



**T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PİREN MERKEZLİ ELEKTROAKTİF MOLEKÜL TABANLI
ORGANİK FOTOVOLTAİK GÜNEŞ HÜCRESİ ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Abdullah BALDEMİR

TEMMUZ

**PİREN MERKEZLİ ELEKTROAKTİF MOLEKÜL TABANLI ORGANİK
FOTOVOLTAİK GÜNEŞ HÜCRESİ ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

Muhammet Abdullah BALDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANABİLİM DALI**

Danışman

Doç. Dr. Betül CANIMKURBEY

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2022

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- 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.

Muhammet Abdullah BALDEMİR

06/07/202

PİREN MERKEZLİ ELEKTROAKTİF MOLEKÜL TABANLI ORGANİK
FOTOVOLTAİK GÜNEŞ HÜCRESİ ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammet Abdullah BALDEMİR

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEMMUZ 2022

ÖZET

Günümüzde enerjiye duyulan ihtiyacın sürekli bir şekilde artması ile ülkemizde dünyaya ait fosil kökenli enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olduğundan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep günden güne artmaktadır. Organik yarıiletkenler, düşük maliyetleri, geniş ve esnek yüzeylere kaplanabilmesi, kolay, ucuz ve hızlı üretim yöntemleri ile uygulama alanına göre sentezlenebilen malzeme özellikleri gibi avantajlarla silisyumun gibi inorganik malzemelerin dolduramadığı alanlara girmektedir. Polimer tabanlı organik güneş hücrelerinde yüklerin difüzyon kapasitelerinin polimerlerde çok düşük olduğundan, donör-akseptör tipi malzemelerin ara katmanında homojenimsi bir yapıya ihtiyaç duyulur. Tez kapsamında organik güneş pilinin aktif ara katmanında piren ile pirene ekstra donör gruplardan genellikle yüksek verimle gerçekleşen suzuki reaksiyon tepkimesi ile Tiyofen, Benzotiodiazol ve Trifenilamin moleküllerinin ayrı ayrı bağlantıları sağlanarak homojenimsi yapıda farklı yeni sentezlerin üretimi sağlanmıştır. Söz konusu sentezlerin yapısal, optik, kimyasal ve elektriksel analizleri yapılarak, İndiyum Kalay Oksit ve Alüminyum elektrotları arasında, boşluk taşıyıcı katman Poli(3,4-etilendioksitiyofen):Poli(Stirensülfonat) ve elektron taşıyıcı katman lityum florür ile birlikte oluşturulan dört farklı organik güneş pilinin aktif ara katmanında ayrı ayrı kullanılmışlardır. Oluşturulan yeni organik güneş pillerinden, aktif katmanda yalnızca Piren kullanımı ile verim %0,104; Piren-Tiyofen kullanımı ile verim %0,335; Piren-Benzotiodiazol kullanımı ile verim %0,445; Piren-Trifenilamin kullanımı ile verim %0,284 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada sentezi gerçekleştirilen bu yapılar organik güneş pilinde ilk defa kullanılarak literatüre kazandırılmışlardır.

Sayfa Adedi : 49
Anahtar Kelimeler : Organik Güneş Pili, Polimer, Piren, Tiyofen, Trifenilamin.
Danışman : Doç. Dr. Betül CANIMKURBEY

PYRENE-BASED ELECTROACTIVE MOLECULAR-BASED ORGANIC
PHOTOVOLTAIC SOLAR CELL PRODUCTION AND CHARACTERIZATION
(M. Sc. Thesis)

Muhammet Abdullah BALDEMİR

AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
JULY 2022

ABSTRACT

Nowadays, the need for energy is constantly increasing due to fossil-based energy sources are running out rapidly in our country and world, resulting from the demand for renewable energy sources is increasing day by day. Organic semiconductors enter areas as inorganic materials such as silicon cannot be filled, with advantages such as low costs, coating on large and flexible surfaces, easy, cheap and fast production methods and material properties that can be synthesized according to the application area. Because the diffusion capacities of loads in polymer based organic solar cells are very low in polymers, a homogeneous structure is needed in the interlayer of donor-acceptor type materials. Absorption rates should be very good in order to benefit from almost all of the solar spectrum. For this reason, low band gap polymers should be preferred in organic batteries. Within the scope of the thesis, syntheses obtained by using Suzuki reaction with pyrene and pyrene's Thiophene, Benzothiadiazole and Triphenylamine molecules were produced to be used in the active interlayer of organic solar cell. Structural, optical, chemical and electrical analyzes of these syntheses were made. Pyrene and these syntheses were used in the active interlayer of the organic solar cell formed with the space carrier layer Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):Poly(Styrenesulfonate) and the electron carrier layer Lithium fluoride between the indium tin oxide and Aluminum electrodes. The efficiency of the obtained organic solar cells was calculated as 0,104% with the use of only Pyrene in the active layer; 0,335% with the use of Pyrene-Thiophene; 0,445% with the use of Pyrene-Benzothiadiazole and 0,284% with the use of Pyrene-Triphenylamine. In this study, these synthesized structures were introduced to the literature by using them for the first time in organic solar cells.

Page Number	: 49
Keywords	: Organic Solar Cell, Polymeri, Pyrene, Thiophene, Triphenylamine.
Supervisor	: Assoc. Prof. Dr. Betül CANIMKURBEY

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan ve bana zaman ayıran danışman hocam Doç. Dr. Betül CANIMKURBEY'e, tez çalışması boyunca bahsi geçen malzemeleri sentezleyen Prof. Dr. Sermet KOYUNCU ve Dr. Hakan BİLGİLİ' ye, sentezlerin teorik hesaplamaları için Doç. Dr. Selin PIRAVADILI' ya , ders dönemi boyunca bilgilerinden yararlandığım Doç. Dr. Ünal KURT ve diğer saygıdeğer fakülte hocalarıma, çalışmam boyunca her türlü desteğini esirgemediğim yanımda duran aileme ve arkadaşım Dr. Erhan TİRYAKİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışma TÜBİTAK 119M635 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Organik Yarıiletkenler.....	2
2. ORGANİK GÜNEŞ PİLLERİ.....	5
2.1. Organik Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi.....	5
2.2. Yarıiletken Polimer Tabanlı Organik Güneş Hücreleri	8
2.2.1. Yapılarına göre yarıiletken polimer tabanlı organik güneş hücreleri	11
2.2.2. P3HT:PCBM katmanlı organik güneş hücreleri.....	14
2.3. Organik Güneş Hücrelerinde Pil Karakterizasyonu	17
2.3.1. Organik güneş hücrelerinde verim hesaplaması için gerekli parametreler....	17
2.4. OSC Pillerinde Uygulanan Pil Optimizasyon Teknikleri	20
2.4.1. Üretilen ince filmlerin tavlama.....	20
2.4.2. Organik madde ilavesi	22

2.5. Organik Güneş Hücresi Üretiminde İnce Film Kaplama Teknikleri	23
2.5.1. Spin kaplama yöntemi	23
2.5.2. Vakumla buharlaştırma yöntemi	25
3. MATERYEL VE YÖNTEM	27
3.1. Sentezlenen Moleküllerin Karakterizasyonu	28
3.1.1. UV-VIS soğurma analizi	28
3.1.2. Döngüsel voltametri analizi	30
3.1.3. Sentezlerin termal analizi	34
3.1.4. Sentezlerin SEM ve AFM görüntüleri	37
3.2. Piren Merkezli Organik Güneş Pili Oluşumu	39
3.2.1. Piren merkezli organik güneş pili karakterizasyonu	41
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	50

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Piren ve ekstra donörlerlerin suzuki tepkimeleri sonucu oluşturdukları yeni yapıların kısaltma kodları.....	27
Çizelge 3.2. Sentezlere ait optik band boşluğu değerleri.....	29
Çizelge 3.3. Sentezlere ait yükseltgenme ve indirgenme pik potansiyelleri, HOMO, LUMO optik ve elektrokimyasal bant boşluğu değerleri.....	32
Çizelge 3.4. Sentezlere ait teorik DFT hesaplamaları.....	33
Çizelge 3.5. Aktif katmanda bulunan piren ve piren merkezli sentezlere ait OSC'lerin η ve FF değerleri.	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Çift bağ oluşumunda Sigma (σ) ve Pi (π) bağları.....	2
Şekil 1.2. Pirene ait; (a) K bölgesi ile fonksiyonelleşme yöntemindeki kısımlar ve (b) HOMO-LUMO orbitallerinin gösterimi.	4
Şekil 2.1. Yarıiletken polimer tabanlı organik fotovoltaiik güneş pilinin şematik gösterimi.	9
Şekil 2.2. Organik fotovoltaiik güneş hücrelerinde yük oluşumu ve ayrışması	10
Şekil 2.3. Eksiton ayrışması ile elektron-hole taşınması	11
Şekil 2.4. Tek tabakalı organik güneş hücresinin şematik gösterimi.....	12
Şekil 2.5. Çift katlı heteroeklem yapıli organik güneş hücresi yapısı	13
Şekil 2.6. Bulk heteroeklem yapıli organik güneş hücre yapısı.....	14
Şekil 2.7. P3HT:PCBM katmanlı organik fotovoltaiik hücre gösterimi.....	15
Şekil 2.8. (a) P3HT ve PCBM'nin moleküler yapısı, (b) P3HT ve PCBM'nin, AFM'de 1x1 μm 'lik görüntüsü (Organic Photovoltaics in Situ Annealing Studied by Grazing-Incidence Diffraction, n.d.).	16
Şekil 2.9. (a) P3HT-PCBM ara katmanlı heteroeklem yapıli organik güneş hücre yapısı, (b) Kullanılan malzemelerin bant yapılarındaki enerji seviyeleri.	16
Şekil 2.10. OSC hücrelerinin karanlık ve aydınlıktaki Akım-Voltaj (I-V) eğrisi.....	19
Şekil 2.11. P3HT:PCBM'nin 200nm'de SEM görüntüleri (a) Tavlamadan önceki yüzey görüntüsü (b)Tavlama işlemi sonrası yüzey görüntüsü (Yar, 2011).	21
Şekil 2.12. P3HT:PCBM'nin tavlama işlemi öncesi ve sonrası ışıık soğurma grafiğı (Yar, 2011).	21
Şekil 2.13. ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/LiF/Al heteroeklem yapıli Akım yoğunluğu-Gerilim grafiğı (Erkem, 2019).....	22
Şekil 2.14. Aktif katmana %1 oranında pentacene ilaveli ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM:Pentacene/LiF/Al heteroeklem yapıli güneş pilinin Akım yoğunluğu-Gerili grafiğı (Erkem, 2019).	23

Şekil 2.15. Spin kaplama yöntem aşamaları; (a) Alttaş üzerine çözelti damlatılması, (b) Dönüş hızı ayarlanarak çözeltinin alttaş üzerine yayılarak incelenmesi, (c) Çözücünün buharlaşmasıyla ince film oluşması.	24
Şekil 2.16. Vakumla buharlaştırma yöntemi.....	26
Şekil 3.1. 10,13-bis(5-bromo-4-hekzil-2-tiyenil)fenantro[4,5]fenazin (Piren) molekülünün sentezi gösterimi.	27
Şekil 3.2. Sentezlenen moleküllerin UV-VIS spektrum analizlerine ait çözelti fazı grafikleri.....	28
Şekil 3.3. Sentezlenen moleküllerin UV-VIS spektrum analizlerine ait ince film fazı grafikleri.....	30
Şekil 3.4. Sentezlenen moleküllerin CV analiz grafikleri.....	31
Şekil 3.5. Sentezlenen moleküllerden (a) Prn-Th molekülü (b) Prn-BT molekülü ve (c) Prn-TPA moleküllerine ait TGA grafikleri.	35
Şekil 3.6. Sentezlenen moleküllerden (a) Prn-Th molekülü (b) Prn-BT molekülü ve (c) Prn-TPA moleküllerine ait DSC grafikleri.....	36
Şekil 3.7. Sentezlenen moleküllerden (a) Prn-Th molekülü (b) Prn-BT molekülü ve (c) Prn-TPA moleküllerine ait 100µm'deki SEM görüntüleri.....	37
Şekil 3.8. Sentezlenen moleküllerden (a) Prn-Th molekülü (b) Prn-BT molekülü ve (c) Prn-TPA moleküllerine ait 2 µm'deki AFM görüntüleri.	38
Şekil 3.9. Sentezlenen moleküllerden Piren numunesinin aktif katmanında kullanımı ile oluşturulan organik güneş pilindeki katman kalınlıkları.	39
Şekil 3.10. Sentezlenen moleküllerden (a)Piren, (b) Prn-Th, (c) Prn-BT ve (d) Prn-TPA'nın kullanımı ile oluşturulan güneş pili katman yapısı ile enerji band grafiği.	40
Şekil 3.11. Sentezlenen moleküllerden (a)Piren, (b) Prn-Th, (c) Prn-BT ve (d) Prn-TPA'nın kullanımı ile oluşturulan güneş piline ait J-V (Akım yoğunluğu- Gerilim) grafikleri.	42

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Esnek özellikteki organik fotovoltatik hücre örnekleri.....	1
Resim 2.1. Spin kaplama cihazı.....	25
Resim 2.2. Vakumla buharlaştırma cihazı	26



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir

Simgeler	Açıklama
eV	Elektron Volt
e^{-}	Elektron
h^{+}	Hole
ϕ	İş fonksiyonu
E_g	Optik band boşluğu
χ	Elektron ilgisi
Li	Lityum
E	Enerji
V	Volt
Al	Alüminyum
Mg	Magnezyum
η	Güç Dönüşüm Verimi
V_{oc}	Açık devre gerilimi
I_{sc}	Kısa devre akımı
I_{mpp}	Maksimum güç noktasındaki akım
mpp	Maksimum güç noktası
QE	Kuantum Verimi
V_{mpp}	Maksimum güç noktasındaki gerilim
FF	Dolum faktörü
P_{mpp}	Tepe noktasındaki maksimum güç değeri

P_T	Teorik güç çıkışı
J	Akım Yoğunluğu
π	Pi
σ	Sigma
LiF	Lityum florür
TiO_2	Titanyumdioksit

Kısaltmalar	Açıklama
HOMO	En yüksek enerjili dolu orbital
LUMO	En düşük enerjili boş orbital
IP	İyonizasyon Enerjisi
ITO	İndiyum Tin Oksit
PEDOT	Polyethylenedioxythiophene
PSS	Polystyrenesulphonate
OSC	Organik Güneş Pili
PCBM	Pphenyl-C61-butyric acid methyl ester
P3HT	Poli3-hexylthiophene
TCO	Transparent Conductive Oxide
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskopi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopi
PTSA	Para Toluen Sülfonik Asit
TLC	İnce Tabaka Kromatografisi
TGA	Termal Gravimetrik Analizi
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetri

DFT	Ayrık Fourier Dönüşümü
Prn	Piren
BT	Benzotiodiazol
Th	Tiyofen
TPA	Trifenilamin

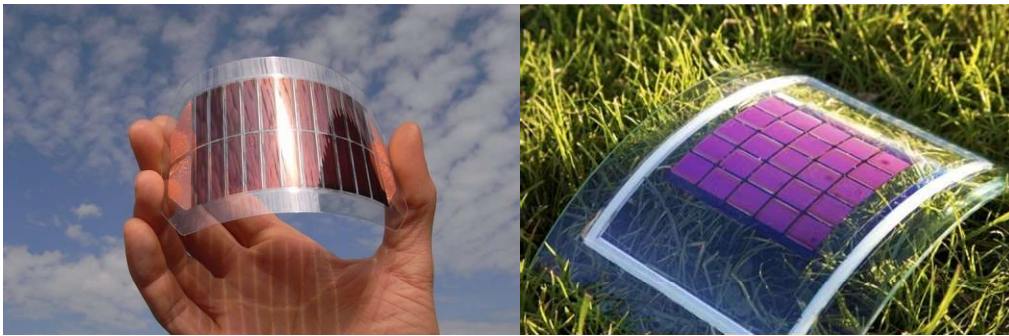


1. GİRİŞ

Dünyadaki tüm ülkeler ile birlikte ülkemizde de hızla artış gösteren elektrik enerji ihtiyacını karşılamak adına güneş enerjisi sürekli ve sonsuz bir enerji kaynağı olması yanında, elektrik enerjisi elde edilmesi noktasında en uygun yöntemlerden birisidir. Yüzey üzerine düşen güneş enerjisi metrekare başına saniyede 1 367 Joule'dir ve bu enerjinin soğurulması elektrik enerjisi üretimi noktasında önemlidir. Hızla gelişmekte olan teknoloji ile birlikte, inorganik malzemelerin yerini üretim kolaylığı ve oldukça düşük maliyetlerden dolayı organik malzemeler almıştır. Bu malzemelerin oluşumunda aktif yarıiletken materyal olarak polimer ve küçük moleküllerin yapısını da karbon molekülleri oluşturduğundan, "organik" sözcüğü kullanılmaktadır.

Elektronik aygıtların yapısının oluşumuna sağlayan ve bir inorganik yarıiletken olan silisyum halen üretilen elektronik devrelerin ve güneş hücrelerinin büyük bir çoğunluğunun ham maddesini oluşturmaktadır. Doğada bol miktarda silisyum bulunmasına rağmen, saf silisyumun elde etmenin getirdiği yüksek işletim maliyeti sebebiyle, teknolojik araştırmaların çoğu daha ucuz ve kolay elde edilebilirliği olan malzemelere yönelmiştir. Bu noktada organik yarıiletkenler, düşük maliyetleri, geniş ve esnek yüzeylere kaplanabilmesi, kolay, ucuz ve hızlı üretim yöntemleri ile uygulama alanına göre sentezlenebilen malzeme özellikleri gibi avantajlarla, silisyumun gibi inorganik malzemelerin dolduramadığı alanlara girmektedirler (Guerra ve diğerleri, 2010).

Organik yarı iletkenlerdeki bu özelliklerden dolayı teknolojik gelişmeler ile yapılan araştırmalara bağlı olarak organik güneş hücrelerinin verimleri de gün geçtikçe hızla artış göstermiştir.

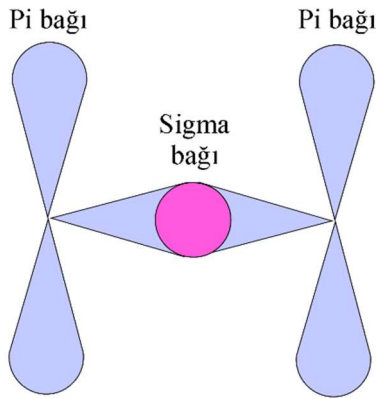


Resim 1.1. Esnek özellikteki organik fotovoltaiik hücre örnekleri.

1.1. Organik Yarıiletkenler

Organik yarıiletkenler, monomer olarak bilinen küçük moleküller ve polimerler olmak üzere ikiye ayrılır (Brütting, 2006). Birçok monomerin birbirlerine kovalent bağlar ile bağlanarak oluşturdıkları büyük, uzun ve molekül ağırlığınca fazla olan bileşiklere polimer adı verilirken, polimerleri oluşturan küçük moleküllere ise monomer adı verilir. İletken polimer kavramı ise, bu oluşumun içindeki negatif yüklü parçacıklar ile yeterli düzeyde elektriksel bakımdan iletkenliği sağlamakta olan polimerlerde kullanılan bir ifadedir.

Polimerlerin iletkenliklerinin elektriksel bakımdan gösterebilmeleri kapsamında, polimerlerdeki yapılarda negatif yüklü parçacık olan elektronların zincir boyunca taşınmasını sağlayan uygun konumların olması gereklidir ve bunu da ana zincirinde konjuge çift bağları olan polimerler sağlar. Konjuge polimerler ardışık olarak birbirlerini takip eden bir düzen şeklinde olarak tek ve çift karbon-karbon bağları ile bağlı, yapıcı da uzun olan zincirlerdir. Tekli bağları sigma bağı, çiftli bağları ise biri sigma (σ), diğeri ise pi (π) bağıdır ve π bağları σ bağlarına göre oldukça daha zayıf yapılıdır. Monomer veya polimer yapıdaki bütün elektronik oluşumları konjuge bağ kapsamında ana zincir içerirler. Bahsedilen bu yapının moleküldeki iletkenliğin iletilmesi açısından önemi büyüktür (Rockett, 2008).



Şekil 1.1. Çift bağ oluşumunda Sigma (σ) ve Pi (π) bağları.

Art arda tek ve çift bağ sıraları içeren konjuge polimerler ana zincir üzerinde yarıiletken özelliği gösterirler (Güneş ve diğerleri, 2007). Konjuge polimerlerin en düşük seviyeli uyarılmaları, görünür bölge olan 400-700 nm arası dalga boyundaki ışık soğurulması ve yayılmasına sebep olan, enerji band aralığı 1,5- 3 eV arasındaki π - π^* geçişleridir. Moleküllerdeki konjugasyon derecesi yardımıyla organik malzemelerde enerji aralığı

kontrol edilebilir. Bu durum, organik yarıiletken malzemelerin optoelektronik özelliğini geniş bir bölgede istenildiği gibi ayarlanmasına olanak sağlar (Brütting, 2006).

Polimerler, genellikle çözeltilerde küçük molekül yapılardan daha iyi çözünme dereceleri vardır. Bu sebeple, polimerler çözeltilerde genel olarak kaplama tekniklerinden spin kaplama tekniği ile büyütülürler. Küçük moleküllerde ise çözeltilerde çözünmeleri düşük olduğundan, genellikle kaplama teknikleri arasından vakumla buharlaştırma yöntemiyle büyütülürler (Hadziioannou ve diğerleri, 2007).

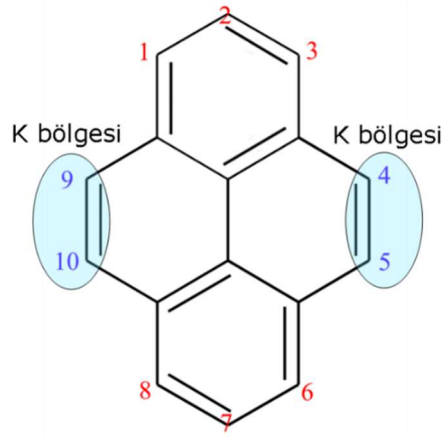
Piren molekülünün genel özellikleri:

Yüksek fotokimyasal özellikleri ve süstitüsyon reaksiyonlarına uyumu ile polisiklik aromatik hidrokarbonların en küçüğü olan piren molekülleri, organik kimyada, ilaç endüstrisinde, malzeme biliminde önemli uygulamalar ile organik ışık yayan diyotlar (OLED), organik alan etkili transistörler (OFET) ve organik güneş hücreleri (OSC) gibi elektronik cihazların aktif yapılarında kullanılmaktadır (Liu ve diğerleri, 2014; Mitra ve diğerleri, 2016; Wu ve diğerleri, 2010).

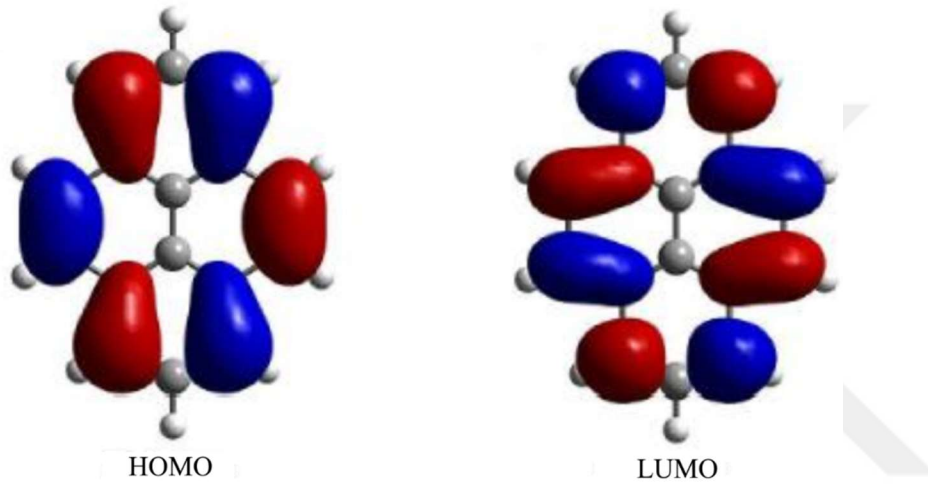
Piren türevlerine bakıldığında yapılarında dört adet benzen halkası bulundurulur. Az maliyetli ve düşük molekül ağırlıkları, yüksek kararlılık ile gelişmiş yük taşıyıcı hareketliliği, yüksek floresans kuantum verimlilikleri, uyarılmış halde uzun süreli kalabilmeleri, monomer ve eksimer formlarının floresans bantlarının farklı olması ile söz konusu uyarılma spektrumlarının ortam farklılığına duyarlılığı gibi dikkat çekici avantajları görülmektedir (Figueira-Duarte ve Müllen, 2011; Shi ve diğerleri, 2017).

Piren molekülü yeni oluşturulacak sistemlerin yenilenmesi açısından temel yapı taşı olarak kullanılan kromofor grup olma özelliği barındırır. Şekil 1.2’de piren bileşiğine ait yapı incelendiğinde 4-, 5-, 9- ve 10- numaralı pozisyonlar K bölgesi olarak adlandırılmaktadır ve elektrofilik yer değiştirme reaksiyonları ile 1-, 3-, 6- ve 8- pozisyonlarından, oksidasyon ile 4-, 5-, 9- ve 10- pozisyonlarından rahatlıkla fonksiyonlandırılabilir. 2- ve 7- pozisyonlarında ise fonksiyonlandırma açısından çok fazla aktif olmadığı ile aynı şekilde en yüksek enerjili dolu orbitali HOMO ve en düşük boş moleküler orbitali LUMO’ya bakıldığında 2- ve 7- pozisyonlarından geçen bir düğüm düzlemi bulunduğu gerekçesiyle bu pozisyonlardan fonksiyonlandırma işleminin oldukça zor olduğu şekliyle açıklanır (Feng ve diğerleri 2016).

(a)



(b)



Şekil 1.2. Pirene ait; (a) K bölgesi ile fonksiyonelleşme yöntemindeki kısımlar ve (b) HOMO-LUMO orbitallerinin gösterimi.

Piren için çeşitli fonksiyonelleşme yöntemleri arasında, K-bölgesindeki seçici oksidasyon için güçlü bir yaklaşım sunar. Bu bilgiler ışığında, 1975 yılında Harvey ve arkadaşlarınca piren ile ilgili yapılan çalışmalar sonrası 2005 yılında Harris ve arkadaşlarınca yapılan çalışmada, Piren-4,5-dion sentezi gerçekleştirilerek literatüre kazandırılmış ve piren kapsamındaki yapılacak çalışmalara öncülük etmişlerdir (Harvey ve diğerleri, 1975; Hu ve diğerleri, 2005).

2. ORGANİK GÜNEŞ PİLLERİ

Organik güneş hücreleri, güneşten gelen fotonları organik katmanı ile soğurarak elektrik enerjisine çevirir. Organik tabanlı güneş hücreleri kullanımında organik malzemeler içerisinde iletken polimerler, boyalar, pigmentler ve sıvı kristaller yer almaktadır. Organik güneş hücrelerinde verim çok düşük seviyelerde olduğundan halen inorganik güneş hücreleriyle kıyaslanacak kadar iyi bir seviyede olmasa da maliyetlerinin düşük olması, modüllerin hafif ve esnek yapıda olması, üretimi esnasında daha az toksik madde açığa çıkarması gibi avantajları görülmektedir. Ayrıca, rezerv sıkıntısının olmaması, inorganik benzerleri çeşit yönünden sınırlı sayıda iken çok sayıda organik molekül olması, kullanılacak malzemelerin kolayca değiştirilebilen kimyasal yapılarda olması da maddelerden elde edilecek verim artışı sayesinde uygulanacak optimizasyona geniş olanak sağlamış olur. Bu tür malzemelerin inorganik malzemelere göre dezavantajı ise, düşük verimliliğin yanında, ışık altında ve su buharında kalitelerindeki düşüş nedeniyle uzun ömürlü değildir. Uzun ömürlü olarak kullanılabilmesi için hava ve nemli ortamlardan izole edilerek uzak tutulmaları gerekmektedir (Kroon ve diğerleri, 2007).

2.1. Organik Güneş Pillerinin Tarihsel Gelişimi

Organik yapıdaki ilk güneş pili, Tang ve ark. tarafından Kodak firmasında üretimi gerçekleşen güneş pilidir (Tang, 1986). Üretilen bu pillerin verimleri %1,1 gibi küçük bir değere sahiptir ve verimlerinin çok düşük olmasının sebebi, üretilen güneş pilinin yapısından kaynaklanmaktadır. Oluşturulan organik güneş pilinde elektron boşluk çiftlerinin ayrımının sadece katmanların ara yüzünde gerçekleşmiş olması nedeniyle elektron-boşluk çiftinin yeterli miktarda ayrılamaması verimin bu denli düşük olmasının başlıca sebebidir.

1995 yılında Yu ve arkadaşlarınca yapılan çalışmada ise, Indiyum Kalay Oksit (ITO) üzerine poly(2-methoxy-5-(2'-ethyl-hexyloxy)-1,4 phenylene vinylene) malzemesini kaplayıp kullanımı ile üretilen bu organik güneş pilinde verim yaklaşık %2,9 olarak bulunmuş ve pilin açık devre voltajının 0,68 V'den 0,82 V'ye artmış olduğunu gözlemişlerdir (Yu ve diğerleri, 1995).

2000'li yıllarda Alan McDiarmid, Alan Heeger ve Hideki Shirakawa tarafından iletken polimerlerin keşfi gerçekleşmesi sonrası yarıiletken konjuge polimerlerin kullanıldığı organik güneş pili araştırmaları artarak devam etmiştir (Shirakawa ve diğerleri, 1977).

2000'li yıllarda yapılan bir diğer çalışmada Takahashi ve arkadaşları tarafından farklı organik malzemelerin denenmesi ile pillerdeki güç dönüşümü yaklaşık %3,51 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında kısa devre akımını %42,8; açık devre voltajını 0,34V; doluluk faktörünü (FF) ise 0,51 şeklinde tespit etmişlerdir. Bu kapsamda, üç tabakalı Al/PV/HD/MC/Au den oluşan yapının iyi kalitede bir güneş pili özelliği gösterdiğinin tespitini gerçekleştirmişlerdir (Takahashi ve diğerleri, 2000).

2002 yılında Yakimov ve Forrest tarafından yapılan araştırmada, standart test koşullarında yani atmosfer zayıflaması AM 1,5 güneş ışığının spektral şiddeti altında organik güneş pili yapısında perylenetetracarboxylic malzemesinin kullanımı ile üretilen tek ve iki katlı organik güneş pillerinden tek katmanlı organik güneş pilinde verim %1,1 iken, iki katmanlı güneş pilinde ise yaklaşık olarak %2,5 bulunmuştur (Yakimov ve Forrest, 2002).

2005 yılında Drechsel ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, üretilen organik katmanlı tek ve çift katlı güneş pillerinden, tek katlı güneş pilinde verim %2,1 iken, çift katmanlı organik güneş pilinde ise verimi %3,8 olarak bulunmuş ve bu çalışmada ayrıca, yüklerin büyük çoğunluğunun güneş pilini oluşturan katmanlarının ara yüzeyde, yüklerin kolayca yeniden birleştiğini (rekombinasyon) tespit edilmiştir (Drechsel ve diğerleri, 2005).

2007 yılında Lungenschmied ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, esneme katsayısı yüksek alanlara kaplanabilen, uzun ömürlü, kullanım alanı bakımından çokça geniş alanlarına sahip poly(3,4-ethylenedioxythiophene) malzemesini, poly(styrenesulfonate) malzemesi kullanımı ile organik güneş pillerini üretmişlerdir. Elde ettikleri güneş pillerindeki verimi standart test koşulu olarak kabul edilen atmosfer zayıflaması AM 1,5G güneş ışığının spektral şiddeti altında %1,5 olarak bulmuşlardır (Lungenschmied ve diğerleri, 2007).

2008 yılında Kuwabara ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, elektrot olarak, ITO ve altın kullanımı ile oluşturdukları ITO/poly(3-hexylthiophene)/poly(3,4-ethylenedioxyethiophene):poly(4-styrene sulfonic acid)/Au yapısındaki güneş pilinin

verimini standart test koşulları altında %2,47 olarak bulmuşlardır (Kuwabara ve diğerleri, 2008).

2009 yılında Kim ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, vakumla kaplama tekniği kullanılarak ITO üzerine kapladıkları organik yarıiletken olan P3HT/PCBM ile oluşturdukları hacim heteroeklem yapısındaki güneş pilinin verimini standart test koşullarında %1,35 olarak bulmuşlardır (Kim ve diğerleri, 2009).

2010 yılında Liang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, thienol(3,4-b)thiophene ve benzodiphiophene gereçlerin kullanımı ile laboratuvar ortamında güneş pili verimini %7,4 olarak ölçülmüşlerdir (Liang ve diğerleri, 2010).

2012 yılında yarıiletken üretimi yapan Polyera şirketi tarafından organik tabanlı güneş pilinde ITO üzerine (PEDOT-PSS) kullanımını uygulayarak laboratuvar ortamında güneş pili verimini %9,1 olarak bulmuşlardır. Yine aynı yılda Alman güneş enerjisi teknoloji şirketi Heliatek tarafından çift katmanlı bir ışın soğurucu tabakanın kullanılması ile oluşturulan organik güneş pilinin verimi %12 gibi yüksek bir değer elde etmişlerdir (Akman ve diğerleri, 2013).

2013 yılında Xie ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, titanyum oksit elektrot tabakasına metal nano parçacıklar altın (Au) ve gümüş (Ag) eklenmesi ile elektrotların daha fazla yük toplaması sağlanmış, yük toplamadaki artış nedeniyle organik güneş pilinde %8,2 verime ulaşılmıştır (Xie ve diğerleri, 2013).

Yine aynı yılda Yu ve Chan tarafından yapılan çalışmada, P3HT:PCBM aktif tabakasının 1:1 kütle oranında ve klorobenzen çözücüsü ile hazırlanmış ve bu karışıma %0,03 oranında metal nano parçacık platin (Pt) ve TiO_2 ile karıştırılarak elde edilen Al/Ca/P3HT:PCBM: TiO_2 :Pt/PEDOT:PSS/ITO yapısı ile akım yoğunluğu $7,31 \text{ mA/cm}^2$ den $10,10 \text{ mA/cm}^2$ 'ye yükseldiği gözlenmiştir. Platin nanoparçacıkları ile organik maddelerin yük mobilitesinin ve iletkenliğini artırması nedeniyle aygıt verimliliğinin arttığı tespit edilmiştir. Fazla oranda Pt katkılanmasında ise, aktif tabaka içerisinde bu nanoparçacıkların kümelenmesi ve topaklanması sebebiyle aktif tabakadaki seri direncin artışına neden olduğu ve buna bağlı olarak da organik güneş pilinde performansın düştüğü çıkarımında bulunmuşlardır (Yu ve Chan, 2013).

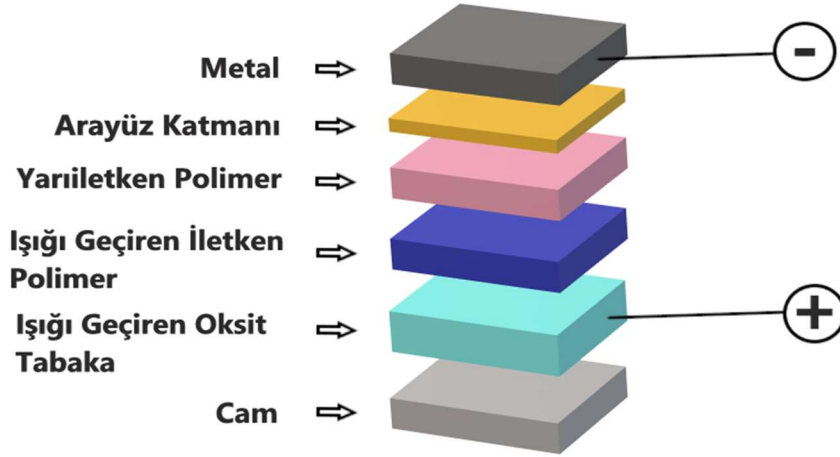
2016 yılında Yağcı ve ark. tarafından yapılan çalışmada, PEDOT:PSS'ye 0-5mg/ml konsantrasyonları aralığında 1,25 mg/ml borik asit (H_3BO_3) katkılandırılmalarıyla oluşturdukları PEDOT:PSS: H_3BO_3 hole taşıyıcı tabakası ile ITO/PEDOT:PSS: H_3BO_3 /P3HT:PCBM/Al şeklinde oluşturduğu yapıdaki verimin borik asit ilavesiz %1,79'den, borik asit ilavesi ile %2,14 olarak değiştiğini gözlemişlerdir. Bunun ise borik asitin yüzey dalgalanmalarını iyileştirmesi ile açık devre voltajının artması dolayısıyla verimdeki artışa neden olduğu belirtilmiştir (Yagci ve diğerleri, 2016).

2017 yılında Zhang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, yük taşıyıcı yoğunluğunun artması amacıyla Fe_3O_4 nano parçacıklarını 1:1 kütle oranındaki PEDOT:PSS ile katkılandırılmaları ile oluşturdukları aktif tabaka ile %2,24 değerindeki verimi %2,70'e çıkartmışlardır (Zhang ve diğerleri, 2017).

2019 yılında Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı NREL tarafından yapılan açıklamada, Perovskite organik maddesi kullanımı ile üretilen organik güneş pillerinde verim %23 seviyelerine ulaştığı belirtilmiştir. Ancak, perovskit güneş hücreleri verimlilik açısından inorganik ticari muadillerine yetişse de havadaki su buharı, oksijen, ışık ve sıcaklık gibi dış etkenler karşısında yaşam sürelerinin kısılmasına neden olan kararsızlık problemi nedeniyle fotovoltaik sektöründe ticari olarak kullanılamamaktadır (Çiçek, 2019).

2.2. Yarıiletken Polimer Tabanlı Organik Güneş Hücreleri

Anot ve katot olarak kullanılan iki metal elektrot arasına aralarında güneş ışığını soğuran yarıiletken polimer malzemenin de bulunduğu polimer malzemelerin sırasıyla kaplanması ile elde edilen organik güneş hücresi tipidir (Şekil 2.1).



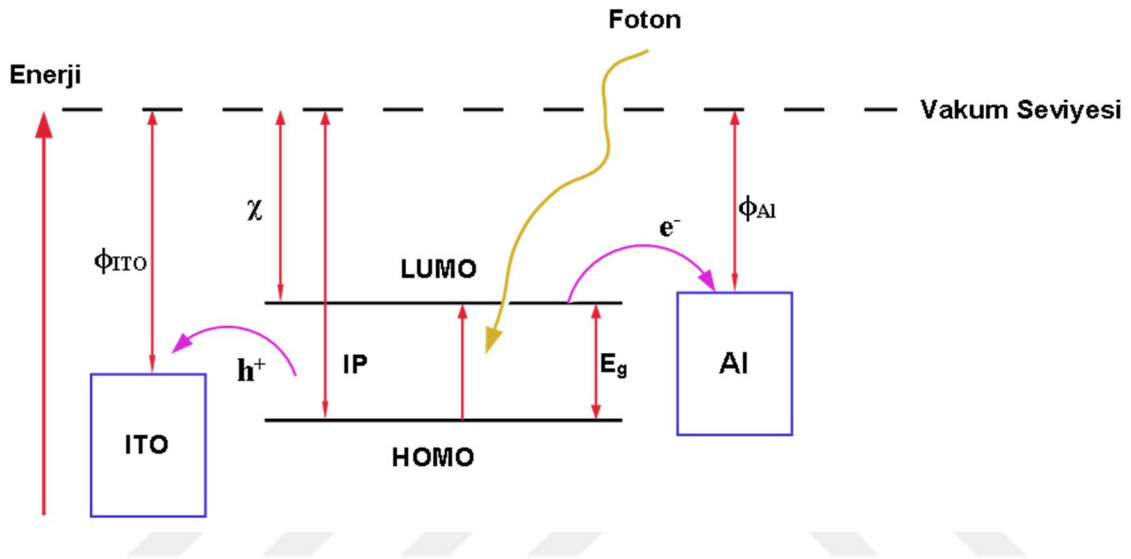
Şekil 2.1. Yarıiletken polimer tabanlı organik fotovoltaiik güneş pilinin şematik gösterimi.

Güneş ışınlarını oluşturan bir foton $h\nu$ enerjisine sahiptir. Fotonun yarıiletken polimer yüzeyine gelmesi sonrası, foton enerjisinin yarıiletken polimerin bant boşluğunun enerjisinden daha büyük olması ile yarıiletken polimerce foton soğurulur. Sonrasında elektron arkasında bir boşluk bırakarak en yüksek enerjili dolu orbitali HOMO seviyesinden, en düşük boş moleküler orbital LUMO seviyesine çıkmasının ardından elektron-boşluk çiftleri olan eksitonlar oluşur (Şekil 2.2).

Foton enerjisinin elektrik enerjisine çevrilebilmesi için oluşan bu eksitonların ayrılabilmesi gerekmektedir. Elektron ve elektron boşluğunu bir arada tutan Coulomb çekiminden güç olarak daha büyük bir elektrik alan tarafından eksitonlar ayrışması sağlanabilir. Yük ayrımının yapılabilmesi için elektriksel alana ihtiyaç vardır. Bu pillerin yapımında kullanılan anot ve katot arasındaki enerji farkından doğan ve metalden bir elektronu koparmak için gerekli enerji miktarı olan iş fonksiyonları ile gerekli elektriksel alan sağlanır (Spanggaard ve Krebs, 2004). İş fonksiyonu bu elektriksel alan yardımıyla, elektronu fermi seviyesinden vakum seviyesine çekerken, söz konusu elektron ilgisi ise; elektronun iletkenlik bandından yine manyetik alan etkisi ile vakum seviyesine geçmesi için gerekli olan enerji miktarıdır.

Eksiton ayrımı, organik yarıiletken ile metal kontak ara yüzeyinde ya da farklı elektron donör/akseptör özellikteki moleküllerin ara yüzeylerinde gerçekleşir. Elektrik alan ile eksitonların ayrılma işleminin ardından, elektronlar akseptör tarafından yani yüksek elektron ilgili malzeme, boşluklar ise düşük seviyeli iyonlaşmaya sahip malzeme olan donör malzeme tarafından kabul edilerek bu bölgelere taşınırlar ve ayrılan elektron ve boşluklardan

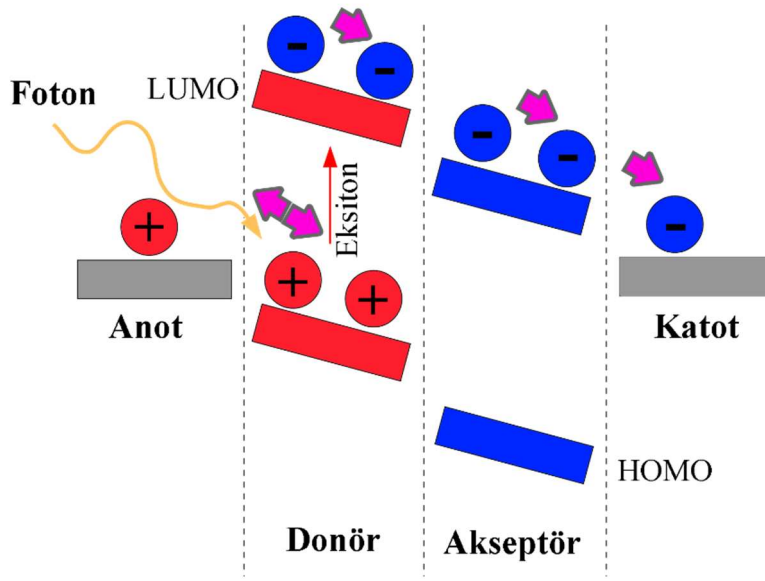
boşluklar anota, elektronlar ise katoda yönlendirilerek bu bölgelerde toplanırlar böylelikle anot ve katot arasında akım ve voltaj üretilmiş olur (Şekil 2.3) (Gregg ve Hanna, 2003; Meissner ve diğerleri, 1992; Schilinsky ve diğerleri, 2002; Spanggaard ve Krebs, 2004). Eksitonların verimli bir ayrışma süreci için, vericinin (donör) LUMO seviyesi alıcının (akseptör) LUMO seviyesinden yüksek olmalıdır. Bu şekilde elektron transferi başarılı bir şekilde olur. Bunun için ideal seviye farkı yaklaşık olarak 0,3-0,4 eV olmalıdır.



Şekil 2.2. Organik fotovoltaiik güneş hücrelerinde yük oluşumu ve ayrışması.

Bu tip OSC hücrelerde, foton enerjisinin elektrik akımına dönüştürülme işlemi,

- ❖ Fotonun yarıiletken polimerce soğurulması sonrası eksitonların (elektron-boşluk çifti) oluşması,
- ❖ Alıcı (akseptör) ve verici (donör) ara yüzeyine eksiton difüzyonun gerçekleşmesi,
- ❖ Elektrik alanı etkisinde elektron-hole ayrışmasının organik ara yüzeyde olması,
- ❖ Ayrılan elektron ve boşluklardan, boşlukların anota, elektronların katoda yönlendirilerek o bölgelerde toplanması şeklinde gerçekleşir.



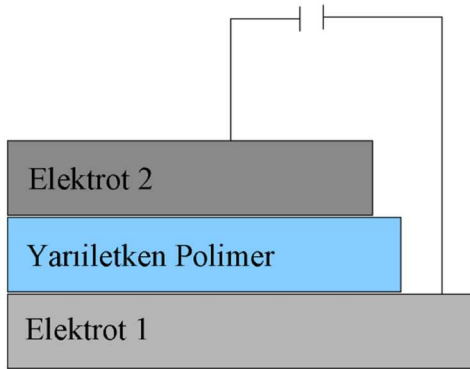
Şekil 2.3. Eksiton ayrışması ile elektron-hole taşınması

2.2.1. Yapılarına göre yarıiletken polimer tabanlı organik güneş hücreleri

Yarıiletken polimer katmanlı organik güneş hücrelerini üretim şekillerinin yapılarına göre; tek tabakalı organik fotovoltaiik hücreler, çift katlı heteroeklem fotovoltaiik hücreler ve bulk hacim heteroeklem fotovoltaiik hücreler olarak sınıflandırılabilirler.

Tek tabakalı organik güneş hücreleri

Oluşturulan ilk tip fotovoltaiik hücre olan bu tip organik güneş hücrelerinde yarı iletken polimer farklı iki metal elektrot arasına yerleştirilerek oluşturulmuş olan bir organik güneş hücresi tipidir (Şekil 2.4). Oluşan elektron boşluk çiftleri bir yarıiletken polimer ara yüzeyi tarafından ayrıştırılırlar. Eksitonların ayrışması sonrası holler yüksek iş fonksiyonuna sahip anot elektrotuna, elektronlar ise düşük iş fonksiyonuna sahip katot elektrotuna doğru yol alarak bu bölgelerde toplanırlar. Tek katmanlı fotovoltaiik organik güneş pillerinde verim düşüklüğü sebebi, sadece tek bir kısıtlı bölgede foto akımının oluşması olarak açıklanır (Drechsel ve diğerleri, 2004).

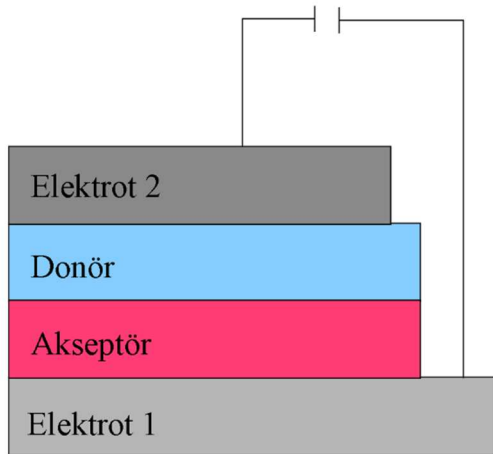


Şekil 2.4. Tek tabakalı organik güneş hücresinin şematik gösterimi

Organik fotovoltaiklerden en etkili bir şekilde yararlanmak için, eksitonların mümkün olduğunca birbirlerinden ayrılması gerekmekte olduğundan, bu durumun kararlı kalması için elektronların bir elektrottan diğerine transfer edilmeleri istenilmektedir. Bu tip güneş hücrelerinde fotonun kısıtlı olarak küçük bir bölgede soğurulması ile oluşan verimin düşük olduğu görüldüğünden, ışığın yarıiletken polimerin aktif yüzeyinde tutulmasını arttırabilmek için 1990 yılında organik güneş pilindeki katman yapısı geliştirilerek çift katlı heteroeklem ve hacim heteroeklem olarak çift katman kullanılarak iki farklı yöntem geliştirilmiş, bu yöntemlerde; biri alıcı (donör) ve diğeri verici (akseptör) olan iki farklı malzeme bir arada kullanılarak katman şeklin de yerleştirilerek ya da uygun bir çözücü sayesinde karışım haline getirilerek ara katman olarak uygulanmıştır (Yu ve diğerleri, 1995).

Çift katlı heteroeklem yapılı organik fotovoltaik hücreler

Donör ve akseptör polimer malzemelerin birbirlerinin ardışık katmanları şeklinde üst üste sıkıştırılarak yerleştirilmesiyle elde edilen OSC hücre tipidir (Şekil 2.5). Donör polimerin üzerine gelen fotonu absorbe etmesi ile eksitonlar oluşur. İki elektrot arasındaki iş fonksiyonu farkı nedeniyle oluşan elektrik alan etkisi ile elektron ve hollerin arayüzeyde ayrılması sonrası akseptör içerisine doğru elektronlar, donör içerisine doğru holler hareket ederek bu bölgelerde toplanırlar. Bu şekilde elektron ve hollerin yeniden birleşmesi (rekombinasyon) büyük miktarda azalmış olur (Rostalski ve Meissner, 2000; Sariciftci ve diğerleri, 1993; Spanggaard ve Krebs, 2004).



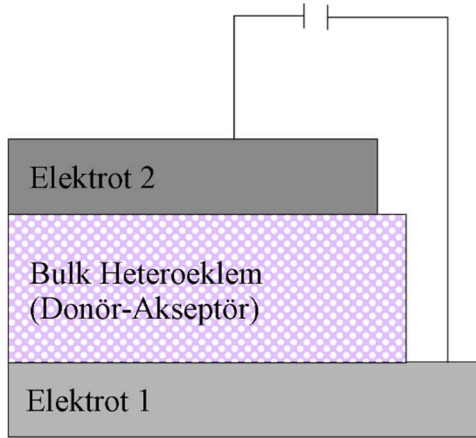
Şekil 2.5. Çift katlı heteroeklem yapılı organik güneş hücresi yapısı

Donör/akseptör tipi hücrelerde, elektron iletkenliği iyi olan akseptör, boşluk iletkenliği iyi olan donör malzeme kullanımı daha uygundur. Çift tabakalı güneş hücresi, polimerik tabanlı fotovoltaiik teknolojiye atılmış ilk adımdır.

Bu tip organik güneş pillerinde, donör ve akseptör malzemeler birbiri üzerine ardışık olarak olsa da elektron boşluk çiftlerinin elektrik alan tarafından ayrışması sonrası geçişler sınırlı olması sebebiyle verim kısıtlıdır (Sariciftci ve diğerleri, 1993).

Hacim bulk heteroeklem yapılı organik güneş hücreleri

Bu tip OSC hücrelerde donör ve akseptör yarı iletken polimerler birbirleri içerisine dağılmış oldukça homojen bir yapıda bulunurlar (Şekil 2.6). Yüklerin ayrışmasının meydana geldiği alan bu hücre tiplerinde daha da büyüktür. Polimer tabanlı organik güneş hücrelerinde yüklerin difüzyon kapasitelerinin polimerlerde çok düşük olduğundan donör/akseptör tipi malzemelerin ara katmanında birbiri içerisine dağılmış homojen bir yapıya ihtiyaç duyulur.



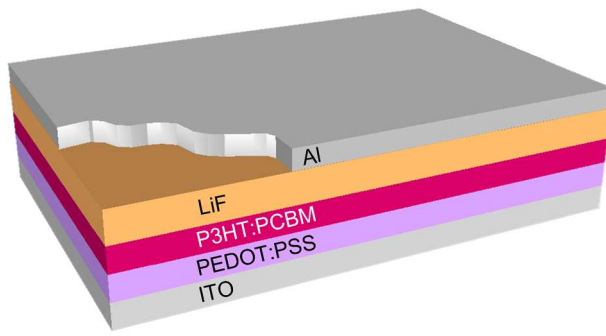
Şekil 2.6. Bulk heteroeklem yapılı organik güneş hücre yapısı

Çok katmanlıda yani klasik yapıda üretildikleri zaman yüklü parçacıklar elektrotlara ilerleyemeden elektriksel yüklerin çoğunu kaybetmektedirler (Rekombinasyon). Hacim heteroeklemin ara yüzeyinin dağılmış olması ve ara yüz alanının büyümesi dolayısıyla eksitonlar elektriksel yüklerini kaybetmeden ayrışır ve kayıp olmaz. Foton soğurulması aktif tabakada gerçekleştiğinden dolayı etkili bir soğurma için aktif tabaka kalınlığının en az 100 nm olması gerekmektedir (Geens ve diğerleri, 2002).

2.2.2. P3HT:PCBM katmanlı organik güneş hücreleri

P3HT (poli3-hexylthiophene) boşluk iletici yarı iletken polimer ve bir karbon-60 türevi olan elektron iletici PCBM'nin (phenyl-C61-butyric acid methyl ester) homojen karışım halinde yüzeye kaplanması ile elde edilen bir güneş pili dir. P3HT:PCBM tipi güneş hücreleri oldukça hafif olmalarının yanı sıra yapıları dolayısıyla esnek yüzeylerde üretimleri gerçekleştirilebilir. Hareketli halinde iken taşınabilen cihazların enerji ihtiyaçlarını giderebilir. Genellikle cam yüzeyine, saydam ve iletken yapıdaki ITO (indium kalay oksit) kaplanmış

ve sırasıyla hole taşıyıcı katman olan PEDOT:PSS (polyethylenedioxythiophene/polystyrenesulphonate), üzerine fotoaktif tabaka denilen donör/akseptör aktif karışımı gerçekleşen ve genellikle kütlece 1:0,8 oranında homojen karışımı gerçekleşen P3HT:PCBM, üzerlerine elektronların yük akışını kolaylaştıracak olan arayüz katmanını (örneğin 2nm kalınlığında LiF gibi) kaplanması ve de son kısım olarak metal elektrot olan alüminyum kaplaması ile ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/LiF/Al şeklinde katmanlardan oluşturulmuş olan organik güneş hücresidir (Şekil 2.7). Elektrokimyasal olarak polimerler veya çeşitli inorganik yarı iletkenlerde kaplanabilir altlık olarak ITO kullanılmaktadır.

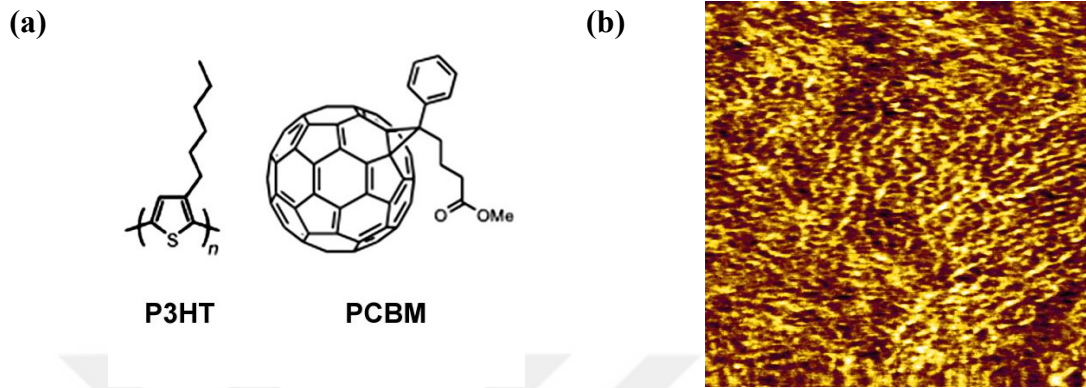


Şekil 2.7. P3HT:PCBM katmanlı organik fotovoltaiik hücre gösterimi.

Pil yüzeyine düşen fotonlar sırasıyla cam, ITO, PEDOT:PSS katmanlarından ilerleyerek P3HT:PCBM yarı iletken polimer tabakaya ulaşır. Bu bölgede eksitonların oluşmasının ardından, ITO ve alüminyum elektrotlarının iş fonksiyonlarındaki enerji seviyeleri farklarından dolayı oluşan elektrik alan ile eksitonlar ayrışır. Eksitonlar ayrışması ile elektron ve hollerden, elektronlar alüminyuma, delikler ise ITO elektrotuna taşınır. Yük geçişleri ile akımın oluşması sağlanarak, foton enerjisinden elektrik enerjisine dönüşüm işlemi tamamlanmış olur.

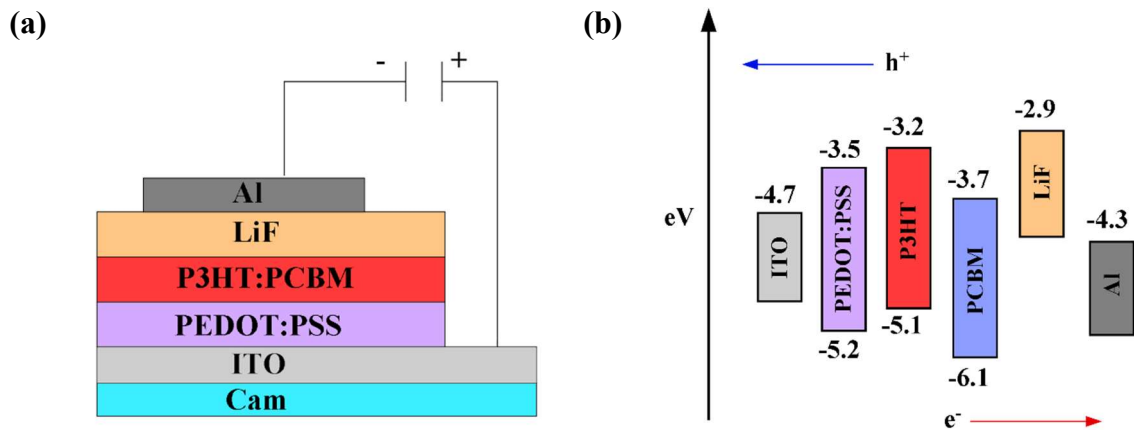
P3HT:PCBM katmanlı organik güneş pillerinin, diğer organik güneş pillerinden daha yüksek verime sahip olmasının en büyük nedeni; (P3HT) polimerin içerisinde, (PCBM) karbon nano parçacıklarının homojen bir şekilde dağılım göstermesi sebebiyle yarıiletken polimerdeki arayüz alandaki gerçekleşen artıştır. Bu sayede elektron-boşluk yük ayrışmasının oranı artması ile pil verimi de önemli derecede artırmaktadır.

P3HT:PCBM'nin homojen bir şekilde birbirleri içinde dağılmaları dolayısıyla arayüz alanının da artmış olması ile elektron boşluk çiftleri elektriksel yüklerini kaybetmeden birbirlerinden ayrılırlar ve yükler kayıpsız bir şekilde anot ve katot elektrotlarına iletilirler.



Şekil 2.8. (a) P3HT ve PCBM'nin moleküler yapısı, (b) P3HT ve PCBM'nin, AFM'de 1x1 μm 'lik görüntüsü (Organic Photovoltaics in Situ Annealing Studied by Grazing-Incidence Diffraction, n.d.).

Pillerin iyi bir performans gösterebilmeleri için, yani yüksek yoğunluklu yük toplamak için organik yarıiletken malzeme ile metal elektrot arasında yük geçişlerini zorlaştıracak enerji bariyeri bulunmaması gereklidir. İki malzeme arasındaki enerji bariyerini gidermek ve yük toplama verimliliğini arttırmak üzere bazı durumlarda ilave bir malzeme daha kullanılması gerekebilir (Gregg ve Hanna, 2003). Şekil 2.9' da gösterildiği gibi ITO elektrotu üzerine boşluk taşıyıcı katman olan PEDOT:PSS, alüminyum elektrotu altına ise elektron taşıyıcı katman olan LiF kullanımı ile bu maddeler elektron ve hollerin geçişlerini kolaylaştırarak, bu kısımlarda adeta basamak görevi görmektedirler.



Şekil 2.9. (a) P3HT-PCBM ara katmanlı heteroeklem yapılı organik güneş hücre yapısı, (b) Kullanılan malzemelerin bant yapılarındaki enerji seviyeleri.

2.3. Organik Güneş Hücrelerinde Pil Karakterizasyonu

Güneş pillerinde verimlilik önemli bir konudur. Öncelikle, yarıiletken polimerin üzerine gelen fotonu soğurması ile eksiton oluşumu sağlandığından, aktif tabakanın olabildiğince fazla miktarda foton soğurması gerekmektedir.

2.3.1. Organik güneş hücrelerinde verim hesaplaması için gerekli parametreler

Üretilen organik güneş pillerinin kalitelerini öğrenme ve diğer üretilen organik güneş pilleri ile kıyaslanmaları amacıyla, tüm üretilen OSC aygıtları standart test koşullarında incelenmektedir.

Açık devre gerilimi (V_{OC}): Pil devresindeki akımın sıfır olduğunda okunan gerilim değeridir. OSC hücrelerindeki elektrotlar arasındaki devre bağlantısının olmadığı durumda devreden akım geçişi olmaz. Bu şekilde soğrulan fotonların eksitona enerji aktarımının ardından yük ayrışımı sonrası güneş pilinin elektrotları arasında gerilim farkı oluşur. Ölçülen bu gerilimdeki fark açık devre voltajıdır. Güneş hücrelerinde olağan haldeki en yüksek devre gerilimidir. Açık devre voltajı, OSC hücre üzerine gelen ışık miktarı artışı ile logaritmik olarak artış gösterir (Parker, 1994).

Kısa devre akımı (I_{SC}): OSC hücrelerinde elektrotlara bağlı uçlar arasındaki voltaj değerinin sıfır olduğundaki akım değeridir. Farklı miktardaki ışık ışınları için kısa devre akımları da farklıdır. Parlaklığa bağlı olarak kısa devre akımı aynı zamanda fotovoltaiik akıma eşittir. Kısa devre akımına yakın bir akımda organik güneş pilinin çalıştırılması ile pilin üzerine düşen foton miktarı ile doğru orantılı olan akım değeri ölçülebilir. Yani, aktif katman tarafından soğrulan fotonlardan oluşan aydınlık akımına eşittir. Bant aralığının düşürülmesi ile soğrulan foton miktarı artacağından dolayı teorikte en yüksek kısa devre akımının artışı da sağlanacaktır (Fung ve Choy, 2013; Troshin ve diğerleri, 2008).

Maksimum güç noktası (mpp): Standart test koşullarında organik güneş pili üzerine düşen belirli bir ışık miktarı altında, yüklü halde akım ve voltajın çarpımının maksimum olduğu nokta maksimum güç noktasıdır. Her ışık miktarları için farklı maksimum güç noktaları

bulunmaktadır. Maksimum güç noktasında akım ve gerilim en büyük değerlere ulaşır (Şekil 2.10) (Tress, 2011; Tress ve diğerleri, 2011).

Dolum faktörü (FF): OSC hücrelerindeki en yüksek tepe gücünün, teorikteki güç çıkışına oranıdır. Performans ölçümlerinde kullanılan önemli bir parametre değeridir. Dolum faktörü seri ve paralel dirençlerden etkilenir ve 0,55-0,85 aralığındadır. Kaliteli pillerin dolum faktörü 0,75'e yakın ya da 0,75'ten büyük bir değerdedir. Dolum faktörü ne kadar büyük bir değer olursa, elde edilecek güneş pilinin verimi de o kadar yüksek olacaktır. Dolum Faktörünün hesaplamasına yönelik kısım aşağıda gösterilmiştir (Kymakis ve diğerleri, 2008).

$$\text{Teorik Güç Çıkışı (P}_T\text{)} = V_{OC} \cdot I_{SC} \quad (2.1)$$

$$\text{En yüksek Tepe Gücü (P}_{mpp}\text{)} = I_{mpp} \cdot V_{mpp} \quad (2.2)$$

$$FF = \frac{I_{mpp} \cdot V_{mpp}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (2.3)$$

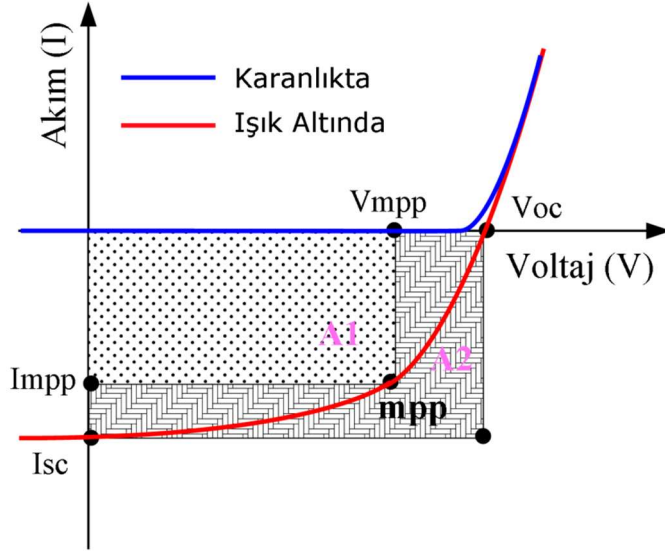
Güç Dönüşüm Verimi (η): OSC hücreleri üzerine gelen güneş ışınının hangi oranda elektrik enerjisine dönüştürüldüğünü gösteren bir parametre değeridir. OSC hücresinin çıkış gücünün, hücre girişindeki güce oranıdır (Musselman ve Poorkazem, 2019).

$$\eta (\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2.4)$$

$$\eta (\%) = FF \frac{V_{OC} I_{SC}}{P_{in}} \quad (2.5)$$

Kuantum verimi (QE): OSC hücrelerindeki yük taşıyıcısı miktarının, hücre üzerine gelen belirli bir enerjideki fotonların toplam sayısına oranıdır. Görünür bölgedeki dalga boylarına denk gelen fotonların tamamının güneş hücresi içerisinde soğurulması ile bu olaydaki yük taşıyıcılarının aktif katman içerisinde biriktirilmesi olayı kuantum verimliliğinin %100 ya da 1 olduğunu belirtir. OSC hücrelerine gelen fotonların yansımalarından ve iletimlerinden kaynaklanan kayıplar, harici kuantum verimliliği şeklinde ifade edilirken, sadece OSC

hücre since soğurulan fotonların yansıma ve iletim kayıpları dahili kuantum verimliliği şeklinde ifade dilmektedir.



Şekil 2.10. OSC hücrelerinin karanlık ve aydınlıktaki Akım-Voltaj (I-V) eğrisi.

Şekil 2.10'da karanlıkta ve ışık altında güneş pillerinin I-V (akım-voltaj) eğrisi gösterilmiştir. Buna göre; güneş pillerinin I-V grafiğinde akım ve gerilim değerlerinin maksimum olduğu nokta maksimum güç noktasını belirtir ve mpp noktasının hizasına denk gelen ve elde edilen gerilim değeri pildeki maksimum gerilim olan V_{mpp} 'yi, elde edilen akım değeri ise pilin maksimum akımı I_{mpp} 'yi belirtir. V_{mpp} ve I_{mpp} değerlerinin çarpımını ifade eden alana A1, V_{oc} ve I_{sc} değerlerinin çarpımını ifade eden alana A2 dersek, A1 Alanının A2 alanına oranı dolum faktörünü yani FF'yi verecektir.

OSC hücrelerin tamamının verim değerlerinin tespiti standart test koşullarında gerçekleşmelidir. Böylelikle üretilen organik güneş pillerinin birbirlerine göre verim kıyaslamalarından bahsedilebilir. Üretilen organik güneş pilleri atmosfer basıncı AM 1,5G güneş spektrumunda, 25 °C sıcaklıkta ve OSC hücre sine dikey yönde 1 000 W/m² ışı nım değerlerinde teste tabi tutularak standart test koşulları gerçekleşir.

Aktif tabakanın yani kullanılan yarıiletken polimerin kalınlığı yük taşıyıcı hareketliliği (mobilité) ile ters orantılı olduğundan, bu tabakanın kalınlığı verim elde edilmesi noktasında önemlidir. Aktif tabaka kalınlığı artırıldığında soğurulan foton miktarı önemli miktarda artış sağladığı gözlenmiş ise de bu kalınlık artışı güneş hücre sinin seri direncini de beraberinde

arttırdığından yük geçişlerini zorlaştırmıştır. Bu kapsamda aktif tabaka kalınlığının yanında aktif polimerin moleküler yapısını daha düzenli hale getirmek daha etkili bir çözüm olmuştur. Düzenli şekildeki moleküler yapılara sahip olan aktif polimer yapısı ile fotonun soğurma kapasitesin daha fazla artış gösterdiği görülmüştür. Bu kapsamda, aktif polimerlerin moleküler yapısı uygulanan ısıtma işlemi ile daha düzenli hale getirilebilir.

2.4. OSC Pillerinde Uygulanan Pil Optimizasyon Teknikleri

Oluşturulacak organik güneş pillerinde en fazla verim elde edebilmek adına, eksitonların ayrılarak elektrotlara iletilmesinde önemli bir görevi bulunan aktif polimer katmanının ara yüz alanının artırılması gerekmektedir. Bu alanın artırılması ancak aktif katmanın yani polimerin yapısının kontrollü bir şekilde düzenlenmesi ile gerçekleşmektedir.

Bu kapsamda uygulanan pil optimizasyonu için;

- ❖ Üretilen ince filmin tavlanması,
- ❖ Organik madde ilavesi, yapılabilir.

2.4.1. Üretilen ince filmlerin tavlanması

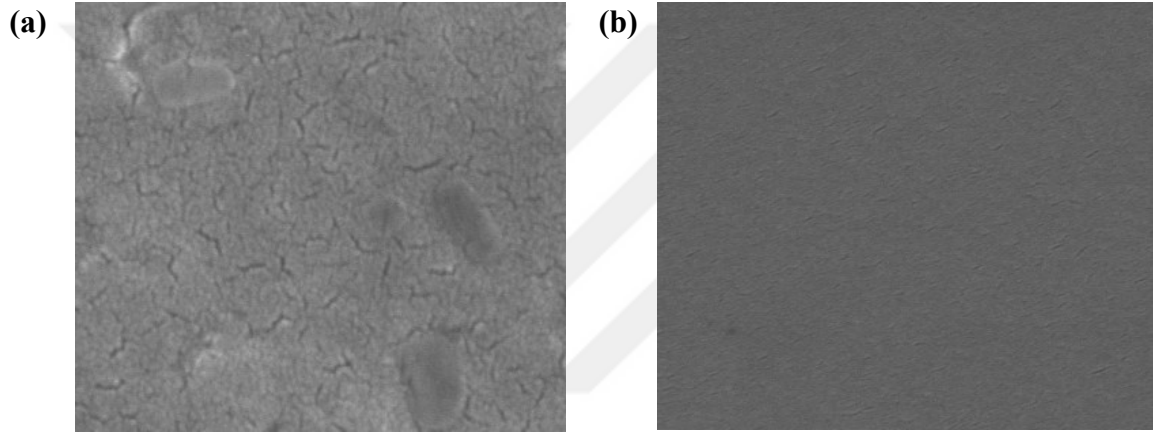
OSC pillerinde foton soğurulmasını sağlayan aktif katmanının farklı sürelerde ve sıcaklıklarda kademeli olarak ısıtma işlemi uygulanması şeklinde yapılan bir işlem türüdür. Uygulanan ısıtma işlemi ile, aktif katmanının yapısındaki kristalleşme artacağından katman daha pürüzsüz bir yapıya kavuşarak, elektron ve hollerin geçişlerini zorlaştıran kontak direncin azalması ile yüklerin geçişlerini kolaylaştırdığından pil verimi artmaktadır.

PCBM:P3HT aktif katmanına değişken aralıklarda 10-40 dakika zaman aralığında ve 75-230 derece arası sıcaklıklar uygulanması sonrası en verimli durumun 110-150 derece sıcaklık aralığında 10-20 dakika zaman aralığında olduğu tespit edilmiştir (Padinger ve diğerleri, 2003).

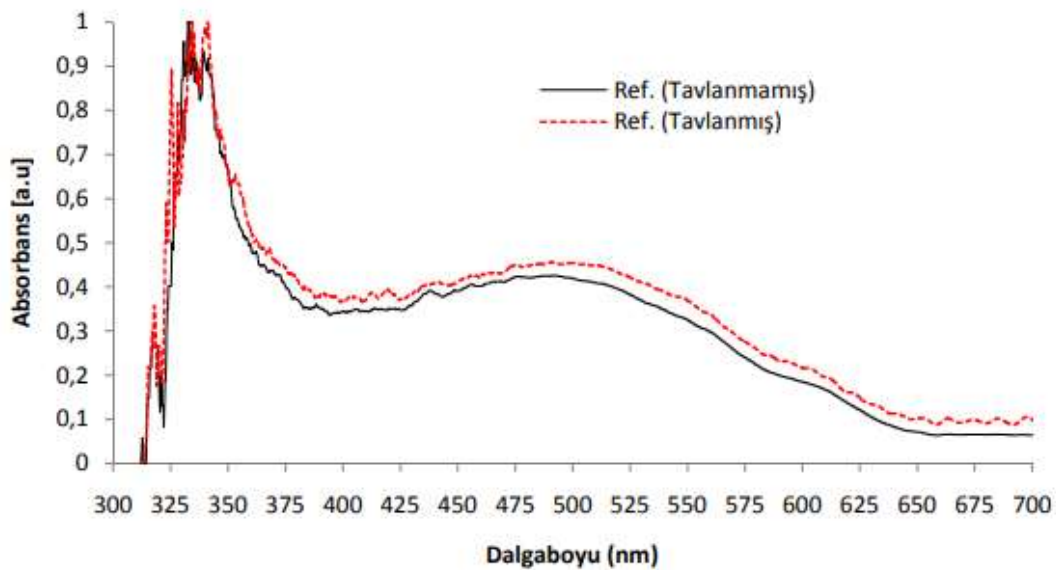
Benzer bir çalışmada, ITO üzerine 25 nm kalınlığında PEDOT/PSS katmanı ve 220 nm'lik aktif madde (1/1) kütle karışım oranı ile hazırlanan P3HT:PCBM aktif katman kaplanması ile bu oluşum 110 °C sıcaklıkta 10 dakika boyunca ısıtma işlemi tabi tutulmuş, işlem

sonrasında verimin %3,5 ‘ten %4,4’ e çıktığı gözlenmiştir. Uygulanan ısı işlem sayesinde, aktif katman daha düzgün bir moleküler yapıyla oluşturulması sağlanmış ve bu da katmanda düşük bir seri direnç sağlayarak yük geçişlerini kolaylaştırmıştır (Li ve diğerleri, 2005).

Huang ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yaptıkları çalışmada, tavlamanın pilin morfolojisini değiştirdiğini belirterek, tavllanmış pildeki kompozit film içerisindeki P3HT’nin düzgün bir şekilde sıralanması sayesinde yük taşımının ve geçişlerinin kolaylaştığı, böylelikle de pildeki verimin arttığı sonucuna varmışlardır (Huang ve diğerleri, 2009).



Şekil 2.11. P3HT:PCBM’nin 200nm’de SEM görüntüleri (a) Tavlamadan önceki yüzey görüntüsü (b)Tavlama işlemi sonrası yüzey görüntüsü (Yar, 2011).

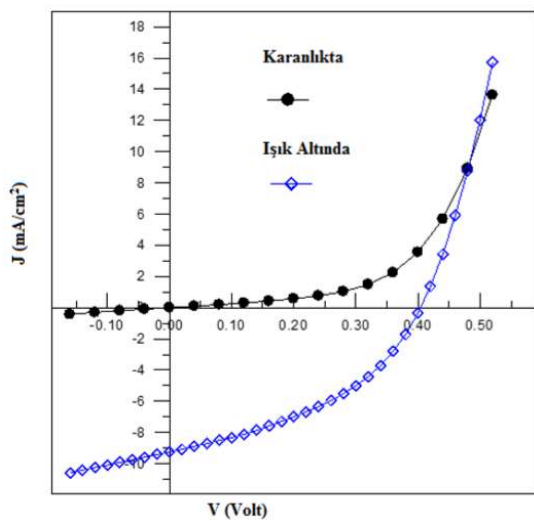


Şekil 2.12. P3HT:PCBM’nin tavlama işlemi öncesi ve sonrası ışık soğurma grafiği (Yar, 2011).

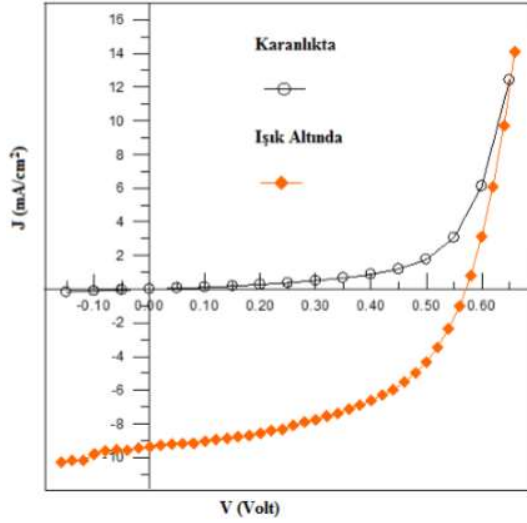
2.4.2. Organik madde ilavesi

Donör/akseptör tipi maddeler ile aktif katmanı oluşturan yapıya, farklı organik maddeler eklenmesi ile çözeltiye ait yapının düzenlendiği bir yöntemdir. Organik madde ilavesi özellikle çözelti yapısının ısıl işlemle düzenlenemediği veya karıştırılan donör/akseptör tipi maddelerin birbiri içerisinde tam olarak çözünemediğinde uygulanması gereken etkili bir yöntemdir. Eklenen maddeler, çözelti içerisinde topaklanmayı önleyici şekilde görev alarak çözeltinin daha düzenli yapıya ulaşmasını sağlarken, aktif katmanın ara yüzünün artmasını sağlarlar.

ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/LiF/Al şeklindeki heteroeklem yapıları organik güneş pilinin verimi 1,55 iken, aktif polimere %1 oranında pentacene ilavesi ile oluşan ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM:Pentacene/LiF/Al şeklinde heteroeklem yapısındaki verim 2,65 olarak tespit edilmiştir. Ancak aynı çalışmada daha fazla olarak %1,5 pentacene ilavesi sonrası verim 0,84 olarak belirlenmiştir. Pentacene katkılanması ile aktif tabakanın ara yüz alanının iyileşmesi neticesinde iç dirençteki azalmalar sayesinde yük geçişleri kolaylaşmış ve dolayısıyla güneş spektrumunu soğurma aralığı ve şiddetinin de artması dolayısıyla verimde yükselme gözlenmiştir. Ancak fazla miktarda pentacene ilavesi ile ara yüzde topaklanma meydana gelmesi ile iç dirençte artış gözlemlendiğinden yük geçişlerinde azalma dolayısıyla da verim azaldığı şeklinde açıklanmaktadır (Erkem, 2019).



Şekil 2.13. ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/LiF/Al heteroeklem yapıları Akım yoğunluğu-Gerilim grafiği (Erkem, 2019).



Şekil 2.14. Aktif katmana %1 oranında pentacene ilaveli ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM:Pentacene/LiF/Al heteroeklem yapıları güneş pilinin Akım yoğunluğu-Gerili grafiği (Erkem, 2019).

2.5. Organik Güneş Hücresi Üretiminde İnce Film Kaplama Teknikleri

OSC hücrelerinde kullanılan organik yarıiletken katman, çözelti veya gaz fazda kaplama yöntemleri ile ince film şekline dönüştürülmektedir. Kaplama özellikleri, malzemenin yapısına ve kaplamada kullanılacak farklı malzemeler arasındaki etkileşime de bağlıdır. Başlıca uygulanan kaplama teknikleri spin kaplama ve vakumla buharlaştırma yöntemidir.

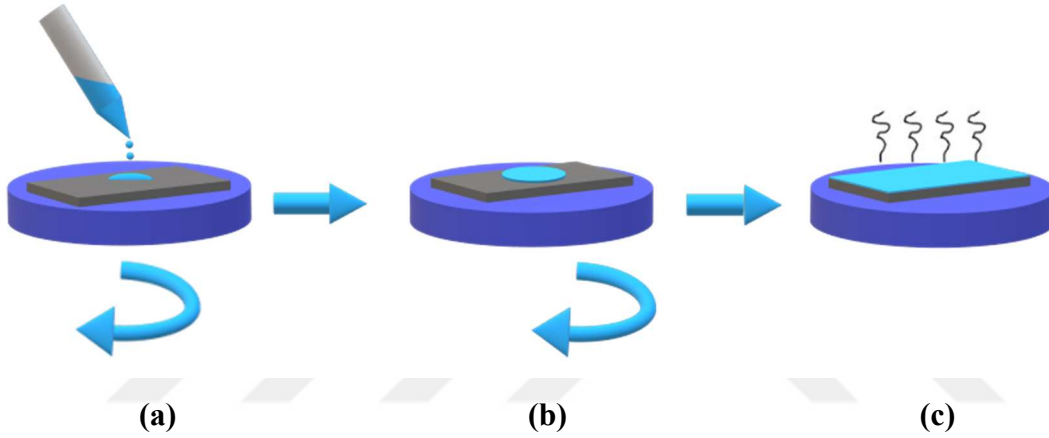
2.5.1. Spin kaplama yöntemi

Bir alttaş üzerine önceden hazırlanmış kaplama yapılması istenen maddenin belirli miktarda damlatılması ya da uygun bir şekilde dökülmesi sonrası, döndürme kuvvetinin oluşturacağı merkezci kuvvet etkisi ile çözeltinin alttaş üzerine düzgün bir şekilde yayılmasının sağlanarak uygulanan ısı nedeniyle gerçekleşen buharlaştırma işlemleriyle yapılan bir ince film tekniğidir. Uygulanan işlemde dönme anında alttaş üzerine damlatılan malzemenin savrulmadan sabit kalmasını sağlamak için alttaş vakum pompayla tutulur. Döndürme işlemi sonunda, alttaş üzerindeki fazla olan çözelti taşıyıcı yüzeyinden taşarak yüzeyden ayrılır. Film kalınlığının incilmesi ile akışkanlığa karşı olan direncin büyümesi sebebiyle, film kalınlığının incilmesi ile yüzeyden taşan çözelti miktarı da azalır. Dönüş hızı ve süresi ayarlanarak çözeltiye döndürme işlemi uygulanarak istenilen kalınlıkta ince film üretilir. İnce filmin kalınlığı, hazırlanan çözeltinin viskozitesine, kullanılan spin kaplama

makinesindeki alt tabakanın dönme sayısındaki hıza ve dönüş süresine sonrasında ise kaplamanın kuruma süresine bağlıdır.

Spin kaplama yöntemi aşamaları şekil 2.15’te gösterilmiştir.

- ❖ Alttaş üzerine çözeltinin damlatılması,
- ❖ Dönüş hızı ayarlanarak dönmekte olan çözeltinin hız ve akışkanlığına bağlı olarak fazla olan kısmın uzaklaşması, kalan kısmın alttaş üzerine yayılarak incelmesi,
- ❖ Çözücünün buharlaşması ile ince filmin oluşması şeklindedir.



Şekil 2.15. Spin kaplama yöntem aşamaları; (a) Alttaş üzerine çözelti damlatılması, (b) Dönüş hızı ayarlanarak çözeltinin alttaş üzerine yayılarak incelmesi, (c) Çözücünün buharlaşmasıyla ince film oluşması.

Bu aşamalar ile ince filmin her yerde aynı kalınlıkta olması sağlanır. Kalın yapıda bir ince film elde etmek için, malzemenin yüksek viskozitesine, düşük devirde dönme hızına ve kısa dönme zamanına ihtiyaç vardır. Bu tür kaplama tekniği ile oluşturulan ince filmin düzgün bir şekilde yüzeyde dağılım göstermesi sonucu film kalınlığı ince filminin yüzeyi boyunca her yerde aynı dağılımı gösterdiğinden homojen bir görünüme sahip olur. Spin kaplama yönteminde, alttaş üzerine uygulanan çözeltide hava kabarcığı ve boşluk olmayacak şekilde alt tabakası üzerine uygulanmalıdır.

Çözelti içerisinde hava boşlukları ile oluşan kabarcıklar kalması halinde çözelti homojen olarak alttaş üzerine yayılmaz. Çözelti alttaşın merkezine veya merkeze yakın bir noktaya damlatılmalıdır. Düzgün bir kaplama yapılarak doğru sonuçlar elde etmek adına, alt

tabakanın mutlaka temiz olmasına dikkat edilmeli, spin makinesindeki devir sayısı ve döndürme zamanının iyi ayarlandığına dikkat edilmelidir.

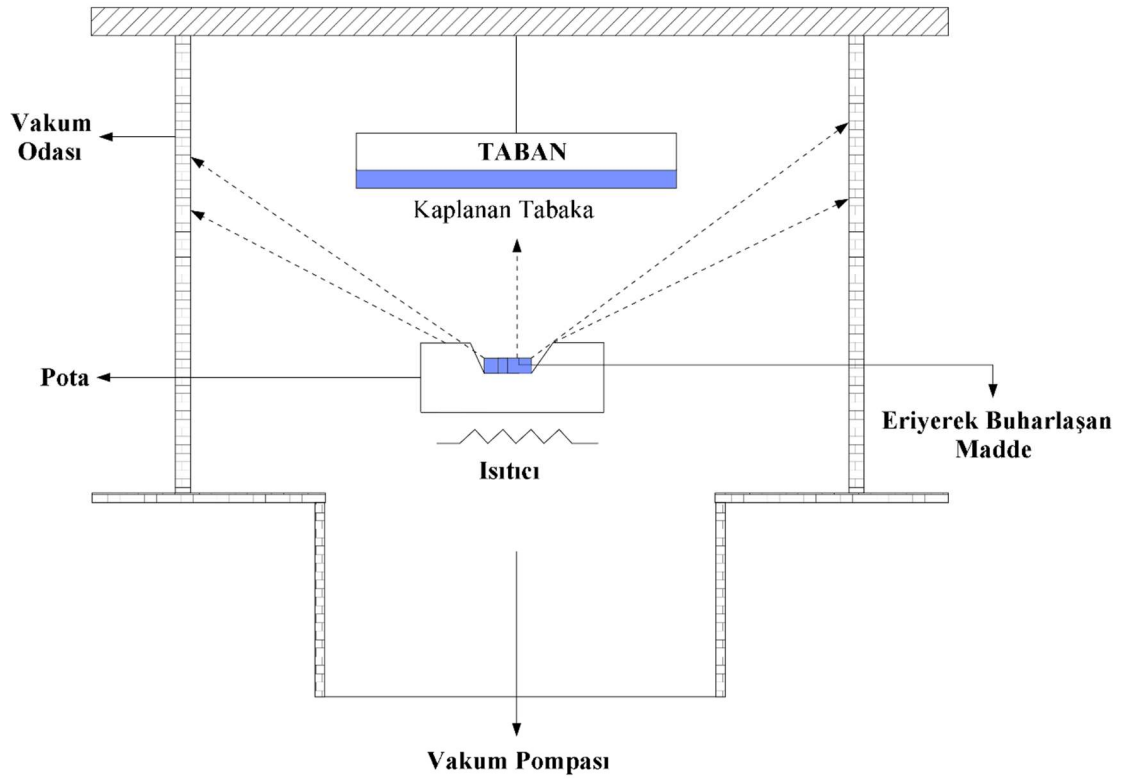


Resim 2.1. Spin kaplama cihazı

2.5.2. Vakumla buharlaştırma yöntemi

Vakumla havası alınmış özel kapalı bir bölüm içerisinde ve rezistans tellerinden oluşan bir ısıtıcı ile düşük basınç altında katı veya sıvı malzemenin buharlaşması için gerekli sıcaklık sağlanması ile buharlaştırılan malzemede atomların kopartılması sağlanır. Buharlaştırılan malzeme daha düşük sıcaklık bölgesine yönlendirilmesi ile burada yoğunlaşarak kaplanması istenilen alttaş malzemenin yüzeyinde biriktirilmesi sağlanır (Şekil 2.16).

Önceden ısıtılmış cihaz içerisindeki altlık üzerine 10^{-5} veya 10^{-7} torr düşük basınç altında buharlaştırılmış materyalin çökmesi sağlanır. Bu yöntemin uygulanmasında ince filmler yüksek vakumda kaplandığından, kaplama esnasında ortamdaki yabancı atomlarla ince filmlerin etkileşimleri de az olduğundan kaplanan ince filmlerde doğru sonuç elde edilmesi daha mümkündür.



Şekil 2.16. Vakumla buharlaştırma yöntemi

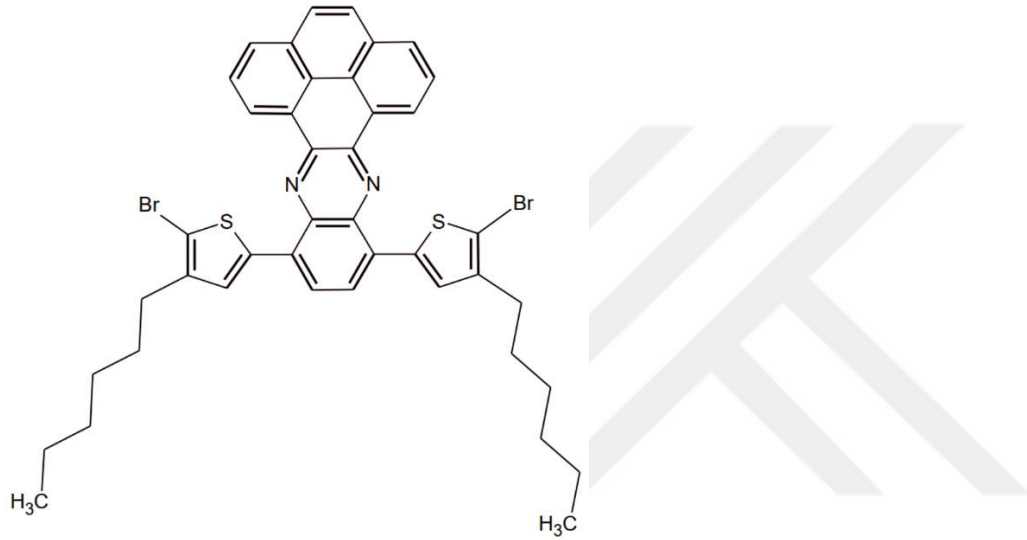
Bu işlem, havası alınmış vakumlu bir ortamda gerçekleştirilebildiği gibi istenildiği takdirde ortama dışardan soygaz ilave edilerek de gerçekleştirilebilir. Yüzey sıcaklığının ve buharlaştırma oranı kontrol edilmesi ile farklı kalınlıklarda ince film elde edilebilmektedir.



Resim 2.2. Vakumla buharlaştırma cihazı

3. MATERİYEL VE YÖNTEM

Piren molekülü ile bu moleküle ekstra donör gruplardan Tiyofen (Th), (Benzotiodiazol) BT ve (Trifenilamin) TPA molekülleri ayrı ayrı eklenerek genellikle yüksek verimle gerçekleşen suzuki reaksiyon tepkimesi ile bağlantısı sağlanmıştır. Söz konusu molekül bağlantıları ile ilgili olarak, şekil 3.1’de pirene ait molekül şekil yapısı ile söz konusu yeni yapılara ait sentez kısaltma kodları çizelge 3.1’ de belirtilmiştir.



Şekil 3.1. 10,13-bis(5-bromo-4-hekzil-2-tiyenil)fenantro[4,5]fenazin (Piren) molekülünün sentezi gösterimi.

Çizelge 3.1. Piren ve ekstra donörlerin suzuki tepkimeleri sonucu oluşturdukları yeni yapıların kısaltma kodları.

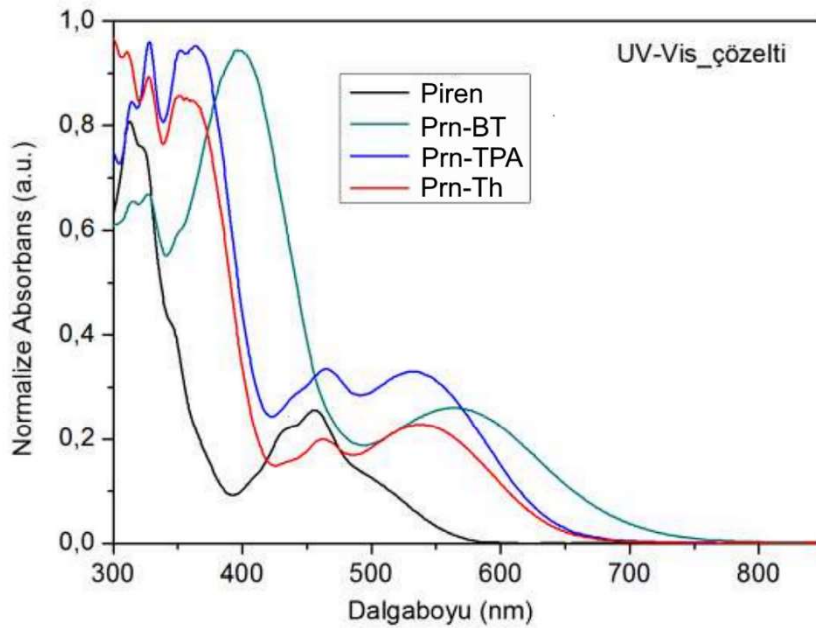
Piren	Suzuki Tepkimesinde Pirene Bağlanan Ekstra Donörler	Sentez Kısaltma Kodu
10,13-bis(5-bromo-4-hekzil-2-tiyenil)fenantro[4,5]fenazin	Trifenilamin	Prn-TPA
	Benzotiodiazol	Prn-BT
	Tiyofen	Prn-Th

3.1. Sentezlenen Moleküllerin Karakterizasyonu

Suzuki reaksiyon tepkimesi ile sentezlenen; Piren, Pyr-Th, Pyr-BT ve Pyr-TPA yapılarının yapısal, optik, kimyasal ve elektriksel analizleri yapılarak SEM ve AFM görüntüleri alınmıştır.

3.1.1. UV-VIS soğurma analizi

Sentezlenen moleküllerin çözelti ve ince film fazlarına ait optik karakterizasyonları diklorometan çözücüsü kullanımıyla elde edilen çözeltiler ile UV-Vis spektrofotometre cihazıyla ölçülmüştür. Sentezlerin UV-VIS grafikleri; şekil 3.2 çözelti fazı ve şekil 3.3 ince film fazı için gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Sentezlenen moleküllerin UV-VIS spektrum analizlerine ait çözelti fazı grafikleri.

Şekil 3.2' de sentezlerin çözelti fazındaki soğurma spektrumlarına bakıldığında sentezlerdeki ana molekül olan Piren molekülüne ait spektrumda 312 nm'de (π - π^* geçişleri) 456 nm'de (yük transfer bandı) maksimum soğurma piklerinin olduğu görülmektedir.

Aynı şekilde, Piren yapısına bağlanarak Prn-BT ve Prn-Th moleküllerinin sentezlerine katılan tiyofen grubu konjugasyonu artırdığı görülmektedir. Prn-BT ve Prn-Th

moleküllerinin spektrumunda, Piren molekülünde $\pi-\pi^*$ geçişlerine ait olan 312 nm'deki pikin 351 ve 397 nm'ye, yük transfer bandlarına ait olan 456 nm'deki pikin de 535 ve 556 nm'ye kaymış olduğu görülmektedir. Meydana gelen bu kırmızıya kayma, Piren molekülüne eklenen ekstra tiyofen donör grupların sayısının artmasına bağlı olarak konjuge merkez gruptan kinoksalin akseptör üzerine meydana gelen yük transferinin etkinliğinin artmasından kaynaklanmaktadır.

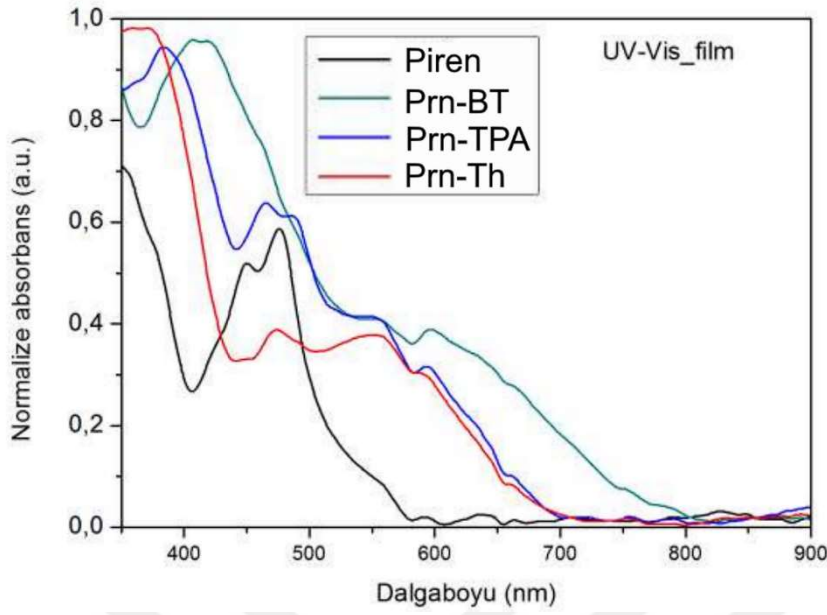
Yine aynı şekilde Prn-TPA molekülünde ise, piren molekülüne ilave edilmiş olan trifenilamin grubunun azotu üzerindeki elektron çiftlerinin piren molekülüne ait elektron donör etkisi sebebi ile bu moleküle ait yük transfer bandına karşılık gelen maksimum soğurma pikinin 535 nm'de olduğu görülmektedir. Konjugasyonun artmasına bağlı olarak yük transfer maksimum dalga boyunun kırmızı bölgeye kaydığı bilinmektedir. Tiyofen gruplarının konjugasyona yaptığı katkının, trifenilamin grubundan daha fazla olması sebebiyle, kırmızıya kayma miktarı, Prn-TPA molekülünde, Pyr-BT moleküllerinde olduğu kadar fazla olmamıştır.

$$E_g = h.c / \lambda_{\max} = 1240 / \lambda_{\max} \text{ (eV)} \quad (3.1)$$

Söz konusu kırmızıya kayma sonucunda, yukarıda belirtilen formül (3.1)' deki eşitlik yardımıyla moleküllerdeki E_g (optik bant boşlukları) çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Sentezlere ait optik bant boşluğu değerleri

Sentezler	Optik bant boşlukları (eV)
Piren	2,12
Prn-Th	1,89
Prn-BT	1,71
Prn-TPA	1,87

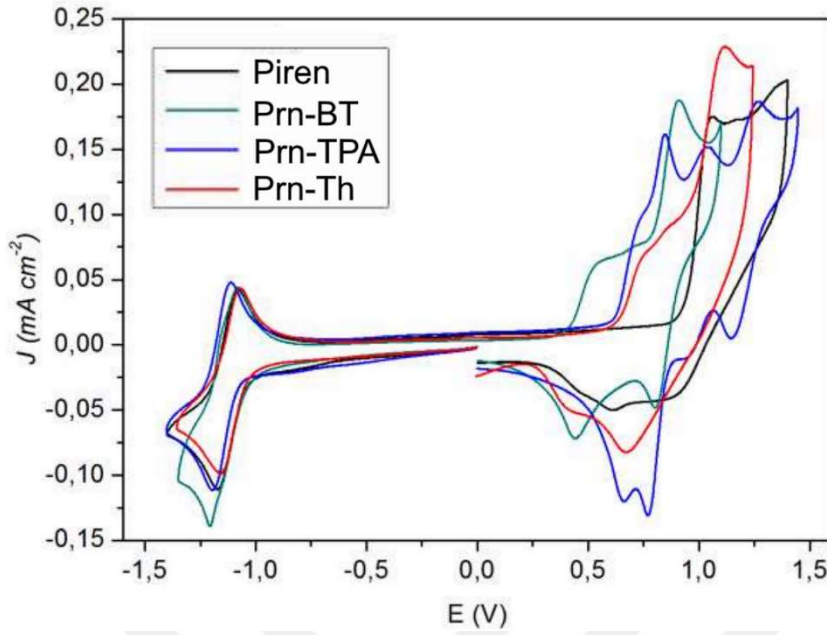


Şekil 3.3. Sentezlenen moleküllerin UV-VIS spektrum analizlerine ait ince film fazı grafikleri.

Şekil 3.3' te sentezlenen moleküllerin film fazındaki soğurma spektrumları incelendiğinde, çözelti fazındaki yük transfer bandının maksimum soğurma pik değerlerinin piren molekülünün düzlemsel yapısından kaynaklanan ve kat fazda p-p etkileşiminin artması sonucunda moleküller arası etkileşimin artmasına bağlı kırmızıya kaydığı anlaşılmakta olduğu görülmüştür.

3.1.2. Döngüsel voltametri analizi

Sentezlenen numunelerin elektrokimyasal karakterizasyonları Döngüsel Voltametri (CV) Analiz ölçümleriyle üç elektrotlu sistemde incelenmiş olup; çalışma elektrotu olarak camı karbon, karşıt elektrot olarak platin tel ve referans elektrot olarak gümüş tel seçilmiştir. Sentezlenen moleküllerin tetrabutilamonyum hekzaflorofosfat (TBAPF6) destek elektroliti ve diklorometan çözücüsü ile çözeltileri hazırlanmıştır. Numunelere ait ölçümler 1,5V ile +1,5V aralığı boyunca 100 mV /s' de taranmış olup, dağılımlar şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Sentezlenen moleküllerin CV analiz grafikleri.

Şekil 3.4'deki CV analiz grafiği incelendiğinde, Piren molekülünün döngüsel voltamogramına bakıldığında anodik bölgede 0,96 V'de yarı tersinir bir yükseltgenme pikinin oluştuğu, katodik tarama bölgesinde kinoksalin birimine ait karakteristik indirgenme pikininde -0,89 V'de gözlenmektedir.

Aynı grafikteki diğer sentezlerden Prn-Th, Prn-BT ve Prn-TPA moleküllerinde yükseltgenme piklerinin daha düşük potansiyelerde meydana geldiği, moleküllerin indirgenme davranışlarında ise çok küçük kaymalar oluştuğu görülmektedir. Bu kapsamda sentezlerdeki anodik pikler pozitif potansiyele kayarken, katodik piklerin negatif potansiyele kaydıkları görülmekte olup, sentezlerin elektrokimyasal olarak kararlı oldukları görülmektedir.

Elde edilen voltamogramlar üzerinden numunelerin E_{ox} (yükseltgenme) ve E_{red} (indirgenme) değerleri bulunmuş, aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanan E_{gap} , HOMO ve LUMO değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir (Dai ve diğerleri, 2010).

$$E(\text{HOMO}) = -e[E_{ox}^{onset} + 4,4] \quad (3.2)$$

$$E(\text{LUMO}) = -e[E_{red}^{onset} + 4,4] \quad (3.3)$$

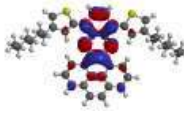
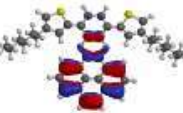
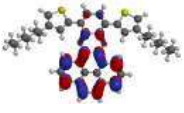
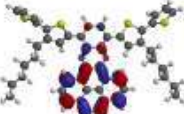
Çizelge 3.3. Sentezlere ait yükseltgenme ve indirgenme pik potansiyelleri, HOMO, LUMO optik ve elektrokimyasal bant boşluğu değerleri.

Sentezler	Yükseltgenme Pik Potansiyeli (V)	İndirgenme Pik Potansiyeli (V)	HOMO (V)	LUMO (V)	Optik Band Boşluğu (eV)	Elektro- kimyasal Band Boşluğu (eV)
Piren	Tiyofen Eoxm1,a = 1,06 Eoxm1,c = 0,62	Kinoksalin E redm1,a = -1,08 E redm1,c = -1,17	-5,29	-3,44	2,12	1,85
Prn-Th	Tiyofen Eoxm1,a = 0,86 Eoxm1,c = 0,69	Kinoksalin E redm1,a = -1,06 E redm1,c = -1,14	-4,99	-3,42	1,89	1,57
Prn-BT	Tiyofen Eoxm1,a = 0,54 Eoxm1,c = 0,43	Kinoksalin E redm1,a = -1,08 E redm1,c = -1,20	-4,74	-3,41	1,71	1,33
Prn-TPA	Trifenilamin Eoxm1,a = 0,85 Eoxm1,c = 0,66	Kinoksalin E redm1,a = -1,10 E redm1,c = -1,19	-4,90	-3,30	1,87	1,60

Şekil 3.4’ deki grafik ile çizelge 3.3’ e bakıldığında; piren sentezi ile Prn-Th, Prn-BT ve Prn-TPA yapıları kıyaslandığında, yükseltgenme pik potansiyelinde meydana gelen değişime bağlı olarak HOMO enerji seviyesinin yukarı yönlü artış sağladığı, LUMO enerji seviyesinin ise hemen hemen aynı değerlerde kaldığı görülmektedir. Buna bağlı olarak elektro-kimyasal band boşluğu değerlerinin 1,85 eV’den sıralı olarak 1,57; 1,60 ve 1,33 eV’ye doğru daraldığı gözlenmektedir.

Söz konusu sentezlere ait yük yoğunlukları ile HOMO-LUMO enerji seviyelerinin DFT (Ayrık Fourier Dönüşüm) teorik olarak belirlenmesinde Spartan 20 programı kullanılmış olup, sentezler ile ilgili hesaplamalar çizelge 3.3’ te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Sentezlere ait teorik DFT hesaplamaları

Sentezler	HOMO (eV)	LUMO (eV)	HOMO ⁻¹ (eV)	LUMO ⁺¹ (eV)	Teorik Band Boşluğu (eV)
Piren	 -5,44	 -2,34	 -5,71	 -1,6	3,1
Prn-Th	 -5,1	 -2,43	 -5,63	 -1,63	2,67
Prn-BT	 -4,94	 -2,4	 -5,16	 -1,61	2,54
Prn-TPA	 -4,9	 -2,23	 -4,94	 -1,5	2,67

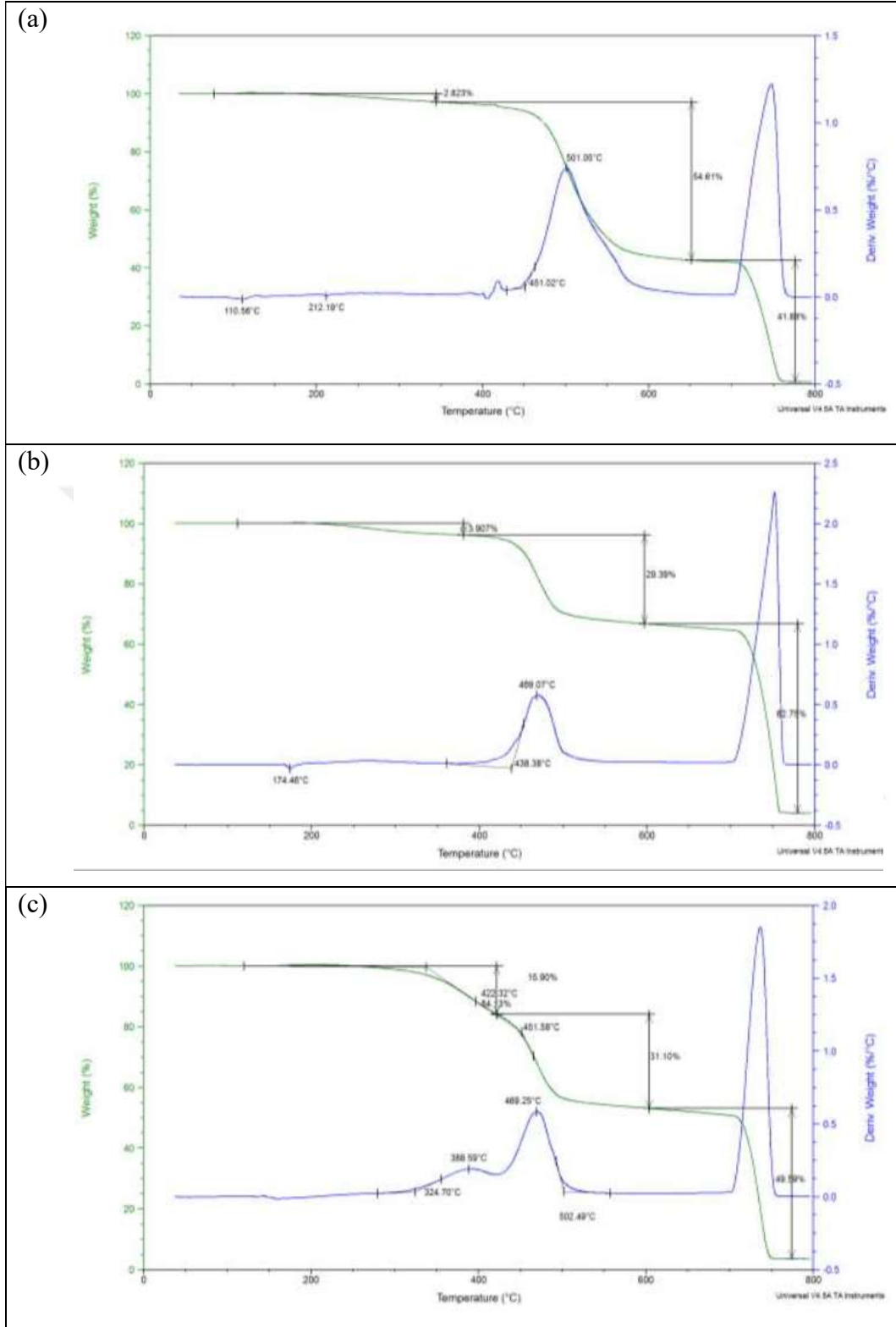
Çizelge 3.4'deki hesaplamalar dikkate alındığında, sentezlerin yapısında bulunan piren molekülünün yük yoğunluklarına bakıldığında HOMO'da bulunan yük miktarının tümüyle konjuge ana zincirde olduğu ve belirtilen yükün LUMO'da kinoksalin akseptör grubu üzerine gitmiş olduğu görülmektedir. Bilinen üzerine HOMO⁻¹ seviyesinde bulunan yüklerin kondenze konjuge yapı olan piren halkasında bulunduğu görülmüştür. Diğer sentezlerin yük dağılımlarına bakıldığında ise, yalnız Prn-TPA yapısı haricinde piren benzeri davranış göstermiştir. Prn-TPA molekülündeki trifenilamin yapısının, tiyofen-fenilen-tiyofen ana zincire göre daha kuvvetli donör özellikte olması sebebiyle HOMO ve HOMO-1 de yüklerin tümüne yakın olarak büyük çoğunluğunun bu kısımda bulunduğu görülmektedir. LUMO'da ise yine kinoksalin grubu üzerine hareket etmiş olan yüklerin diğer moleküller ile benzer bir davranış gösterdiği görülmüştür. Yapılan hesaplamalar sonucunda bileşiklerin HOMO seviyesinin deneysel verilerle uyumlu olduğu, LUMO seviyesinin ise yaklaşık 1 eV'luk bir sapma gösterdiği görülmektedir.

3.1.3. Sentezlerin termal analizi

Piren odaklı sentezlerin termal analizlerinin belirlenmesi işlemi kapsamında, TGA (termal gravimetrik analizi) SDT/TGA TA Q-600 cihazıyla ve DSC (diferansiyel taramalı kalorimetri) analizleri DSC TA Q-600 cihazıyla yapılmıştır.

Sentezlerin TGA analizlerinde; 50 mL /dakika gaz akış hızı, sıcaklık artışı 10 °C/dakika birim hızında ayar yapılarak sıcaklık oda sıcaklığından 800 °C'ye kadar çıkılmıştır. Sıcaklık aralığı 700 °C'ye kadar azot (N₂) ortamında yakma işlemi yapılırken, 700-800 °C aralığında ise ortamda katalizör gibi metal kalıntıların bulunup bulunmadığının belirlenmesine yönelik oksijen (O₂) ortamında yakma işlemi yapılmıştır. Söz konusu sentezlerden; TGA analiz grafikleri, şekil 3.7'de (a) Prn-Th, (b) Prn-BT ve (c) Prn-TPA molekülleri için gösterilmiştir.

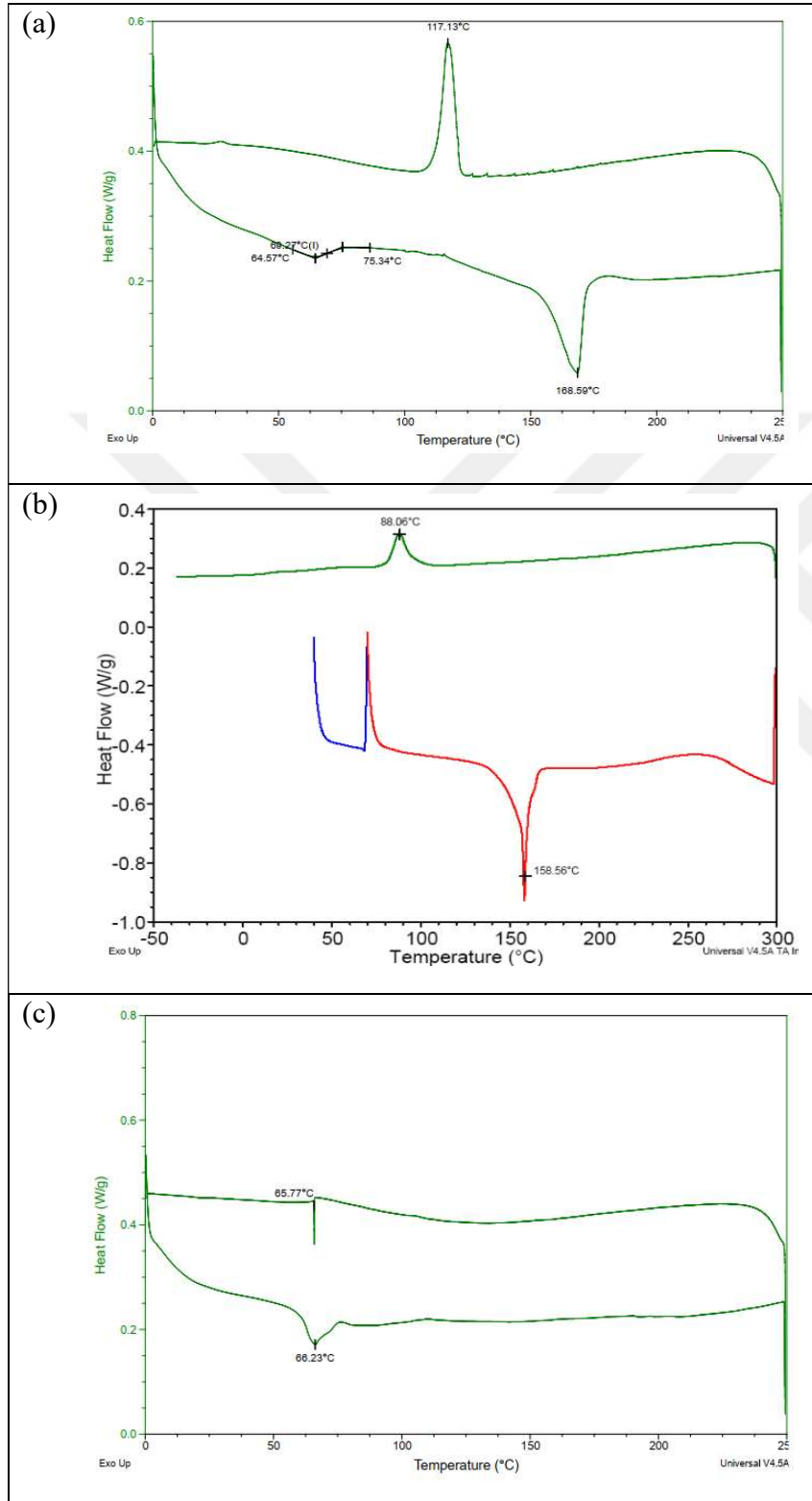
Şekil 3.5'deki TGA analiz grafikleri incelendiğinde, genel olarak Prn-Th, Prn-BT ve Prn-TPA molekkülerine ait termogramlar incelendiğinde, her türevde bulunan alkil zincirlerinin parçalandığı ilk olarak kimyasal dekompozisyonundan anlaşılmaktadır. Aynı şekillerdeki; (a) Pyr-Th molekülü için, sırasıyla %3,9'luk kütle kaybı tiyofen halkası üzerinde bulunan heksil gruplarına, %29,39'luk kütle kaybı ana zincir üzerinde bulunan iki tiyofen halkasına, %62,75'lik kütle kaybı ise geride kalan kinoksalin köprülü piren molekülüne ait olduğu; (b) Pyr-BT molekülü için; sırasıyla %15,09'lık kütle kaybı tiyofen halkaları üzerinde bulunan 4 adet heksil grubuna, %31,10'luk kütle kaybı ana zincir üzerinde bulunan 3 adet tiyofen halkasına, %49,6'lık kütle kaybı ise ana molekülden geride kalan kinoksalin köprülü piren molekülüne ait olduğu; (c) Pyr-TPA molekülü için sırasıyla %2,83'lük kütle kaybı tiyofen halkası üzerinde bulunan heksil gruplarına ait, %54,61'lik kütle kaybı yapıdaki ana zincir üzerinde bulunan trifenil amin gruplarının ve geri kalan %41,88 'lik kısım molekülün heksil ve trifenil amin grupları dekompozisyonu sonrası geriye kalan kinoksalin köprülü piren molekülüne ait olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.5. Sentezlenen moleküllerden (a) Prn-Th molekülü (b) Prn-BT molekülü ve (c) Prn-TPA moleküllerine ait TGA grafikleri.

Sentezlerin DSC analizlerinde; Sentezlenen moleküllerin kristalin özelliğini belirlemek için DSC analizleri yapılmış, yapılan ölçümlerde 250 °C sıcaklığa kadar ısınma ve soğuma

eğrileri kaydedilmiş olup, DSC analiz grafikleri şekil 3.8 (a) Prn-Th, (b) Prn-BT ve (c) Prn-TPA molekülleri için gösterilmiştir.

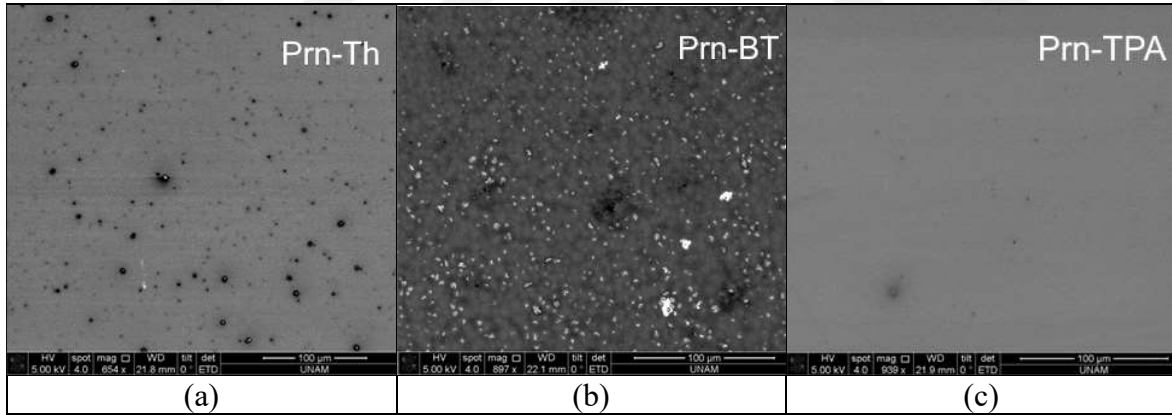


Şekil 3.6. Sentezlenen moleküllerden (a) Prn-Th molekülü (b) Prn-BT molekülü ve (c) Prn-TPA moleküllerine ait DSC grafikleri.

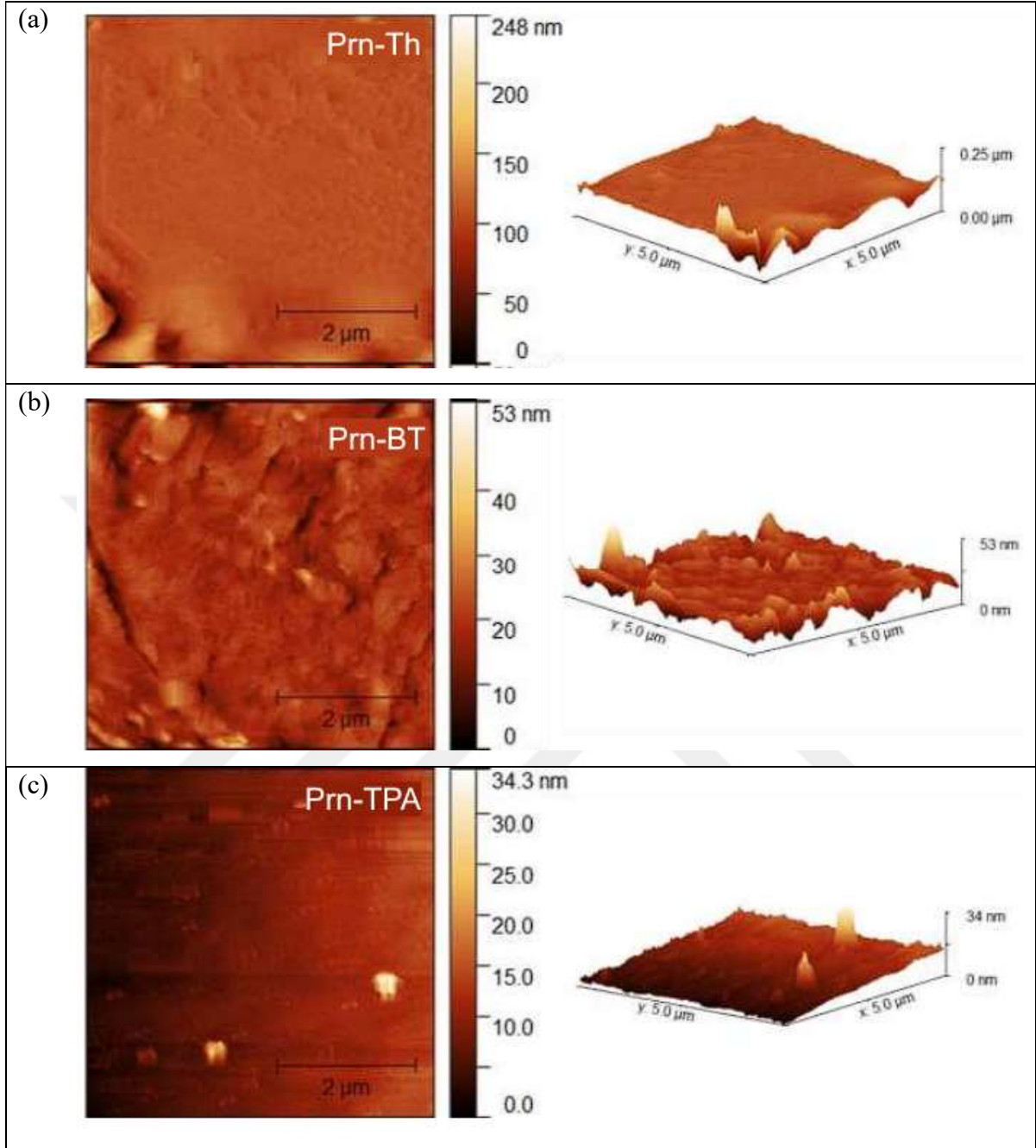
Şekil 3.6' daki grafikler incelendiğinde, sentezlenen moleküllerin yan grubundaki piren molekül yapısının düzlemsel olması dolayısıyla katı fazdaki kuvvetli etkileşimleri nedeniyle kristalin özellikte oldukları görülmektedir. Diğer yandan trifenilamin grubunun yan gruptaki üç boyutlu ve hacimli yapısına dikkat edildiğinde ise bu yapının piren halkalarının paketlenmesini önleyerek dolayısıyla da kristallenmesini engellemiş olduğu görülmektedir.

3.1.4. Sentezlerin SEM ve AFM görüntüleri

Sentezlenen numunelerin yapısal karakterizasyonun belirlenmesi amacıyla yönelik, klorebenzende 10mg/ml çözünerek hazırlanmış ve 110 °C' de 10 dakika tavlansak ITO üzerinde ince filmi oluşturulmuştur. AFM görüntülerinin elde edilmesine yönelik olarak, numuneler 10mg/ml diklorobenzende çözünerek hazırlanmış ve 110 °C' de 10 dakika tavlansak Si-Wafer üzerine ince filmler oluşturularak AFM görüntüleri elde edilmiş olup, şekil 3.7'de numunelere ait 100µm'deki SEM görüntüleri ile şekil 3.8'de 2µ' deki AFM görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Sentezlenen moleküllerden (a) Prn-Th molekülü (b) Prn-BT molekülü ve (c) Prn-TPA moleküllerine ait 100µm'deki SEM görüntüleri.



Şekil 3.8. Sentezlenen moleküllerden (a) Prn-Th molekülü (b) Prn-BT molekülü ve (c) Prn-TPA moleküllerine ait 2 μm 'deki AFM görüntüleri.

Sentezlere ait Şekil 3.7'deki SEM ve şekil 3.8'deki AFM görüntüleri incelendiğinde, Prn-BT numunesinde yüzey alanındaki artışın en fazla, piren yapısı nedeniyle de Prn-TPA numunesinin ise tiyofen grubuna göre yüzey alanı artışının daha düşük kaldığı görülmektedir.

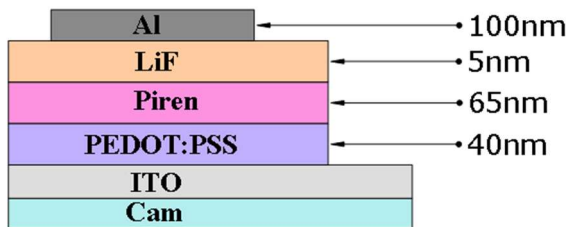
3.2. Piren Merkezli Organik Güneş Pili Oluşumu

Suzuki reaksiyon tepkimesi ile sentezlenen Prn-Th, Prn-BT ve Prn-TPA ile saf piren sentezlerinin güneş pili oluşum uygulamalarında öncelikle;

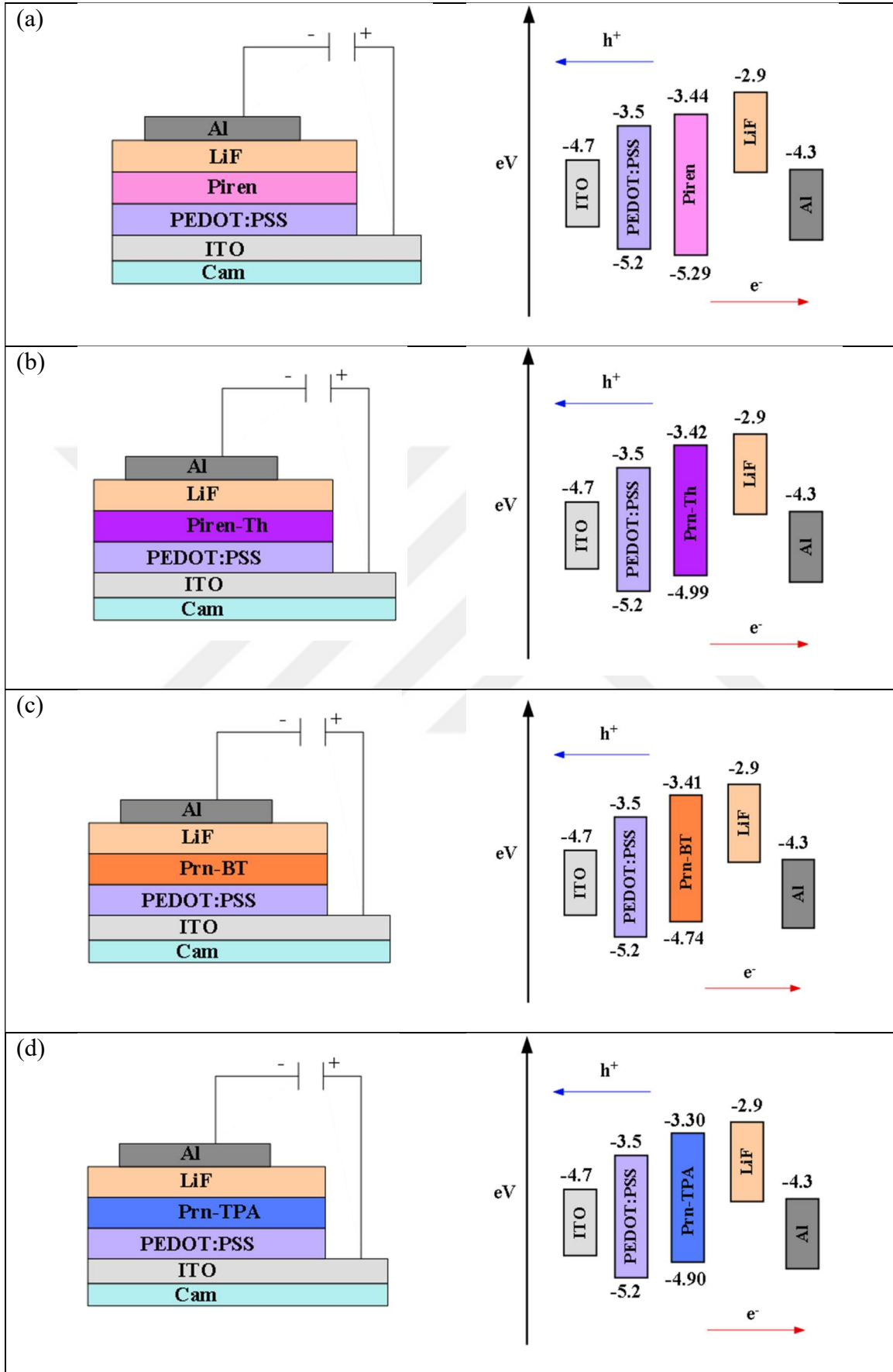
ITO kaplı camlar sırasıyla deiyonize su, aseton ve isopropanol alkolde ultrasonik titreştirici kullanılarak temizlenmiş ve N₂ (%99,999 saflık) ile kurutulmuştur. ITO alttaşının yüzey temizliği için tüm oluşturulacak organik güneş pillerinde kullanılacak alttaşlara sırasıyla 5 dakika boyunca oksijen plazma uygulanmıştır.

Sonrasında ITO saydam tabakası üzerine 30 saniye boyunca 3000 rpm'de spin kaplama tekniği ile hole taşıyıcı katman olan PEDOT:PSS 40 nm kalınlığında kaplanmış ve 30 dakika boyunca 120 °C'de tavlammıştır. Ardından güneş pilinin aktif katmanının oluşumu için, hole taşıyıcı katmana uygulanan aynı teknik ile daha önce sentezleri gerçekleştirilen piren ve türevleri 2000 rpm' de yaklaşık 65 nm kalınlığında kaplanarak, 110 °C'de 10 dakika boyunca tavlammıştır.

Daha sonra bir maske yardımıyla termal buharlaştırma yöntemi ile elektron taşıyıcı katman olarak 5 nm kalınlığında LiF ve sonrasında da katot elektrotu olarak 100 nm kalınlığında Alüminyum elektrotu kaplanmış ve dört farklı organik güneş pili aygıtının üretimi tamamlanmıştır. Söz konusu organik güneş pillerinin yapısını oluşturan katman kalınlıkları şekil 3.9'da ve tüm sentezlere ait katman yapıları ile enerji bandları şekil 3.10' da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Sentezlenen moleküllerden Piren numunesinin aktif katmanında kullanımı ile oluşturulan organik güneş pilindeki katman kalınlıkları.



Şekil 3.10. Sentezlenen moleküllerden (a)Piren, (b) Prn-Th, (c) Prn-BT ve (d) Prn-TPA' nın kullanımı ile oluşturulan güneş pili katman yapısı ile enerji band grafiği.

3.2.1. Piren merkezli organik güneş pili karakterizasyonu

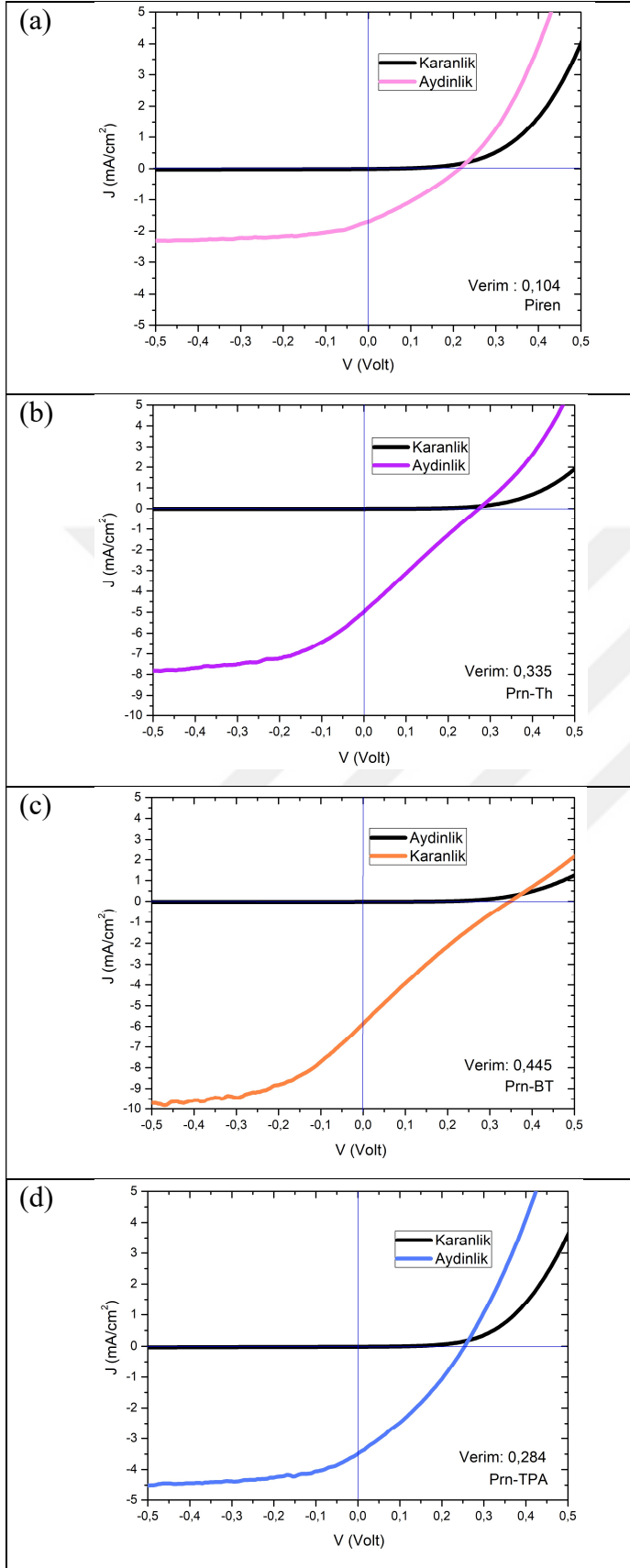
Sentezlenen numunelerin aktif tabakada kullanılması ile oluşturulan güneş pillerinin verimlerinin tespitine yönelik şekil 3.10’da katman yapılarıyla oluşturulan dört farklı organik güneş pillerine ait J (Akım yoğunluğu)- V (Gerilim) grafikleri Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Şekil 3.11’deki grafik üzerinden V_{oc} (açık devre voltajı), J_{sc} (kısa devre akım yoğunluğu) ile maksimum güç noktalarına karşılık gelen gerilim ve akım yoğunluklarına karşılık gelen V_{mpp} ve J_{mpp} değerleri tespit edilerek, formül (2.3)’den organik güneş pillerinin η (verim) ve formül (2.5)’ den (FF) doluluk faktörü değerleri hesaplanmış olup, çizelge 3.5’de söz konusu değerler gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Aktif katmanda bulunan piren ve piren merkezli sentezlere ait OSC’lerin η ve FF değerleri.

Cihaz Yapısı	J_{mpp} (mA/cm ²)	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{mpp} (V)	V_{oc} (V)	η (%)	FF
ITO/ PEDOT:PSS/Piren/LiF/Al	-0,89	-1,705	0,12	0,215	0,104	0,29
ITO/ PEDOT:PSS/ Prn-Th LiF/Al	-2,55	-4,986	-0,13	0,275	0,335	0,24
ITO/ PEDOT:PSS/ Prn-BT/LiF/Al	-2,74	-5,869	0,17	0,35	0,445	0,22
ITO/ PEDOT:PSS/ Prn TPA/LiF/Al	-1,84	-3,485	0,15	0,255	0,284	0,31

Çizelge 3.5 incelendiğinde, organik güneş pili uygulamalarında en yüksek verim oluşturan iki sentezin %0,445 verim değeri ile Prn-BT ile %0,335 verim ile Prn-Th numunelerinin olduğu, en düşük verimin ise %0,104 verim değeri ile yalnızca piren numunesinin aktif katmanda kullanımı ile oluşturulan organik güneş pilinde olduğu görülmektedir. Piren molekülüne göre, pirenin yapısına suzuki tepkimesi ile bağlanan Tiyofen (Th), Benzotiodiazol (BT) ve Trifenilamin (TPA) molekülleri ile oluşturulan Prn-Th, Prn-BT ve Prn-TPA numunelerinin yapılarının daha düzenli hale geldiği dolayısıyla yük geçişlerinin daha kolay olduğu, bu sebeple çizelge 3.5’deki akım yoğunluklarındaki değerlerde görüldüğü üzere akım yoğunluğundaki değerleri artırdığı ve buna bağlı olarak piren göre diğer numunelerdeki verimlerin daha yüksek olduğu şeklinde açıklanmaktadır.



Şekil 3.11. Sentezlenen moleküllerden (a)Piren, (b) Prn-Th, (c) Prn-BT ve (d) Prn-TPA'nın kullanımı ile oluşturulan güneş piline ait J-V (Akım yoğunluğu- Gerilim) grafikleri.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Polimer tabanlı organik güneş hücrelerinde yüklerin difüzyon kapasitelerinin polimerlerde çok düşük olduğundan donör/akseptör tipi malzemelerin ara katmanında homojenimsi bir yapıya ihtiyaç duyulur. Bu sebeple bu tez çalışmasında piren molekülü yapısına Suzuki bağlanma yöntemi ile ekstra donör gruplardan Tiyofen (Th), Benzotiodiazol (BT) ve Trifenilamin (TPA) molekülleri bağlanarak oluşturulan güneş pilindeki aktif tabakanın homojen bir yapıda olması sağlanmıştır.

Aktif tabakanın kalınlığı yük taşıyıcı hareketliliği (mobilité) ile ters orantılı olduğundan, film kalınlığındaki artış soğurulan foton sayısındaki artışı gerçekleştirse de hücrelerdeki seri direnci de artırmakta olduğundan aktif tabakada kullanılan Piren, Prn-BT, Prn-Th ve Prn-TPA sentezlerinin ince film kalınlıklarının en fazla verim alındığı kalınlığın 65 nm kalınlık olduğu gerekçesiyle bu aktif tabaka söz konusu kalınlıkta oluşturulmuştur. Kalınlığın artırılması halinde yük geçişlerindeki zorluk nedeniyle pil verimlerinin düştüğü görülmüştür.

Organik güneş pilinin aktif katmanında kullanılacak malzeme öncelikli olarak 1-1,7 eV arasında bant aralığına ve yüksek soğurma katsayısına sahip olması gerektiği bilindiğinden, çizelge 3.1'deki optik band aralıklarına bakıldığında Prn-BT sentezinin optik band aralığının 1,71 eV olarak bulunduğu bu band aralığında fotonun soğurularak elektron geçişinin daha kolay olduğu dolayısıyla en yüksek verime sahip bu numunenin olduğu, saf piren numunesinde ise 2,12 eV optik band boşluğunun olduğu ve optik band genişliği diğer numunelere oranla daha fazla olduğundan elektron geçişlerinin diğer numunelere oranla daha zor olması nedeniyle de en düşük verime sahip olduğu şeklinde değerlendirilmiştir.

Polimerlerin molekül yapısı katı veya sıvı halde iken yapılan ısı işlemi ile daha düzenli hale getirilmektedir. Bu sebeple, pil oluşumu sırasında pili ısıtmanın pilin daha yüksek performansa sahip olmasını sağladığından pil tavlama gerçekleştirildiğinde, polimerde kristalle artışı gerçekleşerek daha yüksek hol mobilitesi sağlanmaktadır. Uygulanan ısı işlemi ile, aktif tabakanın mikro yapısı daha düzenli hale gelerek ve kontak direncinin düşmesi sağlanarak daha çok verim elde edilebilir. Bu sebeple yine tez kapsamında oluşturulan organik güneş pilindeki yapıların tamamında tavlama yapılmıştır.

Organik güneş pili uygulamalarında en yüksek verim oluşturan iki sentezin %0,445 verim değeri ile Prn-BT ile %0,335 verim ile Prn-Th numunelerinin olduğu, en düşük verimin ise %0,104 verim değeri ile yalnızca piren numunesinin aktif katmanda kullanımı ile oluşturulan organik güneş pilinde olduğu görülmektedir. Piren yapısına bağlanan ekstra donörler Tiyofen, Benzotiodiazol ve Trifenilamin ile yeni oluşturulan yapının daha düzenli hale gelmiş olduğu ve piren yapısındaki elektron ve hole geçişine engel olabilecek iç direncin yeni yapılar ile öncekine göre daha düzenli hale gelmesi nedeniyle elektron ve hol geçişleri kolaylaşmış ve buna bağlı olarak verimdeki artışa neden olduğu değerlendirilmiştir.

Sentezlerin UV-VIS grafiklerinde, Piren numunesine ait soğurma pikleri diğer numunelere göre daha düşük seviyede olduğu, en yüksek soğurma pikinin Prn-BT numunesinde olduğu görülmüştür. Pirene sentezlenen ekstra donörler ile soğurma piklerinde kırmızıya kayma dolayısıyla görünür bölgeye kayma yaptığı, daha fazla foton enerjisini bu bölgede soğurduğundan piren numunesine göre diğer numunelerin verimlerinde artış olduğu değerlendirilmiştir.

Sentezlere ait SEM ve AFM görüntülerinde, pirenin yapısal olarak düzlemsel olduğu, piren yapısına katılan Tiyofen, Benzotiodiazol ve Trifenilamin molekülleri ile oluşan yeni sentez yapılarından en fazla Prn-BT numunesinde ara-yüz alanının artış göstermesi ile eksitonların ayrışmaları sonrası yük geçişlerinin kolay olduğu ve rekombinasyon olayının azaldığı gerekçesiyle verimin en yüksek olduğu şeklinde değerlendirilmiştir.

Tez kapsamında oluşturulan organik güneş pilinin katot elektrotu olarak seçilen saydam tabaka olan ITO'nun yansımaya oranı çok yüksektir. Dolayısıyla organik güneş pil yüzeyine düşen fotonun bir miktarı yansımada kaybolduğundan, bu yansımaya katsayısının düşürülmesiyle de küçük bir miktar verimde artış olacağı da öngörülebilmektedir.

Bu tez çalışmasında inorganik yapılar kadar ya da P3HT:PCBM aktif katmanlı organik güneş pilleri kadar verimleri olmasa da söz konusu numunelerin sentezlenerek ilk defa organik güneş pillerinin aktif yapılarında kullanılmalarıyla literatüre kazanımları nedeniyle önemi büyüktür.

KAYNAKLAR

- Akman, E., Akın, S., Karanfil, G., Sönmezoğlu, S. (2013). Organik Güneş Pilleri. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14, 1-30.
- Brütting, W. (2006). Physics of Organic Semiconductors. Physics of Organic Semiconductors. *John Wiley and Sons*. doi:10.1002/3527606637
- Chikate B. V., Sadawarte Y., (2015), “The factors affecting the performance of solar cell” *International Journal of Computer Applications*, 1 (1), 0975-8887.
- Çiçek, O., (2019). Perovskite Güneş Hücresinde P3HT Nanotel Boşluk Transfer Malzemelerinin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Drechsel, J., Männig, B., Kozlowski, F., Gebeyehu, D., Werner, A., Koch, M., Pfeiffer, M. (2004). High efficiency organic solar cells based on single or multiple PIN structures. *Thin Solid Films*, 451–452, 515–517. doi:10.1016/J.TSF.2003.11.044
- Drechsel, J., Männig, B., Kozlowski, F., Pfeiffer, M., Leo, K. ve Hoppe, H. (2005). Efficient organic solar cells based on a double p-i-n architecture using doped wide-gap transport layers. *Applied Physics Letters*, 86(24), 244102. doi:10.1063/1.1935771
- Erkem, Ü., (2019). P3HT:PCBM Tabanlı Heteroeklem Organik Güneş Pillerinin Fabrikasyonu ve Pentacene Malzemesinin Güç Dönüşüm Verimine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Figueira-Duarte, T. M. ve Müllen, K. (2011). Pyrene-based materials for organic electronics. *Chemical Reviews*, 111(11), 7260–7314.
- Fung, D. D. S. ve Choy, W. C. H. (2013). Introduction to Organic Solar Cells. Green Energy and Technology (C. 128). *Springer Verlag*. doi:10.1007/978-1-4471-4823-4_1
- Geens, W., Aernouts, T., Poortmans, J. ve Hadziioannou, G. (2002). Organic co-evaporated films of a PPV-pentamer and C60: Model systems for donor/acceptor polymer blends. *Thin Solid Films*, 403–404, 438–443. doi:10.1016/S0040-6090(01)01585-1
- Gregg, B. A. ve Hanna, M. C. (2003). Comparing organic to inorganic photovoltaic cells: Theory, experiment, and simulation. *Journal of Applied Physics*, 93(6), 3605.
- Guerra, D., Belcari, N., Bisogni, M. G., Llosa, G., Marcatili, S., Ambrosi, G., Piemonte, C. (2010). Advantages and pitfalls of the silicon photomultiplier (SiPM) as photodetector for the next generation of PET scanners. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 617(1–3), 223–226.
- Günes, S., Neugebauer, H. ve Sariciftci, N. S. (2007). Conjugated polymer-based organic solar cells. *Chemical Reviews*, 107(4), 1324–1338. doi:10.1021/CR050149Z.

- Hadziioannou, G., Malliaras, G. G., Χατζηιωάννου, Γ. ve Μαλλιάρης, Γ. Γ. (2007). Semiconducting polymers : chemistry, physics and engineering. Wiley-VCH.
- Harvey, R. G., Goh, S. H. ve Cortez, C. (1975). “K-Region” Oxides and Related Oxidized Metabolites of Carcinogenic Aromatic Hydrocarbons. *Journal of the American Chemical Society*, 97(12), 3468–3479.
- Hu, J., Zhang, D. ve Harris, F. W. (2005). Ruthenium(III) chloride catalyzed oxidation of pyrene and 2,7-disubstitued pyrenes: An efficient, one-step synthesis of pyrene-4,5-diones and pyrene-4,5,9,10-tetraones. *Journal of Organic Chemistry*, 70(2), 707–708.
- Huang, Y. C., Liao, Y. C., Li, S. S., Wu, M. C., Chen, C. W. ve Su, W. F. (2009). Study of the effect of annealing process on the performance of P3HT/PCBM photovoltaic devices using scanning-probe microscopy. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93(6–7), 888–892.
- K. Ozaki, K. Kawasumi, M. Shibata, H. Ito and K. Itami, *Nat. Commun.*, 2015, 6, 1–8. 6 X. Feng, J.-Y. Hu, C. Redshaw and T. Yamato, *Chem. – Eur. J.*, 2016, 22, 11898–11916.
- Kim, D. Y., Subbiah, J., Sarasqueta, G., So, F., Ding, H., Irfan ve Gao, Y. (2009). The effect of molybdenum oxide interlayer on organic photovoltaic cells. *Applied Physics Letters*, 95(9), 093304.
- Kroon, J. M., Bakker, N. J., Smit, H. J. P., Liska, P., Thampi, K. R., Wang, P., Tulloch, G. E. (2007). Nanocrystalline dye-sensitized solar cells having maximum performance. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 15(1), 1–18.
- Kuwabara, T., Nakayama, T., Uozumi, K., Yamaguchi, T. ve Takahashi, K. (2008). Highly durable inverted-type organic solar cell using amorphous titanium oxide as electron collection electrode inserted between ITO and organic layer. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(11), 1476–1482.
- Kymakis, E., Kornilios, N. ve Koudoumas, E. (2008). Carbon nanotube doping of P3HT : PCBM photovoltaic devices. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 41(16), 165110. doi:10.1088/0022-3727/41/16/165110
- Li, G., Shrotriya, V., Huang, J., Yao, Y., Moriarty, T., Emery, K. ve Yang, Y. (2005). High-efficiency solution processable polymer photovoltaic cells by self-organization of polymer blends. *Nature Materials* 2005 4:11, 4(11), 864–868.
- Liang, Y., Xu, Z., Xia, J., Tsai, S. T., Wu, Y., Li, G., ... Yu, L. (2010). For the Bright Future-Bulk Heterojunction Polymer Solar Cells with Power Conversion Efficiency of 7.4%. *Advanced Materials*, 22(20), E135–E138.
- Liu, S. Y., Liu, W. Q., Xu, J. Q., Fan, C. C., Fu, W. F., Ling, J., ... Chen, H. Z. (2014). Pyrene and diketopyrrolopyrrole-based oligomers synthesized via direct arylation for OSC applications. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6(9), 6765–6775.

- Lungenschmied, C., Dennler, G., Neugebauer, H., Sariciftci, S. N., Glatthaar, M., Meyer, T. ve Meyer, A. (2007). Flexible, long-lived, large-area, organic solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91(5), 379–384.
- Meissner D., Siebentritt S., Gunster S., (1992). Charge carrier photogeneration in organic solar cells. International Symposium on Optical Materials Technology for Energy Efficiency and Solar Energy Conversion XI: Photovoltaics, Photochemistry and Photoelectrochemistry, Toulouse, France.
- Mitra, K., Singh, S., Hira, S. K., Patel, V. K., Singh, D., Vishwakarma, S., Ray, B. (2016). Study of the Fluorescence Based Applications of Pyrene-Tagged Poly(N-vinyl-2-pyrrolidone). *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 2(9), 1630–1640.
- Musselman, K. P. ve Poorkazem, K. (2019). Fundamental Understanding of Solar Cells. Advanced Micro- and Nanomaterials for Photovoltaics, 1–17.
- Organic photovoltaics in situ annealing studied by grazing-incidence diffraction. (n.d.). European Synchrotron Radiation Facility(ESRF). Retrieved July 15, 2021, from https://www.esrf.fr/news/spotlight/spotlight132/index_html
- Parker, I. D. (1994). Carrier tunneling and device characteristics in polymer light-emitting diodes. *Journal of Applied Physics*, 75(3), 1656–1666. doi:10.1063/1.356350
- Peumanns, P., Bulović, V., Forrest, S.R. (2000). Efficient photon harvesting at high optical intensities in ultrathin organic doubleheterostructure photovoltaic diodes. *Applied Physics Letters*, 76, 2650-2652.
- Rockett, A. (2008). The materials science of semiconductors. The Materials Science of Semiconductors. *Springer US*. doi:10.1007/978-0-387-68650-9
- Rostalski, J., Meissner, D. (2000). Photocurrent spectroscopy for the investigation of charge carrier generation and transport mechanisms in organic p/n-junction solar cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 63, 37-47.
- Sarıçiftçi N.S., Braun D., Zhang C., Srdanov V.I., Heeger A.J., Stucky G., Wudl F. (1993). Semiconducting polymerbuckminsterfullerene heterojunctions: Diodes, photodiodes, and photovoltaic cells. *Applied Physics Letter*, 62, 585-587.
- Schilinsky, P., Waldauf, C. ve Brabec, C. J. (2002). Recombination and loss analysis in polythiophene based bulk heterojunction photodetectors. *Applied Physics Letters*, 81(20), 3885–3887. doi:10.1063/1.1521244
- Shi, Y. R., Wei, H. ling, Shi, Y. ting ve Liu, Y. F. (2017). Theoretical study of pyrene derivatives as high performance organic semiconductor materials. *Synthetic Metals*, 223, 218–225.
- Shirakawa, H., Louis, E. J., MacDiarmid, A. G., Chiang, C. K. ve Heeger, A. J. (1977). Synthesis of electrically conducting organic polymers: halogen derivatives of polyacetylene, (CH)_x. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, (16), 578–580.

- Spanggaard, H. ve Krebs, F. C. (2004). A brief history of the development of organic and polymeric photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 83(2–3), 125–146.
- Takahashi, K., Kuraya, N., Yamaguchi, T., Komura, T. ve Murata, K. (2000). Three-layer organic solar cell with high-power conversion efficiency of 3.5%. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 61(4), 403–416.
- Tang, C. W. (1986). Two-layer organic photovoltaic cell. *Applied Physics Letters*, 48(2), 183–185. doi:10.1063/1.96937
- Tress, W. (2011). Open circuit voltage and IV curve shape of ZnPc:C₆₀ solar cells with varied mixing ratio and hole transport layer. *Journal of Photonics for Energy*, 1(1), 011114. doi:10.1117/1.3556726
- Tress, W., Leo, K. ve Riede, M. (2011). Influence of hole-transport layers and donor materials on open-circuit voltage and shape of I-V curves of organic solar cells. *Advanced Functional Materials*, 21(11), 2140–2149. doi:10.1002/adfm.201002669
- Troshin, P. A., Lyubovskaya, R. N. ve Razumov, V. F. (2008). Organic solar cells: Structure, materials, critical characteristics, and outlook. *Nanotechnologies in Russia* 3:5, 3(5), 242–271. doi:10.1134/S1995078008050029
- Wu, J. I., Dobrowolski, M. A., Cyranski, M. K., Merner, B. L., Bodwell, G. J., Mo, Y. ve Schleyer, P. V. R. (2010). On the aromatic stabilization energy of the 4N π electron pyrene.
- X. Feng, J.-Y. Hu, C. Redshaw and T. Yamato, *Chem. – Eur. J.*, 2016, 22, 11898–11916.
- Xie, F. X., Choy, W. C. H., Sha, W. E. I., Zhang, D., Zhang, S., Li, X., Hou, J. (2013). Enhanced charge extraction in organic solar cells through electron accumulation effects induced by metal nanoparticles. *Energy & Environmental Science*, 6(11), 3372–3379.
- Yagci, Ö., Yesilkaya, S. S., Yüksel, S. A., Ongül, F., Varal, N. M., Kus, M., Icelli, O. (2016). Effect of boric acid doped PEDOT:PSS layer on the performance of P3HT:PCBM based organic solar cells. *Synthetic Metals*, 212, 12–18.
- Yakimov, A. ve Forrest, S. R. (2002). High photovoltage multiple-heterojunction organic solar cells incorporating interfacial metallic nanoclusters. *Applied Physics Letters*, 80(9), 1667.
- Yar, A. (2011). Tek Cidarlı Karbon Nanotüp ve TiO₂ Tabaka İlavesinin P3HT: PCBM Organik Güneş Pillerinin Performansına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yu, G., Gao, J., Hummelen, J. C., Wudl, F. ve Heeger, A. J. (1995). Polymer Photovoltaic Cells: Enhanced Efficiencies via a Network of Internal Donor-Acceptor Heterojunctions. *Science*, 270(5243), 1789.

- Yu, Y. Y. ve Chan, S. H. (2013). Metallic nanoparticles in active layer for hybrid photovoltaic device applications. *Thin Solid Films*, 544, 175–181.
- Zhang, W., Nguyen, N. A., Murray, R. ve Mackay, M. E. (2017). Device performance enhancement of polymer solar cells by nanoparticle self-assembly. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 160, 126–133.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Muhammet Abdullah BALDEMİR

Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

Eğitim Derecesi	Okul/Program	Mezuniyet Yılı
-----------------	--------------	----------------

Lisans	Akdeniz Üniversitesi/Fizik	2009
--------	----------------------------	------

Yüksek Lisans	Amasya Üniversitesi/ Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları	
---------------	--	--

Yabancı Dil : İngilizce

Bilimsel Faaliyetler

Muhammet Abdullah BALDEMİR, Hanife TOPUKSAK, Recep TAŞ, MELEK GÜL, Betül CANIMKURBEY, Application of organic photovoltaic cell: poly(2-aminofluoren)/multi-walled carbon nanotube composites, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2021.