

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

**PİREN BAZLI ORGANİK IŞIK YAYAN DİYOTLARIN
(OLED) OPTOELEKTRONİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oğuzhan YETER

Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İlkay TÜRK ÇAKIR

Mayıs 2020

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

**PİREN BAZLI ORGANİK IŞIK YAYAN DİYOTLARIN
(OLED) OPTOELEKTRONİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oğuzhan YETER

Enstitü Anabilim Dalı : Fen Bilimleri Enstitüsü

Bu tez 05/05/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr.
İlkay TÜRK ÇAKIR
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr.
İsmail HAKKI SARPÜN
Üye**

**Doç. Dr.
Serkan SAYIN
Üye**

**Doç. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Oğuzhan YETER

05/05/2020

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın yürütülmesi ve sonuçların değerlendirilip yorumlanması konularında yaptığı katkılar ve yönlendirici desteğinden dolayı ilk tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Songül FİAT VAROL'a ve şimdiki tez danışmanım Prof. Dr. İlkey TÜRK ÇAKIR'a (Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü); projedeki deneyleri gerçekleştirmemize olanak sağlayan Sayın Prof. Dr. Ziya MERDAN'a; tezimde yönlendirici desteklerinden dolayı Sayın Doç. Dr. Serkan SAYIN'a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olup yardım ve teşviklerini esirgemeyen canım aileme en içten sevgilerimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	X
ÖZET	XI
SUMMARY	XII
BÖLÜM 1.GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Organik Yarıiletken Malzemeler ve OLED Aygıtlar	3
2.1.1. Organik yarıiletken malzemeler	3
2.1.2. Moleküler orbital enerji düzeyleri ve enerji bantları	5
2.1.3. Triplet ve singlet enerji durumları	6
2.1.4. Organik yarıiletkenlerde emisyon ve absorpsiyon	7
2.1.5. Organik yarıiletkenlerde Hopping mekanizması	8
2.1.6. Eksiton meydana gelmesi ve elektron boşluk rekombinasyonu	10
2.1.7. Yük enjeksiyonu ve yük transferi	10
2.1.8. Termiyonik emisyon	11
2.2. Işık ve Elektromanyetik Spektrum	12
2.3. Organik Işık Yayan Diyot (OLED)	13
2.3.1. OLED'in tanımı ve tarihi	13
2.3.2. OLED'in yapısı ve işleyişi	14
2.3.3. Kuantum noktalı ışık yayan diyotlar (QD-LED)	15
2.3.4. Polimer ve QD hibrit yapılı OLED	16

2.4. OLED'in Katmanları	19
2.4.1. Anot katmanı	21
2.4.2. Boşluk enjeksiyon katmanı (HIL)	22
2.4.3. Boşluk iletim katmanı (HTL)	22
2.4.4. Elektron iletim katmanı (ETL)	22
2.4.5. Katot katmanı	22
2.4.6. Emisyon katmanı (EML)	23
2.5. OLED'lerde Verim Hesabı	23
2.5.1. Kuantum verimi	24
2.5.2. Güç verimi (lm/W)	24
2.5.3. Lüminesans verimi (cd/A)	25
2.6. OLED'in Avantajları ve Dezavantajları	25
2.7. Piren ve Genel Özellikleri	26
 BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM	 28
3.1. Materyal	28
3.2. Yöntem	30
3.2.1. Döner kaplama metodu	30
3.2.2. Termal buharlaştırma metodu	32
3.2.3. Deneysel kısım	34
3.2.3.1. <i>N</i> -(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin'in sentezi	34
 BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI	 35
4.1. EML Katmanında Kullanılan Nitropiridil Fonksiyonlu Pirenin Sentezi	35
4.2. Fotolüminesans (PL) ve Absorbans Tayini	37
4.3. Dönüşümlü Voltametri (CV) Kullanılarak HOMO ve LUMO Hesabı	38
4.4. Elektrolüminesans (EL) Ölçümü	39
4.5. CIE Standartlarına Göre Renk Analiz Sonucu	41
 BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ	 43

KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Ω	: Ohm
π	: Pi
σ	: Sigma
T_g	: Camı geçiş sıcaklığı
q	: Elektron yükü
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
ϕ_w	: İş fonksiyonu
Φ_b	: Bariyer yüksekliği
k_B	: Boltzmann sabiti
I	: Akım
λ	: Dalga boyu
T	: Sıcaklık
A	: Amper
A^*	: Richardson sabiti
Alq_3	: Tris(8-hidroksikinolin)alüminyum
A/cm^2	: Akım yoğunluğu
Ag	: Gümüş
BCP	: Batokuproin
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
CdS	: Kadmiyum sülfür
cm	: Santimetre
DCM	: Diklorometan
eV	: Elektron volt
E_g^{op}	: Optik bant aralığı
ITO	: İndiyum kalay oksit

kPa	: Kilo paskal
lm/W	: Güç verimi
Li	: Lityum
LiF	: Lityum florür
Mg	: Magnezyum
nm	: Nanometre
NPD	: <i>N,N'</i> -di(1-naftil)- <i>N,N'</i> -difenil-(1,1'-bifenil)-4,4'-diamin
PF	: Polifluoren
PPV	: Poli(p-fenilenvinilen)
Piren	: Benzo[def]fenantren
Pb	: Kurşun
PAH	: Polisilik aromatik hidrokarbon
PEDOT	: Poli(3,4-etilendioksitiyofen)
TPD	: 4,4'-bis(fenil-m-tolilamino)bifenil
V	: Volt
AC	: Alternatif akım
ÇK-OLED	: Çok katmanlı organik ışık yayan diyot
EL	: Elektrolüminesans
EQE	: Dış kuantum verimi
EML	: Emisyon katman
ETL	: Elektron iletim katmanı
EBL	: Elektron engelleme katmanı
EIL	: Elektron enjeksiyon katmanı
FOLED	: Kıvrılabilir organik ışık yayan diyot
HOMO	: En yüksek dolu molekül orbital
HTL	: Boşluk iletim katmanı
HIL	: Boşluk enjeksiyon katmanı
HBL	: Boşluk engelleyeci katman
IQE	: İç kuantum verimi
LCD	: Sıvı kristal ekran
LED	: Işık yayan diyot
NMR	: Nükleer manyetik rezonans

OLED	: Organik ışıık yayan diyot
PLED	: Polimer ışıık yayan diyot
PL	: Fotolüminesans
PMOLED	: Pasif matriks organik ışıık yayan diyot
PHOLED	: Fosforesans organik ışıık yayan diyot
LUMO	: En düşük dolu olmayan molekül orbital
SM-OLED	: Küçük moleküler organik ışıık yayan diyot
SCLC	: Uzay yüküyle sınırlanmış akım
TCLC	: Tuzak yüküyle sınırlanmış akım
TK-OLED	: Tek katmanlı organik ışıık yayan diyot
QD	: Kuantum nokta
QD-LED	: Kuantum noktalı ışıık yayan diyot

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Karbon atomları arasındaki σ ve π bağları	3
Şekil 2.2. Organik malzemelerde σ ve π bağları	4
Şekil 2.3. 2s, 2p _x , 2p _y , 2p _z orbitallerinin gösterimi a) hibrit orbitaller b) karbon	5
Şekil 2.4. Organik moleküllerde LUMO-HOMO enerji seviyelerinin oluşumu.....	6
Şekil 2.5. Triplet ve Singlet enerji seviyesi diyagramı	7
Şekil 2.6. Yük transfer süreçleri A ve B doğrultusunda gösterimi	9
Şekil 2.7. Termiyonik emisyon taşıyıcı enjeksiyonu gösterimi	11
Şekil 2.8. Elektromanyetik spektrum	13
Şekil 2.9. OLED yapısı ve gösterimi	14
Şekil 2.10. Kırmızı, yeşil ve mavi QD-LED gösterimi	16
Şekil 2. 11. Hibrit PLED’lerde QD’nin emisyon katmanı (EML) olarak kullanıldığı model yapısı	17
Şekil 2.12. Polimer: QD hibrit yapıllı OLED’de a)QD’dan ve b) polimerden emisyon alınan aygıt yapısı gösterimi	18
Şekil 2.13. a)TK-OLED, b)İK-OLED, c)ÜK-OLED, d)ÇK-OLED aygıt tasarımları	21
Şekil 2.14. lm/W değerlerine göre insanlığın kullandığı aydınlatma teknolojileri	25
Şekil 2.15. Piren(C ₁₆ H ₁₀) bileşiğinin molekül yapısı	27
Şekil 3.1. Dört katmanlı OLED aygıtı	29
Şekil 3.2. Döner kaplama metodu evrelerinin gösterimi	31
Şekil 3.3. Döner kaplama ince film sistemi	31
Şekil 3.4. Termal buharlaştırma ince film kaplama sistemi	32
Şekil 3.5. Termal buharlaştırma prensibi gösterimi	33
Şekil 3.6. N-(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin gösterimi ...	34
Şekil 4.1. N-(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin’in sentezi ...	35
Şekil 4.2. ¹ H-NMR spektrumunda N-(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5- nitropiridin-2-amin yapısı	36

Şekil 4.3. <i>N</i> -(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin sentezinin yapıldığı laboratuvar	36
Şekil 4.4. Kullandığımız NMR spektroskopi cihazı	37
Şekil 4.5. Normalize absorbans-normalize fotolüminesans-dalgaboyu grafiği	37
Şekil 4.6. Normalize elektrolüminesans-dalgaboyu grafiği	39
Şekil 4.7. Güç verimi-gerilim değişim grafiği	40
Şekil 4.8. Akım yoğunluğu-Gerilim-Lüminesans grafiği	41
Şekil 4.9. Dört katmanlı OLED aygıtından elde edilen emisyonun CIE standartlarına göre renk analizi	42



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. PF:QD hibrit OLED yapıları ve performans değerleri	19
Tablo 2.2. OLED katmanlarında kullanılan materyaller	23
Tablo 2.3. Piren($C_{16}H_{10}$) bileşiğinin özellikleri	27



PİREN BAZLI ORGANİK IŞIK YAYAN DİYOTLARIN (OLED) OPTOELEKTRONİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez, sentezlenmiş dört tane benzen organik bileşiğinin bir araya gelmesiyle oluşmuş bir PAH grubu bileşiği olan piren grubundan *N*-(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin içeren yeni bir OLED hazırlanması ve bazı optiksel ve elektrokimyasal özelliklerinin incelenmesi üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmanın ilk aşamasında, *N*-(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin'i sentezlemek için 2-(2-aminoetilamin)-5-nitropiridin ile 1-pirenkarboksaldehit THF/MeOH den oluşan çözücü ortamında ilk kez etkileştirilerek %50.8 verimle sentezlendi. Bileşiğin yapısı NMR spektroskopisi kullanılarak aydınlatıldı. Ayrıca, organik bileşiğin fotolüminesans ve soğurma verileri analiz edildi. Elde edilen absorpsiyon spektrumlarından deneysel HOMO-LUMO bant enerji aralıkları tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında OLED şeması belirlenerek ITO / PEDOT:PSS (40 nm) / CuPc (50 nm) / NPB (40 nm) / Nitropiridil fonksiyonlu piren (30 nm) / Alq₃ (30 nm) / LiF (0,5 nm) / Al tabakaları sırasıyla PEDOT:PSS, CuPc, NPB, Nitropiridil fonksiyonlu piren, Alq₃ döndürerek kaplama ve LiF, Al termal buharlaştırma yöntemleri kullanılarak kaplandı. Son olarak, üretilen OLED'in elektrolüminesans ve akım-voltaj karakteristikleri elde edilerek cihazın hangi bölgede ışımaya yaptığı ve aydınlatma koordinatları, CIE (x,y) belirlendi. Üretilen piren bazlı OLED'in mavi bölgede ışımaya yaptığı ve yüksek oranda akım yoğunluğuna sahip olduğu gözlemlendi.

Anahtar kelimeler: OLED, Piren, Elektrolüminesans.

INVESTIGATION OF OPTOELECTRONIC PROPERTIES OF PYRENE-BASED ORGANIC LIGHT EMITTING DIODES (OLED)

SUMMARY

This thesis focuses on characterizing and enhancing the properties of OLED product produced with *N*-(2-((pyrene-4-yl)methylamino)ethyl)-5-nitropyridine-2-amine molecule from pyrene group which is a PAH group compound formed by the combination of four synthesized benzene organic compounds. In the first stage of this study, 2-(2-aminoethylamine)-5-nitropyridine and 1-pyrenecarboxaldehyde were for the first time in the presence of THF/MeOH in order to synthesize *N*-(2-((pyrene-4-yl)methylamino)ethyl)-5-nitropyridine-2-amine in 50.8% yield. The structure of the compound was elucidated using NMR techniques. Also, the photoluminescence and absorption data of the organic compound were analyzed. Experimental HOMO-LUMO band energy gaps were determined from the absorption spectra obtained. In the second stage of the study, the OLED scheme was determined and the ITO / PEDOT:PSS (40 nm) / CuPc (50 nm) / NPB (40 nm) / Pyrene with nitropyridyl function (30 nm) / Alq₃ (30 nm) / LiF (0,5 nm) / Al layers were coated by PEDOT:PSS, CuPc, NPB, Pyrene with nitropyridyl function, Alq₃ spin coating and LiF, Al thermal evaporation methods, respectively. Finally, the electroluminescence and current-voltage characteristics of the produced OLED were obtained and the region where the device emitted and illumination coordinates, CIE (x,y) were determined. We determined that the produced pyrene based OLED emits in the blue region and has a high current density.

Keywords: OLED, Pyrene, Electroluminescence.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Organik aygıtların farklı kullanım sahasındaki önemleri keşfedildikçe, organik sentezler sonucu elde edilebilecek farklı fonksiyonlara sahip bileşiklerin incelenmesi geniş bir çalışma sahası yaratmaktadır. Son yüzyıllarda farklı özelliklere sahip organik moleküllerin önemi belirginleşmiş olup, iletken polimer ve türevleri öne çıkmıştır. Bu özelliklere sahip en belirgin keşif ise OLED’lerdir (Organik Işık Yayan Diyot).

OLED’ler, Kodak şirketi tarafından LCD (Sıvı Kristal Ekran) teknolojisine alternatif olarak 1987 yılında geliştirilmiş bir teknolojidir. OLED’ler ince, hafif ve düşük enerji tüketimi sayesinde televizyon, telefon ve bilgisayar teknolojisinde kullanımı yaygınlaşmıştır. Günümüzde çok daha iyi OLED teknolojisi sunmak için yüzlerce araştırma yapılmakta ve dezavantajlarının eksikliğinin giderilmesi için çalışmalar sürmektedir. OLED gelişmekte olan ve gelecek vaat eden bir teknolojidir. OLED’ler karakteristik olarak iki elektriksel kontak arasında kalan ve ışık yayan bir dizi ince film organik katmanlardan oluşur. Molekül ağırlığı düşük organik malzemeler (SM-OLED) ve polimer bazlı materyaller (PLED, LEP) OLED’in yapısını oluşturur (Kasapseçkin, ve Altuncu, 2013). OLED’ler farklı katmanlara sahip LCD’lerden farklı olarak tek katmanlı (monolitik) yapıya sahiptirler. Çünkü yapım aşamalarında her katman bir diğerinin üstüne kaplanarak bütün olacak şekilde üretilir. İlk olarak gösterge uygulamaları için geliştirilmiş olan OLED’ler düşük gerilimde geniş görüş açısı sağlayan parlak renkli görüntülü ekranların yapılabilmesini sağladılar. LCD ekranlarda olduğu gibi OLED teknolojisi içinde arka aydınlatma gerekmez (Borchardt, 2004). OLED’ler genelde cam olmak üzere plastik ve kıvrılabilir malzemeler üzerine üretilebilirler. Örnek olarak, Universal Display’in yapmış olduğu kıvrılabilir (esnek) OLED (FOLED) gösterilebilir. Bu tür teknolojilerin geliştirilmesi ve üretilmesiyle gelecekte kalemin rulo şeklinde sarılmasına benzer OLED

teknolojilerin hayatımıza girecek olması heyecan yaratmaktadır. OLED tüm dünyada gelişmekte olup, hem görüntü hem de aydınlatma teknolojisi sektörlerinde gerçek bir devrim niteliğindedir.

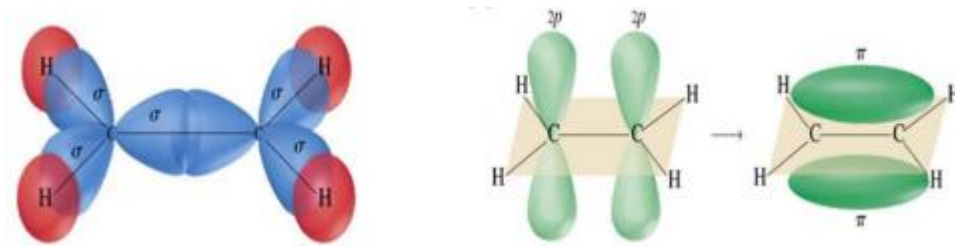
Bu çalışmam sırasında OLED'in üretim aşamasında organik katmanlarda kullanılabilecek nitropiridil fonksiyonlu piren bileşiğinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Piren bileşiğinin diğer adı benzo[def]fenantren'dir ve molekül formülü $C_{16}H_{10}$ olarak gösterilmektedir. Bu tezde piren organik bileşiği OLED aygıtlarında yayıcı katman olarak kullanılmaktadır. Ürettiğimiz OLED'in optoelektronik ölçümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen deneysel veriler literatürdeki mevcut sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Organik Yarıiletken Malzemeler ve OLED Aygıtlar

2.1.1. Organik yarıiletken malzemeler

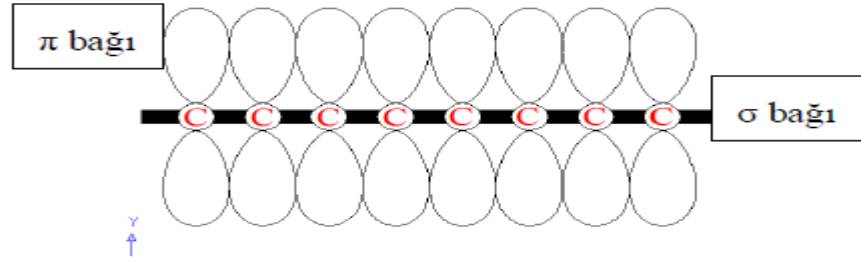
Organik elektronik, polimer elektronik veya plastik elektronik temel olarak küçük moleküller ve iletken polimerlerle ilgilenen bir elektronik dalıdır. Organik elektronikler yapı malzemesi olarak karbon (C) içerirler. İnorganik malzemelere göre daha ucuz, daha hafif ve elektriksel özellikleri kontrol edilebilir olması onları birçok uygulama için ideal konuma getirmiştir. Organik moleküllerin sentezlenmesindeki esneklik, lüminesans ve iletkenlik gibi özelliklerin kontrol edilmesini sağlamasından dolayı Organik Alan Etkili Transistörlerde (Organic Field Effect Transistor OFET) (Someya ve ark., 2008; Sirringhaus, 2009), Organik Işık Yayan Diyotlarda (Organic Light Emitting Diode OLED) (Shiyong ve ark., 2003; Suppiah ve ark., 2011) ve Fotovoltaik (Peumans ve ark., 2000; Lo ve ark., 2010) hücrelerde kullanılır.



Şekil 2.1. Karbon atomları arasındaki σ ve π bağları (Aydın, 2011).

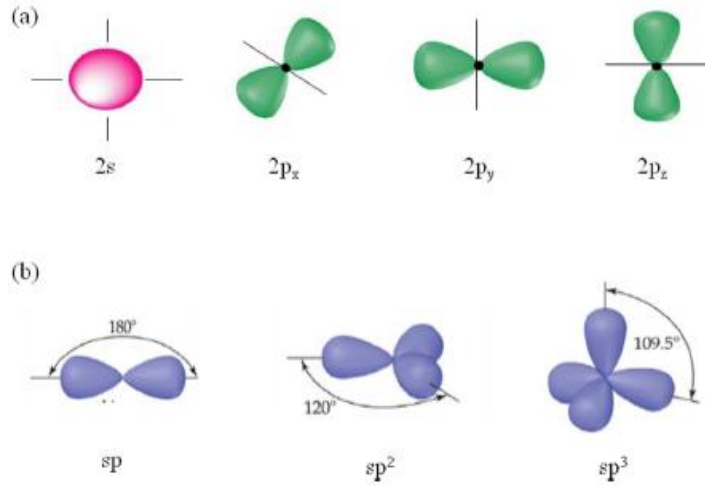
Sigma (σ) ve pi (π) bağları arasındaki yaptıkları bağın kuvveti temel farkı oluşturur. π bağlarına göre σ bağları daha kuvvetlidir. π ve σ bağlarının Şekil 2.2’de karbon atomundaki oluşma konumları gösterilmiştir. Molekül ya da polimer oluştuğunda tek çift bağlar veya üçlü bağların oluşması direkt hibritleşmeyle ilgilidir. Polimerler, sp^2

ve sp^3 hibritleşmesi yaparak elektriksel özelliklerini belirler. Karbon atomları arasında sp^3 hibritleşmesi olan polimerler büyük bant aralığına (>3 eV) sahip olmaktadır (Kroon ve ark., 2008). Bu bant aralığı, polimerlerin yalıtkanlık veya optiksel geçirgenlik özelliklerine sahip olmasına sebep olur. Bir başka polimer grubu ise sp^2 hibritleşmesine sahip olan konjuge polimerdir. Elektronik dalga fonksiyonu karbon atomlarındaki π bağları arasındaki etkileşim sebebiyle polimer zincirinde delokalize olur. Delokalize olan elektronik dalga fonksiyonu, yük taşıyıcıların daha hızlı hareket etmesine neden olur. Bundan dolayı polimer ve küçük olmak üzere organik yarıiletkenleri iki gruba ayırabiliriz. Bu iki grup arasındaki temel fark ise ince film kaplama yapılırken uygulanan metottur. Küçük moleküller, buharlaştırma ve süblimasyonla kaplanırken (Andersson, 2005), polimerler sadece solüsyon halinde döndürerek kaplama gibi metotlarla kaplanabilmektedir (DeRose ve ark., 2006).



Şekil 2.2. Organik malzemelerde σ ve π bağları (Haldi, 2008).

Organik yarıiletken malzemelerde yük iletim fonksiyonlarını anlayabilmek için önce atomik orbitallerin kimyasal bağ yapma eğilimlerini anlayabilmek gerekir. Hidrojen atomu için Schrödinger denklemi hesaplandığında, dalga fonksiyonu atomda bir ya da iki değerlikte elektronun bulunabileceği bölgeleri tanımlar ve bunlara orbital denir. Bu sebeple kimyasal bağları tanımlamada çoğunlukla orbitalleri kullanırız. Şekil 2.3'te gösterildiği gibi karbon atomunda, kovalent bağların oluşumundan sorumlu $2s$, $2p_x$, $2p_y$, $2p_z$ olmak üzere dört tane değerlik orbitali vardır. Kovalent bağ yapılarında p ve s orbitallerinin lineer şekilde birleşmesiyle hibrit orbitaller oluşur ve üç tane sp , sp^2 ve sp^3 şeklinde hibrit orbital bulunur.



Şekil 2.3. 2s, 2p_x, 2p_y, 2p_z orbitallerinin gösterimi a) hibrit orbitaller b) karbon atomu (Havare, 2011).

2.1.2. Moleküler orbital enerji düzeyleri ve enerji bantları

Elektronların yer değiştirmesi sebebiyle dalga fonksiyonları, bir elektronun konumunu bir moleküler orbital veya atom için değil tüm molekülün üstünden anlatacak biçimde tanımlanması gerekmektedir. Hamiltonyen, bir sistemin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamına karşılık gelir. Yani toplam enerjiye karşılık gelmektedir. Hamiltonyen'in birtakım kavramlarını ihmal ederek öz değerleri ve fonksiyonları bulunur. Atomik düzeyde p-orbitallerinin, Φ_1 paramatresinin dalga fonksiyonlarına sahip lineer kombinasyonları moleküler orbitallerin dalga fonksiyonları olarak tanımlanır. σ bağının tutunma enerji düzeyi π bağının tutunma enerji düzeyinden daha büyük olduğu için σ bağ yapısındaki elektronları π bağındaki elektronlara göre daha zor kopar, bu yüzden σ bağını ihmal edebiliriz. Ψ_π , Φ_1 parametrelerinin p-orbitallerinin lineer kombinasyonlarını π moleküler orbitali dalga fonksiyonu olarak tanımlayabiliriz.

$$\Psi_\pi = \sum_{l=1}^N a_l \Phi_l \quad (1)$$

Ψ_π = π moleküler orbitali dalga fonksiyonu,

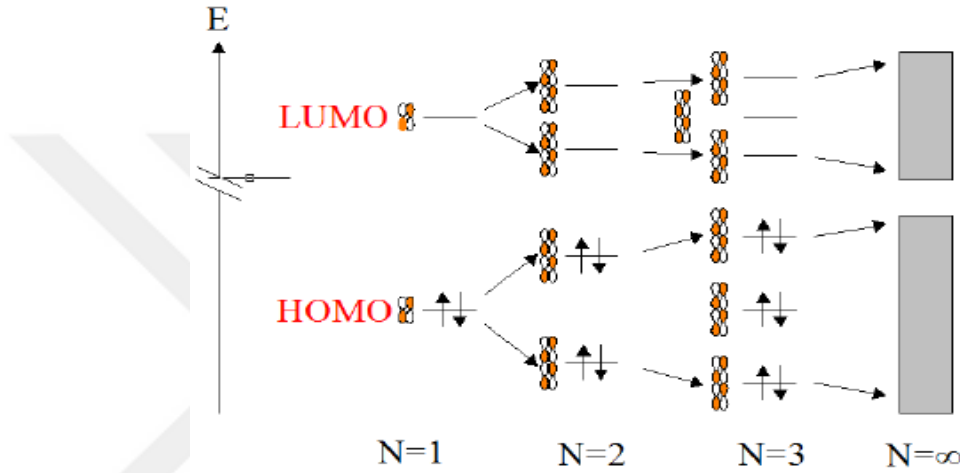
N = Moleküldeki karbon atomlarının sayısı,

a_l = Lineer katsayı,

Φ_l = Lineer kombinasyonu simgeleri.

π moleküler orbitalinin dalga fonksiyonunda, genellikle N atomik orbitalden N moleküler orbital elde edilir. N adet karbon atomu, Hamiltonyen hermitesini veren ortogonal N moleküler orbital şeklinde tanımlarız (Pope ve Swenberg, 1999).

Organik malzemelerde yüksek ve düşük enerji bantlarına sırası ile en yüksek dolu molekül orbital (HOMO) ile en düşük dolu olmayan moleküler orbital (LUMO) şeklinde isimlendirilir. Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



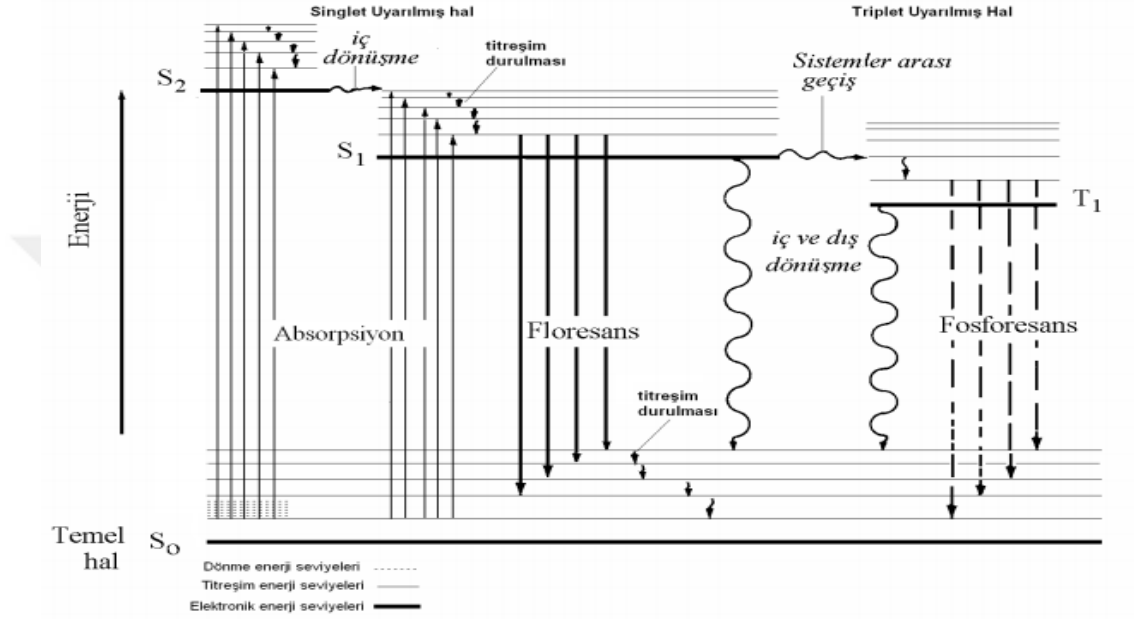
Şekil 2.4. Organik moleküllerde LUMO-HOMO enerji seviyelerinin oluşumu (Haldi, 2008).

Organik moleküllerin yaklaşık durdukları molekül katılarda, birbirlerinden farklı moleküllerin moleküler orbitalleri çakışır. Moleküller arası oluşan etkileşim sebebiyle moleküler orbitallerin enerjileri ayrılır. Birçok molekül etkileşime başlarsa, enerjilerin ayrılması inorganik yarıiletkenlerdeki değerlik ve iletim bantlarıyla karşılaştırılabilen bir yapı oluşmasına neden olur (Brédas ve ark., 1985).

2.1.3. Triplet ve singlet enerji durumları

Moleküllerin elektron çiftlerinden biri daha yüksek enerji seviyesine uyarılırsa singlet ya da triplet enerji durumları meydana gelir. Uyarılmış singlet enerji durumunda, uyarılmış elektronun spini temel haldeki elektronlarla eşleşir. Böylece triplet enerji durumunda iki elektronun spinleri eşleşmemişse uyarılmış triplet enerji durumunda bir molekülün özellikleri, singlet enerji durumundan farklı olur. Organik yarıiletken moleküllerinde biri triplet enerji durumunda paramanyetik olurken,

singlet enerji durumunda diamanyetik olmaktadır. Moleküllerin uyarılmış singlet enerji durumundan uyarılmış triplet enerji durumuna geçmesine sistemler arası geçiş, uyarılmış triplet enerji durumundan temel singlet enerji durumuna geçişi sırasında yayılan ışığa fosforesans demektedir. Şekil 2.5'te fotolüminesans (PL) molekülünün enerji singlet ve triplet enerji seviyesi diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Triplet ve Singlet enerji seviyesi diyagramı (Jablonski Diyagramı).

2.1.4. Organik yarıiletkenlerde emisyon ve absorpsiyon

Dipol-dipol bağları ile moleküller arasında, elektriksel yükler verilerek foton ya da fonon soğurularak uyarılabilir. Bir eksiton rekombine olduğu zaman molekülden ışık emisyonu oluşmaktadır (Qiao ve ark., 2010). Yarıiletken malzemelerde uyarımla açığa çıkan elektron-deşik çifti birbirinden tümüyle bağımsız değildirler. Coulomb etkisiyle bağlı olan elektron-deşik çiftine eksiton denir. Enerji düzeyleri çok küçük olduğundan dolayı oda sıcaklığında deneysel olarak gözlenemezler. Eksitonlar düşük sıcaklık ortamında veya düşük yapılarda gözlenebilmektedir.

Polimer yapıları malzemelerde çoğunlukla uzak kısımlar etkileşemediği için emilim ve emisyon işi tüm polimer zincirini kapsamaz ve etkileşimi sınırlayacak kıvrım gibi faktörler bulunur. Birleşme uzunluklarını, polimer malzemelerdeki randımanlı

etkileşim uzunluğunu ifade etmek amacıyla kullanılır. Birleşme uzunluklarının yapısındaki polimerin emisyonuna ve emilimine katılır. Birden fazla olasılıkla ifade ettiğimizde polimerlerin birleşme uzunlukları 11–20 monomer arasında kalmaktadır (Brédas ve ark., 1985; Kuzmany ve Kürti, 1987; Argyrakis ve ark., 1997).

Fotonun emilmesi ile açığa çıkan emisyon fotoluminesans (PL) olarak adlandırılırken şayet yük enjekte edilerek oluşması halinde elektrolüminesans (EL) olarak adlandırılır.

2.1.5. Organik yarıiletkenlerde Hopping mekanizması

Organik yarıiletken malzemelerde taşıyıcı yük geçiş mekanizması, bant ve hopping olmak üzere iki şekilde sağlanır. Organik yarıiletken malzemeler, yük taşıyıcılarının hareketi başladığı zaman düzensizlikten, kusurdan veya polarizasyondan kaynaklı potansiyel tarafından lokalize olurlar. Hopping, İki komşu molekül arasında ısısal olarak aktiflendirilmiş örgü titreşimlerinden dolayı, yük iletimi sırasında iki komşu molekül arasında yüklerin zıpladığı bir molekül içi süreçtir. Hopping mekanizması adyabatik olmayan elektronların transferi olarak bilinir.

Yük taşıyıcılarının elektrik alan içinde uyguladıkları hıza mobilite denir. İnorganik yarıiletken materyallerinde mobilite değeri $100 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ olarak yüksek değerlere çıkabilir. Fakat organik yarıiletken malzemelerde Van der Waals bağıyla birbirine tutunmuş moleküller çok zayıf bağlıdır. Organik materyallerde, $k_B T$ değeri bant enerjisinden büyüktür (Gutmann, ve Lyons, 1967).

Organik yarıiletken malzemelerde yaklaşık olarak mobilite $10 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ değerindedir (Wang ve ark., 2010; Esward ve ark., 2011). Işığın yük iletimi, organik yarıiletken malzemelerde kristal malzemelerdekinden farklılık göstermektedir. Yük taşıyıcılar, verilen oransal eşitlik denkleminde mobilite değeriyle aktif enerji engelini aşmalıdır.

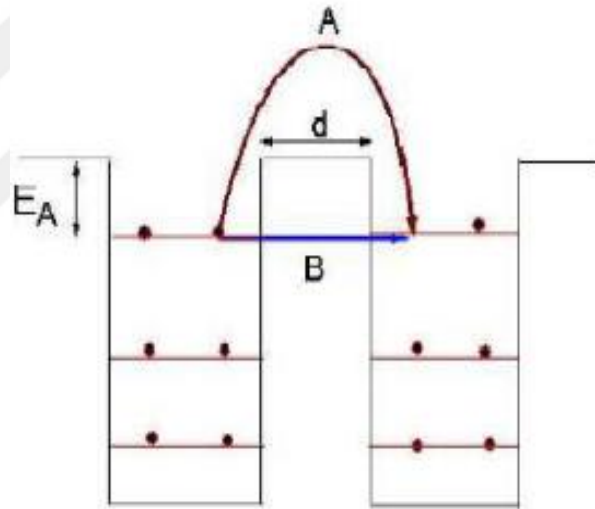
$$\mu \propto \exp(-E_A/k_B T) \quad (2)$$

E_A = Aktivasyon enerjisi,

k_B = Boltzmann sabiti,

T = Sıcaklık parametreleridir.

Derin ya da sığ potansiyel kuyusuna belirli düzeyde enerji taşıyıcısı tutulur ve yeterince termal enerjiye sahip olunca taşıyıcı, potansiyel seviyeyi geçerek komşu duruma geçebilir. Organik yarıiletkenlerde hopping mekanizması iletimde dominant olan mekanizmadır (Horowitz, 1998). Organik yarıiletken malzemelerin mobilite değerleri sıcaklık ile sabit artıp azalmasıyla değişir. Şekil 2.6'da yük transfer süreci gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Yük transfer süreçleri A ve B doğrultusunda gösterimi (Aşcı, 2013).

Lokal iki durumda fonon destekli hopping veya doğrudan tünelleme şeklinde olaylar meydana gelmektedir (Jongwoon ve Kawakami, 2006). Elektron dalga fonksiyonlarının üst üste gelmesiyle birlikte tünelleme oluşabilir. Lokal durumdaki taşıyıcılar fonon absorbe ederler ve bu durumdan sonra uygun duruma atladıklarında hopping oluşur.

2.1.6. Eksiton meydana gelmesi ve elektron boşluk rekombinasyonu

Eksiton, ışık absorbe edildiğinde elektronlar ilk enerji düzeyinden daha yüksek bir enerji düzeyine geçiş yaptığında, ilk enerji düzeyinde pozitif yüklü bir boşluk meydana getirirler. Elektronlar ile boşluklar coulomb kuvvetiyle birbirine bağlıdır.

OLED'lerin tüm katmanlarında yüksek akımlar geçebilir ancak taşıyıcılar eksiton ve ışık oluşturmazsa OLED'lerden yüksek verimler elde edemeyiz. Yüksek verim elde edebilmemiz için tek katmanlı OLED'lerde benzer mobilitiye sahip taşıyıcılar oluşturmak ya da çok katmanlı bir yüksek mobilitide taşıyıcıların rekombine edecek bir OLED tasarımı yapılması gerekir. Rekombinasyon, olayı Langev'in teorisi ile açıklanabilir. Langev'in teorisine göre elektron-boşluk oluşumu spinden bağımsızdır (Davids ve ark., 1997; Scott ve Karg, 1997). Organik yarıiletken aygıtlarda singlet eksitonlarının triplet eksitonlara göre daha düşük kuvvetlerde bağlanmasıyla kuantum verimleri %25'i geçemez. Çıkan verim triplet eksitonun radyatif olmama durumundan dolayı kaynaklanır (Kwok ve Xu, 2002).

Tek katmanlı OLED cihazlarında elektron-boşluk çifti, anot-katot arasındaki bölgede oluşacaktır. Blok katmanlarda oluşturulan yüksek mobilitiye sahip taşıyıcılar organik/organik ara yüzü arasında sınırlandırılırlar. Böyle bir cihazın verimi, eksitonun veya yoğunluğun artışı ya da azalışına göre değişecektir.

2.1.7. Yük enjeksiyonu ve yük transferi

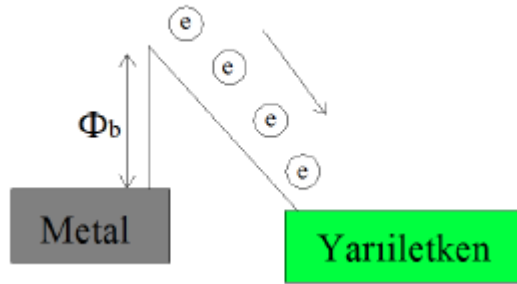
Organik yarıiletkenlerin yeterince iyi anlaşılmasının sebeplerinden biri, organik yapı ve elektronik teknolojisinde önemli ve büyük gelişmeler elde edilmesine rağmen, yük enjeksiyonu ve yük transferinin henüz yeterince aydınlanmamış olmasıdır.

Organik cihazların yapısındaki moleküller düşük elektrik alanları altında yalıtkan özelliğe sahiptirler ve bu moleküllerin öz dirençleri $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ değerindedir. Bundan dolayıdır ki, kimyasal yöntemlerle saf organik yarıiletkenlerin akseptör ve donör

yardımıyla katılanmadıkça net olarak yüklerinin olamayacağını göstermektedir. Ancak OLED'lerin çalışması esnasında akım yoğunluğu 1 A/cm^2 değerinde bulunmaktadır. Bulunan bu sonuçta yüksek akım yoğunluğunu açıklayabilmek için yeni yaklaşımlar ortaya çıkarmak gerekmektedir. Ortaya çıkan yaklaşımlara göz attığımızda çıkan sonuç; elektrot/organik ara yüzündeki taşıyıcı enjeksiyon, uzay yüküyle sınırlanmış akım (SCLC) yaklaşımı ve tuzak yüküyle sınırlanmış akım (TCLC) yaklaşımlarıdır. Yüksek akım yoğunluğu, elektrot/organik ara yüzündeki taşıyıcı enjeksiyonu ve SCLC tarafından sağlanmaktadır (Davids ve ark., 1997; Jain ve ark., 2001).

2.1.8. Termiyonik emisyon

Termiyonik emisyon, elektron ve deşiklerin metalin ısınmasıyla metalin yüzeyini terk etmesine denilmektedir. OLED cihazlarında akım iletimi termiyonik emisyonla yapılmaktadır. Yeterli enerji düzeyine sahip metal organik ara yüzündeki taşıyıcılar OLED'lerde, LUMO enerji seviyesine geçiş yaparlar. Elektron taşıyıcılarına bir elektron alan uygulanmadığında, yarıiletken metale ya da metalden yarıiletken geçişler yaparlar. Denge durumunda olması sebebiyle net akım sıfırdır.



Şekil 2.7. Termiyonik emisyon taşıyıcı enjeksiyonu gösterimi.

Pozitif gerilim verildiğinde, bariyer süresince elektrostatik potansiyel ve metal kontağa giden akım azalır. Denklem 3 ve 4'te Richardson sabiti ve yarıiletken malzemeden metale doğru olan akım yoğunluğu ifadesi verilmektedir (Rhoderick ve Williams, 1978).

$$J_{S \rightarrow M} = A^* T^2 \exp \left(-\frac{q\Phi_b}{k_B T} \right) \quad (3)$$

$$A^* = \frac{4\pi q m_n k_B^2}{h^3} \quad (4)$$

T = Sıcaklık,

m_n = İletkenlik bantı içinde elektronun etkin kütlesi,

q = Elektron yükü,

k_B = Boltzmann sabiti,

h = Planck sabiti,

Φ_b = Engel yüksekliği,

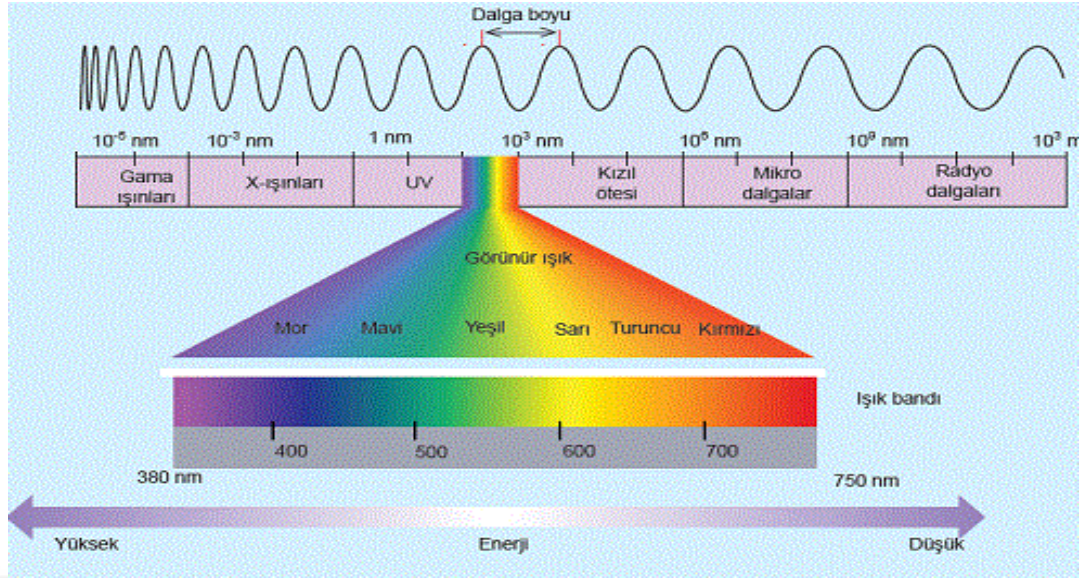
A^* = Richardson sabitini simgelemektedir.

Anot ve katot arasına voltaj uygulandığında, katotta elektrik alan potansiyel bariyerini düşürmek için termiyonik emisyon sürecini başlatır. Böylece Schottky etkisini açıklarız.

2.2. Işık ve Elektromanyetik Spektrum

Bir ışıının, belirli bir ışık kaynağından çıktıktan sonra cisimlere çarparak ya da doğrudan yansması ile canlı varlıkların görebildikleri olguya "ışık" denir. Görünür ışık ise insan gözü ile elektromanyetik ışıının saptanabildiği aralıktır. Elektromanyetik ışıında yaklaşık olarak 380-750 nm arasındaki dalga boyu görünür ışığı göstermektedir. Verilen sayısal değerler insanların gözlerinin idrak edebilme sınırlarını göstermese de, belirli koşul ortamlarında çoğu insanların görebilmesi destekleyecek uygun aralıkları belirtir (Pierre Buser, 1992; Pal ve Pal, 2001). Şekil 2.8'de elektromanyetik ışıının gösterilmiştir.

Elektromanyetik ışıınınların toplam enerjisini açığa çıkaran enerji tanecikleri foton olarak adlandırılır. Fotonlar taneciklerin ve dalgaların özelliklerini gösterir. Modern fizikte en önemli, bilimsel araştırma alanlarından biri optiktir ve ışığı inceleyen bilim dalıdır.



Şekil 2.8. Elektromanyetik spektrum.

2.3. Organik Işık Yayan Diyot (OLED)

2.3.1. OLED'in tanımı ve tarihi

OLED aygıtları, kalınlıkları 100 nm ve 500 nm olan ince organik yarıiletken filmlerden oluşan elektronik cihazlardır. Gerilim uygulandığında sisteme enjekte olan elektron ve boşluk yük taşıyıcılarının birleşimiyle ışık yayarlar. Arka plan aydınlatması gerektirmezler yani kendiliğinden yayılırlar.

1950'li yıllarda Bernanose ve arkadaşları, havayla hassas olan 3,6 – akridindiamin materyaline yüksek gerilimli alternatif akım (AC) uygulayarak EL özellikler tespit etmişlerdir (Kalinowski, 2005). Pope, 1963 senesinde tek kristal antrasen malzemesinden EL ölçümlerinde mavi renk tespit etmiştir (Pope ve ark., 1963). Tek katmanlı OLED'lerde (TK-OLED) yayıcı katmanın kalın olmasıyla % 0.1'in altında kalan bir kuantum verimine, yüksek uygulama gerilimiyle sahip olmuştur. Verimi arttırmak ve uygulanan yüksek gerilimi düşürmek için TK-OLED'lerde farklı şekilde faaliyetler ve çalışmalar yapılsa da istenilen sonuçlara varılamamıştır.

OLED tam anlamıyla Kodak şirketi tarafından geliştirilmiş bir teknolojidir ve 1987 senesinde Tang ve Van Slyke tarafından termal buharlaştırma ince film kaplama

cihazıyla iki katmalı OLED'leri (İK-OLED) üretmiş sonrasında yüksek kararlılık sağlayarak elektrotlardan organik boya içerisine yük enjektəsi sağlanması durumunda çıkan sorunları çözüme kavuşturmuşlardır (Tang ve Van Slyke, 1987). Küçük moleküler yapılı Alq₃ termal buharlaştırma ile kaplanmasında maliyetin yüksek olması sebebinden dolayı yeni arayışlar başlamıştır. Bunun sonucunda π -konjuge sistemine sahip polimer malzemeler keşfedilmiştir. Richard Friend ve arkadaşları 1990'lı yıllarda ilk olarak, π -konjuge sistemine sahip poli(p-fenilenvinilen) (PPV) organik yarıiletken malzemeden EL sonuçları alınmıştır. Sarı ve yeşil renk veren PPV, TK-OLED olarak tasarlandığında ıslak kaplama yöntemiyle indiyum kalay oksit (ITO) cam üzerine kaplandığında 100 nm'den az kalınlık değerlerine ulaşılmıştır. Dar bant aralıkları yüzünden PPV polimerleri kırmızı ve yeşil renk ışık yayarlar.

1989 senesinde mavi renkte ışık elde etmek için Yoshino ve arkadaşları geniş bant aralıklarında polifluoren (PF) sentezi yapmışlardır (Masahiko Fukuda, 1989). 1996 senesinde ise dünyada ilk ticari pasif matriks OLED (PMOLED) geliştirilip üretilmiştir. 1998 senesinde ise Forrest ve Thompson birlikte dünyada ilk fosforesan OLED (PHOLED)'i geliştirmişlerdir.

2.3.2. OLED'in yapısı ve işleyişi

OLED, birden fazla ince film katmanlarının bulunduğu yapılardır. OLED'in yapısında bulunan katmanlar; substrat (alttaş), anot, organik katmanlar ve katot şeklinde sıralanır. Organik katmanlar ise iletim katmanı ve yayıcı katmandan oluşmaktadır. Şekil 2.9'da OLED yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.9. OLED yapısı ve gösterimi.

OLED aygıtında anot kısmında genel olarak ITO kullanılır. Katot kısmında seçilen metaller düşük çalışma seviyesinde olan metaller içerisinde örnek olarak; Al, Ca, Mg ya da alaşımları sonucunda ortaya çıkan Mg:Ag, Li:Al alaşımları kullanılabilir. Anot ve katot arasında organik katmanlar bulunur. Elektron transferini iyi sağlayabilen ve boşluk geçirmeyen özelliklere sahip olabilmelidir. Pozitif gerilim altında katottan organik tabakalar yardımıyla anoda doğru bir elektrik akımı akar ve emisyon iletken tabakalar arasındaki sınırdaki elektronlar elektron deliklerini bulur ve bu birleşme sonucunda OLED ışık yaymaya başlar.

2.3.3. Kuantum noktalı ışık yayan diyotlar (QD-LED)

Kuantum noktalı ışık yayan diyotlar (QD-LED), yarıiletken malzemeler olan nanokristalleri yapısında bulunduran saf monokromatik kırmızı ile birlikte mavi ve yeşil renk gösteren, kuantum noktalarını (QD) kullanan bir teknolojik görüntü aygıtıdır.

QD, yaklaşık yüzlerce ve binlerce atomların bir araya gelmesiyle oluşan ve dış cepheleri organik ligantlar ile kaplı olan inorganik çekirdeklerdir. QD çekirdekleri, Kadmiyum (Cd) ile Kurşun (Pb) yapıdadırlar. QD'lerin optik özelliklerine yüksek olan yüzey-hacim oranının büyük bir tesiri vardır. Örnek olarak gösterdiğimizde; 5 nm CdS (Kadmiyum Sülfür) QD yapısını göze aldığımız zaman atomların yaklaşık olarak %15'i yüzey kısmındadır. Oldukça fazla olan yüzey-hacim oranı yük taşıyıcıların geçişlerini azaltmış veya arttırmış olabilir. Oluşan bu değişim optik absorpsiyona, luminesans ve kuantum verimlerine tesir edebilir. Bunun sebebi olarak genellikle yapıda bulunan doymamış bağlardan dolayı gösterilebilir (Wang ve Herron, 1991). Yüzeylerin enerji seviyeleri QD'ların bant genişlikleriyle sınırlıdır ve yük taşıyıcılara tuzak kurarak elektron azaltıcı ya da boşluk ajanlarını okside edici şekilde davranış gösterirler (Kuçur ve ark., 2005). Yüzey pasivizasyon tekniğiyle QD'ların içinde bulunan yükler sınır koyularak optik özellikleri geliştirilmelidir. Çünkü; yüzeyde oluşan elektrokimyasal tepkimeler QD'ların optik ile iletkenlerine önemli bir şekilde etki etmektedirler. Yüzey pasivizasyon tekniğiyle, QD

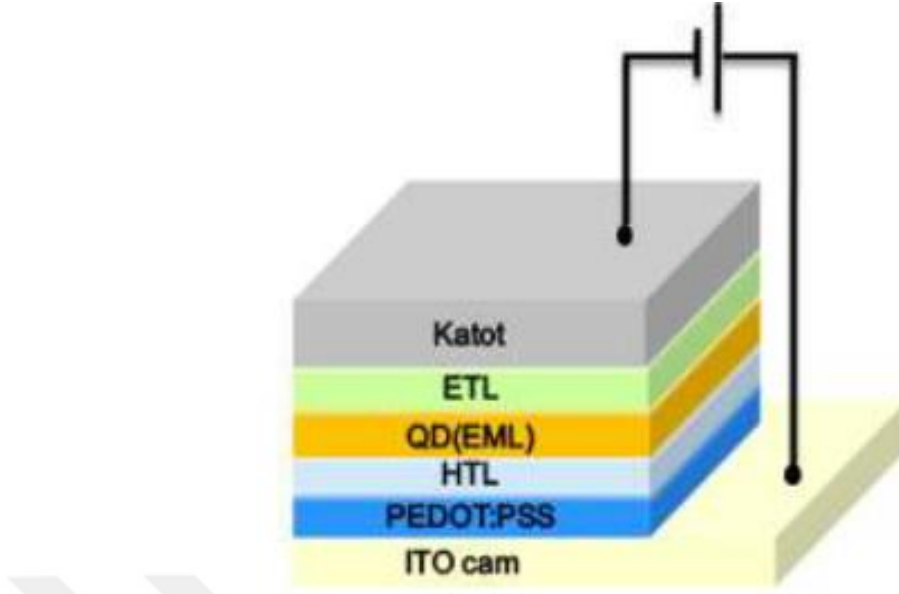
çekirdekleri üzerine kabuk kaplanır ve böylece fotokararlılığı ile sağlam olmayan bağ yapılarının doygun hale gelmeleri sağlanır. PL kuantum verimi, kabuk kalınlıklarıyla orantılı şekilde değişirler. Yapılan çalışmalarla birlikte çekirdek-kabuk (binary) ile birlikte çekirdek-kabuk-kabuk alaşımları geliştirilmiştir. Şekil 2.10'da QD-LED kırmızı, mavi ve yeşil ışık yayan örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Kırmızı, yeşil ve mavi QD-LED gösterimi.

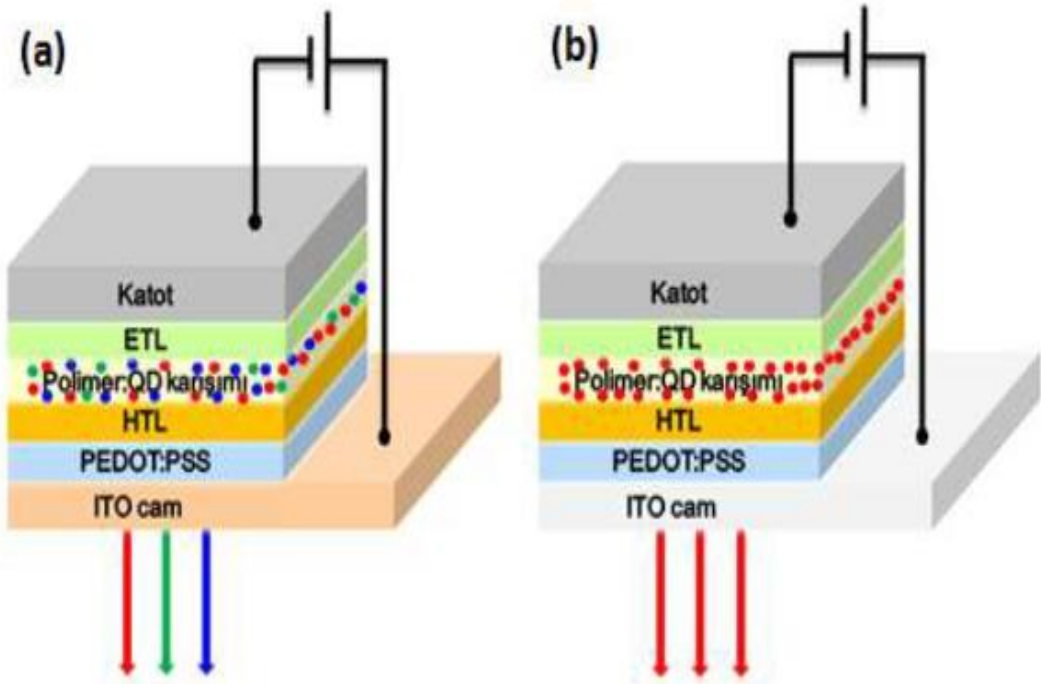
2.3.4. Polimer ve QD hibrit yapılı OLED

QD-LED ve polimerlerin birlikte kullanımları mümkündür. Bu kullanımlardan birincisi, QD parçacıklarının ışınım tabakası olarak faydalandığı modeldir. İkicisi ise organik yarıiletken malzeme içerisinde, ışınım tabakası veya yük dengeleyicisi olarak faydalandığı modeldir. QD-LED ve polimerlerin birinci şekilde kullanımında, polimer ETL (Elektron iletim katmanı) katmanıyken, HTL (Boşluk iletim katmanı) katmanının üstüne kaplanan QD yayıcı katmanı EML (Emisyon katman) olarak kullanılmıştır (Tuan ve ark., 2011). Şekil 2.11'de hibrit PLED'lerde QD'nin emisyon (EML) katmanı olarak kullanıldığı model gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Hibrit PLED’lerde QD’nin emisyon katmanı (EML) olarak kullanıldığı model yapısı (Demir, 2014).

QD-LED ve polimerlerin bir arada kullanımının ikinci yönteminde ise, QD içerikli hibrit materyal yapılarda ışık doğrudan partiküllerle veya organik katmanlardan üretilir (Zhu ve ark., 2008). Polimer matriksleri içerisinde eksitonlar oluşur. Böylece forster enerji transferiyle eksiton enerjisi QD yapısına iletilir ve bununla birlikte nanoparçacık içerisinde rekombinasyonların oluşumuyla foton yayılımı sağlanır. Polimer yapısında QD’dan emisyon yapıldığında beyaz ışık üretimi yapılabilir. Şekil 2.12a’da gösterildiği gibi polimer matriks yapısında aynı zaman aralıklarında ana renkleri elde etmek için birbirinden farklı boyut yapılarında QD’ların getirilmesiyle beyaz ışığa gidilebilir (Li ve ark., 2006). Bundan farklı olarak polimer matriksin yapısında düşük yoğunluk parametrelerinde QD getirilerek birleşmenin yerine organik materyallerde oluşmasıyla ışık üretme yöntemidir. Şekil 2.12b’de gösterimi yapılmıştır.



Şekil 2.12. Polimer: QD hibrit yapılı OLED’de a) QD’dan ve b) polimerden emisyon alınan aygıt yapısı gösterimi (Demir, 2014).

QD’ların fluoren türü polimer ve ko-polimer içerisinde kullanımını yardımıyla hazırlanan hibrit OLED aygıtının literatür araştırması ile hazırlanan raporun performans değerleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir (Demir, 2014).

Polimer matriksi içerisinde oldukça düşük bir yoğunlukta QD’un kullanılmasıyla organik malzemelerde birleşme meydana gelir ve bunun sonucunda ışık oluşur. Polimere yük enjeksiyonu sağlayarak ve yük hareketliliğini dengeleyerek QD birleşmeyi sağlar. QD’ların verim kayıpları, yüzey tuzak seviyeleri ve zayıf elektron-boşluk dengelerinden kaynaklıdır.

Tablo 2.1. PF:QD hibrit OLED yapıları ve performans değerleri (Demir, 2014).

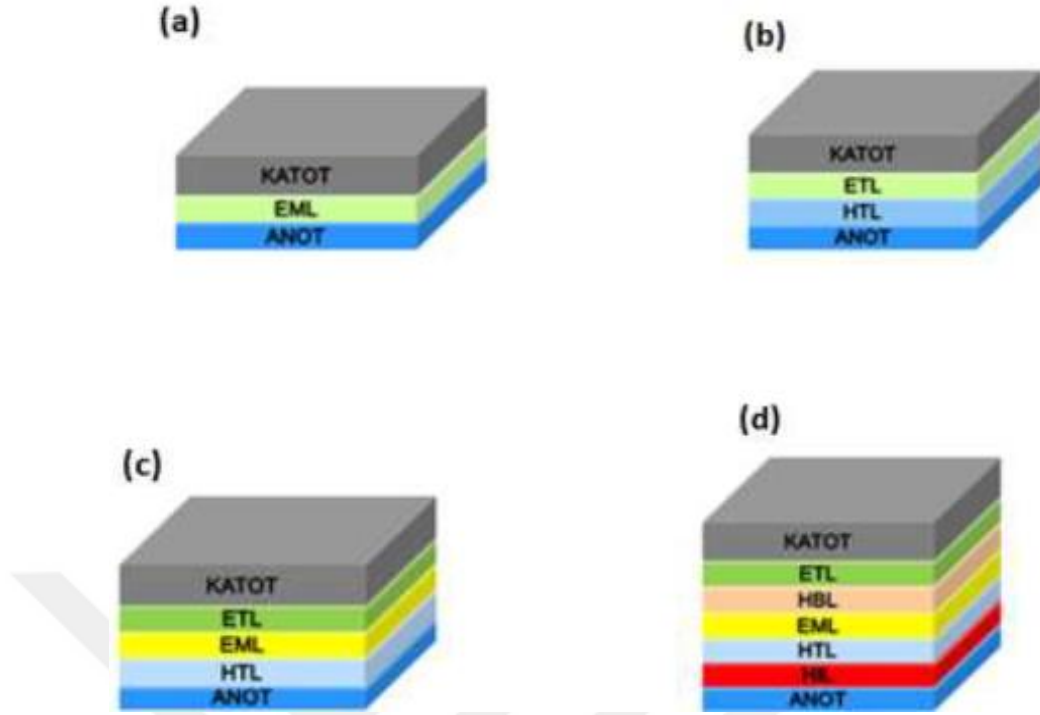
Ref#	Cihaz Yapısı	Lüminesans [cd/m ²] [V _{uyg}]	Lüminesans Verimi [cd/A]	EQE [%]	Çalışma Gerilimi [V]	FWHM [nm]	λ _{emis} [nm]
Yeşil Işık							
(Campbell ve Crone, 2008)	ITO/PEDOT:PFO:50 wt% CdSe/ZnS/Al			~0,5	6,5	~77	~487
	ITO/PFO:40 wt% CdSe/ZnS/Al			0,4	6	~38	~564
(Kwak ve ark., 2009)	ITO/PEDOT:PSS/PTPA-b-CAA(1wt%):CdSe(ZnS) (2,5 wt%)(TPBI)/LiF/Al	1000[11V]		1,5	<4	~30	500
(Yang ve ark., 2007)	ITO/PEDOT:PSS/PF4/Ca/Al	1743[11V]	0.60				540
	ITO/PEDOT:PSS/PF4-6,6 wt%CdSe/Ca/Al	2847[11V]	1,74				540
(Zhu ve ark., 2008)	ITO/PEDOT:PSS/PFBT8/LiF/Al			1,0	10		550
	ITO/PEDOT:PSS/PFBT8: CdSe[20:1]/LiF/Al				3	75	~540
Kırmızı Işık							
(Zhu ve ark., 2008)	ITO/PEDOT:PSS/PFBT8/LiF/Al			1	10		~530
	ITO/PEDOT:PSS/PFBT8: 5 wt% CdSe/LiF/Al			>1	4		~530
(Campbell ve Crone, 2008)	ITO/PEDOT:PSS/PFO/Al						428
	ITO/PEDOT:PSS/PFO:60 wt% CdSe/ZnS/Au			0,05	6,5		~620
	ITO/PEDOT:PSS/PFO:60 wt% CdSe/ZnS/Al			0,5	5		~620
	ITO/PEDOT:PSS/PFO:60 wt% CdSe/ZnS/Ca			0,2	5		~620
Mavi Işık							
(Yang ve ark., 2007)	ITO/PEDOT:PSS/PF1/Ca/Al	990[10V]	0,15				464
	ITO/PEDOT:PSS/PF1-6,6	1536[8V]	0,78				464

2.4. OLED'in Katmanları

OLED'ler fonksiyonel aygıtlar oldukları için birbirinden farklı yapıda tasarlanabilirler. Tek katmanlı OLED'ler (TK-OLED), cam üzerine kaplanan anot ve katot arasında kalan ince film organik malzeme katmanından oluşan bir yapıdır. Kaplanan ince organik malzemeler, yüksek verimli elektron ve boşluk geçişine sahip

olmasının yanında yine yüksek verimli bir PL verimine sahip olmalıdır. Elektronlar EML katmanına geçişlerinde kayıplar verir. Bunun sebebi de katot katmanı ile EML katmanı arasındaki enerji farkıdır. Katot ve EML (Emisyon katmanı) katmanları arasında elektron kayıplarını azaltmak ve aygıtın verimini arttırmak için iki katmanlı OLED (İK-OLED), üç katmanlı OLED (ÜK-OLED) ve çok katmanlı OLED (ÇK-OLED) yapılar tasarlanmıştır.

TK-OLED ve İK-OLED çalışma yöntem işleyişi olarak birbirlerine benzerler. Bu işleyişte, elektriksel alan oluştuğunda elektron-boşluk çiftleri HTL (Boşluk iletim katmanı) katmanı ve ETL (Elektron iletim katmanı) katmanı ara yüzeylerinde eksiton oluşturarak ışık yayarlar. Literatürde ETL katmanının EML katman yapısına benzer rol edindiğine dair bilgiler mevcuttur. ÜK-OLED aygıtlarında ise HTL katmanı ve ETL katmanları arasında PL'nin oluştuğu bir EML katmanı vardır. ÇK-OLED aygıtlar ise, katot ve ETL katmanları arasında eksiton sönmlemelerini elemek için tasarlanmıştır. ÇK-OLED'lerde boşluk enjeksiyonun enerji engelini azaltmak amacıyla boşluk enjeksiyon katmanı (HIL) ile elektron engelleme katmanı (EBL) tasarlanmıştır. Katot ile ETL katmanları arasında elektron enjeksiyonunu fazlalaştırmak amacıyla tasarlanan bir elektron enjeksiyon katmanı (EIL) bulunmaktadır. Boşluk engelleyici katman (HBL) ise, elektronların kayba uğramadan ışık yayıcı katmana geçişini sağlar. Substrat yani OLED'in altlık kısımları OLED aygıtını destekleyen katmanlar olmakla beraber cam, plastik ve metal folyo ve benzeri iletken şeffaf yapıları malzemeler kullanılabilir. OLED tasarımları Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13. a) TK-OLED, b) İK-OLED, c) ÜK-OLED, d) ÇK-OLED aygıt tasarımları (Demir, 2014).

2.4.1. Anot katmanı

Boşlukların iyi bir şekilde geçişini sağlayabilmek için cam yüzeylerin üzerine ITO kaplanır. Yüksek iş fonksiyonlu ($\phi_w > 4,1$ eV) olmalarının yanında ışığın geçişini kolaylaştırmak için şeffaf yapıda olurlar. Substrat ve ITO'nun yüzey pürüzlülüğü 2 nm'den az olmalıdır. ITO'nun bant aralığının 4 eV olması saydam malzeme olmasından dolayıdır. ITO malzemesi $2 \cdot 10^{-4} \Omega$ direnç değerine sahip olduğundan dolayı akan akımı sınırlayıcı duruma gelir ve böylece anot iletkenlerinde istemediğimiz gerilim düşümleri görülür. Yüksek verimli bir anot katmanı elde edebilmemiz için; yüksek iletkenliğe sahip olması, yüksek optik geçirgenliğe sahip olması, yüksek termal dirence sahip olması, düşük oksijen geçirgenliğine sahip olması, minimum düzeyde yüzey pürüzlülüğüne sahip olması ve düşük seviyede su geçirgenliğine sahip olması gerekmektedir (Ezhili ve Akshaya, 2013).

2.4.2. Boşluk enjeksiyon katmanı (HIL)

Anot katmanı yüzeyine sağlam şekilde tutunan HIL katmanı yüzey pürüzlülüğünü azaltır ve boşluk iletimini kolaylaştırır. HIL katmanı elektronlara engel olma kapasitesine, yüksek yük geçişlerine ve camsı geçiş sıcaklığı (T_g) özelliklerine sahiptir.

2.4.3. Boşluk iletim katmanı (HTL)

İyi bir boşluk iletkenliğine sahip olması gereken HTL katmanı, ileri beslemeyle uyarılan boşluk yük taşıyıcıları anot katmanından EML katmanına geçişini sağlamaktadır. En yaygın şekilde kullanılan küçük molekül boşluk malzemeleri NPD ve TPD'dir. LUMO enerji düzeyleri EML katmanına göre daha yüksek olmasından dolayı katottan gelen elektronların anot katmanına geçmesini engeller.

2.4.4. Elektron iletim katmanı (ETL)

ETL, katot ve EML katmanı arasında enerji engelini azaltarak katot katmanından elektronların organik katmana geçişini yapan katmandır. Hopping mekanizması yöntemiyle elektronların taşınması yapılır. Alq₃ ve BCP gibi materyaller kullanılır. Verimi yüksek bir ETL katmanı için; camsı geçiş sıcaklığı $T_g > 120$ °C olmalı, elektron hareketliliği yüksek olmalı ve diğer materyallerle kararlı elektriksel ile elektrokimyasal alana sahip olmalıdır. Buna ek olarak ışığın absorbe edilmesini engellemek için ETL katmanının bant aralıkları (E_g^{opt}), EML katmanı ile denk olmalıdır (Thejo Kalyani ve Dhoble, 2012).

2.4.5. Katot katmanı

Anot katmanından farklı olarak katot katmanında kullanılan materyaller şeffaf değildir. Yüksek iletkenlik özelliklerinin yanı sıra düşük iş fonksiyonuna ($\phi_w = 2,9-4,0$ eV) sahip olmalıdırlar. Katot katmanında kullanılan Al ve LiF gibi düşük iş fonksiyonuna sahip malzemeler o katmanın oksitlenmelerini hızlandırmaktadır.

Oksitlenmenin önüne geçmek için azot ortamında elde edilebilirler. Katot katmanı iyi bir kontak sağlamalı ve iyi bir transparan özellik göstermelidir.

2.4.6. Emisyon katmanı (EML)

EML, HTL ve ETL katmanları arasında görünür bölgede elektronların kazandıkları enerjiyi ışığa dönüştüren katmandır. EML katmanında düşük molekül ağırlıklı küçük moleküller veya yüksek molekül ağırlıklarına sahip polimer yapılı malzemeler kullanılmaktadır. OLED yapısında bulunan katmanlarda kullanılan materyaller Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. OLED katmanlarında kullanılan materyaller.

OLED Katmanları	OLED Katmanlarında Kullanılan Materyaller
Anot	ITO, IZO, ZNO; TCP (PANI, PEDOT)
HIL, HTL	p-tipi materyaller, TPD, NPD, PPV
EML	Kaliksaren, piren, fosforlu boya, floresan boya
EIL, ETL	n-tipi materyaller, Alq ₃ , PBD, BCP
Katot	Li:Al; Mg:Ag; LiF; Ca; MgOx

2.5. OLED’lerde Verim Hesabı

Verim, az enerjiden çok faydalanma anlamına gelmektedir. OLED aygıtının çalışması için sağlanan enerjinin ne kadarını yararlı işe dönüştürebildiğimizle verim ilgilenir. Alınan bir Lüminesans parametrelerinde düşük akım (I) ve gerilim (V) değeri güç kullanımının az olduğunu göstermektedir ve buna bağlı olarak omik ısınmanın da düşük değerlerde olduğu saptanmaktadır. Bu verilere bağlı olarak OLED aygıtının daha uzun kullanım ömrü olduğu anlamına gelir. OLED’lerin karakterizasyonları kuantum verimine, güç verimine (lm/W) ve Lüminesans (cd/A) verimine bakılarak yapılır.

2.5.1. Kuantum verimi

OLED’lerde kuantum verimini iç ve dış kuantum verimi olarak ele alırız. İç kuantum verimi (IQE), OLED cihazının yapısında oluşan fotonların enjekte olan eksiton sayılarına oranı şeklinde hesaplanır. Dış kuantum verimi (EQE) ise, OLED cihazından üretilen fotonların OLED yapısına enjekte olan eksiton sayısı şeklinde tanımlarız. Yani, IQE’nin foton oluşum verimiyle çarpımına eşit olarak tanımlarız (Shinar, 2004).

2.5.2. Güç verimi (lm/W)

Işık akısı ışık gücü olarak adlandırılır. Birimi lümen (lm). Güç verimi ise OLED aygıtının ürettiği ışık akısının, kaynağın ürettiği toplam elektromanyetik güce oranıdır. Katı hal OLED cihazı aydınlatma teknolojilerinde çok fazla kullanılır. İnsanoğlunun varoluşundan itibaren kullandığı aydınlatma teknolojilerinin güç verimleri Şekil 2.14’de gösterilmiştir.

$$\text{lm/W} = \frac{(\text{cd/m}^2)(\text{m}^2)\pi}{A.V} \quad (5)$$

lm = Lümen,

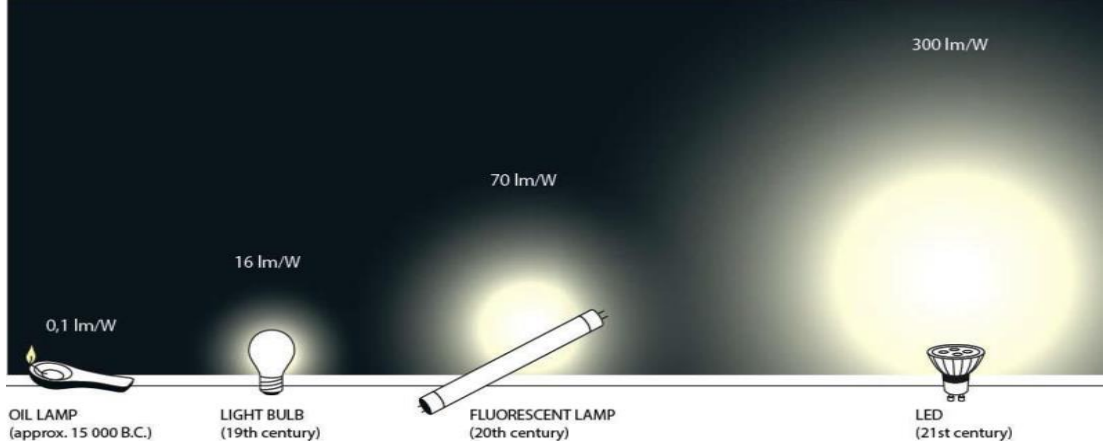
W = Watt,

cd = Kandela,

m² = Metrekare,

A = Amper,

V = Gerilim parametrelerini simgeler.



Şekil 2.14. lm/W değerlerine göre insanlığın kullandığı aydınlatma teknolojileri.

2.5.3. Lüminesans verimi (cd/A)

OLED aygıtının ısısı değişmeden elektronik düzeylere uyarılmış fotonların ışıyım yapması lüminesans olarak adlandırılır. Lüminesans verimini (cd/A) ise, lüminesans (cd/m²) değerinin akım yoğunluğuna (A/m²) oranı ile buluruz. Benzer kuantum verim değerlerine sahip olan aygıtlar yayımladıkları ışıyım spektrumlarıyla birbirlerinden farklı Lüminesans verimlerine sahip olabilirler. Lüminesans verimi OLED’lerin performanslarını ölçme ve karakterlerini belirlemede kullanılır.

$$\text{cd/A} = \frac{\text{cd/m}^2}{\text{A/m}^2} \quad (6)$$

cd = Kandela,

A = Amper,

m² = Metrekare parametrelerini simgeler.

2.6. OLED’in Avantajları ve Dezavantajları

OLED aygıtları daha çok bilgisayar, telefon ve televizyon teknolojilerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojilerde kullanılmasında en büyük özelliklerden biri de nano boyutlarda ince olduklarından dolayı esneyebilir ve katlanabilir olmalarıdır. OLED aygıtları arka ışık aydınlatması gerektirmezler yani

kendi ışıklarını kendileri üretebilirler ve bu durum taşınabilir teknolojik cihazlarda kullanım kolaylığı sağlamaktadır. OLED aygıtları düşük gerilimlerde çalışabilmektedir ve daha parlaktırlar. OLED aygıtlarının, diğer ekran teknoloji aygıtlarına göre yanıt verme süreleri daha hızlıdır ve bu aygıtlara göre oldukça dayanıklıdır. İnce filmlerden oluştukları için yapıları çok katmanlı olabilir.

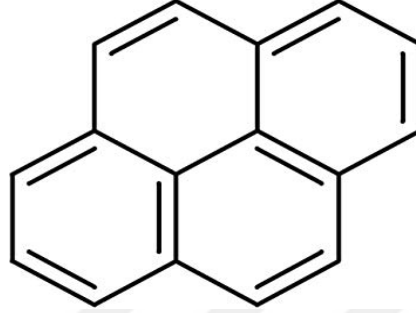
OLED aygıtlarının üretimi şimdilik biraz maliyetli olsa da, çok daha ucuza üretilirler. Plazma ve LCD ekran teknolojileriyle karşılaştırdığımız zaman OLED'lerin maliyetleri oldukça uygundur. OLED teknolojisinin gelişimiyle uygun yüzeyler ve üretim teknikleri kullanımı arttıkça üretim maliyetinde de düşüş görülecektir. OLED aygıtlarına su kolayca sızmaktadır ve bu yüzden organik katmanlara zarar vermektedir. OLED'ler nemden de etkilenebilirler. Kırmızı ve yeşil OLED filmlerinin ömürleri yaklaşık olarak 46,000-230,000 saattir ve mavi OLED (Yaklaşık olarak 14,000 saat) filmlerin ömürleri kırmızı ve yeşil OLED'e göre daha kısadır.

2.7. Piren ve Genel Özellikleri

Benzen, aromatik hidrokarbonlar organik bileşik grubunun en temel yapısıdır. Polisilik aromatik hidrokarbonlar (PAH) ise, en az iki benzen yapılı kaynaşmış aromatik halkalardan meydana gelen bileşikler grubu olarak adlandırılır ve çoğu organik malzemelerin tam yanmaması sonucu oluşmaktadır.

Piren, dört tane benzen organik bileşiğinin bir araya gelmesiyle oluşmuş bir PAH grubu bileşiktir. Şekil 2.15'de molekül yapısı gösterilmiştir. Piren bir PAH grubu bileşik olduğu için suyu sevmezler ve suda çözünürlükleri oldukça düşüktür. Piren bileşiği benzen, eter ve etanolde oldukça iyi çözünür. Piren bileşiğinin diğer adı benzo[def]fenantren'dir ve molekül formülü $C_{16}H_{10}$ olarak gösterilir. Erime noktaları 148–156 °C ve kaynama noktaları ise 360–404 °C aralığındadır. Molekül kütlesi 202,26 g.mol⁻¹ ve yoğunluğu 1,21 g/cm³ tür. Hacim yoğunluğu 650 kg/m³ tür. Alevlenme noktası ise 200–220 °C aralığında olup buhar basıncı 3.10⁻⁶ kPa'dır.

Piren bileşiği yüksek hassasiyete sahip sensör özelliği gösterir. Bu özelliğinden dolayı piren bileşiğinin uyarılması sonucu elde edilen floresans emisyonu 475–485 nm aralığındadır (Romero ve ark., 2009). Piren bu özelliklerinden dolayı OLED aygıtlarının yapısında kullanılmaktadır.



Şekil 2.15. Piren($C_{16}H_{10}$) bileşiğinin molekül yapısı.

Tablo 2.3. Piren($C_{16}H_{10}$) bileşiğinin özellikleri (Harvey, 1997; Raluca ve Vasile, 2006; Jacop 2008).

Piren bileşiğinin diğer adı	Benzo[def]fenantren
Molekül formülü	$C_{16}H_{10}$
Çözünürlük mg/l (25 °C)	0,135
Erime Noktası (°C)	148-156
Mol Kütlesi (g/mol)	202,26
Yoğunluk g/cm ³ (20 °C)	1,21
Hacim yoğunluğu (kg/m ³)	650
Kaynama Noktası (°C) (1013 hPa)	360-404
Alevlenme Noktası (°C)	200-220
Buhar Basıncı (kPa)	3.10^{-6}

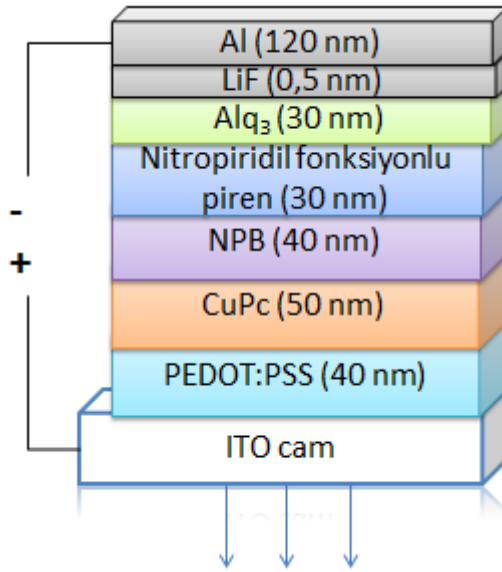
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

OLED, 10-20 X/h tabaka direnci ile önce ITO üzerinde üretildi. Substrat aseton, deterjan, diyonize su ve 2-propanol ile ultrasonik biçimde temizlendi. ITO cam üzerine PEDOT:PSS 40 nm kalınlığında döner kaplama yöntemi ile kaplandı ve PEDOT:PSS filmi 80 °C’de vakumlu etüvde 12 saat kurutuldu. PEDOT:PSS üzerine HIL katmanı olarak CuPc döner kaplama yöntemi ile 50 nm kalınlığında kaplandı. HTL katmanı olarak NPB üzerine azotlu ortamda, döner kaplama yöntemi ile yayıcı katman nitropiridil fonksiyonlu piren kaplanmıştır.

Yayıcı katmanın kalınlığı 30 nm ve 30 dakika boyunca 60 °C’de ısıtılmıştır. Daha sonra ETL katmanı olarak Alq₃ döner kaplama yöntemi ile 30 nm kalınlığında kaplandı. Elektron enjeksiyon katodu olarak 0,5 nm kalınlığında LiF ve bunu takiben 120 nm kalınlığındaki alüminyum koruma katmanı 4.10^{-4} Pa vakumla termal buharlaştırma yöntemiyle kaplandı.

Bu çalışmada cihazın aktif alanı 0,17 cm²’dir. EL katmanı döner kaplama yöntemi ile kaplanmış olup aygıtın performans testleri azot atmosferi altında glove box’ta gerçekleştirilmiştir. Dört katmanlı OLED aygıtının yapısı sırasıyla; ITO / PEDOT:PSS (40 nm) / CuPc (50 nm) / NPB (40 nm) / Nitropiridil fonksiyonlu piren (30 nm) / Alq₃ (30 nm) / LiF (0,5 nm) / Al şeklinde kaplanmış ve Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Dört katmanlı OLED aygıtı.

OLED aygıtında emisyon katmanında kullanılan molekülün absorbands grafiğine göre λ_{onset} dalga boyu bulunur ve buna bağlı olarak molekülün optiksel bant aralığını ($E_{g(\text{optik})}$) denklem 7'ye göre hesaplayabiliriz.

$$E_{g(\text{optik})} = \frac{h.c}{\lambda_{\text{onset}}} \quad (7)$$

$E_{g(\text{optik})}$ = Optiksel bant aralığı,

λ_{onset} = Dalga boyu,

h = Planck sabiti,

c = Işık hızı parametrelerini simgeler.

$E_{g(\text{optik})}$ denkleminde, ışık hızının ($c=3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$), λ_{onset} 'ine (10^{-9} m) bölünmesi ile molekülün frekansı bulunur. Bulunan bu frekans ile Planck sabiti ($h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$) çarpılır ve $E_{g(\text{optik})}$ bulunur. $E_{g(\text{optik})}$ 'nin birimi eV'tur. 1 eV, $1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ 'a eşittir.

Üretim için VAKSİS PVD-MT Termal buharlaştırma cihazı ve G3p-8 döner kaplama cihazı kullanıldı. PL ve absorbands ölçümleri Horiba Jobin Yvon UV-Vis Spektrofotometre cihazı ile yapıldı. Malzemenin HOMO ve LUMO enerji seviyeleri Bioanalytical Systems (BAS) Model 100B elektrokimyasal analiz cihazı ile

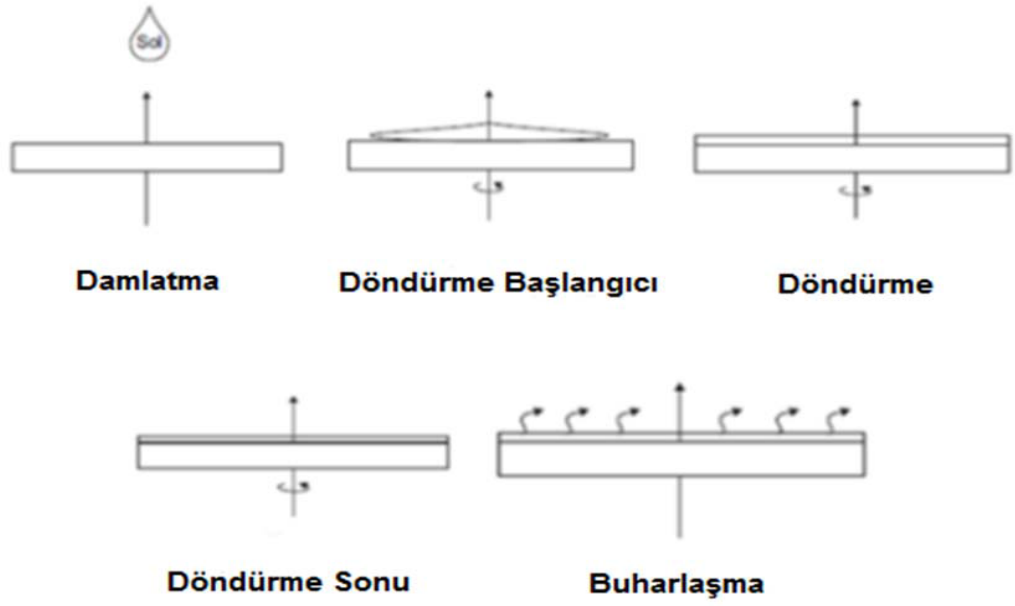
saptanmıştır. I-V ölçümleri Keithley 2400 ölçüm sistemi ile yapılmış ve NMR analiz işlemleri ise Bruker AVANCE III 400 MHz NMR Spektrometresi cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Nitropiridil fonksiyonlu piren bileşiğinin sentezi, GRÜ Mühendislik Fakültesi 12 numaralı laboratuvarında gerçekleştirildi ve NMR ölçümleri, GRÜ Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkez’inde (GRÜMLAB) yapılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Döner kaplama metodu

Sıvı hal durumundaki ince film kaplama malzemesi, az eğimli ya da sert bir substrat üzerine damlatılarak yüksek hızla döndürme işlemi uygulanarak yapılan ince film kaplama tekniğine döner kaplama denir. İnce film üretmek için kullanılan bir metot olmakla birlikte kullanılan substrat malzemeler nanometre boyutunda incelenir.

Döner kaplama çalışma prensibinde, substrat üzerine sıvı haldeki ince film malzemesi dökülür ve döndürme işlemi yapılır. Merkezci kuvvet etkisiyle koyulan sıvı malzemenin fazlalığı substrat üzerinden uzaklaşır. Film kalınlığı azaldıkça substrat üzerinden uzaklaştırılan sıvı malzeme, akışkanlığa karşı direncin artması sebebiyle azalır. Bununla birlikte uçucu olmayan malzeme konsantrasyonunda artış akışkanlığa karşı direncin büyümesine neden olur. Döner kaplama metodunda en son evre ise buharlaşmadır. Substrat üzerine koyulan ince film malzemelerin bazıları kaplama evresinin başlangıcında (1-2 saniye içerisinde) buharlaşır.



Şekil 3.2. Döner kaplama metodu evrelerinin gösterimi.

Döner kaplama metodunda kalınlık zamanla değişir ve bununla birlikte dönme hızının arttırılmasıyla ince filmin homojenliği de artmış olur. Sol malzemenin viskozitesi değişmediği sürece film kalınlığı değişmez ama birbirinden farklı viskozite değerindeki çözeltiler kullanılarak film kalınlığını değiştirebiliriz. Döner kaplama bilindik ve uzun sürmeyen bir kaplama metodudur. Bu kaplama yönteminde eğer substratlar büyük ise yeterli hızda döndürülemez ve istenilen incelikte ince film oluşmaz.



Şekil 3.3. Döner kaplama ince film sistemi.

3.2.2. Termal buharlaştırma metodu

Termal buharlaştırma metodu, kaplanacak ince film malzemenin ısı etkisiyle birlikte buharlaşan küçük moleküllerin substrat yüzeyine tutunup yoğunlaşması prensibine dayanan bir kaplama yöntemidir. Kaliteli bir ince film üretimi genellikle 10^{-6} torr vakum ortamında yapılmaktadır. Vakum basıncının yüksek olması hem buharın atmosfer ile reaksiyona girmesini engelleyecek hem de buharlaşan ince film malzemenin atomlarının çarpışma süresini arttıracaktır.



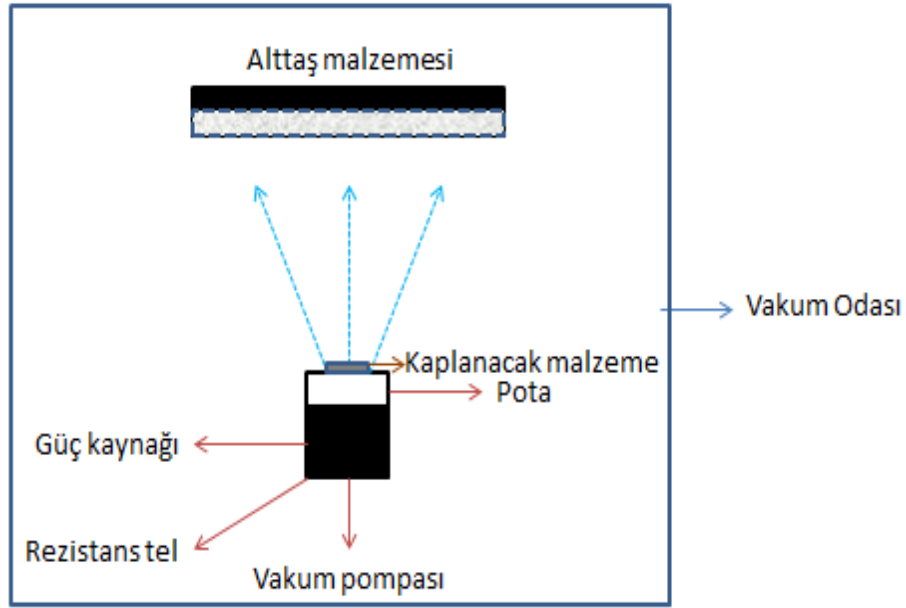
Şekil 3.4. Termal buharlaştırma ince film kaplama sistemi.

Refrakter malzemeler, sıcaklığa ve oksitlenmeye karşı dayanıklı malzemeler olarak tanımlanır. Refrakter malzemeden yapılan potanın içerisine kaplanacak ince film malzemesi yerleştirilir ve potanın etrafına sarılan rezistans tellerin yardımıyla ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Rezistans ile buharlaştırma metodu düşük gerilim ve yüksek akım veren enerji sistemlerinin kullanıldığı hızlı ve maliyeti düşük bir FBB (Fiziksel Buhar Biriktirme) işlemidir.

İyonlaşmanın az olmasından dolayı kaplanacak malzemenin yüzeye tutunurluğu düşüktür fakat gözenekliliği ise oldukça yüksektir. Pota malzemesi olarak çoğunlukla tungsten, tantal ve molibden gibi refrakter metallerin kullanıldığı bu yöntemde magnezyum, gümüş, alüminyum, kurşun ve bakır gibi düşük ergime sıcaklığına sahip

malzemelerin buharlaştırılmasında yararlanılır (Türküz, 1997). Bu metotla organik malzemelerde ısı olarak buharlaştırılır ve buharlaşan organik malzemeler yarıiletkenin üzerine ince film olarak yoğunlaşması sağlanır. Film kalınlığını; buharlaşma basıncı, buharlaşan malzemenin bulunduğu pota ile taşıyıcı arasındaki mesafe ve buharlaşma hızı etkiler.

Termal buharlaşma prensibine göre, kaplanacak ince film malzemelerin erime noktasına kadar pota ısıtılır ve buharlaşması beklenir. Buharlaşan atomlar bulundukları ortamdan daha soğuk bir ortama geçerek substrat yüzeyinde yoğunlaştırılır ve kaplama gerçekleşir. Bu teknik yüksek vakum ortamında yapılabildiği gibi asal bir gaz ortamında da yapılabilir.



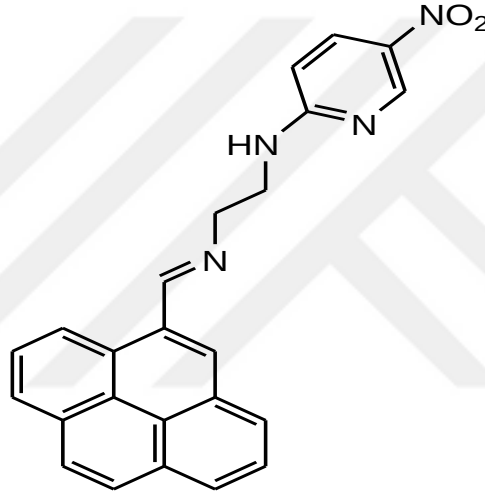
Şekil 3.5. Termal buharlaştırma prensibi gösterimi.

Termal buharlaştırma metodunun en büyük avantajlarından biri, bu metotta kapladığımız her ince film tabakanın kalınlıklarını buharlaştırma esnasında kontrol edilebilmesidir. Dezavantajı ise, buharlaşan atomların kinetik enerjilerinin düşük olmasından dolayı ana malzemeye tutunma yetenekleri düşüktür. Bundan dolayı verimi düşük bir ince film kaplama metodudur.

3.2.3. Deneysel Kısım

3.2.3.1. *N*-(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin'in sentezi

2-(2-Aminoetilamino)-5-nitropiridin (151,9 mg, 0,834 mmol), 1-pirenkarboksaldehit'in (230,3 mg, 1,0 mmol) 20 mL THF/MeOH (1/1, v/v)'den oluşan karışım 48 saat geri soğutucu altında kaynatılır. Daha sonra karışım oda sıcaklığına getirilir ve süzülür. Bu işlemlerden sonra elde edilen ham ürün EtOH üzerinden kristallendirilir, süzülür ve etüvde kurutulmaya alınır.

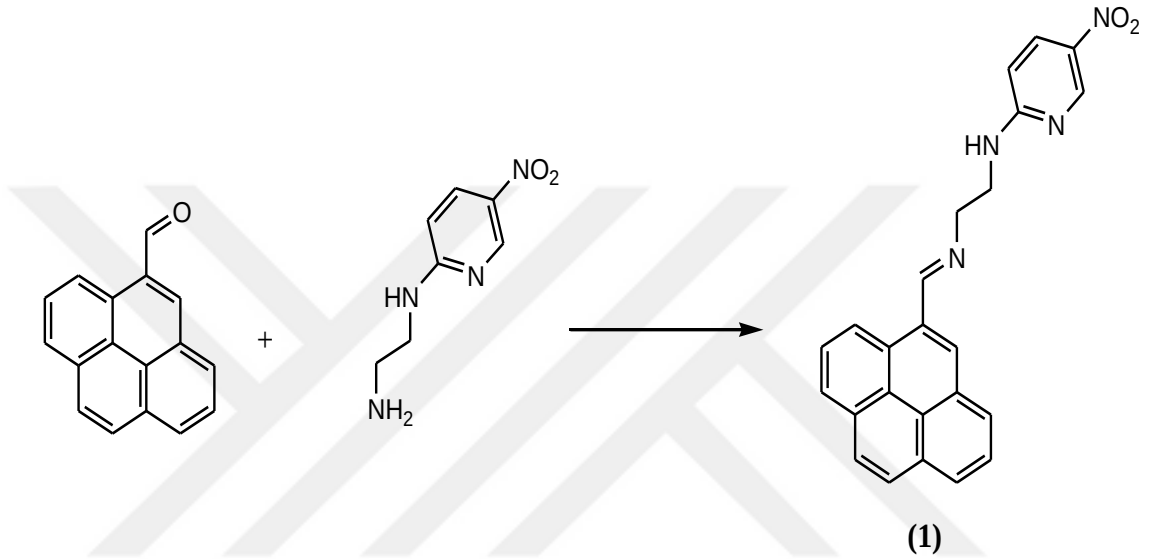


Şekil 3.6. *N*-(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin gösterimi.

Verim (200 mg, 50,8%); erime noktası 167-168 °C . ¹H NMR (400 MHz DMSO-d₆): δ 3,87 (brs, 2H, -CH₂), 4,03 (t, 2H, *J*= 5,6 Hz, -CH₂), 6,66 (d, 1H, *J*=8,8 Hz, ArH), 8,13 (t, 2H, *J*=7,6 Hz, ArH), 8,21-8,38 (m, 7H, ArH), 8,55 (d, 1H, *J*=8,0 Hz, ArH), 8,97 (brs, 1H, -NH), 9,07 (d, 1H, *J*=9,6 Hz, ArH), 9,39 (s, 1H, -CH=N). C₂₄H₁₈N₄O₂ (%) için analitik hesaplanan: C; 73,08, H; 4,60, N; 14,20. Bulunan (%): C; 73,13, H; 4,51, N; 14,09.

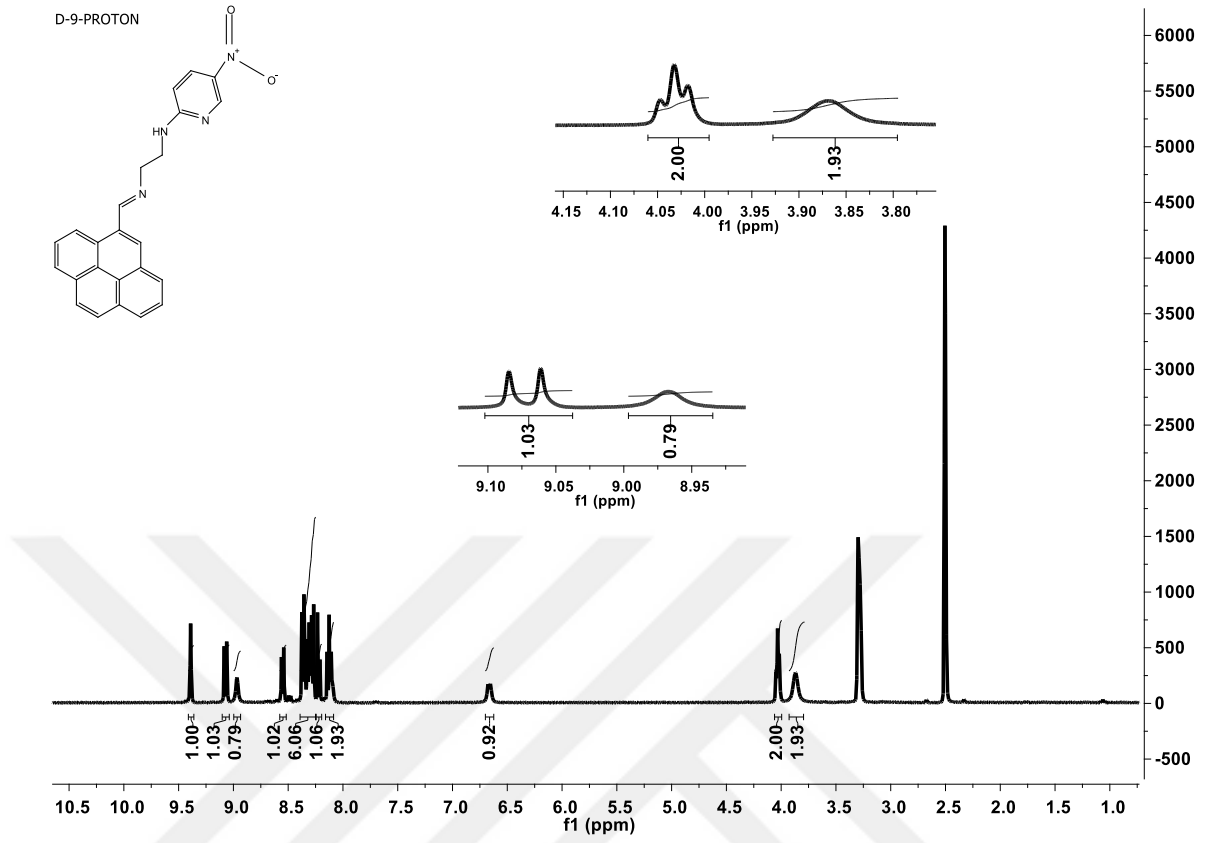
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. EML Katmanında Kullanılan Nitropiridil Fonksiyonlu Pirenin Sentezi



Şekil 4.1. *N*-(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin'in sentezi.

N-(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin'i sentezlemek için 2-(2-aminoetilamin)-5-nitropiridin ile 1-pirenkarboksaldehit THF/MeOH den oluşan çözücü ortamında ilk kez etkileştirilerek %50,8 verimle sentezlendi. Bileşiğin yapısı ¹H-NMR kullanılarak aydınlatıldı. Bileşiğin ¹H-NMR spektrumunda imin gruplarına ait 9,39 ppm (1H) bir singlet pikin görülmesi ile bileşiğin yapısı anlaşıldı. Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. ¹H-NMR spektrumunda *N*-(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin yapısı.

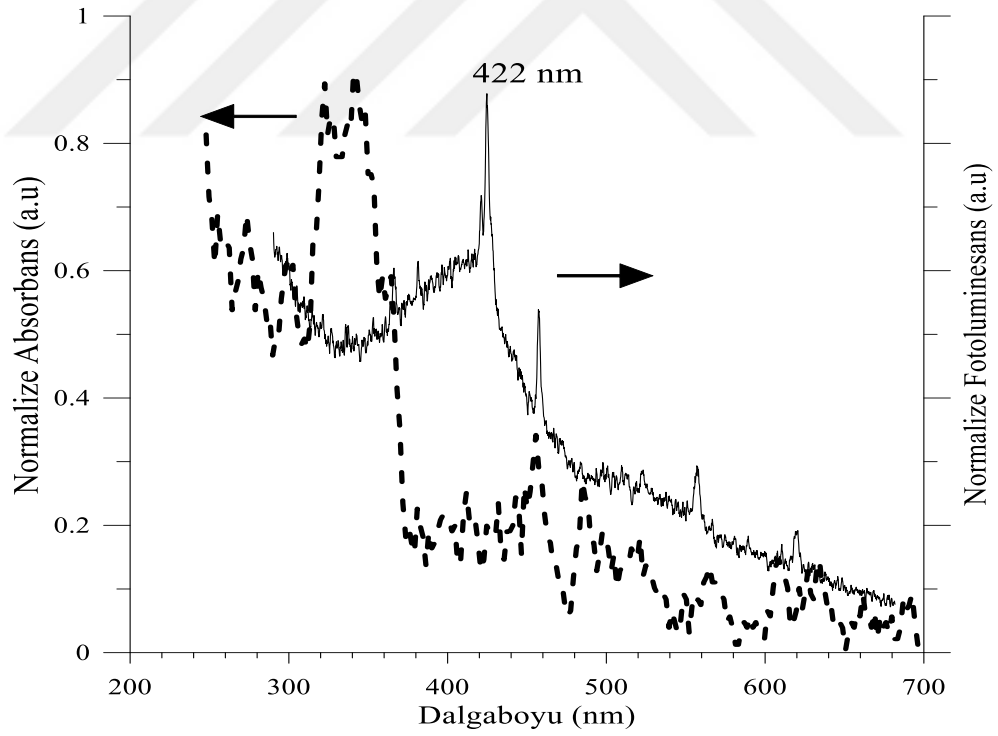


Şekil 4.3. *N*-(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin sentezinin yapıldığı laboratuvar.



Şekil 4.4. Kullandığımız NMR spektroskopi cihazı.

4.2. Fotolüminesans (PL) ve Absorbans Tayini



Şekil 4.5. Normalize absorbans-normalize fotolüminesans-dalgaboyu grafiği.

OLED aygıtında kullanılan nitropiridil fonksiyonlu piren molekülünün fotofiziksel özelliklerini belirlemek için, UV spektrofotometre ve floresans spektroskopisi kullanılmıştır. Şekil 4.5 grafiğinden molekülün maksimum absorpsiyonunun 346 nm dalga boyunda olduğu görülmektedir. Fotolüminesans pikini ise 422 nm’de görmekteyiz. Bu nitropiridil fonksiyonlu piren molekülünün karakteristik olarak mavi bölgede lüminesans özelliği gösterdiğini göstermektedir. Literatüre göre, absorbans eğrisinin tepesinden ve sonlandığı dalga boyundan bir teğet çizilerek tekabül eden dalga boyuna göre λ_{onset} bulunur. Bu hesaplamalar sonucunda $\lambda_{\text{onset}}=380$ nm olarak alınır. Denklem 7’de λ_{onset} değeri yerine konulduğunda, $E_{g(\text{optik})}=3,25$ eV olarak bulunur.

4.3. Dönüşümlü Voltametri (CV) Kullanılarak HOMO ve LUMO Hesabı

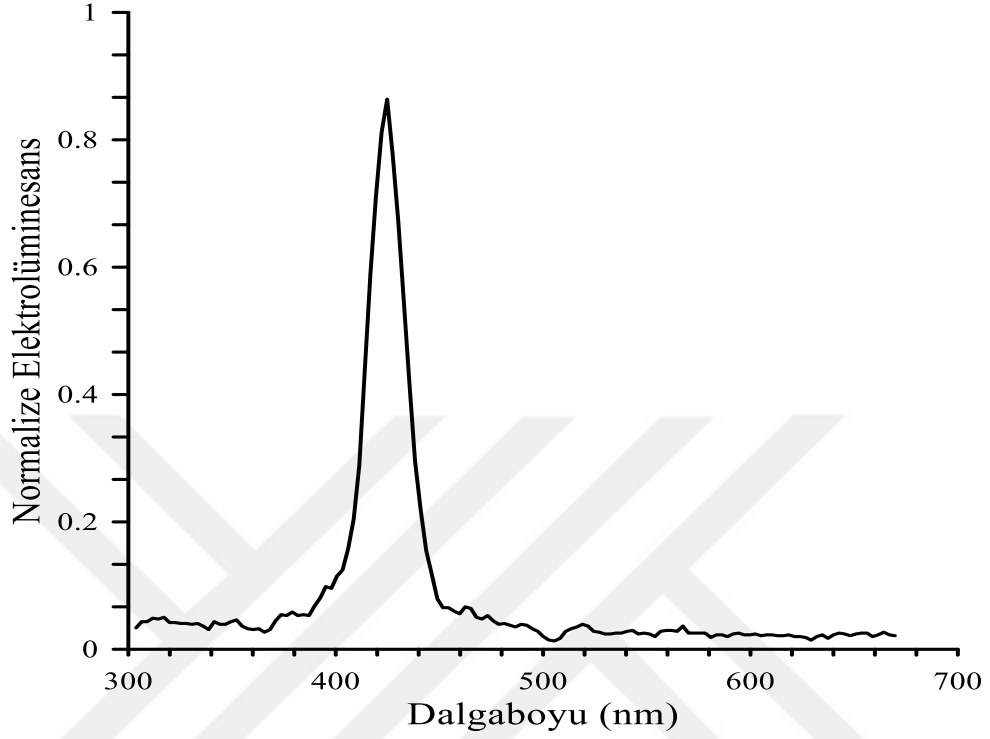
Dönüşümlü voltametri (CV) yöntemi kullanılarak nitropiridil fonksiyonlu pirenin yükseltgenme (oxidation) ve indirgenme (reduction) potansiyelleri bulunmuştur. Bu ölçüm sırasında emisyon katmanında kullanılan nitropiridil fonksiyonlu pirenin bant aralığı hesabı yapılmıştır.

$$\text{HOMO} = - (E_{\text{ox}} + 4,8) \quad (8)$$

$$\text{LUMO} = \text{HOMO} + E_g \quad (9)$$

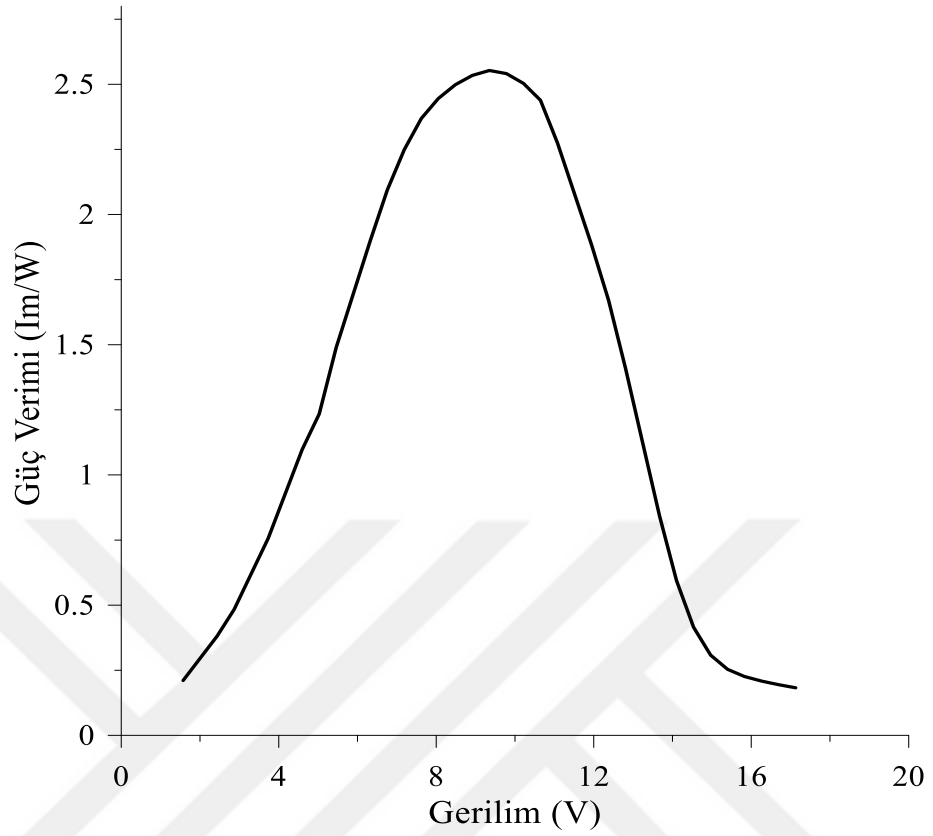
Formülleri kullanılarak HOMO ve LUMO değerleri hesaplanmıştır. E_g yasak enerji aralığı UV-Vis grafiğinden elde edilmiştir. Maksimum soğurma dalga boyu oda sıcaklığında DCM ortamında ölçülerek bulunmuştur. Buna göre, HOMO ve LUMO seviyeleri 5,3 eV ve 2,05 eV olarak hesaplanmıştır.

4.4. Elektrolüminesans (EL) Ölçümü



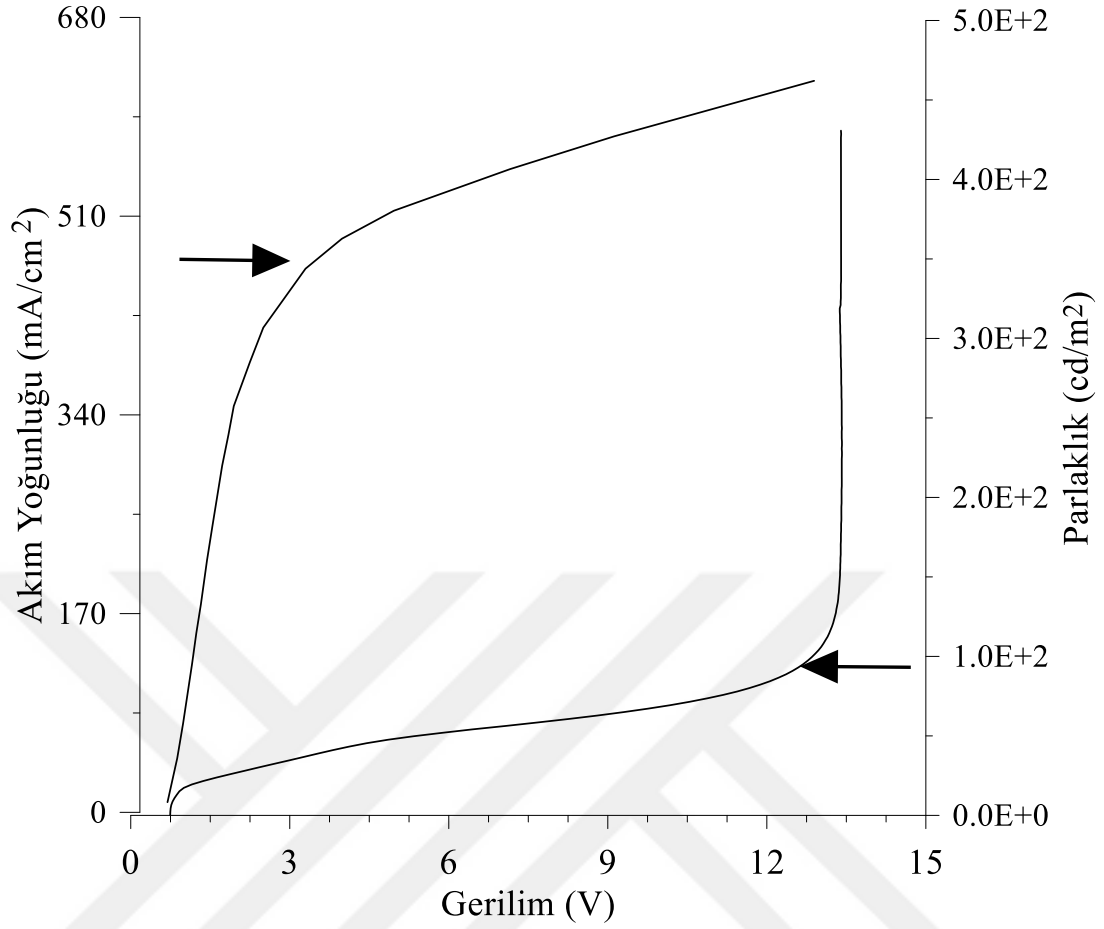
Şekil 4.6. Normalize elektrolüminesans-dalgaboyu grafiği.

Normalize olarak incelediğimiz Elektrolüminesans verilerinden Şekil 4.6’da gördüğümüz gibi ITO / PEDOT:PSS (40 nm) / CuPc (50 nm) / NPB (40 nm) / Nitropiridil fonksiyonlu piren (30 nm) / Alq₃ (30 nm) / LiF (0,5 nm) / Al şeklinde tasarladığımız ve ürettiğimiz OLED aygıtı 420 nm’de mavi ışık yaymaktadır. Pik oldukça keskin ve dar olup herhangi bir ara faza ait pike rastlanmamıştır. Bu da elektron-boşluk emisyonunun EML katmanı içerisinde gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 4.7. Güç verimi-Gerilim değişim grafiği.

Şekil 4.7 bize Güç verimi-Gerilim grafiğini göstermektedir. Güç verimi, gerilim arttıkça 9,8 V'a kadar hızlı bir şekilde artmış ve maksimum değerine ulaşmıştır. Güç verimi 9,8 V'dan sonra gerilim artışıyla beraber şiddetini kaybetmiştir.



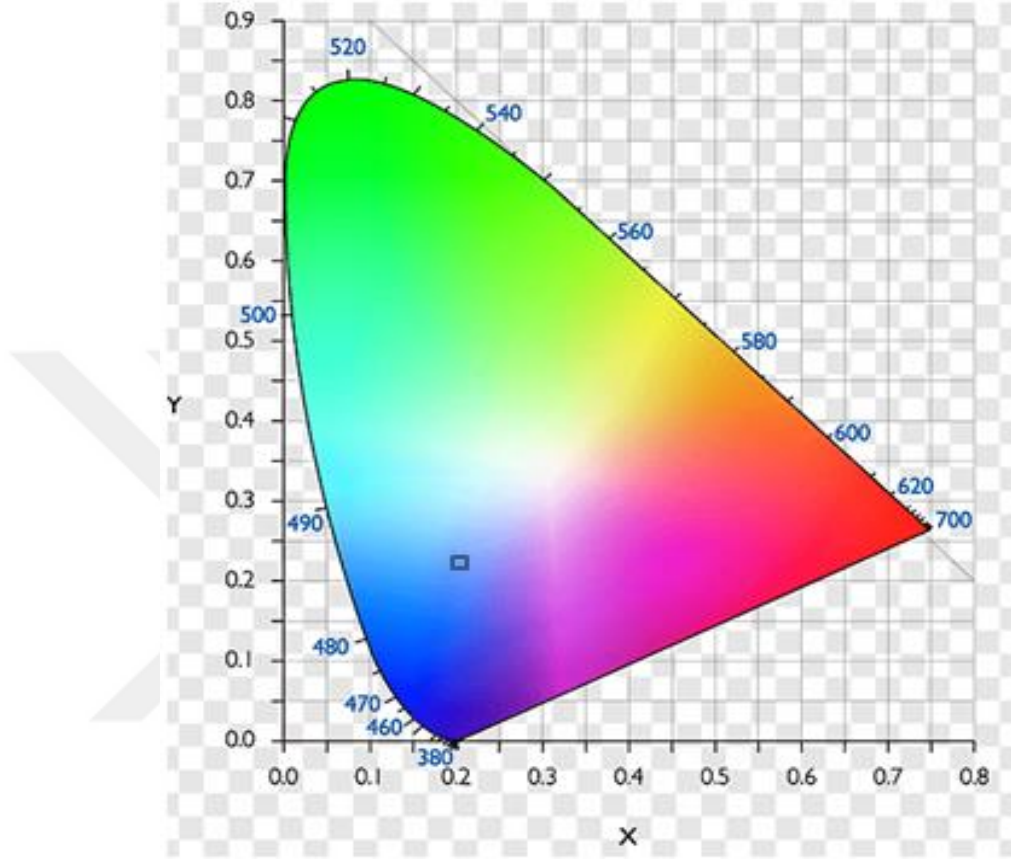
Şekil 4.8. Akım yoğunluğu-Gerilim-Lüminesans grafiği.

Şekil 4.8 Akım yoğunluğu-Gerilim-Lüminesans grafiğini göstermektedir. OLED, 11 V gibi düşük bir turn on gerilimine sahiptir. Yüksek oranda akım yoğunluğuna sahip olup lüminesans değerleri 500 cd/m² mertebesinde.

4.5. CIE Standartlarına Göre Renk Analiz Sonucu

CIE (Renk Aydınlatma Komisyonu) 1931 yılında renkleri ayırt edebilmek için (x,y) koordinatlarıyla ifade edilebilen bir renk uzayı tanımlamıştır. Bu renk uzayı insan gözünün algıladığı renklerin standardını belirleyen bir renk diyagramıdır. CIE renk uzayı oluşturulurken kırmızı (x), yeşil (y) ve mavi (z) olmak üzere üç renk-uyumlandırma fonksiyonu temel alınmıştır. Renk analizi parlaklık ve kromatiklik olarak iki kısımda incelenir. CIE indeksinde renk kromatikliği x ve y koordinatlarının her ikisinde de tanımlanmaktadır. Y koordinatı ise renklerin

parlaklığı hakkında bilgi verir. Ekran uygulamalarında renkler genellikle kırmızı, yeşil ve mavinin (RGB) karışımları olarak elde edilir. CIE renk indeksinde koordinatlar (0.21, 0.23) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Dört katmanlı OLED aygıtından elde edilen emisyonun CIE standartlarına göre renk analizi.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

OLED uygulamaları için nitropiridil fonksiyonlu piren molekülünün sentezi ve özelliklerini analiz etmek amacıyla yapılan bu tez çalışmasında, *N*-(2-((piren-4-il)metilenamino)etil)-5-nitropiridin-2-amin'i sentezlemek için 2-(2-aminoetilamin)-5-nitropiridin ile 1-pirenkarboksaldehit THF/MeOH'den oluşan çözücü ortamında ilk kez etkileştirilerek %50,8 verimle sentezlenmiştir. Bileşiğin ¹H-NMR spektrumunda imin gruplarına ait 9,39 ppm (1H) bir singlet pikin görülmesi ile bileşiğin yapısı anlaşılmıştır. Öncelikle sentezlediğimiz nitropiridil fonksiyonlu piren molekülünün absorpsiyon ve fotoluminesans değerlerine bakılmıştır. Bu değerlerden yararlanılarak optik bant aralığı $E_g^{opt}=3,25$ eV olarak bulunmuştur. Fotoluminesans grafiğinden 422 nm'de keskin bir pik verdiğini görmekteyiz ve molekülün mavi dalga boyunda karakteristik olarak net bir luminesans özelliğine sahip olduğu saptanmıştır.

Dönüşümlü voltametri (CV) yöntemi kullanılarak nitropiridil fonksiyonlu piren molekülünün yükseltgenme (oxidation) ve indirgenme (reduction) potansiyelleri bulunmuştur. Buradan sentezlenen nitropiridil fonksiyonlu piren molekülünün HOMO ve LUMO seviyeleri 5,3 eV ve 2,05 eV olarak hesaplanmıştır.

Elektroluminesans ölçümünde ise OLED'in tüm kaplanan katmanlarla beraber yine mavi bölgede ışımaya yaptığı ve pikinin 420 nm'de olduğu saptanmıştır. Düzlemsel olmayan yapısal özelliğe sahip nitropiridil fonksiyonlu piren, yüksek elektroluminesans etkinlik göstermesi ve nitropiridil fonksiyonlu pirende aromatik sistemin $\pi-\pi$ istiflenmesi ile kendi kendine birikmeyi önleyerek renk saf mavi emisyonu gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca CIE renk indeksinde koordinatlar (0.21, 0.23) olarak tespit edilmiştir.

Literatürde incelediğimizde piren bazlı bileşiklerin, OLED aygıtlarında emisyon katmanı olarak kullanımı oldukça fazladır. Bu çalışmalardan bazılarında ürettiğimiz EML katmanında kullanılan nitropiridil fonksiyonlu piren bazlı OLED, literatürdeki mevcut benzer aygıtlarla karşılaştırılmıştır. P1 (2-pirenil-9-fenil-9-pirenilflore) ile P2 (2,7-dipirenil-9-fenil-9-pirenilflore) bileşiklerinin sentezlenmişler büyük düzlemsel konjuge aromatik yapısal özellikleri nedeniyle pirenin güçlü bir π elektron delokalizasyon enerjisi ve verimli bir floresans özelliklerine sahip olmasından dolayı emisyon katmanında kullanılmış ve film PL pik değerleri 462 nm ve 450 nm dalga boyunda mavi emisyon verdiğini gözlemişlerdir (Tang ve ark., 2006). BPyC (3,6-dipirenil-9-(4'-tert-butilfenil)karbazol) ve TPyC (3,6-dipirenil-9-(4'-pirenilfenil)karbazol) bileşiklerinin sentezlenmesi ve emisyon katmanında kullanılmasıyla PL pik değerleri 443 nm ve 465 nm dalga boyunda mavi emisyon vermiştir (Lai ve ark., 2011). BDOFP (1,6-bis(9,9'-dioktilflore-2-il)piren) bileşiğinin sentezlenmişler ve etkili konjugasyon, moleküller arasında güçlü bir π - π etkileşiminden dolayı emisyon katmanında kullanılmış, EL eğrisinde 458 nm dalga boyunda mavi emisyon verdiğini gözlemişlerdir (Hwang ve ark., 2012). Py-BPI (1-(4-tert-butilfenil)-2-(4-(piren-1-il)fenil-1H-fenantro[9,10-d]imidazol) ve Py-TPI (1-(4-tert-butilfenil)-2-(5-(piren-1-il)tiyofen-2-il)-1H-fenantro[9,10-d]imidazol) bileşiklerinin sentezlenmesi ve piren ile türevlerinin zengin elektronik, fotofiziksel özelliklerine sahip olması büyük π konjuge sisteminden kaynaklıdır. Bu özelliğinden dolayı emisyon katmanında kullanılmasıyla PL eğrilerinde 439 nm ile 485 nm, EL eğrilerinde ise 468 nm dalga boyunda mavi emisyon verdiğini saptamışlardır (Zhang ve ark., 2013). PINHy (*N'*-((piren-4-il)metilen)izonikotinohidrazid) bileşiğini sentezlenmişler ve pirenin büyük düzlemsel konjuge aromatik sistemi güçlü bir elektron delokalizasyon sağlar. Bu özelliğinden dolayı emisyon katmanında kullanılmasıyla, iki ve dört katmanlı OLED aygıtında 452 nm ve 475 nm dalga boyunda EL piki gözlemlenmiş olup mavi bölgede emisyon yaptığını saptamışlardır (Sayin ve ark., 2017).

Sonuç olarak, ürettiğimiz OLED ve EML katmanında kullandığımız nitropiridil fonksiyonlu piren bileşiğinin soğurma, PL ve EL eğrileri literatürdekiler ile benzerlik göstermekte olup sonuçlar birbirleriyle uyumludur. Bununla beraber üretmiş

olduğumuz piren bazlı OLED'i verimliliği yüksek bir aygıt adayı olarak gösterebiliriz.



KAYNAKLAR

- Andersson, T. 2005. Evaporation of small-molecule nanolayers-growth, structure, electronic levels and devices. 2005 Conference on High Density Microsystem Design and Packaging and Component Failure Analysis.
- Argyakis, P., Kobryanskii., M.V., Sluch, M.I., Vitukhnovsky, A.G. 1997. The influence of conjugated polymer chain length on luminescence properties of ordered polymer films. *Synthetic Metals*, 91(1-3): 159–160.
- Aşcı, Y. 2013. Pasif Matriks Ekranlar için Organik Işık Yayan Diyot (OLED) Üretimi, Optik ve Elektriksel Karakterizasyonu. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Aydın, H. 2011. Interface Properties of Modified Indium Tin Oxide Based Organic Light Emitting Diodes with Functional Aromatic Molecules. MSc Thesis, Izmir Institute of Technology, Master of Science in Physics.
- Brédas, J.L., Street, G.B. 1985. Polarons, bipolarons, and solitons in conducting polymers. *Accounts of Chemical Research*, 18(10): 309–315.
- Borchardt, J.K. 2004. Developments in organic displays. *Materials Today*, 7(9): 42–46.
- Birks, J.B., Dyson, D.J., Munro, I.H. 1963. Excimer fluorescence II. Lifetime studies of pyrene solutions. *Proceeding Royal Society A*, (275): 575-589.
- Campbell, I.H., Crone, B.K. 2008. Efficient, visible organic light-emitting diodes utilizing a single polymer layer doped with quantum dots. *Applied Physics Letters*, 92(4): 043303
- Davids, P.S., Campbell, I.H., Smith, D.L. 1997. Device model for single carrier organic diodes. *Journal of Applied Physics*, 82(12): 6319–6325.
- DeRose, C.T., Enami, Y., Loychik, C., Norwood, R.A., Mathine, D., Fallahi, M., Peyghambarian, N., Luo J.D., Jen, A.K.-Y., Kathaperumal, M., Yamamoto, M. 2006. Pockel's coefficient enhancement of poled electro-optic polymers with a hybrid organic-inorganic sol-gel cladding layer. *Applied Physics Letters*, 89(13): 131102.

- Demir, N. 2014. Sarı ve Mavi Işıma Yapan Konjuge POLİMER-CuInS₂ Kuantum Parçacığı Hibritlerinde Foto-Fiziksel Davranışların Tespiti ve OLED Uygulamaları. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Ding, L., Domińska, M., Fang, Y., Blanchard, G.J. 2008. Fluorescence and electrochemistry studies of pyrene-functionalized surface adlayers to probe the microenvironment formed by cholesterol. *Electrochimica Acta*, 53(23): 6704-6713.
- Esward, T., Knox, S., Jones, H., Brewer, P., Murphy, C., Wright, L., Williams, J. 2011. A metrology perspective on the dark injection transient current method for charge mobility determination in organic semiconductors. *Journal of Applied Physics*, 109(9): 093707.
- Ezhili, G., Akshaya, V.S. 2013. Flexible OLED on a Polyimide Substrate. 1(1).
- Gutmann, F., Lyons, L.E., John Wiley & Sons. 1967. Organic Semiconductors Inc, 858.
- Haldi, A. 2008. Patternable electrophosphorescent organic light-emitting diodes with solution-processed organic layers. Georgia Institute of Technology, Doctor of Philosophy in the School of Electrical and Computer Engineering.
- Havare, A.K. 2011. Kendiliğinden Organize Tek Katman Tekniği (KOT) Kullanılarak Organik LED (OLED) Veriminin Arttırılması ve Karakterizasyonu. Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi ABD, Doktora Tezi.
- Harvey, R.G. 1997. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Wiley-VCH, New York.
- Horowitz, G. 1998. Organic Field-Effect Transistors. *Advanced Materials*, 10(5): 365–377.
- Hwang, D.-H., Lee, S., Kim, J.-H., Lee, J. 2012. Synthesis and characterization of a solution processible deep blue light-emitting molecule composed of fluorene and pyrene units. *Current Applied Physics*, 12: e33–e37.
- Jain, S.C., Geens, W., Mehra, A., Kumar, V., Aernouts, T., Poortmans, J., Mertens, R., Willander, M. 2001. Injection- and space charge limited-currents in doped conducting organic materials. *Journal of Applied Physics*, 89(7): 3804–3810.
- Jongwoon, P., Kawakami, Y. 2006. Temperature-dependent dynamic behaviors of organic light-emitting diode. *Display Technology*, (2): 333-340.
- Kalinowski, J. 2005. Organic Light-Emitting Diodes: Principles, Characteristics, and Processes. 1-463.

- Kasapseçkin, M.A., Altuncu, D. 2013. Innovative Materials in Interior Design: Organic Light Emitting Textiles (Oleds). *Advanced Materials Research*, 689, 254–259.
- Kroon, R., Lenes, M., Hummelen, J.C., Blom, P.W.M., de Boer, B. 2008. Small Bandgap Polymers for Organic Solar Cells(Polymer Material Development in the Last 5 Years). *Polymer Reviews*, 48(3): 531–582.
- Kuzmany, H., Kürti, J. 1987. The physical meaning of the conjugation length in polymers. *Synthetic Metals*, 21(1-3): 95–102
- Kwak, J., Bae, W., Zorn, M., Woo, H., Yoon, H., Lim, J., Kang, S.W., Weber, S., Butt, H.-J., Zentel, R., Lee, S., Char, K., Lee, C. 2009. Characterization of Quatum Dot/Conducting Polymer Hybrid Films and Their Application to Light-Emitting Diodes. *Advanced Materials*, 21(48): 5022-5026.
- Kwok, H.L., Xu, J.B. 2002. A model for exciton formation in organic electroluminescent devices. *Solid-State Electronics*, 46(5): 645–650.
- Kuçur, E., Bücking, W., Giernoth, R., Nann, T. 2005. Determination of defect states in semiconductor nanocrystals by cyclic voltammetry. *The journal of physical chemistry, B*, 109(43): 20355-20360.
- Lai, S.L., Tong, Q.X., Chan, M.Y., Ng, T.W., Lo, M.F., Ko, C.C., Lee, S.T., Lee, C. S. 2011. Carbazole–pyrene derivatives for undoped organic light-emitting devices. *Organic Electronics*, 12(3): 541–546.
- Li, Y.Q., Rizzo, A., Cingolani, R., Gigli, G. 2006. Bright White-Light-Emitting Device from Ternary Nanocrystal Composites. *Advanced Materials*, 18(19): 2545-2548.
- Lo, M.F., Ng, T.W., Lai, S.L., Wong, F.L., Fung, M.K., Lee, S.T., Lee, C.S. 2010. Operation stability enhancement in organic photovoltaic device by metal doped organic exciton blocking layer. *Applied Physics Letters*, 97(14): 143304.
- Fukuda, M., Sawada, K., Yoshino, K. 1989. Fusible Conducting Poly(9-alkylfluorene) and Poly(9,9-dialkylfluorene) and Their Characteristics. *Japanese Journal of Applied Physics*, 28(Part 2, No. 8): L1433–L1435.
- Pal G.K., Pal, P. 2001. In *Textbook of Practical Physiology*, 530.
- Peumans, P., Bulović, V., Forrest, S. R. 2000. Efficient photon harvesting at high optical intensities in ultrathin organic double-heterostructure photovoltaic diodes. *Applied Physics Letters*, 76(19): 2650–2652.
- Pope, M., Kallmann, H.P., Magnante, P. 1963. Electroluminescence in Organic Crysts. *The Journal of Chemical Physics*, 38(8): 2042–2043.

- Pope, M., Swenberg, C.E. 1999. *Electronic Processes in Organic Crystals and Polymers*. 2nd ed. New York, Oxford Science Publications, 337-340.
- Qiao, X., Tao, Y., Wang, Q., Ma, D., Yang, C., Wang, L., Qin, J., Wang, F. 2010. Controlling charge balance and exciton recombination by bipolar host in single-layer organic light-emitting diodes. *Journal of Applied Physics*, 108(3): 034508.
- Romero, T., Caballero, A., Tarraga, A., Molina, P.A., 2009. A Click-Generated Triazole Tethered Ferrocene-Pyrene Dyad for Dual-Mode Recognition of the Pyrophosphate Anion. *Organic Letters*, 11(15): 3466-3469.
- Sayin, S., Varol, S.F., Merdan, Z., Eymur, S. 2017. Synthesis of isoniazid substituted pyrene (PINHy), and investigation of its optical and electrochemical features as tunable/flexible OLEDs. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(17): 13094-13100.
- Someya, T., Pal, B., Huang, J., Katz, H.E. 2008. Organic Semiconductor Devices with Enhanced Field and Environmental Responses for Novel Applications. *MRS Bulletin*, 33(07): 690-696.
- Sirringhaus, H. 2009. Materials and Applications for Solution-Processed Organic Field-Effect Transistors. *Proceedings of the IEEE*, 97(9): 1570-1579.
- Scott, J.C., Carter, S.A. 1997. Bipolar charge and current distributions in organic light-emitting diodes. *Journal of Applied Physics*, 82(3): 1454-1460.
- Shinar, J., 2004. *Organic Light-Emitting Devices. A Survey*, Springer Verlag, 309.
- Shiyong, L., Feng, L., Cheng, G., Feng, J. 2003. Highly efficient organic lightemitting devices, *Optoelectronics*, Proceedings of the Sixth Chinese Symposium. 266-269.
- Suppiah, S., Shahimin, M. M., Juhari, N. 2011. Fabrication of MEH-PPV based organic light emitting diode and transistor, 2011 IEEE Regional Symposium on Micro and Nano Electronics, 388-391.
- Şeker, M. 2011. Application of Self Assembled Monolayer Technique to Improve Hole Transport in Organic Leds. MSc Thesis, Izmir Institute of Technology, Master of Science in Physics.
- Tang, C.W., VanSlyke, S.A. 1987. Organic electroluminescent diodes. *Applied Physics Letters*, 51(12): 913-915.
- Tang, C., Liu, F., Xia, Y.-J., Lin, J., Xie, L.-H., Zhong, G.-Y., Fan, Q.-L., Huang, W. 2006. Fluorene-substituted pyrenes—Novel pyrene derivatives as emitters in nondoped blue OLEDs. *Organic Electronics*, 7(3): 155–162.

- Thejo Kalyani, N., Dhoble, S.J. 2012. Organic light emitting diodes: Energy saving lighting technology-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5): 2696-2723.
- Tuan, N.H., Koh, K.H., Nga, P.T., Lee, S. 2011. Effect of cathodes on high efficiency inorganic-organic hybrid LEDs based on CdSe/ZnS quantum dots. *Journal of Crystal Growth* 326(1): 109-112.
- Türküz, M.C. 1997. Ark PVD Yöntemi ile TiN Kaplanmış Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Performanslarının İncelenmesi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Wang, Z.B., Helander, M.G., Greiner, M.T., Qui, J., Lu, Z.H. 2010. Carrier mobility of organic semiconductors based on current-voltage characteristics, *Journal of Applied Physics*, 107(3): 0345506.
- Wang, Y., Herron, N. 1991. Nanometer-sized semiconductor clusters: materials synthesis, quantum size effects, and photophysical properties. *The Journal of Physical Chemistry*, 95(2): 525-532.
- Yang, C.-H., Bhongale, C.J., Chou, C.H., Yang, S.-H., Lo, C.-N., Chen, T.-M., Hsu, C.-S. 2007. Synthesis and light emitting properties of sulfide-containing polyfluorenes and their nanocomposites with CdSe nanocrystals: A simple process to suppress keto-defect. *Polymer*, 48(1): 116-128.
- Zhang, Y., Ng, T.-W., Lu, F., Tong, Q.-X., Lai, S.-L., Chan, M.-Y., Kwong, H.-L., Lee, C.-S. 2013. A pyrene-phenanthroimidazole derivative for non-doped blue organic light-emitting devices. *Dyes and Pigments*, 98(2): 190–194.
- Zhu, D., Ye, H., Zhen, H., Liu, X., 2008. Improved performance in green light-emitting diodes made with CdSe-conjugated polymer composite. *Synthetic Metals*, 158(21-24): 879-882.

ÖZGEÇMİŞ

Oğuzhan YETER 1992 yılında Giresun'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Giresun'da tamamladı. 2011 yılında Mimar Sinan Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Giresun Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nü 2017 yılında bitirdi. 2017 yılında Giresun Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılından itibaren Enerji Sistemleri Mühendisi olarak görev yapmaktadır.