

Electric Power Generation in the Solar Systems; Comparisons of the Inorganic and Organic Solar Cells

¹Tanju TEKER, *²Kamil B. VARINCA, Eyyüp Murat KARAKURT ve Gülgün AYLAZ

^{1,3} Adiyaman University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 02040 Adiyaman, Turkey

²Adiyaman University, Faculty of Engineering, department of environmental engineering, 02040 Adiyaman, Turkey

⁴ Hacettepe Universty Institute of graduate studies in science, Nanotechnology and nanomedicine departman, Beytepe/Ankara, Turkey 06800

Abstract

Today, there has been trend towards both fossil energy sources and renewable energy sources to supply the growing energy needs of future generations. The number of works for the production of electricity from solar energy, which is one of the most important renewable energy sources, is also observed a significant increase.

The systems that produce electricity from solar energy called as Solar or Photovoltaic cells. While photovoltaic modules only were made from based inorganic materials in earlier, it is made from conductive polymer-based organic photovoltaic systems today. Organic photovoltaic systems have both ease of handling and plenty of raw materials yet it has not been fully reached the desired level in terms of efficiency.

Manufacturing phase, cost, usage area and level, efficiency of the inorganic and organic solar cells has been investigated and studied as comparative. It was concluded that organic solar cells are be available for proliferation and improvement In terms of features and ease of use of organic solar cells

Key words: Photovoltaic, Electric Energy, Solar Power, Solar Cell, Renewable Energy

Güneş Enerjisinden Elektrik Üreten Sistemler : İnorganik ve Organik Güneş Pillerinin Mukayesesi

Günümüzde artan enerji ihtiyacının gelecek nesiller de dâhil sürdürülebilir olarak temini için fosil kaynaklı tükenbilir enerji kaynaklarının yanında yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru da hızlı bir yöneliş bulunmaktadır. Bu kapsamda en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisinden elektrik üretilmesine yönelik çalışmaların sayısında da ciddi bir artış gözlenmektedir.

Güneş enerjisinden elektrik üreten sistemlere Güneş Pili veya Fotovoltaik Pil adı verilmektedir. Başlarda sadece inorganik malzeme tabanlı olarak üretilen fotovoltaik modüller günümüzde yerini elektrik iletkenliği sağlayan polimer tabanlı organik fotovoltaik sistemlere bırakmaktadır. Organik fotovoltaik sistemlerin gerek kullanım olanağı

*Corresponding author: Adiyaman University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 02040 Adiyaman TURKEY. E-mail address: tteker@adiyaman.edu.tr, Phone: +904162233800 Fax: +904162233812

gerek hammadde bolluğu avantaj olarak görülse de verimlilik açısından henüz istenilen seviyeye tam olarak ulaşmamıştır.

Bu çalışmada inorganik ve organik güneş pillerinin üretim safhaları, maliyetleri, kullanım alanları ve oranları ile verimlilikleri araştırılmış ve mukayeseli olarak incelenmiştir. Sonuçta organik güneş pillerinin özellikleri ve kullanım kolaylığı açısından inorganik pillere kıyasla gelişmeye ve yaygınlaşmaya elverişli olduğu kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Elektrik enerjisi, Güneş enerjisi, Güneş pili, Yenilenebilir enerji

1. Introduction

Yüzyıllar boyunca kullanılan ve kullanımı hızla artmakta olan temel ihtiyaçlarımızdan birisi enerjidir. Gerek sanayide gerek günlük ihtiyaçların karşılanmasında kullanılan çeşitli enerji kaynakları vardır. Enerji, temelde fosil kaynaklardan ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Enerji elde edilen fosil kaynakları, kömür, doğalgaz, petrol, nükleer enerji iken; yenilenebilir enerji kaynakları, jeotermal kaynak, rüzgar, güneş, su ve biokütledir [1].

Fosil yakıtlar yapılarında yüksek oranda hidrokarbon ve karbon bulundurlar. Bunların yanması ile atmosfere büyük miktarlarda CO₂ salınımı olmaktadır. Biriken CO₂ gazı atmosferde sera etkisine sebep olmaktadır. Sera etkisi ile yeryüzünde hapsolan CO₂ tüm dünyaya ve canlılara zarar vermekte ve istenmeyen olumsuz birçok hastalık ve etkiye sebep olmaktadır. Bu olumsuzluklar arasında, iklim değişiklikleri, asit yağmurları, oksijen seviyesinde azalma, artan kanser ve solunum yolu rahatsızlıkları sayılabilir. Fosil yakıtların tüm bu negatif yönlerine ek olarak tükenip yeri doldurulamaz yapıda olmaları fosil yakıtlar yerine alternatif olarak kullanılacak maddelere yönelimi arttırmıştır. Artan dünya nüfusu ve endüstriyel ve teknolojik gelişimler ile orantılı şekilde enerji ihtiyacı da artmaktadır. Artan ihtiyacı karşılamak için fosil yakıtların hızla azalması ve yakında tamamen tükenecek olması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimine yönelik çalışmalar tüm dünyada hız kazanmıştır [2].

Yenilenebilir enerji, doğadan sürekli olarak elde edilebilen veya tekrar tekrar kullanılabilen kaynaklardan üretilen enerjidir. Bu kaynaklar kendini yenileyebilen ve tükenmeyen kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıt kaynakları ile kıyaslandığı zaman doğaya zarar vermemesi, yeryüzündeki canlıların sağlıklarını ve geleceklerini tehdit etmemesi gibi özellikleri avantajlar arasında sayılırken her bir yenilenebilir enerji kaynağının farklı bölgelerde fosil yakıtlara oranla daha az yoğun şekilde ve farklı bölgelerde bulunmaları ise dezavantaj olarak değerlendirilmektedir.[3]

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ısıtma sistemlerinde kullanımına ek olarak son yıllarda enerji eldesi içinde çok sık kullanılmaya başlamıştır. Bu doğrultuda güneş pilleri kullanılarak fotovoltaik üretimler yapılmaya başlamıştır. Bu sistemlerde güneş ışığı fotovoltaik diyotlar üzerine geldiğinde doğrudan elektrik enerjisine çevrilmektedir. Oluşan enerjinin dağıtılması için birden çok güneş pili birbirlerine farklı formlarda bağlanarak güneş pili modülü oluşturulup bu birbirine montelenmiş sistemden çıkış sağlanabilmektedir. Güneş pilleri ilk başlarda uzay araçları ve uydu sistemlerinde kullanılmak amacıyla üretilmiş olsalar da günümüzde hesap makinelerinden sokak aydınlatmasında kullanımına kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Geleneksel olarak güneş pillerinin üretiminde genellikle inorganik malzemelerin kullanımı ile %24'lere varan verim elde edilmiş olmasına rağmen yüksek maliyetli ürünler olması ve kurulum için uzun zaman gerektiriyor olması bu tür güneş pillerinin yerine alternatif olarak organik malzemeler kullanılarak üretilen güneş pillerinin gelişmesini sağlamıştır [4].

1.2.İnorganik Fotovoltaik Piller

İnorganik fotovoltaik pillerin üretiminde yarı iletken metaller kullanılmaktadır. Tasarlanan piller üzerine güneş ışığı geldiği zaman atomlardaki elektronlar serbest kalarak madde içinde hareket etmeye başlarlar ve bir üst elektron seviyesine doğru yığılarak elektrik akımı meydana getirirler. Pilin üst yüzeyinde pilde üretilen akımı toplayacak bakırdan yapılmış ön kontakt malzemeler vardır. Bunlar negatif kontak olarak adlandırılırlar. Kontaktların altında yaklaşık 15 cm kalınlığında gelen ışığın tamamının yansımaya engel olan yansıma özelliği bulunmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu katman iki tabaka halindedir. Bunlardan biri n katmanı diğeri ise p katmanıdır [5].

İnorganik güneş pillerinin üretiminde yarı iletken olarak genellikle Silisyum ve Germanyum kullanılır. Katı malzemelerdeki atomların elektronları birbirlerine yakın ve elektrostatik etkileşimlerinden dolayı farklı yörüngelerde bulunaktadırlar. Bir yörüngenin sahip olduğu enerji seviyesi ile ona komşu olan başka bir yörüngenin enerji seviyesi arasındaki fark 10^{-9} eV kadardır. Bu fark yörüngeler arasında sürekli kabul edilerek enerji bandı olarak tanımlanır [6].

Günümüzde üretilen inorganik fotovoltaik pil çeşitleri aşağıdaki gibidir:[7]

- 1) Kristal silisyum güneş pilleri
- 2) Monokristal silisyum güneş pilleri
- 3) Semikristal silisyum güneş pilleri
- 4) Ribbon silisyum güneş pilleri
- 5) İnce film güneş pilleri
- 6) Amorf silisyum güneş pilleri
- 7) Bakır indiyum diselenoid güneş pilleri

Yarı iletken malzemeler yalıtkan olmalarına rağmen termal, ışık, manyetik gibi etkiler ile dış orbitallerindeki elektronlardan bir kısmı serbest hale geçip iletkenlik bandına geçebilir durumda malzeme iletken hale gelmiş olur. Etki geri çekilince malzeme tekrar yarı iletken hale döner.

Bazen uygulanan etki ile elektronlar yasak enerji aralığına ulaşırsa elektronlar iletim bandına iletilir ve bu durum geri dönüşümsüz olarak gerçekleşir [8].

Güneşten gelen ışığın ne kadarının elektrik akımına dönüştüğünün hesaplanması ise güneş pilinin çalışma verimi hakkında bilgi verir. Pillerden yüksek verim elde edebilmek için yarı iletkenlerin iletkenliğini arttırmak gerekir. Bunun için yarı iletken malzeme içine 3A ve 5A grubu elementlerden baskılama yaparak yarı iletkenler katkılanır. Katkılanma ile N-tipi yada P- tipi katkılanmış yarı iletkenler üretilmiş olur. N tipi malzeme negatif yüklü olduğu için akım taşıyan yapılar elektronlarken P tipi malzeme pozitif yüklüdür ve akımı boşluklar taşır [9].

P ve N tipi yarıiletkenlerin birbirleriyle bağlantılı olduğu ve elektron akışının sağlandığı bölgeye eklem bölgesi denir. İnorganik güneş pillerinin çalışabilmesi için eklem bölgesine güneş ışığının gelmesi ile elektron boşluk çiftleri oluşturulur ve bu bölgedeki elektriksel alan farklılığı ile ayrılması amaçlanır [6].

Güneş pilleri üzerine düşen ışığın tümünü elektrik enerjisine çeviremez. Akıma dönüşen kısım belirli enerji seviyesinin üzerindeki dalga boylarını kapsar. (Genellikle UV dalga boyuna denk fotonları içerir.) [6]

1.3. İnorganik Fotovoltaik Piller

Organik fotovoltaik piller güneş ışığını kullanarak yarıiletken malzemelerin fotovoltaik özellikleri sayesinde enerji üreten yapılardır. Organik güneş pilleri temelde iki organik malzemeden oluşmaktadır. Bu malzemelerden biri elektron verici diğeri de elektron alıcı organik malzemelerdir. Organik güneş pilindeki aktif polimer ışığı absorbe ederek elektron ve boşluk çiftlerine dönüştürmektedir. Bu boşluklara eksiton denilmektedir ve bunların oluşmasında düşük dielektrik sabiti ve moleküller arası zayıf bağlar etkilidir. Güneşten gelen ışığın yükleri ayrıştırıldıktan sonra elektronlar katoda, eksitonlar anoda doğru hareket eder ve bu şekilde akım ve voltaj üretilir. Üretilen bu yük bir diğerelektroda iletilir. Organik fotovoltaik pillerin genel çalışma prensibi bu şekildedir.[10].

Organik güneş pilleri kolay üretilebilir olmaları ve büyük alanlarda kullanım imkanı sağlamasına rağmen düşük maliyetle üretilebilir olmaları açısından tercih edilen fotovoltaik piller olmuşlardır. Organik malzemelerde istenilen değişikliğin yapılabilmesi imkanı sağlaması verimi arttırarak enerji üretimini geliştirmektedir. Organik malzemelerin güneş pillerinde kullanımını zorlaştıran etmenlerde vardır. Bunlardan en önemlisi organik malzemelerin uyarılma ömürlerinin kısa olması sebebiyle anot ve katot arasında oluşan fotovoltajın 5-15 nm gibi çok kısa mesafelere kadar iletilebilir olmasıdır. Daha uzun mesafeli iletimlerde fotoakımda kayıplar olacağı için pil verimi düşmektedir. Bu durumu engellemek için organik filmler mümkün olduğu kadar ince yapılmaktadır.[11]

Organik güneş pilleri organik malzemelerin yapısal farklılıkları sayesinde çeşitli gruplara ayrılmıştır. Bunlar; tek tabakalı, iki tabakalı heterojunction, yığın heterojunction ve kademeli heterojunction fotovoltaik pillerdir [11].

Organik güneş piller, yarıiletken malzeme, boya ve elektrottan oluşan katlı bir yapıya sahiptir. Organik güneş pillerine adını veren organik yapılar ise genellikle iletken polimerler, sıvı kristaller ve boyalardan oluşmaktadır [11].

2. İnorganik ve Organik Fotovoltaik Pillerin Karşılaştırılması

2.1.Üretim Prosesleri Yönünden Karşılaştırılması

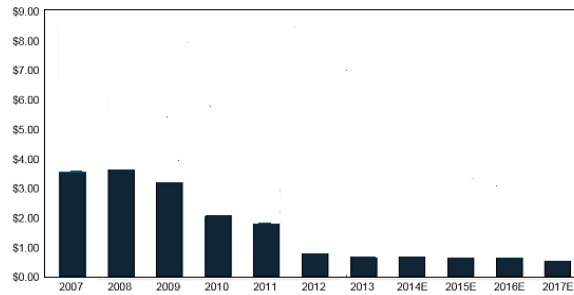
Organik fotovoltaik pillerin üretiminde karbon içeriği yüksek küçük moleküllerden meydana gelen polimerler kullanılırken inorganik fotovoltaik pillerin üretiminde ise silisyum gibi yarı iletken özellikteki bir maddelerin üzerine p ve n tipi bağlantılarla katmanlar elde edilmektedir. Bu işlem için yarı iletken malzeme içerisine eklenen elemente göre farklı katkılama işlemleri yapılabilir. Örneğin n tipi katkılama için silisyum eriyiğine P ilave edilirken p tipi katkılama için Al ve B ilave edilmektedir [12].

Organik fotovoltaik pillerin üretiminde kullanılan yüksek molekül ağırlıklı organik moleküllere istenilen özellikler kolaylıkla uygulanabilir olması sayesinde organik fotovoltaik pillerin üretim ve kullanımı tercih edilmektedir. Ayrıca bu malzemeler arasındaki çeşitlilik sayesinde inorganik malzemelere kıyasla daha yüksek verimde daha az maliyetli güneş pilleri üretilebilmektedir. Üretiminde metal elektrotlardan bir elektrot alıcı (p) diğer bir elektrot (n) verici olarak kullanıldığı ve her ikisinin p-n eklemi oluşturmasıyla elektrik akımı elde edilen aygıtlardır. Kullanılan organik malzemelerin kimyasal yapılarında yapılacak olan değişiklikler ile güneş ışığını soğurma özelliği artırılarak yüksek miktarda elektrik akımı oluşturulmaktadır [13].

2.2.Maliyet Yönünden Karşılaştırılması

Fotovoltaik sistemlerin gerek kurulumunda gerekse üretimlerinde genel olarak 2008'den bu yana %80 oranlarında maliyet düşüşleri olmuştur. Bunun temel sebepleri bu konuda yapılan araştırma yatırımlarının fazlalığıdır.

Tablo 1. Fotovoltaik pill modüllerinin kurulum maliyetleri [14].



Organik güneş pillerinin ham madde olarak inorganik güneş pillerine nazaran daha bol ve ucuzdur. Ayrıca gerek üretim prosesinin inorganik güneş pillerinin saflaştırma işlemlerine göre daha basit ve anlaşılabilir. Bu nedenlerle gerek ham maddenin uzağ olması gerekse işlenebilirliğinin kolay imkanlar sunması organik güneş pillerini daha avantajlı konuma getirmektedir.

Tablo 2. Çeşidine bağlı olarak 1 Watt güç için tasarlanan güneş pilleri için maliyet tablosu [15].

Fotovoltaik Türü	İnorganik Fotovoltaik pil	Organik Fotovoltaik Pil
Watt Başına Düşen Maliyet	3.5-4.5 Dolar	1-2.8 Dolar

2.3.Verimlilik Yönünden Karşılaştırılması

İnorganik güneş pillerinin hammaddesi olan silisyumun doğada bol miktarda bulunuyor olması, yapısının sert kristal halde olması ve toksik özellikte olmaması sebepleri ile çoğunluklu olarak inorganik güneş pillerinin üretimi tercih edilmektedir. Ayrıca silisyumun kristal örgüsünün kolay bozulmaması, optik özelliklerinin uzun süre stabil olması uzun süreli kullanım için avantaj sağlamaktadır [16].

İnorganik fotovoltaik pillerin verimi ortalama %12-23 değerlerinde olup maliyetini karşılama süresi yaklaşık 2-6 yıldır ve 20 yıllık sürede %7-14'lük verim kaybı meydana gelmektedir [9]. Organik fotovoltaik piller için kullanılan yarıiletken organik moleküller ışık ve su buharına maruz kaldıklarında kararlı halleri bozulduğu için ömürleri inorganik güneş pillerine göre daha kısa olup verimleri düşüktür [13]. Verimliliğin düşük seviyelerde olmasının temel sebebi inorganik pillere nazaran gerekli yük ayrımının zor olmasıdır. Zira bu ayrışmalara sadece katmanların ara yüzeylerinde meydana gelmektedir. 1980lerin sonunda ilk üretilen organik fotovoltaik pillerin verimleri yaklaşık %1-2 civarındayken günümüzde bu değer %7-8 lere çıktığı bilinmektedir.[13]. Bu nedenle polimerlerdeki verim artışı sağlamak için çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmektedir. Bu yöndeki araştırmaların artması polimer üretim tekniklerinin gelişmesine de katkı sağlamaktadır.

2.4.Kullanım Alanlarının Karşılaştırılması

Güneş pilleri genel olarak günümüzde elektrik ihtiyacının olduğu her bölgede kullanılıyor olsalar da özellikle yerleşim merkezlerine uzakta bulunan kırsal kesimlerde ve elektrik kesintileri ile devreye girecek olan jeneratör sistemlerinin kurulum ve kullanım masraflarının yüksek olduğu bölgelerde kullanılmaktadır. Genel olarak kullanımları; aydınlatma sistemleri, sulama sistemleri, güvenlik sistemleri, haberleşme ve sinyal sistemleri, su pompaj sistemleri, trafik ikaz sistemleridir.

İnorganik fotovoltaik güneş pilleri genellikle uzay araç sistemlerinde kullanılmaktadırlar [17].

Organik fotovoltaik güneş pilleri ise daha çok esnek yüzeylerde ve geniş uygulama alanı sağlaması ile kaplama malzemesi, kıyafetlerde ihtiyaç karşılayabilecek kadar enerji üretimi sağlayan ayrıca esnek görüntüleme cihazlarından cep telefonu, diz üstü bilgisayarlara kadar geniş bir kullanım alanı vardır [18].

3. Sonuç ve Değerlendirme

Fotovoltaik pil teknolojisi inorganik güneş pilleri ile başlamış ve günümüze kadar teknolojik gelişmelerle organik güneş pillerinin üretimi ile gelmiştir. İnorganik ve organik

fotovoltaik pillerin verimliliği, çalışma prensipleri, çeşitleri birçok yönden incelenmiş ve ilk üretilen fotovoltaik piller yüksek verimde çalışmalarına karşın yüksek kurulum maliyeti ve sorunsuz çalışma süresinin kısılalığı bakımından olumsuz özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Günümüzde ise düşük maliyetle üretilebilen fakat daha az verimle enerji üreten organik güneş pillerine doğru yönelme vardır. Son yıllarda yapılan çalışmalar ise organik güneş pillerinin verimliliğini arttırmaya yönelik olup geleceğin elektrik üretim yöntemi olduğunu söylemek mümkündür.

Birçok yönden karşılaştırılması yapılan organik ve inorganik fotovoltaik pillerin çevre kirliliğine sebep olmaması, kolay uygulanıp enerjinin depolanıp taşınmasını gerektirmediği için özellikle son yıllarda kullanımları artmaktadır. Organik güneş pilleri istenilen özelliklere uygun olarak tasarlanabilirlikleri, düşük maliyette olmaları, üretim metodlarının kolaylıkları, ve hafif olması gibi avantajlarından ötürü gelecek adına vazgeçilmez olacağı aşikardı

References

- [1] Boz O. H. Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı; 2011.
- [2] Karataş İ. Kimyasal Katkı Maddelerinin Politiyofen İçeren Organik Güneş Gözelerinin Verimine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı; 2010.
- [3] Dinçer F. Potential of Electricity Production of Solar Energy in Turkey and Economical Analysis with Comparative Evaluation According to the European Union Countries. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 65080. KSU. Journal of Engineering Sciences, 14(1), 2011
- [4] Gök E. Renewable Energy Plannig in Turkey with a Focus on Hydropower. Master's Thesis. Middle East Technical Universty, Departman of Natural and Applied Sciences. 2013.
- [5] Erdoğan E. Güneş Pillerinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Tunceli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı; 2011.
- [6] https://www.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=y4nvs_FcUEC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Brabec,+at+al,+2001+organic+photovoltaic+cell&ots=brwaIo8VAS&sig=0hiPZTrUjviVNGrEu9TwLZfTl4&redir_esc=y#v=onepage&q=Brabec%2C%20at%20al%2C%202001%20organic%20photovoltaic%20cell&f=false Acces date: 03/04/2015
- [7] Karamanav M. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı; 2007.
- [8] Photovoltaic Systems . Solar Energy Engineering. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-397270-5.00009-1>
- [9] **Robert W. Miles*, Guillaume Zoppi, and Ian Forbes.** Inorganic Photovoltaic Cells. Northumbria Photovoltaics Applications Centre, Northumbria University, Ellison Building, Newcastle upon Tyne, NE1 8ST, UK. ISSN:1369 7021 © Elsevier Ltd 2007.

- [10] **Alex C. Mayer, Shawn R. Scully, Brian E. Hardin, Michael W. Rowell, and Michael D. McGehee.** Polimer – based solar cell. *Stanford University, Stanford, CA 94305, USA; 2007.*
- [11] Sefünç M. A. Novel Volumetric Plasmonic Resonator Architectures For Enhanced Absorption in Thin- Film Organic Solar Cells. Master's Thesis. Bilent Universty, Departman of Electrical and Electronics Engineering; 2010.
- [12] A. Kaminski-Cachopo, M. Zanucoli, T. Baron. New materials and device architecture for nanostructured solar cells. Seventh Framework Programe. Nanofunction; 2012.
- [13] Liang Y., Xu Z., Xia J., Tsai S.T., Wu Y., Li, G., Ray C., and Yu L. For the Bright Future— Bulk Heterojunction PolymerSolar Cells with Power Conversion Efficiency of 7.4%. 2010, 22, E135–E138.
- [14] <http://www.donanimhaber.com/alternatif-enerji/haberleri/Gunes-enerjisinde-kurulum-maliyetleri-ucuzluyor-Detaylar-ve-ulkemizin-durumu.htm> acces date ; 03/04/2015
- [15] Trakya Univ Journal of Engineering Sciences <http://jes.trakya.edu.tr> Volume 14, Number 1, June 2013.
- [16] Michael D et al. **Photovoltaic Measurements in Single-Nanowire Silicon Solar Cells.** *Nano Lett.*, 2008, 8 (2), 710-714• DOI: 10.1021/nl072622p • Publication Date (Web): 13 February 2008.
- [17] Tsoutsos T et al. Environmental impacts from the solar energy Technologies. *Energy Policy* 33 (2005) 289–296.
- [18] <http://www.sciencedaily.com/releases/2009/04/090409151444.htm> acces date ; 03/04/2015