

**DÜŞÜK BANT ARALIKLI BENZOTİYODİAZOL VE  
3,4-ETİLENDİOKSİTİYOFEN BAZLI YENİ BİR  
ELEKTROKROMİK KOPOLİMER**

**Kübra ÇELİK**

**Yüksek Lisans**

**Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı**

**Doç. Dr. Buket ÇARBAŞ**

**Ekim-2019**



**T.C.  
KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜŞÜK BANT ARALIKLI BENZOTİYODİAZOL VE  
3,4-ETİLENDİOKSİTİYOFEN BAZLI YENİ BİR ELEKTROKROMİK  
KOPOLİMER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Kübra ÇELİK**

**Mühendislik Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Buket ÇARBAŞ**

**KARAMAN -2019**

## TEZ ONAYI

Kübra ÇELİK tarafından hazırlanan “Düşük bant aralıklı benzotiyodiazol ve 3,4-etilendioksitiyofen bazlı yeni bir elektrokromik kopolimer” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik Bilimleri Ana Bilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman:

İkinci Danışman:

Doç. Dr. Buket ÇARBAŞ

Prof. Dr. Arif KIVRAK



Jüri Üyeleri:

İmza:

Unvanı, Adı ve Soyadı

Doç. Dr. Ayşel GİMEN

Unvanı, Adı ve Soyadı

Dr. Öğr. Üye. Ali Sinan DİKE

Unvanı, Adı ve Soyadı

Doç. Dr. Buket ÇARBAŞ

Unvanı, Adı ve Soyadı

Unvanı, Adı ve Soyadı



Tez Savunma Tarihi: 11/10/2019

Yukarıdaki sonucu onaylarım



Doç. Dr. Kamil ARI  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

(İmza)

**Kübra ÇELİK**

## ÖZET

Yüksek Lisans

### DÜŞÜK BANT ARALIKLI BENZOTİYODİAZOL VE 3,4-ETİLENDİOKSİTİYOFEN BAZLI YENİ BİR ELEKTROKROMİK KOPOLİMER

Kübra ÇELİK

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Mühendislik Bilimleri Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Buket ÇARBAŞ  
İkinci Danışman: Prof. Dr. Arif KIVRAK

Ekim, 2019, 42 sayfa

Benzotiyodiazol türevi ve 3,4-etilendioksitiyofen bazlı yeni bir kopolimer elektrokimyasal polimerizasyon metodu ile elde edildi. Elektrokimyasal ve kimyasal özelliklerini kıyaslamak amacıyla kopolimeri oluşturan yapılar olan benzotiyodiazol türevi ve 3,4-etilendioksitiyofen monomerleri ayrı ayrı yeni kopolimerle aynı ortam ve konsantrasyonla elektrokimyasal olarak polimerleştirilip poly(4,7-di(tiyofen-2-il)benzo[c][1,2,5]tiyodiazol) (P(TBT)) ve poly (3,4-etilendioksitiyofen) (PEDOT) polimerleri elde edildi. Elektrokimyasal sentezler tüm yapılar için 0,1 M TBAPF<sub>6</sub> / DCM ortamında yapıldı. Elektrokimyasal senteze geçmeden önce kopolimeri oluşturacak monomerlerin ilk oksitlenme potansiyelleri bu çözücü elektrolit ortamında döngülü voltametre yöntemi ile kıyaslandı. Daha sonra elektrokimyasal olarak sentezlenen polimerlerin ve kopolimerin elektrokimyasal ve spektroeletrokimyasal karakterizasyonları yapıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Benzotiyodiazol, Elektrokimyasal Polimerizasyon, Elektrokromik Kopolimer

## **ABSTRACT**

**MsThesis**

### **A NEW ELECTROCHROMIC AND LOW BAND GAP COPOLYMER BASED ON BENZOTHIADIAZOLE AND 3,4-ETHYLENEDIOXYTIOPHENE**

**Kübra ÇELİK**

**Karamanoğlu MehmetbeyUniversity  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Engineering Sciences**

**Supervisor: Assoc.Prof.Dr. BuketÇARBAŞ**

**Co-Supervisor: Prof. Dr. Arif KIVRAK**

**October, 2019, 42 pages**

A novel copolymer based on the benzothiodiazole derivative and 3,4-ethylenedioxythiophene was obtained by the electrochemical polymerization method. In order to compare their electrochemical and chemical properties, polymers of the benzothiodiazole derivative and 3,4-ethylenedioxythiophene monomers which form the copolymer are electrochemically polymerized in the same medium and concentration separately and the new copolymer and poly(4,7-di(thiophen-2-yl)benzo[c][1,2,5]thiadiazole) (P(TBT)) and poly (3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) polymers were obtained. Electrochemical syntheses for all structures were performed in 0,1 M TBAPF<sub>6</sub> / DCM medium. Prior to electrochemical synthesis, the first oxidation potentials of the monomers to form the copolymer were compared with the cyclic voltammeter method in this solvent electrolyte medium. Then electrochemical and spectroelectrochemical characterization of electrochemically synthesized polymers and copolymers were performed.

**Keywords:** Benzothiodiazole, Electrochemical Polymerization, Electrochromic Copolymer

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamda planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Buket ÇARBAŞ ve ikinci danışmanım Prof. Dr. Arif KIVRAK 'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yaptığım her işte beni en iyi şekilde destekleyen, evlatları olmaktan gurur duyduğum annem Bedriye ÇELİK ve babam Fatih ÇELİK'e teşekkürü borç bilirim. Ayrıca her zaman yanımda olan ve hep bana destek çıkan kardeşlerim Nihal ÇELİK ve Enes ÇELİK'e teşekkür ederim. En son olarak hayatta en çok değer verdiğim yeğenlerim Emir Bera ve Ömer Uras'a çok teşekkür ederim.

(İmza)

**Kübra ÇELİK**

**Karaman-2019**

## İÇİNDEKİLER

|                                                      | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------|--------------|
| ÖZET .....                                           | i            |
| ABSTRACT .....                                       | ii           |
| ÖNSÖZ .....                                          | iii          |
| İÇİNDEKİLER .....                                    | iv           |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                 | ix           |
| 1. GİRİŞ .....                                       | 1            |
| 2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi .....  | 3            |
| 2.2. Akıllı Camlar ve Önemi .....                    | 4            |
| 2.3. Elektrokromik Camlar .....                      | 5            |
| 2.4. Polimerler .....                                | 6            |
| 2.4.1. Polimerleşme Türleri .....                    | 6            |
| 2.4.1.1. Kondenzasyon (basamak) Polimerleşmesi ..... | 6            |
| 2.4.1.2. Katılma (Zincir) Polimerleşmesi .....       | 7            |
| 2.5. İletken Polimerlerin Tarihçesi .....            | 7            |
| 2.5.1. İletken Polimerlerin Yapısı .....             | 7            |
| 2.5.2. Bant Teorisi .....                            | 8            |
| 2.5.3. İletken Polimerlerin Uygulama Alanları .....  | 9            |
| 2.5.3.1. Süperkapasitörler .....                     | 10           |
| 2.5.3.2. Boya Duyarlı Güneş Hücreleri .....          | 11           |
| 2.5.3.2.1. Çalışma Elektrotu .....                   | 12           |
| 2.5.3.2.2. Duyarlılaştırıcı (Boya) .....             | 13           |
| 2.5.3.2.3. Elektrolit Çözeltisi .....                | 13           |
| 2.5.3.2.4. Karşıt Elektrot .....                     | 14           |
| 2.5.3.3. Işık Saçan Diyotlar .....                   | 14           |
| 2.5.3.4. Biyosensörler .....                         | 15           |
| 2.6. Elektrokromik Cihazlar .....                    | 16           |
| 2.7. İletken Polimerlerin Sentezi .....              | 18           |
| 2.7.1. Kimyasal Polimerizasyon .....                 | 18           |
| 2.7.2. Elektrokimyasal Polimerizasyon .....          | 18           |
| 2.7.2.1. Elektrot Seçimi .....                       | 20           |
| 2.7.2.2. Destek Elektrolit .....                     | 21           |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.7.2.3. Çözücü Seçimi .....                                                        | 21 |
| 3. MATERYAL VE METOT .....                                                          | 22 |
| 3.1. Malzemeler .....                                                               | 22 |
| 3.2. Enstrümanlar .....                                                             | 22 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....                                                       | 23 |
| 4.1. 4,7-di(tiyofen-2-il)benzo[c][1,2,5]tiyodiazol (TBT) Sentezi .....              | 23 |
| 4.2. Elektrokimyasal Polimer ve Kopolimer Sentezleri .....                          | 23 |
| 4.3. Polimerlerin ve Kopolimerin Elektrokromik Özellikleri .....                    | 30 |
| 4.4. Kopolimerin Elektrokimyasal ve Spektroeletrokimyasal Kararlılık Testleri ..... | 35 |
| 5. SONUÇ .....                                                                      | 38 |
| 6. KAYNAKÇA .....                                                                   | 39 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u>                                                                                                                                                                | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 2-1 Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması .....                                                                                                                      | 3            |
| Çizelge 2-2 2020 Yılında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Tahmini .....                                                                                                        | 4            |
| Çizelge 2-3 Sıkça kullanılan çözücülerin kullanım aralıkları .....                                                                                                            | 21           |
| Çizelge 4-1 Polimerler P(TBT), PEDOT ve kopolimer için yapılan spektroeletrokimyasal veriler ve literatürdeki benzer yapı P(EBE) ile kopolimer verilerinin kıyaslanması ..... | 35           |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Şekil</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 2-1 Elektrokromik Cam Sistemleri.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 5            |
| Şekil 2-2 Poliasetilene ait konjuge yapı .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 8            |
| Şekil 2-3 İletken(a), yarı iletken(b) ve yalıtkan(c) maddelerde bant aralığı.....                                                                                                                                                                                                                                                              | 9            |
| Şekil 2-4 Şematik olarak gösterilen süperkapasitör.....                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 10           |
| Şekil 2-5 Enerji depolama birimlerinin Ragone grafiği.....                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 11           |
| Şekil 2-6 Yıllara göre boya duyarlı güneş hücreleriyle ilgili yayınlanan makale sayısı.                                                                                                                                                                                                                                                        | 12           |
| Şekil 2-7 LED'in p-n jonksiyonunu ileri yönde bianslamanın etkileri .....                                                                                                                                                                                                                                                                      | 15           |
| Şekil 2-8 Elektrokromik cihazın çalışma prensibi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 17           |
| Şekil 2-9 Üçlü elektrokimyasal hücreye ait bir örnek .....                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 19           |
| Şekil 2-10 Tiyofenin elektropolimerizasyonu.....                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 20           |
| Şekil 4-1 TBT ve EDOT kimyasal yapılarının 0.1M TBAPF <sub>6</sub> /DCM ortamındaki 100 mV s <sup>-1</sup> tarama hızı ile oksidasyon potansiyellerinin karşılaştırması. ....                                                                                                                                                                  | 24           |
| Şekil 4-2 (a) TBT ve (b) kopolimerin (TBT: EDOT = 3:1) (c) EDOT kimyasal malzemelerinin 0,1 M TBAPF <sub>6</sub> /DCM çözeltisinde Ag/AgCl'e karşı 100 mV s <sup>-1</sup> tarama hızı ile elektropolimerizasyon çalışmaları .....                                                                                                              | 26           |
| Şekil 4-3 Elektrokimyasal karakterizasyon davranışı (a) P(TBT) (b) kopolimer ve (c) PEDOT polimerlerinin 200 mV s <sup>-1</sup> tarama hızında monomer içermeyen ortamda elektrokimyasal davranımları .....                                                                                                                                    | 28           |
| Şekil 4-4 (a) Kopolimerin farklı tarama hızlarında 20 mV s <sup>-1</sup> ile 200 mV s <sup>-1</sup> tarama hızları arasında 20 mV s <sup>-1</sup> tarama hızı artışları ile elde edilen CV verileri. (b) Kopolimerin anodik (i <sub>anodik</sub> ) ve katodik (i <sub>katodik</sub> ) pik akım değerlerinin tarama hızı ile olan grafiği ..... | 29           |
| Şekil 4-5 ITO çalışma elektrotu üzerine kaplanan ve 0,1 M TBAPF <sub>6</sub> / DCM çözeltisi içindeki (a) P(TBT) (b) kopolimer (c) PEDOT filmlerinin spektroeletrokimyasal davranımları. (Renkli fotoğraflar polimerlerin ve kopolimer filmlerinin nötr ve okside durumlarındaki renkleri) .....                                               | 32           |
| Şekil 4-6 Polimerlerin ve kopolimerin kinetik çalışmaları (a) P(TBT) (b) kopolimer (c) PEDOT ve polimerlerin, 0,1 M TBAPF <sub>6</sub> / DCM çözeltisi içindeki nötr ve okside durumlarındaki zamana bağlı karakterizasyonları.....                                                                                                            | 34           |

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4-7 Kopolimerin (a) elektrokimyasal (b) spektroeletrokimyasal kararlılık testleri |    |
| .....                                                                                   | 37 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simgeler</u>        | <u>Açıklama</u>     |
|------------------------|---------------------|
| $\pi$                  | Pi bağı             |
| $\sigma$               | Sigma bağı          |
| S                      | Siemens             |
| m                      | Metre               |
| $\lambda$              | Dalga boyu          |
| mM                     | Mili molar          |
| mV                     | Mili volt           |
| eV                     | Elektron volt       |
| $t_{\text{switching}}$ | Anahtarlama zamanı  |
| % $\Delta T$           | Geçirgenlik yüzdesi |
| Pt                     | Platinyum           |
| UV                     | Ultraviyole         |
| s                      | Saniye              |
| nm                     | Nanometre           |

| <u>Kısaltmalar</u> | <u>Açıklama</u>      |
|--------------------|----------------------|
| CV                 | Döngülü Voltametri   |
| ITO                | İndiyum Tin Oksit    |
| İB                 | İletkenlik Bandı     |
| DB                 | Değerlik Bandı       |
| EC                 | Elektrokromik Tabaka |

## 1. GİRİŞ

İletken polimerler birçok organik elektroniklerde kimyasal modifikasyon ve elektrokimyasal ve optiksel özelliklerin optimizasyonu ile (ışık saçan diyotlar) (Evenson; Mimm; Pohodya, 2011) organik ince film transistörler (Balaji; Phua; Shim, 2010) fotovoltaiik hücreler (Jong ve ark., 2011; Lu ve ark., 2010), elektrokromik cihazlar (Schwendeman ve ark., 2002; Meng ve ark., 2003) ve enerji depolama (Nyström ve ark., 2009; Su ve ark., 2012) alanlarında kullanılabilen akıllı malzemelerdir. Polimer ana zinciri üzerindeki elektrokimyasal ve optiksel özelliklerinin etkisi polimerin kimyasal yapısına fonksiyonel bir grup takılmasından daha yüksek bir oranda olduğu yadsınamaz bir gerçektir (Cihaner, 2017). Bu şartlar altında, çoğu araştırmacılar yeni monomer ve onların kopolimer yapılarına çok fazla vakit harcamaktadırlar.

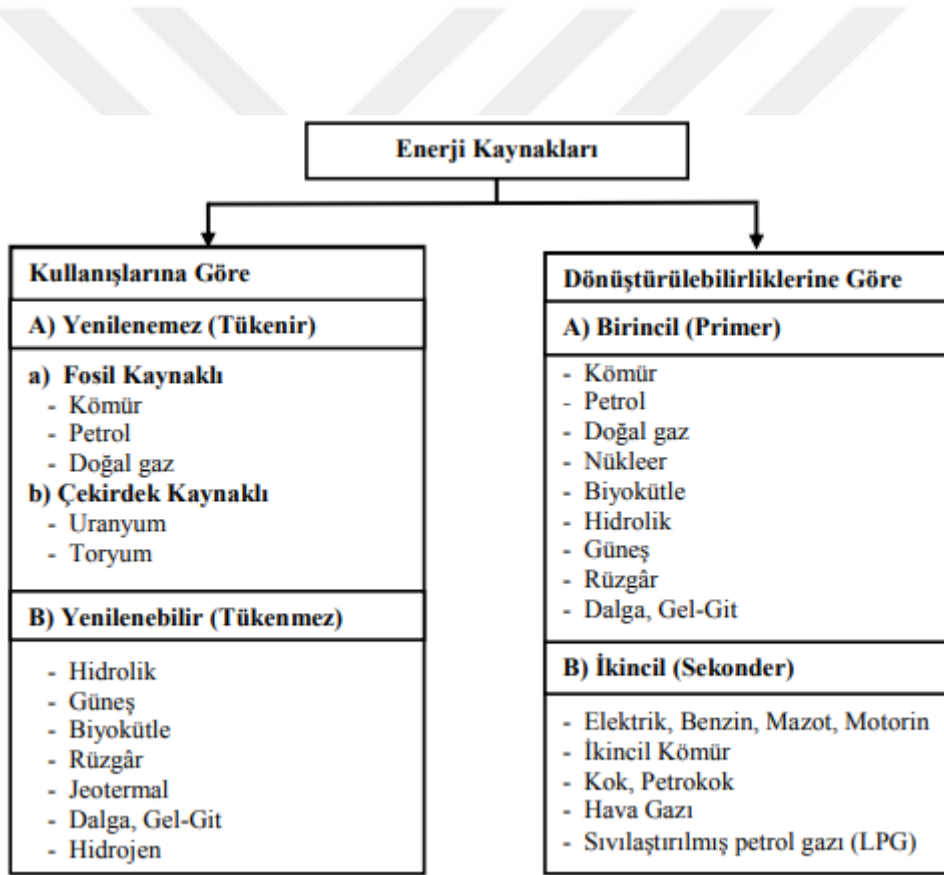
Son zamanlarda malzeme ve enerji alanında düşük bant aralıklı polimer sentezine büyük önem verilmektedir. Çünkü bu tür malzemeler iyi iletkenlik ve iyi lineer olmayan optiksel özellikler göstermektedir (Roncali, 1992). Son yapılan çalışmalar aromatik ve quinoid heterosiklik yapıların kopolimerleşmesini ya da donör ve akseptör birimlerin band aralıklarını düşürdüğünü göstermektedir (Kürti, 1991). Donör–Akseptör-Donör tipi polimerlerinde genellikle güçlü akseptör kimyasal yapılardan biri olan benzo[c][1,2,5]tiyodiazol kullanılır ve düşük bant aralıklı polimerler elde edilir (Karikomi ve ark., 1995; Kitamura ve ark., 1996; Steckler ve ark., 2007). Genellikle bu yapı ile donör grubu eklenerek kullanılan yapılar tiyofen ve 3,4-etilendioksitiyofen bazlıdır. Bu tür polimerlerde önemli olan nokta donör –akseptör birimleri arasında olan dihedral açıdır. Bu açı bu yapı içerisinde yer alan birimlerin elektron alma veya verme özelliklerinin uyumu kadar önemlidir. Yapılan çalışmalarda görülmektedir ki elektron verme kabiliyeti daha düşük olan tiyofen bazlı donör gruplu akseptör birimler 3,4-etilendioksitiyofen bazlı sistemlerden daha yüksek bant aralığına sahip olması beklenir fakat bu durum bazen bu şekilde seyretmez. Bazen tiyofen bazlı sistemlerin dihedral açısı  $0^\circ$  olurken 3,4-etilendioksitiyofen bazlı olanların dihedral açısı daha yüksek olur ve bant aralığına etki eden p orbitallerinin daha zayıf bir şekilde örtüşmesine neden olur (Steckler ve ark., 2007).

Bu çalışmada bu bilgiler ışığında tiyofen ile benzo[c][1,2,5]tiyodiazol den oluşan bir komonomer yapısının elektron verme kabiliyeti daha yüksek olan 3,4-etilendioksitiyofen donör grubu ile olan kopolimerizasyonu sonucu elde edilen polimerin band aralığı taşıyacağı ümit edilmektedir. Bu amaçla önce elde edilen kopolimerle elektrokimyasal ve spektroeletrokimyasal özelliklerinin kıyaslanması amaçlı 4,7-di(tiyofen-2-il)benzo[c][1,2,5]tiyodiazol (TBT) ve 3,4-etilendioksitiyofen elektrokimyasal olarak polimerleştirilecektir. Elde edilen veriler birbirleriyle kıyaslanıp polimerlerin elektrokromik özellikleri ayrıca tartışılacaktır.



## 2. ENERJİ

Nüfus artışıyla beraber enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün biraz daha artmaktadır. Bir ülkenin gelişmişlik potansiyelini enerji üretimindeki durumu belli eder. Yaşamımızın her aşamasında kendine yer bulan enerji; kimyasal, termal (ısı), jeotermal, mekanik (kinetik ve potansiyel), güneş, elektrik, rüzgâr, nükleer, hidrolik enerjisi gibi değişik şekillerde bulunabilmektedir. Enerji kaynakları 2 farklı şekilde sınıflandırılır (Kaplan ve Koç, 2008). İlki enerji kaynaklarının kullanımına göre; yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarıdır. İkincisi ise dönüştürülebilirliklerine göre; birincil ve ikincil enerji kaynaklarıdır (Çizelge 2-1).



Çizelge 2-1 Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması (Koç ve Şenel,2013)

### 2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi

Dünyada genel olarak kullanılan sürdürülebilir enerji kaynakları şunlardır; rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve hidrolik enerjisidir. Enerji

tüketiminin esasında fosil yakıtlar yer alır. Yakıt bakımından yüksek ithalat giderleri, dışa bağımlılık ve çevre sorunlarına benzer çok önemli etkenlerin yanında, dünyada fosil yakıt rezervlerinin ivedi bir şekilde tükenmesi nedeni ile yenilenebilir enerji kaynaklarını daha önemli hale getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, devamlılığı sebebiyle sürdürülebilir olmasının yanı sıra dünyanın her yerinde bulunabildiği için büyük önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının olumsuz çevresel etkileri bilindiği üzere yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre çok daha azdır. Bu anlamda yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi çok büyüktür çünkü ekonomik sorunların ve mevcut teknik sorunlarının çözülmesi durumunda 21. yüzyılın en popüler enerji kaynağı olacağı öngörülmektedir (Kumbur ve Ark., 2005). Tahmini olarak 2020 Yılında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Çizelge 2-2' de gösterilmiştir.

|                  | 2020 Yılında Minimum |            | 2020 Yılında Maksimum |            |
|------------------|----------------------|------------|-----------------------|------------|
| Enerji Kaynağı   | MTEP                 | %          | MTEP                  | %          |
| Modern Biyokütle | 243                  | 45         | 561                   | 42         |
| Güneş            | 109                  | 20         | 355                   | 26         |
| Rüzgâr           | 85                   | 15         | 215                   | 16         |
| Jeotermal        | 40                   | 7          | 91                    | 7          |
| Küçük Hidrolik   | 48                   | 9          | 69                    | 5          |
| Deniz Enerjileri | 14                   | 4          | 55                    | 4          |
| <b>TOPLAM</b>    | <b>539</b>           | <b>100</b> | <b>1345</b>           | <b>100</b> |

MTEP: Milyon ton eşdeğer petrol

Çizelge 2-2 2020 Yılında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Tahmini (Kumbur ve Ark., 2005)

## 2.2. Akıllı Camlar ve Önemi

Yüksek performansları ile cephe sistemlerinde dinamik kontrol olanağı sunan cam sistemlerine akıllı cam sistemi denir. Akıllı camlar genellikle üzerlerindeki ısı, elektriksel alan veya ışık yoğunluğuna bağlı olarak saydam halden renkli hale geçerek optik özelliklerini farklılaştırabilen camlardır. Aktif kontrollü camlar ve pasif kontrollü camlar olmak üzere iki ayrı grupta incelenir.

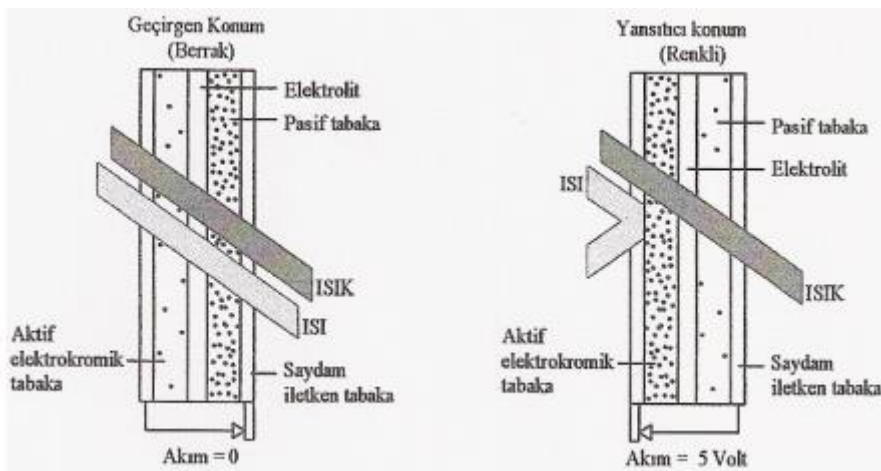
- Pasif kontrollü cam: Termokromik ve fotokromik camlar
- Aktif kontrollü cam: Elektrokromik camlar

Gün ışığına duyarlı olan fotokromik camlar, geçirgenlikleri sayesinde gün ışığındaki farklılığa göre değişim göstermektedir. Isıya duyarlı olan termokromik camlar ise cam

yüzeyinin sıcaklığının belirli bir miktara ulaşması ile renk değiştirmektedirler. Manüel veya otomatik olarak kontrolü sağlayan elektrokromik camlar aktif kontrol imkânı sunar. Elektrokromik camlar, düşük elektrik akımıyla camın güneş ışığı ve ısı geçirgenliklerini duruma göre artırır veya azaltır (Tavil, 2014). Elektrokromik camlar dinamik olarak kontrolü sağladığı için özellikle yüksek performanslı bina uygulamalarında enerji etkinlik açısı ve kullanıcı konforu bakımından başka akıllı cam teknolojilerine kıyasla daha yüksek bir potansiyele sahiptir (Selkowitz, 1999).

### 2.3. Elektrokromik Camlar

Elektrokromizm, malzemenin yüzeyine az miktarda elektrik akımı verilmesiyle malzemenin geçirgenliğinin değişmesi ve buna bağlı olarak malzemenin kimyasal yapısını farklılaşmasıdır. Elektrokromik camlarda genellikle 1 mikron kalınlığında Tungstenoksit filmi kullanılmaktadır. Katmanlar arasında 1-5 Volt arasında elektrik voltajı uygulanarak elektrokromizm özelliği geliştirilmektedir. Bundan dolayı cam yüzeyinden güneş ısı kazancı ve gün ışığının geçişi azalmaktadır. Elektrokromik cam sistemlerinin çalışma şekli Şekil 2-1’de gösterilmektedir. Toplam 5 film tabakasından oluşan cam sistemi, tungstenin optik yoğunluğu, verilen akım ile doğru orantılı olup saydam iletken tabakaya voltaj uygulanmasıyla redoks reaksiyon gerçekleşmektedir. Elektrokromik özellik nedeniyle camın içerisinden iyonların geçmesiyle renk değiştirmektedir. Akım düşürüldüğünde veya arttırıldığında film tabakası üzerinden iyonların yeri değişerek bazen ise berrak renge bazen koyu mavi renge dönüşmesi gerçekleşmektedir.



Şekil 2-1 Elektrokromik Cam Sistemleri (Tavil, 2014).

## 2.4. Polimerler

Polimer, basit moleküllerin kimyasal bağlar ile bağlanmasıyla meydana gelen yüksek molekül ağırlığına sahip olan maddelerdir. Eğer polimer tek tür monomerden oluşuyorsa buna homopolimer denir. Eğer kopolimerse, kimyasal yapısı içerisinde birden fazla monomer tipi vardır. Yaygın olarak kullanılan polimerlerin birçok avantajı bulunur.

- Ağır olmamaları
- Kolay şekle girmeleri ve kolay dizayn edilmeleri
- Kimyasal etkilere ve atmosferik koşullara karşı dayanıklı olmaları
- Mekanik dayanımlarının oldukça kuvvetli olması
- Isıyı, sesi ve elektriği iletmezler. Yalıtıcıdır
- Hijyenik olmaları
- Özelliklerinin isteklere göre değiştirilmesi
- Optik Özellikler (Şeffaflık, Matlık)
- Uygun maliyetli (İmalat ve Hammadde) olmaları

### 2.4.1. Polimerleşme Türleri

#### 2.4.1.1. Kondenzasyon (basamak) Polimerleşmesi

Kondenzasyon polimerizasyonu,  $-NH_2$ ,  $-COOH$  ya da  $-OH$ , gibi fonksiyonel gruplara sahip olan monomerlerde gerçekleşir. Tepkimeye giren moleküller, içlerinden küçük moleküller ayrılarak birleşirler. Ayrılan bu küçük moleküller  $CH_3OH$ ,  $H_2O$ ,  $HCl$ , molekülleridir. Kondenzasyon polimerleşmesinde, tüm molekül türleri, birbirleriyle tepkimeye girmeye hazırdır. Bundan dolayı, tepkimenin en başından itibaren, hemen hemen tüm monomerler büyük bir moleküle katılarak polimer zincirinin büyümesine sebep olur. Polimerin büyümesi, monomerlerin, dimerleri oluşturmak için monomerlerle birleşmesi ve sonrasında trimerleri oluşturmak içinde dimerler ile tepkimeye girmesi sırayla gerçekleşir (Gnanou ve Fontanille, 2008; Odian, 1991; Seidel, 2008; Patrickios, 2010).

#### **2.4.1.2. Katılma (Zincir) Polimerleşmesi**

Katılma polimerleşmesinde, monomerler genel olarak bir radikal ya da iyonik başlatıcısının aktive ettiği en az bir doymamış grup içermektedir. Katılma polimerleşmesinde monomerin bütün atomları küçük moleküller oluşmadığından dolayı, polimer zincirlerine dahil edilirler. Basamak polimerizasyonundan farkı, monomerlerin tepkimeye girmeye hazır olmamalarıdır. Bundan dolayı iyonik ya da radikal tipte uygun başlatıcı ile aktif hale getirilir. Tüm bunlar zincir polimerizasyon yöntemlerinin en kritik ortak özelliği, polimer zincirinin çok kısa zamanda yüksek mol kütlesine ulaşmış olmasıdır. Tepkimenin başlamasının hemen ardından ortamda çok az fakat çok yüksek mol kütleli polimerler ve çok miktarda monomer vardır. Sürenin ilerlemesi ile birlikte monomer-polimer dönüşümü fazlaşır, ancak meydana gelen polimerin mol kütlesinde herhangi bir değişme olmaz (Gnanou ve Fontanille, 2008; Odian, 1991; Seidel, 2008; Patrickios, 2010).

#### **2.5. İletken Polimerlerin Tarihçesi**

İletken polimerler, içerisinde bulunan elektronlarla yeterli seviyede elektriksel iletkenliği sağlarlar. Poliasetilen ile yapılan çalışmalar sonucunda ilk kez bir polimerin doğrudan kendisinin elektriği elektronlar üzerinden iletebileceği ortaya çıkmıştır. Uzun yıllar iletken olmadığı bilinen, siyah toz halde olan poliasetilen bir polimeridir. 1974 yılında H. Shirakawa yeterince iletken olmayan poliasetilenle filmler hazırlamıştır. 1977 yılında H. Shirakawa, A.J. Hegger ve A.G. MacDiarmid söz konusu olan poliasetilen filmlerin klor, flor ya da iyot buharlarıyla reaksiyonunda yükseltgendiğinde, iletkenliğinin 109 kat arttığını 105 S/m seviyesine ulaştığı görülmüştür. Bu seviye iletken olmayan karakterli teflonun sahip olduğu iletkenlik seviyesinden, yani  $10^{-18}$  S/cm'den oldukça yüksektir. Gümüş gibi metallerin sahip olduğu iletkenlik 106 S/m düzeyine oldukça yakın bir değerdir. 2000 yılında Shirakawa, Hegger ve MacDiarmid bu çalışmalarından dolayı Kimya Nobel ödülünü kazanmışlardır (Saçak 2004).

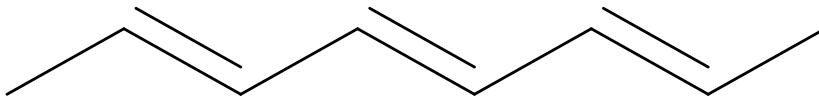
##### **2.5.1. İletken Polimerlerin Yapısı**

Elektriği iletebilen ya da dağıtabilen özel polimerlere “İletken Polimerler” denilmektedir. Ancak iletken polimerler gerçekte birbirinden tamamen iki farklı tür

polimer içermektedir. İlk türde polimerler karbon siyahı, metal fiberler ve metal tabakalara benzer iletken dolgu maddeleriyle birleştirilmiş polimeri içerir. Bu polimerler ticari olarak kullanılan çoğu polimerleri oluştururlar. İkinci türdeyse kendiliğinden iletken olan polimerler, kimyasal yapılarından dolayı molekül zincirleri boyunca elektriği iletebilen ya da dağıtabilen polimerlerdir (Kalaycı, 2008).

İletken polimerlerin ana iskelet zincirlerinde zayıf bağlı elektronlar bulunur. Polimerler elektriksel iletkenlik gösterebilmeleri için, elektronların zincir boyunca taşınmasını sağlamak için polimer örgüsünde uygun yerlerin olması şarttır. Bu şartı ana zincirde konjuge çift bağlara sahip olan polimerler sağlamaktadır. Diğer polimerlerden iletken polimerleri ayıran asıl özellik, sırasıyla değişen çift ve tek bağlardan oluşan zincir yapısına sahip olmalarıdır. Konjugasyon ise bu sayede sırasıyla değişen bağ yapısıdır. İletken polimerlere aynı zamanda da konjüge polimerler de denir.

İletken olan polimerin asıl özelliği ana zincir boyunca polimerin art arda sıralanmış (konjuge) çift bağlar bulundurmasıdır. Şekil 2-2’de Poliasetilene ait konjuge yapı görülmektedir. Konjugasyonda, karbon atomları arasındaki bağlar arasında dizilmiş tek ve çift bağlar vardır. Bağlardan her biri kuvvetli bir kimyasal bağ olan “sigma” ( $\sigma$ ) bağı içermektedir. Ayrıca, her çift bağda daha az sınırlandırılmış ve daha zayıf olan “pi” ( $\pi$ ) bağı bulunmaktadır. Fakat tüm bu olanlara rağmen konjugasyonda yeterince iletkenlik yoktur. İletkenliği arttırmak için polimer maddeye dopant maddeleri eklenerek iletkenlik artırılır. Dopantlar hole ve elektronların sayısını arttırmak için kullanılır. Hole, elektronun olmadığı konumdur. Başka bir konumdan hole gelen elektron başka bir hole oluşturur. Durumun böyle sürmesi sonucundan elektronlar uzun bir mesafe kat etmesi ile sağlanır (Aydın, 2012).

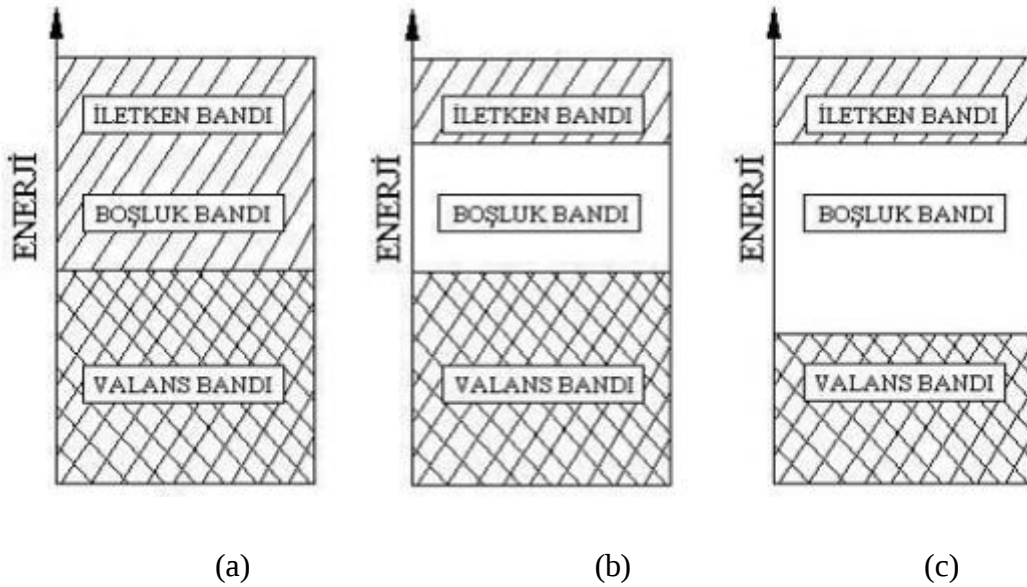


Şekil 2-2 Poliasetilene ait konjuge yapı

### 2.5.2. Bant Teorisi

Maddelerin iletken, yarıiletken ve yalıtkan olarak sınıflandırılmasında bant teorisinden yararlanılır. Bant aralığı genellikle Valans bandının tepesi ile iletkenlik bandının tabanı

arasındaki enerji farkını belirtir. Bu, dış kabuk elektronunu çekirdeğin etrafındaki yörüngesinden, malzemenin içinde serbestçe hareket edebilen bir mobil yük taşıyıcısı haline getirmek için gereken enerjiye eşdeğerdir. Bu yüzden, bant boşluğu bir polimerin elektrik iletkenliğini belirleyen önemli bir faktördür. Büyük bant boşluklarına sahip maddeler genellikle yalıtkandır, daha küçük bant aralıklarına sahip olanlar yarı iletkenler, iletkenler ise Valans bandının ve iletkenlik bandının üst üste binmesi nedeniyle çok küçük bir boşluk bant aralığına sahiptir veya hiç boşluk bandı yoktur. Şekil 2-3'te iletken, yarıiletken ve yalıtkan maddelerde olan bant aralığı görülmektedir.



Şekil 2-3 İletken(a), yarı iletken(b) ve yalıtkan(c) maddelerde bant aralığı

### 2.5.3. İletken Polimerlerin Uygulama Alanları

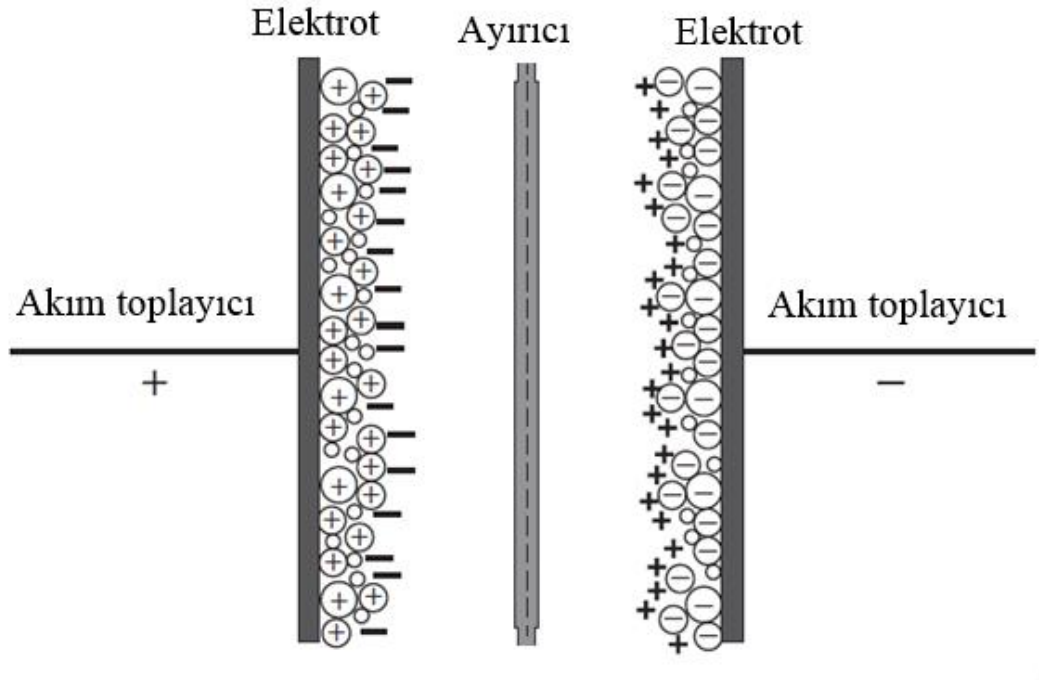
İletken polimer, 1980'li yıllarda kararlılıkları ve işlenebilirlikleri konusunda kaydedilen ilerlemelerden dolayı ticari firmaların ve akademisyenlerin ilgisini çekmiştir. İletken polimerler farklı elektrokimyasal özelliklerinden dolayı birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle şarj olabilen piller, elektrokromik aletler, sensörler, fotokimyasal hücreler ve iyon seçici elektrotlarda kullanım potansiyeline sahiptir (Aydın, 2012).

İletken polimerler elektrokimyasal ve kimyasal yöntemler ile sentezlenmeleri, kolay işlenebilirlikleri ve metaller kadar elektriksel iletkenlik göstermelerinden dolayı çok geniş bir uygulama alanında kullanılmaktadır. İletken polimerler, uzun ömürlü olmaları

ve çok düşük akım ürettiklerinden dolayı kalp pillerinde elektrot olarak görev yapmaktadır. Kızılötesi dalgalar veya radyo frekanslarında iletilen tüm radyasyonu emdiğinden dolayı bu polimerler radar dalgalarıyla görünmez cihazların üretiminde kullanılır (Toppare, 2003).

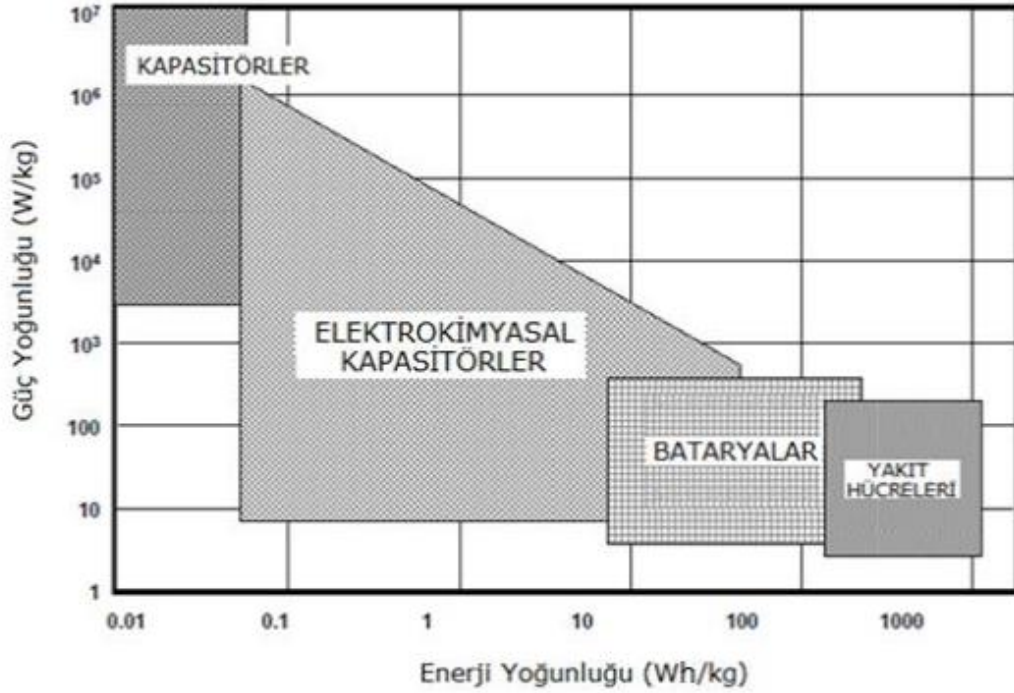
### 2.5.3.1. Süperkapasitörler

Bilindik kapasitörlerin çok gelişmiş halleri süperkapasitörlerdir. Süperkapasitörler son yıllarda oldukça gelişmiş ve enerjiyi depolamada büyük ölçüde kolaylaştırma sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Elektrokimyasal çift tabakanın elektrik alanı içerisinde enerji depo etme özelliği taşıyan da süperkapasitörlerdir. Süperkapasitörler aynı zamanda elektrokimyasal veya ultrakapasitör olarak da bilinmektedir. Süperkapasitörlerin kapasitanslarının bilindik kapasitörlerin kapasitanslarından biraz daha fazla olması amacıyla bu kapasitörlerde kullanılan elektrot malzemesinin yüzey alanının yüksek olması gerekmektedir. Ayrıca elektrolitik dielektriklerinin ince olması oldukça önemlidir. (Balakrishnan ve Subramanian 2014). Şekil 2-4'te şematik olarak gösterilen süperkapasitör görülmektedir.



Şekil 2-4 Şematik olarak gösterilen süperkapasitör (Dehghanpour, 2015)

Süperkapasitörlerin performanslarının durumu “Ragone Plot” denilen Şekil 2-5’ de verilen grafikte gösterilmiştir. Bu tür grafiklerde, yatay eksen de güç yoğunluğunu göstermekte iken dikey eksen ise farklı türdeki enerji depolama birimlerinin enerji yoğunluklarını göstermektedir. Şekilde de olduğu gibi süperkapasitörler bilindik kapasitörler ile bataryalar arasında yer almaktadır (Kötz ve Carlen, 2000). Süperkapasitörler bilindik kapasitörlere göre çok daha yüksek kapasitans değerlere sahip oldukları halde enerji yoğunlukları yakıt hücreleri ve bataryaların enerji yoğunluklarından oldukça düşüktür.

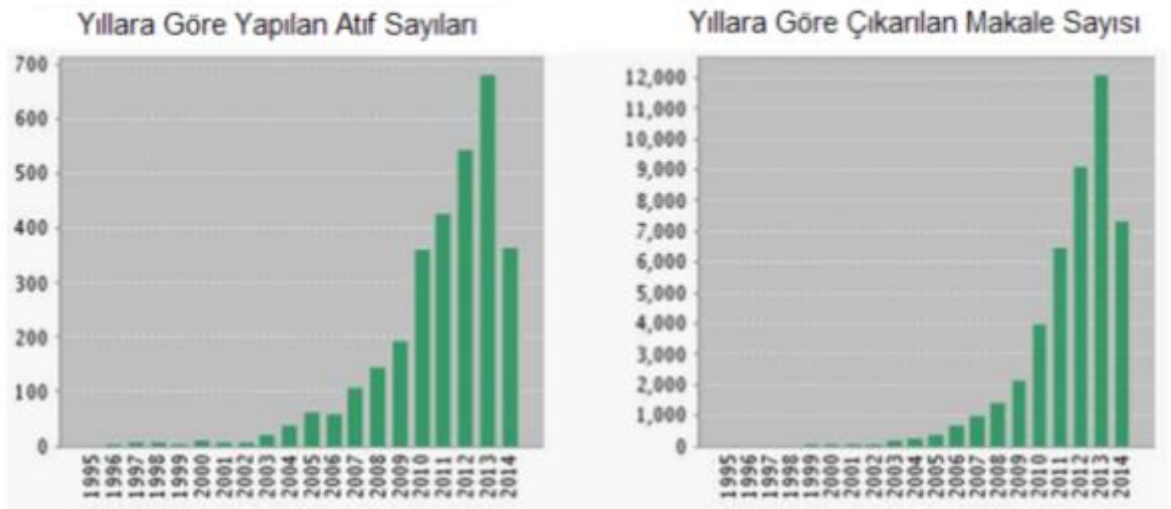


Şekil 2-5 Enerji depolama birimlerinin Ragone grafiği (Kötz ve Carlen 2000)

### 2.5.3.2. Boya Duyarlı Güneş Hücreleri

Son yıllarda oldukça büyük bir ilgi gören boya duyarlı güneş hücreleri sistemleri 1991 yılında B. Oregan ve M. Grätzel tarafından yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu büyük ilginin temeli silisyum tabanlı güneş hücrelerine göre boya duyarlı güneş hücrelerinin daha az maliyetli olması ve üretim aşamasında birçok avantaj

sağlamasıdır. Şekil 2-6'da konuyla ilgili yıllara göre yayınlanmış makale sayısı görülmektedir.



Şekil 2-6 Yıllara göre boya duyarlı güneş hücreleriyle ilgili yayınlanan makale sayısı (Kocaman, 2014)

Boya duyarlı güneş hücreleri 5 temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- Fotoanot
- Karşıt elektrot
- Boyar malzeme
- Elektrolit
- Katalizör

Hücre verimini belirleyen en önemli nokta bu temel kısımları en iyi şekilde kullanmaktır. Yarı iletken katman ve yarı iletken cam, boya duyarlı güneş hücrelerinin çalışan elektrotunu, katalizör ve diğer iletken cam da boya duyarlı güneş hücresinin karşıt elektrotunu oluşturur.

#### 2.5.3.2.1. Çalışma Elektrotu

Boya duyarlı güneş hücrelerinin negatif ucunu oluşturan elektrottur. Bu bölümde yarı iletken katman, saydam iletken oksit ince film kaplı iletken cam bulunmaktadır. Şeffaf

iletken oksitlenmiş cam olarak flor katkılı kalay oksit ya da indiyum katkılı kalay oksit kullanılmaktadır. Optiksel açıdan görünür olması ve yakın kızılötesi ışıklar için saydam olması ve düşük bir direnç sahip olması şeffaf iletken oksitlenmiş camların pek çok opto-elektronik uygulamada kullanılmaktadır. Deney aşamalarında da yüksek sıcaklıklara oldukça dayanıklı olmasından dolayı rahatlıkla kullanılabilir (Kocaman, 2014).

TiO<sub>2</sub>, boya duyarlı güneş hücrelerinde en çok kullanılan yarı iletken katmandır. Bunun sebebi ise bol miktarda bulunması, toksik olmaması, mekanik ve kimyasal olarak kararlı bir yapısının olması ve diğer yarı iletken malzemelere göre biraz daha ucuz olmasıdır. TiO<sub>2</sub>, boya duyarlı güneş hücrelerinde 3 temel görevde bulunur.

- Boyanın tutunabilmesi için yüzey alanı meydana getirmek
- Uyarılan boyadan gönderilen elektronu kabul etmek
- Gelen elektronun iletken cam yüzeye iletilmesini sağlamaktır.

#### **2.5.3.2.2. Duyarlılaştırıcı (Boya)**

Boyanın asıl görevi, kimyasal bağlarla bağlandığı TiO<sub>2</sub>'ye elektron sağlamaktır. Boyanın içerisindeki elektronların, uyarılmış hale geçmesi için üzerlerine ışık çarpması ve boyadan ayrılarak TiO<sub>2</sub> yüzeyine ulaşması gerekmektedir. Uyarılmış haldeki boya, elektrolit içindeki redoks tepkimeleri sayesinde kaybettiği elektronları yeniden kazanır (tekrar yenilenerek indirgenir). Çalışmasına bu şekilde devam eder (Kocaman, 2014).

En çok tercih edilen duyarlılaştırıcı Rutenyum tabanlı boyalardır. Sebebi ise Rutenyum tabanlı boyalar yakın kızıl ötesi tayflarının oldukça iyi bir şekilde uyarıldığı ve güneş ışığının görünür olmasıdır.

#### **2.5.3.2.3. Elektrolit Çözeltisi**

Genel olarak tri-iyodür/iyodür redoks çiftinden meydana gelen elektrolit, içinde farklı iyonlara sahip ve indirgenme ve yükseltgenmenin gerçekleştiği iletken sıvıdır. Elektrik devresinin tamamlanmasını, devrenin devamlılığını ve boyanın kaybettiği elektronun tekrar kazanılmasını sağlar. Elektronların iyi bir şekilde iletilmesi önemli olup verimi direk etkilemektedir. Boya duyarlı güneş hücrelerinde elektrolitlerin sıvı olması uçuculuk ve akma problemlere sebep olmaktadır. Çözüm olarak ise katı elektrolitler

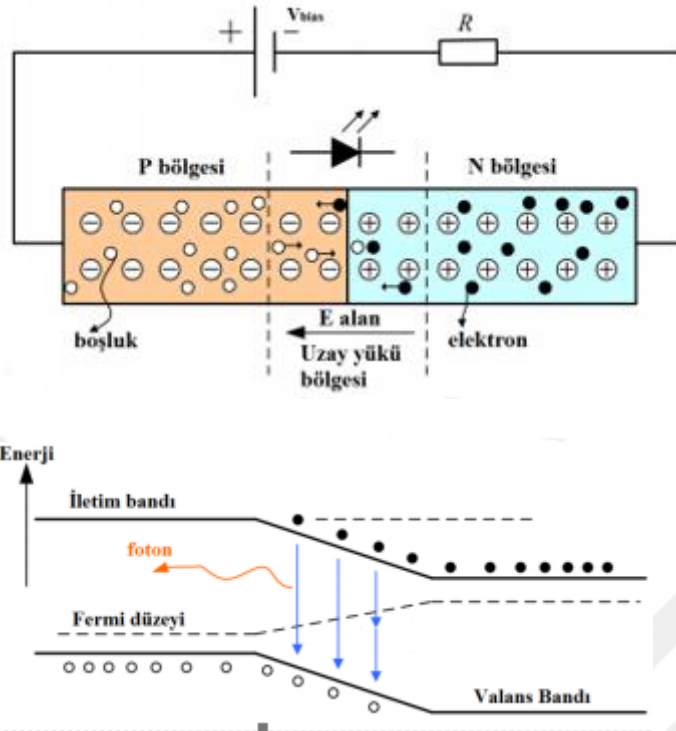
üretilmiştir ama sıvı elektrolitlere göre katı elektrolitlerin verimi düşüktür (Chung ve ark., 2012).

#### **2.5.3.2.4. Karşıt Elektrot**

Boya duyarlı güneş hücrelerinde elektrik devresinin pozitif ucunu oluşturan karşıt elektrottur. Bu aşamada, iletken cam üzerinde katalizör olarak görev yapmakta olan Pt, polimerden ya da grafitten oluşan bir tabaka bulunur. Tri-iyodürün indirgenmesi de bu aşamada gerçekleşmektedir (Pettersen ve ark., 2007). Tri-iyodür/iyodür redoks çifti için çok iyi bir katalizör olan platin, ışığı çok iyi derecede yansıtır. Bütün bu özellikleri sayesinde platin boya duyarlı güneş hücrelerinde sıklıkla tercih edilmektedir (Papageorgiou ve ark., 1997).

#### **2.5.3.3. Işık Saçan Diyotlar**

Elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren yarı iletken elemanlara LED denir. LED, İngilizce kelime olup Light Emitting Diode kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. LED'lerde ana fonksiyonel bölümü yarı iletken yapı oluşturur. LED'in yapısı p-tipi ve n-tipi olan yarıiletken malzemenin yan yana gelerek birleşmesiyle oluşur. Bir diyotta akım akışının tek bir yönde gerçekleşmesine izin verir (Motier, 2009). P-tipi yarı iletkenin azınlık taşıyıcıları elektronlar ve çoğunluk taşıyıcıları boşluklar iken n-tipi yarıiletkenlerde tam tersidir.



Şekil 2-7 LED'in p-n jonksiyonunu ileri yönde bianslamanın etkileri (Qu, 2009)

Şekil 2-7' de görüldüğü gibi iletken güç kaynağının pozitif tarafına bağlanan p-tipi yarı iletken ve negatif tarafına da n-tipi yarı iletken bağlanmıştır. Sistem ileri yönde bianslandığı zaman pozitif taraftan negatif tarafa doğru elektrik akımı akar. Bu arada yayımlanan elektronlar Şekil 2-7' de görüldüğü gibi uzay yükü bölgesinde bir boşluk ile karşılaştığında işgal ettiği yüksek enerjili iletim bandında düşük enerjili Valens bandına düşer ve foton salınımı oluşturur. Bu olay ışınım birleşimidir. LED'lerin ışık yayma prensibi temel olarak böyledir. Eğer bu durumun tersi olursa diyotlardaki gibi uzay yükü bölgesi genişleyecek ve çoğunluk taşıyıcıların aşamayacakları çok büyük bir engelle karşılanacaktır. Çoğunluk taşıyıcısı akımı sıfır olacaktır. Fakat azınlık taşıyıcılarından dolayı p-tipi ve n-tipi yarı iletkenleri arasında ters doyma akımı akacaktır. Bu aşamada yapı tersinir olup çok fazla akıma izin verildiği zaman yarıiletken yapı bozunur (Qu, 2009).

#### 2.5.3.4. Biyosensörler

Biyosensörlerin çalışması için öncelikle substrat çözelti içinden biyosensörün yüzeyine iletilir. Substratın iletilmesi karıştırma, difüzyon gibi farklı işlemlerle olabilir. Substrat biyokatalizörün aktif bölgesine difüze eder. Biyokatalizör polimerik gözenekli membrana emdirilmiş ya da algılayıcı ile polimerik membran arasına sandviç edilmiş ya

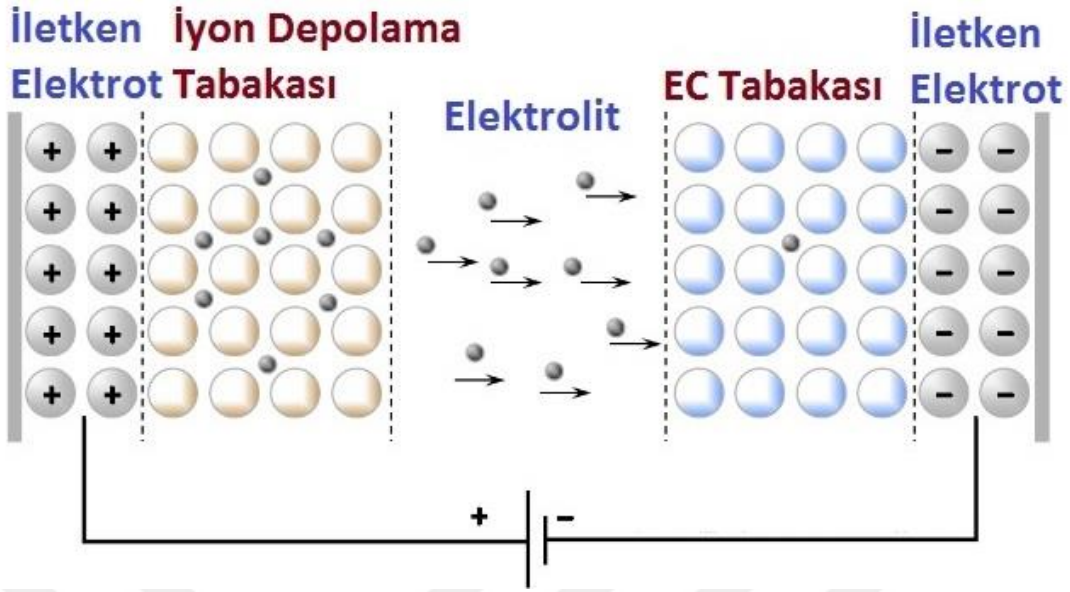
da polimerik bir jel içinde sıkıştırılmış olabilir. Bu sıkıştırma işlemi için jelatin, kolojen, agaroz, poliakrilamid vb. gibi sentetik ya da doğal polimerler kullanılabilir. Substrat ve biyokatalizör arasında reaksiyon meydana gelir ve bu etkileşim sonucunda da gaz molekülleri salınabilir ya da kullanılabilir, ısı ortaya çıkar ya da kaybolur, seçimli iyonlar meydana gelebilir, optik yoğunlukta değişiklik görülebilir, elektron kullanılabilir, elektron salınabilir. Substrat ile biyokatalizör reaksiyonu sonucunda ürün algılayıcı yüzeyine iletilir. Algılayıcı yüzeyinde değişiklikler algılanıp elektriksel devrelerle ölçülebilecek seviyeye getirilir. Ölçülen bu değer elektriksel sinyal analit derişimi ile orantılıdır (Aydın, 2012).

Biyosensörler nerdeyse her alanda kendine yer bulmuştur. Tarım, eczacılık, gıda, tıp, savunma sanayi, çevre kirliliği ve özellikle endüstride kalite kontrolünde ve otomasyonda çok önemli rollere sahiptir. Bazı biyosensör uygulamaları aşağıda verilmiştir.

- Proses kontrolü
- İlaç Analizi
- Biyomedikal sektör
- Veterinerlik ve tarım
- Virüs ve bakteri teşhisi
- Çevre kirliliği kontrolü ve çevre koruma
- Maden işletmelerinde zehirli gaz analizleri
- Askeri uygulamalar

## **2.6. Elektrokromik Cihazlar**

Elektrokromik cihazlar; voltaj uygulamasıyla cihazın kimyasal yapısında ya da fiziksel görünümünde değişiklik oluşturan cihazlardır. Cihaza voltaj verildiği zaman cihazda renk değişimi oluşmasıyla sadece fiziksel özelliğinde değişme görülmesiyle beraber malzemede ışık yansıması ve ışık geçirgenliği gibi özellikleri de değişmektedir.



Şekil 2-8 Elektrokromik cihazın çalışma prensibi

Cihaza voltajın uygulanmasıyla cihazda elektron kaybı veya elektron kazanımı olur. Şekil 2-8’de görüldüğü üzere elektrolit ortamında iyon depolama tabakasından elektrokromik tabakaya geçiş yaparak elektrokromik tabakanın yapısında fiziksel özelliklerinde değişiklikler meydana gelir. Kapalı sistem ile bu tersinir halde uygulanır. Bu sayede cihazda renk değişimi oluşur. Uygulanan voltaja göre renk değişikliği sağlanabilir. Bu sayede daha açık renk veya daha koyu renk elde edilebilir. Yüksek optik kontrastı işlenebilir olması ve bant aralığının kolay bir şekilde ayarlanabilmesi sayesinde iletken polimerler elektrokromik cihazlarda aktif katman olarak kullanılmaktadır.

Elektrokromik cihazların bazı temel parametreleri vardır. Bunlar:

- Kontrast oranı: Renkteki değişme yoğunluğunu ölçmek için kullanılmaktadır (Thakur, 2012).
- Transmittans değişimi
- Optiksel yoğunluk: Dalga boyunun optiksel geçirgenliğidir (Thakur, 2012).
- Renk verimi: Elektrokromik tabakanın verimliliğini karşılaştırmaya yarayan parametredir (Thakur, 2012).
- Anahtarlanma süresi: Elektrokromik malzemenin renk değiştirmesi için gerekli zamandır (Thakur, 2012).

- Kararlılık
- Optik hafıza: voltaj cihaz üzerinden kaldırıldıktan sonraki renk durumunu korumasıdır (Wei vd., 2015).

## **2.7. İletken Polimerlerin Sentezi**

İletken polimerlerin sentezinde kullanılan en popüler yöntemler; kimyasal, elektrokimyasal ve piroliz polimerizasyonudur.

Polimer ana zinciri üzerinde  $\pi$ -elektronlarının yoğunluğu ve konjugasyonun artırılması polimerizasyon için gereklidir.

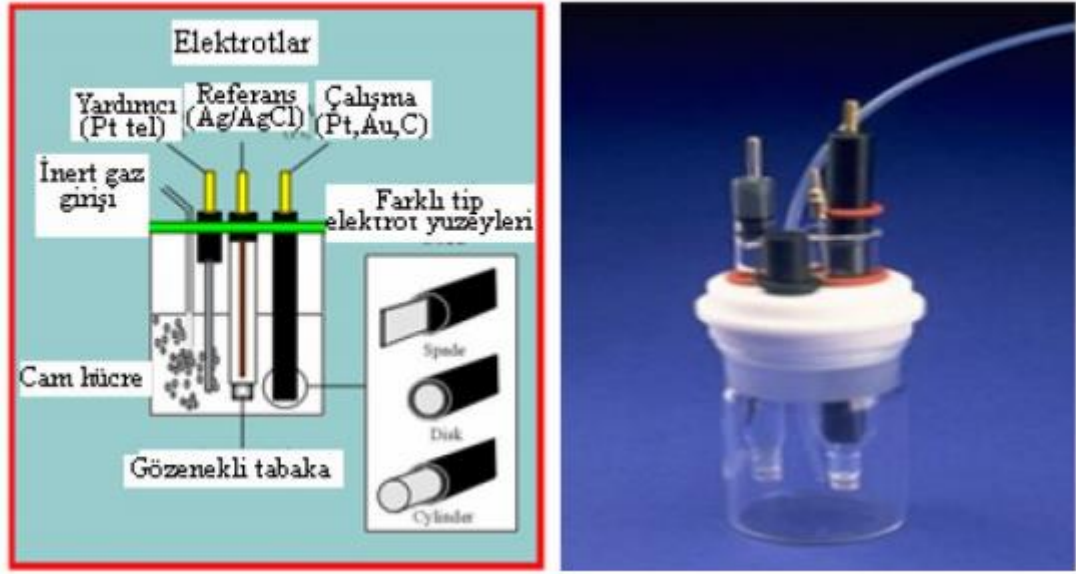
### **2.7.1. Kimyasal Polimerizasyon**

İletken polimer sentezlerinde en çok kullanılan tekniktir. Bu yöntemde monomer uygun bir çözücünde çözünür ve indirgen ya da yükseltgen olan madde ve katalizör eşliğinde sentezlenir.

Bu yöntemin en büyük avantajları ise büyük miktarlarda polimerin sentezlenmesi ve maliyetinin düşük olmasıdır.

### **2.7.2. Elektrokimyasal Polimerizasyon**

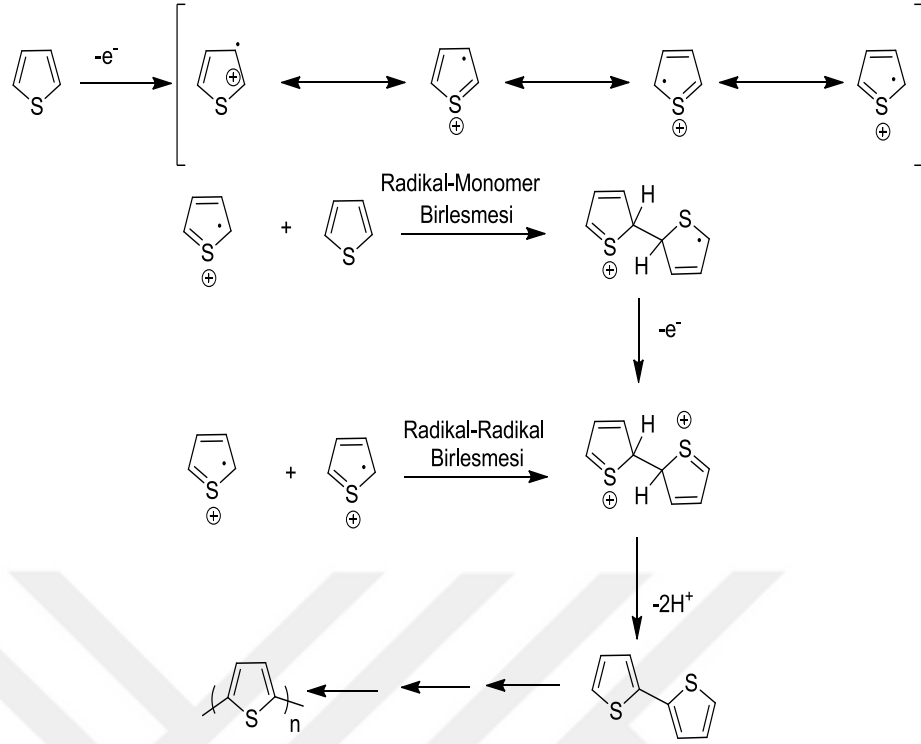
Elektrokimyasal polimerizasyonun gerçekleşmesi için elektrolit ve elektrotlara ihtiyaç vardır. Ayrıca monomerli bir çözücü elektrolitle beraber polimerleşmeye uygun ortam sağlar.



Şekil 2-9 Üçlü elektrokimyasal hücreye ait bir örnek

Elektrolit hücre içerisinde bulunan malzemenin yükseltgenmesi veya indirgenmesiyle katyon, anyon veya radikal oluşumu önemlidir. Elektrokimyasal polimerizasyonda ise monomerin yükseltgenebilmesi için lazım olan potansiyel döngüsel voltametre ya da sisteme sabit bir akım veya sabit potansiyel verilmesiyle oluşur. Polimerizasyonun elektrokimyasal hücrede gerçekleşmesi döngüsel voltametre ile sağlanır. Şekil 2-9'da üçlü elektrokimyasal hücreye ait bir örnek görülmektedir.

Elektropolimerizasyon yaparken ilk basamakta monomer yükseltgenerek radikal katyon oluşturur. Bir sonraki adımdaysa radikal katyonlar birleşerek polimer zincirleri meydana getirirler.



Şekil 2-10 Tiyofenin elektropolimerizasyonu

Elektrokimyasal polimerizasyon yönteminde polimer film kalınlığı morfolojisi az da olsa kontrol edilmektedir. Bu yöntemin hızlı ve basit olması, düşük miktarda monomer olması en büyük avantajlardandır. Bu yöntemin en önemli noktası doğru çözücü, destek elektroliti ve elektrot seçimidir. Şekil 2-10'da Tiyofenin elektropolimerizasyonu gösterilmiştir.

### 2.7.2.1. Elektrot Seçimi

Elektrokimyasal polimerizasyon esnasında karşıt elektrot, çalışma elektrodu ve referans elektrot olarak 3 elektrot kullanılır. Çalışma elektrodu belirlenirken çalışmanın amacına uygun olmasına, elektrot yüzeyinde kararlı bulunan sentezlenmiş polimer ve monomer cinsine göre belirlenir. Yapılan çalışmada amaca göre İTO, Platin, altın, karbon ve çelik elektrotlar tercih edilebilirler. Karşıt elektrotta ise çalışma şartlarına ve çalışma türüne göre belirlenir. Genel olarak çalışmalarda Platin elektrot seçilmektedir. En dikkat edilecek yer, karşıt elektrotun alanından çalışma elektrotun alanı daha küçük olmasıdır. Genel olarak gümüş tel, standart kalomel elektrot ve Ag/AgCl ise referans elektrot olarak kullanılmaktadır (Cihaner,2011).

### 2.7.2.2. Destek Elektrolit

Elektrokimyasal bir redoks tepkimesinin gerçekleşebilmesi çalışma elektrotu üzerinde olur. Oluşan bu çevre difüzyon katmanıdır. Difüzyon katmanını oluşturan monomerler madde akışı yoluyla gelirler. Madde akışı difüzyonu sadece konveksiyon fark ve potansiyel farkla gerçekleşebilir. Potansiyel fark ile oluşan bu göç, destek elektrotu ile giderilmektedir. Konveksiyon farkıyla oluşan göçte ise karıştırma işlemi olmazsa engellenmiş olur. Bunun yanında destek elektrotu karşıt iyon olarak da görev yapmaktadır.

Sıklıkla tercih edilen destek elektrotları lityum perklorat, tetrabütilamonyum hekzaflorofosfat, potasyum klorür, tetrabütilamonyum tetrafloroborat ve potasyum nitrattır (Cihaner, 2011).

### 2.7.2.3. Çözücü Seçimi

Çözücü, yapılan çalışma için çok önemlidir ve tercih edilen çözücü en iyi şekilde monomeri çözmelidir. Ancak çözücü içerisinde polimer çözünmemelidir. En sık tercih edilen çözücü asetonitrildir. Sebebi ise yüksek dielektrik sabitine ve geniş potansiyel aralığına sahip olmasıdır. Bunun yanında diklorometan, dimetilformamid, etanol, nitrobenzen, benzonitril gibi çözücülerde sıklıkla tercih edilmektedir ve Çizelge 2-3'te sıkça kullanılan çözücülerin kullanım aralıkları gösterilmiştir (Wise, 1998).

| Çözücü                 | Yaklaşık çalışma aralığı (V) SCE'e karşı |
|------------------------|------------------------------------------|
| Asetonitril (ASN)      | +2,7'de -3,2'e                           |
| Dimetil formamid (DMF) | 2,0'dan -1,8'e                           |
| Propilen karbonat (PK) | 2,0'dan -2,0'a                           |
| Diklorometan (DCM)     | +1,8'den -1,7'ye                         |
| Su                     | 1,1'den -0,8'e                           |

Çizelge 2-3 Sıkça kullanılan çözücülerin kullanım aralıkları (Wise, 1998)

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Malzemeler

Kullanılan kimyasallar daha fazla saflaştırılmadan Sigma Aldrich'ten satın alındı. 4,7-di(tiyofen-2-il)benzo[c][1,2,5]tiyodiazol (TBT) komonomeri referans (Hemgesberg ve ark., 2012)'e göre yapıldı. 3,4-etilendioksitiyofen (EDOT) ile TBT her birinden 10 mM konsantrasyon kullanılarak kopolimerizasyon işlemi gerçekleştirildi. Diklorometan (DCM) ve 0,1 M tetrabütilamonyum hekzaflorofosfat (TBAPF<sub>6</sub>) elektropolimerizasyon işlemi sırasında sırasıyla elektrolit ve çözücü olarak kullanıldı. Elektrokimyasal polimerizasyon ve polimerlerin karakterizasyonu sırasında Pt disk (0.02 cm<sup>2</sup>) ve Pt tel sırasıyla çalışma ve karşıt elektrot olarak, Ag/AgCl elektrotu ise referans elektrot olarak kullanıldı. Spektroelektrokimyasal çalışmalar yapılırken ise indiyum-kalay oksit (ITO, Delta, Tech. 8–12Ω, 0.7 cm x 5 cm) elektrotu çalışma elektrotu olarak kullanıldı.

#### 3.2. Enstrümanlar

Elektroanalitik çalışmalar için Potansiyostat olarak, çalışmalar sırasında bir Ivium Compactstat marka cihaz kullanıldı. Bu cihaz aynı zamanda spektroelektrokimyasal çalışmalar için de UV-vis Spektrometresi ile eş zamanlı kullanıldı. UV-vis Spektrometresi için ise Specord S600 marka spektrometre kullanıldı.

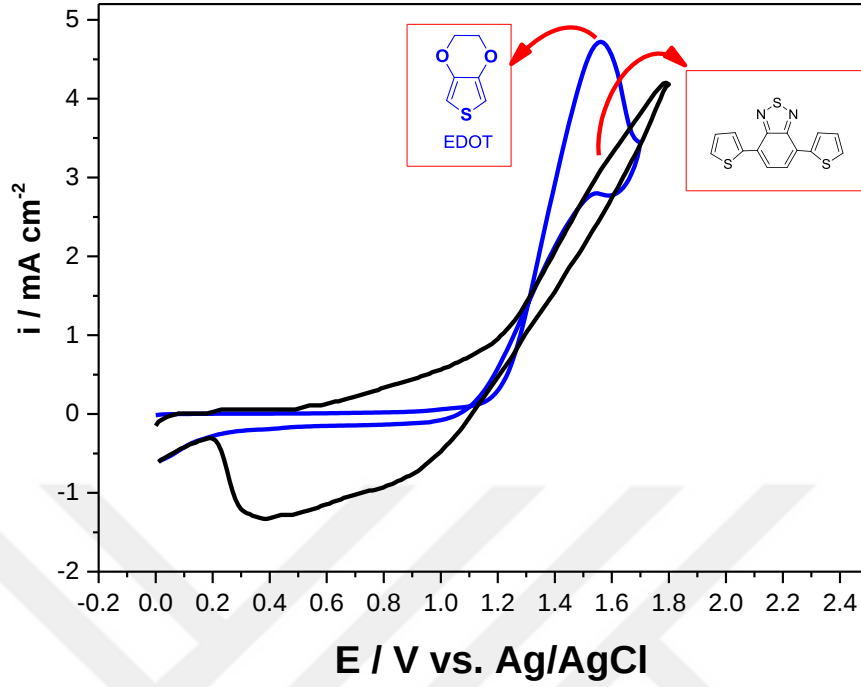
## 4. BULGULAR

### 4.1. 4,7-di(tiyofen-2-il)benzo[c][1,2,5]tiyodiazol (TBT) Sentezi

100 mL'lik balonda 100 mg (0,34 mmol) 4,7-dibromobenzo[c]-1,2,5-tiyodiazol 15 Ml Toluen içinde inert gaz ortamında çözüldü. Daha sonra karışıma 373 mg (1 mmol) 2-(tri-n-butilkalay)tiyofen, 12 mg (0,017 mmol)  $\text{PdCl}_2(\text{PPh}_3)_2$  ilave edildi. Karışım geri soğutucu düzeneği yardımıyla 110 °C' de 24 saat bekletilerek tepkime gerçekleştirildi. Başlangıç maddesinin bitip bitmediği İnce Tabaka Kromatografisi (İTK) ile sürekli kontrol edildi. Başlangıç maddesi bittikten sonra, karışım diklorometan (3x10 mL) ile ekstraksiyona tabi tutuldu ve organik faz  $\text{MgSO}_4$  ile kurutulduktan sonra süzüldü. Çözücü düşük vakum altında uzaklaştırıldı. Hedeflenen ürün kolon kromatografisinde hekzan/etil asetat (9/1) çözücü sisteminde % 85 verim ile alındı. Spektral veriler, bu bileşik için daha önce bildirilenlerle uyumludur (Hemgesberg ve ark., 2012).

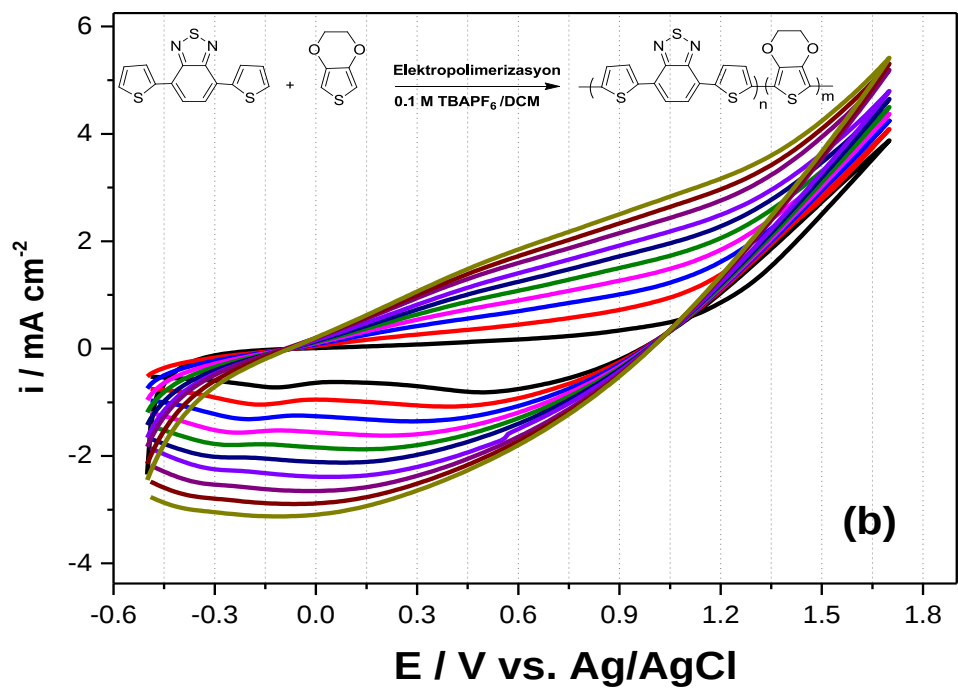
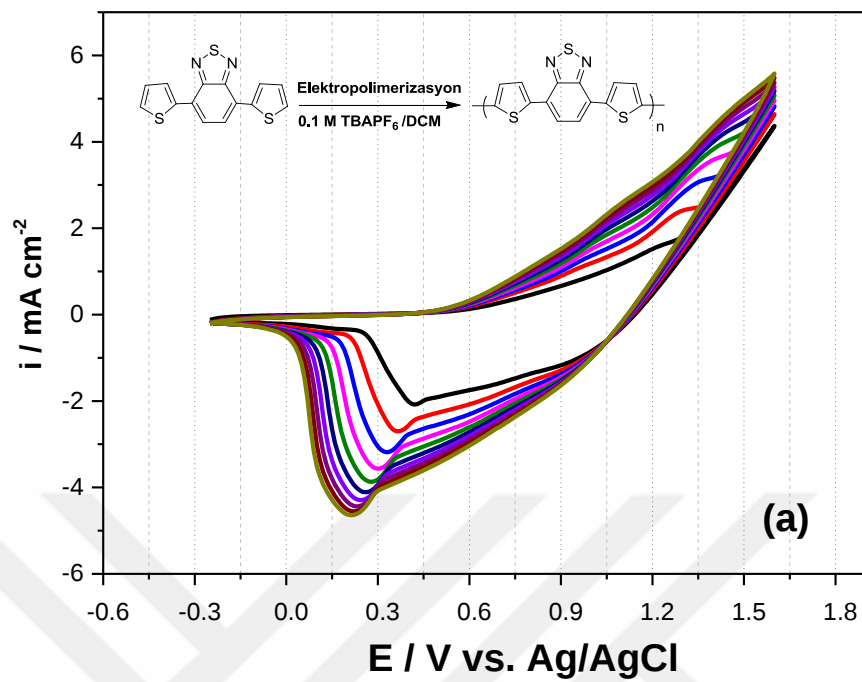
### 4.2. Elektrokimyasal Polimer ve Kopolimer Sentezleri

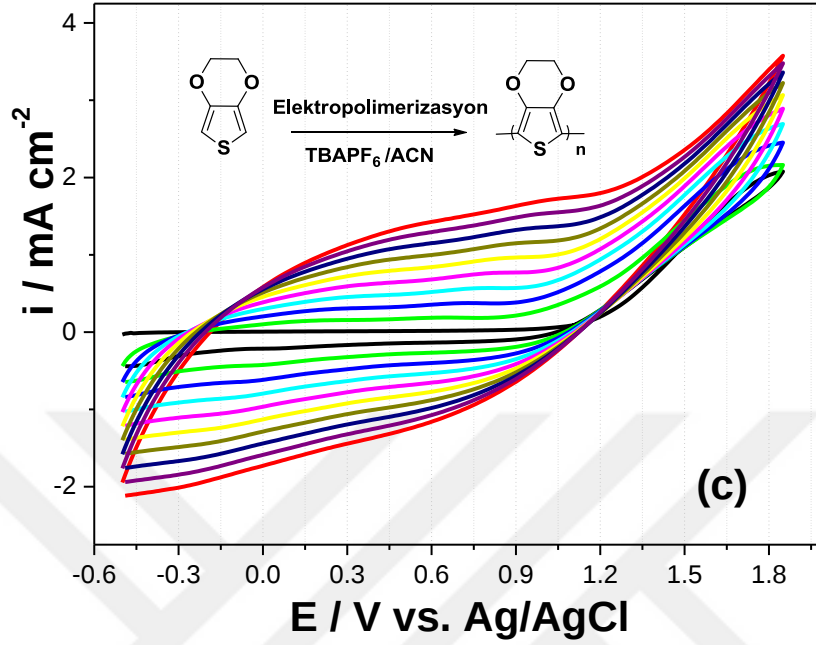
İki farklı monomer yapı kopolimer haline gelirken uygun bir oksidasyon potansiyelin belirlenmesi önemlidir. Bu amaçla, aynı koşullar altında TBT ve EDOT komonomer ve monomer yapılarının 0,1 M TBAPF<sub>6</sub> /DCM ortamında her bir monomerden 10 mM hazırlanarak ilk oksitlenme potansiyelleri kıyaslandı (Şekil 4-1). TBT komonomeri 1.6 V civarında, EDOT monomeri ise 1.5 V'da ilk olarak oksitlenmiştir. Elde edilen sonuçlar iki yapı arasındaki oksitlenme potansiyeli farkının oldukça düşük olduğunu ve kopolimerleşme için yeterli olduğunu göstermektedir.



Şekil 4-1 TBT ve EDOT kimyasal yapılarının 0,1M TBAPF<sub>6</sub>/DCM ortamındaki 100 mV s<sup>-1</sup> tarama hızı ile oksidasyon potansiyellerinin karşılaştırması.

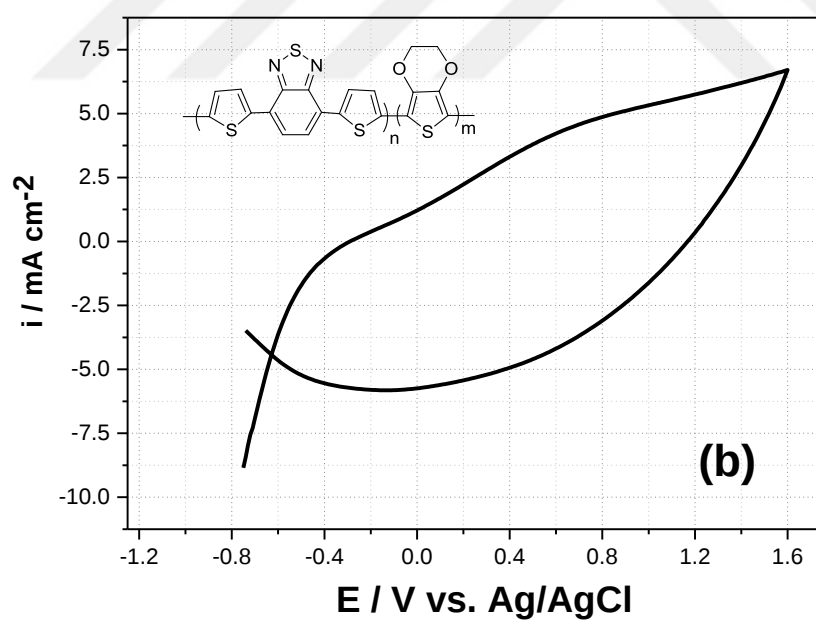
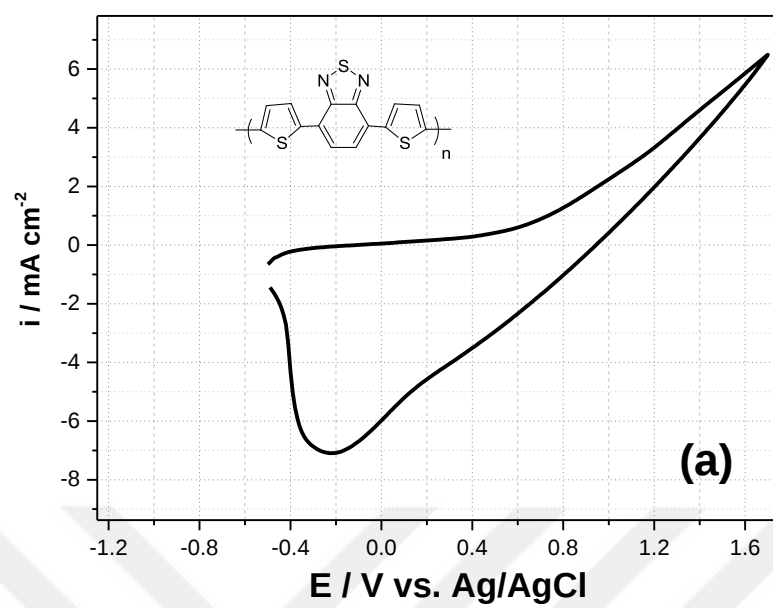
İkinci işlem kopolimer ile kıyaslama amaçlı elektrokimyasal olarak sentezlenecek polimerler ve kopolimerin elde edilmesidir. Bütün polimerleşme ve kopolimerleşme işlemleri CV metodu ile 10 döngüde gerçekleştirildi. Homopolimerler poly(4,7-di(tiyofen-2-il)benzo[c][1,2,5]tiyodiazol) (P(TBT)) ve poly( 3,4-etilendioksitiyofen) (PEDOT) sırasıyla Şekil 4-2 a ve b’de başarıyla sentezlendi. Kopolimer ise 3 TBT:1 EDOT besleme oranlarında 0 ile 1.75 V potansiyelleri arasında taranarak Pt disk üzerinde kaplandı.

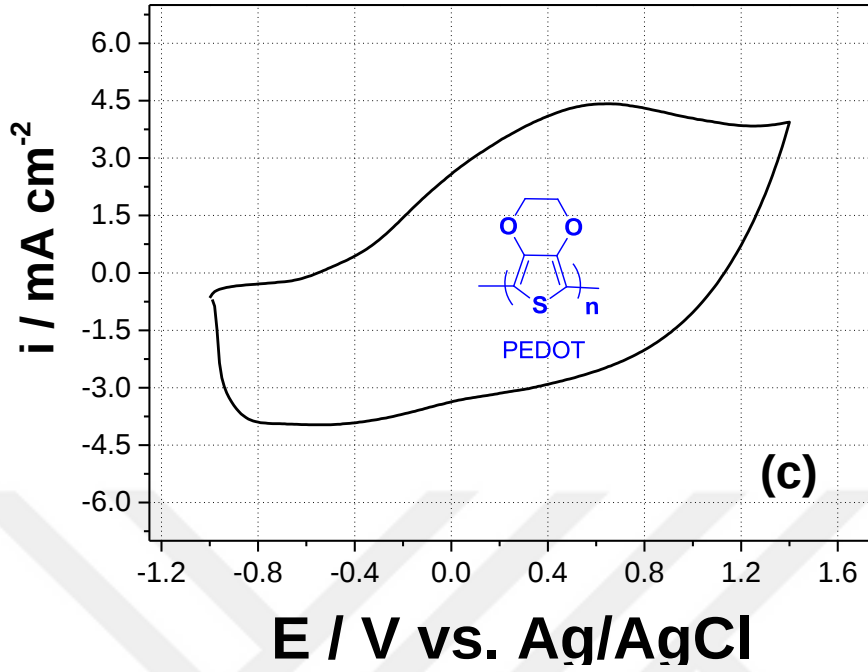




Şekil 4-2 (a) TBT ve (b) kopolimerin (TBT: EDOT = 3:1) (c) EDOT kimyasal malzemelerinin 0,1 M TBAPF<sub>6</sub>/DCM çözeltisinde Ag/AgCl'e karşı 100 mV s<sup>-1</sup> tarama hızı ile elektropolimerizasyon çalışmaları

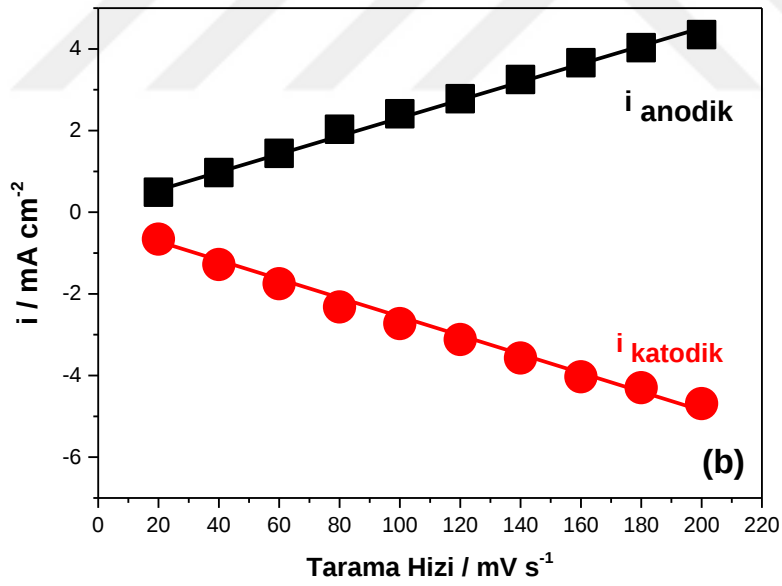
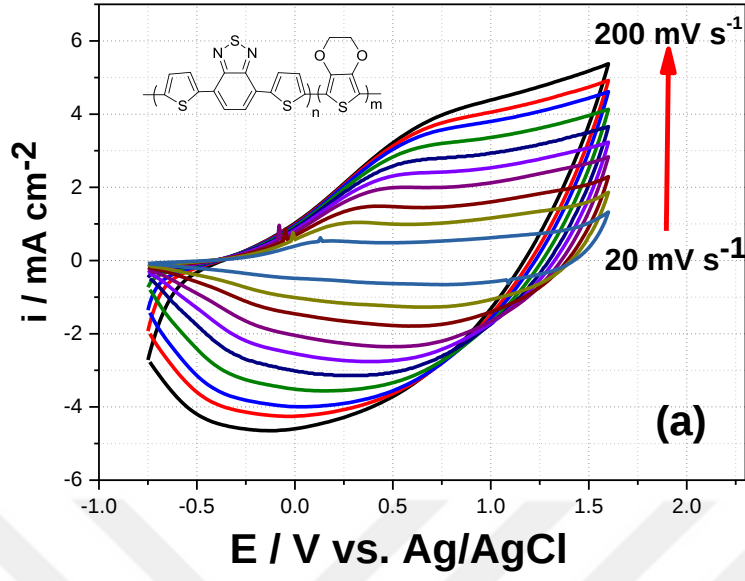
Daha sonra ise Pt disk üzerine kaplanmış bütün polimerlerin Şekil 4-3' de görüldüğü gibi elektrokimyasal davranışları CV tekniği ile monomersiz ortamda karakterize edilmiştir. Bu işlemde daha önce monomerli ortamda elektrokimyasal olarak polimerleştirilmiş polimerler çalışma elektrotuna kaplandıktan sonra bu ortamdan çıkarılarak polimerize olmayan monomer ve oligomerik yapılardan uzaklaştırılmak için monomer içermeyen bir çözücü ortamda temizlendi. Elde edilen verilere göre elde edilen homopolimer ile kopolimerin doping, dedoping değerleri ve kapasitif CV eğri özelliklerinin birbirlerinden farklı olduğu görülmüştür. Şekil 4-3a ve c'de görüldüğü üzere homopolimerlerin doping ve dedoping değerleri P(TBT) için sırasıyla 1.2 V ve -0.2 V iken PEDOT için sırasıyla 0.6 V ve -0.6 V olarak belirlenmiştir. Kopolimer için ise bu değerler sırasıyla 0.6 V ve -0.2 V olarak gözlemlenmiştir.





Şekil 4-3 Elektrokimyasal karakterizasyon davranışı (a) P(TBT) (b) kopolimer ve (c) PEDOT polimerlerinin  $200 \text{ mV s}^{-1}$  tarama hızında monomer içermeyen ortamda elektrokimyasal davranışları

Elde edilen kopolimerin kinetik özelliklerini analiz edebilmek için Pt disk yüzeyine kaplanmış olan kopolimer film  $20 \text{ mV s}^{-1}$  ve  $200 \text{ mV s}^{-1}$  aralığında  $20 \text{ mVs}^{-1}$  tarama hız artışları ile monomersiz ortamda analiz edildi. Şekil 4-4 a ve b'den de görüleceği üzere tarama hızı arttıkça kopolimerin anodik ve katodik akım pik şiddetlerinin lineer olarak arttığı ve azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum kopolimerin kinetik davranımının difüzyonel olmadığını göstermiştir.



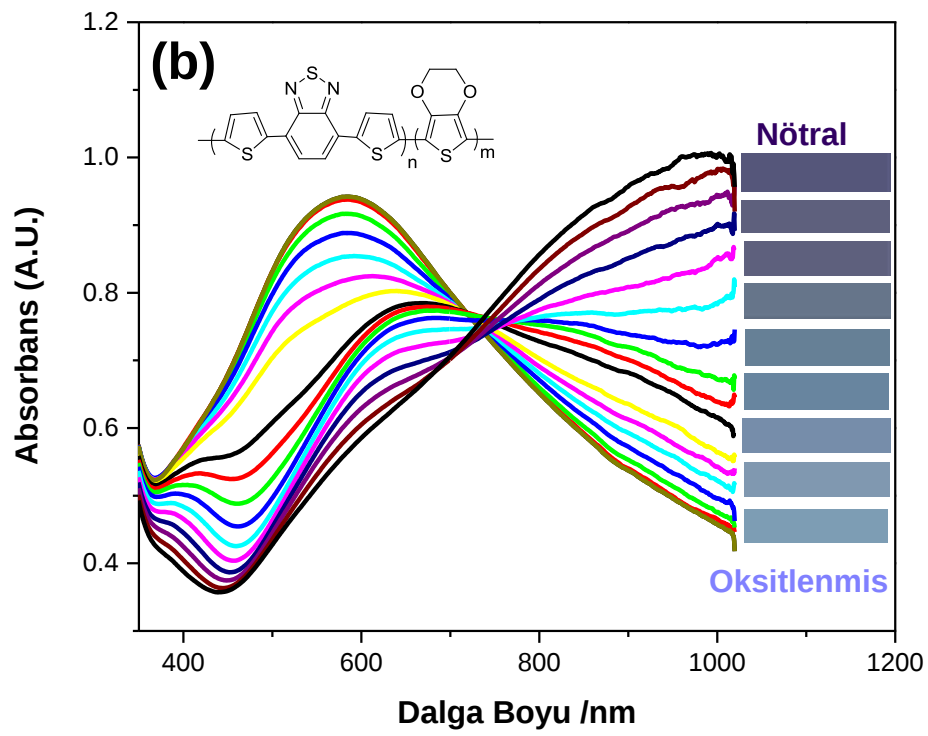
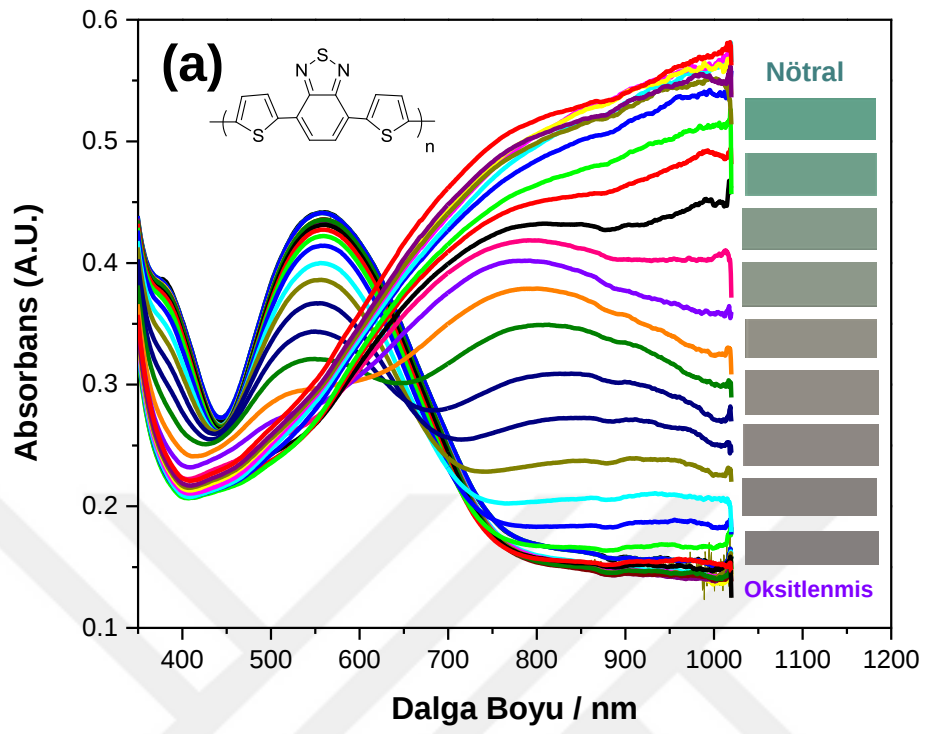
Şekil 4-4 (a) Kopolimerin farklı tarama hızlarında 20  $\text{mV s}^{-1}$  ile 200  $\text{mV s}^{-1}$  tarama hızları arasında 20  $\text{mV s}^{-1}$  tarama hızı artışları ile elde edilen CV verileri. (b) Kopolimerin anodik ( $i_{\text{anodik}}$ ) ve katodik ( $i_{\text{katodik}}$ ) pik akım değerlerinin tarama hızı ile olan grafiği

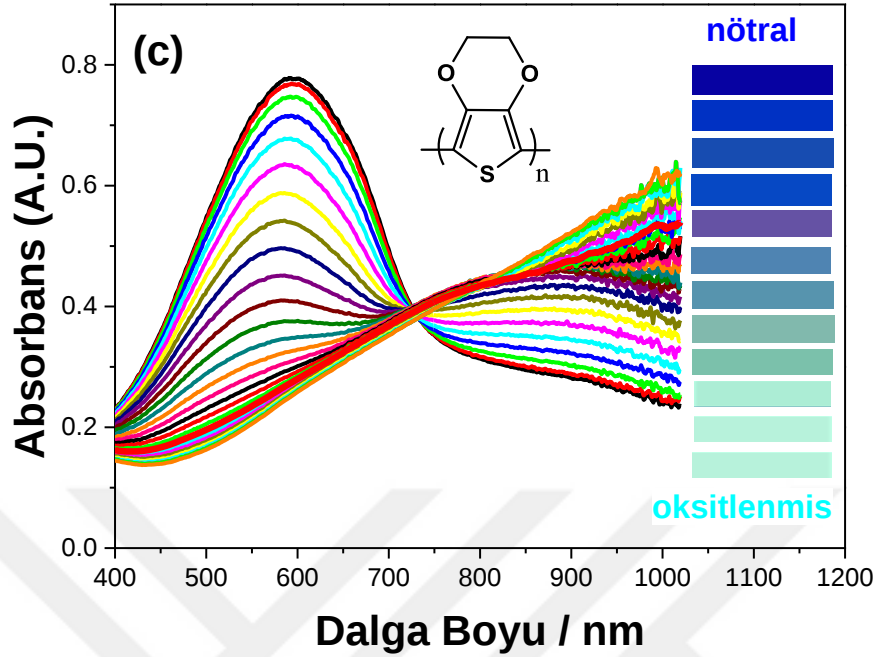
### 4.3. Polimerlerin ve Kopolimerin Elektrokromik Özellikleri

Polimer (P(TBT), PEDOT) ve kopolimer filmlerin elektro-optiksel özellikleri bu malzemelerin yükseltgenmesi için gerekli potansiyeller uygulanması ile elektronik absorpsiyon spektralarının izlenmesi ile elde edildi. Söz konusu UV-Vis spektraları Şekil 4-5’de verilmiştir. Polimerlerin; P(TBT) ve PEDOT nötral hallerinde optiksel absorpsiyon bandlarının maksimum değerleri ( $\pi-\pi^*$  geçiş bandı) 560 nm ve 600 nm’de ortaya çıkmıştır (Şekil 4-5 a ve c). Kopolimer için ise bu maksimum değeri 585 nm olarak bulunmuştur (Şekil 4-5 b). Polimerler ve kopolimer filmlere oksitlenme potansiyelinin uygulanması ile her bir polimer ve kopolimer için  $\pi-\pi^*$  geçiş bantlarının soğurma bandı şiddetlerinin azaldığı ve uygulanan potansiyel değeri ile daha yüksek dalga boyları değerlerinde yeni oluşan ve gittikçe artan bantlar olduğu gözlemlenmiştir. Bu yeni oluşan bantlar yük taşıyıcılar veya polaronlar olarak bilinirler (Şekil 4-5 a, b ve c). Kopolimer için filminin absorpsiyon bantlarının oluşumunda hem PEDOT hem de P(TBT) polimerlerinin etkisi gözlemlenmiştir.

Filmlerin optiksel bant değerleri ( $E_g$ )  $\pi-\pi^*$  geçiş bantlarının düşük enerji değerinin başlangıcından itibaren hesaplanarak bulundu. Buna göre polimer filmler için  $E_g$  değerleri P(TBT) için 1.55 eV ve PEDOT için 1.60 eV iken kopolimer için ise daha düşük bir değer olan 1.32 eV olarak bulundu. Çizelge 4-1 ‘de spektroeletrokimyasal datalar her üç yapı için verilmiştir. Ayrıca benzer bir yapı olan benzotriazol yapısının EDOT’lu türevi olan poli(4,7-dihidro-tiyeno[2,3-dihidro-tiyeno[3,4-b][1,4]dioksin-5-il)benzo[1,2,5]tiyodiazol (P(EBE)) yapısının verileri ile de kıyaslanmıştır (Durmus ve ark., 2007). Malzemelerin bant aralıklarını kıyasladığımızda EDOT türevi olan P(EBE)’nin bant aralığının en düşük değerde olduğu gözlenmektedir. Elde edilen kopolimerin yapısına giren EDOT biriminin ise bant aralığını düşürdüğü aşıkârdır.

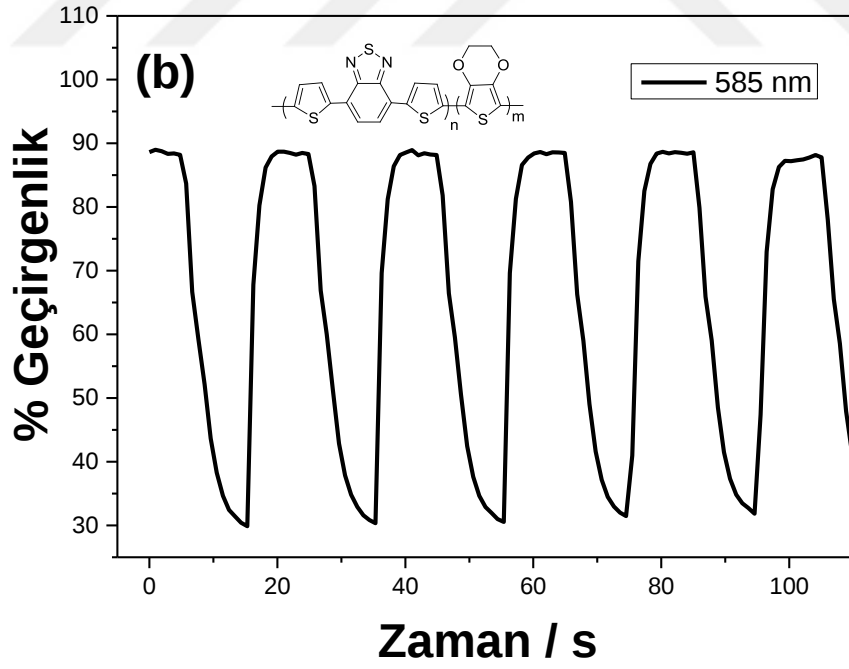
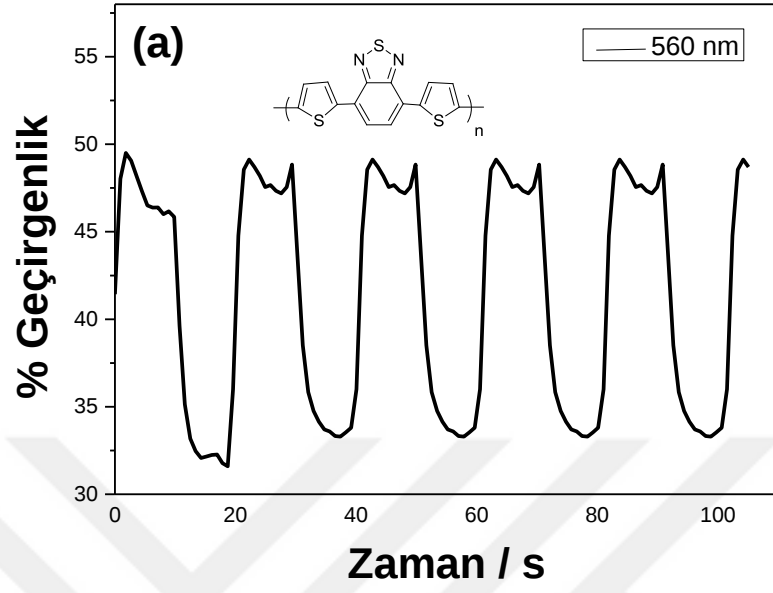
Polimerler ve kopolimer filmlerinin uygulanan oksitlenme potansiyeli ile elektronik absorpsiyon spektralarında meydana gelen elektronik bant değişimleri polimer filmlerinin renk değişimlerinin olmasına yani elektrokromik özellik göstermelerine sebep olmuştur. Buna göre polimerler P(TBT) ve PEDOT ile kopolimer filmleri sırasıyla nötral halde camgöbeği, donuk mavi ve metalik mavi renklerini gösterirken oksitlenmiş halde sönük gri (P(TBT)), mavi kantaron rengi (kopolimer) ve açık mavi (PEDOT) renklerini gösterirler (Bakınız Şekil 4-5’deki renkli fotoğraflar).

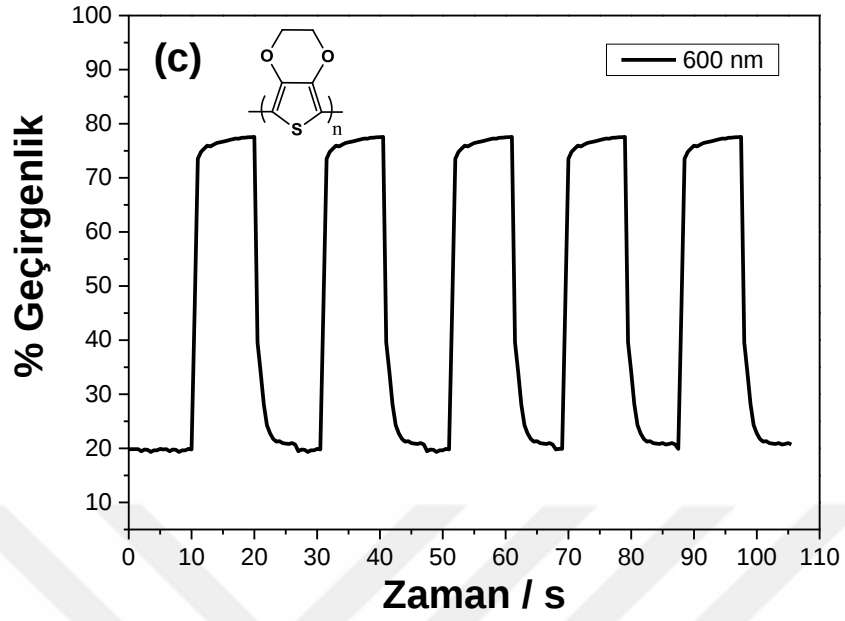




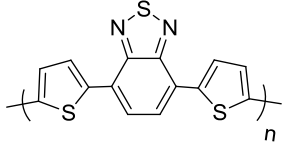
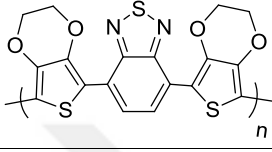
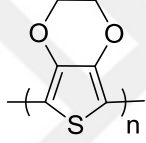
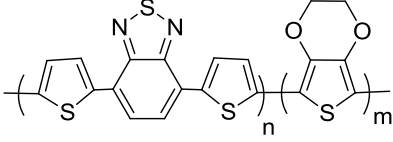
Şekil 4-5 ITO çalışma elektrotu üzerine kaplanan ve 0,1 M TBAPF<sub>6</sub> / DCM çözeltisi içindeki (a) P(TBT) (b) kopolimer (c) PEDOT filmlerinin spektroeletrokimyasal davranımları. (Renkli fotoğraflar polimerlerin ve kopolimer filmlerinin nötr ve okside durumlarındaki renkleri)

Elektrokromik bir polimer için özellikle malzemenin elektrokromik uygulamalara uygunluğu açısından değerlendirilirken önemli olan parametreler anahtarlama zamanı, optiksel zıtlık oranını analiz edip sunmaktır. Bu verileri ortaya koyabilmek için ise UV-vis spektrometresinin kinetik modu ve potenstiyostat galvanostat cihazında 10 s aralıklarla polimerler ve kopolimer filmlerin nötral ve oksitlenme potansiyel değerleri arasında geçiş programı paralel olarak çalıştırılarak veriler alınmıştır (Şekil 4-6). Tüm kinetik sonuçlar Çizelge 4-1’de verilmiş ve insan gözünün en hassas olduğu ve tam kontrastın % 95’inde olduğu düşünülerek hesaplanmıştır. Çizelge 4-1’de görüldüğü üzere P(TBT) ve PEDOT yapısının optiksel zıtlık oranı sırasıyla % 17 ve % 56 bulunurken, kopolimer için bu değer % 59 olarak hesaplanmıştır. Literatürde bulunan ve benzer bir yapı olan P(EBE)’nin ise bu değeri % 23’tür. Anahtarlama zamanları kıyaslandığında ise en düşük anahtarlama zamanı P(EBE)’ye ait olurken, en yüksek değer kopolimerinkine ait olarak bulunmuştur.





Şekil 4-6 Polimerlerin ve kopolimerin kinetik çalışmaları (a) P(TBT) (b) kopolimer (c) PEDOT ve polimerlerin, 0,1 M TBAPF<sub>6</sub> / DCM çözeltisi içindeki nötr ve okside durumlarındaki zamana bağlı karakterizasyonları

| Kimyasal Yapılar                                                                    | $\lambda_{\max}$<br>(nm) | %<br>$\Delta T$ | $t_{\text{anahtarlama}}$<br>(s) | $E_g^{\text{opt}}$<br>(eV) | Renkler                                                                                                  |                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                     |                          |                 |                                 |                            | Nötr                                                                                                     | Oksitlenmiş                                                                                               |
|    | 560                      | 17              | 2                               | 1.55<br>1.50*              | <br>Camgöbeği         | <br>Sönükgri           |
|    | 755**                    | 23**            | 0.4**                           | 1.19**                     | Yeşil**                                                                                                  | Şeffaf<br>Mavi**                                                                                          |
|   | 600***                   | 56***           | 0.80***                         | 1.6***                     | <br>Koyu Mavi        | <br>Şeffaf<br>Mavi    |
|  | 585                      | 59              | 2.2                             | 1.32                       | <br>Metalik<br>Mavi | <br>Mavi<br>Kantaron |

Çizelge 4-1 Polimerler P(TBT), PEDOT ve kopolimer için yapılan spektroeletrokimyasal veriler ve literatürdeki benzer yapı P(EBE) ile kopolimer verilerinin kıyaslanması (\*Kitamura ve ark., 1996; \*\*Atwani ve ark., 2008;\*\*\* Durmus ve ark., 2007; Carbas, 2017)

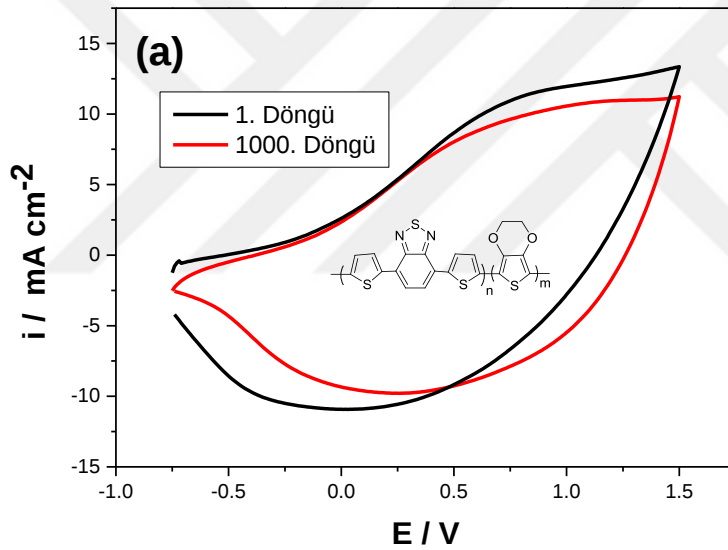
#### 4.4. Kopolimerin Elektrokimyasal ve Spektroeletrokimyasal Kararlılık

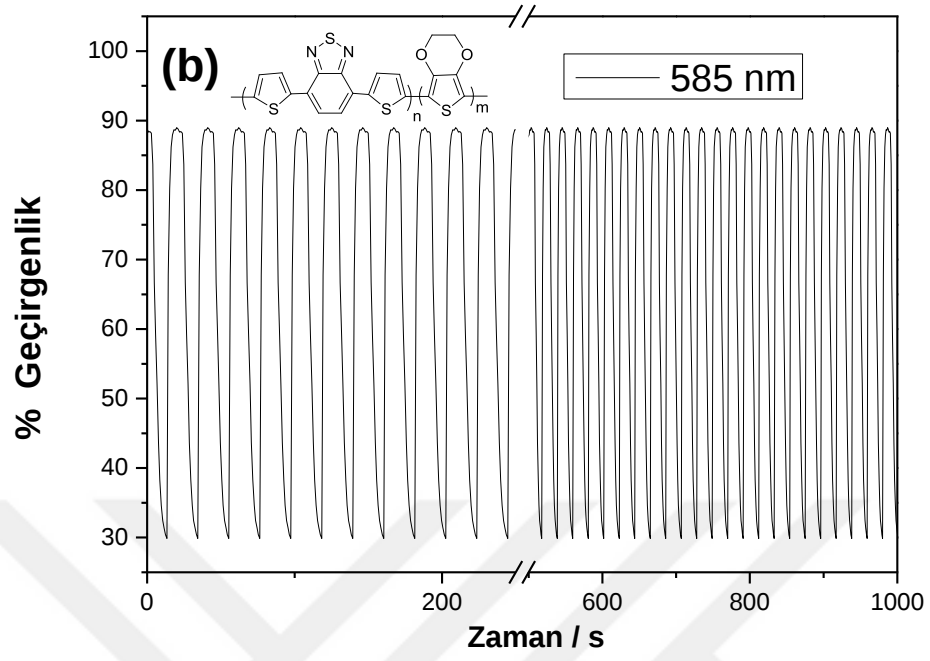
##### Testleri

Kapasitör, batarya ve elektrokromik cihazlar gibi cihaz uygulamalarında polimerlerin anahtarlama ve döngüsel davranımları sırasındaki dayanıklılıkları çok önemlidir. Bu amaçla Pt disk üzerine kaplanmış olan kopolimerin elektrokimyasal kararlılıkları CV tekniğiyle monomersiz ortamda ve N<sub>2</sub> gazı altında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara

göre Şekil 4-7 a’da görüldüğü gibi kopolimer 1000 döngüden sonra elektrokimyasal aktivitesinin yaklaşık % 75 ‘ini tutmaktadır.

Spektroelektrokimyasal kararlılık testleri ise potenstiyostat - galvanostat cihazına eş zamanlı çalışan UV-vis spektrometresinin kinetik modu ile yapılmıştır (Şekil 4-7 b). Kopolimer 585 nm ‘de nötral ve oksitlenme potansiyelleri arasında anahtarlanırken veriler 1000 s’lık zaman dilimi için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilere göre kopolimer 1000 s’lık süre zarfında optiksel aktivitesinin yalnızca % 5 ‘ini kaybetmiştir. Bu sonuçlar kopolimerin enerji depolama ve elektrokromik cihazlar gibi teknolojik uygulamalarda kararlılığı iyi potansiyel bir malzeme olarak kullanılabileceğini göstermektedir.





Şekil 4-7 Kopolimerin (a) elektrokimyasal (b) spektroeletrokimyasal kararlılık testleri

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, tiyonilbenzotiyodiazol ve EDOT kimyasal yapıları ile yeni bir kopolimer elektrokimyasal olarak polimerleştirildi. Bu amaçla polimerin her bir parçasını oluşturan monomerlerin polimerleri P(TBT) ve PEDOT ayrıca kopolimerle aynı koşullar altında sentezlendi. EDOT'un polimerin ana zincirine girmesi ile kopolimerde meydana gelebilecek elektrokimyasal ve spektroeletrokimyasal veriler kopolimerin elektrokromik özellikleri de incelenerek ortaya konuldu. Bant aralığı kopolimer için 1.32 eV olarak bulunurken, elde edilen kopolimerin tamamen indirgenmiş halde rengi metalik mavi ve oksitlenmiş halde kopolimer filmin renginin mavikantaron rengine döndüğü bulunmuştur. Kopolimerin optiksel zıtlık oranının literatürde bulunan ve P(TBT) ve PEDOT polimerlerine göre yüksek bir değerde olduğu bulunurken (59 % 585 nm'de) anahtarlama zamanı 2.2 s olarak bulunmuştur. Yapılan elektrokimyasal (1000 döngüde) ve spektroeletrokimyasal (1000 s'lik süre zarfında) kararlılık testleri kopolimerin kararlı olduğunu göstermiştir. Bu çalışma ile kopolimerin elde edilen veriler sonucunda elektrokromik cihazlarda ve enerji tasarrufu yapılabilecek akıllı cam uygulamalarında kullanılabilecek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- Atwani, O., Baristiran, C., Erden, A., Sonmez, G., 2008. *Synth. Met.* 158, 83.
- Aydın, Y., 2012. İletken Polimerlerin İçerisinde Enzim Tutuklamasıyla Yapılan Biyosensörler. *Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karaman.
- Balaji, G., Phua, D. I., Shim, W., Valiyaveetil, S. 2010. *Org. Lett.* 12, 232-235.
- Balakrishnan, A., & Subramanian, K. R. V., 2014. *Nanostructured Ceramic Oxides for Supercapacitor Applications*. CRC Press.
- Carbas, B., 2017. Novel Electrochromic copolymers based on 3,3'-dibromo-2,2'-bithiophene and 3,4 ethylenedioxythiophene. *Polymer*, 113, 180-186.
- Chung, I., Lee, B., He, J., R. P. H., Kanatzidis, M., 2012. *All solid state dye sensitized solar cells with high efficiency*, *Nature*, 485, 399, 486-494.
- Cihaner, A., 2007. *J. Electroanal. Chem.* 605, 8-14.
- Cihaner A., Tirkeş S., Atak S., 2011. Donör-Akseptör Düzeninde Yeni Bir Bileşik Grubunun Tasarımı, Sentezi ve İletken Polimerlerinin Uygulama Alanları, Proje Raporu, *Atılım Üniversitesi*, Ankara.
- Dehghanpour, H., 2015. Süperkapasitörler İçin Polipirol ve Farklı Yapılardaki Karbon Tabanlı Nanokompozitlerin Sentezi ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.
- Durmus, A., Gunbas, G. E., Camurlu, P., Toppare, L., 2007. *Chem. Commun.* 3246.
- Evenson, S. J., Mimm, M. J., Pohodya, K. I., Rasmussen, S. C., 2011. *Macromolecules*, 44, 835-841.
- Gnanou, Y., Fontanille, M., 2008. *Organic and Physical Chemistry of Polymers*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.
- Hemgesberg, M., Ohlmann, D. M., Schmitt, Y., Wolfe, M. R., Mueller, M. K., Erb, B., Sun, Y., Goossen, L. J., Gerhards, M., Thiel, W. R., 2012. *European Journal of Organic Chemistry*, 11, p. 2142-2151.
- Jeong, H. G., Lim, B., Na, S. I., Baeg, K. J., Kim, J., Yun, J. M., Kim, D. Y., 2011. *Macromol. Chem. Phys.*, 212, 2308-2318.
- Kalaycı, G., 2008. Polianilin/Aktif Karbon Kompozit Maddesinin Sentezi, Karakterizasyonu Ve İletken Film Yapımı. *Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş.
- Karikomi, M., Kitamura, C., Tanaka, S., Yamashita, Y., 1995. *J. Am. Chem. Soc.* 117, 6791-6792.

- Kitamura C., Tanaka, S., Yamashita, Y., 1996. *Chem. Mater.* 570–578.
- Kitamura C., Tanaka, S., Yamashita, Y., 1996. *Chem. Mater.* 8, 570.
- Kocaman, B., 2014. Boya Duyarlı Güneş Hücreleri İçin Yeni Sistemlerin Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*
- Koç, E., Kaplan, E. 2008. “Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-I Dünya Değerlendirmesi,” *Termodinamik Dergisi*, sayı: 187, s.70-80.
- Kötz, R., & Carlen, M., 2000. *Principles and applications of electrochemical capacitors.* *Electrochimica Acta*, 45(15–16), 2483–2498.
- Kumbur, H., Özer Z., Özsoy H. D., Avcı, E. D., 2005. Türkiye’de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyum Bildirisi*, Mersin.
- Kürti, J., Surjan, P. R., Kertesz, M., 1991. *J. Am. Chem. Soc.* 113, 26, 9865-9867.
- Lu, Y., Chen, H., Hau, X., Hu, X., Ng, S. C. 2010. *Synth. Met.* 160, 1438-1441.
- Meng, H., Tucker, D., Chaffins, S., Chen, Y., Helgeson, R., Dunn, B., Wudl, F., 2003. *Adv. Mater.* 15, 146-149.
- Mottier, P., 2009. LEDs for Lighting Applications, *John Wiley & Sons*, ISBN. 978-184821-145-2, London, pp. 3-25.
- Nyström, G., Razaq, A., Stromme, M., Nyholm, L., Mihranyan, A., 2009. *Nanoletters* 9, 3635-3639.
- Odian, G. 1991. Principles of polymerization. *John Wiley & Sons, Inc.*, United States of America
- Papageorgiou, N., Maier, W. F., Grätzel, M., 1997. An Iodine/Triiodide Reduction Electrocatalyst for Aqueous and Organic Media, *Journal of The Electrochemical Society*, Vol. 144, No.3.
- Patrickios, C.S., 2010. Polymer Networks: Recent Developments. *Macromolecular Symposia*, 291-292, 1-11.
- Pettersson, H., Gruszecki, T., Bernhard, R., Häggman, L., Gorlov, M., Boschloo, G., Edvinsson, T., Kloo, L., Hagfeldt, A., 2007. *The Monolithic Multicell: A Tool for Testing Material Components in Dye-Sensitized Solar Cells*, *Progress in Photovoltaics, Research and Applications*, 15, 113 –121.
- Roncali, J., 1992. *Chem. Rev.* 92, 711.
- Saçak, M., 2004. *Polimer Kimyası*. Gazi Kitabevi, 525 s, Ankara.

- Schwendeman, I., Hickman, R., Sonmez, G., Schottland, P., Zong, K., Welsh, D., Reynolds, 2002. *J. R. Chem. Mater.* 14, 3118-3122.
- Seidel A. (Editor) 2008. *Characterization and Analysis of Polymers*. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. USA.
- Selkowitz, E.S., 1999. "High Performance Glazing Systems: Architectural Opportunities for the 21st Century". *Proceedings from Processing Days Conference*, Tampere, Finland. LBNL Report No: 42724.
- Steckler, T. T., Abboud, K. A., Craps, M., Rinzler, A. G., Reynolds, J. R., 2007. *Chem. Commun.* 47, 4904-4906.
- Su, C., Ye, Y., Xu, L., Zhang, C., 2012. *J. Mater. Chem.* 22, 22658-22662.
- Tavil, A., 2014. Cephe Sistemlerinde Yeni Teknolojiler - Elektrokromik Pencereleer. 2. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İstanbul.
- Thakur, V. K., Ding, G., Ma, J., Lee, P. S., Lu, X., 2012. Hybrid Materials and Polymer Electrolytes for Electrochromic Device Applications. *Adv. Mater*, 24(30), 4071-4096.
- Toppare, L., 2003. *Bilim ve Teknik Dergisi Yayınları*, Kasım, 86-87.
- Qu, X., 2009. "Development and Design Light Emitting Diodes (LED) Lighting power Supplies", *Doktora Tezi, Hong Kong Polytechnic University departmen of electronic and information engineering*, Hong Kong.
- Wei Y., Zhou, J., Zheng, J., Xu, C., 2015. Improved stability of electrochromic devices using Ti-doped V2O5 film. *Electrochimica Acta*, 166, 277-284.
- Wise D. L., Wnek G. E., Trantolo D. J., Cooper T. M., Gresser J. D., 1998. *Electrical and Optical Polymer Systems: Fundamentals, Methods, and Applications*. ed: Marcel Dekker Press, New York, (3):53 p.

## ÖZGEÇMİŞ

**Kimlik Bilgileri:**

Adı Soyadı: Kübra ÇELİK

E-posta: [kcelik\\_70@hotmail.com](mailto:kcelik_70@hotmail.com)

Adresi: Merkez/Karaman

Eğitim: Lisans

Lise: Karaman TOKİ Anadolu Lisesi

Lisans: Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği

**Yabancı Dil ve Düzeyi:** İngilizce, başlangıç

**İş Deneyimi:** Nefamak Mak. San. Tic. A.Ş. , Komel Enerji San. Tic. A.Ş.

**Deneyim Alanları:** Üretim, Planlama, Proje Yönetimi, Yönetici, Mühendislik