



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ  
ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**AZOBENZEN VE KUMARİN ALT  
BİRİMLERİ İLE TİYOFEN İÇEREN  
ALTERNATİF KOPOLİMERLERİN  
SENTEZİ, ELEKTROKROMİK  
KARAKTERİZASYONU  
VE GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI**

**Hüseyin KALAY**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2020





**AZOBENZEN VE KUMARİN ALT BİRİMLERİ İLE TİYOFEN İÇEREN  
ALTERNATİF KOPOLİMERLERİN SENTEZİ, ELEKTROKROMİK  
KARAKTERİZASYONU VE GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI**

**Hüseyin KALAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2020**

Hüseyin KALAY tarafından hazırlanan “AZOBENZEN VE KUMARİN ALT BİRİMLERİ İLE TİYOFEN İÇEREN ALTERNATİF KOPOLİMERLERİN SENTEZİ, ELEKTROKROMİK KARAKTERİZASYONU VE GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İskenderun Teknik Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Şerife ÖZDEMİR HACIOĞLU

Mühendislik Temel Bilimleri Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**Başkan:** Prof. Dr. Yusuf NUR

Fizikokimya Anabilim Dalı, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Doç. Dr. Süha Orçun MERT

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Şerife ÖZDEMİR HACIOĞLU

Mühendislik Temel Bilimleri Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

Tez Savunma Tarihi: 15/06/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....  
Doç. Dr. Süha Orçun MERT  
Enerji Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



İmza

Hüseyin KALAY

29/06/2020

AZOBENZEN VE KUMARİN ALT BİRİMLERİ İLE TİYOFEN İÇEREN ALTERNATİF  
KOPOLİMERLERİN SENTEZİ, ELEKTROKROMİK KARAKTERİZASYONU VE GÜNEŞ  
PİLİ UYGULAMALARI

(Yüksek Lisans Tezi)

Hüseyin KALAY

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
ENERJİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2020

ÖZET

Bu tez çalışmasında Azobenzen ve Kumarin ile Tiyofen içeren alternatif kopolimerler (PT-co-K ve PT-co-A) Stille birleşme tepkimeleri kullanılarak kimyasal yöntemlerle sentezlenmiştir. Elde edilen kromofor grubu içeren ara ürünlerin ve kopolimerlerin yapısal tanımlanması FTIR ve <sup>1</sup>H-NMR analizleri ile yapılmıştır. CV çalışmaları ile kopolimerlere ait özellikler belirlenmiştir. Sentezlenen kopolimerlerin elektrokromik özelliklerinin belirlenmesi için spektroeletrokimyasal, kinetik ve optik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda kopolimerlerin birden fazla renk değişimine sahip yapıda oldukları kanıtlanmıştır. Yapılan tüm çalışmalarda Azobenzen içeren kopolimerin sahip olduğu yüksek elektron yoğunluğundan ve işlevsel grupların uzunluğundan dolayı daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen bu iletken polimerlerin güneş pili uygulamalarını incelemek için polimerlerin elektron verici grup olarak kullanıldığı ITO / PEDOT:PSS / Polimer(PT-co-K / PT-co-A):PC<sub>60</sub>BM / LiF / Al yapısında güneş pili tasarlanmıştır. Polimerler için çözelti oranı ve tavlama işleminin performansına olan etkisini incelemek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen verim değerlerini arttırmak için laboratuvarımızda çalışmalarımız devam etmektedir. Burada verilen sonuçlar yapılan ön çalışmalardan elde edilen verilerdir.

Anahtar Kelimeler : Güneş Pili, Azobenzen, Kumarin, Tiyofen, İletken Polimerler,  
Kopolimer

Sayfa Adedi : 101

Danışman : Dr.Öğr. Üyesi Şerife ÖZDEMİR HACIOĞLU

SYNTHESIS, ELECTROCHROMIC CHARACTERIZATION  
AND SOLAR CELL APPLICATION OF THIOPHENE BEARING  
ALTERNATING COPOLYMERS WITH AZOBENZENE AND  
COUMARIN SUBUNITS

(M. Sc. Thesis)

Hüseyin KALAY

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENERGY INSTITUTE

June 2020

ABSTRACT

In this thesis, alternative copolymers (PT-co-K and PT-co-A) containing Azobenzene, Coumarin and Thiophene were synthesized by chemical methods using Stille Coupling reactions. Structural characterizations of intermediates and copolymers were performed with FTIR and <sup>1</sup>H-NMR analysis. The properties of copolymers have been determined by cyclic voltammetry studies. Spectroelectrochemical, kinetic and optical studies have been carried out to determine the electrochromic properties of the synthesized copolymers. As a result of these studies, it is proved that the copolymers have a multichromic behavior. In all studies, it was observed that the copolymer containing Azobenzene has better results due to the high electron density and the length of the functional groups. In addition, in order to examine solar cell applications of these conductive polymers, solar cells are designed in ITO / PEDOT: PSS / Polymer (PT-co-K / PT-co-A): PC<sub>60</sub>BM / LiF / Al structure where polymers are used as an electron donor group. Systematic studies were conducted to investigate the effect of concentration and annealing on performance of polymers. Optimization studies still continue in our laboratory to increase the efficiencies obtained. The results given here are the data obtained from the preliminary studies.

Key Words : Solar Cell, Azobenzene, Coumarin, Thiophene, Conducting Polymers,  
Copolymer

Page Number : 101

Supervisor : Dr.Öğr. Üyesi Şerife ÖZDEMİR HACIOĞLU

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında ilgisini eksik etmeyen, önerileri ile beni yönlendiren ve bilimsel bakış açısı kazanmam konusunda üzerimde büyük emeği bulunan tez danışmanım Dr.Öğr. Üyesi Şerife ÖZDEMİR HACIOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım öğretim üyeleri Prof. Dr. Levent Toppare, Prof. Dr. Ali Çırpan, Prof. Dr. Mustafa Güllü, Dr. Öğr. Üyesi Deniz Yiğit'e teşekkür ederim.

Bu süreçte her aşamada yanımda olan beni destekleyen iyi günde kötü günde sürekli varlığını hissettiren en değerlim canım eşim İŞİL KALAY'a, İSDEMİR'de aynı birimde beraber çalıştığım Bataryalar İşletme Başmühendisi ZEKERİYA ÖZER'e gerek anlayışı gerekse doğru yönlendirmelerinden dolayı teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim boyunca araştırma yapmama yardımcı olup gerekli kaynakları, dökümanları paylaşıp diğer birimdeki yöneticilerle çalışma fırsatı sunduğu, her zaman her konuda ilgisini esirgmeden kısa sürede doğru bilgileri edinmeme yardımcı olduğu, sınav döneminde ve diğer çalışmalarda izin almam konusunda gerekli anlayışı göstererek beni desteklediği için ayrıca teşekkür ederim. Kok Fabrikası Müdürü HAKAN OĞUZ'a yüksek lisans programını destekleyip ünite olarak gerekli tüm fırsatları sağladığı için gerek sınav döneminde gerekse tez aşaması hazırlık döneminde sürekli takipte olup ne yapmam gerektiği konusunda zaman zaman paylaşımlarda bulunup destek verdiği için çok teşekkür ederim.

Ayrıca laboratuvar çalışmalarım sırasındaki yardımlarından dolayı Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Kimya bölümünde çalışmakta olan Dr. Gönül Hızalan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek Lisans eğitimim süresinde her türlü bilgi ve yardımlarını esirgemeyen başta Enerji Enstitüsü müdürü değerli hocam Doç. Dr. Süha Orçun MERT ve bölüm başkanı vekili Dr. Öğr. Üyesi Nuray KÜP AYLIKÇI olmak üzere İskenderun Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsündeki tüm değerli hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hüseyin KALAY

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Yeryüzünde Enerji ve Önemi.....	4
2.2 Yenilenebilir Enerji .....	5
2.2.1 Hidroelektrik Enerji .....	8
2.2.2 Biyokütle Enerjisi .....	9
2.2.3 Dalga Enerjisi.....	11
2.2.4 Rüzgâr Enerjisi.....	12
2.2.5 Hidrojen Enerjisi .....	13
2.2.6 Jeotermal Enerji .....	14



2.2.7	Güneş Enerjisi.....	15
2.3	Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi.....	17
2.3.1	Güneş Pillerinin Tarihi.....	17
2.3.2	Yarı İletkenler .....	18
2.3.3	Yarı İletken Çeşitleri.....	19
2.3.4	Bant Teorisi.....	20
2.4	Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri .....	23
2.4.1	Güneşin Yapısı.....	23
2.4.2	Güneş Enerjisi.....	24
2.4.3	Güneş Enerjisine Genel Bakış ve Teknolojiler .....	25
2.4.4	Güneş Pilleri.....	26
2.4.5	Güneş Pillerinin Çeşitleri.....	30
2.5	Konjuge Polimerler .....	32
2.5.1	Donör Akseptör Teoremi .....	34
2.5.2	Konjuge Polimerlerin Sentezi .....	34
2.6	İletken Polimerlerin Uygulamaları.....	37
2.7	Elektrokromik Cihazlar .....	39
2.7.1	Elektrokromizm .....	39
2.7.2	Elektrokromik Cihazın Yapısı .....	40

2.7.3	Elektrokromik Cihazın Çalışma Prensibi.....	41
2.7.4	Elektrokromik Cihazı Etkileyen Parametreler .....	42
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	46
3.1	Malzeme ve Metotlar .....	46
3.2	Polimerlerin Sentezi .....	46
3.2.1	3-(Brommetil)tiyofen Sentezi (3) .....	46
3.2.2	Azobenzen, Kumarin İçeren Tiyofen Türevlerinin 1-Fenil-2-(4-(tiyofen-3-ilmetoksi)fenil)diazenin(4) ve 4-(Tiyofen-3-ilmetoksi)-2H-kromen-2-on(5) Genel Sentez Yöntemi .....	47
3.2.3	Kromofor Grup 1-[4 - (2,5-Dibromtiyofen-3-ilmetoksi) fenil] -2-fenildiazen (6) ve 4-[(2,5-Dibromtiyofen-3-ilmetoksi)]-2H-kromen-2-on(7) İçeren Dibromtiyofen Türevlerinin Genel Sentez Yöntemi .....	49
3.2.4	PT-co-K ve PT-co-A'nın Kimyasal Polimerizasyon Yöntemi ile Sentezi .....	50
3.3	Karakterizasyon Yöntemleri .....	53
3.3.1	Dönüşümlü Voltametri.....	53
3.3.2	FTIR & NMR.....	54
3.3.3	UV-VIS Spektrofotometresi .....	55
3.3.4	Elektrokimyasal Çalışmalar .....	56
3.3.5	Spektroelektrokimyasal Çalışmalar .....	57
3.3.6	Kolorimetrik Çalışmalar .....	57
3.3.7	Kinetik Çalışmalar .....	59

3.3.8	Fotovoltaik Çalışmalar.....	59
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	60
4.1	Elektrokimyasal Çalışmalar .....	60
4.2	Spektroelektrokimyasal Özellikler.....	64
4.3	Kolorimetrik Çalışmalar.....	67
4.4	Elektrokromik Geçirgenlik ve Tepki Zamanı Çalışmaları.....	68
4.5	Fotovoltaik Özellikler .....	74
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	79
	KAYNAKLAR .....	82
	EKLER.....	90
	ÖZGEÇMİŞ .....	96

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1: PT-co-K ve PT-co-A için elektrokimyasal hesaplamaların sonuçları.....	63
Çizelge 4.2: PT-co-K ve PT-co-A için spektroeletrokimyasal hesaplamaların sonuçları.....	66
Çizelge 4.3: Kopolimerlerin (PT-co-K ve PT-co-A) uygulanan gerilimlere göre elde edilen kolorimetrik L, a, b değerleri.....	68
Çizelge 4.4: Polimerlerin kinetik çalışmalarının sonuçları.....	72
Çizelge 4.5: 1:1 oranında PT-co-K: PC <sub>60</sub> BM ve PT-co-A: PC <sub>60</sub> BM'ye dayalı güneş pillerinin fotovoltaj özellikleri.....	77

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1:2019 yılı ilk yarısı için kurulu gücün kaynak dağılımı.....	7
Şekil 2.2: 2019 yılı ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı.....	7
Şekil 2.3: Dünyada üretilen hidroelektrik enerjinin kıtalara göre dağılımı .....	9
Şekil 2.4: Dünyadaki kurulu rüzgâr güçlerinin zamanla değişimi.....	13
Şekil 2.5: Hidrojen enerjisinin elde edilmesi.....	14
Şekil 2.6: Ülkemizde jeotermal enerjinin yüksek olduğu bölgeler.....	15
Şekil 2.7: Türkiye’de bölgesel olarak incelenmiş güneş enerjisi miktarı .....	17
Şekil 2.8: İletken ve yalıtkan malzeme örnekleri.....	18
Şekil 2.9: Bant teorisi şematik gösterimi .....	21
Şekil 2.10: İletken malzemeler için enerji bandının şematik gösterimi.....	22
Şekil 2.11: Yalıtkan malzemeler için enerji bandının şematik gösterimi .....	22
Şekil 2.12:Yarı iletkenler malzemeler için enerji bandının şematik gösterimi.....	23
Şekil 2.13: Füzyon tepkimeleri.....	25
Şekil 2.14: Güneş pilinin şematik gösterimi .....	27
Şekil 2.15: Panelin yüke doğrudan bağlanmasının şematik gösterimi .....	28
Şekil 2.16: Akım-gerilim grafiğinin şematik gösterimi.....	29
Şekil 2.17: İkinci nesil güneş pilleri .....	31
Şekil 2.18: Esneme özelliği bulunan organik güneş pilleri.....	32
Şekil 2.19: Yaygın olarak kullanılan konjuge polimer örnekleri.....	33
Şekil 2.20: Suziki ve Stille bağlanma tepkimesi şeması.....	36
Şekil 2.21: Stille bağlanma tepkimesinin şematik gösterimi .....	36
Şekil 2.22: Suziki bağlanma tepkimesinin şematik gösterimi .....	37

Şekil 2.23: Violojenlerin yükseltgenme indirgenme tepkimesi.....	40
Şekil 2.24: Elektrokromik cihazın şematik gösterimi.....	41
Şekil 2.25: Gerilim uygulandığında elektrokromik cihazın yapısındaki iyon ve elektronların hareketlerinin şematik gösterimi .....	42
Şekil 2.26: Geçirgenliğin zamana bağlı değişim grafiği.....	44
Şekil 3.1: 3-(Brommetil)tiyofen'in şematik gösterimi.....	47
Şekil 3.2: Azobenzen'in şematik gösterimi .....	47
Şekil 3.3: Kumarin'nin şematik gösterimi .....	48
Şekil 3.4: PT-co-K ve PT-co-A polimerlerinin sentezi .....	52
Şekil 3.5: Dönüşümlü voltametri akım yoğunluğu gerilim grafiği.....	54
Şekil 3.6: Bir spektrofotometrenin temel bileşenleri .....	56
Şekil 3.7: CIE koordinatları L,a,b değerleri.....	58
Şekil 3.8: CIE koordinatlarında a,b değerlerinin renk tonu .....	58
Şekil 4.1: 100 mV s <sup>-1</sup> tarama hızında 0,1 M TBAPF <sub>6</sub> / ACN çözeltisinde ITO elektrodu üzerinde PT-co-K'ün tek tarama dönüşümlü voltammogramı.....	61
Şekil 4.2: 100 mV s <sup>-1</sup> tarama hızında 0,1 M TBAPF <sub>6</sub> / ACN çözeltisinde ITO elektrodu üzerinde PT-co-A'nin tek tarama dönüşümlü voltammogramı.....	62
Şekil 4.3: PT-co-K Polimerinin 50 mV/s, 100 mV/s ve 150 mV/s'deki tarama hızı ilişkisi.....	63
Şekil 4.4: PT-co-A Polimerinin 50 mV/s, 100 mV/s ve 150 mV/s'deki tarama hızı ilişkisi.....	64
Şekil 4.5: PT-co-K için farklı dalgaboylarında UV-Vis-NIR spektrumu ve renkleri .....	65
Şekil 4.6: PT-co-A için farklı dalgaboylarında UV-Vis-NIR spektrumu ve renkleri .....	66
Şekil 4.7: PT-co-K için 455 nm dalga boyunda % geçirgenlik değişimi grafiği.....	69
Şekil 4.8: PT-co-K için 1600 nm dalga boyunda % geçirgenlik değişimi grafiği.....	70
Şekil 4.9: PT-co-A için 510 nm dalga boyunda % geçirgenlik değişimi grafiği.....	70
Şekil 4.10: PT-co-A için 1625 nm dalga boyunda % geçirgenlik değişimi grafiği.....	71

Şekil 4.11: PT-co-K için ince film ve çözeltideki monomerlerin absorbans değerlerini gösteren grafik .....	73
Şekil 4.12: PT-co-A için ince film ve çözeltideki monomerlerin absorbans değerlerini gösteren grafik .....	73
Şekil 4.13: Güneş pili hücresinin şematik gösterimi .....	74
Şekil 4.14: %1 ve %2 kloroform çözeltisi içerisinde PT-co-A:PC <sub>60</sub> BM 1:1 oranında kullanıldığında elde edilen güneş pilinin fotovoltaj özellikleri .....	75
Şekil 4.15: %2 kloroform çözeltisi içerisinde PT-co-K:PC <sub>60</sub> BM 1:1 oranında kullanıldığında elde edilen güneş pilinin fotovoltaj özellikleri .....	75



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

<b>TWh</b>	Terawatt saat
<b>CO<sub>2</sub></b>	Karbondioksit
<b>MW</b>	Megawatt
<b>kW</b>	Kilowatt
<b>Gton</b>	Gigaton
<b>kWh</b>	Kilowatt saat
<b>kWp</b>	Kilowaat enerji
<b>E<sub>g</sub></b>	Elektrokimyasal bant boşluğu
<b>K</b>	Boltzmann sabiti
<b>T</b>	Sıcaklık
<b>AM</b>	Hava kütle katsayısı
<b>I<sub>KD</sub></b>	Kısa devre akımı
<b>V<sub>AD</sub></b>	Açık devre gerilimi
<b>P<sub>m</sub></b>	Maksimum güç
<b>FF</b>	Doldurma faktörü
<b>η</b>	Verim
<b>I<sub>m</sub></b>	Maksimum akım
<b>V<sub>m</sub></b>	Maksimum gerilim
<b>P<sub>in</sub></b>	Pile gelen maksimum güç
<b>GaAs</b>	Galyum Arsenit
<b>a-Si</b>	Amorf Silisyum
<b>CdTe</b>	Kadmiyum Tellür
<b>CuInSe<sub>2</sub></b>	Bakır İndiyum Diselenid
<b>eV</b>	Elektron volt
<b>CdS</b>	Kadmiyum selenid
<b>CIGs</b>	Bakır İndiyum Galyum Selenid



<b>Al</b>	Alüminyum
<b>PTh</b>	Polietilen
<b>PPy</b>	Polipirol
<b>PA</b>	Poliamit
<b>PAn</b>	Polianilin
<b>ITO</b>	İndiyum kalay oksit
<b>FeCl<sub>3</sub></b>	Demir (III) Klorür
<b>H</b>	Hidrojen
<b>CP</b>	İletken polimer
<b><math>\Delta \% T</math></b>	%Geçirgenlik değişimi
<b><math>\Delta OD</math></b>	Optik yük yoğunluğu değişimi
<b><math>Qd</math></b>	Elektronik yüklerin oranı
<b><math>Tb</math></b>	Oksitlenmiş formların geçirgenlik değerleri
<b><math>Tc</math></b>	İndirgenmiş formların geçirgenlik değerleri
<b>PC<sub>60</sub>BM</b>	Fenil-C60-bütirik asit metil ester
<b>PT</b>	Politiyofen
<b>Pt</b>	Platin
<b>mV/s</b>	Milivolt/saniye
<b>Ag</b>	Gümüş
<b>H</b>	Plank Sabiti
<b>I</b>	Akım
<b>V</b>	Gerilim
<b>CCl<sub>4</sub></b>	Karbon Tetraklorür
<b>NBS</b>	N-bromosüksinimid
<b>DMF</b>	Dimetilformamid
<b>CHCl<sub>3</sub></b>	Kloroform
<b>CDCl<sub>3</sub></b>	Döterokloroform
<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Sodyum Sülfat
<b>CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub></b>	Diklorometan
<b>Pd(PPh<sub>3</sub>)<sub>4</sub></b>	Tetrakis(triphenylphosphine)palladium
<b>TBAPF<sub>6</sub></b>	Tetrabutylamonyum heksaflüorofosfat
<b>ACN</b>	Asetonitril
<b>PSS</b>	Polistirensülfonat

<b>LiF</b>	Lityum florür
<b>E<sub>P</sub>-yük</b>	Yükseltgenme pikinin potansiyel değeri
<b>E<sub>P</sub>-ind</b>	İndirgenme pikinin potansiyel değeri
<b>E<sub>P</sub><sup>teğ</sup></b>	Teğet gerilimi
<b>λ</b>	Dalgaboyu
<b>λ<sub>maks</sub></b>	Maksimum absorbansın olduğu dalgaboyu
<b>λ<sub>maks</sub><sup>teğ</sup></b>	Teğet dalgaboyu
<b>E<sub>g</sub><sup>opt.</sup></b>	Optimum bant boşluğu

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

<b>ATR</b>	Zayıflatılmış toplam yansıtma
<b>CIE</b>	Uluslararası Renklendirme Komisyonu
<b>CV</b>	Dönüşümlü voltametri
<b>DNA</b>	Deoksiribo Nükleik asit
<b>ECDs</b>	Elektrokromik cihaz
<b>ECE</b>	Elektron transferi
<b>FET</b>	Alan etkili transistör
<b>FTIR</b>	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
<b>H-NMR</b>	Hidrojen- Nükleer manyetik rezonans
<b>HOMO</b>	En yüksek dolu moleküler orbital
<b>LUMO</b>	En düşük dolu olmayan moleküler orbital
<b>MW</b>	Moleküler ağırlık
<b>MTEP</b>	Milyon ton eşdeğer petrol
<b>NMR</b>	Nükleer manyetik rezonans
<b>OLEDS</b>	Organik ışık yayan diyot
<b>OSC</b>	Organik güneş pili
<b>PEDOT</b>	Poli (3,4-etilendioksitiyofen)
<b>UV</b>	Mor ötesi bölge
<b>UV-VIS</b>	Ultraviyole-görünür spektroskopisi

## 1. GİRİŞ

### Problem Durumu / Konunun Tanımı

Birçok tanımı olan enerji kavramı en kısa tanımıyla iş yapabilme yeteneğidir. Enerjinin birçok çeşidi vardır ve bu çeşitler arasında dönüşüm yapılabilir. Ülkelerin gelişmişlik düzeyleri ve nüfus artışları enerji taleplerini etkilemektedir. Ülkemizde ve dünyada kullanılan enerji kaynakları yaygın olarak yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklar olarak sınıflandırılır. Yenilenemeyen enerji kaynakları enerji ihtiyacına göre kullanılabilir. Bu enerji kaynaklarına örnek olarak kömür, petrol, doğalgaz verilebilir, bunlar belli bir forma dönüşmez ve belli bir süre sonra tükenirler. Dolayısı ile kendini yenileyebilen, tükenmeyen enerji kaynaklarına ihtiyaç doğmuştur. Güneş enerjisi temiz, çevre dostu, kurulumunun kolay olması nedenleri ile en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır. Güneş panelleri güneş enerjisinden yararlanmak için tasarlanmış en etkili malzeme grupları arasındadır. Güneşten gelen fotonlar öncelikle güneş panellerinde toplanarak ısı ve elektrik olarak kullanılması sağlanır. Fotondaki elektronları aktive ederler ve elektronlar güneş panelindeki yarı iletken üzerinde hareket ederek panelin alt ve üst katmanları arasında gerilim ve akım oluşturur dolayısıyla sistem enerjisi oluşur. Panellerde elde edilen enerji akülerde depolanabilir. Elde edilen enerji doğru akım formundadır başka herhangi bir alanda kullanılması için alternatif akım formuna dönüştürülmesi gerekmektedir. Güneş panellerinin en küçük birimine güneş hücresi denir. Güneş pilleri yarı iletken bir yapıya sahip olup çeşitli geometrik şekillerde bulunabilirler ve birçok farklı kimyasal malzemeden oluşabilirler. Bu kimyasal malzemelere kristal silisyum (Si), amorf silisyum (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum diselenoid ( $CuInSe_2$ ) verilebilir. Güneş pilleri içerisinde en çok ilgi duyulmuş ve yapılan birçok çalışmada yer alan organik güneş pilleridir çünkü düşük maliyetli olmaları, geniş yüzeylerde kullanılmaları, üretim kolaylığı gibi özellikleri bu pilleri avantajlı hale getirmiştir. Organik güneş pillerinin yapımında ise genellikle iletken polimerler kullanılır çünkü polimerlerin sentez yöntemleri ve verimin kontrol edilmesi kolaydır. Literatürde tiyofen içeren iletken polimerler elektrokromik ve organik güneş pili uygulamaları için yaygın olarak kullanılmıştır [1-4]. Qunping Fan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada florin içeren politiyofen sentezlemişlerdir ve elde edilen bu polimeri fotovoltaik uygulamalar için kullanmışlardır. Florin eklenmesi polimere daha düşük bir bant boşluğu ve yüksek bir kristallik ile daha derin bir HOMO (en yüksek dolu moleküler orbital) enerji seviyesi vermiştir. Ortaya çıkan polimer ve PC<sub>60</sub>BM (Fenil-C<sub>60</sub>-bütirik asit

metil ester) bazlı organik güneş pilleri, politiyofen türevlerinin kullanıldığı organik güneş pilleri için en yüksek verim değeri olan % 9,2'lik bir verim değeri elde edilmiştir [1]. Ali Çırpan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada benzoditiyofen ve tiyenopirroledion içeren sentezlenmiş kopolimerleri ve bu kopolimerlerin organik güneş pillerindeki uygulamalarını incelemiştir. Bu kopolimerlerle en iyi performans, 0,80V  $V_{AD}$  (açık devre gerilimi) ve 14,02 mA/cm<sup>2</sup>  $I_{KD}$  (kısa devre akımı) değerleri ile %5,83 güç dönüşüm verimliliği olarak P2 için gözlemlenmiştir [2]. Anjali ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada organik elektrokromik cihazlar için plastik malzeme olarak politiyofen ve PCBM kullanıldığında hızlı, esnek ve yüksek verimli bir cihaz elde ettiklerini raporlamışlardır. Cihaz tepki süresi, renklendirme verimliliği, renk geçirgenliği ve çevrim ömrü gibi parametreler için elektrokromik performansta ölçülebilir bir gelişme göstermiştir [3]. Yan ve arkadaşları çalışmalarında verici grup olarak tiyofen ve türevlerinin, alıcı grup olarak pirido [4,3-b] pirazin'in kullanıldığı 4 farklı kopolimer sentezini ve bunların yapılarını incelemiştir. Elde edilen sonuçlar tüm polimerlerin p-tipi katkılama ve n-tipi katkılama ile geri dönüşümlü olarak indirgenebildiğini ve oksitlenebildiğini gösterir. Polimerler için p-tipi katkılama işleminde görünür bölgede renk değişimleri yaşanmıştır. Tüm polimerler optik geçirgenlikleri, renklendirme verimleri, stabilite ve kısa tepki zamanı süreleri ile elektrokromik cihaz uygulamaları için tercih edilebilir durumdadır [4].

#### Araştırmanın Amacı

Donör akseptör yaklaşımı organik güneş pili uygulaması için p-tipi malzeme üretmek adına başarılı yöntemlerden biridir. Bu çalışmada da hem organik güneş pili uygulamalarında hemde elektrokromik uygulamalarda kullanılmak için yeni polimerlerin sentezi ve karakterizasyonu hedeflenmiştir. Bu bilgiler ışığında, elektrokromik ve organik güneş pili uygulamaları için kimyasal polimerizasyon teknikleri kullanılarak azobenzen ve kumarin ile işlevselleştirilmiş tiyofen içeren kopolimerler Poli(4-((3"-hekzil-[2,2':5',2"':5",2"-tetratiyofen]-3'-il) metoksi)-2H-kromen-2-on (PT-co-K) ve Poli(1-(4-((4"-hekzil-[2,2':5',2"':5",2"-tetratiyofen]-3'-il) metoksi) fenil)-2 fenildiazen) (PT-co-A) tasarlandı ve sentezlendi. Elde edilen kopolimerlerin elektrokimyasal, elektrokromik, kinetik ve spektroeletrokimyasal analizi, dönüşümlü voltametri (CV) ve UV-Vis (Ultraviyole-görünür bölge spektroskopisi) spektrofotometre teknikleri ile gerçekleştirildi. Polimerlerin yapılan bu çalışmaları ile güneş pillerinde uygulanabilirlikleri kanıtlandı sonra güneş pili yapımı ve iyileştirme çalışmaları anlatılmıştır.

### Araştırmanın Önemi

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi ucuz, güvenilir ve her yerde kullanılabilir olduğu için büyük bir öneme sahiptir. Daha önceki yayınlarda güneş enerjisini ele alan birçok çalışma vardır ve bu çalışmalarda özellikle iletken polimerlerin kullanıldığı organik güneş pillerine yer verilmiştir. Bu çalışmada organik güneş pilleri, elektron verici grup olarak iletken polimer ve elektron alıcı grup olarak PC<sub>60</sub>BM kullanılarak tasarlanmıştır. Kimyasal yöntemlerle sentezlenen PT-co-K ve PT-co-A'nın kullanıldığı organik güneş pillerinin performansları, ITO / PEDOT:PSS / Polimer (PT-co-K / PT-co-A): PC<sub>60</sub>BM / LiF / Al şeklindeki cihaz yapısı ile araştırılmıştır. Elde edilen ilk sonuçlar burada rapor edilmiştir ve laboratuvarlarımızda verimliliği artırmak için çalışmalar devam etmektedir. Çalışmamızda sentezlenen azobenzen ve kumarin bileşikleriyle türevlendirilmiş tiyofen içeren kopolimerler varolan yayınlarda daha önce çalışılmadığı için gelecekteki birçok çalışmaya da örnek olacaktır.

### Sınırlılıklar

Organik güneş pilleri diğer güneş pilleri ile karşılaştırıldığında daha kolay elde edilebilir olmasına rağmen polimerlerin sentezi maliyet ve zaman isteyen bir süreçtir. Ayrıca güneş pilinin yapılış süreçleri de zaman ve dikkat gerektirmektedir. Her bir katman tek tek büyük bir özveriyle yapılır, ortamın temiz ve havadan uzaklaştırılmış olması çok önemlidir. Elde edilen verim ise diğer güneş pillerinden daha düşüktür ancak bu konuda çalışmalarımız devam etmektedir.

### Tanımlar

Organik bileşiklerin yapı taşları monomer, monomerlerin bağlarla birleşmesiyle elde edilen büyük moleküllere polimer denilmektedir. Aynı tür birimlerden oluşan polimer zinciri homopolimer, iki ya da daha fazla farklı monomer içeren polimerler ise kopolimer olarak adlandırılırlar. Yapılan bu çalışmada kumarin ve tiyofenden sentezlenen kopolimer Poli(4-((3"-heksil-[2,2':5',2":5",2"-tetratiyofen]-3'-il)metoksi)-2H-kromen-2-on (PT-co-K), azobenzen ve tiyofenden sentezlenen kopolimer Poli(1-(4-((4"-heksil-[2,2':5',2":5",2"-tetratiyofen]-3'-il)metoksi)fenil)-2 fenildiazen) (PT-co-A) olarak adlandırılmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Yeryüzünde Enerji ve Önemi

Enerji kavramı doğayı ve evreni oluşturan, onları ortak bir paydada birleştiren vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Başka bir deyişle enerji doğada ve evrende gerçekleşen tüm fiziksel ve kimyasal olaylarda yer alan ve birden fazla formda bulunan ancak sistemle birlikte var olan sistem özelliğidir. En çok bilinen formları mekanik, ısı, elektrik, manyetik, ışık ve nükleer enerjidir. Bir ülke için enerji tüketimi ekonomik ve sosyal gelişiminin bir göstergesidir. Ülkelerin gelişmişlik seviyeleri arttığında bununla paralel olarak o ülkenin enerji tüketimi de artmaktadır [5]. Enerji çeşitleri kendi arasında birbirine dönüşebilir, enerjinin herhangi bir değişime ve dönüşüme uğramamış haline birincil enerji denir. Enerji elde etmek için çeşitli teknik ve metotlarda kullanılan girdiye enerji kaynağı denir. Enerji kaynaklarının doğrudan/dolaylı olarak kullanıma göre yapılan sınıflandırmada birincil enerji kaynakları rüzgâr, kömür, doğalgaz, güneş, biyokütle ve nükleerdir. Bu kaynakların kullanıldığı birincil enerji değişim ve dönüşüme uğramayan enerji çeşitleridir. İkincil enerji ise birincil enerjinin değişim ve dönüşümü ile elde edilir ve ikincil enerji kaynaklarına örnek mazot, kok kömürü, benzin, hava gazı, LPG verilebilir [6]. Enerji ekonomik ve sosyal gelişimde önemli bir etkidir. Dolayısıyla ülkeler enerjiyi temiz, ucuz bir şekilde kullanmak ister. Enerjinin kesintisiz ve güvenilir olması da aranan diğer özellikleri arasındadır. Ancak ülkelerin gelişmişlik düzeyleri arttıkça artan enerji tüketimi, enerjinin kesintisiz ve güvenilir olması konusunda bazı sorunlara neden olmaktadır. Hızla artan enerji tüketimi beraberinde enerji kaynaklarının hızla azalmasına neden olmaktadır. Var olan enerji kaynaklarının çok kısa süre içerisinde tükeneceği öngörülmektedir [7]. Yapılan araştırmalara göre kömür yataklarının yaklaşık 134 yıl ömrü kaldığı bilinmektedir. Dünyadaki kömür havzalarının çoğu ABD, Rusya, Çin, Hindistan, Avustralya, Kazakistan, Polonya, Ukrayna gibi ülkelerde bulunmaktadır. Dünya enerji konseyinin açıklamalarına göre kanıtlanmış kömür yatakları toplam 892 milyar ton büyüklüğündedir. Ülkemizdeki kömür yatakları dünyada orta segmentte yer almaktadır. Ülkemizin linyit miktarı dünyadaki miktarın %3,2 si kadardır. Taş kömürü yatakları ise 506 milyon ton düzeyindedir ve taş kömürünün çoğu Zonguldak ve çevresinde bulunur [8]. Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar günümüzde kullandığımız enerjinin büyük bir kısmını sağlamaktadır. Özellikle son dönemlerde üretim teknolojilerindeki gelişmeler ve maliyetinin düşük olması gibi etmenler fosil yakıtların yaygın bir şekilde kullanılmasına

neden olmuştur. Bu kullanım hızı fosil yakıtın oluşum hızının yaklaşık 300 bin katı kadardır [9]. Yıllık kişi başına düşen elektrik tüketimi dünyada 2376 kWh iken Türkiyede 1281 kWh düzeyindedir. Ayrıca fosil yakıtlar kısa bir zaman diliminde yenilenemeyen yakıtlardır bu nedenle fiyatları da devamlı artmaktadır. Fosil yakıtlar enerji kaynağı olarak kullanıldığında yandıkları zaman hem çevreye hem de insan sağlığı üzerine zarar vermektedirler. Fosil yakıtların yoğun bir şekilde kullanılmasının neden olduğu zararlara örnek olarak ozon tabakasının delinmesi, artan asit yağmurları, küresel ısınma ve etkileri, insanlardaki solunum yetmezliğine bağlı olarak gelişen hastalıklar verilebilir [10]. Dolayısıyla ülkeler için enerji politikaları belirlenirken enerji ve çevre faktörü birbirinden ayrı değerlendirilmemelidir. Enerjinin üretimi kadar dönüşümü, depolanması, kullanımı, dünyaca toplam enerji talebinin karşılanması da çok önemlidir. Enerji politikası tüm bu parametreleri dikkate alarak çevreyi korumayı ilke haline getirir. Enerji politikaları belirlenirken kaynak çeşitliliği, enerji kaynağının temini, enerji kaynaklarının potansiyeli ve kullanılan enerjinin çeşitliliği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu politikalar belirlenirken enerji talebinin doğru şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir [11]. Ülkemizin enerji politikasına baktığımızda enerjinin güvenliğinin sağlanması, çevreye her aşamada önem verilmesi, üretken ve verimliliğin artırılması, yeni teknolojiler için Ar-Ge çalışmalarının yapılması, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve yerli enerji kullanımının artırılması gibi konulara ağırlık verildiği gözlemlenmektedir [12].

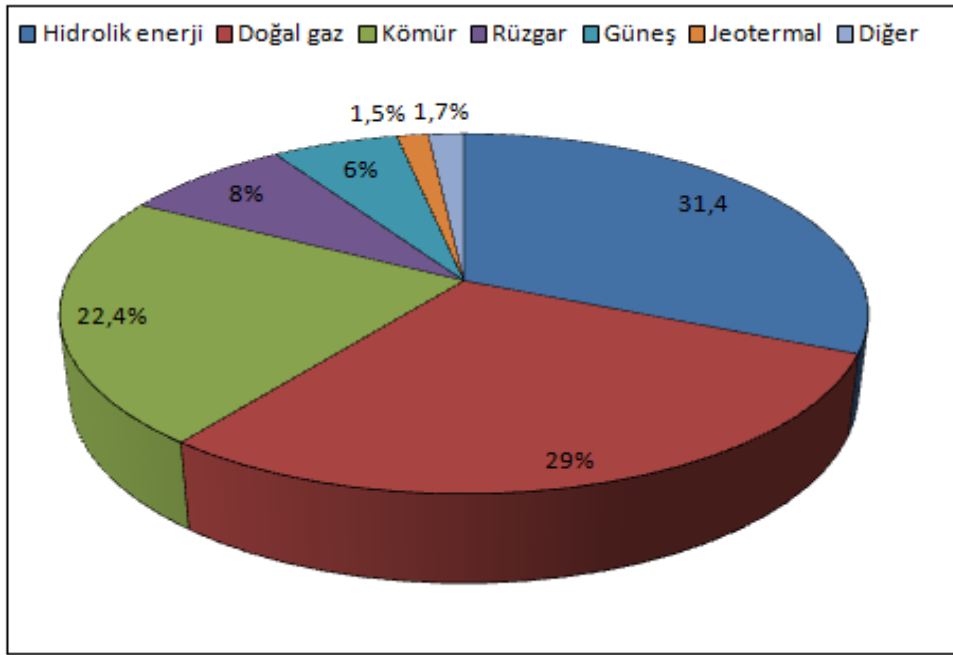
## 2.2 Yenilenebilir Enerji

Ülkelerin enerji politikalarında yer alan enerjinin çeşitliliğinin ve yerli enerjinin kullanımının arttırılmak istenmesi alternatif enerji kaynaklarına olan talebi arttırmıştır. Bu alternatif enerji kaynaklarının en önemlisi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji tanım olarak enerji elde etmek için doğal süreçlerin kullanıldığı, kaynağının tükenme hızından çok daha hızlı bir şekilde enerji elde edilebilen enerji çeşitleridir. Bu enerjinin kaynakları güneş, rüzgâr, su ve dalga gibi bitmeden enerji üreten kaynaklardır. Bunlar fosil yakıtlar gibi zamanla tükenmezler ve doğal kaynaklardan sağlanırlar. Yenilenebilir enerji dünyadaki enerji ihtiyacının tümüne yetebilecek kadardır. Günlük olarak tüketilen fosil enerjinin yaklaşık 20 000 kat daha fazlasıdır. Bu enerji kaynaklarının ve elde edilen enerjinin güvenliği çok daha yüksektir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının miktarı sınırlı değildir ve çevreye çok daha az zarar verir [13]. Yenilenebilir

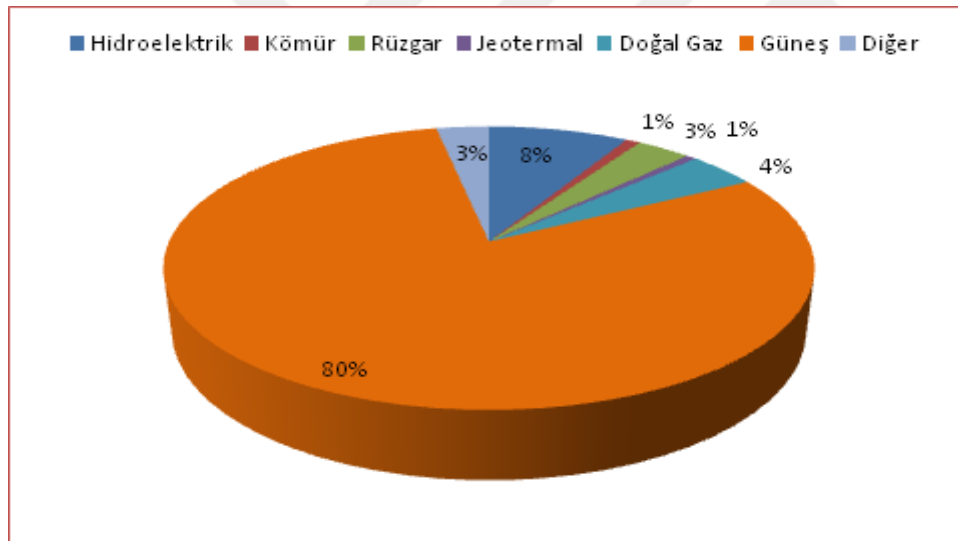
enerjinin gelişmesinde etkili olan özelliklerden birisi enerji güvenliğinin sağlanmasıdır. 1973 yılında yaşanan Petrol Krizi ile enerji kaynaklarının güvenliliği ve sürekliliği büyük bir önem kazanmıştır. Diğer önemli bir özellik ise son zamanlarda ortaya çıkan çevre bilincidir. Yenilenebilir enerji temiz enerjidir, üretimleri sırasında emisyon yaratmazlar. Fosil yakıt kullanımının çevreye vermiş olduğu zarar göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerjinin kullanımı bu yönden de hızla artmıştır. Yenilenebilir enerjiye verilen önemin artmasında sürdürülebilir kalkınma ve küresel ısınma sorunları da etkili olan parametrelerdir. Sürdürülebilir kalkınma doğal kaynaklarının planlı ve kontrollü bir şekilde kullanımının sağlanması ve gelecek nesillere ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde devredilmesini anlatan bir sistemdir [14].

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çeşitliliği çok fazladır. Örneğin; coğrafi konumu olarak güneşlenme süresi yüksektir, jeotermal enerjide çok fazla sayıda kaynağa sahiptir, üç tarafının sularla kaplı olması nedeniyle hidrolik enerji bakımından zengindir ve rüzgâr enerjisi potansiyeli 160 TWh civarındadır. Fosil yakıtlar ile karşılaştırıldığında ithal yolla elde edilen enerjiden çok daha fazla enerjiyi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elde etmek var olan potansiyele göre mümkündür [9]. Ülkemiz için yenilenebilir enerji kaynakları büyük bir öneme sahiptir ancak kullanımı çok yaygın değildir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi 2019 yılının ilk yarısında kullanılan kaynakların içinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı %46,9'dur. Şekil 2.2'de aynı dönem için elektrik enerjisi üreten 8063 santral arasında yenilenebilir enerjinin kullanıldığı 7418 adet santral bulunmaktadır [15]. Bu enerji türleri ile yapılan çalışmalar devam etmektedir. Yapılan çalışmalar ile gerekli iyileştirmeler yapıldığında özellikle rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi ülkemiz için çok büyük kazanç sağlayacaktır. Hem sağladıkları katma değer hem sürdürülebilir kalkınmaya destek olmalarının yanı sıra yenilenebilir enerjinin üretildiği yerler ayrıca yeni istihdam alanları olacaktır. Bu alanda akademik çalışmalar yapılarak daha hızlı bir büyüme elde edilebilir [16].





Şekil 2.1: 2019 yılı ilk yarısı için kurulu gücün kaynak dağılımı [15]

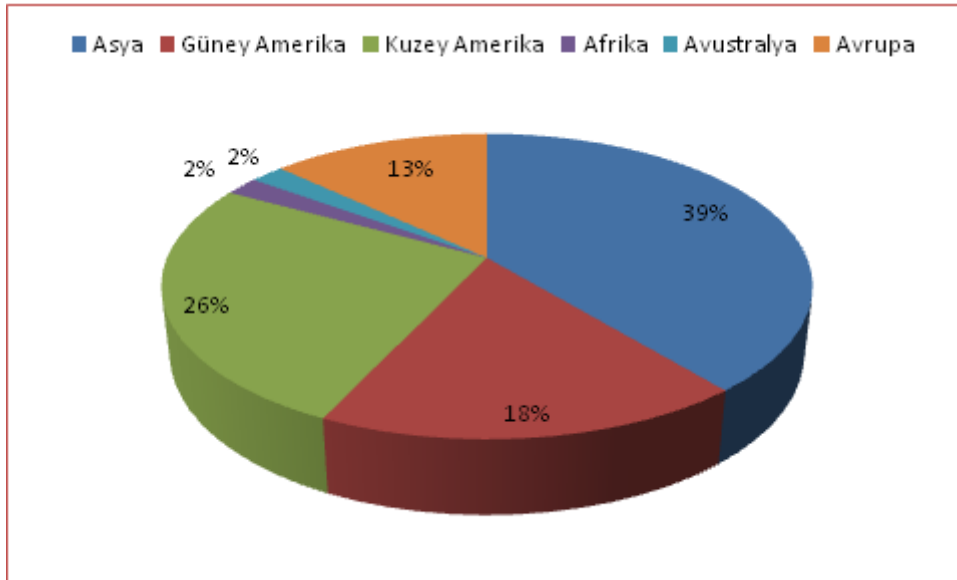


Şekil 2.2: 2019 yılı ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı [15]

Yenilenebilir enerjinin tüm bu avantajlarının yanı sıra birtakım dezavantajları da vardır. Örneğin hidrolik enerji elde etmek için kurulan barajlar buldukları bölgenin biyolojik çeşitliliğini etkiler. Güneş enerjisini kullanabilmek için çok geniş alanlara ihtiyaç duyulur. Rüzgâr enerjisi elde edilirken kullanılan rüzgar gülünden büyük bir gürültü kirliliği oluşur. Ancak bu zararlara bakıldığında fosil yakıtların verdiği zararlarla karşılaştırılamayacak kadar düşüktür ve küresel bir özelliği yoktur. Ayrıca bu enerji çeşitleri için gereken ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Bu aşamada ilk yatırımda devletten destek alınabilir, ilk yatırım maliyetleri yüksek olsada uzun vadede elde edilecek ulusal kazanç yüksektir [17].

### 2.2.1 Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik enerji nehirlerin ve diğ er su kü tlelerinin potansiyeli ile do ğ ru orantılıdır. Ü lkemizde 26 adet hidroelektrik havza bulunur ve 193 milyar m<sup>3</sup> suyun hidroelektrik enerjiye kaynak olabilece ğ i düşün ülmektedir [18]. Türkiye'nin enerji politikasındaki temel hedeflerinden bir tanesi de yenilenebilir enerji kaynaklarından hidroelektrik enerji yatırımlarına büyük ölçü de katkı sağ lamaktır. Böylece yabancı sermayeler teş vik edilerek gelece ğ e yatırımlar yapılmaktadır. Ü lkemizdeki kurulu güç 28 660 MW civarındadır. Bu miktar 2002 yılı itibariyle hesaplanılmış tır ve yıllık olarak büyü me sağ ladı ğ ı ö ngörölmektedir. Kurulu güç içerisinde hidroelektri ğ in yeri oldukça önemlidir ve sayısal olarak ifade edildi ğ inde yaklaşık 12 177 MW kadardır [18]. Hidroelektrik santrallerinin ilk yatırım maliyetleri yüksektir ancak ekonomik ö mürleri yüzlerce yıl sürmektedir. Ayrıca diğ er yenilenebilir enerji kaynakları arasında en ucuz maliyetli olan enerji kaynaklarından dır. Tüm bu özellikler göz önüne alındı ğ ında dış a bağı mlılı ğ ı en az olan enerji çeş idi oldu ğ u sö ylenebilir. Hidroelektrik enerjide yakıt masrafları yoktur bu nedenle dünya ç apında meydana gelen ekonomik dalgalanmalardan pek etkilenmezler. Yatırım yapıldı ğ ı takdirde 200 yıla kadar ortalama ö mürleri olabilir. Hidroelektrik enerji çevre ile en iyi uyum sağ layan çevre dostu bir enerji çeş iti olup CO<sub>2</sub> üretmeyen en önemli do ğ al enerji kaynaklarından dır [18]. Türkiye hidroelektrik enerji bakımından şanslı sayılabilecek ö lkeler arasındadır. Bunun birçok nedeni vardır, yüksek düş ü ve su miktarı bu nedenler arasında gösterilebilir. Dünyanın hidroelektrik kapasitesi yıllık olarak yaklaşık 14 370 TWh olarak ifade edilmektedir. Bu miktarın %56,2'si hidroelektrik potansiyeline aittir. Rakamla ifade edildi ğ inde 8,082 TWh olarak ifade edilir. Ş ekil 2.3'te gösterilen grafi ğ e göre dünya ç apında hidroelektrik üretimi en fazla Asya'da olmaktadır ve yaklaşık toplam üretimin %39'unu oluşturmaktadır [19].



Şekil 2.3: Dünyada üretilen hidroelektrik enerjinin kıtalara göre dağılımı [20]

Hidroelektrik santrallerinin kurulması için coğrafya çok önemlidir, uygun coğrafi koşullar sağlandığı takdirde santraller kurulup enerji üretilebilir. Türkiye'nin büyük oranda hidroelektrik enerji üretim potansiyeli vardır. Norveç'ten sonra Avrupa'da en fazla yıllık hidroelektrik enerji potansiyeline sahip ülke konumundadır. Bu özelliği sayesinde tüm Avrupa ülkeleri arasında %16,5 civarında potansiyele sahiptir. Bu oran birçok Avrupa ülkesi üretiminden fazladır. Bu ülkeler arasında Almanya İsviçre, İzlanda, Avusturya, İtalya, Polonya vb. gösterilebilir [21].

### 2.2.2 Biyokütle Enerjisi

Artan nüfus artışı ve sanayileşmenin meydana getirdiği enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılacak, çevreye zararı olmayan ve sürdürülebilir kaynakların başında biyokütle enerjisi gelmektedir. Bu enerji güneş var olduğu sürece ve bitkiler olduğu sürece tükenmez bir enerji kaynağıdır. Ayrıca biyokütle enerjisi kırsal alanlar için sosyoekonomik gelişmelere katkı sağladığından vazgeçilmez bir enerji türüdür [22]. Biyokütle kökeni fosil olmayan, her türlü bitki ve hayvanlardan oluşan yenilenebilir özellik taşıyan doğal madde kalıntısı olarak tanımlanabilir. Ayrıca biyokütle hayvan atıklarını, belediyelerin atıklarını, otsu ve odunsu bitkileri de içerir [23].

Biyokütlenin ana bileşeni karbonhidrattır. Biyokütle kimyasal ve fiziksel birçok yöntemden geçirilir ve biyoenerji elde edilir. Elde edilen bu enerji birçok alanda kullanılabilir, türbin kazanları ve yakıt hücreleri örnek verilebilir. Bu enerjinin katı, sıvı ve gaz hali vardır. Sıvıya örnek biyodizel, metanol ve etanol, gaza örnek hidrojen ve metan,

katıya odun ve tezek örnek verilebilir [24]. Biyokütle enerjisi kesintili değildir, kolaylıkla depolanabilir, istenilen her yerde kullanılabilir ve çevre dostudur. Biyokütle enerjisi fosil yakıtların neden olduğu çevre kirliliğini azaltır ve kırsal bölgelerin kalkınmasına yardımcı olur. Bu enerji türüne son yıllarda büyük bir ilgi gösterilmektedir ve geleceği umut vericidir [25].

Biyokütlenin kaynakları modern kaynaklar ve klasik kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır. Hayvan atıklarından ve orman kalıntılarından elde edilen kaynaklar klasik kaynaklar olarak adlandırılırken, kentsel atıklar ve endüstri atıkları modern kaynaklar olarak sınıflandırılır. Klasik kaynakların herhangi bir işlem yapılmadan kullanılması çevre üzerinde olumsuz etki yaratırken modern kaynakların kullanılması daha fazla yarar sağlamaktadır [26]. Biyokütle ya doğrudan yakılır ya da çeşitli süreçlerle kalitesi artırılıp alternatif biyoyakıtlar elde edilebilir. Bunlara örnek biyogaz, çöp gazı ve sentetik gazı verilebilir. Türkiye’de biyokütle enerjisi daha çok klasik yönetime dayanır. Genellikle yakıt olarak kullanılır ve üretilen yerli enerjinin %25’ini karşılar. 2020 yılına kadar klasik biyokütle üretiminin artması planlanmaktadır ancak modern olan üretim için bir tahmin yapılamamaktadır. Oysaki üretim süreçleri ve çevreye etkisine bakıldığında gelişmesi gereken modern üretimdir [27].

Türkiye biyokütle üretimi için yeterli güneşlenmeye, tarım alanlarına ve su kaynaklarına sahiptir bu nedenle modern biyokütle enerjisini alternatif enerji olarak kullanmak uygundur. Ülkemizde ekonomik değeri yüksek olan ve hızlı büyüyen ağaçlara örnek akkavak, kızılçam, sedir ve servi, yabancı kökenli ağaçlara ise okaliptüs örnek verilebilir. Büyürken su isteyen ağaçların yerine kurak alanda yetişebilen ağaçlara önem verilmelidir. Ülkemiz biyokütle enerjisinin gelişmesi için yeterli olanak ve çevre koşullarına sahiptir. Enerji bakanlığından alınan verilere göre biyokütle atık potansiyeli yaklaşık 8,6 MTEP ve üretilebilecek biyogaz miktarı ise 1,5-2 MTEP olduğu anlaşılmaktadır [28]. Bu enerjinin gelişmesi için enerji ormancılığına ve enerji tarımına gerekli önem verilmelidir. Gübreden, atıktan ve çöplerden elde edilen biyogaza gereken önem verilmeli ve kontrollü kullanılmalıdır [29]. Biyokütle enerjisi diğer kaynaklardan farklı olarak taşınması ve saklanması kolay olan bir enerjidir bu nedenle son yıllarda bu alanda birçok çalışmalar yapılmaktadır. Dünyadaki enerji tüketiminin %14’ü biyokütle tarafından sağlanır. Dünyadaki ülkelerin çoğunluğunu geliştirmekte olan ülkelerin oluşturduğu düşünülürse biyokütle enerjisinin de bu ülkeler ile birlikte artacağı öngörülmektedir [30].

### 2.2.3 Dalga Enerjisi

Sonlu olan ve çevreye çok fazla zarar veren fosil yakıtların yerine kullanılan alternatif yenilenebilir enerjilerden biriside dalga enerjisidir. Dalga dünya yüzeyinde oluşan ısı farklılıklarının neden olduğu rüzgârların deniz yüzeyinde esmesi ile meydana gelir. Deniz dalgalarının oluşmasında rüzgârların dışında denizlerdeki taşıtların hareketi, depremler gibi dış etkilerde etkili olan parametrelerdendir. Ancak rüzgâr ile oluşan dalgalar diğer kaynaklardan oluşan dalgalara göre sürekli [31].

Dalga enerjisi, okyanus ve denizlerde bu rüzgârlar sonucu oluşan dalga hareketlerinden elde edilen yenilenebilir bir enerji çeşididir. Bu enerji hidroenerjiden farklı olarak deniz akıntısını kullanır, baraj veya suyu hızlı hareket eden bir nehri gerektirmez. Kullanıldığında bol ve çevre dostu bir enerji çeşitidir. Diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında aynı gücü elde etmek için daha küçük bir alana ihtiyaç duyulur [32]. Ayrıca dalga enerjisinin kaynağı sınırsızdır, dalga enerjisi çevreye duyarlıdır, yeni çalışma alanları sağlar ve kıyıların korunması için yeni bir yöntemdir. Ancak kullanımda bazı kısıtlamalar ve dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Örneğin tasarımlar her dalga boyutu için yapılamaz, gemi rotalarına ve askeri bölgelere, balık avlarına dikkat edilmesi gerekmektedir [33].

Dalga enerjisinin kullanımı rüzgâr ve güneş enerjileri kadar yaygın değildir, ancak enerjinin ulaştırılmasının zor olduğu yerlerde çokça tercih edilir, adalar gibi. Ülkemizin dalga enerji potansiyeli rüzgâr ve dalga atlasından hesaplanır. Dalganın en yüksek olduğu bölgeler Güneybatı Anadolu, Ege Denizi, Karadeniz ve Akdeniz'dir. Yapılan araştırmalara göre İzmir-Antalya arası dalga enerjisinden yararlanılabilecek en uygun bölgelerdir [34]. Ülkemiz için yapılan enerji planlamalarının şehir planlanması ile paralel olması nüfusun kıyı kesimlerde artmasına ve elde edilen dalga enerjisi ile bu kesimlerdeki enerji ihtiyacının sağlanabilmesine olanak sağlar. Dalga enerjisi arttığında şebekelere harcanan para miktarı azalacaktır ve yapılan çalışmalar ile dalga enerjisi her zaman göz önünde bulundurulacaktır [35].

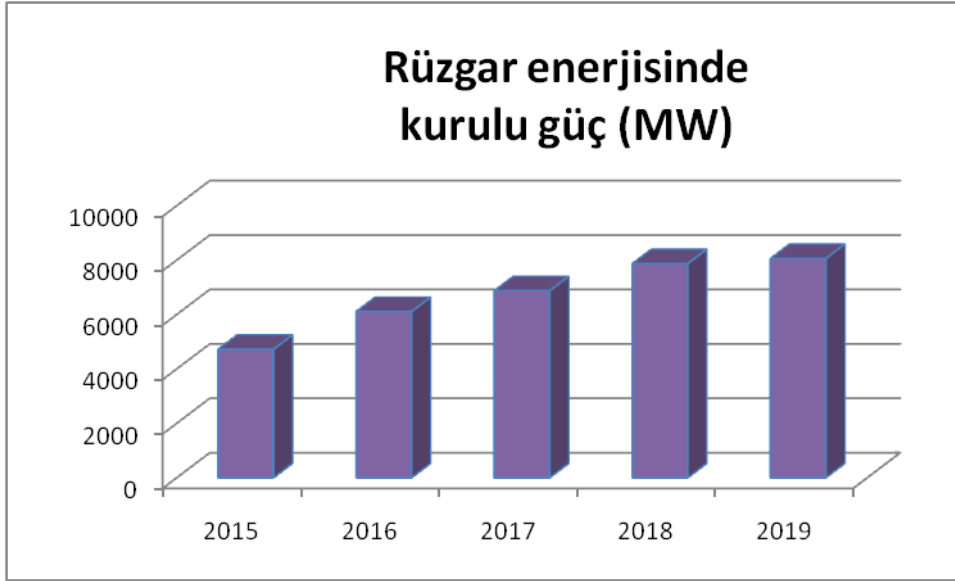
Dalga enerjisinden faydalanabilmek için çeşitli projeler ve tasarımlar yapılmaktadır. Ancak büyük bir bölümü maliyet ve maruz kalacağı kuvvetlerden dolayı gelişmemiştir. Bu nedenle dalga enerjisi alanında yapılan birçok çalışma mevcuttur [36]. Büyük bir potansiyele sahip olan dalga gücü ile çalışırken dalgaların tutarsız olması büyük sıkıntılara

neden olmaktadır. Ayrıca hava şartları ve mevsim şartları da dalga enerjisini etkiler. Ayrıca sert sulara dayanan cihazların temini de başlıca bir problemdir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda dalga enerjisinin kullanımına ait araştırmaların yapılması ve uygun bölgelerde bu enerjinin kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır.

#### 2.2.4 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi temiz enerji kaynaklarından biri olup doğa üzerinde çok önemli katkıları bulunmaktadır. Doğa üzerindeki pozitif katkısına şu şekilde örnek verilebilir: doğada bulunan ağaçlar belli aralıklarla yeryüzündeki CO<sub>2</sub>'yi temizlerler. Yaklaşık 60 000 ağacı düşündüğümüzde doğada büyük miktarda CO<sub>2</sub> temizleme işi yapılır. Bu işe eş değer olarak 500 kW'lık bir rüzgâr türbini de aynı işi yapar. Bunun sonucu olarak rüzgâr enerjisinin doğa dostu yenilenebilir bir enerji olduğu söylenebilir. CO<sub>2</sub> yayılımı bugün dünya genelinde konuşulan en önemli konulardan bir tanesidir ve bu yayılımı azaltmak için kullanılan teknolojiler ve yapılan yatırımlar çok ciddi rakamlara ulaşmaktadır. 2025 yılına kadar elektrik ihtiyacının %10'u rüzgâr enerjisinden sağlanırsa büyük ölçüde CO<sub>2</sub> yayılımı azalmış olacak. BTM Consult verilerine göre bu yayılımın 1,41 Gton olduğu bilinmektedir [37]. Rüzgâr enerjisinin ülkemiz çapında gittikçe yaygın hale gelmesinin birçok nedeni vardır. Bu nedenler şu şekilde sıralanabilir: Türkiye rüzgâr enerjisi yönünden dışa bağımlı değildir, rüzgâr enerjisi doğal ve tükenmeyen yapısıyla süreklilik sağlamaktadır. Ayrıca CO<sub>2</sub> yayılımına engel olması en cazip nedenleri arasında sayılabilir.

Rüzgâr enerjisi üretebilen sistemlerin devreye alınması oldukça basittir aynı şekilde devreden çıkarma işlemleri dekolaydır ve risk taşımamaktadır. Tabiki olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Mesela gürültü, görsel kirlilik gibi etkileri insanları rahatsız edebilmektedir ancak bugünkü teknolojiyle beraber rüzgâr enerjisi son derece geliştirilmiş olumsuz etkileri en aza indirilmiştir [38]. Türkiye'de elektrik üretimine bağlı olarak rüzgâr enerjisi kullanımında meydana gelen artış ekonomik gelişmelere bağlıdır ve sürekli değişiklik göstermektedir. 1970 yılından itibaren ortalama artış %8,59 civarındadır [39,40]. Dünya çapında rüzgâr enerjisine baktığımızda kurulu toplam rüzgâr gücü yaklaşık 47 616,4 MW'tır. Şekil 2.4'te ise 2015 ve 2019 yılları arasında Türkiye'de rüzgâr enerjisi kurulu gücün değişimi gösterilmektedir [41-43].



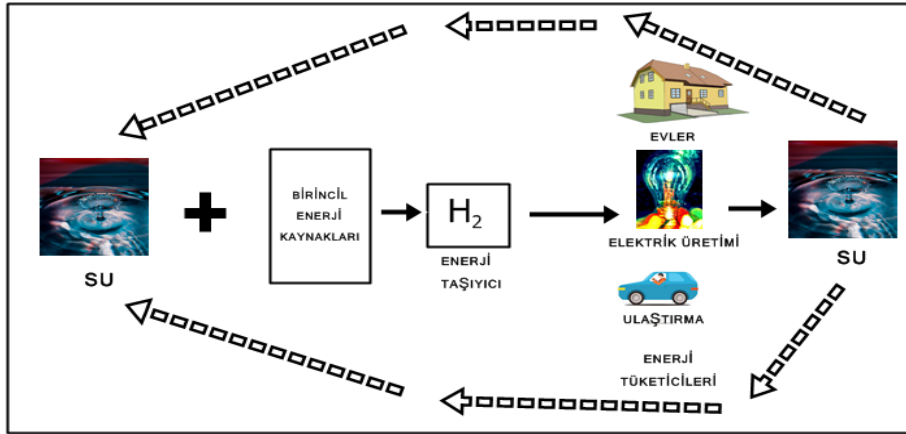
Şekil 2.4: Ülkemizdeki kurulu rüzgâr güçlerinin zamanla değişimi

### 2.2.5 Hidrojen Enerjisi

Günümüzde insanların ve doğanın uyum halinde yaşaması ve gelecek nesillere bu uyumu aktarması için enerjinin yenilenebilir olması gerekmektedir. Çevre kirliliğini önlemek amacıyla hidrojenin çok iyi bir enerji kaynağı olduğu bilinmektedir [44]. Hidrojen (H) güneş kaynaklı elektrik enerjisiyle elde edilir ancak günümüz teknolojisi ile bu şekilde H üretimi oldukça maliyetli olmaktadır. Bu maliyeti azaltmak ve daha sık kullanım alanı yaratmak için dünya çapında farklı yöntemler uygulanmaktadır ve farklı araştırma teknikleriyle çalışmalar devam etmektedir. Nehirlerden, rüzgârdan, kömürden hidrojen enerjisi elde etmek adına hala bilim dünyası bilgi alışverişinde bulunmaktadır. Ülkemizde ise hidrojen sülfürden hidrojen enerjisi elde edilmesi düşünülmektedir. Hidrojen sülfür yerin metrelerce derinliklerinde bulunmaktadır ve Türkiye’de Karadeniz’in bazı kesimlerinde 60 metre derinlikte bulunmaktadır. Hidrojen enerjisi sadece hidrojen sülfürden elde edilmez aynı zamanda jeotermal kaynaklardan ve rüzgârdan da hidrojen enerjisi elde edilebilir [45].

Hidrojen enerjisinin kullanımı oldukça yaygındır. Yerel olarak üretimi mümkün olan, kolay bir şekilde taşınabilen ve taşınma sırasında enerji kaybında çok fazla dalgalanmalar olmayan bir enerji türü olmakla beraber ısınma amaçlı olarak da kullanılması mümkündür. Kullanımını uygun hale getiren en önemli nedenlerinden bir tanesi ise verimliliğin yüksek olması ve yayılımların çok düşük olmasıdır [46]. Avrupa hidrojen enerjisi üzerine çok geniş çaplı araştırmalar sürdürmektedir ve gelişen teknolojiyle daha fazla kullanım alanı bularak yaygınlaşacağını düşünülmektedir. Ancak hidrojen enerjisi üretirken çok dikkat

edilmesi gereken bazı noktalar bulunmaktadır. Bu aşamada kullanılan kaynaklar çok önemlidir. Mesela hidrojen fosil yakıtlar kullanılarak elde edilebilir ayrıca bu yöntem çok ucuz olduğu için cazip hale gelebilir ancak bu durum karbon gazı açığa çıkarır, geri kazanım söz konusu olmaz, maliyet artar ve iklim değişimleri meydana gelir [47].



Şekil 2.5: Hidrojen enerjisinin elde edilmesi

Şekil 2.5'te gösterildiği gibi hidrojen enerjisini elde etmek için H kaynağına ihtiyaç vardır. Bu kaynağın doğaya zarar vermeyen, çevre dostu ve istenmeyen yayılım meydana getirmeyen özellikte olması gerekmektedir. Enerji elde edildiği durumda yaygın kullanım alanı bulunmaktadır. Evlerde, elektrik üretiminde, ulaşırmada ve birçok farklı alanlarda kullanılabilir.

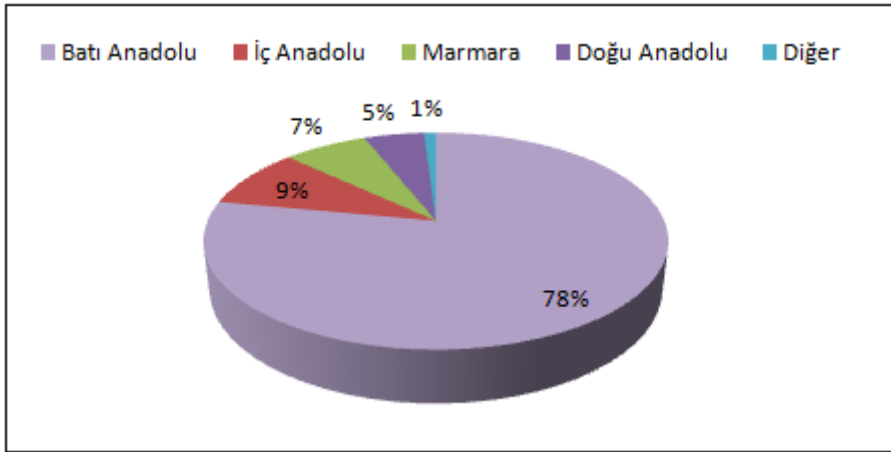
### 2.2.6 Jeotermal Enerji

Jeotermal kaynaklar yer kabuğunun çeşitli uzaklıklarında birikmiş ısının meydana getirdiği ve içerisinde çeşitli mineralleri bulunduran buhar, su ve gazlardır. Bu jeotermal kaynaklardan doğrudan ya da dolaylı olarak elde edilen enerjiye jeotermal enerji denir. İçerisinde bir akışkan bulunmadan da değişik yöntemler kullanılarak jeotermal enerji elde edilebilir. Bu enerji çeşidi de çevreye duyarlı ve temiz enerjidir. Jeotermal enerji birçok alanda kullanılmaktadır, bunlara örnek elektrik üretimi, ev ve iş yerlerini ısıtma, turizm, balıkçılık gibi uygulamalar verilebilir. Bu enerjinin kullanımı çok eskilere dayanır, bu enerji banyo, yıkama işlemleri ve mutfakta kullanılmaya başlanmıştır. Sıcak suyu ilk kullananlar arasında Çinliler, Japonlar ve Romanlar gelmektedir. Japonların sıcak suyu kullanmasının nedeni kişisel temizlik, Romanlarınki ise eğlencedir. Araplarda ise termal hamamlarda sıcak sular kullanılmıştı. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi ilk kez 20. yüzyılda başlamıştır [48].

Jeotermal enerji kaynakları sıcaklıklarına göre düşük, orta ve yüksek sıcaklıklı olarak sınıflandırılabilir. Jeotermal kaynakların temelini yeraltına sızan sular ve magmadan



ayrılan sular oluşturur. Bu sınıflandırmada düşük ve orta sıcaklıklı kaynaklar ısıtma, kimyasal madde üretimi ve endüstride kullanılır, yüksek sıcaklıklı kaynaklar ise elektrik üretimi ve diğer entegre alanlarda kullanılabilir. Jeotermal enerji kaynakları çevre dostudur, çevreye zararlı olan gaz yayılımı çok düşük miktardadır. Bunuda önlemek için yeni nesil jeotermal santrallerde reenjeksiyon sistemi vardır, dışarıya hiçbir atık bırakılmaz. Diğer enerji çeşitleri ile karşılaştırıldığında kesintisiz, düşük maliyetli ve çevre dostu bir enerji çeşitidir. Bu nedenle bu enerji çeşidi etkin ve kontrollü kullanılmalıdır. Yeni jeotermal alanlar ve kaynaklar aranmalı, bunların değerlendirilmesi yapılmalı ve en iyi çalışma koşulları sağlanmalıdır [49]. Bu araştırmalarda yeryüzü ile ilgili tüm bilimler birlikte kullanılmalıdır ve elde edilen veriler doğrultusunda sondaj çalışmaları yapılmalıdır. Sondaj işlemleri ile akışkanın sıcaklığı ve kimyasal özellikleri kararlaştırılır. Elde edilen tüm bu veriler yeni proje ve tasarımlar için kullanılır [50-53].



Şekil 2.6: Ülkemizde jeotermal enerjinin yüksek olduğu bölgeler

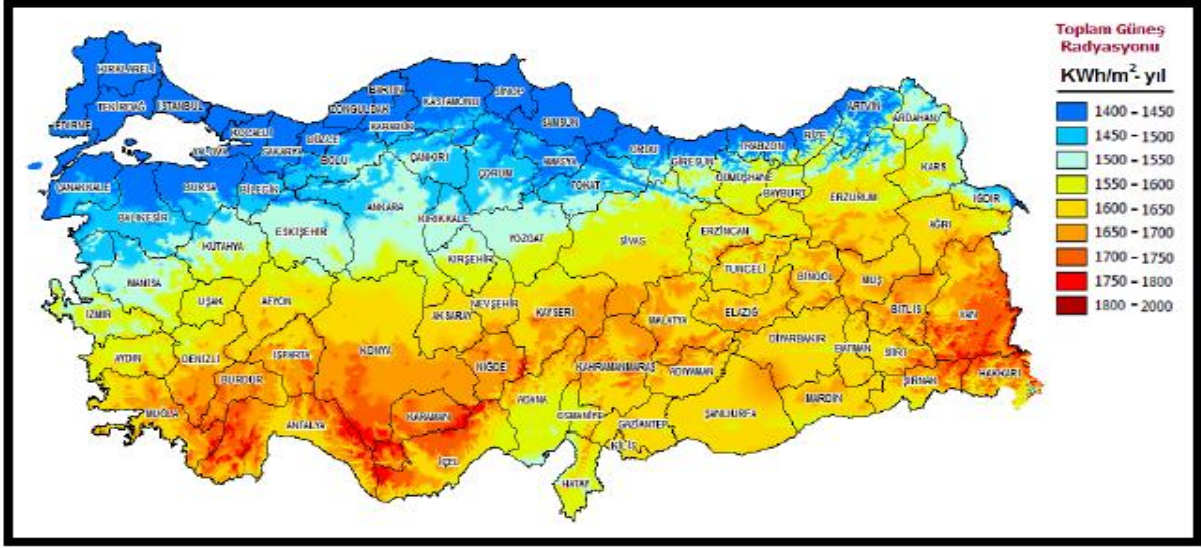
### 2.2.7 Güneş Enerjisi

Enerjiyi elde ederken çevreye duyarlı olunmalı, doğaya zarar verilmemeli ve elde edilen enerjinin dönüşümü olmalıdır. Fosil kaynakların sınırsız olmaması, çevreye karşı duyarlı olmayıp gelecek nesillere aktarılmaması ve giderek artan CO<sub>2</sub> yayılımını azaltabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi de güneştir. Güneş dünyada en çok ihtiyaç duyulan ve önemi gün geçtikçe daha çok artan en önemli kaynaktır. Güneş enerjisinin kullanımının kolay olması ve büyük bir enerji potansiyeline sahip olması diğer yenilenebilir enerjilere oranla daha çok yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Güneşin en önemli avantajlarından bir tanesi de madde ve enerji transferini sağlamasıdır. Ayrıca çevre ile uyum halindedir ve çevreye zarar verecek herhangi olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır. Fosil, hidroelektrik ve nükleer

tesislerin enerji üretme kapasitelerine bakıldığında güneş enerjisiyle kıyaslanmayacak kadar az olduğu görülmektedir [54-56]. Güneş enerjisinden enerji elde edilmesi yüzyıllardır devam etmektedir, ancak 1970'lerden sonra güneş enerjisinden yararlanmak için var olan çalışmalar hız kazanmıştır ve dünya çapında güneş enerjisinin çevre dostu temiz bir enerji kaynağı olduğu kanıtlanmıştır [57-59].

Güneş enerjisinin kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir: konutlarda ısıtma ve soğutma işlemleri, sıcak su ihtiyacının karşılanması, ileri teknolojiyle çalışan tarımsal alanlar, seraların ısıtılması, deniz suyunu dönüşüme uğratarak tuz elde edilmesi ve güneş pilleri [56-59]. Türkiye genelinde ortalama güneş enerjisi yıllık olarak hesaplandığında bu değer 1315 kWh/m<sup>2</sup> şeklinde ifade edilir. Türkiye yüz ölçümü de göz önüne alındığında tüm yüzeye düşen enerji miktarı 1025x10<sup>12</sup> kWh olmaktadır. Bu miktar 1996'da üretilen enerjinin yaklaşık 11 000 katı kadardır. Türkiyede kurulu güneş pilleri kapasitesi oldukça fazladır. Bu değer yaklaşık 250 kWp kadardır ve gün geçtikçe gelişen teknolojiyle bu değer kümülatif bir şekilde artmaktadır. Güneş pillerinin birden fazla avantajı bulunmaktadır. Uzun ömürlü ve dayanıklı olması, önemli ölçüde kayda değer bir çevre kirliliği oluşturmaması bu avantajlar arasında sayılabilir. Ayrıca çok az bakım gerektirirler ve elektriksel herhangi bir sorun çıkarmazlar. Bu nedenlerden dolayı güneş pillerinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Ancak güneş pillerinin avantajlarına ek olarak bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Mesela verimlerinin düşük olması ve ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması kullanımını sınırlamaktadır [60].

Şekil 2.7'deki verilere göre ülkemiz genelinde güneş enerjisi potansiyelinin daha çok Akdeniz, Batı Ege ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinde fazla olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde özellikle yaz aylarında güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli artmaktadır. Toplam güneş radyasyonu miktarı yaklaşık 1800-2000 kWh/m<sup>2</sup>-yıl civarındadır [61].



Şekil 2.7: Türkiye’de bölgesel olarak incelenmiş güneş enerjisi miktarı [61]

## 2.3 Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi

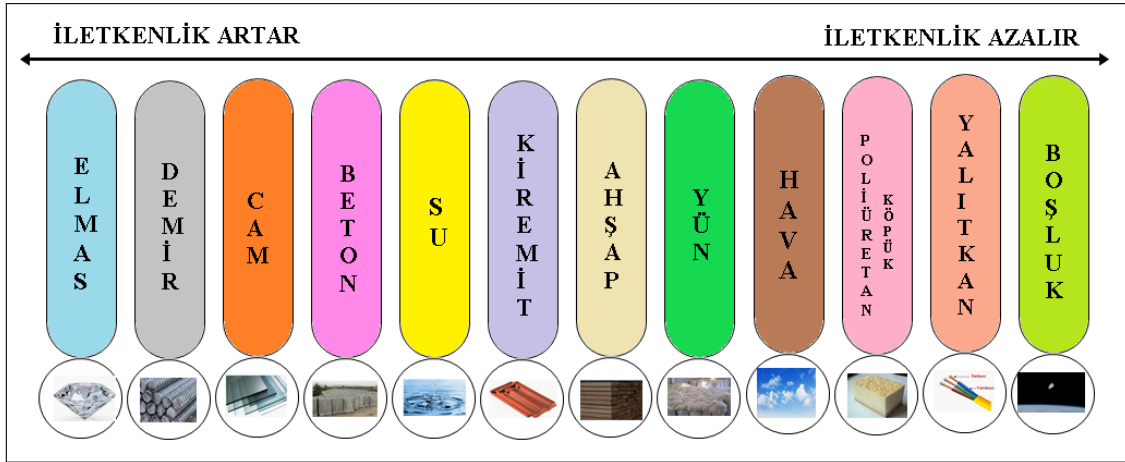
### 2.3.1 Güneş Pillerinin Tarihi

Güneş pillerinin keşfi ve ilgili araştırmalar 1800’lü yılların başında başlamıştır. 1839 yılında Edmond Becquerel ilk kez fotovoltaik olayı keşfetmiştir. Fotovoltaik olayın olması için gözlemlenen sistemde bir gerilim oluşması gerekmektedir. Güneş ışığı elektrolit üzerine düştüğü zaman elektronlar arasında bir gerilim yaratır ve böylece fotovoltaik olay meydana gelmiş olur. Fotovoltaik diyotlar ile ilgili çalışmalar ve ilgili araştırmalar da aynı prensiple meydana gelmiştir. Bu tür çalışmalarda verim oldukça önemlidir. Bu nedenle 1914 yılında yapılan geniş çaplı araştırmalarla fotovoltaik diyotların verimliliği %1 oranında artmıştır. Diyot yarı iletken malzemelerden yapılan iki uçlu devre elemanıdır, fotovoltaik diyot ise güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. Burada önemli olan elektrik akımıdır, elektrik akımının tek yönlü olması gerekmektedir. Devam eden araştırmalar yaklaşık 40 yıl sonra sonuç bulmuştur ve 1954 yılında fotovoltaik diyotlarda verimlilik %6 oranında artmıştır [62]. Güneş pilleri yıllarca araştırma ve geliştirme konusu olmuş ve kullanım alanı gittikçe artmıştır ancak en büyük gelişme 1. Petrol krizinden sonra yaşanmıştır. 1. Petrol kriziyle var olan enerji kaynakları tükenmeye başlamış ve yeni alternatif enerji arayışları başlamıştır. Petrol gibi fosil yakıtlar sınırlı sayıda oldukları için tükenmesi, gelecek nesillere aktarılamaması ve çevreyle uyumlu olmaması kaçınılmazdır. Bu nedenle bulunduğumuz gezegene zarar vermeyen, sürekli gelişen, potansiyeli yüksek ve bedava olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması gerekmektedir. Bunlarla ilgi olarak çok büyük bütçeli projeler başlatıldı. Özellikle

Avrupa’da Amerika’da ve Japonya’da çeşitli araştırmalar yapıldı. Araştırma ve geliştirme projeleri iki ana başlık üzerine yoğunlaşmaktadır, bunlar maliyet ve çevredir. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostudur ancak yapılan iyileştirmeler ve söz konusu projelerde maliyet unutulmamalıdır. İlk yatırım maliyeti, bakım maliyeti, demontaj için harcanan maliyet yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım yaygınlığını doğrudan etkilemektedir [63].

### 2.3.2 Yarı İletkenler

Dünyadaki tüm maddelerin oluşumunda atomlar bulunur ve bu atomlar ise çekirdek ve elektronlardan meydana gelir. Elektronlar negatif yüklüdür ve hareketleri bir devrede akımın oluşmasına neden olur. Bu hareketleri her madde için farklılık gösterir ve bu elektron hareketinin farklılaşmasına göre maddeler iletken, yalıtkan ve yarı iletken olarak üçe ayrılır. Şekil 2.8’de günümüzde sıklıkla kullanılan iletken ve yalıtkan malzeme örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.8: İletken ve yalıtkan malzeme örnekleri [64]

Yarı iletkenler iletkenlik bakımından değerlendirildiklerinde diğer iki çeşit malzemenin ortasında kalırlar. Aslında yarı iletkenler normalde yalıtkanlardır ancak ısı, ışık gibi bir etkiye maruz bırakıldıklarında ya da üzerlerine bir gerilim uygulandığında iletken özellik kazanırlar. Bu özellikleri geçicidir, üzerlerindeki etki kalktığında tekrar yalıtkan hale dönerler. Yarı iletkenler kristal bir yapıya sahiptirler ve periyodik cetvelin 3A ve 5A gruplarında yer alırlar. Nötr halde yalıtkan özellik gösteren belli etkiye maruz bırakıldığında iletken olan yarı iletkenlere etki gösterilmeden içlerine bazı özel maddeler eklendiğinde de iletken hale geçerler. Genelde yarı iletkenler devre elemanı olarak

kullanılır. Ayrıca diyot ve transistörler yarı iletken malzemelerden yapılır. Güneş enerjisinden elektrik elde etmede yarı iletken malzemeler çokça kullanılır, özellikle Ge, Si, Se vb. [65].

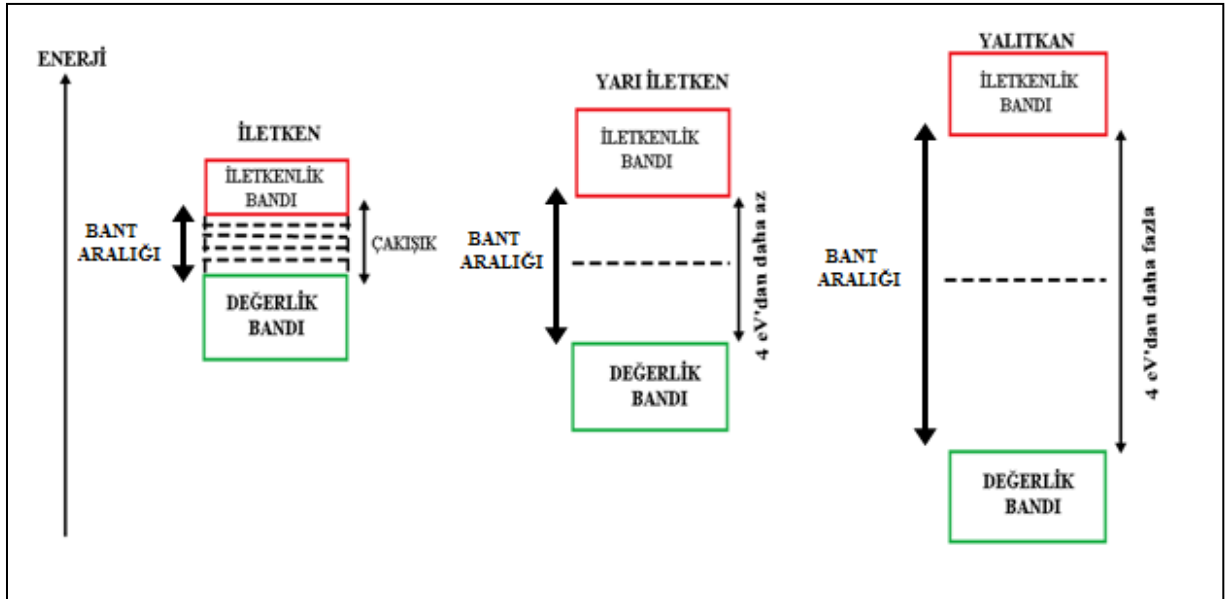
### 2.3.3 Yarı İletken Çeşitleri

Saf ve katkılı olmak üzere yarı iletkenler iki gruba ayrılırlar. Saf olarak adlandırılan yarı iletkenlerde iletim ve değerlik bandındaki elektron ve boşluk sayıları eşittir. Saf olan yarı iletkenin içerisine yabancı madde atomu eklenmesiyle elde edilen yarı iletkenler katkılı olarak adlandırılır. Yarı iletkenlere iletken özellik kazandırmak için uygulanan etkiler istenilen iletkenliğin elde edilmesinde yetersiz kalırlar. Bu yarı iletkenlerden elde edilen güneş pillerinin verimi çok yüksek değildir. Bu nedenle katkılama yapılarak iletkenlik ve dolayısıyla verim artırılabilir. Katkılama işlemi yarıiletken kristalinin atomları arasına iletkenliği arttırmak için uygun yöntemler ile 3A ve 5A grubu elementlerin eklenmesi ile olur. Bu şekilde ekleme yapılan yarı iletkene saf olmayan veya katkılı yarı iletken denir. Bu katkılı yarı iletkenlerde n-tipi ve p-tipi olmak üzere ikiye ayrılır. Si kristali içerisine belli koşullar altında 5A grubundan As atomları eklendiğinde 5 tane olan değerlik elektronlarının 4 tanesi Si ile kovalent bağ oluşturur. Kalan elektron ise As atomuna çok zayıf bir şekilde bağlı olduğu için az miktardaki enerji ile kopar ve Si içerisinde serbest halde dolaşır. Bu beşinci değerlik elektron Si içerisinde elektron fazlalığına neden olur ve bu tip yarı iletkenlere n-tipi yarı iletken denir. As elektron verdiği için donör olarak adlandırılır. Saf Si içerisine belirli koşullarda 3A grubundan indiyum atomları eklendiğinde, In atomlarının Si ile kovalent bağ yapabilmesi için bir elektrona daha ihtiyacı vardır ve bunu Si'den kullanır. Bu durumda Si atomlarının içerisinde boşluk oluşur, In atomları kararlı hale geçer ve bir atom aldığı için akseptör olarak adlandırılır. Elde edilen yarı iletken p-tipi yarı iletken [65]. Bu şekilde yapılan katkılama işlemleri ile yarı iletkenlerin iletkenlik özellikleri artırılabilir. Katkılama işlemi yarı iletken atomunun arasına uygun koşullarda 3A ve 5A grubu atomlarının eklenmesidir. Katkılama işlemleri ile n ve p-tipi yarı iletkenler oluşur ve bu yarı iletkenlerin bir araya gelmesiyle yarı iletken eklemler oluşur. Yük taşıyıcılar; n-tipi için elektronlar, p-tipi için boşluklardır. n-tipi ve p-tipi yarı iletkenler yan yana getirilmeden önce ikisi de elektriksel olarak yüksüzdür. Ancak p-n eklem bölgesinde n-tipindeki taşıyıcı elektronlar p-tipine doğru hareket ederler. Bu eklem bölgesinde n bölgesi tarafında pozitif ve p bölgesi tarafında negatif yükler birikir. Elektron transferinin olduğu bu eklem bölgesine geçiş bölgesi denir [66].

p-n eklem bölgesinde birçok optik olay olur ve bu olayların sonucunda ışık elektriğe dönüşür. Bu optik olaylar fotoiletkenlik ve fotovoltaiik olaylar olarak adlandırılır. Fotoiletkenlik bazı yarı iletkenlerin görünür ışık ya da elektromanyetik ışınım altında iletken özelliğinin değişmesidir. Yarı iletkende sıkıca bağlı olan hareket edemeyen elektronların elektron ışığı veya ışınım ile serbestçe hareket edebilmesi olarak tanımlanır. Bu olay yarı iletkene düşen ışığın enerjisinin bant genişliğinden daha büyük olduğu zamanda gözlemlenen bir olaydır [65]. Fotovoltaiik olaylar ise yarı iletkenlerde foton enerjisi ile elektron boşluk çiftinin oluşmasına denir, bu olay sonucu oluşan akıma fotoakım denir. Güneşten gelen ışın aktif polimer tabaka ile absorbe edilir ve elektron-hole çiftleri (exciton) oluşur. Daha sonra exciton difüzyonu meydana gelir, elektron boşluk çifti ayrılır ve anot-katoda doğru hareket ederler. Bu şekilde akım ve gerilim elde edilir.

#### 2.3.4 Bant Teorisi

İletken malzemeler çok basit şekliyle ifade edilirse elektrik akımını iletebilen malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Bu tür malzemelerin son yörüngelerindeki elektron sayısı atom çekirdeğine zayıf olarak bağlıdır ve serbestçe hareket edebilirler. Yalıtkan malzemeler ise elektriği iletmeyen malzemelerdir ve iletkenlerle kıyaslandığında son yörüngelerindeki elektron sayısı atom çekirdeğine çok güçlü bir şekilde bağlıdır ve serbestçe hareketi söz konusu değildir. Yarı iletken malzemeler ise iletken ve yalıtkan malzemeler arasında geçiş noktasında bulunurlar. Yani yalıtkan haldeki bir yarı iletken malzeme dışarıdan uygulanan bir etki ile iletken hale gelebilir [67]. İletkenlik bantları yüksek enerjili elektron taşırlar, iletim bantları olarak da adlandırılabilirler. Değerlik bandı ise atomların en dış orbitalindeki valans elektronların bulunduğu banda verilen isimdir. İletkenlik ve değerlik bantları arasında kalan bölgeye ise bant aralığı ya da yasak bant bölgesi (band gap) denir. Bant aralığı iletken polimerlerde iletkenliği temsil ettiği için malzemeye özgü bir özelliktir. Polimerin iletkenlik özelliğinin iyi olması bant aralığının ne kadar kısa olduğuna bağlıdır. İletken polimerler sentezlenirken bu bant aralığının kısa olması hedeflenen bir özelliktir. Şekil 2.9'da gösterilen bant teorisinde iletken malzemelerde iletkenlik bandı ile değerlik bandı arasında boşluk bulunmaz. Her iki enerji seviyeleri birbiri üzerine çakışık durumdadır. Yarı iletkenlerde iletkenlik bandı ve değerlik bandı arasında mesafe vardır ve yalıtkanlarda ise bu mesafe en fazladır.



Şekil 2.9: Bant teorisinin şematik gösterimi

Enerji bant teorisi katılarda elektron hareketini anlatan modern katı hal fiziğinin temelidir. Bir katıdaki elektronların enerji spektrumu serbest elektronların enerji spektrumundan farklıdır. Katılardaki enerji spektrumları yasak enerji bantlarıyla ayrılmış bireysel enerji bantlarını içerir. Kuantum mekaniğine göre bu izole edilmiş iki bant birbirinden farklı enerji değerlerine sahiptir. Kimyasal bağlarla bağlanmış birkaç atom içeren sistemlerde elektronik orbitaller atomların miktarlarına göre bölünür ve böylece moleküler orbitaller oluşur. Bant teorisi katılar için modern teorisinin temelidir yani doğanın anlaşılmasını ve metallerin yarı iletkenlerin özelliklerinin açıklanmasını sağlar. Yasaklanmış bantların genişliği bant teorisinin anahtar değişkenidir. Yani bu genişlik malzemelerin elektriksel ve optik özelliklerinin tanımlanmasında kullanılır. Örneğin yarı iletkenlerde katkılama ile bant boşluğuna izin verilen bir enerji seviyesi eklenerek iletkenlik artırılabilir yani ana malzemeye yapılan katkılama işlemi ile bu malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri değiştirilebilir. Bu tür yarı iletkenlere ise saf olmayan yarı iletkenler denir. Bu prensip tüm yarı iletkenlerin kullanıldığı cihazlarda uygulanabilir. Örneğin güneş pilleri, diyotlar, transistörler, biyosensörler vb. Bir elektronun değerlik bandından iletkenlik bandına geçişi yük taşıyıcı oluşturma işlemi olarak adlandırılır. Negatif yük taşıyıcıları elektronlar ve pozitif yük taşıyıcıları boşluklar oluşturur [68].

### İletkenler İçin Enerji Bant Yapıları

İletkenler için değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasında fark bulunmamaktadır. Şekil 2.10'da iletkenlere ait enerji bandının şematik gösterimi yer almaktadır. İletkenler için değerlik ve iletkenlik bandı arasında boşluk bulunmadığından elektriği iyi iletirler. Değerlik elektron sayısı küçük olan iletkenler, değerlik elektron sayısı daha yüksek olanlara göre daha iyi iletkenlerdir. Elektronların alınıp verilmesi daha kolaydır ve daha az enerji gerektirirler [68].



Şekil 2.10: İletken malzemeler için enerji bandının şematik gösterimi

### Yalıtkanlar İçin Enerji Bant Yapıları

Enerji bant aralığının değeri yalıtkanlarda çok fazladır, ayrıca değerlik elektron sayıları da yalıtkanlarda fazladır. Bu nedenle yalıtkan madde elektriği iletmez ve elektron hareketleri zordur. Elektronların hareketi için yalıtkan malzemeye çok büyük bir enerji verilmelidir ancak bu enerjide kristalin yapısına zarar verebilir. Şekil 2.11'de yalıtkanlara ait iletkenlik bandının şematik gösterimi yer almaktadır. Bu şekilde  $k$ , Boltzmann sabiti ve  $T$ , mutlak sıcaklık olarak ifade edilmiştir. Bu iki değer çarpımı ise elektronun hareketi için gerekli olan termal enerjidir [68].

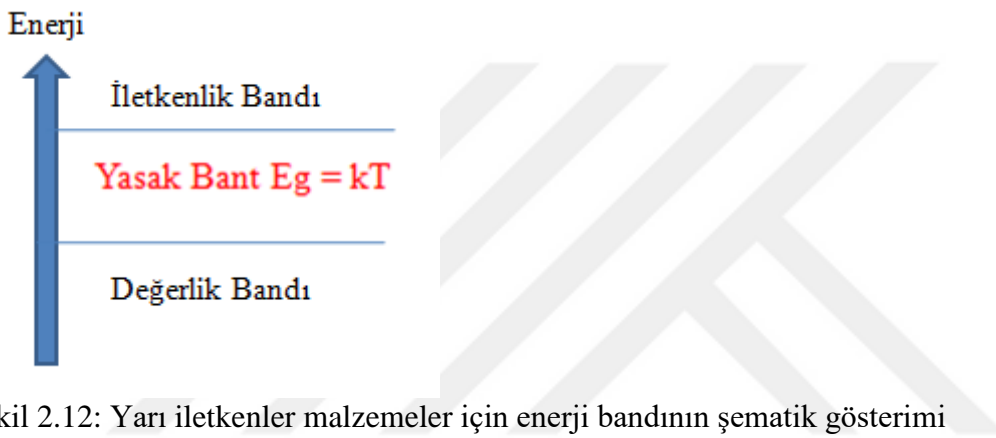


Şekil 2.11: Yalıtkan malzemeler için enerji bandının şematik gösterimi



## Yarı İletkenler İçin Enerji Bant Yapıları

Enerji bant aralığı yarı iletkenler içinde yalıtkanlarda olduğu gibi aralıklıdır, ama daha dar bir aralık vardır. Yani enerji bantları arasındaki fark çok daha azdır. Yarı iletkenler başlangıçta yalıtkandır ısı, ışık ve gerilim etkisiyle iletken hale geçerler. Şekil 2.12’de yarı iletkenlere ait enerji bantlarının şematik gösterimi yer almaktadır. İki enerji bandı arasındaki mesafe,  $k$  Boltzmann sabiti ve  $T$  mutlak sıcaklık değerlerinin çarpımıyla elde edilen termal enerji kadardır [68].



Şekil 2.12: Yarı iletkenler malzemeler için enerji bandının şematik gösterimi

## 2.4 Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri

### 2.4.1 Güneşin Yapısı

Güneş evrende var olan yıldızlardan bir tanesidir ve astronomi gibi birçok bilimin temel çalışma konusudur. Bu kadar önemli bir konu olmasının nedenlerinin başında yaşamın kaynağı olması yer alır. Güneş sıcak gazlardan oluşur, çevresine ışık ve ısı yayan bir yıldızdır. Güneş şuan içinde bulunduğumuz güneş sisteminin merkezidir. Birçok yıldız arasında Dünyaya en yakın olan yıldızdır, bu yakınlık çekim kuvvetinin oluşmasına neden olmuştur. Çekim kuvvetleri karşılaştırıldığında Güneş’in çekim kuvveti Dünya’nın çekim kuvvetinin 28 katı daha fazladır. Bu çekim kuvveti Dünya’nın Güneş’in etrafında dönmesine neden olur, bu dönme periyodu 365 gün 6 saatte tamamlanır ve buna 1 yıl denir. Güneş’in çapı Dünya’nın çapının 109 katıdır, hacim olarak bakıldığında 1,3 milyon katı kadar daha büyük hacime sahiptir ve ağırlığı Dünya’nın ağırlığının 333 000 katıdır. Yoğunluk olarak bakıldığında Güneş’in yoğunluğu, Dünya’nın yoğunluğunun %25’i kadardır. Güneş’in kendi etrafından dönme hızı 70 000 km/sa’tir ve bir tur dönme işlemi

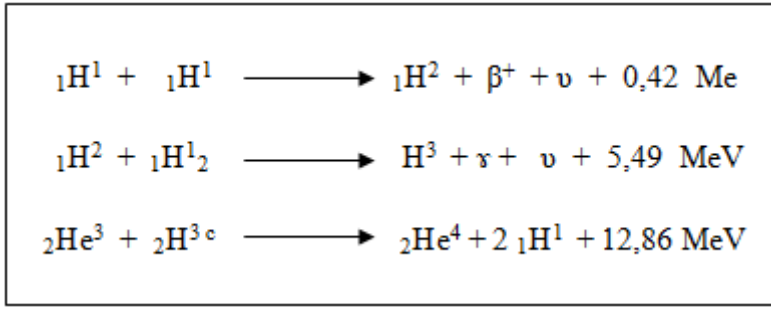
25 günde tamamlanır. Sıcaklık olarak bakıldığında Güneş'in yüzey sıcaklığı yaklaşık 5500°C ve çekirdek sıcaklığı ise 15,6 milyon °C'dir. Güneş ışınlarının sadece 2 milyonda 1'i yeryüzüne ulaşır. Güneş'in içinde He ve H bulunur. Güneş doğal füzyon tepkimeleri sonucunda 4 H atomunu 1 He atomuna çevirir. Bu çevirim sırasında oluşan fark açığa çıkan enerjidir, her bir saniyede  $3,86 \times 10^{26}$  J enerji açığa çıkar ve bu enerji ışıyım olarak uzay boşluğuna yayılır. Bu nedenle Güneş, Dünya için sonsuz bir enerjinin kaynağıdır. Dünya'ya Güneş'ten gelen enerji Dünya'da 1 yılda kullanılan enerjinin 20 bin katı kadardır [69]. 1970 yılından itibaren Güneş enerjisi alanında yapılan çalışmalar hız kazanmıştır, maliyetleri gün geçtikçe azalmakta ve elde edilen enerji ise artmaktadır. Güneş enerjisi doğal ve çevre dostudur, günümüzde pek çok alanda kullanılabilir [70].

Güneş'in ışınlarının ne kadarının Dünya üzerine düşeceği atmosferik koşullara bağlı olarak değişir. Bunu açıklamak için Air Mass (AM) kullanılır. AM0 koşulu dünya atmosferi dışındaki güneş ışığının dağılımını gösterir. AM1 koşulu Güneş tam tepede iken yeryüzüne ulaşan güneş ışığının dağılımını gösterir. AM1,5 koşulu Güneş'in Dünya'nın tepesi ile 48 derecelik açı yaptığı zaman yeryüzüne ulaşan güneş ışığının dağılımıdır. Tüm bu üç koşulda da Güneş'ten Dünya'ya ulaşan ışığın aldığı yol, soğurulmaları ve yansımaları farklıdır çünkü bu üç koşulda güneş ışıyımının geldiği açı farklıdır [71].

Hesaplanan güneş yaşı 4,57 milyardır, her bir saniyede yaklaşık olarak 4 milyon ton madde enerjiye çevrilir. Bugüne kadar 100 dünya kütesine eşdeğer enerji elde edilmiştir. Güneş'in yaklaşık 10 milyar yıl daha var olacağı sonrasında ise kendi kendine çökerek yok olacağı düşünülmektedir [72].

#### **2.4.2 Güneş Enerjisi**

Güneş enerjisi diğer tüm yenilenebilir enerjilerin kaynağıdır. Bu enerjinin kaynağı ise çekirdek kısmında meydana gelen H'yi He'ye çeviren füzyon tepkimeleridir. Şekil 2.13'te bu tepkimeler gösterilmiştir. Her bir saniyede 564 milyon ton H atomu 560 milyon ton He atomuna dönüşmektedir ve korunamayan 4 milyon ton kütle enerjiye dönüşür [55].



Şekil 2.13: Füzyon tepkimeleri

Tüm sıcak cisimler gibi güneşte ışıınım yapar. Güneş'in yaydığı enerjiyi ve ışıınımı anlatabilmek için birden fazla bilim dalı birlikte çalışırlar. Yeryüzüne gelen bu ışıınım dolaylı ve doğrudan olmak üzere ikiye ayrılır. Doğrudan ışıınımda ışıınım direk güneşten gelirken dolaylı ışıınımda ışıınım tüm gök küreden gelir, belirli bir yönü yoktur [73].

### 2.4.3 Güneş Enerjisine Genel Bakış ve Teknolojiler

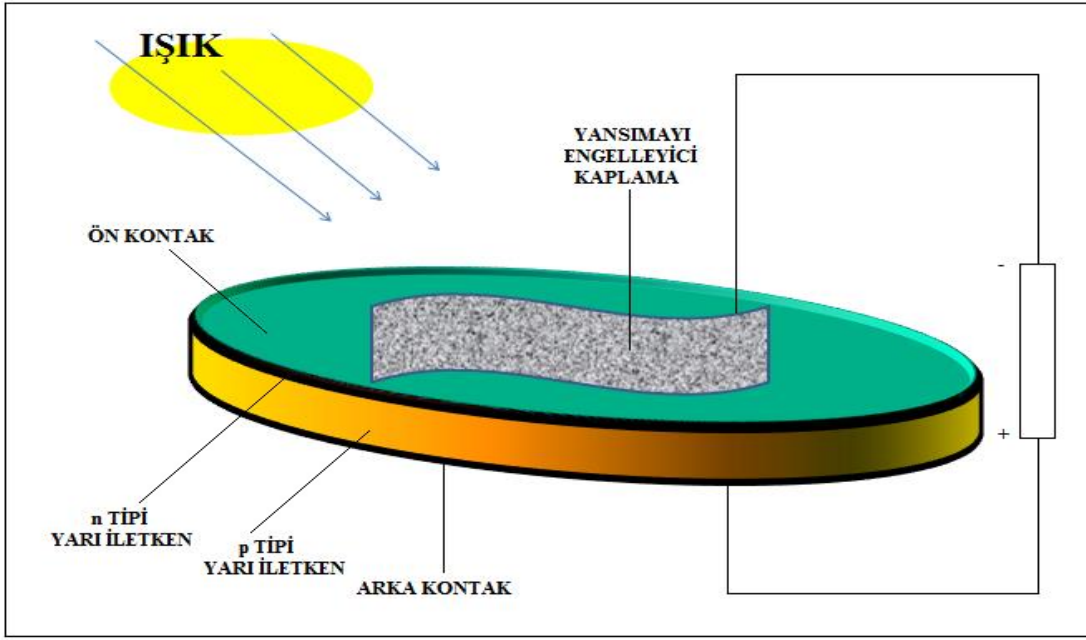
Ülkemiz coğrafi konumu itibariyle güneş enerjisi potansiyeli yüksek ülkeler arasında yer alır ancak ülkemizde güneş enerjisinin kullanımı ve elde edilen verimler çok düşüktür. Bu nedenle bu alanda daha yapılması gereken çok araştırma, geliştirilmesi gereken çok parametre vardır. Güneş enerjisinin ülkemizin artan enerji ihtiyaçlarına etkin bir çözüm olma potansiyeli çok yüksektir. Enerji Bakanlığı'nın desteklemesiyle açılan kurum ve çıkan yönetmelikler de ülkemizde güneş enerjisini desteklemektedir. Son yıllarda güneş enerji sistemlerinin maliyetlerinin azalması ve verimlerinin artması ile yeni gelişmeler elde edilmiştir. 2010 yılından beri yapılan çalışmalar sonucunda fotovoltaik güneş sistemleri fiyatları %83 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Devam eden bu gelişmeler ile birlikte 2050 yılına kadar yaklaşık %71 oranında ek bir düşüş daha beklenmektedir [74].

Güneş enerjisinin daha etkin ve verimli kullanılabilmesi için Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından ülkemizin güneş enerjisi potansiyel atlası yayınlanmıştır. Bu atlasa göre ülkemiz için yıllık güneşlenme süresi 2737 saat, bir metrekareye yıllık gelen güneş miktarı 1527 kWh ve günlük güneş miktarı bir metrekare için 4,2 kWh'dır. Güneş santralleri için gerekli olan yıllık en az 2000 saatlik güneşlenme süresi Güneydoğu Anadolu Bölgesi için 3000 saat ve ülkemiz genelinde ise yaklaşık 26 000 saattir. Bakanlık ve müdürlüklerin teşvikleri ve çıkan kanunlarla güneş enerjisinin kullanımı ve santrallerin açılması gün geçtikçe hızlanmaktadır [75]. Ülkemizde güneş enerjisinin artan kullanımı

gelişen yeni teknolojiler ile sağlanmaktadır. Genelde güneş enerjisi ısıtma, soğutma ve elektrik elde etmede kullanılır. Güneş enerjisini etkin kullandığımızda daha az fosil yakıt kullanılmaya başlanacaktır. Böylece çevre kirliliği ve insan sağlığına olan zararlı etkiler azaltılacaktır. Ülkemizdeki güneş enerjisi teknolojileri ısıtma teknolojileri, düşük sıcaklık sistemleri ve yoğunlaştırıcı sistemler olarak sınıflandırılır. Düşük sıcaklık sistemleri güneş kolektörleri, güneş bacaları, güneş ocakları ve su arıtma sistemleri gibi uygulama alanlarını içerir. Yoğunlaştırıcı sistemlere ise parabolik kollektörler, parabolik çanak sistemler ve merkezi alıcı sistemler örnek verilebilir. Elektriğe ihtiyaç duyulan her yerde fotovoltaik uygulamalar kullanılabilir. Güneş enerjisi teknolojileri ile gelen ışın elektriğe çevrilir. Yani elektrik santrallerinde gelen ışınlar kulede toplanır, güneşten gelen ısı bir akışkana aktarılır. Bu akışkan ile buhar elde edilir ve jeneratörden elektrik enerjisi sağlanır. Güneşin genel uygulama alanları olan fotovoltaik sistemler ise, şebekeye bağlı sistemler, hibrit bağlı sistemler, uzay uygulamaları ve tekstil uygulamalarıdır. Güneş enerjisine dayalı teknolojiler diğer kaynaklardan çok daha avantajlı olduğu için yıllardır ilgi çekmiştir ve gelecek yıllarda da ilgi odağı olacaktır. Bu teknolojilerde ortaya çıkacak yeni gelişme ve yöntemler ile maliyetler azalacak ve kullanım daha da artacaktır.

#### **2.4.4 Güneş Pilleri**

Fotovoltaik özellik belirli ışınların etkisi ile gerilim üretme özelliğidir. Burada foto kelimesi ışık anlamına voltaik kelimesi elektrik anlamına gelir. Bu teknolojide güneş enerjisi kullanılabilir güce çevrilir. Fotovoltaik güneş pilleri ise bu özellik sonucu elektrik üreten yapılardır. Şematik gösterimleri Şekil 2.14'te verilmiştir, yansımayı engelleyen kaplama, ön ve arka kontak, n-tipi ve p-tipi yarı iletkenlerden oluşur. Şekilde gösterilen bu pillerin farklı verim ve maliyet değerleri mevcuttur. Başlangıçta pahalı oldukları için bu alanda yapılan çalışmalar az sayıdaydı. Ancak artan enerji talebine karşı fosil yakıtların azalması bir tehdit oluşturmaya başladığı için bu alanda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Yeni uygulama alanları ve yeni malzemelerin bulunması çalışmalara yön vermiştir. Çin ve ABD fotovoltaik dünya pazarının başında gelen ülkelerdir. Güneş pilleri üzerlerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirirler. Güneş pillerinin avantajları; enerji kaynaklarının sonsuz ve bedava olması, sistem içinde arızaya neden olacak hareketli parçaların bulunmaması, bakım maliyetinin çok az olması ve sistemin her yere monte edilip kullanılabilir olmasıdır. Güneş pillerinin dezavantajları arasında ise enerji kaynağının sabit olmaması, depolama sistemlerinin pahalı olması ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olması yer alır.



Şekil 2.14: Güneş pilinin şematik gösterimi

### Güneş Pillerinin Yapısı

Güneş pilleri yüzeylerine gelen foton enerjisi kadar negatif veya pozitif yük oluşturur ve elektriği üretir. Bu yükler akım ve gerilimi oluşturmak üzere ayrışır, bu ayrıştırma için uygun malzemeler Si, Cu ve GaAs'tir. Yüzey ölçüleri genelde  $100 \text{ cm}^2$ 'dir, kalınları 0,2 – 0,4 mm aralığındadır ve dikdörtgen ya da daire şeklinde bulunurlar. Güneş pillerinin çalışması pozitif-negatif bileşimli bir diyodun çalışmasına benzer. Elektronlar n bölgesinden çıkar devre üzerinden p bölgesine geri dönerler. Pozitif ve negatif iki yarı iletken kullanılır. p tipi malzeme Si ve B'un karışımıdır, n tipi malzeme Si ve P karışımıdır. P içeren kısımda elektronlar oluşurken, Boron içeren kısımda boşluklar oluşur. Bu malzemeler birleştirilmeden önce doğal hallerindedir. Birleştirildiklerinde ise n tipi malzemeden elektronlar p tipi malzemeye doğru hareket ederler, boşluklar için ise tam tersi durum söz konusudur. Güneş pili yapısal olarak bu n ve p tipi katmanlardan, alt ve üst kısımda yer alan kontaklardan ve absorplamaya yardımcı kaplamadan oluşur. Güneş pillerinin bir araya gelmesiyle modüller oluşur. Modüllerin seri ya da paralel olarak bir araya gelmesiyle paneller oluşur. Paneller ise sistemde batarya, kontrolcü, çevirici gibi ekipmanlar ile birlikte kullanılır [66].

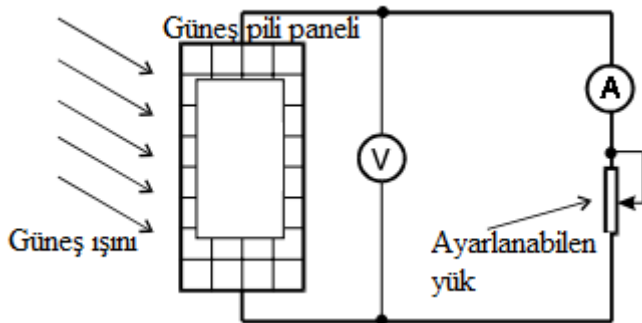
### Güneş Pillerinin Çalışma Prensipleri

Güneş pillerinde yapısal malzeme olarak genellikle yarı iletkenler kullanılır. Güneş tarafından gelen ışınım yüzeyde absorblandığında elektronlar hareket etmeye başlarlar ve akım oluşur. İlk olarak bu ışınlar absorblayıcı katmanın bulunduğu kısımda absorblanır ve malzemenin içerisine alınır. Bu fotonlar sayesinde elektronlar serbest kalır ve n tipi bölgeden p tipi bölgeye doğru hareket ederler. Bu hareket elektron-boşluk çiftlerinin oluşmasını sağlar. Elektronların miktarının artması ve azalması her iki katmanda da elektriksel alan meydana getirir. Bu alan sayesinde elektron ve hole birbirinden ayrılır ve kontak uçlardan güç çıkışları olur, bu güç çıkışından elektrik elde edilir. Elde edilen enerji doğru akımdır, çevirici ile alternatif akıma çevrilebilir.

Güneş pillerinin performansı verimleri ile değerlendirilir. Verim aldığı enerjinin ne kadarını elektrik enerjisine çevirdiği ile ilgilidir. Pillerden elektrik enerjisi üretmek belirli dalga boylarında olur. Çünkü gerekli enerji miktarı dalga boylarına göre değişir. Genelde güneş pillerinin verimi %25 civarındadır, laboratuvarında bu değer %40'lara kadar çıkar.

### Güneş Pili Parametreleri ve Verim Hesabı

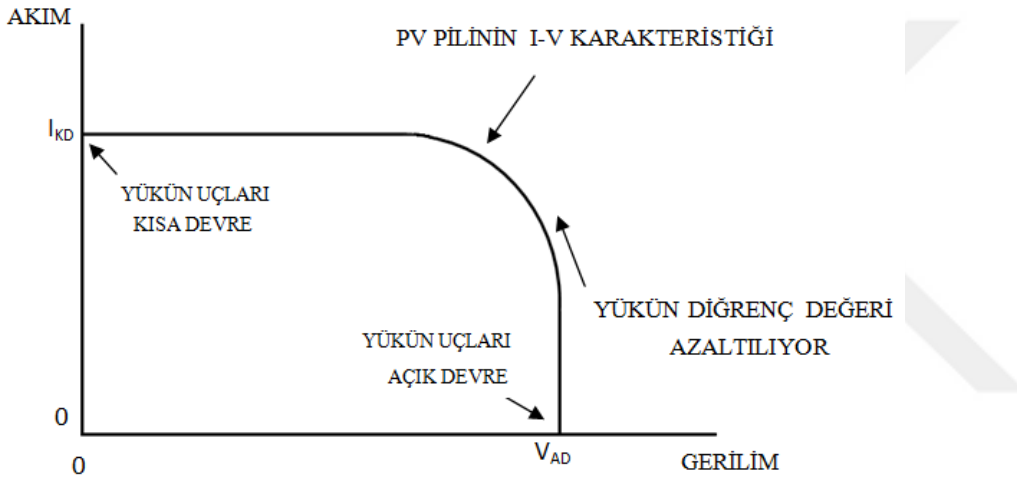
Güneş pilinin elektriksel özelliklerinin belirlenebilmesi için akım ve gerilimden nasıl etkilendiğinin anlaşılması gerekmektedir. Bunun anlaşılabilmesi için yük doğrudan panele bağlanmalıdır, bu bağlantı Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Panelin yüke doğrudan bağlanması şematik gösterimi

Günün belirli saatlerinde yük açık konumdan kapalı konuma kadar ayarlanırken ampermetre ve voltmetre ile değerler ölçülür ve akım-gerilim karakteristik grafiği çizilir. Güneş pilleri oluşturulurken istenilen çıkış gerilimini elde etmek için yeterli sayıda pil seri bağlanırken, istenilen akımı elde etmek için yeterli sayıda pil paralel bağlanır. Panelin

çıkış gücü panelin gerilim ve akım değerlerinin çarpımından elde edilir. Paneli oluşturan her bir pilin çıkış gücü ise panelden elde edilen gücün kullanılan paralel ve seri bağlı pillerin sayısının çarpımına bölünmesi ile elde edilir. Akım-gerilim grafiğinin şematik gösterimi Şekil 2.16'da verilmiştir. Bu grafikten de anlaşılacağı gibi akım ve gerilimden birinin sıfır olması durumunda çıkış gücünde sıfırdır. Panelin çıkış gücü gelen ışının seviyesine ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir. Daha verimli güneş pili elde edebilmek için panelin çıkış gücünü en yüksek değerde tutmak gerekir [66]. Güneş pillerinden elde edilen verim çalışma sıcaklığı arttıkça azalmaktadır. Bunun nedeni sıcaklıkla birlikte pilde oluşan kayıpların artmasıdır.



Şekil 2.16: Akım-gerilim grafiğinin şematik gösterimi

Şekil 2.16'da belirtilen  $I_{KD}$  değeri kısa devre akımı olarak tanımlanır. Sıfır gerilimde hücreden geçen akımı ifade etmek için kullanılır.  $V_{AD}$  değeri ise açık devre gerilimi olarak tanımlanır. Hücreden geçen akımın sıfır olduğu anda ölçülen gerilim değeridir. Maksimum güç noktası grafikte elde edilen akım ve gerilim değerlerinin çarpımının en yüksek olduğu noktadır. Bu maksimum güç noktasından ( $P_m$ ) akım ve gerilim eksenleri çizilen dik çizgiler ile  $I_m$  ve  $V_m$  değerleri bulunur. Bu değerler en yüksek güç değerini veren akım ve gerilim değerleridir. Dolgu faktörü (FF), akım gerilim grafiğinden elde edilen bir diğer önemli karakteristik parametredir. Bu değer maksimum gücün,  $I_{KD}$  ve  $V_{AD}$  değerlerinin çarpımına bölünmesi ile elde edilir. FF değeri pilin idealliğinin bir ölçüsüdür, bu nedenle 1'e yakın olması istenir. Verim ( $\eta$ ) ise pilden sağlanan maksimum gücün, pile gelen maksimum güce oranıdır. Verimi etkileyen faktörler arasında hücrenin oluşturulduğu malzeme, hücrenin akım-gerilim özellikleri, kontrol cihazı ve çeviricinin performansı, tesisatta yer alan toz ve kir, panelin eğim açısı yer almaktadır [76].

$$P_m = I_m \times V_m$$

$$FF = (I_m \times V_m) / (V_{AD} \times I_{KD})$$

$$\eta = \frac{P_{İLDEN SAĞLANAN MAKSİMUM GÜÇ}}{P_{İLE GELEN MAKSİMUM GÜÇ}} = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m \times V_m}{P_{in}}$$

## 2.4.5 Güneş Pillerinin Çeşitleri

### 1.Nesil Güneş Pilleri

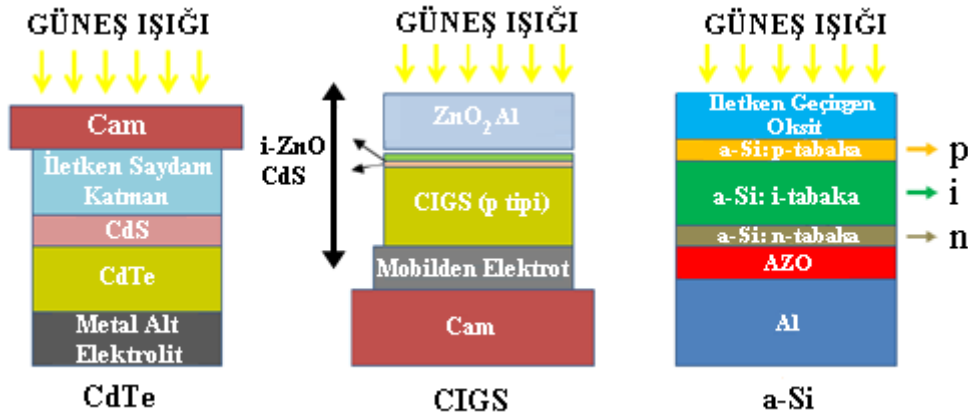
1.nesil güneş pilleri tek kristal silisyum pilleri olarak gruplandırılabilir. Bu tür güneş pilleri yapımında en çok kullanılan malzeme Si'dir ve bu malzeme ilk defa 1964 yılında kullanılmıştır. Si'nin dünya çapında bu kadar yaygın olarak kullanılmasının ve popüler olmasının birçok nedeni vardır. Bunların başında Si'nin depolanma sıkıntısının olmaması yer alır. Ayrıca verimliliğinin yüksek olması, kristal yapısının dayanıklı olması ve zehirli olmaması diğer önemli özellikleride bulunmaktadır. Si'nin kristal yapısı kolayca bozulmaz. Bu durum hem optiksel özelliklerinin hem de elektriksel özelliklerinin kalıcı olmasını sağlamaktadır. Güneş pillerinde verimlilik değeri değişkenlik gösterir. Tek kristalli silisyum güneş pillerinde verim yaklaşık %25 civarındadır. Bu tür güneş pillerinde maliyet oldukça önemlidir, ilk yatırım maliyetini karşılama süresi yaklaşık 6 yıldır. Güneş pillerinde verimlilik değeri değişkenlik gösterdiği gibi zamanla verimlilikte azalmalarda gözlemlenebilir [77].

### 2.Nesil Güneş Pilleri

İkinci nesil güneş pillerinde 5 farklı güneş pili çeşidi bulunmaktadır. Bu güneş pilleri Poli Kristal Silisyum, a-Si, CdTe, GaAs ve CuInSe<sub>2</sub> şeklinde sıralanabilir. Poli Kristal Silisyum güneş pillerinin yapımı Si pillerine göre daha ucuzdur, verimi %15 civarındadır. a-Si güneş pilleri kristal özellik göstermezler ve verimleri yaklaşık %10 civarındadır. Günümüzde kullanım alanı yaygındır, oyuncak, hesap makinesi ve saatlerde güç kaynağı olarak kullanılır. CdTe güneş pillerinde verimlilik yaklaşık %16-18'dir, panel maliyeti oldukça düşüktür. Yasak enerji aralığı 2,4 eV olup heteroeklem yapıda bulunurlar. CdTe pillerinin



yaygın olarak kullanılmasının birçok nedeni vardır. Yüksek soğurma katsayısı ve kolayca üretilebilme özelliği bu nedenler arasında sayılabilir.  $\text{CuInSe}_2$  güneş pilleri soğurucu tabaka olarak kullanılır çünkü elektronik ve optik özellikleri oldukça uygundur. Bu tür güneş pillerinde yasak enerji bant aralığı oldukça düşüktür. Bu değer 1,4-1,5eV civarındadır ancak bu değer bir güneş pili için ideal değer değildir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için  $\text{CuInSe}_2$  güneş pili hücreleri üretilmiştir. Katkılama yöntemi yapılırken Ga kullanılmıştır çünkü yapıda bulunan Ga yasak enerji bant aralığında artırıcı etki göstermektedir. GaAs güneş pilleri, Ga ve As elementlerinden oluşur. Daha ince yapılı ve daha az materyalle oluşurlar. Yeryüzünde Ga elementi Si kadar bol değildir. Bu nedenle kullanım sıklığı bu parametreye bağlı olarak değişmektedir. Uzay uygulamalarında genelde GaAs kullanılır. Bu durum tamamen radyasyon ve sıcaklıkla ilgilidir. GaAs güneş pilleri radyasyon ve sıcaklığa karşı daha fazla dayanıklılık gösterir [78]. Şekil 2.17’de ikinci nesil güneş pillerinin genel yapısı gösterilmektedir, katmanlar kullanılan malzemeler her bir güneş pilinde farklılık göstermektedir [77].



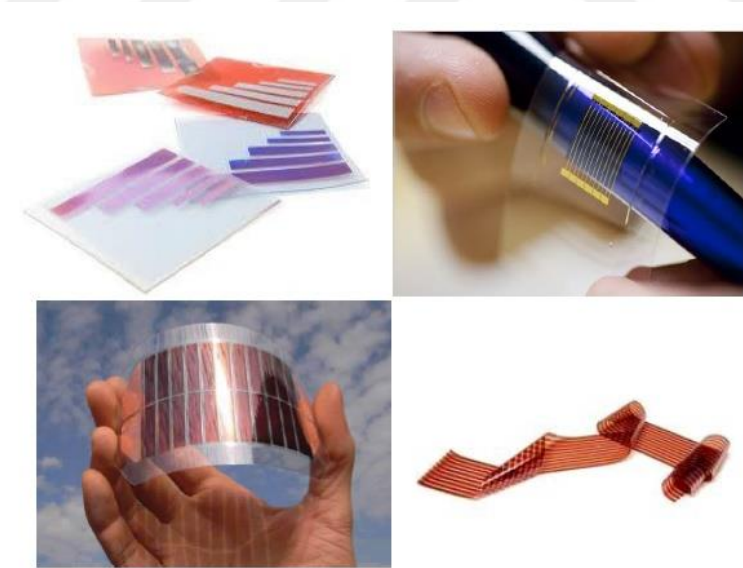
Şekil 2.17: İkinci nesil güneş pilleri

### 3.Nesil Güneş Pilleri

Güneş pilleri, çeşitleri ve uygulamalarıyla her alanda çözümler üretememektedir. Verimlilik, kullanma kapasiteleri ve maliyet sınırlayıcı özellikler arasında sayılabilir. İnorganik malzemelerle (Si, Ga, Ar, Cd, Te vb.) yapılan güneş pilleri esnek değildir, uygulamaları kısıtlı olup maliyet açısından oldukça pahalıdır. Kullanımı sınırlayan en büyük nedenlerden bir tanesi ise depo miktarlarının kısıtlı olmasıdır. Bu nedenlerden dolayı organik güneş pili uygulamaları geliştirilmiştir. Organik güneş pillerini en önemli avantajı ucuz olmalarıdır. Ayrıca iletkenlik özellikleri çok iyidir ve yüksek molekül ağırlığına sahiptirler. 3. nesil güneş pilleri organik güneş pilleri ve boya duyarlı güneş

pilleri olmak üzere 2 ana grupta sınıflandırılabilir. Boya duyarlı güneş pillerinde organik yapılı boya ve yarı iletken tabaka esastır. Boya tabakası ışığa duyarlı olmalıdır. Bu tür güneş pillerindeki çalışma mekanizması fotosentez mekanizmasına benzemektedir. Genel olarak sistem şu şekilde çalışır. Işık demeti boya malzemesine ulaşılır, boya malzemesi ışığı soğurur, elektronlar uyarılır ve bir üst enerji seviyesine çıkarlar ve indirgenme tepkimesiyle sistemdeki döngü tamamlanmış olur [79].

Organik güneş pillerinde ITO (şeffaf iletken oksit) ve metal arasına organik tabanlı malzeme yerleştirilir. Bu tür güneş pillerinde yarı iletken polimerler kullanılır, böylece araştırma ve geliştirme çalışmaları daha kolay ve yüksek verimli olmaktadır. Organik güneş pilleri kolay üretim teknikleriyle elde edilirler, ucuz ve hafiftirler. En önemli özelliklerinden bir tanesi de esnek olmalarıdır. Şekil 2.18’de esnek olan bazı organik güneş pilleri gösterilmektedir [77]. Organik malzemelerin kimyasal yapısı kolayca değiştirilebilmektedir. Bu özellikte organik güneş pilleri için avantaj sayılmaktadır. Mesela bu özellik kullanılarak daha fazla güneş ışığı soğrulabilir.

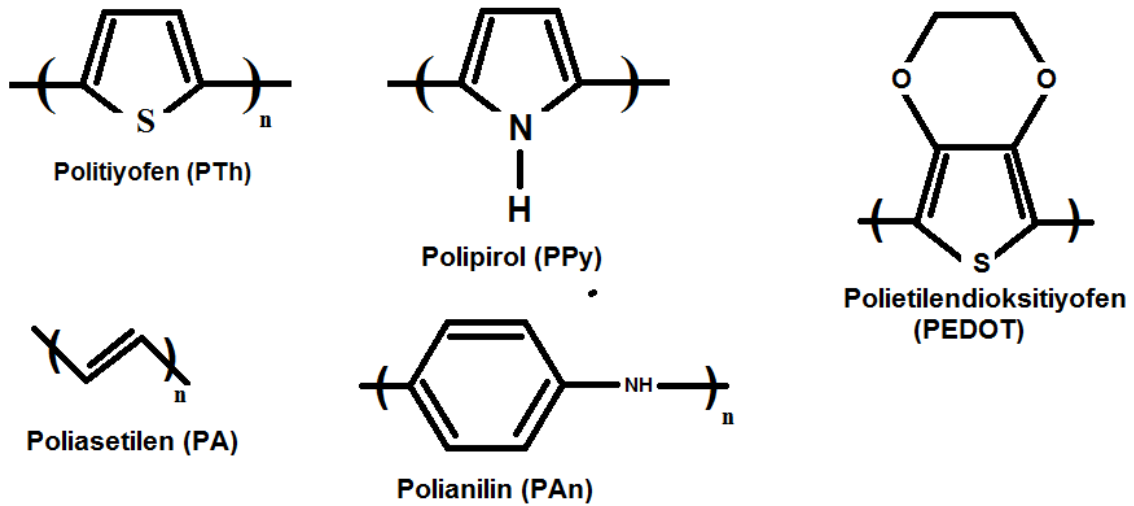


Şekil 2.18: Esneme özelliği bulunan organik güneş pilleri

## 2.5 Konjuge Polimerler

Polimerler uzun zincirli moleküller şeklinde ifade edilebilir. Bu moleküller monomerlerin bir araya gelmesiyle oluşur. Konjuge polimerler, tekli ve çiftli bağların konjuge bağ yapısı ile bir araya gelmesiyle oluşan yapılardır. Optik, elektronik ve biyolojik alanlardaki uygulamalarından dolayı dünya çapında çok yaygın kullanım alanı bulunmaktadır. Konjuge polimerlerin sayısı çok fazladır ancak bizler için önemli olan verim ve

kararlıdır. Polipara fenilenler fotoluminesans, verim ve kararlılık açısından son derece önemli konjuge polimerlere örnek verilebilir. Ayrıca Şekil 2.19’da gösterilen poliparafenilin, politiyofen, poliasetilen, polipirol, polianilin, polikarbazol ve polietilenoksitiyofen kullanılan diğer konjuge polimerlerdir. Konjuge polimerlerin dünya çapında çok yaygın kullanım alanı olmasının nedenleri şu şekilde açıklanabilir: konjuge polimerler düşük maliyetlidir, istenen seviyede ve kolay işlenebilir, çok yaygın bir şekilde biyosensör uygulamalarında kullanılır, ayrıca immobilizasyon yüzeylerdeki uygulamalarıyla birçok alanda araştırma konusu haline gelmiştir. Konjuge polimerler yüzey alanını yüksek tutarlar, film kalınlığını etkin ayarlayabilme kapasitesine sahiptirler. Ayrıca enzimler için de önemli avantaj sağlarlar, üzerlerinde belli bir alan oluşturarak bu alanda kararlı enzimlerin tutunmasını sağlarlar [80]. Konjuge polimerlerin uygulama alanları içerisinde elektrokromik camlar (ECDs), ince film transistörler, fotodedektörler, organik ışık saçan diyotlar (OLEDs) ve fotovoltaik uygulamalar bulunmaktadır [81]. Konjuge yapıya sahip polimerlerde konjugasyon etkisi görülür yani polimerlere iletkenlik özelliği kazandırılır. Konjuge polimerlere iletkenlik özelliği sağlamak için farklı yöntemler kullanılabilir. Mesela uygun katkılama yöntemleri kullanılarak iletkenlik özelliği kazandırılabilir ve farklı uygulamalarda kullanılabilir [82].



Şekil 2.19: Yaygın olarak kullanılan konjuge polimer örnekleri

Konjuge polimer tasarımı için en kullanışlı yöntemlerden biri, polimer yapısındaki elektron verici ve alıcı grupların birleşimidir. Bu işlevsel gruplar, sentezlenen polimerlerin optik ve elektronik özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir role sahiptir. Bu özellikler sadece bu gruplarla değil, aynı zamanda yapıdaki bağlarının modifikasyonu ile birlikte de değişir. Diğer konjuge edilmiş polimerlere kıyasla, politiyofenlerin işlevselleştirilmesi oldukça kolaydır ve politiyofen türevleri kimyasal stabilite, sentez ve modifikasyon kolaylığı, düşük bant aralığı, oksitlenmiş formlarda yüksek stabilite, iyi elektrik iletkenliği gibi birçok avantaja sahiptir. Düşük bant aralığı sentezlenen polimerin iletkenliğini doğrudan etkilediği için verim üzerinde önemli bir etkisi vardır, bu nedenle istenilen değerde olması istenilir.

### **2.5.1 Donör Akseptör Teoremi**

Donör-akseptör teoremi bant boşluğunu azaltarak verimliliğin artmasını sağlayan alternatif bir yöntemdir. Bu teoremin en önemli aşaması uygun elektron alıcı ve uygun elektron verici fonksiyonel grupların üretilmesidir. Bu yöntemle polimer bant aralığı azalır dolayısıyla enerji seviyeleri arasındaki iletim hızı artar. Polimer üzerindeki elektron bakımından zengin olan birimler güneşten gelen ışıklardan uzun dalga boylu olanları emer ve dar bir bant enerjisi yaratırlar. Elektrokimyasal özelliklerde bu oluşum sırasında gelişir ve polimerler için yeni bir bant aralığı dolayısıyla yeni enerji seviyeleri oluşur [83,84].

### **2.5.2 Konjuge Polimerlerin Sentezi**

İletken polimerlerin sentezi farklı tekniklerle sağlanabilir. Kimyasal ve elektrokimyasal polimerizasyon en yaygın olarak kullanılan 2 farklı yöntemdir. Her iki teknikte de farklı alt metotlar bulunur. Bu metotlar polimerlerin zincir yapısı, iletkenlik ve kristal yapısı gibi birçok özelliğini etkiler. Elektrokimyasal polimerizasyondaki mekanizma kimyasal polimerizasyondaki mekanizmadan çok farklıdır. Özellikle hız mekanizmaları kıyaslandığında elektrokimyasal mekanizmadaki hızın daha yüksek olduğu söylenebilir. Ancak kimyasal polimerizasyonunda kendi içerisinde bazı avantajları bulunmaktadır. Kimyasal polimerizasyonda sıcaklık ve çözücü gibi parametreleri değiştirerek sentezlenen polimerlerin optik özellikleri, iletkenliği, yapısal zincirin sıralanışı gibi karakteristik özellikleri ayarlanabilir [85].

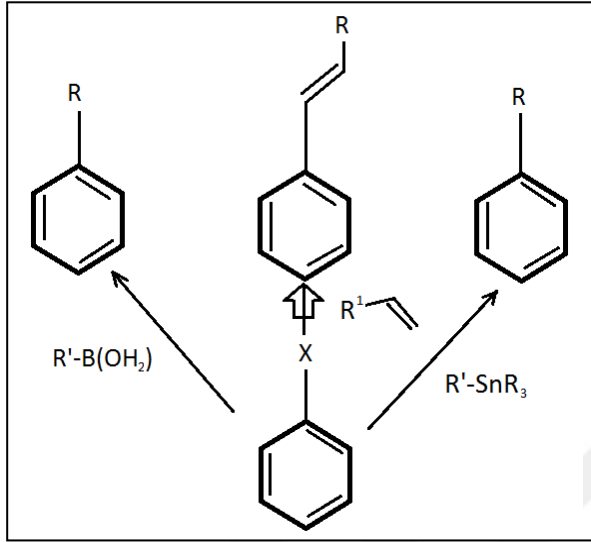
### Elektrokimyasal Polimerizasyon

Elektrokimyasal polimerizasyon iletken polimerlerin sentezi için alternatif bir yöntemdir ve sentez işlemlerini kolaylaştırır. Bu polimerizasyon yönteminin kullanılması 1968 yılından önceye dayanır ve gün geçtikçe kullanılan yöntem gelişmiştir. Günümüzde elektrokimyasal polimerizasyon yöntemi monomer, çözücü ve elektrolitin bulunduğu bir çözelti içerisinde gerçekleştirilir. Çalışma, karşıt ve referans elektrotların kullanıldığı 3 elektrotlu bir düzenek kullanılır. Elektrokimyasal polimerizasyonda en önemli kimyasal tepkimelerden bir tanesi oksidasyondur. Monomerlerin oksidasyonu ile elektrokimyasal polimerizasyon oluşur. Bu sırada sisteme belli değerde potansiyel uygulanır, polimerizasyon oluşumu sağlanır. Monomer oksitlenirken bir cam yüzey kullanılır ancak bu cam yüzeyinde iletkenliği arttırmak için ITO (indiyum kalay oksit) ile kaplı olması gerekmektedir. Polimerizasyon işlemleri sırasında radikal gruplar oldukça önemlidir, oksitlenmenin başlamasıyla radikal gruplar oluşur. Bu işlemler sırasında doğal dimerler oluşur, uygulanan potansiyel ile dimerler okside olur ve sonraki aşamalarda dimerler bir araya gelerek trimerleri oluşturur. Birden fazla elektrokimyasal tepkime meydana gelir. Bu tepkimeler ve hızlı büyüme oranı ile istenilen ürün çalışma elektrodu üzerine kaplanılır. Prosedür elektron transferi ile kimyasal tepkimelerin birbirini takip etmesiyle meydana gelir ve ECE (elektrokimyasal tepkime-kimyasal tepkime-elektrokimyasal tepkime) adını alır. Elektrokimyasal polimerizasyon sırasında potansiyel ve kalınlık kontrolü yapılabilir. Bu özellik polimer film elektrotu ve mikro teknolojik cihaz uygulamaları için elverişlidir [86,87].

### Kimyasal Polimerizasyon

Kimyasal polimerizasyon yöntemi en çok kullanılan polimerizasyon yöntemlerinden bir tanesidir. Kimyasal yöntemlerle yapılan bu sentez işlemlerinde ilk olarak monomer uygun bir çözücüde çözünür. Daha sonra yükseltgen veya indirgen maddeler kullanılarak polimerleşme işlemleri yapılır. Kullanılan bu maddeler genellikle tuz, asit veya bazdır. Bu yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. Avantajlarının içinde istenilen miktarda ve kalitede ürün elde edilmesi ve maliyetin düşük olması yer almaktadır. Yükseltgenme basamağının kontrolünün yapılamaması ve ürünün içinde safsızlıkların yer alması da dezavantajların içinde bulunmaktadır. Bu yöntem kullanılarak polimer sentezi yapılırken konjuge bağlara, katkılama malzemesi ve katalizöre dikkat edilmelidir çünkü bunlar polimerin elektriksel iletkenliğine direkt etkilemektedir [88-90]. Ayrıca kuvvetli

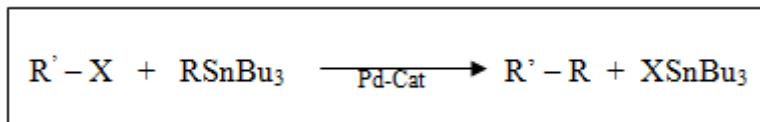
yükseltgenlerin kullanılması aşırı yükseltgenme nedeni ile polimerin parçalanmasına neden olur. Kimyasal yöntemle iletken polimerler sentezlenirken en çok kullanılan yöntemler Stille ve Suzuki bağlanma tepkimeleridir. İlgili tepkime Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20: Suzuki ve Stille bağlanma tepkime şeması

### Stille Bağlanma Tepkimesi

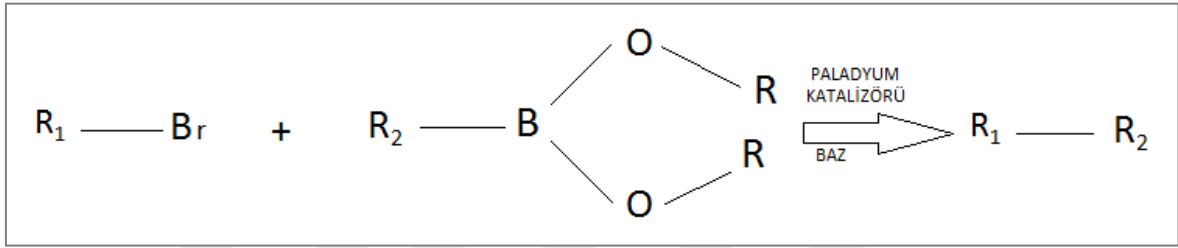
Stille tepkimelerinin ilki Paladyum (Pd) katalizörü ile yapılmıştır ve 1976 yılında C. Eaborn tarafından bulunmuştur. İlerleyen yıllarda ise Sn içeren organik bileşikler ve halojen içeren organik bileşikler Pd katalizörü ile etkileşime girerek karbon-karbon bağı oluşturur. Sn içeren organik bileşiklerin kullanıldığı ve yüksek verimliliğin elde edildiği keton sentezi gerçekleştirmesinde kullanılan Stille tepkimeleri polimerizasyon yöntemleri arasında en çok tercih edilen metottur. Şekil 2.21’de bu tepkimelerin şematik gösterimi verilmiştir. Bu tepkimelerin avantajı yüksek verimlilik sağlaması ve yapılan işlemlerin kolay olmasıdır. Ayrıca çeşitli fonksiyonel grupların bağlanmasında da görev alır. Dezavantajı ise tepkime sırasında oluşan yan ürünlerin kolaylıkla ayrışmaması ve Sn içeren bileşiklerin toksik özellikle olmasıdır [91].



Şekil 2.21: Stille bağlanma tepkimesinin şematik gösterimi

### Suzuki Bağlanma Tepkimesi

Nobel ödüllü Akira Suzuki tarafından keşfedilen Suzuki çapraz bağlama tepkimeleri karbon-karbon bağlarının oluşumu için en yaygın kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Suzuki tepkimelerinde kullanılan katalizör Stille tepkimelerinde de kullanılan Pd katalizörüdür. İlk tepkime Suzuki ve Miyaura tarafından 1979 yılında bulunmuştur, 2010 yılında Nobel ödülüne layık görülmüştür. Bu tepkimeler halojen içeren bileşiklerin alkil, vinil, aril-boranik asit türevleri ile Pd katalizörlüğünde çapraz bileşimi ile gerçekleşir [92].



Şekil 2.22: Suzuki bağlanma tepkimesinin şematik gösterimi

Şekil 2.22’de Suzuki bağlanma tepkimesinin şematik gösterimi verilmiştir.  $R_1$ : aril, alkenil ve alkil grupları,  $R_2$ : alken, alkil, alil ve aril grupları, R: H, alkil grupları için kullanılır. Suzuki bağlanma tepkimelerinin birçok avantajı bulunduğu için sıklıkla tercih edilmektedir. Bu avantajların arasında tepkimenin sulu çözücülerle gerçekleşmesi sıcaklığın ortam koşulları kadar olması ve yüksek aktivasyon enerjisi yer alır. Bu tepkimeleri etkileyen parametreler ise kullanılan çözücü, sıcaklık, tepkime süresi ve grupların konumudur.

## 2.6 İletken Polimerlerin Uygulamaları

Önemli elektrokromik malzemelerden bir tanesi de iletken polimerlerdir. Bu polimerler kimyasal ya da elektrokimyasal şekilde sentezlenebilir. İletken polimerlerdeki renk değişimi onların bant aralığındaki enerjiyi doğrudan etkiler. Bant boşluğu enerjisi HOMO ve LUMO (en düşük dolu olmayan moleküler orbital) enerji seviyeleri arasındaki fark kadardır.

İletken polimerlerin keşfi yaklaşık 1977’lere dayanmaktadır. İletken polimerler iletken olmayan polimerlere göre daha avantajlıdır. Bu polimerlerin günümüzde bilimsel ve teknolojik birçok alanda çok fazla kullanılmasının başlıca nedenleri arasında çevresel, termal, optik, biyolojik, elektriksel vb. özgün özellikleri, kolay hazırlanması ve birçok

alanda kullanıma uygun olması yer almaktadır. Düşük maliyetli olmaları en önemli nedenleri arasındadır. Ayrıca esnek, kararlı, elektrokromik ve optik özellikte olmaları diğer polimerlere göre daha avantajlı hale getirmiştir.

İletken polimerlerin en yaygın kullanım alanlarından biri enerji depolama formu olarak kullanıldıkları süperkapasitörlerdir, buradaki en önemli faktör yüksek iletkenlik özelliği ve daha büyük güç kapasitesidir [93]. Bu iletken polimerler ince film halinde kullanıldıklarında elde edilen özgül kapasitans değeri 250 F/g'dir [94].

İletken polimerler alan etkili transistörlerin (FET) üretiminde kullanılır. Organik ışık yayan diyotlarda (OLEDs) iletken polimerler içerir [95]. Konjuge polimerlerin diğer bir kullanım alanı organik güneş pilleridir. Bu polimerler organik güneş pillerinin aktif katmanında bulunurlar. Ayrıca iletken polimerler sağlık sektöründe de sıkça kullanılırlar. Belli başlı uygulama alanları sensörler ve kalp pilleridir. Burada iletken polimerlerin çok düşük akım üretme ve çok uzun ömürlü olma özelliğinden yararlanılır [96].

Günümüzde iletken polimerlerin en çok kullanıldığı uygulama alanlarından biri ise radara yakalanmayan araçlardır. İletken polimerlerin kullanıldığı araçlara radar sinyalleri gönderildiğinde bu sinyaller iletken polimerde absorplanır ve geri yansımaz. Dolayısıyla yansıyan kısım radar tarafından tekrar ölçülemez bu sayede de nesnenin bulunduğu konumun radar tarafından belirlenmesi mümkün olmaz. Diğer başlıca kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir: kimyasal sensörler, piller, elektronik aletler, biyosensörler, diyotlar [97].

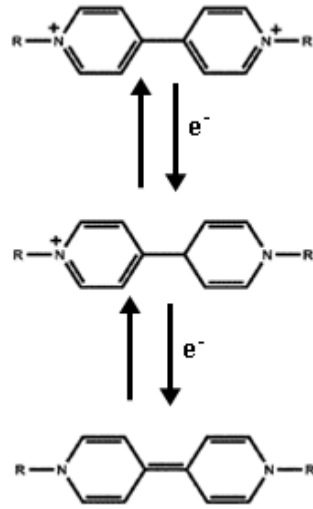
İletken polimerlerin gelecek vadede en önemli özelliklerinden biri elektrokromik yapıya sahip olmasıdır. Elektrokromizm malzemenin uygulanan gerilim ile oluşan yükseltgenme ve indirgenme durumlarında renk değişiminin gözlemlenmesidir. Rengin kontrollü bir şekilde değişimi ve bu değişimin tersinir olması bu malzemelerin özel olmasını ve birçok alanda kullanılmasını sağlar. Özellikle savunma ve askeri alanda iletken polimerlerle kaplanmış bir kıyafet veya askeri kıyafet ortama uygun olarak renk değiştirecektir. Bu da bulunduğunuz ortamda kolaylıkla saklanmanızı sağlayacaktır. Ayrıca iletken polimerler yaygın olarak elektrokromik cihazların yapımında kullanılırlar, burada polimerlerin uygulanan gerilim ile renk değiştirme özelliğinden yararlanılır [94].



## 2.7 Elektrokromik Cihazlar

### 2.7.1 Elektrokromizm

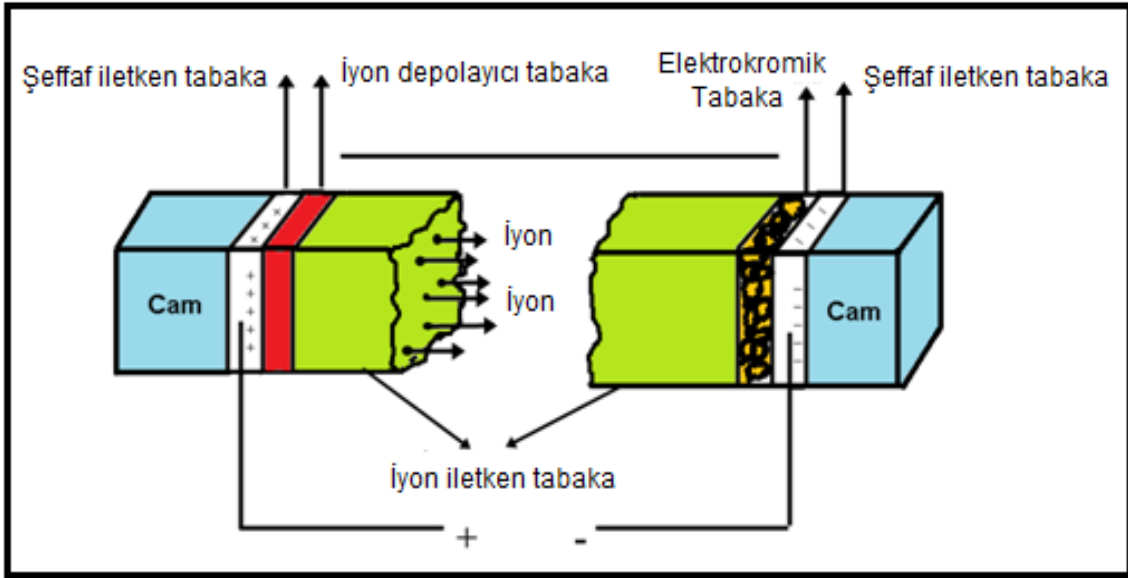
Kromizm, 1900'lü yıllardan bu yana araştırma konusu olmuştur. Kromizm kısaca malzemenin renk değişim işlemidir. Malzeme çeşitli uyarıcılarla geri dönüşümlü olarak renk değiştirir [98]. Kromizm 6 farklı şekilde sınıflandırılabilir: halokromizm, termokromizm, fotokromizm, salvatokromizm, iyonokromizm, elektrokromizm. Elektrokromizm olayında sisteme belli değerde potansiyel uygulanır ve bir renk değişimi gözlenir. Elektrokromik maddelere potansiyel uygulanması sonucunda oksidasyon, indirgenme olayları meydana gelir. Sonuçta optik değişiklikler yaşanır, renk değişimi yükseltgenme ve indirgenme ile oluşur ve meydana gelen değişim saydam durum ve renkli durum arasında ya da iki farklı renkli durum arasında da gözlemlenebilir. Malzemeye ait birden fazla renk değişimi gözlemlenebilir. Bu durum birden fazla redoks tepkimesinin olduğunu ifade eder. İnorganik sistemlerdeki elektrokromizm metal oksitlerin ince filmlerinde oluşur. Bu metal oksitler şu şekilde sıralanabilir: kobalt oksit, iridyum oksit, nikel oksit, vanadyum oksit, tungsten trioksit, indiyum kalay oksit, molibden trioksit. Bu tür malzemelerde renk değişimi önemlidir ve renk değişimini kontrol edip arttıran ve yoğun emilim sağlayan durumlar ancak metal oksitlerin yük aktarma özellikleri ile meydana gelir. Bu malzemeler arasında tungsten trioksit 1969 yılında Deb tarafından keşfedilmiş ve çok büyük ilgi görmüştür [99]. Bu malzemenin katodik renklendirme özelliği bulunmaktadır, bu özellik sayesinde elektrokromik aynalarda ve akıllı pencerelerde kullanım alanı bulmuştur [100]. Violojenlerde elektrokromik metaryelerin diğer önemli türleri arasında gösterilebilir. Violojenlerin redoks tepkimelerinde iki farklı durum meydana gelir. İlk durumda herhangi bir değişiklik ve yan tepkime meydana gelmez son durumda ise daha az indirgenme meydana gelerek işlemler devam eder. Şekil 2.23'te Violojenlerin indirgenme yükseltgenme tepkimeleri gösterilmiştir. Bu redoks tepkimesinde radikal grup alkil ya da siklo alkil olabilir [101].



Şekil 2.23: Violojenlerin yükseltgenme indirgenme tepkimesi

### 2.7.2 Elektrokromik Cihazın Yapısı

Elektrokromik cihazlar yapısal olarak incelendiğinde bu cihazların elektrokromik özellikteki hücrelerden oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu hücrelere elektriksel bir potansiyel uygulandığında malzeme ya elektrik ile yüklenir ya da var olan elektriksel yüklerini kaybeder. Bu potansiyelin miktarı arttıkça malzemenin rengi açılır ve saydam hale gelir, dolayısıyla ışık geçirgenliğide artmış olur. Uygulanan potansiyelin miktarı azaldıkça da bu durumun tam tersi gözlemlenir yani malzemenin rengi koyulaşır ve ışık geçirgenliğinde azalma yaşanır. Bu cihazların yapısı kısaca incelenecek olursa cihaz iki tabakadan oluşur ve bu tabakaları ayıran bir elektrolit katman bulunmaktadır. Bu cihazlar harici gerilim ile çalışmaktadır, çünkü iletken elektrotlar bu iki katman tarafındanda kullanılmaktadır. Kullanılan elektrolitin türüne göre cihazlar lamine ve katı olarak iki farklı grupta incelenebilir. Şekil 2.24'te elektrokromik cihaza ait bu katmanlar gösterilmiştir. Bu cihazın elde edilebilmesi için cam üzerine öncelikle şeffaf iletken bir tabaka kaplanır. Bu tabakanın üzerine ise iyon depolayıcı tabaka eklenir. Farklı bir cihazın üzerine ise tekrar şeffaf iletken bir tabaka kaplanır. Burada farklı olarak bu tabaka üzerine elektrokromik bir tabaka ilave edilir. Daha sonra iyon iletken bir tabaka ile bu iki parça birleştirilir ve bu şekilde elektrokromik cihaz elde edilmiş olur [102].



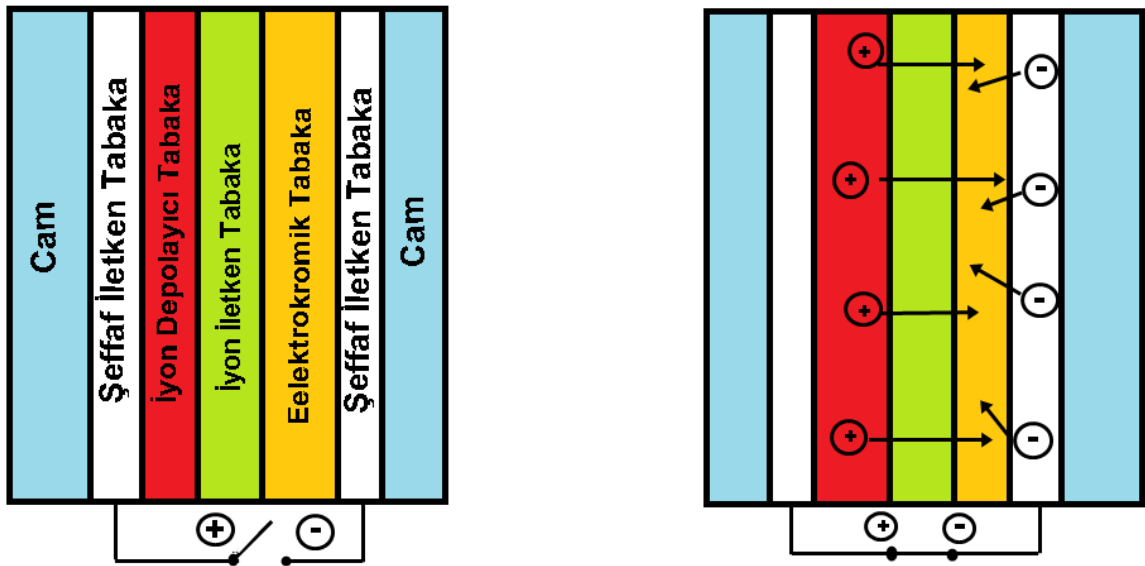
Şekil 2.24: Elektrokromik cihazın şematik gösterimi

Elde edilen bu elektrokromik cihazın tabakaları farklı görevlere sahiptir. Elektrokromik cihazın her iki farklı ucunda bulunan şeffaf taşıyıcılar cihazı dış ortamlara karşı korur hemde renk olarak şeffaf bir görünüm sağlar. Bu taşıyıcılar cam veya şeffaf plastikler olabilir. Bunların üzerine kaplanan şeffaf iletken tabakaya elektrokromik cihazın renk değiştirmesine neden olan gerilim uygulanır. Cihazın istenilen performans koşullarına sahip olabilmesi için bu tabakanın direncinin az olması gerekir. Ayrıca geçirgenliği etkilememesi için hem iletken hem şeffaf olmalıdır. Diğer bir tabaka olan iyon depolayıcı tabaka iyonların depolandığı tabakadır. Uygulanan gerilim sonucu meydana gelen elektriksel alan ile iyonlar depolandıkları bu tabakadan çıkarlar ve öncelikle iyon iletken tabakaya buradanda elektrokromik tabakaya geçerler. Elektrokromik tabakada cihazın renklenmesine neden olan tepkimeler meydana gelir. Ters yönde bir gerilim uygulandığında ise iyonlar tekrar iyon depolayıcı tabakaya gelirler ve burada depolanırlar. İyon iletken tabakada ise iyonların hareketi sağlanır. Bu tabaka polimer ya da elektrolit yapıda olabilir. Tabakanın yapımında seçilen malzemeler iyonların hareketine engel olmamalıdır. Bir diğer tabaka olan elektrokromik tabakada yukarıda da bahsedildiği gibi renklenme tepkimeleri meydana gelir [102].

### 2.7.3 Elektrokromik Cihazın Çalışma Prensibi

Cihazın çalışma prensibini anlamak için cihaza gerilim uygulandığında oluşan olayları değerlendirmek gereklidir. Elektrokromik cihazdaki iyonlar ancak üzerlerine gerilim uygulanırsa hareket ederler aksi durumda iyon depolayıcı tabakada hareketsiz bir şekilde

kalırlar. Uygulanan gerilim ile elektriksel alan oluşur, bu alan şeffaf iletken tabakalar arasında meydana gelir. İyon depolayıcı tabakadaki iyonların hareket yönü elektrik alanı ile aynı yönlüdür, çünkü bu iyonların yükleri pozitifdir. Dolayısıyla hareket halindeki bu iyonlar iletken tabakadan elektrokromik tabakaya doğru hareket ederler. Elektronlar ise oluşan elektrik alanının tersi yönünde hareket eder. Negatif yüklü şeffaf iletken tabakadan pozitif yüklü şeffaf iletken tabakaya ulaşmaya çalışırlar. İyon ve elektronların bu hareketleri elektrokromik tabakada karşılaşmalarına neden olur. Burada renklenme tepkimeleri meydana gelir. Diğer tabakalarda ise herhangi bir renklenme gözlenmez. Bu cihazlara gerilim uygulandığı sürece doyum noktasına ulaşınca kadar renklenme gözlemlenir. Ters bir gerilim uygulandığında ise elektrokromik tabakadaki iyonlar tekrar iyon depolayıcı tabakaya doğru hareket ederler. Elektrokromik tabakadaki iyon yoğunluğu azaldıkça tabakanın rengi şeffaf hale gelir. İyon ve elektron hareketleri Şekil 2.25'te gösterilmiştir [102].



Şekil 2.25: Gerilim uygulandığında elektrokromik cihazın yapısındaki iyon ve elektronların hareketlerinin şematik gösterimi

#### 2.7.4 Elektrokromik Cihazı Etkileyen Parametreler

##### Optik Geçirgenlik

Optik geçirgenlik belli bir dalga boyu veya aralıktaki geçirgenlik değişim yüzdesidir. Bu parametre bir maddenin elektrokimyasal özelliklerini belirlemede kullanılır. Optik geçirgenliğin değeri parlaklık değerinde meydana gelen değişikliklerle alakalıdır çünkü söz konusu malzemenin geçirgenliği hakkında bilgi verir [103].

Optik geçirgenlik, elektrokromik bir malzemenin değerlendirilmesindeki en önemli etkenlerden bir tanesidir. Elektrokromik bir malzemenin en yüksek optik geçirgenlik değerine sahip olduğu belirli bir dalga boyunda yüzde geçirgenlik değişimi ( $\Delta\%T$ ) olarak tanımlanır. Bazı uygulamalar için, optik geçirgenlik değerinin tek bir dalga boyunun yanı sıra belirli bir aralıkta bildirilmesi daha uygun olur. Genel bir elektrokromik geçirgenlik elde etmek için gerçek parlaklık değişiminin ölçülmesi gereklidir. Bu durum tüm görünür spektrum üzerindeki geçirgenlik algısına bir bakış açısı sunduğu için malzemenin geçirgenliğine daha gerçekçi geçirgenlik değerleri sağlar. Ayrıca optik geçirgenlik değeri, renklenme ve ağartma durumlarındaki en yüksek geçirgenlik değerleri arasındaki farktan hesaplanır. Optik geçirgenlik değeri kullanılarak elektrokromik verim hesaplanır. Elektrokromik verim optik geçirgenliğin polimer filmin renklenmesi için gereken yük miktarına oranı olarak hesaplanılır. Verimdeki farklılık redoks yüklerinden kaynaklanır [104]. Optik geçirgenlik, bir malzemenin elektrokimyasal özelliklerini değerlendirmek için temel özelliktir. En yüksek geçirgenlikte dalgalanmalar yaşanır. Güvenilir veriler elde etmek için, parlaklık değerindeki değişiklik, elektrokromik geçirgenlik değeri için ölçülür.

### Renklendirme Verimliliği

Renklendirme verimliliği elektrokromik malzemelerde son derece önemlidir ve gerekli olan güç miktarının ölçülmesi şeklinde ifade edilebilir. Renklendirme verimliliği şu şekilde de ifade edilebilir: var olan elektrokromik sistemlerde renk gözlemlendiği zaman bazen bu durum sayısal olarak ifade edilebilir, sayısal olarak ifade edilebilen renk değişimine renk verimi adı verilir [105]. Elektrokromik malzemelerdeki renkler ve renk değişimleri farklı olmaktadır bazen renk değişimi yoğun bir şekilde gözlemlenebilirken bazen de açık tonlar olabilir. Renklendirme verimliliği yük yoğunluğuna bağlıdır ve aşağıdaki denklemlerle ifade edilir:

$$\eta = \frac{(\Delta OD)}{Q_d} = \frac{\log\left[\frac{T_b}{T_c}\right]}{Q_d} [100]$$

$\eta$  : Belli bir dalgaboyundaki renk verimliliği.

$\Delta OD$ : Optik yük yoğunluğu değişimi.

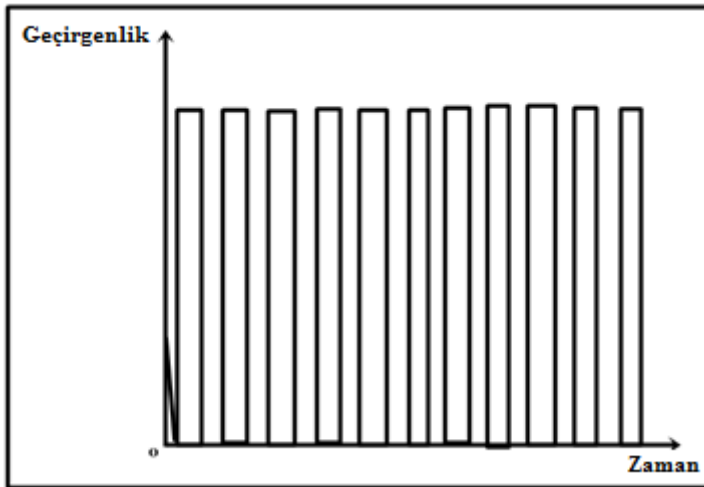
$Q_d$ : Elektronik yüklerin oranı.

$T_b$  ve  $T_c$ : Oksitlenmiş ve indirgenmiş formların geçirgenlik değerleri.

### Tepki Zamanı

Tepki zamanı elektrokromik bir malzemede renklenme ve ağartma arasında geçen zamana verilen isimdir. Özellikle dinamik ekran ve renk değiştiren aynalar için oldukça önemli bir parametredir. Renk değişim hızına etki eden birçok parametre vardır. Bu parametreler şu şekilde sıralanabilir: iyonun iletkenliği, uygulanan potansiyel miktarı, elektrokromik materyalin kalınlığı, iyonların difüzyon hızı. Tepki zamanı süresi yapıda polimer ve bileşikleri kullanarak azaltılabilir [106].

Elektrokromik cihazlarda iletken polimerlerin tepki süreleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. İletken polimerler için tepki süresi boyuta, kalınlığa, potansiyele ve birçok parametreye bağlı olarak değişir. Literatürde bu alanda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Diaz ve arkadaşları polianilin ve polipirol için tepki süresi hesaplamışlardır. Anodik gerilimin tepki süresi üzerindeki etkisini bulmuşlardır. Polianilin için tepki süresi polipiroiden daha kısa olduğunu bulmuşlardır [107]. Polimerik malzemelerin hızlı tepki süreleri ve renk değişimlerin dikkat çekici olması polimerlerin elektrokromik alanlarındaki uygulamalarında oldukça önemlidir. Tepki süresinin bulunması polimerler için yapılan kinetik çalışmaların içerisinde yer alır. şekil 2.26'da gösterildiği gibi tepki süresi başlangıç ve gerilim uygulandığındaki renk değişimi arasında geçen süredir. Tepki süresi küçük olan polimerler büyük alan uygulamaları için uygun değildir.



şekil 2.26: Geçirgenliğin zamana bağlı değişim grafiği

### Optik Hafıza

Elektrokromik malzemelere uygulanan potansiyel çekildikten sonra rengini korumaya devam eder, bu süreye optik hafıza denir. Bu süre cihazın dengesini sağlar, enerji tüketimini ekonomik hale getirir. Bu nedenle oldukça uzun olmalıdır.

### Kararlılık

Elektrokromik cihazın kararlılığı elektrokimyasal işlemler sırasındaki dayanıklılığın ölçüsüdür. Elektrokromik malzemelerde önemli olan yükseltgenme ve indirgenme tepkimeleridir. Bu tepkimeler bozulursa malzemenin elektrokromik özellikleri de bozulur ve bozunmaların geri dönüşümü olmaz [103].

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Malzeme ve Metotlar

Polimerlerin sentezi ve güneş pili yapımında kullanılacak olan tüm kimyasallar Sigma-Aldrich Chemical Co. Ltd.'den satın alınmıştır ve herhangi bir saflaştırılma işlemi yapılmadan kullanılmıştır. Polimerler, elektrokimyasal, spektroeletrokimyasal ve kinetik çalışmalar için  $\text{CHCl}_3$  ( $5 \text{ mg mL}^{-1}$ ) içerisinde çözülmüştür ve ITO kaplı cam bir malzeme üzerine spreyle püskürtülmüştür. CV çalışmaları, üç elektrotlu bir hücrede (ITO kaplı cam çalışma elektrodu olarak, Pt tel ve Ag tel sırasıyla karşıt elektrot ve referans elektrot olarak) Gamry Reference 600 potansiyostat / galvanostat ile gerçekleştirilmiştir. Potansiyostat ile birlikte kullanılan JASCO V-770 spektrofotometre, optik ve spektroeletrokimyasal çalışmalar için kullanılmıştır. Organik güneş pili karakterizasyonları için, akım yoğunluk-gerilim (I-V) karakteristikleri AM1,5 güneş ışığı uygulaması altında Keithley 2400 kaynak ölçüm birimi ile belirlenmiştir.

#### 3.2 Polimerlerin Sentezi

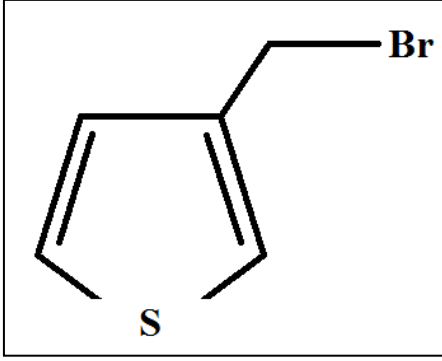
PT-co-A ve PT-co-K polimerleri literatürde yer alan Deniz YİĞİT'e ait çalışmadaki yöntemlere göre sentezlenmiştir [108].

##### 3.2.1 3-(Brommetil) tiyofen Sentezi (3)

3-Metiltiyofen (5,5 g; n:5,6 mmol) tek ağızlı bir balon şişeye konuldu, üzerine 15 mL karbon tetraklorür ( $\text{CCl}_4$ ) ilave edildi ve tamamen çözülmesi sağlandı. Bu çözelti üzerine N-bromo süksinimid (NBS) (8,5 g, n: 5 mmol) ve radikal başlatıcı reaktif benzoil peroksit (0,02 g, n: 0,082 mmol) ilave edildi ve kaynatıldı. Bu tepkime ortamına yaklaşık 20 dakika sonra biraz daha benzoil peroksit (0,02 g, n: 0,082 mmol) ilave edildi ve tepkime 6 saat devam etti. Tepkimenin sonunda, çözelti ilk olarak oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Daha sonra bu çözeltideki  $\text{CCl}_4$  fazından süksinimid kalıntıları süzüldü.  $\text{CCl}_4$  ise sıradan damıtma ile geri kazanıldı. Nihai yağlı ürün, %74 verimle indirgenmiş basınç altında damıtılarak saflaştırıldı. Elde edilen 3-(Brommetil) tiyofen'in şematik gösterimi Şekil 3.1'de verilmiştir.

**$^1\text{H}$  NMR spektrumu ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ /ppm:** 4,5 (t, 2H, Hd), 7,06 (i, 1H, Hc), 7,2 (ii, 1H, Hb), 7,3 (ii, 1H, Ha).

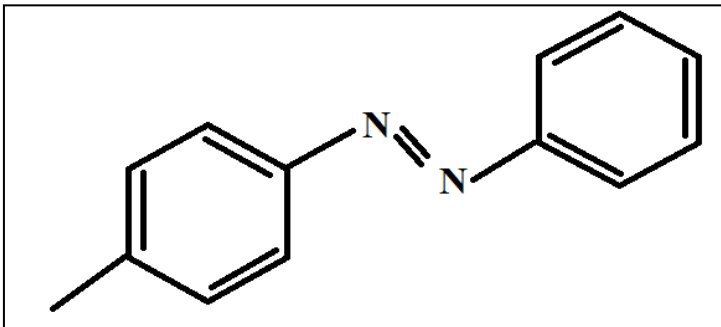




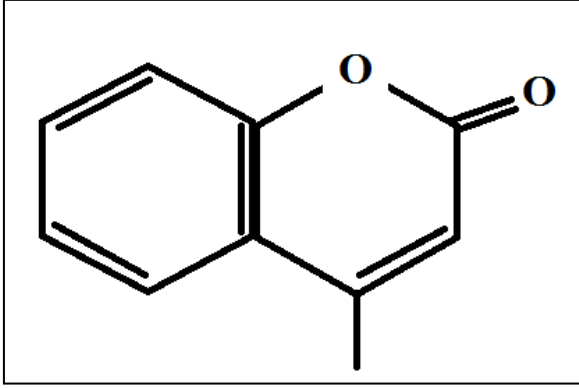
Şekil 3.1: 3-(Brommetil) tiyofen'in şematik gösterimi

### 3.2.2 Azobenzen, Kumarin İçeren Tiyofen Türevlerinin 1-Fenil-2-(4-(tiyofen-3-ilmetoksi) fenil) diazenin (4) ve 4-(Tiyofen-3-ilmetoksi)-2H-kromen-2-on (5) Genel Sentez Yöntemi

Azobenzen ve kumarin gibi güçlü kromofor grupları içeren tiyofen türevleri genellikle nükleofilik yer değiştirme tepkimelerine dayanan sentez yöntemleri ile sentezlenirler. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te azobenzen ve kumarine ait yapıların şematik gösterimi yer almaktadır. Sentez aşamalarında ilk olarak deney ortamında olası nemi uzaklaştırmak için deney düzeneği azot atmosferi altında bek alevi ile yavaşça ısıtılmıştır. Daha sonra tepkime şişesine 3-(brommetil) tiyofen (3) (n:7,34 mmol) ve kromofor bileşiği (n:7,34 mmol) eklendi ve 50 mL taze hazırlanmış kuru Dimetilformamid (DMF) içerisinde tamamen çözümleri sağlandı. DMF çözeltisine sezyum karbonat ( $\text{Cs}_2\text{CO}_3$ ) (n:29,36 mmol) ilave edildikten sonra oda sıcaklığında 15 dakika hızlı bir şekilde karıştırıldı. Tepkimeye daha sonra geri soğutma ile azot atmosferi altında  $120^\circ\text{C}$ 'de 24 saat devam edildi. Tepkime sonunda, DMF içeriği oda sıcaklığına kadar soğutuldu ve 100 mL buzlu su içerisine döküldü ve pH 11-12 olacak şekilde gerekli ayarlamalar yapıldı. Sulu fazda çökelen katı ürün vakum altında kurutuldu ve uygun yöntemler kullanılarak saflaştırıldı. Elde edilen bu ürünlerin yapısal analizleri,  $^1\text{H}$  NMR (Hidrojen- Nükleer manyetik rezonans) ve FTIR (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi) teknikleri kullanılarak yapıldı.



Şekil 3.2: Azobenzen'in şematik gösterimi



Şekil 3.3: Kumarin'nin şematik gösterimi

#### 1-Fenil-2-(4-(tiyofen-3-iletoksi) fenil) diazenin Sentezi (4)

Genel sentez yöntemlerine göre 3-(brommetil)tiyofen ve p-hidroksiazobenzen'in nükleofilik yer değiştirme tepkimesi ile sentezlenmiştir. Elde edilen ürün, hekzan kullanılarak kolon kromatografisi ile saflaştırılmıştır.

**FTIR spektrumu (ATR)  $\nu_{\text{maks}}/\text{cm}^{-1}$ :** 3098 (z, tiyofen aromatik C-H gerilmesi), 3068 (z, benzen aromatik C-H gerilmesi), 2948-2908 (z, alifatik C-H gerilmesi), 1600, 1581 (oş, aromatik C=C gerilmesi), 1494-1413 (ş, alifatik C-H gerilmesi), 1236 (ş, C-O gerilmesi).

**$^1\text{H}$  NMR spektrumu ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta/\text{ppm}$ :** 5,166 (t, 2H, Hd), 7,08 (i,  $J=9,2$  Hz, 2H, He), 7,18 (ç, 1H, Hc), 7,37 (ç, 2H, Hb ve Hi), 7,46 (ç, 3H, Hh, Ha), 7,9 (ç, 4H, Hf ve Hg).

#### 4-(Tiyofen-3-iletoksi)-2H-kromen-2-on Sentezi (5)

3-(Brommetil) tiyofen ve 4-hidroksikumarin'in nükleofilik yer değiştirme tepkimesi ile sentezlenmiştir. Elde edilen ürün, etanol:su (1:1) karışımı ile kristalleştirme yapılarak saflaştırılmıştır.

**FTIR spektrumu (ATR)  $\nu_{\text{maks}}/\text{cm}^{-1}$ :** 3103 (z, tiyofen aromatik C-H gerilmesi), 3082 (z, benzen aromatik C-H gerilmesi), 2972-2933 (z, alifatik C-H gerilmesi), 1708, 1690 (oş, C=O gerilmesi), 1624-1566 (oş, aromatik C=C gerilmesi), 1492-1333 (ş, alifatik C-H gerilmesi), 1247 (ş, C-O gerilmesi).

**$^1\text{H}$  NMR spektrumu ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta/\text{ppm}$ :** 5,22 (t, 2H, Hd), 5,78 (t, 1H, He), 7,19 (ç, 1H, Hc), 7,24-7,28 (ç, 1H, Hh), 7,32-7,34 (ii,  $J=7,6$  Hz, 1H, Hf), 7,41 (ç, 2H, Ha ve Hb), 7,55 (ç, 1H, Hg), 7,88 (ii,  $J=8$  Hz ve  $J=1,6$  Hz, 1H, Hi).

### 3.2.3 Kromofor Grup 1- [4- (2,5-Dibromtiyofen-3-ilmektoksi) fenil] -2-fenildiazen (6) ve 4-[(2,5-Dibromtiyofen-3-ilmektoksi)]-2H-kromen-2-on (7) İçeren Dibromtiyofen Türevlerinin Genel Sentez Yöntemi

İlk olarak, tepkime şişesi ve diğer tüm cam eşyalar, test cihazını gün ışığından izole etmek için tamamen alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Daha sonra tepkime şişesine tiyofen türevleri (4 ve 5) (2,8 mmol) ilave edildi, 20 mL kuru DMF içerisinde çözünmesi sağlandı ve bir buz banyosu içerisinde 0°C'ye kadar soğutuldu. Daha sonra, 15 mL DMF içerisinde çözünen NBS (1 g, 5,62 mmol) çözeltisi, bir damlatma hunisi yardımıyla 1 saatlik bir süre boyunca tepkime ortamına yavaş yavaş ilave edildi. Oda sıcaklığında 24 saat karıştırıldıktan sonra bu çözelti 100 mL buzlu su içerisine döküldü. Sulu faz  $\text{CHCl}_3$  ile (3 x 50 mL) ile ekstrakte edildikten sonra  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  üzerinden kurutuldu. Organik çözücü buharlaştırma ile geri kazanıldıktan sonra, elde edilen ham ürün kolon kromatografisi ile saflaştırıldı. Saf ürünlerin kimyasal yapıları FTIR ve  $^1\text{H}$  NMR teknikleri ile incelenmiştir.

#### 1-[4-(2,5-Dibromtiyofen-3-ilmektoksi) fenil]-2-fenildiazen Sentezi (6)

1-[4-(2,5-Dibromtiyofen-3-ilmektoksi)fenil]-2-fenildiazen, 1-fenil-2-(4-(tiyofen-3-ilmektoksi) fenil)diazenin, NBS ile bromlanmasıyla elde edilmiştir. Ham ürün, hekzan: etil asetatın (3:1) bir çözücü karışımı kullanılarak kolon kromatografisi yöntemi ve %81 verim değeri ile saflaştırılmıştır.

**FTIR spektrumu (ATR)  $\nu_{\text{maks}}/\text{cm}^{-1}$ :** 3069 (z, tiyofen aromatik C-H gerilmesi), 3049 (z, benzen aromatik C-H gerilmesi), 2927-2864 (z, alifatik C-H gerilmesi), 1603, 1582 (oş, aromatik C=C gerilmesi), 1497-1367 (ş, alifatik C-H gerilmesi), 1240 (ş, C-O gerilmesi).

**$^1\text{H}$  NMR spektrumu ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta/\text{ppm}$ :** 5,01 (t, 2H, Hd), 7,04-7,06 (ç, 3H, He ve Hc), 7,44-7,52 (ç, 3H, Hh ve Hi), 7,87-7,94 (ç, 4H, Hf ve Hg).

#### 4-[(2,5-Dibromtiyofen-3-ilmektoksi)]-2H-kromen-2-on Sentezi (7)

4- [(2,5-Dibromtiyofen-3-ilmektoksi)]- 2H-kromen-2-on, genel sentez yöntemine uygun olarak 4-(tiyofen-3-ilmektoksi)-2H-kromen-2-onara ürününün brominasyon tepkimesinden elde edilmiştir. Ham ürün  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  ile kolon kromatografisi kullanılarak saflaştırma yöntemleriyle ayrıştırılmıştır. Elde edilen verim %95'tir.

**FTIR spektrumu (ATR)  $\nu_{\text{maks}}/\text{cm}^{-1}$ :** 3085 (z, tiyofen aromatik C-H gerilmesi), 3068 (z, benzen aromatik C-H gerilmesi), 2987, 2927 (z, alifatik C-H gerilmesi), 1717, 1704 (oş, C=O gerilmesi), 1623-1567 (oş, aromatik C=C gerilmesi), 1492-1330 (ş, alifatik C-H gerilmesi), 1248 (ş, C-O gerilmesi).

**$^1\text{H}$  NMR spektrumu ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta/\text{ppm}$ :** 5,08 (t, 2H, Hd), 5,76 (t, 1H, He), 7,05 (t, 1H, Hc), 7,26-7,34 (ç, 2H, Hh, Hf), 7,54-7,59 (ç, 1H, Hg), 7,81-7,83 (ii,  $J=8$  Hz ve  $J=1,6$  Hz, 1H, Hi).

### 3.2.4 PT-co-K ve PT-co-A'nın Kimyasal Polimerizasyon Yöntemi ile Sentezi

Sentez işlemlerine başlamadan önce ortamdaki nem uzaklaştırılmak için deney düzeneği, azot atmosferi altında bek alevi ile ısıtılmıştır. Kromofor grubu içeren dibromtiyofen türevleri (6 ve 7) ( $n=0,45$  mmol) ve 2,5-dibrom-3-hekziltiyofen (1), 100 mL'lik çift uçlu bir balon cam şişeye yerleştirildi ve daha sonra 15 mL yeni hazırlanmış kuru toluen içerisinde tamamen çözünmesi sağlandı. Argon, 10 dakika boyunca tepkime ortamından geçirildi. Son olarak 2,5-bis(tribütilkalay) tiyofen (2) ( $n=0,91$  mmol) ve Pd ( $\text{PPh}_3$ )<sub>4</sub> katalizörü ( $n=0,023$  mmol) ilave edildi ve geri soğutucu altında kaynatıldı. Tepkime tamamlandıktan sonra toluen süspansiyonu, oda sıcaklığına kadar soğutuldu ve 150 mL metanol içerisine döküldü. Çöken katı ham ürün süzüldü ve açık havada kurutuldu. Katı ürün, sırasıyla metanol, heksan ve kloroform kullanılarak Soxhlet ekstraksiyonu ile saflaştırıldı. Kloroform fazından elde edilen saf ürünün kimyasal yapısı FTIR,  $^1\text{H}$  NMR ve elemental analiz teknikleri kullanılarak incelenmiştir.

#### Poli(4-((3''-hekzil-[2,2':5',2'':5'',2'''-tetratiyofen]-3'-il) metoksi)-2H-kromen-2-on (PT-co-K) Sentezi

PT-co-K, genel sentez yöntemine göre 4- [(2,5-dibromtiyofen-3-ilmetoksi)]- 2H-kromen-2-on, 2,5-dibrom-3-hekziltiyofen (1) ve 2,5-bis(tribütilkalay) tiyofen (2)'in Stille kopolimerizasyon tepkimesi ile elde edilmiştir. Elde edilen ham ürün, %51 verimle Soxhlet ekstraksiyonu ile saflaştırıldı. Polimerin şematik gösterimi Şekil 3.4'te verilmiştir.

**FTIR spektrumu (ATR)  $\nu_{\text{maks}}/\text{cm}^{-1}$ :** 3063 (z, aromatik C-H gerilmesi), 2948- 2851 (oş, alifatik C-H gerilmesi), 1723, 1621 (C=O gerilmesi), 1608, 1566 (z, aromatik C=C gerilmesi), 1460-1355 (z, alifatik C-H eğilmesi), 1233 (z, C-O gerilmesi).

**$^1\text{H}$  NMR spektrumu ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta/\text{ppm}$ :** 0,9-1,66 (pç, Hb, Hc, Hd, He, Hf), 2,77 (y, Ha), 5,25 (y, Hn), 5,8 (y, Ho), 7,02-7,57 (Hg, Hh, Hi, Hk, Hl, Hm, Ht, Hr, Hs, Hp).

**Element analizi:** Hesaplanan % ( $\text{C}_{60}\text{H}_{27}\text{O}_3\text{S}_8$ )<sub>n</sub>; C 66,44; H 5,48. Bulunan %; C 65,89; H 5,96.

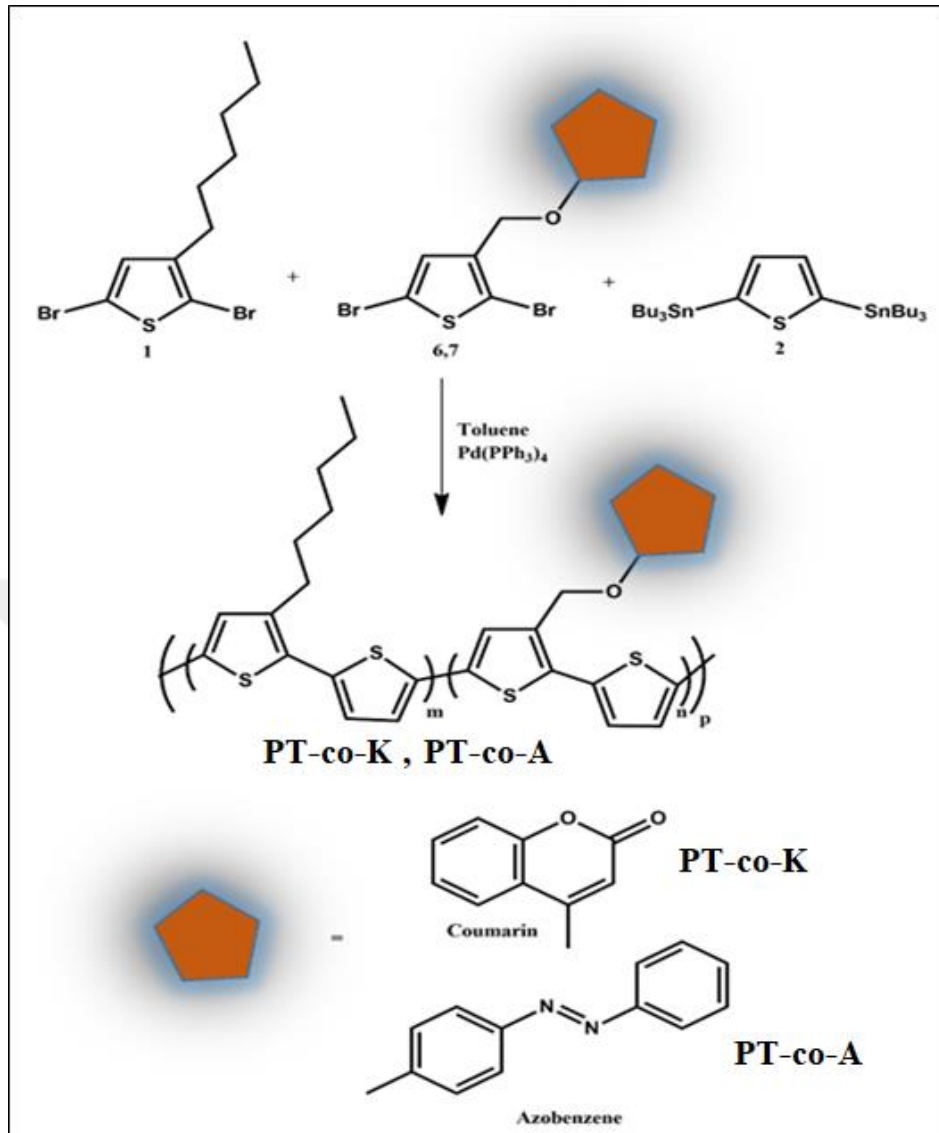
Poli(1-(4-((4''-hekzil-[2,2':5',2'':5'',2'''-tetratiyofen]-3'-il) metoksi) fenil)-2-fenildiazen) (PT-co-A) Sentezi

PT-co-A, genel sentez yöntemine göre 1-[4-(2,5-Dibromtiyofen-3-ilmetoksi) fenil] -2-fenildiazen, 2,5-dibrom-3-hekziltiyofen (1) ve 2,5-bis(tribütilkalay) tiyofen (2)'in Stille kopolimerizasyon tepkimesi ile elde edilmiştir. Elde edilen ham ürün, %63 verimle Soxhlet ekstraksiyonu ile saflaştırılmıştır. Polimerin şematik gösterimi Şekil 3.4'te verilmiştir.

**FTIR spektrumu (ATR)  $\nu_{\text{maks}}/\text{cm}^{-1}$ :** 3064 (z, aromatik C-H gerilmesi), 2923, 2851 (z, alifatik C-H gerilmesi), 1599, 1499 (z, aromatik C=C gerilme), 1457, 1362 (z, alifatik C-H eğilmesi), 1232, 1222 (z, C-O gerilmesi).

**$^1\text{H}$  NMR spektrumu ( $\text{CDCl}_3$ )  $\delta/\text{ppm}$ :** 0,89-1,57 (pç, Hb, Hc, Hd, He, Hf), 2,75 (y, Ha), 5,18 (y, Ht), 6,81-7,94 (pç, Hg, Hh, Hi, Hk, Hl, Hm, Hp, Hr, Hs, Hn ve Ho).

**Element analizi:** Hesaplanan % ( $\text{C}_{84}\text{H}_{74}\text{O}_2\text{S}_{10}$ )<sub>n</sub>; C 67,48; H 5,19; N 3,75. Bulunan %; C 68,01; H 4,97; N 3,38.



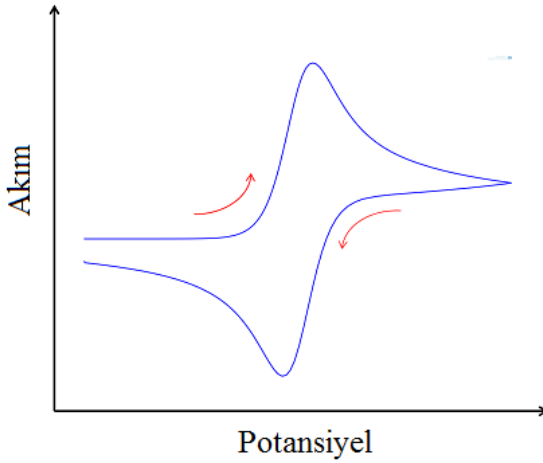
Şekil 3.4: PT-co-K ve PT-co-A polimerlerinin sentezi

### 3.3 Karakterizasyon Yöntemleri

#### 3.3.1 Dönüştürümlü Voltametri (CV)

CV bilimsel araştırma ve yenilikler için çok yönlü bir yöntemdir. Genellikle yükseltgenme/indirgenme tepkimelerinin ve oluşan ara ürünlerin ve elektrotlarda oluşan ürünlerin incelenmesinde kullanılır. Ayrıca nicel amaçlı kullanımında bulunmaktadır. Elektron transferini incelediği için farklı araştırma alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mekanizmalar, analizler, karakterizasyon ve sentezler CV için geniş kullanım alanı oluşturmaktadır. Bu geniş kullanım alanıyla beraber yarı iletkenler, filmler, organik ve inorganik polimerler ile en etkili performansı sağlayabilirler. Bu yöntemde yürütülen işlemler hem doğrudan hem de dolaylı bir şekilde yapılan çalışmadan etkilenirler. Ancak her iki yol ile elde edilen çalışma sonuçları çok iyi performans gösterirler. Sadece kimya alanında değil bilim dünyasının tüm alanlarında sıklıkla kullanılır ve dünya çapında kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Üstün performansı nedeniyle araştırma ve geliştirme laboratuvarlarda ve hatta uygulama laboratuvarlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Yaygın kullanım alanına sahip olmasının en önemli nedenleri arasında hız ve maliyet gelmektedir. Ayrıca tekniğin çok basit olması da çok büyük bir avantaj sağlayarak gün geçtikçe yaygınlaşmasına neden olmuştur [109]. CV'nin en yaygın kullanım alanlarından bir tanesi elektrokimyasal tekniklerdir. Bu teknikteki en önemli parametre potansiyeldir, potansiyelin zamanla değişimi doğrusaldır. Elde edilen potansiyalin zaman ile değişimi tarama hızı olarak ifade edilir ( $dE/dT$ ). Standart indirgenme potansiyeline kadar madde yükseltgenir bu değerden sonra ise doğrusal bir indirgenme başlar [110]. Şekil 3.5'te CV'nin bir örneği gösterilmiştir. Bu örnekte akım ve potansiyel eğrileri oluşmuştur ve bir döngü içerisinde sürekli olarak değişiklik göstermektedirler.

Yapılan bu çalışmada CV kullanılarak sentezlenen kopolimerlerin indirgenme-yükseltgenme gerilimleri, teğetsel gerilimleri, enerji seviyeleri belirlenerek karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 3.5: Dönüşümlü voltametri akım yoğunluğu gerilim grafiği [110]

### 3.3.2 FTIR & NMR

Spektroskopi bir malzemedeki atom veya moleküllerin enerji seviyeleri arasındaki geçişleri arasında absorplanan veya yayılan ışımın ölçülmesidir. Elektromanyetik ışımaya uzayda çok hızlı hareket eden bir enerji türüdür. Bu ışımın en çok karşılaşılan türü görünür bölge ve infrared ışınlarıdır. Elektromanyetik ışımalar girişim ve kırınım davranışlarına sahiptirler. Spektroskopik yöntemler içerisinde görünür bölge absorpsiyon spektroskopisi, floresans spektroskopisi, atomik absorpsiyon spektroskopisi, FTIR, NMR yer alır. Bu spektroskopik yöntemlerde uygun olan her madde her yerde kullanılabilir. Spektroskopiden tıp, kimya, moleküler biyoloji ve diğer birçok alanda yararlanılmaktadır. Geçmişten günümüze kadar bu yöntemlerin kullanıldığı pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada sentezlenen iletken polimerin yapısının belirlenmesi için spektroskopik yöntemler kullanılmıştır. Dünya çapında yaygın olarak kullanılan en önemli spektroskopik yöntemler NMR ve FTIR'dır [111]. NMR, sinyalleri iki ayrı fizikçi tarafından bulunmuştur. Bu buluş nedeniyle ödül alan fizikçiler Nobel ödülü almışlardır. NMR spektroskopisi ilk defa organik kimyada moleküllerin yapılarını tayin etmek için kullanılmıştır. NMR spektroskopisi ile birçok alanda gelişmeler yaşanmıştır, bu alanlara örnek fizik, kimya ve tıp alanları verilebilir. NMR spektroskopisi bir aydınlatma yöntemidir, bu yöntemde bir moleküldeki atom çekirdeklerinin radyo frekansı esas alınır. Bu radyo frekansındaki elektromanyetik ışınlar incelenmektedir. Başta kimya alanı olmak üzere birçok bilim dalında molekül yapı tayini için NMR spektroskopisi kullanılır. Bu yöntemle moleküllerdeki hidrojen sayıları ve bu moleküle komşu olan gruplar tespit edilebilir. NMR spektroskopisi bazı özelliklerinden dolayı diğer yöntemlerden farklıdır. Örneğin bu yöntem ile bazı organik moleküllerin fonksiyonel grupları ve moleküldeki C, H,



N, S gibi atomların yüzdesi bulunabilir. Ayrıca NMR ile moleküllerin iskelet yapıları hakkında bilgi edinilir. NMR için iki önemli şart gereklidir bunlar kuvvetli bir manyetik alan ve çok uzun dalga boylu radyo dalgasıdır. NMR spektroskopisi tekrar tekrar kullanılabilir çünkü bu yöntemde kullanılan molekül parçalanmaz [112]. Atomu oluşturan elektronlar spin hareketi yaparlar. Bu spin hareketi elektronların kendi etrafına dönmelerine verilen isimdir. Elektronlar kendi etrafında dönerken bir elektriksel alan ve manyetik alan oluştururlar. Spin hareketi gerçekleştiren bir elektron oluşan manyetik alanda etkilenir. Manyetik alan içerisinde kalan ve spin hareketi yapan bir elektron net spini oluşan bir ışığa ile karşılaşır ışık absorplanır.  $^1\text{H}$  NMR yöntemiyle protonda hidrojen olup olmadığını anlamak mümkündür. NMR spektrometresinde numune elektromanyetik enerjiye maruz kaldığında manyetik alan şiddeti de sürekli olarak değişmektedir. NMR yöntemi saf haldeki bileşiklerin yapılarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu spektroskopi ile hem nitel hem nicel analiz yapılması mümkündür [113].

FTIR, Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektroskopisi olarak adlandırılır. Bir tür titreşim spektroskopisidir. IR ışınları bu titreşim hareketleri tarafından soğrulur. Matematiksel olarak ışığa şiddeti zamanın bir fonksiyonudur. Hızlı ve yüksek çözünürlüktedir ve her dalga boyunda tarama gerektirmez. Özellikle moleküllerin bağlarının belirlenmesinde kullanılır. Ayrıca organik bileşiklerin işlevsel gruplarının tayini, yapıdaki bağların durumu, yapıdaki aromatik veya alfatik grupların belirlenmesi de diğer uygulama alanlarındandır. Ayrıca biyokimyada da aminoasit ve proteinlerin yapısının belirlenmesinde kullanılır. Mikroorganizmaların yapılarını da tayin etmek için kullanılan hızlı, güvenilir, ucuz bir yöntemdir. FTIR, geniş spektrumda çalıştığı için kullanım alanı da oldukça yaygındır. Kullanılan numuneye kesinlikle zarar vermez ve hızlı sonuç verir. Ön ısıtma yapılabilir, ayar gerektirmeden otomatik olarak kendini temizler. Kullanılan numunenin miktarı çok düşüktür. Katı, sıvı ve gaz örneklerinin analizinde kullanılabilir. FTIR'ın kullanıldığı önemli alanlarından bir tanesi de DNA (Deoksiribo Nükleik Asit) yapısının belirlenmesidir. Gen yapısı ve genetik mühendisliği ile ilgili birçok alanda kullanılır [114].

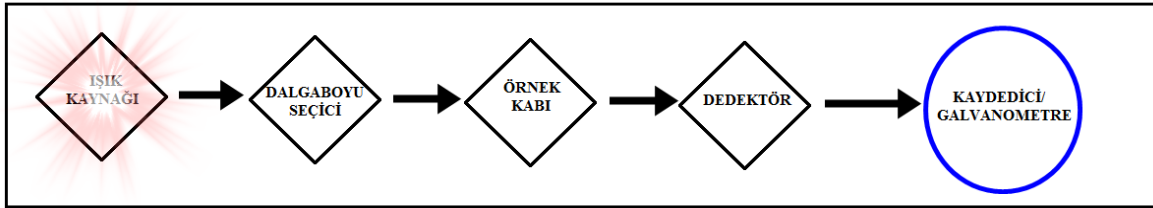
### 3.3.3 UV-VIS Spektrofotometresi

UV-VIS spektrofotometresi bir ışık demetinin bir örnekten veya belli bir yüzeyden yansdıktan sonraki azalmasının ölçülmesidir. Işığın şiddetinde azalma meydana gelmesi ışık demetinin absorplanması ile açıklanır. UV-VIS spektrofotometresi inorganik iyonlarda, çözeltilerdeki moleküllerdeki iyonların ölçümünde, bilinmeyen maddelerin

tanımlanmasında, bilinen maddelerin derişimlerinin belirlenmesinde, içme suyu ve atık su analizlerinde ve daha birçok farklı alanda kullanılır. UV veya VIS dalga boyları moleküller tarafından absorplanır ve farklı molekül türlerinin absorpladığı dalga boylarıda farklı olmaktadır [115].

Spektrofotometre ile madde renginin yoğunluğu ile madde miktarı ve derişimi belirlenebilir. Spektrofotometre genellikle moleküler biyolojide kullanılır. Çözelti içerisindeki madde miktarının belirlenmesinde sıkça kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. UV-VIS spektrofotometresinin başlıca kullanım alanları arasında tıp, ziraat, jeoloji, su ürünleri ve çevre mühendisliği gelmektedir. Tıpta özellikle biyokimya alanında kullanılır, vücut sıvılarında bazı parametrelerin tayini için tercih edilir. Kimyada bileşik ve karışımların içindeki elemetlerin yoğunluk ve oranları hesaplanır. Jeolojide maden içerisinde yer alan parametrelerin analizi yapılır. Ziraatte ise toprağın analizi yapılırken kullanılır [116].

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi ışık kaynağı, dalga boyu seçici, dedektör ve galvanometre spektrofotometrik düzeneği oluşturan kısımlardır. Optik sinyaller dedektörde elektrik sinyaline çevrilir kaydedici veya bir galvanometre ile ölçülür.



Şekil 3.6: Bir spektrofotometrenin temel bileşenleri

### 3.3.4 Elektrokimyasal Çalışmalar

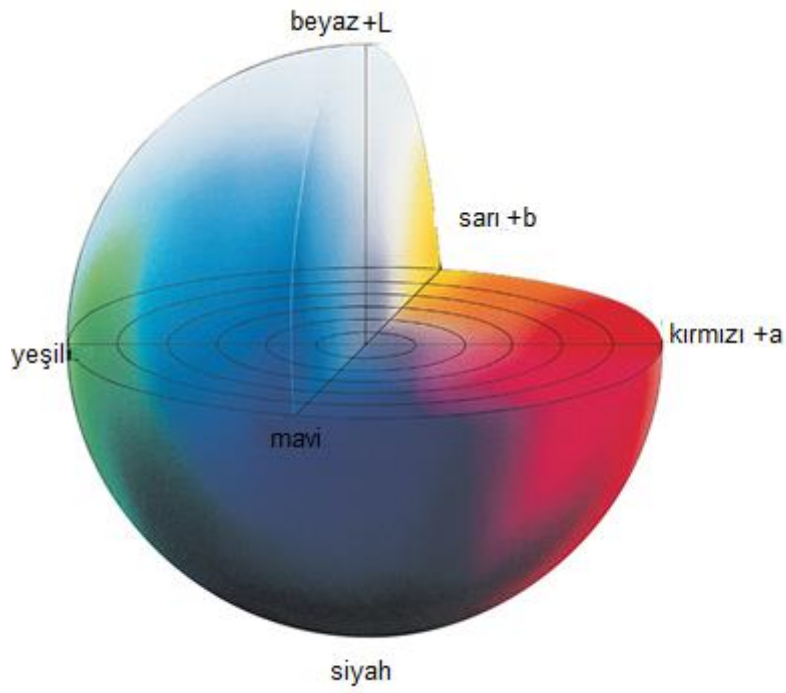
Elektrokimyasal çalışmalar, sentezlenen kopolimerlerin p ve n katkılama potansiyellerini ve polimerlerin HOMO-LUMO seviyelerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmalarda CV ve potansiyostat/galvanostat kullanılarak yapıldı. Polimerler ölçüm için öncelikle  $\text{CHCl}_3$  ( $5 \text{ mg mL}^{-1}$ ) içerisinde çözülmüştür ve ITO kaplı cam bir malzeme üzerine spreyle püskürtülmüştür. CV çalışmaları, üç elektrotlu bir hücrede Gamry Reference 600 potansiyostat/galvanostat ile gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal çalışmalar ile karakterizasyon için CV kullanılarak uygulanan belirli bir gerilim aralığı için elde edilen akım yoğunluğu değerleri kaydedilmiştir. Polimerler için yükseltgenme gerilimi, indirgenme gerilimi, teğetdeğeri, HOMO ve LUMO değerleri hesaplanmıştır. Elektrokimyasal çalışmalar kapsamında ayrıca polimerler için tarama hızı akım yoğunluğu ilişkisi incelenmiştir.

### 3.3.5 Spektroelektrokimyasal Çalışmalar

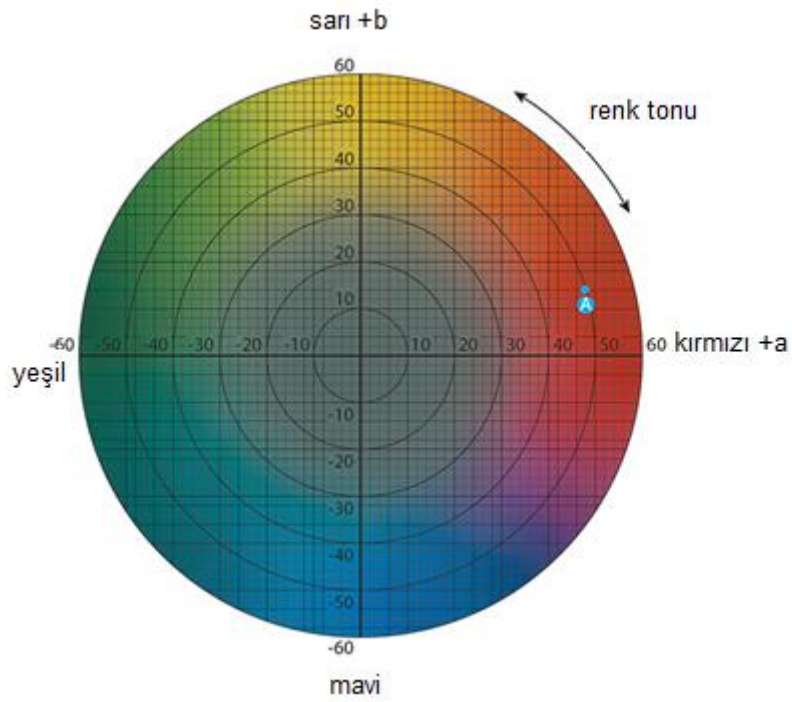
Spektroelektrokimyasal çalışmalar hem spektroskopik hem de elektrokimyasal ölçümleri içerir. Bu çalışmalar kopolimerlerin nötral halini, polaron ve bipolaron bantlarını ve uygulanan potansiyele göre optik değişikliklerini araştırmak için kullanılmıştır. Spektroelektrokimyasal çalışmalar ile polimerlerin en yüksek absorpsiyon değerine sahip olduğu en yüksek dalga boyları incelenmiştir. Spektroelektrokimyasal çalışmalar kapsamında ayrıca sentezlenen polimerlerin nötral ve oksitlenmiş haldeki renkleri incelenerek elektrokromik malzeme olduğu kanıtlanmıştır. Polimerler ölçüm için öncelikle  $\text{CHCl}_3$  ( $5 \text{ mg mL}^{-1}$ ) içerisinde çözülmüştür ve ITO kaplı cam bir malzeme üzerine spreyle püskürtülmüştür. CV çalışmaları, üç elektrotlu bir hücrede (ITO kaplı cam, çalışma elektrodu, karşı elektrot ve referans elektrot) Gamry Reference 600 potansiyostat / galvanostat ile gerçekleştirilmiştir. Potansiyostat ile birlikte kullanılan JASCO V-770 spektrofotometre, optik, spektroelektrokimyasal ve kinetik çalışmalar için kullanılmıştır.

### 3.3.6 Kolorimetrik Çalışmalar

Kolorimetrik çalışmalar kapsamında ise daha önce belirlenen gerilim değerleri arasında gerilim uygulayarak sentezlenen polimerlerin renk değişimleri incelenmiştir. Uygulanan her potansiyele karşılık gelen renk grupları her iki polimer için kaydedilmiştir. Bu renklerin açıklamasında uluslararası geçerliliği olan CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) kodları kullanıldı. Bu kodlama sistemine göre L rengin parlaklığı için, a kırmızı ve yeşil renkler arasındaki koordinatlar için, b sarı ve mavi renkler arasındaki koordinatlar için kullanılır. +b değerleri rengin sarı, -b değerleri rengin mavi olduğunu gösterir. Aynı şekilde +a değeri rengin kırmızı, -a değeri rengin yeşil olduğunu ifade etmek için kullanılır. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de bu koordinat sisteminde L, a ve b değerleri gösterilmiştir [117].



Şekil 3.7: CIE koordinatları L, a, b değerleri



Şekil 3.8: CIE koordinatlarında a, b değerlerinin renk tonu

### 3.3.7 Kinetik Çalışmalar

Nötral ve oksidasyon durumu arasındaki polimerlerin tepki zamanını ve optik geçirgenlik değerlerini incelemek için kinetik çalışmalar yapılmıştır. Polimerin elektrokromik tepki zamanını belirleyebilmek için kare dalga potansiyel adım yöntemi ve spektrofotometre birlikte kullanılmıştır. İlk olarak polimer ITO üzerine spreyle kaplandı ve daha sonra elektrokromik tepki süresi çalışmalarını kaydetmek için katkılı ve indirgenmiş durumlar arasında potansiyeller uygulanmıştır. Kinetik çalışmalar kapsamında belli dalga boylarında polimerler için zamanla geçirgenlikteki değişim incelenmiştir. Bu geçirgenlik değişimine bağlı olarak polimerler için optik geçirgenlik ve tepki zamanı hesaplanmıştır. İki polimer durumu arasındaki yüzde geçirgenlik farklılıkları ve ayrıca iki durum arasında geçiş yapmak için gereken süre spektrumların VIS ve NIR bölgelerinde incelendi. Çalışmalar 0,1M TBAPF<sub>6</sub>/ACN çözeltisinde 5 saniye aralıklarla polimer kaplı ITO camının kare dalga potansiyeline maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak zaman ile yüzde geçirgenlik değişimi (% T) elde edilmiş ve tepki zamanı süreleri bu grafiğe göre hesaplanmıştır.

### 3.3.8 Fotovoltaik Çalışmalar

Bu bölümde sentezlenen iletken polimerlerin kullanıldığı güneş pilinin yapılışı ve fotovoltaik özellikleri anlatılmıştır. Buraya kadar yapılan tüm çalışmaların sonuçları sentezlenen bu polimerlerin güneş pili uygulamalarında kullanılabileceğini kanıtlamaktadır. Bu polimerler ile Cam/ITO, PEDOT: PSS, Polimer (PT-co-K veya PT-co-A):PC<sub>60</sub>BM, ve LiF/Al katmanlarını içeren güneş pilleri tasarlanmıştır. Güneş pilinin yapımı ve her katmanın görevi detaylı olarak anlatılmıştır. PT-co-A polimerinin kaplanması için dönüş hızı, çözelti oranı ve tavlama etkisini içeren çalışmalar yapılmıştır. Belirlenen bu koşullar altında diğer polimer içinde elde edilen verim değerleri karşılaştırılmıştır. Verim değerleri hesaplamalarında karakteristik I-V grafiklerinden elde edilen V<sub>AD</sub>, I<sub>KD</sub>, FF değerleri kullanılmıştır. Organik güneş pili karakterizasyonları için, akım yoğunluğu-gerilim (I-V) grafikleri AM 1,5 güneş uygulaması altında bir Keithley 2400 kaynak ölçüm birimi ile belirlenmiştir.

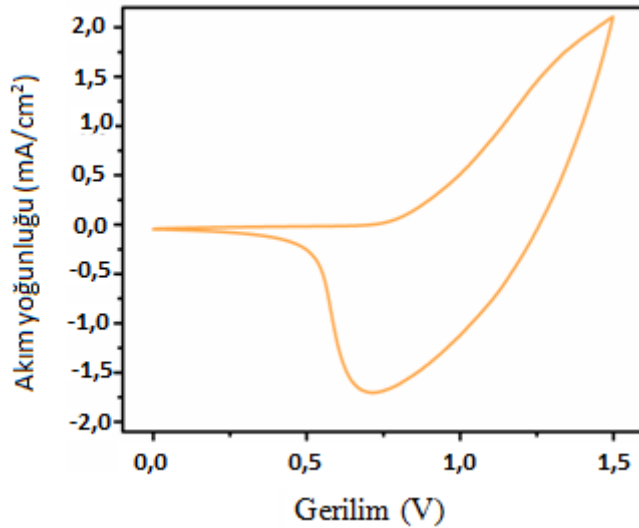
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada azobenzen ve kumarin alt birimlerini içeren tiyofen ile elde edilen kopolimerlerin (PT-co-K ve PT-co-A) sentezlenmesi, elektrokimyasal ve spektroeletrokimyasal karakterizasyonu, kinetik çalışmaları ve güneş pili uygulamaları anlatılmıştır. Bu polimerler kimyasal polimerizasyon teknikleriyle elde edilmiştir. Bu karakterizasyon işlemleri için CV, UV-VIS Spektrofotometre teknikleri kullanılmıştır. Sentezlenen bu kopolimerler elektrokromik malzemelerdir. Bu nedenle farklı gerilim değerlerindeki renk değişimleri incelenmiştir. Bu renk değişimlerindeki optik geçirgenlik ve tepki zamanı değerleri hesaplanmıştır. Sentezlenen kopolimerlerin güneş pili uygulamaları için verim değerini etkileyen parametrelerin çalışması yapılmıştır. En yüksek verimi veren koşullar %2 kloroform çözeltisinin kullanıldığı tavlama işleminin gerçekleştirildiği yöntemde yer almaktadır. Sentezlenen kopolimerler için ITO / PEDOT: PSS/Polimer (PT-co-K veya PT-co-A): PC<sub>60</sub>BM / LiF / Al şeklinde üretilen güneş pillerinin performansları karşılaştırılmıştır. Güneş pili ile ilgili yapılan ön çalışmalar detayları ile birlikte aşağıdaki grafik ve tablolarda gösterilmiştir, laboratuvarlarımızda verimliliği artırmak için çalışmalar devam etmektedir.

##### 4.1 Elektrokimyasal Çalışmalar

CV'nin tam olarak karşılığı siklik voltametri veya döngüsel voltametridir. CV moleküler türlerin indirgenme ve yükseltgenme süreçlerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan güçlü ve popüler bir elektrokimyasal tekniktir. Bu indirgenme ve yükseltgenme elektrolit çözeltisinde meydana gelmektedir. Bu teknikte potansiyel zamana bağlı olarak değişmektedir. Potansiyelin bu zaman ile değişimi tarama hızı olarak adlandırılır. Organik bileşikler CV'de kullanılırken, kimyasal maddelerin elektrotta çözünmesi sağlandıktan sonra elektrotlar çözeltiye yerleştirilir. CV'de kullanılan bu elektrotlar çalışma, referans ve karşıt elektrotlardır. Çalışma elektroduna zamana bağlı değişen bir gerilim uygulanır, referans elektrotta meydana gelen akım potansiyele bağlı olarak ölçülür. CV ayrıca bileşiklerin elektroaktivite özelliklerinin belirlenmesinde ve elektrotların yüzey kaplaması gibi birçok çalışmada tercih edilmektedir. Voltametrde dönüşüm referans ve çalışma elektrodu arasındaki potansiyel farkından gerçekleşmektedir. Karşıt elektrot CV uygulamalarında kullanılan en önemli elektrot çeşitlerinden birisidir.

Bu elektrodun görevi çözültide akımın devamlılığını sağlamaktır. Çalışma elektrodu bir diğer önemli elektrot çeşitidir. Yapımında kullanılan malzemelere örnek Pt, Ag, Au, Ni verilebilir. Bu elektrotta, elektrolitte çözünen maddenin yükseltgenme ve indirgenme basamakları gerçekleşmektedir. CV'nin temeli elektrotların karıştırılmamış bir çözelti içerisindeki potansiyeli taraması ve bu işlemin sonucunda akımın meydana gelmesidir. Tepkimelerin meydana gelebilmesi için potansiyellerin sınırlarının belirlenmesi önemli bir etkidir. Bu nedenle öncelikle taramaya belirlenen potansiyelden başlanır, indirgenme ve yükseltgenme bölgeleri seçilir. Voltametri bileşiklerin hem elektro-polimerizasyonu hem de elektroaktivite tayini için çok faydalı bir tekniktir. Ayrıca belirli sadeliği ve sayısız avantajı bu yöntemi farklı alanlarda uygulanabilir kılmaktadır. CV genellikle HOMO-LUMO enerji seviyelerinin ve redoks potansiyellerinin belirlenmesinde kullanılır. Yukarıda belirtilen yararları nedeniyle, her iki polimer (PT-co-K ve PT-co-A) için tüm elektrokimyasal özellikler  $100 \text{ mV s}^{-1}$  tarama hızında  $0,1 \text{ M TBAPF}_6 / \text{ACN}$  çözeltisinde CV ile belirlenmiştir. Bu polimerler için elde edilen akım yoğunluğu-gerilim grafikleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de sırasıyla PT-co-K ve PT-co-A için verilmiştir. Bu grafiklerden indirgenme ve yükseltgenme potansiyelleri, teğet değeri, HOMO ve LUMO değerleri elde edilmiştir. Bu değerler polimerlere özgü değerlerdir ve onların çalışma performansını etkiler.



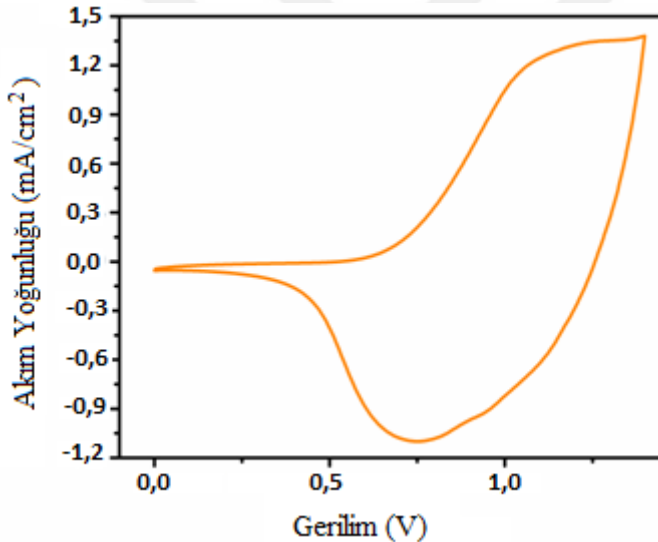
Şekil 4.1:  $100 \text{ mV s}^{-1}$  tarama hızında  $0,1 \text{ M TBAPF}_6 / \text{ACN}$  çözeltisinde ITO elektrodu üzerinde PT-co-K'nın tek tarama dönüşümlü voltammogramı

Şekil 4.1'de, PT-co-K için değişen potansiyele karşı elde edilen akım grafiğini gösteren dönüşümlü voltmetri grafiği verilmiştir. Bu grafik çizilirken tarama hızı  $100 \text{ mVs}^{-1}$  olarak ayarlanmıştır. Ayrıca elektrolit çözeltisi olarak  $0,1 \text{ M TBAPF}_6/\text{ACN}$  çözeltisi, elektrot

olarak ITO elektrodu kullanılmıştır. Uygulanan gerilim değerleri PT-co-K için 0,0–1,5V arasında değişmektedir. Bu polimer için CV diyagramından elde edilen yükseltgenme gerilimi 1,25/1,35V, indirgenme gerilimi ise 0,71V'dir. Bir diğer önemli parametre olan teğetdeğeri grafikte çizilen eğim ve sıfır çizgisinden elde edilir, bu değer 0,89V olarak bulunmuştur. İletken polimerler için karakteristik özellik olan HOMO ve LUMO enerji seviyeleri yine bu CV diyagramından elde edilmektedir. HOMO değeri hesaplanırken aşağıdaki denklem kullanılmıştır ve -5,64eV olarak hesaplanmıştır.

$$HOMO = -(4,75 + E_{(teget)})$$

Bu polimerler için iletkenliği etkileyen bant boşluğu ( $E_g$ ), HOMO ve LUMO enerji seviyeleri arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. PT-co-K için LUMO değerini -3,76eV olarak hesaplanmıştır. Tüm elektrokimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.2: 100 mV s<sup>-1</sup> tarama hızında 0,1 M TBAPF<sub>6</sub> / ACN çözeltisinde ITO elektrodu üzerinde PT-co-A'nın tek tarama dönüşümlü voltammogramı

Şekil 4.2'de PT-co-A için 0,0-1,5V aralığında değişen potansiyele karşı elde edilen akım grafiğini gösteren dönüşümlü voltmetri diyagramı verilmiştir. Bu grafik elde edilirken tarama hızı 100 mV s<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Bu polimer için kullanılan elektrolit çözeltisi ve elektrot PT-co-K polimeri ile aynıdır. CV grafiğinden elde edilen yükseltgenme gerilimleri 1,06/1,21V, indirgenme gerilimleri 0,75/0,95V'dir. Teğet değeri ise grafikteki eğim ve sıfır çizgisi kullanılarak elde edilir, değeri 0,72V'dir. Bu değer kullanılarak yukarıdaki formülden HOMO enerji seviyesi PT-co-A için -5,47eV olarak hesaplanmıştır. Bant boşluğu ve HOMO değerinden hesaplanan LUMO değeri ise -3,83 eV'dir.

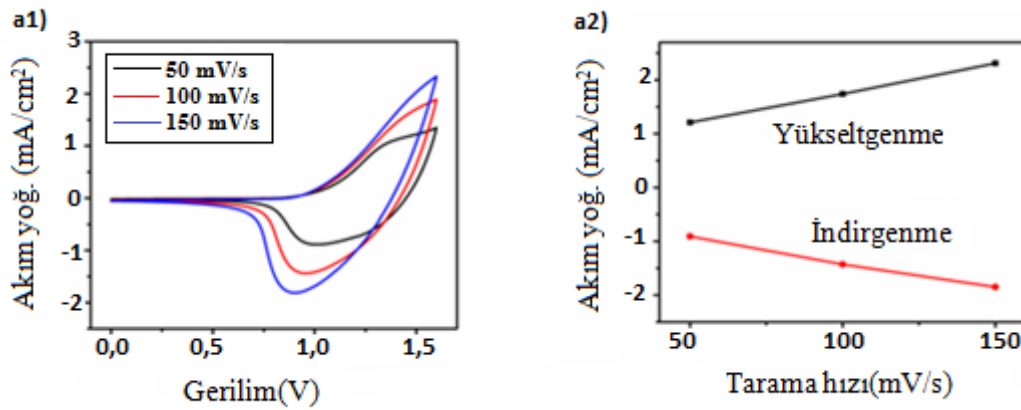


Sentezlenen bu polimerler için Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 kullanılarak hesaplanan elektrokimyasal parametreler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. PT-co-K ve PT-co-A için hesaplanan yükseltgenme potansiyellerinin birbirinden farklı olmasının sebebi sentezlenen polimerlerdeki redoks davranışında büyük bir öneme sahip olan polimer zincirindeki elektron yoğunluğunun farklı olmasıdır. PT-co-K için yükseltgenme potansiyeli PT-co-A için olan yükseltgenme potansiyelinden daha büyüktür. Ancak indirgenme potansiyeli için elde edilen sonuçlar PT-co-A için daha büyüktür. HOMO ve LUMO değerlerine bakıldığında ise PT-co-K polimeri için LUMO değerinin, PT-co-A için ise HOMO değerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1: PT-co-K ve PT-co-A için elektrokimyasal hesaplamaların sonuçları

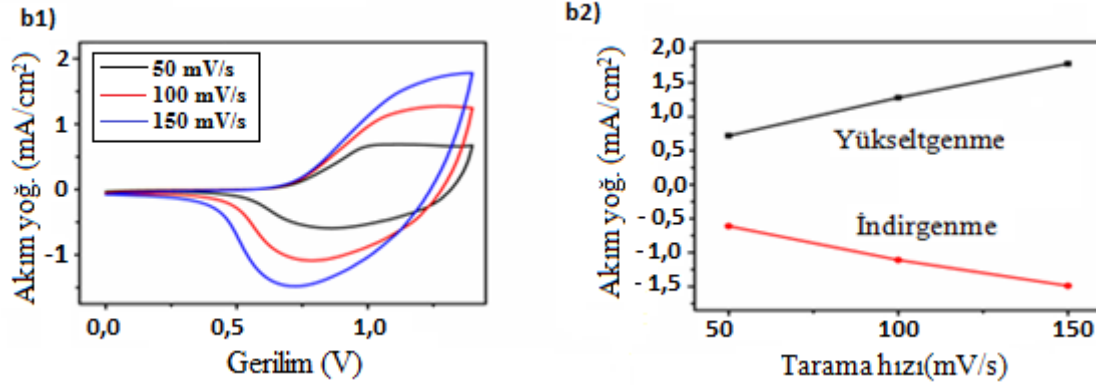
	$E_{p-yük.}$ (V)	$E_{p-ind.}$ (V)	$E_{teğet}$ (V)	HOMO (eV)	LUMO (eV)
<b>PT-co-K</b>	1,25/1,35	0,71	0,89	-5,64	-3,76
<b>PT-co-A</b>	1,06/1,21	0,75/0,95	0,72	-5,47	-3,83

CV diyagramlarından yukarıda hesaplanan elektrokimyasal özelliklerden akım ve gerilimin farklı tarama hızlarındaki ilişkisi yükseltgenme ve indirgenme için incelenmiştir. 50 mV/s, 100 mV/s ve 150 mV/s olacak şekilde üç farklı tarama hızı kullanılarak akım ve tarama hızı arasındaki ilişki incelenmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 sırasıyla PT-co-K ve PT-co-A için çizilen akım yoğunluğu-gerilim ve akım yoğunluğu-tarama hızı grafikleridir.



Şekil 4.3: PT-co-K Polimerinin 50 mV/s, 100 mV/s ve 150 mV/s’deki akım yoğunluğu-gerilim ve akım yoğunluğu-tarama hızı ilişkisi

Şekil 4.3'te elde edilen grafikler PT-co-K için elde edilmiştir. Akım yoğunluğu ve gerilim grafiğinde gerilim 0–1,5V aralığında uygulanmıştır, elde edilen akım yoğunlukları bu gerilimlerle birlikte grafiğe aktarılmıştır. Yükseltgenme ve indirgenme tepkimelerinde tarama hızı ile akım yoğunluğu arasında lineer ilişki bulunmaktadır. Bu ilişkiye göre, polimer filmlerin ITO elektrotuna iyice yapıştığı ve redoks işlemlerinin difüzyon ile kontrol edilemediği söylenebilir.



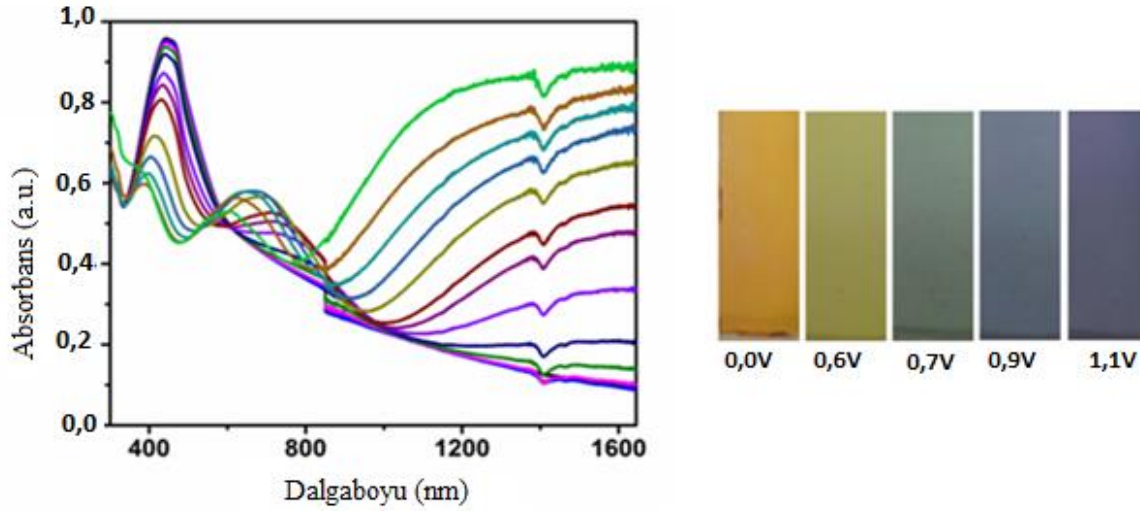
Şekil 4.4: PT-co-A Polimerinin 50 mV/s, 100 mV/s ve 150 mV/s'deki akım yoğunluğu-gerilim ve akım yoğunluğu-tarama hızı ilişkisi

Dönüşümlü voltmetri ile PT-co-A için Şekil 4.4'teki grafikler elde edilmiştir. Bu grafik elde edilirken gerilim 0–1,5V aralığında uygulanmıştır. Buna karşılık elde edilen akım yoğunlukları ölçülmüştür. Yükseltgenme ve indirgenme tepkimelerinde tarama hızı ile akım yoğunluğu arasında doğrusal ilişki bulunmaktadır.

## 4.2 Spektroelektrokimyasal Özellikler

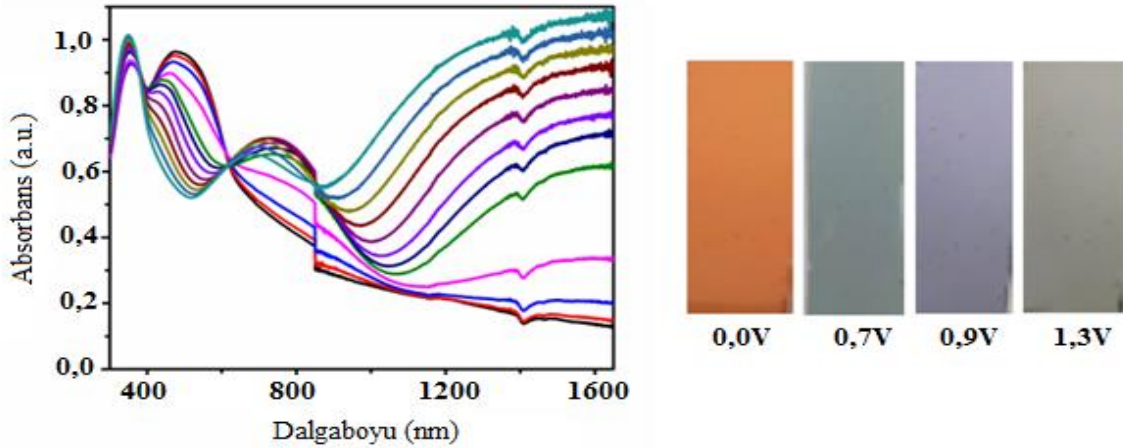
Spektroelektrokimyasal özelliklerin belirlenmesi için kimyasal yolla sentezlenmiş olan PT-co-K ve PT-co-A polimerleri kloroform çözeltisi ( $5 \text{ mg ml}^{-1}$ ) içerisinde çözünür ve ITO kaplı cam üzerine spreysel şekilde uygulanır. Bu çalışmalarda UV-VIS-NIR spektrofotometresi potansiyostat ile birlikte kullanılmıştır, gerilim değerleri 0,0-1,3V aralığında değişmektedir. Herhangi bir gerilim uygulanmadan önce her iki kopolimer için nötral durumdaki absorpsiyonları -0,3V olan sabit bir gerilimde elde edilir. İletken polimerler için önemli bir parametre olan optik bant boşluğu ( $E_g$ ) ve  $\lambda_{\text{maks}}$  değerleri spektroelektrokimyasal analizlerin sonucunda bulunmaktadır. Optik bant boşluğu ( $E_g$ ) değerleri, Planck sabiti, ışık hızı ve  $\lambda_{\text{maks}}^{\text{teğ}}$  arasındaki eşitlikten hesaplanılır.  $\lambda_{\text{maks}}^{\text{teğ}}$  değeri en yüksek absorpsiyon değerinden işaretlenen teğet çizgisinin absorpsiyon dalga boyu grafiğindeki dalga boyu eksenini kestiği değerdir.  $\lambda_{\text{maks}}$  değeri absorpsiyonun en yüksek değere sahip olduğu noktadaki dalga boyu değeridir. Bu dalga boyunda polimer  $\pi$ - $\pi$  \*

geçişine sahiptir. Ayrıca spektroeletrokimyasal analizlerle polimerlerin spektrumlarından elde edilen polaron ve bipolaron bölgeler incelenmiştir. Polaron ve bipolaron grupları polimerin birden fazla oksidasyon yaptığı durumda ortaya çıkan bantların oluşturduğu yük taşıyıcılarıdır. Her iki kopolimer için elde edilen absorbanans dalga boyu grafikleri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.5: PT-co-K için farklı dalgalarda UV-VIS-NIR spektrumu ve renkleri

Şekil 4.5, PT-co-K için elde edilen absorbanans dalgalarda grafiğini göstermektedir. En yüksek absorbanans değerinin gözlemlendiği  $\lambda_{maks}$  değerleri 440/465nm’dir. Bu noktadaki eğimden hesaplanan  $\lambda_{maks}^{teget}$  değeri 659nm’dir ve bu değer kullanılarak hesaplanılan optik bant boşluğu değeri 1,88eV’dir. Yukarıda hesaplanan LUMO değeri bu optik bant boşluğu değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Yük taşıyıcıların oluşturduğu polaron ve bipolaron bölgeleri sırasıyla 680nm ve 1600nm değerlerinde gözlemlenmektedir. Ayrıca katkılama işlemi sırasında PT-co-K kopolimeri için nötral ve oksitlenmiş durumları arasında gözlemlenen renk değişimleri portakal sarısı ve mavi renk aralığındadır. İlgili spektroeletrokimyasal sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.6: PT-co-A için farklı dalgalarda UV-VIS-NIR spektrumu ve renkleri

Şekil 4.6 PT-co-A için dalga boyuna karşı edilen absorban grafiğini göstermektedir. En yüksek absorban değerinin gözlemlendiği  $\lambda_{maks}$  değerleri 475/520nm'dir. Bu noktada çizilen eğimin dalga boyu eksenini kestiği noktadan bulunan  $\lambda_{maks}^{teget}$  değeri 754nm'dir. Bu değer kullanılarak plank sabiti ve ışık hızıyla hesaplanan optik bant boşluğu değeri 1,64eV olarak bulunmuştur. Polaron ve bipolaron bölgeleri ise sırasıyla 755nm ve 1625nm dalga boyundadır. Ayrıca katılama işlemi sırasında PT-co-A kopolimeri için nötral ve oksitlenmiş durumları arasında gözlemlenen renk değişimleri turuncu ve gri renk aralığındadır. Yukarıda bahsedilen tüm spektroeletrokimyasal özellikler Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: PT-co-K ve PT-co-A için spektroeletrokimyasal hesaplamaların sonuçları

	$\lambda_{maks} (nm)$	$\lambda_{maks}^{teget} (nm)$	$E_g^{op} (eV)$	<b>Polaron/Bipolaron</b>
<b>PT-co-K</b>	440/465	659	1,88	680/1600
<b>PT-co-A</b>	475/520	754	1,64	755/1625

Azobenzen ve kumarin alt birimleri ile sentezlenmiş tiyofen içeren alternatif kopolimerler,  $\lambda_{maks}$  ve  $E_g$  değerleri açısından Çizelge 4.2'de karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre PT-co-A kopolimerinin optik bant boşluğu PT-co-K polimerine göre daha düşük bant boşluğu değerine sahiptir.

Tiyofenden kimyasal yöntemlerle sentezlenmiş olan, azobenzen ve kumarin ile fonksiyonlaştırılmış kopolimerler PT-co-K ve PT-co-A optik davranışları, elektrokimyasal

ve spektroelektrokimyasal özellikler açısından karşılaştırılabilir. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi, azobenzen ile fonksiyonlaştırılmış PT-co-A, daha küçük oksidasyon potansiyeli ve daha düşük optik bant boşluğuna sahiptir. Bu nedenle PT-co-A için nötral halde başlangıç rengi kırmızıya daha yakındır. Oksidasyon potansiyelinin daha düşük değeri elektron yoğunluğunun daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca PT-co-A için HOMO değerinin daha yüksek olması bu kopolimerde boşluk transferinin daha iyi olduğunu göstermektedir. Polimerlerin HOMO, LUMO ve elektronik bant boşluk değerleri arasındaki farklar, esas olarak, yan grupların elektron yoğunluğundaki değişiklik ve elektron verme-alma özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Spektroelektrokimyasal analiz sırasında, her kopolimerin başlangıçtaki absorpsiyon yoğunluğu, kopolimerlerin aşamalı oksidasyonu sırasında azalır. Daha düşük optik bant boşluğuna sahip olan PT-co-A kopolimerinin  $\lambda_{maks}$  değeri daha büyüktür, bu durum polimerin daha geniş dalga boyu aralığında absorpsiyon yapabileceği anlamına gelmektedir.

### 4.3 Kolorimetrik Çalışmalar

Kimyasal yöntemlerle sentezlenmiş olan PT-co-K ve PT-co-A kopolimerleri için yüksüz, yükseltgenmiş ve ara renkleri tam olarak ifade edebilmek için kolorimetrik çalışmalar yapılmıştır. Uygulanan her potansiyele karşılık gelen renk grupları hem PT-co-K ve hem de PT-co-A kopolimerleri için kaydedilmiştir. Bu renklerin açıklamasında CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) kodları kullanıldı. Bu kodlama sistemine göre L rengin parlaklığı için, a kırmızı ve yeşil renkler arasındaki koordinatlar için, b sarı ve mavi renkler arasındaki koordinatlar için kullanılır. +b değerleri rengin sarı, -b değerleri rengin mavi olduğunu gösterir. Aynı şekilde +a değeri rengin kırmızı, -a değeri rengin yeşil olduğunu ifade etmek için kullanılır. Daha önce de belirtildiği gibi, PT-co-K yüksüz durumda portakal sarısı rengine sahiptir. CIE kodlama sistemine göre, b pozitif olarak işaretlenir ve karşılık gelen koordinattaki renk sarıdır. Uygulanan potansiyel daha sonra oksitlenmiş rengini maviye dönüştürür ve negatif b değerleri ile bu mavi renk doğrulanır. Ayrıca PT-co-A, yüksüz durumda turuncu renktedir. CIE kodlama sistemine göre, yüksek değerli ve pozitif işaretli a ve b değerleri başlangıç rengini doğrular. Uygulanan potansiyelden sonra, kopolimerin rengi oksitlenmiş durumda gri renge dönüşür. Her iki polimer için yüksüz ve yükseltgenmiş durumda parlaklık açısından önemli bir fark gözlemlenmedi. CIE kodlama sistemindeki sentezlenmiş polimerler için karşılık gelen L, a, b koordinatları Çizelge 4.3'te verilmektedir.

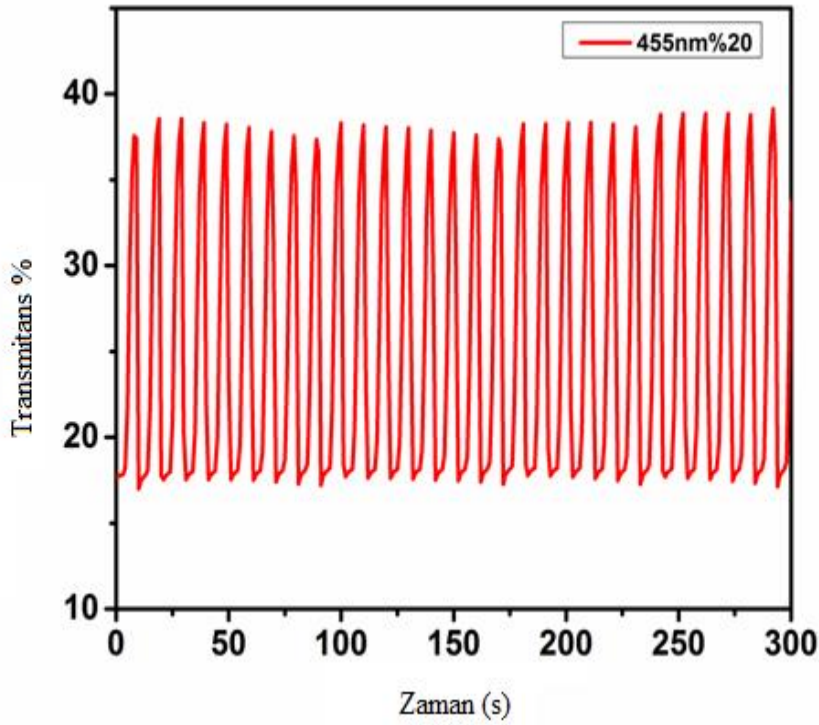
Çizelge 4.3: Kopolimerlerin (PT-co-K ve PT-co-A) uygulanan gerilimlere göre elde edilen kolorimetrik L, a, b değerleri

<i>Polimer</i>	<i>Uygulanan Gerilim (V)</i>	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
<i>PT-co-K</i>	0,0	68,64	17,32	60,97
	0,6	64,31	-6,77	38,43
	0,7	53,53	-10,23	3,56
	0,9	47,28	-1,73	-12,38
	1,1	41,07	4,95	-15,82
<i>PT-co-A</i>	0,0	66,66	40,70	53,24
	0,7	58,42	-6,88	-2,98
	0,9	61,07	4,27	-10,67
	1,3	67,47	0,95	5,13

#### 4.4 Elektrokromik Geçirgenlik ve Tepki Zamanı Çalışmaları

İletken polimerlerin elektrokromik uygulama alanlarında kullanılması durumunda nötral ve oksitlenmiş durumlar arasındaki renk değişimi gerçekleştiği zamanın kısa olması önemli bir parametredir. Bu nedenle sentezlenen iletken polimerlerin optik geçirgenlik ve tepkisüresi değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu değerlerin belirlenebilmesi için bazı kinetik çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar, 0,1 M TBAPF<sub>6</sub> / ACN' de 5 saniye aralıklarla polimer kaplı ITO camının kare dalga potansiyeline maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir. İki polimer içinde % geçirgenlik farklılıkları ve ayrıca iki durum arasında geçiş yapmak için gereken süre, spektrumların VIS ve NIR bölgelerinde incelenmiştir. Sonuç olarak yüzde geçirgenlik değişimine (%T) karşı zaman grafiği elde edilmiş ve tepki süreleri bu grafiğe göre hesaplanmıştır. Polimerin elektrokromik tepki zamanını belirleyebilmek için kare dalga yöntemi ve spektrofotometre birlikte kullanılmıştır. İlk olarak polimer ITO üzerine spreyle kaplandı ve daha sonra elektrokromik tepki zamanı çalışmalarını kaydetmek için katkılı ve indirgenmiş durumlar

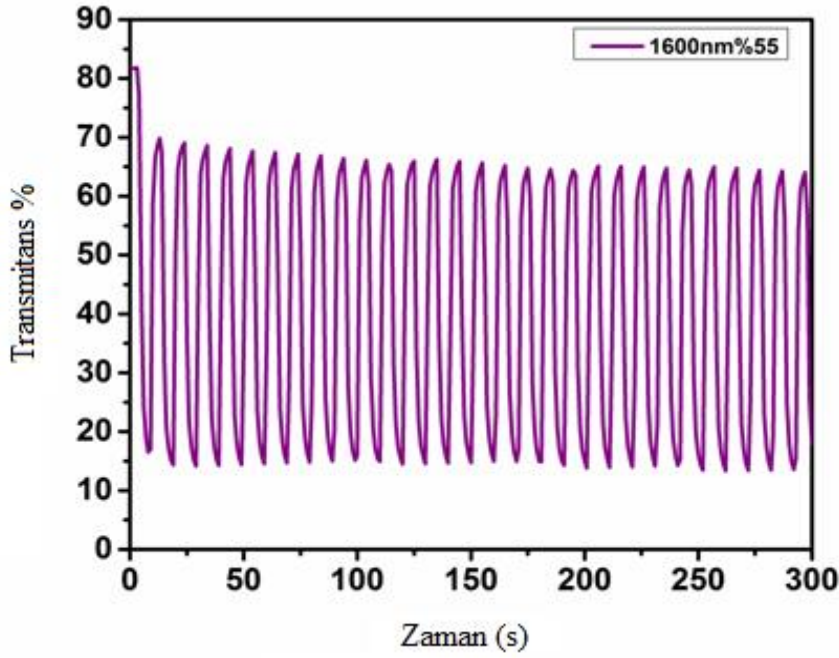
arasında potansiyeller uygulanmıştır. Elektrokromik materyalin anahtarlama süresi, iki uç durum arasında tam bir geçiş için gereken süredir. Diğer bir deyişle, bir malzemenin nötral ve yükseltgenmiş durumları arasındaki renk değişimi için gereken süre, malzemelerin bir geçiş süresi olarak tanımlanabilir. Optik geçirgenlik değeri ise iki renk arasındaki renk geçirgenliğindeki fark olarak tanımlanır. Elde edilen geçirgenlik ve zaman grafikleri farklı dalga boylarında kopolimer PT-co-K ve PT-co-A için Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.7: PT-co-K için 455 nm dalga boyunda % geçirgenlik değişimi grafiği

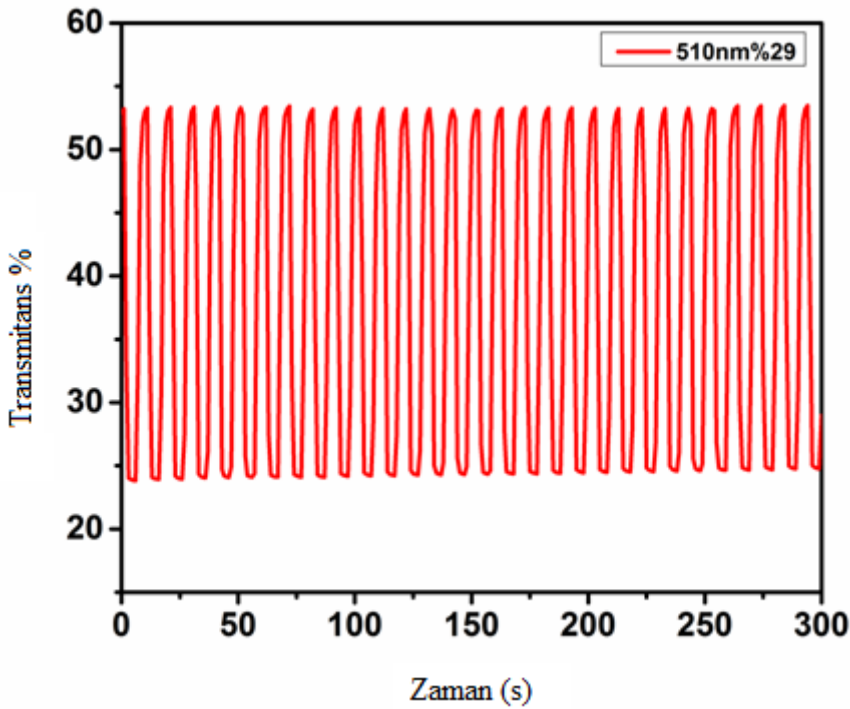
Şekil 4.7, kopolimer PT-co-K için 455nm dalga boyundaki geçirgenliğin zamanla değişimini göstermektedir. Optik geçirgenlik değeri, iki renk arasındaki geçirgenlik değeri farkıolarak tanımlanmaktadır. Bu grafiğe göre PT-co-K için 455nm dalga boyundaki optik geçirgenlik değeri %20'dir. Elektrokromik malzemeler için tepki zamanı süresi, iki uç durum arasında tam bir geçiş için gereken süredir. Bu grafiğe göre PT-co-K için 455nm dalga boyundaki tepki zamanı değeri yükseltgenme için 3,3s ve indirgenme için 1,9s'dir.





Şekil 4.8: PT-co-K için 1600 nm dalga boyunda % geçirgenlik değişimi grafiği

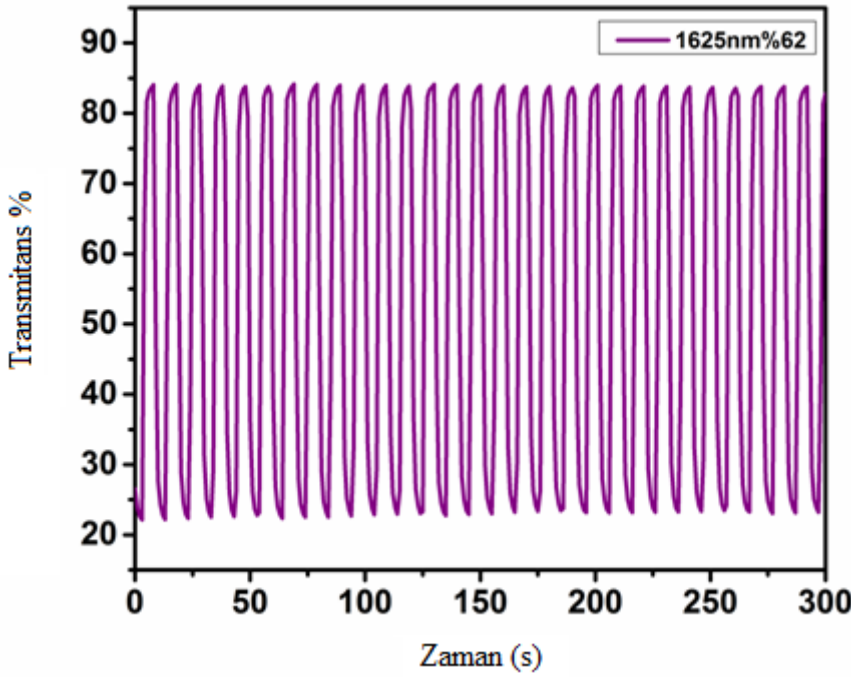
Şekil 4.8 kopolimer PT-co-K için 1600nm dalga boyundaki geçirgenliğin zamanla değişimini göstermektedir. Yukarıda tanımlanan ve elektrokromik malzeme için karakteristik bir değer olan optik geçirgenlik değeri, bu grafiğe göre PT-co-K için 1600nm dalga boyunda %55'dir. Nötr ve oksitlenmiş hal arasındaki renk değişimi için geçen süre tepki zamanı olarak tanımlanmaktadır. Bu grafiğe göre PT-co-K için 1600nm dalga boyundaki tepki süresi değeri yükseltgenme için 2,7s ve indirgenme için 2,8s'dir.



Şekil 4.9: PT-co-A için 510 nm dalga boyunda % geçirgenlik değişimi grafiği



Şekil 4.9 kopolimer PT-co-A için 510nm dalga boyundaki geçirgenliğin zamanla değişimini göstermektedir. Bu grafikte 0-300 saniye zaman aralığında % geçirgenlik değerindeki değişimler incelenmiştir ve grafiğe göre % geçirgenlik değerinin %24 ve %53 aralığında değiştiği söylenebilmektedir. Yukarıda tanımlanan optik geçirgenlik değeri, bu grafiğe göre PT-co-A için 510nm dalga boyunda %29'dur. Renk değişimi için ise 510nm dalga boyundaki tepki süresi değeri yükseltgenme için 2,0s ve indirgenme için 1,7s'dir.



Şekil 4.10: PT-co-A için 1625 nm dalga boyunda % geçirgenlik değişimi grafiği

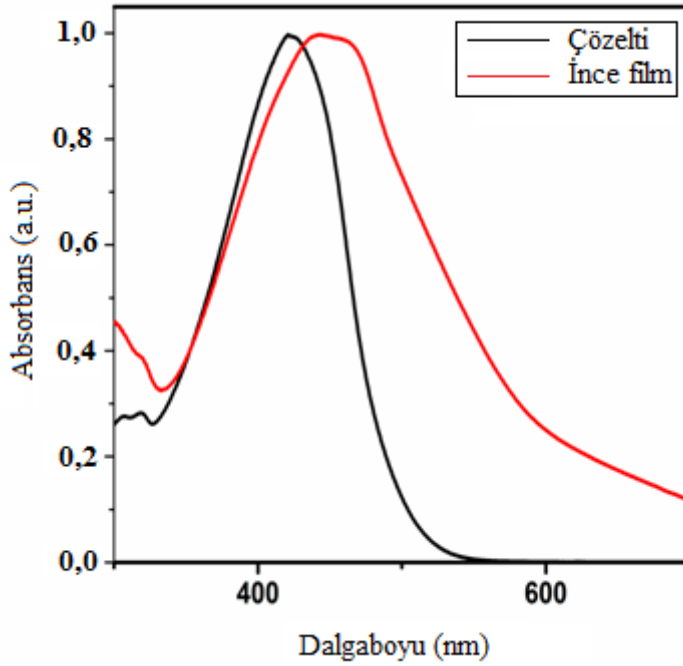
Şekil 4.10 kopolimer PT-co-A için 1625nm dalga boyundaki geçirgenliğin zamanla değişimini göstermektedir. Bu grafikte 0-300 saniye zaman aralığında % geçirgenlik değerindeki değişimler incelenmiştir ve grafiğe göre % geçirgenlik değerinin %20 ve %85 aralığında değiştiği söylenebilmektedir. Bu grafiğe göre optik geçirgenlik değeri, PT-co-A için 1625nm dalga boyunda %62'dir. Renk değişimi için ise 1625nm dalga boyundaki yükseltgenme için tepki süresi değeri 1,9s ve indirgenme için tepki süresi değeri 2,0s'dir. Kimyasal yöntemle sentezlenen kopolimer PT-co-K ve PT-co-A için yapılan kinetik çalışmaların sonuçları Çizelge 4.4'te gösterilmektedir. Her iki kopolimer için ikişer farklı dalga boyunda optik geçirgenlik ve tepki süresi değerleri ölçülmüştür. PT-co-K ve PT-co-A kopolimerleri için yüksek dalga boylarında elde edilen optik geçirgenlik ve tepki süresi (indirgenme) düşük dalga boyunda elde edilen sonuçlara göre daha yüksektir. Tepki süresi (yükseltgenme) için ise bu durum tam tersidir, düşük dalga boylarında daha yüksek

değerler elde edilmiştir. Elektrokromik geçirgenlik ve tepki süresi çalışmaları PT-co-A'nın PT-co-K'dan daha düşük tepki süresi ve daha yüksek optik geçirgenlik değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Optik geçirgenlik değerinin daha yüksek olması PT-co-A kopolimeri için renk değişiminin daha belirgin olmasını sağlamıştır. Tepki süreleri arasındaki fark iyileştirilmiş iyon difüzyonu ve polimere işlevsellik katmak için eklenen alt birimlerin artan uzunluğundan kaynaklanabilir. Elektrokimyasal, spektroeletrokimyasal ve kinetik sonuçlara göre, azobenzen ve kumarin alt birimleri ile bu tiyofen taşıyan alternatif kopolimerlerin elektrokromik cihazların ve organik güneş pillerinin yapımında ve geliştirilmesinde kullanılabileceğini söyleyebiliriz.

Çizelge 4.4: Polimerlerin kinetik çalışmalarının sonuçları

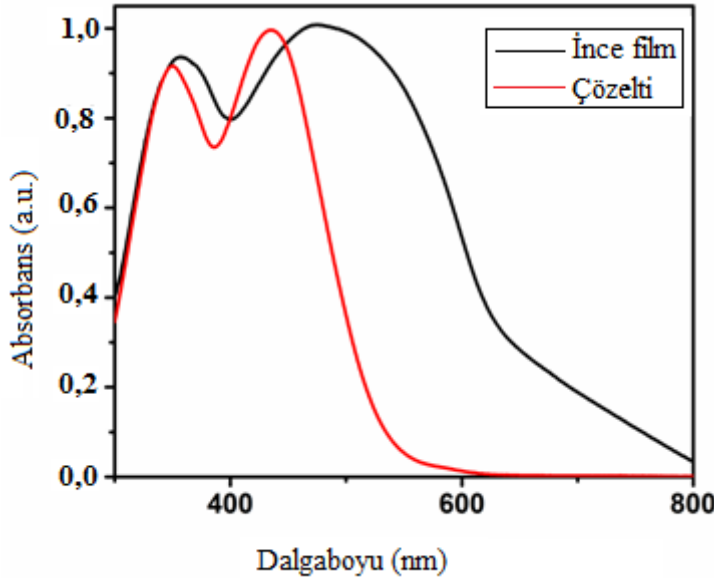
	<i>Dalgaboyu (nm)</i>	<i>Optik Geçirgenlik (T %)</i>	<i>Tepki Süresi Yükseltgenme (s)</i>	<i>Tepki Süresi İndirgenme (s)</i>
<i>PT-co-K</i>	455	20	3,3	1,9
	1600	55	2,7	2,8
<i>PT-co-A</i>	510	29	2	1,7
	1625	62	1,9	2

Ayrıca her iki polimerin hem çözelti içerisinde hem ince film formundaki absorban spektrumları incelenmiştir. Elde edilen absorban ve dalga boyu grafikleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de her iki kopolimer için çözelti ve ince film formunda gösterilmiştir. Her iki şekle bakıldığında ince film formunda en yüksek absorban değerlerinin elde edildiği dalga boyları çözelti formunda elde edilen dalga boylarından daha büyüktür. İnce film formundaki bu belirgin kayma çözücü-monomer etkileşimleri ve çözeltilerdekilere kıyasla ince film formunda daha belirgin olan birikme eğilimi ile açıklanabilir.



Şekil 4.11: PT-co-K için ince film ve çözeltideki polimerlerin absorban değerlerini gösteren grafik

Şekil 4.11 PT-co-K için 0-700nm dalgaboyu aralığında ölçülen absorban değerlerini göstermektedir. PT-co-K çözelti formunda en yüksek absorban değerine 420nm'de ulaşmaktadır, ince film formunda ise bu dalga boyu 450 nm'dir.



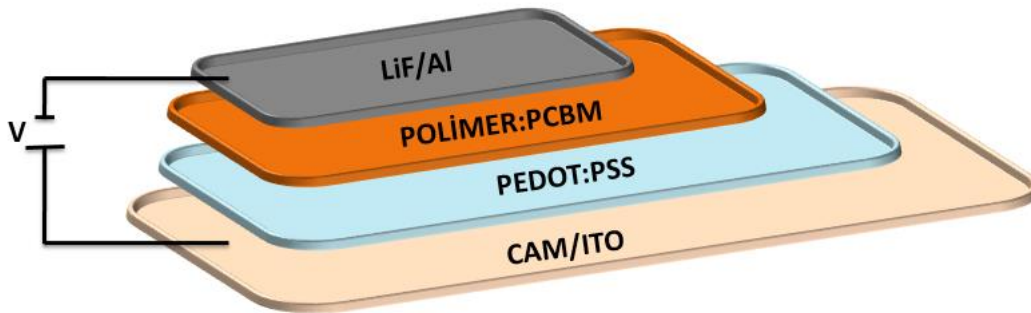
Şekil 4.12: PT-co-A için ince film ve çözeltideki polimerlerin absorban değerlerini gösteren grafik

Şekil 4.12 PT-co-A için 0-800nm dalgaboyu aralığında ölçülen absorban değerlerini göstermektedir. PT-co-A çözelti formunda en yüksek absorban değerine 350/440nm'de ulaşmaktadır, ince film formunda ise bu dalga boyu 360/490nm'dir.

#### 4.5 Fotovoltaik Özellikler

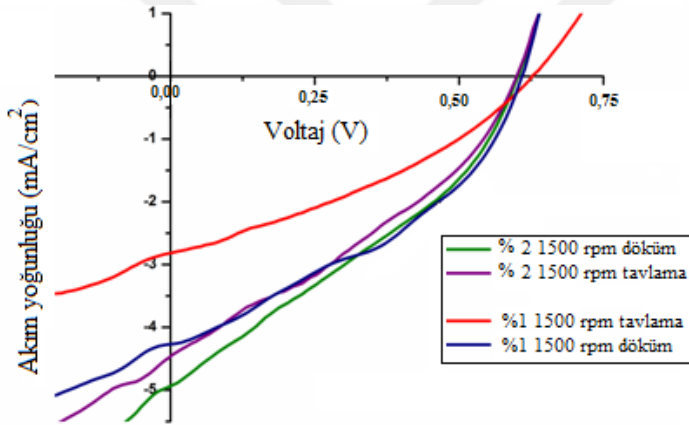
Yapılan tüm elektrokimyasal, spektroeletrokimyasal ve kinetik çalışmalar kimyasal yöntemle sentezlenmiş olan PT-co-K ve PT-co-A polimerlerinin güneş pili uygulamalarında kullanılabilir olduğunu doğrulamaktadır. Bu bölümde sentezlenen iletken polimerlerin kullanıldığı güneş pilinin yapılışı ve fotovoltaik özellikleri anlatılmıştır.

Organik güneş pilinin yapısı ITO / PEDOT:PSS / Polimer (PT-co-K veya PT-co-A):PC<sub>60</sub>BM / LiF / Al şeklindedir. Güneş pili yapımına başlamadan önce ITO elektrodu ultrasonik banyoda deterjan, deiyonize su ve izopropil alkol ile 15 dk boyunca temizlenir. Daha sonra oksijen plazma temizliği yapılır. PEDOT:PSS katmanı 0,45 µm boyutundaki filtreden süzülerek ITO elektrodu üstüne tavlama yöntemi ile kaplanır. PEDOT:PSS karışımı ile kaplanmış ITO sıcak bir yüzey üzerinde ısıtılır ve 135 °C de 15 dakika boyunca kurutulur. Polimer (PT-co-KveyaPT-co-A):PCBM karışımı bir gece öncesinden kloroform çözeltisi içinde hazırlanır ve karıştırılır. Daha sonra 0,2 µm PTFE filtreden süzülür ve PEDOT:PSS katmanının üstüne döndürmeli kaplama yöntemi ile kaplanır. Güneş pili yapımındaki son basamak ise aktif tabakanın üstüne vakum altında LiF ve Al metal tabakasının kaplanmasıdır. Bu aşamada kullanılacak olan LiF kalınlığı 0,6nm ve Al kalınlığı 100nm'dir. Elde edilen cihazın alt ve üst kontak katmanlarından cihazdaki gerilim ve akım değerleri ölçülür. Elde edilen akım ve gerilim değerlerinden karakteristik I-V grafikleri çizilir ve güneş pilinden elde edilen verim hesaplanır. Güneş pilinin yapımında elektron alıcı olarak kullanılan PCBM'nin türü PC<sub>60</sub>BM'dir. Pilin yapısında bulunan PEDOT:PSS katmanının görevi boşlukların transferini sağlamaktır ve genellikle boşluk transfer katmanı olarak adlandırılır. Bu cihaza ait şematik gösterim Şekil 4.13'te gösterilmektedir. PEDOT:PSS katmanı hem ITO elektrot yüzeyinin pürüzsüz olmasını sağlar hem de ITO'nun çalışma işlevini artırır.

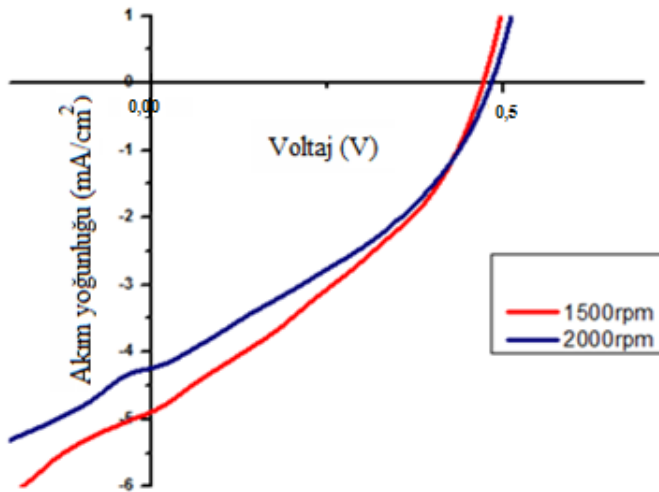


Şekil 4.13: Güneş pili hücresinin şematik gösterimi

Çözücü seçimi güneş pili yapımında oldukça önemli bir parametredir çünkü güneş pilinin performansını etkilemektedir. İstenen özelliklerde cihaz elde etmek için her iki kopolimer için uygun çözücü tercih edilmiştir. Çözelti seçiminde PT-co-A için en yüksek verim değerini elde etme çalışmaları %1 ve %2 kloroform çözeltileri ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre PT-co-A için %2'lik çözeltinin en iyi performansta olduğu gözlemlenmiştir, bu çözelti PT-co-K için de kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmalar yapılırken termal tavlama etkisi de incelenmiştir. Hazırlanan polimer ve PCBM karışımları ITO üzerine 1000 rpm ve 1500 rpm'de kaplanmıştır. Tavlama işlemi yapılarak güneş pilinin performansında tavlamanın etkisi incelenmiştir. PT-co-K ise PC<sub>60</sub>BM ile 1:1 oranında %2 kloroform çözeltisi kullanılarak ITO üzerine 1500 rpm ve 2000 rpm'de kaplanmıştır. En iyi sonuçların elde edildiği tavlama sıcaklığı ve süresi 60°C ve 5 dakika olarak belirlenmiştir. Güneş pillerinin I-V eğrileri Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te gösterilmektedir:



Şekil 4.14: %1 ve %2 kloroform çözeltisi içerisinde PT-co-A:PC<sub>60</sub>BM 1:1 oranında kullanıldığında elde edilen güneş pilinin fotovoltajik özellikleri



Şekil 4.15: %2 kloroform çözeltisi içerisinde PT-co-K:PC<sub>60</sub>BM 1:1 oranında kullanıldığında elde edilen güneş pilinin fotovoltajik özellikleri

Kimyasal yöntemlerle sentezlenen polimerlerin kullanıldığı güneş pillerinin farklı çalışmalar sonucunda elde edilen  $V_{AD}$ ,  $I_{KD}$ , FF ve verim değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmektedir.  $V_{AD}$  değeri, hücre boyunca ölçülen akım değerinin 0 olduğu hücre uçlarındaki açık devre gerilimidir.  $V_{AD}$  polimerlere özgül I-V grafiklerinde akımın 0 olduğu noktada ölçülen gerilim değeri olarak adlandırılır.  $I_{KD}$  değeri hücreden sıfır gerilim okunurken meydana gelen kısa devre akımıdır. Bu değer karakteristik I-V grafiklerinde gerilimin 0 olduğu noktada ölçülen akım değeridir. FF değeri, açık devre gerilimine ve kısa devre akımına bağlı olarak bir PV hücresinin maksimum çıkış gücünü tanımlamak için kullanılan bir değişkendir. I-V grafiğinde, akım ve gerilim eksenlerini kesen hatların maksimum gücün elde edildiği noktadan çizilmesiyle elde edilen  $I_m$  ve  $V_m$  değerlerinden hesaplanır.  $I_m$  değeri en yüksek gücün elde edildiği noktada akım eksenine dik çizilen noktanın değeridir,  $V_m$  değeri ise yine en yüksek gücün elde edildiği noktada gerilim eksenine dik çizilen noktanın değeridir. FF değeri,  $V_m$  ve  $I_m$  değerlerinin bulunması için eksenlere dik çizilmesiyle meydana gelen dikdörtgenin alanının  $V_{AD}$  ve  $I_{KD}$  değerlerinden eksenlere dik çizilen dikdörtgenin alanına oranı şeklinde ifade edilir.  $\eta$ , güneş pilinden elde edilen verimdir ve  $V_{AD}$ ,  $I_{KD}$ , FF değerlerinden hesaplanır. Optimizasyon çalışmasında önce PT-co-A:PC<sub>60</sub>BM 1:1 oranında kullanıldığında, hücrenin verimini etkileyen faktörler araştırılmıştır. Bu faktörler içerisinde çözelti yüzdesi, döküm ve tavlama etkisi incelenmiştir. Elde edilen karakteristik eğriler Şekil 4.14'te gösterilmiştir. PT-co-A polimeri için yapılan çalışmalar sonucunda en yüksek verim değeri çözeltinin %2 oranında kullanıldığı ve 1500 rpm'de tavlama işleminin gerçekleştirildiği çalışmadır. Bu değer  $V_{AD}$  değerinin 0,60V ve  $I_{KD}$  değerinin 4.98 mA/cm<sup>2</sup> olduğu noktada %0,96 olarak hesaplanılmıştır. Bu çalışma koşullarında PT-co-K için elde edilen değerler Şekil 4.15'teki karakteristik eğrilerden elde edilmiştir ve verim değeri %0,81 olarak hesaplanılmıştır. Bu verim değeri elde edilirken kullanılan  $V_{AD}$  değeri 0,47V ve  $I_{KD}$  değeri 4,92 mA/cm<sup>2</sup>'dir.

Çizelge 4.5: 1:1 oranında PT-co-K: PC<sub>60</sub>BM ve PT-co-A: PC<sub>60</sub>BM'ye dayalı güneş pillerinin fotovoltaik özellikleri

		V <sub>AD</sub> (V)	I <sub>KD</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	FF	η (%)
<b>PT-co-K</b>	%2 kloroform çözeltisi 1500 rpm	0,47	4,92	0,35	0,81
	%2 kloroform çözeltisi 2000 rpm	0,49	4,26	0,36	0,75
<b>PT-co-A</b>	% 1 kloroform çözeltisi 1500 rpm döküm	0,63	2,81	0,33	0,58
	% 1 kloroform çözeltisi 1500 rpm tavlama	0,61	4,29	0,33	0,63
	%2 kloroform çözeltisi 1500 rpm döküm	0,60	4,47	0,32	0,86
	%2 kloroform çözeltisi 1500 rpm tavlama	0,60	4,98	0,32	0,96

Kimyasal yöntemlerle sentezlenen PT-co-K ve PT-co-A polimerlerinin karakterizasyonu için elektrokimyasal, spektroeletrokimyasal, kinetik, kolorimetrik ve fotovoltaik çalışmalar yapılmıştır. Elektrokimyasal çalışmalar ile karakterizasyon için CV kullanılarak 0,0V ve 1,5V aralığında uygulanan gerilim için elde edilen akım yoğunluğu değerleri kaydedilmiştir. Polimerler için yükseltgenme gerilimi ve indirgenme gerilimi değerleri hesaplanmıştır. Elektron yoğunlukları farklı olduğu için hesaplanan bu sonuçlar birbirinden farklıdır. Örneğin; PT-co-A için yükseltgenme gerilimi, teğet değeri ve LUMO değeri, PT-co-K için hesaplanan değerlerden daha küçüktür. Elektrokimyasal çalışmalar kapsamında ayrıca polimerler için tarama hızı akım yoğunluğu ilişkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar her iki polimer için hem indirgenme hem yükseltgenme süreçlerinde tarama hızı ve akım yoğunluğu arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Spektroeletrokimyasal çalışmalar ile polimerlerin en yüksek absorpsiyon değerine sahip olduğu maksimum dalga boyları incelenmiştir. PT-co-A için maksimum dalga boyu değeri PT-co-K polimerinden daha büyüktür, bu sonuç PT-co-A polimerinin daha geniş dalga boyu aralığında absorpsiyon yapabildiğini göstermektedir. Spektroeletrokimyasal çalışmalar kapsamında ayrıca sentezlenen polimerlerin nötral ve oksitlenmiş haldeki renkleri incelenerek elektrokromik malzeme olduğu kanıtlanmıştır. PT-co-K polimeri nötr halde hardal sarısı rengine sahip iken oksitlenmiş halde mavi renktedir. PT-co-A polimeri

ise nötr halde turuncu renkte iken oksitlenmiş halde gri renktedir. Kolorimetrik çalışmalar kapsamında ise 0-1,1V arasında gerilim uygulayarak sentezlenen polimerlerin renk değişimleri incelenmiştir. Yukarıda da bahsedildiği gibi PT-co-K polimeri nötr ve yükseltgenmiş halde sırasıyla hardal sarısı ve mavi renktedir. Bu renkler arasında uygulanan gerilime bağlı olarak rengi yeşil ve gri arasında değişmektedir. PT-co-A polimeri ise nötr ve yükseltgenmiş halde turuncudan griye geçen bir değişimine sahiptir ve uygulanan gerilim değerine bağlı olarak rengi mavi ve mor arasında da değişmektedir. Kinetik çalışmalar kapsamında ise belli dalga boylarında polimerler için zamanla geçirgenlikteki değişim incelenmiştir. Bu geçirgenlik değişimine bağlı olarak polimerler için optik geçirgenlik ve tepki zamanı hesaplanmıştır. PT-co-A kopolimeri daha yüksek optik geçirgenlik ve daha düşük tepki zamanı değerine sahiptir. Bu sentezlenen polimer için renk değişiminin PT-co-K'ye göre daha belirgin ve hızlı olduğunu göstermektedir. Buraya kadar yapılan tüm çalışmaların sonuçları sentezlenen bu polimerlerin güneş pili uygulamalarında kullanılabileceğini kanıtlamaktadır. Bu polimerler ile Cam / ITO, PEDOT:PSS, Polimer:PC<sub>60</sub>BM, ve LiF / Al katmanlarını içeren güneş pilleri tasarlanmıştır. PT-co-A polimeri için kaplama hızı, çözelti oranı ve tavlama etkisini içeren optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. En yüksek verimin elde edildiği sonuçlar 1500 rpm dönüş hızında %2 kloroform çözeltisi kullanılarak tavlama işlemiyle elde edilmiştir. En iyi tavlama koşulları 60°C ve 5 dk olarak belirlenmiştir. Bu çalışma koşullarında PT-co-A polimeri ile elde edilen güneş pilinin verimi %0,96'dır. Aynı koşullarda PT-co-K polimeri kullanılarak sentezlenen güneş pilinin verimi ise %0,81'dir. Yapılan tüm bu çalışmaların sonucu PT-co-A'nın daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada organik güneş pilleri tasarımında kullanılmak üzere yeni, yapısında alıcı ve verici grup bulunduran iletken polimerlerin tasarlanması, sentezlenmesi ve birçok yöntemle karakterizasyonunun yapılması hedeflenmiştir. Bu amaçla azobenzen ve kumarin içeren işlevselleştirilmiş tiyofen türevi kopolimer PT-co-K ve PT-co-A organik güneş pili uygulamalarında kullanılmak üzere kimyasal polimerizasyon teknikleri kullanılarak tiyofen köprüsü ile tasarlanmış ve sentezlenmiştir. Bu polimerlerin sentezlenmesi için Stille birleştirme tepkimeleri kullanılmıştır. Polimerlerin karakterizasyon işlemleri elektrokimyasal, spektroeletrokimyasal, kinetik ve optik çalışmalar ile NMR, FTIR, element analizi, CV ve UV-VIS spektrofotometre teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu karakterizasyon çalışmalarının sonucunda sentezlenen bu polimerlerin fotovoltaik ve elektrokromik uygulamalar için uygun olduğunu kanıtlamıştır. Her iki kopolimer nötral halde turuncu renktedir ve optik bant boşluk değerleri PT-co-K ve PT-co-A için sırasıyla 1,88eV / 1,64eV olarak hesaplanmıştır. Bu polimerler multikromik davranış sergilediği için farklı potansiyeller uygulandığında renk değişiklikleri meydana gelir, PT-co-K'nin rengi maviye ve PT-co-A'nın rengi gri renge dönüşür. Kimyasal yöntemlerle sentezlenen PT-co-K ve PT-co-A polimerlerinin karakterizasyon işlemlerine elektrokimyasal çalışmalar ile başlanılmıştır. Elektrokimyasal çalışmalar ile karakterizasyon için CV kullanılarak 0,0V ve 1,5V aralığında uygulanan gerilim için elde edilen akım yoğunluğu değerleri kaydedilmiştir. Polimerler için yükseltgenme gerilimi, indirgenme gerilimi, teğetdeğeri, HOMO ve LUMO değerleri hesaplanılmıştır. Sentezlenen polimerlerin elektron yoğunlukları farklı olduğu için hesaplanan bu sonuçlar birbirinden farklıdır. PT-co-K polimeri için CV diyagramından elde edilen yükseltgenme gerilimi 1,25 / 1,35V ve indirgenme gerilimi ise 0,71V'dur. Bir diğer önemli parametre olan teğetdeğeri 0,89V olarak bulunmuştur. İletken polimerler için karakteristik özellik olan HOMO ve LUMO enerji seviyeleri ise sırasıyla -5,64eV ve -3,76eV olarak hesaplanmıştır. PT-co-A polimeri için yükseltgenme gerilimi 1,06/1,21V, indirgenme gerilimi 0,75 / 0,95V'dur. Teğet değeri ise 0,72V olarak bulunmuştur. HOMO ve LUMO enerji seviyeleri ise sırasıyla -5,47eV ve -3,83eV olarak hesaplanılmıştır. Elektrokimyasal çalışmalar kapsamında ayrıca polimerler için tarama hızı akım yoğunluğu ilişkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar her iki polimer için hem indirgenme hem yükseltgenme tepkimelerinde tarama hızı ve akım yoğunluğu arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Spektroeletrokimyasal çalışmalarda ise UV-VIS-NIR

spektrofotometresi potansiyostat ile birlikte kullanılmıştır, uygulanan gerilim değerleri 0,0 – 1,3V aralığında değişmektedir. İletken polimerler için önemli parametreler olan optik bant boşluğu ( $E_g$ ),  $\lambda_{maks}^{teget}$  ve  $\lambda_{maks}$  değerleri spektroeletrokimyasal analizlerin sonucunda bulunmaktadır. Ayrıca spektroeletrokimyasal analizlerle polimerlerin spektrumlarından elde edilen polaron ve bipolaron bölgeler incelenmiştir. Polaron ve bipolaron grupları polimerin birden fazla oksidasyon yaptığı durumda ortaya çıkan bantların oluşturduğu yük taşıyıcılarıdır. Polimer PT-co-K için maksimum absorbansın gözlemlendiği  $\lambda_{maks}$  değeri 440/465nm'dir. Bu noktadaki eğimden hesaplanan  $\lambda_{maks}^{teget}$  değeri 659nm'dir ve bu değer kullanılarak hesaplanan optik bant boşluğu değeri 1,88eV'dir. Ayrıca polaron ve bipolaron bölgeleri sırasıyla 680nm ve 1600nm değerlerinde gözlemlenmektedir. PT-co-A polimeri için ise  $\lambda_{maks}$  değeri 475/520 nm'dir. Bu noktada  $\lambda_{maks}^{teget}$  değeri 754nm ve optik bant boşluğu değeri 1,64eV olarak bulunmuştur. Polaron ve bipolaron bölgeleri ise sırasıyla 755nm ve 1625nm dalga boyundadır.  $\lambda_{maks}$  değeri PT-co-A polimeri için PT-co-K polimerinden daha büyüktür, bu sonuç PT-co-A polimerinin daha geniş dalga boyu aralığında absorpsiyon yapabildiğini göstermektedir. Spektroeletrokimyasal çalışmalar kapsamında ayrıca sentezlenen polimerlerin nötr ve oksitlenmiş haldeki renkleri incelenerek elektrokromik malzeme olduğu kanıtlanmıştır. Sentezlenen polimerlerin özelliklerinin belirlenmesi için yapılan kalorimetrik çalışmalar kapsamında ise polimerlere 0-1,1V arasında gerilim uygulanarak renk değişimleri incelenmiştir. PT-co-K nötr ve yükseltgenmiş halde sırasıyla hardal sarısı ve mavi renktedir. Uygulanan gerilime bağlı renk değişimi ise yeşil ve gri arasındadır. PT-co-A polimeri ise nötr ve yükseltgenmiş halde turuncudan griye geçen bir renk değişimine sahiptir. Uygulanan gerilim değerine bağlı olarak renk değişimi ise mavi ve mor arasındadır. Bir diğer karakterizasyon yöntemi olan kinetik çalışmalarda ise belli dalga boylarında polimerler için zamanla geçirgenlikteki değişim, optik geçirgenlik ve tepki zamanı hesaplanmıştır. Polimer PT-co-K için 455nm ve 1600nm dalga boylarındaki optik geçirgenlik değeri sırasıyla %20 ve %55'tir. Bir diğer önemli parametre olan tepki süresi 455nm ve 1600nm dalga boylarında yükseltgenme için sırasıyla 3,3s ve 2,7s indirgenme için 1,9s ve 2,8s'dir. PT-co-A polimeri için ise 510nm ve 1625nm dalga boylarındaki optik geçirgenlik değeri sırasıyla %29 ve %62'dir. Tepki süresi 510nm ve 1625nm dalga boylarında yükseltgenme için sırasıyla 2,0s ve 1,9s indirgenme için ise 1,7s ve 2,0s'dir. Bu sonuçlardan PT-co-A kopolimerinin daha yüksek optik geçirgenlik ve daha düşük tepki zamanı değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar PT-co-A için renk değişiminin PT-co-K'ye göre daha belirgin ve hızlı olduğunu göstermektedir. Buraya kadar yapılan tüm karakterizasyon çalışmalarının sonuçları

sentezlenen bu polimerlerin güneş pili uygulamalarında kullanılabileceğini ve elektrokromik özelliklerini kanıtlamaktadır. Son olarak sentezlenen bu polimerlerin güneş pili uygulamaları incelenmek istenmiştir bu nedenle bu polimerler ile Cam/ITO, PEDOT:PSS, Polimer:PC<sub>60</sub>BM, ve LiF/Al katmanlarını içeren güneş pilleri dizayn edilmiştir. İlk olarak PT-co-A polimeri için kaplama hızı, çözelti oranı ve tavlama etkisini içeren çalışmalar ele alınmıştır. En iyi tavlama koşulları 60°C ve 5 dk olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada en yüksek verimin elde edildiği sonuçlar 1500 rpm dönüş hızında %2 kloroform çözeltisi kullanılarak tavlama işlemi yapıldığında elde edilmiştir. Bu koşullar altında hesaplanan güneş pilinin verimi %0,96'dır. Aynı koşullarda PT-co-K polimeri ile tasarlanan güneş pilinin verimi ise %0,81'dir. Yapılan tüm bu çalışmaların sonucu PT-co-A'nın daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Elde edilen bu verim değerlerinin artırılması için yapılan çalışmalarımız laboratuvarımızda devam etmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Fan, Q. (2016). A new polythiophene derivative for high efficiency polymer solar cells with pce over 9%. *Advanced Energy Materials*, 6(14), 160-430.
2. Azeri, Ö., Aktaş, E., Istanbuluoğlu, C., Hacıoğlu, S. O., Cevher, S. C., Toppare, L., Cirpan, A. (2017). Efficient benzodithiophene and thienopyrroledione containing random polymers as components for organic solar cells. *Polymer*, 133, 60–67.
3. Chaudhary, A. (2019). Polythiophene–PCBM-based all-organic electrochromic device: fast and flexible. *ACS Applied Electronic Materials*, 1(1), 58-63.
4. Zhang, Y., Liu, X., Wang, M., Liu, X., Zhao, J. (2016). Low band gap donor–acceptor type polymers containing 2,3-bis(4-(decyloxy)phenyl)pyrido[4,3-b]pyrazine as acceptor and different thiophene derivatives as donors. *Polymers*, 8(10), 377.
5. Koohi-Fayegh, S., Rosen, M. A. (2020). A review of energy storage types, applications and recent developments. *Journal of Energy Storage*, 27, 1-23.
6. Jurasz, J. (2020). A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. *Solar Energy*, 195, 703–724.
7. Akintande, O. J. (2020). Modeling the determinants of renewable energy consumption: Evidence from the five most populous nations in Africa. *Energy*, 206, 1-23.
8. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. URL: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>. Son Erişim Tarihi: 23.03.2020.
9. Stolarski, M. J.(2020). Energy consumption and heating costs for a detached house over a 12-year period – Renewable fuels versus fossil fuels. *Energy*, 1-51.
10. Martins, F., Felgueiras, C., Smitkova, M. (2018). Fossil fuel energy consumption in European countries. *Energy Procedia*, 153, 107–111.
11. Baiardi, D. (2020). Do sustainable energy policies matter for reducing air pollution? *Energy Policy*, 140, 1-12.
12. Basaran, S. T., Dogru, A. O., Balcik, F. B., Ulugtekin, N. N., Goksel, C., Sozen, S. (2015). Assessment of renewable energy potential and policy in Turkey – Toward the acquisition period in European Union. *Environmental Science & Policy*, 46, 82–94.
13. Adams, S., Klobodu, E. K. M., Apio, A. (2018). Renewable and non-renewable energy, regime type and economic growth. *Renewable Energy*, 125, 755–767.
14. Clausen, L. T., Rudolph, D. (2020). Renewable energy for sustainable rural development: Synergies and mismatches. *Energy Policy*, 138, 1-10.
15. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. URL: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>. Son Erişim Tarihi: 24.03.2020.

16. Kuik, O., Branger, F., Quirion, P. (2019). Competitive advantage in the renewable energy industry: Evidence from a gravity model. *Renewable Energy*, 131, 472–481.
17. Dogaru, L. (2020). The main goals of the fourth industrial revolution -renewable energy perspectives. *Procedia Manufacturing*, 46, 397–401.
18. Adıgüzel, F. (2002). Türkiyede enerji sektöründe hidroelektrik enerjinin önemi. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 420-421-422, 4-6.
19. Şekkeli, M., Keçecioglu, Ö. F. (2011). Hidroelektrik santrallerinin Türkiye'deki gelişimi ve Kahramanmaraş bölgesi örnek çalışması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2), 19-26.
20. Dağhan, M. M. (2018). Hidroelektrik enerji üretimi için baraj yeri seçiminde coğrafi bilgi sistemlerinin (cbs) kullanılması ve uygulamaları (seydisuyu havzası). Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik.
21. Grubert, E. (2020). Conventional hydroelectricity and the future of energy: Linking national inventory of dams and energy information administration data to facilitate analysis of hydroelectricity. *The Electricity Journal*, 33(1), 1-5.
22. Nunes, R., Causer, T. P., Ciolkosz, D. (2020). Biomass for energy: A review on supply chain management models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 1-8.
23. Avcioğlu, A. O., Dayıoğlu, M. A., Türker, U. (2019). Assessment of the energy potential of agricultural biomass residues in Turkey. *Renewable Energy*, 138, 610-619.
24. Gokcol, C., Dursun, B., Alboyaci, B., Sunan, E. (2009). Importance of biomass energy as alternative to other sources in Turkey. *Energy Policy*, 37(2), 424–431.
25. Lee, M., Lin, Y.L., Chiueh, P.T., Den, W. (2019). Environmental and energy assessment of biomass residues to biochar as fuel: A brief review with recommendations for future bioenergy systems. *Journal of Cleaner Production*, 251, 1-46.
26. Toklu, E. (2017). Biomass energy potential and utilization in Turkey. *Renewable Energy*, 107, 235–244.
27. Ozturk, (2017). Biomass and bioenergy: An overview of the development potential in Turkey and Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1285–1302
28. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. URL: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle>. Son Erişim Tarihi: 30.03.2020.
29. Rincon, L. (2019). The contribution of sustainable bioenergy to renewable electricity generation in Turkey: Evidence based policy from an integrated energy and agriculture approach. *Energy Policy*, 130, 69–88.
30. Saraçoğlu, S. (2017). Yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyokütle üretiminin

dünyada ve Türkiye’de durumu. *Fiscaoeconomia*, 1(3), 126-155.

31. Sheng, W. (2019). Wave energy conversion and hydrodynamics modelling technologies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 482–498.
32. Mustapa, M. A. (2017). Wave energy device and breakwater integration: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 43–58.
33. Falcao, A. F. (2018). Self-rectifying air turbines for wave energy conversion: A comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 1231–1241.
34. Ozdamar, A. (2004). Investigation of the potential of wind–waves as a renewable energy resource: by the example of Cesme—Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(6), 581–592.
35. Kamranzad, B., Hadadpour, S. (2020). A multi-criteria approach for selection of wave energy converter/location. *Energy*, 204,1-43.
36. Wang, L., Isberg, J., Tedeschi, E. (2018). Review of control strategies for wave energy conversion systems and their validation: the wave-to-wire approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 366-379.
37. Baxter, J., Walker, C., Ellis, G., Devine-Wright, P., Adams, M., Fullerton, R. S. (2020). Scale, history and justice in community wind energy: An empirical review. *Energy Research & Social Science*, 68, 1-18.
38. Kaya, K., Şenel, M., Koç, E. (2017) Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi. *Technological Applied Sciences*, 13, 219-234.
39. Tagliapietra, S. (2019). Estimating the cost of capital for wind energy investments in Turkey. *Energy Policy*, 131, 295–301.
40. Argin, M. (2019). Exploring the offshore wind energy potential of Turkey based on multi-criteria site selection. *Energy Strategy Reviews*, 23, 33–46.
41. Chaurasiya, P. K. (2019). Wind energy development and policy in India: A review. *Energy Strategy Reviews*, 24, 342–357.
42. Nazir, S. (2019). Environmental impact and pollution-related challenges of renewable wind energy paradigm A review. *Sci. of The Total Environment*, 683, 436-444.
43. İnternet: Anadolu Ajansı. URL: <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/turkiyenin-ruzgar-enerjisinde-kurulu-gucu-8-bin-megavati-asti/1779956>. Son Erişim Tarihi: 20.06.2020.
44. Martin, A. (2020). Users in the design of hydrogen energy systems: a systematic review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 11889-11900.
45. Nikolaidis, P., Poullikkas, A. (2017). A comparative overview of hydrogen production processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 597.

46. Dawood, F., Anda, M., Shafiullah, G. M. (2020). Hydrogen production for energy: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 3847-3869.
47. Parra, D., Valverde, L., Pino, F. J., Patel, M. K. (2019). A review on the role, cost and value of hydrogen energy systems for deep decarbonisation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 279-294.
48. Melikoglu, M. (2017). Geothermal energy in Turkey and around the World: A review of the literature and an analysis based on Turkey's Vision 2023 energy targets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 485-492.
49. Ozcan, M. (2018). The role of renewables in increasing Turkey's self-sufficiency in electrical energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2629-2639.
50. Olabi, A. G. (2019). Geothermal based hybrid energy systems, toward eco-friendly energy approaches. *Renewable Energy*, 147, 2003-2012.
51. Hou, J., Cao, M., Liu, P. (2018). Development and utilization of geothermal energy in China: Current practices and future strategies. *Renewable Energy*, 125, 401-412.
52. Abdulagatov, I. M. (2020). Measurements of the density, speed of sound, viscosity and derived key thermodynamic properties of geothermal waters from East Turkey. *Geothermics*, 88, 101884-101894.
53. Geçen, R. (2019). Hatay ilinde güneş enerjisi potansiyeli ve güneş enerjisi santrali kurulacak alanlarının belirlenmesi. *Social Sciences*, 14 (6), 3031-3054.
54. Zhang, Y. (2018). Application of solar energy in water treatment processes: A review. *Desalination*, 428, 116-145.
55. Fakhriddin, A., Jakhongir, T. (2019). The importance of alternative solar energy sources and the advantages and disadvantages of using solar panels in this process. *American Journal of Software Engineering and Applications*, 8(1), 32-35.
56. Modi, A. (2017). A review of solar energy based heat and power generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1047-1064.
57. Kannan, N., Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: -A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1092-1105.
58. Kabir, E. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 894-900.
59. Nayak, P. (2019). Photovoltaic solar cell technologies: analysing the state of the art. *Nature Reviews Materials*, 4, 69-285.
60. Çetin, M., Eğrican, N. (2011). Employment impacts of solar energy in Turkey. *Energy Policy*, 39 (11), 7184-7190.

61. İnternet: Güneş Sistemleri. URL: <http://www.guinessistemleri.com/tarihsel.php>. Son Erişim Tarihi:01.02.2020.
62. Karamanav, M. (2007). Güneş enerjisi ve güneş pilleri. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
63. Zhang, Y. (2019). Solar energy potential assessment: A framework to integrate geographic, technological, and economic indices for a potential analysis. *Renewable Energy*, 149, 577-586
64. İnternet: Teknoloji projeleri, Yalıtkan, İletken ve Yarı İletken Kavramları Nedir? URL: <https://teknolojiprojeleri.com/elektronik/yalitkan-iletken-ve-yari-iletken-kavramlari-nedir>. Son Erişim Tarihi: 03.05.2020.
65. Sezer, Z. (2019). NÜRDAM tarafından üretilen fotovoltaik modüllerin tek ve çift diyot eşdeğer devre modellerinin incelenmesi. *Academic Perspective Procedia*, 2(3), 1089-1099.
66. Kaur, H. (2020). Electrical characteristics analysis of PIN detector with different doping concentration levels of N and P-type materials. *Materials Today: Proceedings*, 1-8.
67. Liu, H., Zhang, X. (2017). Theory of controlling band-width broadening in terahertz sideband generation in semiconductors by a direct current electric field. *Optics Communications*, 387, 37-42.
68. Bradlyn, B. (2017). Topological quantum chemistry. *Nature*, 547 (7663), 298-305.
69. Bradley, D. (2014). Fusion reactions for improved solar cells. *Materials Today*, 17(8), 367-368.
70. Yılmaz, İ. H. (2018). Residential use of solar water heating in Turkey: A novel thermo-economic optimization for energy savings, cost benefit and ecology. *Journal of Cleaner Production*, 204, 511-524.
71. Guechi, A. (2013). Air mass effect on the performance of organic solar cells. *Energy Procedia*, 36, 714-721.
72. Bonanno, A. (2002). The age of the Sun and the relativistic corrections in the EOS. *Astronomy and Astrophysics*. 390, 1115-1118.
73. Zhang, J. (2020). Critical review of recent progress of flexible perovskite solar cells. *Materials Today*, 1-23.
74. Ajayan, J. (2020). A review of photovoltaic performance of organic/inorganic solar cells for future renewable and sustainable energy technologies. *Superlattices and Microstructures*, 143, 106549-106602.
75. Ozcan, O., Ersoz, F. (2019). Project and cost-based evaluation of solar energy performance in three different geographical regions of Turkey: Investment analysis



application. *Engineering Science and Technology*, 22, 1098-1106.

76. Jeong, S. (2020). Characterizing the efficiency of perovskite solar cells and light-emitting diodes. *Joule*, 4, 1206-1235.

77. Sio, H. C. (2019). The electrical properties of high performance multi crystalline silicon and mono-like silicon: Material limitations and cell potential. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 201, 110059-110069.

78. Moon, M. M. A., Rahman, M. F., Hossain, J., Ismail, A. B. M. (2019). Comparative study of the second generation a-Si:H, CdTe, and CIGS thin-film solar cells. *Advanced Materials Research*, 1154, 102–111.

79. Rudra, S. (2019). Review on Simulation of Current-Voltage Characteristics of Dye-sensitized Solar Cells. *Journal of Industrial and Engineering*, 80, 516-526.

80. Qiu, Z., Hammer, B. A. G., Müllen, K. (2019). Conjugated Polymers – Problems and Promises. *Progress in Polymer Science*, 100, 101179-101218.

81. Khim, D., Ryu, G. S., Park, W. T., Kim, H., Lee, M., Noh, Y.Y. (2016). Chemical sensors: precisely controlled ultrathin conjugated polymer films for large area transparent transistors and highly sensitive chemical sensors. *Advanced Materials*, 28(14), 2844–2844.

82. Zuo, G., Liu, X., Fahlman, M., Kemerink, M. (2018). Morphology determines conductivity and seebeck coefficient in conjugated polymer blends. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10(11), 9638–9644.

83. Zhang, J. (2017). Organic donor–acceptor complexes as novel organic semiconductors. *Accounts of Chemical Research*, 50(7), 1654–1662.

84. Carbas, B. B., Kivrak, A., Kavak, E. (2017). Electrosynthesis of a new indole based donor-acceptor-donor type polymer and investigation of its electrochromic properties. *Materials Chemistry and Physics*, 188, 68–74.

85. Pourjafari, D. (2014). Structural and optoelectrical comparison between chemical and electrochemical synthesized Poly (3-Hexylthiophene). *Soft Materials*, 12 (4), 380–386.

86. Saikrithika, S. (2020). Electrochemical polymerization of high redox active poly(para-chloroaniline) on graphitized mesoporous carbon surface. *Electrochimica Acta*, 349, 136376- 136390.

87. Liu, C. (2017). Electrochemical route to fabricate porous organic polymers film and its application for polymer solar cells. *Dyes and Pigments*, 142, 132–138.

88. Waware, U. S. (2017). Synthesis and characterization of Polyaniline, Poly(3-fluoroaniline), and Poly(aniline-co-3-fluoroaniline) derivatives obtained by chemical oxidative polymerization methods. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 57(10), 1015–1025.

89. Abu-Thabit, N. Y. (2016). Chemical oxidative polymerization of Polyaniline: a practical approach for preparation of smart conductive textiles. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1606–1611.
90. Zheng, E. (2019). Chemical polymerization of Methylhydroxyl and Methylchloride functionalized PEDOT:PSS. *ACS Applied Polymer Materials*, 1, 3103–3114.
91. Raj, M. R. (2017). A comparative study on the thermal- and microwave-assisted Stille coupling polymerization of a benzodithiophene-based donor–acceptor polymer (PTB7). *Journal of Materials Chemistry A*, 1(3), 1-7.
92. Baran, T. (2017). Practical, economical, and eco-friendly starch-supported palladium catalyst for Suzuki coupling reactions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 496, 446–455.
93. Kim, J. (2016). Conductive polymers for next-generation energy storage systems: recent progress and new functions. *Materials Horizons*, 3(6), 517–535.
94. Çınar, M. (2012). Bazı azobenzen türevlerinin spektroskopik ve lineer olmayan optik özelliklerinin incelenmesi. Yayınlanmış Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
95. Jadoun, S., Riaz, U. (2020). Conjugated polymer light-emitting diodes. *Polymers for Light-Emitting Devices and Displays*, 4, 77–98.
96. Hou, W. (2019). The applications of polymers in solar cells: a review. *Polymers*, 11(1), 143-189.
97. Guerchouche, K. (2017). Conductive polymer based antenna for wireless green sensors applications. *Microelectronic Engineering*, 182, 46–52.
98. Shi, Y., (2020). Electrochromism of substituted phthalate derivatives and outstanding performance of corresponding multicolor electrochromic devices. *Electrochimica Acta*, 341, 136023-136030.
99. Deb, S. K. (1969). A novel electrophotographic system. *Applied Optics*, 8(S1), 192-195.
100. Trong, L. (2016). Preparation and characterization of  $\text{La}_{0.67-x}\text{Li}_x\text{TiO}_3$  solid-state electrolyte used for electrochromic mirrors. *Mater. Sci. Appl.*, 7 (11), 702–709.
101. Shi, Y. (2020). Electrochromism and electrochromic devices of new extended viologen derivatives with various substituent benzene. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 208, 110413-110421.
102. Jensen, J. (2015). Development and manufacture of polymer-based electrochromic devices. *Advanced Functional Materials*, 25(14), 2073–2090.
103. Atlı, G. Ö. (2020). Synthesis and characterization of optical, electrochemical and

photovoltaic properties of selenophene bearing benzodithiophene based alternating polymers. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 862, 114014-114025.

104. Xu, Z. (2020). Theoretical model of optical transmission and reflection characteristics of dusty PV modules. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 213, 110554.

105. Yao, M. (2019). Color and transparency-switchable semitransparent polymer solar cells towards smart windows. *Science Bulletin*, 65, 217-224.

106. Eh, A. (2017). A copper-based reversible electrochemical mirror device with switchability between transparent, blue, and mirror states. *Journal of Materials Chemistry C*, 5(26), 6547–6554.

107. Hyodo, K. (1994). Elektrochromism of conducting poly. *Elec. Acta*, 39, 265-272.

108. Deniz YİĞİT (2014). Yeni tiyofen ve pirol monomerlerinin sentezi, polimerleştirilmesi ve fotovoltaik ile süperkapasitör uygulamalarının araştırılması. Yayınlanmış Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

109. Elgrishi, N. (2017). A practical beginner's guide to cyclic voltammetry. *Journal of Chemical Education*, 95(2), 197–206.

110. Rodeberg, N. T. (2017). Hitchhiker's guide to voltammetry: acute and chronic electrodes for in vivo fast-scan cyclic voltammetry. *ACS Chemical Neuroscience*, 8(2), 221–234.

111. Monakhova, Y. B., Holzgrabe, U. (2018). Current role and future perspectives of multivariate (chemometric) methods in NMR spectroscopic analysis of pharmaceutical products. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 147, 580–589.

112. Nitschke, P. (2019). Combination of illumination and high resolution NMR spectroscopy: key features and practical aspects, photochemical applications, and new concepts. *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy*, 114, 86-134.

113. Meyer, K. (2017). Quantitative NMR spectroscopy for gas analysis for production of primary reference gas mixtures. *Journal of Magnetic Resonance*, 275, 1–10.

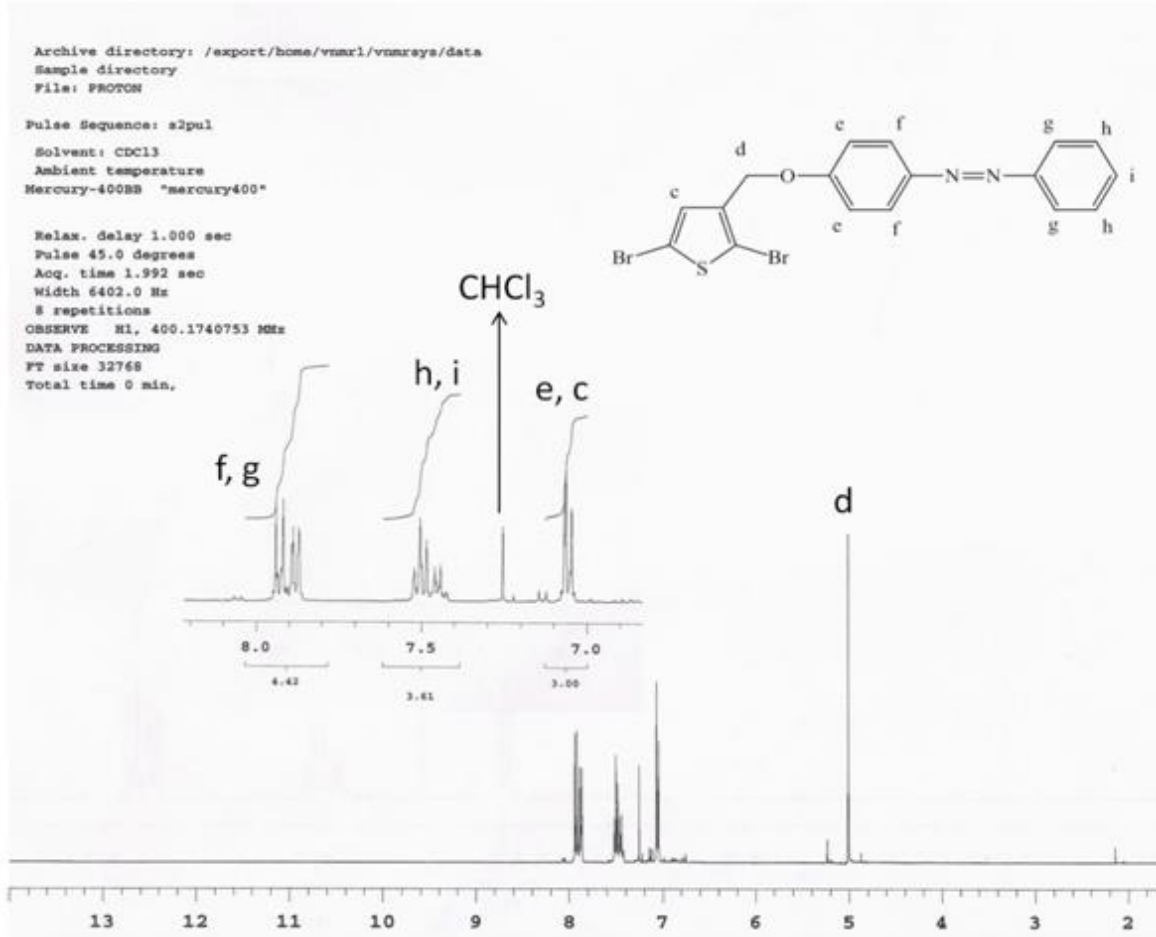
114. Han, Y. (2018). Key factors in FTIR spectroscopic analysis of DNA: the sampling technique, pretreatment temperature and sample concentration. *Analytical Methods*, 10(21), 2436–244.

115. Li, P., Hur, J. (2017). Utilization of UV-Vis spectroscopy and related data analyses for dissolved organic matter (DOM) studies: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47(3), 131–154.

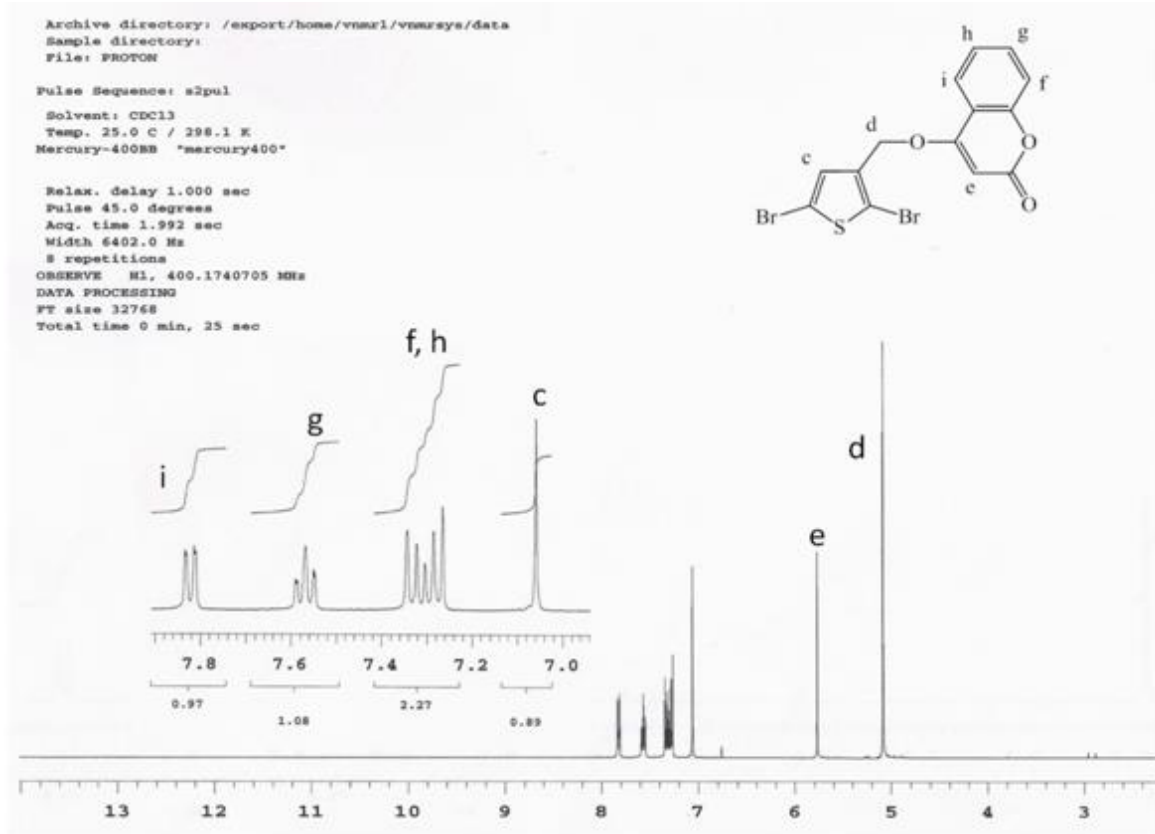
116. Picollo, M. (2018). UV-Vis spectroscopy. *Physical Sciences Review*, 8, 1-10.

117. Ji, K. (2015). A new method for colors characterization of colored stainless steel using CIE and Munsell color systems. *Optical Materials*, 47, 180–184.

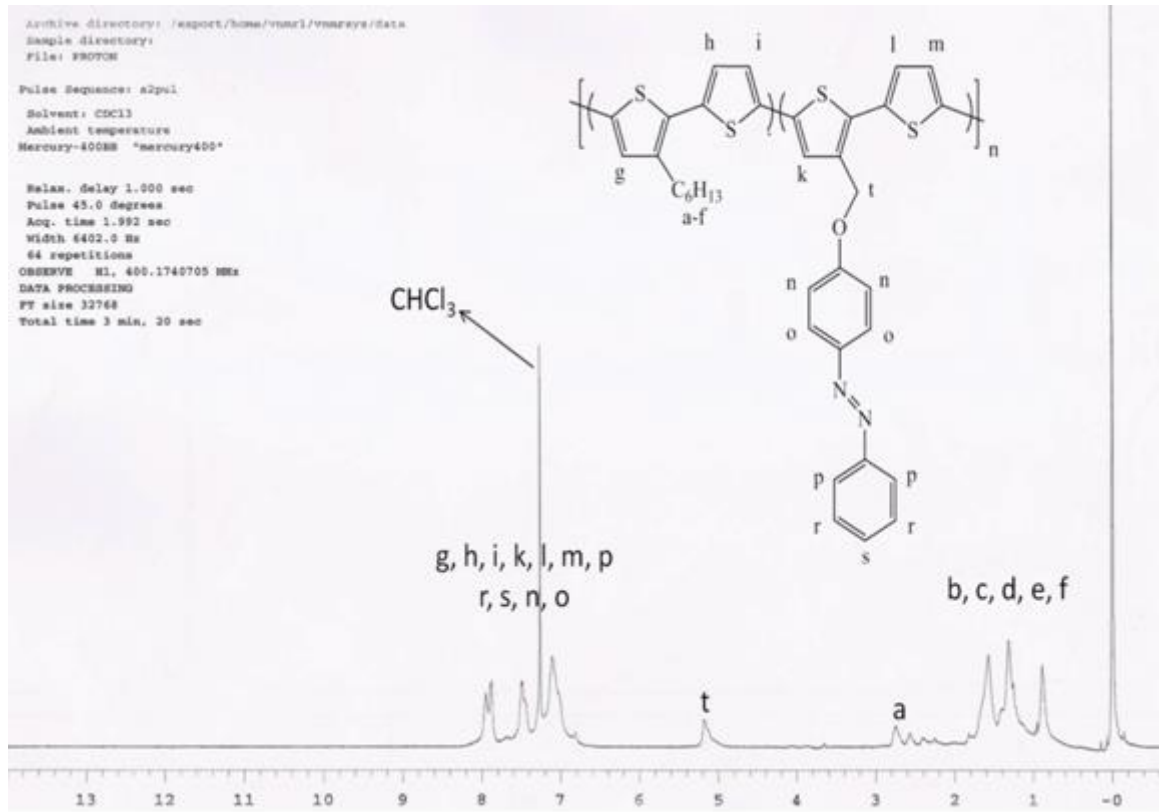
## EKLER

EK-1. <sup>1</sup>H NMR Spektrumları

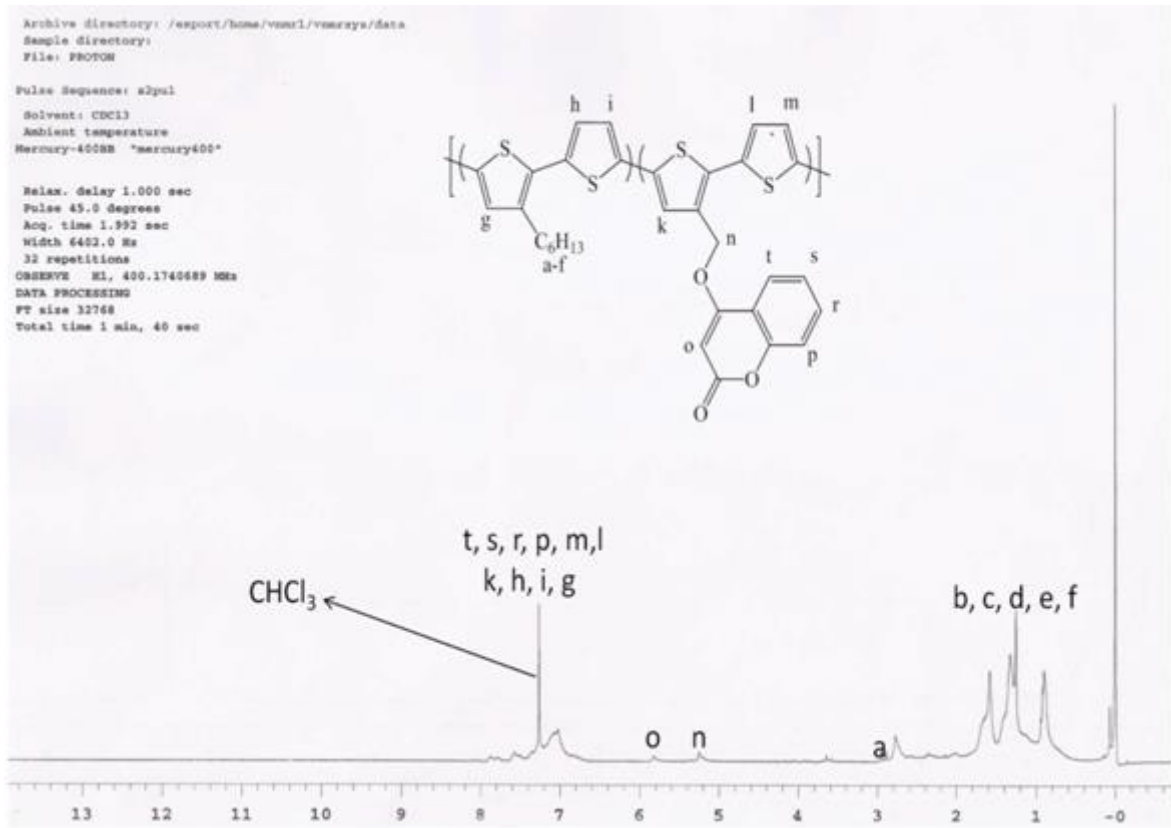
Şekil 1.1: 1-[4-(2,5-Dibromtiyofen-3-iletoksi) fenil]-2-fenildiazen (6)'in <sup>1</sup>H NMR spektrumu



Şekil 1.2: 4- [(2,5-Dibromtiyofen-3-iletoksi)]- 2H-kromen-2-on (7)'un  $^1\text{H}$  NMR spektrumu

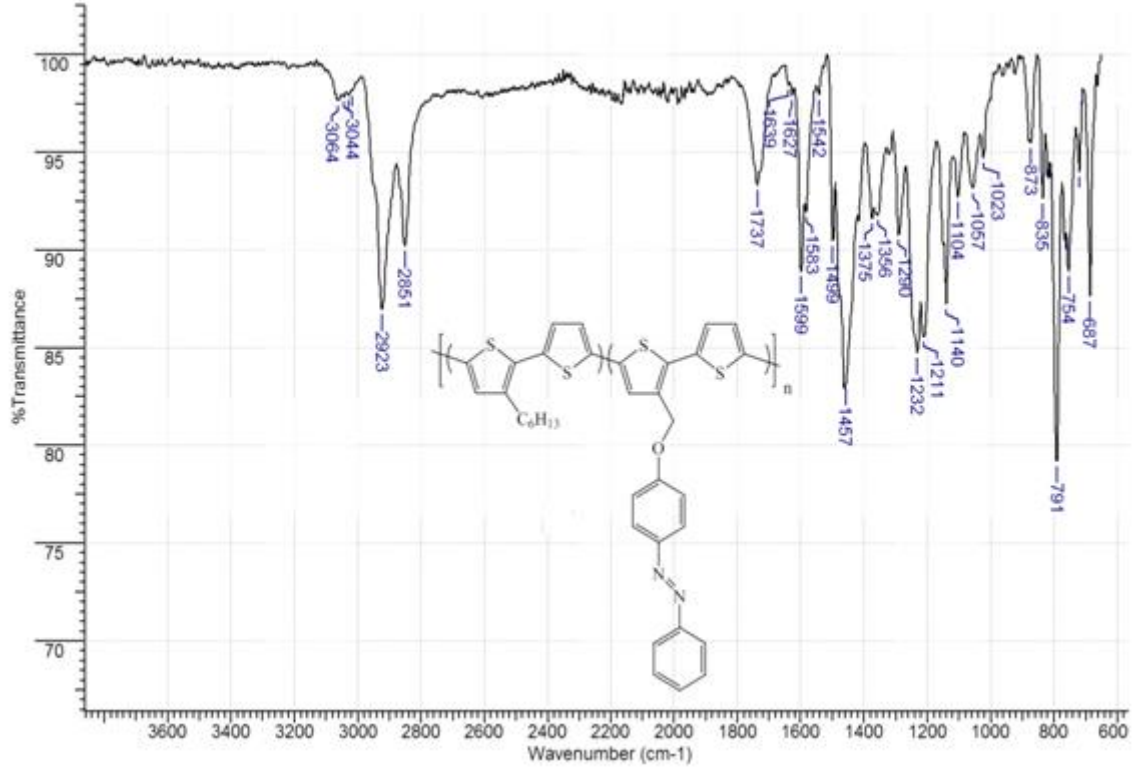


Şekil1.3: Poli(1-(4-((4"-hekzil-[2,2':5',2":5",2'''-tetratiyofen]-3'-il)metoksi)fenil)-2 fenildiazen) (PT-co-A)'in <sup>1</sup>H NMR spektrumu



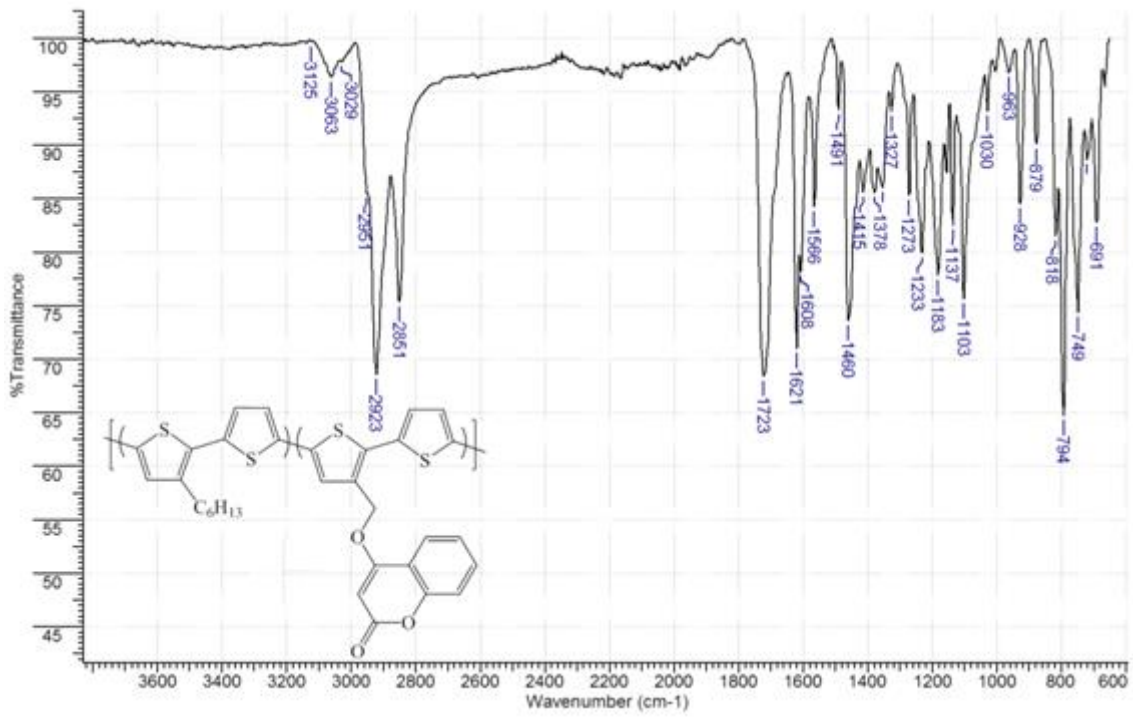
Şekil 1.4: Poli(4-((3''-heksil-[2,2':5',2'':5'',2'''-tetratiyofen]-3'-il) metoksi)-2H-kromen-2-on (PT-co-K)'in <sup>1</sup>H NMR spektrumu

## EK-2. FTIR Spektrumları



Şekil 1.5: Poli(1-(4-((4''-heksil-[2,2':5',2'':5'',2'''-tetratiyofen]-3'-il)metoksi)fenil)-2-fenildiazen) (PT-co-A)'in FTIR spektrumu





Şekil 1.6: Poli(4-((3''-hekzil-[2,2':5',2'':5'',2'''-tetratiyofen]-3'-il) metoksi)-2H-kromen-2-on (PT-co-K)'in FTIR spektrumu

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER



Adı Soyadı : HÜSEYİN KALAY  
 Doğum Yeri ve Tarih : GÜRÜN-SİVAS 20-05-1988  
 Ev Adresi : Karayılan Mahallesi Sahil Caddesi Siteler E15 Blok No:E15 İç  
 Kapı No: 9 İskenderun / HATAY  
 Tel : 0534 766 02 84  
 E-mail : kalay\_01@hotmail.com

### EĞİTİM

- ✓ Cumhuriyet İlköğretim Okulu Seyhan-Adana (Mezun)
- ✓ Emine Nabi Menemencioğlu Anadolu Lisesi Seyhan-Adana (Mezun)
- ✓ Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü (Mezun)
- ✓ İskenderun Teknik Üniversitesi -Yüksek Lisans- Enerji Sistemleri Mühendisliği (2018- 2020)

### LİSANS BİLGİSİ

- ✓ Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünden 2016 yılında mezun oldum. Okuduğum dönemler içinde sadece bölüm derslerini almayıp bunun yanında İŞ HUKUKU, PSİKOLOJİ, FOTOĞRAFÇILIK, İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ, İŞLETME gibi seçmeli dersleri de aldım. Genel akademik ortalamam 3,10 ve şuan kadar aldığım tüm bölüm derslerinde başarılı oldum, alttan dersim olmamakla birlikte lisans eğitimimi bitirdim.
- ✓ 2015-2016 zorunlu yaz stajımı İZMİR- TÜPRAŞ rafinerisinde 30 iş günü olarak yaptım.
- ✓ Hacettepe Üniversitesinde lisans eğitimin boyunca birtakım projelerde yer aldım. Eğitimimin ikinci sınıfında “DENİZDEN TUZLU SU ÇEKME YÖNTEMİ” tasarımını 3 grup arkadaşım ile beraber yaptık. Üçüncü sınıfta ise ilk projem “TİTANTUM DİOKSİT ÜRETİMİ” adlı projeydi ve bu projemi 2015 yılında

tamamladım. İkinci projem ise ‘‘PLASTİK ATIKLARINDAN JET YAKITI ÜRETİMİ’’ ile ilgiliydi, bu projemi 2016 yılının ilk döneminde tamamladım. Lisans eğitimimde üzerinde çalıştığım son proje ‘‘POLİÜRETAN ÜRETİMİ’’ ile ilgilidir. Projem 3 Haziran 2016 da bitti. Bu projenin ön elemelerinde kendi bölümümde 2. Oldum. Yapmış olduğum poliüretan projesiyle ikinci ön elemelerde ilk 6 grubun içerisinde yer aldım ve daha sonra yapılan son elemelerde ise bölümde 3. oldum. Yine 2016 yılı içerisinde Bitirme Projesi kapsamında bir çalışmam oldu. Bitirme projesinde ‘‘KENDİ KENDİNE HAREKET EDEBİLEN YAĞ TEMİZLEYİCİ KAPSÜL ÜRETİMİ’’ adı altında bir proje de yer aldım ve projem kendi bölümümde 3. oldu. Bu projeyi tekrar dekanlıkta sunarak bölüm 2. si oldum. Ayrıca bitirme projesi kapsamında ‘‘PH DUYARLI AKILLI CİHAZ ÜRETİMİ’’ projesinde de yer aldım.

- ✓ Hacettepe Üniversitesi Genç Mühendisler Topluluğuna (GMT) üyeyim.

## SERTİFİKALAR

- ✓ İngilizce C2 Sertifikası--- American Culture Language Schools
- ✓ Almanca A2 Sertifikası---Oxford Language School/ Kökdil Dil Okulları
- ✓ Hacettepe Üniversitesi Kariyer ve Staj Fuarı Katılım Sertifikası (2014)
- ✓ Hacettepe Üniversitesi Bitirme Projesi Dekanlık Sunumu Sertifikası (2016)
- ✓ Hacettepe Üniversitesi AKMB (Ankara Kimya Mühendisleri Birliği) Bitirme Projesi Sunumu Sertifikası (2016)
- ✓ Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü X. Proses Tasarım Yarışması katılım sertifikası (2016)
- ✓ Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü X. Proses Tasarım Yarışması bölüm üçüncülüğü sertifikası (2016)
- ✓ İSDEMİR- Bilgi Güvenliği Farkındalık Eğitimi (2019)
- ✓ İSDEMİR- Etik Kurallar ve Çalışma İlkeleri (2018)
- ✓ İSDEMİR- Toplam Ekipman Etkinliği (2019)
- ✓ İSDEMİR- Microsoft Excel Eğitimi (2018)
- ✓ İSDEMİR- Tehlike ve İşletilebilirlik Çalışması (ÇASGEM) (2019)
- ✓ İSDEMİR- Proses Güvenliğine İlişkin Özel Konu Başlıkları (ÇASGEM) (2019)
- ✓ İSDEMİR- Microsoft Powerpoint Eğitimi (2019)
- ✓ İSDEMİR- İstatistiksel Veri Analiz Eğitimi (2019)

- ✓ İSTE-FEST- 4.Batarya Toz Toplama Bant Değişim Süresinin Kısaltılması (2019)
- ✓ İSDEMİR- 4.Batarya Toz Toplama Bant Değişim Süresinin Kısaltılması- KAİZEN (2019)
- ✓ İSDEMİR- 4.Bataryada Günlük Alınan Batarya Bek Sıcaklık Değerlerinin Operatör ve Pirometre Bazlı Karşılaştırma Yapılarak Doğru Ölçüm Sonuçlarının Analiz Edilmesi – OPEX PROJESİ (2019)
- ✓ İSDEMİR- Seramik İp Kullanım Miktarının Azaltılması-Kaizen (2020)
- ✓ İSDEMİR – Ankraj Çubuğu Montaj Demontaj Çalışma Süresinin Kısaltılması – Kaizen (2020)

## **DENEYİM**

İSDEMİR- Bataryalar İşletme Mühendisi (29.01.2018 – DEVAM EDİYORUM)

- ✓ Koklaşma sürecini takip etmek.
- ✓ Doğru kok üretimi için günlük rapor yazmak.
- ✓ Kok fabrikasına ait aylık faaliyet ve yıllık faaliyet hazırlamak.
- ✓ İşletme koşullarının iyileştirilmesi.
- ✓ Maliyet hesaplaması yapmak.
- ✓ Kalite parametrelerinin belirlenmesi ve takip edilmesi.
- ✓ Müşteri memnuniyeti.
- ✓ İyileştirme faaliyetleri.
- ✓ İsdemir Mükemmellik modeli uygulamaları.
- ✓ Öneri ve kaizen sistemine katılım.
- ✓ Opex projelerine katılım.
- ✓ Isıtma rejimini istenilen işletme şartlarına göre uyarlamak.
- ✓ İşletmede devrede olan araba ve diğer ekipmanların bakım periyotlarını ve çalışmalarının kontrolü yapmak.
- ✓ Belirli periyotlarda planlı duruş ayarlamak ve gerekli ön hazırlıkları yapmak.
- ✓ Acil durumda alınabilecek aksiyonları belirlemek.
- ✓ İş sağlığı ve güvenliği konusunda gerekli önlemlerin alınıp sahada uygulanmasını sağlamak.
- ✓ Proses güvenliği için talimatlar hazırlamak ve sahada uygulamasını sağlamak.

**BEYAZ KAĞIT – Sıvı Üretim Mühendisi (08.11.2017 – 23.01.2018)**

- ✓ Üretilen sıvı ürünlerin takibi.
- ✓ Günlük üretilen ürünlerin kalite parametrelerinin incelenmesi.
- ✓ Kullanılan hammaddelerin takibi.
- ✓ Maliyet hesabı.
- ✓ Reaktörlerin çalışma periyotları, bakım sıklığı ve temizliğinin takibi.
- ✓ Farklı ürünlerin kalite parametrelerinin karşılaştırılması, doğru ürüne karar verilmesi.
- ✓ Doğru etiketleme ve doğru ambalaj için iyileştirme çalışmaları yapmak.

**BİLGİSAYAR BİLGİSİ**

- ✓ Word, Excel, Microsoft Project, Chemcad, Powerpoint, Outlook: İyi düzeyde
- ✓ Matlab: iyi, C++: iyi

**REFERANSLAR**

- ✓ Hakan OĞUZ

İSDEMİR Kok Fabrikası Müdürü

Telefon: 0 533 659 7426

0 326 758 3046

Mail adresi: hoguz@isdemir.com.tr

- ✓ Zekeriya ÖZER

İSDEMİR Kok Fabrikası Müdürü

Telefon: 0 533 419 87 19

0 326 758 45 49

Mail adresi: zozer@isdemir.com.tr

- ✓ Şerife ÖZDEMİR HACIOĞLU

İskenderun Teknik Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi

Telefon: 0506 657 51 41

## BİLİMSEL ÇALIŞMALAR VE YAYINLAR

- 1.) Kalay, H., Yiğit, D., Hizalan, G., Güllü, M., Depci, T., Cirpan, A., Hacıoğlu, S. O. (2020). Synthesis, electrochromic characterization and solar cell application of thiophene bearing alternating copolymers with azobenzene and coumarin subunits. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 1–11. doi:10.1080/10601325.2020.1740598.
- 2.) Kalay H., 4.Batarya toz toplama bant değişim süresinin kısaltılması, İSTE-fest-2019.
- 3.) Kalay H., Coking Process, Optimization of Coke quality parameters and investigation of effects of blast furnace, 20.Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi 2020.
- 4.) Kalay H. Optimization of the Quenching Process in Coke Batteries and Investigation of the Effects of the Produced Coke on Energy Efficiency on Blast Furnaces, 2020-Uluslararası Hadde Sempozyumu ve Sergisi.
- 5.) Kendi Kendine Hareket Edebilen Yağ Temizleyici Kapsül Üretimi- Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği, 2016.

## İLETİŞİM BİLGİLERİ

- ✓ Hüseyin KALAY
- ✓ 0534 766 02 84
- ✓ hkalay@isdemir.com.tr
- ✓ kalay\_01@hotmail.com

## DİZİN

<hr/>		
<b>A</b>	<b>F</b>	
açık devre gerilimi · 29	Fosil yakıt · 4, 5, 6, 7, 10, 11, 13, 17,26	kısa devre akımı · 29
Air Mass · 24	fotokromizm · 39	Kimyasal polimerizasyon · 2, 34, 35, 79
Amorf Silisyum · xiii,1,30	füzyon · 24, 25	Konjuge polimer · 33
Anahtar Kelimeler · iv		Konjuge polimerler · 32
<hr/>		kopolimer · 2, 3, 63, 68, 69, 70, 71, 74, 78
<b>B</b>	<b>G</b>	kovalent bağ · 19
Bakır İndiyum Diselenid · 30, 31	galvanometre · 56	Kromizm · 38
bipolaron · 57, 65, 66, 80	Galyum Arsenit · xiii, 30, 31	
birincil enerji · 4	Güneş · iv, xi, xii, 1, 7, 15, 16, 17, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 34, 59, 60, 74, 75, 85, 86	<hr/> <b>M</b>
biyogaz · 10		monomer · 3, 34, 35, 72
biyokütle · 4, 9, 10, 83, 84		<hr/> <b>P</b>
Biyokütle Enerjisi · 9		Petrol Krizi · 6
Boltzmann sabiti · xiii, 22, 23	<b>H</b>	polaron · 57, 65, 80
boya duyarlı güneş pilleri · 32	halokromizm · 39	Poli Kristal Silisyum · 30
<hr/>		<hr/> <b>R</b>
<b>C</b>	Hidroelektrik Enerji · 8	referans elektrot · 35, 45, 46, 57, 60
CIE · xii, xv, 57, 58, 67, 89	hidroelektrik havza · 8	Rüzgâr Enerjisi · 12
CO <sub>2</sub> emisyonu · 12	Hidrojen Enerjisi · 13, 85	
<hr/>		<hr/> <b>S</b>
<b>Ç</b>	Hidrojen sülfür · 13	salvatokromizm · 40
Çalışma elektrodu · 35, 46, 57, 60	homopolimer · 3	Silisyum kristali · 19
çöp gazı · 10		Soxhlet ekstraksiyonu · 50, 51
<hr/>		Stille · iv, v, xi, 36, 37, 50, 51, 79, 87
<b>D</b>	<b>İ</b>	Suzuki · 36, 87
Dalga Enerjisi · 11	İkincil enerji · 4	
dedektör · 56	iletken · iv, 1, 3, 18, 19, 20, 21, 23, 31, 32, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 43, 54, 59, 68, 74, 79, 86, 87	<hr/> <b>T</b>
değerlik bandı · 21, 22	iletkenlik bandı · 21, 22	termal enerji · 23
Diyot · 19	iyonokromizm · 39	termokromizm · 39
Dolgu faktörü · 29		
Donör akseptör yaklaşımı · 2	<b>J</b>	
<hr/>		<hr/> <b>Y</b>
<b>E</b>	<b>K</b>	yalıtkan · xi, 18, 21, 22
ETİK BEYAN · 3	Kadmiyum Tellür · xiii, 30	yarı iletken · 1, 18, 19, 20, 21, 32
	Karşıtlı elektrot · 46, 60	
	Key Words · v	



**TEKNOVERSITE**





teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

