

**T.C.**

**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**Enerji Depolamasında Nanoteknoloji**

**Uygulamaları: Tekstil Örneği**

**Yüksek Lisans Tezi**

**NAGHMEH KHARAZI AMIN**

**İSTANBUL, 2015**



**T.C.**  
**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ**

**Enerji Depolamasında Nanoteknoloji**  
**Uygulamaları: Tekstil Örneği**

**Yüksek Lisans Tezi**

**NAGHMEH KHARAZI AMIN**

**TEZ DANIŞMANI: Prof. Dr. Göksel DEMİR**

**İSTANBUL, 2015**

**T.C.**  
**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

Tezin Adı: Enerji Depolamasında Nanoteknoloji Uygulamaları ve Tekstil Örneği

Öğrencinin Adı Soyadı: Naghmeh Kharazi amin

Tez Savunma Tarihi: 13.04.2015

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. NAFİZ ARICA  
Enstitü Müdürü  
İmza

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Göksel DEMİR  
Program Koordinatörü  
İmza

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri İmzalar

İmzalar

Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Göksel DEMİR

-----

Üye  
Yrd. Doç. Dr. Hatice ESER ÖKTEN

-----

Üye  
Yrd. Doç. Dr. Adnan ÇORUM

-----

## ÖNSÖZ

Bu çalışma genel olarak enerji depolamasının farklı türleri ve avantajları, özellikle tekstil ürünlerinde kullanılması ve nanoteknoloji metotları ile daha avantajlı ve güçlü ürünler üretebilmeyi araştırmak amacıyla yapılmıştır.

Son yıllarda özellikle petrol, kömür ve genellikle fosil yakıtların kullanması sebebiyle artık hepimiz yenilenebilir ve sürdürülebilir enerjilerin tanınmasını ve kullanmasının öneminin farkında olmalı ve bu tür enerjilerin daha çok yerlerde kullanılması ve daha az maliyetlerle elde edilmesini sağlamalıyız.

Çalışmanın teorik kısmında yenilenebilir enerjiler, enerji depolamasının önemi ve yönetimi, enerji depolamasında tekstil örneği konusunda son gelişmeler ışığında bilgiler sunulmuş ve daha önceki çalışmalar incelenmiştir . Uygulama kısmında ise fotovoltaiik liflerin fayda-maliyet analizi yapılmıştır .

Bu çalışmanın hazırlanmasında tez danışmanım Prof. Dr. Göksel Demir ve tez jürilerim Dr. Hatice Eser Ökten ve Dr. Adnan Çorumun yardımlarından ve göstermiş oldukları rehberlikten dolayı teşekkür ederim. Ayrıca hayatımdaki en önemli varlıklarım eşime ve aileme bugüne kadar yanımda oldukları ve beni her konuda destekledikleri için sonsuz şükranlarımı sunarım.

İstanbul, 2015

NaghmeH KHARAZİAMİN

## ÖZET

### ENERJİ DEPOLAMASINDA NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI: TEKSTİL ÖRNEĞİ

Kharaziamin Naghmeh

ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Göksel DEMİR

Nisan 2015, 46 sayfa

Günümüzde fosil yakıtların çevreye verdiği zarar artık açık biçimde ortaya çıkmış ve bu yakıt kaynaklarının zamanla tükenmesiyle de alternatif kaynak arayışları hızlanmıştır. Bu alternatif kaynakların başında gelen yenilenebilir enerji kaynakları için de kullanım kolaylığı sağlaması açısından depolama sorunu baş göstermektedir.

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının neler olduğuna kısaca değindikten sonra, güneş enerjisini nanoteknolojik metotlarla geliştirilen kullanım alanları anlatılmıştır. Bu kullanım alanlarından biri olan tekstilde güneş enerjisinin doğrudan kullanımını sağlayan fotovoltaiik materyallerin üretim metotları araştırılmıştır.

Son bölümde de farklı maddelerden yapılabilecek fotovoltaiik liflerin malzeme ve son ürün maliyetlerini hesaplanarak küçük ölçekte parametreleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, gelecek için daha verimli bir yenilenebilir enerji kaynağının tanınmasını amaçlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir Enerji-Enerji, Depolanması-Fotovoltaiik Lif-Akıllı Tekstiller-Nano Lifler.

## **ABSTRACT**

Nanotechnological Applications to Energy Storage: Textile Case

Kharazi Amin Naghmeh

Institute of Science, Energy and Environment Management Program  
Prof. Dr. Göksel DEMİR

April 2015, 46 pages

Nowadays it is clearly revealed that fossil fuels are harmful for environment and also running out of these fuels is accelerated the seeking for alternative resources. However storage problem is coming along with renewables.

In this study, usage areas of solar energy developed by the methods of nanotechnology are told after a brief explanation of what the renewables are. Afterwards production methods of photovoltaic materials, made solar energy directly use for textile, are investigated.

In the last chapter, parameters for small-scaled photovoltaic fibres, each of which produced by different materials, are compared in the means of material and final production expenses. This study aims to recognize a more efficient renewable resource.

**Key Words:** Renewable Energy, Energy Storage, Photovoltaic Textile, Intelligent Textiles, Desensitized, Nanofiber

## İÇİNDEKİLER

TABLolar.....	vii
ŞEKİLLER.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
1.GİRİŞ.....	1
1.1 ENERJİ NEDİR.....	2
1.2 ENERJİ KAYNAKLARI .....	2
1.2.1 Geleneksel Enerji Kaynakları.....	3
1.2.1.1 Fosil yakıtlar.....	3
1.2.1.2 Nükleer Enerji.....	4
1.2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	4
1.2.2.1 Güneş Enerjisi.....	6
1.2.2.1.1 Güneş Enerjisinin Avantajları.....	6
1.2.2.1.2 Güneş Enerjisinin Dezavantajları.....	7
1.2.2.2 Rüzgar Enerjisi.....	7
1.2.2.3 Hidrogüç.....	8
1.2.2.4 Biyokütle.....	9
1.2.2.5 Jeotermal Enerji.....	9
2. ENERJİ DEPOLAMA VE ÖNEMİ.....	11
2.1 DEPOLAMANIN ÖNEMİ.....	11
2.2 ENERJİ DEPOLAMANIN AMACIVE FAYDALARI.....	12
2.3 ENERJİ DEPOLAMA ÇEŞİTLERİ.....	13
3. NANOTEKNOLOJİNİN ENERJİ ALANINDA UYGULAMALARI.....	15
4. ENERJİ DEPOLAMASINDA TEKSTİL ÖRNEĞİ.....	17
4.1 GÜNEŞ HÜCRESELİ.....	18
4.2 GÜNEŞ PILİNİN ÇALIŞMASI.....	18
4.3 GÜNEŞ HÜCRELİ TEKSTİLLER (Solar Textiles).....	19
4.4 ORGANİK FOTOVOLTAİK HÜCRELERİN ÜRETİMİ.....	21
4.4.1 Rulodan Ruloğa Kaplama Tekniğı.....	21
4.4.2 İnce Film Depolama Teknikleri.....	22



4.4.2.1 Duyarlı Boyalı (DSC)Güneş Hücreleri.....	22
4.4.2.2 Plastik Güneş Hücreleri Baskısı.....	23
4.4.3 Fotovoltaik Lifler.....	23
4.4.3.1 Polimer Yapılı Esnek PV Lifler.....	24
4.3.3.2 Polimer YapılıEsnek PV Lifler Yönteminin Detayları.....	25
4.3.3.3 Polimer Yapılı Esnek PV Lifler Yönteminin Karakterizasyonu.....	27
4.3.3.4 PolimerYapılı EsnekPVLifler Yönteminin Sonuçlarıve Tartışmaları.	27
4.4.4 Fotovoltaik Tekstilin Karakterizasyonu.....	29
4.4.4.1 Kalınlığıve Fotovoltaik Tekstil Morfolojisi.....	29
4.4.4.2 Akımve Gerilim.....	29
4.4.4.3 Dolgu Faktörü.....	30
4.4.4.4 Mekanik Karakterizasyon.....	30
4.4.4.5 Katı Filmlerin Absorpsiyon Spektrumları.....	31
4.4.5 Fotovoltaik Tekstildeki Gelişmeler.....	31
5. FOTOVOLTAİK LİFLER İÇİN MALİYET ANALİZİ.....	34
5.1 GÜNEŞ PİLİ MALİYETİ HESAPLAMALARI.....	34
5.1.1 DSC Fotovoltaik Teknolojisinin Malzeme Maliyeti.....	35
5.1.2 Fotovoltaik Pv Lif A'nın Malzeme Maliyeti.....	36
5.1.3 Fotovoltaik Pv Lif B'nin Malzeme Maliyeti.....	37
5.1.4 Fotovoltaik Pv Lif C'nin Malzeme Maliyeti.....	38
5.2 MALZEME MALİYETİ VE VERİMLİLİK KARŞILAŞTIRILMASI .....	39
6. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	40
KAYNAKÇA.....	42

## TABLolar

Tablo 4.1: Farklı Foto Katmanları (MDMO-PPV: PCBM ve P3HT: PCBM) Sahip olan Fotovoltaik Liflerin Fotoelektrik özellikleri.....	28
Tablo 5.1: DSC Fotovoltaik Teknolojisinin Malzeme Maliyeti.....	35
Tablo 5.2 : Pv Teknolojisiyle Üretilen Lif A'nın Malzeme Maliyeti.....	36
Tablo 5.3 : Fotovoltaik Pv lif B'nin Toplam Maliyeti.....	37
Tablo 5.4 : Fotovoltaik Pv lif C'nin Toplam Maliyeti.....	38
Tablo 5.5 : Malzeme Maliyeti Ve Verimlilik Karşılaştırılması .....	39

## ŞEKİLLER

Şekil 1.1: Ruzgar Türbini.....	8
Şekil 1.2 : Jeotermal Enerji.....	10
Şekil 2.1 : Enerji Depolanma Çeşitleri.....	13
Şekil 4.1 : Güneş Pilin Çalışması.....	19
Şekil 4.2 : Güneş Hücreleri Çeşitleri.....	20
Şekil 4.3 : Fotovoltaik Lif Kesiti.....	22
Şekil 4.4 : Fotovoltaik Lif Yapısı.....	24
Şekil 4.5 : (a) PEDOT:PSS, (b) P3HT, (c) MDMOPPV, and (d) PCBM .....	26
Şekil 4.6 : P3HT : PCBM ve MDMO-PPV : PCBMA Bso rpsiyon Çözümü için Spektrumları.....	27
Şekil 4.7 : Fotovoltaik Tekstildeki Gelişmeler(1).....	31
Şekil 4.8 : Fotovoltaik Dekoratif Desenler (2).....	32
Şekil 4.9 : Fotovoltaik Tekstil Bir Çadır (3).....	33
Şekil 4.10 : ABD Askerleri İçin Hazırlanan Fotovoltaik Çadır (4).....	33

## KISALTMALAR

ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
BOREN	:	Bor Araştırma Enstitüsü
CRE	:	Uzatma Sabit Oran
CCD	:	Güçlü Şarj Birleştiğinde Cihaz
CIGS	:	Bakır İndiyum Selenid
Cdte	:	Kadmiyum Tellür
CIGS	:	Bakır İndiyum Selenid
Cdte	:	Kadmiyum Tellür
DMSO	:	Dimethylsulfoxide Madde
Dsc Teknoloji	:	Boya Duyarlı Güneş Hücreleri
ECN	:	Hollanda Enerji Araştırma Merkezi
HIFLEX	:	Avrupa Araştırma Projesi
ISFH	:	Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü
İTO	:	İndiyum Kalay Oksit (Yarı İletken Madde)
LED	:	Diyot
Lng	:	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
OPV	:	Optik Fotovoltaik Modeller
Pp	:	Poly Propilen Lif
R2R	:	Rulo-To-Roll Teknik
R2RNIL	:	Roll-To-Roll Nanoimprint Litografi
SEM	:	A Scanning Electron Microscope
SIT	:	Güneş Entegre Teknolojileri
TEMSAN	:	Türkiye Elektromekanik Sanayi
W / M <sup>2</sup>	:	Watt / Metre <sup>2</sup>

## GİRİŞ

Kömür kaynaklarının büyüklüğüne rağmen, bir enerji kaynağı olarak petrol kullanımı yıllar boyunca artmış ve bu artış, çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Petrole olan bağımlılığın yanı sıra, özellikle 1986'da Çernobil ve 2011'de Fukushima nükleer santrallerinde yaşanan kazaların yol açtığı güvenlik sorunları, birçok ülkeyi yenilenebilir enerji alanında araştırma-geliştirme (AR-GE) çalışmaları yapmaya itmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş, rüzgar, hidrojen (akarsu ve dalga), biyokütle, hidrojen ve jeotermal olarak sıralanmaktadır. Farklı üretim tarzları ve daha verimli teknolojiler üzerine yoğunlaşan bu çalışmaların son yıllardaki gelişmeler odağında temel konusu, depolama yöntemleri olmuştur.

Bu yöntemler arasında, kimyasal enerjiyi (doğal fotosentez taklidi) ve güneş enerjisini kullanarak bataryalarda elektrik enerjisinin depolanmaları yapılabilmektedir. Bununla birlikte, fotovoltaiik (pv) cihaz yardımıyla güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren güneş hücreleri ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisinden daha fazla yararlanabilme olanağı sunan güneş hücreleri, bu yenilenebilir enerji kaynağının gündelik kullanıma uygun hale gelmesi imk nını sağlamaktadır. Bu imk n çerçevesinde, güneş hücreleri tekstil alanında da kullanılması gündeme gelmektedir.

Tekstil alanında ağırlıklı olarak kullanılan hayvan derisinin son 50 yıl içerisinde meydana gelen büyük değişimle yerini liflerden oluşan ürünlere bırakmıştır. Bu kumaşların sağladığı imkan, günümüzde akıllı elbiseler' olarak isimlendirilen yanmayan veya anti-bakteriyel özelliğe sahip kumaşların üretilmesini sağlamıştır. Aynı şekilde, bu tür kumaşlar, güneş hücrelerinin de tekstil malzemesi olarak kullanılabilmesinin önünü açmaktadır. Askeri alanda yapılan uygulamalarla, kimyasal maddeye karşı koruyucu ve kurşun geçirmez gövde giysiler üretilmiş ve yeni tekstil teknolojilerinden biri olarak güneş pilleri giyilebilir hale getirilmiştir. Bu sayede, kumaş üzerine entegre edilen esnek piller, elektrik ihtiyacı olan yerlerde

cep telefonu gibi küçük elektrikli cihazlara enerji kaynağı sağlayabilmektedir. Farklı akıllı giysilerde, elektrik enerjisi, ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi amaçlarla da kullanılmaktadır.

Bu tezde de bu amaçlara uygun olarak kullanılabilen bir şapkaya entegre edilmiş enerji deposunun fayda-maliyet analizi yapılmıştır. Farklı materyaller kullanılarak üretilen bu fotovoltaik hücrelerin maliyetleri karşılaştırılmış ve ticari açıdan daha doğru olduğu düşünülen üretim yöntemi bulunması hakkında çalışılmıştır.

## **1.1 ENERJİ NEDİR**

Enerji, en genel tanımıyla bir sistemin iş yapma kapasitesidir. Herhangi bir hareketi yapan ya da yapmaya hazır olan kabiliyet olarak tanımlanan enerji, fiziksel bakımdan Potansiyel ve kinetik enerji olarak iki başlıkta tanımlanır. Cisimlerin durumları sebebiyle iş yapabilecek halde olmaları olarak nitelenen potansiyel enerji, yerin çekim kuvveti etkisindeki cisimlerin, yerden belli bir yükseklikte bulunmaları ile sahip oldukları enerjidir. Kinetik enerji ise bir cismin hareketinden dolayı sahip olduğu enerjidir (Şen, 2002). Mekanik enerji olarak adlandırılan bu enerji türlerinin çeşitli işlemlerle birbirlerine dönüşebilmesi, üretim, aydınlatma, ısınma ve ulaşımın sağlanması için gereken enerjinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

## **1.2 ENERJİ KAYNAKLARI**

Enerji kaynakları, herhangi bir yolla enerji üretilmesini sağlayan kaynaklara denir. Dünya üzerindeki enerji kaynakları, geleneksel ve alternatif kaynaklar olmak üzere ikiye ayrılabilir:

- a.** Geleneksel enerji kaynakları
- b.** Alternatif enerji kaynakları

## **1.2.1 Geleneksel Enerji Kaynakları**

Geleneksel enerji kaynakları, fosil yakıt türleri ile radyoaktif maddelerden elde edilen enerji türlerini kapsar. Bu enerji grubunda yer alan petrol, doğal gaz, kömür ve nükleerrezervi sınırlı olan ve tükendiğinde yenilenemeyen kaynaklardır.

### **1.2.1.1 Fosil yakıtlar**

Hidrokarbon ve yüksek oranlarda karbon içeren fosil yakıtlar, ölen canlı organizmaların oksijensiz ortamda milyonlarca yıl boyunca çözülmesi ile oluşur. Petrol, doğal gaz ve kömürü kapsayan bu yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan ısının türbine güç olarak verilmesiyle enerji elde edilir. Dünyada enerji üretim rakamları incelendiğinde yüzde 74 ile en büyük payı fosil yakıtların aldığı görülmektedir (Kumbur vd., 2014). 2013 yılı verilerine göre, petrol yüzde 32.9'luk oranla dünyanın en çok tercih edilen yakıtı iken, doğal gaz yüzde 23.7, kömür ise yüzde 17.4 paya sahiptir (BP, 2013: 2). Bu yüksek orana rağmen, fosil yakıtların tüketim eğilimi azalan bir trende sahiptir (BP, 2014: 16)

Bu azalmanın en önemli sebebi, fosil yakıtların yarattıkları çevresel sorunlardır. Fosil yakıtlardan yanma sonucu enerji elde edildiğinde, ortaya çıkan yanma ürünlerinin ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  ve  $\text{SO}_2$  gibi gazlar) büyük oranda hava kirliliğine yol açtığı kanıtlanmıştır. Ayrıca fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan yüksek orandaki  $\text{CO}_2$  (karbondioksit) ve CO (karbonmonoksit), yerkürenin sıcaklığının artmasına neden olmakta, bu da iklim dengelerinin bozulmasına yol açmaktadır. Atmosferdeki su buharı ile birleşen  $\text{SO}_2$  (kükürtdioksit) ve  $\text{NO}_x$  (nitrojen oksitler) gazları da esas olarak asit yağmurlarına yol açmakta ve bu da dünyanın ekolojik dengesinin bozulmasına neden olmaktadır (Kadioğlu ve Telliöğlu, 1996: 57).

### **1.2.1.2. Nükleer Enerji**

Geleneksel enerji türleri arasında yer alan nükleer enerji, radyoaktif maddelerin atomlarına uygulanan işlem sonucu elde edilen enerji kaynağı olarak geleneksel enerji türleri arasında yer alır. Filyon (ayırma) ve füzyon (birleşme) tepkimeleri ile elde edilen nükleer enerji, fosil yakıtlarda olduğu gibi bir yanma işlemini kapsamaz. Fosil yakıtlara olan bağılılığın enerji üretimde yarattığı engelleri aşmak amacıyla, özellikle 1970-1985 yılları arasında önemli teknoloji atılımlarıyla dünyada yaygınlaşan nükleer enerji, dünyadaki toplam enerji üretiminin yüzde 5.6'sını karşılamaktadır (Kumbur vd., 2014).

2014 yılı itibarıyla 31 ülkede 439 reaktörde üretilen nükleer enerji, fosil yakıtlar gibi çevresel etkileri dolayısıyla tehlikeli kabul edilmektedir. 2011 yılının Mart ayında Japonya'daki Fukuşima nükleer santralinde deprem ve depremsonrasında oluşan tsunami sonucu ortaya çıkan büyük çaplı hasar, dünyada enerji kaynağı olarak nükleer yerini tartışmaya açmıştır (Kara, 2014:196). Nükleer santrallerde meydana gelen kazaların sonuçlarının hem doğa hem de insanoğlu için çok yıkıcı olması sebebiyle, Almanya'nın başı çektiği 13 ülke, bu doğrultuda nükleer enerjiden tamamen vazgeçme kararı alarak 2020 yılına kadar tüm nükleer santrallerini kapatma kararı almıştır (Muradov, 2012: 108-109). Nükleer enerji üretimi, diğer kömür, doğal gaz veya petrol kullanarak enerji üreten teknolojilere göre çok daha az miktarda CO<sub>2</sub> salınımına neden olsa da, enerji üretimi esnasında oluşan nükleer atıklarla ne yapılması gerektiği ve korumalı depolama sırasında dahi doğaya zarar verip vermedikleri halen kesinleşmemiştir (Kara, 2014: 198).

### **1.2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Bu enerji kaynakları enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilmesi ile tanımlanır. Güneş, rüzgâr, hidrojen (akarsu ve dalga),



biyokütle (biyolojik dönüşüm maddeleri) ve jeotermal kaynaklardan elde edilebilen yenilenebilir enerjinin tesisler, hayvanlar ve insanlar tarafından kalıcı olarak tüketilmesi mümkün değildir. Aynı zamanda, söz konusu enerji kaynaklarının çevresel zararları olmaması da bu kaynakları tercih edilir kılan sebeplerin başında gelmektedir.

Yukarıda sıralanan yenilenebilir enerji kaynakları, dünyadaki toplam enerji kaynakları arasındaki payı yüzde 19'a tekabül etmektedir. Biyokütle kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yaklaşık yüzde 50'sini kapsayan tüketim payıyla başı çekmektedir. Bu kaynakları, sırasıyla jeotermal, hidrogüç, güneş ve rüzgâr enerjileri takip etmektedir.

Bu kaynakların kullanımı, sırasıyla elektrik üretimi, ısınma/soğutma, ulaşım ve enerji iletimi alanlarında yoğunlaşırken, bu kaynaklar, dünyanın elektrik üretiminin yaklaşık yüzde 22'sini (yaklaşık 560 gigawatt) karşılamaktadır. Hidrogüç, yüzde 16.4 oranla elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları arasında ilk sırada yer alırken, onu yüzde 2.8'le rüzgar, yüzde 1.8'le biyokütle, yüzde 0.7'yle güneş ve yüzde 0.4'le jeotermal takip etmektedir. Isıtma/soğutma alanında, yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya toplamındaki payı yüzde 10'u bulurken, bu oran, İsveç ve İzlanda'da yüzde 60'ı aşmaktadır. Daha önce bahsedilen yenilenebilir enerji kaynaklarının depolama problemi, bu kaynakların ulaşım alanındaki kullanımını kısıtlamakta ve dünya üzerindeki toplam üretimin yüzde 3'ünün bu kaynaklardan elde edilmesine yol açmaktadır.

2008-2014 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları kurulum oranı hatırısayılır bir aşama kaydetmiş ve buna bağlı olarak, bu kaynakların kullanım payı, tüm enerji kaynakları içinde yaklaşık yüzde 15'lik bir artış sergilemiştir (REN21, 2014).

### **1.2.2.1 Güneş Enerjisi**

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışın enerjisidir. Bu enerji kaynağından yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşüş göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir: Fotovoltaik güneş teknolojisi ve ısı güneş teknolojileri. *Fotovoltaik hücreler* denen yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirken, *ısı güneş sistemlerinde* öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilir gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir (EİE, 2014).

#### **1.2.2.1.1 Güneş Enerjisinin Avantajları**

Güneş, bol ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Çevreyi kirletici, duman, gaz, karbonmonoksit, kükürt ve radyasyon gibi zararları yoktur. Güneş enerjisi, yerel uygulamalar için elverişlidir, enerjiye ihtiyaç duyulan, hemen hemen her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür. Kaynağı dışa bağlı olmadığından ekonomik olarak bağımsızdır. Birçok uygulaması için karmaşık teknolojiye gerek duyulmamaktadır. Ulaşım problemi yoktur, güneşin her yerde olduğu düşünülünce enerji gereksinimi olan bölgeye kurulabilir. Kurulan sistemlerin bakım maliyetleri yoktur veya çok azdır. Boş alan olarak duran bölgelerde (örneğin çöllerde veya binaların çatılarında) enerji üretmesi sağlanabilir.

### **1.2.2.1.2 Güneş Enerjisinin Dezavantajları**

Birim yüzeye gelen güneş ışınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç vardır. Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolanması gerekmektedir. Enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında güneş ışınımı azdır ve ayrıca ışınım geceleri hiç yoktur. Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışınımı sürekli alabilmesi için çevrenin açık olması gerekir. Güneş ışınımının daha verimli çalışması için sisteme dik gelmesi gerekmektedir, bunun için de daha yüksek verim almak için güneşi takip eden sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da maliyeti arttırıcı bir etkidir. Su ısıtma sistemlerinde yüzde60 a yakın verim sağlanırken, güneş pillerinde bu oran yüzde 15 20 civarındır. Henüz çok yüksek verimle elektrik elde etmek mümkün olmamaktadır.

### **1.2.2.2 Rüzgar Enerjisi**

Güneşin yer yüzeyini ve atmosferi homojen ısıtmamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava akımı oluşur. Bir hava kütlesi mevcut durumundan daha fazla ısınır, atmosferin yukarısına doğru yükselir ve bu hava kütesinin yükselmesiyle boşalan yere, aynı hacimdeki soğuk hava kütlesi yerleşir. Bu hava kütlelerinin yer değiştirmelerine rüzgar adı verilmektedir. Bu hava akımının yarattığı kinetik enerji, özellikle türbin sistemi sayesinde kullanılabilir enerjiye çevrilir. Rüzgar türbinleri, rüzgar enerji santrallerinin ana yapı elemanı olup hareket halindeki havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye ve sonrasında elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir.

Rüzgar enerjisinin avantajları, güç kaynağının sonsuz olması, temiz bir kaynak olması ve bakım ve işletme maliyetlerinin düşük olması olarak sıralanırken, bu uygulamaların ilk yatırım maliyetinin yüksek, kapasite faktörlerinin düşük oluşu ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajları da mevcuttur (EİE, 2014).

### Şekil 1.1: Rüzgar Türbini



*Kaynak: Greenland Tech, 2015*

#### 1.2.2.3 Hidrogüç

Hidrogüç, hareket halindeki sudan elde edilen enerji kaynaklarını kapsar. Hidrogüç ağırlıklı olarak hidroelektrik santraller tarafından kullanılabilir enerjiye çevrilir. Belirli bir yükseklikte duran suyun potansiyel enerjisinin önce kinetik sonra da türbinler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüşmesi prensibiyle çalışan hidroelektrik santrallerin üreteceği gücü, akan suyun akış veya düşüş hızı tayin eder. Bu hızı artırabilmek amacıyla hidroelektrik santraller, suyun birikmesini sağlayacak barajlarla birlikte inşa edilirler.

Baraj ve santrallerin ilk yatırım bedellerinin yüksek olmasının yanı sıra, barajların vahşi hayata ve doğal kaynaklara zararları, bölgesel kültürler ve tarihi yerlerin yok edilmesi ve su kalitesine etkisi gibi sorunlar sıralanabilir. Yine de dünyadaki her ülke için bu enerjiyi kullanma potansiyelinin çok yüksek olması, hidroelektrik santralleri temiz enerjinin en yaygın kaynaklarından biri haline getirir (EİE, 2014).

Hidrogücün yeni geliştirilmekte olan bir çeşidi olan dalga enerjisi, direkt olarak dalga yüzeyinden veya yüzey altındaki dalga basınçlarından elde edilir. Dalga enerjisini kullanma yöntemleri, henüz projelendirme aşamasında olduğundan yaygın kullanımdan bahsedilemez. Genel olarak, dalga enerji teknolojileri, kıyıda, kıyıdan biraz uzakta ve açık denizde kurulmak için tasarlanmıştır. En elverişli

tasarımlardan birkaçının ticari kullanım için uygulama testleri yapılmaktadır (Waters vd., 2014: 85).

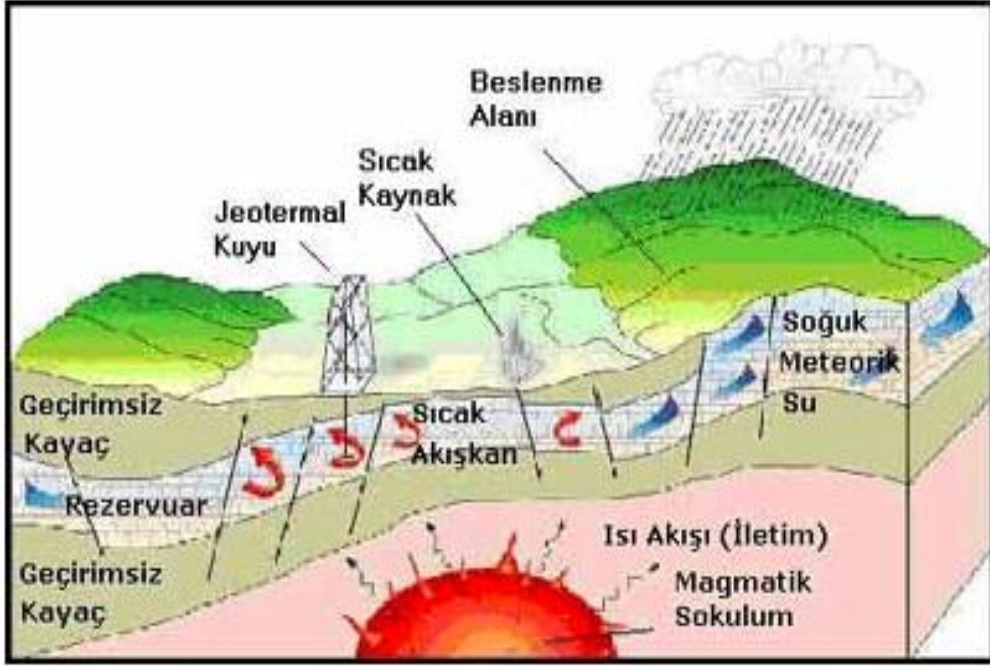
#### **1.2.2.4 Biyokütle**

Biyokütle, yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış biyolojik maddelerden yakıt elde edilmesi ya da diğer endüstriyel amaçlarla kullanılması ile ilgilidir. Yaygın olarak, biyoyakıt elde etmek amacı ile yetiştirilen bitkiler ile lif, ısı ve kimyasal elde etmek üzere kullanılan hayvansal ve bitkisel ürünleri ifade eder. Biyokütle için mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkiler, otlar, yosunlar, denizdeki algler, hayvan dışkıları, gübre ve sanayi atıkları, evlerden atılan tüm organik çöpler (meyve ve sebze artıkları) kaynak oluşturmaktadır. Biyoyakıtlar, biyoetanol, biyobütanol, biyodizel ve biyogazlar olarak sıralanabilir. Biyokütle enerjisi tükenmez bir kaynak olması, her yerde elde edilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir (EİE, 2014).

#### **1.2.2.5 Jeotermal Enerji**

Jeotermal, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardır. Jeotermal enerji de bu jeotermal kaynaklardan ve bunların oluşturduğu enerjiden doğrudan veya dolaylı yollardan faydalanmayı kapsamaktadır. Yerkabuğunun birkaç kilometre altından magma tabakasına kadar farklı derinliklerden yeryüzüne ısı pompaları sayesinde çıkan sıcak su , enerji santrallerinde elektrik üretme bina ve sera ısıtma aynı zamanda serinletme işlerinde kullanılır. Jeotermal ısı pompası, hava taşıma sistemi ve ısı transfer borularından oluşur. Kış aylarında jeotermal kaynaklı ısı formundaki enerjiyi iç mekana aktaran pompa, yaz aylarında tersine çalıştırma yöntemiyle iç mekandan topladığı ısıyı dışarı taşıyarak oda sıcaklığını düşürür ve serinletme işleminde kullanılır (EİE, 2014).

Şekil 1.2 : Jeotermal Enerji



*Kaynak: EİE, 2014*

## **2. ENERJİ DEPOLAMA VE ÖNEMİ**

Günümüzde artan nüfus, üretimdeki enerji ihtiyacının artması ve enerji kaynaklarının azalması, enerji arz güvenliliğini öncelikli sorunlardan biri haline getirmiştir. Küresel ısınma tehlikesinin kontrol edilebilir düzeyde tutulmaya çalışılması da, enerji güvenliliğinin temiz ve doğaya zararı olmayan kaynaklar tarafından karşılanması ihtiyacını doğurmaktadır. Bu ihtiyaç, yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasının yanı sıra, depolanma ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Elde edilen enerjinin verimli bir şekilde depolanması ve ihtiyacı karşılayacak en uygun dönüşümlerin geliştirilmesi yararlı olacaktır (Sarı, 2011).

### **2.1 DEPOLAMANIN ÖNEMİ**

Yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgâr, dalga, vb.) miktarı ve kalitesi günlük değişimlere uğrayabilmektedir. Enerjinin yakalanıp faydalı enerjiye dönüştürüldüğü zamanlar enerjiye en çok ihtiyaç duyulan zamanlar olmayabilir. İhtiyaca cevap verecek şekilde enerjinin yakalanıp iletilebiliyor olması gereklidir. Aksi takdirde, güç seviyesinde düşme ve kesintiler oluşur. Ayrıca elektrik dağıtım sisteminde talep olduğunda, yenilenebilir enerji kaynakları, bu talebe o anda cevap veremiyorsa, mutlaka yedek bir sistem bulundurmak gerekmektedir. Bu noktada, hem yenilenebilir hem de fosil enerji kaynaklarının kullanıldığı hibrid teknolojiler çözüm olmaktadır. Eğer hibrid sistem bir seçenek değilse, enerji depolama sistemi bir gereklilik haline gelir.

Biyokütle ve hidrojen gibi yenilenebilir enerji türlerinin kendi doğal depolama kapasiteleri zaten mevcuttur. Biyokütlerde bağlardaki kimyasal enerji ve hidrojen barajda duran suyun potansiyel enerjisi bu potansiyeli oluşturur. Jeotermalde ise enerji, aktif rezervuarı oluşturan kaya kütlelerinde korunan ısı şeklindedir.

Uzak ve şebeke dışı bölgelerde küçük ölçekli uygulamalar halinde rüzgâr türbininden ya da fotovoltaik ekipmandan elde edilen elektrik enerjisi pillerde depolanabilmektedir (Kozak ve Kozak, 2012).

## **2.2 ENERJİ DEPOLAMANIN AMACI VE FAYDALARI**

Bir yandan enerjinin kullanıldığı alanlarda oluşan atık enerjiyi depolama (sanayi ve endüstrideki atık ısının depolanması), diğer yandan, yalnız belirli zamanlarda enerji verebilen (güneş enerjisi) yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisini depolayarak, enerji temin zamanı ile talebi arasında doğabilecek farkı gidermeye amaçlanmaktadır.

Bu sayede enerji sistemlerinin verimi artırılmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Örneğin kış aylarında ısı enerjisinin depolanarak yeniden kullanılması ısıtma sistemlerinde yüzde 22 yaz aylarında aynı yöntemle iklimlendirme sistemlerinde ise yüzde 40'a varan oranda bir enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Yardımcı enerji kaynağına duyulan ihtiyaç azaltılmaktadır. Böylece, değerli olan fosil yakıt rezervleri (kömür, petrol ve doğal gaz gibi) muhafaza edilmiş olacaktır.

Enerji üretimi için kullanılan yakıtların çevreye verdiği zararın önüne geçilmesinde önemli rol oynar. Daha az fosil yakıt tüketilmesine bağlı olarak çevreye yayılan sera gazı miktarının azalması sağlanacak ve böylece daha temiz bir hava solunmuş olacaktır. Ayrıca bu sayede küresel ısınmaya karşı önemli ölçüde destek sağlanmış olacaktır. Elektrikle ısıtılan evlerde gece boyunca tüketilen enerjinin fazlasının depo edilerek gündüz saatlerinde ısıtma sistemlerinin daha az kullanılması, gündüz kullanılan enerjinin gece kullanılanlardan daha pahalı olmasından dolayı bireysel ekonomiye de katkı sağlayabilir. Ülkemizin fosil yakıtlar bakımından dışa bağımlılığı da düşünüldüğünde, enerji depolamayla sağlanacak enerji tasarrufunun ülke ekonomisine de ciddi katkılar sağlayacağı aşikardır. Enerji depolama konusundaki çalışmalar yalnızca bizim gibi enerji ihtiyacında dışa

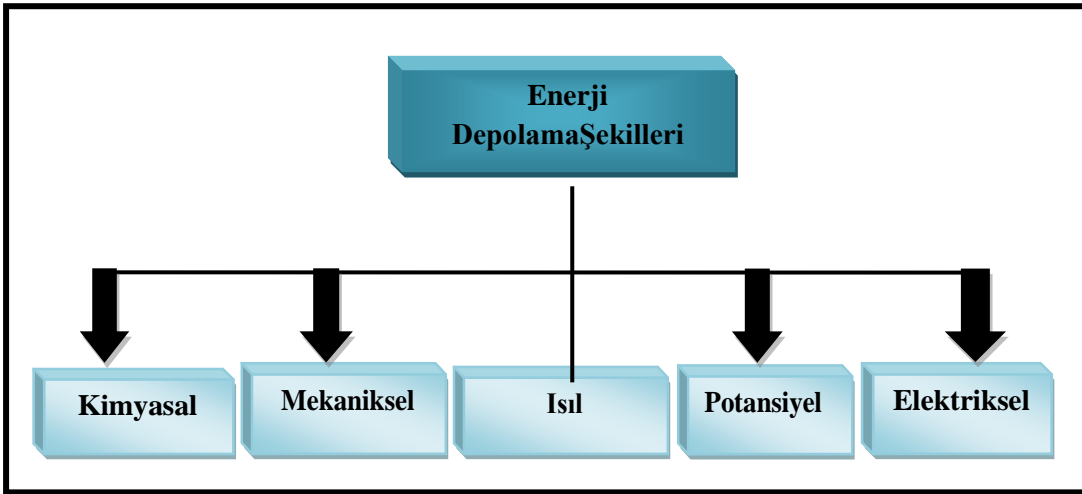


bağımlı ülkelerde değil, çok sayıda gelişmiş ülkelerde de rağbet görmektedir (Sarı, 2011).

### 2.3 ENERJİ DEPOLAMA ÇEŞİTLERİ

Enerjiyi istediğimiz zaman kullanabilmek için onu saklamaya yarayan depolama çeşitli şekillerde olabilmektedir. Bir depoda aranan özellikler yüksek depolama kapasitesi, yüksek şarj/deşarj verimi, kendiliğinden boşalmanın ve kapasite kayıplarının az olması, uzun ömürlülük, uygun maliyet ve enerji yoğunluğun olmasıdır. Yani enerjiyi en az hacimde ve ağırlıkta depolayabilmelidir. Enerji için çok değişik formlarda depolama yöntemleri vardır. Kimyasal, mekaniksel, ısı enerjisi, potansiyel ve elektriksel depolama depolamanın başta gelen yöntemlerindedir (Boztepe, 2006).

**Şekil 2.1: Enerji Depolanma Çeşitleri**



*Kaynak: Kozak ve Kozak, 2012*

Kimyasal enerji depolama, enerjinin kimyasal bileşiklerin oluşturduğu bağlarda depolanmasıdır. Mekaniksel enerji depolama, enerjinin harekete hazır araçlar vasıtasıyla depolanmasıdır ve bu yöntem, hazneli pompalı sistemler, sıkıştırılmış hava sistemleri ve volanlar aracılığıyla uygulanabilir. Isıl enerji depolama, bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı olan ısı enerjisinin maddenin iç enerjisi olarak depolanması anlamına

gelmektedir. Potansiyel enerji depolama, maddenin bulunduğu yüksekliğe bağlı olarak sahip olduğu enerjiye denir ve yer çekimi gücüne bağlıdır. Elektriksel enerji depolama ise enerji kaynakları vasıtasıyla elde edilen elektrik enerjisinin ultrakapasitör/süperkapasitörler, yakıt hücreleri, süper iletken manyetikler, lityum-iyon piller, kurşun asit piller, nikel kadmiyum piller ve nikel-metal hibrid piller vasıtasıyla depolanmasına denir(Boztepe, 2006).

### 3. NANOTEKNOLOJİNİN ENERJİ ALANINDA UYGULAMALARI

Nanoteknoloji, boyut büyüklüğünün 1'den 100 nanometreye kadar olan maddenin kontrolü' olarak tanımlanır (NNI, 2001). Tanım belirli bir teknolojik amaçtan çok, verilen büyüklük sınırının altında oluşan maddenin özel niteliklerini ele alan tüm teknoloji ve araştırma türlerini kapsayan bir araştırma kategorisini ifade etmektedir.

Bu kavram, ilk olarak ünlü fizikçi Richard Feynman tarafından atomların direkt kontrolü aracılığıyla bir sentezin olasılığında bahsettiği çalışmasında ortaya atılmış ve ilk kez 1974'de Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır. Feynman'ın kavramlarından etkilenen K. Eric Drexler, nanoteknoloji terimini bağımsız olarak 1986'da kurduğu The Foresight Institute (Öngörü Enstitüsü) aracılığıyla geliştirme yoluna gitmiştir. Böylece 1980'lerde nanoteknolojinin bilim dalı olarak ortaya çıkması, üzerine yapılan deneylerin yaygınlaştırmasına ve kullanımının artmasına sebep olmuştur. 1989'da nanoteknoloji vasıtasıyla geliştirilen atom kontrolünde başarılı bir şekilde kullanılmış ve IBM Zurich Research Laboratory'da bu sistemle atomik mikroskop geliştirilmiştir (Adams ve Baughman, 2005). 1990'larla birlikte nanoteknolojideki gelişmelerin hızlanmasıyla, bu yolla üretilen ürünler ticarileşmeye başlamıştır. 2000'li yıllarda, ABD'nin 3.7 milyar dolar, Avrupa Birliği'nin 1.2 milyar dolar ve Japonya'nın da 750 milyon dolarlık yatırım yaptığı alanda potansiyel uygulamaların yelpazesi bir hayli genişlemiştir (The Daily Star, 2012).

Günümüzde nanoteknoloji, yer bilimi, organik kimya, moleküler biyoloji, yarı iletken fiziği, mikrofabrikasyon gibi bilim alanlarında kullanılmaktadır. Bu sayede, ilaç, elektronik, biyomalzeme ve enerji üretiminde olduğu gibi geniş uygulama yelpazesiyle birçok araç ve madde yaratabilmektedir (Saini vd., 2012).

Yukarıda belirtildiği gibi nanoteknoloji uygulamaları enerji alanında da gelişmeye başlamış ve özellikle nano-üretim alanındaki yeniliklerle enerji sektörünü de etkilemiştir. Enerji tüketimi ve üretimi alanlarını etkilemeye başlayan

nanoteknoloji projeleri, özellikle aydınlatma ve ısınma verimliliğini yükseltme, elektrik depolama kapasitesini artırma ve enerji üretiminde ortaya çıkan kirliliğin temizlenmesine odaklanmaktadır (Jensen, 2014).

Daha verimli hafif malzemelerin ve güçlü sistemlerin kullanımıyla, ulaşım ve aydınlatma sektöründe yüksek güç ve enerjinin tüketimi azaltılmıştır. Geleneksel lambaların yerini almaya başlayan nanoteknolojik ışık yayan diyotlardan (LED) oluşan lambalarla enerji tüketiminin azalması bunun başlıca örneklerindedir. Bu sayede, enerji verimliliği yüzde5'in üzerinde gelişme göstermiştir (Sullivan, 2014).

Nanoteknoloji sayesinde enerji verimliliğinin artmasını sağlayan bir diğer ürün de güneş pilleridir. Yenilenebilir enerji alanında önemli bir atılım yapılmasını sağlayan güneş pilleri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren nanoteknolojik güneş hücrelerinden oluşmaktadır ve güneş enerjisinin kullanımındaki verimliliği yüzde40 oranında artırmıştır. Enerji iletiminde nanoborucukların kullanılmasıyla iletim gücünün yaklaşık 10 bin kat arttığına keşfedilmesi de enerji iletimindeki zararı azaltarak enerji verimliliğini yükseltebilecek bir diğer gelişmedir (Hessen, 2008: 5).

Tüm bu gelişmelerin yanı sıra, yenilenebilir enerjinin yaygın olarak kullanılmasının önündeki en büyük engel olan depolama sorunu alanında da nanoteknolojik gelişmeler yaşanması, temiz enerjinin kullanımını önemli ölçüde arttırması açısından en önemli atılımların yolunu açacaktır. Bu bağlamda, Teksas Üniversitesi araştırmacılarının geliştirdiği karbon nano-süperkapasitörün yaygın olarak kullanılmaya başlaması, enerji tüketimi alışkanlıklarını değiştirebilecektir.

Nanosünger olarak adlandırılan bu süperkapasitör, elektrik enerjisini süngere benzeyen gözeneklerinde depolama özelliğine sahiptir. Nanosüngerler, kimyasal bazlı pillere göre enerjinin daha hızlı ve verimli şekilde iletebilmesi sağlayacak, yenilenebilir enerjinin depolanmasını kolaylaştıracak ve bu enerji türünün gündelik hayattaki kullanımını yaygınlaştıracaktır (Sullivan, 2014).

#### 4. ENERJİ DEPOLAMASINDA TEKSTİL ÖRNEKLERİ

Yukarıda sözü edilen yenilenebilir enerjinin nanoteknolojik gelişmelerle depolanmasını mümkün kılan buluşlar, tekstil alanında da görülmektedir. Dolayısıyla bugün artık tekstil endüstrisi, sadece giyim için değil, aynı zamanda akıllı giysiler üzerine de çalışmaktadır. Giysilerin her daim maruz kaldığı güneş ışınlarının giysiler tarafından enerji üretiminde kullanılması fikri, fotovoltaik hücreler vasıtasıyla artık mümkün kılınmaktadır.

Fotovoltaik materyaller, tekstil malzemelerine entegre edilerek, tekstil ürününün kendi kullanımının kaybına sebep olmadan, güneş ışığından veya benzer ışıktan faydalanarak elektrik üretebilmektedir. Üretilen enerjinin depolanması da, fotovoltaik materyalden üretilen bir güneş pilini tekstil üzerine entegre edilmesi veya iplik ve lif gibi küçük yapıların fotovoltaik materyalden üretilmesiyle mümkün olabilmektedir.

Fotovoltaik özellikteki tekstil ürünleri, birçok alanda kullanılabilmektedir. Özellikle askeri alanda kullanılmaya başlayan bu ürünler, ısınma, soğutma ve iletişim vasıflarını haiz elektrikli cihazlara ihtiyacı olan askerler için güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmekte ve daha sonra kullanılması için depolamaktadır. Fotovoltaik liflerin üretilebilir olması, tekstil ürünlerinin bu özelliğin daha kolay entegre edilebilmesi açısından umut vericidir. Zira üretilen ürünlerde yer alacak olan liflerin günlük kullanıma uygun olması için esnek ve rahatlıkla giyilebilir olması gerekmektedir (Goode, 2015).

Bu bölümde, böyle bir ürünün fayda-maliyet analizi yapılmadan önce, ilk olarak güneş hücresinin ne olduğu ve nasıl çalıştığı anlatılmış ve bu hücrelerin nasıl tekstil ürününe dönüştüğü ifade edilmiştir.

## 4.1 GÜNEŞ HÜCRESİ

Fotovoltaik hücreler denilen güneş hücreleri, fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Hücrenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak yüzde 5 ile yüzde 30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir ve güneş pilleri üretilmiş olur. Güneş hücrelerinin yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilir ve genellikle 100 cm civarında, kalınlıkları ise 0,1-0,4 mm arasındadır (EİE, 2014).

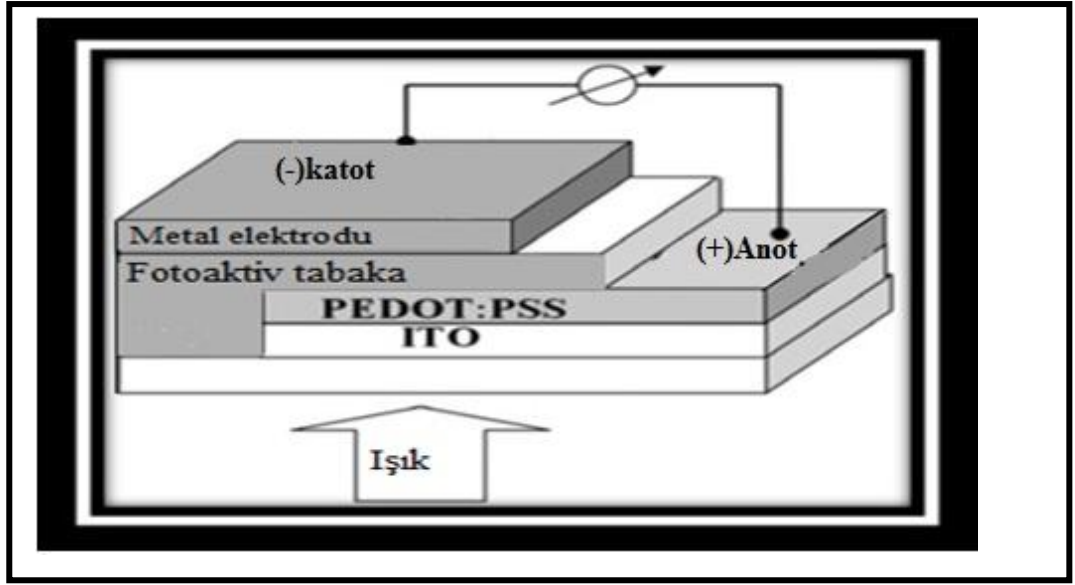
Tarihsel olarak fotovoltaik hücre, ilk olarak 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Bec uerel tarafından tanımlanmıştır. Daha sonra 1883 yılında ilk güneş pili Charles Fritts tarafından geliştirilmiştir. 1946 yılında Russell Ohl, modern solar hücre patenti almıştır. 1954 yılında, Bell Labotuarları'nda ilk pratik güneş hücresi bulunmuştur ve bu hücre, 1958'de Vanguard I isimli uyduda kullanılmıştır. 1973'teki petrol kriziyle birlikte, güneş enerjisi araştırmalarına yönelik yoğun bir ilginin oluşması, güneş hücreleri üretimini yayınlattırıştır. 1990'larda yarı iletkenlerin ucuzlamasıyla, güneş hücrelerinin üretimi kolaylaşmış ve nanoteknolojide yaşanan gelişmelerle güneş hücreleri boyut olarak küçülebilir hale gelmiştir (Gevorkian, 2007).

## 4.2 GÜNEŞ PİLİNİN ÇALIŞMASI

Güneş pili, fotovoltaik gücü kullanarak çalışır. Temel olarak, pilde olan özel fotovoltaik malzeme, güneş ışığını emer ve pilin içindeki iletken yardımıyla bir elektron alış verişine destek olur. Bu sayede, elektrik akışını sağlayarak temiz bir elektrik enerjisi depolanmasına yardımcı olur (Aernouts vd., 2008). Fakat güneş pilleri, birçok alanda kullanılmasına rağmen yaygın uygulanmasının önünde çeşitli sorunlar mevcuttur.

Geleneksel güneş pilleri, iki sert ve ağır olan cam plakalar arasında muhafaza edilir veya hücreler cam ile kaplıdır. Cam levhalar kırılabilirliği, güneş pillerinin depolanmasını ve taşınmasını zorlaştırmaktadır. Yakın zamanda plastik filmlerle kaplı güneş pilleri ortaya çıkmış, ancak plastik kaplı güneş hücreleri henüz yaygın kullanıma uygun hale getirilememiştir.

**Şekil 4.1 : Güneş Pilin Çalışması**



*Kaynak : Campos vd, 2005*

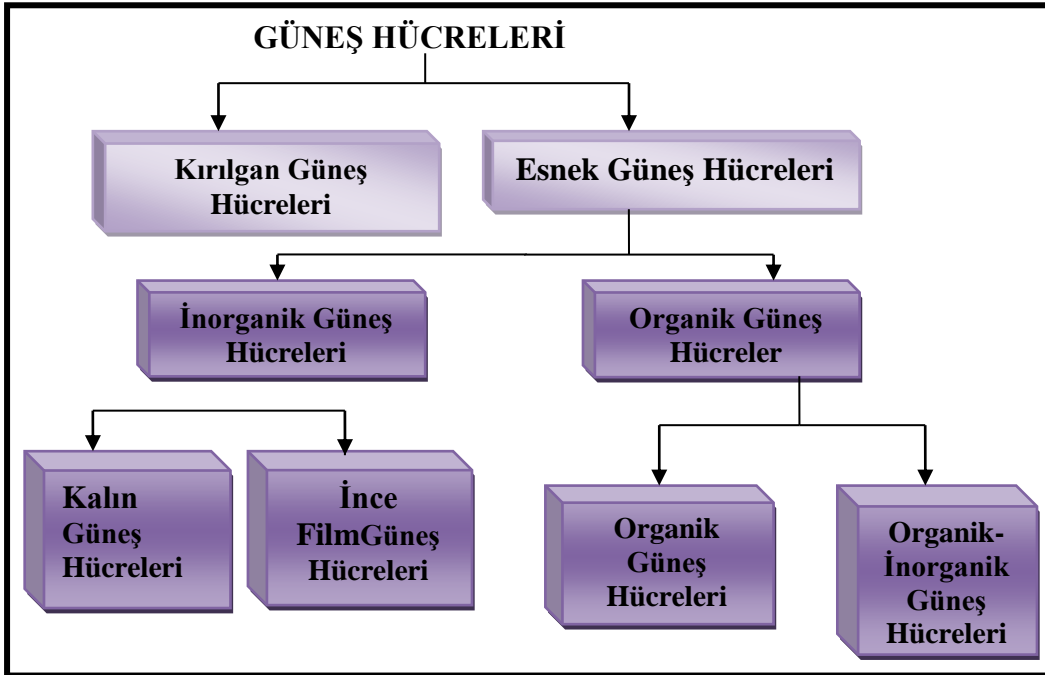
Diğer yandan, güneş pillerine dair bu sorunu aşan, enerji ve tekstil alanındaki nanoteknolojik gelişmelerdir. Tekstile entegre edilen güneş pilleri giderek yaygınlaşmıştır. Son zamanlarda güneşten koruma sağlayan ve güneş enerjisini elektriğe dönüştüren tente tasarımları ve üretimleri başlamıştır. Yeni tasarlanmış olan esnek güneş hücreleri, şeritler halinde yelken bezi üzerine bağlanarak yeni yelkenlerde kullanılmaktadır.

### **4.3 GÜNEŞ HÜCRELİ TEKSTİLLER (Solar Textiles)**

Güneş pillerinin tekstile entegrasyonu, organik fotovoltajik hücrelerin üretimiyle mümkün olabilmektedir. İndiyum kalay oksidin çok iyi ışık iletim kabiliyeti nedeniyle polimer bazlı güneş hücrelerinde ortak bir şeffaf elektrot olarak

kullanılmasıyla sağlanan fotovoltaik hücreler, oldukça pahalı ve esnek tekstil ürünleri ile kullanılması ,çok kırılğan olmaları nedeniyle risklidir. Bu nedenle polistiren sülfonat ile takviye edilmiş son derece iletken bir poli (3,4-etilendioksitiyofen) PEDOT: PSS karbon nano-tüp veya metal tabakalar, İTO elektrot yerine tercihen kullanılmaktadır. Bu sayede elde edilen organik fotovoltaik hücreler, düşük maliyetleriyle, gelecekteki fotovoltaik tekstil uygulamaları için umut verici bir yol olabilir.

**Şekil 4.2: Güneş Hücreleri Çeşitleri**



*Kaynak : Singh, 2011: 44*

Güneş hücreli tekstil ürünlerinde bulunan fotovoltaik lifler, genellikle 4 ve 10mm<sup>2</sup> arasında bulunur. Genellikle fotoaktif tabaka kalınlığı yaklaşık 280-350nm arasında kalır. Kalın bir filmin üzerine ince bir tabaka ile karşılaştırıldığında, daha fazla ışık absorbe eder. Film kalınlığı artarak, elektriksel alan ve yük taşıyıcılarının sayısı azalır ve dolayısıyla cihazların dış kuantum verimliliğinde bir azalma gözlenmektedir. Kalınlık optimizasyonu fotovoltaik liflerin çeşitli katmanları, gücünü artırmak için polimer bazlı güneş hücreleri dönüşüm verimliliğini sağlar. C60 bariyer tabakası kuruluş tekstil fotovoltaik performansını artırabilir. Yüksek



ölçüde verimli bir fotovoltaik cihaz elde etmek için, solar radyasyon etkin olarak absorbe edilmesi gerekmektedir (Singh, 2011: 61).

#### **4.4 ORGANİK FOTOVOLTAİK HÜCRELERİN ÜRETİMİ**

Organik fotovoltaik hücrelerin üretiminde, indiyum kalay oksidin (İTO) çok iyi ışık iletim kabiliyeti nedeniyle polimer bazlı güneş hücrelerinde ortak bir şeffaf elektrot olarak kullanılmaktadır. Ancak oldukça pahalı ve esnek tekstil alt tabakalar ile kullanılması çok kırılabilir olmaları nedeniyle risklidir. Bu nedenle, polistiren sülfonat ile takviye edilmiş son derece iletken bir poli (3,4-etilendioksitiofen) PEDOT: PSS karbon nano-tube veya metal tabakalar İTO elektrot yerine tercihen kullanılmaktadır. Bu ürünler, düşük maliyet ve gelecekteki fotovoltaik tekstil uygulamaları için umut verici bir yol sağlayabilirler (Singh, 2011: 45).

##### **4.4.1 Rulodan Rulo Kapsama Tekniği**

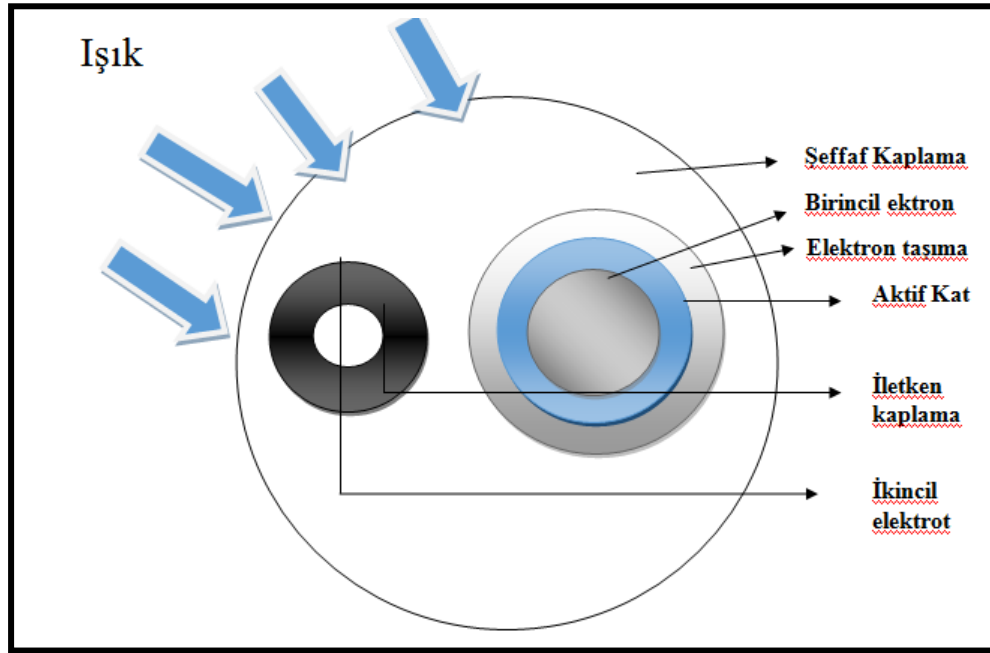
Rulodan ruloyakapsama (R2RNIL) tekniği, yüksek ölçüde geliştirilmiş ham madde vasıtasıyla yüksek hızlı ve geniş alanlı nano-ölçekli örgü için çözüm sağlayabilir. 4 inç genişliğe sahip alanda bulunan esnek bir taban üzerine rulodan rulo kapsama (R2RNIL) yeteneğine sahip yeni geliştirilmiş aparat kullanılarak, tipik güneş pilleri sürekli baskılanabilmektedir. 300 nm çizgi genişliğindeki ızgara desenler, sürekli esnek plastiğe aktarılır.

Rulodan rulo kapsama tekniğinden daha yüksek verim elde edilmesi için Avrupa Birliği kapsamında "HIFLEX" adında bir araştırma projesi başlatılmıştır. Bu projenin amacı, bu tekniği daha verimli hale getirerek ticarileştirmektir. Son derece esnek olan organik fotovoltaik (OPV) modülleri, ticari açıdan rulodan rulo kapsama teknikleriyle entegre edildiğinde, geniş alan organik fotovoltaik (OPV) modülleri daha az maliyetli üretim sağlayacaktır (Singh, 2011: 45-6).

#### 4.4.2 İnce Film Depolama Teknikleri

İnce film fotovoltaiikleri yüksek verimli depo teknikleri icadından sonra düşük maliyetli hale gelmiştir. Bu depolama teknikleri, ürünün daha uzun ömürlü olmasını sağlamak, yüksek hücre verimliliğini ve hareket kabiliyetini artırmak için araştırılmaktadır (Singh, 2011: 46). Şekil 7de gördüğümüz gibi bir fiber şeklindeki organik fotovoltaiik hücre konsantrik ince bir tabaka kullanılarak üretilmiştir:

Şekil 4.3: Fotovoltaiik Lif Kesiti



*Kaynak: Singh, 2011: 46*

##### 4.4.2.1 Duyarlı Boyalı (DSC)Güneş Hücreleri

Genel olarak boya duyarlı güneş hücreleri, temel olarak  $TiO_2$  geniş bant aralığında olan bir tabaka üzerinde ışığa hassas duyarlı boya kullanarak, bir elektrik akışını sağlamaktadır. Ti lifinin  $TiO_2$  hassas boyayla kaplanmasıyla üretilir.  $TiO_2$  tabakasının uyum ve yapışma işleminde, dokuma sonrasında PV verimliliğinin sürdürülmesi önemli faktör olarak ön plana çıkmaktadır. Çözgü ve atkı lifleriyle de gerilime uygun dokuma kumaşta yüksek PV verimi almak mümkündür.Şablon

destekli elektro-biriktirme tekniğiyle, metalize tekstil veya tekstil-uyumlu metal teller üzerinde ZnO ince gözenekli filmler enerji birikimi için uygun hale getirilir. Tekstilde fotovoltaiik malzemenin kullanım sınırlarını belirlemek için sıcaklığı 150 C nin altında tutmak gereklidir. Bu nedenle, düşük sıcaklıktaki sulu çözeltiler ve yarı iletken filmler, elektrotekstil esaslı fotovoltaiik geliştirmek için en güvenilir yöntem haline gelmiştir. Yarı iletken malzeme olarak gözenekli ZnO, depolamak için de Ag kaplı poliamid iplikleri ve lifler kullanılır (Singh, 2011: 48).

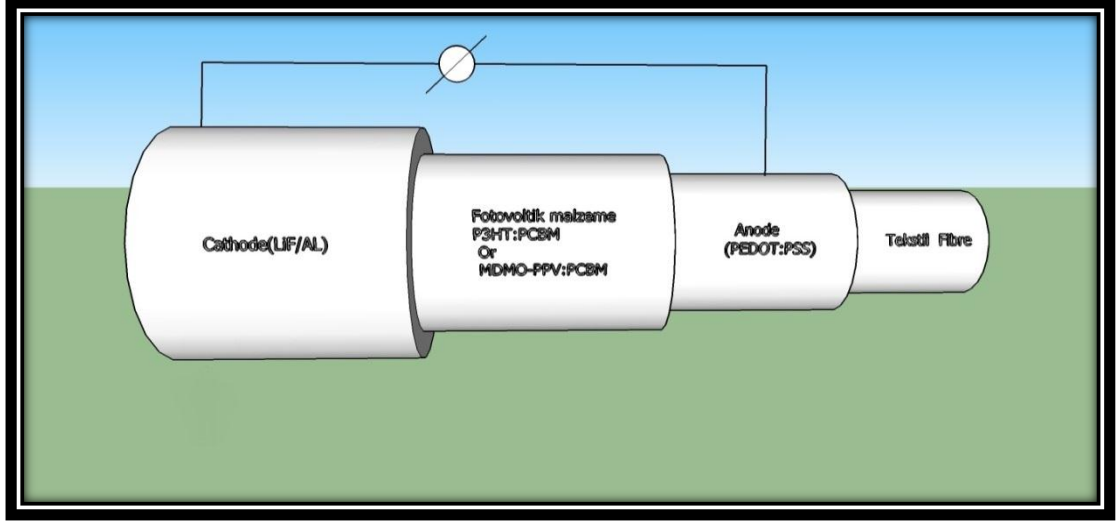
#### **4.4.2.2 Plastik Güneş Hücresi Baskısı**

Organik yarı iletken tabanlı güneş pillerinin üretimi için kullanılabilir bir diğer teknik, mürekkep püskürtmeli baskıdır. Bu yöntemle, hücreler, tekstile elverişli yüzeylere hızla entegre edebilmektedir. Yüksek ve düşük kaynama noktalı çözücülerin karışımı (yüzde 68 orthodichlorobenzene, yüzde 32 1,3,5-trimetilbenzen), baskılı organik güneş hücreleri üretmek için uygun bulunmuştur. Mürekkep püskürtmeli baskı, bu çözeltilerinin depozisyonu için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Singh, 2011: 50).

#### **4.4.3 Fotovoltaiik Lifler**

Güneş hücre lifleri, birçok kumaşta kullanılabilen bir materyaldir. Bu hassas liflerden oluşan piller, çok hafif ve incedirler. Bunun sağlanması için yapısında polimerlerin bulunması ve nano bazlı materyalleri kullanması gerekmektedir.

**Şekil 4.4 : Fotovoltaik Lif Yapısı**



*Kaynak : Singh, 2011: 52*

Şekil8de olduğu gibi bu lif, birkaç tabakadan oluşmaktadır. İlk tabakada, uygun bir sentetik veya pamuk ipliği kullanılabilir. İkinci tabaka, iletken bir polimerle (polipropilen, polistyren) kaplanır. Bu fotovoltaik tabaka için, foluren karışımı polimer konjuge ve primer bazlı nanomalzemeler kullanılması,ticari ölçülerde üretim yapılması adına fayda sağlar. Ancak üretilen elektriğin cihazdan dışarıdaki bir başka cihaza geçiş yapabilmesi için, lifin altı ve üstü kaplanmalıdır.Son tabaka olarak alüminyum, gümüş ve magnezyum, üst elektrot tabakasında kullanılabilir. Bu tabakanın incelik olarak 10 nm olması gerekmektedir.

#### **4.4.3.1 Polimer Yapılı Esnek PV Lifler**

2009 yılında, Ayşe Bedeloğlu ve tekstil mühendisleri grubu, Dokuz Eylül Üniversitesi'nde PV lifleri için yeni bir metot üretmişlerdir. Bu metot, nanomaddeler ve polimer yapıya sahip olan materyallerden faydalanarak, esnek ve tekstil maddelerine uyumlu PV lif üretilmesini sağlamıştır. Güneş hücresinde toplu heteroeklem karışımları anot olarak ve bir yarı iletken de katot olarak, tabakalar halinde PV lifin üzerine kaplanarak, bu fotovoltaik hücreler elde edilmektedir (Bedeloğlu vd., 2009).

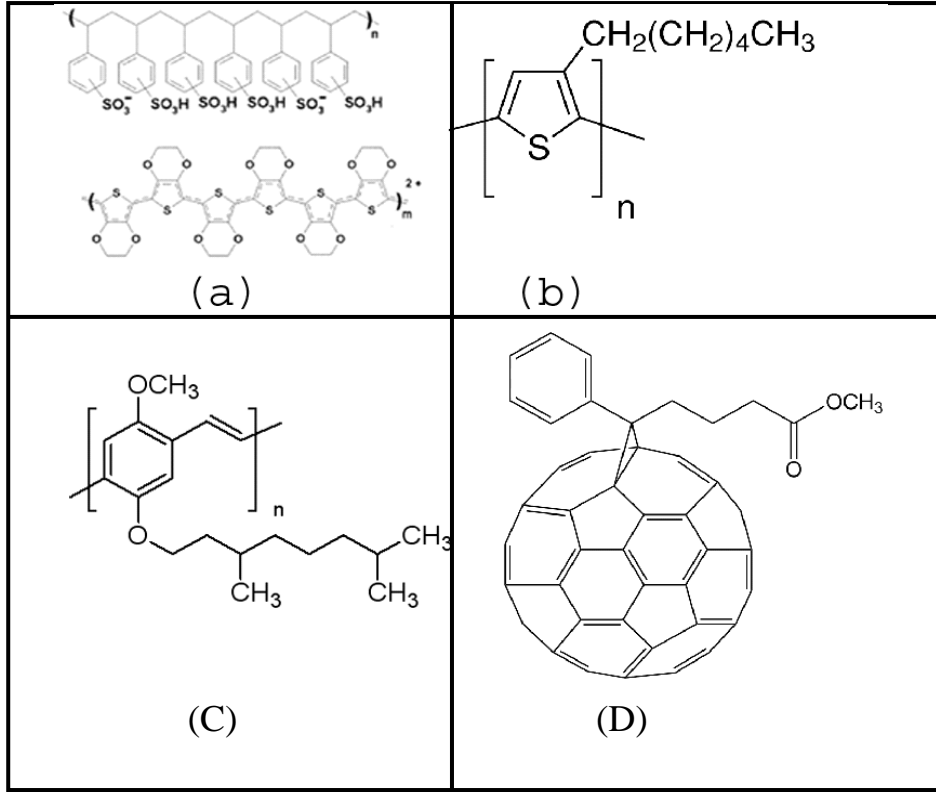
#### 4.3.3.2 Polimer Yapılı Esnek PV Lifler Yönteminin Detayları

Fotovoltaik lifler, PEDOT:PSS tabakası, fotoaktif tabakası ve metal tabakasından oluşur. İlk tabaka ve yapı olarak, monofilament, 0.59 mm çapında kullanılır ve sonra saydam olmayan malzeme ve iletken olmayan monofilin (5 cm uzunluğunda) kesilir. Ardından lifler, yavaşça metanol, izo-propanol ve damıtılmış su ile endüstriyel ve çevresel kirleticilere karşı temizlenir ve içindeki azot akışından kurutulur. Bir sonraki aşamada, son derece iletken bir çözelti olan PEDOT:PSS (Baytron PH 500) ve yüksek bir iletkenliğe sahip takviyeli eşlenik polimer olan anot olarak elde edilmiştir. PEDOT: PSS karışımı, yaklaşık yüzde 5 dimetilsülfoksit (DMSO) (Sigma-Aldrich) ve yaklaşık yüzde 0.1 Triton X-100 (Sigma-Aldrich), lifin yüzeyine iletkenliği ve yapışmayı iyileştirmek için ilave edilerek hazırlanır ve 24 saat karıştırılır.

Daha sonra lifler, tek tek PEDOT:PSS karışımı ile kaplanmış ve 3 saat boyunca 50°C'de kurutulur. Numuneler (Bir azot ortamında), vakum altında yaklaşık 24 saat saklanır. Geleneksel organik güneş hücreleri hazırlandığında, ITO, cam alt tabakası olarak kullanılmakta ve genellikle PEDOT:PSS kaplandıktan sonra daha sonra (100 C) sıcaklıkta tam kuruması için ısıtılır, ancak bu çalışmada kullanılan PV elyafları gibi tekstil yapılarında bu sıcaklıklar sabit değildir. Yani, lif güneş hücreleriyle düşük sıcaklıklarda dairesel yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla ısıtma işleminin 50 C'lik bir sıcaklıkta ve daha uzun bir zaman süresinde (3 saat) yapılması, tam PEDOT:PSS çözümü için yeterlidir.

Üçüncü aşamada, fotoaktif malzeme iki çeşit nanokaplama ile benzer bir şekilde hazırlanır. Bunun elde edilmesi için P3HT (Rieke Özel Polimerler) birleşik polimer olarak ve fenil C61 butirik asit metil ester (PCBM) (nano-C), malzeme ile P3HT ve PCBM'nin 1:0.8 oranında klorobenzen içinde eritilmeleriyle hazırlanır. Bu arada ise poli [2-metoksi-5-(3,7-dimetiloktiloksi)-1,4-fenilenvinilen] (MDMO-PPV) (Merck) ve PCBM karışımı 1'e 4 oranında klorobenzende eritilir. P3HT, MDMO-PPV ve PCBM gibi kimyasal yapılar, Şekil 9'da sırasıyla (a), (b), (c) ve (d) olarak verilmektedir.

Şekil 4.5 : (a) PEDOT : PSS , (b) P3HT , (c) MDMOPPV , and (d) PCBM



*Kaynak: Bedeloğlu, 2009*

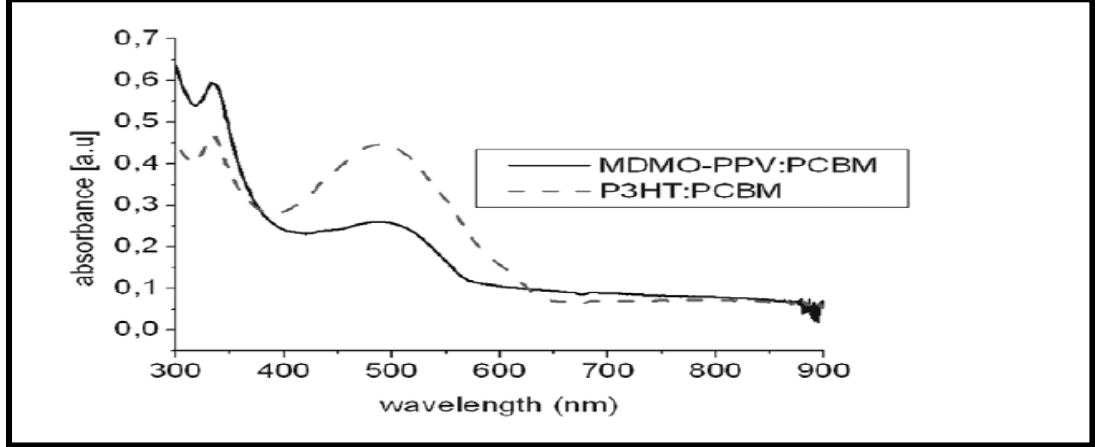
Dikdörtgen maskeler ( $2 \times 8 \text{ mm}^2$ ), fiber tabanlı güneş pilleri üzerine metal katmanların kaplanması için kullanılır. Lifler, maskenin deliklerinin ortasına yerleştirilir ve geri kalan delikler elyaf çapına göre kaplanır. Sonra numuneler, bir eldiven buharlaşma kabin kutusu içine yerleştirilir (MBraun). 0,7 nm ve 10 nm Al lifler, vakumda biriktirilir: Bu lifler, termal buharlaştırma tekniği yaklaşık  $5 \times 10^{-6}$  mbar kullanılarak yapılmıştır.

Metal katmanlarının birikmesinden sonra, fotoelektrik ölçümlerden önce eldiven kutusu içinde küçük gümüş boya damlaları, fotovoltajik elektrot üzerinden daha iyi elektrik iletilmesi için yerleştirilir.

#### 4.3.3.3 Polimer Yapılı Esnek PV Lifler Yönteminin Karakterizasyonu

Fotovoltaik liflerin elektrik performansı bir eldiven kutusu sistemi (MBraun) içinde etkisiz bir argon atmosferinde karakterize edilmiştir. Fotovoltaik tüm cihazların akım-gerilim (I-V) özellikleri, 100 mW/cm<sup>2</sup> yoğunlukta bir karanlıkta ve simule 1,5 AM küresel güneş koşullar altında bir Keithley 236 kaynak ölçü birimiyle ölçülmüştür. Güneş simülatörü kaynağı (KH Steuernagel Lichttechnik GmbH) standart bir kristal silikon diyot kullanılarak kalibre edilmiştir. Fotovoltaik lifler, katot tarafında içinden aydınlatılmıştır. Daha sonra, fotovoltaik elyaflar hazırlanmış ve özellikleri aynı gün ölçülmüştür. Ölçümler için, ince filmler spin kaplama yöntemi kullanılmıştır. Mikroskop ile 10 mg P3HT, 8 mg P3HT, 4,5 mg MDMO-PPV, 18 mg PCBM içeren klorobenzen çözeltilerinde gözlenmiştir. Bu ince filmler için absorpsiyon spektrumları Şekil 10'le verilmiştir.

**Şekil 4.6 : P3HT:PCBM Ve MDMO-PPV:PCBM Absorpsiyon Çözümü İçin Spektrumları**



*Kaynak : Bedeloğlu, 2009*

#### 4.3.3.4 Polimer Yapılı Esnek PV Lifler Sonuçları ve Tartışmaları

Genel olarak, elyaf ya da bant şekillerde imal tekstil esaslı malzemeler, tamamen saydam olmayan materyaller olup renklilerdir. Bu nedenle, bu tür yapılar, dış yüzeyinden ışık alır. Fotovoltaik lif, alt-tabaka olarak saydam olmayan PP monofilament göz önüne alındığında, ışık iletilebilir ve içinden yarı saydam bir üst

elektrot (yaklaşık 10 nm (10 ± 0.7 nm)), katot olarak kullanılabilir .İTO katmanı kırılgenliğı, yüksek maliyetli ve tekstil uygulama açısından sorunlarından dolayı fotovoltaiik lifler formasyonunda kullanılmamıştır.PEDOT:PSS tabakası, iyi iletkenlik, esneklik ve kolay bir kaplama işlemi olan anot olarak İTO katmanı yerine başarıyla kullanılmıştır. Geri donüşümlü poliolefinler düşük fiyatıyla en ilginç termoplastik malzemelerden biridir.Yüksek ölçüde verimli bir fotovoltaiik cihaz elde etmek için, radyasyonun etkin olarak absorbe edilmesi gerekmektedir.

Buradan da görülebileceği gibi, görünür aralığında absorbe 400 nm den daha kısa olan dalga boylarında polimer MDMO-PPV:PCBM ve P3HT: PCBM absorbesinde bulunmaktadır ve 400-700 nm dalgaları arasında MDMO-PPV:PCBM absorbasyon daha yüksek ve daha iyidir. Ancak 400 nm'den sonra absorbasyon ters olur (Bedeloğlu, 2009)

**Tablo 4.1: Farklı foto katmanları (MDMO-PPV: PCBM ve P3HT: PCBM) sahip olan fotovoltaiik liflerin fotoelektrik özellikleri**

Fotoaktifmalzemenintürü	VOC (MV)	Isc (mA/cm2)	FF(yüzde)	
P3HT:PCBM	360	0,11	24,5	10
MDMO-PPV:PCBM	300	0,27	26,0	21

*Kaynak : Bedeloğlu, 2009*

Tabloda, fotovoltaiik parametrelerinin yüksek değerler de görülebileceği gibi,PCBM bazlı fotovoltaiik lifler: 360 mV, 0.11 mA / cm<sup>2</sup>, yüzde 24.5 bir dolgu faktörü ve P3HT den yüzde 0.010 bir güç konversiyon randımanınının bir kısa devre akımı yoğunluğuna ve açık devre gerilimi ile elde edilmiştir Buna ek olarak, MDMO-PPV: PCBM bazlı fotovoltaiik lifler 300 mV açık devre yaratır. 0,27 mA / cm<sup>2</sup> devre akımı yoğunluğu, yüzde 26 dolgu faktörü ve yüzde 0,021 arasında bir güç değişim randımanına sahiptir.Bu sonuçlara göre, MDMO-PPV:PCBM'nin



Güç konversiyon randımanı, P3HT : PCBM fotovoltaik liflerden daha yüksek olmuştur.

#### 4.4.4 Fotovoltaik Tekstilin Karakterizasyonu

Çeşitli fotovoltaik tekstillerin karakterizasyon performansları pazara göndermeden önce kanıtlamak gerekmektedir ki, en iyi üretime elde edelim. Aşağıda fotovoltaik lifleri için birkaç parametre tanımlıyoruz:

##### 4.4.4.1 Fotovoltaik Tekstilin Kalınlığı ve Fotovoltaik Tekstil Morfolojisi

Taramalı elektron mikroskobu, güneş hücrelerinin kalınlığını ve morfolojisi araştırmak için kullanılır. Çeşitli verici ve alıcı tabakaları incelemek için de kullanılır. LEO Supra 35 Tarama elektron mikroskopları ve diğer çeşitli kaplanmış tabakaların varlığını ve kalınlığını nanometre seviyesinde tekstil yüzeyleri ölçmek için kullanılabilir. Fotovoltaik lifler üzerinde çeşitli katmanlar 50000x görüntü büyütmesiyle açıkça görülebilir.

##### 4.4.4.2 Fotovoltaik Tekstilin Akım ve Gerilimi

Fotovoltaik lifler, noktasında açık devre gerilimi, kısa devre akım yoğunluğu, akım ve gerilim karakterize etmek amacıyla 100 mW / cm<sup>2</sup> aydınlatma altında maksimum güç çalıştırılmaktadır. Fotovoltaik tekstil, akımların voltajı fotovoltaik verimliliğini hesaplamak için çalışma esastır.

$$\eta = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (4.1)$$

V<sub>oc</sub> açıkdevre gerilimi (I için = 0), genellikle volt olarak ölçülen (V)

I<sub>sc</sub> amper / metre kare olarak (V = 0 için) kısa devre akımı yoğunluğu (A / m<sup>2</sup>)

P<sub>out</sub> aydınlatma altında cihazın çıkış elektrik gücü

Pin güneş radyasyonu (watt / metre<sup>2</sup>) W / m<sup>2</sup>

FF dolgu faktörü ve aşağıdaki ilişki ile açıklanabilir:

$$FF = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (4.2)$$

V<sub>mpp</sub> maksimum güç noktasında gerilim (MPP)

I<sub>mpp</sub> maksimum güç noktasında geçerli olan(MPP)

Gerilim ve akım ürünü maksimize durumlarda

#### 4.4.4.3 Dolgu Faktörü

Güneş hücrelerinin kalitesi dolgu faktörü açısından ölçülür. Tekstil esaslı fotovoltaik dolgu faktörü elektrotların kötü kalite veya malzemelerin farklı tabakalar arasındaki zayıf iletişimi nedeniyle düşük kalmaktadır. Uygun tekstil altyapı ve daha fazla optimizasyon işlemi parametreleri ve işlemlerin seçilmesi ile birimine doğru geliştirilebilir.

#### 4.4.4.4 Mekanik Karakterizasyon

Tekstil alt yapısı çeşitli koşulları altında farklı gerilimlere maruz kalır.Bu nedenle her zamanki çekme karakterizasyonu fotovoltaik tekstil için gereklidir. PV liflerin çekme testi için, uzatma sabit oran (CRE) tabanlı çekme test makineleri Lineer Değişken Diferansiyel Transformers (LVDT) deplasman sensörü kullanarak dakikada deformasyon oranı başına 1 mm kullanılmaktadır. Kırılma fenomen çekme test ile entegre yüksek çözünürlüklü video kamera vasıtasıyla kaydedilir. Yapışma ile ilgili çalışma ve tekstil yapılar üzerine kaplamanın çatlak oluşumu için, genel olarak, 30 mm kalınlık uzunluğu özellikle fotovoltaik lifler için kullanılır.

#### 4.4.4.5 Katı Filmlerin Absorpsiyon Spektrumları

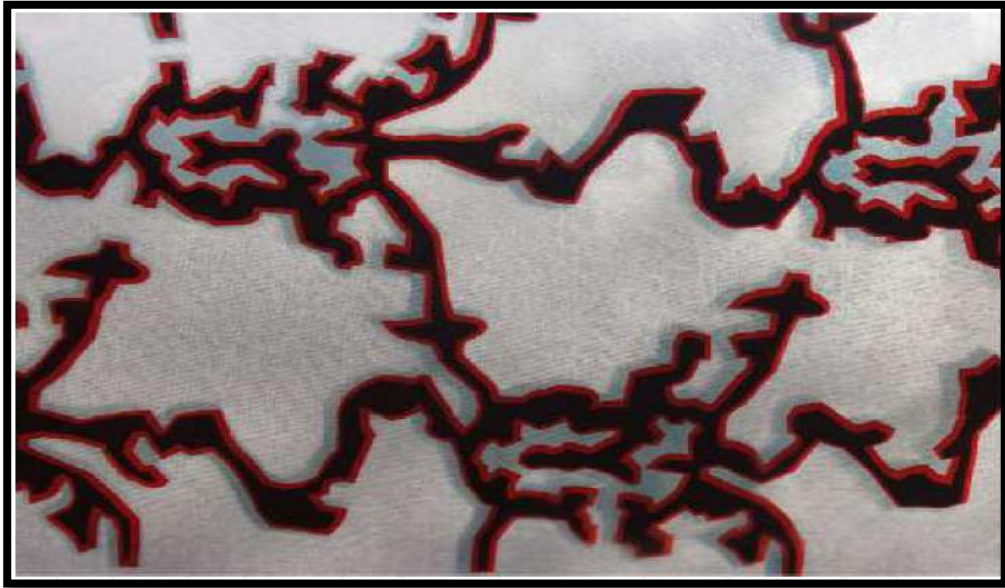
Varyanv gibi çeşitli spektrofotometreler 3G UV-Görünür kullanarak fotovoltaiik filmlerin ultraviyole absorpsiyon görünür.

#### 4.4.5 Fotovoltaiik Tekstildeki Gelişmeler

Amerika Birleşik Devletleri'nde başarıyla üretilen fotovoltaiik bir lifi; bir Alman şirketinin lif özelliklerini optimize ederek, güç üreten kumaşa örme çalışmaları takip etmektedir. Böylece fotovoltaiik liflerin dokumalı yapılara entegre edilmesi mümkün olacak ve kumaş, kaplamalar, çadır ve giysilerin içine yerleştirilebilecektir.

Desenli fotovoltaiik polimer güneş hücreleri, sıradan bir dikiş makinesi kullanılarak giyim üzerine eklenebilir. Hücreler arasındaki bağlantılar da elbisenin içine dikili olup bakır tel ile yapılmıştır. Şekil 4.4.5(1) ve 4.4.5(2)'de gösterildiği gibi güneş pilleri, bir elbiseye ve bir kemeredahil edilebilmiştir:

**Şekil 4.7 : Fotovoltaiik Dekoratif Desenler**



Kaynak: [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)

Fotovoltaik polimerler kullanılarak üretilen ince film solar hücreleri göstermiştir ki, bu filmle yapılan farklı kalıpları,giysilerin içineyerleştirilebilerek yapılması daha uygundur.Polimer fotovoltaik teknolojisi, üretim aşamasında olduğundan, içinde yer alan pek çok boşluğun önce köprülerle doldurulması gerekir.

#### Şekil 4.8 : Fotovoltaik Dekoratif Desenler



*Kaynak : ([www.intechopen.com](http://www.intechopen.com))*

Güneş pili teknolojisinde fotovoltaik malzemeler kullanılarak yeni binalar için tasarımlar yaratılmıştır. Sheila Kennedy, 3-D modelleme yazılımını kullanarak tekstil güneş hücrelerinden çatılar ve duvarlar için verimli kaplama materyalleri tasarlamıştır. Şekil 4.4.5(4)'te gösterildiği gibi bu materyaller çadırda kullanılmıştır.

**Şekil 4.9 : Fotovoltaik Tekstil bir Çadır**



*Kaynak:www.intechopen.com*

Ayrıca olması muhtemel savaşlarda, fosil yakıt gücünün neden olacağı lojistik yükü azaltmak amacıyla, ABD ordusunun Natick Asker Araştırma, Geliştirme ve Mühendislik Merkezinde (NSRDEC), ordu için fotovoltaik (PV) tekstilde dahil olmak üzere, gerçek üç boyutlu, dayanaklı ,esnek ve büyük ölçekli materyallerinüretilebilirlik için potansiyeline yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Tekstil alanı daha çok çadırlarda kullanılmaya yöneliktir.

**Şekil 4.10 : ABD Askerleri İçin Hazırlanan Fotovoltaik Çadır**



*Kaynak: Gournley, 2013*

## 5. FOTOVOLTAİK LİFLER İÇİN MALİYET ANALİZİ

Yenilenebilir enerji üzerine yapılan çalışmaların yoğunlaşması, bu alandaki yeni keşiflerin gündelik hayata uygulanmasını da beraberinde getirmektedir. Bu uygulamaların yolunu açan seri üretim, ancak bir ürünün maliyetinin sağladığı faydayı karşılmasıyla mümkün olabilmektedir. İlk yatırım açısından oldukça pahalı olarak görünen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önündeki en büyük engellerden birisi de budur.

Çalışmanın bu bölümünde bir fotovoltaik tekstil pilinin maliyet analizi yapılmıştır. Bunun için, bir fotovoltaik tekstil pilinde kullanılacak alternatif maddelere ve iki farklı üretim teknolojisine göre, ürün hazırlama fiyatları karşılaştırılacaktır. Bu teknolojinin henüz büyük ölçekte üretime izin vermemesi sebebiyle karşılaştırma birim maliyet üzerinden yapılabilmektedir.

### 5.1 GÜNEŞ PİLİ MALİYETİ HESAPLAMALARI

Üretim ve hizmet gerçekleşmesi için harcanmış tutarları kapsayan maliyet hesabı, malzeme maliyeti, işçilik maliyeti ve genel imalat maliyeti hesaba katarak hazırlanır. Fotovoltaik tekstil pili için farklı iplik türlerinden elde edilecek farklı liflerden dokunacak güneş pilinin malzeme maliyeti hesaplanmıştır. Farklı tür iplikler için bir adet lifin maliyeti hesaplandıktan sonra, dokunacak güneş pilinin masrafı çıkarılmıştır. 1 cm<sup>2</sup> olarak dizayn edilecek olan güneş pili için 16 adedi çözümlü, 14 adedi atkı olmak üzere 30 lif gerektiği hesaplanmıştır. Dolayısıyla farklı iplik türleri için hesaplanan bir adet lif fiyatı her seferinde 30 ile çarpılarak 1 cm<sup>2</sup>'lik güneş hücresiyle dokunmuş kumaşın malzeme maliyeti çıkarılacak ve bu fiyat üzerinden 5 cm<sup>2</sup>'lik kumaşın maliyeti için bu fiyat 5'le çarpılmıştır. Toplam maliyetin hesaplanması için diğer iki bileşen olan işçilik ve genel imalat maliyetlerinin farklı güneş pilleri için aynı olduğu kabul edildiğinde, güneş pilleri arasındaki maliyet karşılaştırması, malzeme maliyeti üzerinden yapılmıştır (Interlab. 12.10.2014). (Malzeme maliyeti hesaplamaları için Interlab firmasından amaca uygun olarak fiyat teklifleri alınmıştır.)

### 5.1.1 DSC Fotovoltaik Teknolojisinin Malzeme Maliyeti

DSC fotovoltaik teknolojiyle üretilen lifin muhteviyatı ve bu muhteviyatın maliyetleri tablo 5.1 de verilmiştir. Monofilament üzerinde yapılan ve kimyasal tekniklerle fiber üzerine kat kat kaplanan malzemelerle üretilen bu güneş pilinin hesaplanan birim maliyeti 2 mm (milimetre) çapında bir ipliğin üretim maliyetini vermektedir. Bu ipliğin ortalama 50 lif içerdiği kabul edilirse, bu maliyetin üzerinden bir adet lifin maliyeti 50'ye bölünerek hesaplanmıştır.

**Tablo 5.1 : DSCFotovoltaik Teknolojisinin Malzeme Maliyeti**

MADDE	Maliyeti	Ambalaj	Birim Maliyeti 1 gr	Özellikler
<b>TiO<sub>2</sub></b> (titanyumdioksit) nanotoz, partikül boyutu 25 nm'den küçük,	407TL	100 gr	4,07 TL	Fotovoltaik aktivitesi var Aktif yüzey alanı Yüzey alanında bulunan hidroksil miktarı Kristal yapısı Çeşitli parametreler
<b>ZnO&lt;50 nm</b> partikül boyutu yüzde 97'den büyük	110TL	18 gr	6,11 TL	Yarı iletken
<b>Ti(titanyum) fiber</b>	690TL	20 gr	34,5 TL	Esnek lif ince-sıcaklığa dayanır
<b>COUMARIN 30, Boya</b> İçeriği 99 yüzde	160TL	18 gr	8,88 TL	Fotovoltaik özelliklerine sahip bir renk
<b>Toplam fiyat</b>		2 mm çapında ipliksonuç	<b>53,56 TL</b>	

*Kaynak* : Naghmeh Kharraziamin

Toplam maliyeti 53.56 TL olarak hesaplanan DSC fotovoltaik hücrenin bir adet lifinin maliyeti,  $53.56/50=1.07$  TL olarak hesaplanmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi, 1 cm<sup>2</sup>'lik güneş pilinin dokunması için gerekli olan lif adedi 30 olduğundan, DSC fotovoltaik hücrenin toplam malzeme maliyeti,  $1.07*30=32.1$  TL olacaktır. 5 cm<sup>2</sup>'lik DSC kumaşında toplam maliyeti 160,5 TL olacaktır.

### 5.1.2 Fotovoltaik Pv Lif A'nın Malzeme Maliyeti

Bir önceki bölümde belirtildiği gibi, Pv teknolojisiyle üretilen fotovoltaik lifler, çok farklı ve çeşitli malzemelerden üretilebilmektedir. Bu çalışmada da üç farklı maddeden yapılmış kumaşlar Lif A, Lif B ve Lif C olarak isimlendirilmiş ve bu kumaşların maliyetleri sırasıyla hesaplanmıştır.

**Tablo 5.2 : Pv Teknolojisiyle Üretilen Lif A'nın Malzeme Maliyeti**

	MADDE	Ambalaj	Maliyeti	1 gram	Özellikler
Tekstil lif	Pp	20 gr	690 TL	34,5 TL	Esnek lif- ince-sıcaklığa dayanır
Anode Pedot:PS S	Dimethylsulfoxide(DMSO)	18gr	279 TL	15,5 TL	İletken
	10 yüzde Triton x-100	18gr	510 TL	28,33 TL	İletken
Photaacti ve material	P3HT:3,4- ETHYLENEDIOXYTHIO PHENE, 97 yüzde	18g	270 TL	15 TL	Fotovoltaik
	PCBM :Phenylc61 butric acid methyl	18gr	709 TL	39,38 TL	
Cathode	Al 10 NM	1kg	800TL	0,8 TL	İletken
TOPLAM FİYAT		2 mm çapında iplik		<b>133,51 TL</b>	

**Kaynak :** Naghmeh Kharraziamin



Tablo 5.2’te Lif A olarak isimlendirilen ve çapı yaklaşık 1,5-2 mm’lik ipliğini çeriği ve malzeme maliyeti gösterilmektedir. Bu hesaba göre, lifin birim fiyatını bulmak için 133.51 TL’lik maliyeti 50’ye bölmek gerekmektedir. 2.67 TL çıkan bir adet lifi fiyatı, 1 cm<sup>2</sup>’lik kumaş için 30 ile, sonrasında da 5 cm<sup>2</sup>’lik kumaşın maliyetinin hesaplanması için 5 ile çarpılmıştır. (2.67 30 5 = 400.5 TL), kumaş maliyeti çıkmıştır.

### 5.1.3 Fotovoltaik Pv Lif B’nin Malzeme Maliyeti

Lif B olarak isimlendirilen ipliğin muhteviyatı ve toplam maliyeti aşağıda yer alan tablo 5.3 teki gibidir:

**Tablo 5.3 : Fotovoltaik Pv Lif B’nin Toplam Maliyeti**

	MADDE	Ambalaj	Maliyeti	1 gr	Özellikler
Tekstil lif	Pp	20 gr	690 TL	34,5 TL	Esnek lif-ince-sıcaklığa dayanır
Anode Pedot :PSS	5 yüzde Dimethylsulfoxide(DMSO)	18 gr	279 TL	15,5 TL	İletken
	Triton x-100	18 gr	510 TL	28,33 TL	
Photaactive material	MDMO POLY[2-METHOXY-5-(3",7"DIMETHYLOCTYLO)	18 gr	527 TL	29,27 TL	Fotovoltaik
	PCBM: (6,6)-PHENYL-C61BUTYRIC ACID BUTYL ESTER	18 gr	709 TL	39,38 TL	
Cathode	Al (catode)10 NM	1 kg		0,8 TL	Metal iletken ince
Toplam fiyat		2 mm çapında iplik		<b>147,78 TL</b>	

**Kaynak :** Naghme Kharraziamin

Toplam maliyeti 147.78 TL olarak hesaplanan Lif B'nin bir adet lifinin maliyeti,  $147.78/50=2.95$  TL olarak hesaplanmaktadır.  $1 \text{ cm}^2$ 'lik güneş pilinin dokunması için gerekli olan lif adedi 30 olduğundan, Lif B'nin toplam malzeme maliyeti,  $2.95*30=91.6$  TL olmuştur.  $5 \text{ cm}^2$ 'likLif B kumaşının da toplam maliyeti 458TL olmuştur.

#### 5.1.4 Fotovoltaik Pv Lif C'nin Malzeme Maliyeti

Lif C olarak isimlendirilen ipliğin muhteviyatı ve toplam maliyeti aşağıda yer alan tablodaki gibidir:

**Tablo 5.4 : Fotovoltaik Pv Lif C'nin Toplam Maliyeti**

	MADDE	Ambalaj	Maliyeti	1 gr	Özellikler
Tekstil lif	Pp 0.59	20 gr	690 TL	34,5 TL	Esnek-ince-sıcaklığa dayanır
Anode Pedot :PSS	Carbonnanotube( anode) <i>Multi (Çoğul) Duvarlı Karbon Nanotüpler</i> $OH >50 \text{ nm}$	100 gr	572 TL	5,72 TL	İletken
Photo active material	P3HT:3,4-ETHYLENEDIOXYTHIOPHENE, 97 yüzde	10 gr	270 TL	27 TL	Fotovoltaik
Cathode	Mgo	10 gr	201 TL	20,1 TL	İletken
	Toplam Maliyet	2 mm çapında iplik		<b>87,32 TL</b>	

**Kaynak :** Naghmeh Kharraziamin

Lif C olarak isimlendirilen ipliğin lif birim fiyatını bulmak için 87.32 TL'lik maliyeti 50'ye bölmek gerekmektedir.  $1.74$  TL çıkan bir adet lifi fiyatı,  $1 \text{ cm}^2$ 'lik kumaş için 30 ile, sonrasında da  $5 \text{ cm}^2$ 'lik kumaşın maliyetinin hesaplanması için 5 ile çarpılacaktır.  $1.74 \cdot 30 \cdot 5 = 261$  TL, kumaş maliyeti olarak olmuştur.

## 5.2 Malzeme Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Bu çalışmada küçük birölçekte DSC ve farklı materyaller sahip fotovoltaik lifler arasında malzeme ve son ürün maliyetlerideğerlendirilmiştir. Bu metotların ve farklı malzemelerin karşılaştırmalı tablosu aşağıdaki gibidir:

**Tablo 5: Malzeme Maliyeti Ve Verimlilik Karşılaştırılması**

Farklı Ürünler	Malzeme Maliyet 1cm <sup>2</sup>	Malzeme Maliyeti 5 Cm <sup>2</sup>	(%) (Tekstil, Akımların Voltaj Va Fotovoltaik Verimliliği)
Dscfotovoltaik Tekstil Teknolojisi	32 TL	160 TL	53.7*10 <sup>-6</sup>
Fotovoltaikpv Lif A	80TL	400 TL	10*10 <sup>-3</sup>
Fotovolatikpv Lif B	91.6 TL	458 TL	21*10 <sup>-3</sup>
Fotovoltaikpv Lif C	52.2 TL	261 TL	21*10 <sup>-3</sup>

**Kaynak :** Bedeloğlu, A., Demir, A., Bozkurt, Y.,Sarıçiftçi N. S. (2009).*Synthetic Metals*, 2043 2048 & Minna T, Marju F (2008) *Thin Solid Films* 517 (2009) 2799 2802

Tabloda da görülebileceği üzere, DSC teknolojisiyle üretilen fotovoltaik tekstil pilinin son ürün maliyeti, fotovoltaik pv liflerden çok daha ucuzdur. Fotoaktif maddesi daha farklı olan Lif C de, Lif A ile Lif B'den daha ucuza mal olmaktadır. Lif C ise yüksek katot maliyetiyle son ürün fiyatı en yüksek olan lif türüdür.

(Tekstil, Akımların Voltaj Ve Fotovoltaik Verimliliği) karşılaştırılmasında tabloda görülebileceği üzere fotovoltaik lifler daha çok verimliliği sahiptir ancak daha maliyetli bir üründür.

## 6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Enerjiye yönelik ihtiyacın giderek artış gösterdiği dünyamızda enerji arz güvenliği önemli bir mesele olarak gündeme gelirken, enerji depolama gereksinimi de aynı ölçüde önem kazanmaktadır. Nanoteknolojinin uygulama ve alan bakımından geniş bir yelpazeye yayılması, enerji endüstrisini, özellikle depolama anlamında olumlu şekilde etkilemektedir.

Nanoteknolojik gelişmeler, bilhassa yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin önündeki önemli bir engel olan depolama sorununa çözüm üreterek, fosil yakıtların ve nükleer enerjinin neden olduğu çevresel etkilere yönelik endişenin ortadan kalkmasını sağlayabilir. Halihazırda teknoloji maliyetlerinin yüksek olması yaygın kullanımın önüne geçse de, yaygın üretimin artışı bu engelin de kalkmasını sağlayacaktır.

Yaygın kullanımı mümkün kılan bir alan da, nanoteknolojik enerji depolarının giysilere entegre edilmesidir. Tekstil alanına polimerik fotovoltaikep liflerin eklenmesi, akıllı giysi'olarak adlandırılan güneş enerjisini kullanabilen tekstil ürünlerini mümkün kılmıştır. Fotovoltaikep tekstil işlevselliği,polimer bazlı güneş pili malzemeleri ve üretim tekniklerine uygun hale getirilmiş esnek ve şeffaf olmayan tekstiller içinde kullanabilecek forma dönüştürmeye çalışılmaktadır.

Üretilen fotovoltaikep elyaflar aynı zamanda, dokuma ve örme yolu ile fonksiyonel iplikler ve kumaşlar üretmek için kullanılabilir. Bu çalışmada da, bu fonksiyona bağlı bir kumaş parçasının maliyet analizi yapılmıştır. Materyalleri farklılık gösteren dört çeşit 5 cm<sup>2</sup>'lik fotovoltaikep tekstil pilinin maliyeti hesaplanmıştır. Son ürün maliyetini güncel şartlara paralel olarak çıkarmak, ticari anlamda büyük bir üretim söz konusu mümkün olamasa da,birim üretim maliyetleri materyaller ve üretim tekniğinin farklılığı bakımından karşılaştırılabilir. Bu sonuçlara göre, DSC yöntemi daha ucuz ve daha kolay yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.Ancak Literatür incelendiğinde DSC liflerden maksimum elde edilen

Açık devre gerilimi 0.44 v ve 0,50 v olmuştur . Maksimum açık devre gerilim değerleri fotovoltaik pv lif A için 360 mv ve fotovoltaik pv lif B ve C için 300 mv olarak elde edildiği literatürde tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara göre voltaj verimliliği açısından DSC lifler daha az verimliliğe sahiptir ve buna paralel olarak polimer yapıli fotovoltaik lifler daha çok maliyetli ama daha fazla verimli bir sistem olarak değerlendirilebilir.

Son olarak, akıllı tekstil ürünleri vasıtasıyla elektrik üreten ve depolayan kumaşlara yönelik araştırmalar her geçen gün artmasıyla, bu çalışmada tasarlanan bir son ürün kolayca üretilebilir hale gelecektir. Küresel ısınma tehlikesinin giderek büyüdüğü bir dünyada, yenilenebilir enerjinin yaygınlaşabilmesi açısından bu tür gelişmelerin büyük önemi haiz olduğunun altını çizmekte fayda olduğu düşünülmektedir .

## KAYNAKÇA

### *Kitaplar*

Adams, W.W. ve Baughman, R.H. (2005), 'Retrospective', *Science*, 310 (5756), 1916.

Aernouts T., Aleksandrov, T., Girotto, C., Genoe, J., & Poortmans, J. 2008. Polymer based organic solar cells using ink-jet printed active layers. *Applied Physics Letters* 92, 33-63.

Bedeloğlu, A., Demir, A., Bozkurt, Y., Sarıçiftçi N. S. (2009). *Synthetic Metals*, 2043-2048.

Boztepe, M. (2006), Enerji Depolama ,  
[http://electronics.ege.edu.tr/boztepe/cgi-bin/load.cgi?gee591\\_lecture6.pdf](http://electronics.ege.edu.tr/boztepe/cgi-bin/load.cgi?gee591_lecture6.pdf)

BP (2013), Energy Outlook 2035,  
[http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/Energy-Outlook/Energy\\_Outlook\\_2035\\_booklet.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/Energy-Outlook/Energy_Outlook_2035_booklet.pdf)

BP (2014), BP Statistical Review of World Energy June 2014,  
<http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>

Campos, L. M., Tontcheva, A., Gunes, S., Sonmez, G., Neugebauer, H. & Sarıçiftçi, N. S. 2005. Extended photocurrent spectrum of a low band gap polymer in a bulk heterojunction solar cell. *Chemistry Material* 17, 4031-4033.

Coakley, K.M. &McGehee, M.D. 2004. Conjugated Polymer Photovoltaic Cells*Chemistry of Materials* 16, 33-45.

EİE (2004), Yenilenebilir Enerji Raporu,

[http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/yenilenebilir\\_enerjisi.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/yenilenebilir_enerjisi.aspx)

Granstrom, M., Petritsch, K., Arias, A.C., Lux, A., Andersson, M.R. & Friend, R.H. 1998. Laminated fabrication of polymeric photovoltaic diodes. *Nature* 26, 257-395.

Gevorkian, P. (2007), *Sustainable Energy System Engineering: The Complete Green Building Design Resource*, New York: McGraw Hill.

Günes, S., Fritz, K., Neugebauer, H., Sariciftci, N. S., Kumar, S., & Scholes, G. (2007). Hybrid solar cells using PbS nanoparticles. *Solar Energy Materials and Solar Cells*.

Hessen (2008), *Application of Nano-technologies in the Energy Sector*, [http://www.hessen-nanotech.de/mm/NanoEnergy\\_web.pdf](http://www.hessen-nanotech.de/mm/NanoEnergy_web.pdf).

Jensen, B.H. (2014), Nanotechnology to provide cleaner diesel engines', *RD Mag*, <http://www.rdmag.com/news/2014/09/nanotechnology-provide-cleaner-diesel-engines>.

Kadioğlu S. ve Telliöğlu Z. (1996), Enerji kaynaklarının kullanımı ve çevreye etkileri , TMMOB Türkiye Enerji Sempozyumu, s. 55-67

Kara, E. (2014), AB'ye Uyum Sürecinde Türkiye İçin Nükleer Enerji', *Mediterranean Journal of Humanities*, IV/1, s. 191-99.

- Kozak, M. ve Kozak, Ş. (2012), Enerji Depolama Yöntemleri', *SDU International Technologic Science*, 4 (2), s. 17-29.
- Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H.D., Avcı, E.D. (2014) , Türkiye'de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması',  
[http://www.emo.org.tr/ekler/3f445b0ff5a783e\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/3f445b0ff5a783e_ek.pdf)
- Lund, H. & Mathiesen, B. V. 2009. Energy system analysis of 100yüzde renewable energy systems The case of Denmark in years 2030 and 2050. *Energy* 34,524-531.
- Mater, J. 2010. Processed polymer solar cell modules: methods and manufacture using flexographic printing, slot-die coating and rotary screen printing. *Chemistry* 20, 8994-9001.
- Muradov, E. (2012). Almanya'nın Nükleer Enerji Politikasını Etkileyen Faktörler ,*Öneri Dergisi*, 10/38, s. 105-111
- Minna T, Marju F (2008) Thin Solid Films 517 (2009) 2799 2802 Photovoltaic fiber
- REN21 (2014), Renewables 2014: Global Status Report, [http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014\\_fullyüzde20report\\_lowyüzde20res.pdf](http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_fullyüzde20report_lowyüzde20res.pdf).
- Sarı, A. (2011), Faz Değişimi Yoluyla Isıl Enerjinin Depolanması ve Bu Alanda Yapılan Çalışmalar , Kimya Lisans Öğrencileri Araştırma Projesi Çalıştayı, 20-28 Temmuz, Çanakkale.



- Saini, R., Saini, S., Sharma, S. (2012), 'Nanotechnology: The Future of Medicine', *Journal of Cutaneous and Aesthetic Surgery*, 3 (1), s. 32-33.
- Shafarman, W.N. & Stolt L. 2003. *Handbook of photovoltaic science and engineering*. New York: Luque & Hegedus Edition.
- Spanggaard, H. & Kerbs, F. C. 2004. A brief history of the development of organic and polymeric photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 83, 125-164.
- Sullivan, J. (2014), 'Nanotechnology leads to better, cheaper LEDs for phones and lighting', *News at Princeton*,  
<http://www.princeton.edu/main/news/archive/S41/14/79S63/index.xml?section=topstories>.
- Şen Z (2002), *Temiz Enerji Kaynakları*, İstanbul: Su Vakfı Yayınları)
- Tang, C.W. 1986. Two-layer organic photovoltaic cell. *Applied Physics Letters* 48, 183-185.
- The Daily Star (2012), 'Apply nanotech to up industrial, agri output',  
<http://archive.thedailystar.net/newDesign/news-details.php?nid=230436>
- Waters, R., Stalberg, M., Danielsson, O., Svensson, O. (2014) 'Experimental results from sea trials of an offshore wave energy system', *Inngar*, 90 (3), s. 124-47.
- Yüksel, İ. 2008. Global warming and renewable energy sources for sustainable development in Turkey. *Renewable Energy* 33, 802-812.
- Di er a ınlar**

Coating and laminating.

[http://www.coatema.de/ger/downloads/veroeffentlichungen/news/0701\\_Textileyüzde20Month\\_GB.Pdf](http://www.coatema.de/ger/downloads/veroeffentlichungen/news/0701_Textileyüzde20Month_GB.Pdf)

Solar cells.

[http://www.silvaco.com.cn/tech\\_lib\\_TCAD/tech\\_info/devicesimulation/pdf/Solar\\_Cell.Pdf](http://www.silvaco.com.cn/tech_lib_TCAD/tech_info/devicesimulation/pdf/Solar_Cell.Pdf)

Solar energy.

[http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes\\_index.html](http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes_index.html).