

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**ORGANOMETALİK KOMPLEKSLERE DAYALI
BEYAZ OLED AYDINLATMA AYGITI YAPIM VE
KARAKTERİZASYONLARI**

İlker ÖNER

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Canan VARLIKLI

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi: 13.11.2015

Bornova-İZMİR

2015

İlker ÖNER tarafından Doktora tezi olarak sunulan “Organometalik Komplekslere Dayalı Beyaz OLED Aydınlatma Aygıtı Yapım ve Karakterizasyonları” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 13/11/2015 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı

: Doç. Dr. Canan VARLIKLI

.....

Raportör Üye

: Yrd. Doç. Dr. İlbeyi AVCI

.....

Üye

: Yrd. Doç. Dr. Koray ÜLGEN

.....

Üye

: Prof. Dr. Serdar ÖZÇELİK

.....

Üye

: Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK

.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Doktora Tezi olarak sunduğum **“Organometalik Komplekslere Dayalı Beyaz OLED Aydınlatma Aygıtı Yapım ve Karakterizasyonları”** başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

13 / 11 / 2015



İlker ÖNER

ÖZET**ORGANOMETALİK KOMPLEKSLERE DAYALI
BEYAZ OLED YAPIM VE KARAKTERİZASYONLARI**

ÖNER, İlker

Doktora Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Canan VARLIKLI

Kasım 2015, 145 Sayfa

Bu çalışma, büyük alanlı beyaz ışık yayan organik diyot (WOLED) hazırlığına yönelik farklı ıslak kaplama yöntem yaklaşımlarını içermektedir. Alan büyütme için dönü kaplama ve sıyırma kaplama yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bununla birlikte yeni sentezlenmiş rutenyum (2 adet) ve iridyum (3 adet) komplekslerinin beyaz ışık elde etmek için kullanılabilme potansiyelleri araştırılmıştır.

Beyaz ışığın elde edilmesi için triplet hasadı olarak adlandırılan yöntemlerden Fosforesant/Floresant (P/F) materyallerin bir arada kullanılması yöntemi tercih edilmiştir. Böylece, mavi floresant ışıma, triplet-singlet transferi sayesinde turuncu-kırmızı ışıma sayesinde beyaz ışık elde edilmiştir. CS91 ve CS93 olarak adlandırılan iki rutenyum kompleksi turuncu-kırmızı bileşen olarak, CS137, CS138 ve CS139 olarak adlandırılan iridyum kompleksleri ise sarı bileşen olarak OLED’lerde kullanılmış ve bu materyallerin WOLED alan büyütme çalışmaları için uygun olup olmadıkları araştırılmıştır.

Son olarak en iyi performansı gösteren WOLED seçilerek dönü kaplama ve sıyırma kaplama yöntemleri kullanılarak aktif alan büyütme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sıyırma kaplama yöntemi ile 30mm x 70mm aktif alana sahip 63mm x 100mm boyutunda WOLED panel elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: WOLED, organometalik, ıslak kaplama, sıyırma kaplama.

ABSTRACT**PPREPARATION AND CHARACTERIZATIONS OF WHITE
OLEDs BASED ON ORGANOMETALLIC COMPLEXES**

ÖNER, İlker

PhD Thesis, Department of Solar Energy
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Canan VARLIKLI
November 2015, 145 pages

This work comprises different solution process approaches for obtaining large area white organic light emitting diodes (WOLED). Spin coating and doctor blade were used for the fabrication of large area WOLEDs. In addition, newly synthesized two ruthenium and three iridium complexes were used to investigate their potential for the WOLEDs.

Generation of white light is realized by using one of the triplet harvesting method (phosphorescent/fluorescent (F/P) approach). Hence, white light was obtained from the residual blue phosphorescence of the sensitizer, the sensitized orange-red fluorescence is due to triplet-to-singlet energy transfer, and the instantaneous fluorescence results from singlet-singlet transfer. Two ruthenium complexes labeled as CS91 and CS93, and three iridium complexes labeled as CS137, CS138 and CS139 were used as an orange-red emitter and yellow in an OLED for investigation of their potentials as an emitter material for WOLEDs.

Finally, the highly efficient WOLED were used for enlarge the active area by using spin coating and doctor blade techniques. WOLED panel (63mm x 100) with active area of 30mm x 70mm were obtained by using doctor blade.

Keywords: WOLED, organometallic, solution process, doctor blade

Aileme ve Eşime...

TEŞEKKÜR

İlk olarak tezimi, hayallerimi gerçekleştirmek için maddi manevi desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen aileme: anne babama, kardeşime ve eşime ithaf ediyorum. Hayatım boyunca beni içten bir şekilde destekleyen ailemin, ellerinden geldiğince beni destekleyeceklerini ve bana inandıklarını söylemeleri beni bu günlere getiren en büyük güç olmuştur. Biricik, tatlı ve güçlü eşimin desteği olmasaydı doktora tezimin bu aşamasına gelmem mümkün olmayabilirdi. Hayal kırıklığı, depresyon yaşadığım ve içinden çıkılmaz bir durumla karşılaştığım zamanlarda daima yanımda olan eşimin destekleyici önerileri ve yüreklendirici sözleri benim bu yolda güçlü bir şekilde yürümemi sağladı. Hayatımın ilk arkadaşı olan, hediye olarak verilen bir yiyeceğin bile ben yanın da olmasam dahi yarısını bana ayıran ve fikirlerimi daima destekleyen kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans ile başlayan ve doktora ile devam eden çalışmalarım boyunca değerli bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, manevi desteğini daima hissettiğim ve en önemlisi yolculuktan zevk almamı sağlayan saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Canan VARLIKLI'ya tüm kalbimle sonsuz teşekkür ederim. Lisansüstü hayatım boyunca bana vermiş olduğunuz bütün tavsiyelere çok teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarımın başında (2009) ve sonunda (2015) çalışma fırsatı bulduğum Karlsruhe Üniversitesinde danışmanlarım olan başta Prof. Dr. Uli Lemmer olmak üzere Dr. Alexander Colsmann'a ve Dr. Gerardo Hernandez-Sosa'ya ve arkadaşım Fatih Sabuncuoğlu ve Serpil Tekoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım boyunca tecrübelerinden yararlandığım değerli hocalarım Doç. Dr. Ceylan Zafer, Yrd. Doç. Dr. Koray ÜLGİN ve Yrd. Doç. Dr. İlbeyi Avcı'ya, sentezlemiş olduğu materyalleri ile tezime katkıda bulunan Yrd. Doç. Dr. Çiğdem Şahin'e ve ayrıca laboratuvar çalışmalarımda bana desteklerini sunan başta Yrd. Doç. Dr. Cem Tozlu olmak üzere Dr. Burak Gültekin, Dr. Mustafa Can, Dr. Cihan Özsoy ve Güneş Enerjisi Enstitüsü'ndeki diğer arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tübitak-TEYDEB projesi (proje no: 3100014) kapsamında çalışma fırsatı bulduğum ve aynı amaç uğruna bir arada bulunan kişilerin aile olması gerektiğinin en iyi örneğini gördüğüm EAE Aydınlatma Şirketi ile başta değerli yöneticileri Şamil Perk olmak üzere Mustafa Öztürk ve tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak maddi desteklerinden ötürü Ege Üniversitesi, TÜBİTAK (proje no: 3100014, 112T357, 110T645, 113Z253) European Science Foundation (ESF) ve DPT (proje no: 07DPT002, 11DPT001)'ye teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 İnsan Gözü ve Işık	2
1.2 Işık Yayan Organik Diyotlar (OLED’ler).....	3
1.3 OLED’lerin Kaplama Yöntemleri	5
1.3.1 Vakum Termal Buharlaştırma (VTB)	5
1.3.2 Islak Kaplama Yöntemleri.....	5
1.4 OLED’lerin karakterizasyonları	8
1.4.1 Radyometri	8
1.4.2 Fotometri	10

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
1.4.3 Renk koordinatı	12
1.4.4 Renk sıcaklığı (CCT).....	13
1.4.5 Renksel geri verim endeksi (CRI)	14
1.5 Organik Yarıiletkenler	16
1.5.1 Organik yarı iletkenlerde enerji seviyeleri	16
1.5.2 Organik Yarı İletkenlerde Işıma	18
1.5.3 Organik Yarı İletkenlerde Enerji Transferi.....	21
1.5.4 Organik Yarı İletkenlerde Sönümlenme	22
1.6 Organik Yarı İletkenlerin Işıma Türünün OLED Verimine Etkisi	23
1.7 Tezin Amacı.....	24
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	26
1.8 Beyaz Işık Yayan Organik Diyotlar (WOLED).....	26
1.9 Beyaz Işık Elde Etmeye Yönelik Farklı Yaklaşımlar	28
1.9.1 Çok katmanlı WOLED'ler	28
1.9.2 Tandem WOLED'ler	30
1.9.3 Alttan Dönüşümlü (Down conversion) WOLED'ler.....	32

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

1.9.4 Elektromer veya Ekzimer WOLED'ler	33
1.9.5 Tek Katmanlı WOLED'ler	34
1.10 Organometalik Komplekslere Dayalı WOLED'ler	36
1.10.1 Işıma Katmanında Sadece Organometalik Komplekslerin Kullanıldığı WOLED'ler	36
1.10.2 Floresant/Fosforesant (F/P) WOLED'ler	37
1.10.3 Fosforesant/Floresant (P/F) WOLED'ler	39
1.11 Islak Kaplama Yöntemleri ile Hazırlanan WOLED'ler	42
3. KULLANILAN YÖNTEM.....	45
1.12 Kullanılan Materyaller	45
1.13 Karakterizasyonlarda Kullanılan Cihazlar	45
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	47
1.14 Referans WOLED Hazırlığı	47
1.15 Turuncu-kırmızı bileşen olarak Rutenyum Kompleksleri.....	48
1.16 Sarı bileşen olarak İridyum Kompleksleri.....	50
1.17 Referans WOLED kullanılarak büyük alan WOLED hazırlığı.....	52

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
1.17.1 Dönü kaplama yöntemi ile alan büyütme	53
1.17.2 Enkapsülasyon	53
1.17.3 Sıyırma kaplama yöntemi ile alan büyütme	55
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	57
1.18 Referans WOLED	57
1.19 Turuncu-kırmızı bileşen olarak Rutenyum Kompleksleri	61
1.20 Sarı bileşen olarak İridyum Kompleksleri	73
1.21 Referans WOLED kullanılarak büyük alan WOLED Hazırlığı	81
1.21.1 Dönü kaplama yöntemi ile alan büyütme	81
1.21.2 Enkapsülasyon Çalışmaları	83
1.21.3 Sıyırma Kaplama Yöntemi ile Alan Büyütme (14mm x 14mm)	88
1.21.4 Sıyırma Kaplama Yöntemi ile Alan Büyütme (30mm x 70mm)	94
6. ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR DİZİNİ	98
ÖZ GEÇMİŞ	113

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Aydınlatmanın tarihi.....	1
1.2. CIE'ye göre insan gözü renk duyarlılık grafiği.	3
1.3. a) Osram ve b) Konica Minolta firmalarının WOLED panellerinin resimleri.	4
1.4.Dönü kaplama yönteminin 4 aşaması.	6
1.5. Sıyırma kaplama yönteminin şematik gösterimi.	8
1.6.Katı açının şematik gösterimi.	9
1.7. İnsan gözünün duyarlı olduğu renklerin tamamını CIE renk koordinatları olarak gösteren grafik	12
1.8. İki ve daha fazla sayıda molekülün bir araya gelerek bant yapısını oluşturmalarını gösteren şema.	18
1.9. Jablonski diyagramı.	19
1.10. Donör ve akseptör molekülleri arasındaki Förster (a) ve Dexter (b) enerji transferlerinin şematik gösterimi.	22
2.1. WOLED'lerin yıllara göre etkinlik faktörleri.....	27
2.2. Çok katmanlı bir WOLED'in enerji diyagramı örneği.....	30
2.3. Tandem bir WOLED enerji diyagramı örneği.....	31
2.4. Tandem bir WOLED mimari yapı örneği.....	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.5. Alttan dönüşümlü bir WOLED'in mimari yapı örneği	33
2.6. F/P WOLED yapısı örneği ve bu WOLED'in ışıma katmanındaki enerji transfer mekanizması.....	38
2.7. Bir P/F WOLED yapısı örneği ve bu WOLED için önerilen enerji transferleri.	40
2.8. Bir P/F WOLED'in ışıma katmanındaki olası transfer örneği.....	41
2.9. Sıyırma kaplama yöntemi ile üretilen bir WOLED'in ve ışıma katmanının enerji diyagramları örneği	43
3.1. Sıyırma kaplama cihazı ve bıçaklar	46
4.1. a) Referans WOLED'in yan kesit görüntüsü ve enerji diyagramı ve b) kullanılan materyallerin kimyasal yapıları.	48
4.2. Turuncu-kırmızı ışımaya sahip rutenyum komplekslerinin kimyasal yapıları.	49
4.3. Rutenyum kompleksleri ile hazırlanan OLED'in mimari yapısı ve enerji diyagramı.....	50
4.4. Sarı ışımaya sahip iridyum komplekslerinin kimyasal yapıları.	50
4.5. İridyum komplekslerinin kullanıldığı OLED'in mimari yapısı, enerji diyagramı ve kullanılan materyallerin kimyasal yapıları.	52
4.6. 12mm x 12mm aktif alanlı WOLED'ler için kullanılan katot maskesi.	53

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7. Epoksi ile enkapsülasyon işleminin şematik gösterimi. a) Epoksi, b) Surlyn.	54
4.8. 10cm x 10cm boyutundaki yapılandırılmış ITO altlık (a) ve katot maskesi (b).	55
5.1. Materyallerin film fazı soğurma ve PL spektrumları.	57
5.2. Farklı FIrpic:DCJTB oranlarına sahip OLED'lerin 15 V gerilimdeki EL spektrumları.	58
5.3. Farklı DCJTB katkılandırma oranlarına sahip OLED'lerin (a, c) ve 120:1 oranında FIrpic:DCJTB ve Cs ₂ CO ₃ içeren OLED'in (b, d) akım yoğunluğu- gerilim (J-V) ve parlıltı-gerilim (L-V) karakteristikleri.....	60
5.4. CS91 ve CS93'ün 1,2-dikolorobenzen içerisindeki soğurma ve PVK ve PVK:PBD ile birlikte normalize PL spektrumları.	62
5.5. CS91 ve CS93'ün döngüsel voltammogramları	63
5.6. CS91 (a) ve CS93 (b) içeren OLED'lerin 15 V gerilim altındaki EL spektrumları ve CS91 (c) ve CS93 (d) katkılı PVK:PBD ince filmlerinin PL spektrumları.	65
5.7. CS91 (a) ve CS93 (b) içeren OLED'lerin J-V grafikleri.....	66
5.8. Kütlece a) %1, b) %3 CS91 katkılı ve c) %1, d) %3 CS93 katkılı PVK:PBD ince filmlerinin floresans mikroskobu resimleri.	67
5.9. a) CS91 ve b) CS93 içeren OLED'lerin parlıltı-gerilim grafikleri.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.10. a) CS91 ve b) CS93 içeren OLED’lerin etkinlik faktörü-akım yoğunluğu grafikleri.	70
5.11. a) CS91 ve b) CS93 içeren OLED’lerin parlıltı performansı-akım yoğunluğu grafikleri.	71
5.12. a) CS91 ve b) CS93 içeren OLED’lerin dış kuantum verimi grafikleri.....	72
5.13. İridyum komplekslerinin klorobenzen içerisindeki çözeltilerinin ($5 \times 10^{-5} M$) oda sıcaklığındaki soğurma ve PL spektrumları.	74
5.14. CS137, CS138 ve CS139’un yarı türevi alınmış döngüsel voltammogramları.	75
5.15. a) A1-A4 OLED’lerinin, b) B1-B4 OLED’lerinin 14V gerilimdeki EL spektrumları ve c) A1 ve B1 OLED’lerinin gerilime bağlı CIE renk koordinatları.	77
5.16. a) A1-A4 ve b) B1-B4 OLED’lerinin parlıltı-gerilim-akım yoğunluğu karakteristikleri.....	79
5.17. a) A1-A4 ve b) B1-B4 OLED’lerinin verimlilik-akım yoğunluğu karakteristikleri.....	80
5.18. 12mm x12 mm aktif alanlı WOLED’in EL spektrumu, parlıltı-gerilim ve CIE renk koordinatı grafiği ve fotoğrafı.	82
5.19. EAE aydınlatma laboratuvarlarında yapılan ölçümler sırasında çekilen fotoğraflar.....	82

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.20. 3mm x 4mm aktif alanlı WOLED'lerin zamana bağlı parlıltı değışimi grafikleri. a) soy atmosferde ölçüm, b) normal atmosfer koşullarında ölçüm. 84	
5.21. Surlyn ile enkapsülasyon yapılmış olan 3mm x 4mm aktif alana sahip WOLED'in zamana bağlı parlıltı değışimi. 85	
5.22. 12mm x 12mm aktif alanlı WOLED'lerin zamana bağlı parlıltı değışimi grafikleri. a) eldivenli kutu ortamında ölçüm, b) normal atmosfer koşullarında ölçüm.....86	
5.23. 12mm x12mm aktif alanlı WOLED'in zamana bağlı parlıltı değışimi (surlyn ile enkapsülasyon, ölçüm: normal atmosfer). 87	
5.24. Enkapsüle edilmiş 120:1 Fİrpıc:DCJTБ oranına sahip olan LiF'li ve Cs ₂ CO ₃ 'lü WOLED'lerin ömür eğrileri. 88	
5.25. PEDOT:PSS filminin kalınlık dağılımı. a) uzunlamasına tek yönde kaplama, b) uzunlamasına her iki yönde de kaplama. 89	
5.26. Işıma katmanının kalınlık dağılımı. a) uzunlamasına kaplama, b) enlemesine kaplama. 90	
5.27. 14mm x 14 mm aktif alana ve LiF elektron enjeksiyon katmanına sahip WOLED'lerin (a, c) ve LiF yerine Cs ₂ CO ₃ katmanının kullanıldığı WOLED'in (b, d) J-V ve parlıltı performansı grafikleri.....92	
5.28. a) W1 WOLED'inin uygulanan gerilime karşı EL spektrumu, (küçük resim: W1 WOLED'inin 9V gerilim altındaki fotoğrafı) ve b) CIE renk koordinatı grafikleri.....93	
5.29. a) PEDOT:PSS ve b) EML filmlerinin kalınlık dağılımları. 94	

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)ŞekilSayfa

5.30. WOLED'in parlıtı – gerilim karakteristiği (küçük resim parlıtı ölçüm noktaları). 95

5.31. Sıyırma kaplama yöntemi ile üretilmiş 30mm x 70mm aktif alanlı WOLED'in fotoğrafları. 95

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Radyometrik ve fotometrik nicelikler.....	11
1.2. Bazı uygulamalar için gerekli olan ve yapay ve doğal ışık kaynaklarının parıltı değerleri	11
1.3. Farklı ışık kaynakları için CCT ve CRI değerleri.....	14
2.1. 2013 ve 2014 yıllarında firmalar tarafından rapor edilmiş OLED panellerinin performansları.	29
2.2. Islak kaplama yöntemleri ile elde edilmiş WOLED’lerin yıllar bazında performansları.	44
4.1. Enkapsülasyon materyallerinin özellikleri.	54
5.1. Katkılama oranına bağlı olarak değişen referans WOLED performansları....	61
5.2. CS91 ve CS93’ün elektrokimyasal özellikleri.....	62
5.3. CS91 ve CS93 katkılama oranına göre değişen OLED performans karakteristikleri.	68
5.4. CS137, CS138 ve CS139’un komplekslerinin soğurma ve ışıma dataları.	73
5.5. CS137, CS138 ve CS139’un elektrokimyasal verileri.	74
5.6. Ağırlıkça farklı oranlarda iridyum içeren OLED’lerin EL karakteristikleri. .	78
5.7. 12mm x 12mm aktif alanlı WOLED’in performans değerleri	81

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devam)ÇizelgeSayfa

5.8. 19mm x 8.5mm aktif alanlı WOLED'in farklı akım altındaki performans değerleri.....	83
5.9. WOLED'lerin performans değerleri	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Soğurma
c	Konsantrasyon
J	Akım yoğunluğu
λ	Dalga boyu
λ_{uy}	Uyarma dalga boyu
$\lambda_{maks}^{soğ}$	Soğurma maksimum dalga boyu
λ_{maks}^{em}	Emisyon maksimum dalga boyu
Φ_e	Işınım akısı
η_{iqe}	İç kuantum verimi
η_e	Etkinlik faktörü
η_p	Parıltı performansı
Ω	Katı aç
V	Gerilim

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AB	Avrupa Birliği
Al	Alüminyum
Au	Altın

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
BCzVBi	4,4'-bis(9-etil-3-karbazovinilen)-1,1'-bifenil
BCP	2,9-dimetil-4,7-difenil-1,10-fenantrolin
Bepp ₂	bis[2-(2-hidroksifenil)piridin]berilyum
Bphen	4,7-difenil-1,10-fenantrolin
Ca	Kalsiyum
CBP	4,4'-N,N'-dikarbazolbifenil
Cs	Sezyum
Cs ₂ CO ₃	Sezyum karbonat
Cu	Bakır
DCM2	[2-metil-6-[2-(2,3,6,7-tetrahidro-1H,5H-benzo[ij]kinolizin-9-il) etenil]-4H-piran-4-iliden]propan-dinitril
DKV	Dış kuantum verimi (External quantum efficiency (EQE))
E _{onset} _{ox}	Oksidasyonun başlangıcı
E _{onset} _{red}	İndirgenmenin başlangıcı
E _g	Optik bant boşluğu
EML	Işıma katmanı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
FIrpic	Bis[2-(4,6-difluorofenil)pridinat-C ² ,N](pikolinat)iridyum(III)
HATCN	dipirazin[2,3-f:2',3'-h]kinoksalin-2,3,6,7,10,11-hekzakarbonitril
HTL	Boşluk aktarım katmanı
ITO	İndiyum katkılı kalay oksit
Ir	İridyum
Ir(ppy) ₃	fac-tris(2-fenilpiridin)
Ir(ppz) ₃	[fac-tris(1-fenipirazolil-N, C ²) iridyum(III)]
Li	Lityum
LiF	Lityum florür
mCP	N, -dikarbazolil-3,5-benzen
MeO-TPD	N,N,N',N'-tetrakis(4-metoksifenil)-benzidin
NPB	N,N -di(naftalen-1-il)-N,N)-difenil-benzidin
NPD	4,4'-bis[N-(1-naftil)-N-fenil-amino]-bifenil
OLED	Işık yayan organik diyot
OXD-7	2,2'-(1,3-fenilen)bis[5-(4-tert-butilfenil)-1,3,4-okzadiazol]
PEDOT:PSS	Poli(3,4-etilendioksitiyofen)-poli(sitirensülfonat)

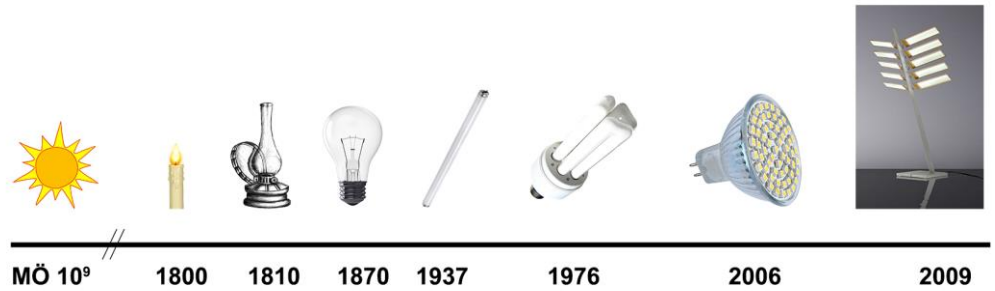
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
PQIr	İridyum(III) bis(2-fenilkinolil-N,C) asetilasetonat
PVK	Poli(N-vinilkarbazol)
Pt	Platin
Rb ₂ CO ₃	Rubidyum karbonat
Rpm	Dakika/devir (Round per minute)
TAPC	di-[4-(N,N-ditolilamino)fenil]-sikloheksan
TmPyPB	1,3,5-tris[(3-piridil)fen-3-il]benzen
TPBi	N,N'-Di(1-naftil)-N,N'-difenil-(1,1'-bifenil)-4,4'-diamin
VTB	Vakum termal buharlaştırma
WOLED	Beyaz ışık yayan organik diyot

1. GİRİŞ

Işık, insan gözünün algılayabildiği, elektromanyetik tayfın 380 nm (mor) ile 760 nm (kırmızı) arasında kalan bölümüdür. Yaşamın her safhasında yer alan ışık insanlık tarihi boyunca, en temel gereksinimlerimizden bir tanesi olmuştur. Temel ışık kaynağımız, aynı zamanda doğal ışık kaynağı olan güneştir. Güneşin olmadığı zamanlarda ise ışık ihtiyacımızı yapay ışık kaynakları ile karşılarız. Işığın madde ile etkileşimini araştıran bilimsel çalışmalar neticesinde, günümüzde fotovoltaik panel, teleskop, lazer ile ameliyat ve fiber optik kablolar gibi yaşam kalitesini arttırmaya yönelik birçok yenilik meydana gelmiştir ve gelmeye devam etmektedir. Bu nedenle, Birleşmiş Milletler (BM) 2015 yılını uluslararası ışık ve ışık temelli teknolojiler yılı olarak ilan etmiştir (light2015, 2015).

İnsanoğlunun aydınlatma konusundaki bilgi ve gelişim süreci, güneşten başlayarak yapay aydınlatmaya (kamp ateşi, çıra alevi, havagazı lambaları ve mum) ve daha sonra da tungsten telli lambalara ve en sonunda katı hal aydınlatmaya kadar oldukça uzun bir yol almıştır (Şekil 1.1). Ateşin bulunması ile başlayan yapay aydınlatma çağının yerini, tungsten telli lambanın keşfi sonrasında elektrikli aydınlatma çağı devralmıştır. Tungsten telli ve floresan lambaları içeren ve elektriğin ışığa dönüşümü konusunda görece verimsiz olan geleneksel aydınlatma ise günümüzde yerini yavaş yavaş katı hal aydınlatmaya bırakmaktadır.



Şekil 1.1. Aydınlatmanın tarihi.

Dünyada, üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %20'si aydınlatma alanına harcanmaktadır. Fosil yakıtların tükenmesiyle birlikte, aydınlatmaya ayrılan bu miktar önümüzdeki yıllarda oldukça sorun teşkil edecektir. Bu nedenle, gelecekte yaşanabilecek bir enerji kıtlığının önüne geçmek için, doğru önlemlerin bir an önce

alınması gerekmektedir. Avrupa Birliği (AB) yaşanabilecek bu enerji kıtlığı öngörüsünden yola çıkarak, 2009 yılında kullanıcıların daha verimli aydınlatma alternatiflerine yönelmelerini teşvik etmek amacıyla, önce 100, ardından 75W'lık tungsten telli lambaların üretimini, satışını ve ithalini yasaklamıştır. Aydınlatma alanındaki enerji tüketimini azaltma ihtiyacı, aydınlatma teknolojisine yönelik yapılan araştırma çalışmalarını, düşük verimliliğe sahip geleneksel aydınlatma teknolojilerlerinden (tungsten telli lamba vb.), yüksek verimliliğe sahip alternatif beyaz ışık yayan diyotlara (LED) ve ışık yayan organik diyotlara (OLED) doğru taşımıştır (Dawson, 2010; Taguchi, 2008).

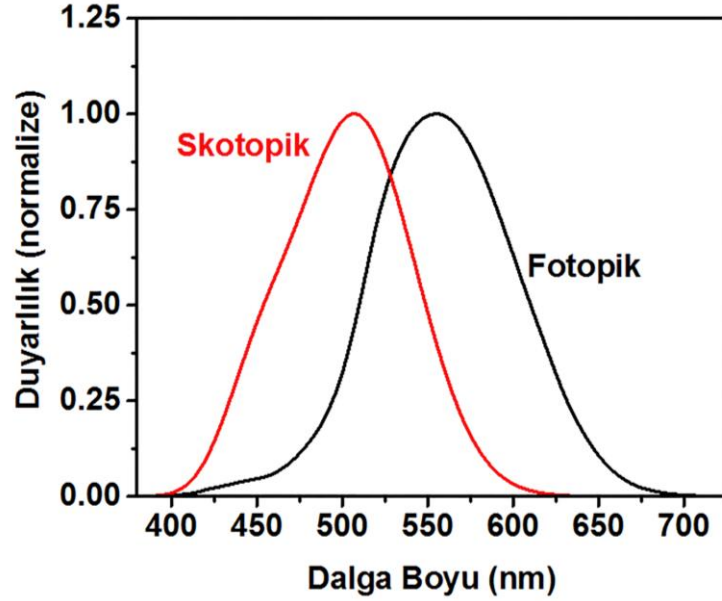
Beyaz ışık yayan organik diyotlar (WOLED) yeni nesil enerji verimli aydınlatma aygıtları olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle son yıllarda, WOLED'ler üzerine, AB'nin ve birçok ülkenin desteklediği çok sayıda proje (OLLA, OLED100, Rollex, R2Flex, So-light, CombOLED vb.) yürütülmektedir. Bu destekler sayesinde, WOLED'lerin verimlilik ve ömür sorunları aşılmaya başlamıştır. Bununla birlikte, aydınlatma uygulama alanı için büyük bir öneme sahip olan renk koordinatları ve renksel geri verim endeksi (CRI) gibi özellikler de iyileşmektedir. Aydınlatma uzmanları WOLED'lerin genel ve mimari aydınlatma çözümlerinde bir evrim olacağı konusunda hemfikirdirler (Oled-display, 2015, Oled-info, 2015).

1.1 İnsan Gözü ve Işık

Bir ışık kaynağından yayılan ışık ile insan gözünün algıladığı ışık birbirinden oldukça farklıdır. Bu farkı yaratan, insan gözünün anatomik yapısı ve bilginin beyinde işleniş şeklidir. Retinada bulunan ve her biri 11 adet kromofor içeren opsin proteinleri ışığı soğurduklarında bir takım reaksiyonlar zincirinin başlamasına neden olurlar. Bu reaksiyonlar sonucunda optik sinir hücrelerinin uyarımı gerçekleşir ve görsel bilgi beynin görme ile ilgili bölümüne iletilir. İnsan gözünde, retinada, iki adet temel hücre türü (foto-algılayıcı) bulunmaktadır. Bunlar, karanlıkta görmemizi sağlayan ve sadece renkleri, grinin tonları şeklinde ayırt etmemize yarayan ve retinanın köşelerinde yer alan çubuk biçimindeki hücreler (rod hücreleri) ve retinanın tam ortasında bulunan ve opsinlerin üç farklı türünü içeren koni biçimindeki hücrelerdir (koni hücreleri). Koni hücreleri de kendi

içerisinde üçe ayrılmaktadır ve bu hücrelerin de her birinin renk duyarlılığı birbirinden farklıdır. Bu koni hücreleri renk duyarlılıklarına göre kırmızı, yeşil ve mavi koni hücreleri olarak adlandırılmışlardır. Nüfus olarak tüm koni hücrelerinin %64'ü kırmızı, %32'si yeşil ve %2'si ise mavi koni hücrelerinden oluşmaktadır (Boyce, 2014; Deeb and Motulsky, 1996).

Koni hücrelerinin dalga boyu duyarlılıkları bir takım metotlar ile ölçülebilmekte ve böylece, insan gözünün algılayabileceği renklerin haritasının yapılabilmesi mümkün olmaktadır. Bu ölçümlerde, retinanın tam orta kısmında bulunmadıkları için çubuk hücreleri hesaba katılmazlar. İnsan gözünün ışık absorplama özelliği konusunda ilk nicel analizler 1930'lu yıllarda yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda Uluslararası Aydınlatma Komitesi (Commision Internationale de L'Eclairage) (CIE) grafiği olarak adlandırılan ve insan gözünün dalga boylarına karşı duyarlılığını gösteren eğriler elde edilmiştir(Şekil 1.2). Bu eğriler hem gün ışığı altındaki (fotopik) hem de karanlıktaki (skotopik) duyarlılıkları göstermektedir (Boyce, 2014).



Şekil 1.2. CIE'ye göre insan gözü renk duyarlılık grafiği.

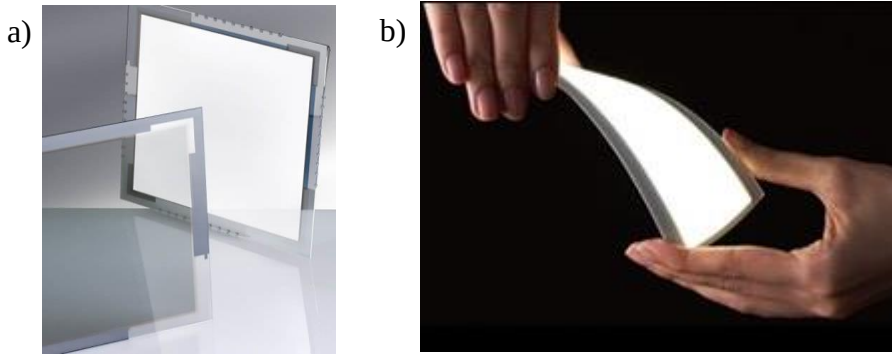
1.2 Işık Yayan Organik Diyotlar (OLED'ler)

OLED'ler son 15-20 yıldır, üniversitelerin yanı sıra aydınlatma ve ekran teknolojileri ile ilgilenen sektörlerin ilgi alanındadır. En basit tanım ile organik materyallerin iki elektrot arasına ince film halinde kaplanmaları ile elde edilen

sandviç yapısına sahip olan cihazlardır. Uygulanan gerilimle birlikte yükler (boşluk ve elektron) organik materyallere enjekte olurlar ve sırasıyla, organik materyallerin uyarılmış durumların oluşması, yüklerin taşınımı, yüklerin birleşimi ve en sonunda da ışığın oluşumu gerçekleşir.

Günümüzde birçok OLED uygulaması [Ör: Cep telefonları (Samsung, HTC ve Nokia), MP3 oynatıcılar (Sony, Samsung), dijital kameralar (Samsung, Nikon ve Kodak), ekran teknolojileri (Sony, LG)] pazarında yerini almıştır.

OLED'ler, özellikle aydınlatma ve sinyal endüstrisinde, geleceğin teknolojisi olarak görülmektedirler ve genel aydınlatma, otomotiv aydınlatması, mimari aydınlatma ve güvenlik işaretleri gibi uygulamalar için önemli bir potansiyele sahiptirler. Tungsten telli lambalar, floresan lambalar veya inorganik LED'ler ile karşılaştırıldıklarında beyaz ışık yayan organik diyotlar (WOLED), difüz ışımaya yapabilmelerini sağlayan düz alan aydınlatma, geniş görüş açısı ve oldukça fazla tasarım çeşitliliğine sahiptirler. Ayrıca, sayısız rengin bir araya getirilmesi ile farklı renk sıcaklıklarına sahip beyaz ışık elde edilerek farklı uygulama alanlarına özel WOLED'lerin üretimi mümkün olmaktadır. Organik fotovoltailer, transistörler vb. diğer bütün organik elektronik aygıtlarda olduğu gibi OLED'ler saydam ve esnek olma potansiyeline sahiptirler. Şekil 1.3'te bazı WOLED panel örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 1.3. a) Osram ve b) Konica Minolta firmalarının WOLED panellerinin resimleri. (Bu resimler Oled.at, 2015; OLED-Info, 2015 adreslerinden alınmıştır).

1.3 OLED'lerin Kaplama Yöntemleri

OLED'ler organik materyallerin çok ince (<100 nm) bir katman halinde cam, plastik veya metal folyo gibi çeşitli altlıklara kaplanması ile elde edilmektedirler. OLED'lerin kaplama yöntemleri genel olarak, fiziksel buhar kaplama ve ıslak kaplama teknikleri şeklinde iki sınıfa ayrılmaktadır. Ekran ve aydınlatma pazarda yer edinmiş OLED ürünlerinin büyük çoğunluğu fiziksel buhar kaplama yönteminin ve küçük molekülü organik yarı iletkenlerin kullanıldığı OLED'lerdir (Volz et al., 2015).

1.3.1 Vakum Termal Buharlaştırma (VTB)

OLED'lerin üretiminde en çok kullanılan yöntem VTB yöntemidir. Bu yöntem, buharlaştırılabilen küçük moleküler ağırlığa sahip ve termal dayanımı yüksek olan materyaller için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Yüksek vakum altında ($<10^{-6}$ mbar) ısıtılan organik materyaller veya metaller buharlaşarak kullanılan altık üzerine yoğunlaşırlar. Buharlaşma için gerekli olan ısı organikler için 300 °C'lere çıkarken, bu değer metallerde 500 °C ile 1000 °C arasındadır. Bu yöntemde katmanların desenlenmesi için maske kullanılmaktadır (Sebastian Reineke et al., 2013; Thejokalyani and Dhoble, 2014).

Bu yöntemin avantajlarından bir tanesi çok katmanlı OLED'lerin üretimine olanak sağlamasıdır. Kusursuz kaplama ve kalınlık kontrolünün oldukça hassas bir şekilde yapılabilmesi sayesinde VTB yöntemi ile yüksek verimliliklere ulaşmak oldukça kolaydır. Bununla birlikte, geniş altlıklarda kalınlık homojenliğinin sağlanması oldukça zordur. Ayrıca, materyal israfının oldukça yüksek olması ($\sim 80\%$) nedeniyle, bu yöntemle üretilen OLED'lerin üretim maliyetleri de yüksek olmaktadır.

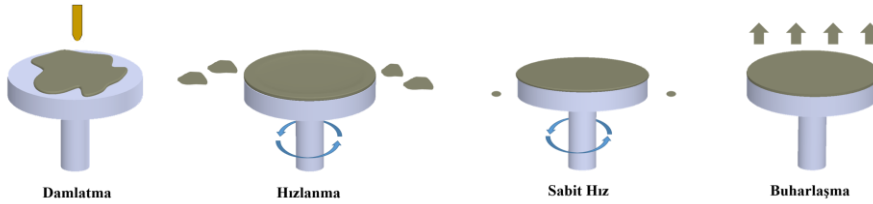
1.3.2 Islak Kaplama Yöntemleri

VTB yönteminin dezavantajları nedeniyle, ıslak kaplama yöntemleri özellikle maliyet azaltıcı rolü nedeniyle son yıllarda oldukça ilgi çekmeye başlamıştır. Kaplama ve baskı teknikleri şeklinde ikiye ayrılan ıslak kaplama yöntemleri, seri üretime uygun ve büyük alanlı panellerin üretimine olanak sağlayan yöntemler

olarak karşımıza çıkmaktadır (Krebs, 2009; Lee et al., 2009; B. Zhang, Liu, and Xie, 2014). Islak kaplama yöntemleri materyal israfını önleyerek maliyetleri azaltma, daha hızlı, oda sıcaklığında ve makaradan makaraya üretim yapma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, ıslak kaplama yönteminin çözülmesi gereken birçok problemi bulunmaktadır. Bu problemlerden bir tanesi; bazı organik materyallerin birkaç farklı organik çözügede çözünmesi nedeniyle üst üste katman kaplamanın zor olmasıdır (Wengeler et al., 2013). Tez çalışmasında kullanılmaları nedeniyle, mevcut ıslak kaplama yöntemlerinden (Dönü kaplama, mürekkep püskürtme, sıyırma, daldırma, slot-die kaplama vb.) yalnızca dönü kaplama ve sıyırma kaplama yöntemleri detaylı olarak aşağıda anlatılmıştır.

1.3.2.1 Dönü Kaplama Yöntemi

Bu yöntem, organik çözümlerde çözünebilen polimer ve küçük moleküllerin istenilen kalınlıkta kaplanabilmesine olanak sağlamaktadır. Kalınlık, kullanılan materyalin moleküler ağırlığına, çözeltinin konsantrasyonuna ve dönme hızına bağlıdır. Dört aşamaya ayrılan dönü kaplama yönteminde, damlatma, hızlanma ve dönme aşamaları sıra ile gerçekleşirken buharlaşma süreci devamlı bir süreçtir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Dönü kaplama yönteminin 4 aşaması.

Kaplama aşamasında polimer veya küçük molekül çözeltisi sabit halde duran veya çok yavaş bir şekilde dönen altlık üzerine damlatılır. Hızlanma aşamasında altlık istenilen hıza ulaşana kadar ivmeli bir şekilde hızlandırılır. Bu aşamada altlık üzerindeki çözeltiye zamanla artan dönme kuvvetleri etki etmeye başlar ve merkezkaç kuvveti nedeniyle altlığın kenarlarına doğru ilerleyen bir dalga yaratır. Bu dalga kenarlara doğru ilerledikçe geride homojen ince bir filmin oluşmasını sağlar. Dönme aşamasında ise altlık sabit bir hızda dönerken, fazla çözügen çözeltiden uzaklaşır. Bu aşamada filmin kalınlığı, merkezkaç ve buharlaşma

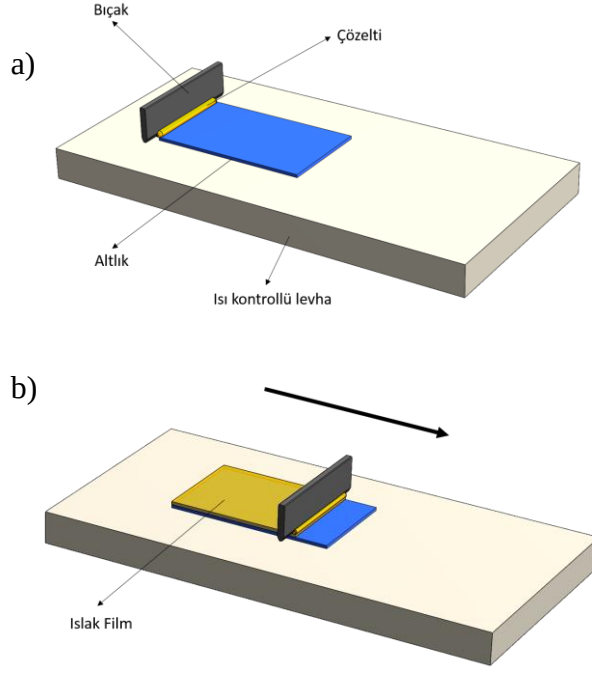
sayesinde uzaklaşan çözgen ve çözelti nedeniyle altlık üzerinde kalan çözeltinin viskozitesinin artarak çözeltinin akışkanlığını durdurmasına kadar geçen sürede daha da azalır.

1.3.2.2 Sıyırma Kaplama Yöntemi (Doctor Blade)

Sıyırma kaplama yöntemi, makaradan makaraya (roll to roll) ve/veya levhadan levhaya (sheet to sheet) sistemlerine kolaylıkla entegre edilebilen ve geniş alan kaplamalarında kalınlığın ve pürüzsüzlüğün ayarlanmasının görece kolay olduğu bir kaplama yöntemidir. Dönü kaplama yöntemi ile karşılaştırıldığında, sıyırma kaplama tekniğinde, çok daha az çözelti ile (dönü kaplama yönteminde malzeme kaybı oldukça yüksektir) büyük alanlara yüksek homojenlikte filmlerin kaplanması oldukça kolaydır (Krebs, 2009). Bununla birlikte, aynı çözgünde çözünebilen çözeltilerin üst üste kaplamalarının yapılabilmesi sıyırma kaplama yönteminin diğer bir avantajıdır (Tseng et al., 2008).

Şekil 1.5'te gösterildiği gibi sıyırma kaplama cihazı, filmin kalınlığını ayarlama için kullanılan bıçak, ısı kontrollü levha ve bıçak hızını kontrol etmek için kullanılan mekanik aksamdan oluşmaktadır. Bıçak, kullanılacak olan altlığın üzerine belli bir uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilir. Bu açıklık genellikle 10 - 500 µm arasında değişmektedir. Kaplanacak olan çözelti bıçağın önüne damlatılır. Bıçağın sabit bir hızda doğrusal olarak hareket etmesi sonucunda materyal kullanılan altlığın üzerine kaplanır.

Sıyırma kaplama yönteminde film kaplaması üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar, I) damlatma aşaması, II) film oluşumu ve III) filmin kuruma aşaması şeklindedir. Film oluşumu aşamasında bıçak ile altlık üzerine yayılan çözelti ıslak bir film oluşturur. Bu ıslak filmin kalınlığı, açıklık, bıçak hızı, kullanılan altlığın yüzey enerjisi, kullanılan çözeltinin yüzey direnci ve viskozitesi, vb. gibi birçok değişkene bağlıdır. İdeal koşullarda ıslak filmin kalınlığı bıçak ile altlık arasındaki açıklığın yarısıdır. Kuru filmin kalınlığı ise Eşitlik 1.1 ile hesaplanabilmektedir.



Şekil 1.5. Sıyırma kaplama yönteminin şematik gösterimi.

$$d = \frac{1}{2} \left(g \frac{c}{\rho} \right) \quad (1.1)$$

Bu denklemde, d kuru filmin kalınlığı, g bıçak ile altlık arasındaki açıklık, c kullanılan çözeltinin konsantrasyonu, ρ ise kuru filmdeki materyalin yoğunluğudur.

1.4 OLED'lerin karakterizasyonları

Işık ölçümünde kullanılan en temel birimler radyometrik niceliklerdir. Bu birimler ışığın gücünü basit fiziksel birimler ile ifade ederler. Fotometrik nicelikler ise, insan gözünün duyarlılığı ele alınarak belirlenmiştir ve kısaca kandela cinsinden ifade edilirler. Radyometrik ve fotometrik nicelikler 1931 yılında Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission Internationale de l'Éclairage, CIE) tarafından belirlenmiştir.

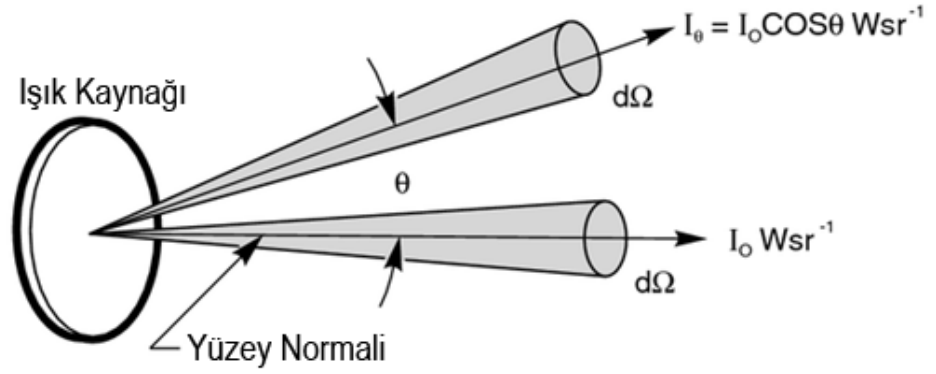
1.4.1 Radyometri

Radyometrik niceliklerde, **erkesel akı (radiant flux) (Φ_e)**, birim zamandaki ışıyım enerjisidir ve birimi Watt (W)'tır. Eşitlik 1.2'de verilen **Erkesel yeğînlilik (radiant intensity) (I_e)** ise, ışıyım akısının katı açığa oranıdır ve birimi watt/steradian (W/sr)'dir (Kalinowski et al., 2011).

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega} \quad (1.2)$$

Şekil 1.6'da katı açının şematik gösterimi yer almaktadır. Katı açısı Eşitlik 1.3 ile tanımlanmaktadır. Burada A aydınlatma alanı (küre yüzeyi), r ise çaptır. Katı açının birimi steradyan (sr)'dır ve tam katı açısı 4π sr'dır. Farklı görüş açıları (θ) için küresel alan kosinüs yasası kullanılarak belirlenir.

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (1.3)$$



Şekil 1.6. Katı açının şematik gösterimi.

Lambert kosinüs ışınım yasasına uyan ($I_e = I_e^0 \cdot \cos\theta$) bir aydınlatma kaynağı, Lambert yüzeyi ya da aydınlatıcısı (Lambertian) olarak adlandırılır (Lambert and Anding, 1892). Bu durumda ışınım şiddeti, ışınım doğrultusu ve yüzey normali arasındaki görüş açısı (θ) ile doğru orantılı olarak değişim gösterir. Tungsten telli lamba ve LED'ler Lambert aydınlatıcısı olmayan aydınlatma aygıtlarına örnek olarak gösterilebilirler. WOLED'ler ise geniş alan aydınlatma aygıtları olmaları nedeniyle Lambert aydınlatıcısı olarak sınıflandırılırlar. Ancak, bu durum her zaman geçerli değildir.

Erkesel ışıklılık (radiance) (L_e), ışınım akısının katı açığa ve aydınlatma alanına oranıdır. Birimi W/m^2sr 'dir (Eşitlik 1.4) (S.R. Forrest et al., 2003).

$$L_e = \frac{d^2\Phi_e}{dA \cdot d\Omega \cdot \cos\theta} = \frac{I_e}{A \cdot \cos\theta} \quad (1.4)$$

Erkesel ışıklılık ve erkesel yeğinlik bir ışık kaynağının özelliklerini belirlemek için kullanılırken, erkesel aydınlık (irradiance) (E_e) bir dedektör tarafından algılanan enerjidir ve dedektörün alanına ($A_{dedektör}$) bağlıdır (Eşitlik 1.5). Birimi W/m^2 'dir.

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA_{dedektör}} = \frac{I_e d\Omega}{dA_{dedektör}} = \frac{L_e \cdot A_{kaynak} \cdot \cos\theta \cdot d\Omega}{dA_{dedektör}} \quad (1.5)$$

Radyometrik birimler monokromatik dalga boyu için yazılabileceği gibi, belli dalga boyları arasında toplam olarak da ifade edilebilirler (Eşitlik 1.6):

$$Y_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Y_e(\lambda) d\lambda \quad (1.6)$$

burada Y_e , erkesel akı (Φ_e), erkesel yeğinlik (I_e), erkesel ışıklılık (L_e) veya erkesel aydınlık (E_e) olabilir.

1.4.2 Fotometri

Radyometri ile fotometriyi birbirinden ayıran en önemli faktör fotometride gözün duyarlılık eğrisinin ($V(\lambda)$) kullanılmasıdır. Radyometrik niceliklere benzer şekilde fotometrik nicelikler ışık akısı (Φ_f), ışıksal yeğinlik (I_f), parıltı (L_f) ve aydınlık (E_f) olarak tanımlanmıştır (S.R. Forrest et al., 2003; Y. He, Hattori, and Kanicki, 2000). Buradaki f indisi fotometrinin baş harfinden gelmektedir. Radyometride kullanılan Eşitlik 1.6 aynı zamanda fotometri için de kullanılmaktadır. Radyometri ve fotometri arasındaki bağlantı Eşitlik 1.7'de verilmiştir.

$$Y_f = K_m \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Y_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (1.7)$$

Burada $K_m=683 \text{ lm/W}$ 555nm monokromatik dalga boyunda ışıma yapan ve 1 W ışıma gücüne sahip olan bir ışık kaynağının maksimum etkinlik faktörüdür. $V(\lambda)$ ise gözün spektral duyarlılık eğrisidir. Radyometrik nicelikler ve onlara karşılık gelen fotometrik nicelikler birimleriyle birlikte Çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Radyometrik ve fotometrik nicelikler.

RADYOMETRİ		FOTOMETRİ	
Sembol	Birim	Sembol	Birim
Φ_e	W	Φ_f	lm
I_e	W/sr	I_f	cd
L_e	W/m ² sr	L_f	cd/m ²
E_e	W/m ²	E_f	lx

Yapay aydınlatma aygıtları insan gözü temel alınarak tasarlandıkları için bu aygıtların ışık ölçümlerinde radyometrik nicelikler yerine fotometrik nicelikler kullanılmaktadır. Parıltı aydınlatma teknolojisi ve endüstrisi için oldukça önemli bir niceliktir. Çizelge 1.2’de bazı uygulamalar için gerekli olan ve yapay ve doğal ışık kaynaklarının parıltı değerleri verilmiştir (Freyssinier, Narendran, and Bullough, 2006; Spie, 2015). 1 cd/m² parıltı değerinde insan gözü renkleri ayırt etmeye başlar. 8000 cd/m²’de ise gözde kamaşma meydana gelir.

Çizelge 1.2. Bazı uygulamalar için gerekli olan ve yapay ve doğal ışık kaynaklarının parıltı değerleri (Freyssinier et al., 2006; Spie, 2015).

	Parıltı (cd/m ²)
Monitör	100-500
İç aydınlatma	200-5000
Sinyalizasyon uygulamaları	40-1000
Dış aydınlatma	1000-10000
Öğle vakti bulutlu gökyüzü	1000
Açık gökyüzü	8000

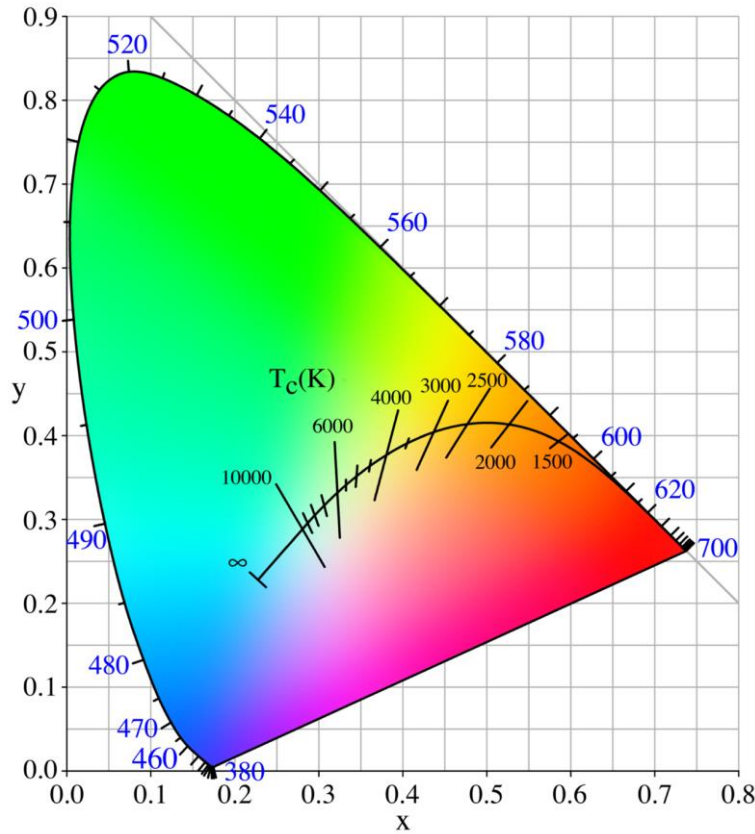
1.4.3 Renk koordinatı

CIE insan gözü renk duyarlılık eğrileri (Şekil 1.2) kullanılarak insan gözünün algılayabileceği bütün renkler CIE renk koordinatları grafiğine dönüştürülebilir. Herhangi bir EL eğrisi ($s(\lambda)$) için, X,Y ve Z renk değerleri (tristimulus) Eşitlik 1.8'e göre hesaplanır. Burada $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ Şekil 1.2'de verilmiş olan CIE insan gözü renk duyarlılık eğrisindeki değerlerdir.

$$X = \int s(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, Y = \int s(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, Z = \int s(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda, \quad (1.8)$$

X,Y ve Z renk değerlerinden yola çıkılarak Eşitlik 1.9'a göre hesaplama yapıldığında ise Şekil 1.7'deki renk koordinatları elde edilir.

$$X = \frac{x}{x+y+z}, Y = \frac{y}{x+y+z}, Z = \frac{z}{x+y+z} \quad (1.9)$$



Şekil 1.7. İnsan gözünün duyarlı olduğu renklerin tamamını CIE renk koordinatları olarak gösteren grafik (http://en.wikipedia.org/wiki/Planckian_locus).

İdeal beyaz ışık $x, y = 0.33, 0.33$ CIE renk koordinatına sahiptir. Bununla birlikte bu noktanın etrafında beyaz ışık olarak tanımlanabilecek çok geniş bir alan yer almaktadır.

1.4.4 Renk sıcaklığı (CCT)

Bir ışık kaynağının renk sıcaklığı, kaynağın rengine en yakın rengi veren kara cismin sıcaklığıdır ve bu sıcaklık Planck eğrisi ile belirlenir. Şekil 1.7’de bu sıcaklık eğrisi gösterilmektedir. Renk sıcaklığı, her ışık kaynağı için hesaplanabilmektedir. Ancak, bu değer sadece Planck eğrisinin üzerinde veya çok çok küçük uzaklıklarda (Δuv) anlamlıdır (Eşitlik 1.10).

$$\Delta uv = \sqrt{(u_{kaynak} - u_{planck})^2 + (v_{kaynak} - v_{planck})^2} \quad (1.10)$$

Burada u ve v sırasıyla kaynağın ve Planck eğrisinin CIE1960 düzgün renk koordinatlarıdır. Düzgün renk koordinatları CIE1931 renk koordinatlarından hesaplanmaktadır (Eşitlik 1.11).

$$u = \frac{4x}{-2x+12y+3}, v = \frac{6y}{-2x+12y+3} \quad (1.11)$$

Renk sıcaklığı bir ışık kaynağının renginin sıcak (CCT: 2500-3300 K), nötral (CCT: 3300-5000 K) ve soğuk/gün ışığı (CCT: 5000-7000 K) olup olmadığını belirlemekte kullanılmaktadır. Tungsten telli ve halojen lambalar sadece sıcak renge sahipken, floresan, kompakt floresan lambalar, LED ve OLED’ler sıcak renklerden soğuk renklere kadar geniş bir aralığı kapsayabilirler. Çizelge 1.3’te bazı ışık kaynaklarının renk sıcaklık aralıkları gösterilmiştir. Tungsten telli lambaların CCT değeri 2700 K (sıcak beyaz) civarındayken floresan lambaların CCT değerleri 3000 K ile 4000 K (soğuk beyaz) arasında değişmektedir. Aydınlatmada kullanılan lambaların CCT değerleri genellikle 2500 ile 6500 K arasında yer almaktadır.

1.4.5 Renksel geri verim endeksi (CRI)

Renkli bir yüzeyden yansıyan ışığın kalitesi renksel geri verim endeksi ile belirlenmektedir. Bir ışık kaynağının CRI değeri, hem ışık kaynağı hem de aynı renk sıcaklığına sahip kara cisim tarafından aydınlatılan 8 adet farklı renge sahip standart renk örneğinden yansımaları karşılaştırılarak belirlenmektedir. Bu yöntemin oldukça karmaşık olması nedeniyle son zamanlarda CRI değerleri daha önceden tanımlanmış olan yansıma eğrileri ve ışık kaynağının spektrumunun evrişim (convolution) integrali yolu ile çözümlenmesi sonucu hesaplanmaktadır. Bir ışık kaynağının CRI değerinin doğru ve geçerli olması için CCT değerlerinin Planck eğrisine oldukça yakın olması gerekmektedir ($\Delta uv \leq 0.0054$).

CRI değeri 0 ile 100 arasında değişmektedir. Bu değer yüksek olması renksel geri verimin oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Tungsten telli lambaların CRI değeri 100'dür. Bununla birlikte 90'ın üzerindeki CRI değerleri oldukça iyi, 80-90 arasındaki değerler iyi, 60-80 arasındaki değerler de birçok uygulama için yeterli sayılmaktadır. İç aydınlatma için en az 75 CRI istenmektedir. Farklı ışık kaynaklarının CRI değerleri Çizelge 1.3'te gösterilmiştir (Y. K. Cheng and Cheng, 2006; Thejokalyani and Dhoble, 2014). Floresan, kompakt floresan lambalar, LED ve OLED'lerde EL spektrumunun düzenlenmesi ile yüksek CRI değerleri elde edilebilmektedir.

Çizelge 1.3. Farklı ışık kaynakları için CCT ve CRI değerleri.

	CCT (K)	CRI
Tungsten telli lamba	~2800	~100
Halojen lamba	~3200	~100
Floresan lamba	2700-8000	50-95
Kompakt floresan lamba	2700-8000	80-90
LED	2650-6500	70-90
WOLED	2500-6500	75-90

OLED'lerin performans ölçümlerinde, dış kuantum verimi (DKV), parıltı performansı (η_p , cd/A) ve etkinlik faktörü (η_e , lm/W) en çok kullanılan üç

niceliktir. DKV, OLED'ten yayılan fotonların sayısının OLED'e enjekte edilen yüklerin sayısına oranıdır ve Eşitlik 1.12 ile ifade edilmektedir.

$$\eta_{DKV} = \eta_{iqv}\eta_{fot} = \gamma_{e-h}\eta_{s-t}\phi_p\eta_{fot} \quad (1.12)$$

Bu formülde, η_{ikv} iç kuantum verimi (İKV), η_{fot} out-coupling (dışa aktarım) verimi, γ_{e-h} enjekte edilen elektronların ve boşlukların birbirlerine oranı ($\gamma_{e-h} \leq 1$), η_{s-t} ışımalı birleşen ekzitonların kesiri (floresans materyaller için bu değer 0.25 iken fosforesant materyaller için 1'dir), ϕ_p ise fosforesans kuantum verimidir. İç kuantum verimi, OLED'in içerisinde oluşan fotonların sayısının enjekte edilen yüklerin sayısına oranı olarak tanımlanmaktadır. Yüksek DKV değerlerine ulaşmak için η_{s-t} ve η_{fot} değerlerinin artması gerekmektedir. η_{s-t} triplet ekzitonların kullanılmasıyla artabilmektedir. Organometalik komplekslerdeki ağır atom etkisi nedeniyle singlet'ten triplet'e geçişlerin artması ve bu sayede teorik olarak ekzitonların tamamının fotona dönüşmesi mümkün olabilmektedir. Böyle bir anlayışla hazırlanan ilk OLED'ten %4 DKV elde edilmiştir (S R Forrest et al., 1998). 2001 yılında ise bu değer %21'e çıkarak teorik limite ulaşmıştır (Adachi et al., 2001). Günümüzde ise %20 DKV değerleri sıkça rapor edilmektedir (Sasabe and Kido, 2013).

Parıltı performansı OLED'in parıltı değerinin akım yoğunluğuna oranıdır ve Eşitlik 1.13 ile ifade edilmektedir.

$$\eta_p = \frac{AL}{J} \quad (1.13)$$

Burada, A aktif alan, L parıltı (cd/m²) ve J ise akımdır (Zhou et al., 2010).

Etkinlik faktörü, kısaca OLED'ten çıkan ışığın OLED'in harcadığı güce oranıdır. Bu değer, OLED'in enerji verimli olup olmadığını belirlemede kullanılan en önemli parametredir. Birimi lm/W'tır ve Eşitlik 1.14 ile ifade edilmektedir.

$$\eta_e = \frac{L_p}{JV} \quad (1.14)$$

Burada, L_p ışık akısı, J akım yoğunluğu, V uygulanan gerilimdir (Zhou et al., 2010). Deneysel sonuçlar ve anlamlı performans iyileştirmeleri göz önüne alınarak tamamen fosforesant moleküllerden oluşan tek katmanlı bir WOLED için 5000 cd/m^2 parlaltı değerinde maksimum 155 lm/W 'lık etkinlik faktörü hesaplanmıştır (S. Reineke, 2009). Benzer bir OLED için ise 2.9 V çalışma geriliminde ve hiçbir kayıp mekanizmasının olmadığı durumda 250 lm/W 'lık teorik limit hesaplanmıştır (Tyan, 2011).

1.5 Organik Yarı İletkenler

Her ne kadar tam olarak tanımlı yapılamasa da, yapılarında karbon hidrojen bağı bulunan ve bazı durumlarda diğer atomları da içerebilen konjuge yapıya sahip materyaller organik yarı iletken olarak bilinmektedirler. Organik yarıiletken tanımlı ilk olarak 1954 yılında, Hiroo Inokuchi tarafından içlerinde perilen türevi de olan polisiklik aromatik hidrokarbon materyalleri için yapılmıştır (Inokuchi, 1954). Bu nedenle, organik yarıiletkenlerin, yirminci yüzyılın ortalarında keşfedildiği genellikle kabul edilmektedir. İlk olarak, fotokopi makinelerinde ve yazıcılarda kullanılmaya başlanan organik yarı iletkenlere olan ilgi, alan etkili organik transistör (OFET), organik fotovoltaiik (OFV) ve ışık yayan organik diyot (OLED) gibi elektronik ve opto-elektronik alanında kullanılma potansiyelleri nedeniyle son yıllarda giderek artmıştır.

Schrödinger eşitliğinin çözülmesi sayesinde, organik yarı iletkenlerde elektronların bulunabileceği yerleri (orbitaller) gösteren dalga fonksiyonları tanımlanabilir. Orbitaller, bir molekül içerisindeki, ayrı ayrı iki atomun bir araya gelerek birleşmeleri sonucunda oluşan kimyasal bağları tanımlamak için kullanılırlar.

1.5.1 Organik Yarı İletkenlerde Enerji Seviyeleri

Organik yarı iletkenlerin optik ve elektronik özellikleri, moleküler orbitallerin enerji seviyeleri ile ilişkilidir. Bir moleküldeki elektronların molekül boyunca dağılmış olması (delokalize) nedeniyle, bu molekül içerisindeki herhangi bir elektronun yerini belirlemek için dalga fonksiyonlarının tanımlanması, kısaca

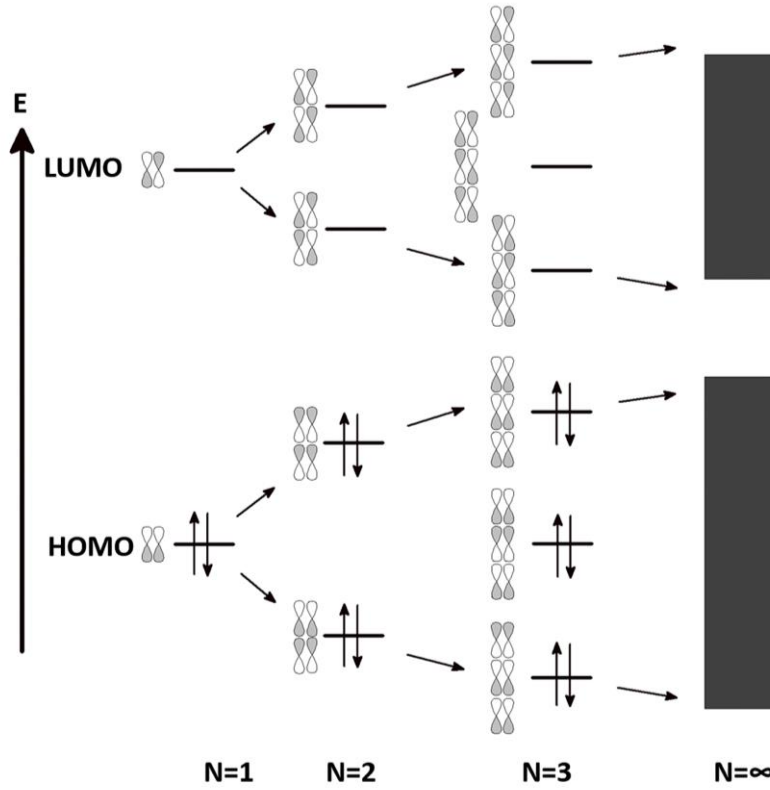
Schrödinger dalga denkleminin çözülmesi gerekmektedir. Bir kaç atomdan ve elektrondan oluşan sistemler için Schrödinger denklemini çözmek oldukça zor ve karmaşıktır. Bu nedenle Schrödinger dalga denkleminin çözülmesi için bir takım yaklaşımlar kullanılır. Bu yaklaşımlardan bir tanesi atomik orbitallerin lineer kombinasyonu (LCAO) olarak bilinir. σ -bağındaki bağ enerjisinin π -bağındaki bağ enerjisine göre daha yüksek olması nedeniyle, bir elektronu σ -bağından çekmek π -bağına göre oldukça zordur ve bu nedenle σ -bağındaki elektronun elektriksel iletkenliğe katkısı ihmal edilebilir (Brütting, 2005). Bu nedenle, LCAO yaklaşımında sadece π -moleküler orbitali ele alınır.

π -moleküler orbitalinin dalga fonksiyonu ψ_π dalga fonksiyonu ϕ_p olan p orbitallerinin lineer kombinasyonu şeklinde yazılabilir (Eşitlik 1.15).

$$\psi_\pi = \sum_{p=1}^N \alpha_p \phi_p \quad (1.15)$$

Burada N, moleküldeki atomların sayısı, α_p ise katsayıdır. Bu durumda N tane atom için N tane moleküler orbital yazılabilir. Temel haldeki bir molekülde moleküler orbitaller zıt spinli (Pauli dışlama ilkesi) olmak üzere iki elektron tarafından doldurulmuştur. En yüksek enerjili elektronların doldurduğu moleküler orbital, en yüksek dolu moleküler orbital (HOMO-Highest Occupied Molecular Orbital) olarak adlandırılırken, yüksek enerjili ancak hiç elektron içermeyen orbital ise en düşük boş moleküler orbital (LUMO-Lowest Unoccupied Molecular Orbital) olarak adlandırılır (Şekil 1.8).

Organik moleküllerin birbirlerine çok yakın olduğu durumda her bir molekülün moleküler orbitali diğer bir molekülün moleküler orbitali ile örtüşebilir. Bu durumda moleküller ayrı birer molekül olarak düşünülemezler. Çünkü moleküller arası etkileşim nedeniyle moleküler orbital enerjileri yarılr. İki'den fazla molekül birbirleriyle etkileşime girmeye başladıklarında ise, moleküler orbitallerin enerjilerinin yarılması inorganik yarıiletkenlerdeki temel hal ve iletkenlik bantlarına benzer şekilde bant benzeri yapıların oluşması gerçekleşir (Şekil 1.8).



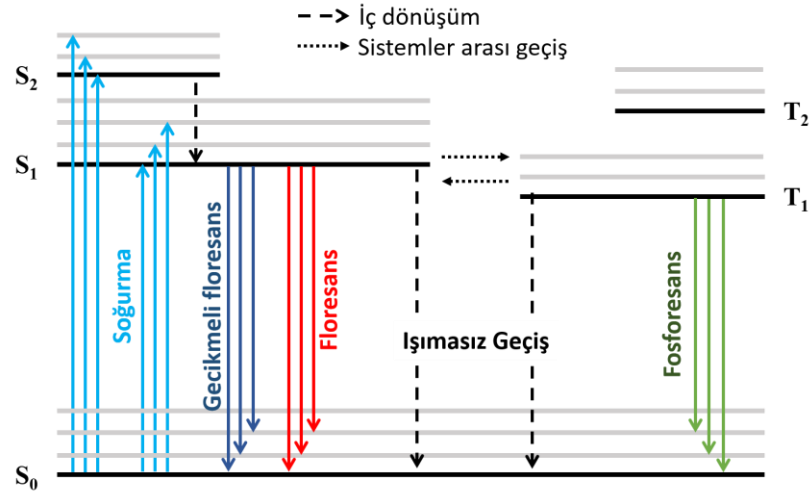
Şekil 1.8. İki ve daha fazla sayıda molekülün bir araya gelerek bant yapısını oluşturmalarını gösteren şema.

1.5.2 Organik Yarı İletkenlerde Işıma

Işıma, kısaca, ışık soğurması sonrasında uyarılmış duruma geçen bir molekülün veya atomun yaydığı ışık olarak tanımlanabilir. Floresans ve fosforesans ışımının iki ana türüdür. Organik moleküllerdeki enerji seviyelerini ve bu seviyeler arasındaki olası geçişleri Polonyalı fizikçi Aleksander Jabłoński'nin ismi ile anılan Jablonski Diyagramı en iyi şekilde özetlemektedir (Şekil 1.9).

Optik uyarım sonrasında uyarılmış duruma geçen bir organik molekülün temel hal seviyesinde bulunan bir elektron uyarılmış hal seviyesinin titreşim düzeylerinden herhangi birisine geçer (soğurma). Daha sonra bu uyarılmış molekül iç dönüşüm ile en düşük uyarılmış singlet seviyesine (S_1) geçer. Bundan sonra elektronun geçiş yapabileceği birçok durum (sistemler arası geçiş, temel hale geri dönme vb.) söz konusudur. Uyarılmış durumdaki bir molekülde, eğer elektron, önce uyarılmış halin en düşük enerjili seviyesine (S_1) inip buradan da temel hal seviyesine (S_0) inerken bir ışık yayımı gerçekleşiyorsa bu ışıma floresans olarak

adlandırılır. S_1 seviyesinden triplet enerji seviyesine (T_1) geçip daha sonra temel hal seviyesine inerken bir ışık yayımı gerçekleşiyorsa bu ışıma fosforesans olarak adlandırılır. S_1 seviyesinden T_1 seviyesine geçen elektron S_1 'e geri dönüp buradan S_0 'a inerken bir ışık yayımı gerçekleşiyorsa bu ışıma da gecikmeli floresans olarak adlandırılır. Bununla birlikte, eğer S_1 'den veya T_1 'den S_0 'a geçiş sırasında herhangi bir ışık yayımı gerçekleşmiyorsa bu da ışımasız geçiş olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1.9. Jablonski diyagramı.

Herhangi bir organik yarıiletkenin optik veya elektriksel uyarımı sonucunda birbirlerine coulomb kuvveti ile bağlı elektron ve boşluk çifti (ekziton) oluşumu gerçekleşir. Organik moleküllerde bu ekzitonlar Frenkel ekzitonu olarak adlandırılırlar. Bu ekzitonlar kuvvetli bir şekilde lokalize olmuş durumdadırlar ve 0.5 eV ile 1 eV arasında bir bağlanma enerjisine sahiptirler (Brütting, 2005).

Optik uyarımda, spin durumları korunduğu için yalnızca singlet ekzitonların oluşumu gerçekleşir. Elektriksel uyarımda ise hem singlet hem de triplet ekzitonlarının oluşumu söz konusudur. Elektronlar ve boşluklar $S=1/2$ spin kuantum sayısına sahiptirler. Bu durumda ekzitonlar iki farklı toplam spin kuantum sayısına sahip olurlar. Singlet ekziton için toplam spin kuantum sayısı 0 ($S=0$) iken triplet ekziton için 1 ($S=1$)'dir. İki parçacıklı bir sistem için spin dalga fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir.

Spin dalga fonksiyonu	S	M _s	Ekziton
$\frac{1}{\sqrt{2}}\{\alpha_1\beta_2 - \beta_1\alpha_2\}$	0	1	Singlet
$\alpha_1\alpha_2$	1	1	
$\frac{1}{\sqrt{2}}\{\alpha_1\beta_2 + \beta_1\alpha_2\}$	1	0	Triplet
$\beta_1\beta_2$	1	-1	

Burada M_s spin'in z yönündeki bileşenidir. 1 ve 2 alt indisleri ise sırasıyla 1 ve 2 numaralı parçacıklardır. Buradan da görülebileceği gibi elektriksel uyarım sonucunda oluşan singlet ve triplet ekzitonlarının oranı 1:3 şeklindedir.

1.5.2.1 Floresans

Titreşim seviyeleri arasındaki geçişlerin oldukça hızlı ($\sim 10^{-12}$ s) olması nedeniyle, uyarılmış olan moleküldeki elektron temel hale dönmenden önce en düşük titreşim seviyesine iner. Floresant moleküldeki singlet ekzitonun ömrü genellikle 10^{-9} - 10^{-6} s aralığındadır (fosforesant molekülde bu değer 10^{-3} - 10^0 s aralığındadır) (Schols, 2011). Organik yarıiletkenlerde, elektriksel uyarım sonucu her üç triplet ekzitona karşılık 1 adet singlet ekziton oluşumu söz konusudur. Ancak, temel hal seviyesinde spin simetrisinin korunuyor olması ve bu durumu sadece singlet ekzitonların karşılayabiliyor olması nedeniyle sadece floresans gerçekleşir.

1.5.2.2 Fosforesans

Singlet ve Triplet arasındaki geçişler genellikle spin yasaklı geçişlerdir. Ancak, eğer molekül platin (Pt), iridyum (Ir), rutenyum (Ru) vb. gibi ağır atom içeriyorsa, bu atom spin-orbit coupling'e neden olarak singlet seviyesinden triplet seviyesine olan sistemler arası geçiş (ISC) kolaylaşır. Ağır atom içeren, yani organometalik molekülde ISC hızı 10^{12} - 10^{13} s⁻¹ mertebesinde. Bu nedenle

organometalik moleküller verimli bir şekilde triplet ışıması (fosforesans) yapabilmektedirler.

1.5.3 Organik Yarı İletkenlerde Enerji Transferi

1.5.3.1 Förster Transferi

Bir molekülden (donör) başka bir moleküle (akseptör) ışımasız dipol-dipol etkileşimi sonucunda aktarılan enerji transferi Förster transferi olarak adlandırılır (Förster, 1948). Förster enerjisi Eşitlik 1.16 ile hesaplanmaktadır.

$$E_{\text{Förster}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{r}{R_0}\right)^6} \quad (1.16)$$

Burada r donör ile akseptör arasındaki mesafe, R_0 Förster yarıçapıdır. Förster yarıçapı Eşitlik 1.17'ye göre hesaplanmaktadır.

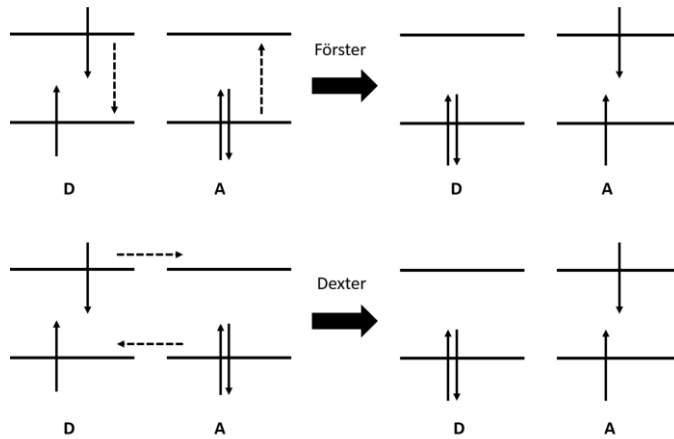
$$R_0^6 = \frac{9000c^4 \ln 10 \kappa^2 \varphi_{PL}}{128\pi^5 n^4 N_A} J \quad (1.17)$$

Burada c ışık hızı, κ dipol oryantasyon katsayısı (bu değer eşyönlü bir oryantasyon olduğu varsayılarak genellikle 2/3 olarak kabul edilir), φ_{PL} donörün fotolüminesans (PL) kuantum verimi, n kırılma indisi ve N_A Avagadro sayısıdır. Bununla birlikte Förster yarıçapı, donörün normalleştirilmiş ışıma spektrumu ile akseptörün molar soğurma katsayısı spektrumunun örtüşmesine de bağlıdır. Förster enerji transferi 10 nm'nin üzerindeki uzaklıklarda gerçekleşebilir ve özellikle konak-konuk sistemlerine sahip OLED'lerde büyük bir öneme sahiptir. Dipol-dipol etkileşimi nedeniyle Förster enerji transferinde elektronların spinleri korunur. Bu nedenle konak-konuk arasında triplet geçişi Förster enerji transfer mekanizmasında yasaktır. Uzun mesafede daha hızlı gerçekleştiği için, konak-konuk sistemlerinde ve özellikle düşük katkılandırma oranlarında Förster transferi daha baskındır.

1.5.3.2 Dexter Transferi

Birbirlerine oldukça yakın olan moleküller arasındaki elektron takasına dayalı süreçler Dexter transferi olarak adlandırılır. Dexter transferinin gerçekleşebilmesi için moleküllerin moleküler orbitallerinin örtüşmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu transfer 1 nm'nin altındaki kısa mesafelerde gerçekleşebilmektedir (Schols, 2011).

Şekil 1.10'da Förster ve Dexter transferlerinin şematik gösterimi yer almaktadır. Förster transferinde elektronlar aynı molekülde kalmakta iken, Dexter transferinde ise moleküller arasında takas olmaktadır. Triplet-triplet enerji geçişi sadece Dexter transferi ile gerçekleşirken, singlet-singlet enerji geçişi her iki transfer mekanizması ile de gerçekleşebilmektedir.



Şekil 1.10. Donör ve akseptör molekülleri arasındaki Förster (a) ve Dexter (b) enerji transferlerinin şematik gösterimi.

1.5.4 Organik Yarı İletkenlerde Sönümlenme

Ekziton'un diğer ekzitonlarla, yük taşıyıcılarıyla, safsızlıklarla veya kusurlarla etkileşimi sonucunda yok olması sönümlenme olarak adlandırılmaktadır.

Yük taşıyıcıları ile etkileşim sonucunda oluşan sönümlenme ekziton-polaron sönümlenmesi olarak adlandırılır. OLED'lerde akım yoğunluğu genellikle 10^{-1} ile 10^2 mA/cm² aralığındadır. Bu da polaron yoğunluğunun 10^{10} ile 10^{13} cm⁻³

aralığında olması anlamına gelmektedir. Daha yüksek akım yoğunluklarında bu değer 10^{17} cm^{-3} 'lere kadar çıkabilmektedir (List et al., 2001). Bu nedenle özellikle yüksek akım yoğunluklarında OLED'lerde ekzitonu-polaron sönümlenmesi oldukça artmaktadır.

İki tane singlet ekzitonu, bir tane uyarılmış durumda olan singlet ekzitonu ve bir tane temel halde singlet ekzitonu oluşturacak şekilde etkileşebilirler. Ancak, singlet ekzitonun yaşam ömrünün triplet ekzitonlara göre daha düşük olması nedeniyle genellikle singlet ve triplet ekzitonları, bir tane temel halde singlet ekzitonu ve bir tane uyarılmış halde triplet ekzitonu oluşturacak şekilde etkileşebilirler. İki tane triplet ekzitonunun etkileşimi ise özellikle fosforesant materyallerin kullanıldığı OLED'lerde önemli bir olgu olan Triplet-Triplet sönümlenmesini gerçekleştirir. Bu sönümlenme sonucunda, bir adet uyarılmış durumda triplet ekzitonu ve bir adet temel halde singlet ekzitonu oluşabileceği gibi, bir adet temel halde singlet ekzitonu ve bir adet uyarılmış halde singlet ekzitonu oluşabilir. İkinci durumda oluşan uyarılmış haldeki singlet ekziton ışıma yapacak şekilde birleşirse bu durum gecikmiş floresans'a yol açar (delayed floresans) (Baldo et al., 2000). Triplet-triplet sönümlenmesi ortamdaki triplet ekzitonlarının sayısının karesi şeklinde artış göstermektedir.

1.6 Organik Yarı İletkenlerin Işıma Türünün OLED Verimine Etkisi

Yalnızca floresant materyallerin kullanıldığı OLED'lerden elde edilecek maksimum dış kuantum verimi %5'in altında olmaktadır. Bunun nedeni elektriksel uyarım ile oluşan triplet ve singlet ekzitonların oranının 1:3 olmasıdır (Bkz. **Bölüm 1.5.2**). Floresant materyallerde yalnızca singlet ekzitonlarının ışımalı olarak birleşmesi nedeniyle enjekte edilen yük taşıyıcılarının %75'i kayıp olmaktadır. Bu sorun fosforesant materyallerin kullanımı ile aşılmıştır. Fosforesant materyallerdeki spin-orbit etkileşimi nedeniyle sistemler arası geçiş kolaylaşarak singlet'ten triplet'e olan transfer veriminin yüksek olması söz konusudur. Böylece fotoluminesans kuantum verimi %100'lere çıkmaktadır (Adachi et al., 2001).

Fosforesant materyallerin kullanımı ile hem singlet hem de triplet ekzitonlarının ışımaya katkı yapması sonucunda yalnızca floresant materyallerin

kullanıldığı OLED'lere göre 4 kat daha fazla verim elde edilebilmektedir. Ancak, bununla birlikte, fosforesant materyallerin OLED'lerde kullanımı yeni problemleri beraberinde getirmektedir. Bu problemler; 1) konsantrasyon sönümlenmesi ve 2) uzun yaşam ömürleri nedeniyle ışıma katmanındaki triplet ekzitonlarının yoğunluğunun oldukça fazla olmasıdır. Bu nedenle triplet-triplet sönümlenmesi gerçekleşmektedir. Konsantrasyon sönümlenmesinin önüne geçmek için fosforesant materyaller uygun bir konak materyal içerisine katkılандırılmaktadırlar. Triplet-triplet sönümlenmesi ise floresans/fosforesans (F/P) (Bkz. **2.3.2. Floresant/Fosforesant (F/P) WOLED'ler**) veya fosforesans/floresans (P/F) (Bkz. **2.3.3. Fosforesant/Floresant (P/F) WOLED'ler**) yaklaşımları ile azaltılmaktadır.

Mavi ışımaya sahip olan fosforesant materyallerin ise diğer fosforesant materyallere göre daha fazla dezavantajı bulunmaktadır. Bu dezavantajlar, mavi fosforesant materyallerin kullanıldığı OLED'lerin ömürlerinin oldukça düşük olması ve mavi fosforesant materyallerin ışımalarının yeşil renk bölgesine daha yakın olması nedeniyle yüksek CRI değerine sahip olan WOLED'lerin elde edilebilmesinin oldukça zor olmasıdır (Sebastian Reineke et al., 2009).

1.7 Tezin Amacı

Aydınlatma teknolojileri pazarında WOLED'lerin yer bulabilmeleri için üretim maliyetlerinin oldukça düşük olması gerekmektedir. Bu nedenle, son yıllarda görece daha düşük maliyette üretime olanak tanıyan ıslak kaplama teknikleri dikkat çekmeye başlamıştır (Chang and Lu, 2013; D'Andrade and Forrest, 2004a). Aynı zamanda yüksek verimlilik için WOLED'lerde daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi triplet hasadı (triplet ekzitonlarının ışımaya dâhil edilmesi) yaklaşımı kullanılmalıdır.

Bu çalışmanın amacı, ışıma katmanında konuk materyal olarak iridyum ve rutenyum komplekslerinin yer aldığı WOLED'lerin, ıslak kaplama yöntemleri arasında yer alan dönü ve sıyırma kaplama yöntemleri ile aktif alanlarının büyütülmesidir. Bu doğrultuda, öncelikle literatürden seçilmiş olan bir çalışma referans alınarak WOLED hazırlığını yapmaktır. Daha sonra, referans WOLED'in ışıma katmanındaki organometalik komplekslere alternatif materyaller olarak yeni

sentezlenmiş turuncu-kırmızı ışımaya sahip rutenyum ve sarı ışımaya sahip iridyum komplekslerinin kullanıldığı WOLED'lerin hazırlık ve karakterizasyonlarını yapmaktır. Son olarak ise aktif alan büyütme çalışmalarını gerçekleştirilmektir.

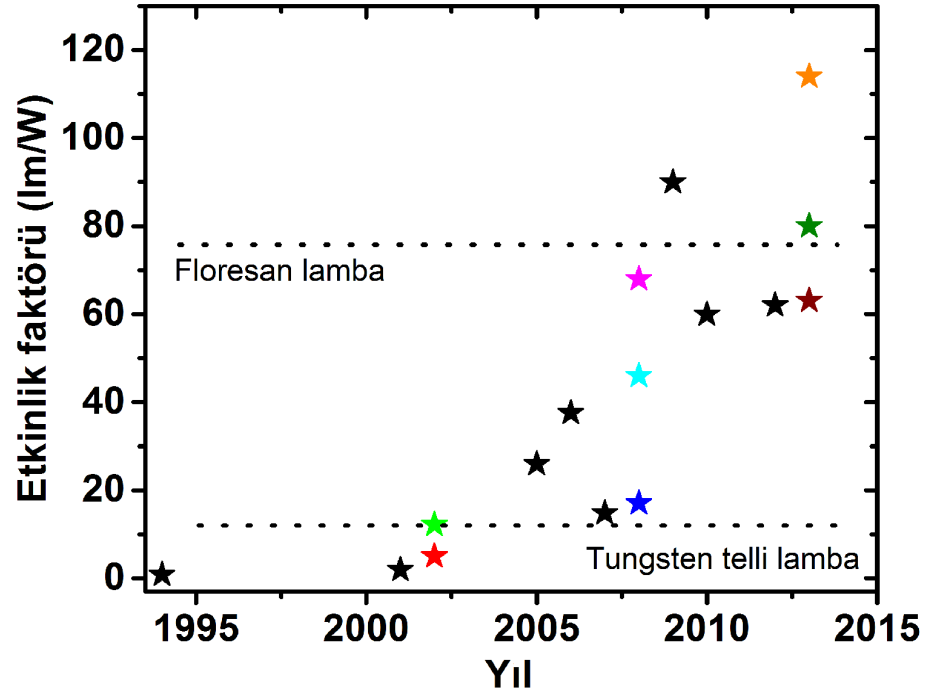
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Son yıllarda oldukça hızlı gelişen OLED teknolojisinin temeli elektrolüminesans'a (EL) dayanmaktadır. 1907 yılında Henry J. Round radyo sinyallerini algılayabilmek için yapıyor olduğu çalışmaları sırasında silisyum karbür elementine bir gerilim uygulaması sonucunda sarımsı renkten turuncu renge kadar değişen renkte ışık elde etmiştir (Round, 1907). Round o yıllarda elde ettiği bu ışığı elektrolüminesans olarak tanımlamıştır. Organik materyallerden ilk EL ise 1953 yılında Bernanose ve arkadaşları tarafından elde edilmiştir (Bernanose et al., 1953). 1963 yılında ise antrasen tek kristal molekülünden EL elde edilmiştir (Pope et al., 1963). Ancak, yüksek çalışma gerilimi (400 V) ve oldukça kısa ömür nedeniyle bu keşif araştırmacıların ilgisini o yıllarda yeterince çekmemiştir. Kontak elektrotların ve organik yarıiletkenin arasındaki uyumsuzluk, elektron ve boşluk mobilitelerinin farklı olması ve film oluşturma yetisinin kötü olması, elde edilen düşük performansın nedenleri olarak söylenebilir. Daha sonra, 1987 yılında Tang ve arkadaşları, organik yarıiletkenlerden oluşan ve daha düşük gerilimde (<10 V) çalışan, iki katmanlı ve %1 dış kuantum verimine sahip ilk OLED'i elde etmişlerdir (Tang and Vanslyke, 1987). Bu keşif araştırmacıların oldukça ilgisini çekerek, daha yüksek verimli ve daha uzun ömürlü OLED'lerin üretilmesine yönelik olarak araştırmalar yapmalarını sağlamıştır. Artan bu ilgi sayesinde OLED'lerin hem görüntüleme hem de aydınlatma alanında kullanılmalarının önü açılmıştır. OLED'lerin kendilerine özgü olan alan aydınlatma özelliği nedeniyle ekran ve aydınlatma alanında kullanılma potansiyellerinin oldukça yüksek olduğu düşünülmektedir.

2.1 Beyaz Işık Yayan Organik Diyotlar (WOLED)

İlk WOLED 1994 yılında Kido ve arkadaşları tarafından elde edilmiştir (Kido et al., 1994). Bu çalışmada boşluk taşıma materyali olan poli(N-vinilkarbazol) materyaline turuncu, yeşil ve mavi floresant materyaller katkılandırılmıştır. Etkinlik faktörü 1 lm/W olan bu WOLED ilk örnek olması açısından oldukça başarılıdır. Bu buluşun ardından enerji verimli OLED aydınlatma konusunda hem akademik çevrede hem de endüstride önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Şekil 2.1'de yıllara göre WOLED'lerin verim değişimi gösterilmektedir. Bu grafik literatür verilerinden yola çıkılarak hazırlanmıştır (Kido et al., 1994; Ko and Tao,

2001; Huang et al., 2002; Adamovich et al., 2002; D'Andrade et al., 2004; Sun et al., 2006; Jwo-Huei Jou et al., 2007; J.-H. Jou et al., 2008; Su et al., 2008; Sun and Forrest, 2008; Sebastian Reineke et al., 2009; Sasabe et al., 2010; Levermore, 2012; Son et al., 2013; N. Li et al., 2013; Fu et al., 2013a).



Şekil 2.1. WOLED'lerin yıllara göre etkinlik faktörleri.

WOLED'lerin ticarileşmesi konusunda ilk adımı OSRAM firması atarak, 2008 yılında WOLED ve LED'lerin bir arada kullanıldığı hibrit bir lambanın (PirOLED) tanıtımını yapmışlardır (Osram, 2015). 2009 yılında ise Philips Lumiblades olarak adlandırdıkları WOLED panelini satışa çıkardıklarını duyurmuşlardır (Philips, 2015). İlerleyen yıllarda, Fraunhofer COMEDD saydam panellerin, MKM's verbatim ise ilk rengi ayarlanabilir OLED panellerini duyurmuşlardır. Oldukça pahalı olan bu ticari WOLED paneller 15 ile 50 lm/W arasında değişen etkinlik faktörü değerlerine sahiptirler (Fraunhofer, 2015, Ledsmagazine, 2015). 2012 yılında visionox firması 73mm x 42mm boyutunda (aktif alan: 30mm x 70mm) 1000 cd/m²'de 10.000 saatlik L₇₀ değerine ve 4500 ile 5000K arasında renk sıcaklığına sahip WOLED panellerinin duyurusu yapmışlardır (Oled-info, 2015). 2013 yılında Acuity firması ise 3000K, 3500K ve 4000K renk sıcaklıklarına, renksel geri verim endeksi 85 ile 90 arasında olan ve 54-59 lm/W

etkinlik faktörüne sahip olan WOLED panelleri geliştirmişlerdir. Elde edilen bu panellerin 3000 cd/m^2 'de çalıştırıldıklarında 30.000 ile 40.000 saat arasında L_{70} değerine sahip oldukları belirtilmiştir (Acuitybrands, 2015). 2015 yılında ise Konica Minolta firması 15 cm^2 boyutunda, 1000 cd/m^2 'de 131 lm/W etkinlik faktörüne ve L_{50} değeri 50.000 saat olan bir WOLED panelinin üretimini gerçekleştirdiklerini duyurmuşlardır. Yine 2015 yılında Panasonic firması da 25 cm^2 boyutunda, 1000 cd/m^2 'de 112 lm/W etkinlik faktörüne ve L_{50} değeri 100.000 saatin üzerinde olan bir WOLED panelinin üretimini gerçekleştirdiklerini duyurmuşlardır (Solid-State Lighting Research and Development Multi-Year Program Plan, 2015). Son zamanlarda ise ALKILU firması WOLED panellerini 20 \$ ile 60 \$ arasındaki fiyatlara satışlarını yapmaya başlamışlardır. Firma WOLED panellerini LG Chem ve Visionox firmalarından temin etmektedir. Ürünleri arasında yer alan TripLit olarak adlandırdıkları $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ boyutundaki panel 3000 K renk sıcaklığına ve 1000 ile 3000 cd/m^2 ayarlanabilir parlaltı değerine sahiptir. Çizelge 2.1'de 2013 ve 2014 yıllarında rapor edilmiş OLED panellerinin laboratuvar performansları verilmiştir (Solid-State Lighting Research and Development Multi-Year Program Plan, 2015). Her ne kadar bu konuda kesin bilgi olmasa da bu WOLED panellerin vakum buharlaştırma yöntemleri ile elde edildiği düşünülmektedir.

2.2 Beyaz Işık Elde Etmeye Yönelik Farklı Yaklaşımlar

2.2.1 Çok katmanlı WOLED'ler

Bu mimari yaklaşımda farklı renkte ışık yapan materyallerin, ayrı ayrı katmanlar halinde çok katmanlı bir OLED yapısı içerisinde kullanılmaları söz konusudur. Bu yapıda, ışık katmanları genellikle floresant veya fosforesant materyaller ile katkılanmış konak materyalden oluşmaktadır. Bazı durumlarda, birbirleri ile karışmalarını engellemek için katmanlar, yüksek bariyerlere sahip başka ara katmanlar ile fiziksel olarak birbirlerinden ayrılırlar. Bu mimari yaklaşımda, her bir katmanın kalınlığının ve katmanlarda kullanılan konuk konsantrasyonlarının her bir konuk materyalinin elektrolüminesans spektrumu ve verimliliği dikkate alınarak düzgün bir şekilde optimizasyonunun yapılması neticesinde beyaz ışık elde edilmiş olur (D'Andrade et al., 2002). Bu yöntemin en

önemli dezavantajı, katmanların fazlalığı nedeni ile WOLED üretiminin zor olması ve toplam kalınlığın yüksek olması nedeniyle de çalışma geriliminin tek bir ışımaya katmanına sahip WOLED'lere göre daha yüksek olmasıdır (D'Andrade and Forrest, 2004b).

Çizelge 2.1. 2013 ve 2014 yıllarında firmalar tarafından rapor edilmiş OLED panellerinin performansları.

Firma	Etkinlik faktörü (lm/W)	Parıltı (cd/m ²)	Aktif alan (cm ²)	CRI	CCT (K)	L ₇₀ (x1000 saat)	Çalışma Gerilimi (V)
Konica Minolta	131	1000	15	82	2800	27.5 ¹	-
	118	3000					
SEL/Sharp	113	1000	81	-	3270	400	8 ³
	105	5000					8.4 ³
Panasonic	110	1000	25	81	2600	40	5.5 ²
	98	3000				10	6.0 ²
UDC	70	1000	~200	85	3030	165	7.1 ³
	60	3000		86	2880	25	7.8 ³
LG Chem	82	3000	16 ⁴	84	2900	30	8.5 ³
CDT/Sumitomo	56	1000	13	80	2900	-	4.3 ⁵
	48	3000		82			4.8

1. Verilen L₅₀ değerinin L₇₀'e dönüştürülmüş değeri (L₅₀ = 2x L₇₀ olduğu varsayılarak)

2. Tandem mimari yaklaşımı (2 seri OLED)

3. Tandem mimari yaklaşımı (3 seri OLED)

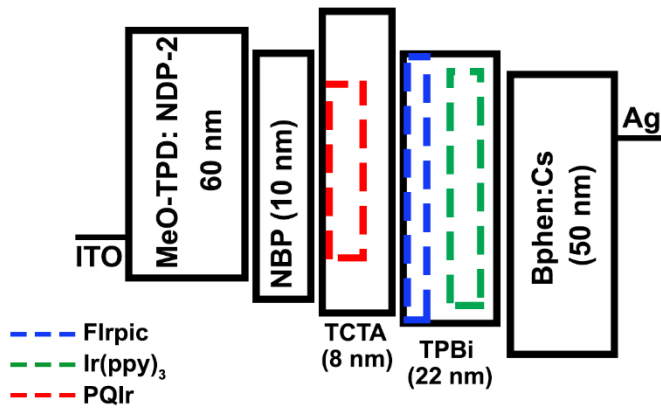
4. LG bu teknolojiyi kullanarak 76 cm² boyutunda ve aynı performansı gösteren WOLED panel elde etmiştir

5. Islak kaplama tekniği ile HTL/EML, VTB ile ETL/Katot.

Yu ve arkadaşları (2006), birbirini tamamlayan renklere sahip ışımaya materyallerini iki farklı katmanda kullanarak beyaz ışık elde etmişlerdir. Vakum termal buharlaştırma yöntemi ile elde edilen WOLED'te bis[2-(4,6-difluorofenil)pridinato-C²,N](pikolinato)iridium(III) (FIrpic) kompleksi mavi fosforesant materyal olarak ve (9,9-dietil-7-piridinilfluoren-2-yl)-difenilamin (IrL₃) iridyum kompleksi ise turuncu renk kaynağı olarak 1,3-bis(9-carbazolil)benzen (mCP) ve 4,4'-N,N'-di-carbazol-bifenil (CBP) konak materyalleri içerisine katkılandırılarak kullanılmışlardır (Yu et al., 2006). Artan gerilimle birlikte boşlukların konsantrasyonunun artırması sonucu mavi rengin ışımaya şiddetinin artması, ışımaya renginin değişmesine yol açmıştır. Elde edilen WOLED'ten 10 V

gerilimde, 0.31, 0.43 CIE renk koordinatı ve 17 cd/A parlaltı performansı elde edilmiştir.

Çok katmanlı WOLED'lere diğerk bir örnek ise Reineke ve arkadaşları tarafından gösterilmiştir (Şekil 2.2). Bu WOLED'te üç ayrı fosforesant materyal katkılandırılmış ışık katmanı istenilen EL spektrumunu elde etmek için kullanılmıştır. Ayrıca mavi fosforesant materyalden kırmızı ve yeşil fosforesant materyallere Förster ve/veya Dexter enerji transferini engellemek için ince (~2 nm) ara katmanlar veya katkılandırılmamış konak materyaller kullanılmıştır. Elde edilen WOLED'in CIE renk koordinatları $x,y=0.44, 0.46$, renksel geri verim endeksi 80 ve etkinlik faktörü 1000 cd/m^2 'de 90 lm/W 'tır. Ayrıca, bu WOLED'in etkinlik faktörü değerkinin ışık dışı aktarımının daha da iyileştirilmesi ile 124 lm/W 'a çıkma olasılığı vardır. Elde edilen yüksek verime rağmen, mavi fosforesant materyalin kararsızlığı nedeniyle bu WOLED'in ömür problemi aşılması gereken bir sorundur (Sebastian Reineke et al., 2009). Bu çalışmada elde edilen WOLED'lerin ömür değerkleri (L_{50} mi ya da L_{70} mi belli değilk) 1-2 saat civarındadır.



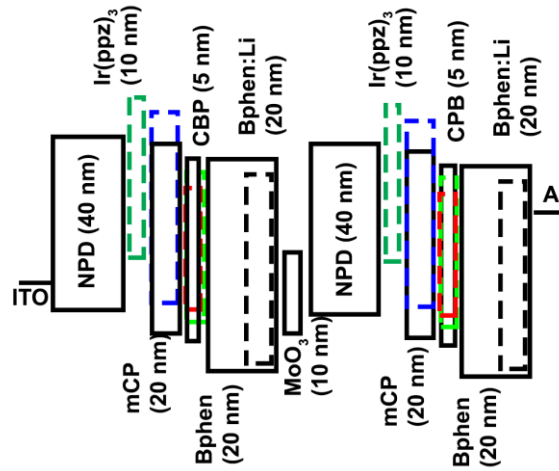
Şekil 2.2. Çok katmanlı bir WOLED'in enerji diyagramı örneğı (Chang and Lu, 2013).

2.2.2 Tandem WOLED'ler

Tandem WOLED'lerde birden fazla OLED'in seri olarak birbirlerine eklendiğı bir mimari yaklaşım söz konusudur. OLED'lerin seri olarak bağlanmasında yük üretme katmanı olarak adlandırılan bir ara katman kullanılmaktadır. Tandem WOLED'lerde sabit akım yoğunluğunda parlaltı değeri

OLED birimlerinin sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu da düşük çalışma akımlarında daha yüksek parlaltı elde edilmesine olanak tanımaktadır. Böylece yüksek akım yoğunluğundan kaynaklanan bozulma problemlerinin azaltılarak daha yüksek ömre sahip WOLED'lerin elde edilmesi olanaklı hale gelmektedir. Ancak, tandem WOLED'lerin üretiminin oldukça zor olması bu yaklaşımın en büyük dezavantajını oluşturmaktadır.

Tandem WOLED mimari yaklaşımına bir örnek Kanno ve arkadaşları tarafından gösterilmiştir. Elde edilen WOLED'in mimari yapısı ve enerji diyagramı Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Bu WOLED'ten 0.35, 0.44 CIE renk koordinatı ve 66 renksel geri verim endeksi elde edilmiştir. Bununla birlikte, 1000 cd/m²'de yaklaşık %27 DKV ve yaklaşık 11 lm/W etkinlik faktörü elde edilmiştir. Her ne kadar oldukça yüksek DKV değeri elde edilmiş olsa da elde edilen etkinlik faktörü değeri oldukça düşüktür. Bunun nedeninin WOLED'in toplam kalınlığının tek bir WOLED'e göre artması sonucu artan çalışma gerilimidir.

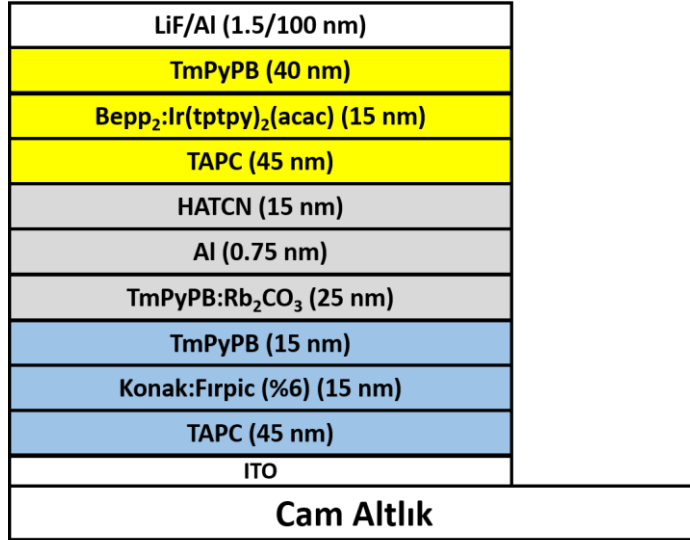


Şekil 2.3. Tandem bir WOLED enerji diyagramı örneği (Chang and Lu, 2013).

Tandem WOLED'lere diğer bir örnek ise Son ve arkadaşları tarafından yayınlanmıştır (Son et al., 2013). Bu çalışmadaki WOLED'in yapısı Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Son ve arkadaşları bu WOLED'ten 1000 cd/m²'de 63.1 lm/W etkinlik faktörü ve 128.8 cd/A parlaltı performansı elde etmişlerdir.

2.2.3 Alttan Dönüşümlü (Down conversion) WOLED'ler

Bu yapıdaki WOLED'lerde mavi ışık yapan OLED ile sarı, kırmızı ve veya turuncu fosfor katmanının bir arada kullanımı söz konusudur. Bu nedenle, bu yaklaşımda yüksek verimliliğe sahip mavi emisyon materyallerine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 2.4. Tandem bir WOLED mimari yapı örneği (Son et al., 2013).

Bu konuda ilk çalışmayı Duggal ve arkadaşları 2002 yılında rapor etmişlerdir. Bu çalışmada mavi OLED'in diğer tarafına kapladıkları renk dönüştürücü katman OLED'in mavi elektrolüminesansının bir kısmını soğurup kırmızı fotolüminesans yapmaktadır. Renk dönüştürücü katmanda kırmızı ve turuncu ışık yapan perilen türevi boyalar fosfor parçacıkları (Y(Gd)AG:Ce) birlikte kullanılmıştır. Renk dönüştürücü katman kalınlığının ve fosfor ve organik boyaların konsantrasyonunun ayarlanması sonucunda beyaz ışık elde edilmiştir.

Bu konuda diğer bir çalışma ise üstten ışımalı (top emitting) WOLED'ler için Gohri ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir (Gohri et al., 2011). Bu çalışmada renk dönüştürücü 2 katman kullanılmıştır. Bu katmanlar 4-disiyanometilen-2-metil-6-*p*-dimetilaminostiril-4*H*-piran (DCM) katkılandırılmış tri-(8-hidroksikinolin)alüminyum (Alq₃), ve N4,N41'-bis-(4-tert-bütil-fenil)-

N4,N4'-di-fluoranten-3-yl-difenileter-4,4'-diamin (OYSE) materyallerinden oluşmaktadır. Elde edilen WOLED'in mimari yapısı Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

OYSE	200 nm
Alq₃:DCM	800 nm
Ag	15 nm
Bphen:Cs	10 nm
Alq₃	10 nm
MADN:TBPe	10 nm
Alpha-NPD	10 nm
MeO-TPD:NDP2	25 nm
Ag	15 nm
Al	40 nm
Cam Altlık	

Şekil 2.5. Altan dönüşümlü bir WOLED'in mimari yapı örneği (Gohri et al., 2011).

2.2.4 Elektromer veya Ekzimer WOLED'ler

Bu yöntemde beyaz ışık, katı halde uyarılmış kümelenmelerin (ekzimer veya elektromer) oluşması sonucunda elde edilir. Ekzimer, biri uyarılmış durumda, diğeri temel halde bulunan aynı tipteki moleküllerin kümelenmesi sonucunda, elektromer ise biri fazla elektrona sahip (radikal katyon) diğeri fazla boşluğa sahip aynı tipteki moleküllerin kümelenmesi sonucunda oluşmaktadır. Ekzimerlerin ve elektromerlerin sahip oldukları enerji, monomer ekzitonlardan daha düşüktür ve bu nedenle tek bir molekülün ışımasına oranla daha uzun dalga boylarındaki geniş ışımaları (kırmızıya kayma) ile karakterize edilirler. Beyaz ışık tek bir materyalin hem mavi hem de turuncu-kırmızı ışımaya sahip olması ile oluşmaktadır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı, düşük verimlilik ve beyaz rengin kalitesini kontrol etmek için molekül tasarımındaki zorluklardır.

Mazzeo ve arkadaşları 3,5-dimetil-2,6-bis(dimesitilboril)ditien-[3,2-b:2',3'-d]tiyofen materyalini ITO/PEDOT:PSS/EML/LiF/Al yapısındaki WOLED'te kullanmışlardır. Tertiyoferen monomerinden mavi-yeşil ışıma ve ekzimerden kaynaklanan kırmızı ışıma sonucunda beyaz ışık elde edilmiştir. Elde edilen WOLED, gerilime bağlı olarak değişmeyen 0.31, 0.42 CIE renk koordinatına % 0.35 dış kuantum verimine sahiptir (Mazzeo et al., 2005).

Williams ve arkadaşları platin(II)[2-(4',6'-difluorofenil)piridinat-N,C 2')](2,4-pentan-dionat) (FPt) kompleksini ITO/PEDOT:PSS/PVK/EML/BCP/LiF/Al yapısındaki WOLED'te kullanarak platin kompleksinin ekzimer ışıması sayesinde beyaz ışık elde etmişlerdir. Vakum termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak üretilen WOLED'in renk korrdinatu $x,y=(0.46, 0.47)$, etkinlik faktörü 12.6 lm/W, DKV değeri %15.9 ve renksel geri verim endeksi 69'dur (Williams et al., 2007).

2.2.5 Tek Katmanlı WOLED'ler

Tek katmanlı WOLED'lerde üç farklı yaklaşım söz konusudur, Bu yaklaşımlar;

- Bir polimeri iki tane birbirini tamamlayan renkte ışıma yapan veya üç ana renkte ışıma yapan materyalle birlikte kullanmak,
- Bir veya daha fazla ışıma materyalini yük taşıma katmanı olarak görev yapacak ve/veya mavi ışıma kaynağı olarak kullanılabilecek geniş bant boşluğuna sahip bir konak materyal içerisine düşük oranlarda katkılanmak,
- Tek bir organik materyalden beyaz ışık elde etmek.

Bu yöntem, birçok özelliği (yük taşıma, farklı renkte ışıma vb.) tek bir katman içerisinde toplaması ve vakum termal buharlaştırma veya ıslak kaplama yöntemleri nedeniyle ucuza elde edilebilecek geniş alan WOLED'ler için oldukça ilgi çekici bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde, ışıma katmanının morfolojik özellikleri ve bileşenlerin oranının dikkatli bir şekilde kontrolünün sağlanması sonucunda enerji transfer süreçleri ve böylece WOLED'in optoelektronik özelliklerinin optimize edilmesi oldukça kolaylaşmaktadır.

Alam ve arkadaşları (2006) iki tane farklı renkte ışıma yapan polimeri ışıma katmanında ikili karışım halinde kullanarak WOLED elde etmişlerdir (Alam and Jenekhe, 2006). Bu çalışmada, mavi renk kaynağı olarak poli(9,9-dioktilfluoren) (PFO) ve turuncu-kırmızı renk kaynağı olarak ise poli[2-metoksi-5-(2'-etil-hekzilokzi)-1,4-fenilenvinilen] (MEH-PPV) polimerleri kullanılmıştır. PFO' dan MEH-PPV' ye enerji transferinin tam olarak gerçekleşmemesi sonucunda iki

polimerden aynı anda ışıma alınarak beyaz ışık elde edilmiştir. Bu sistemde kütlece % 5 ile % 28 arasında değişen MEH-PPV konuk oranı filmlerde faz ayrımı yaratmakta ve bu durum ara yüzeylerdeki enerji transfer süreçlerini etkilemektedir. Bu nedenle elde edilen ışığın rengi uygulanan gerilimle birlikte değişmektedir. Kütlece %5 MEH-PPV'ye sahip WOLED'ten 14 Volt gerilimde 3.7 cd/A verim elde edilmiştir.

Kim ve arkadaşları mavi poli-fluoren (BlueJ) materyalini hem mavi renk kaynağı olarak hem de konak materyal olarak PVK ile birlikte kullanmışlardır. Bu konak materyaller de yeşil fac-tris[2-(2-piridinil-N)(5-(3,4-di-sec-butokzifenil)fenil)-C]iridyum(III) $[\text{Ir}(\text{PBPP})_3]$ ve kırmızı tris(1-fenilizokinolin)irid-yum(III) $[\text{Ir}(\text{Piq})_3]$ organometalik kompleksleriyle katkılanmışlardır. Dönü kaplama yöntemi ile elde edilen WOLED'ten 6.2 V gerilimde 12.5 cd/A parlıltı performansı uygulanan gerilimle neredeyse hiç değişmeyen $x,y=(0.33,0.33)$ CIE renk koordinatı elde edilmiştir (Kim et al., 2006).

D'Andrade ve arkadaşları ise mavi iridium(III)bis(4'6'-di-fluorofenilpiridinat)tetrakis(1-pira-zolil)borat (Flr6), yeşil $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ ve kırmızı iridium(III)-bis(2-fenilkinolil-N,C2')asetila-setonat (PQIr) iridyum komplekslerini geniş bant boşluğuna sahip olan p-bis(trifenilsilil)benzen (UGH2) konak materyali içerisine katkılanarak kullanmışlardır (D'Andrade et al., 2004). Yüklerin enjeksiyonu sonucunda mavi iridyum kompleksinde triplet ekzitonların oluşumu ve daha sonra bu ekzitonların kısmi enerji transferi ile yeşil ve kırmızı konuklara aktarılması sonucu beyaz ışık elde edilmiştir. Dönü kaplama yöntemi ile elde edilen bu WOLED'in etkinlik faktörü 14 lm/W'tır.

İnorganik yarıiletkenlerle karşılaştırıldıklarında organik materyaller genellikle daha geniş ışıma spektrumuna sahiptirler. Yarı yükseklikteki tam genişlik (full width half maximum, FWHM) değerleri 50nm ile 100nm değişmektedir. Bununla birlikte organik moleküllerin ışıma spektrumlarını elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinin tamamını kapsayacak şekilde genişletilme çalışmaları yürütülmektedir (Adamovich et al., 2002; Park et al., 2015).

2.3 Organometalik Komplekslere Dayalı WOLED'ler

Spin istatistiğine göre, bir OLED'in organik katmanlarına injekte olan yükler, ışıma katmanında toplam spin sayısı bir olan üç adet triplet ve toplam spin sayısı sıfır olan bir adet singlet ekzitonunun oluşmasına neden olurlar (Segal et al., 2003). Bunun sonucu olarak sadece floresant materyallerin kullanıldığı OLED'lerin iç kuantum veriminin en yüksek limiti %25'tir. Geriye kalan %75 oranındaki triplet ekzitonu ışımasız sönmelenme sonucu kaybedilmektedir.

Ir (Ulbricht et al., 2009), Pt, Au, Cu (Volz et al., 2015) vb. ağır metaller içeren metal komplekslerinin kullanılmalarıyla birlikte OLED'lerin verimliliklerinde çok büyük artışlar elde edilmeye başlanmıştır. Spin-orbit etkileşimi sayesinde bu organometalik kompleksler spin korunumuna uymayarak verimli bir şekilde fosforesans ışıma yaparlar. Aynı zamanda bu materyallerin sistemler arası geçiş (ISC) verimleri %100 olabilmektedir. Bu durumda bütün singlet ekzitonlarının triplet ekzitonlarına dönüşümü gerçekleşebilmekte ve böylece OLED'lerin İKV'leri %100'e çıkabilmektedir.

2.3.1 Işıma Katmanında Sadece Organometalik Komplekslerin Kullanıldığı WOLED'ler

Forrest ve arkadaşlarının 1998 yılında fosforesant materyalleri kullanarak elde ettikleri ilk fosforesant OLED'ten sonra organometalik komplekslerin OLED'lerde kullanımına yönelik ilgi oldukça artmıştır (Forrest et al., 1998). Fosforesant materyallerin WOLED'lerde kullanılmaya başlanması sayesinde WOLED'lerin verimleri floresant lambaları geçerek 90lm/W değerlerine ulaşmıştır (Reineke et al., 2009).

Wu ve arkadaşları üç farklı iridyum kompleksini konuk materyal olarak PVK konak materyalinin içerisinde kullanarak ıslak kaplama yöntemi ile tek katmanlı WOLED elde etmişlerdir. Optimize edilmiş WOLED'ten %14.4 DKV, 9.5 lm/W etkinlik faktörü ve 24.3 cd/A parlıltı performansı elde edilmiştir. Elde edilen yüksek verimlilik değerleri kullanılan organik materyallerin doğru olarak seçilmiş olmasına dayandırılmıştır. Yüksek triplet enerjisine sahip olan 2,2'-(1,3-

fenilen)bis[5-(4-tert-butylfenil)-1,3,4-okzadiazol] (OXD-7)'nin mavi fosforesant FIrpic ile birlikte PVK içerisinde kullanılması sonucunda yüklerin bipolar olarak transferi mümkün olmuştur. (H. B. Wu et al., 2008a).

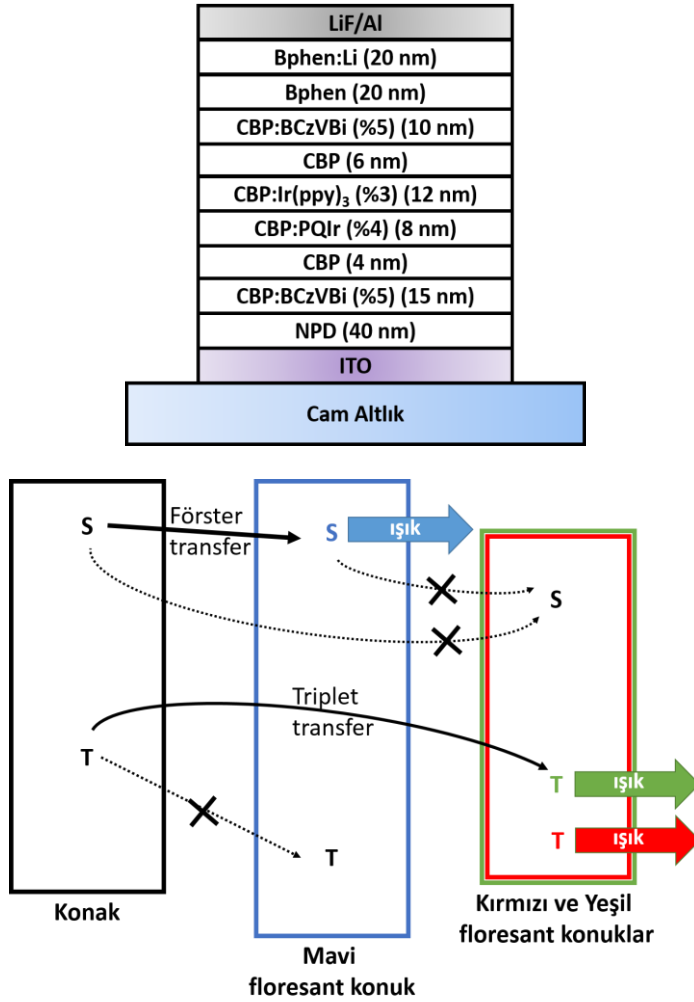
Niu ve arkadaşları ise, mavi FIrpic, yeşil tris[2-fenilpridinat-C²,N]iridyum(III) (Ir(ppy)₃) ve kırmızı osmiyum kompleksi (Os-R1) PVK içerisinde kullanarak ıslak kaplama yöntemi ile WOLED elde etmişlerdir. Bu çalışmada ışına katmanından (ETL) önce sıcaklıkla çapraz bağlanmanın (cross-link) gerçekleştirilebildiği tris(4-karbazol-9-ylfenil)amin (TCTA) türevi bir boşluk aktarım katmanını (HTL) dönü kaplama yöntemi ile kaplamışlardır. Çapraz bağlanma gerçekleştirildikten sonra HTL'nin organik çözgenlerde çözünmemesi sayesinde EML katmanının kaplanması kolaylıkla gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak bu WOLED'ten %5.85 DKV, 6.15 lm/W etkinlik faktörü ve 10.9 cd/A parlaltı performansı elde edilmiştir.

2.3.2 Floresant/Fosforesant (F/P) WOLED'ler

Sadece organometalik komplekslerin kullanıldığı WOLED'lerin önündeki en büyük engel mavi fosforesant bileşenin kararlı olmaması ve düşük çalışma ömrüne sahip olması olarak görülmektedir. Bunun nedeni, yüksek fosforesans kuantum verimine sahip ve kararlı mavi fosforesant materyallerin sentezinin zorluğudur. Yüksek bant boşluğuna sahip olan mavi fosforesant materyalin triplet enerji seviyesinden temel hal enerji seviyesine geçişler, dolayısı ile fosforesans kuantum verimi düşüktür (Yang et al., 2007). Literatürde, mavi fosforesant ışına materyalinin mavi floresant ışına materyalleri ile değiştirilmesi sonucunda yukarıda tanımlanan problemler aşılmaya çalışılmaktadır.

Sun ve arkadaşları bu konuda ilk makaleyi 2006 yılında yayınlamışlardır (Sun et al., 2006). Tamamen vakum termal buharlaştırma yöntemi ile elde edilen WOLED'te ekzitonlar önce CBP konak materyalinde oluşmaktadır. Oluşan ekzitonların %25'i Förster transferi mekanizması ile mavi floresant ışına materyali olan 4,4'-bis(9-etil-3-karbazovinilen)-1,1'-bifenil (BCzVBi)'e aktarılmaktadır. Geri kalan triplet ekzitonlar (%75) ise difüzyon uzunluklarının yüksek olması (~100 nm) nedeniyle ışına katmanının orta kısmına doğru ilerleyerek burada yeşil ve kırmızı

fosforesant ışıma materyallerine aktarılırlar. Bu sayede normal koşullarda ışımasız (non-radiative) olan triplet ekzitonları da kullanılmış olur. Bu geçişler Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Bu sistemin en büyük avantajı, bütün singlet ve triplet ekzitonlarının kullanılabilmesi ve böylece %100 iç kuantum veriminin elde edilebilmesidir. Üretilen WOLED'ten %18.7 DKV ve 37.6 lm/W etkinlik faktörü elde edilmiştir. Renksel geri verim endeksi ise 85'tir. Mavi floresant materyallerin triplet enerji seviyeleri fosforesant materyallere göre daha düşük olmaktadır. Fosforesant materyallerden floresant materyale geri triplet enerji transferinin gerçekleşebileceği düşünüldüğü için bu çalışmada mavi floresant materyal ile fosforesant materyaller arasında bir ara katman kullanılmıştır.



Şekil 2.6. F/P WOLED yapısı örneği ve bu WOLED'in ışıma katmanındaki enerji transfer mekanizması (Sun et al., 2006).

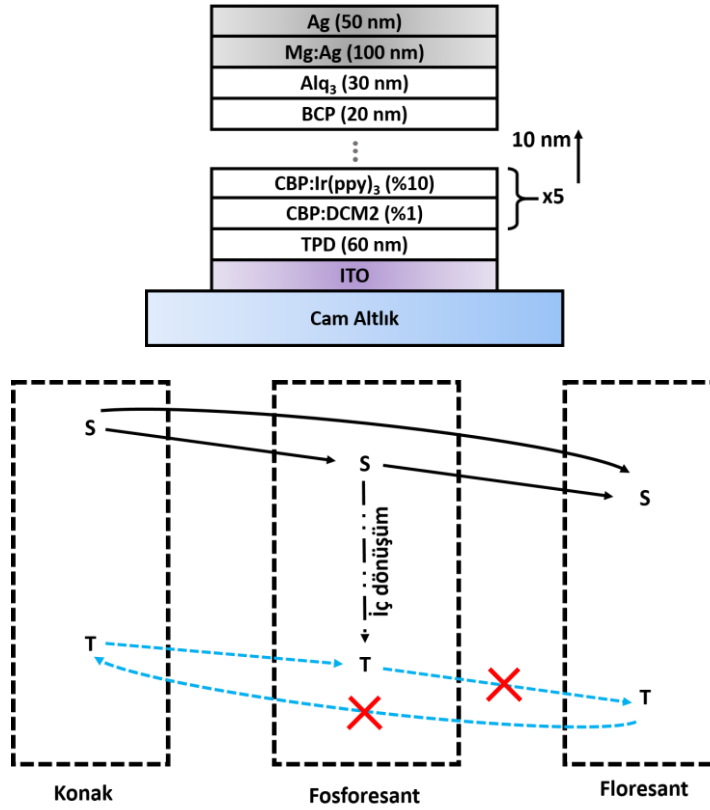
Shih ve arkadaşları ise ıslak kaplama yöntemi ile tek katmanlı F/P WOLED elde etmişlerdir (Shin et al., 2006). Bu WOLED’te PVK ve 2-(4-bifenilyl)-5-(4-*tert*-butilfenil)-1,3,4-okzadiazol (PBD) konak materyal olarak 4,4’-bis[2-{4-(N,N-difenilamino)fenil}vinil]bifenil (DPAVBi) mavi floresant ışımaya materyali olarak ve [Os(bpftz)₂(PPh₂Me)₂] [Os(bpftz) osmiyum kompleksi ise turuncu fosforesant ışımaya materyali olarak kullanılmıştır. Üretim yönteminin oldukça basit olmasının yanı sıra elde edilen verimler oldukça ümit vericidir. Üretilen WOLED’ten %6.12 DKV ve 13.2 cd/A parlıltı performansı elde edilmiştir. Bununla birlikte renk koordinatları (0.33, 0.34) gerçek beyaz renk koordinatlarına (0.33, 0.33) oldukça yakındır. Ayrıca WOLED’in renk kararlılığı mükemmel yakındır. 9V gerilimde elde edilen 0.33, 0.34 renk koordinatları 15V gerilime çıkıldığında 0.33, 0.32’ye değişmektedir.

Kim ve arkadaşları mavi floresans ışımaya sahip polifluoren türevi bir polimeri ve kırmızı renkte ışımaya sahip olan iki tane iridyum türevi fosforesant materyali PVK içerisine katkılanarak ıslak kaplama yöntemi ile WOLED elde etmişlerdir (T.-H. Kim et al., 2006). Bu WOLED’ten 12 cd/A’lık parlıltı performansı elde edilmiştir. Renk koordinatları 0.33, 0.33’tür ve uygulanan gerilimle birlikte değişim göstermemektedir.

2.3.3 Fosforesant/Floresant (P/F) WOLED’ler

İKV değerini %100 olarak elde etmenin diğer bir yolu ise mavi fosforesant materyal ile floresant materyalleri bir arada kullanmaktır. Bu durumda mavi fosforesant materyal üzerinde oluşan singlet ve triplet ekzitonların floresant materyallere Förster enerji transferi ile aktarımı söz konusudur. Böylece triplet-singlet transferi sonucunda ortamdaki triplet ekzitonlarının sayılarının azalmasıyla triplet-triplet sönümlenmesinin önüne geçilmektedir. Bununla birlikte, F/P WOLED’lerdeki geri triplet ekziton aktarımı (Bkz. **2.3.2 Floresant/Fosforesant (F/P) WOLED’ler**) mavi fosforesant materyalin triplet enerjisinin floresant materyallere göre daha yüksek olması nedeniyle gerçekleşmeyecektir. Bununla birlikte, tek katmanlı yapısı ve ara katman gerektirmeyen bu WOLED’lerin üretimi ıslak kaplama yöntemlerine oldukça uygundur.

Bu konuda ilk yayın Baldo ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (Forrest et al., 2000). Vakum termal buharlaştırma yöntemi ile elde edilen WOLED'in yapısı, ve önerilen enerji transferleri Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Düz çizgiler Förster enerji transferini, noktalı çizgiler ise Dexter transferini göstermektedir. Verim kayıplarının yaşandığı geçişler ve mekanizmalar çarpı simgesi ile gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Bir P/F WOLED yapısı örneği ve bu WOLED için önerilen enerji transferleri.

Bu konuda İlk WOLED çalışması ise 2003 yılında Cheng ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (Cheng et al., 2003). Vakum termal buharlaştırma yöntemi ile elde edilen WOLED'in yapısı ITO/NPB/CBP:Ir(ppy)₃:DCJTB/2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline (BCP)/Alq₃/LiF /Al şeklindedir. Bu WOLED'te fac tris (2-fenilpiridin) iridium [Ir(ppy)₃] yeşil fosforesant, 4-(disiyanometilen)-2-t-butyl-6-(1,1,7,7-tetrametiljulolidyl-9-enil)-4H-piran (DCJTB) ise turuncu-kırmızı floresant materyal olarak kullanılmıştır. Mavi ışık ise aynı zamanda HTL olarak kullanılan N,N'-difenil-N,N'-bis (1-naphthyl)-(1,1'-bifenil)-4,4'-diamine (NPB) materyalinden elde edilmektedir. Renk koordinatı 0.34,0.33 olan WOLED'ten 6.8 cd/A'lık parlaltı performansı elde edilmiştir. Bu çalışmada hem NPB'nin kalınlığı

gerçekleştirilmiştir (Hou et al., 2011). Elde edilen WOLED’te PVK ve OXD-7 konak materyal, FIrpic mavi fosforesant materyal ve DCJTB ise turuncu-kırmızı floresant materyal olarak kullanılmıştır. WOLED’ten 16.4 cd/A’lık parlıltı performansı elde edilmiştir ve bu değ r boşluk engelleyici katman kullanılması ile 26.9 cd/A’e çıkmıştır. Çalışmada FIrpic katkılama oranı (kütlece %10) sabit tutularak DCJTB’nin oranı değıştirilerek ışma renginin ayarlanması sağlanmıştır. DCJTB’nin oranının artmasıyla birlikte turuncu-kırmızı ışma şiddeti de artmıştır. Bununla birlikte FIrpic’ in kullanılmadığı bir OLED çalışması da yapılmıştır ve bu OLED’in EL spektrumunda sadece PVK:OXD-7 ve DCJTB’ye ait pikler gözlenmiştir. Bu durum PVK:OXD-7’dan DCJTB’ye olan enerji transferinin tam olarak gerçekleşmediğini göstermektedir. FIrpic varlığında ise WOLED’lerin EL spektrumlarında PVK:OXD-7’a ait herhangi bir pik gözlenmemiştir.

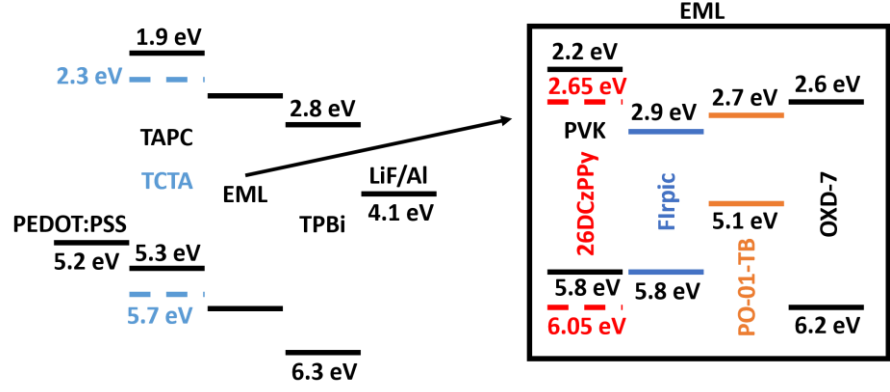
2.4 Islak Kaplama Yöntemleri ile Hazırlanan WOLED’ler

Islak kaplama yöntemi ile elde edilen WOLED’lerde genellikle polimer veya küçük moleküllü materyallerin ışma yapan polimer ve/veya küçük moleküllü materyallerle bir arada kullanılması söz konusudur (Fan et al., 2012; Gong et al., 2004; Jou et al., 2006).

Islak kaplama yöntemlerinin genellikle çok katmanlı WOLED hazırlığına izin vermemesi nedeniyle elektron ve boşluk enjeksiyonunun verimli bir şekilde gerçekleşmemesi söz konusudur. Bu da ışma katmanında yük dengesinin oluşmamasına neden olmaktadır. Bu nedenle ışma katmanına boşluk ve/veya elektron taşıma hızları yüksek olan materyaller eklenmektedir (Fu et al., 2012; Tian et al., 2014). Bununla birlikte, ışma katmanında yük dengesini sağlamak adına bu WOLED’lere vakum buharlaştırma yöntemi ile elektron taşıma ve/veya boşluk engelleyici katmanlar eklenmektedir (Yang et al., 2012). Çizelge 2.2’de ulaşılabilen literatürde yer alan ıslak kaplama yöntemleri ile elde edilmiş WOLED’lerin performansları yer almaktadır.

Yeh ve arkadaşları WOLED hazırlığına yönelik olarak sıyırma kaplama yöntemini kullanmışlardır (Yeh et al., 2012). Bu çalışmada sadece küçük moleküllü materyal kullanılarak 4 katmana sahip olan WOLED elde edilmiştir. WOLED

mimari yapısı, enerji diyagramı ve sadece ışıma katmanının enerji diyagramı Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Bu WOLED'ten 34 cd/A parlıltı performansı, 9.7 lm/W etkinlik faktörü ve 10.7 DKV elde edilmiştir.



Şekil 2.9. Sıyrma kaplama yöntemi ile üretilen bir WOLED'in ve ışıma katmanının enerji diyagramları örneği (Yeh et al., 2012).

Çizelge 2.2. Islak kaplama yöntemleri ile elde edilmiş WOLED’lerin yıllar bazında performansları.

Etkinlik Faktörü (lm/W)¹	Parıltı Performansı (cd/A)¹	Çalışma Gerilimi (V)	DKV (%)¹	CIE (x, y)	CRI²	Aktif Alan (mm²)	Kaynaklar
23.4	36.5	3.6	15.7	0.4, 0.43	80	-	(Fu et al., 2013b)
47.6	44.3	~5	16.4	0.38, 0.43	62	-	(Zhang et al., 2012)
32.1	37.1	4.6	-	0.35, 0.41	73	-	(Fu et al., 2012)
37.4	60.1	~5	28.8	0.3, 0.5	52-76	-	(Zou et al., 2011)
8.4	22.4	5	-	0.37, 0.43	73	9	(Hou et al., 2011)
15.6	29.6	4.7	15.7	0.35, 0.45	76	9	(Hou et al., 2010)
5.8	5	7.7	16.8	0.39, 0.44	-	-	(He et al., 2010)
20.3	42.9	3.6	19.1	0.39, 0.45	52-55	-	(Wu et al., 2009)
23.4	36.1	4.8	12.6	0.38, 0.38	-	-	(Huang et al., 2009)
6.3	16.1	3.5	10	0.32 ,0.36	52	-	(Wu et al., 2008b)

¹: Maksimum değerler

²: Renksel geri verim endeksi

3. KULLANILAN YÖNTEM

3.1 Kullanılan Materyaller

OLED yapımında kullanılan rutenyum ve bazı iridyum kompleksleri Yrd. Doç. Dr. Çiğdem ŞAHİN tarafından sentezlenmiştir. Bu materyallerin sentez prosedürü, optik ve yapısal karakterizasyonları yayınlanan çalışmalarda yer almıştır (Oner et al., 2012; Oner et al., 2014). Bu nedenle burada materyallerin sentez detay ve karakterizasyonlarına yer verilmeyecektir. döngüsel voltammetri yönteminde sırasıyla organik tuz ve referans materyal olarak kullanılan tetra bütül amonyum hekza florofosfat (TBAPF₆) ve Ferrosen (Fc), Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Anot olarak kullanılan ITO (indiyum kalay oksit) kaplı iletken camlar (4-10 ohm/□) Delta Technologies LTD. firmasından satın alınmıştır. HTL olarak kullanılan PVK, konak materyal olarak kullanılan PBD ve OXD-7, mavi ışığa materyali olarak kullanılan Flrpic ADS Dyes firmasından, turuncu-kırmızı ışığa materyali olarak kullanılan DCJTb Sigma Aldrich firmalarından temin edilmiştir. ETL olarak kullanılan TPBi, elektron enjeksiyon ve katot olarak kullanılan LiF, Cs₂CO₃ ve Al, Sigma Aldrich firmasından satın alınmıştır. PEDOT:PSS (Baytron VPAI 4083) Ossila firmasından temin edilmiştir. Çalışmalar sırasında kullanılan tüm çözümler (klorobenzen, aseton ve izopropil alkol) Sigma-Aldrich, Fluka ve Riedel de Haën firmalarından temin edilmiştir.

3.2 Karakterizasyonlarda Kullanılan Cihazlar

Laurell WS-400B-6NPP/Lite dönü kaplama cihazı, ince filmlerin elde edilmesinde kullanılmıştır. Katot ve/veya elektron enjeksiyon katmanlarının hazırlanmasında MBRAUN 200B eldivenli kutu (glovebox) sistemine bütünleşik vakum termal buharlaştırıcı kullanılmıştır. Elektron taşıma katmanı Nanomaster NTE3000 marka/model vakum termal buharlaştırıcı ile kaplanmıştır. Femtoscience Cute-B marka/model oksijen plazma cihazı ITO kaplı camların ileri temizliğinde kullanılmıştır. Sıyırma kaplama yöntemi ile film hazırlığında Erichsen Coatmaster 509 mc-1 cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Sıyırma kaplama cihazı ve bıçaklar (www.erichsen.de).

İnce filmlerin soğurma ve fotolüminesans (PL) ölçümleri sırasıyla, Analytik JenaS 600 UV-Vis soğurma spektrofotometresi ve Edinburg Instruments FLS900P flüoresans/fosforesans spektrofotometre cihazları ile yapılmıştır. Yüzey morfolojisi incelemeleri ve kalınlık ölçümleri sırası ile Olympus IX71 floresans mikroskobu ve Ambios XP-1 marka/model ve Dektak 150 marka/model profilometre ile gerçekleştirilmiştir. Materyallerin enerji seviyeleri CH Instrument 660 B potentiostat kullanılarak döngüsel voltammetri yöntemi ile belirlenmiştir.

OLED'lerin elektriksel ve optiksel karakterizasyonlarında I-V ölçümleri Keithley 2400 marka/model programlanabilir güç kaynağı ile mutlak EL spektrumları Ocean Optics USB4000 marka/model fiber optik spektrofotometre veya Hamamatsu C9920-12 marka/model kuantum verim ölçüm sistemi ile elde edilmiştir. USB4000 spektrofotometresinin mutlak EL ölçümleri yapabilecek şekilde tungsten-halojen lamba (LS-1-CAL) kullanılarak kalibrasyonu yapılmıştır. Mutlak EL spektrumları, OLED'lerin karakteristik özelliklerinin (parıltı, parıltı performansı, etkinlik faktörü) hesaplanmasında kullanılmıştır. Enkapsülasyon yapılmamış bütün OLED'lerin karakteristik ölçümleri eldivenli kutu içerisinde oksijen ve nem değerlerinin 0.1 ppm'in altında olduğu koşulda gerçekleştirilmiştir.

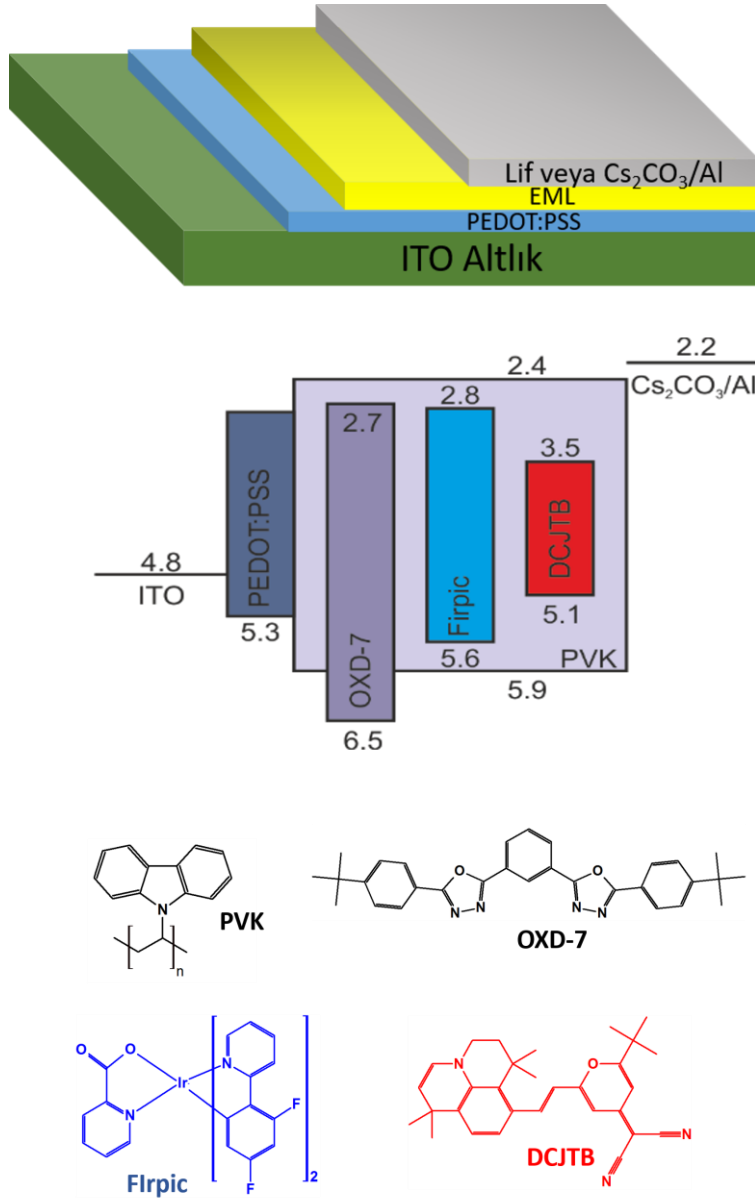
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Referans WOLED Hazırlığı

Bu çalışmada literatürde yer alan ve ıslak kaplama süreçleri için en uygun yöntemlerden biri olan P/F yapısındaki bir WOLED çalışması referans WOLED olarak seçilerek mevcut altyapı kullanılarak tekrar elde edildi. Literatürde yer alan bu çalışma (Hou et al., 2011) bölüm “2.3.3. Fosforesant/Floresant (P/F) WOLED’ler” kısmında yer almıştır.

Yapılan çalışmada, öncelikle PVK polimer materyaline elektron taşıma kabiliyeti yüksek olan 1,3-bis[2-(4-tert-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazol-5-yl]benzene (OXD-7) materyali kütlece oranı 2:1 olacak şekilde katkılandırılmıştır. Burada OXD-7 kullanılmasının amacı boşluk taşıma hızı elektron taşıma hızına oranla daha yüksek olan PVK’nın, elektron taşıma hızı boşluk taşıma hızından daha yüksek olan OXD-7 ile kullanılması sayesinde EML’de yük dengesinin sağlanmasıdır (So et al., 2007). Bu ikili konak sistemi içerisinde FIrpic ve DCJTB materyalleri, FIrpic katkılama oranı kütlece %10 olacak şekilde sabitlenerek ve FIrpic/DCJTB oranı değiştirilerek katkılandırılmışlardır. Böylece 5 adet WOLED (FIrpic:DCJTB - 50:1, 80:1, 100:1, 120:1, 160:1) elde edilmiştir. Elde edilen WOLED’in yapısı, kullanılan materyallerin kimyasal yapıları ve HOMO-LUMO enerji diyagramı Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

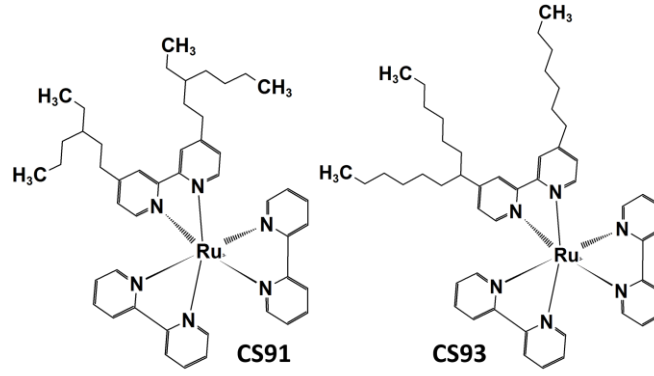
WOLED yapımı şu şekilde gerçekleştirilmiştir; ilk olarak, kimyasal yöntem ile (15’er dakika aseton ve isopropil alkol içerisinde ultrasonik banyo) temizlenmiş olan ITO kaplı cam üzerine dönü kaplama yöntemi (4000 rpm 1 dk) ile boşluk enjeksiyon vazifesi gören PEDOT:PSS materyali kaplanmıştır. Daha sonra, vakum altında 120 °C de 30 dakika tavlanan (annealing) PEDOT:PSS üzerine ışıma katmanı (EML) (PVK:OXD-7:FIrpic:DCJTB) yine dönü kaplama yöntemi (1500 rpm 1 dk) ile kaplanmış ve vakum altında 100 °C de 30 dakika boyunca tavlansmıştır ve en son olarak LiF veya Cs₂CO₃ (1 nm)/Al (100 nm) kaplamaları 10⁻⁶ mbar basınç altında sırasıyla, 0.1 ve 2 Å/s hızlarıyla vakum termal buharlaştırma yöntemi ile yapılmıştır. Elde edilen WOLED’lerin aktif alanı 3mm x 4mm’dir.



Şekil 4.1. a) Referans WOLED'in yan kesit görüntüsü ve enerji diyagramı ve b) kullanılan materyallerin kimyasal yapıları.

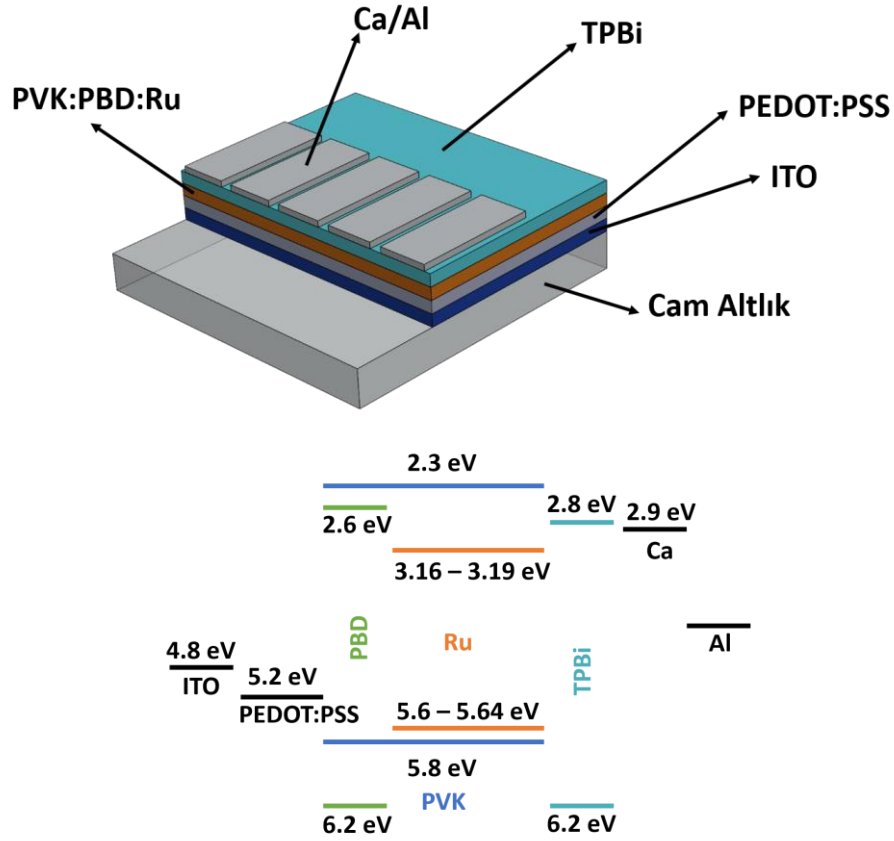
4.2 Turuncu-Kırmızı Bileşen Olarak Rutenyum Kompleksleri

Bu kısımda kullanılan rutenyum kompleksleri simetrik ve asimetric dallanmış alkil zincirine sahip bipiridil ligandları içermektedirler (Şekil 4.2). CS91 ve CS93 olarak kodlanan bu rutenyum kompleksleri ITO/PEDOT:PSS/EML/TPBi/Ca/Al yapısındaki OLED'in ışıma katmanında (EML) konuk materyal olarak kullanılmışlardır.



Şekil 4.2. Turuncu-kırmızı ışımaya sahip rutenyum komplekslerinin kimyasal yapıları.

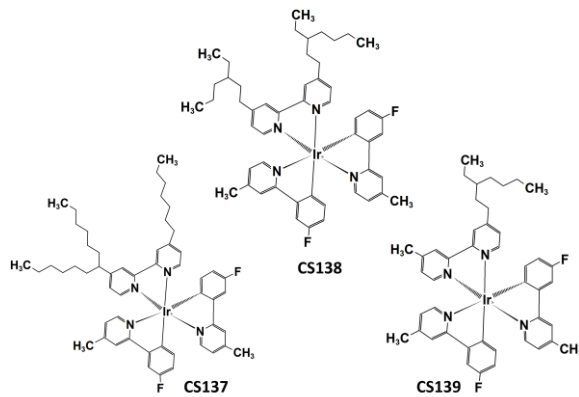
ITO temizliği ve PEDOT:PSS kaplaması daha önce anlatıldığı şekilde gerçekleştirilmiştir (Bkz. **4.1 Referans WOLED Hazırlığı**). PVK:PBD (kütlege %40) konak materyali içerisinde kütlege farklı katkılama oranlarına (0.25, 0.5, 1, 2, 3) sahip rutenyum kompleksleri (30 mg/ml) 1,2-diklorobenzen çözeltisinde hazırlandılar ve dönü kaplama yöntemi ile 80 nm film kalınlığı oluşturacak şekilde PEDOT:PSS üzerine kaplandılar. Daha sonra 80 °C' de 1 saat boyunca vakum fırınında tavlanan ince filmler üzerine TPBi (40 nm) vakum termal buharlaştırma (Nanomaster NTE3000) yöntemi kullanılarak 0.4 Å/s hız ile kaplandı. En son olarak Ca (40 nm) ve Al(100 nm) katot materyalleri maske kullanılarak eldivenli kutu sistemine (MBRAUN 200B) bütünleşik vakum termal kaplama cihazı kullanılarak 0.5 Å/s ve 0.8 Å/s hızları ile kaplandılar. OLED'lerin aktif alanları 3mm x 4mm'dir. OLED yapısı ve enerji diyagramı Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Rutenyum kompleksleri ile hazırlanan OLED'in mimari yapısı ve enerji diyagramı.

4.3 Sarı Bileşen Olarak İridyum Kompleksleri

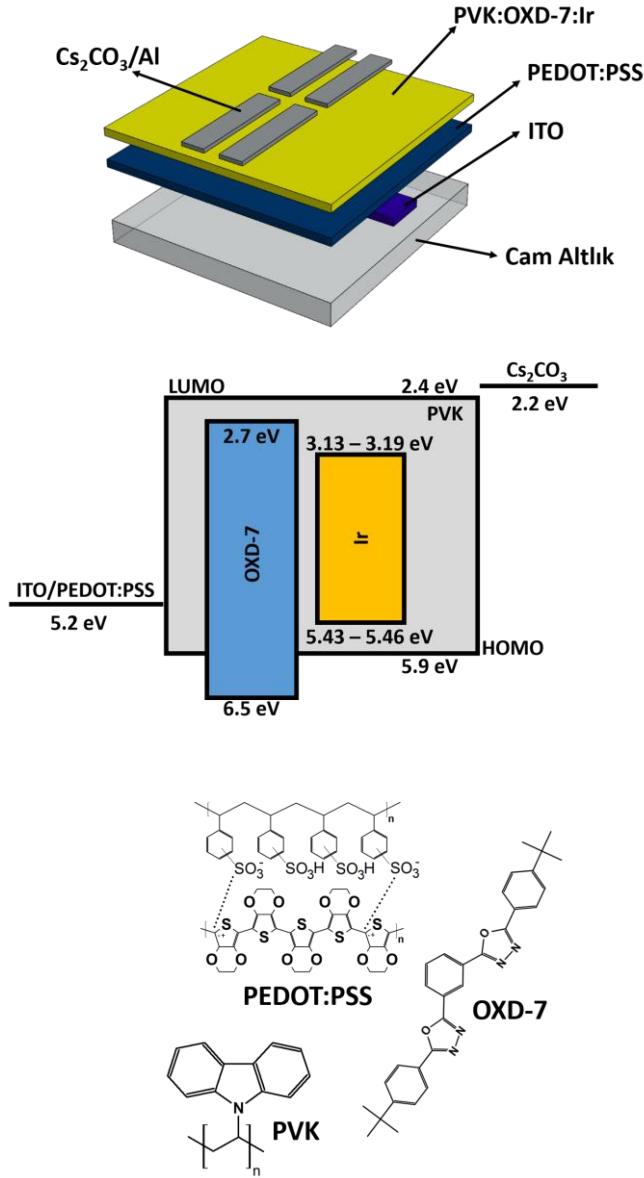
Bu kısımda kullanılan üç yeni iridyum kompleksi yine simetrik ve asimetrik dallanmış alkil zincirine sahip bipiridil ligandları içermektedir. ITO/PEDOT:PSS/EML/Cs₂CO₃/Al yapısındaki OLED'te kullanılan iridyum komplekslerinin kimyasal yapıları Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Sarı ışımaya sahip iridyum komplekslerinin kimyasal yapıları.

Yeni iridyum kompleksleri, ITO/PEDOT:PSS/PVK:OXD-7:Ir/Cs₂CO₃/Al yapısındaki bir OLED'in ışıma katmanında konuk materyal olarak kullanılmışlardır. Işıma katmanında boşluk taşıma kabiliyeti yüksek olan PVK polimer materyaline elektron taşıma kabiliyeti yüksek olan OXD-7 küçük molekül materyali katkılandırılarak bir karışım hazırlanmış ve daha sonra bu karışım içerisine kütlece % 0.5, 0.75, 1.25 ve 2.5 oranlarında iridyum kompleksleri (Ir) katkılandırılmıştır. Kullanılan materyaller, OLED yapısı ve enerji diyagramı Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Işıma katmanında konuk olarak kullanılan iridyum komplekslerinin HOMO-LUMO enerji seviyelerinin konak materyallerin (PVK:OXD-7) enerji seviyeleri ile uyumlu olması sonucunda hem yük tuzaklanması hem de enerji transferi mekanizmalarının çalışabileceği öngörülmüştür.

OLED yapımı şu şekilde gerçekleştirilmiştir; ITO temizliği ve PEDOT:PSS kaplaması daha önce anlatıldığı şekilde gerçekleştirilmiştir (Bkz. **4.1 Referans WOLED Hazırlığı**). Daha sonra, Vakum altında 120 °C de 30 dakika tavlanan PEDOT:PSS üzerine ışıma katmanı (EML) (PVK:OXD-7:Ir) yine dönü kaplama yöntemi (2000 rpm 1 dk) ile kaplanmıştır ve en son olarak Cs₂CO₃/Al metal kaplaması 10⁻⁶ mbar basınç altında sırasıyla, 0.1 ve 2 Å/s hızlarıyla vakum termal buharlaştırma yöntemi ile kaplanmıştır. OLED'lerin aktif alanı 3mm x 3mm'dir.

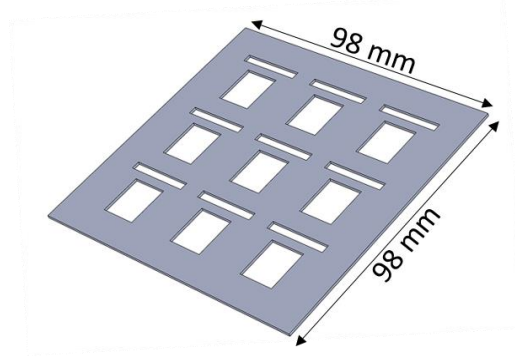


Şekil 4.5. İridyum komplekslerinin kullanıldığı OLED'in mimari yapısı, enerji diyagramı ve kullanılan materyallerin kimyasal yapıları.

4.4 Referans WOLED Kullanılarak Büyük Alan WOLED Hazırlığı

Çalışmanın bu aşamasında referans WOLED yapısı kullanılarak iki farklı ıslak kaplama yönteminin uygulanması ile dört farklı aktif alana sahip olan WOLED'lerin hazırlığı gerçekleştirilmiştir. WOLED performans verilerine göre en iyi sonuç FIrpic:DCJTB, 120:1 oranı ile elde edildiği için alan büyütme çalışmalarında bu bileşen oranı sabit tutulmuştur. Alan büyütmesinin yapılabilmesi için yeni katot maske tasarımları yapılmıştır (Şekil 4.6). Bununla birlikte, elde edilen WOLED'lerin enkapsülasyonu yapılarak oksijene ve nem'e olan

hassasiyetlerinin önüne geçilmeye çalışılmıştır. Alan büyütme aşamasında iki farklı kaplama tekniği kullanılmıştır. Bu teknikler dönü kaplama ve sıyırma kaplama yöntemleridir.



Şekil 4.6. 12mm x 12mm aktif alanlı WOLED'ler için kullanılan katot maskesi.

4.4.1 Dönü Kaplama Yöntemi İle Alan Büyütme

Referans WOLED'in HTL ve ışırma katmanları 12mm x 12mm ve 19mm x 8.5mm aktif alana ulaşacak şekilde dönü kaplama yöntemi ile (dönme hızı: 2000 rpm) hazırlanmıştır. ITO/PEDOT:PSS/PVK:OXD-7:FlIpic:DCJTb (120:1)/TPBi/Cs₂CO₃/Al yapısına sahip büyük alanlı WOLED'lerin dönü kaplama parametreleri küçük alanlı WOLED'ler ile aynıdır.

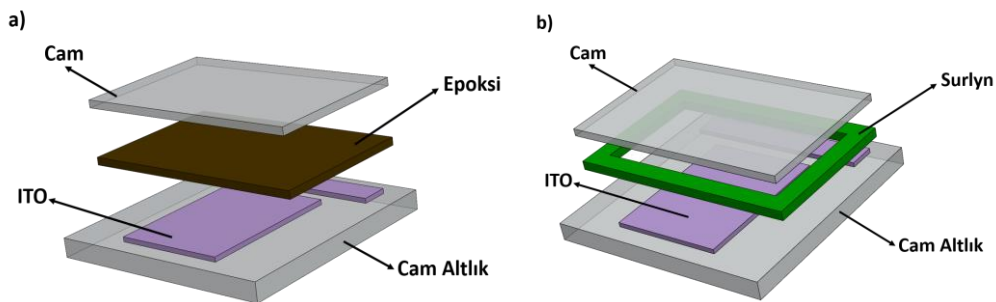
4.4.2 Enkapsülasyon

Bilindiği gibi OLED'ler genelde oksijene ve nem'e karşı oldukça hassastırlar (Burrows et al., 1994). Bu nedenle oksijen ve nem'in OLED'in içersine girmesine engel olmak adına enkapsülasyonları yapılmalıdır. Bu tez kapsamında üretilen WOLED'lerin normal atmosfer koşullarında da çalışabilmelerini sağlamak için farklı enkapsülasyon materyalleri (termoplastik malzeme, ossila epoksi ve enkapsülasyon folyosu) ile enkapsülasyon çalışmaları yapılmıştır. Enkapsülasyon işlemleri, OLED'lerin üretiminden hemen sonra eldivenli kutu içersinde oksijen ve nem değerlerinin 0.1 ppm'in altında olduğu azot ortamında gerçekleştirildi. Ossila Epoksinin ve Dupont Surlyn'in özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Enkapsülasyon folyosunun özelliklerine ulaşamamıştır.

Çizelge 4.1. Enkapsülasyon materyallerinin özellikleri.

Özellikler	Ossila Epoksi	Dupont Surlyn®
Viskozite	~300 cps (23°C)	
Sertleştirme süreci	10 – 100 mW/cm ² şiddetinde ve 250 ile 600 nm aralığındaki ışık altında 5 ile 30 saniye süresince	120 °C’de 10 dk
Camsı geçiş sıcaklığı (T _g)	130 °C	
Film kalınlığı	-	25 µm

Ossila epoksi ile enkapsülasyon için, epoksi WOLED’in üzerine bir miktar damlatıldı. 15x25 mm² boyutundaki bir cam epoksi damlatılmış WOLED’in üzerine yerleştirildi ve hafif bir basınç uygulanarak iki cam arasında kalan epoksinin tüm yüzeye yayılması sağlandı. Daha sonra ise, eldivenli kutu içerisine yerleştirilen tungsten telli lamba ve 500 nm altındaki ışığı geçirmeyen filtre (cut-off) kullanılarak sertleşmenin gerçekleşmesi sağlandı. Genellikle, Boya ile duyarlaştırılmış fotovoltaiik hücrelerin (DSSC, dye sensitized solar cell) enkapsülasyonlarında kullanılan termoplastik malzeme (Dupont Surlyn®) (Nam, Park, Kim, and Lee, 2010) Şekil 4.7b’de gösterildiği gibi maket bıçağı ile kesilerek kullanılmıştır. Enkapsülasyon aşamasında termoplastik malzeme OLED ve 15 mm x 25 mm cam arasına yerleştirilip ısıtıcı (hot plate) üzerinde ve üst taraftan hafif bir basınç uygulayarak 120 °C’de 5 dk süresince tutulmuştur. Uygulanan ısı ile eriyen termoplastik malzeme ısının ortadan kalkması ile birlikte katı formuna geri dönerek iki camın birbirine yapışmasını sağlamaktadır. Enkapsülasyon yöntemleri Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



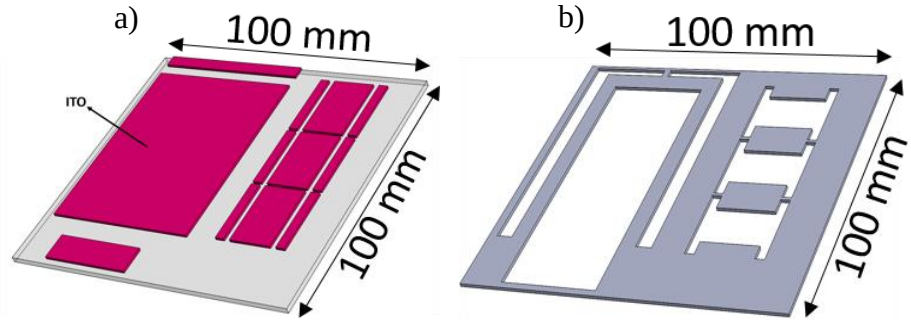
Şekil 4.7. Epoksi ile enkapsülasyon işleminin şematik gösterimi. a) Epoksi, b) Surlyn.

Enkapsülasyon çalışmaları dönü kaplama yöntemi ile hazırlanan WOLED'ler için gerçekleştirilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, sıyırma kaplama yöntemi ile hazırlanan WOLED'lerin enkapsülasyonunda kullanılan folyonun özelliklerine Ulaşılamamıştır.

4.4.3 Sıyırma Kaplama Yöntemi İle Alan Büyütme

Bu kısımda en iyi performansı gösteren küçük alanlı WOLED (Flirpic:DCJTB oranı 120:1) seçilerek sıyırma kaplama yöntemi kullanılarak aktif alanı 14mm x 14mm ve 30mm x 70mm olacak şekilde büyük alanlı WOLED'ler elde edilmiştir. Her bir katmanın kalınlığı ve homojenliği, bıçak ile altlık arasındaki aralık (blade gap), bıçak hızı ve kullanılan çözelti miktarı gibi parametrelerin değiştirilmesi ile optimize edilmiştir. İnce filmlerin kalınlık dağılımını belirlemek için kullanılan altlıklar 9 eşit bölgeye ayrılarak her bir bölgenin orta noktasından kalınlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. WOLED'lerin elektriksel ve optik karakterizasyonunda kalibre edilmiş Botest marka ölçüm sistemi kullanılmıştır. Ancak, bu sistem ile maksimum 14mm x 14mm aktif alana sahip OLED'lerin performans ölçümleri yapılabilmektedir. Bu nedenle 30mm x 70 mm aktif alana sahip olan WOLED'lerin karakterizasyonları tamamlanamamıştır.

Kullanılan yapılandırılmış (etched) ITO altlık (100mm x 100mm) ve katot maskesi Şekil 4.8'de gösterilmiştir. ITO altlık ma-P 1215 pozitif fotorezist ve ma-D 331 developer kullanılarak etch edilmiştir. Sıyırma kaplama sırasında homojen bir kaplamanın gerçekleştirilebilmesi için ITO altlıklar 63mm x 100mm ve 37mm x 100 mm olacak şekilde iki parçaya bölünerek kullanılmışlardır.



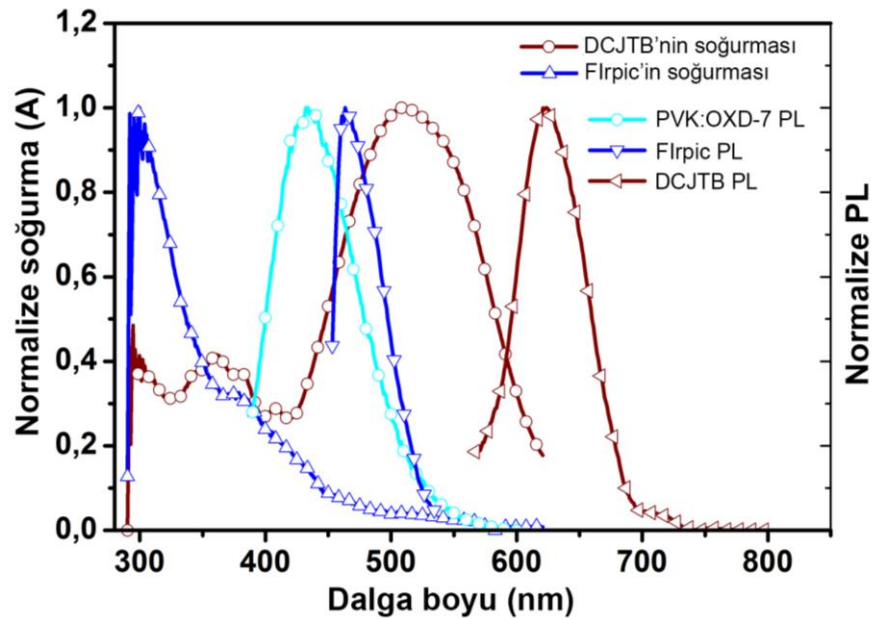
Şekil 4.8. 10cm x 10cm boyutundaki yapılandırılmış ITO altlık (a) ve katot maskesi (b).

PEDOT:PSS önce 1:3 oranında saf su ile seyreltilmiş daha sonra 0.45 μm PVDF filtre ile filtre edilmiş ve bu çözeltiye 1:2 oranında izopropil alkol (IPA) eklenmiştir. Daha sonra bu çözelti, 37mm x 100mm altlık üzerine uzunlamasına ve her iki yönde olacak şekilde 12 mm/s bıçak hızı, 300 μm açıklık, 45 °C sıcaklık ve toplamda 100 μl çözelti kullanılarak kaplanmıştır. 63mm x 100mm altlık üzerine ise, uzunlamasına ve her iki yönde olacak şekilde 10 mm/s bıçak hızı, 300 μm açıklık, 45 °C sıcaklık ve toplamda 200 μl çözelti kullanılarak kaplanmıştır. Sıyırma kaplama sonrasında elde edilen PEDOT:PSS ince filmi 150 °C’de 20 dakika ısıtıcı üzerinde normal atmosferde tavlansmıştır. PEDOT:PSS filmi tavlandıktan sonra PVK:OXD-7:FIrpic:DCJTB (FIrpic:DCJTB 120:1) çözeltisi 16 mm/s bıçak hızı, 300 μm açıklık, 50 °C sıcaklık ve toplamda 200 μl çözelti kullanılarak PEDOT:PSS kaplı ITO altlıklar (37mm x 100mm ve 63mm x 100mm) üzerine enlemesine olacak şekilde kaplanmıştır. Elde edilen filmler 120 °C’de 20 dakika ısıtıcı üzerinde normal atmosferde tavlama yapılmıştır. Son olarak ise Cs_2CO_3 (1nm) veya LiF (1nm) ve Al (100nm) kaplaması Mbraun marka eldivenli kutu sistemine bütünleşik vakum termal buharlaştırma cihazında $2\text{-}4 \times 10^{-7}$ mbar basınç altında gerçekleştirilmiştir. Cs_2CO_3 ve LiF kaplama hızları 0.1 Å/s, Al kaplama hızı ise 1.5 Å/s’dir. Sonuç olarak 3 adet 14mm x 14mm (bu WOLED’ler soldan sağa doğru W1, W2 ve W3 şeklinde anlandırılmışlardır) ve bir adet 30mm x 70 mm aktif alanlarına sahip WOLED’ler elde edilmiştir. Bütün WOLED’lerin karakterizasyonları, enkapsülasyon folyosu kullanılarak enkapsüle edildikten sonra normal atmosfer koşullarında gerçekleştirilmiştir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

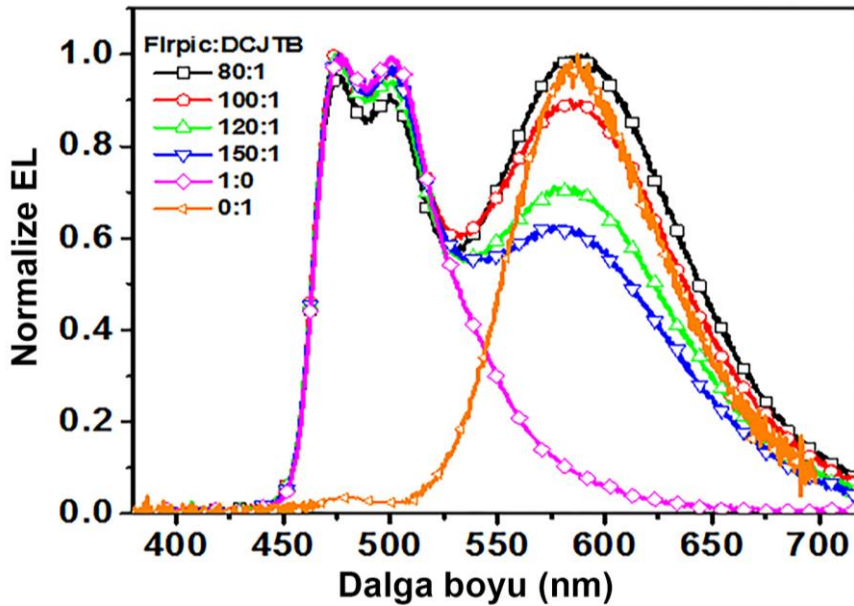
5.1 Referans WOLED

Işıma katmanında konuk olarak kullanılan materyallerin HOMO-LUMO enerji seviyelerinin konak materyalin enerji seviyeleri ile uyumlu olması sonucunda, OLED’lerdeki ışımada mekanizmalarının (yük tuzaklanması ve enerji transferi) her ikisinin de çalışabileceği öngörülmüştür (Şekil 4.1a). Böylece FIrpic’in mavi fosforesans yapması ve triplet-singlet Förster enerji transfer mekanizması ile DCJTB’yi uyarması beklenmektedir. Förster enerji transferi mekanizmasının gerçekleşebilmesi için FIrpic’in ışması ile DCJTB’nin soğurma spektrumlarının örtüşmesi gerekmektedir. Şekil 5.1’de DCJTB ve FIrpic’in soğurma spektrumu ile DCJTB’nin, PVK:OXD-7’in ve FIrpic’in PL spektrumları yer almaktadır. FIrpic’in PL spektrumu ile DCJTB’nin soğurma spektrumları geniş ölçüde örtüşmektedir. Bu durum FIrpic’in triplet enerji seviyesinden DCJTB’nin singlet enerji seviyesine bir Förster enerji transferinin gerçekleşebileceğini göstermektedir. Diğer yandan, PVK:OXD-7’in PL spektrumu ile DCJTB’nin soğurma spektrumunun örtüşmesinin az olması, PVK:OXD-7’den DCJTB’ye singlet enerji transferi olasılığını azaltmaktadır.



Şekil 5.1. Materyallerin film fazı soğurma ve PL spektrumları.

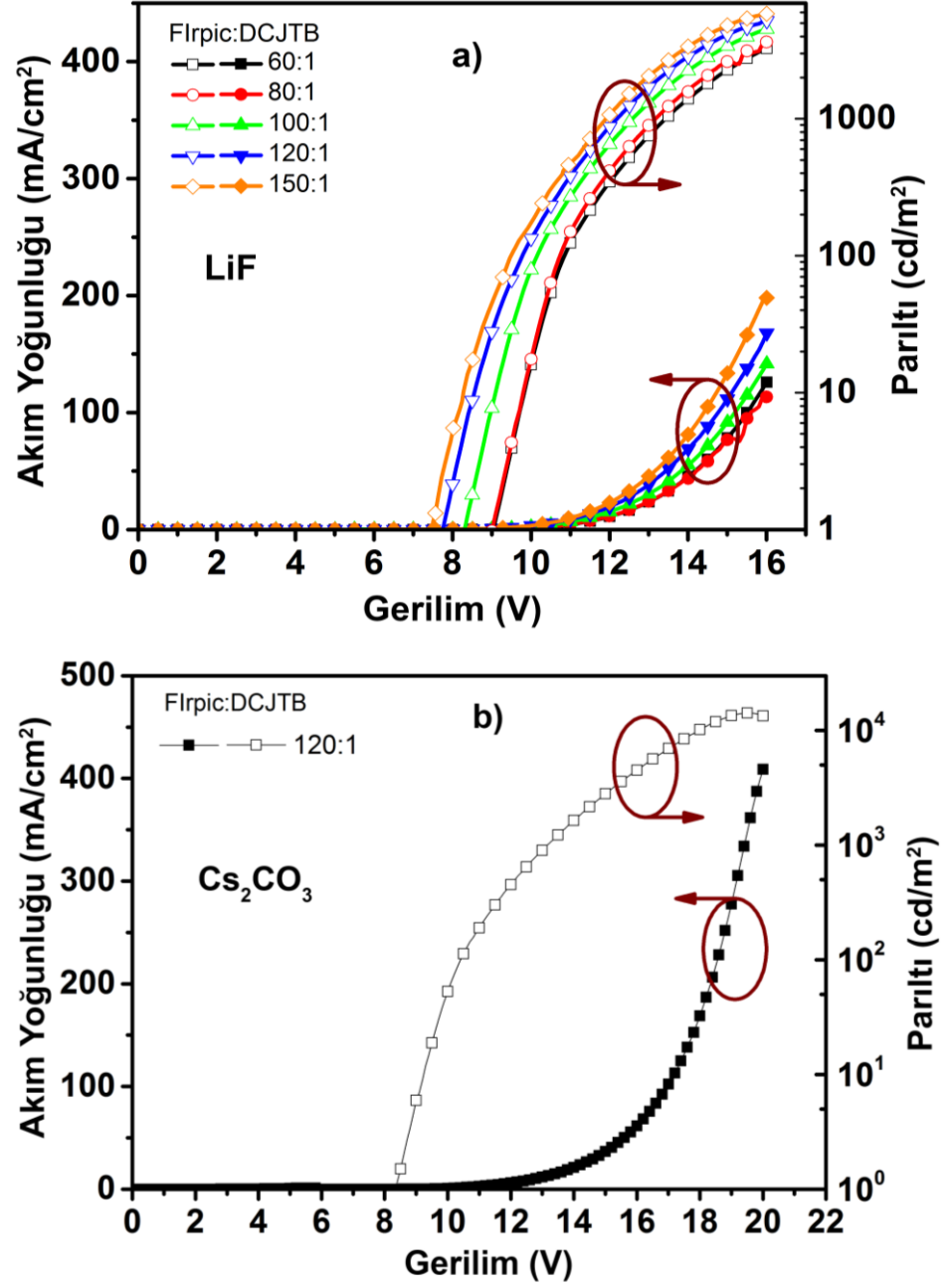
Elde edilen WOLED'lerin normalleştirilmiş EL spektrumları Şekil 5.2'de gösterilmiştir. EL spektrumları Ocean Optics Jaz spektrofotometresi ile elde edilmiştir. 475 nm'deki ana pik ile 500 nm'deki omuz Flrpic'in fosforesans ışımasıdır, 590 nm'deki pik ise DCJTB'nin floresans ışımasına aittir. DCJTB'nin katkılandırma oranının artmasıyla birlikte turuncu-kırmızı ışımının arttığı gözlenmektedir. PVK:OXD-7 matrisinden herhangi bir ışımının gelmemesi bu WOLED'lerde konak materyallerden konuk materyallere enerji transferinin tam anlamıyla gerçekleştiğini göstermektedir. Bununla birlikte, Flrpic içermeyen OLED'in (0:1) EL spektrumunda 450 nm'de PVK:OXD-7'ye ve 590 nm'de ise DCJTB'ye ait olan iki pik de gözlenmiştir. Bu durum, PVK:OXD-7'dan DCJTB'ye olan enerji transferinin Flrpic yokluğunda tamamlanmadığını göstermektedir. DCJTB içermeyen OLED'ten 475nm'de pik ve 500 nm'de omuz olacak şekilde mavi ışım alınmıştır.

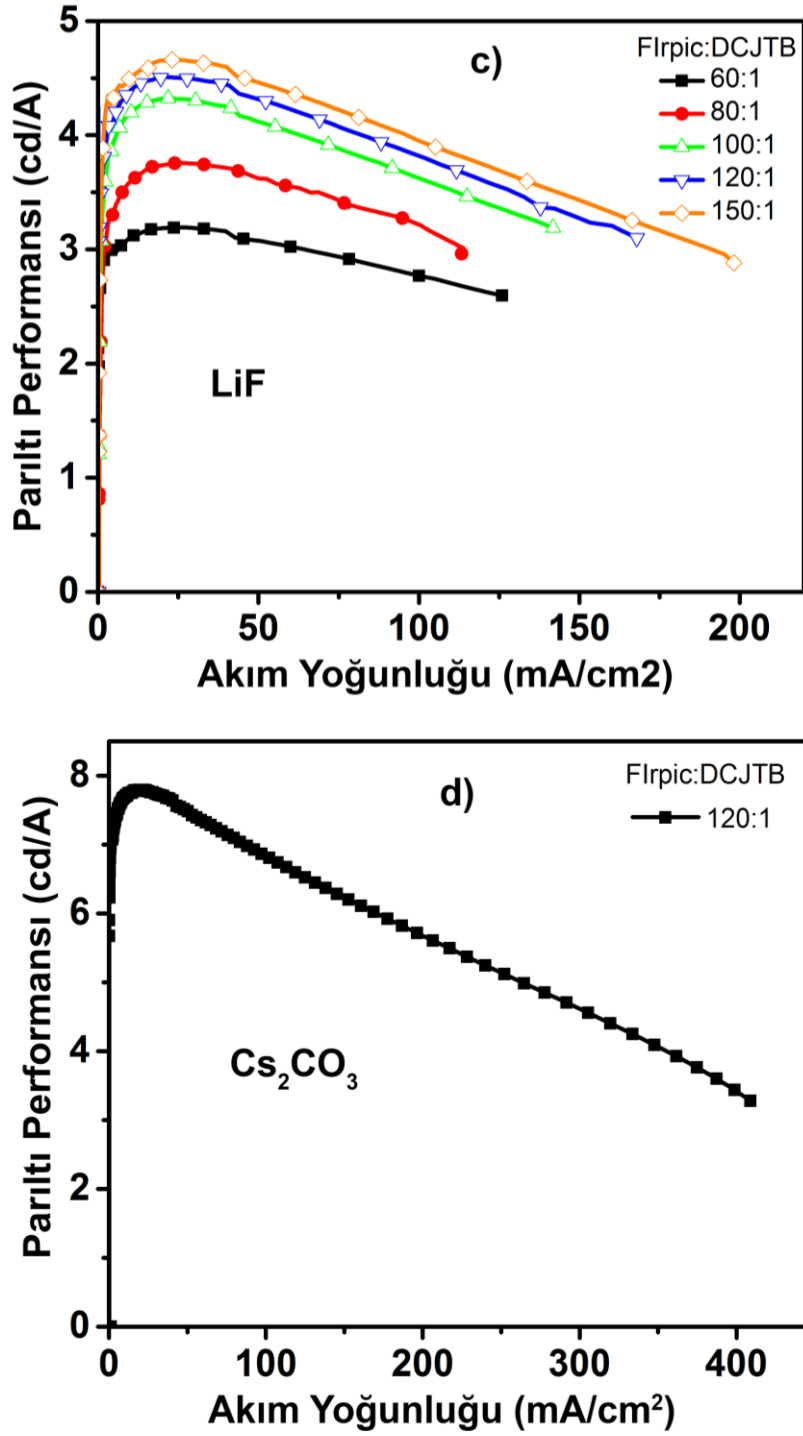


Şekil 5.2. Farklı Flrpic:DCJTB oranlarına sahip OLED'lerin 15 V gerilimdeki EL spektrumları.

Farklı DCJTB katkılandırma oranlarına sahip OLED'lerin akım yoğunluğu-gerilim (J - V) ve parlıltı-gerilim (L - V) karakteristikleri Şekil 5.3a ve Şekil 5.3c'de gösterilmiştir. Artan DCJTB katkılandırma oranı ile OLED'lerin çalışma gerilimleri ve aynı gerilimdeki akım yoğunlukları artış göstermiştir. DCJTB'nin yüksek HOMO ve LUMO seviyeleri (Şekil 4.1a) nedeniyle, DCJTB hem boşlukları hem de elektronları tuzaklamaktadır. Bu da elektron ve boşlukların direkt olarak

DCJTB içerisinde birleşmesine neden olarak elektron ve boşluk taşınımını azaltmakta ve böylece artan DCJTB oranı ile OLED'lerin sürülme gerilimlerinin artmasına neden olmaktadır.





Şekil 5.3. Farklı DCJTb katkılandırma oranlarına sahip OLED'lerin (a, c) ve 120:1 oranında FIrpic:DCJTb ve Cs₂CO₃ içeren OLED'in (b, d) akım yoğunluğu-gerilim (J-V) ve parlıltı-gerilim (L-V) karakteristikleri.

Literatürde Cs₂CO₃'ün verimli bir elektron enjeksiyon materyali olduğu ve bu nedenle OLED'lerde elektron enjeksiyonunu arttırıcı etkisini rapor eden bir çok çalışma yer almaktadır (Hasegawa et al., 2004; Wu et al., 2006). Bu durum, termal

vakum buharlaştırma sırasında Cs_2CO_3 'ün daha düşük iş fonksiyonuna sahip olan Cs metaline bozunması ile açıklanmaktadır (Y. Li et al., 2007). Bu çalışmada 120:1 FIrpic:DCJTB oranına sahip olan WOLED'te LiF yerine Cs_2CO_3 katmanı da kullanılmıştır. Elde edilen WOLED'ten 7.8 cd/A parlıtlı performansı ve 1.8 lm/W etkinlik faktörü elde edilmiştir (Şekil 5.3b ve Şekil 5.3d).

Çizelge 5.1. Katkılama oranına bağlı olarak değişen referans WOLED performansları.

<i>FIrpic:DCJTB Oranı</i>	<i>V_{turn-on}^a (V)</i>	<i>L_{maks} (cd/m²)</i>	<i>Maksimum Parıtlı Performansı (cd/A)</i>	<i>Maksimum Etkinlik Faktörü (lm/W)</i>	<i>CIE (x,y)^b</i>	<i>CCT</i>	<i>CRI</i>
80:1	9	3628	3.74	0.96	0.39, 0.43	4042	73
100:1	8.3	4522	4.32	1.16	0.37, 0.43	4451	71
120:1	7.8	5203	4.5	1.28	0.35, 0.43	4997	68
150:1	7.5	5854	4.65	1.36	0.34, 0.43	5448	67

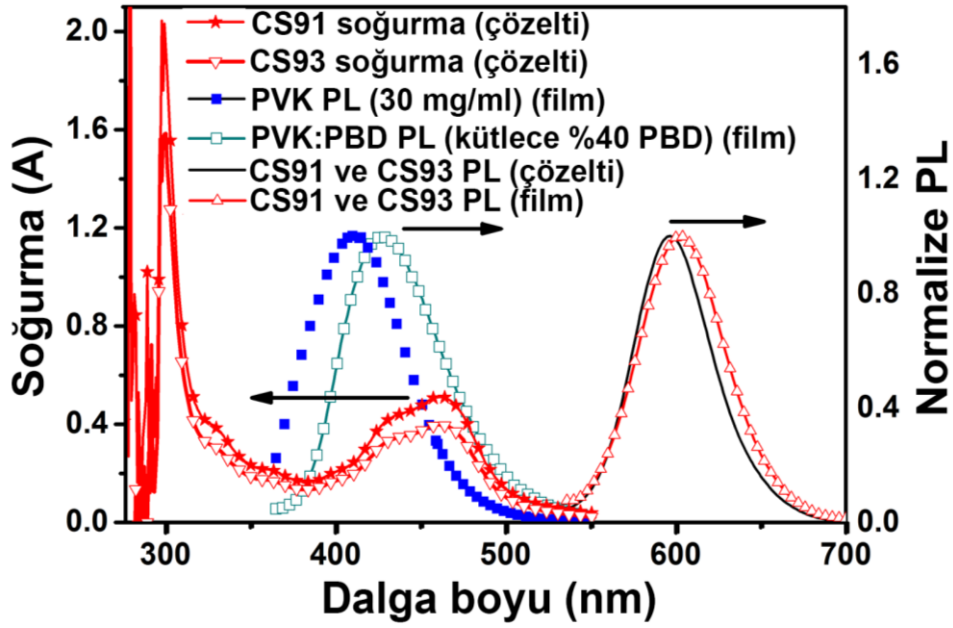
^a Çalışma gerilimi (1 cd/m² parlıtlı değerindeki gerilim).

^b 15V gerilimdeki Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) renk koordinatları.

5.2 Turuncu-Kırmızı Bileşen Olarak Rutenyum Kompleksleri

OLED'te kullanılan materyallerin 1,2-diklorobenzen ($\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$) içerisindeki ve film halindeki soğurma ve ışıma grafikleri Şekil 5.4'te verilmiştir. Her iki materyalin de soğurma spektrumları hemen hemen aynıdır. 297 nm'deki güçlü soğurma piki $\pi-\pi^*$ bpy ligandlarındaki ligand merkezli yük transferi geçişinden (LC) kaynaklanmaktadır. 380 nm ile 550 nm arasındaki geniş soğurma bandı ise metal ligand yük transferinden (MLCT) kaynaklanmaktadır (Crosby and Watts, 1971). Her iki kompleks de çözelti formunda 598 nm'de turuncu-kırmızı ³MLCT ışımasına sahiptir. Komplekslerin film fazı PL spektrumlarında $\pi-\pi$ yığılmasından kaynaklanan önemsiz bir derecede bir maviye gözlenmiştir. CS91 ve CS93'ün görece floresans kuantum verimleri (Φ_f) 1,2-diklorobenzen içerisinde literatürde yer alan formül ve referans olarak 4-(disiyanometilen)-2-metil-6-(4-dimetilaminostiril)-4H-piran (DCM) materyali ($\Phi_f^{\text{Metanol}} = 0.38$ at $\lambda_{uy} = 460$ nm) (Gryczynski et al., 1997) kullanılarak hesaplanmıştır (Williams et al., 1983).

Rutenyum komplekslerinin PL spektrumlarının oksijenden etkilendiği bilinmektedir (Chu and Yam, 2006; Payra and Dutta, 2003). Bu nedenle ölçüm öncesinde rutenyum çözeltilerinden 15 dakika boyunca azot gazı geçirilerek oksijen ortamdan uzaklaştırılmıştır. Komplekslerin hesaplanan görece kuantum verimleri sırasıyla 0.14 ve 0.16'dır.



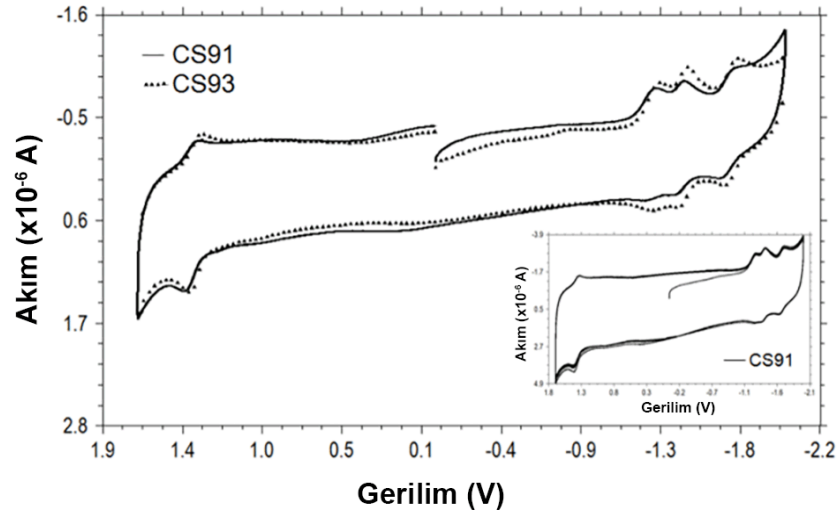
Şekil 5.4. CS91 ve CS93'ün 1,2-diklorobenzen içerisindeki soğurma ve PVK ve PVK:PBD ile birlikte normalize PL spektrumları.

Yük taşınımını dengeli bir şekilde yapabilen PVK:PBD karışımı bu çalışmada konak olarak seçilmiştir (Yingying et al., 2008). PVK:PBD karışımının PVK'ye göre PL spektrumundaki kırmızıya kaymanın nedeni okzadiazol ve karbazol gruplarının ekzipleks eğilimidir (Yap et al., 2009).

Çizelge 5.2. CS91 ve CS93'ün elektrokimyasal özellikleri.

Kompleks	$E_{\text{onset}_{\text{ox}}}$ (V)	$E_{\text{onset}_{\text{red1}}}$ (V)	E_{red2} (V)	E_{red3} (V)	HOMO (eV)	LUMO (eV)	Bant boşluğu (E_g)(eV)
CS91	1.33	-1.12	-1.42	-1.70	-5.64	-3.19	2.45
CS93	1.29	-1.16	-1.45	-1.73	-5.60	-3.15	2.45

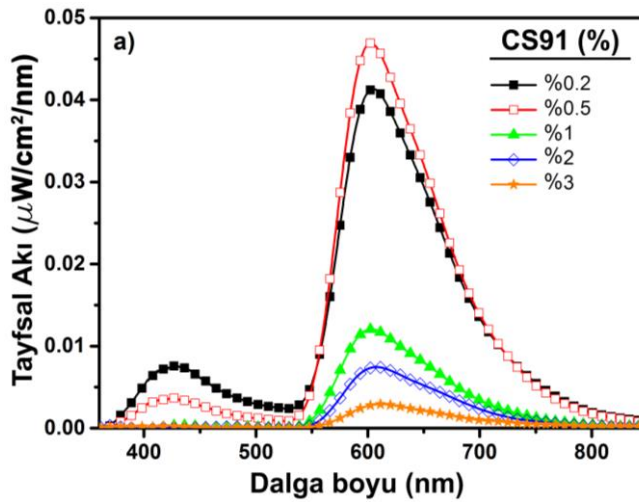
CS91 ve CS93'ün döngüsel voltammogramlarında bir adet tersinir yükseltgenme piki (1.33 V ve 1.29V) ve 3 adet indirgenme piki yer almaktadır (Şekil 5.5). Yükseltgenme pikleri Ru(II)/Ru(III) çiftine aittir. İndirgenme pikleri her iki pby ligandından ve alkil gruplarının yer aldığı bpy ligandlarından kaynaklanmaktadır. CS93'ün yükseltgenme ve indirgenme potansiyelleri 4,4'-dimetil-2,2'-bipiridin'in ilk ekzosiklik karbon atomuna bağlı dallanmış kırlangıç kanatlı alkil zinciri içeren CS91'e göre katodik bölgeye kaymıştır. Birinci yükseltgenme ve indirgenme piklerinin başlangıç noktaları ve referans olarak ferrosen kullanılarak komplekslerin HOMO-LUMO enerji seviyeleri belirlenmiştir (Çizelge 5.2) (Cardona et al., 2011). Mevcut sistemde ferrosen pikinin başlangıç noktası 0.49V'tur. CS91 ve CS93 için hesaplanan HOMO ve LUMO enerji seviyeleri sırasıyla 5.64 eV, 5.6 eV ve 3.19 eV, 3.16 eV'tur. Rutenyum komplekslerinin elektrokimyasal kararlılığını belirlemek için arka arkaya birkaç kere döngüsel voltammetri ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm sonucunda anodik veya katodik bölgede yükseltgenme ve indirgenme piklerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu da komplekslerin elektrokimyasal olarak kararlı olduğunu göstermektedir (Şekil 5.6 küçük resim).

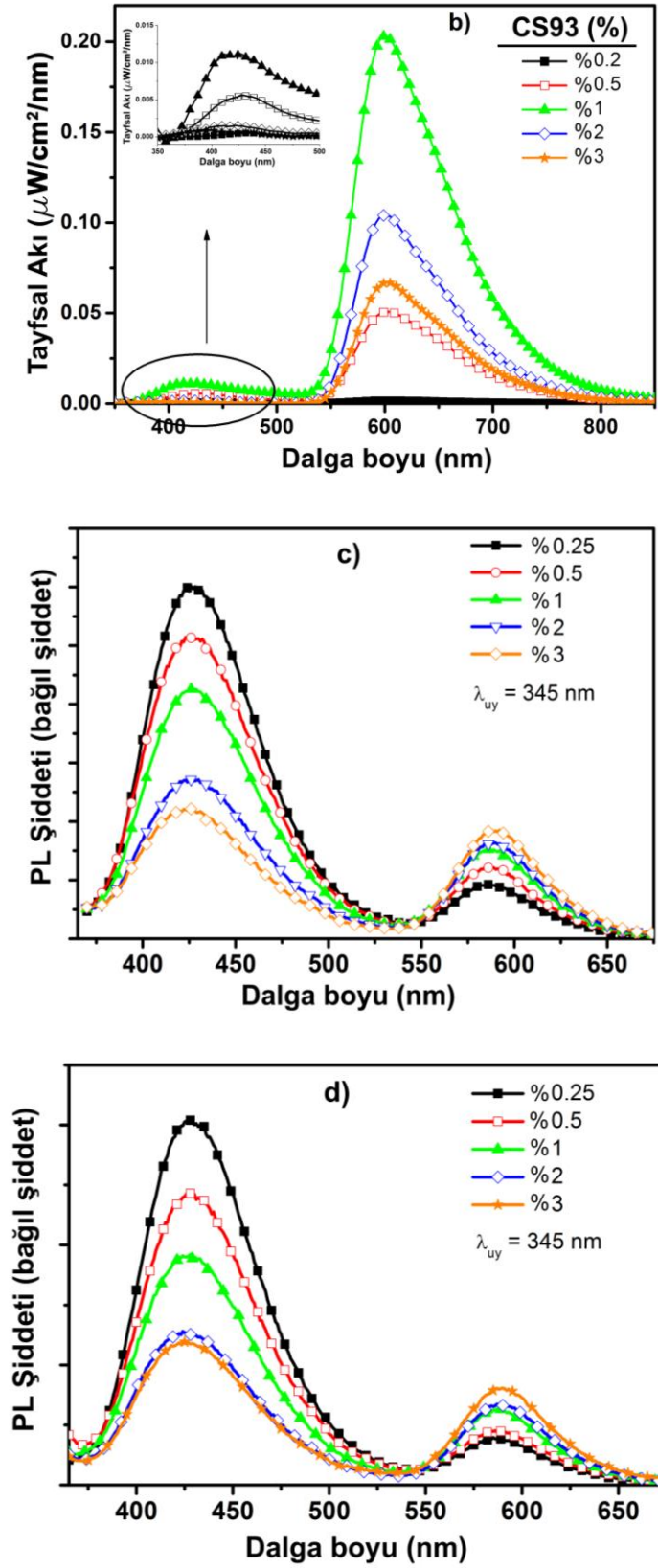


Şekil 5.5. CS91 ve CS93'ün döngüsel voltammogramları (iç resim: CS91'in arka arkaya 5 kere alınmış döngüsel voltammogramı) (tarama hızı: 100 mVs⁻¹).

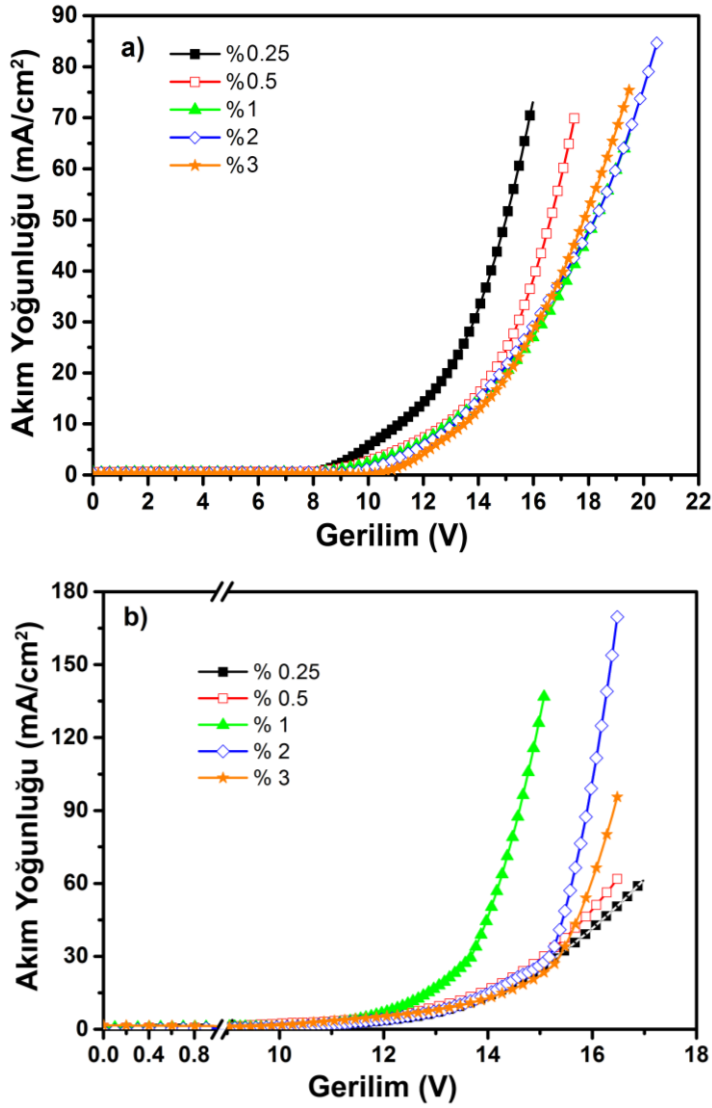
OLED'lerin EL spektrumları ve akım yoğunluğu – gerilim (J-V) grafikleri Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de verilmiştir. 600 nm civarındaki maksimum EL şiddeti CS93 katkılı OLED'lerde CS91 katkılı OLED'lere oranla 4 kat daha fazladır. 300-500 nm dalga boyu aralığında zayıf ışımaya PVK:PBD ekzipleks

ışımından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.6b’de 350-500 nm aralığı PVK:PBD ekzipleksinden kaynaklanan ışımaya şiddetinin her iki OLED’te de aynı olduğunu göstermek amacıyla genişletilmiş olarak gösterilmiştir. Her iki OLED’te de PVK:PBD ışımalarının tam olarak sönümlenmesi %1 katkılama oranında gerçekleşmektedir. OLED’lerin çalışma gerilimleri katkılandırma oranıyla birlikte artış göstermiştir. Bu da EL spektrumlarındaki sönümlenmenin PL spektrumuna göre daha fazla olmasının nedeninin yük tuzaklanması olduğunu göstermektedir. CS91 içeren OLED’lerde % 1 katkılamadan sonra akım yoğunluğu ve çalışma gerilimi değerlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Bununla birlikte, CS91 içeren OLED’lerin EL maksimum dalga boyları maviye kayma göstermektedir (Şekil 5.6). Bu da bpy ligandının birinci ekzosiklik karbon atomunda dallanmış alkil zinciri yer alması rutenyum komplekslerinin kümeleşmesini azaltmakta ve konak materyal ile uyumluluğunu arttırmakta olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, DSC termaogramlarında yapılan tartışma ile birlikte bu sonuç CS93 OLED’lerinden elde edilen yüksek akım yoğunluğu ile de desteklenmektedir (Chao et al., 2011).



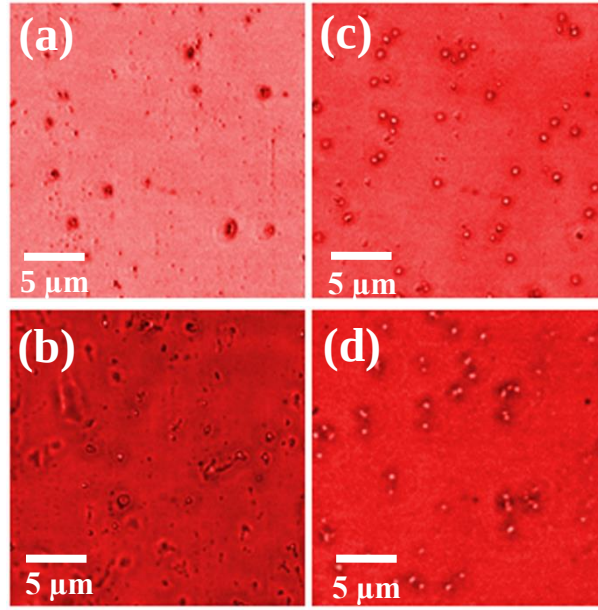


Şekil 5.6. CS91 (a) ve CS93 (b) içeren OLED'lerin 15 V gerilim altındaki EL spektrumları ve CS91 (c) ve CS93 (d) katkılı PVK:PBD ince filmlerinin PL spektrumları.



Şekil 5.7. CS91 (a) ve CS93 (b) içeren OLED'lerin J-V grafikleri.

Floresans mikroskobu, son yıllarda materyallerin fiziksel karakteristiklerini belirlemek için oldukça yaygın kullanılan bir teknik olmaya başlamıştır (Sekiguchi et al., 2009). Şekil 5.8'de %1 ve %3 CS91 ve CS93 katkılı PVK:PBD ince filmlerinin mavi ışık ($\lambda_{uy}=470-490\text{nm}$) altındaki floresans mikroskobu resimleri yer almaktadır. Bütün resimlerde kümeleşme açık bir şekilde görülmektedir. Bununla birlikte, CS91 katkılı filmlerde CS93'e göre daha fazla kümeleşmenin olduğu gözlenmiştir. Kümeleşme artan katkılandırma oranı ile birlikte artmaktadır. CS91 içeren OLED'lerin verimlerinin daha düşük olmasının nedeni faz ayrımı ve CS91 moleküllerinin kümeleşerek, bu kümelerin yük tuzaklama merkezleri olarak davranması olabilir.



Şekil 5.8. Kütlece a) %1, b) %3 CS91 katkılı ve c) %1, d) %3 CS93 katkılı PVK:PBD ince filmlerinin floresans mikroskobu resimleri.

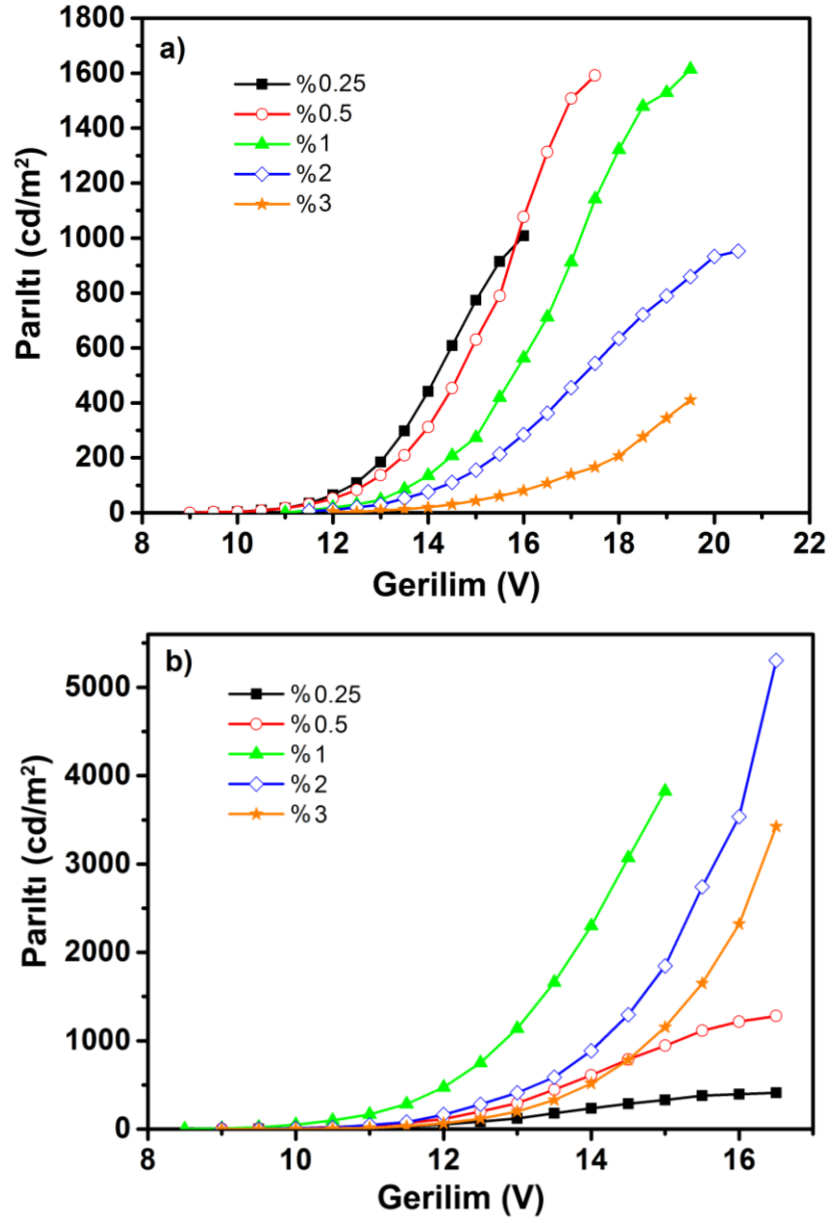
OLED'lerin performans karakteristikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. En yüksek parlıltı performansı (7.0 cd/A) ve etkinlik faktörü (1.7 lm/W) değerleri %1 CS93 katkılı OLED'lerden elde edilmiştir. Buna karşın %0.5 CS93 katkılı OLED'ten 2.8 cd/A parlıltı performansı ve 0.5 lm/W etkinlik faktörü elde edilmiştir. %1 CS93 katkılı OLED'ten elde edilen verimlilik değerleri literatürde yer alan benzer çalışmalara oranla oldukça iyidir (Kim et al., 2005; Tung et al., 2006; Xia et al., 2006). Yüksek çalışma ve sürme gerilimlerinin nedeni ışıma katmanının kalın olmasından (80 nm) ve PEDOT:PSS/PVK:PBD ara yüzeyindeki yüksek boşluk bariyerinden kaynaklanıyor olabilir (Ho et al., 2007). Elde edilen çalışma ve sürme gerilimleri literatürde yer alan benzer çalışmalara benzer veya daha düşüktür (Xia et al., 2006; Xia et al., 2004; Yang et al., 2004; Yingying et al., 2008). Bütün OLED'ler turuncu-kırmızı ışıma yapmaktadırlar ve değişen gerilimle birlikte CIE koordinatları değişmemektedir.

Çizelge 5.3. CS91 ve CS93 katkılama oranına göre değişen OLED performans karakteristikleri.

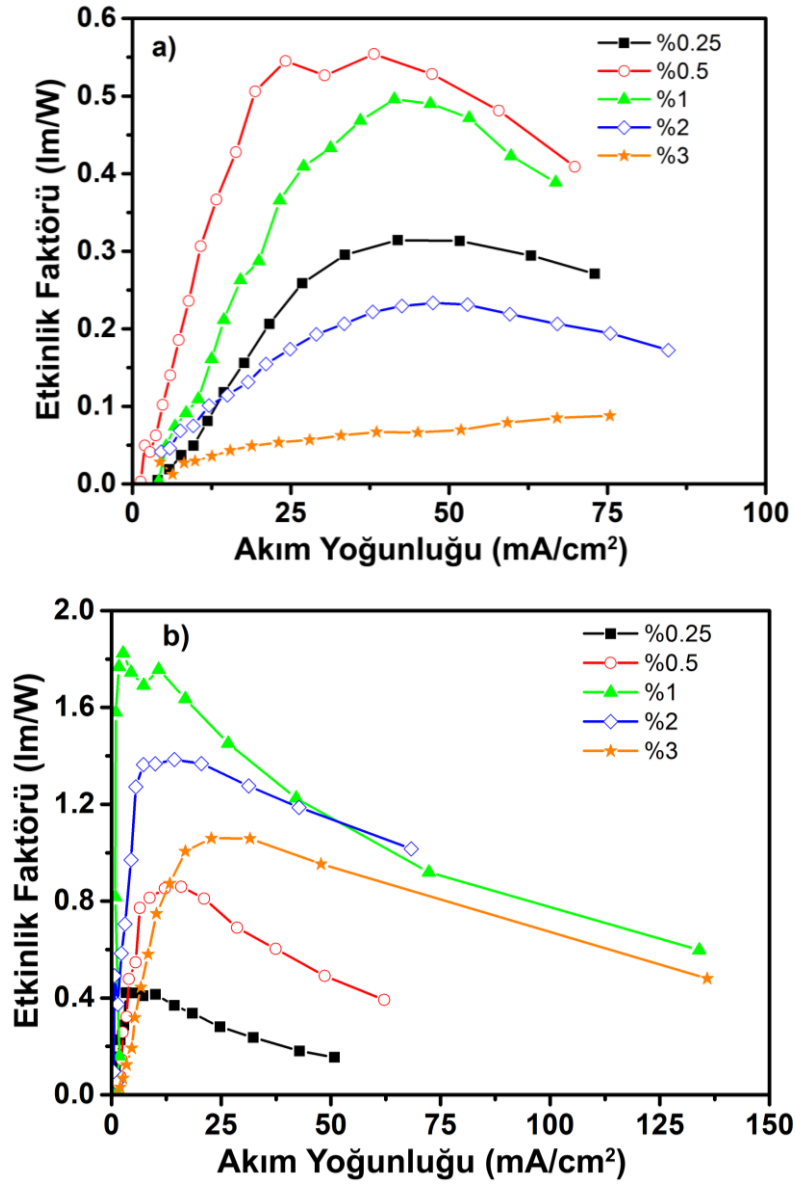
	Parıltı [cd/m ²]		Parıltı performansı [cd/A]		Etkinlik faktörü [lm/W]		Kuantum verimi [%]		Çalışma gerilimi [V]		$\lambda_{\max}$ [nm] ^a CIE (x, y)	
	CS91	CS93	CS91	CS93	CS91	CS93	CS91	CS93	CS91	CS93	CS91	CS93
Kütlece oran [%]												
0.25	1157	395	1.4	1.8	0.3	0.4	0.1	0.12	9.0	9.5	427, 603 (0.53,0.35)	427, 600 (0.44,0.31)
0.50	1507	1215	2.8	3.6	0.5	0.8	0.17	0.21	9.2	9.0	427, 603 (0.56,0.37)	427, 600 (0.55,0.37)
1	1529	3824	2.7	7.0	0.4	1.7	0.13	0.39	11.0	8.5	427, 603 (0.59,0.38)	427, 600 (0.57,0.39)
2	789	3536	1.2	5.8	0.2	1.3	0.07	0.34	11.2	8.7	607 (0.60,0.38)	600 (0.59,0.39)
3	344	3426	0.3	3.2	0.07	0.7	0.03	0.2	11.5	9.8	612 (0.61,0.37)	600 (0.59,0.39)

^a: 15 V gerilim altındaki değerler.

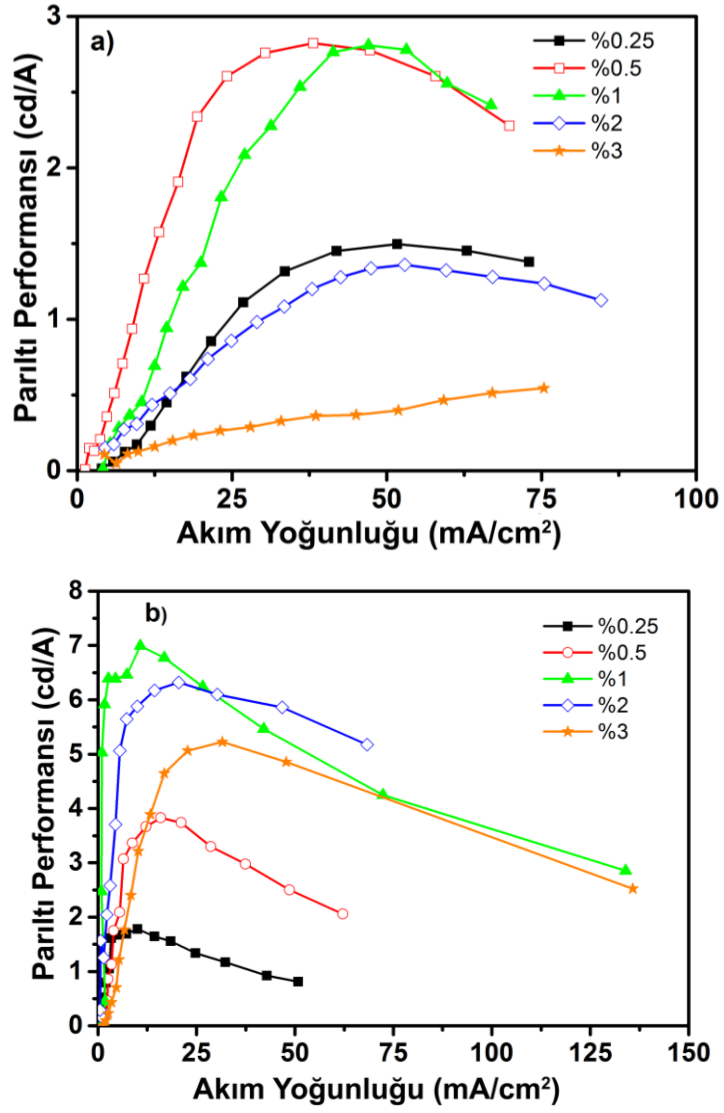
OLED'lerin parıltı-gerilim (L-V), etkinlik faktörü ve parıltı performansı - akım yoğunluğu grafikleri Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de verilmiştir. CS91 içeren OLED'ler ile karşılaştırıldığında, CS93 içeren OLED'lerden daha yüksek parıltı, parıltı verimi ve etkinlik faktörü değerleri elde edilmiştir. CS93 içeren OLED'lerin etkinlik faktörü ve parıltı performansları artan akım yoğunluğu ile birlikte CS91 içeren OLED'lere göre daha hızlı düşmektedir. Bu durum, triplet-triplet (T-T) sönmelenmesinin ve elektrik alana bağımlı sönmelenme etkilerinin artmasından kaynaklanmaktadır (Xia et al., 2006). Bununla birlikte, %1 CS93 katkılı OLED'te yüksek akım yoğunluklarında bile etkinlik faktörü değerleri en iyi verime sahip CS91 içeren OLED'ten daha yüksektir. Bu da CS93'ün CS91'e göre daha iyi bir ışınım materyali olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.9. a) CS91 ve b) CS93 içeren OLED'lerin parıltı-gerilim grafikleri.

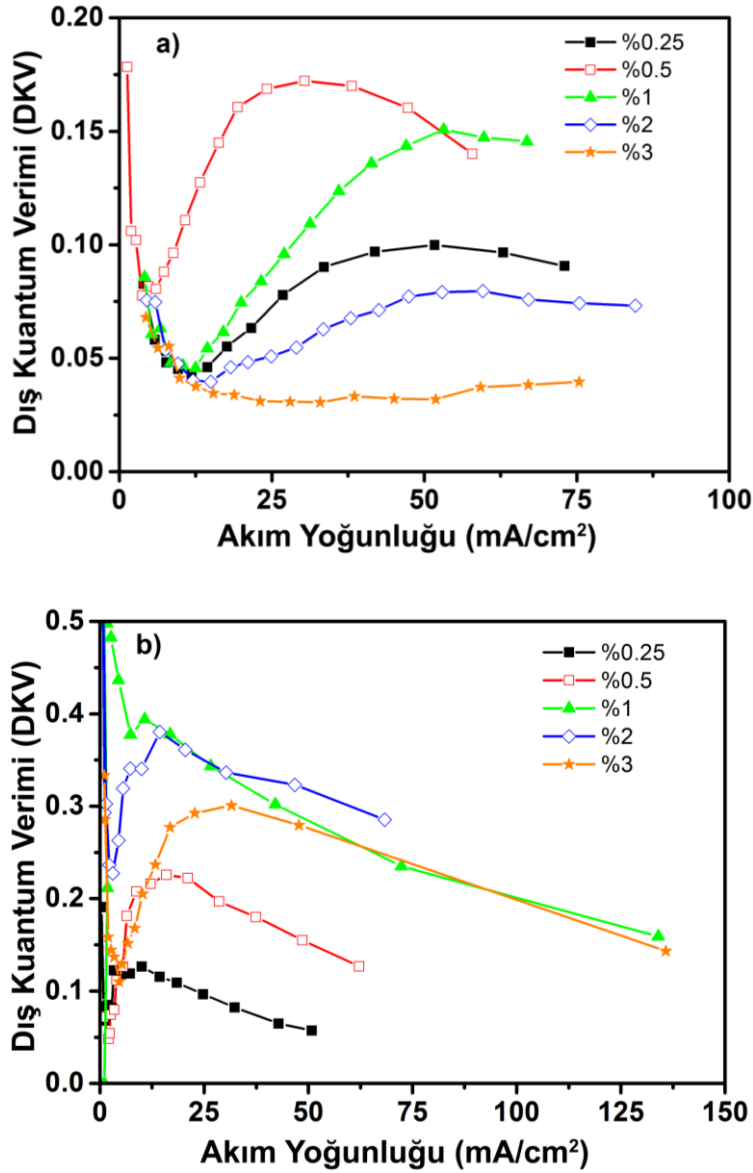


Şekil 5.10. a) CS91 ve b) CS93 içeren OLED'lerin etkinlik faktörü-akım yoğunluğu grafikleri.



Şekil 5.11. a) CS91 ve b) CS93 içeren OLED'lerin parıltı performansı-akım yoğunluğu grafikleri.

Şekil 5.12'de OLED'lerin dış kuantum verimi grafikleri yer almaktadır. % 0.5 katkılı CS91 içeren OLED'ten ve % 1 katkılı CS93 içeren OLED'ten sırasıyla % 0.17 ve % 0.39 dış kuantum verimi elde edilmiştir. Her iki OLED'in DKV'lerindeki yavaş düşüşün nedeni bipridil ligandlarındaki alkil zincirinin kimyasal uyumluluğu artırarak ve rutenyum moleküllerinin PVK:PBD içerisinde homojen dağılımını sağlayarak T-T sönmelenmesini azaltması olabilir (Xia et al., 2006). CS93 içeren OLED'lerden daha yüksek DKV elde edilmesi alkil zincirinin bipiridil ligandının ilk ekzosiklik karbon atomundan bağlı olması sayesinde kümeleşmeyi ve kendi kendine sönmelenmeyi azaltmasına bağlanmaktadır.



Şekil 5.12. a) CS91 ve b) CS93 içeren OLED’lerin dış kuantum verimi grafikleri.

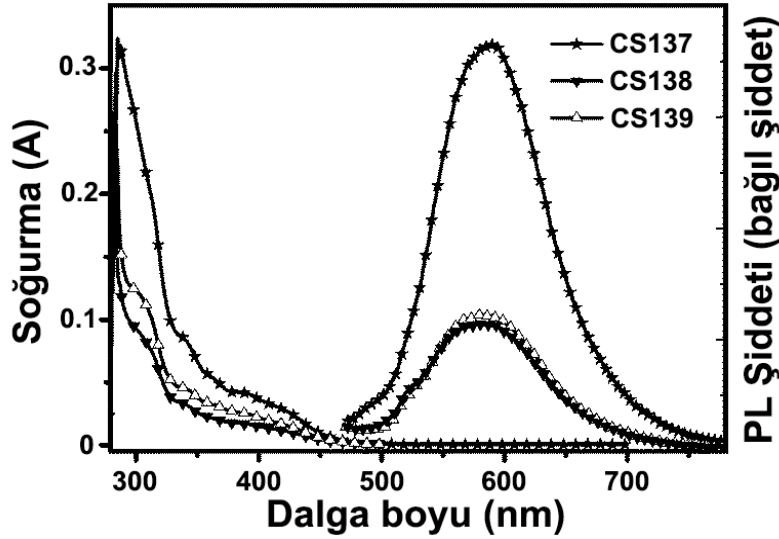
Sonuç olarak, çalışmanın bu kısmında iki yeni rutenyum kompleksinin fotofiziksel, termal ve elektrokimyasal çalışmaları ve ITO/PEDOT:PSS/PVK:PBD(%40):%x CSy/TPBi/Ca/Al yapısındaki OLED’te konak malzeme olarak kullanılmaları ile elektrokimyasal özellikleri ve OLED performans etkileri araştırılmıştır. Farklı alkil zincirlerinin komplekslerin soğurma ve PL özelliklerinde önemli bir değişikliğe yol açmamış olmasına rağmen, bipiridil ligandının ilk ekzosiklik karbon atomunda kıvrangıç kanatlı alkil zinciri içeren rutenyum kompleksinin (CS93) kullanıldığı OLED’lerde verim değerleri 2 katından daha fazla artış göstermiştir. Bu çalışma bir uluslararası kongrede bildiri olarak sunulmuş ve Dyes and Pigments 95 (2012) 23-32 adresinde yayınlanmıştır.

5.3 Sarı Bileşen Olarak İridyum Kompleksleri

Komplekslerin klorobenzen içerisindeki soğurma ve PL spektrumları ve ilgili datalar sırasıyla Şekil 5.13'te ve Çizelge 5.4'te gösterilmektedir. Komplekslere ait soğurma bantları 305 nm'de yer almaktadır ve bu bantlar 2-fenilpiridin ve bipiridin üzerinde okalize olmuş ligand merkezli durum (^1LC) geçişlerinden kaynaklanmaktadır. 341 ve 400 nm arasındaki bantlar singlet'ten singlet'e metal ligand geçişinden (^1MLCT) kaynaklanmaktadır. Soğurma spektrumundaki 475 nm'ye kadar uzayan kuyruk ise spin-orbit etkileşiminden kaynaklanan triplet'ten triplet'e metal ligand geçişi (^3MLCT) ile ^1MLCT geçişinden kaynaklanmaktadır (Zhang et al., 2006). Kompleksler benzer PL spektrumuna sahip olmakla birlikte, CS137 590 nm'de, CS138 ve CS139 586 nm'de maksimum dalga boylu sarı ışıma sahiptirler. Komplekslerin PL kuantum verimleri (Φ_{PL}) $[Ru(bpy)_3](PF_6)_2$ (bpy:bipiridin) ($\Phi_{PL} = 0.095$, asetonitril) referansına göre hesaplanmıştır (Knight et al., 2010). Hesaplanan kuantum verimleri CS137 için 0.72 ve CS138 ve CS139 için ise 0.63 olarak bulunmuştur. CS138 ve CS139'un CS137'ye göre daha düşük kuantum verimine sahip olmalarının sebebi, uyarılmış durumda, dallanmış alkil zincirlerindeki metilen grubunun dönmesi nedeniyle ışımasız geçişlerin arması olabilir (Mydlak et al., 2010). Komplekslerin uyarılmış hal ömürleri (τ), oksijenin argon gazı ile uzaklaştırıldığı klorobenzen çözeltisi içerisinde 472 nm uyarımında darbeli diyot lazeri kullanılarak belirlenmiştir. Ömür değerleri, kompleksler arasında önemli bir farklılık olmamakla birlikte, CS137 için 0.15 μs ve CS138 ve CS139 için 0.12 μs olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler literatür ile uyumludur (Neve et al., 2004).

Çizelge 5.4. CS137, CS138 ve CS139'un komplekslerinin soğurma ve ışıma dataları.

Kompleksler	$\lambda_{maks}^{soğ}$ (nm)	λ_{maks}^{em} (nm)	Φ_{PL}	$\tau(\mu s)$
CS137	310, 341, 412	590	0.72	0.15
CS138	306, 342, 412	586	0.63	0.12
CS139	304, 342, 412	586	0.63	0.12

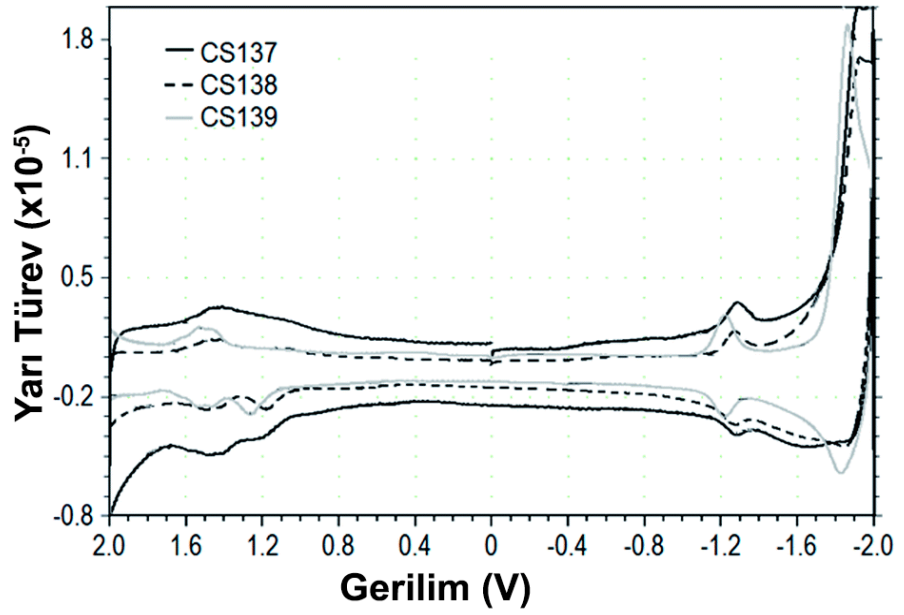


Şekil 5.13. İridyum komplekslerinin klorobenzen içerisindeki çözeltilerinin ($5 \times 10^{-5} \text{M}$) oda sıcaklığındaki soğurma ve PL spektrumları. (PL için uyarma dalga boyları komplekslerin en düşük MLCT maksimumlarıdır).

İridyum komplekslerinin elektrokimyasal verileri Çizelge 5.5'te verilmiştir. CS137 ve CS138'in döngüsel voltammogramlarında (Şekil 5.14) iki yükseltgenme ve iki indirgenme piki gözlenmiştir. 1.03 ve 1.31 V gerilimlerindeki yükseltgenme pikleri sırasıyla iridyum metale ve 2-fenilpiridin'in fenil kısmına aittir (Salinas et al., 2011; Tsuboi and Aljaroudi, 2007). -1.12 ve -1.63 V gerilimlerinde gözlenen indirgenme pikleri bipiridin ve 2-fenilpiridin ligandlarının piridin kısmına aittir (Neve et al., 2004). CS139'un redoks potansiyelleri donor özelliği daha az olan L_3 ligandından dolayı anodik kısma kayma göstermiştir (Oner et al., 2012).

Çizelge 5.5. CS137, CS138 ve CS139'un elektrokimyasal verileri.

Kompleks	E_{ox1} (V)	E_{ox2} (V)	E_{red1} (V)	E_{red2} (V)	HOMO (eV)	LUMO (eV)	Bant Boşluğu (ΔE_g)(V)
CS137	1.03	1.31	-1.13	-1.65	-5.37	-3.21	2.16
CS138	1.02	1.31	-1.12	-1.63	-5.36	-3.22	2.14
CS139	1.09	1.37	-1.07	-1.61	-5.43	-3.27	2.16



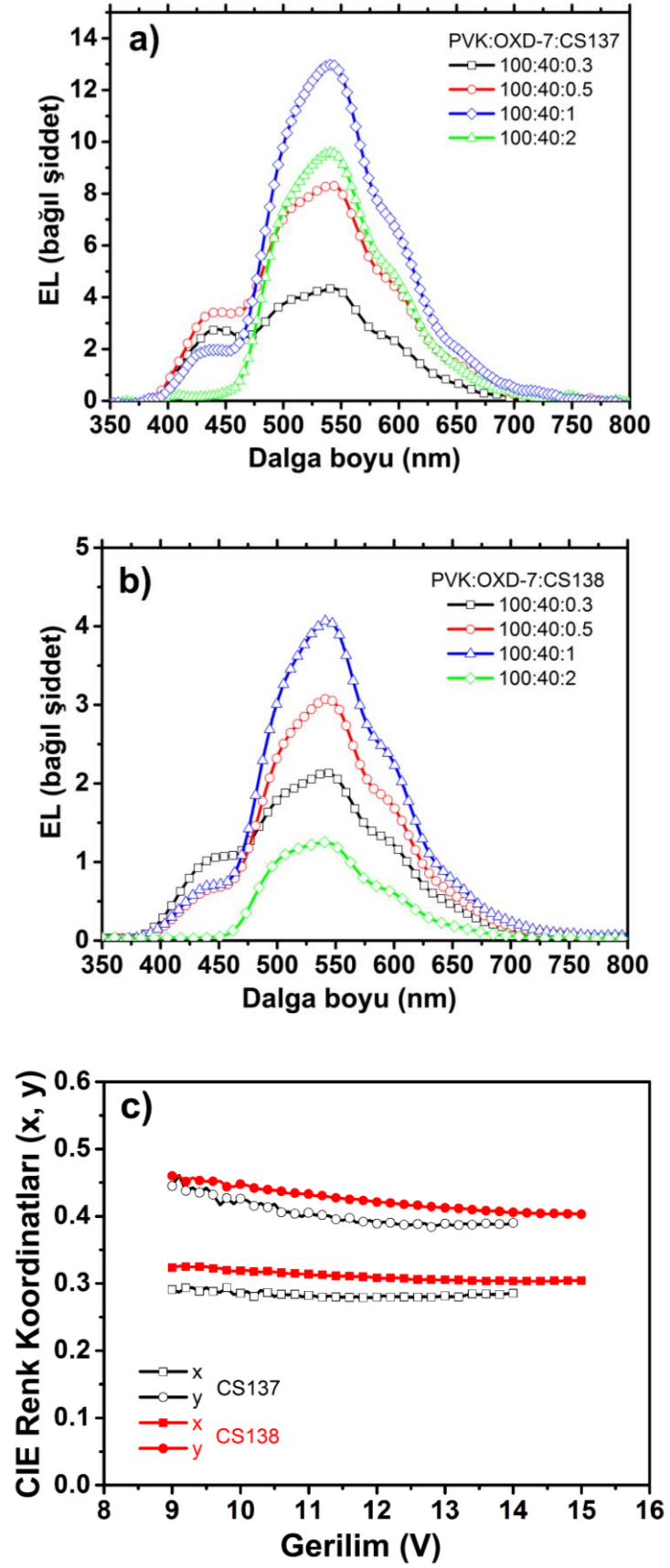
Şekil 5.14. CS137, CS138 ve CS139'un yarı türevi alınmış döngüsel voltammogramları.

Komplekslerin hesaplanan HOMO ve LUMO enerji seviyeleri -5.37 – (-5.43) eV ve -3.21-(-3.27) eV aralığındadır ve bu değerler, onların ITO/PEDOT:PSS/PVK:OXD-7:CSX/Cs₂CO₃/Al yapısındaki OLED'te konak malzeme olarak rahatlıkla kullanılabileceklerini göstermektedir.

CS137 ve CS138, bağlı olan alkil gruplarının daha yüksek sterik engelli yapısından dolayı CS139'a göre ITO üzerinde daha iyi ince film oluşturmaktadırlar. Bu nedenle OLED çalışmasında CS137 ve CS138 kullanılmıştır. OLED çalışmalarında, PVK yüksek camısı geçiş sıcaklığı ($T_g=160$ °C), dolayısı ile yüksek termal dayanımı ve boşluk transferi özelliği nedeniyle konak materyal olarak tercih edilmiştir (Jankus and Monkman, 2011). Elektron taşıyıcı materyal olan OXD-7 ise ışıma katmanına elektron taşınımını kolaylaştırması açısından tercih edilmiştir (Yang et al., 2006).

İridyum kompleksleri EL performanslarını ve özelliklerini belirlemek amacıyla, OLED'in ışıma katmanında PVK:OXD-7 karışımına farklı oranlarda katkılanarak kullanılmışlardır. Komplekslerin PVK:OXD-7:CS137 ve PVK:OXD-7:CS139 içerisindeki ağırlıkça oranları 100 : 40 : 0.3, 100 : 40 : 0.5, 100 : 40 : 1 ve 100 : 40 : 2 şeklindedir. Elde edilen OLED'lerin yapısı ve kullanılan materyallerin kimyasal yapıları Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

OLED'lerin 14 V gerilimdeki EL spektrumları Şekil 5.15a ve Şekil 5.15b'de gösterilmektedir. EL spektrumlarında 437 nm ve 540 nm'de iki ana pik gözlenmiştir. Bu pikler sırasıyla PVK:OXD-7 ve komplekslere aittir. OLED'lerin EL karakteristikleri Çizelge 5.6'da verilmiştir. Katkılama oranının artmasıyla birlikte EL spektrumunda iridyum komplekslerinden gelen sarı ışığa şiddetinde artış gözlenmektedir. Bununla birlikte, katkılama oranının azaltılması sayesinde CIE renk koordinatı 0.28, 0.39 gerçek beyaz rengin renk koordinatına (0.33, 0.33) oldukça yakın olan beyaz rengin elde edilmesi sağlanmıştır. He ve arkadaşları iki çekirdekli bir iridyum kompleksini tris(4-karbazol-9-ylfenil)amin (TCTA) konak materyali içerisinde bir OLED'te kullanmışlar ve bu çalışmada da olduğu gibi konak materyalin ve iridyum kompleksinin aynı anda ışınması sayesinde beyaz ışık elde etmişlerdir. Ancak elde etmiş oldukları OLED'in CIE renk koordinatları uygulanan gerilimle birlikte değişim göstermektedir ve artan akım yoğunluklarındaki verim düşüşü oldukça fazladır (He et al., 2014). A1 ve B1 OLED'lerinin gerilime bağlı renk kararlılığı Şekil 5.15c'de gösterilmiştir. OLED'lerin 9V ile 15V arasındaki renk koordinatları daima beyaz renk bölgesinde yer almaktadır. Diğer bir yandan ağırlıkça oranı 100:40:0.3 olacak şekilde CS137 ve CS138 içeren OLED'lerinin verimliliği diğer OLED'lere göre daha düşüktür.



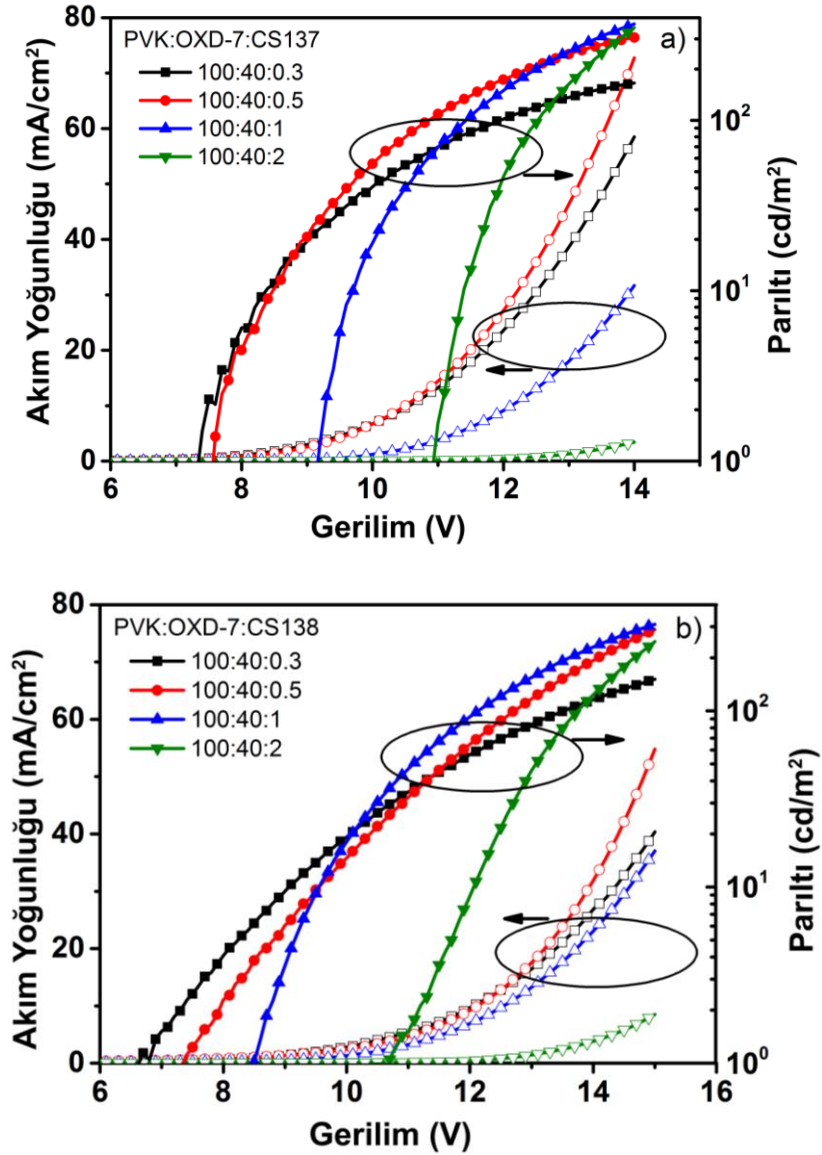
Şekil 5.15. a) A1-A4 OLED'lerinin, b) B1-B4 OLED'lerinin 14V gerilimdeki EL spektrumları ve c) A1 ve B1 OLED'lerinin gerilime bağlı CIE renk koordinatları.

Çizelge 5.6. Ağırlıkça farklı oranlarda iridyum içeren OLED’lerin EL karakteristikleri.

OLED	Ağırlıkça Oran	$V_{\text{turn-on}}$ [V]	L_{maks}^a [cd m ⁻²]	Parıltı performansı [cd A ⁻¹] ^a	Etkinlik Faktörü [lm W ⁻¹] ^a	CIE ^b (x, y)
A1	100:40:0.3	7.4	165	0.68	0.25	0.28, 0.39
A2	100:40:0.5	7.6	306	0.86	0.29	0.30, 0.43
A3	100:40:1	9.2	367	1.86	0.54	0.33, 0.51
A4	100:40:2	11	350	2.5	0.6	0.34, 0.54
B1	100:40:0.3	6.8	150	0.7	0.25	0.30, 0.40
B2	100:40:0.5	7.5	289	0.7	0.2	0.33, 0.47
B3	100:40:1	8.5	310	1.46	0.44	0.34, 0.48
B4	100:40:2	10.7	246	3.28	0.78	0.34, 0.53

^a Maksimum değerler. ^b CIE renk koordinatları (CS137 OLED’leri için 14V’taki, CS138 OLED’leri için 15V’taki değerler).

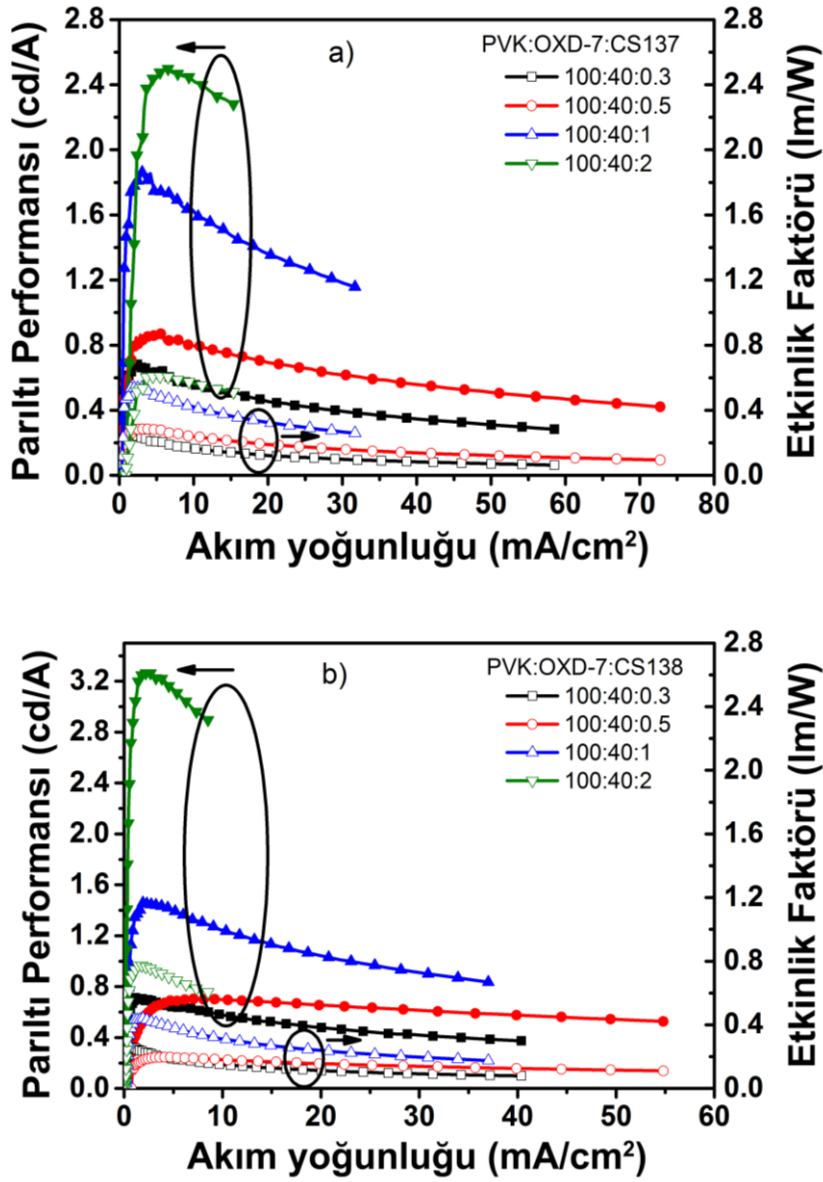
Şekil 5.16’da OLED’lerin parıltı-gerilim-akım yoğunluğu eğrileri yer almaktadır. OLED’lerin çalışma gerilimleri 7-11V arasındadır ve katkılama oranı artışı ile birlikte çalışma gerilimlerinde artış gözlenmektedir. Yüksek çalışma gerilimleri PEDOT:PSS/PVK ($\text{HOMO}_{\text{PVK}} = \sim 5.9$ eV, $\text{HOMO}_{\text{PEDOT:PSS}} = \sim 5.2$ eV) arayüzeyindeki boşluk bariyerinin yüksek ve ışıma katmanının kalın olmasından (80 nm) kaynaklanıyor olabilir (Ho et al., 2007). Şekil 5.17’de gösterildiği gibi, A4 ve B4 OLED’leri en yüksek parıltı performansına (2.5 cd A⁻¹ ve 3.3 cd A⁻¹) ve etkinlik faktörüne (0.6 lm W⁻¹ and 0.8 lm W⁻¹) sahiptirler. Bu OLED’lerin EL spektrumları 450-700 nm dalga boyları arasında komplekslerden kaynaklanan şiddetli ışıma pikine sahiptirler (Şekil 5.15a ve Şekil 5.15b).



Şekil 5.16. a) A1-A4 ve b) B1-B4 OLED'lerinin parlıltı-gerilim-akım yoğunluğu karakteristikleri. (Dolu semboller parlıltı değeri için, boş semboller ise akım yoğunluğu içindir).

Tez çalışmasının bu aşamasında incelenen her üç kompleks de benzer ışımaya sahip olmalarına rağmen bipiridin ligandı üzerinde metilen grubu içeren kompleksin ışıma şiddetinde ve kuantum veriminde azalma gözlenmiştir. Bununla birlikte, CS137 ve CS138 kompleksleri kullanılarak ıslak kaplama tekniği ile hazırlanan OLED'lerden 0.8 lm W^{-1} (3.3 cd A^{-1}) verim değerlerine sahip sarı renkte ışık elde edilmiştir. Buna ek olarak, katkılama konsantrasyonunun azaltılması ile PVK:OXD-7'in mavi ışıması ile birlikte, OLED'lerden 0.26 lm W^{-1} (0.7 cd A^{-1}) verim değerine sahip beyaz ışık elde edilebilmiştir. Bu değerlerin, referans alınan WOLED sisteminden elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında düşük olduğu

görülmüştür. Bu nedenle alan büyütme çalışmalarına referans WOLED ile devam edilmiştir.



Şekil 5.17. a) A1-A4 ve b) B1-B4 OLED’lerinin verimlilik-akım yoğunluğu karakteristikleri.

(Dolu semboller parıltı performansı için, boş semboller ise etkinlik faktörü içindir).

5.4 Referans WOLED Kullanılarak Büyük Alan WOLED Hazırlığı

5.4.1 Dönü Kaplama Yöntemi İle Alan Büyütme

Şekil 5.18’de ITO/PEDOT:PSS/PVK:OXD-7:FIrpic:DCJTb (120:1)/TPBi/Cs₂CO₃/Al yapısına ve 12x12 mm² aktif alana sahip WOLED’in farklı gerilimlerdeki EL spektrumu, parlıltı-gerilim (L-V) ve CIE renk koordinatları verilmiştir. Bu WOLED’ten ~0.4 lm/W etkinlik faktörü ve ~1.2 cd/A parlıltı performansı elde edilmiştir (Çizelge 5.7). WOLED’in karakterizasyonu fiber optik kablo ile yüzey normalinden gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle toplam ışıık ölçülememiş olup sadece fiber optik kablonun görüyor olduğu alandan ışıık ölçümü gerçekleştirilmiştir. EAE Aydınlatma laboratuvarlarında var olan 30 cm çaplı entegre küre ile gerçekleştirilen ölçümler (Şekil 5.19) sonucunda ise bu WOLED’in 10 mA akım altında 31.60 lm/W verimliliğe sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5.8).

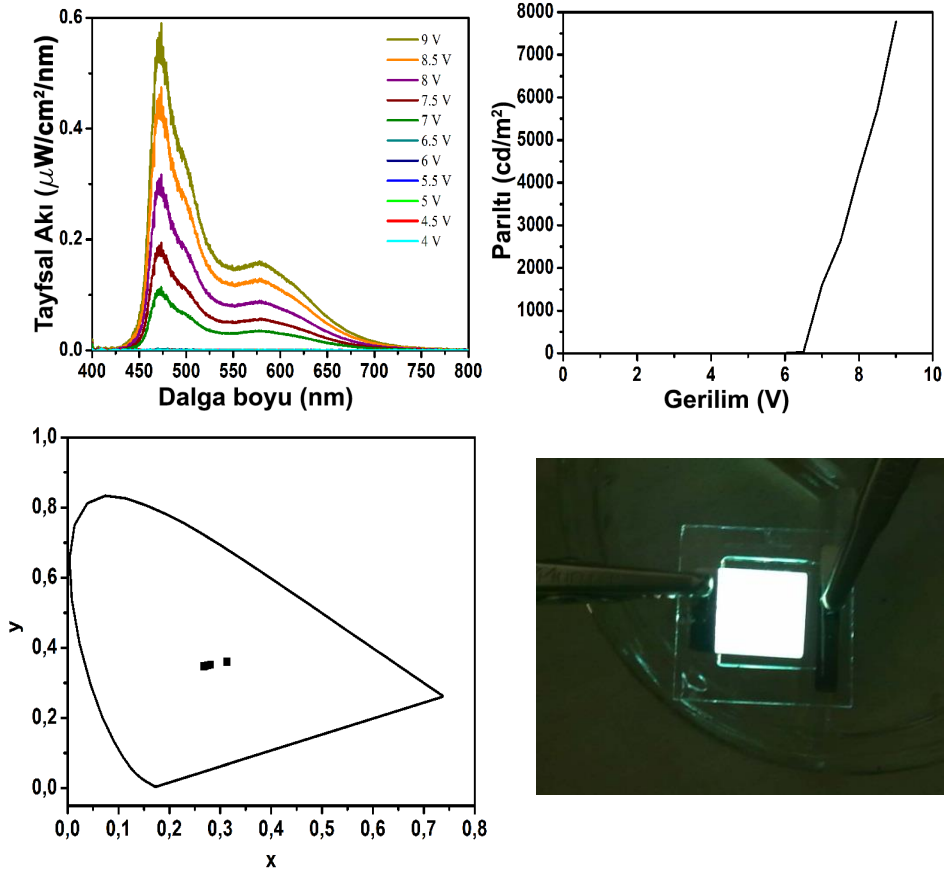
Çizelge 5.7. 12mm x 12mm aktif alanlı WOLED’in performans değerleri

Oran	Çalışma Gerilimi ^a (V _{turn-on})	Parlıltı (cd m ⁻²) ^b	Etkinlik Faktörü ^c (lm W ⁻¹)	Parlıltı performansı ^c (cd A ⁻¹)	CIE (x,y) ^d	Renk Sıcaklığı (K)
120:1	6.5	7700 [9]	0.4 [7]	1.2 [7]	0.27, 0.35	8000

^a: 1 cd m⁻² deki gerilim

^b: maksimum değerler

^d: 10 V gerilimdeki değerler



Şekil 5.18. 12mm x12 mm aktif alanlı WOLED'in EL spektrumu, parıltı-gerilim ve CIE renk koordinatı grafiği ve fotoğrafı.



Şekil 5.19. EAE aydınlatma laboratuvarlarında yapılan ölçümler sırasında çekilen fotoğraflar.

Çizelge 5.8. 19mm x 8.5mm aktif alanlı WOLED'in farklı akım altındaki performans değerleri.

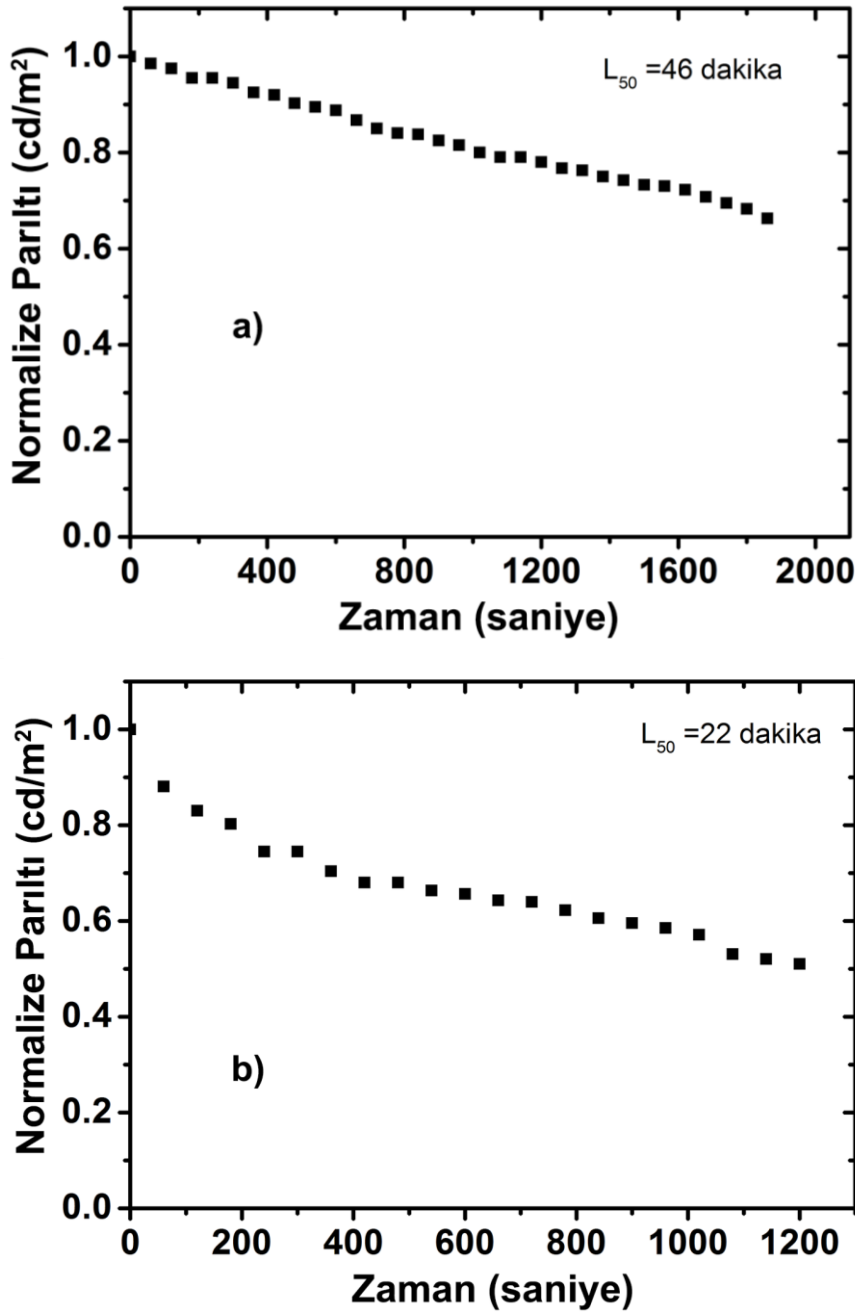
Uygulanan Akım (mA)	Lümen (lm)	Etkinlik Faktörü (lm W ⁻¹)	Renksel geri verim endeksi (CRI)	CIE (x,y)	Renk Sıcaklığı (K)
10	2.5	31.6	66.7	0.36, 0.36	4475
20	3.9	21.8	73.9	0.38, 0.42	4125
30	5	17.53	74.3	0.38, 0.42	4129
40	5.3	13.12	75.5	0.39, 0.42	4024
50	5	9.3	76.5	0.39, 0.42	3881
60	4.7	6.9	77.2	0.40, 0.42	3762

5.4.2 Enkapsülasyon Çalışmaları

Şekil 5.20'de 3mm x 4mm aktif alana sahip enkapsülasyon yapılmamış olan WOLED'lerin zamana bağlı parlıltı değişimini gösteren grafik yer almaktadır. Ölçüm, hem oksijen ve nemin 0.1 ppm'in altında olduğu eldivenli kutu ortamında hem de normal atmosfer koşullarında gerçekleştirilmiştir. Eldivenli kutu ortamında ölçümü gerçekleştirilen WOLED'in yarı ömrünü (L₅₀) 46 dakikada tamamladığı görülmektedir. Yarı ömrün bu kadar düşük olmasının nedeninin iridyum kompleksinin kararlı olmayışından kaynaklandığı düşünülmektedir (Fan et al., 2012). Normal atmosfer koşullarında ölçümü gerçekleştirilen WOLED'in L₅₀ değeri ise 22 dakika olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.21'de surlyn ile enkapsüle edilmiş olan 3mm x 4mm aktif alana sahip WOLED'in zamana bağlı parlıltı değişimini gösteren grafik yer almaktadır. Ölçüm normal atmosfer koşullarında gerçekleştirilmiştir. L₅₀ değerinin 52 dakika olduğu görülmektedir. Ossila epoksi ile gerçekleştirilen WOLED'in L₅₀ değeri ise 3 dakikadır.

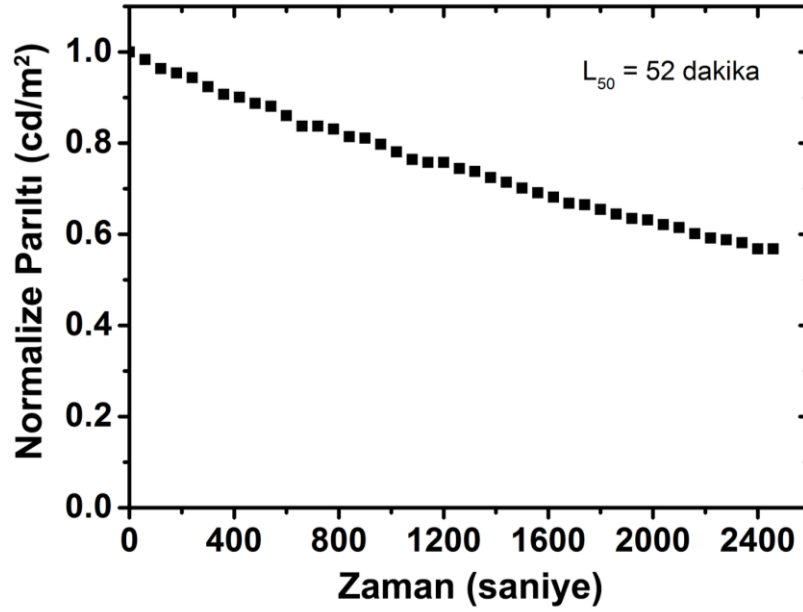
Şekil 5.22a'da 12mm x 12mm aktif alana sahip enkapsülasyon yapılmamış olan WOLED'in zamana bağlı parlıltı değişimini gösteren grafik yer almaktadır. Bu WOLED'in L₅₀ değerinin 46 dakikada olduğu belirlenmiştir. Normal atmosfer koşullarında bu değerin 34 dakikaya düştüğü gözlenmiştir (Şekil 5.22b).



Şekil 5.20. 3mm x 4mm aktif alanlı WOLED’lerin zamana bağlı parıltı değişimi grafikleri. a) soy atmosferde ölçüm, b) normal atmosfer koşullarında ölçüm.

Şekil 5.23’te 12mm x 12mm aktif alana sahip ve surlyn ile enkapsülasyonu yapılmış WOLED’in zamana bağlı parıltı değişimini gösteren grafik yer almaktadır. 3mm x 4 mm aktif alanlı WOLED’lerde iyi sonuç alınamaması nedeniyle 12mm x 12mm aktif alanlı WOLED’ler epoksi ile enkapsüle

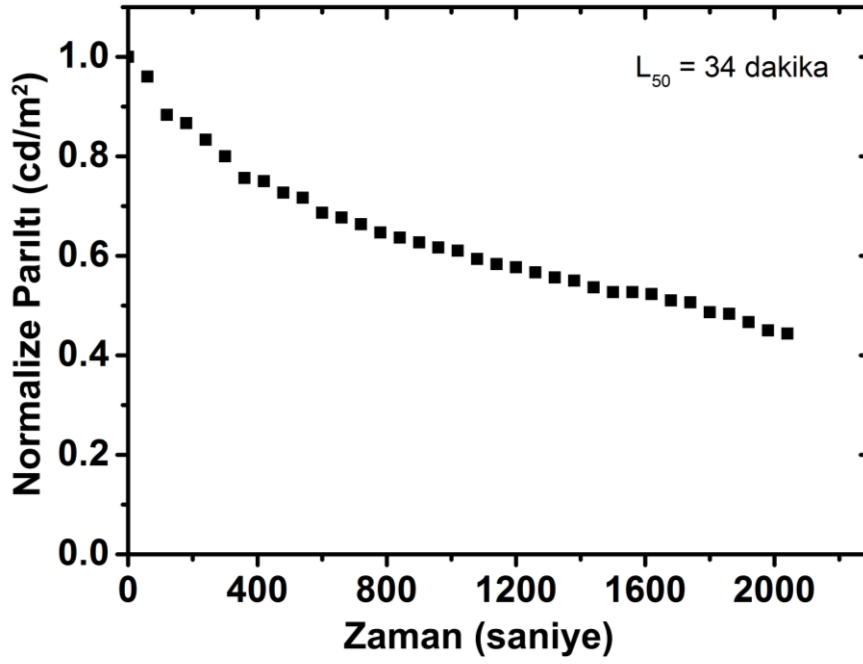
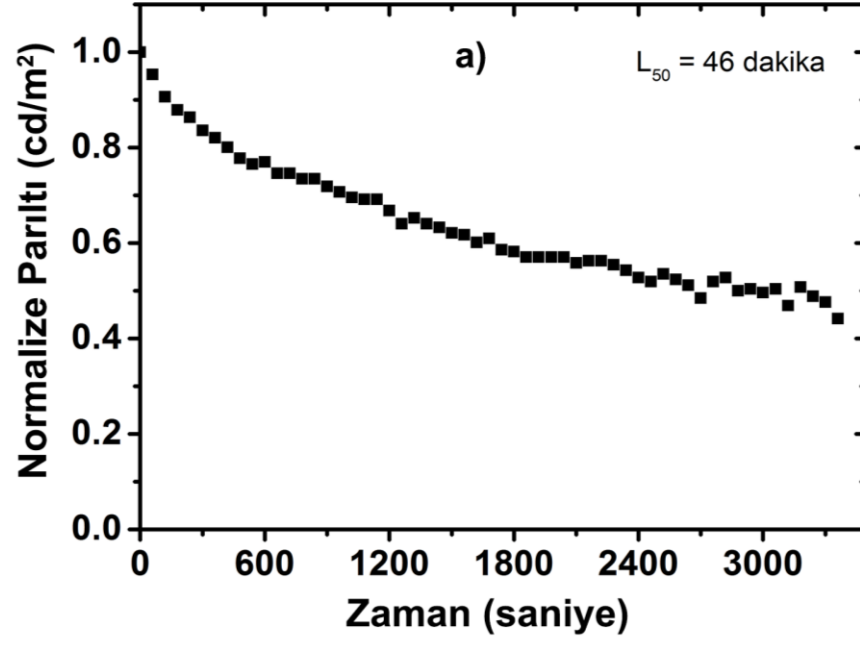
edilmemişlerdir. Ölçüm normal atmosferde gerçekleştirilmiştir. Bu grafikten WOLED'in yarı ömrünü 46 dakikada tamamladığı görülmektedir.



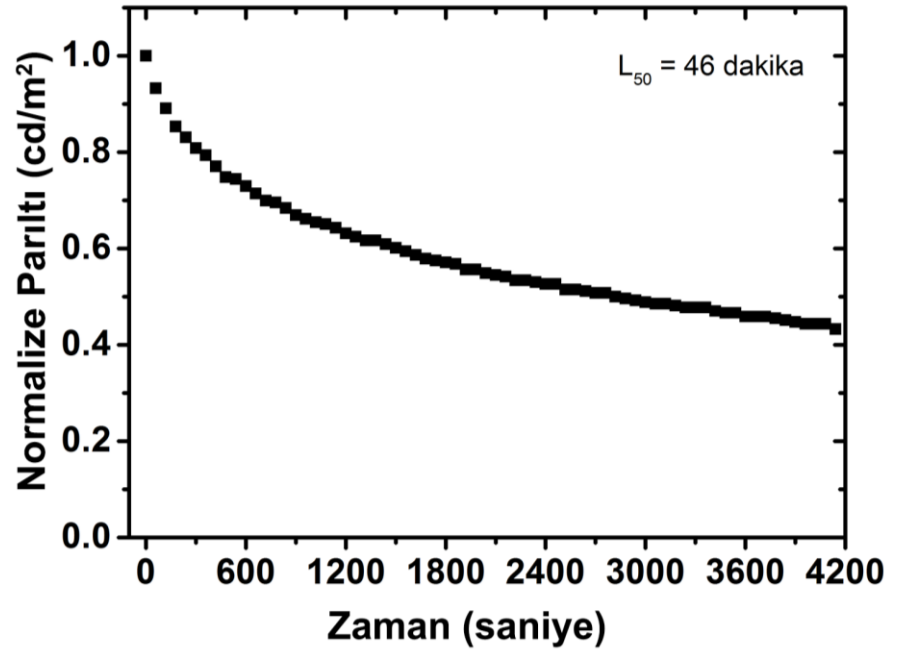
Şekil 5.21. Surlyn ile enkapsülasyon yapılmış olan 3mm x 4mm aktif alana sahip WOLED'in zamana bağlı parıltı değişimi.

Sonuç olarak, bu çalışmada 3mm x 4mm ve 12mm x12mm aktif alanlı WOLED'lerin enkapsülasyon çalışmaları ışık etkinleştirmeli epoksi ve surlyn ile yapılmıştır. Surlyn ile yapılan enkapsülasyonun epoksi ile yapılanaya göre çok daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bunun nedeninin Ossila Epoksi'nin uygulanması aşamasında kullanılan ışığın organik katmanlara zarar vermesi olduğu düşünülmektedir (Moraes et al., 2011).

Buraya kadar yapılan enkapsülasyon çalışmaları Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki çalışmalar ise enkapsülasyon folyosu kullanılarak InnovationLab, Heidelberg laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



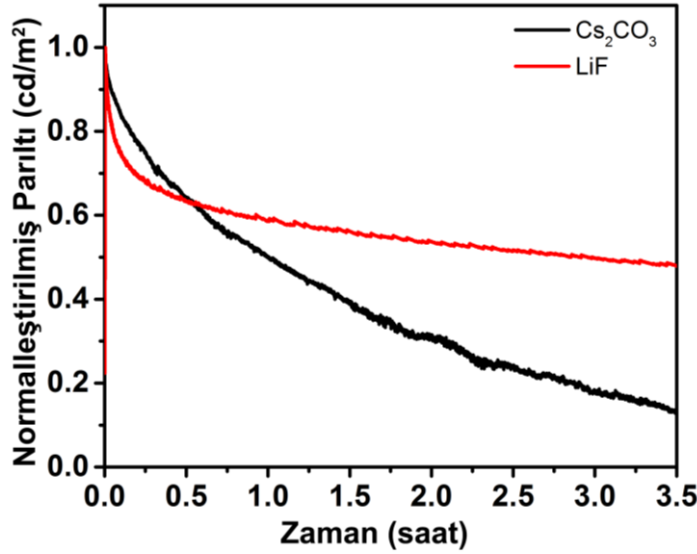
Şekil 5.22. 12mm x 12mm aktif alanlı WOLED'lerin zamana bağlı parıltı değişimi grafikleri. a) eldivenli kutu ortamında ölçüm, b) normal atmosfer koşullarında ölçüm.



Şekil 5.23. 12mm x12mm aktif alanlı WOLED'in zamana bağlı parıltı değişimi (surlyn ile enkapsülasyon, ölçüm: normal atmosfer).

Enkapsüle edilmiş 120:1 FIrpic:DCJTB oranına sahip olan LiF'li ve Cs_2CO_3 'lü WOLED'lerin ömür testleri 100 cd/m^2 başlangıç parıltı değerinde ve 0.8 mA sabit akım altında normal atmosferde BoTest OLED ömür testi sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. OLED'lerin kararlılığı genel olarak yarı ömür (L_{50}) olarak verilmektedir. L_{50} OLED'in sabit akım yoğunluğu altında başlangıç parıltı değerinin yarısına düştüğü zaman olarak tanımlanmaktadır (Aziz and Popovic, 2004).

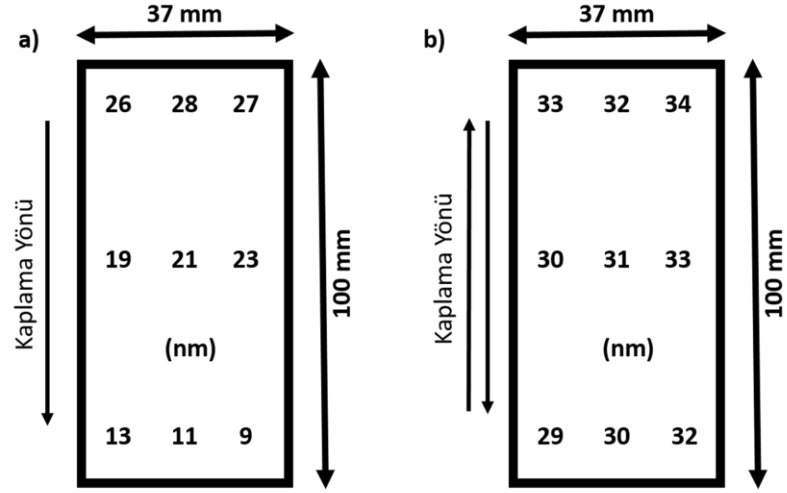
Şekil 5.24'te enkapsülasyon folyosu ile enkapsüle edilmiş 120:1 FIrpic:DCJTB oranına sahip olan LiF'li ve Cs_2CO_3 'lü WOLED'lerin (aktif alan: 4mm x 6mm) normalleştirilmiş ömür eğrileri gösterilmektedir. LiF/Al katotuna sahip olan WOLED'in L_{50} değeri 3 saattir. Ancak, Cs_2CO_3 /Al katotuna sahip olan WOLED'in ise ($t_{1/2} = 1$ saat) oldukça düşüktür. L_{50} değerinin bu kadar düşük olmasının nedeni Cs_2CO_3 'ün daha yüksek nem çekici olmasından kaynaklanıyor olabilir.



Şekil 5.24. Enkapsüle edilmiş 120:1 Fırpic:DCJTB oranına sahip olan LiF’li ve Cs₂CO₃’lü WOLED’lerin ömür eğrileri.

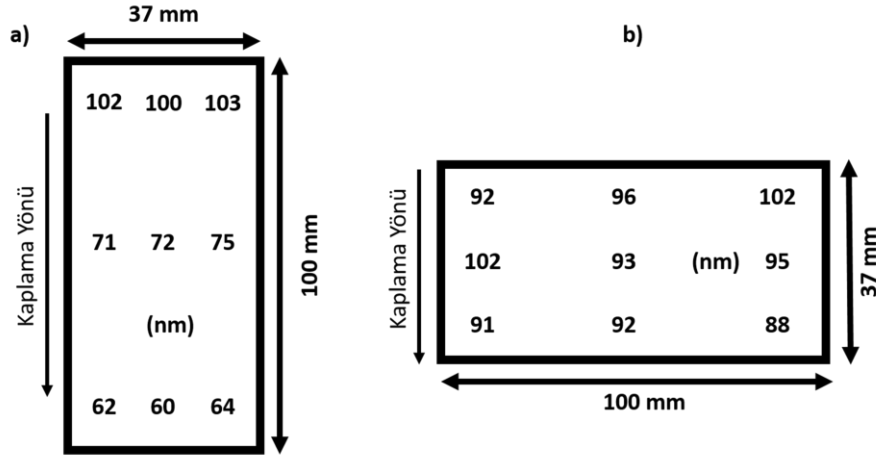
5.4.3 Sıyırma Kaplama Yöntemi ile Alan Büyütme (14mm x 14mm)

PEDOT:PSS filminin kalınlık dağılımı Şekil 5.25’te gösterilmiştir. Şekil 5.25a’da altlığın üzerine sıyırma kaplama yöntemi ile uzunlamasına olacak şekilde tek bir yönde 10 mm/s bıçak hızı, 300 µm açıklık, 45 °C sıcaklık ve 50 µl çözelti kullanılarak kaplanan PEDOT:PSS filminin kalınlık dağılımı yer almaktadır. Bu şekilde kaplanan filmin kalınlığının kaplama yönünde giderek azaldığı gözlenmiştir. Bu filmin ortalama kalınlığı 20 ± 7 nm olarak hesaplanmıştır. Film kalınlığının homojen olmaması nedeniyle PEDOT:PSS’in kaplamasının uzunlamasına ve her iki yönde yapılmasına karar verilmiştir. Şekil 5.25b’de altlığın üzerine sıyırma kaplama yöntemi ile uzunlamasına olacak şekilde her iki yönde 10 mm/s bıçak hızı, 300 µm açıklık, 45 °C sıcaklık ve toplamda 100 µl çözelti kullanılarak kaplanan PEDOT:PSS filminin kalınlık dağılımı yer almaktadır. Kaplama yönteminin değiştirilmesi sayesinde daha homojen film kalınlığı elde edilmiştir. Bu filmin ortalama film kalınlığı 32 ± 2 nm olarak hesaplanmıştır.



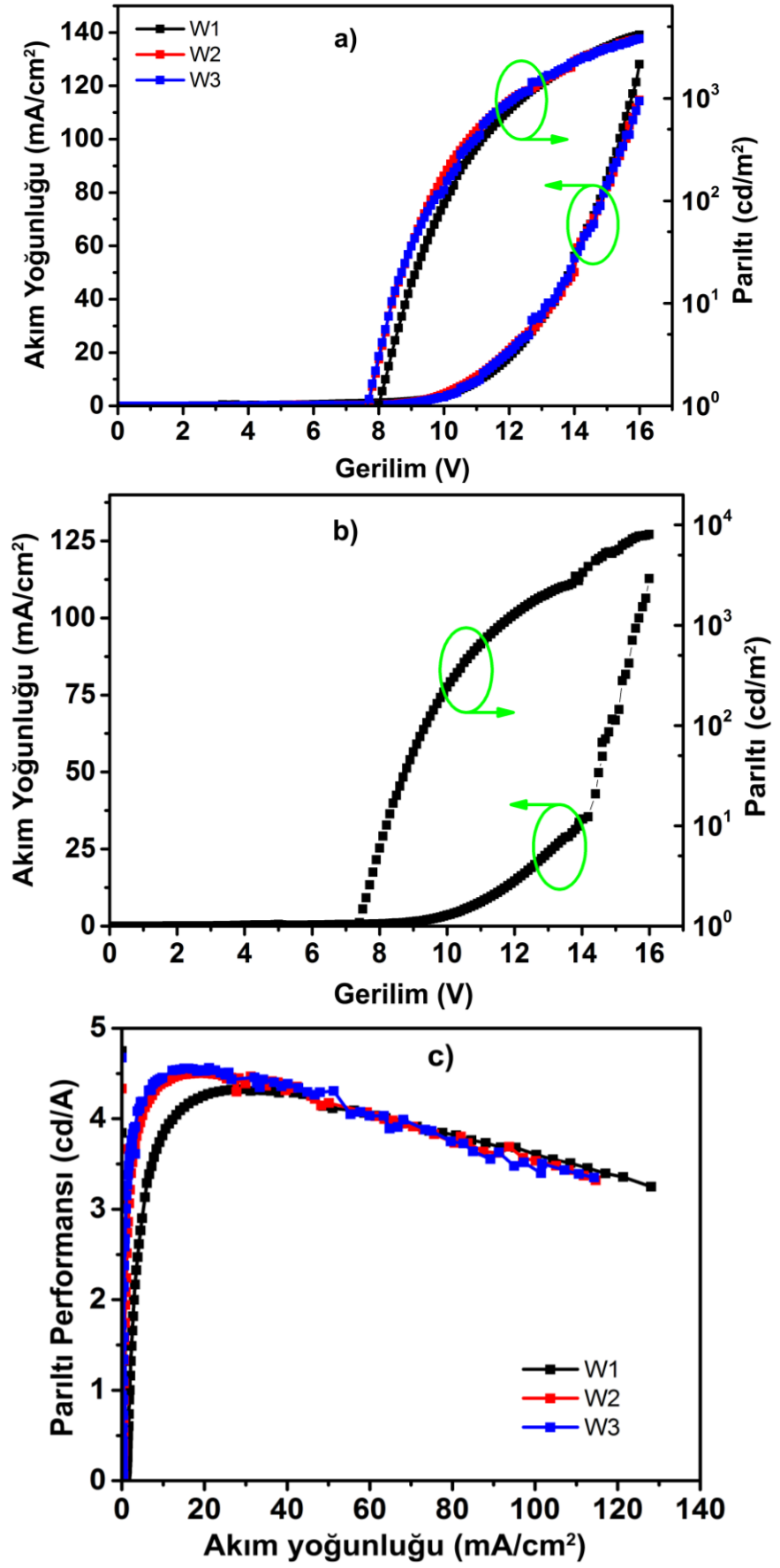
Şekil 5.25. PEDOT:PSS filminin kalınlık dağılımı. a) uzunlamasına tek yönde kaplama, b) uzunlamasına her iki yönde de kaplama.

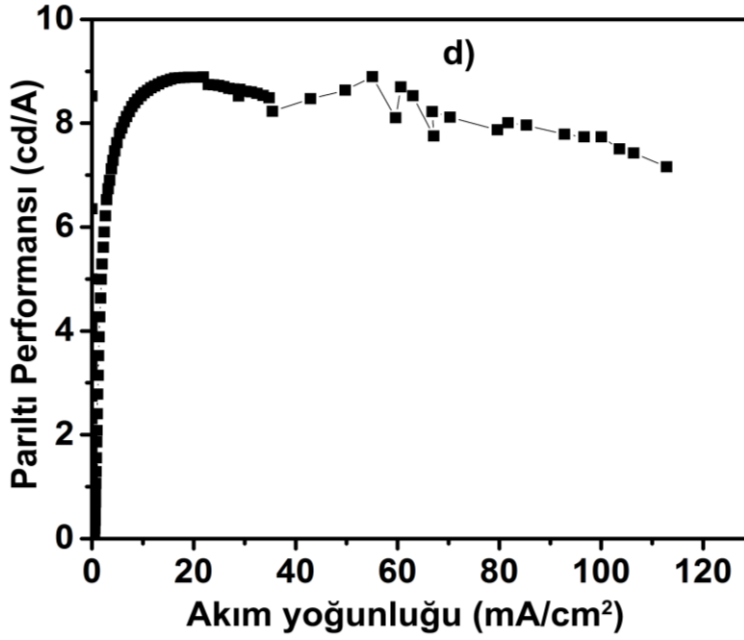
PEDOT:PSS filminin üzerine sıyırma kaplama yöntemi ile kaplanan ışıma katmanının kalınlık dağılımı Şekil 5.26'da gösterilmiştir. Şekil 5.26a'da altlığın üzerine uzunlamasına olacak şekilde tek bir yönde 16 mm/s bıçak hızı, 300 µm açıklık, 50 °C sıcaklık ve 100 µl çözelti kullanılarak kaplanan PEDOT:PSS filminin kalınlık dağılımı yer almaktadır. Bu filmin ortalama kalınlığı 78 ± 18 nm olarak hesaplanmıştır. Burada da PEDOT:PSS kaplamasında olduğu gibi film kalınlığının kaplama yönünde giderek azaldığı gözlenmiştir. Bu nedenle ışıma katmanının enlemesine olacak şekilde kaplanmasına karar verilmiştir. Şekil 5.26b'de altlığın üzerine sıyırma kaplama yöntemi ile enlemesine olacak şekilde, 16mm/s bıçak hızı, 300 µm açıklık, 50 °C sıcaklık ve toplamda 200 µl çözelti kullanılarak kaplanan ışıma katmanının kalınlık dağılımı yer almaktadır. Kaplama yönteminin değiştirilmesi sayesinde daha homojen film kalınlığı elde edilmiştir. Bu filmin ortalama film kalınlığı 94 ± 5 nm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.26. Işıma katmanının kalınlık dağılımı. a) uzunlamasına kaplama, b) enlemesine kaplama.

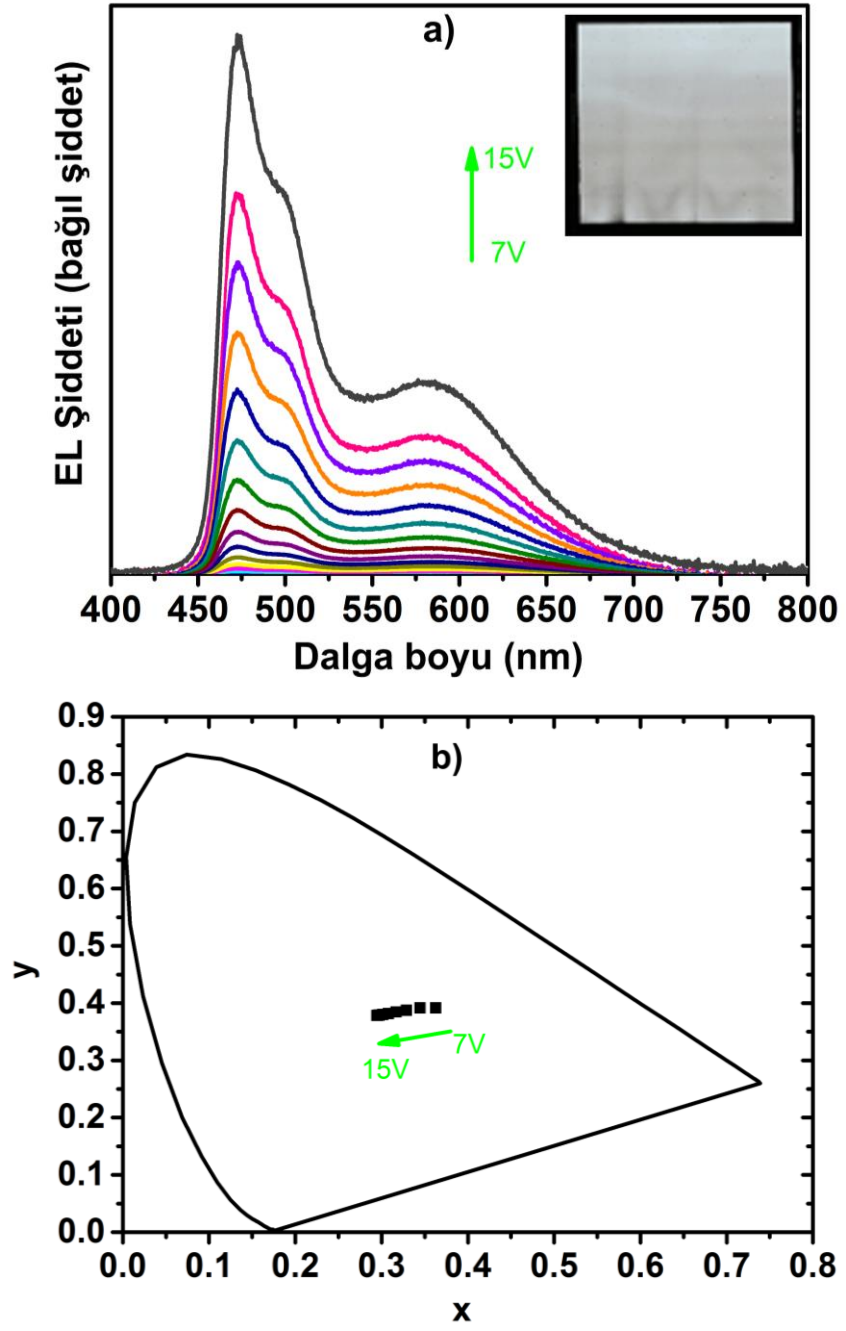
Elde edilen WOLED'lerin akım yoğunluğu (J) - gerilim (V) ve parlıltı performansı grafikleri Şekil 5.27'de yer almaktadır. LiF elektron enjeksiyon katmanına sahip olan bütün WOLED'lerin (Şekil 5.27a, c) maksimum parlıltı performans değeri (20 mA/cm^2 'de 4.5 cd/A) hemen hemen aynıdır. Bu da sıyırma kaplama tekniği ile elde edilen katmanların kalınlıklarının oldukça homojen olduğunu göstermektedir. Maksimum parlıltı değeri 3900 cd/m^2 civarındadır. LiF elektron enjeksiyon katmanı yerine Cs_2CO_3 kullanılması (Şekil 5.27b, d) sonucunda parlıltı performans değerinin hemen hemen iki katına çıktığı gözlenmiştir.





Şekil 5.27. 14mm x 14 mm aktif alana ve LiF elektron enjeksiyon katmanına sahip WOLED’lerin (a, c) ve LiF yerine Cs₂CO₃ katmanının kullanıldığı WOLED’in (b, d) J-V ve parıltı performansı grafikleri.

W1 WOLED’inin uygulanan gerilime karşı EL spektrumu Şekil 5.28a’da gösterilmiştir. EL spektrumunda sırasıyla Flirpic’e ve DCJTB’ye ait olan 475nm’de ve 600nm’de olmak üzere iki ana pik gözlenmiştir. Aynı zamanda, gerilim artışıyla birlikte mavi ışımaya şiddetinde DCJTB’ye oranla daha fazla artış gözlenmiştir. Bu da WOLED’in CIE renk koordinatlarının artan gerilimle birlikte maviye kaymasına neden olmaktadır (Şekil 5.28b). Uygulanan gerilim aralığında CIE renk koordinatları (0.36, 0.39)’dan (0.29, 0.38)’ya değişim göstermektedir. WOLED’lerin performans değerleri Çizelge 5.9’da verilmiştir. LiF elektron enjeksiyon katmanına sahip olan WOLED’lerin (W1, W2, W3) renk koordinatları, CRI ve CCT değerlerinin hemen hemen aynıdır. Bununla birlikte, elde edilen WOLED’lerin CRI değerleri beklendiği gibi düşüktür. Bunun nedeni ise WOLED’lerin elektrolüminesans spektrumlarında yeşil ve hatta yeşil+sarı ışımaların eksik olmasıdır. Maksimum parıltı ve parıltı performans değerleri 3mm x 4 mm aktif alanlı WOLED’lerle hemen hemen aynıdır. WOLED’lerden bir tanesinin 9V gerilim altındaki fotoğrafı Şekil 5.28a’da küçük resim olarak verilmiştir.



Şekil 5.28. a) W1 WOLED'inin uygulanan gerilime karşı EL spektrumu, (küçük resim: W1 WOLED'inin 9V gerilim altındaki fotoğrafı) ve b) CIE renk koordinatı grafikleri.

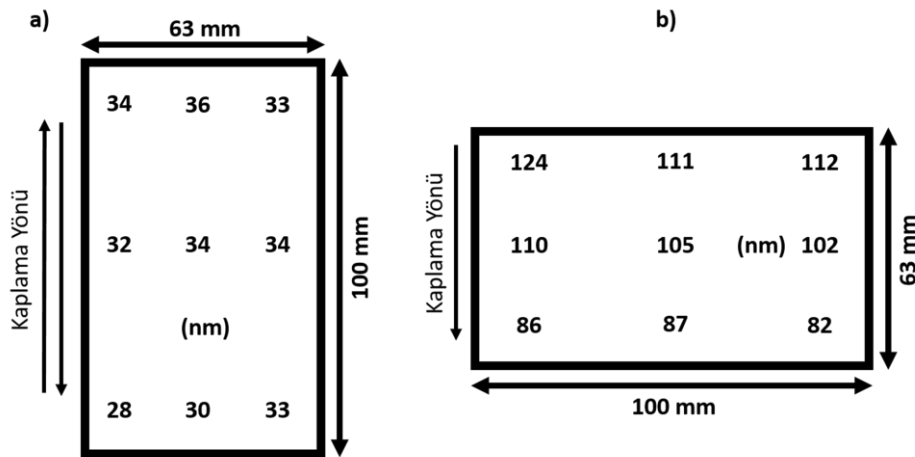
Çizelge 5.9. WOLED’lerin performans değerleri

WOLED	V _{Turn-on} (V)	Parıltı (cd/m ²) ^a	Parıltı Performansı (cd/A) ^a	Etkinlik Faktörü (lm/W) ^a	CIE (x,y) ^b	CRI ^b	CCT ^b
W1	8	4160	4.3	1.1	0.30, 0.38	66	6667
W2	7.7	3800	4.4	1.1	0,31, 0.38	67	6133
W3	7.7	3826	4.5	1.1	0,31, 0.38	67	6227
Cs ₂ CO ₃	7.4	8080	8.9	2.4	0.31, 0.38	67	5700

^a : Maksimum değerler.^b: 1000 cd/m²’deki değerler.

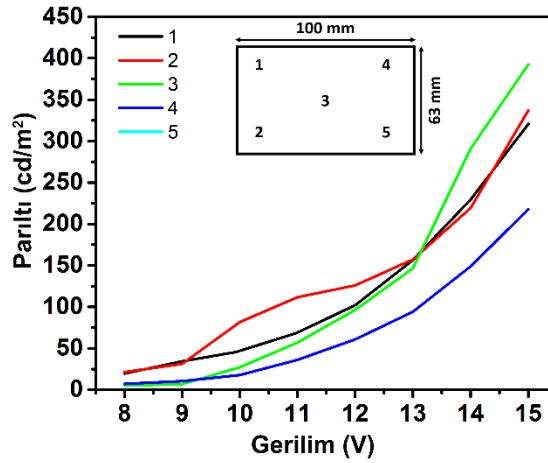
5.4.4 Sıyırma Kaplama Yöntemi ile Alan Büyütme (30mm x 70mm)

PEDOT:PSS ve EML filmlerinin kalınlık dağılımları Şekil 5.29’da yer almaktadır. Daha önceki çalışmalar sonucunda elde edilen tecrübe ile PEDOT:PSS filmi 63mm x 100mm altılığa uzunlamasına olacak şekilde her iki yönde, EML filmi de enlemesine olacak şekilde kaplanmıştır. Elde edilen filmlerin ortalama kalınlıkları PEDOT:PSS için 32 ± 2 nm, EML için ise 102 ± 14 nm olarak hesaplanmıştır.

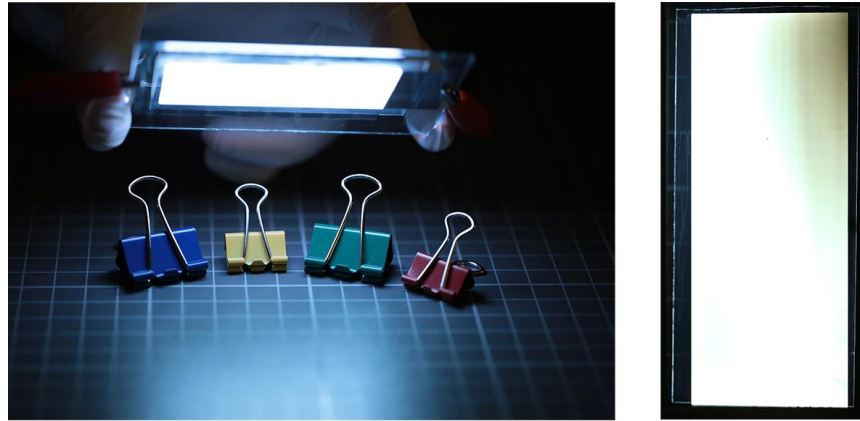


Şekil 5.29. a) PEDOT:PSS ve b) EML filmlerinin kalınlık dağılımları.

Şekil 5.30’da WOLED’in parlıltı – gerilim grafiği yer almaktadır. BOTEST OLED karakterizasyon sisteminin 14mm x 14mm aktif alanlı WOLED’lerden daha büyük aktif alana sahip WOLED’lerin karakterizasyonlarına olanak vermemesi nedeniyle parlıltı ölçümleri Konika Minolta parlıltı ve renk ölçer kamera (CS-200, Konika Minolta Sensing Inc., Osaka, Japonya) ile gerçekleştirilmiştir. Parlıltı ölçümleri Şekil 5.30’daki küçük resimde gösterildiği gibi 5 farklı alandan gerçekleştirilmiştir. Elde edilen WOLED’in 15V gerilim altındaki fotoğrafları Şekil 5.31’de gösterilmiştir.



Şekil 5.30. WOLED’in parlıltı – gerilim karakteristiği (küçük resim parlıltı ölçüm noktaları).



Şekil 5.31. Sıyırma kaplama yöntemi ile üretilmiş 30mm x 70mm aktif alanlı WOLED’in fotoğrafları.

Sıyırma kaplama yöntemi WOLED’lerin alan büyüttmelerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan alternatif bir kaplama tekniğidir. Bu çalışmada iki farklı aktif alana sahip (14mm x 14mm ve 30mm x 70mm) WOLED’lerin üretimi

sıyırma kaplama yöntemi ile gerçekleştirilmiş ve bu WOLED'lerin karakterizasyonları yapılmıştır. Sıyırma kaplama yönteminin başarılı bir şekilde uygulanması WOLED'lerin alan büyötmelerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, kullanılan çözelti miktarının diğör ıslak kaplama tekniklerine oranla çok daha az olması ve çok büyük alanlı WOLED'lerin üretimine imkân tanınması sıyırma kaplama yönteminin diğör avantajlarıdır.

6.ÖNERİLER

Elde edilen WOLED'e elektron enjeksiyon/taşıma ve/veya boşluk engelleyici katmanların da yine sıyırma kaplama yöntemi kullanılarak (katman katman kaplama) eklenmesi daha yüksek verim elde edilmesini sağlayabilir.

Elde edilen WOLED'lerin düşük CRI değerine sahip olduğu görülmüştür. Daha yüksek CRI değeri için aynı EML içerisine yeşil ve/veya sarı renkte ışıma yapan materyallerin eklenmesi gerekmektedir.

Sıyırma kaplama yönteminin en büyük dezavantajının kaplama boyunca bıçak ile altlık arasındaki çözeltinin azalması nedeniyle kalınlığın homojen olarak elde edilememesidir. İvmeli hareket yapabilen bir sıyırma kaplama veya slot-die kaplama cihazlarının kullanılması ile bu sorun aşılabilecektir.

Genel olarak ıslak kaplama yönteminin en önemli problemi ömürdür. Bu nedenle ıslak kaplama yöntemi için özel olarak geliştirilmiş dayanımı daha yüksek olan yeni malzemelere (özellikle mavi) ihtiyaç vardır. Bunun yanı sıra WOLED'lerin normal atmosfer dayanımını arttırmak için yeni enkapsülasyon yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

WOLED'lerde aktif alan büyütmede karşılaşılan (30mm x 70mm boyutları için önemli olmasa da) problemlerden bir tanesi de ITO katmanının direncinin yüksek olması nedeniyle ışık homojenliğinin sağlanamamasıdır (parıltı değeri aktif alanın ortalarına doğru giderek azalmaktadır). Bu problemin çözümü için ise ITO katmanı üzerine iletkenliği yüksek materyallerin (Cu, Pt vb.) mikron genişliğinde tel örgü şeklinde kaplanmasıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Acuitybrands**, 2015, <http://www.acuitybrands.com/oled/why-oled> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2015)
- Adachi, C., Baldo, M. A., Thompson, M. E., and Forrest, S. R.**, 2001, Nearly 100% internal phosphorescence efficiency in an organic light-emitting device, *Journal of Applied Physics*, 90(10), 5048. doi:10.1063/1.1409582
- Adamovich, V., Brooks, J., Tamayo, A., Alexander, A. M., Djurovich, P. I., D'Andrade, B. W., and Thompson, M. E.**, 2002, High efficiency single dopant white electrophosphorescent light emitting diodes, *New Journal of Chemistry*, 26(9), 1171–1178. doi:10.1039/b204301g
- Alam, M. M., and Jenekhe, S. A.**, 2006, Binary blends of polymer semiconductors: Nanocrystalline morphology retards energy transfer and facilitates efficient white electroluminescence, *Macromolecular Rapid Communications*, 27(24), 2053–2059. doi:10.1002/marc.200600603
- Aziz, H., and Popovic, Z. D.**, 2004, Degradation Phenomena in Small-Molecule Organic Light-Emitting Devices, *Chemistry of Materials*, 16(23), 4522–4532. doi:10.1021/cm040081o
- Baldo, M. A., Adachi, C., and Forrest, S. R.**, 2000, Transient analysis of organic electrophosphorescence. II. Transient analysis of triplet-triplet annihilation, *Physical Review B*, 62(16), 10967–10977. doi:10.1103/PhysRevB.62.10967
- Bernanose, A., Comte, M., and Vouaux, P.**, 1953, A new method of emission of light by certain organic compounds, *J. Chim. Phys.*, 50, 64–68.
- Boyce, P. R.**, 2014, Human Factors in Lighting, In *Human Factors in Lighting, Third Edition* (pp. 611–666). CRC Press. doi:10.1201/b16707-22
- Brütting, W.**, 2005, Physics of Organic Semiconductors, *Weinheim, FRG: Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA*. doi:10.1002/3527606637
- Burrows, P. E., Bulovic, V., Forrest, S. R., Sapochak, L. S., McCarty, D. M., and Thompson, M. E.**, 1994, Reliability and degradation of organic light emitting devices, *Applied Physics Letters*, 65(23), 2922–2924. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1063/1.112532>
- Cardona, C. M., Li, W., Kaifer, A. E., Stockdale, D., and Bazan, G. C.**, 2011, Electrochemical Considerations for Determining Absolute Frontier Orbital Energy Levels of Conjugated Polymers for Solar Cell Applications, *Advanced Materials*, 23(20), 2367–2371. doi:10.1002/adma.201004554
- Chang, Y.-L., and Lu, Z.-H.**, 2013, White Organic Light-Emitting Diodes for Solid-State Lighting, *Journal of Display Technology*, 9(6), 459–468. doi:10.1109/JDT.2013.2248698

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Chao, Y.-C., Huang, S.-Y., Chen, C.-Y., Chang, Y.-F., Meng, H.-F., Yen, F.-W., and Horng, S.-F.**, 2011, Highly efficient solution-processed red organic light-emitting diodes with long-side-chained triplet emitter, *Synthetic Metals*, 161 (1–2), 148–152.
- Cheng, G., Li, F., Duan, Y., Feng, J., Liu, S., Qiu, S., and Lee, S. T.**, 2003, White organic light-emitting devices using a phosphorescent sensitizer, *Applied Physics Letters*, 82(24), 4224–4226. doi:10.1063/1.1584075
- Cheng, Y. K., and Cheng, K. W. E.**, 2006, General Study for using LED to replace traditional lighting devices, *2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications* (pp. 173–177). IEEE. doi:10.1109/PESA.2006.343093
- Chu, B. W.-K., and Yam, V. W.-W.**, 2006, Sensitive Single-Layered Oxygen-Sensing Systems: Polypyridyl Ruthenium(II) Complexes Covalently Attached or Deposited as Langmuir–Blodgett Monolayer on Glass Surfaces, *Langmuir*, 22, 7437–7443 ST – Sensitive Single-Layered Oxygen–Se. doi:10.1021/la060122q
- Crosby, G. A., and Watts, R. J.**, 1971, Spectroscopic characterization of complexes of ruthenium(II) and iridium(III) with 4,4'-diphenyl-2,2'-bipyridine and 4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline, *Journal of the American Chemical Society*, 93, 3184–3188 ST – Spectroscopic characterization of . doi:10.1021/ja00742a016
- D'Andrade, B. W., and Forrest, S. R.**, 2004a, White Organic Light-Emitting Devices for Solid-State Lighting, *Advanced Materials*, 16(18), 1585–1595. doi:10.1002/adma.200400684
- D'Andrade, B. W., and Forrest, S. R.**, 2004b, White Organic Light-Emitting Devices for Solid-State Lighting, *Advanced Materials*, 16(18), 1585–1595. doi:10.1002/adma.200400684
- D'Andrade, B. W., Holmes, R. J., and Forrest, S. R.**, 2004, Efficient Organic Electrophosphorescent White-Light-Emitting Device with a Triple Doped Emissive Layer, *Advanced Materials*, 16(7), 624–628. doi:10.1002/adma.200306670
- D'Andrade, B. W., Thompson, M. E., and Forrest, S. R.**, (2002). Controlling Exciton Diffusion in Multilayer White Phosphorescent Organic Light Emitting Devices, *Advanced Materials*, 14, 147–151
- Dawson, T. L.**, 2010, Development of efficient and durable sources of white light, *Coloration Technology*, 126(1), 1–10. doi:10.1111/j.1478-4408.2010.00220.x

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Deeb, S. S., and Motulsky, A. G.,** 1996, Molecular genetics of human color vision, *Behavior Genetics*, 26(3), 195–207. doi:10.1007/BF02359380
- Fan, C., Li, Y., Yang, C., Wu, H., Qin, J., and Cao, Y.,** 2012, Phosphoryl/Sulfonyl-Substituted Iridium Complexes as Blue Phosphorescent Emitters for Single-Layer Blue and White Organic Light-Emitting Diodes by Solution Process, *Chemistry of Materials*, 24(23), 4581–4587. doi:10.1021/cm302850w
- Forrest, S. R., Baldo, M. A., O'Brien, D. F., You, Y., Shoustikov, A., Sibley, S., and Thompson, M. E.,** 1998, Highly efficient phosphorescent emission from organic electroluminescent devices, *Nature*, 395(6698), 151–154. doi:10.1038/25954
- Forrest, S. R., Baldo, M. A., and Thompson, M. E.,** 2000, High-efficiency fluorescent organic light-emitting devices using a phosphorescent sensitizer, *Nature*, 403(6771), 750–753. doi:10.1038/35001541
- Forrest, S. R., Bradley, D. D. C., and Thompson, M. E.,** 2003 Measuring the Efficiency of Organic Light-Emitting Devices, *Advanced Materials*, 15(13), 1043–1048. doi:10.1002/adma.200302151
- Förster, T.,** 1948, Zwischenmolekulare Energiewanderung und Fluoreszenz, *Annalen Der Physik*, 437(1-2), 55–75. doi:10.1002/andp.19484370105
- Fraunhofer.,** 2015, <http://www.comedd.fraunhofer.de/en.html> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2015)
- Freyssinier, J. P., Narendran, N., and Bullough, J. D.,** 2006, Luminance requirements for lighted signage, 6337, 63371M–63371M–8).
- Fu, Q., Chen, J., Shi, C., and Ma, D.,** 2012, Solution-Processed Small Molecules As Mixed Host for Highly Efficient Blue and White Phosphorescent Organic Light-Emitting Diodes, *ACS Applied Materials and Interfaces*, 4(12), 6579–6586. doi:10.1021/am301703a
- Fu, Q., Chen, J., Zhang, H., Shi, C., and Ma, D.,** 2013a, Solution-processed single-emitting-layer white organic light-emitting diodes based on small molecules with efficiency/CRI/color-stability trade-off, *Optics Express*, 21(9), 11078. doi:10.1364/OE.21.011078
- Fu, Q., Chen, J., Zhang, H., Shi, C., and Ma, D.,** 2013b, Solution-processed single-emitting-layer white organic light-emitting diodes based on small molecules with efficiency/CRI/color-stability trade-off, *Optics Express*, 21(9), 11078. doi:10.1364/OE.21.011078

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Gohri, V., Hofmann, S., Reineke, S., Rosenow, T., Thomschke, M., Levichkova, M., and Leo, K.,** 2011, White top-emitting organic light-emitting diodes employing a heterostructure of down-conversion layers, *Organic Electronics: Physics, Materials, Applications*, 12(12), 2126–2130. doi:10.1016/j.orgel.2011.09.002
- Gong, X., Ma, W., Ostrowski, J. C., Bazan, G. C., Moses, D., and Heeger, A. J.,** 2004, White Electrophosphorescence from Semiconducting Polymer Blends, *Advanced Materials*, 16, 615–619 ST – White Electrophosphorescence from Se. doi:10.1002/adma.200306230
- Gryczynski, I., Kusba, J., and Lakowicz, J.,** 1997, Effects of light quenching on the emission spectra and intensity decays of fluorophore mixtures, *Journal of Fluorescence*, 7, 167–183 ST – Effects of light quenching on the em. doi:10.1007/bf02758217
- Hasegawa, T., Miura, S., Moriyama, T., Kimura, T., and Takaya, I.,** 2004, Novel Electron-Injection Layers for Top-Emission OLEDs, *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 35(1), 154–157. doi:10.1889/1.1821373
- He, K., Wang, X., Yu, J., Jiang, H., Xie, G., Tan, H., and Zhu, W.,** 2014, Synthesis and optoelectronic properties of novel fluorene-bridged dinuclear cyclometalated iridium (III) complex with A–D–A framework in the single-emissive-layer WOLEDs, *Organic Electronics*, 15(11), 2942–2949. doi:10.1016/j.orgel.2014.08.014
- He, L., Duan, L., Qiao, J., Zhang, D., Wang, L., and Qiu, Y.,** 2010, Efficient blue-green and white organic light-emitting diodes with a small-molecule host and cationic iridium complexes as dopants, *Applied Physics A*, 100(4), 1035–1040. doi:10.1007/s00339-010-5967-7
- He, Y., Hattori, R., and Kanicki, J.,** 2000, Light output measurements of the organic light-emitting devices, *Review of Scientific Instruments*, 71(5), 2104. doi:10.1063/1.1150588
- Ho, C.-L., Wong, W.-Y., Zhou, G.-J., Yao, B., Xie, Z., and Wang, L.,** 2007, Solution-Processible Multi-component Cyclometalated Iridium Phosphors for High-Efficiency Orange-Emitting OLEDs and Their Potential Use as White Light Sources, *Advanced Functional Materials*, 17(15), 2925–2936. doi:10.1002/adfm.200601205

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Hou, L., Duan, L., Qiao, J., Zhang, D., Dong, G., Wang, L., and Qiu, Y.,** 2010, Efficient solution-processed small-molecule single emitting layer electrophosphorescent white light-emitting diodes, *Organic Electronics*, 11(8), 1344–1350. doi:10.1016/j.orgel.2010.05.015
- Hou, L., Duan, L., Qiao, J., Zhang, D., Wang, L., Cao, Y., and Qiu, Y.,** 2011, Efficient solution-processed phosphor-sensitized single-emitting-layer white organic light-emitting devices: fabrication, characteristics, and transient analysis of energy transfer, *Journal of Materials Chemistry*, 21(14), 5312. doi:10.1039/c0jm02987d
- Huang, F., Shih, P.-I., Shu, C.-F., Chi, Y., and Jen, A. K.-Y.,** 2009, Highly Efficient Polymer White-Light-Emitting Diodes Based on Lithium Salts Doped Electron Transporting Layer, *Advanced Materials*, 21(3), 361–365. doi:10.1002/adma.200802179
- Huang, Y.-S., Jou, J.-H., Weng, W.-K., and Liu, J.-M.,** 2002, High-efficiency white organic light-emitting devices with dual doped structure. *Applied Physics Letters*, 80(15), 2782. doi:10.1063/1.1413220
- Inokuchi, H.,** 1954, Photoconductivity of the Condensed Polynuclear Aromatic Compounds. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 27(1), 22–27. doi:10.1246/bcsj.27.22
- Jankus, V., and Monkman, A. P.,** 2011, Is Poly(vinylcarbazole) a Good Host for Blue Phosphorescent Dopants in PLEDs? Dimer Formation and Their Effects on the Triplet Energy Level of Poly(N-vinylcarbazole) and Poly(N-Ethyl-2-Vinylcarbazole), *Advanced Functional Materials*, 21(17), 3350–3356. doi:10.1002/adfm.201100732
- Jou, J.-H., Chen, C.-C., Chung, Y.-C., Hsu, M.-F., Wu, C.-H., Shen, S.-M., and Shyue, J.-J.,** 2008, Nanodot-Enhanced High-Efficiency Pure-White Organic Light-Emitting Diodes with Mixed-Host Structures, *Advanced Functional Materials*, 18(1), 121–126. doi:10.1002/adfm.200700436
- Jou, J.-H., Sun, M.-C., Chou, H.-H., and Li, C.-H.,** 2006, Efficient pure-white organic light-emitting diodes with a solution-processed, binary-host employing single emission layer, *Applied Physics Letters*, 88(14), 141101. doi:10.1063/1.2189011
- Jou, J.-H., Wang, C.-P., Wu, M.-H., Chiang, P.-H., Lin, H.-W., Li, H. C., and Liu, R.-S.,** 2007, Efficient fluorescent white organic light-emitting diodes with blue-green host of di(4-fluorophenyl)amino-di(styryl)biphenyl, *Organic Electronics*, 8(1), 29–36. doi:10.1016/j.orgel.2006.10.007

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Kalinowski, J., Fattori, V., Cocchi, M., and Williams, J. A. G.,** 2011, Light-emitting devices based on organometallic platinum complexes as emitters, *Coordination Chemistry Reviews*, 255(21-22), 2401–2425. doi:10.1016/j.ccr.2011.01.049
- Kido, J., Hongawa, K., Okuyama, K., and Nagai, K.,** 1994, White light-emitting organic electroluminescent devices using the poly(N-vinylcarbazole) emitter layer doped with three fluorescent dyes, *Applied Physics Letters*, 64(7), 815–817. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1063/1.111023>
- Kim, T.-H., Lee, H. K., Park, O. O., Chin, B. D., Lee, S.-H., and Kim, J. K.,** 2006, White-Light-Emitting Diodes Based on Iridium Complexes via Efficient Energy Transfer from a Conjugated Polymer, *Advanced Functional Materials*, 16(5), 611–617. doi:10.1002/adfm.200500621
- Kim, T.-H., Yoo, D.-H., Park, J. H., Park, O. O., Yu, J.-W., and Kim, J. K.,** 2005, Enhanced electrophosphorescence via highly efficient energy transfer from conjugated polymer, *Applied Physics Letters*, 86, 171108–3 ST – Enhanced electrophosphorescence via. doi:10.1063/1.1921356
- Knight, T. E., Goldstein, A. P., Brenneman, M. K., Cardolaccia, T., Pandya, A., DeSimone, J. M., and Meyer, T. J.,** 2010, Influence of the Fluid-to-Film Transition on Photophysical Properties of MLCT Excited States in a Polymerizable Dimethacrylate Fluid, *The Journal of Physical Chemistry B*, 115(1), 64–70. doi:10.1021/jp107077t
- Ko, C. W., and Tao, Y. T.,** 2001, Bright white organic light-emitting diode, *Applied Physics Letters*, 79(25), 4234. doi:10.1063/1.1425454
- Krebs, F. C.,** 2009, Fabrication and processing of polymer solar cells: A review of printing and coating techniques. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93(4), 394–412. doi:10.1016/j.solmat.2008.10.004
- Lambert, J. H., and Anding, E.,** 1892, *Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften*: W. Engelmann.
- Ledsmagazine,** 2015, <http://www.ledsmagazine.com/articles/2011/02/verbatim-unveils-color-tunable-oled-lighting.html> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2015)
- Lee, T.-W., Noh, T., Shin, H.-W., Kwon, O., Park, J.-J., Choi, B.-K., and Kim, Y.-R.,** 2009, Characteristics of Solution-Processed Small-Molecule Organic Films and Light-Emitting Diodes Compared with their Vacuum-Deposited Counterparts, *Advanced Functional Materials*, 19(10), 1625–1630. doi:10.1002/adfm.200801045

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Lei, G., Wang, L., and Qiu, Y.,** 2004, Blue phosphorescent dye as sensitizer and emitter for white organic light-emitting diodes, *Applied Physics Letters*, 85(22), 5403–5405. doi:10.1063/1.1827326
- Levermore, P. A.,** 2012, Phosphorescent organic light-emitting diodes for high-efficacy long-lifetime solid-state lighting, *Journal of Photonics for Energy*, 2(1), 021205. doi:10.1117/1.JPE.2.021205
- Li, N., Oida, S., Tulevski, G. S., Han, S.-J., Hannon, J. B., Sadana, D. K., and Chen, T.-C.,** 2013, Efficient and bright organic light-emitting diodes on single-layer graphene electrodes, *Nat Commun*, 4. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms3294>
- Li, Y., Zhang, D. Q., Duan, L., Zhang, R., Wang, L. D., and Qiu, Y.,** 2007, Elucidation of the electron injection mechanism of evaporated cesium carbonate cathode interlayer for organic light-emitting diodes, *Applied Physics Letters*, 90(1), 88–91. doi:10.1063/1.2429920
- Light2015.,** 2015, <http://www.light2015.org/Home.html> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2015)
- List, E., Kim, C.-H., Naik, a., Scherf, U., Leising, G., Graupner, W., and Shinar, J.,** 2001, Interaction of singlet excitons with polarons in wide band-gap organic semiconductors: A quantitative study, *Physical Review B*, 64, 1–11. doi:10.1103/PhysRevB.64.155204
- Mazzeo, M., Vitale, V., Della Sala, F., Anni, M., Barbarella, G., Favaretto, L., and Gigli, G.,** 2005, Bright white organic light-emitting devices from a single active molecular material, *Advanced Materials*, 17(1), 34–39. doi:10.1002/adma.200400670
- Moraes, I. R. de, Scholz, S., Lüssem, B., and Leo, K.,** 2011, Analysis of chemical degradation mechanism within sky blue phosphorescent organic light emitting diodes by laser-desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry, *Organic Electronics*, 12(2), 341–347. doi:10.1016/j.orgel.2010.11.004
- Mydlak, M., Bizzarri, C., Hartmann, D., Sarfert, W., Schmid, G., and De Cola, L.,** 2010, Positively Charged Iridium(III) Triazole Derivatives as Blue Emitters for Light-Emitting Electrochemical Cells, *Advanced Functional Materials*, 20(11), 1812–1820. doi:10.1002/adfm.201000223
- Nam, J. G., Park, Y. J., Kim, B. S., and Lee, J. S.,** 2010, Enhancement of the efficiency of dye-sensitized solar cell by utilizing carbon nanotube counter electrode, *Scripta Materialia*, 62(3), 148–150. doi:10.1016/j.scriptamat.2009.10.008

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Neve, F., La Deda, M., Crispini, A., Bellusci, A., Puntoriero, F., and Campagna, S.,** 2004, Cationic Cyclometalated Iridium Luminophores: Photophysical, Redox, and Structural Characterization, *Organometallics*, 23(24), 5856–5863. doi:10.1021/om049493x
- Oled.at.,** 2009, <http://www.oled.at/osram-zeigt-neue-technologie-fuer-grosse-transparente-oleds/> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2015)
- Oled-display.,** 2015, <http://ww3.oled-display.net/> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2015)
- OLED-Info.,** 2015, <http://www.oled-info.com/konica-minolta-still-track-start-flexible-oled-lighting-production-fall> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2015)
- Oled-Info.,** 2015, <http://www.oled-info.com/updates-visionoxs-oled-lighting-program-new-panels-and-lamps-unveiled> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2015)
- Oner, I., Sahin, C., and Varlikli, C.,** 2012, Electroluminescence from two new ruthenium(II) complexes as phosphorescent dopant: Positive effect of swallow-tail bipyridyl ligand, *Dyes and Pigments*, 95(1), 23–32. doi:10.1016/j.dyepig.2012.02.017
- Osram.,** 2015, <http://www.osram-oled.com/oled/en/applications/luminaires/piroled/index.jsp> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2015)
- Park, Y. I., Postupna, O., Zhugayevych, A., Shin, H., Park, Y.-S., Kim, B., and Wang, H.-L.,** 2015, A new pH sensitive fluorescent and white light emissive material through controlled intermolecular charge transfer, *Chem. Sci.*, 6(1), 789–797. doi:10.1039/C4SC01911C
- Payra, P., and Dutta, P. K.,** 2003, Development of a dissolved oxygen sensor using tris(bipyridyl) ruthenium (II) complexes entrapped in highly siliceous zeolites, *Microporous and Mesoporous Materials*, 64, 109–118
- Philips.,** 2015, <http://www.lighting.philips.com/main/products/oled.html> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2015)
- Pope, M., Kallmann, H. P., and Magnante, P.,** 1963, Electroluminescence in Organic Crystals, *The Journal of Chemical Physics*, 38(1963), 2042. doi:10.1063/1.1733929
- Reineke, S.,** 2009, *Controlling Excitons - Concepts for Phosphorescent Organic LEDs at High Brightness*, PhD thesis
- Reineke, S., Lindner, F., Schwartz, G., Seidler, N., Walzer, K., Lüssem, B., and Leo, K.,** 2009, White organic light-emitting diodes with fluorescent tube efficiency, *Nature*, 459(7244), 234–8. doi:10.1038/nature08003

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Reineke, S., Thomschke, M., Lüssem, B., and Leo, K.,** 2013, White organic light-emitting diodes: Status and perspective, *Reviews of Modern Physics*, 85(3), 1245–1293. doi:10.1103/RevModPhys.85.1245
- Round, H. J.,** 1907, A Note On Carborundum, *Elect. World*, 19, 309.
- Oner, I., Sahin, C., and Varlikli, C.,** 2014, Structural and optical properties of new yellow emitting iridium (III) complexes and their application as an active layer component in white organic light-emitting diodes, *RSC Adv.*, 4(87), 46831–46839. doi:10.1039/C4RA08228A
- Salinas, S., Soto-Arriaza, M. A., and Loeb, B.,** 2011, New iridium cyclometallated complexes with potential application in OLED, *Polyhedron*, 30(17), 2863–2869. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.poly.2011.08.010
- Sasabe, H., and Kido, J.,** 2013, Recent Progress in Phosphorescent Organic Light-Emitting Devices, *European Journal of Organic Chemistry*, 2013(34), 7653–7663. doi:10.1002/ejoc.201300544
- Sasabe, H., Takamatsu, J., Motoyama, T., Watanabe, S., Wagenblast, G., Langer, N., and Kido, J.,** 2010, High-Efficiency Blue and White Organic Light-Emitting Devices Incorporating a Blue Iridium Carbene Complex, *Advanced Materials*, 22(44), 5003–5007. doi:10.1002/adma.201002254
- Schols, S.,** 2011, Device Architecture and Materials for Organic Light-Emitting Devices, *Springer Netherlands*. doi:10.1007/978-94-007-1608-7
- Segal, M., Baldo, M., Holmes, R., Forrest, S., and Soos, Z.,** 2003, Excitonic singlet-triplet ratios in molecular and polymeric organic materials, *Physical Review B*, 68(7), 1–14. doi:10.1103/PhysRevB.68.075211
- Sekiguchi, Y., Habuchi, S., and Vacha, M.,** 2009, Nanoscale heterogeneity and light-emission dynamics in solution-processed phosphorescent organic light-emitting devices, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 11(39), 8684–8688. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1039/B913401H>
- Shin, P. I., Shu, C. F., Tung, Y. L., and Chi, Y.,** 2006, Efficient white-light-emitting diodes based on poly(N-vinylcarbazole) doped with blue fluorescent and orange phosphorescent materials, *Applied Physics Letters*, 88(25), 2004–2007. doi:10.1063/1.2214141

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- So, F., Krummacher, B., Mathai, M. K., Poplavskyy, D., Choulis, S. A., and Choong, V.-E.,** 2007, Recent progress in solution processable organic light emitting devices, *Journal of Applied Physics*, 102(9), 091101. doi:10.1063/1.2804122
- Solid-State Lighting Research and Development Multi-Year Program Plan.,** 2015, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2014_web.pdf (Erişim tarihi: 20 Kasım 2015)
- Son, Y. H., Kim, Y. J., Park, M. J., Oh, H.-Y., Park, J. S., Yang, J. H., and Kwon, J. H.,** 2013, Small single-triplet energy gap bipolar host materials for phosphorescent blue and white organic light emitting diodes, *Journal of Materials Chemistry C*, 1(33), 5008. doi:10.1039/c3tc30671b
- Spie.,** 2015, <http://spie.org/samples/PM184.pdf> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2015)
- Su, S.-J., Gonmori, E., Sasabe, H., and Kido, J.,** 2008, Highly Efficient Organic Blue-and White-Light-Emitting Devices Having a Carrier- and Exciton-Confining Structure for Reduced Efficiency Roll-Off, *Advanced Materials*, NA–NA. doi:10.1002/adma.200801375
- Sun, Y., and Forrest, S. R.,** 2008, Enhanced light out-coupling of organic light-emitting devices using embedded low-index grids, *Nature Photonics*, 2(8), 483–487. doi:10.1038/nphoton.2008.132
- Sun, Y., Giebink, N. C., Kanno, H., Ma, B., Thompson, M. E., and Forrest, S. R.,** 2006, Management of singlet and triplet excitons for efficient white organic light-emitting devices, *Nature*, 440(7086), 908–912. doi:10.1038/nature04645
- Taguchi, T.,** 2008, Present Status of Energy Saving Technologies and Future Prospect in White LED Lighting, *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 3(1), 21–26. doi:10.1002/tee.20228
- Tang, C. W., and Vanslyke, S. A.,** 1987, Organic Electroluminescent Diodes, *Applied Physics Letters*, 51, 913–915
- Thejokalyani, N., and Dhoble, S. J.,** 2014, Novel approaches for energy efficient solid state lighting by RGB organic light emitting diodes – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 448–467. doi:10.1016/j.rser.2014.01.013
- Tian, Y., Xu, X., Wang, J., Yao, C., and Li, L.,** 2014, Solution-Processed White Organic Light-Emitting Diodes with Enhanced Efficiency by Using Quaternary Ammonium Salt Doped Conjugated Polyelectrolyte, *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6(11), 8631–8638. doi:10.1021/am501466y

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Tseng, S. R., Meng, H. F., Lee, K. C., and Horng, S. F.**, 2008, Multilayer polymer light-emitting diodes by blade coating method, *Applied Physics Letters*, 93(15), doi:10.1063/1.2999541
- Tsuboi, T., and Aljaroudi, N.**, 2007, Photophysics and electroluminescence of organometallic compounds with d-electrons, *Journal of Alloys and Compounds*, 442(1-2), 55–60. doi:10.1016/j.jallcom.2006.11.216
- Tung, Y. L., Chen, L. S., Chi, Y., Chou, P. T., Cheng, Y. M., Li, E. Y., and Carty, A. J.**, 2006, Orange and Red Organic Light-Emitting Devices Employing Neutral Ru(II) Emitters: Rational Design and Prospects for Color Tuning, *Advanced Functional Materials*, 16, 1615–1626 ST – Orange and Red Organic Light–Emitt. doi:10.1002/adfm.200500901
- Tyan, Y.-S.**, 2011, Organic light-emitting-diode lighting overview, *Journal of Photonics for Energy*, 1(1), 11009–11015. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1117/1.3529412>
- Ulbricht, C., Beyer, B., Friebe, C., Winter, A., and Schubert, U. S.**, 2009, Recent Developments in the Application of Phosphorescent Iridium(III) Complex Systems, *Advanced Materials*, 21, 4418–4441 ST – Recent Developments in the Applica. doi:10.1002/adma.200803537
- Volz, D., Wallesch, M., Fléchon, C., Danz, M., Verma, a., Navarro, J. M., and Baumann, T.**, 2015, From iridium and platinum to copper and carbon: new avenues for more sustainability in organic light-emitting diodes, *Green Chem.*, 1988–2011. doi:10.1039/C4GC02195A
- Wengeler, L., Schmitt, M., Peters, K., Scharfer, P., and Schabel, W.**, 2013, Comparison of large scale coating techniques for organic and hybrid films in polymer based solar cells, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 68, 38–44. doi:10.1016/j.cep.2012.03.004
- Williams, A. T. R., Winfield, S. a., and Miller, J. N.**, 1983, Relative fluorescence quantum yields using a computer-controlled luminescence spectrometer, *The Analyst*, 108(1290), 1067. doi:10.1039/an9830801067
- Williams, E. L., Haavisto, K., Li, J., and Jabbour, G. E.**, 2007, Excimer-based white phosphorescent organic light emitting diodes with nearly 100 % internal quantum efficiency, *Advanced Materials*, 19(2), 197–202. doi:10.1002/adma.200602174

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Wu, C. I., Lin, C. T., Chen, Y. H., Chen, M. H., Lu, Y. J., and Wu, C. C.,** 2006, Electronic structures and electron-injection mechanisms of cesium-carbonate-incorporated cathode structures for organic light-emitting devices, *Applied Physics Letters*, 88(2006), 1–4. doi:10.1063/1.2192982
- Wu, H. B., Zou, J. H., Liu, F., Wang, L., Mikhailovsky, A., Bazan, G. C., and Cao, Y.,** 2008a, Efficient Single Active Layer Electrophosphorescent White Polymer Light-Emitting Diodes, *Advanced Materials*, 20(4), 696–702. doi:10.1002/adma.200701329
- Wu, H. B., Zou, J. H., Liu, F., Wang, L., Mikhailovsky, A., Bazan, G. C., and Cao, Y.,** 2008b, Efficient Single Active Layer Electrophosphorescent White Polymer Light-Emitting Diodes, *Advanced Materials*, 20(4), 696–702. doi:10.1002/adma.200701329
- Wu, H., Zhou, G., Zou, J., Ho, C.-L., Wong, W.-Y., Yang, W., and Cao, Y.,** 2009, Efficient Polymer White-Light-Emitting Devices for Solid-State Lighting, *Advanced Materials*, 21(41), 4181–4184. doi:10.1002/adma.200900638
- Xia, H., Zhang, C., Liu, X., Qiu, S., Lu, P., Shen, F., and Ma, Y.,** 2004, Ruthenium(II) Complex as Phosphorescent Dopant for Highly Efficient Red Polymers Light-Emitting Diodes, *The Journal of Physical Chemistry B*, 108, 3185–3190
- Xia, H., Zhang, C., Qiu, S., Lu, P., Zhang, J., and Ma, Y.,** 2004, Highly efficient red phosphorescent light-emitting diodes based on ruthenium(II)-complex-doped semiconductive polymers, *Applied Physics Letters*, 84, 290–292 ST – Highly efficient red phosphorescent . doi:10.1063/1.1637456
- Xia, H., Zhu, Y., Lu, D., Li, M., Zhang, C., Yang, B., and Ma, Y.,** 2006, Ruthenium(II) Complexes with the Mixed Ligands 2,2'-Bipyridine and 4,4'-Dialkyl Ester-2,2'-bipyridine as Pure Red Dopants for a Single-Layer Electrophosphorescent Device, *The Journal of Physical Chemistry B*, 110, 18718–18723
- Yang, C. H., Cheng, Y. M., Chi, Y., Hsu, C. J., Fang, F. C., Wong, K. T., and Wu, C. C.,** 2007, Blue-emitting heteroleptic iridium(III) complexes suitable for high-efficiency phosphorescent OLEDs, *Angewandte Chemie - International Edition*, 46(14), 2418–2421. doi:10.1002/anie.200604733

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Yang, J., and Gordon, K. C.,** 2004, Electroluminescence of ruthenium(II)(4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline)₃ from charge trapping by doping in carrier-transporting blend films, *Chemical Physics Letters*, 385, 481–485 ST – Electroluminescence of ruthenium(II), doi:10.1016/j.cplett.2003.12.121
- Yang, X. H., Jaiser, F., Klinger, S., and Neher, D.,** 2006, Blue polymer electrophosphorescent devices with different electron-transporting oxadiazoles, *Applied Physics Letters*, 88(2), 021107. doi:10.1063/1.2162693
- Yang, X., Zhao, Y., Zhang, X., Li, R., Dang, J., Li, Y., and Hou, X.,** 2012, Thiazole-based metallophosphors of iridium with balanced carrier injection/transporting features and their two-colour WOLEDs fabricated by both vacuum deposition and solution processing-vacuum deposition hybrid strategy, *Journal of Materials Chemistry*, 22(15), 7136. doi:10.1039/c2jm14712b
- Yap, C. C., Yahaya, M., and Salleh, M. M.,** 2009, The effect of driving voltage on the electroluminescent property of a blend of poly(9-vinylcarbazole) and 2-(4-biphenyl)-5-phenyl-1,3,4-oxadiazole, *Current Applied Physics*, 9, 1038–1041
- Yeh, H. C., Meng, H. F., Lin, H. W., Chao, T. C., Tseng, M. R., and Zan, H. W.,** 2012, All-small-molecule efficient white organic light-emitting diodes by multi-layer blade coating, *Organic Electronics: Physics, Materials, Applications*, 13(5), 914–918. doi:10.1016/j.orgel.2012.02.001
- Yingying, Z., Fangzhong S., Meirong L., Ming Z., and Yuguang M.,** 2008, Highly efficient red phosphorescence from dopant polymer light emitting diodes based on mixed-ligand ruthenium(II) complex, *Semiconductor Science and Technology*, 23, 052001
- Yu, X., Kwok, H., Wong, W., and Zhou, G.,** 2006, High-efficiency white organic light-emitting devices based on a highly amorphous iridium (III) orange phosphor, *Chemistry of Materials*, 18(21), 5097–5103. doi:10.1021/cm061030p
- Zhang, B., Liu, L., and Xie, Z.,** 2014, Recent Advances in Solution-Processed White Organic Light-Emitting Materials and Devices, *Israel Journal of Chemistry*, n/a–n/a. doi:10.1002/ijch.201400056
- Zhang, B., Tan, G., Lam, C.-S., Yao, B., Ho, C.-L., Liu, L., and Wang, L.,** 2012, High-efficiency single emissive layer white organic light-emitting diodes based on solution-processed dendritic host and new orange-emitting iridium complex, *Advanced Materials*, 24(14), 1873–7. doi:10.1002/adma.201104758

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Zhang, X., Gao, J., Yang, C., Zhu, L., Li, Z., Zhang, K., and Ma, D.,** 2006, Highly efficient iridium(III) complexes with diphenylquinoline ligands for organic light-emitting diodes: Synthesis and effect of fluorinated substitutes on electrochemistry, photophysics and electroluminescence, *Journal of Organometallic Chemistry*, 691(20), 4312–4319. doi:10.1016/j.jorganchem.2006.07.008
- Zhou, G., Wong, W.-Y., and Suo, S.,** 2010, Recent progress and current challenges in phosphorescent white organic light-emitting diodes (WOLEDs), *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 11(4), 133–156. doi:10.1016/j.jphotochemrev.2011.01.001
- Zou, J., Wu, H., Lam, C.-S., Wang, C., Zhu, J., Zhong, C., and Wong, W.-Y.,** 2011, Simultaneous Optimization of Charge-Carrier Balance and Luminous Efficacy in Highly Efficient White Polymer Light-Emitting Devices, *Advanced Materials*, 23(26), 2976–2980. doi:10.1002/adma.201101130

ÖZ GEÇMİŞ

İlker Öner

Öz Geçmiş

Evka 3 Mahallesi 127/2 Sokak No: 37 Da: 1
35100 Bornova - İzmir / Turkey

Tel: +90533 5260433

onerilker@gmail.com



Genel Bilgiler

Doğum Tarihi: 24.12.1981
Doğum Yeri: Kastamonu
Eğitim Durumu: Doktora
Medeni Durumu: Evli
Ehliyet: B Sınıfı, 30.12.2000
Askerlik: Tamamlandı

Eğitim Bilgileri

2009-2015 **Doktora**, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü İzmir/Türkiye
 Tez Başlığı: Organometalik Komplekslere Dayalı Beyaz OLED Aydınlatma Aygıtı Yapım ve Karakterizasyonları
2007-2009 **Yüksek Lisans**, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü İzmir/Türkiye
 Tez Başlığı: Yeşil Işık Yayan Organik Diyotta Seçilen Bir Perilendiimid Türevinin Dopant Etkisinin Araştırılması
2001-2006 **Lisans**, Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
 İzmir/Türkiye
1995-1998 **Lise**, Lüleburgaz Lisesi, Lüleburgaz-Kırklareli/Türkiye

İş Tecrübeleri

2010-2015 - 5 Yıl **Araştırma Görevlisi**, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir/Türkiye.
2010 - 4 Ay **Proje Araştırma Görevlisi**, EAE Aydınlatma/İstanbul/Türkiye, Proje Başlığı: Beyaz Işık Yayan Organik Diyot Tasarımı ve Aydınlatma Aygıtı Elde Edilmesi).

Ödüller ve Burslar

2015 **TÜBİTAK, 2214/A - Doktora Sırası Yurtdışı Araştırma Bursu**, 6 ay (Ocak-Temmuz 2015), Karlsruhe University, InnovationLab, Karlsruhe-Heidelberg/Almanya
2009 **European Science Foundation, ESF**, Organisolar Project, 3 ay (Mart-Mayıs 2009), Karlsruhe University, Karlsruhe/Almanya

Beceri ve Deneyimler

Laboratuvar	Işık yayan organik diyot, organik fotovoltaiik vb. optoelektronik cihazların tasarımı, üretimi ve karakterizasyonları Vakum termal buharlaştırma ve ıslak kaplama yöntemlerini kullanarak ince film hazırlama Nem'e duyarlı ve/veya yüksek nem çekici özellikteki materyallerle çalışabilme
Cihazlar	Perkin Elmer Lambda950 UV-Vis-NIR Spectrofotometresi FLSP920 - Edinburgh Fluoresans fosforesans spektrofotometresi Ambios Q-Scope AFM MBRAUN 200B Glove-Box Sistemi Vakum termal buharlaştırma sistemleri Rigaku Ultima IV XRD Ambios XP-1 ve Dektak 150 yüksek çözünürlüklü kalınlık ölçer Konica Minolta Chroma Meter CS-200 Hamamatsu C9920-12 OLED EQE ölçüm sistemi Ocean Optic USB4000 Spektrofotometresi Laurell WS-400B-6NPP-LITE dönü kaplama cihazı Erichson Coat Master 509 MC sıyırma kaplama cihazı
Bilgisayar	İşletim Sistemi (Windows, Linux/Unix, DOS) Bilimsel Programlar (Originlab, Sigmaplot) Ofis Programları (L ATEX, Microsoft Office) Grafik Programları (Corel Draw, Autocad, SolidWorks)
Yabancı Dil	İngilizce (Okuma: iyi, Yazma: iyi, Konuşma: iyi)

Yer aldığı Projeler

- 2013-** Yeni Bipolar Konak Materyallerin Tasarımı, Sentezlenmesi ve Beyaz Işık Yayan Organik Diyotlarda (WOLED) Kullanımları, TUBITAK-1001, 113Z253, devam ediyor.
- 2014-2015** Karbazol Türevi Konak Materyallerin Sentezi, Karakterizasyonu ve Oled Uygulamalarında Kullanılması, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 14GEE006.
- 2013** Beyaz Işık Yayan Diyot Tasarımı ve Aydınlatma Aygıtı Elde Edilmesi, TUBITAKTEYDEB, 3100014.
- 2013** Enerji Verimli Organik-optoelektronik ve Fotovoltaiik Teknolojiler, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 11DPT001.
- 2013** Organik Opto-elektronik Sistemlere Yönelik CuInS₂ ve CuInSe₂ Kuantum Nokta Yarıiletkenlerin Sentezi ve Güneş Hücresi ve Işık Yayan Diyot Uygulamaları, TUBITAK- 1001, 110T645.
- 2013** Organik Yarıiletken Tabanlı UV-A Fotodetektör Araştırmaları-II, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 13GEE003.
- 2012** Yeni Heteroleptik İridyum Komplekslerinin Sentezi ve Beyaz Işık Yayan Organik Diyotlarda Kullanımları,TUBITAK-3501, 112T357.
- 2012** Organik Yarıiletken Tabanlı UV-A Fotodetektör Araştırmaları-I, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 12GEE009.
- 2011** Kırmızı ışık yayan organik diyotta hibrit cihaz araştırmaları-I, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 11GEE011.

- 2010** Yeni Nesil Fotovoltaik Ve Optoelektronik Teknolojilere Yönelik Malzemelerin Üretimi, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 10GEE002.
- 2010** Boya Duyarlı Güneş Hücrelerinde Elektrolit Alternatiflerinin Araştırılması: İyonik Sıvılar, Ege University Scientific Research Project, 10GEE008.
- 2009** Foto-Elektronik Teknoloji Üretimleri: Organik LED Lambalar-OLED: Organik Alan Etkili Transistorlar-OFET , Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 07DPT002.
- 2008** Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformunun Oluşturulması, TÜBİTAK-Bilimsel ve Teknolojik İşbirliği Ağları ve Platformları (İŞBAP).
- 2008** Yeşil Işık Yayan Organik Diyotta Seçilen Bir Perilendiimid Türevinin Dopant Etkisinin Araştırılması, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 08GEE014.

Uluslararası Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Saliha Oner, Ilker Oner, Haydar Akdag, and Canan Varlikli. Tetraphenylsilane Group Containing Carbazoles as High Triplet Energy Host Materials for SolutionProcessable Pholeds. Turkish Journal of Chemistry, 39:917–929, 2015.

Nuriye Demir, Ilker Oner, Canan Varlikli, Cihan Ozsoy, and Ceylan Zafer. Efficiency Enhancement in a Single Emission Layer Yellow Organic Light Emitting Device: Contribution of cis/zns quantum dot. Thin Solid Films, 589:153 – 160, 2015.

Cigdem Sahin, Ilker Oner, and Canan Varlikli. Structural and Optical Properties of New Yellow Emitting Iridium(iii) Complexes and Their Application as an Active Layer Component in White Organic Light-Emitting Diodes. RSC Adv., 4:46831–46839, 2014.

Ilker Oner, Cigdem Sahin, and Canan Varlikli. Electroluminescence From Two New Ruthenium(ii) Complexes as Phosphorescent Dopant: Positive Effect of Swallow-tail Bipyridyl Ligand. Dyes and Pigments, 95(1):23 – 32, 2012.

Ilker Oner, Canan Varlikli, and Siddik Icli. The Use of a Perylenediimide Derivative as a Dopant in Hole Transport Layer of an Organic Light Emitting Device. Applied Surface Science, 257(14):6089 – 6094, 2011.

Ilker Oner, Elias Stathatos, and Canan Varlikli. White light electroluminescence by organic-inorganic heterostructures with cdse quantum dots as red light emitters. Advances in Optical Technologies, 2011(71062):8.

Gamze Saygili, Cihan Ozsoy, Ilker Oner, Ceylan Zafer, Canan Varlikli, and Siddik Icli. Enhanced Electroluminescence from MEH-PPV-POSS:CuInS2 Nanocomposite Based Organic Light Emitting Diode. Synthetic Metals, 161(1-2):196 – 202, 2011.

Saliha Ozdemir, Canan Varlikli, Ilker Oner, Kasim Ocakoglu, and Siddik Icli. The Synthesis of 1,8-Naphthalimide Groups Containing Imidazolium Salts/Ionic Liquids using I⁻, PF₆⁻, TFSI⁻ Anions and Their Photophysical, Electrochemical and Thermal Properties. Dyes and Pigments, 86(3):206 – 216, 2010.

Canan Varlikli, Vlasoula Bekiari, Mahmut Kus, Numan Boduroglu, Ilker Oner, Panagiotis Lianos, Gerasimos Lyberatos, and Siddik Icli. Adsorption of Dyes on Sahara Desert Sand. Journal of Hazardous Materials, 170(1):27 – 34, 2009.

Ulusal ve Uluslararası Toplantılarda Sunulan Bildirileri, Sözel (S) ve Poster (P) Sunumları

- Ekim 2015** İlker Öner, Serpil Tekoğlu, Gerardo Hernandez Sosa, Uli Lemmer, Canan Varlıkl, **Sıyırma Kaplama Yöntemi ile Geniş Alanlı Beyaz Işık Yayan Organik Diyot (WOLED) Üretimi**, 7. LED Konferansı, İstanbul, Türkiye, 1-4 Ekim 2015 (S)
- Eylül 2014** İlker Öner, Çiğdem Şahin, Canan Varlıkl, **Single Emissive Layer White Organic Light-Emitting Diodes Based on New Green-Emitting Iridium Complex**, RSC Faraday Discussion 174, Strathclyde, İngiltere (P)
- Eylül 2014** Saliha Öner, İlker Öner, Canan Varlıkl, **Synthesis and Characterization of Tetraphenylsilane Based, Solution Processable Host Materials For Organic Light Emitting Diode (OLED) Applications**, RSC Faraday Discussion 174, Strathclyde, İngiltere, 8-10 Eylül 2014 (P)
- Eylül 2014** Nuriye Demir, Canan Varlıkl, İlker Öner, **QDLED applications of blue emitting conjugated polymer:CuInS₂/ZnS QD nanoparticles**, RSC Faraday Discussion 174, Strathclyde, İngiltere, 8-10 Eylül 2014 (P)
- Eylül 2013** Nuriye Demir, İlker Öner, Canan Varlıkl, Cihan Özsoy, Ceylan Zafer, **Photophysical properties and QDLED applications of yellow emitting conjugated polymer:CuInS₂/ZnS QD nanoparticles**, Advanced Materials World Congress (AMWC 2013), Çeşme-İzmir, Türkiye, 16-19 Eylül 2013 (S)
- Ağustos 2013** Canan Varlıkl, İlker Öner, **Solution Processed WOLED Studies in Ege University, Solar Energy Institute**, International Workshop on Solid State Lighting Technologies and Research 2013: LEDs and OLEDs SSL-TR 2013, Best Western Sile Gardens Hotel, İstanbul Türkiye, 20-21 Ağustos 2013 (S)
- Temmuz 2012** İlker Öner, Canan Varlıkl, Mustafa Ozturk, Yusuf Hikmet Kaya, **Producing and Characterizations of Large-Area White OLEDs Depending on Organometallic Complexes**, 5th International Symposium on Flexible Organic Electronics (ISFOE12), Thessaloniki, Yunanistan, 2-5 Temmuz 2012 (P)
- Temmuz 2012** İlker Öner, Oğuzhan Çimen, Canan Varlıkl, Haluk Dinçalp, Mustafa Ozturk, Yusuf Hikmet Kaya, **White Organic Light Emitting Diodes Prepared by Newly Synthesized Organic Dyes**, 5th International Symposium on Flexible Organic Electronics (ISFOE12), Yunanistan, 2-5 Temmuz 2012 (P)
- Nisan 2012** Haluk Dinçalp, Oğuzhan Çimen, İlker Öner, Canan Varlıkl, Mustafa Özturk, Yusuf Hikmet Kaya, Siddik İcli, **Synthesis and Spectral Properties of New Organic Dyes for White Organic Light Emitting Diodes**, 12th Eurasia Conference on Chemical Sciences (EuAsC2S-12), 16-21 Nisan 2012 Corfu, Yunanistan (S)

- Ekim 2011** İlker Öner, Çiğdem Şahin, Canan Varlıkl, **Bazı Rutenyum(II) Komplekslerinin Elektrolüminesant Özellikleri ve OLED Uygulamaları**, LED Konferansı, İstanbul, Türkiye, 29 Eylül - 2 Ekim 2011 (S)
- Haziran 2011** İlker Öner, Çiğdem Şahin, Canan Varlıkl, **OLED Applications of Some Polypyridyl Ruthenium(II) Complexes With Swallow-tail Alkyl Chains on Ligand**, Nanoscience and Nanotechnology Conference, İstanbul, Türkiye, 27 Haziran - 1 Temmuz 2011 (S)
- Aralık 2010** İlker Öner, Canan Varlıkl, Mustafa Öztürk, Yusuf Hikmet Kaya, **Beyaz Işık Yayan Organik Diyot (OLED) Tasarımı ve Aydınlatma Aygıtı Elde Edilmesi**, EGE AR-GE and Technology Days-AreGe, İzmir, Türkiye, 1-3 Aralık 2010 (P)
- Eylül 2010** İlker Öner, Canan Varlıkl, Mustafa Öztürk, Yusuf Hikmet Kaya, **Bazı İridyum Komplekslerinin Kullanıldığı Beyaz Oled Karakterizasyonları**, LED Konferansı, İstanbul, Türkiye, 30 Eylül - 1 Ekim 2010 (S)
- Ekim 2009** İlker Öner, Canan Varlıkl, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü **Işık Yayan Organik Diyot (OLED) Çalışmaları**, Enerji Verimliliği ve LED Konferansı, İstanbul, Türkiye, 1-4 Ekim 2009 (S)
- Haziran 2008** İlker Öner, Canan Varlıkl, Sıddık İçli, **The Use of a Perylenediimide Derivative in both Hole and Electron Transport Layers of ITO/PEDOT:PSS/PVK/Alq3/LiF/Al Electroluminescent Device**, Nanoscience and Nanotechnology Conference, İstanbul, Türkiye, 9-13 Haziran 2008 (P)
- Haziran 2007** Numan Boduroğlu, İlker Öner, Mahmut Kuş, Canan Varlıkl, Sıddık İçli, **Photo-catalytic Degradation of Methylene Blue: Sahara Desert Dust and TiO₂**, NanoTR-III Proceedings, Bilkent University, Ankara, Türkiye, 11-14 Haziran 2007 (P)
- Ağustos 2007** İlker Öner, Numan Boduroğlu, Mahmut Kuş, Cihan Özsoy, Canan Varlıkl, Sıddık İçli, **Investigation of Photodegradative Effect of TiO₂ Doped with Silver by Using Different Method**, XXI. National Chemistry Conference, Malatya, Türkiye, 23-27 Ağustos 2007 (P)