



## ORGANİK FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİSİ VE TEKSTİL UYGULAMALARI

Buket TURAK TACER<sup>1</sup>, Ayşe ÇELİK BEDELOĞLU<sup>2</sup>, Reşat SELBAŞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Serik Gülsün Süleyman Süral M.Y.O., Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Antalya  
<sup>2</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bursa  
<sup>3</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta

### Makale Bilgisi

Geliş tarihi: 06.06.2022  
Kabul Tarihi: 26.12.2023  
Yayın tarihi: 29.12.2023

### ÖZET

Fotovoltaik, güneş ışığına maruz kaldığında, gerilim farkı yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanabilmektedir. Fotovoltaik güneş pilleri de 1. Nesil, 2. Nesil ve 3. Nesil olarak sınıflandırılmaktadır. 1. Nesil piller pahalı, sert, üretimi çok enerji gerektiren, 2. Nesil piller ise yüksek sıcaklık gerektiren üretim tekniklerine sahip pillerdir. Ancak 3. Nesil güneş pillerinden biri olan organik güneş pilleri, polimer esaslı olup, esnek ve maliyeti düşük pillerdir. Bu çalışma kapsamında da fotovoltaik teknolojisi ve organik fotovoltaik (OPV) güneş pilleri incelenmiş olup, pillerin güç dönüşüm verimliliklerini hesaplamak için kullanılacak parametrelerden bahsedilmiştir. Araştırmaların gittikçe yoğunlaştığı esnek organik güneş pillerinden biri olan giyilebilir tekstil esaslı organik güneş pillerinden de bahsedilmiş olup, araştırmacıların yaptıkları çalışmalara yer verilmiştir. Çalışma sonucunda, tekstil esaslı organik güneş pillerinin güç dönüşüm verimlilik değerlerinin henüz inorganik güneş pillerinin verimlilik değerleri kadar yüksek değerlere ulaşamadığı, ancak gün geçtikçe verim iyileştirme çalışmalarının devam ettiğini görmekteyiz.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik teknolojisi, organik fotovoltaik güneş pilleri, organik fotovoltaik tekstiller.

## ORGANIC PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY AND TEXTILE APPLICATIONS

### Article Info

Received: 06.06.2022  
Accepted: 26.12.2023  
Published: 29.12.2023

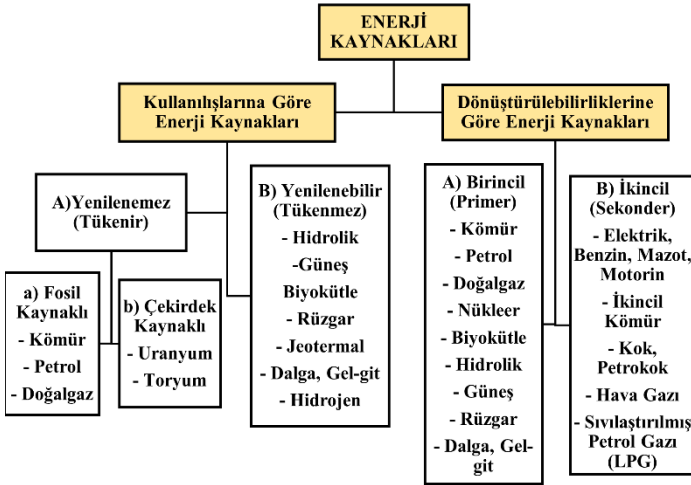
### ABSTRACT

Photovoltaics can be defined as the ability to make a voltage difference when exposed to sunlight. Photovoltaic solar cells are also classified as 1st Generation, 2nd Generation and 3rd Generation. 1st generation solar cells are expensive, hard, requiring a lot of energy to manufacture, while 2nd generation solar cells are batteries with production techniques that require high temperature. However, organic solar cells, one of the 3rd generation solar cells, are polymer-based, flexible and low-cost batteries. Within the scope of this study, photovoltaic technology and organic photovoltaic (OPV) solar cells were examined and the parameters to be used to calculate the power conversion efficiency of the solar cells were mentioned. Wearable textile-based organic solar cells, which is one of the flexible organic solar cells that researches are increasingly intensifying, are also mentioned and the studies of the researchers are included. As a result of the study, we see that the power conversion efficiency values of textile-based organic solar cells have not yet reached as high as the efficiency values of inorganic solar cells, but efficiency improvement studies continue day by day.

Keywords: Photovoltaic technology, organic photovoltaic solar cells, organic photovoltaic textiles.

## 1. Giriş

Yüzlerce yıldır, insanlığın artan enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmesi için fosil yakıtlar kullanılmaktadır, ancak son yıllarda elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı fosil yakıtların yerini almaya başlamıştır. Bunun nedeni, yenilenebilir enerjinin sadece sonsuz değil, aynı zamanda karbon emisyonları açısından temiz enerji de sağlamasıdır (Karasmanaki ve Tsantopoulos, 2019). Şekil 1’de enerji kaynaklarının sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç vd., 2018).

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yeri olan güneş, bol, sınırsız, yenilenebilir, fosil yakıtlar gibi çevreye zararı olmayan, temiz ve en önemlisi de herhangi bir bedel ödenmeden kolayca erişilebilen bir enerji kaynağıdır (Bedeloğlu, 2009).

Güneş enerjisinin avantajları şu şekilde sıralanabilir (Boz, 2011);

- Doğrudan güneş enerjisini kullanır,
- Doğal ısıtma ve soğutma sistemleri kullanarak binaların gereksiz ve aşırı ticari enerji tüketimlerini önler,
- Çevre değerlerini korur, çevreye verilen zararları en aza indirir,
- Doğal ve sağlığa zararsız malzemeler kullanır,
- Ekonomiktir,
- Dışa bağımlı değildir.

2022 yılı Nisan ayı sonu itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 100341 MW'a ulaşmıştır. 2022 yılı Nisan ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; %31.4'ü hidrolik enerji, %25.2'si doğal gaz, %20.4'ü kömür, %10.8'i rüzgâr, %8.1'i güneş, %1.7'si jeotermal ve %2.4'ü ise diğer kaynaklar şeklindedir (Anonim, 2022). Elektrik ihtiyacımızı

karşılama üzere kullanılan yenilenebilir kaynaklardan biri olan güneş enerjisi de %8.1'lik üretim payı ile ülkemiz ve dünya için gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Ülkemiz coğrafi konumu sayesinde yüksek güneşlenme süresine dolayısıyla da yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ülkemizin yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat (günlük ortalama 7.5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m<sup>2</sup>.yıl (günlük ortalama 4.18 kWh/m<sup>2</sup>.gün) olduğu saptanmıştır (Anonim, 2020).

Bu çalışmada, fotovoltaik teknolojisi ve önemi hakkında bilgiler verilmiş olup, rijit ve ağır yapıdaki güneş pilleri yerine, esneklik ve hafiflik açısından avantaj sağlayabilecek organik güneş pilleri incelenmiştir. Günlük hayatta giyilebilir, tekstillere entegre edilebilen veya teknik tekstil alanında (çadır, tente, askeri çadır, perde vs.) kullanılacak esnek yapıda güneş pillerinin elde edilmesinin mümkün olabileceği, çeşitli araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalarla ortaya konulmuştur.

## 2. Materyal- Metot

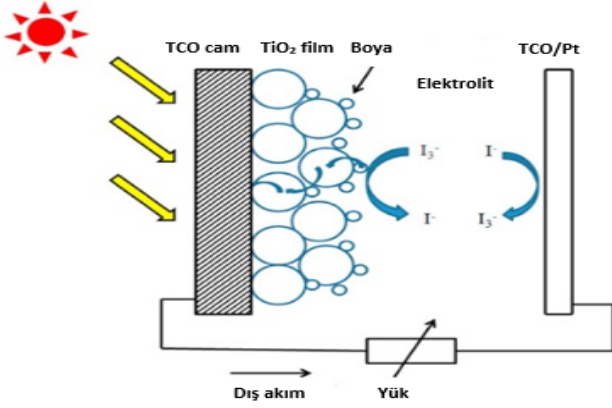
Fotovoltaik, görünür veya diğer ışık ışınlarına maruz kaldığında, elektriksel gerilim farkı (voltaj) üretimi yapabilme kabiliyetidir. “Fotovoltaik pil” ise fotovoltaik özellik sonucu elektrik enerjisi üreten yapılardır. Yaygın olarak “Fotovoltaik pil” tanımlaması kullanılmasına rağmen, “bariyer tabakalı fotopil”, “kendi kendine üreten pil”, “güneş pili”, “fototronik fotopil” gibi adlarla da anılmaktadır. Yarı iletken malzeme, metaller ile yalıtkan bir tabaka (genellikle cam) arasında yer alır ve üzerine düşen ışık miktarına orantılı olarak elektrik enerjisi üretimi yapar. Geleneksel olarak, güneş pilleri, gün ışığını kullanan çok ince ve rijit malzemelerdir (Bedeloğlu, 2009).

Fotovoltaik etki aşağıdaki gibi farklı şekillerde tanımlanabilir (Graf, 1999);

- Uygun bir dalga boyunda, ışınlama aydınlatılan bir malzemede voltaj veya bir elektrik alanı oluşturulmasıdır,
- Foton enerjisinin emilmesiyle, PN eklemi boyunca boşluk-elektron çiftlerinin yayılması sonucu oluşan voltaj üretimidir,
- Fotovoltaik etki genellikle, silikon gibi homojen olmayan yarı iletkenlerde veya iki tür malzeme arasındaki bir bağlantıda voltajın üretilmesini içerir,
- İki elektrottan birine ışığa uygulandığında, elektrotlar arasında elektrik potansiyel farkının oluşmasıdır.

Güneş pillerinin günümüze kadar olan teknolojik gelişimi üç başlık altında incelenmektedir. Bunlar (Akman, vd., 2013);

1. Birinci Nesil (kristal silisyum, galyum arsenik güneş pilleri),
2. İkinci Nesil (ince filmler: CuInSe<sub>2</sub> (bakır indiyum diselenid), CdTe (kadmiyum tellür), a-Si (amorf silikon) güneş pilleri),
3. Üçüncü Nesil (boya duyarlı güneş pilleri (DSSC) (Şekil 2), organik güneş pilleri (OSC)'dir.



Şekil 2. Boyaya duyarlı güneş pilinin şematik gösterimi (Gong vd., 2017)

Birinci nesil güneş pilleri, fotovoltaik endüstrisinde başı çekmektedir. Fakat birinci nesil güneş pilleri pahalı, sert, üretimi çok enerji gerektiren ve tekstil uygulamalarına uygun olmayan pillerdir. Birinci nesil pillere kıyasla, azaltılmış malzeme kullanımı, düşük maliyetli üretim teknikleri ve geniş güneş ışığı yakalama alanı sayesinde ikinci nesil güneş pilleri daha fazla dikkat çekmektedir. Fakat ikinci nesil güneş pillerinin yüksek sıcaklık gerektiren üretim teknikleri ve vakumlama işlemleri gibi tekstil materyallerine uygun olmayan tarafları mevcuttur. Üçüncü nesil güneş pilleri, boya duyarlı güneş pilleri (DSSC'ler), perovskite güneş pilleri ve polimer esaslı organik güneş pilleri (OSC'ler) üretmek için kullanılan işlenmiş organik maddeleri içermektedir. Düşük maliyetli hazırlama teknikleri, üçüncü nesil güneş pillerini, yüksek güce sahip esnek güneş pili uygulamalarında daha çekici hale getirmektedir (Arumugam, vd., 2016).

## 2.1. Organik güneş pilleri

1954 yılında Bell laboratuvarında geliştirilen inorganik güneş pili silikon (Si) esaslıydı ve %6'lık verime sahipti. Gün geçtikçe daha da geliştirilen Si (silikon) esaslı güneş pillerinin verimliliği %24'lere ulaşmıştır (Spanggaard ve Krebs, 2004). Ancak artan enerji ihtiyacı ve inorganik güneş pili eldesindeki artan maliyet neticesinde araştırmacılar, inorganik

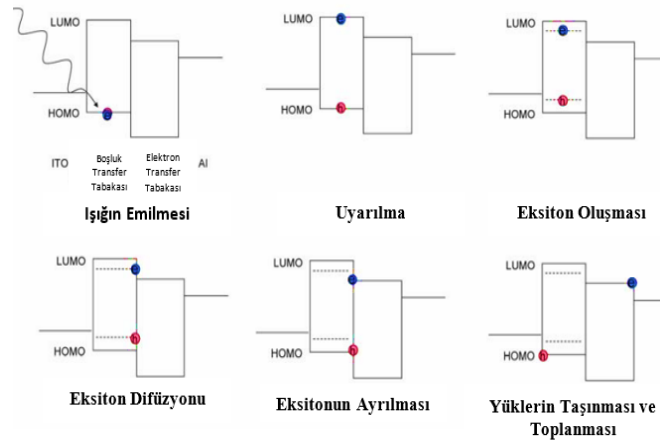
güneş pillerine kıyasla çok fazla avantaja sahip olan organik güneş pillerini keşfetmişlerdir.

Organik güneş pillerinin avantajları şu şekilde sıralanabilmektedir (Bagher, 2014; Nelson, 2002);

- Yapısında kullanılan organik malzemeler, fotovoltaikler için makaradan makaraya veya spreyle birikimi kullanılarak yüksek verimli üretim imkanına sahiptir,
- Cihazlara veya yapı malzemelerine entegre edilebilen ultra ince, esnek yapıları vardır,
- Kimyasal yolla, istenilen renk çeşitliliğine sahiptir,
- Şeffaftır,
- Hafiftir,
- Düşük üretim maliyetine sahiptir,
- İşlem kolaylığına sahiptir.

Organik fotovoltaik pillerde, fotovoltaik etki oluşumu 4 adımda gerçekleşir (Şekil 3). Bunlar (Kim, 2009);

1. Işığın emilmesi ve eksitonun (elektron-boşluk çifti) oluşması,
2. Elektron-boşluk çiftinin difüzyonu,
3. Elektron-boşluk çiftinin ayrılması,
4. Yüklerin ilgili elektrotlara taşınması.



Şekil 3. Fotovoltaik etkinin oluşum aşamaları

Işık kaynağından fotonun emilmesi ile, bir elektron, HOMO (En yüksek enerjili dolu moleküler orbital)'dan organik yarı iletkenlerin LUMO (En düşük enerjili boş moleküler orbital)'suna uyarılır. Fotonla uyarılma işlemi, eksiton adı verilen nötr ve Kolombik olarak bağlı elektron-boşluk çiftlerine yol açar (Huang ve Deng, 2014).

Uyarılmış tüm eksitonların negatif ve pozitif yükler oluşturmak üzere ayrışabilecekleri alıcı-verici (donör-akseptör) ara yüzüne difüze olmaları gerekir. Böyle bir bölge yarı iletkenin diğer ucunda olabileceğinden, yayılma uzunlukları, yeterli emilim için tabaka kalınlığına eşit olmalıdır, aksi takdirde enerjilerini





FF= Dolum faktörü

$P_{in}$ = Gelen ışık yoğunluğu (Huang ve Deng, 2014).

Bir OSC'nin çalışma bölgesi, OSC'nin güç ürettiği 0 ila  $V_{oc}$  arasında bir sapma aralığındadır. Bu nedenle I-V eğrisinin dördüncü çeyreği güç bölgesi olarak da bilinir. Güç,  $P$ ,  $I \times V$  ile bulunur. Güç I-V eğrisi boyunca belirli bir noktada maksimumdur ve bu noktaya maksimum güç noktası (MPP) denir. OSC tarafından üretilen maksimum güç,  $P_{max} = V_{MPP} \times I_{MPP}$  ile bulunur. Burada  $V_{MPP}$ , MPP ve  $I_{MPP}$ 'deki karşılık gelen akımdır. Üretilen maksimum gücün  $I_{sc}$  ve  $V_{oc}$ 'ye oranı dolum faktörünü (FF) verir ve  $(V_{MPP} \times I_{MPP}) / (V_{oc} \times I_{sc})$  olarak hesaplanır.  $\eta$  olarak belirtilen PCE,  $P_{max}$ 'ın, cihazın aktif alanındaki ışık gücüne ( $P_{in}$ ) oranı ile elde edilir.  $P_{in}$ , 1000 W/m<sup>2</sup>'de standart hale getirilen ve 48.2° (AM 1.5) aydınlatma açısıyla dünya yüzeyinde güneşin spektral yoğunluğuyla eşleşen aydınlatma güç yoğunluğudur (Liao vd., 2010).

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{P_{in}} = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \quad (3)$$

## 2.2. Organik fotovoltaik tekstiller ve uygulamaları

Günümüzde geleneksel olarak kullanılan güneş pilleri cam veya polikarbon esaslıdır. Bu tip güneş pilleri yüksek verimliliklere sahip olmasına rağmen birçok dezavantaja da sahiptirler. Sadece düz yüzeylere tutturulabilirler ve yeterince esnek değildirler. Ek olarak, plakalar ağırdır ve bu nedenle panellerin bağlanacağı yapılar ağırlıklarına dayanacak kadar güçlü olmalıdır. Ayrıca, cam plakalar kırılmandır. Bu dezavantajların üstesinden gelmek için, araştırmacılar, zorlu ortamlara dayanabilen, dayanıklılığını koruyabilen ve daha düşük malzeme kullanımı ve düşük imalat giderlerine sahip, daha hafif, esnek hücrelerin yapımına yönelmiştir. İnce plastik veya metal filmlere uygulanan kapsamlı bir ticari fotovoltaik hücre yelpazesi bulunmaktadır. Bu filmler çok daha hafiftir ve maliyetleri genellikle daha düşüktür. Fakat bu ince filmlerin kullanılması da hem imalat hem de uygulama sırasında kırılma meydana gelmesine neden olabilir (Mather and Wilson, 2017). Tekstil kumaşları, günlük hayatta kullanılan en yaygın esnek malzemeler oldukları için bu dezavantajlara bir çözüm sunar. Tekstil yüzeylerin bir diğer avantajı ise, geleneksel cam (150-200 MJ\*m<sup>-2</sup>) plakalara kıyasla daha düşük gömülü enerjiye sahip olmalarıdır (53 MJ\*m<sup>-2</sup>) (Mather and Wilson, 2017).

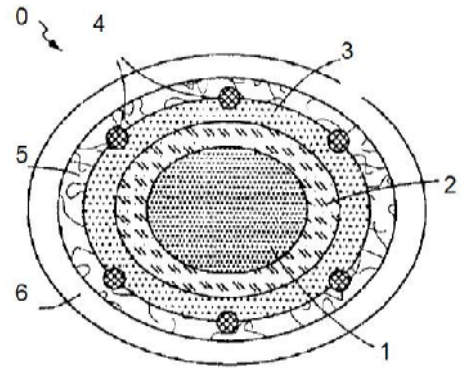
Bir PV (fotovoltaik) hücre dizisinin katmanlarını tekstil yüzeylerine taşımak için en az üç alternatif yöntem vardır (Mather and Wilson, 2017);

- i. Tek tek hücrelerin veya fotovoltaik liflerin bir kumaşa bağlanması,
- ii. Fotovoltaik hale getirilmiş dokuma veya örme tekstil yapıları,
- iii. Fotovoltaik hücrelerin bir kumaş üzerine doğrudan biriktirilmesi.

Tekstil lifi ya da tekstil yüzeyi gibi esnek yapılara entegre edilebilen organik güneş pilleri ile ilgili, araştırmacıların yaptığı çalışmalar, yukarıda değinilen alternatif yöntemlere göre araştırmacı tarafından kategorize edilerek şu şekilde değerlendirilmiştir.

- i. Tek tek hücrelerin veya fotovoltaik liflerin bir kumaşa bağlanması ile ilgili araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalar:

Chittibabu ve ark. (2005), çalışmalarında, en içte lif tabakası (1), onu saran ışığa hassaslaştırılmış nanomatriks materyal (2), bu tabaka ile ışık geçiren elektriksel iletken arasında yer alan yük taşıyıcı materyal bölümü (3), önemli ölçüde ışığı ileten elektriksel iletken bölüm (5) ve bunun içine yerleştirilmiş bir veya daha fazla tel (4) ve en dışta koruyucu tabakadan (6) oluşan fotovoltaik lif elde etmişlerdir (Şekil 7).



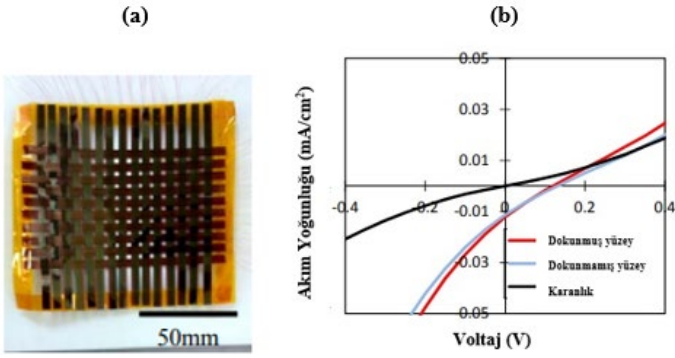
Şekil 7. Fotovoltaik lif enine kesitleri (Chittibabu vd., 2005)

O'Connor ve ark. (2008), Bedeloğlu (2009), Ebner ve ark. (2017) ve Borazan (2018), çalışmalarında lif esaslı organik güneş pilleri elde etmişlerdir. O'Connor ve ark. (2008)'nın poliimid kaplı silika liflerinden elde ettiği lif esaslı güneş pilinin güç dönüşüm verimliliği %0.48, Bedeloğlu (2009)'nun polipropilen (PP) monofilamentinden elde ettiği lif esaslı organik güneş pilinin güç dönüşüm verimliliği %0.02, Ebner ve ark.'nın (2017) viskoz lifinden, Viskoz/AgNW/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Al cihaz yapısına sahip lif esaslı güneş pilinin güç dönüşüm verimliliği %0.023 ve Borazan (2018)'ın poliamid (PA) esaslı PA/PEDOT: PSS/P3HT: PTB7:

PCDTBT: PCBM/Al yapısına sahip PV lifinin ise güç dönüşüm verimliliği %2.01 olarak bulunmuştur.

Lv ve ark. (2023), termoplastik poliüretan (PU) lifini gümüş nanotel (AgNW), ve indiyum kalay oksit nanopartikülleri ile kaplayarak esnek elektrot elde etmişlerdir. Ardından fotoaktif tabaka, boşluk transfer tabakası ve üst elektrot ile kaplayarak elde ettikleri organik fotovoltaiik lifin güç dönüşüm verimliliği, % 5.81 olarak bulunmuştur.

Bedeloğlu ve ark. (2010) ve Imai ve ark. (2012), sırasıyla PP ve polietilen tereftalat (PET) taşıyıcı tabakalı organik fotovoltaiik şeritler elde etmişlerdir. Bedeloğlu ve ark. (2010)'nın elde ettikleri PP esaslı organik fotovoltaiik şeritlerden en yüksek güç dönüşüm verimliliği %0.29 olarak elde edilmiştir. Imai ve ark. (2012) ise elde ettikleri fotovoltaiik şeritleri dokuyarak tekstil yüzeyi elde etmiş olup, şekil 8'de dokunmuş yüzey görüntüsü ve elde edilen pillerin J-V diyagramları verilmiştir.



Şekil 8. (a) Dokunmuş yüzey, (b) Elde edilen pillerin J-V diyagramları (Imai vd, 2012)

ii. Fotovoltaiik hale getirilmiş dokuma veya örme tekstil yapıları ile ilgili araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalar:

Sundarrajan ve ark. (2010), P3HT veya P3HT/PCBM bileşenlerinden biri ve kabuk olarak PVP (Polivinilpirolidon)'den elektrospinning yöntemi ile çekirdek-kabuk (core-shell) nanoliflerini dokusuz yüzey (nonwoven) haline getirerek solar kumaş elde etmiş olup, bu kumaşın verimlilik değeri,  $8.7 \times 10^{-8}$  bulunmuştur.

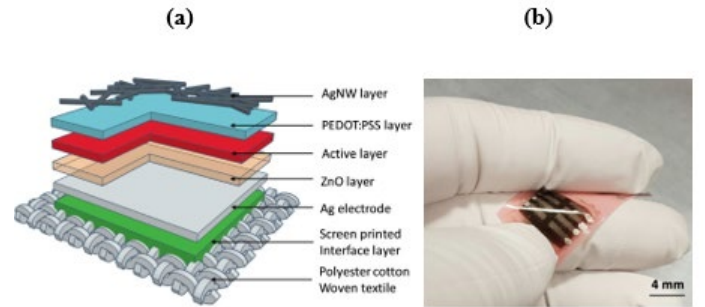
Kylberg ve ark. (2011), Lee ve ark. (2015), Wu ve ark. (2017) ve Borazan ve ark. (2020) çalışmalarında, tekstil esaslı alt elektrot elde edip, fotovoltaiik etki göstermesi açısından bu yapı üzerine gerekli kaplamaları yaparak, fotovoltaiik kumaş elde etmişlerdir. Kylberg ve ark. (2011), bir ağa dokunmuş metal ve yarı saydam polimer liflerden elde edilmiş esnek kumaşı, Lee ve ark. (2015), altından dokudukları kumaşı, Wu ve ark. (2017),

Polyester/AgNW/grafen çekirdek-kabuk yapısına sahip ipliklerden dokudukları kumaşı ve Borazan ve ark. (2020), paslanmaz çelikten elde edilen ağ yapılı kumaşı alt elektrot olarak kullanmışlardır. Elde ettikleri tekstil esaslı organik güneş pillerinin güç dönüşüm verimlilikleri sırasıyla, %2.2, %1.8, %2.27 ve %0.69 olarak bulunmuştur.

Sugino ve ark. (2017) çalışmalarında, paslanmaz çelik teli, elektron transfer tabakası, fotoaktif tabaka, boşluk transfer tabakası ve üst elektrot ile kaplayarak fotovoltaiik etki gösteren tel etmişlerdir. Daha sonra PET kumaşa dokunan tellerle elde edilen kumaşın güç dönüşüm verimliliği %4.6 olarak bulunmuştur.

iii. Fotovoltaiik hücrelerin bir kumaş üzerine doğrudan biriktirilmesi ile ilgili araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalar:

Arumugam ve ark. (2016,2018) ve Li ve ark. (2019) çalışmalarında, taşıyıcı tabaka olarak polyester-pamuk karışımı kumaşı baz alarak, kumaşın yüzey pürüzlülüğünü gidermek için PU bazlı ara yüzey kullanmışlardır. Li ve ark. (2019) (şekil 9), kumaş taşıyıcı tabakalı pili, en son koruyucu tabaka ile kaplamışlardır. Araştırmacıların elde ettikleri tekstil esaslı organik güneş pillerinin güç dönüşüm verimlilikleri sırasıyla, %0.02, %1.23 ve %0.4 olarak bulunmuştur.



Şekil 9. (a) Tekstil organik güneş pilinin katmanlarının şematik gösterimi, (b) Koruyucu tabaka ile kaplanmış tekstil esaslı güneş pilinin gösterimi (Li vd., 2019)

Wageh ve ark. (2021) ve Tacer T. (2022) çalışmalarında PET taşıyıcı tabakalı esnek güneş pilleri elde etmişlerdir. Pil yapısında Wageh ve ark. (2021), alt elektrot olarak PEDOT:PSS ve tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNTs) karışımını, Tacer T. (2022) ise, PEDOT:PSS ve AgNW karışımını kullanmıştır. Fotoaktif tabaka olarak araştırmacılar PTB7:PC71BM polimerini kullanmış olup, elde ettikleri esnek polimer esaslı güneş pillerinin güç dönüşüm verimlilikleri sırasıyla, %8.6 ve %0.0092 olarak bulunmuştur.

### 3. Sonuç

Hızla artan enerji ihtiyacına karşılık olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, sonsuz, temiz ve ekonomik olması bakımından oldukça önemli enerji kaynakları arasındadır. Bu nedenle, fotovoltaik teknolojileri de gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Araştırmacılar da sıklıkla kullanılan ve nispeten daha yüksek verimliliğe sahip, ancak rijit, ağır ve maliyeti yüksek olan inorganik piller yerine, araştırmalarını, esnek, hafif ve kolay üretilebilir olan esnek organik güneş pillerine yoğunlaştırmışlardır. Bu çalışma kapsamında da fotovoltaik teknolojisi, organik fotovoltaikler ve araştırmacıların, tekstil esaslı organik fotovoltaikler ile ilgili çalışmaları incelenerek, derleme makale yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen güç dönüşüm verimliliklerinin, silikon esaslı güneş pillerine kıyasla düşük olduğu gözlemlenmesine rağmen, elde edilebilecek esnek güneş pilleri ile doğrudan bir cep telefonuna güç vererek veya bir vücut alanı sensörü ağını çalıştırarak akıllı tekstil alanında da kullanım imkânı sağlayacağı düşünülmektedir.

### Kaynaklar

Akman, E., Akın, S., Karanfil, G., Sönmezoğlu, S., 2013. Organik Güneş Pilleri. Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14, (1), 1-30.

Anonim, 2020. Güneş. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Son erişim tarihi: 23 Mart 2020)

Anonim, 2022. Elektrik. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> (Son erişim tarihi: 31 Mayıs 2022)

Aramugam, S., Li, Y., Senthilarasu, S., Torah, R., Kanibolotsky, A.L., Inigo, A.R., Skabara, P.J., Beeby, S.P., 2016. Fully Spray-Coated Organic Solar Cells on Woven Polyester Cotton Fabric For Wearable Energy Harvesting Applications. Journal of Materials Chemistry A, 00, 1-9. Doi: 10.1039/C5TA03389F

Arumugam, S., Li, Y., Glanc-Gostkiewicz, M., Torah, R.N., Beeby, S.P., 2018. Solution Processed Organic Solar Cells on Textiles. IEEE Journal of Photovoltaics, 8, (6), 1710-1715. <https://doi.org/10.5258/SOTON/D0153>

Bagher, A.M., 2014. Comparison of Organic Solar Cells and Inorganic Solar Cells. International

Journal of Renewable and Sustainable Energy, 3, (3), 53-58. doi: 10.11648/j.ijrse.20140303.12

Bedeloğlu, A., 2009. Fotovoltaik Etki Oluşturan Lif Geliştirilmesi. (Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Bedeloğlu, A.Ç., Koepe, R., Demir, A., Bozkurt, Y., Sariciftci, N.S., 2010. Development of Energy Generating Photovoltaic Textile Structures for Smart Applications. Fibers and Polymers 2010, Vol.11, No.3, 378-383. DOI 10.1007/s12221-010-0378-0.

Borazan, İ., 2018. A Study About Lifetime of Photovoltaic Fibers. Solar Energy Materials and Solar Cells, 192(2019), 52-56. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.12.003>

Borazan, İ., Bedeloğlu, A.Ç., Demir, A., 2020. A Photovoltaic Textile Design With A Stainless Steel Mesh Fabric. Journal of Industrial Textiles, 0, (0) 1-12. DOI: 10.1177/1528083720904053

Boz, O. H., 2011. Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri. (Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Chittibabu, K., Eckert, R., Gaudiana, R., Li, L., Montello, A., Montello, E., Wormser, P., 2005. Photovoltaic Fibers. United States Patent, Patent No.: US 6,913,713 B2. <https://patentimages.storage.googleapis.com/69/a3/c1/51c197bd4983a9/US6913713.pdf>

Demir, E., 2019. Boya Duyarlı Güneş Pilleri İçin Yeni Nesil Nanomalzemelerin Sentezi, Karakterizasyonu ve Uygulamaları. (Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Ebner, M., Schennach, R., Chien, H. T., Mayrhofer, C., Zankel, A., Friedel, B., 2017. Regenerated cellulose fiber solar cell. Flexible and Printed Electronics, 2, (1), 014002.

Eke, R., 2007. Güneş Pili Parametrelerinin İşletme Koşullarıyla İlişkilendirilmesi. (Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

Gong, J., Sumathy, K., Qiao, Q., Zhou, Z., 2017. Review on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs): Advanced Techniques and Research Trends. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 68,

- Graf, R.F., 1999. Modern dictionary of electronics (7th ed.). United States of America: Butterworth-Heinemann.
- Huang, H., Deng, W., 2014. Introduction to Organic Solar Cells. Organic and Hybrid Solar Cells. (pp.1-18)
- Imai, T., Takmatsu, S., Shiraishi, K., Marumoto, K., Itoh, T., 2012. Photovoltaic Textiles Manufactured with Precision Die Coating. *Procedia Engineering*, 47, 502-505. doi: 10.1016/j.proeng.2012.09.194
- Karasmanaki, E., Tsantopoulos, G., 2019. Exploring Future Scientists' Awareness About And Attitudes Towards Renewable Energy Sources. *Energy Policy*, 131, 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.032>
- Kim, M.S., 2009. Understanding Organic Photovoltaic Cells: Electrode, Nanostructure, Reliability, and Performance (Doktora Tezi, Michigan Üniversitesi)
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., Uğurlu, İ., 2018. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 59, 86-114.
- Kylberg, W., Araujo de Castro, F., Chabreck, P., Sonderegger, U., Tsu-Te, B., Nüesch, F., Hany, R., 2011. *Advanced Materials*, 23, 1015-1019. doi: 10.1002/adma.201003391
- Lee, Y., Lee, S., Choi, D., 2015. Fabrication and Design of Solar Cell Based on Textile. Fifth Asia International Symposium on Mechatronics (AISM 2015). <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7488885>
- Li, Y., Aramugam, S., Krishnan, C., Charlton, M.D.B., Beeby, S.P., 2019. Encapsulated Textile Organic Solar Cells Fabricated by Spray Coating. *Chemistry Select* 2019, 4, 407 –412. DOI: 10.1002/slct.201803929
- Liao, K.S., Yambem, S.D., Haldar, A., Alley, N.J., Curran, S.A., 2010. Designs and Architectures for the Next Generation of Organic Solar Cells. *Energies*, 3, 1212-1250. doi:10.3390/en3061212
- Lv, D., Jiang, Q., Liu, D., 2023. Intrinsically Stretchable Fiber-Shaped Organic Solar Cells. *Solar RRL*, 7, (14), 2300234.
- Mather, R.R., Wilson, J.I.B., 2017. Fabrication of Photovoltaic Textiles. *Coatings*, 7, 63–84, doi:10.3390/coatings7050063.
- Nelson, J., 2002. Organic Photovoltaic Films. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 6, 87-95.
- Nunzi, J.M., 2002. Organic Photovoltaic Materials and Devices. *Molecular Photonics: Materials, Physics and Devices*, C. R. Physique, 3, 523-542.
- O’Connor, B., Pipe, K., Shtein, M., 2008. Fiber Based Organic Photovoltaic Devices. *Applied Physics Letters*, 92, 193306. doi: 10.1063/1.2927533
- Spanggard, H., Krebs, F.C., 2004. A Brief History Of The Development Of Organic And Polymeric Photovoltaics. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 83, 125-146. doi:10.1016/j.solmat.2004.02.021
- Sugino, K., Ikeda, Y., Yonezawa, S., Gennaka, S., Kimura, M., Fukawa, T., Inagaki, S., Konosu, Y., Tanioka, A., Matsumoto, H., 2017. Development of Fiber and Textile-Shaped Organic Solar Cells for Smart Textiles. *Journal of Fiber Science and Technology*, 73, (12), 336-342. doi: 10.2115/fiberst.2017-0049
- Sundarrajan, S., Murugan, R., Nair, S., Ramakrishna, S., 2010. Fabrication of P3HT/PCBM Solar Cloth By Electrospinning Technique. *Materials Letters*, 64, 2369-2372. doi:10.1016/j.matlet.2010.07.054
- Tacer, T. B., 2022. Development of Wearable Photovoltaic Textile and Electro Optical Analysis (Doktora Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi).
- Tong, Y., Xiao, Z., Du, X., Zuo, C., Li, Y., Lv, M., Ding, L., 2020. Progress of the key materials for organic solar cells. *Science China Chemistry*, 63, 758-765.
- Wageh, S., Raïssi, M., Berthelot, T., Laurent, M., Rousseau, D., Abusorrah, A. M., Al-Ghamdi, A. A., 2021. Digital printing of a novel electrode for stable flexible organic solar cells with a power conversion efficiency of 8.5%. *Scientific Reports*, 11, (1), 1-16.



Wu, C., Kim, T.W., Guo, T., Li, F., 2017. Wearable Ultra-Lightweight Solar Textiles Based on Transparent Electronic Fabrics. *Nano Energy*, 32(2017), 367-373.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.12.040>.