



ORGANİK BOYA DUYARLI GÜNEŞ PİLLERİ ÜZERİNE YAPILAN BİR ARAŞTIRMA

Gizem BATTAL HET*¹

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Isparta
gizem_battal@hotmail.com

Makale Bilgisi

Geliş tarihi: 19.05.2018
Kabul Tarihi: 09.02.2020
Yayın tarihi: 09.02.2020

ÖZET

Dünyanın artan enerji talebi ve tüketimine paralel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisine ilgi günden güne artmaktadır. Güneş enerjisinden yararlanarak alternatif olabilecek boya duyarlı güneş pilleri (BDGP), üçüncü nesil fotovoltaik bir güneş pili. Boya duyarlı güneş pilleri, ucuz üretimi ve çevreye daha az zararı olması bakımından avantajlı konumdadır. Bu nedenle, güneş pili türleri akademik ve endüstri alanında büyük merak uyandırmıştır. Çok çeşitli pigmentler (klorofil, karoten, antosiyanin, lutein, rutin, betalain) içeren yapraklar, meyveler ve çiçekler gibi çeşitli bitki bileşenlerinden çıkarılan hassaslaştırıcılar karşılaştırılmıştır. Güneş pillerinde kullanılan bu hassaslaştırıcıların özelliklerine ve molekül yapılarına yer verilirken açık devre gerilimi (Voc), kısa devre akım yoğunluğu (Jsc), doldurma faktörü (FF) ve güç dönüşüm verimliliği (η) gibi parametreler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler;

Boya duyarlı güneş pilleri, doğal güneş pilleri, pigment, molekül yapısı

ORGANIC DYE SENSITIZED SOLAR CELLS ON A REVIEW

Article Info

Received: : 19.05.2018
Accepted: 09.02.2020
Published: 09.02.2020

ABSTRACT

Solar energy, which is one of the renewable energy sources, is increasing day to day in parallel with the world's increasing energy demand and consumption. The dye-sensitized solar cells (DSSC), which may be an alternative to solar energy, is a third-generation photovoltaic solar cell. Dye-sensitized solar cells cheap fabrication and less damage to the environment because of the advantageous position. Therefore, this type of solar cell has attracted considerable attention from the academic and industrial communities. Numerous kinds of pigments (chlorophyll, carotenoid, anthocyanin, lutein, rutin and betalain, extracted from various plant components (leaves, fruits and flowers) have been compared with the sensitizers. While the properties and molecular structures of the sensitizers used in solar cells are included, such as parameters open circuit voltage (Voc), short circuit current density (Jsc), fill factor (FF) and power conversion efficiency (η) are presented.

Keywords;

Dye sensitized solar cells, natural solar cells, pigment, molecular structure

1. Giriş

Güneş pilleri, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren; elektrik üretimi açısından son derece umut verici ve çevre dostu bir yöntemdir (Kafle vd., 2014). Melvin Calvin 1974 yılında, fotoelektrik dönüşümde fotosentez kullanımını ileri sürmüştür (Hug vd., 2014). Ardından güneş

pilleri ilgi çekici bir konu haline gelmiş ve enerji üretimi üzerine araştırmalar yapılmıştır. BDGP kavramı ilk olarak Gratzel ve arkadaşları tarafından 1991 yılında ortaya çıkmıştır (Ludin vd., 2014). BDGP, fotosentez olayı örnek alınarak geliştirilmiş olup ışığı absorbe eden organik veya doğal boya molekülleri, geniş bant aralığına sahip yarıiletkenlerde elektron geçişini

sağlayan üçüncü nesil fotovoltaik bir cihazdır (Grätzel ve O'Regan, 1991). Bu cihazlar düşük ışıkta verimli olmaları, esnek malzemelerle uygulanabilir olması ve ekonomik üretim süreci gibi avantajlarının yanısıra p-n eklemli fotovoltaik cihazlar için alternatif olarak kullanılabilir (Gomez- Ortiz vd., 2010). Polimerler ve nanokristallerin iletimine dayanan BDGP'lerin ortaya çıkışı, inorganik ve esnek olmayan güneş pillerin önüne geçmiştir (Grätzel, 2005).

Bir BDGP, geniş bant aralıklı nanokristal yarıiletken bir elektrot, absorbe eden boya, redoks-çift iyodür/üç iyodür iyonları içeren bir elektrolit (I^-/I_3^-) ve karşıt elektrottan meydana gelmektedir (Shanmugam vd., 2013 ve Jinchu vd., 2014). Geniş bant aralığına sahip oksitler ZnO, Nb₂O₅, SnO₂ ve en yaygın olarak TiO₂ gibi fotoanotlar kullanılmaktadır (Nazeeruddin vd., 2001).

Sinterlenmiş nanoyapılı TiO₂ kullanımı, boya duyarlı güneş pillerinin verimliliğini %1-%7 arasında arttırmaktadır (Narayan, 2012). TiO₂ anataz, brukit ve rutil olmak üzere üç formda bulunmaktadır. Anataz yapıdaki TiO₂, rutil ve brukit formlarından daha iyi fotokatalitik performans göstermektedir (Ananth vd., 2014).

Tatar (2015), TiO₂ nanoyapısının sentez yöntemleri arasında so-jel, misel, ters misel, hidrotermal, solvotermal, direk oksidasyon, kimyasal buhar biriktirme, fiziksel buhar biriktirme, elektro biriktirme ve mikrodalga gibi birçok yöntem bulunmaktadır.

2. Doğal Güneş Pillerinin Parametreleri

Başlıkta Güneş pilinin çalışması sırasında önemli parametreleri mevcuttur. Bunlar; açık devre gerilimi (Voc), kısa devre akım yoğunluğu (Jsc), doldurma faktörü (FF) ve güç dönüşüm verimliliği (η). Açık devre gerilimi, bir güneş pilinden elde edilebilen maksimum voltajdır ve sıfır akımda meydana gelmektedir. Kısa devre akımı, güneş pili sıfır voltajdayken güneş pili aracılığıyla sağlanan akımdır (Singh vd., 2018).

Doldurma faktörü (FF), denklemde görüldüğü üzere maksimum güç çıkışı (Pmax), kısa devre fotoakımı (Isc) ve açık devre gerilimine (Voc) bağlıdır;

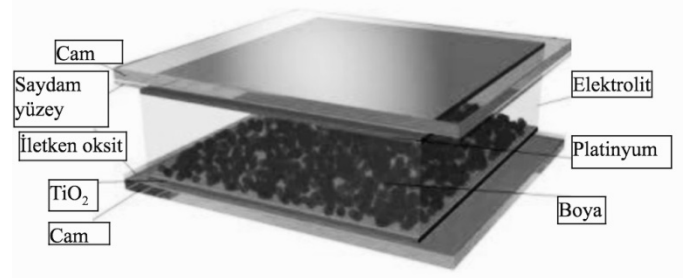
$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} * V_{oc}} \quad (1)$$

Enerji dönüşüm verimliliği (η), maksimum güç çıkışı (Pmax), güneş pili üzerindeki radyasyon gücünün (Pin) oranına bağlıdır;

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{min}} \quad (2)$$

3. Boya Duyarlı Güneş Pillerinin Yapısı (BDGP)

Boya duyarlı güneş pilleri; cam, boya, TiO₂ (fotoanot), elektrolit, karşıt elektrolit olarak platinyum, saydam yüzey ve iletken oksitten meydana gelmektedir (Şekil 1). Ancak bu güneş pillerinin duruma göre bazı kısımlarında değişiklik yapılabilmektedir; boya (farklı sebze ve meyve), farklı fotoanotlar (ZnO, Nb₂O₅, SnO₂), cam (FTO, ITO) gibi örnekler verilebilir (Hao vd., 2016).

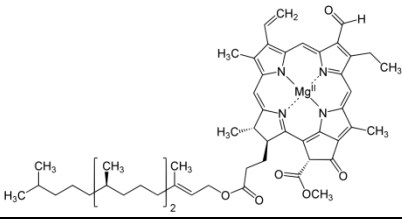
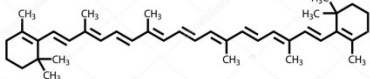
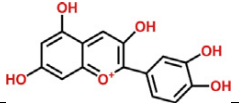
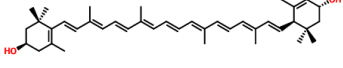
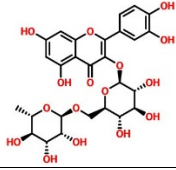
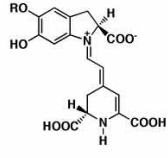


Şekil 1. BDGP'nin sistematik yapısı

Güneş pillerinin ışık emilim etkinliği, kullanılan boyanın kimyasal yapısı ve kaynağı hem de boya ile fotoelektrot arasındaki etkileşime bağlıdır (Shahid ve Mohammad, 2013). Bitkilerin pigmentasyonu, elektronik pigment yapısı ve güneş ışığı arasındaki etkileşimi sağlarken ışığın dalga boyunu değiştirir, bitki dokusu tarafından absorbe edilmektedir (Narayan, 2012).

Doğal güneş pilleri için kullanılan bitkilerin yapısında bulunan pigmentleri ve molekül yapıları gösterilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Bitkilerin pigmentleri ve molekül yapıları

Pigment	Molekül yapısı
Klorofil	
Karoten	
Antosiyanin	
Lutein	
Rutin	
Betalain	

Kay ve Gratzel (1993), klorofil, nanoyapılı TiO_2 'nin fotosensitizasyonu için klorofil türevlerinin kullanılabilmesi için ilk defa ileri sürülmüştür. Wang ve Tamiaki (2010), klorofiller, magnezyum iyonunun oldukça simetrik metal kompleksleri olmasının yanısıra ortak yapı elemanları çeşitli pigmentler tarafından kapsanmıştır. Klorofil-karoten pigmentlerinden oluşturulan boya duyarlı güneş pillerinden iyi verimler elde edilmiştir (Wang vd., 2006).

Antosiyaninler, flavonoidler içinde en yaygın bulunan ve bitkilerdeki en önemli suda çözünen pigmentlerdir. En uzun dalga boylu ışıkları absorbe ederler ve en çok turuncu, pembe, kırmızı, eflatun, mor, mavi ve mavi-siyah çiçek renklerde bulunmaktadır (Davies, 2009). Antosiyaninin renk tonu ve yapısı, pigmentine ve pH'ın varlığına dayanmaktadır (Stintzing ve Carle, 2004).

Boya duyarlı güneş pillerinde kullanılan doğal boyaların; fotovoltaik parametreleri (J_{sc} , V_{oc} , FF, η), elde edilen boyanın kaynağı, doğal boyaların içindeki pigmenti ve homojen boya eldesi sırasında kullanılan sıvının cinsi özetlenmiştir (Tablo 2). 2015 yılında Hosseinnezhad vd. tarafından tatlı nar ile yaptıkları deneyde, antosiyanin pigmentinin güneş pili veriminde olumlu bir etkiye sahip olduğunu belirtmektedirler.

Tablo 2. BDGP için kullanılan doğal boyaların fotovoltaik parametreleri

Kaynak	Bitki ismi	İçerik	Pigment	J_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc} (V)	FF (%)	η (%)
(Shanmugam vd., 2013)	Kırmızı fitne çiçeği	Etanol	Antosiyanin	0.94	0.49	65	0.3
(Singh vd., 2018)	Kırmızı fasulye	-	Antosiyanin	-	0.84	59	0.40
(Singh vd., 2018)	Portakal kabuğu	-	Karoten	-	0.76	49	0.25
(Singh vd., 2018)	Taşkesen otu	-	Klorofil	-	0.69	60	0.18
(Nazeeruddin, 2001)	Ispanak	İzole bileşik	Klorofil-Lutein	12.5	0.54	59	4
(Ramanarayanan vd., 2017)	Kırmızı horoz ibiği	Su-Etanol	Antosiyanin-Betalain	0.87-1.31	0.486-0.582	53.4-69.7	0.23-0.53
(Al-Alwani vd., 2017)	Ejder meyvesi	Su-Metanol-Aseton	Betalain	0.4	0.5	79.16	0.16
(Al-Alwani vd., 2017)	Krodilin bitkisi	Su-Metanol-Aseton	Klorofil-antosiyanin	1.3	0.616	60.16	0.5
(Hafez vd., 2018)	Ahududu	Nitrik asit	Antosiyanin	2.316	0.29	0.366	0.246
(Zhou vd., 2011)	Mangostan içi	-	Rutin	2.69	0.686	63.3	1.17
(Zhou vd., 2011)	Goji berry	Etanol	Karoten	0.53	0.68	46	0.17
(Zhou vd., 2011)	Kahve	Su	-	0.85	0.55	69	0.33
(Zhou vd., 2011)	Zambak	Su	-	0.51	0.49	67	0.17
(Zhou vd., 2011)	Petunya	Etanol	Klorofil	0.85	0.61	61	0.32
(Zhou vd., 2011)	Sarı gül	Etanol	Ksantofil	0.74	0.6	57	0.26
(Zhou vd., 2011)	Çin gülü	-	-	0.9	0.48	62	0.27
(Zhou vd., 2011)	Gül	-	-	0.97	0.59	66	0.38
(Zhou vd., 2011)	Çoban püskülü	Su	-	1.19	0.6	65	0.47
(Zhou vd., 2011)	Sarı kadife çiçeği	Etanol	Ksantofil	0.51	0.54	83	0.23
(Zhou vd., 2011)	Biftek otu	Etanol	Klorofil	1.36	0.52	70	0.5
(Al-Alwani vd., 2018)	Musa meyvesi	-	Antosiyanin	0.9	0.58	59.70	0.31
(Al-Alwani vd., 2018)	Mor şövalye bitkisi	-	Klorofil	0.5	0.54	56.82	0.15

Tablo 2. BDGP için kullanılan doğal boyaların fotovoltaiik parametreleri (Devam)

Kaynak	Bitki ismi	İçerik	Pigment	Jsc (mA/cm ²)	Voc (V)	FF (%)	η (%)
(Chang ve Lo, 2010)	Nar yaprağı	Alkol	Klorofil	2.05	0.560	0.52	0.597
(Calogero vd., 2014)	Kahverengi deniz yosunu	Su-Etanol	Klorofil	0.397	0.559	0.44	0.1
(Gu vd., 2018)	Patates	Etanol	Antosiyanin	0.512	0.044	0.532	0.012
(Gu vd., 2018)	Havuç	Etanol	Karoten-Lutein	0.281	0.100	0.422	0.011
(Gu vd., 2018)	Dut	Etanol	Antosiyanin	0.550	0.181	0.512	0.051
(Gu vd., 2018)	Mor lahana	Etanol	Antosiyanin	0.541	0.621	0.484	0.162
(Gu vd., 2018)	Siyah üzüm	Etanol	Antosiyanin	0.532	0.223	0.430	0.051
(Hernandez vd., 2011)	Kırmızı begonvil	Asidik su	Betalain	2.29	0.28	76	0.48
(Hernandez vd., 2011)	Mor begonvil	Asidik su	Betalain	1.88	0.25	73	0.35
(Hosseinnezhad vd., 2015)	Ekşi nar	-	Antosiyanin	0.50	2.97	49.00	0.73
(Hosseinnezhad vd., 2015)	Tatlı nar	-	Antosiyanin	0.62	4.60	50.13	1.57
(Noor vd., 2014)	Siyah pirinç	-	Antosiyanin	2.09	0.47	57	0.56
(Noor vd., 2014)	Pandan yaprakları	Etanol	Klorofil	1.91	0.48	56	0.51
(Eren vd., 2015)	Gül kalınlıkları	HCL-Su-NaOH	-	0.291	-	0.426	0.04
(Taya vd., 2013)	Yeşil alg	-	Klorofil	0.31	0.41	21	0.01
(Taya vd., 2013)	Roka	-	Klorofil	0.78	0.59	42	0.2
(Taya vd., 2013)	Maydanoz	-	Klorofil	0.53	0.44	34	0.07
(Hosseinnezhad vd., 2018)	Horoz ibiği bitkisi	Etanol	Betalain	4.82	0.52	0.55	1.38
(Hosseinnezhad vd., 2018)	Safran	Etanol	-	2.77	0.36	0.52	0.52
(Hosseinnezhad vd., 2018)	Köpekdiili bitkisi	Etanol	-	4.11	0.48	0.57	1.12
(Hosseinnezhad vd., 2018)	Patlıcan kabuğu	Etanol	Antosiyanin	3.40	0.35	0.55	0.65
(Kushwaha vd., 2013)	Tik ağacı yaprağı	Etanol	Klorofil	0.29	460	79	-
(Kushwaha vd., 2013)	Demirhindi ağacı yaprağı	Etanol	Klorofil	0.18	610	56	-
(Kushwaha vd., 2013)	Mavi okaliptüs	Etanol	Antosiyanin	0.15	500	93	-
(Kushwaha vd., 2013)	Fırça çalısı çiçeği	Etanol	-	0.11	430	63	-
(El-Agez vd., 2012)	İşkın otu	-	Klorofil	0.82	0.238	0.44	0.01
(Jasim, 2012)	Bahreyn kınası	-	Klorofil	0.368	0.426	24.6	0.128
(Jasim, 2012)	Yemen kınası	-	Klorofil	0.407	0.306	28.1	0.117
(Lai vd., 2008)	Nim ağacı bitkisi	Etanol	-	15.1	0.54	35	2.81
(Lai vd., 2008)	Telgraf çiçeği	Su	Klorofil-Karoten	10.9	0.5	27	1.49
(Lai vd., 2008)	Kamboçya bitkisi	Su	Klorofil-Karoten	6.48	0.32	33	0.69
(Yusoff vd., 2014)	Kraton çiçeği	Etanol	Antosiyanin	4.03	0.44	55	1.08
(Wongcharee vd., 2007)	Mavi kelebek sarmaşığı	Su	Antosiyanin	0.37	0.37	33	0.05
(Chang vd., 2010)	Gece sefası	Su	Klorofil	0.91	0.54	56	0.28

4. Sonuç

Organik boya duyarlı güneş pilleri, organik malzeme tabanlı (meyve, sebze, yaprak) kullanıma olanak vermesi, çevreye zarar vermemesi ve maliyetinin düşük olması gibi faktörlerden dolayı diğer güneş pillerine göre daha çok tercih edilmektedir. Boya duyarlı güneş pilleri için organik boya eldesinde kullanılan doğal boya özleri, bir veya birkaç pigmentten meydana gelmektedir. Bu pigmentlerin kendine ait molekül yapıları ve güneş ışığını absorbe etme özellikleri farklıdır. Bu nedenle yarıiletken malzeme üzerine emdirilen doğal boya özlerinin duyarlılık davranışlarında da farklılıklar gözlemlenmektedir. Ayrıca pigmentlerin güneş ışığını absorbe etme özelliği arttıkça boya duyarlı güneş pillerinin verimleri de artmaktadır. Türkiye'nin önümüzdeki yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden daha fazla yararlanması gerekmektedir. Sonuç olarak, güneş paneli üretimi yapan şirketlerin ve bu konuda araştırma yapan insanların organik boya duyarlı güneş pillerinin (OBDGP) verimliliklerinin artırılmasına yönelik yapılan çalışmalara hız vermesi gerekmektedir.

5.Kaynaklar

- Al-Alwani, M. A., Ludin, N. A., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A. H., & Sopian, K. (2017). Extraction, preparation and application of pigments from *Cordyline fruticosa* and *Hylocereus polyrhizus* as sensitizers for dye-sensitized solar cells. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 179, 23-31.
- Al-Alwani, M. A., Ludin, N. A., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A. H., & Mukhlus, A. (2018). Application of dyes extracted from *Alternanthera dentata* leaves and *Musa acuminata* bracts as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 192, 487-498.
- Ananth, S., Vivek, P., Arumanayagam, T., & Murugakoothan, P. (2014). Natural dye extract of *lawsonia inermis* seed as photo sensitizer for titanium dioxide based dye sensitized solar cells. *Spectrochimica Acta*

- Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 128, 420-426.
- Calogero, G., Citro, I., Di Marco, G., Minicante, S. A., Morabito, M., & Genovese, G. (2014). Brown seaweed pigment as a dye source for photoelectrochemical solar cells. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 117, 702-706.
- Chang, H., & Lo, Y. J. (2010). Pomegranate leaves and mulberry fruit as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*, 84(10), 1833-1837.
- Chang, H., Wu, H. M., Chen, T. L., Huang, K. D., Jwo, C. S., & Lo, Y. J. (2010). Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from spinach and ipomoea. *Journal of Alloys and Compounds*, 495(2), 606-610.
- Davies, K. (Ed.). (2009). *Annual plant reviews, plant pigments and their manipulation* (Vol. 14). John Wiley & Sons.
- El-Agez, T. M., El Tayyan, A. A., Al-Kahlout, A., Taya, S. A., & Abdel-Latif, M. S. (2012). Dye-sensitized solar cells based on ZnO films and natural dyes. *International Journal of Materials and Chemistry*, 2(3), 105-110.
- Eren, E., Gok, E. C., Seyhan, B. N., Maslakci, N. N., & Oksuz, A. U. (2015). Evaluation of anthocyanin, a rose residue extract, for use in dye-sensitized solar cell. *Asian Journal of Chemistry*, 27(10), 3745.
- Gomez-Ortiz, N. M., Vázquez-Maldonado, I. A., Pérez-Espadas, A. R., Mena-Rejón, G. J., Azamar-Barrios, J. A., & Oskam, G. (2010). Dye-sensitized solar cells with natural dyes extracted from achiote seeds. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94(1), 40-44.
- Grätzel, M. (2005). Solar energy conversion by dye-sensitized photovoltaic cells. *Inorganic chemistry*, 44(20), 6841-6851.
- Gu, P., Yang, D., Zhu, X., Sun, H., & Li, J. (2018). Fabrication and characterization of dye-sensitized solar cells based on nature plants. *Chemical Physics Letters*.
- Hafez, H. S., Shenouda, S. S., & Fadel, M. (2018). Photovoltaic characteristics of natural light harvesting dye sensitized solar cells. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 192, 23-26.
- Hao, S., Wu, J., Huang, Y., & Lin, J. (2006). Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell. *Solar energy*, 80(2), 209-214.
- Hernandez-Martinez, A. R., Estevez, M., Vargas, S., Quintanilla, F., & Rodriguez, R. (2011). New dye-sensitized solar cells obtained from extracted bracts of *Bougainvillea glabra* and *spectabilis* betalain pigments by different purification processes. *International journal of molecular sciences*, 12(9), 5565-5576.
- Hosseinnezhad, M., Moradian, S., & Gharanjig, K. (2015). Fruit extract dyes as photosensitizers in solar cells. *Cur. Sci*, 109, 953-956.
- Hosseinnezhad, M., Rouhani, S., & Gharanjig, K. (2018). Extraction and application of natural pigments for fabrication of green dye-sensitized solar cells. *Opto-Electronics Review*, 26(2), 165-171.
- Hug, H., Bader, M., Mair, P., & Glatzel, T. (2014). Biophotovoltaics: natural pigments in dye-sensitized solar cells. *Applied Energy*, 115, 216-225.
- Jasim, K. E. (2012). Natural dye-sensitized solar cell based on nanocrystalline TiO₂. *Sains Malaysiana*, 41(8), 1011-1016.
- Jinchu, I., Sreekala, C. O., & Sreelatha, K. S. (2014). Dye sensitized solar cell using natural dyes as chromophores-review. In *Materials science forum* (Vol. 771, pp. 39-51). Trans Tech Publications.
- Kafle, B. P., Pokhrel, B. R., Gyawali, R., Kafle, A., Shrestha, T. M., Shrestha, R., & Adhikari, R. M. (2014). Absorbance of natural and synthetic dyes: Prospect of application as sensitizers in dye sensitized solar cell. *AdvApplSci Res*, 5, 8-12
- Kay, A., & Graetzel, M. (1993). Artificial photosynthesis. 1. Photosensitization of titania solar cells with chlorophyll derivatives and related natural porphyrins. *The Journal of Physical Chemistry*, 97(23), 6272-6277.
- cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 386-396.
- Kushwaha, R., Srivastava, P., & Bahadur, L. (2013). Natural pigments from plants used as sensitizers for TiO₂ based dye-sensitized solar cells. *Journal of Energy*, 2013.
- Lai, W. H., Su, Y. H., Teoh, L. G., & Hon, M. H. (2008). Commercial and natural dyes as photosensitizers for a water-based dye-sensitized solar cell loaded with gold nanoparticles. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 195(2-3), 307-313.
- Ludin, N. A., Mahmoud, A. A. A., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A. H., Sopian, K., & Karim, N. S. A. (2014). Review on the development

- of natural dye photosensitizer for dye-sensitized solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 386-396.
- Narayan, M. R. (2012). Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 208-215.
- Nazeeruddin, M. K., Pechy, P., Renouard, T., Zakeeruddin, S. M., Humphry-Baker, R., Comte, P., ... & Spiccia, L. (2001). Engineering of efficient panchromatic sensitizers for nanocrystalline TiO₂-based solar cells. *Journal of the American Chemical Society*, 123(8), 1613-1624.
- Noor, M. M., Buraidah, M. H., Careem, M. A., Majid, S. R., & Arof, A. K. (2014). An optimized poly (vinylidene fluoride-hexafluoropropylene)-NaI gel polymer electrolyte and its application in natural dye sensitized solar cells. *Electrochimica Acta*, 121, 159-167.
- O'regan, B., & Grätzel, M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *nature*, 353(6346), 737.
- Ramanarayanan, R., Nijisha, P., Niveditha, C. V., & Sindhu, S. (2017). Natural dyes from red amaranth leaves as light-harvesting pigments for dye-sensitized solar cells. *Materials Research Bulletin*, 90, 156-161.
- Shahid, M., & Mohammad, F. (2013). Recent advancements in natural dye applications: a review. *Journal of Cleaner Production*, 53, 310-331.
- Shanmugam, V., Manoharan, S., Anandan, S., & Murugan, R. (2013). Performance of dye-sensitized solar cells fabricated with extracts from fruits of ivy gourd and flowers of red frangipani as sensitizers. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 104, 35-40.
- Singh, P. K., Bhattacharya, B., & Khan, Z. H. (2018). Environment approachable dye sensitized solar cell using abundant natural pigment based dyes with solid polymer electrolyte. *Optik*, 165, 186-194.
- Stintzing, F. C., & Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in food science & technology*, 15(1), 19-38.
- Tatar, D. (2015). Spray Pyrolysis Yöntemi İle Farklı Altık Sıcaklığında Elde Edilen 2 ve SnO₂: F İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özelliklerine, Altık Sıcaklığının Etkisinin Araştırılması (Doktora Tezi).
- Taya, S. A., El-Agez, T. M., El-Ghamri, H. S., & Abdel-Latif, M. S. (2013). Dye-sensitized solar cells using fresh and dried natural dyes. *International Journal of Materials Science and Applications*, 2(2), 37-42.
- Wang, X. F., & Tamiaki, H. (2010). Cyclic tetrapyrrole based molecules for dye-sensitized solar cells. *Energy & Environmental Science*, 3(1), 94-106.
- Wang, X. F., Matsuda, A., Koyama, Y., Nagae, H., Sasaki, S. I., Tamiaki, H., & Wada, Y. (2006). Effects of plant carotenoid spacers on the performance of a dye-sensitized solar cell using a chlorophyll derivative: enhancement of photocurrent determined by one electron-oxidation potential of each carotenoid. *Chemical physics letters*, 423(4-6), 470-475.
- Wongcharee, K., Meeyoo, V., & Chavadej, S. (2007). Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91(7), 566-571.
- Yusoff, A., Kumara, N. T. R. N., Lim, A., Ekanayake, P., & Tennakoon, K. U. (2014). Impacts of temperature on the stability of tropical plant pigments as sensitizers for dye sensitized solar cells. *Journal of Biophysics*, 2014.
- Zhou, H., Wu, L., Gao, Y., & Ma, T. (2011). Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 219(2-3), 188-194