



# İLETKEN POLİMERLER VE ENERJİ UYGULAMALARI

## CONJUGATED POLYMERS AND THEIR ENERGY APPLICATIONS

Buket Bezgin Çarbaş <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 70200 Karaman e-posta: bcarbas@kmu.edu.tr

### Özet

İletken Polimerler uygun maliyetli, hafif ağırlıklı ve esnek özellikleri ile tüm dünya tarafından dikkat çekmektedirler. 2000 yılında keşfedilen iletken polimerlerin elektriği neredeyse metaller kadar iyi iletmeleri, korozyona karşı dayanıklı olmaları ve kolay metotlar kullanılarak elde edilebilmeleri gibi başlıca avantajları iletken polimerlerin bilim ve teknoloji alanındaki gelişmelere bağlı olarak üzerlerine çektikleri bu ilginin daha farklı alanlara kaymasına neden olmuştur. Bu çalışma konjuge polimerlerin enerjinin çeşitli şekillerde kullanılabilirdiği (elektrokromik cihazlar, ışık çeşitli sensörler vb.) ve enerjiyi depolayabildiği sistemlerin (tekrar şarj edilebilir bataryalar, güneş hücreleri, yakıt pilleri vb.) çeşitli uygulama alanlarını tanıtmayı amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** İletken Polimerler, Uygulama Alanları, Enerji, Enerji Depolama

### Abstract

Conjugated polymers have been promising cost effective, light weight, and flexible electrode materials. The advantages of conductive polymers, which were discovered in 2000, such as nearly electrical conductivity as well as metals, corrosion resistance and can be synthesized easily, have led to a shift to a different area of the interest depending on developments in science and technology. This study of conjugated polymers aims to introduce a variety of applications can be used in various forms of energy (electrochromic devices, various sensors.) and energy storage systems (rechargeable batteries, solar cells, fuel cells, etc.)

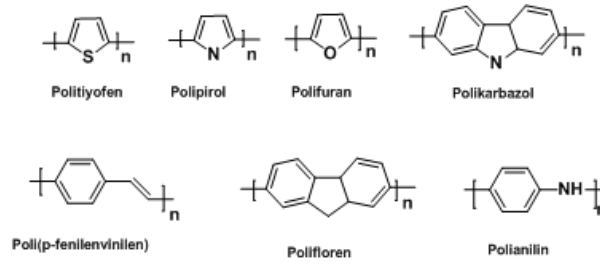
**Keywords:** Conductive Polymers, Application Areas, Energy, Energy Storage

\*Corresponding author

# 1 Giriş

Polimerler 50 yıl öncesine kadar elektriği iletmeyen maddeler olarak bilinmekteydi. Ancak bu düşünce Heeger, Macdiarmid ve Shirikawa gibi değerli bilim adamlarının yaptıkları bir buluşla değişti [30, 36]. En basit konjuge polimer olan poliasetilenin hemen hemen bir metal gibi elektriği iletebildiği bulundu. Bu buluşları ile polimerlerin hep yalıtkan olma imajı da yıkılmış oldu. Polimerlerin bu özelliklerinin bulunması, akademi ve teknoloji dünyasına büyük ses getirdi ve bu olayı yeni bir dizi polimerin sentezi izledi. Çünkü bu tür polimerler yarı iletken inorganik malzemelerle yarışacak düzeyde iletkenliğe sahipti ve daha çevreci ve de daha düşük maliyetliyidiler [11, 20, 19, 31, 25].

Konjuge polimerlerin optiksel ve elektronik özelliklerini optimize ederek kontrol altına almak, malzemenin kimyasal yapısını modifiye etmek ile oldukça kolaylaşır. Elektronik ve optiksel özelliklerin tek bir malzemede toplanması, organik ışık saçan diyotlar, transistörler, güneş pilleri, elektrokromik ve sensor cihazlar gibi birçok teknoloji uygulamasında yeni bir çığır açılmasına neden olmaktadır [4, 5, 17, 23]. İletken polimerler çok geniş bir ailedir ve gün geçmiyor ki yeni bir polimer sınıfı ortaya çıkmasın (Şekil 1.1). Polianilin, politiyofen, polipirol, polifluren ve polikarbazol

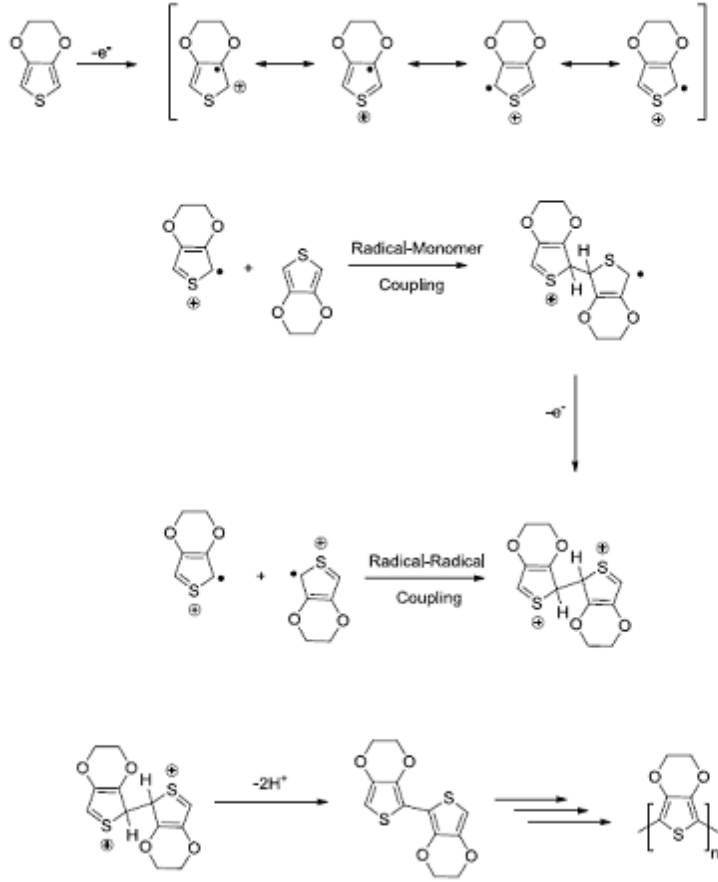


Şekil 1.1: Yaygın olarak kullanılan iletken polimerler

bazollar poliheterosiklik bu yapılardan sadece birkaç tanesidir. Bu konjuge polimerler ve türevleri uygulama alanına göre değişen alanlarda bolca kullanılmaktadırlar. Bu tür  $\pi$ -konjuge polimerler, optik ve elektriksel iletkenlik özelliklerinin talepleri karşılama yeterince ilgi çekici olması, yüksek kontrast oranı, yüksek geçiş hızı, işlenebilirliğinin iyi olması sebebiyle tercih edilmektedirler [31]. İletken polimer sentezinde çoğunlukla elektrokimyasal ve kimyasal polimerizasyon kullanılır. Elektrokimyasal polimerizasyon, çalışma elektroduna uygun potansiyelin uygulanması ile elektrolit içerisinde bulunan monomerin oksitlenmesi sonucu meydana gelen radikal katyon üzerinden gerçekleşen polimerleşme işlemidir Şekil 1.2.

Elektrokimyasal polimerizasyon diğer polimerizasyon çeşitlerine göre fazlaca avantaja sahiptir. Bazen çok az miktarda monomer bile polimerleşmeye yeterli olabilir, oldukça kısa zamanda polimerleşme gerçekleşir, yan reaksiyonlar uygulanan potansiyelin kontrolü ile önlenebilir ve uygulanan potansiyelin, tarama hızı ve zamanın değiştirilmesi ile filmin kalınlığı ve iletkenliği kontrol altına alınabilir [29].

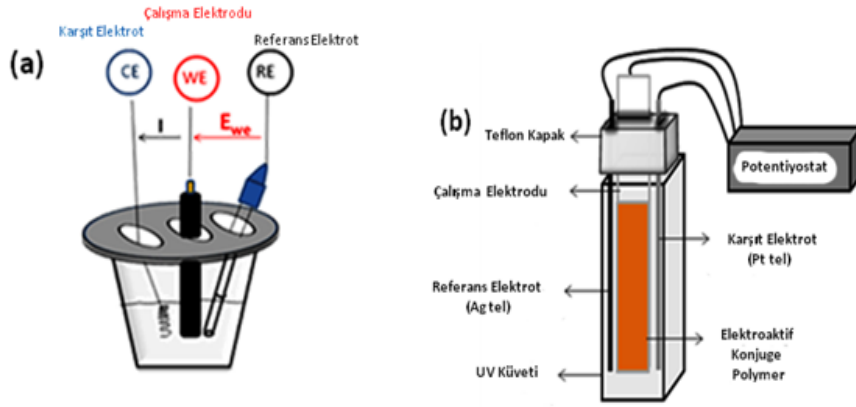
İletken polimerleri genel olarak bildiğimiz yalıtkan polimerlerden ayıran temel özellik, sırayla değişen tek ve çift bağlardan oluşan zincirlere sahip olmasıdır. Elektrokimyasal polimerleşme yapabilmek için genellikle potentiostatik bir sistem tercih edilir. Belli voltaj aralığında (döngülü voltametri) ya da sabit potansiyelde (kro-



**Şekil 1.2:** Monomer (EDOT'un) Elektrokimyasal Polimerleşme Mekanizması

noamperometri) elektrokimyasal olarak polimerleşme monomerin çözündüğü potensiyel pencere aralığı oldukça geniş çözücüler tercih edilerek

(Asetonitril ve Diklorometan) ve de alkil amonyum tuzları gibi destek elektrolitleri tercih edilerek sağlanılabilir. Genellikle çalışma, referans ve karşıt elektrot içeren üçlü elektrot sistemi tercih edilir. Çalışma elektrotu kullanılacak amaca yönelik çeşitlilik gösterebilir (Şekil 1.1). Örneğin optiksel çalışmalar için indiyum tin oksit ile kaplanmış camlar çalışma elektodu olarak kullanılırken elektrokimyasal çalışmalar için pilatin disk elektrot kullanılır. İletken polimerler sentezleri gerçekleştirildikten sonra uygun amaca yönelik şekilde karakterize edilmeye çalışılırlar. Konjüge polimerlerin kendilerine özgü belli başlı cezbedici özellikleri vardır. Bunlar bant aralığı ( $E_g$ ), optiksel özellikler (kuantum verimi, maksimum dalga boyu ( $\lambda_{mak}$ ), elektrokimyasal özellikler, tersinir uyarılara cevap verebilme (iyonik ortam farklılığı, pH değişikliği, ışık şiddeti, ortam sıcaklığı, çözücü farklılığı, bükülebilme, esneyebilme, şişme, renk değişimleri) ve iletkenliklerdir. Sanayinin ihtiyaç duyduğu hafiflik, esneklik, renk ve iletkenliğe sahip olabilecek bu malzemeler, günümüzde akıllı yüksek teknolojik malzemeler olarak literatürde yerini almaktadır. Her geçen gün insanoğlunun şaşırabileceği iletken polimerlerin veya polimerlerin katkılanmasıyla meydana gelen yeni bir buluş gerçekleşmektedir. Dolayısıyla iletken polimerler elektronik dünyasında, yarı iletkenler ve organik iletkenler olarak geniş bir alanda uygulama alanı içermektedir. İnorga-



**Şekil 1.3:** Elektrokimyasal polimerleşme için kullanılan üçlü elektrot sistemli hücre örnekleri (a) elektrokimyasal (b) optiksel çalışmalar

nik malzemelerin yerine kullanılan polimerik, organik veya biyolojik malzemeler günümüzde moleküler elektronikler olarak anılmaktadırlar.

**Tablo 1.1:** Bazı İletken Polimerler ve Genel Uygulama Alanları [18].

İletken Plimerler	Uygulama Alanları
(a) Polianilin ve Türevleri	(1) Elektrokromik Ekran
	(2) Tekrar şarj edilebilir bataryalar
	(3) Elektrokimyasal Kapasitörler
	(4) Korozyon Engelleyici
	(5) Sensör
(b) Polipirol ve Türevleri	(1) Elektrokromik Ekran
	(2) Taşınabilir Batarya
	(3) Sensör
	(4) Güneş Enerji Hücreleri
	(5) Yakıt Hücreleri
(c) Politiyofen ve Türevleri	(1) Elektrolüminesans
	(2) Elektrokimyasal Kapasitörler
	(3) Güneş Enerji Hücreleri
	(4) Bataryalar için Karşıt Elektrot
	(5) Sensörler
	(6) Korozyon Engelleyici
(d) Poli(p-fenilenvinilen) ve Türevleri	(1) Elektrolüminesans
	(2) Foto iletkenler
	(3) Güneş Enerji Hücreleri
	(4) Lazer Malzemeler
(e) Polifloren ve Türevleri	(1) Elektrokromik Ekran
	(2) Taşınabilir Batarya
	(3) Tekrar Şarj Edilebilir Bataryalar
	(4) Işık Saçan Diyotlar
	(5) Sensörler

Moleküler elektronik malzemeler ticari inorganik malzemelere göre daha fazla uygulamalarda çeşitlilik sağlarlar. Çünkü moleküler elektronik malzemeler ile daha küçük boyutlarda üretim sağlanabilmekte, daha kolay ve hızlı sentezlenebilmekte ve de daha ucuz ve yüksek verim elde edilebilmektedir. Dahası moleküler elektron-

iklerdeki özelliklerin optimizasyonu ve kontrolü molekül üzerinde oynamalar yaparak önceden herhangi bir fabrikasyon üretimine muhtaç olmadan yapılabilmektedir.

Günümüz dünyasının polimer çağında yaşıyor şeklinde ifade etsek herhalde yanlış ifade etmemiş oluruz. Polimerler, yeni teknolojilere ayak uydurabilen bilinen metal ve alaşımlarla göre daha da üstün özellikler gösterebilen (iletkenlik, boyut, maliyet, verimlilik, taşınabilir olma, esneklik ve bükülebilme) malzemelerdir. Dolayısıyla iletken polimerler metallerin kullanıldığı bir çok uygulama alanına entegre edilebilirler. Fakat bu durumun gerçekleşmesi ve tüm elektronik sistemlerde kullanılması yavaş gerçekleşecek gibi gözükmektedir. Tablo 1.1 'de iletken polimerlerin kullanılabileceği potensiyel uygulama alanları gözükmektedir [18].

Yakıt hücrelerinde kullanılan polimer elektrolit membran iletken polimerlerin bir başka enerji uygulamasıdır. Bu tür Yakıt pilleri kimyasal reaksiyonu elektrik enerjisine çevirir ve enerji sağlar. Sadece suyu kullanılarak elde edilen bu temiz enerji sonrası ortama biraz su ve ısı açığa çıkarır. Yüksek güç yoğunluğu ve taşınabilir olması bu polimerik membranlar ile yapılan yenilenebilir enerjiye dönük uygulamalara ilgiyi artırmıştır. Ortamda dolaşan proton aktivasyonun artırabilmek için kullanılan katalizörün kullanımı ve seçimine yönelik bir çok araştırma yapılmaktadır. Ayrıca iletken polimerler metalik bipolar levhalar üzerine kaplanıp korozyon engelleyici olarak kullanılmaktadırlar. Antikorozyon özellikleri ile bu malzemelerle kaplanan metaller artık oksitlenmeyecek ve artık bundan kaynaklı yenileme işlemleri son bulacaktır [22].

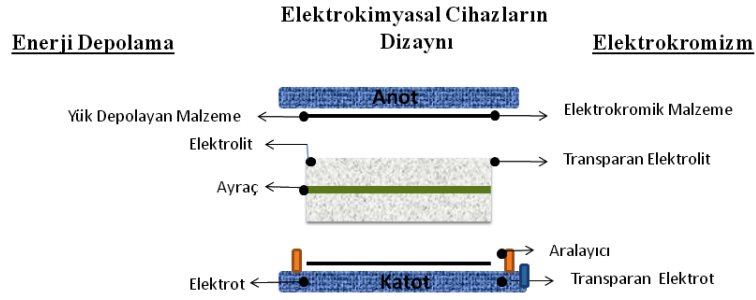
İletken Polimerlerin bir diğer kullanım alanı da yapay kas, organ ve biyosensör uygulamalarıdır. Kasların tersinir olarak kasılma ve rahatlama hareketi, enerji depolayabilen hafif ve kasılma hareketini yapan bir sistemde olması tıp dünyasında yeni bir buluş oluşturacağı ümit edilmektedir. Yine üzerimize giydiğimiz kıyafetlerin güneş enerjisini depolayabilen polimer boyalarla kaplanması veya çok sıcak havalarda serinlik etkisi yaratması yine bu tür malzemelerin ne denli önemli bir yere sahip olması gerektiğini göstermektedir [9].

Bu çalışmada, elektrokimyasal cihazların uygulama alanları üzerine bilgiler verilip iletken polimerlerin enerji depolama ve elektrokromik özellikleri tanıtılacaktır.

## 2 Elektrokimyasal Cihazların Uygulaması

Elektrokimyasal cihazlar iki farklı elektrottan oluşurlar. Anotta elektroaktif malzemenin oksitlenmesi gerçekleşirken, diğer elektrotta katotun indirgenmesi veya tekrar nötral forma girmesi söz konusudur. Elektrolit elektrotlar arasına yerleştirilir ve elektrokimyasal anahtarlanma sırasında elektrotlar arasındaki yük dengesini sağlar. Bu genel dizayn genellikle tüm elektrokimyasal cihazlarda kullanılır ve duruma göre tabakalar arasında küçük değişiklikler yapılarak Şekil 2.1'de görüldüğü gibi enerji depolama veya elektrokromik cihazlar için kullanılır.

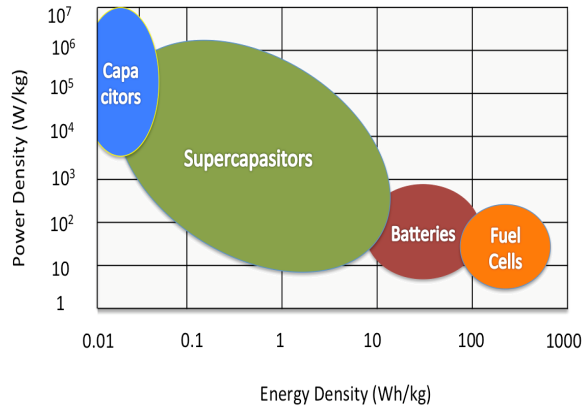
Enerji depolayan ve elektrokromik cihazların temel farklılıkları Şekilde gösterildiği gibidir. Daha da önemlisi, enerji depolayan cihazlar için bir ayraç kullanılır ve bu genellikle bir gözenekli membrandır ve sadece kısa devreyi engellemekle kalmayıp aynı zamanda elektrokimyasal hücrede devreyi tamamlamak için veya elektrokimyasal hücreden geçen yüklerin nötral forma geçirmek için gerekli iyonik yük taşıyıcıların hücre içinde hızlı transportunu sağlar [22].



**Şekil 2.1:** Enerji depolayan ve elektrokromik özellik gösteren elektrokimyasal cihazların dizaynını ve bileşenlerinin gösterimi [22].

### 3 Enerji Depolama

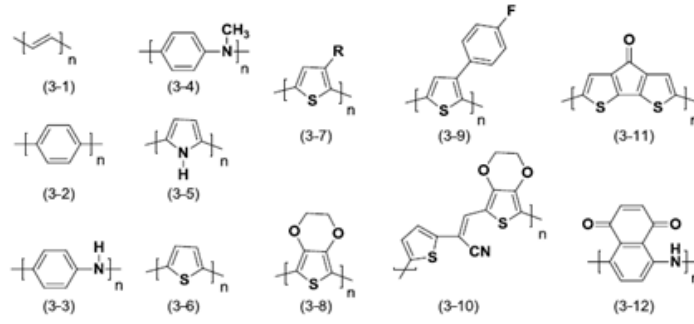
Enerji depolamak için kullanılan elektrokimyasal depolanabilen malzemeler genellikle, karbon, inorganik metal oksitleri ve organik konjuge polimerlerdir. Malzemenin özelliğine göre ve hücrenin yapısına göre enerji depolama cihazları dört farklı kategoriye ayrılırlar; kapasitörler, Süper Kapasitörler, Bataryalar, Yakıt pilleri. Ragone grafiğinde gösterildiği gibi hepsinin farklı bir enerji ve güç yoğunluğu vardır (Şekil 3.1). Bataryalar ve yakıt pilleri elektrik enerjisini anot ve katotta gerçekleşen re-



**Şekil 3.1:** Farklı enerji depolayan cihazların spesifik enerji ve güç yoğunluğunu ifade eden Ragone grafiği [42].

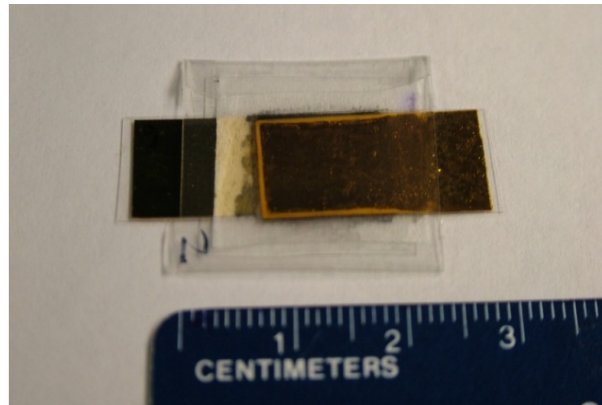
doks reaksiyonlarının kimyasal enerjiye çevrilmesi ile elde edilir. Bu enerji depolayan cihazlar genellikle yüksek enerjili fakat düşük güce sahiptir. Batarya ve yakıt pilinin birbirinden farkı ise enerjinin depolandığı yerdir. Bataryalarda kapalı bir sistemde aynı kompartımanda anot ve katotla redoks reaksiyonlarının gerçekleşir. Yakıt pillerinde ise redoks reaksiyonları anot ve katoda dışarıdan hidrojen ve oksijen yüklenerek gerçekleşir. Kapasitörler ise yüksek güç ve düşük enerjilidirler. Kapasitörler yüksek tersinirlik ve yüksek kullanım ömrü (100.000 'den fazla devir) ile sadece elektrostatik etkileşimler yoluyla çalışırlar (Şekil3.2).

Süper kapasitörler ise hem elektrokimyasal çift tabaka hem de redoks aktif yük depolama kabiliyetlerinden dolayı kapasitörler ve bataryalar arasındaki boşlukta



**Şekil 3.2:** *p*- ve *n*- doplanabilen elektrokimyasal süperkapasitörlerde kullanılan iletken polimerler (3-1) *trans*-polyacetylene (PA), (3-2) poly(*p*-phenylene) (PPP), (3-3) polyaniline (PANi), (3-4) poly(*N*-methyl-aniline), (3-5) polypyrrole (PPy), (3-6) polythiophene (PTh), (3-7) 3-substituted polythiophene, (3-8) poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT). *n*-dopable materials include: (3-1) *trans*-polyacetylene, (3-2) poly(*p*-phenylene), (3-9) poly(3,4-fluorophenyl)thiophene, (3-10) poly(1-cyano-2(2-[3,4-ethylenedioxythiophenyl]-1-(2-thienyl)vinylene) (PThCNVEDT), (3-11) poly(cyclopental[2,1-b;3,4-b'dithiophen-4-one]) (PcDT), (3-12) poly(5-amino-1,4-naphthoquinone) [22].

yer alır. Şekilde görüldüğü gibi orta ölçütte güç ve enerji yoğunluğuna sahiptirler [42]. Elektrokimyasal çift tabakalı süperkapasitörler yükleri elektrolit iyonlarını yüzeyde tutup elektrostatik ve tersinir bir şekilde tutup depolar. Yük ayırımı elektrot ve elektrolit yüzeyinde polarizasyon ile gerçekleşir. Süperkapasitörlerde iletken polimerlerin kullanılması ile depolama kapasiteleri 100 kat daha artabilmektedir. Tersinir davranımları iletken polimerlerin süperkapasitörlerin kolaylıkla boşaltılıp tekrar doldurulabilmelerine imkan sağlayabilmektedir. Polianiline, politiyofen, polipirol ve bunların türevleri süperkapasitörlerde *p*- ve *n*-doplanabilen malzemeler olarak kullanılırlar. Polianilin ve türevleri sulu ve susuz elektrolitli çözeltilerde 200F/g m



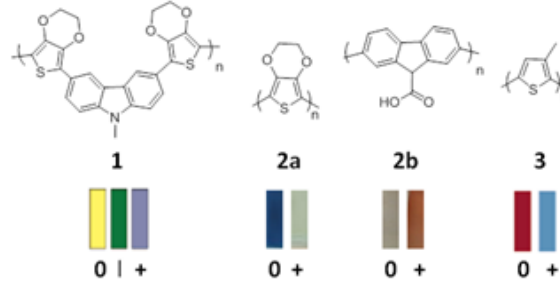
**Şekil 3.3:** *Tipik bir süperkapasitör hücresinin resmi*

üzerinde spesifik kapasitive özellik göstermiştir [37]. Polipirol 40-85 F/g bir spesifik kapasitans göstermiştir ve aynı zamanda hem bataryalarda hem de süperkapasitör olarak çalıştırılabilirler. Politiyofenin ise kapasitans değeri 250 F/g kadardır fakat elektrokimyasal kararsızlığından dolayı pek enerji depolamada tercih edilmemekte-

dir. Buna rağmen, elektronca zengin politiyofen türevleri mesela, polietilediyoksi-  
tiyofen (PEDOT) çokça süperkapasitör olarak çalıştırılan elektrot malzemelerdir.  
Bunun nedenleri olarak PEDOT filminin mükemmel elektrokimyasal kararlılıkları,  
hızlı anahtarlanabilme hızları ve yüksek spesifik kapasiteleri sayılabilir [12, 24, 41].  
Electronca zengin iletken polimerlerin yanında elektron donör-akseptör-donör nite-  
likli polimerlerde kullanılmaktadır. Bugüne kadar bunlardan sadece bir kaç tanesi  
çalışılmıştır. including poly-3 -(phenylthiophene) derivatives, [27, 28, 10], poly  
(diheteroaryl-cyanovinylene), [15, 35], poly (cyclopentadithiopheneone), [14], and  
poly (amino-naphthoquinone). Literatürde dört tip elektrokimyasal süper kapasitör  
vardır. Tip 1 ve 3 te simetrik elektrot malzemeleri kullanılır. Tip 1 de sadece p-  
doplanabilir polimer ile çalışılırken Tip 3'te n-doplanabilir polimer ile çalışılır. Tip  
2'de 2 farklı p-doplanabilir polimerle çalışılırken Tip 4'te 2 farklı n doplanabilir  
polimer ile çalışılır. Şekil 3.3'te gösterilen tipik bir süperkapasitörün resmi ilgili  
uygulama alanına göre ışık ağırlık ve taşınabilir olma durumuna göre birçok enerji  
depolama uygulamalarında kullanılabilir.

## 4 Elektrokromik Malzemeler

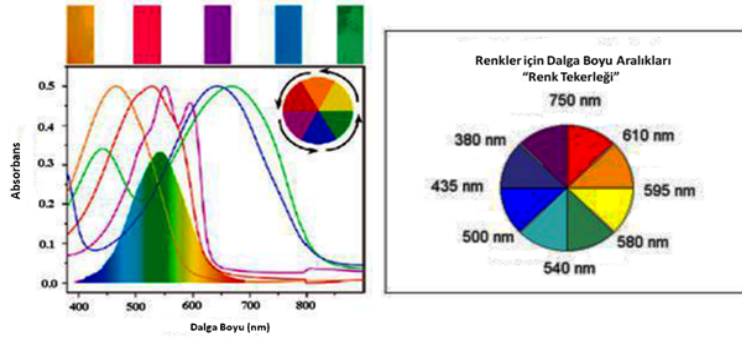
İletken Polimerlerin bir başka uygulama alanı da elektrokromizm'dir. Farklı voltaj  
şiddetlerine karşı iletken polimer farklı renkler verir. Bu renk farklılığı çok çeşitli  
olabilir. Literatürde genellikle kullanılan 4 farklı tipte elektrokromik renkli polimer  
vardır (Şekil 4.1). Optiksel farklılıklar ultra viyole (UV), görünür (visible), yakın



**Şekil 4.1:** *Elektrokromik iletken polimerlerin çeşitleri (1) Multielektrokromik tipli polimer [34], (2a) Katodikçe renkli polimer [3], (2b) anodikçe renkli polimer [33] ve (3) iki farklı renge sahip polimer [2]. (0 = nötral hal, l = ara hal, + = oksitlenmiş hal)*

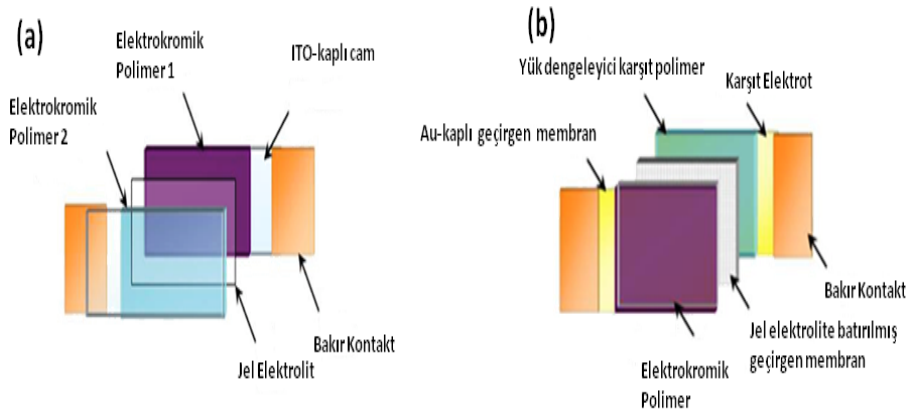
kızıl (NIR), orta kızıl bölge (MIR) veya hatta mikrodalga bölgesinde bile olabilir. Elektrokromik uygulama alanına göre bu alanlar tercih edilebilirler [13, 39, 26]. Örneğin NIR bölgesinde yüksek soğurma bandına sahip olan elektrokromik polimerler optik zayıflatıcılar olarak ve optiksel telekomünikasyonda fiber optik sinyalleri modifiye etmek için kullanılırlar. Daha aktif olarak çalışılan bölge ise görünür bölgedir (Şekil 4.2) ve birçok uygulama alanı vaat eder; akıllı pencereler, elektrokromik camlar ve yansıtma camları vb. Gün ışığından rahatsız olduğunuz vakit perde kullanmaksızın gün ışığının bulunduğunuz mekana girmemesini uygulayacağınız küçük bir potansiyel ile camınızın rengini değiştirerek sağlayabilirsiniz. Bu renk seçimi tamamen kullanıcının zevkine kalmıştır. Dolayısıyla elde edilen rengin yorum-





**Şekil 4.2:** Görünür bölgedeki renklerin dalga boyu absorptans ilişkisi ve bu dalga boylarındaki renk tekerleğine göre yorumlanması [6].

lanması çok önemlidir ve renk kavramı kişiye göre göreceli bir kavram olacağından tüm dünya tarafından kabul edilen bir komisyonun verileri ile renkler yorumlanır (The commission Internationale de l'Eclairge. Renk üç boyutlu bir oluşumdur dolayısıyla birkaç veri ile yorumlanmalıdır. Işık nasıl aydınlık ve karanlık şeklinde yorumlanıyorsa renkte renk tonu (hue) ve renk parlaklığı (chroma) şeklinde iki boyutlu olarak ifade edilebilir. 1931 yılında ortaya konulan 3 boyutlu renk verileri Yxy renk skalası, bir malzemenin aydınlık (luminance), ve doygunluk (saturation) değerleri veya 1976 renk değerleri  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  renk skalası ile tanımlanabilir. Elektrokromik cihazlar ikiye ayrılırlar; bunlar Soğuran / Aktaran cihazlar (Absorptive/Transmissive Devices) ve Soğuran ve Yansıtan cihazlar (Absorptive/Reflective Devices) şeklinde.

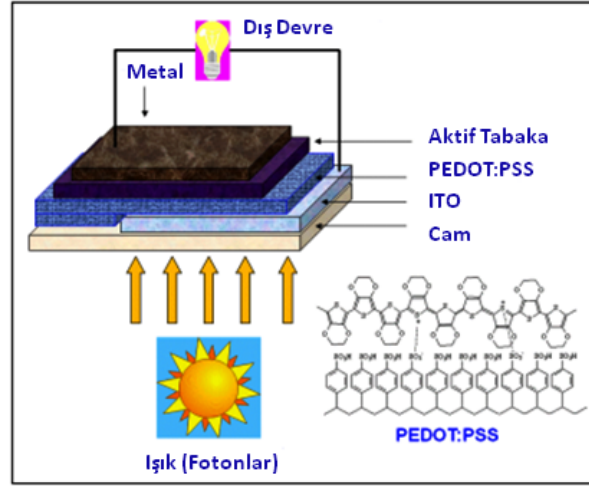


**Şekil 4.3:** Görünür bölgedeki renklerin dalga boyu absorptans ilişkisi ve bu dalga boylarındaki renk tekerleğine göre yorumlanması [6].

## 5 Güneş Hücresi Uygulamaları

Güneş hücresi ışığı doğrudan elektrik akımına dönüştüren (fotovoltaik) bir araçtır. Yarı iletken bir diyot olarak çalışan güneş hücresi, güneş ışığının taşıdığı enerjiyi iç fotoelektrik reaksiyondan faydalanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür.

Organik güneş hücresi güneşten gelen ışığı aktif polimer tabakası ile absorbe eder ve doğrudan elektrik enerjisine çevirir. İnorganik güneş hücrelerine göre daha geniş yüzeylere kaplanabilir, düşük maliyetli ve kolay üretilebilir. Dahası organik kimyadaki gelişmelere bağlı olarak daha farklı özellikler ve band aralıkları istenilen değerlere ulaştırılarak bu hücre modifiye edilebilir [40]. Aktif polimer tabakası güneşten gelen ışığı absorbe edip elektron ve hol (boşluk) çiftleri (exciton) oluşturur. Yükler ayrıştıktan sonra elektronlar bir elektroda (katot), holler ise diğer elektroda (anot) doğru yol alırlar. Bu şekilde akım ve voltaj üretilir 620 nm den daha uzun

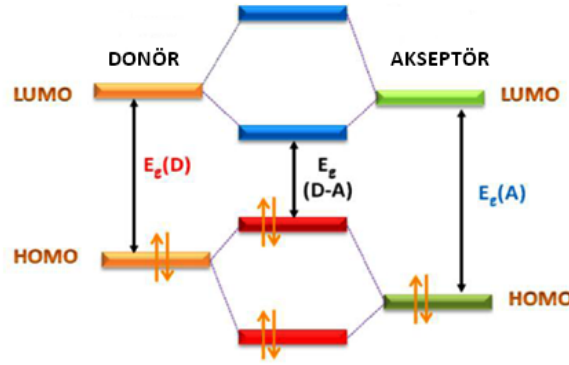


**Şekil 5.1:** Aktif tabakası iletken bir polimerle hazırlanmış güneş pilinin şematik gösterimi

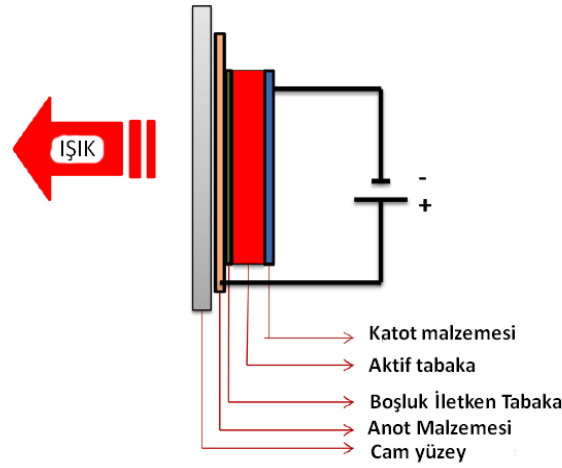
dalga boylarını absorbe edebilen (yani bant aralığı 2 eV' tan daha düşük) polimerler daha çok güneş hücresiyapımı için kullanılırlar. Bu nedenle donör-akseptör-donör nitelikli kopolimerler bu amaç için tasarlanır ve güneş hücresinde kullanılır. Düşük bant aralığı kopolimerin bant aralığının verici birimin HOMO'su alıcı birimin ise LUMO'su tarafından belirlenir. Verici ve alıcı birimlerin bant aralığı eklentilerle değiştirilebilir. Örneğin verici birime thiophene ve pyrrole eklenerek HOMO seviyesi yükseltilir, elektron alıcı gruba ise thiadiazole ve pyrazine eklenerek LUMO seviyesi düşürülür.  $\pi$ -konjugasyonunun uzunluğu arttıkça bant aralığını azaltılabilir (Şekil 5.2).

## 6 Işık Saçan Diyotlar

Işık saçan diyotlar görünür ışığı elektrik işine çevirirler. Bu durum iletken polimerlerin UV ışığını görünür bölgeye kaydırması ile ilgilidir. Işık saçan diyotun şematiksel gösterimi Şekil 6.1'deki gibidir. Bu cihaz üç bölümden oluşur, anot, katot ve iletken polimer aktif tabakası. Işığı geçirebilen transparan bir yüksek iş fonksiyonlu ITO anot olarak kullanılır. Katodik malzeme olarak ise polimerik malzeme kullanılır kullanılır. Akım sisteme uygulandığında elektron ve boşluklu yapılar her bir elektrottan sisteme enjekte edilir ve bu iki oluşum birbiri ile efektif olarak çarpıtıldığında ışık açığa çıkar. Değişik renklerde ışık saçımını olabilir.



Şekil 5.2: İletken Polimerlerin Bant aralıklarının donör akseptör birimlerle düşmesinin orbitallerle şematik gösterimi [6].



Şekil 6.1: Aktif tabakası iletken bir polimerle hazırlanmış ışık saçan diyotun şematik gösterimi [6].

## 7 Biyosensörler

Canlıların çevrelerindeki değişimi algılama ve yanıt verme mekanizmaları, biyosensörlerin geliştirilmesi için temel oluşturmaktadır. Biyosensörler; genelde biyolojik analizler için kullanılan bir çeşit özel sensördür ve “International Union of Pure and Applied Chemistry” [21] tarafından, “kimyasal bir bileşiğe karşı verilen biyolojik yanıtı optik, termal ya da elektriksel sinyallere dönüştüren cihazlar” olarak tanımlanmaktadır.

Biyosensörler tıp, tarım, gıda, eczacılık, çevre kirliliği, savunma sanayi ve birçok endüstriyel alanda özellikle otomasyon ve kalite kontrolünde çok önemli rol oynar. Bugüne kadar 180’den fazla farklı madde için biyosensör hazırlanmış olup, bunlardan ancak 25 kadarı ticari olarak üretilmektedir. Biyosensörlerin uygulama alanlarının bazıları aşağıda verilmiştir. Biyosensörler; gıda maddeleri, metabolitler, vitaminler, antibiyotikler, ilaçlar gibi organik maddeler ile bazı anorganik bileşikler yanında enzimler, virüsler ve mikroorganizmaların tayininde kullanılırlar. Hiç kuşkusuz bi-

yomedikal sektör biyosensörler için en iyi pazardır. Bu alanda uygulama olanağı bulunan ilk biyosensörler enzim sensörleridir. Ticari olarak üretilen ilk biyosensör ise şeker hastalığı teşhisi için kan ve idrarda glukoz tayininde kullanılan glukoz oksidaz elektrodudur [38].

Biyosensörler için bazı uygulama olanakları aşağıda yer almaktadır. Klinik teşhis, biyomedikal sektör, proses kontrolü, gıda üretim ve analizi, tarım ve veterinerlik, bakteri ve virüs teşhisi, ilaç analizi, endüstriyel atık su kontrolü, çevre koruma ve kirlilik kontrolü, maden işletmelerinde zehirli gaz analizleri, askeri uygulamalar. İletken polimer elektrotların elektroanalitik uygulamalarında, enzim immobilizasyonuna sıklıkla rastlanılmaktadır. Enzim kullanılan biyosensörlerin geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır. Aizawa ve Foulds tarafından yapılan çalışmaların ardından enzimler çeşitli iletken polimerlerle immobilize edilmiştir. Enzim moleküllüne monomer kimyasal olarak bağlanabilmekte ve ardından iletken polimer elektrotla üretilmektedir. Bu yöntem ile kovalent bağlı enzim elektrot elde edilmektedir. Birden fazla enzimin iletken polimerlere immobilize edilmesiyle de biyosensörler hazırlanabilmektedir. Laktat dehidrojenaz ve laktat oksidaz enzimlerinin poli (fenilendiamin) polimerine immobilize edilmesiyle çok hassas biyosensörler hazırlanmıştır [1].

İletken polimerlerle oluşturulmuş biyosensörlerin amacı çok küçük miktarlardaki biyolojik malzemelerin miktarlarını tayin etmektir. İletken polimerler immobilize olabilen matrisleri ile biyosensör dizaynına elverişli malzemedirler.

## 8 Sonuç ve Tespitleri

İletken polimerler yeni, üstün ve teknolojik uygulamalar için yeri geldiğinde kimyasal yapısında modifikasyonlar yapılarak kullanılacak anahtar malzemelerdir. Günümüzün gerektirdiği taşınabilir, maliyeti düşük her türlü ortama hacimce uyum sağlayabilen, elektriksel ve mekanik tersinir olabilen, elektrokimyasal, optiksel, termal olarak kararlı iletken polimerler enerji depolama konusunda da üstün özelliklere sahiptir. Elektriksel uygulamalarda hem tekniksel hem de ekonomik avantajları olan bu malzemeler güç uygulamaları, bilgisayar hafızası koruyucu, mikroçipler, yakıt hücreleri ve bataryalarda süperkapasitör vazifesi görerek bataryalar ve bilindik kapasitörlere oranla 20-200 kat arasında verimli enerji depolama görevinde kullanılabilirler. İletken polimerler ışık saçan diyotlar, güneş panelleri, elektrokromik, biyosensör özellikleri ile bu gibi veya diğer elektronik uygulamalara entegre edilerek hayatımızı daha çok kolaylaştırabilecek potansiyel malzemelerdir.

## Kaynaklar

- [1] U. Akbulut, *İletken polimerlerle transduser hazırlanması*, Biyokimya Lisans Üstü Yazokulu, Kuşadası, 1999, 10–16.
- [2] M. C. Amb, L. A. Dyer and R. J. Reynolds, *Navigating the color palette of solution-processable electrochromic polymers*, Chemistry of Materials, 23 (2011), 397.

- [3] A. A. Argun, P. H. Aubert, C. B. Thompson, I. Schwendeman, L. C. Gaupp, J. Hwang, J. N. Pint, B. D. Tanner, G. A. Macdiarmid and R. J. Reynolds, *Multicolored electrochromism in polymers: structures and devices*, Chemistry of Materials, 16 (2004), 4401.
- [4] M. P. Beaujuge, M. C. Amb and R. J. Reynolds, *Spectral engineering in-conjugated polymers with intramolecular donor-acceptor inter-actions*, Accounts of Chemical Research, 43 (2010), 1396–1407.
- [5] M. P. Beaujuge and R. J. Reynolds, *Color control in-conjugated organic polymers for use in electrochromic devices*, Chemical Reviews, 110 (2010), 268–320.
- [6] B. B. Carbas, *Synthesis of new multifunctional polyfluorene derivatives & donor acceptor polyfluorene derivatives*, Doktora Tezi, Ankara: ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü-2013.
- [7] C. K. Chiang, Y. W. Park, J. A. Heeger, H. Shirakawa, , J. E. Louis and G. A. Macdiarmid, *Conducting polymers:halogen-doped polyacetylene*, The Journal of Chemical Physics, 69 (1978), 5098–5104.
- [8] C. K. Chiang, C. R. Fincher, Y. W. PARK, J. A. Heeger, H. Shirakawa and J. E. Louis, *Electrical conductivity in doped polyacetylene*, Physical Review Letters, 39 (1977), 1098–1101.
- [9] A. Cihaner, *İletken ve plastik bukalemunlar*, İz Atılım Dergisi, 5 (2009), 22–24.
- [10] P. J. Ferraris, M. M. Eissa, I. D. Brotherston, C. D. Loveday, *Performance evaluation of poly 3-(phenylthiophene) derivatives as active materials for electrochemical capacitor applications*, Chemistry of Materials, 10 (1998), 3528–3535.
- [11] D. Fichou, *Handbook of Oligo- and Polythiophenes*, (1999) Weinheim: Wiley-VCH.
- [12] E. Frackowiak, V. Khomenko, K. L. Jurewicz, K. Lota and F. Beguin, *Supercapacitors based on conducting polymers/nanotubes composites*, Journal of Physics and Chemistry of Solids, 153 (2006), 413–418.
- [13] B. E. Franke, L. C. Trimble, S. J. Hale, M. Schubert and A. J. Woollam, *Infrared switching electrochromic devices based on tungsten oxide*, Journal of Applied Physics, 88 (2000), 5777–5779.
- [14] F. Fusalba, N. El Mehdi, L. Breau and D. Bélanger, *Physicochemical and electrochemical characterization of polycyclopenta [2, 1-b; 3, 4-b'] dithiophen-4-one as an active electrode for electrochemical supercapacitors*, Chemistry of Materials, 11 (1999), 2743–2753.
- [15] F. Fusalba, H. A. Ho, L. Breau, D. Bélanger, *Poly (cyano-substituted diheteroareneethylene) as active electrode material for electrochemical supercapacitors*, Chemistry of Materials, 12 (2000), 2581–2589.

- [16] C. A. Grimsdale, K. L. Chan, E. R. Martin, G. P. Jokisz and B. A. Holmes, *Synthesis of light-emitting conjugated polymers for applications in electroluminescent devices*, Chemical Reviews, 109 (2009), 897–1091.
- [17] S. Güneş, H. Neugebauer and N. S. Sarıçiftçi, *Conjugated polymer-based organic solar cells*, Chemical Reviews, 107 (2007), 1324–1338.
- [18] K. Gurunathan, A. V. Murugan, R. Marimuthu, P. U. Mulik and P. D. Amalnerkar, *Electrochemically synthesized conducting polymeric materials for applications towards technology in electronics, optoelectronics and energy storage devices*, Material Chemistry and Physics, 61 (1999), 173–191.
- [19] G. Hadziioannou, V. Georges and F. P. Hutten, *Semiconducting Polymers. Chemistry, Physics, and Engineering*, (2000) Weinheim: Wiley-VCH.
- [20] R. B. Hsieh and Y. Wei, *Semiconducting polymer, applications, properties, and Synthesis. ACS symposium series, 735*, Washington, DC: American Chemical Society, s. 480 (1999).
- [21] <http://users.metu.edu.tr/acirpan/pdf/solar.pdf>
- [22] Y. D. Liu, *Conjugated Polymer Electrochemical devices for energy Storage and electrochromic windows*, Phd Thesis 2011, Florida: University of Florida.
- [23] R. A. Murphy and M. J. Fréchet, *Jean, Organic semiconducting oligomers for use in thin film transistors*, Chemical Reviews, 107 (2007), 1066–1096
- [24] S. Patra and N. Munichandraiah, *Journal of Applied Polymer Science*, 106 (2007), 1160–117, 2007.
- [25] F. I. Perepichka and F. D. Perepichka, *Handbook of thiophene-based materials: applications in organic electronics and photonics*, West Sussex, UK: John Wiley & Sons 2009.
- [26] L. T. Rose, S. Dantonio, M. Jillson, A. Kon, R. Suresh and F. Wang, *A microwave shutter using conductive polymers*, Synthetic Metals, 85 (1997), 1439–1440.
- [27] A. Rudge, J. Davey, I. Raistrick, S. Gottesfeld and P. J. Ferraris, *Conducting polymers as active materials in electrochemical capacitors*, Journal of Power Sources, 47 (1994), 89–107.
- [28] A. Rudge, I. Raistrick and S. Gottesfeld, *A study of the electrochemical properties of conducting polymers for application in electrochemical capacitors*, Electrochimica Acta, 39 (1994), 273–287.
- [29] H. Sahu and N. A. Panda, *Computational study on the effect of substituent on the structural and electronic properties of thiophene-pyrrole-based  $\pi$ -conjugated oligomers*, Macromolecules, 46 (2013), 844–855.

- [30] H. Shirakawa, J. E. Louis, G. A. Macdiarmid, C. K. Chiang and J. A. Heeger, *Synthesis of electrically conducting organic polymers: halogenderivatives of polyacetylene (CH)<sub>x</sub>*, Chemical Communications, (1977), 578-580.
- [31] A. T. Skotheim and R. J. Reynolds, *Handbook of conducting polymers*, Boca Raton, FL: CRC Press (2007).
- [32] T. A. Skotheim and R. J. Reynolds, *Polymer-fullerene composite solar cells*, Angewandte Chemie International Edition, 47 (2007), 58-77.
- [33] G. Sonmez, I. Schwendeman, P. Schottland, K. Zong and R. J. Reynolds, *N-substituted poly (3,4 propylenedioxyppyrrrole)s: high gap and low redox potential switching electroactive and electrochromic polymers*, Macromolecules, (2003), 36-639.
- [34] A. G. Sotzing, L. J. Reddinger, R. A. Katritzky, J. Soloducho, R. Musgrave and R. J. Reynolds, *Multiply colored electrochromic carbazole-based polymers*, Chemistry of Materials, 9 (1997), 1578-.
- [35] P. Soudan, H. A. Ho, L. Breau and D. Belanger, *Chemical synthesis and electrochemical properties of poly(cyano-substituted-diheteroareneethylene) as conducting polymers for electrochemical supercapacitors*, Journal of Electrochemical Society, 148 (2001), 775-78?.
- [36] E. T. Strom and C. S. Rasmussen, *100 + years of plastics. leo baekeland and beyond, acssymposium series, washington, dc: american chemicalsociety*, 3080 (2011), 147-163.
- [37] H. Talbi, P. E. Just and H. L. Ham, *Electropolymerization of aniline on carbonized polyacrylonitrile aerogel electrodes: applications for supercapacitors*, Journal of Applied Electrochemistry, 33 (2003), 465-473.
- [38] A. Telefoncu, *Biyoreseptör immobilizasyonu*, Kuşadası: Ege Üniversitesi, Biyokimya Lisans Üstü Yazokulu, (1999), 42-61.
- [39] A. P. Topart, and P. Haurquebie, *Infrared switching electroemissive devices based on highly conducting polymers*, Thin Solid Films, 352 (1999), 243-248.
- [40] C. Walduf, P. Schilinsky, J. Hauch and J. C. Brabec and J. Christoph, *Material and device concepts for organic photovoltaics: towards competitive efficiencies Thin Solid Films*, 451(452) (2004), 503-507.
- [41] J. Wang, J. Xu, X. Chen, and X. Du, *Electrochemical supercapacitor electrode material based on poly (3, 4-ethylenedioxythiophene)/polypyrrole composite*, Journal of Power Sources, 163 (2007), 1120-1125.
- [42] M. Winter and J. R. Brodd, *What are batteries, fuel cells, supercapacitors*, Chemical Reviews, 104 (2004), 4245-4269.