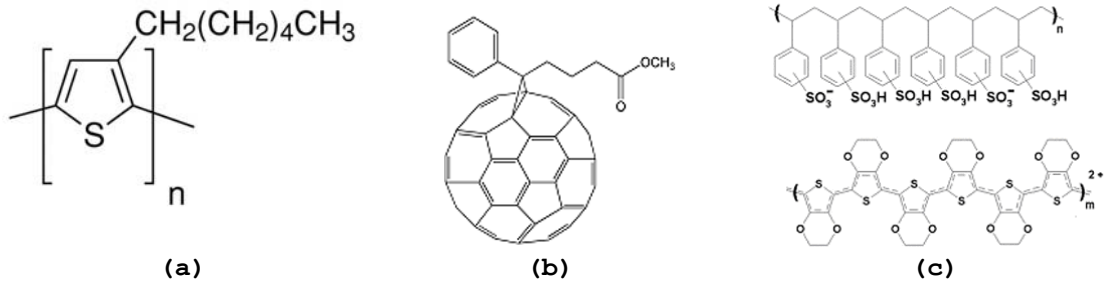
Bu çalışmada [6] üç farklı tipte organik güneş pili yapısı oluşturulmuştur. Bu yapılar aşağıda gösterilmektedir.

- ITO kaplı cam/PEDOT:PSS/MDMO-PPV:PCBM/Al/Ag (referans olarak),
- PET folyo/PEDOT:PSS/MDMO-PPV:PCBM/Al/Ag ve
- PP şerit/ PEDOT:PSS/MDMO-PPV:PCBM/Al/Ag



Şekil 2. Üretilen fotovoltaik yapının şematik genel gösterimi
(Figure 2. Schematic demonstration of obtained photovoltaic structure)

Bu çalışmada, yüksek iletkenliğe sahip PEDOT:PSS (Baytron PH 500, H.C. Starck) sulu çözeltisi kullanılmıştır. Baytron PH 500'ün iletkenliğinin en az 300 S/cm olduğu belirtilmektedir [7]. Kimyasal maddelerin hazırlanması işlemi daha önce Ref.[8]'de bahsedildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. PEDOT:PSS'nin iletkenliğinin ve PP şerit yüzeyine ilgisinin arttırılması amacıyla, içerisine dimetilsülfoksit (DMSO, Sigma-Aldrich) ve Triton X-100 (Sigma-Aldrich) eklenmiştir. MDMO-PPV, konjüge bir polimer ve PCBM, C60 türevi malzeme olup bilinen çözücülerde (klorobenzen, kloroform, toluen gibi) çözünmektedirler. Bu arada, MDMO-PPV:PCBM karışımı 1:4 (w:w) oranında hazırlanmıştır. MDMO:PPV, PCBM ve PEDOT:PSS malzemelerinin genel kimyasal yapıları Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. MDMO:PPV (a), PCBM (b) ve PEDOT:PSS (c) malzemelerinin genel kimyasal yapıları [9]
(Figure 3. Chemical structures of MDMO:PPV (a), PCBM (b) and PEDOT:PSS (c) materials)

Tekstil esaslı ve diğer güneş pillerinin üretim işlemleri Ref. [8]'de belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada taşıyıcı tabaka olarak PP şeritler (SUNJÜT, Turkey), PET folyo ve ITO kaplı camlar (Merck, Inc.) kullanılmıştır. 15 mm×15 mm boyutlarındaki kesilmiş ITO kaplı camların yüzey direnci 15 Ω/cm²'den küçük ve ITO kalınlığı yaklaşık 120 nm'dir. Kısa devre oluşmaması nedeniyle ITO tabakasının bir bölümü özel asit karışımıyla aşındırılmıştır. Aynı zamanda, şeffaf PET folyolar (15 mm×15 mm) ve şeffaf olmayan PP şeritler (0.4 mm×50 mm) kesilerek hazırlanmıştır. Daha sonra, polimer anot elde etmek için PEDOT:PSS içeren karışım, cam esaslı ve PET folyo esaslı örneklerle döndürerek kaplama (spin-coating), PP şeritlere ise daldırma (dipping) yöntemleri ile kaplanmıştır (~200 nm). Aynı yöntemler MDMO-PPV:PCBM karışımının fotoaktif tabaka (~200 nm) elde etmek için kaplanması sırasında da kullanılmıştır. Son olarak pilleri tamamlamak için, üst kontağı oluşturacak olan 3 nm Al ve 7 nm Ag metalleri termal buharlaştırma yöntemi ile 5×10⁻⁶ mbar'lık vakum içerisinde arka arkaya kaplanmıştır. Fotovoltaik yapılar üzerindeki aktif alanların büyüklüğü 4-13 mm² arasındadır.

Üretilen fotovoltaik tekstil ve diğer güneş pillerinin fotoelektriksel özellikleri karanlıkta ve AM 1.5 şartları 100 mW/cm²'lik aydınlatmayı sağlayan bir güneş simulatörü (K.H. Steuernagel Lichttechnik GmbH) yardımıyla aydınlatma altında, içerisinde azot gazı bulunan ve oksijen ve nem geçişine izin verilmeyen bir eldivenli kabin (glove box) sistemi (MBraun'un MB 200 modeli) içerisinde, Keithley 236 ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Aydınlıktaki özellikler ölçülürken ışık, tüm pillerin birlikte değerlendirilmesi amacıyla, standart güneş pillerindeki ölçümlerin aksine, yarı-şeffaf katot (üst elektrottan) yönünden verilmiştir. Tüm örneklerin güç dönüşüm verimleri (η) aşağıda verilen formül (1)'e göre hesaplanmıştır [1]:



$$\eta = \frac{I_{sc} \times V_{oc} \times FF}{P_{in}} \quad (1)$$

Formül (1)'de I_{sc} kısa devre akım yoğunluğunu (Amper/metre² (A/m²)), V_{oc} açık devre voltajını (Volt (V)) ve FF ise dolun faktörünü göstermektedir. I_{sc} , gerilim sıfır olduğu zaman elde edilen en yüksek akımdır ve güneş ışınımı ile doğru orantılıdır. V_{oc} , akımın sıfır olduğu zaman elde edilen en yüksek gerilimdir. FF ise sistemden elde edilen en yüksek gücün, kısa devre akımı ile açık devre geriliminin çarpımına oranı olarak belirtilir ve pilin kalitesini gösterir. P_{in} , gelen ışık güç yoğunluğudur (Watt/metre², (W/m²))

Foton-akım dönüşüm verimi (external quantum efficiency or incident photon to current efficiency (IPCE)) genel olarak, kısa devre şartları altında, toplanan elektron miktarının gelen foton miktarına oranıdır. IPCE, formül (2)'ye göre hesaplanmaktadır:

$$IPCE = \frac{1240 \times I_{sc}}{\lambda \times P_{in}} \quad (2)$$

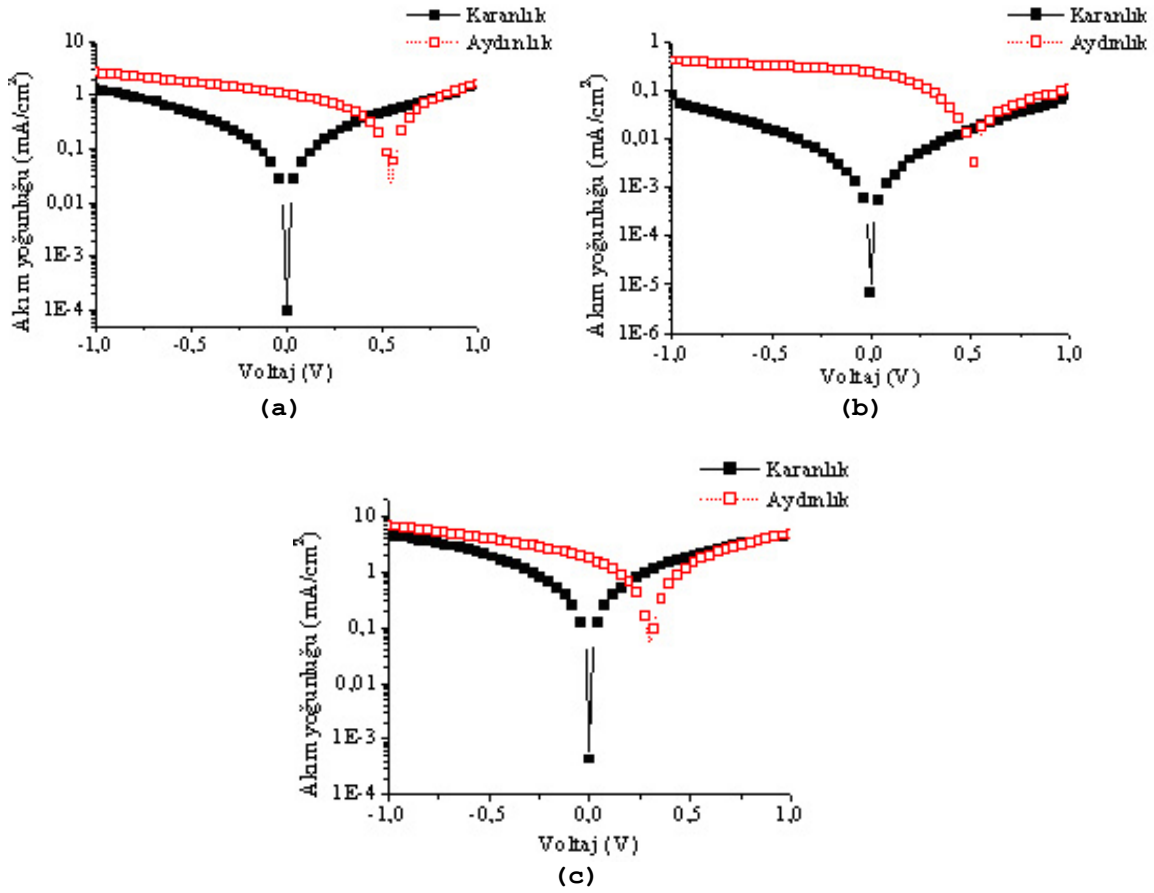
Formül (2)'de λ (nm) gelen ışık dalgaboyu, I_{sc} (μ A/cm²) cihazın fotoakımı ve P_{in} (W/m²) gelen güçtür [1].

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Farklı taşıyıcı tabakalar üzerinde, fotoaktif tabaka olarak MDMO-PPV:PCBM ve polimerik anot olarak yüksek iletkenlikli PEDOT:PSS malzemeleri kullanılarak üretilen pillere ait sonuçlar bu bölümde gösterilmiştir. Pillerde katot olarak Al/Ag metal tabakası kullanılmıştır. Bilinen güneş pili ve esnek güneş pillerine ait pil yapıları Şekil 2'de gösterilmektedir.

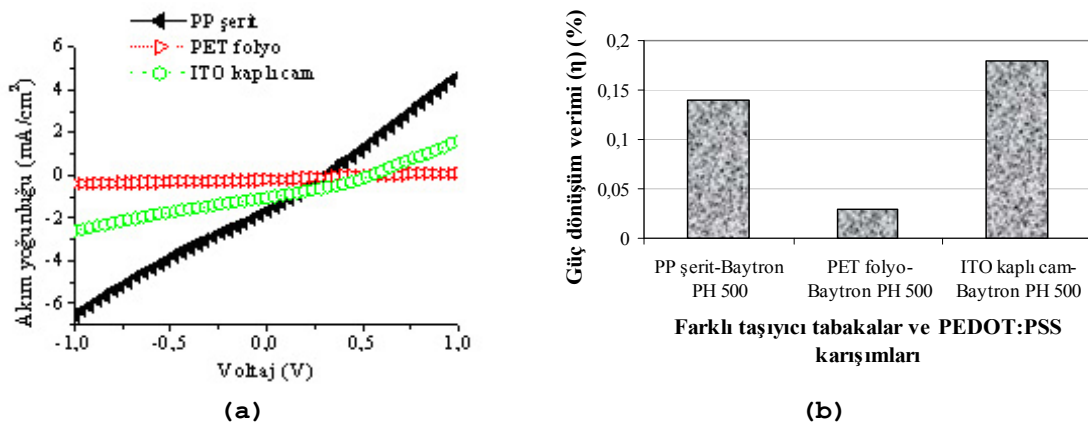
Üretilen güneş pillerinin fotovoltajik özelliklerini araştırmak amacıyla, karanlıkta ve aydınlıkta (AM 1.5, 100 mW cm⁻² şartları sağlanarak) katot (üst elektrot) yönünden ölçümler gerçekleştirilip akım-voltaj eğrileri çizdirilmiştir. Şekil 4'de fotovoltajik yapıların yarı-logaritmik ölçekte, akım-voltaj eğrileri ve Tablo 1'de ise güneş pillerine ait karakteristik parametreler verilmiştir. Şekil 4 ve Tablo 1'de görüldüğü üzere, fotovoltajik tekstil yapısı en fazla 1,7 mA/cm²'lik bir kısa-devre akım yoğunluğu, 300 mV'luk bir açık-devre voltajı ve %27,9 dolun faktörü göstermiştir. Bunların bir sonucu olarak güç dönüşüm verimi ise %0,14 olarak elde edilmiştir. Şekil 4 ve 5 ile Tablo 1 incelendiğinde, PET folyo üzerinde üretilen güneş piline ait fotoelektriksel değerlerin diğer pillere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun, fotoaktif malzemenin folyo üzerine istenilen düzgünlükte ve incelikte kaplanamaması nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Şekil 5a, üç farklı güneş pilinin aydınlatma altında, akım-voltaj eğrilerinin karşılaştırılmasını lineer grafik ölçeğinde göstermektedir. Elde edilen grafiklerden anlaşılacağı üzere, fotovoltajik tekstil ile, hem ITO kaplı cam esaslı hem de PET folyo esaslı güneş pilinden daha yüksek bir kısa-devre akımı elde edilmiştir. Şekil 5b ise fotovoltajik yapıların güç dönüşüm verimlerini birbiri ile karşılaştırmaktadır. En yüksek güç dönüşüm verimi ($\eta = \%0,18$) ITO kaplı cam üzerinde üretilen standart güneş pili ile elde edilmiştir. Bu sonuca, cam yüzeyin, şerit yüzeye göre daha düzgün olması ve ITO malzemesinin iletkenliğe belli ölçüde katkıda bulunmasının neden olduğu düşünülmektedir. Ancak yüksek iletkenliğe sahip PEDOT:PSS malzemesi karışımı ile de standart pile yakın değerler elde edilebilmiştir.



Şekil 4. Fotovoltaik yapıların yarı-logaritmik akım-voltaj grafikleri (a) ITO kaplı cam üzerinde, (b) PET folyo üzerinde ve (c) PP şerit üzerinde

(Figure 4. Semi-logarithmic current versus voltage curves of photovoltaic structures (a) on ITO coated glass, (b) on PET foil and (c) on PP tape)



Şekil 5. Üretilen pillerin akım-voltaj özelliklerinin lineer ölçekte karşılaştırılması (a) ve güç dönüşüm verimlerinin (b) karşılaştırılması

(Figure 5. Comparison of current-voltage features of manufactured solar cells on linear scale (a) and comparison of power conversion efficiencies (b))

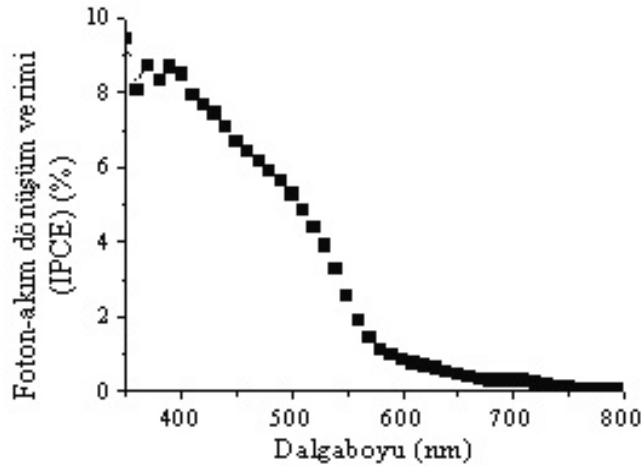


Cihazların fotoelektriksel performansları; açık-devre voltajı (V_{oc}), kısa-devre akım yoğunluğu (I_{sc}), dolum faktörü (%FF) ve bu değerler kullanılarak hesaplanan güç dönüşüm verimi (% η) olarak Tablo 1'de verilmektedir. Bu değerler göz önüne alındığında, ITO kaplı cam üzerinde gerçekleştirilen pil ile en yüksek açık-devre voltajı, dolum faktörü ve verim elde edilmiştir. Fotovoltaik tekstilin üretim aşaması, taşıyıcı tabakasının pürüzlü yapısı ve kullanılan kimyasal malzemelerin çok ince katmanlar halinde kaplanması (nm düzeyinde) gerekliliği nedenleriyle, diğer yapılara göre daha hassas biçimde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmanın, silikon esaslı güneş pilleri için kullanılan temiz odaların aksine, ortam şartlarında yapıyor olması işlemleri kolaylaştırmaktadır. Ancak havada serbest halde bulunan toz parçacıkları, sonuçları olumsuz biçimde etkileyebilmektedir.

Tablo 1. Üretilen pillerin fotovoltaik performanslarının karşılaştırılması
(Table 1. Comparison of photovoltaic performances of obtained solar cells)

Taşıyıcı tabaka tipi	I_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF (%)	η (%)
PP şerit	1,7	300	27,9	0,14
PET folyo	0,22	500	26,7	0,03
ITO kaplı cam	1,04	540	31,3	0,18

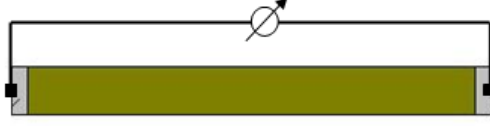
PP taşıyıcı şerit üzerinde Al/Ag üst elektrot kullanılarak elde edilen güneş piline ait foton akım dönüşüm verimi (IPCE) (%) grafiği Şekil 6'da verilmektedir. Fotovoltaik tekstile ait IPCE(%) değeri %9 olarak gerçekleşmiştir ve bu grafik fotovoltaik tekstilin, verilen dalga boyu aralığında (350-800 nm) aktif alanına gelen fotonların ne kadarını akıma dönüştürdüğü hakkında bilgi vermektedir.



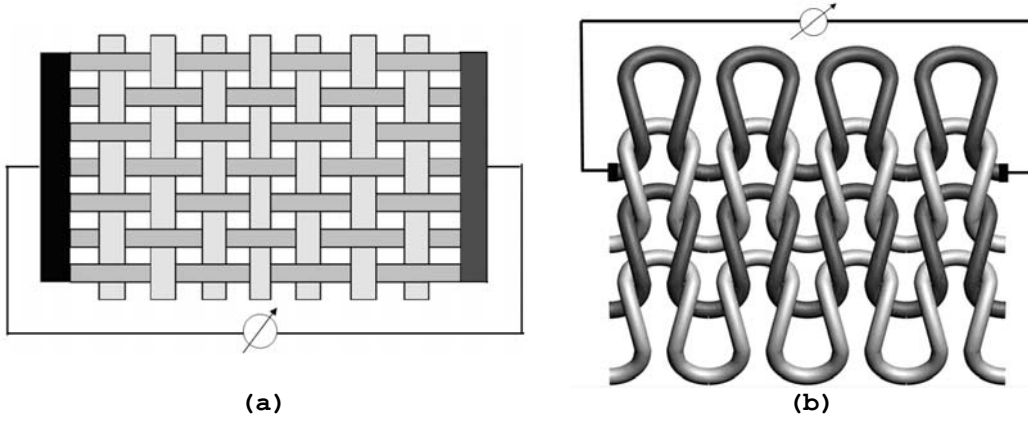
Şekil 6. PP şerit/Baytron PH 500/MDMO-PPV:PCBM/Al/Ag polimer esaslı organik güneş pilinin foton-akım dönüşüm verimi (IPCE %) (Figure 6. Incident photon to current conversion efficiency (IPCE %) of PP tape/Baytron PH 500/MDMO-PPV:PCBM/Al/Ag polymer-based organic solar cell)

Polimer esaslı organik güneş pili yapısı uygulanarak üretilen tekstil esaslı malzemeler, lif veya şerit olarak (Şekil 7) tek başlarına kullanılabilecekleri gibi başka liflerle birlikte ipliği oluşturularak veya uygun bir şekilde bir araya getirilerek, fotovoltaik etki gösterecek tekstil yüzeyleri oluşturularak (örneğin

dokuma ya da örme) da kullanılabilirler (Şekil 8). Aktif fotovoltaik tekstil malzemeleri, iç ve dış ortamlarda, çeşitli dış giysiler, çadır, çanta, bavul vb tekstil esaslı ürünlerde elektrik enerjisi üretmek için kullanılabilir.



Şekil 7. Elde edilen fotovoltaik şeritin tek başına görünümü
(Figure 7. Single photovoltaic textile tape)



Şekil 8. Fotovoltaik lif veya şeritlerin farklı kumaş yapıları içerisinde kullanılması ile elde edilebilecek tasarımlar
(Figure 8. Possible designs that can be obtained by using photovoltaic fibres of tapes in different fabric structures)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmada, katot olarak Al/Ag metal tabakası kullanılmış şerit üzerinde üretilen fotovoltaik pilin özellikleri, PET folyo ve ITO kaplı cam üzerinde üretilen pillerle karşılaştırılmıştır. ITO kaplı camın taşıyıcı tabaka olarak kullanıldığı güneş pilin fotovoltaik performansını diğerlerine göre daha yüksek çıkarmıştır (Tablo 1). Ancak elde edilen sonuçlardan fotovoltaik tekstil yapısının akım yoğunluğunun en yüksek çıktığı ($1,7 \text{ mA/cm}^2$) ve veriminin ise standart güneş piline yakın elde edildiği görülmüştür. Elde edilen esnek fotovoltaik tekstil yapısı, herhangi bir elektriksel kayba uğramadan kendi çapına eğilebilmektedir; bu da gelecekte daha iyi verimlerde üretilebilecek bu tür yapıların çok farklı alanlarda kullanılabilmesine olanak sağlayacaktır.

Kullanılabilir bir fotovoltaik tekstil ürünün elde edilebilmesi için öncelikle organik güneş pilleri ile ilgili bazı engellerin aşılması gerekmektedir. Mevcut polimer esaslı organik güneş pili malzemelerinin verimlerinin yükseltilmesi, havanın oksijen ve neminden korunarak raf ömürlerinin arttırılması ve kullanım sırasında gerekli elektrik bağlantılarının ürün içine uygun biçimde yerleştirilmesi konularında daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Fotovoltaik malzemeler kullanılarak üretilebilen lif ve şerit gibi ince yapılar daha sonra farklı tekstil yapılarının (örme, dokuma kumaş gibi) oluşturulmasında kullanılabilir. Ayrıca üretilen enerji, pil yapısından dışarıya alınıp depolanabilir veya uygun biçime dönüştürülerek cihazların çalışması için kullanılabilir.



TEŞEKKÜR (THANKS)

Araştırmacılar, çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasındaki yardımlarından dolayı Prof.Dr. Niyazi Serdar Sarıçifçi ve ekibine (Linz Organik Güneş Pilleri Enstitüsü (LIOS), Avusturya) teşekkür etmektedirler. Ayşe Bedeloğlu ayrıca TÜBİTAK-BİDEB'e doktora çalışması sırasında vermiş olduğu 2211 ve 2214 kodlu burslardan dolayı teşekkür etmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Günes, S., Neugebauer, H., and Sariciftci, N.S., (2007). Conjugated Polymer-Based Organic Solar Cells. *Chem. Rev.*, Sayı:107, ss:1324-1338.
2. Green, A.M., Emery, K., Hishikawa, Y., and Warta, W., (2009). Solar Cell Efficiency Tables (Version 33). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Sayı: 17, ss.85-94.
3. Krebs, F.C., Biancardo, M., Winther-Jensen, B., Spanggaard, H., and Alstrup, J., (2006). Strategies for incorporation of polymer photovoltaics into garments and textiles. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Sayı:90, ss.1058-1067.
4. Liu, J., Namboothiry, M.A.G., and Carroll, D.L., (2007). Fiber-based architectures for organic photovoltaics. *Appl. Phys. Lett.*, Sayı:90, ss.063501.
5. O'Connor, B., Pipe, K.P., and Shtein, M., (2008). Fiber based organic photovoltaic devices, *Appl. Phys. Lett.*, Sayı:92, ss.193306.
6. Bedeloğlu (Çelik), A., (2009). Fotovoltaik Etki Oluşturan Lif Geliştirilmesi (Development of fibres with photovoltaic effects). Doktora tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
7. www.hcstarck.com (alıntı tarihi: Temmuz 2009), HC Starck ana sayfası.
8. Bedeloğlu, A., Demir, A., Bozkurt, Y., and Sariciftci. N.S., (2009). A flexible textile structure based on polymeric photovoltaics using transparent cathode. *Synthetic Metals*, accepted for publication. Online publication date: 13-August-2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.synthmet.2009.07.019>
9. www.sigma-aldrich.com (alıntı tarihi: Temmuz 2009) Sigma-Aldrich ana sayfası.