

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**(DOKTORA TEZİ)**

**POLİMER:İNORGANİK NANOPARÇACIK  
HİBRİT UV-FOTODEDEKTÖR TASARIMI,  
YAPIMI VE PERFORMANS İNCELEMESİ**

**Görkem MEMİŞOĞLU**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Canan VARLIKLI**

**Güneş Enerjisi Anabilim Dalı**

**Bilim Dalı Kodu : 625.05.04**

**Sunuş Tarihi : 18 Haziran 2015**

**Bornova-İZMİR**

**2015**



Görkem MEMİŞOĞLU tarafından Doktora tezi olarak sunulan “Polimer:İnorganik Nanoparçacık Hibrit UV-FotoDedektör Tasarımı, Yapımı ve Performans İncelemesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 18 Haziran 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. Koray ÜLGEN .....

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. İlbeyi AVCI .....

**Üye** : Prof. Dr. Serdar ÖZÇELİK .....

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Çiğdem ŞAHİN .....



# EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Polimer:İnorganik Nanoparçacık Hibrit UV-FotoDedektör Tasarımı, Yapımı ve Performans İncelemesi” 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.

18 / 06 / 2015

İmzası

Adı-Soyadı

Görkem MEMİŞOĞLU



**ÖZET****POLİMER:İNORGANİK NANOPARÇACIK  
HİBRİT UV-FOTODEDEKTÖR TASARIMI, YAPIMI VE  
PERFORMANS İNCELEMESİ**

MEMİŞOĞLU, Görkem

Doktora Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Canan VARLIKLI

Haziran 2015, 145 sayfa

Bu tez çalışmasında organik ve organik:inorganik hibrit malzemelerle yüksek fotoakım yanıtı alınabilecek UV bölgede çalışan fotodedektörler hazırlanmış, optik ve elektriksel karakterizasyonları ve performans incelemeleri yapılarak literatüre katkı sağlanmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda, poli(9,9-dioktilfloretil-2,7-ilenetinilen) (PFE) organik yarıiletkeni *p*-tipi malzeme olarak kullanılmış ve *n*-tipi bileşen değişimlerinin etkileri izlenmiştir. Özetle geleneksel ve/veya evrik mimarideki fotodedektörlerde aktif katmanda,

- (i) PFE'in bütilnaftalendiimit (BNDI) organik yarıiletkeni ile katkılanması,
- (ii) PFE:BNDI'in N-TiO<sub>2</sub> metaloksit inorganik yarıiletkeni ile katkılanması,
- (iii) PFE'in ZnO metaloksit inorganik yarıiletkeni ile katkılanması ve
- (iv) PFE:BNDI'in ZnO metaloksit inorganik yarıiletkeni ile katkılanması

çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen en yüksek fotoyanıt değerleri sırasıyla; 410 mA/W, 597 mA/W, 375 mA/W ve 651 mA/W olarak bulunmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Ultraviyole Fotodedektör, Empedans Spektroskopisi, Polifloren, Naftalendiimit, Titanyumdioksit, Çinkooksit.



**ABSTRACT****POLYMER:INORGANIC NANOPARTICLE  
HYBRID UV-PHOTODETECTOR DESIGN, PRODUCTION AND  
PERFORMANCE INVESTIGATIONS**

MEMISOGLU, Gorkem

PhD Thesis, Department of Solar Energy

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Canan VARLIKLI

June 2015, 145 pages

In this thesis organic and organic:inorganic hybrid UV photodetectors with enhanced photocurrent responses are prepared and characterized optically and electrically. With this aim, a fluorene type polymer, poly(9,9-dioctyl fluorenyl-2,7-yleneethynylene (PFE) is chosen as the *p*-type material and the effects of different *n*-type materials are observed. As a summary,

- (i) PFE is doped with buthlynapthalenedimide (BNDI) organic semiconductor,
- (ii) PFE:BNDI is doped with titaniumdioxide (TiO<sub>2</sub>) inorganic semiconductor,
- (iii) PFE is doped with zincoxide (ZnO) metaloxide inorganic semiconductor and
- (iv) PFE:BNDI is doped with ZnO metaloxide semiconductor

are used as active layer in conventional and/or inverted type photodetectors. Maximum photoresponses from these studies were; 410 mA/W, 597 mA/W, 375 mA/W and 651 mA/W, respectively.

**Keywords:** Ultraviolet Photodetector, Impedance Spectroscopy, Polyfluorene, Napthalenediimide, Titaniumdioxide, Zincoxide.



## TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmalarım boyunca her konuda bana destek veren, bilgilerinden, deneyimlerinden ve görüşlerinden faydalandığım tez danışmanım, saygıdeğer hocam Doç. Dr. Canan VARLIKLI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Desteklerinden dolayı Güneş Işınımlı Fotokimya Bilim Dalı'ndaki tüm değerli arkadaşlarıma ve Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde sağladıkları laboratuvar imkanlarından dolayı başta 2014 yılında emekli olan hocamız Prof. Dr. Sıddık İÇLİ olmak üzere tüm Güneş Enerjisi Enstitüsü öğretim üyelerine ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Doktoram sırasında bulunduğum İspanya Universitat Jaume-I Üniversitesi'nde bana sağladığı laboratuvar imkanlarından ve bilgi/deneyimlerini benden esirgemediklerinden dolayı Prof. Dr. Juan Bisquert Mascarel, Prof. Dr. Germa Garcia Belmonte ve Dr. Eva-Maria Barea Bersosa'ya teşekkür ederim.

Beni sevgiyle mutlu ve huzurlu bir ortamda büyütmeye çalışan, her zaman arkamda olduğunu bildiğim annem Zeynep MEMİŞOĞLU'na ve babam Ali MEMİŞOĞLU'na, sevgi ve saygısı ile ihtiyaç duyduğum her an yanımda olan, varlığından gurur duyduğum canım kardeşim Ahmet Berker MEMİŞOĞLU'na tüm kalbimle teşekkür ederim.

Doktora öğrenimimin bir kısmında bursiyer olarak görev aldığım 07-DPT-002, 11-DPT-001 ve 112T013 nolu Devlet Planlama Teşkilatı ve TÜBİTAK projelerine, yurt dışındaki çalışmalarına maddi destek veren European Science Foundation'a ve eğitim hayatımın büyük bölümünde bana maddi destek sağlayan Zonguldak Türkiye Taş Kömürleri Kurumu Güvenlik Vakfı'na teşekkürü bir borç bilirim.

Görkem MEMİŞOĞLU

İzmir, 2015



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	ix
TEŞEKKÜR .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xxi
SİMGELER, BİRİMLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 UV Spektrum ve Özellikleri .....	2
1.2 UV-A Fotodedektör Yapısı ve Teknolojisinin Mevcut Durumu .....	4
1.3 Organik Yarıiletken Tabanlı UV-A Fotodedektörler.....	6
1.3.1 UV-A fotodedektörlerde floren türevleri.....	10
1.3.2 UV-A fotodedektörlerde organik polimer:inorganik nanoparçacık hibritleri .....	12
1.4 Empedans Spektroskopisi Genel Tanımlar.....	14
1.5 Tez Çalışmasının Amacı ve Özgün Katkıları .....	17
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	19
2.1 Kullanılan Malzemeler .....	19
2.1.1 Aktif tabakada kullanılan malzemelerin özellikleri.....	20
2.2 İnce Film Hazırlama ve Karakterizasyon Sistemleri .....	23
2.3 Malzemelerin Optik ve Morfolojik İncelemeleri.....	26
2.4 Fotodedektör Hazırlık Aşamaları.....	27
2.5 Karakterizasyonda Önem Arz Eden Özellikler.....	28
3. BULGULAR/DEĞERLENDİRMELER.....	30
3.1 Organik Aktif Katmanlı ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI/Al Fotodedektör: 30	
3.1.1 PFE:BNDI film fazı incelemeleri.....	31
3.1.2 Fotodedektör karakterizasyonları.....	34
3.1.3 ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI/Al bulgular.....	42
3.2 Hibrit Fotodedektör ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI):TiO <sub>2</sub> ]/Al:.....	42

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.1 PFE:BNDI:TiO <sub>2</sub> film fazı incelemeleri.....	42
3.2.2 Fotodedektör karakterizasyonları.....	50
3.2.3 ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI):TiO <sub>2</sub> ]/Al bulgular.....	60
3.3 Geleneksel [ITO/PEDOT:PSS/(PFE:ZnO)/Al] ve Evrik [ITO/(PFE:ZnO)/Au] Mimarili Hibrit Fotodedektörler .....	60
3.3.1 PFE:ZnO film fazı incelemeleri.....	61
3.3.2 PFE:ZnO aktif tabakalı geleneksel ve evrik fotodedektörlerin karakterizasyonları, ömür ve kararlılıklarının karşılaştırılması.....	65
3.3.3 [ITO/PEDOT:PSS/(PFE:ZnO)/Al] ve [ITO/(PFE:ZnO)/Au] bulgular....	76
3.4 Geleneksel [ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI):ZnO]/Al] ve Evrik [ITO/[(PFE:BNDI):ZnO)/Au] Mimarili Hibrit Fotodedektörler.....	77
3.4.1 PFE:BNDI:ZnO film fazı incelemeleri.....	77
3.4.2 Fotodedektör karakterizasyonları.....	79
3.4.3 [ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI):ZnO]/Al] ve [ITO/[(PFE:BNDI):ZnO)/Au] bulgular.....	90
4. SONUÇ ve ÖNERİLER .....	91
4.1. Sonuç.....	91
4.2. Öneriler.....	92
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	93
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Elektromanyetik spektrum ve UV bölge.....	3
1.2. <i>p</i> -tipi ve <i>n</i> -tipi yarıiletken malzemelerle oluşturulan fotodiyot çalışma prensibi.....	4
1.3. (a) Çift katmanlı ve (b) tek katmanlı (karışım olarak kaplanmış) aktif tabaka içeren UV-A fotodedektör yapıları.....	6
1.4. (a) Geleneksel ve (b) evrik mimarili fotodiyotlar.....	7
1.5. (a) PEDOT:PSS ve (b) m-MTDATA moleküllerinin açık kimyasal yapıları.....	8
1.6. Polifloren türevlerine örnekler; (a) poli(9,9-di- <i>n</i> -hekziflorenil-2,7-diyil), (b) poli[9,9-di-(2-etilhekzil)-florenil-2,7-diyil] ve (c) poli[(9,9-di- <i>n</i> -oktilflorenil-2,7-diyil)- <i>alt</i> -(benzo[2,1,3]tiadiazol-4,8-diyil)].....	11
1.7 (a) Tek zaman sabitli empedans karakteristiği [ <i>iç şekil</i> : eşdeğer devre modeli, burada $R_p$ ; yük transfer direnci (paralel direnç), $R_s$ ; kontak direnci (seri direnç), $C$ ; kapasitans (sığa), $L$ ; endüktans' tır] ve (b) Frekansa bağlı kapasitans eğrisi ( <i>iç şekil</i> : frekansa bağlı süsseptans eğrisi).....	15
2.1 (a) PFE ve (b) BNDI moleküllerine ait kimyasal yapılar.....	19
2.2 PFE malzemesinin döngüsel voltametri eğrisi.....	20
2.3 PFE malzemesine ait sıcaklık-ısı akışı grafiği.....	21
2.4 (a) ZnO nanoparçacıklarının sentetik aşama akış diyagramı ve sentezlenen ZnO nanoparçacıkların (b) 200 nm ve (c) 100 nm ölçekli SEM görüntüleri.....	22
2.5 ZnO nanoparçacıklarının farklı çözümler içindeki dispersiyonları.....	23
2.6 Akım-gerilim karakteristikleri ölçüm sistemi.....	25

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.7 Işık kesicili devre sistemi.....	25
2.8 Empedans karakteristikleri ölçüm sistemi.....	26
2.9 Çalışılan fotodedektör mimarileri (a) Geleneksel mimari ve (b) Evrik mimari.....	28
3.1. PFE:BNDI (1:1-5) karışımlarına ait ince filmlerin (a) absorpsiyon ve (b) fotoluminesans eğrileri.....	31
3.2. PFE:BNDI (1-5:1) karışımlarına ait ince filmlerin (a) absorpsiyon ve (b) fotoluminesans eğrileri.....	32
3.3 PFE, BNDI ve PFE:BNDI karışımına ait ince filmlerin absorpsiyon ve fotoluminesans eğrileri.....	33
3.4. PFE ve BNDI arasında gerçekleştiği öngörülen enerji/elektron transfer mekanizması.....	33
3.5. Fotodedektör aygıt yapısı ve bileşenlerinin enerji seviyeleri.....	34
3.6. ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI (3:1)*/Al fotodedektörünün (a) 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm <sup>2</sup> şiddetli ışınım altında ve (b) karanlıkta alınan akım yoğunluğu-gerilim eğrileri (*: 25 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C'de tavlama).....	35
3.7. ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI (3:1)/Al fotodedektörünün ve farklı ışık şiddetleri (1, 2, 2.5 mW/cm <sup>2</sup> , 3 mW/cm <sup>2</sup> ve 3.5 mW/cm <sup>2</sup> ) altında alınan akım-gerilim eğrileri.....	36

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.8. ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI (3:1)/Al fotodetektörünün (a) uygulanan gerilim ile ve (b) aktif tabaka tavlama sıcaklığına göre (25 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C) değişen empedans eğrileri.....	37
3.9. ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI (3:1)*/Al fotodetektörünün frekansa göre değişen (a) kapasitans ve (b) süsseptans eğrileri (*: 25 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C' de tavlama).....	39
3.10. Farklı sıcaklıklarda tavlanan PFE:BNDI (3:1) ince filmlerinin AFM faz görüntüleri: (a) 25 °C, pürüzlülük: 11.2, (b) 40 °C, pürüzlülük: 10.4, (c) 60 °C, pürüzlülük: 7.5 ve (d) 80 °C, pürüzlülük: 11.6.....	40
3.11. ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI (3:1)*/Al fotodetektörünün (a) 2 mW/cm <sup>2</sup> ışınım altındaki ve (b) 60 °C' de tavlama için 0.5 mW/cm <sup>2</sup> , 1 mW/cm <sup>2</sup> ve 2 mW/cm <sup>2</sup> de 365 nm UV ışık altında, 0 V' ta zamana bağlı akım yoğunlukları (*: 25 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C' de tavlama).....	41
3.12. (PFE:BNDI) (3:1) ve [(PFE:BNDI) (3:1):x-TiO <sub>2</sub> ] [9:1] ince filmlerinin, oda sıcaklığındaki (a) absorpsiyon ve (b) fotoluminesans eğrileri (x= saf-, DPRYL-, NH <sub>4</sub> OH- ve DETOH-).....	44
3.13. [(PFE:BNDI):x-TiO <sub>2</sub> ] karışımında gerçekleştiği öngörülen enerji/elektron aktarım mekanizması.....	45
3.14. (PFE:BNDI) (3:1) ve [(PFE:BNDI) (3:1): NH <sub>4</sub> OH--TiO <sub>2</sub> ] [9:1] 60 °C' de tavllanmış ince filmlerin zamana bağlı floresansta kalma eğrileri (425 nm' de).....	46

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.15. (PFE:BNDI) (3:1) filminin (a) oda sıcaklığındaki (pürüzlülük: 11.2 nm) ve (b) 60 °C' deki (pürüzlülük: 7.5 nm), (c) [(PFE:BNDI): saf-TiO <sub>2</sub> ] [9:1] filminin (pürüzlülük: 16.5 nm) ve (d) [(PFE:BNDI):DPRYL-TiO <sub>2</sub> ] [9:1] filminin (pürüzlülük: 11.77 nm) oda sıcaklığındaki, [(PFE:BNDI):DETOH-TiO <sub>2</sub> ] [9:1] filminin (e) oda sıcaklığındaki (pürüzlülük: 11.05 nm) ve (f) 60 °C' de (pürüzlülük: 10.8 nm), [(PFE:BNDI):NH <sub>4</sub> OH-TiO <sub>2</sub> ] [9:1] filminin (g) oda sıcaklığındaki (pürüzlülük: 10.5 nm) ve (h) 60 °C' deki (pürüzlülük: 7.8 nm) yüzey morfolojileri; AFM faz görüntüleri.....	49
3.16. (a) [(PFE:BNDI): saf-TiO <sub>2</sub> ] [9:1], (b) [(PFE:BNDI): NH <sub>4</sub> OH-TiO <sub>2</sub> ] [9:1] 25 °C' deki, (c) [(PFE:BNDI): DETOH-TiO <sub>2</sub> ] [9:1] ve (d) [(PFE:BNDI): NH <sub>4</sub> OH-TiO <sub>2</sub> ] [9:1] 60 °C' deki SEM görüntüleri.....	50
3.17. Hibrit UV-A fotodedektör yapısı ve bileşenlerinin enerji seviyeleri.....	51
3.18. I ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1) x : saf-TiO <sub>2</sub> ] [x:1] /Al fotodedektörünün (a) karanlık ve (b) 1 mW/cm <sup>2</sup> , 365 nm UV ışınım altındaki akım yoğunluğu-gerilim eğrileri (x: 8, 9, 10 ve 11).....	52
3.19. ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1): x - TiO <sub>2</sub> ]/Al fotodedektörünün 1 mW/cm <sup>2</sup> , 365 nm UV-A ışınım altındaki empedans eğrileri (x: 8, 9, 10 ve 11), (iç şekil: eğrilere ait eşdeğer devre modeli).....	53
3.20. ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):x-TiO <sub>2</sub> ][9:1]/Al (x= saf-, DPRYL-, NH <sub>4</sub> OH- ve DETOH-) UV fotodedektörlerine ait (a) karanlık ve (b) 1 mW/cm <sup>2</sup> , 365 nm UV-A ışınım altında, oda sıcaklığı ve 60 °C' deki akım yoğunluğu-gerilim eğrileri.....	55
3.21. ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):x-TiO <sub>2</sub> ][9:1]/Al fotodedektörlerinde periyodik ışık aç-kapa düzeneği ile zamana bağlı elde edilen fotoyanıtları (x= saf-, DPRYL-, NH <sub>4</sub> OH- ve DETOH-), (V <sub>uyg.</sub> = 0 V).....	56

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.22. ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):x-TiO <sub>2</sub> ][9:1]/Al fotodedektörünün 1 mW/cm <sup>2</sup> , 365 nm UV ışınım altında oda sıcaklığı ve 60 °C' deki kompleks empedans eğrileri (x= saf-, DPRYL-, NH <sub>4</sub> OH- ve DETOH-), (iç-şekil: fotodedektöre ait eşdeğer devre modeli).....	57
3.23. ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):x-TiO <sub>2</sub> ][9:1]/Al fotodedektörünün 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm <sup>2</sup> ışınım altında, oda sıcaklığında ve 60 °C' deki (a) kapasitans yoğunluğu-frekans ve (b) süsseptans-frekans eğrileri (x= saf-, DPRYL-, NH <sub>4</sub> OH- ve DETOH-).....	58
3.24. ZnO:PFE ince filmlerinin (a) absorpsiyon ve (b) fotoluminesans eğrileri ( $\lambda_{uy}$ = 386 nm).....	62
3.25. PFE:x kt% x ZnO ince filmlerin AFM görüntüleri, x: (a) 0 (pürüzlülük: 0.5 nm), (b) 1 (pürüzlülük: 2.94 nm), (c) 3 (pürüzlülük: 3.17 nm), (d) 6 (pürüzlülük: 3.14 nm), (e) 9 (pürüzlülük:3.42 nm) oda sıcaklığında ve (f) 6 (pürüzlülük: 3.05 nm) 60 °C' de tavlanmış.....	64
3.26. (a) Geleneksel ve (b) evrik fotodedektör aygıt yapıları ve bileşenlerinin enerji seviyeleri.....	66
3.27. Geleneksel fotodedektörlerin (a) 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm <sup>2</sup> şiddetli ışınım altında ve (b) karanlıkta elde edilen akım yoğunluğu-gerilim eğrileri.....	67
3.28. Evrik fotodedektörlerin (a) 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm <sup>2</sup> şiddetli ışınım altında ve (b) karanlıkta elde edilen akım yoğunluğu-gerilim eğrileri.....	68
3.29. 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm <sup>2</sup> şiddetli ışınım altında, ışınım açık-kapalı döngüsünde (a) geleneksel ve (b) evrik mimarideki fotodedektörlerin akım yoğunlukları (0 V).....	69

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.30. 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm <sup>2</sup> şiddetli ışınım altında, ışınım açık-kapalı döngüsünde (a) geleneksel ve (b) evrik mimarideki fotodedektörlerin akım yoğunlukları (0 V).....	70
3.31. Geleneksel ve evrik mimarideki fotodedektörlerin 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm <sup>2</sup> şiddetli ışınım altında PFE kt% ZnO katkılama oranı ile değişen; (a) EQE ve (b) dedektivite değerleri.....	72
3.32. Gelen ışık şiddeti ile değişen geleneksel ve evrik fotodedektörlerin ait fotoyanıt değerleri.....	73
3.33. PFE: kt% 6 ZnO aktif alana sahip geleneksel ve evrik mimarili fotodedektörlerin 365 nm dalgaboylu 1 mW/cm <sup>2</sup> şiddetli ışınım altındaki zamana bağlı değişen fotoyanıt değerleri ( <i>içteki şekil: zamana bağlı <math>J_n/J_o</math> değerleri</i> ).....	73
3.34. (a) PFE ve [(PFE:BNDI)(3:1):x kt% ZnO (x: 0, 7, 8, 9 ve 10)karışımlarının absorpsiyonu ve (b) (PFE:BNDI) ve [(PFE:BNDI)(3:1):8 kt% ZnO] malzemelerine ait absorpsiyon ve fotoluminesans eğrileri, ( $\lambda_{uy} = 368$ nm).....	78
3.35. (a) Geleneksel ve (b) evrik mimarideki fotodedektör yapıları ve enerji seviyeleri.....	80
3.36. Geleneksel mimarili fotodedektörlerin (a) 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm <sup>2</sup> ışınım şiddeti altında ve (b) karanlıktaki akım yoğunluğu-gerilim eğrileri. ....	81
3.37. Evrik mimarili fotodedektörlerin (a) 365 nmdalgaboylu, 1 mW/cm <sup>2</sup> şiddetli ışınım altında ve (b) karanlıktaki akım yoğunluğu-gerilim eğrileri.....	82

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

### Şekil

### Sayfa

- 3.38. (a) Geleneksel ve (b) evrik mimarili fotodedektörlerin 365 dalgaboylu,  $1 \text{ mW/cm}^2$  şiddetli ışınım altında elde edilen empedans eğrileri.....83
- 3.39. Geleneksel ve evrik mimarideki fotodedektörlerin aktif tabakasına eklenen kütlece % ZnO miktarına bağlı (a) EQE ve (b) dedektivite değerleri (*iç şekil*: en iyi fotodedektör performansına sahip (8 kt% ZnO içeren) dedektörde uygulanan gerilim ile değişen dedektivite değerleri).....85
- 3.40. Geleneksel ve evrik mimarideki fotodedektörlerin zamana bağlı değişen fotoyanıt değerleri (a) farklı ışık şiddetleri ve (b)  $1 \text{ mW/cm}^2$  şiddetli 365 nm dalgaboylu ışık altında (*iç şekil*: zamana bağlı  $J_n/J_o$  noktaları).....87
- 3.41. [(PFE:BNDI): x kt% ZnO], x: 0, 7, 8, 9 ve 10 aktif tabakalarına sahip (a) geleneksel ve (b) evrik fotodedektörlerin ışınım açık - kapalı döngüsünde zamana bağlı akım yoğunluğu eğrileri (açık: 365 nm dalgaboylu,  $1 \text{ mW/cm}^2$  şiddetli ışınım ve kapalı: karanlık).....89

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1. Ticari UV-A fotodedektörlere ait performans değerleri. ....	5
2. Literatürde yayımlanmış organik UV-A fotodedektör performansları.....	10
3. Literatürde yayımlanmış hibrit UV-A fotodedektör performansları...13	
4. Tavlama ile değişen UV fotodedektör parametreleri. ....	38
5. İnce filmlere ait $\tau_{AV}$ (uyarılmış seviyede kalma ömür ortalaması) değerleri.....	47
6. Karakterizasyonu yapılan UV fotodedektörlere ait elektriksel parametreler.....	59
7. Geleneksel ve evrik aygıtlara ait elektriksel parametreler.....	75
8. Geleneksel ve evrik aygıtlara ait elektriksel parametreler.....	89
9. Doktora tez çalışmasında yapılan çalışmalarla ulaşılan fotoyanıt ve mobilite değerleri (geleneksel mimari; ITO/PEDOT:PSS/Aktif Tabaka/Al ve evrik mimari; ITO/Aktif Tabaka/Au).....	91

**SİMGELER, KISALTMALAR VE BİRİMLER DİZİNİ**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
Å	Angstrom
A	Amper
Au	Altın
c	Işık hızı
C	Kapasitans, (nF, F)
C	Elektrik yük birimi, (kulomb)
Cg	Geometrik kapasitans, (nF, F)
D*	Dedektivite, (Jones)
e	Elektron yükü, (C)
eV	Elektronvolt
f	Frekans, (Hz)
F	Farad
$f_{max}$	Maksimum frekans, (Hz)
g.b.	Gelişigüzel birim
h	Plank sabiti
H	Henry

**SİMGELER, KISALTMALAR VE BİRİMLER DİZİNİ (devam)**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
Hz	Hertz
<i>j</i>	İmajiner sayı
<i>J</i>	Akım Yoğunluğu, (mA/cm <sup>2</sup> )
<i>J</i> <sub>foto</sub>	Işık altındaki akım yoğunluğu, (mA/cm <sup>2</sup> )
<i>J</i> <sub>karanlık</sub>	Karanlık akım yoğunluğu, (mA/cm <sup>2</sup> )
<i>J</i> <sub>sc</sub>	Kısa devre akım yoğunluğu, (mA/cm <sup>2</sup> )
kt	Kütlece
L	Endüktans, (H)
<i>l</i>	Kalınlık, (Å, nm, cm)
M	Molar
mA	Miliamper
mbar	Milibar
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mm <sup>2</sup>	Milimetrekare

**SİMGELER, KISALTMALAR VE BİRİMLER DİZİNİ (devam)**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
mW	Miliwat
nF	Nano farad
nm	Nanometre
P	Güç, (mW, W)
R	Direnç, ( $\Omega$ )
R*	Fotoyanıt, (mA/W)
R <sub>p</sub>	Paralel direnç, ( $\Omega$ )
R <sub>s</sub>	Seri direnç, ( $\Omega$ )
T <sub>c</sub>	Kristalleşme sıcaklığı, ( $^{\circ}$ C)
T <sub>e</sub>	Erime sıcaklığı, ( $^{\circ}$ C)
T <sub>g</sub>	Camsı geçiş sıcaklığı, ( $^{\circ}$ C)
V	Volt, (V)
V <sub>oc</sub>	Açık devre gerilimi, (V)
W	Watt
$\epsilon_r$	Dielektrik sabiti
$\omega$	Açısal Frekans, (Hz)

**SİMGELER, KISALTMALAR VE BİRİMLER DİZİNİ (devam)**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
$q$	Elektron Yüğü, (C)
$-\Delta B$	Negatif diferansiyel süsseptans
$\Delta E_g$	Optik band aralığı, (eV)
$\lambda$	Dalga boyu, (nm)
$\lambda_{uy}$	Uyarma dalga boyu, (nm)
$\tau_t$	Transit süre, (s)
$\tau_{AV}$	Uyarılmış halde kalma ortalama süresi, (s)
$\mu$	Mobilite, (cm <sup>2</sup> /V.s)
$\mu m$	Mikrometre
$^{\circ}C$	Santigrat derece
$\Omega$	Ohm
$\square$	Kare

**SİMGELER, KISALTMALAR VE BİRİMLER DİZİNİ (devam)**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
AC	Alternatif Akım
ADS231BE	Poli[9,9-di-(2-etilhekzil)-florenil-2,7-diyil]
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
AlGaN	Alüminyum Galyum Nitrür
Alq <sub>3</sub>	Alüminyumhidroksikinolin
AZO	Alüminyum Katkılı Çinkooksit
BCP	Batokupron
BNDI	Bütilnaftalendiimit
Bphen	(4, 7-difenil-1, 10-penantrolin)
CV	Döngüsel Voltametri
CB	İletkenlik bandı (conduction band)
CFC	Kloroflorokarbon
CO	Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit

**SİMGELER, KISALTMALAR VE BİRİMLER DİZİNİ (devam)**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
DC	Doğru Akım
DETOH	Dietanolamin
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
DPRYL	Dipropilamin
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
HTL	Boşluk taşınım tabakası
EIS	Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
ETL	Elektron taşıma katmanı
EQE	Dış Kuantum Verimi (External Quantum Efficiency)
Fc	Ferrosen
FTO	Flor katkılı kalay oksit
GaN	Galyum Nitrür
GaP	Galyum Fosfür
HOMO	En yüksek enerjili dolu moleküler orbital (Highest occupied molecular orbital)

**SİMGELER, KISALTMALAR VE BİRİMLER DİZİNİ (devam)**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
HTL	Boşluk taşıyım tabakası (hole transport layer)
InGaN	İndiyum Galyum Nitrür
IR	Kızılötesi
ITO	İndiyum katkılı kalay oksit
LiF	Lityumflorür
LUMO	En düşük enerjili boş moleküler orbital (Lowest unoccupied molecular orbital)
MoO <sub>3</sub>	Molibdenyumoksit
m-MTDATA	4,4',4''-tris(3-metil-fenilfenilamino) trifenilamin
N	Azot
NDI	Naftalendiimit
NH <sub>4</sub> OH	Amonyumhidroksit
NO	Azotmonoksit
PEDOT:PSS	Poli(etilendioksitiyofen):poli(sitirensülfonat)
PF	Polifloren

**SİMGELER, KISALTMALAR VE BİRİMLER DİZİNİ (devam)**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
PFE	Poli(9,9-dioktil florenil-2,7-ilenetinilen)
PFH	Poli(9,9-dihexzilflore)
POSS	Polihebraloligometriksilsekoksan
Rpm	Dönüş/dakika (rounds per minutes)
SCI	Bilimsel Atıf Endeksi (Science Citation Index)
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SiC	Silisyumkarbür
TBAPF <sub>6</sub>	Tetra bütıl amonyum hegza flora fosfat
TCO	Transparan iletken oksit
THF	Tetrahidrofuran
TiO <sub>2</sub>	Titanyumdioksit
UV	Ultraviyole
VB	Değerlik bandı
Zn <sub>0.71</sub> Cd <sub>0.29</sub> S	Çinkokadmiyumsülfür

**SİMGELER, KISALTMALAR VE BİRİMLER DİZİNİ (devam)**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
ZnAc	Çinkoasetat
Z'	Reel empedans
Z''	Sanal empedans

## 1. GİRİŞ

Nanoteknolojik uygulamalar enerjinin üretiminden kullanımına kadar pek çok alana hizmet eder hale gelmiştir. Bu uygulamalar arasında 10-400 nm dalgaboylu Ultraviyole (UV, morötesi) ışınımına hassas fotonik aygıtlar olan fotodedektörler üzerine araştırmalar göze çarpmaktadır. İnorganik yarıiletkenlere dayalı UV fotodedektörler; uzay araştırmaları, medikal sanayi, otomotiv sanayi ve ilaç sanayi gibi alanlarda; güneş ışınım tespiti, kablosuz optik iletişim, kütleme, kurutma, fototerapi, litografi, dezenfeksiyon/sterilizasyon gibi geniş uygulama alanı bulmaktadır. Geniş uygulama alanı bulan bu teknolojinin en temel sorunu ise büyük alan uygulamalarındaki maliyet artışıdır. Maliyeti oluşturan en büyük etmen kullanılan kaplama tekniklerdir. Sol-jel, dönü kaplama, daldırma kaplama ve püskürtme kaplama gibi ıslak süreçler olarak tanımlanabilecek kaplama yöntemleri ciddi maliyet azalışlarına olanak sağlamaktadır. Organik yarıiletkenler bu teknikler ile kaplamaya elverişli çözünebilir türler içermektedir. Son birkaç on yıldır organik yarıiletkenlerin ve organik:inorganik yarıiletkenlerin birlikte kullanıldığı hibrit aktif katmanlar, pek çok fotonik uygulama alanında dikkat çekmektedir.

Tez 5 ana bölümden oluşmaktadır:

İçinde bulunduğumuz ilk bölümde elektromanyetik spektrumda UV bölgede UV-A bölgenin önemi ve özelliklerine değinilmiş, UV-A fotodedektör yapısı ve teknolojisinin mevcut durumu değerlendirilmiştir. UV-A fotodedektörlerde organik yarıiletken polimerlerden floren türevlerinin önemi ve organik Polimer:İnorganik nanoparçacık hibritlerinden bahsedildikten sonra, empedans spektroskopisi ile ilgili bilgi verilmiştir. Tez çalışmasının amacı ve tezin özgün katkıları tanımlanarak ilk bölüm tamamlanmıştır.

İkinci bölümde, çalışmada kullanılan malzemeler, kimyasal yapıları ve özellikleri açıklanmış, ince film hazırlama ve karakterizasyon sistemleri tanıtılmış, malzemelerin optik ve morfolojik incelemeleri ve fotodedektör hazırlık aşamaları

anlatılmıştır. İkinci bölüm sonunda, fotodedektör karakterizasyonunda önemli noktalara değinilmiştir.

Üçüncü bölümde bulgu ve değerlendirmeler kendi içinde 4'e ayrılarak incelenmiştir: organik UV-A fotodedektör ile ilgili yapılan çalışmada organik yarıiletken aktif tabaka karışımı film fazı için derişim ve tavlama sıcaklığı optimizasyonu, morfolojik incelemeler, organik UV-A fotodedektör hazırlığı, optik ve elektriksel karakterizasyon ve devre modelleme çalışmaları yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır. Sonraki 3 çalışmada; organik polimer-inorganik nanoparçacıklardan oluşan hibrit aktif tabaka ince film fazı için derişim optimizasyonu, morfolojik incelemeler, hibrit UV-A fotodedektör hazırlığı, optik ve elektriksel karakterizasyonları, devre modelleme çalışmaları yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

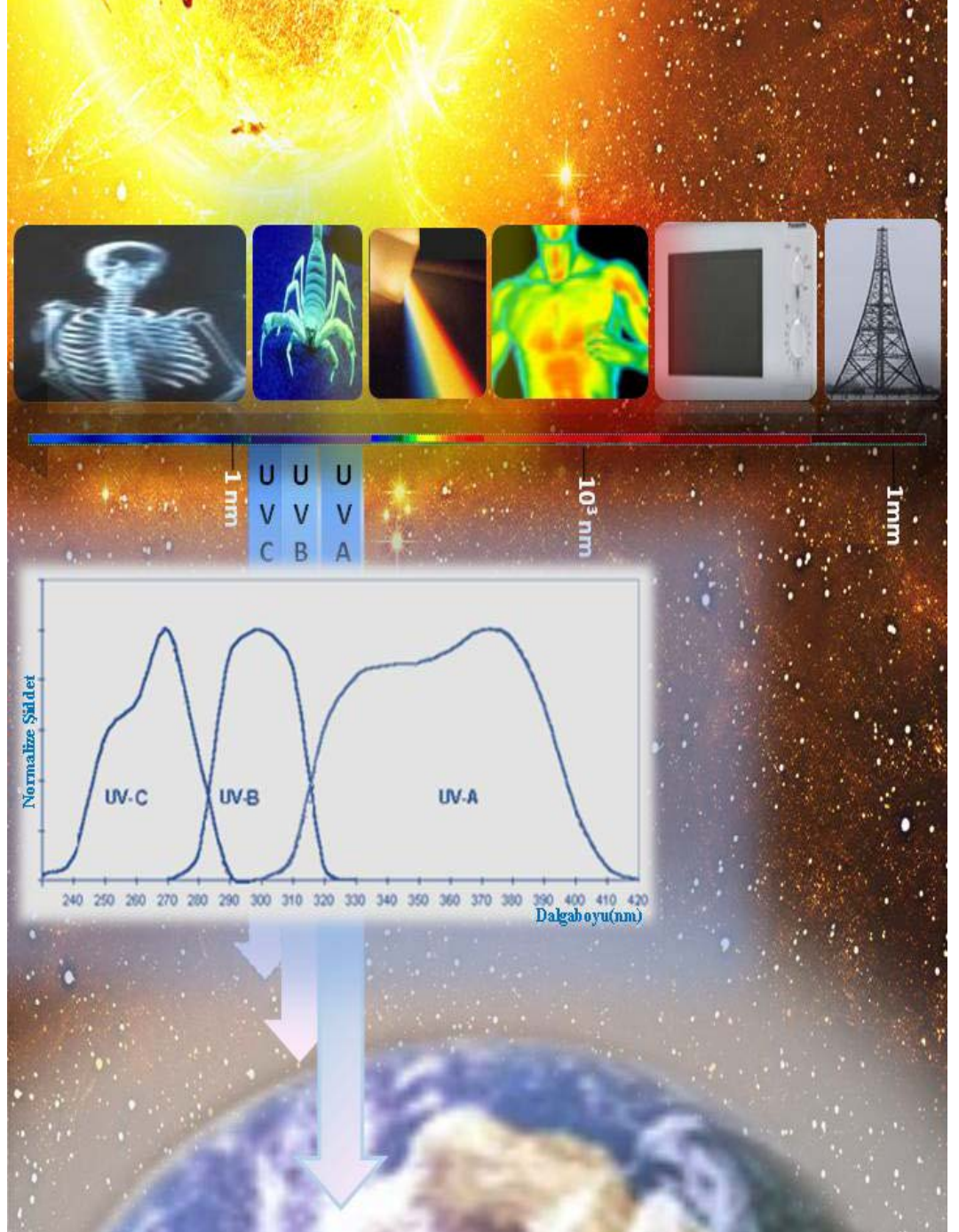
Son olarak; genel sonuç ve öneriler ile tez çalışması tamamlanmıştır.

## **1.1 UV Spektrum ve Özellikleri**

Ultraviyole spektrum, dalgaboyu aralığı 10-400 nm olan ışınları kapsamaktadır. Elektromanyetik spektrumda X-ışın bölgesi ile görünür ışık bölgesi arasında bulunur. Uzak UV (10-200 nm) ve UV (200-400 nm) şeklinde tanımlanan alt bölgeleri vardır.

UV bölge, biyolojik etkiler sebebiyle UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) ve UV-C (100-280 nm) olarak üç bölüme ayrılmıştır (Monroy et al., 2003). Bu üç bölüm içinde UV-C ışınları en zararlı olandır, tamamı atmosfer tarafından soğurulmaktadır. UV-B ışınları da canlılar üzerinde güneş yanığı gibi hasarlar oluşturur, DNA ve diğer hücrelerde yıkıma sebep olabilir. UV-B ışınların % 95'i atmosfer tarafından soğurulmaktadır (Dunbar, 2007). 315-400 nm dalgaboyu bölgesini kapsayan UV-A ışınlarının tamamı atmosferden geçerek yeryüzüne ulaşır (Şekil 1.1.). Bu sebeple gerektiğinde engellenmesi, gerektiğinde ise faydaya dönüştürülebilmesi için izlenmesi gereklidir.

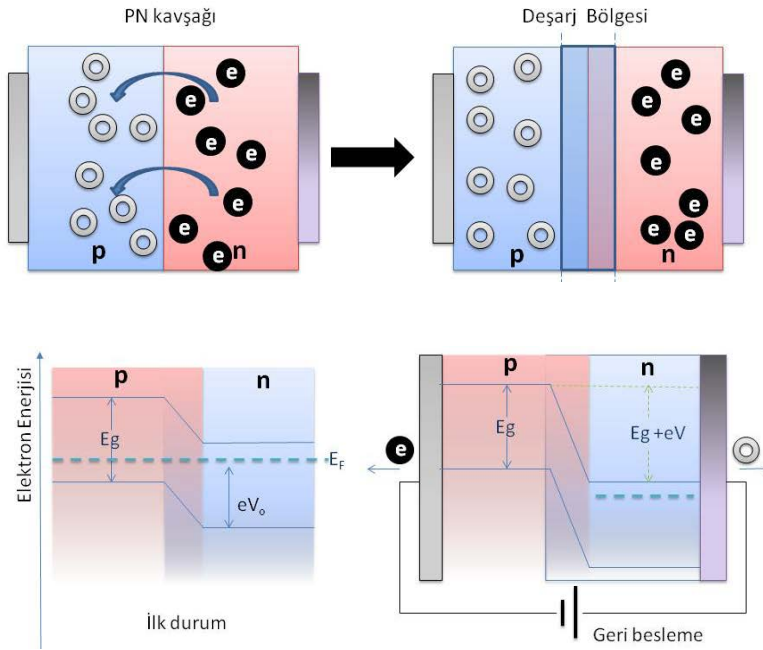
UV-A fotodetektörlerde standart olarak 365 nm dalga boyunda gelen ışık etkisi ile elde edilen fotodetektör performansları kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. Elektromanyetik spektrum ve UV bölge.

## 1.2 UV-A Fotodedektör Yapısı ve Teknolojisinin Mevcut Durumu

UV-A Fotodedektörler, absorbladığı ışığın enerjisini, ölçülebilir bir sinyale (elektrik sinyaline) dönüştüren, aktif tabaka olarak yarıiletken malzemenin iki metal elektrot (anot ve katot) arasında ince film halinde kaplanmasıyla oluşturulan aygıtlardır. Anot ve katot metal elektrotlar arasında *p*-tipi ve *n*-tipi malzemelerle oluşturulan fotodiyot çalışma prensibi Şekil 1.2.'de gösterilmektedir. *n*-tipi bölgede ana yük taşıyıcılar elektronlar ve *p*-tipi bölgede ana yük taşıyıcılar boşluklardır. Yük akışı tamamlandığında, *p-n* kavşak bölgesinde yalıtkan bölge (deşarj bölgesi) oluşur. Güç kaynağının eksi kutbu aygıtın *p*-tipi ve artı kutbu *n*-tipi bölgesine bağlandığında (geri besleme altında), tüm yükler *p-n* kavşak bölgesinden elektrotlara doğru çekilmektedir,deşarj bölgesi genişlemiştir, *n*-tipi bölgedeki elektronların enerjisi azalmış, enerji bariyeri artmıştır (Şekil 1.2.).



**Şekil 1.2.** *p*-tipi ve *n*-tipi yarıiletken malzemelerle oluşturulan fotodiyot çalışma prensibi (İnorganik fotodedektörlerde yük taşıyıcılar *p-n* ekleminden kaynaklanmaktadır).

(<http://www.matter.org.uk>)

Gerilim kaynağının negatif kutbu, *n*-tipi bölgedeki boşlukları çeker ve *p*-tipi bölge üzerinden, bu bölgedeki boşluklarla birlikte kaynağa doğru akmasını sağlar. Pozitif kutup ise *p*-tipi bölgedeki elektronları çeker ve *n*-tipi bölge üzerinden, bu bölgedeki serbest elektronlarla birlikte kaynağa doğru akmasını sağlar.

Aktif tabakasında inorganik, organik veya organik-inorganik hibrit malzeme kullanılarak hazırlanabilen UV-A fotodedektörler; uzay araştırmaları, medikal sanayi, otomotiv sanayi ve ilaç sanayi gibi alanlarda; solar ışınım tespiti, kablosuz optik iletişim, uzay araştırmaları, kütleme, kurutma, fototerapi, litografi, dezenfeksiyon/sterilizasyon gibi çok çeşitli uygulamalara sahiptir (Razeghi and Rogalski, 1998; Goldberg et al., 1999; Monroy et al., 2003).

Piyasada ticari olarak kullanılan mevcut UV-A fotodedektör sistemlerinin tümü inorganik tabanlıdır. Yarıiletken seçimi, fotodedektör hassasiyetini doğrudan etkiler. Bunlar arasında özellikle galyum nitür (GaN), alüminyum galyum nitür (AlGaN) gibi geniş bant aralığına sahip yarıiletken tabanlı UV fotodedektörler performansları ile göze çarpmaktadır. GaN tabanlı bir fotodedektörde fotoakım yanıtı (fotoyanıt), 0.5 mm<sup>2</sup> lik bir aktif alan için 360 nm dalgaboylu ışınım altında 180 mA/W'tır. AlGaN için ise bu değer 130 mA/W'tır. Ticari fotodedektörlere ait performans değerleri Çizelge 1.'de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Ticari UV-A fotodedektörlere ait performans değerleri.

Kaynaklar	UV-A FotoDedektör	FotoYanıt	Dalgaboyu
(www.boselec.com)	SiC	130 mA/W	200-400 nm
(www.thorlabs.de)	GaP	75 mA/W	250-400 nm
Sungmook, 2011	GaN	180 mA/W	200-370 nm
(www.eoc-inc.com)	AlGaN	130 mA/W	280-370 nm
(www.eoc-inc.com)	InGaN	150 mA/W	320-400 nm

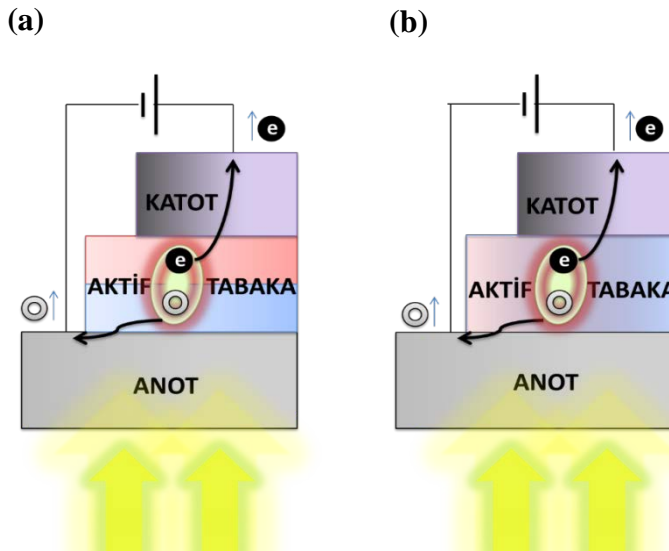
SiC: Silisyum Karbür, GaP: Galyum Fosfür, GaN: Galyum Nitür, AlGaN: Alüminyum Galyum Nitür, InGaN: İndiyum Galyum Nitür.

Ticari UV-A fotodedektörlerin genel sorunları; optik ve elektronik özelliklerinin değiştirilme maliyetinin yüksek oluşu, malzeme çeşitliliklerinin sınırlı oluşu, film hazırlığında kullanılan kaplama tekniklerinin vakum ortamına veya yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyması ve geniş alan uygulamalarının yüksek maliyetidir (Li H. et al., 2010).

### 1.3 Organik Yarıiletken Tabanlı UV-A Fotodedektörler

Organik yarıiletken tabanlı UV-A fotodedektörler ekzitonik aygıtlardır, aygıttaki yük taşıyıcılar, aktif tabakadaki ışık absorpsiyonu ile oluşan ekzitonun ayrışmasıyla oluşur. Aktif tabakada tek tip yarıiletken kullanımında, ışığın soğurulması sonrası ekziton bağlanma enerjisi yüksek olduğundan, yük ayrışması gerçekleşme olasılığı zayıftır. Bu nedenle genellikle *p*-tipi ve *n*-tipi organik yarıiletken birlikte kullanılır ve böylece ekziton bağlanma enerjisi azalır, ayrışması kolaylaşır.

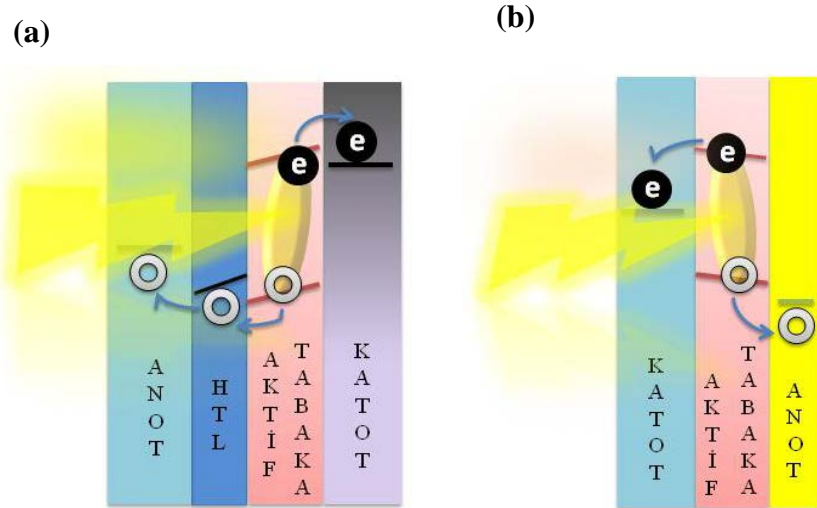
UV-A fotodedektör aktif tabaka hazırlığı, *p*-tipi ve *n*-tipi iki yarıiletkenin üst üste iki ayrı tabaka şeklinde yapılabileceği gibi (Şekil 1.3. (a)), birbirine katkılansız olarak tek tabaka şeklinde de (Şekil 1.3. (b)) yapılabilir.



Şekil 1.3. (a) Çift katmanlı ve (b) tek katmanlı (karışım olarak kaplanmış) aktif tabaka içeren UV-A fotodedektör yapıları.

Ekzitonik aygıtın aktif tabasında kullanılan yarıiletkenlerden elektron kabul eden akseptör, elektron kaybeden ise donör olarak isimlendirilir. Donör-akseptör çifti oluşturan, aralarında verimli enerji/elektron transferi elde edilen malzemelerde, oluşan ekzitonun ayrışma verimi yüksek olabilir (Li et al., 2011).

Çalışma mekanizması; gelen ışığın aktif tabaka tarafından soğurulmasıyla oluşan ekzitonun ayrışması sonrası, yük taşıyıcıların elektrotlardan toplanmasıyla ölçülebilen bir elektrik sinyali elde edilmesi şeklindedir (Şekil 1.3.). Elektronların katot ve boşlukların anottan toplandığı geleneksel mimari ve elektronların anot ve boşlukların katottan toplandığı evrik mimari olmak üzere, iki çeşit fotodedektör mimarisi mevcuttur. Şekil 1.4.'te geleneksel ve evrik mimariler ve yük hareketleri gösterilmektedir.



Şekil 1.4. (a) Geleneksel ve (b) Evrik mimarili fotodiyotlar.

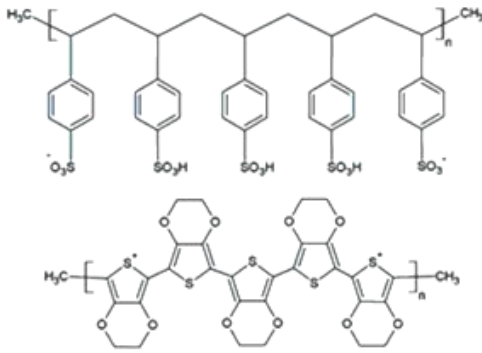
Organik yarıiletken tabanlı UV-A fotodedektör katmanlarını oluşturan malzemelerin özellikleri büyük önem taşır. Aşağıda, organik yarıiletken tabanlı UV-A fotodedektörlere ait katmanlar ve bu katmanlarda kullanılacak malzemeler genel özellikleri ile birlikte verilmiştir:

*Anot* – Boşlukların toplanmasını kolaylaştıracak şekilde, aygıt mimarisinde kullanılan diğer elektrotta göre daha yüksek iş fonksiyonuna sahip elektrottur. Anot elektrotlardan saydam iletken oksitler (ITO, FTO, AZO gibi) geleneksel

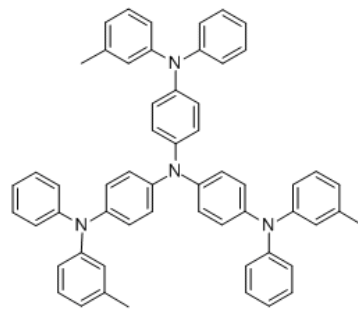
mimaride; altın gibi metaller ise evrik mimaride kullanılan boşluk toplayıcı elektrotlardır. Saydam iletken oksit anot elektrotun; termal dayanımı, kimyasal dayanımı, optik geçirgenliği ve elektriksel iletkenliğinin yüksek olması beklenmektedir. Saydam iletken oksitlerden AZO'ların geliştirilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir (Gong et al., 2011; Wang, X. et al., 2014). ITO'ya kıyasla FTO'nun ışık geçirgenliği daha düşük, yüzey direnci daha yüksektir (Aouaj et al., 2009). İndiyum rezervlerinin sınırlı olması ITO'nun TCO alternatifi olarak kullanımının önünde bir engel olarak tanımlanmaktadır (Tao et al., 2011). Ancak AZO ve FTO ile karşılaştırıldığında, yüksek ışık geçirgenliği ve düşük sıcaklıklarda ( $\leq 180$  °C) sergilediği yüksek iletkenliği ile fotodedektör uygulamaları için halen en iyi alternatiftir.

*Boşluk taşınım tabakası (HTL)*– Geleneksel sistemde boşluk toplayıcı saydam iletken altlık üzerine, evrik sistemde ise, boşluk toplayıcı metal elektrot kaplaması öncesinde aktif tabaka üzerine ince film halinde kaplanır. Geleneksel sistemde anot üzerine kaplanan boşluk taşınım tabakasının anot yüzeyini düzleştirilmesi beklenmektedir. PEDOT:PSS (Şekil 1.5. (a)), m-MTDATA (Şekil 1.5. (b)) veya grafen, boşluk taşınım tabakası olarak kullanılabilir malzemelerdendir.

(a)



(b)



Şekil 1.5. (a) PEDOT:PSS ve (b) m-MTDATA moleküllerinin açık kimyasal yapıları.

*Aktif tabaka* – Fotodedektörün çalışacağı bölgede soğurma yapan tabakadır. Tek tabakadan oluşabileceği gibi, birden çok tabaka da içerebilir. Aktif tabakada kullanılacak malzemenin su ve neme dirençli, termal ve elektriksel dayanımının

yüksek ve maliyet azaltıcı ıslak kaplama tekniklerine elverişli olması beklenmektedir. Fotodedektör aktif tabakasında floren türevleri ve karbazol türevleri *p*-tipi, naftalenler, kuantum noktalar, çinkooksit ve titanyum dioksit ise *n*-tipi yarıiletken olarak aktif tabakada kullanılan malzemelerden bazılarıdır.

*Katot* – Elektronların toplanmasını kolaylaştıracak şekilde aktif tabakada kullanılan malzemeye bağlı olarak seçilen katot malzemesi, aygıt mimarisinde kullanılan diğer elektrota göre daha düşük iş fonksiyonuna sahip olan elektrottur. Alüminyum, gümüş gibi metaller, geleneksel aygıt mimarisinde sıkça kullanılan katot malzemeleridir. Evrik sistemde boşluk toplayıcı altın elektrot karşısında ITO, FTO ve AZO elektrotlar elektron toplayıcı elektrot olarak kullanılmaktadır. Elektriksel iletkenliği yüksek, nem ve oksijene dirençli olmaları beklenmektedir.

UV-A fotodedektörlerde kaplama yöntemleri, kullanılan malzemelerin çözünürlüğüne bağlı olarak değişmektedir. Çözünmeyen malzemelerin vakum termal buharlaştırma gibi yöntemlerle ince filmleri hazırlanabilir. Çözünebilen malzemeler ise, daldırma-kaplama, sol-jel, rulodan ruloya kaplama, püskürtme kaplama veya dönü-kaplama gibi yöntemlerle ince film haline getirilebilirler. Organik yarıiletkenler; üretim maliyetlerinin düşük ıslak kaplama yöntemleri ile kaplamaya elverişli olmaları, malzeme çeşitlilikleri, esnek tabanda üretilebilmeleri, geniş yüzeylere uygulanabilirlikleri ve optik ve elektriksel özelliklerinin düşük maliyetle değiştirilebilmesi sayesinde inorganiklere göre üstünlük oluştururlar.

Literatürde raporlanan organik yarıiletken tabanlı UV-A fotodedektör performanslarına ait değerler Çizelge 2.'de verilmiştir. Elde edilen performansların, Çizelge 1.'de verilen ticari fotodedektörlerle yarışır değerlerde olduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan Ali et al., (2011) tarafından hazırlanan UV-A fotodedektör vakum termal buharlaştırıcı ile, diğer çalışmalardaki UV-A fotodedektörler ise ıslak kaplama prosesleri ile hazırlanmıştır.

**Çizelge 2.** Literatürde yayımlanmış organik UV-A fotodedektör performansları.

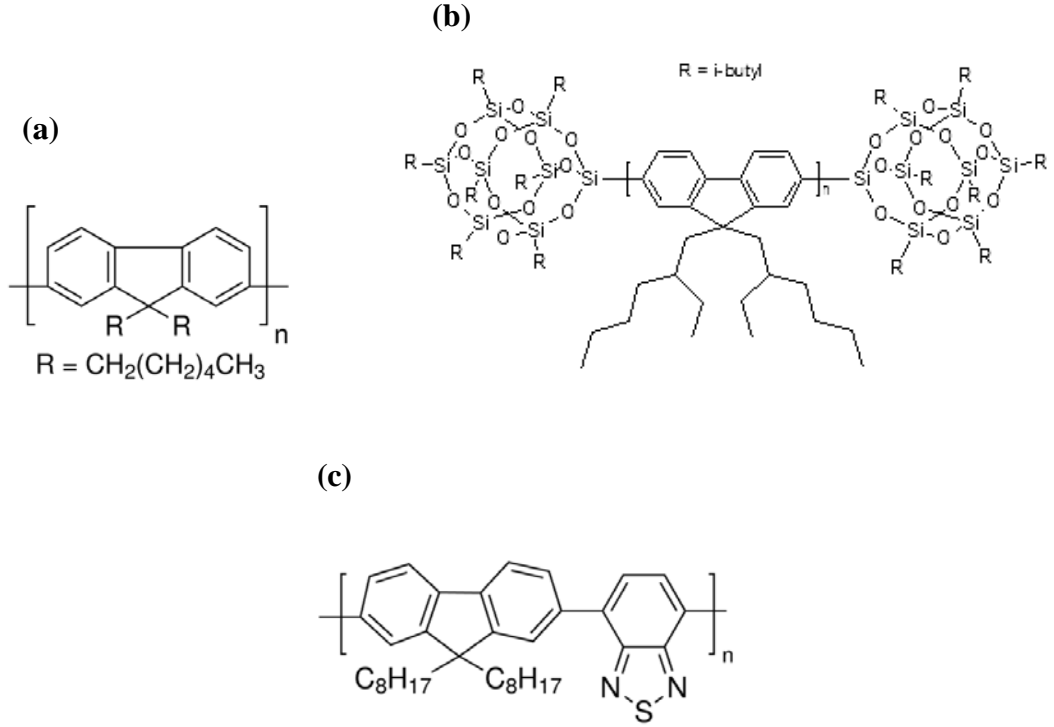
Kaynaklar	Aygıt Yapısı	Aktif Alan (mm <sup>2</sup> )	J (mA/cm <sup>2</sup> ); V <sub>uyg</sub>	Fotoyanıt (mA/W); V <sub>uyg</sub>	UV Şiddeti (mW/cm <sup>2</sup> ); λ (nm)
Su et al., 2008	ITO/TPD <sup>a</sup> :Alq <sub>3</sub> <sup>b</sup> /Al	-	0.108; -8	90; -8	1.2; 365
	ITO/m-MTDATA <sup>c</sup> :Alq <sub>3</sub> <sup>b</sup> /Al	-	0.359; -8	299; -8	1.2; 365
	ITO/m-MTDATA <sup>c</sup> :Gaq <sub>3</sub> <sup>d</sup> /Al	-	0.405; -8	338; -8	1.2; 365
Hamasaki et al., 2009	ITO/F8T2 <sup>e</sup> :PCBM <sup>f</sup> /Au	0.03	~ 9; -14	-	9; 460
Yan et al., 2009	ITO/m-MTDATA <sup>c</sup> /TBPi <sup>g</sup> /Al	6	0.068; -6.5	75.2; -6.5	1; 365
Ali et al., 2011	ITO/F <sub>4</sub> TCNQ <sup>h</sup> /TPD <sup>a</sup> /P2NHC <sup>i</sup> /BCP <sup>k</sup> /LiF/Al	2	-	77; -16	-; 390
Han et al., 2009	FTO/TiO <sub>2</sub> /PFH <sup>m</sup> /Au	3	0.0038; 10	-	3.2; -
Li et al., 2010	ITO/PEDOT:PSS/CFC <sup>n</sup> :ZnO/ Al	9	0.046; -2	46; -2	1; 365
Wang et al., 2010	ITO/ZnO/PVK <sup>p</sup> /PEDOT:PSS/ Au	-	0.132; -5	110; -5	1.2; 365
Wang J.B. et al., 2010	ITO/m-MTDATA <sup>c</sup> /LiF/Al	-	0.276; -7.5	230; -7.5	1.2; 365
Li et al., 2011	ITO/ PEDOT:PSS/PFH <sup>m</sup> :NDI-BA/Al	-	226; -4	224; -4	1; 365
Haiguo et al., 2011	ITO/PEDOT:PSS/PFP <sup>s</sup> /NSN <sup>t</sup> / LiF/Al	-	0.697; -12	696; -12	1; 365
Liu et al., 2012	ITO/m-MTDATA <sup>c</sup> /m-MTDATA: Bphen/Bphen <sup>u</sup> /TPBi <sup>v</sup> /LiF/Al	8	-	872; -12	2.8; 365
Wang et al., 2014	ITO/ZnO/PVK <sup>p</sup> :PCBM <sup>f</sup> /MoO <sub>3</sub> /Ag	2	115; -1.5	-	0.6; 350

*a:* N,N'-bis(3-metilfenil)-N,N'-difenilbenzidin, *b:* Tris (8-hidroksikinolato)alüminyum, *c:* 4,4',4''- tris (3-metil-fenil fenilamino) trifenilamin, *d:* tris-(8-hidroksikinolin) galyum, *e:* poli(9,9-dioktilfloretil-alt-bitiyofen), *f:* [6,6]-Fenil-C61-bütirik asit metil ester, *g:* 1,3,5-Tris(1-fenil-1H-benzimidazol-2-iyil)benzen, *h:* (2,3,5,6-Tetrafloro-2,5-siklohegzadien-1,4-diyliden)dimalononitril, *i:* 7,7,8,8-Tetrasiyano-2,3,5,6-tetraflorokinodimetan, *j:* 3,6-difenil-N-hekzilkarbazol, *k:* Batokupron, *m:* Poli(9,9-di-n-hekzilklofenil-2,7-diyil), *n:* Kloroflorokarbon, *p:* polivinilkarbazol, *s:* 2,7-bis(3',5'-difenilfenil)-9,9-difenilfloretil, *t:* bis(4-(4,6-difenil-1,3,5-triazin-2-il)fenil)difenilsilan, *u:* (4, 7-difenil-1, 10-penantrolin), *v:* poli(9,9-dioktil florenil-2,7-ilenetinilen), *w:* N,N'-bis-n-bütül-1,4,5,8-naftalendiümit, *y:* molibdenum oksit.

### 1.3.1 UV-A fotodedektörlerde floren türevleri

Organik yarı iletken polimerlerden polifloren (PF) malzemesi, elektrik alan altında iletkenliğinin artması ile elektroaktif, hassas olduğu UV-A ışınım altında ise fotoaktif bir malzemedir (Fukuda et al., 1989). Polifloren; boşluk taşıma yeteneği, elektron taşıma yeteneğinden 3 kat daha fazla olan (Redecker et al., 1998; Babel et al., 2003) ve oda sıcaklığında,  $10^{-3} - 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/V.s civarında boşluk mobilitesine sahip *p*-tipi bir yarıiletkendir (Tinti et al., 2011). İnce film fazında

tavlama sıcaklığı ve kalınlığa bağlı olarak elektriksel karakteristiklerinin değiştiği bilinmektedir (Lee et al., 2002).



**Şekil 1.6.** Polifloren türevlerine örnekler; (a) poli(9,9-di-*n*-hekziflorenil-2,7-diyil), (b) poli[9,9-di-(2-etilhekzil)-florenil-2,7-diyil] ve (c) poli[(9,9-di-*n*-oktilflorenil-2,7-diyil)-*alt*-(benzo[2,1,3]tiadiazol-4,8-diyil)].

Polimer malzemelerde erime sıcaklığı ( $T_e$ ), kristalleşme sıcaklığı ( $T_c$ ), camı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) gibi her polimerin kendine has bazı kritik sıcaklık değerleri vardır. Bu sıcaklıklar artan sırası ile camı geçiş, kristalleşme ve erime olarak sıralanmaktadır.  $T_e$ ; malzemenin eriyik hale geçmeye başladığı,  $T_g$ ; malzemenin viskoz özellik kazanmaya başladığı ve  $T_c$ ; malzemenin amorf halden kristalleşmeye geçtiği sıcaklıklardır. Genel olarak polimerlerin kristalleşme sıcaklığı, yapılarına (homo- veya ko-polimer) ve moleküler ağırlıklarına göre değişir.  $T_c$  altında ve  $T_g$  dolaylarındaki tavlamalarda polimer ince film daha düzgün morfolojiye sahip olmaktadır ve kullanıldıkları aygıt sisteminden daha fazla akım yoğunluğu elde edilmektedir (Li et al., 2011; Sevim et. al., 2013). Bu nedenle organik yarıiletken polimerlerde tavlama sıcaklığı son derece önem taşımaktadır.

Organik polimer film kalınlığı ince (40 nm' den daha az) hazırlandığında molekülleri arası boşluklardan ve yüzey pürüzlülüğünden kaynaklı aktif tabakasında kullanıldığı aygıtta kısa devrelere (akımda, yük taşıyıcı iletiminin yavaşlamasıyla ve kümeleşmelerle artan kesilim) sebep olabilmektedir. Bu nedenle optoelektronik sistemlerde aktif tabaka kalınlığı 40 nm üzeri kalınlıklarda hazırlanır (Romero et al., 2009, Gartner et al., 1997).

Çizelge 2.'deki çalışmalardan bazılarında polifloren türevlerinin kullanımı söz konusudur (Hamasaki et al., 2009; Han et al., 2009; Li et al., 2011; Haiguo et al., 2011). Örneğin; heksil grubu içeren bir PF türevi bir naftalendiimit (NDI) türevi ile katkılanmış ve 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetinde gelen ışık altında, -4 V'ta 80 °C'de tavlama ile 224 mA/W'lık yanıt alınmıştır (Li et al., 2011). Organik UV-A fotodedektörlerde kullanılan ticari polifloren türevlerine ait kimyasal yapılardan bazıları Şekil 1.6. (a-c)'de gösterilmiştir.

Ticari yapılarda, temel polifloren yapısına (Şekil 1.6. (a)) kümeleşmeyi azaltan ve camsı geçiş sıcaklığını arttıran (Guo et al., 2012) POSS (polihedral oligometrik silseskoksan) gruplarının eklenmesi (Şekil 1.6. (b)) ya da donör (polifloren) ve akseptör (benzotiyadiazol) gruplarına aynı molekülde yer verilmesi (Şekil 1.6. (c)) gibi yaklaşımlar izlenmektedir. Bununla birlikte, UV-A fotodedektör aktif tabakasında donör ve akseptör grupların aynı yapıda bulunması ekziton bağlanma enerjisini artırabileceği için tercih edilmemektedir (Ma et al., 2005).

### **1.3.2 UV-A fotodedektörlerde organik polimer:inorganik nanoparçacık hibritleri**

Literatürdeki UV-A fotodedektörler arasında, inorganik nanoparçacıkların organik polimere katkılanarak kullanıldığı yayımlara rastlanmaktadır. Aynı katmanda *p*-tipi bir yarı iletken ile *n*-tipi bir yarı iletkenin karışım halinde birlikte kullanımı, malzemeler arası temas yüzeyini arttırıp yük taşıyıcıların hareketini kolaylaştırabileceğinden tercih edilmektedir. UV-A fotodedektör araştırmalarının çoğunda aktif tabakada *p*-tipi bir polimer ile birlikte *n*-tipi yarıiletken olarak metal oksit türevleri (TiO<sub>2</sub>, ZnO gibi) kullanılmaktadır (Ali et al., 2011; Hamasaki et al.,

2009; Su et al., 2008). Yayımlanmış organik polimer:inorganik nanoparçacık tabanlı hibrit UV-A fotodedektörlerin performanslarına ait değerler Çizelge 3.'te bulunmaktadır.

Hibrit UV fotodedektörlerde inorganik metal oksit nanoparçacık olarak  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{ZnO}$  ile çalışılmıştır.  $\text{TiO}_2$ ; 3.3 eV bant genişliği olan, *n*-tipi metal oksit yarıiletken bir malzemedir, fotonik uygulamalarda çokça kullanılmaktadır. Boya duyarlı güneş hücrelerinde boyanın üzerine adsorblandığı malzemedir.  $\text{ZnO}$  ise  $\text{TiO}_2$  ile aynı bant genişliğine ve  $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{V.s}$  elektron mobilitesine sahip, *n*-tipi metal oksit yarıiletken bir malzemedir. Fotonik uygulamalarda  $\text{TiO}_2$ 'e potansiyel bir alternatif olarak görülmektedir (He et al., 2007).

**Çizelge 3.** Literatürde yayımlanmış hibrit UV-A fotodedektör performansları.

Kaynaklar	Aygıt Yapısı	Aktif Alan ( $\text{mm}^2$ )	J ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ ); $V_{\text{uyg}}$ (V)	Foto yanıt ( $\text{mA}/\text{W}$ ); $V_{\text{uyg}}$ (V)	UV Şiddeti ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ; $\lambda$ (nm))
Han et al., 2009	FTO/ $\text{TiO}_2$ /PFH <sup>a</sup> /Au	3	0.0038; 10	-	3.2; -
Han et al., 2010	ITO/ PEDOT:PSS/ $\text{TiO}_2$ -PFH <sup>a</sup> /Al	7.5	-	6.92; 0	3.6; 365
Li H.G. et al., 2010	ITO/PEDOT:PSS/CFC <sup>b</sup> : $\text{ZnO}$ /Al	9	0.046; -2	46; -2	1; 365
Yang et al., 2010	ITO/PEDOT:PSS/ $\text{ZnO}$ +PVK <sup>c</sup> / Graphene/Al	-	7.15; 0.4	-	0.6; 365
Wang et al., 2010	ITO/( $\text{ZnO}$ /PVK <sup>c</sup> )/PEDOT:PSS/Au	-	0.132; -5	110; -5	1.2; 365
Han et al., 2011	ITO/ PEDOT:PSS/b- $\text{TiO}_2$ /PFH <sup>a</sup> /Al	7.5	0.091; 0	28.4; 0	3.2; -
	ITO/ PEDOT:PSS/OA- $\text{TiO}_2$ :PFH <sup>a</sup> /Al	7.5	0.019; 0	5.9; 0	3.2; 365
Han Y. et al., 2011	FTO/ $\text{TiO}_2$ /PFH <sup>a</sup> /Au	30	-	33.2; 0	3.2; 395
Sevim vd., 2014	ITO/PEDOT:PSS/ ADS231BE <sup>d</sup> : $\text{Zn}_{0.71}\text{Cd}_{0.29}\text{S}$ <sup>e</sup> /Al	1	0.38; -4	380; -4	1; 365
Zhang, 2015	FTO/ $\text{TiO}_2$ /PFH <sup>a</sup> /Au	1	-	568; -2	0.1; 330

a: poli(9,9-dihexilflore); b: kloroflorokarbon; c: poli-N-vinilkarbazol, d: Poli[9,9-di-(2-etilhekzil)-floretil-2,7-diyil], e: çinkokadmiyumsülfür, f: poli(9,9-dioktil floretil-2,7-ilenetinilen), g: N,N'-bis-n-bütül-1,4,5,8-naftalendiimit.

$\text{TiO}_2$  ve  $\text{ZnO}$  metaloksit yarıiletken malzemeleri, literatürde fotokatalitik degradasyon performansları (Barnes et al., 2013; Dindar ve Icli, 2001), anti-bakteriyel aktiviteleri (Adams et al., 2006) veya güneş hücrelerindeki performansları (Cells et al., 2014; Sobus et al., 2014) bakımından birçok alanda

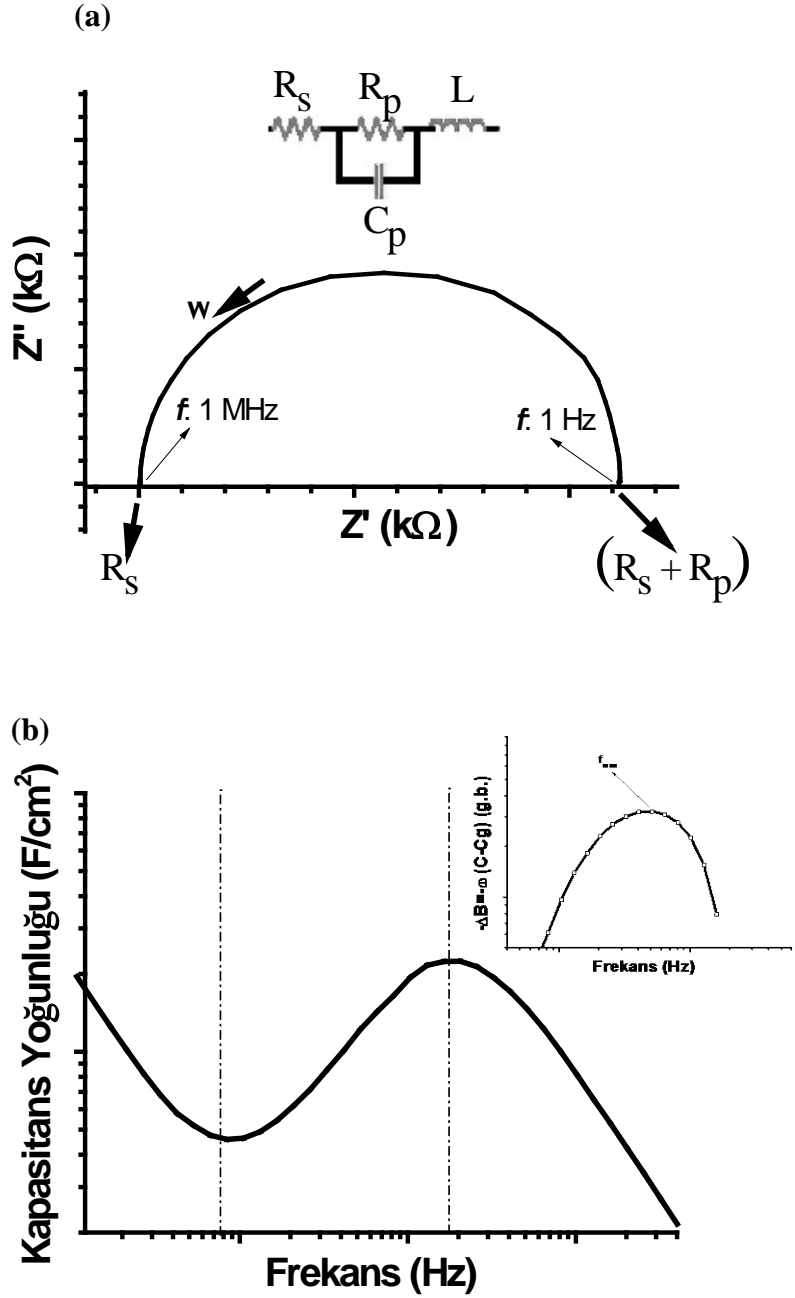
karşılaştırılmış ve ZnO performansının, TiO<sub>2</sub> ile yarışır düzeyde olduğu belirtilmiştir.

#### 1.4 Empedans Spektroskopisi Genel Tanımlar

Empedans spektroskopisi, bir sistemin elektriksel performans değişimlerini açıklarken kullanılan bir yöntemdir (Al-Hardan et al., 2011; Shao et al., 2006; Bisquert et al., 2006; Zafer vd., 2009; Pereira et al., 2006). Fotodedektör içindeki yük dengesi ve tabakalar arası arayüzlerdeki yük birikimleri, elektrotlardan toplanacak yüklerin miktarını etkileyen faktörlerdendir. Fotodedektörlerin elektriksel değerlendirmeleri için empedans spektroskopisine başvurulmaktadır (Al-Hardan et al., 2011; Arredondo et al., 2013).

Eşdeğer devre modellemesi; bir sistemin çalışma prensibini elektriksel devre elemanlarını (seri direnç ( $R_s$ ), paralel direnç ( $R_p$ ), kapasitans ( $C$ ) ve endüktans ( $L$ ) gibi) kullanarak devre modellemesi yapmak, formüllerle aygıt performansındaki değişimi açıklamak için kullanılır (Barsoukov ve Macdonald, 2005). Fotodedektör empedans eğrilerinden yola çıkılarak yapılan simülasyonlarla eşdeğer devre modellemeleri yapıp aygıt içindeki yük dengeleri/dengesizlikleri yorumlanabilir. Negatif diferansiyel süseptans metodu ile aygıt içindeki yüklerin hareketliliği olarak tanımlanan mobilite ( $\mu$ ) hesaplanabilir (Martens et al., 2001; Okachi et al., 2008). Böylece incelenecek sistemin elektriksel karakteristiği hakkında daha fazla bilgi edinilerek doğru yoruma ulaşılabilmektedir.

Örnek bir empedans eğrisi ve bu eğriye ait eşdeğer devre modeli Şekil 1.7.'de gösterilmektedir.



**Şekil 1.7.** (a) Tek zaman sabitli empedans karakteristiği [*iç şekil*: eşdeğer devre modeli, burada  $R_p$ ; yük transfer direnci (paralel direnç),  $R_s$ ; kontak direnci (seri direnç),  $C$ ; kapasitans (sığa),  $L$ ; endüktans'tır] ve (b) Frekansa bağlı kapasitans eğrisi (*iç şekil*: frekansa bağlı süsseptans eğrisi). (Pingree et al., 2007; Barsoukov ve Macdonald, 2005).

Şekil 1.7. (a)'da gösterilen empedans eğrisi tek zaman sabitlidir ve şekil içinde gösterildiği gibi 1 adet paralel  $R$ - $C$  devresi ve ona seri bağlı bir direnç ve endüktans ile temsil edilmektedir. Şekil 1.7. (b)'de, empedans eğrisinden yola çıkılarak elde edilen  $C$ - $f$  eğrisi incelendiğinde, yüksek frekans bölgesindeki

azalma seri direnç ve düşük frekans bölgesindeki azalma ise endüktif etkiler nedeniyle oluşmuştur. Eşdeğer devre elemanlarının değerleri, aşağıdaki formüllerle hesaplanabilmektedir.

Tek zaman sabitli (tek relaksasyon zamanında paralel  $R$  ve  $C$  devresi ile açıklanan yarım-daire) empedans karakteristiği eşdeğer devre modellemesi için simülasyona göre kompleks empedans şu şekilde açıklanır (Huang et al., 2010):

$$Z = Z' - j Z'' = R_s \left[ \left( \frac{R_p}{1 + (\omega R_p C_p)^2} \right) \right] - j \left[ \left( \frac{\omega R_p C_p}{1 + (\omega R_p C_p)^2} \right) \right] \quad (1)$$

Burada  $Z'$  reel ve  $Z''$  sanal empedansı,  $R_s$  seri direnci ve  $R_p$  paralel direnci,  $C_p$  paralel kapasitansı,  $\omega$  açısal frekansı ( $2\pi f$ ) ve  $j$  ise  $(-1)^{1/2}$  yi temsil etmektedir.

Empedans spektroskopisi yardımıyla; aygıtta ait kapasitans ve endüktans değerleri hesaplanabilir (Pingree et al., 2007).

Kapasitans yoğunluğu ( $F/cm^2$ ),

$$C = \frac{1}{\omega \cdot Z'} \quad (2)$$

Endüktans değeri (H),

$$L = \frac{Z''}{j \cdot \omega} \quad (3)$$

ile tanımlanmaktadır.

Fotodedektör performansı ve fotoelektronik özellikler; transit süre (yüklerin elektrotlara taşınım süresi) uzunluğu ve toplam yük taşıyıcı mobilitesi ile açıklanabilmektedir.

Transit süre; negatif diferansiyel süsseptans ( $-AB$ ) metodu ile,  $C-f$  grafiğindeki minimum kapasitans noktası kullanılarak 4 nolu eşitlik ile elde edilir. Frekansa bağlı kapasitans ve süsseptans eğri örnekleri Şekil 1.7. (b)'de gösterilmiştir.

Negatif diferansiyel süseptans; frekansa bağlı kapasitans eğrisinden elde edilen veriler kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$-\Delta B = -\omega (C - C_g) \quad (4)$$

$C_g$  geometrik kapasitansdır (kapasitans-frekans eğrisinde orta-frekans bölgesindeki en düşük değerdir).  $-\Delta B$ 'ye karşılık frekans spektrumundan, transit süre ( $\tau_t$ ),

$$\tau_t^{-1} = \frac{0.72}{f_{\max}} \quad (5)$$

eşitliği kullanılarak elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, yük taşınım mobilitesi ( $\text{cm}^2/\text{V.s}$ ),

$$\mu = \frac{4 l^2}{3 \tau_t V} \quad (6)$$

ile hesaplanır. Burada  $l$  aktif tabaka kalınlığı,  $V$  potansiyeldir.

## 1.5 Tez Çalışmasının Amacı ve Özgün Katkıları

Güneş, Dünya'daki tüm canlıların istisnasız en önemli ısı ve ışık kaynağıdır. Elektromanyetik spektrumda UV alan, dalgaboyu uzunluğuna ve canlılar üzerindeki etkilerine göre A, B ve C olarak sınıflandırılır. En uzun dalgaboylu ışınlar UV-A olarak adlandırılır ve tamamen yeryüzüne ulaşır. Bu nedenle UV-A'nın dedeksiyonu UV-B ve UV-C'den daha önemlidir.

Literatürde verilen organik UV fotodedektör araştırmalarında,

- Aktif tabaka tavlama sıcaklığının performans üzerindeki etkisi ve
- Empedans spektroskopisi ile aygıt performansının elektriksel irdelenmesi başlıklarının yeterince araştırılmamış olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasının amacı; düşük maliyetli kaplama yöntemleri kullanarak UV-A bölgede çalışan organik ve organik-inorganik hibrit aktif katmanlı fotodedektörler hazırlamak, aktif tabaka için tavlama ile değişen performansları elektriksel olarak incelemek, optik ve elektriksel parametrelerin fotodedektör

performansı üzerindeki etkilerini araştırmak ve ticari muadillerinden daha yüksek ve literatürdeki muadillerle yarışan performanslar elde etmektir.

Fotodedektör sistemleri üzerine birçok sanayi kuruluşu ve üniversite araştırma yapmaktadır. Sadece organik veya organik:inorganik yarıiletken malzemelerin kullanıldığı UV-A fotodedektör uygulamalarına yönelik çalışmalar sınırlı sayıdadır.

Tez çalışmasında, maliyet azaltıcı kaplama yöntemleri ile hazırlanan UV-PD'lerden mevcut literatür ve ticari ürünlerle yarışan fotoyanıt elde etme amacıyla;

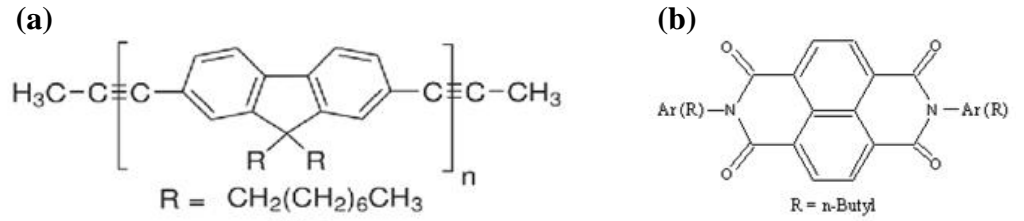
- aktif tabaka tavlama sıcaklığı ve kompozisyonunun,
- optik ve elektriksel parametrelerin

UV-A fotodedektör performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Fotodedektör aygıt yapısını oluşturan malzemelerin temel ve uyarılmış hal davranışları, elektriksel karakterizasyon sonuçları ve 365 nm dalga boyunda gelen ışık etkisi ile elde edilen fotodedektör performans verileri değerlendirilmiştir. Aygıtlarda, aktif katmanda *p*-tipi malzeme olarak seçilen bir polimer ve ona katkılandırılarak incelenen *n*-tipi metal oksitler kullanılmıştır. Mevcut ticari UV fotodedektörlerden daha yüksek fotoyanıt ile literatürdeki muadilleriyle yarışan fotoyanıt ve yaşam-ömrü elde edilmiş, elde edilen verilerin temelleri literatürle desteklenerek yorumlanmıştır. Bu doktora tezi, kullanılan malzemelerin orjinalliği ve bu malzemelerin geleneksel ve evrik mimarilerde kullanımlarıyla “bilime yenilik getirme” özelliği taşımaktadır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1 Kullanılan Malzemeler

Ultraviyole bölgede absorblama yapan *p*-tipi PFE polimeri Sigma Aldrich'ten temin edilmiştir. Aktif tabakada *n*-tipi malzeme olarak *N,N*-bis-*N*-(*n*-bütil)-1,4,5,8-naftalendiimit (BNDI) (Alp vd., 2000), azot katkılı TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklar (Diker vd., 2012) ve ZnO nanoparçacıklar kullanılmıştır. BNDI kloroform içinde çözülmüş, TiO<sub>2</sub> ve ZnO nanoparçacıklar, çözünen içinde disperse edilmiştir. Çözgen olarak kullanılan kloroform, Riedel de Haen'den temin edilmiştir. Boşluk transfer tabakası olarak kullanılan poli(3,4-etilen diyoksi tiyofen):poli(stiren sülfonat) (PEDOT:PSS) malzemesi Sigma Aldrich'ten temin edilmiştir. PEDOT:PSS, PFE ve BNDI için açık kimyasal yapılar sırasıyla; Şekil 1.5. (a), Şekil 2.1. (a) ve Şekil 2.1. (b)'de gösterilmiştir.



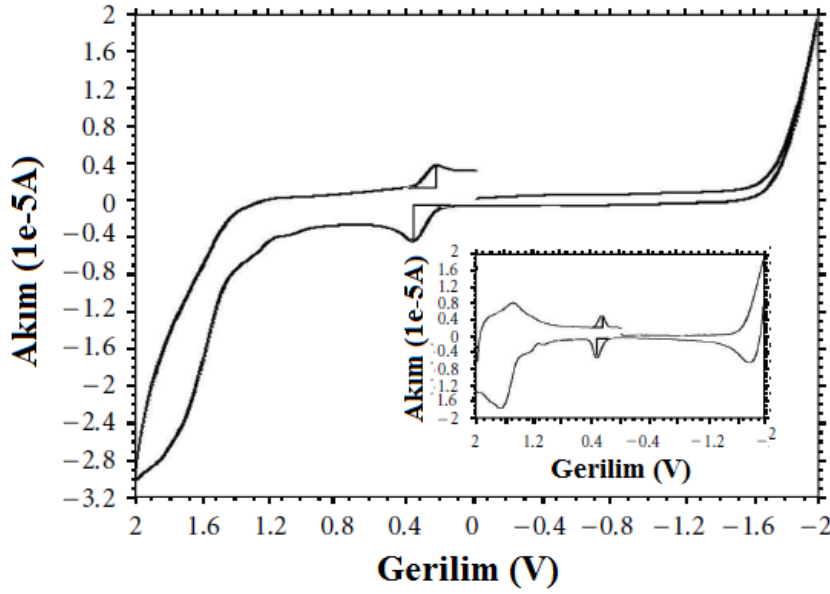
Şekil 2.1. (a) PFE ve (b) BNDI moleküllerine ait kimyasal yapılar.

Döngüsel voltametri çalışmalarında kullanılan tetra bütil amonyum hekza florofosfat (TBAPF<sub>6</sub>) elektrolit ve ferrosen (Fc) referans malzemeleri, Sigma Aldrich' ten temin edilmiş ve ek saflandırma işlemi uygulanmaksızın kullanılmıştır. İnce-film fazı optik çalışmalarda, UV-A fotodedektör çalışma dalgaboyu aralığında soğurması olmayan kuartz altlıklar kullanılmıştır. ITO altlıklar (4-10 Ω/□) Delta Technologies'den temin edilmiştir. Elektrot olarak kullanılan metaller [alüminyum (Al) ve altın (Au)] Sigma Aldrich'ten temin edilmiştir.

### 2.1.1 Aktif tabakada kullanılan malzemelerin özellikleri

Tez çalışmasında aktif tabakada *p*-tipi malzeme olarak PFE yarıiletken polimeri kullanılmış ve enerji seviyeleri belirlenmiştir. Şekil 2.2.'de PFE malzemesine ait döngüsel voltametri (CV) eğrisi gösterilmektedir. CV ile elde edilen grafikler, HOMO, LUMO enerji seviyesi hesaplamaları ve diferansiyel taramalı kalorimetre ile yapılan termal inceleme detayları aşağıda açıklanmaktadır.

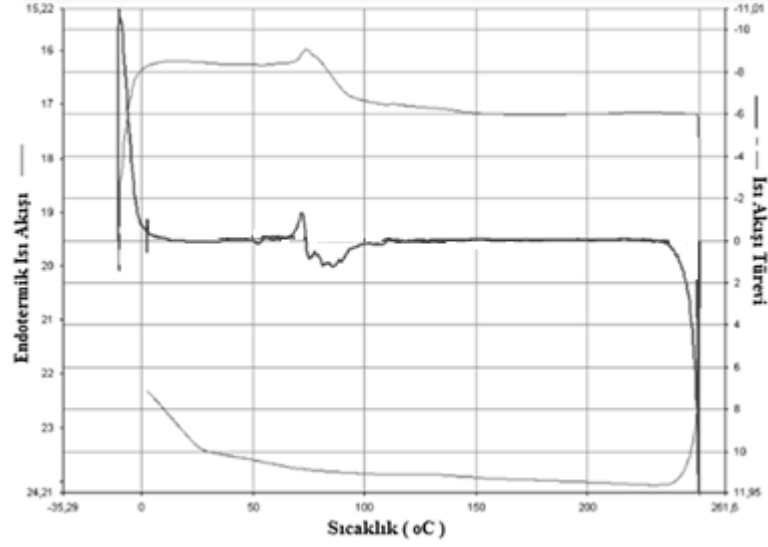
PFE malzemesi için elektrokimyasal araştırmada çalışma elektrotu olarak camsı karbon, toplayıcı elektrot olarak *Pt* (platin) tel ve referans elektrot için *Ag* (gümüş) tel kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Destek elektrolit, kloroform içinde 0.1 M tetrabutilamonyum hegzaflozofosfat (TBAPF<sub>6</sub>) ve Ferrosen ( $E_0(F_c/F_c^+) = 0.27$  V), standart olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.2. PFE malzemesinin döngüsel voltametri eğrisi (Memisoglu ve Varlikli, 2012).

PFE malzemesi HOMO enerji seviyesi, oksidasyon piki onsetinden (1.08 V) (Kus vd., 2008) -5.6 eV olarak hesaplanmıştır. Optik band aralığı ( $\Delta E_g$ ) 3.2 eV, PFE'in absorpsiyon spektrumu başlangıcından elde edilmiştir. Bununla birlikte, HOMO enerji seviyesine  $\Delta E_g$  eklenmesi ile de LUMO enerji seviyesi -2.4 eV olarak belirlenmiştir. PFE döngüsel voltametresi Şekil 2.2.'de gösterilmektedir.

PFE literatürde bilinen bir malzeme olmasına rağmen, fotokimyasal moleküler aygıtlarda tavlama sıcaklığının etkilerini inceleyen bir rapora rastlanmamıştır (Li et al., 2011; Han et al., 2010; Tinti et al., 2011; Liu et al., 2005). Bu nedenle diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile kritik sıcaklık noktaları incelenmiştir.



Şekil 2.3. PFE malzemesine ait sıcaklık-ısı akışı grafiği (Memisoglu ve Varlikli, 2012).

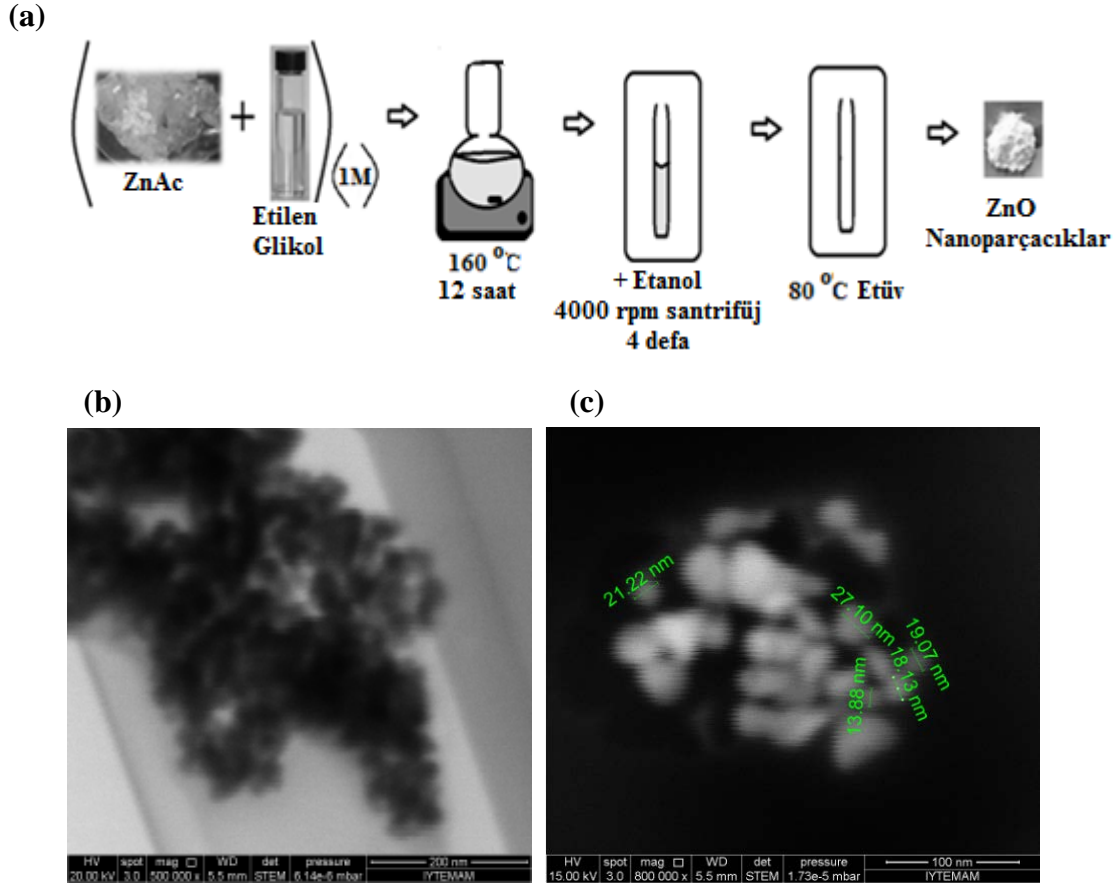
Şekil 2.3.'te PFE'e ait DSC eğrisi gösterilmektedir. Kristalleşme piki ( $T_c$ ) 75 °C'dedir, daha düşük sıcaklık değerinde bulunan camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) ise belirlenememiştir, yaklaşık 60 °C olduğu şekilden görülmektedir. Erime sıcaklığı ( $T_e$ ) ise  $T_g$ 'den daha yüksek sıcaklıkta bulunmaktadır.

Tez çalışmasında aktif tabakada *n*-tipi organik yarıiletken malzeme olarak sentez BNDI kullanılmıştır.  $T_c$  sıcaklığı 130 °C olan BNDI'nın HOMO ve LUMO enerji seviyeleri literatürden alınmıştır (Singh et al., 2006). 300-400 nm dalga boyu aralığında absorpsiyona sahiptir. Çözelti fazındaki molar absorpsiyon katsayısı  $1-5 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$  dir (Wang et al., 2010). NDI elektron mobilitesi  $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  civarındadır (Shukla et al., 2008; Singh et al., 2006; Li et al., 2011).

Hibrit UV-A fotodedektör aktif tabakalarında *n*-tipi inorganik yarıiletken metaloksit malzemeler olarak azot katkılı  $\text{TiO}_2$  parçacıkların hazırlık aşamaları ve fotokatalitik özellikleri literatürde raporlanmıştır (Diker vd., 2013).

ZnO nanoparçacıklar ise tez çalışması sırasında Chieng et al., (2012)'in literatürde belirttiği şekilde sentezlenmiştir:

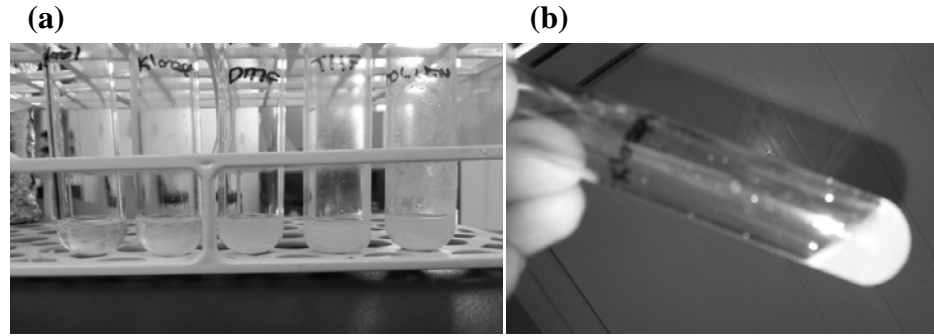
*ZnO Sentezi:* Sentezde başlangıç malzemesi olarak Çinkoasetat (ZnAc) kullanılmıştır. Çinkoasetat, etilen glikol içerisinde 1 M derişimde hazırlanmış ve ısıtıcı üzerinde ( $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) manyetik karıştırıcı yardımı ile 1 gece bekletilmiştir. Daha sonra her defasında yukarıda kalan etanol alınıp temiz etanol eklenerek yıkanması suretiyle, 4000 rpm'de her biri 15'er dakika olmak kaydıyla 4 kez santrifüj ile çöktürülmüş, ZnO'in pasta kıvamına gelmesi sağlanmıştır. Son santrifüj sonrası üstte kalan etanol son kez alındıktan sonra dipteki ZnO pastada kalan etanol artıkları,  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki etüvde bekletilerek uzaklaştırılmış ve ZnO nanoparçacıklar elde edilmiştir. Sentetik aşama akış diyagramı Şekil 2.4. (a)'da, elde edilen ZnO nanoparçacıkların büyütülmüş görüntüleri Şekil 2.4. (b) ve Şekil 2.4. (c)'de verilmektedir.



Şekil 2.4. (a) ZnO nanoparçacıklarının sentetik aşama akış diyagramı ve sentezlenen ZnO nanoparçacıkların (b) 200 nm ve (c) 100 nm ölçekli SEM görüntüleri.

Şekil 2.4. (b) ve Şekil 2.4. (c)'de çapı  $20\pm 3$  nm civarı olan küre şeklindeki ZnO sentez nanoparçacıklara ait farklı ölçeklerde alınmış SEM görüntüleri verilmiştir.

Sentezi tamamlanan nanoparçacıklar 5 farklı sıvı malzemenin (kloroform, toluen, THF, DMF ve etanol) bulunduğu tüpler içerisine aynı miktarlarda eklenip dispersiyonları incelenmiştir (Şekil 2.5. (a)). ZnO nanoparçacıkların gözlenen en kararlı dispersiyonun kloroform içerisinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.5. (b)).



Şekil 2.5. ZnO nanoparçacıklarının farklı çözümler içindeki dispersiyonları.

## 2.2 İnce Film Hazırlama ve Karakterizasyon Sistemleri

İnce filmlerin hazırlanmasında Dönü Kaplayıcı (*Laurell WS-400B-6NPP-LITE*), Vakum Termal Evaporatör (*MBRAUN 200B glove box sistemine dahili*), Vakum Etüvü, Sonikatör ve Oksijen Plazma Sistemi kullanılmıştır.

İnce filmlerin optik ve morfolojik incelemeleri ve hazırlanan fotodedektörlerin elektriksel karakterizasyonu için kullanılan sistemler, aşağıda tanımlanmıştır:

*Ultraviyole/Görünür Bölge (UV/VIS) Spektrofotometre*; dalgaboyuna bağlı değişen absorpsiyon (soğurma) şiddetini elde etmek için Analytic Jena S 600 UV-VIS Spektrofotometresi kullanılmıştır.

*Fotoluminesans (PL) Ölçümleri*; dalgaboyuna bağlı değişen fotoluminesans şiddetini elde etmek için PTI-QM1 ve Edinburg Instruments FLS900P Floresans Spektrofotometresi kullanılmıştır.

*Döngüsel Voltametre (CV)*; malzemenin indirgenme/yükseltgenme potansiyellerinin tespitinde kullanılmıştır. Camı karbon çalışma elektrotu, platin (Pt) tel toplayıcı elektrot ve gümüş (Ag) tel referans elektrot ve TBAPF<sub>6</sub> destek elektrolitidir.

*Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)*; malzemelerin ısı analizini yaparken Perkin Elmer Pyris6 marka kalorimetre kullanılmıştır. Isıtma hızı 20 °C/dakika olacak şekilde, 0 °C ile 250 °C arası tarama yapılmıştır.

*Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)*; yüzey morfolojisini mikrometre ölçekte incelemek ve pürüzlülük değerlerini karşılaştırmak için Ambios Q-Scope 250 atomik kuvvet mikroskobu kullanılmıştır.

*Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)*; yüzey morfolojisini nanometre ölçekte incelemek için Philips XL-305 FEG marka taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.

*Profilometre*; ince film kalınlıklarının tayininde Ambios XP-1 marka profilometre kullanılmıştır.

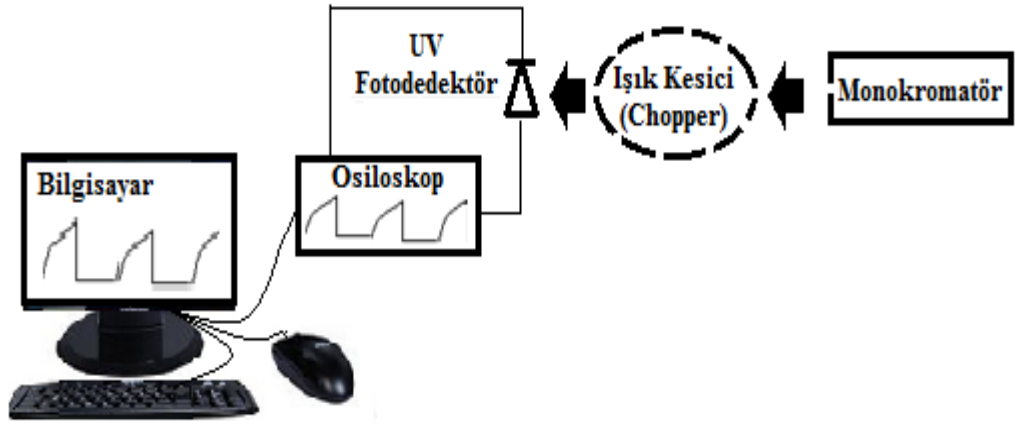
*Işınım-Ölçer ve Bandpass Interference Filtre*; MBraun Glove Box sistemine bağlantılı K.H. Steuernagel Lichttechnik GmbH marka solar simülatör altında alınan ölçümlerde, simülatörden gelen ışınım şiddeti, kalibre edilmiş silikon fotodiyot Nova II Versatile Laser Power/Energy Displayer ile ayarlanmıştır. Test edilen ışınım şiddetleri; 0.5 mW/cm<sup>2</sup>, 1 mW/cm<sup>2</sup>, 1.5 mW/cm<sup>2</sup> ve 2 mW/cm<sup>2</sup>'dir. Edmund Optics' den tedarik edilen 365 nm (±10 nm) ışınım filtresi kullanılmıştır.

*Akım-Gerilim Karakterizasyon Sistemi*; Akım-Gerilim karakteristiğinin eldesinde Keithley 2400 marka güç kaynağı ve Labview programı kullanılmıştır. Hazırlanan fotodedyörlerin akım gerilim eğrileri (-4)V-(4)V gerilim aralığında izlenmiştir. Kullanılan sisteme ait görsel Şekil 2.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Akım-gerilim karakteristikleri ölçüm sistemi.

*Osiloskop*; Işık açık-kapalı deneyleri sırasında değişen elektriksel sinyalin artış-süresini (rise-time) belirlerken GW instek GDS-820C marka dijital osiloskop kullanılmıştır. Kullanılan sisteme ait görsel Şekil 2.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Işık kesicili devre sistemi.

*Empedans Analizörü*; Empedans spektroskopisi çalışmalarında Zahner Elektrik IM6 empedans analizörü kullanılmıştır.

Empedans analizleri, 1 Hz - 1 MHz frekans aralığında, genlik oluşturacak küçük bir AC (alternatif akım) sinyal uygulanarak (50 mV) ve DC (doğru akım) sinyal altında gerçekleştirilmiştir. Empedans analizinde, reel empedansa (x-ekseni) karşı sanal empedans (y-ekseni) ile ifade eden 'Nyquist' eğrileri kaydedilmiştir.



Şekil 2.8. Empedans karakteristikleri ölçüm sistemi.

Empedans analizörüne dahili bulunan SIM simülasyon sistemi yardımıyla, elde edilen empedans eğrilerinin eşdeğer devre modelleri yapılmıştır. Kullanılan sisteme ait görsel Şekil 2.8.'de gösterilmektedir.

### 2.3 Malzemelerin Optik ve Morfolojik İncelemeleri

Malzemelerin optik ve morfolojik incelemelerinde altlık olarak kullanılan kuartz ve ITO kaplı camlar sırasıyla; deterjan, de-iyonize su, aseton ve izopropil alkol içinde 15'er dakika ultrasonik banyoda bekletilmiştir. Daha sonra azot gazı tabancası ile yüzeyinden alkol uzaklaştırılmış, 30 dakika 100 °C'de nemden arınması için vakum etüvünde bekletilmiştir.

Organik tabaka kaplaması öncesinde tüm altlıklara 5 dakika süreyle, yüzeylerine tutunması muhtemel CO, CO<sub>2</sub>, NO gibi artıkların uzaklaştırılması ve yüzeyin hidrofiliğinin artırılması için vakum altında O<sub>2</sub> plazma uygulaması (10<sup>-2</sup> mbar 60 W) gerçekleştirilmiştir.

PEDOT:PSS malzemesi 3000 rpm'de, aktif tabakalar ise 1500 rpm'de 1'er dakika süre ile dönü kaplayıcıda ince film haline getirilmiştir. Optik incelemeler kapsamında absorpsiyon ve fotoluminesans; morfolojik incelemeler kapsamında ise AFM taramaları ve kalınlık tayinleri yapılmıştır.

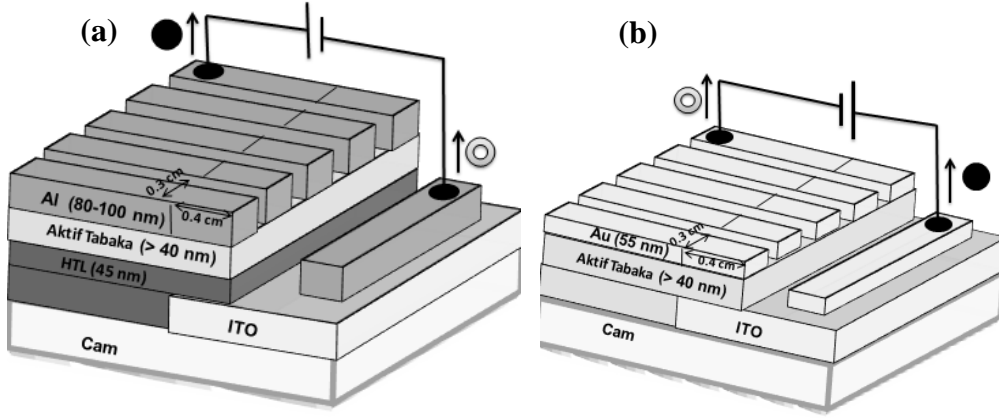
## 2.4 Fotodedektör Hazırlık Aşamaları

ITO kaplı camlar 2.5 cm x 2.5 cm boyutlarında kesilmiş ve bir kenarından 2.5 cm x 0.8 cm'lik alandaki ITO, HCl (hidroklorik asit) ile kaldırılmıştır. Daha sonra deterjanlı su ile yıkanıp, ultrasonik banyoda sırasıyla; toluen, saf su, aseton ve son olarak da izopropil alkol içinde 15'er dakika tutulmuştur. Basınçlı azot gazı tabancası ile yüzey süpürülüp vakum etüvünde 100 °C'de yarım saat bekletilerek nem uzaklaştırılmış ve son olarak oksijen plazma sisteminde 5 dakika tutulmuştur.

Boşluk taşınım tabakası olan PEDOT:PSS, 1:1 oranda ultra-saf su ile seyreltikten sonra 0.45 µm'lik 3 adet filtreden geçirilerek, temizlenmiş ITO anot üzerine dönü kaplama cihazında 3000 rpm hızda kaplanmıştır (Film kalınlığı yaklaşık 45 nm'dir). PEDOT:PSS kaplaması tamamlandıktan sonra 100 °C'de yarım saat süre ile vakum etüvünde bekletilmiştir. Boşluk taşınım tabakası; organik tabakanın hidrofobik, PEDOT:PSS'in hidrofilik olması nedeniyle organik tabaka üzerine kaplanamamış ve evrik sistemde kullanılmamıştır.

PFE' in kloroform çözgeni içindeki derişimi 10 mg/ml'dir ve PEDOT:PSS kaplı ITO altlıklar üzerine dönü kaplama cihazıyla 1500 rpm'de 1 dakikada kaplanarak ince filmleri oluşturulmuştur. Kloroform içinde çözüldükten sonra, BNDI, TiO<sub>2</sub> ve/veya ZnO ile kütlece farklı katkılama oranlarında karıştırılmış ve dönü kaplama cihazında 1500 rpm hızda, geleneksel sistemde ITO/PEDOT:PSS üzerine, evrik sistemde ise doğrudan ITO üzerine kaplanmıştır. Çözgen olarak kloroform seçilmesinin nedeni, çalışmamızın aktif tabaka *p*-tipi malzemesi olan PFE için ve *n*-tipi maddelerden NDI için iyi bir çözücü olmasıdır. Fotodedektörlerin son elektrotları, geleneksel mimaride Al, evrik mimaride ise Au ile yapılmıştır. Elektriksel özelliklerin düşük basınçlarda metal kaplamasında daha olumlu sonuçlar verdiği bilinmektedir (Liu et. al. 2005). Metal elektrot buharlaştırması sırasında sistemdeki basınç seviyesi yeterince düştüğünde (10<sup>-6</sup> torr) kaplama başlatılarak 0.5 Å/s kaplama hızıyla aygıtlar hazırlanmıştır. Elektriksel karakterizasyonlara hazır haldeki geleneksel ve evrik mimarili UV-A fotodedektörlere ait mimariler Şekil 2.9.'da gösterilmektedir. Elektriksel karakterizasyonlar eldivenli kutu (glove-box, MBRAUN 200B) içinde yapılmış ve

beş paralel ölçüm alınmıştır. Fotodedektör tabakalarının kalınlıklarına ait eğriler Ek-1’de verilmiştir.



Şekil 2.9. Çalışılan fotodedektör mimarileri (a) geleneksel mimari ve (b) evrik mimari.

## 2.5 Karakterizasyonda Önem Arz Eden Özellikler

*Karanlık akım yoğunluğu ( $J_{karanlık}$ )*; karanlıkta iken fotodedektör içerisindeki akım yoğunluğudur, fotodedektör için akımdan, dolayısıyla aygıt performansından kayıptır. Geri-besleme altında çalışan fotodedektörlerde geri besleme bölgesinde gürültünün kaynağı olarak da tanımlanır (Bahaa et al., 1991).

*Fotoakım yoğunluğu ( $J_{foto}$ )*; fotodedektörün UV-A ışınımını absorbladığında ürettiği  $1 \text{ cm}^2$ 'lik aktif alandaki akım yoğunluğudur.

*Fotoyanıt ( $R^*$ )*; fotoakım yanıtıdır. Fotodedektör ışıkcevabı olarak da tanımlanır.

*Dış kuantum verimi (EQE, dış kuantum verimi)*; elde edilen fotoakımın gelen foton sayısına oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$EQE = \frac{h c I}{e \lambda P} \quad (7)$$

$h$  Planck sabiti,  $c$  ışık hızı,  $I$  fotoakım,  $e$  elektron yükü,  $\lambda$  ışığın dalgaboyu ve  $P$  ışığın gücüdür (Simon et al., 2006).

*Dedektivite* ( $D^*$ ), dedektör performansında önemli parametrelerdendir. Aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$D^* = \frac{R^*}{\sqrt{2q J_{karanlık}}} \quad (8)$$

$R^*$  fotoyanıt,  $q$  elektron yükü ve  $J_{karanlık}$  karanlık akım yoğunluğudur. Fotoyanıt ne kadar yüksek ve karanlık akımı ne kadar düşük ise, fotodedektör  $D^*$  değeri o kadar büyük olacaktır.

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında yapılan değerlendirmeler 4 ana grupta incelenmiştir.

Organik ve hibrit UV-A fotodedektör aygıt yapıları şöyledir:

*Organik UV-A fotodedektör:*

- ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI/Al

*Hibrit UV-A fotodedektörler:*

- ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI:TiO<sub>2</sub>/Al
- ITO/PEDOT:PSS/PFE:ZnO/Al ve  
ITO/PFE:ZnO/Au
- ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI:ZnO/Al ve  
ITO/PFE:BNDI:ZnO/Au

#### 3.1 Organik Aktif Katmanlı ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI/Al Fotodedektör:

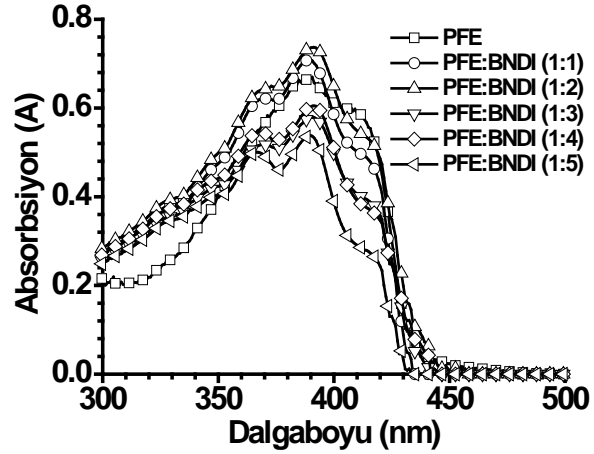
Bu bölümde aktif tabakasında PFE ve BNDI malzemelerinin kullanıldığı organik UV-A fotodedektörler ITO/PEDOT:PSS (45 nm) /aktif tabaka (90 nm) /Al (100 nm) geleneksel mimarisinde hazırlanmış ve incelenmiştir.

Fotodedektör hazırlığına geçmeden önce aktif tabakada kullanılan malzemelerin optik karakterizasyonları yapılmıştır (absorbsiyon ve fotoluminesans şiddetleri, malzemelerin kütlece karışım oranlarının belirlenmesi gibi). Fotodedektörler hazırlık aşamasında aktif tabaka kaplaması sonrasında kristalleşme sıcaklığı ( $T_c = 75$  °C) altında 2 nokta (40 °C ve 60 °C) ve üzerinde 1 nokta (80 °C) seçilerek tavlama gerçekleştirilmiş ve optik ve elektriksel karakterizasyonları yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

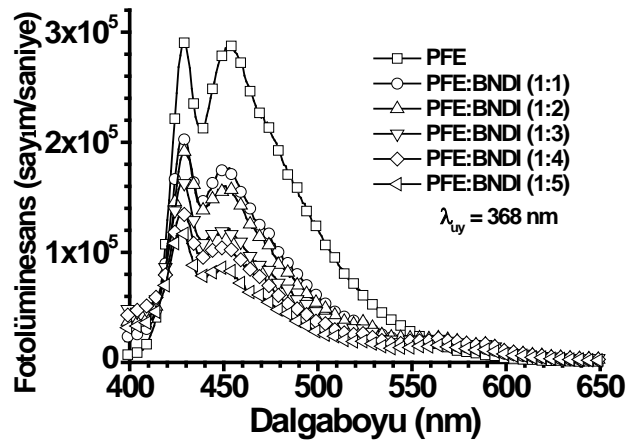
### 3.1.1 PFE:BNDI film fazı incelemeleri;

*PFE:BNDI Karışımı Optik İncelemesi:* Farklı katkılama oranlarında kloroform içinde hazırlanan PFE ve BNDI karışımları (10 mg/ml), 1500 rpm’de dönü kaplayıcı ile kuartz üzerine hazırlanmıştır. Şekil 3.1. (a) ve 3.2. (a)’dan görüldüğü gibi, PFE ve BNDI ince filmlerinin absorblama dalgaboyu bölgeleri UV bölgededir. Bu iki yarıiletken malzeme farklı oranlarda bir araya getirilerek incelenmiştir. Çözeltideki PFE miktarı sabit tutulup BNDI eklendiğinde, absorpsiyon şiddetinin azaldığı görülmüştür (Şekil 3.1. (a)). Bununla birlikte, sabit BNDI içeren çözeltide artan PFE miktarı ile absorpsiyon şiddeti belli bir değere (PFE:BNDI) (3:1) kadar artmıştır (Şekil 3.2. (a)).

(a)



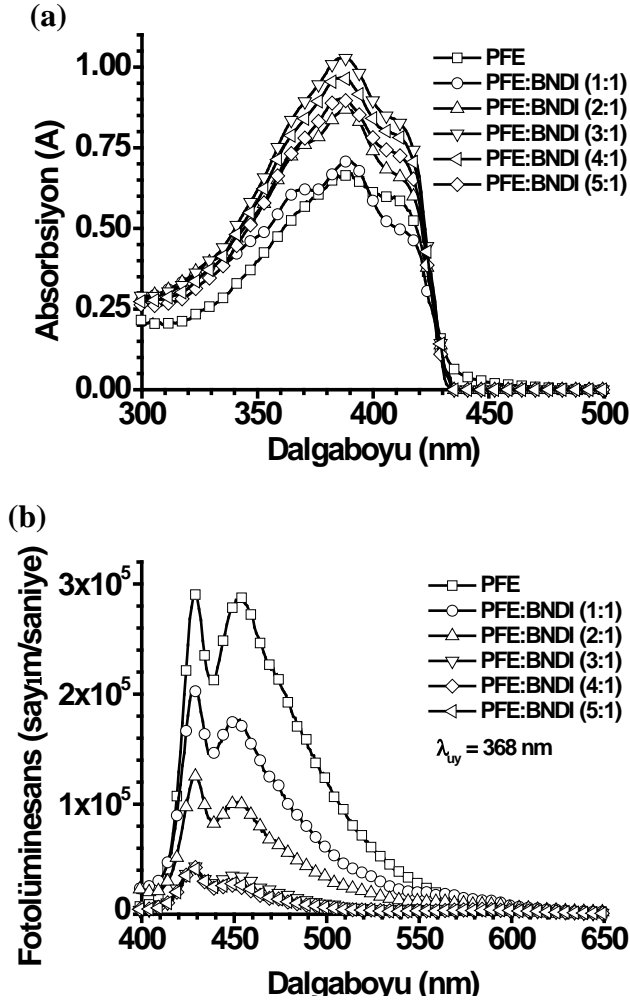
(b)



Şekil 3.1. PFE:BNDI (1:1-5) karışımlarına ait ince filmlerin (a) absorpsiyon ve (b) fotolüminesans eğrileri.

Karışımda kütlece BNDI oranındaki artış, Şekil 3.1. (a)'dan da görülebileceği gibi, PFE  $\pi$ - $\pi^*$  absorpsiyon şiddeti 410 nm'de azalmaya neden olmuştur ve emisyonda sönümlenme gözlenmiştir (Şekil 3.1. (b)). BNDI sabit tutulup PFE arttırıldığında (PFE:BNDI) (3:1) ve (4:1) iken ise, en yüksek PFE sönümlenmesi gözlenmiştir (Şekil 3.2. (b)).

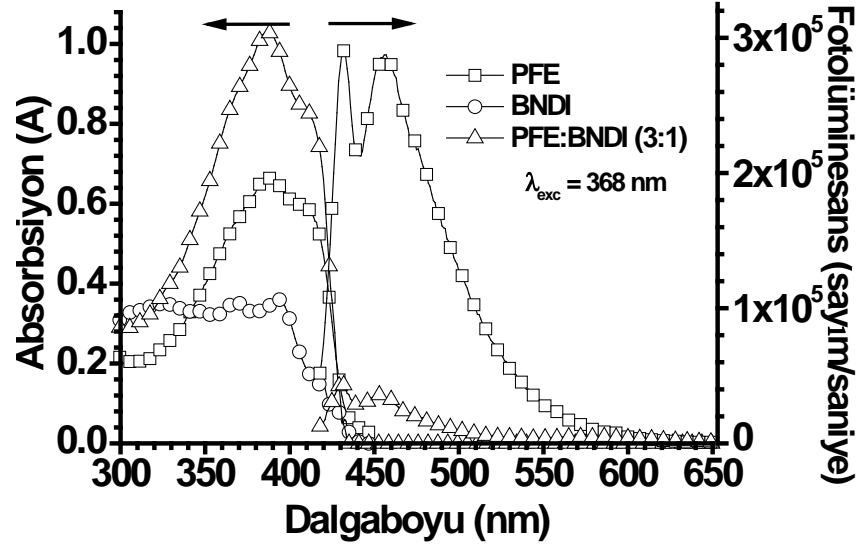
Emisyondaki sönümlenme (3:1) iken neredeyse tamamlanmıştır. PFE ve BNDI absorpsiyon şiddetinin üzerinde elde edilen en yüksek absorpsiyon ve PFE fotoluminesansında BNDI eklenmesiyle elde edilen en yüksek sönümlenme sergileyen (PFE:BNDI) (3:1) karışımına ait eğriler Şekil 3.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 3.2. PFE:BNDI (1-5:1) karışımlarına ait ince filmlerin (a) absorpsiyon ve (b) fotoluminesans eğrileri.

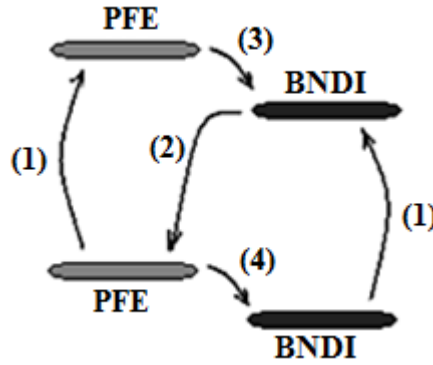
Emisyonda sönümlenme olmasına rağmen, absorpsiyonun artması, (PFE:BNDI) karışımı (1:2) oranında iken de vardır ama bu değer iyi bir

fotodedektör uygulaması için yeterli değildir. Polifloren boşluk mobilitesi ile naftalendiimit elektron mobilitesi arası 10 ila 100 kat fark olduğu göz önüne alındığında (Shukla et al., 2008; Singh et al., 2006; Redecker et al., 1998; Tinti et al., 2011) karışımdaki kütlece PFE oranının artırılma gerekliliği görülmektedir.



Şekil 3.3. PFE, BNDI ve PFE:BNDI karışımına ait ince filmlerin absorpsiyon ve fotoluminesans eğrileri.

Şekil 3.4.'te, PFE ve BNDI malzemelerine ait enerji seviyeleri gösterilmiş ve malzemeler arası gerçekleşmesi muhtemel enerji/elektron transferleriyle ilgili bir mekanizma öngörülmüştür.



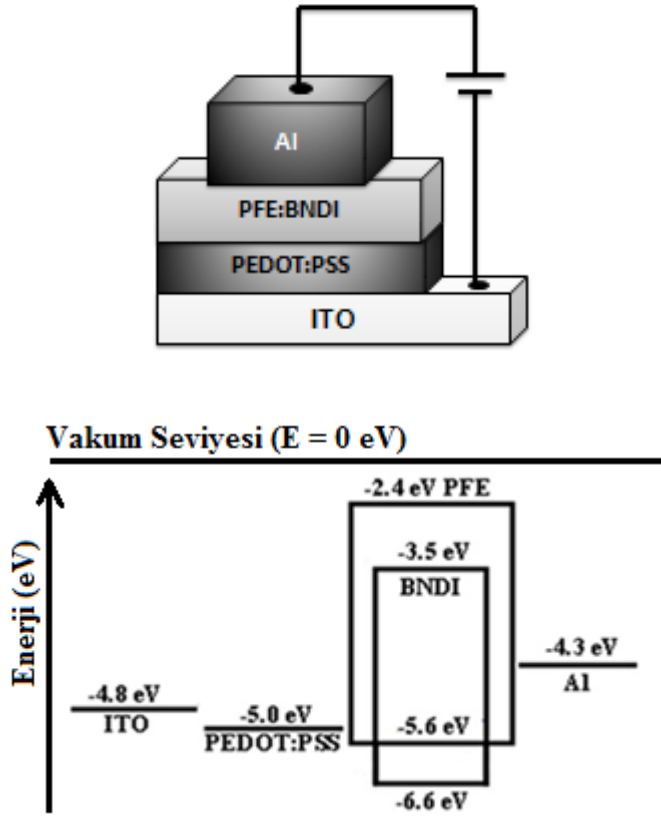
Şekil 3.4. PFE ve BNDI arasında gerçekleştiği öngörülen enerji/elektron transfer mekanizması.

Öngörülen mekanizmada (1) PFE ve BNDI'dan uyarılma, (2) BNDI LUMO'sundan PFE temel seviyesine ışımazsız enerji transferi, (3) PFE uyarılmış seviye elektronlarının BNDI LUMO' suna transferi, karışımdaki kütlece PFE

oranının artmasıyla da absorpsiyon şiddetinin azalmasına yol açabileceğinden, bu da (4) ile yani PFE'den BNDI'ya temel seviye elektron transferi ile açıklanabilmektedir.

### 3.1.2 Fotodedektör karakterizasyonları

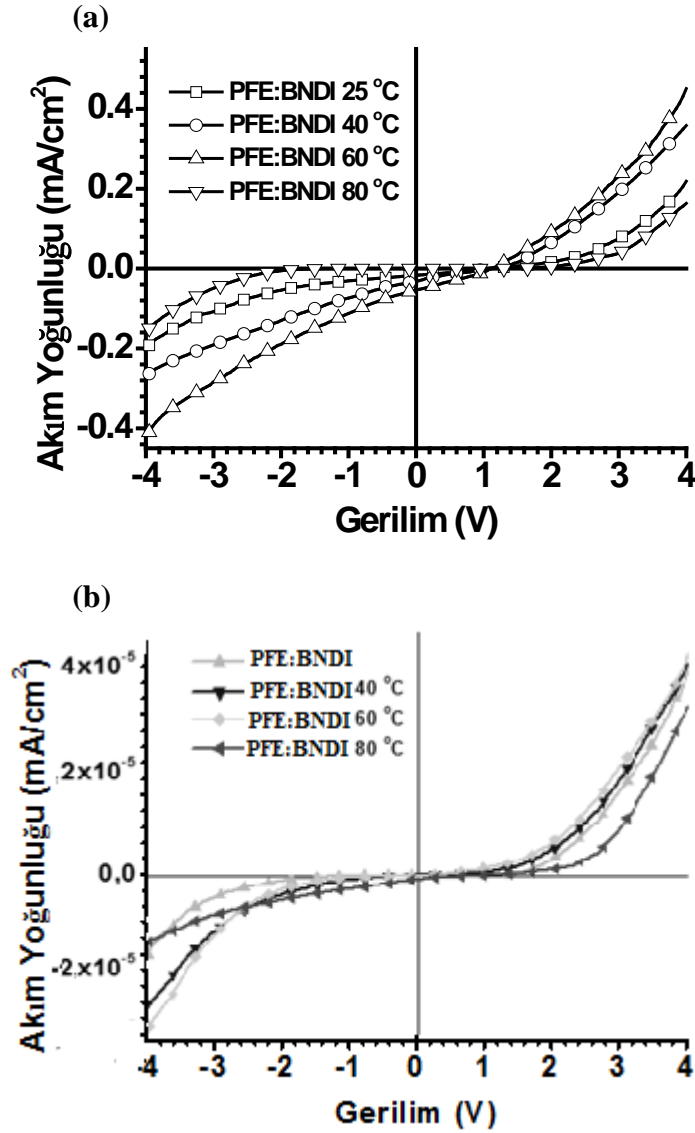
*Fotodedektör Karakterizasyonu:* En yüksek absorpsiyon şiddeti ve fotoluminesansta sönümlenme, (PFE:BNDI) karışımında (3:1) oran ile elde edilmiştir. Optimize edilen bu karışım oranı, UV-A fotodedektör aygıtı aktif tabakasında, ITO/PEDOT:PSS (45 nm)/PFE:BNDI (3:1) (90 nm)/Al (100 nm) aygıt yapısında, aktif tabaka tavlama sıcaklığının aygıt performansı üzerindeki etkisini incelemek için kullanılmıştır. Şekil 3.5.'te UV-A fotodedektör aygıt yapısı ve kullanılan malzemelere ait enerji seviyeleri gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Fotodedektör aygıt yapısı ve bileşenlerinin enerji seviyeleri.

Aktif tabaka tavlama sıcaklığına göre değişen UV-A fotodedektör performansları, ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI(3:1)/Al aygıt yapısında

incelenmiştir. Üç farklı sıcaklıkta (40 °C, 60 °C ve 80 °C) 15'er dakika vakum etüvünde tavlanan ve tavlانmamış aktif tabaka içeren aygıtların, karanlıktaki ve UV-A ışınım (365 nm dalgaboylu ve 1 mW/cm<sup>2</sup> ışınım şiddetli) altındaki, 4-(-4) V gerilim aralığında incelenen akım yoğunlukları ( $J$ , mA/cm<sup>2</sup>) eğrileri Şekil 3.6.'da gösterilmektedir.



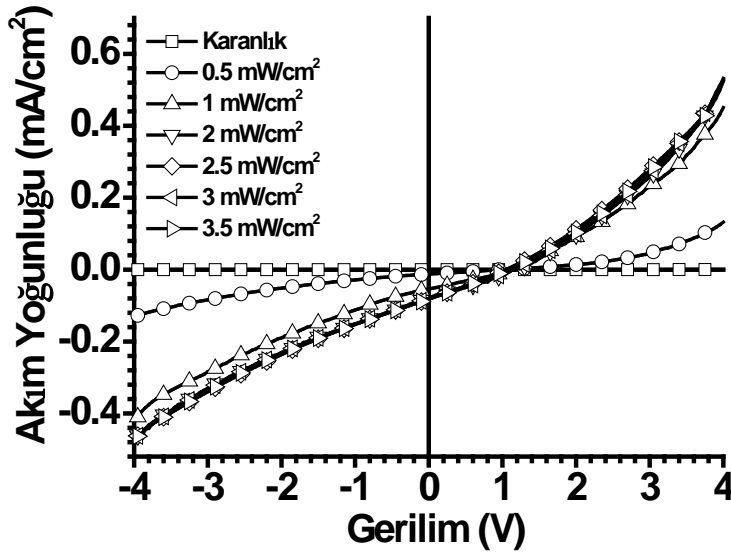
Şekil 3.6. ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI (3:1)\*/Al fotodetektörünün (a) 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli ışınım altında ve (b) karanlıkta alınan akım yoğunluğu-gerilim eğrileri (\*: 25 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C'de tavlama).

Aktif tabakası tavlانmamış aygıtta ışınım altında -4 V'ta 0.19 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu gözlenirken, 60 °C'de tavlama gerçekleştirildiğinde en yüksek

değer olan  $0.41 \text{ mA/cm}^2$  akım yoğunluğu elde edilmiştir. Tavlama sıcaklığını  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye yükseltmek ise, aktif tabakada kullanılan polimer kristalizasyon sıcaklığı ( $75 \text{ }^\circ\text{C}$ ) üzerine çıktığından, akım yoğunluğunu  $0.14 \text{ mA/cm}^2$ 'ye düşürmüştür (Şekil 3.6. (a)). Bununla birlikte, karanlıkta elde edilen akım yoğunlukları ile ışınım altındaki ölçümler arasında yaklaşık  $10^4$  kat fark mevcuttur.

Gelen ışının şiddetine bağlı fotoakım yoğunluklarının uygulanan gerilime göre değişimi Şekil 3.7.'de incelenmiştir. Fotoakım ve fotovoltaj, artan ışınım şiddeti ile gelişmektedir.

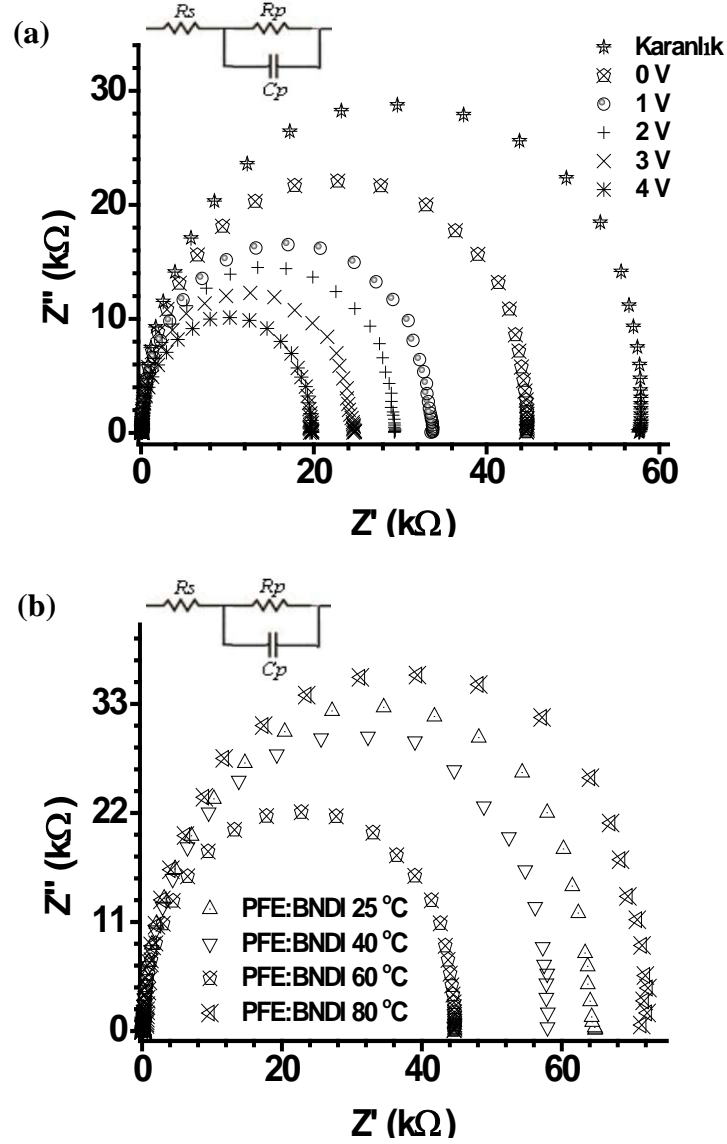
Açık devre gerilimi ( $V_{oc}$ ) ve kısa devre akımı ( $J_{sc}$ ), ışık şiddeti  $0.5 \text{ mW/cm}^2$ 'den  $2 \text{ mW/cm}^2$ 'ye çıktığında,  $0.9 \text{ V}$ 'tan  $1.15 \text{ V}$ 'a ve  $12 \text{ } \mu\text{A}$ 'den  $80 \text{ } \mu\text{A}$ 'e yükselmiştir.  $2 \text{ mW/cm}^2$  üzerindeki ışık şiddeti altında ise, akım yoğunluğunda artış olmamıştır. Aktif tabakada daha fazla ekziton oluşmadığı ve elektrotlardan toplanan yüklerin doyuma ulaştığı anlaşılmıştır (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI (3:1)/Al fotodetektörünün ve farklı ışık şiddetleri (1, 2,  $2.5 \text{ mW/cm}^2$ ,  $3 \text{ mW/cm}^2$  ve  $3.5 \text{ mW/cm}^2$ ) altında alınan akım-gerilim eğrileri.

Elektriksel performans değişimleri empedans spektroskopisi ile incelenmiştir. Elde edilen eğriler Şekil 3.8.'de gösterilmektedir. Fotodetektörlere ait eşdeğer devre modeli Şekil 3.8.'de verilen iç-şekillerde gösterildiği gibi,

paralel  $R_p$ - $C_p$  devresi ve ona seri bağlı seri dirençten ( $R_s$ ) oluşmaktadır. Aygıtlarda endüktif etkiler (negatif kapasitans) gözlenmediğinden, eşdeğer devre modelinde yoktur.



**Şekil 3.8.** ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI (3:1)/Al fotodetektörünün (a) uygulanan gerilim ile ve (b) aktif tabaka tavlama sıcaklığına göre (25 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C) değişen empedans karakteristikleri.

Aygıtların empedans eğrileri direnç ve sığanın fonksiyonu olarak 1 nolu eşitlikte (Huang et al., 2010) belirtildiği şekilde temsil edilmektedir. (aygıtların endüktif etkileri (negatif kapasitans) gözlenmediğinden, eşdeğer devre modelinde yoktur).

Şekil 3.8. (a)'da uygulanan gerilimin artmasıyla, yük transfer direncinde azalma gerçekleşmektedir. Ayrıca, Şekil 3.8. (b)'de aktif tabakası tavllanmış aygıtlar incelendiğinde, en düşük yük transfer direncinin 60 °C'deki aygıtta olduğu görülmüştür.

365 nm dalgaboylu 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli ışınım altında aygıttaki  $R_p$  61.8 kΩ iken, bu değer -4 V gerilim uygulandığında 19.5 kΩ'a düşmektedir. 60 °C'ye kadar tavlama sıcaklığında kısa devre akımının ( $J_{sc}$ ) 16 µA/cm<sup>2</sup>'den 53 µA/cm<sup>2</sup>'ye yükseldiği, sonra azaldığı gözlenmiştir. Artan tavlama sıcaklığı ile 60 °C'ye kadar fotodetektör performansı ve fotoelektronik özelliklerin artması, transit süre kısalması ve mobilite artışı ile açıklanabilmektedir.

**Çizelge 4.** Tavlama ile değişen UV fotodetektör parametreleri.

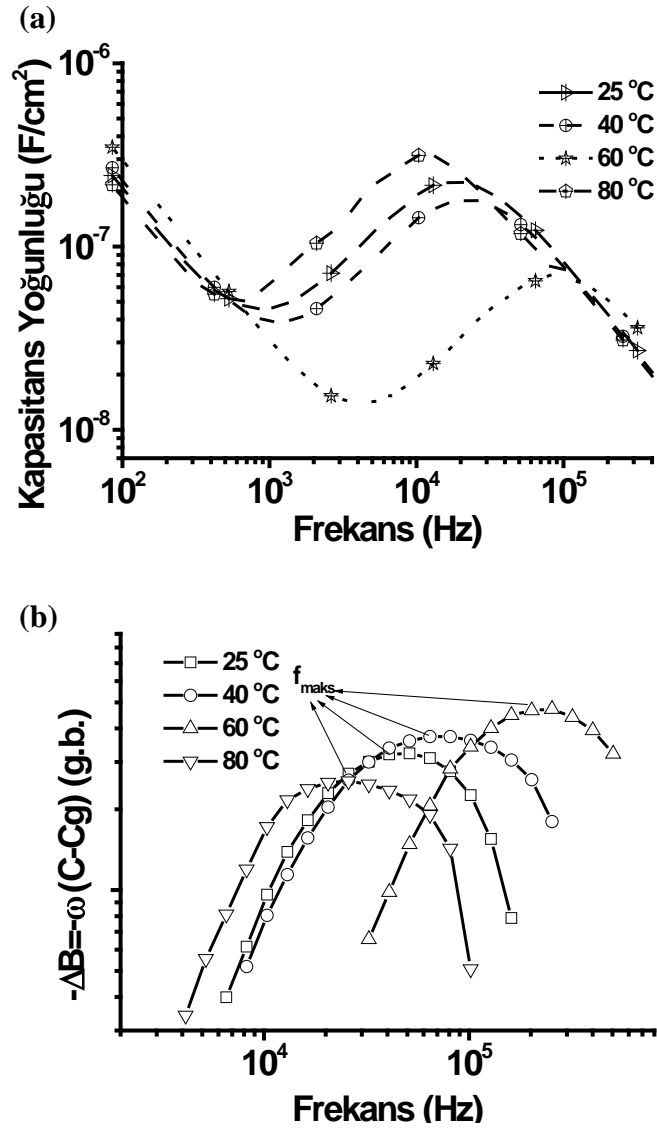
Tavlama Sıcaklığı (°C)				
Parametreler	25	40	60	80
FotoYanıt (mA/W)	192	263	410	149
$\mu$ (x 10 <sup>8</sup> ) cm <sup>2</sup> /V.s	0.59	0.94	2.5	0.29

Transit süre ( $\tau_t$ ) ve mobilite ( $\mu$ ) hesabı 5 ve 6 nolu eşitliklerden hesaplanmıştır. 2 nolu eşitlikten elde edilen kapasitans yoğunluğu değerlerinin frekansa karşı grafiği, Şekil 3.9. (a)'da gösterilmiştir. Bu grafikte, aygıtlara ait relaksasyon pikleri kapasitans yoğunluğu-frekans grafiğinin orta frekans bölgesinde görülmektedir.

Transit süre ( $\tau_t$ ), negatif diferansiyel süsseptans; 4 nolu eşitlikte verilen ( $-AB$ ) metodu ile elde edilmiştir.  $C-f$  grafiğindeki minimum kapasitans noktası ( $C_g$ ; geometrik kapasitans) da kullanılarak 3 nolu eşitlik ile elde edilen ( $-AB$ ) değerlerinin frekansla değişimini gösteren grafik Şekil 3.9. (b)'de verilmektedir. ( $-AB$ )-( $f$ ) spektrumundan, transit süre, 5 nolu eşitlik ile elde edilmiş ve 6 nolu eşitlik ile yük taşınım mobiliteleri hesaplanmıştır.

Şekil 3.9. (b)'den görüldüğü gibi maksimum frekans ( $f_{max}$ ) değeri 60 °C tavlama ile minimum transit süre ( $3.5 \times 10^{-6}$  s) ve maksimum toplam yük mobilitesi ( $2.5 \times 10^{-8}$  cm<sup>2</sup>/V.s) elde edilmiştir (Çizelge 4.).

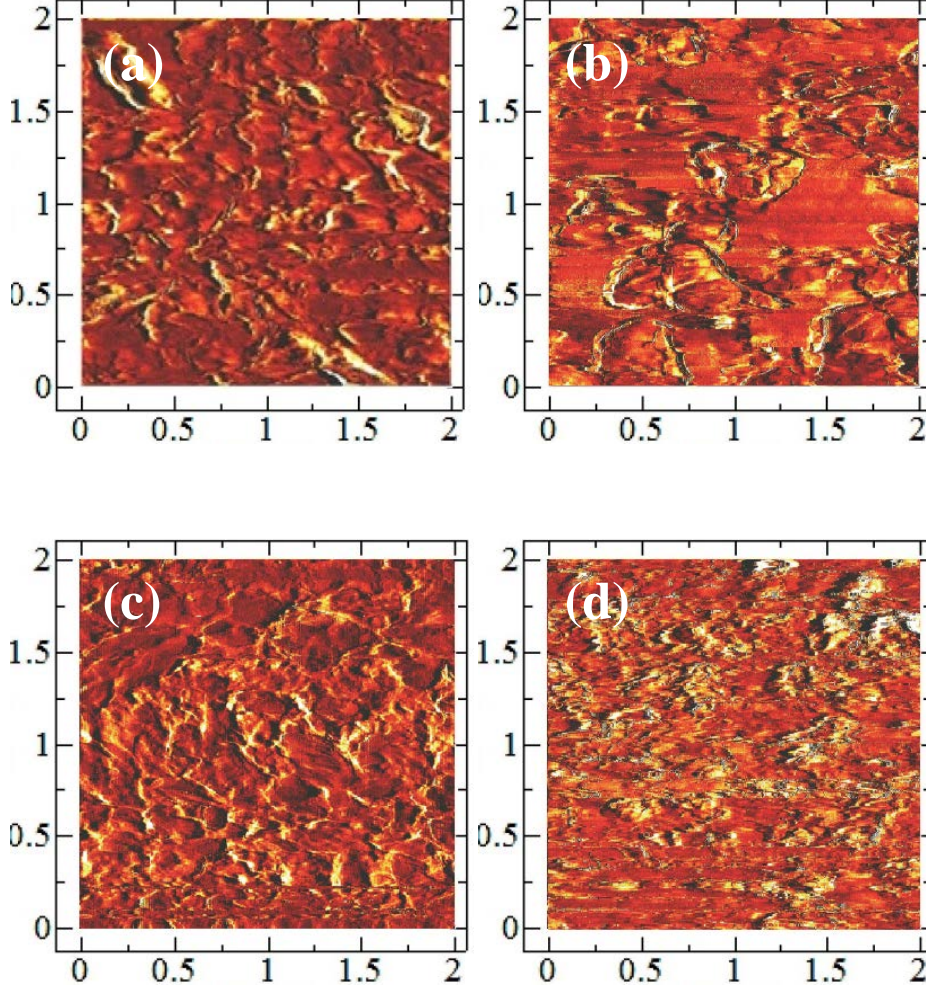
Kapasitans yoğunlukları hem düşük hem de yüksek frekans bölgelerinde lineer olarak ve tavlama sıcaklıklarından bağımsız olarak elde edilmiştir (Şekil 3.9. (a)). Aygıtlara ait elektriksel parametreler, Çizelge 4.'te verilmektedir.



Şekil 3.9. ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI (3:1)\*/Al fotodetektörünün frekansa göre değişen (a) kapasitans ve (b) süseptans eğrileri (\*: 25 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C' de tavlama).

AFM faz modu taraması ile, aktif tabakada tavlama ile gerçekleşen değişimler incelenmiştir. Şekil 3.10.'dan görüldüğü gibi, tüm dönü kaplama

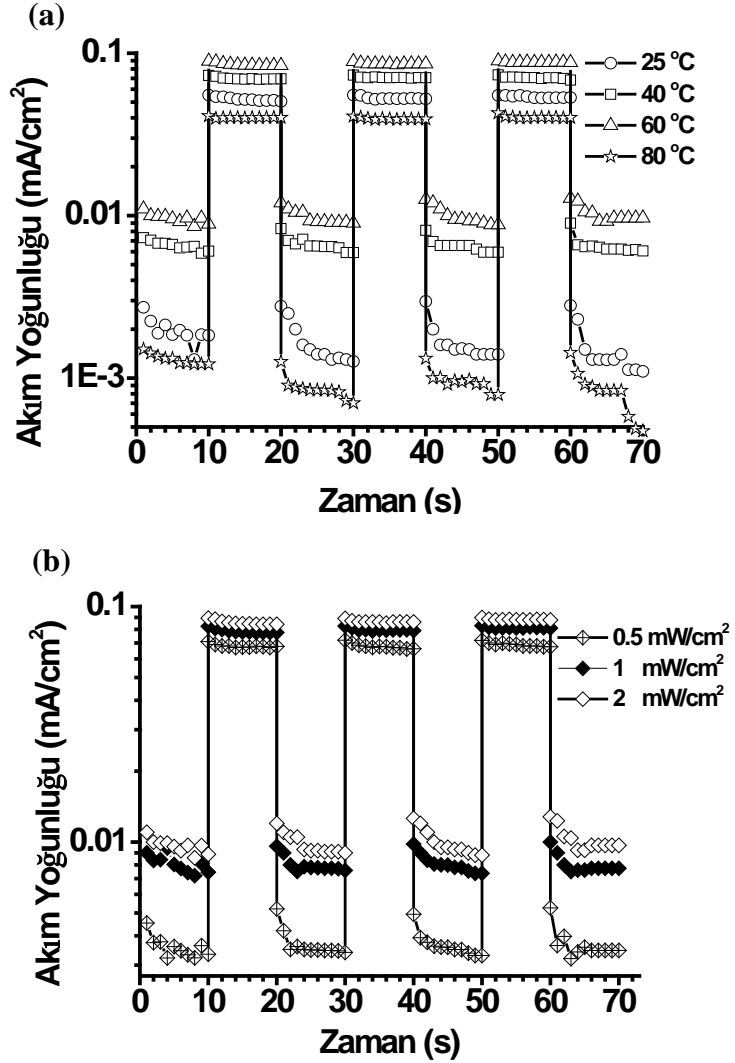
metodu ile kaplanan filmler 7.5-11.6 nm arasında pürüzlülüğe (RMS; yüzey pürüzlülüğünün ortalama karekök değeri) sahiptir. Film, 80 °C'ye tavlendiğinde, karışımı oluşturan PFE ve BNDI malzemeleri arasında faz ayrımları gözlenmiştir.



**Şekil 3.10.** Farklı sıcaklıklarda tavlanan PFE:BNDI (3:1) ince filmlerinin AFM faz görüntüleri: (a) 25 °C, pürüzlülük: 11.2, (b) 40 °C, pürüzlülük: 10.4, (c) 60 °C, pürüzlülük: 7.5 ve (d) 80 °C, pürüzlülük: 11.6.

Ultraviyole fotodedektörlerin zamana bağlı olarak değişen fotoakım yoğunluğu karakteristikleri Şekil 3.11. (a) ve 3.11. (b)'de gösterilmektedir. Aygıtların fotoakım yoğunlukları, UV- açık ve UV- kapalı iken her 10 saniyede bir kayıt altına alınmıştır. 25 °C, 40 °C ve 60 °C aygıtlarında ilk iki UV- açık

döngüsü sonrasında akımda dengesizlikler mevcut olup, üçüncü döngüde dengeye ulaşan sızıntı akımlarının tavlama ile azaldığı gözlenmiştir.



**Şekil 3.11.** ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI (3:1)\*/Al fotodetektörünün (a)  $2 \text{ mW/cm}^2$  ışınım altındaki ve (b)  $60 \text{ °C}$ 'de tavlama için  $0.5 \text{ mW/cm}^2$ ,  $1 \text{ mW/cm}^2$  ve  $2 \text{ mW/cm}^2$  de  $365 \text{ nm}$  UV ışınım altında,  $0 \text{ V}$ 'ta zamana bağlı akım yoğunlukları (\*:  $25 \text{ °C}$ ,  $40 \text{ °C}$ ,  $60 \text{ °C}$  ve  $80 \text{ °C}$ 'de tavlama).

Aktif tabakası  $80 \text{ °C}$ 'ye tavllanmış aygıtta ikinci UV- açık UV- kapalı döngüden sonra sızıntı akımı başlamaktadır. Kristalizasyon sıcaklığı üzerindeki tavlama işlemlerinin hem duyarlılık hem de uzun-dönem çalışma kararlılığını etkilediği belirlenmiştir. Şekil 3.11'den, bu bölümde hazırlanan fotodetektörlerin ard arda tekrarlanan UV- açık, UV- kapalı döngüsünde tekrarlanabilirliğinin olduğu görülmüştür.

### 3.1.3 ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI/Al bulgular

Sonuç olarak; aktif tabakasında PFE ve BNDI malzemelerinin kullanıldığı ultraviyole fotodedektörler üzerine tamamlanan optik ve elektrik araştırmalar sonucunda, ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI (3:1) 60 °C’de 15 dakika tavlama/Al aygıt yapısı ile, raporlanmış organik yarıiletken tabanlı ultraviyole bölgede çalışan fotodedektörlerle yarışan ve ticari fotodedektörlerden daha yüksek fotoyanıt (410 mA/W) elde edilmiştir. Elde edilen bu performans, fotodedektör aktif tabakasında kullanılan malzemelerin optik karakterizasyonlarla karışım oranı tayinine ve aktif tabaka tavlama sıcaklığı optimizasyonu temeli ile hazırlanan UV-A fotodedektör aygıt sistemine atfedilmiştir.

## 3.2 Hibrit Fotodedektör

### ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI):TiO<sub>2</sub>]/Al:

Bu bölümde, TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklar (NP), *Bölüm 3.1*’de optimize edilen [(PFE:BNDI) (3:1)] karışımına eklenmiş ve geleneksel mimarili ITO/PEDOT:PSS (45 nm)/aktif tabaka (110 nm)/Al (100 nm) hibrit UV-A fotodedektörü aktif tabakasında kullanılarak hazırlanmıştır.

Fotodedektör hazırlığına geçmeden önce aktif tabakada kullanılan malzemelerin optik karakterizasyonları (absorbsiyon ve fotoluminesans şiddetleri ve enerji seviyeleri incelemeleriyle, malzemelerin kütlece karışım oranlarının belirlenmesi gibi) yapılmış ve hibrit UV-A fotodedektörler hazırlanarak, optik ve elektriksel karakterizasyonları yapılarla elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

### 3.2.1 PFE:BNDI:x-TiO<sub>2</sub> film fazı incelemeleri

*[(PFE:BNDI):TiO<sub>2</sub>] Karışımının Foto-fiziği:* Kütlece birleşme oranı *Bölüm 3.1*’de (kt 3:1) olarak belirlenen PFE ve BNDI malzemeleri, azot (N) katkılı TiO<sub>2</sub> malzemesi ile katkılandırılmıştır. N-TiO<sub>2</sub> malzemesi çalışma prensibi ışınımın absorblanması esasına dayanan sistemlerde yoğun olarak çalışılmış (Ma et al., 2005; Kang et al., 2010; Guo et al., 2011) olmakla birlikte, UV fotodedektör araştırmalarında kullanımına rastlanmamıştır.

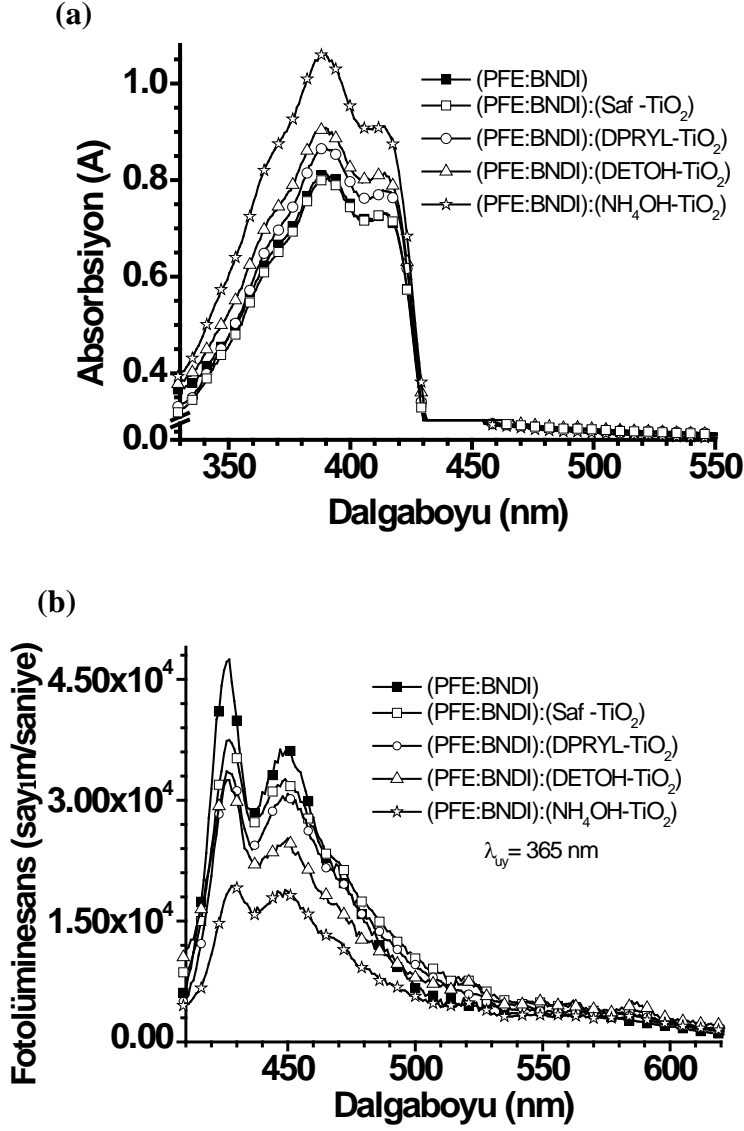
Tez çalışmasının bu bölümünde farklı azot kaynakları içeren  $\text{TiO}_2$ 'lerin PFE:BNDI karışımına eklenmesiyle, temel seviye absorpsiyon ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir.

$\text{TiO}_2$ 'e katkılanırılan azot türleri; DPROYL: dipropil amin,  $\text{NH}_4\text{OH}$ : amonyum hidroksit ve DETOH: dietanol amin olarak isimlendirilmiştir (Diker vd., 2011). Referans olarak azot katkılanmamış saf-  $\text{TiO}_2$  ile çalışılmıştır.

Şekil 3.12.'de PFE:BNDI karışımı ve bu karışıma  $\text{TiO}_2$  katkılanırıldığında elde edilen ince filmlere ait absorpsiyon ve emisyon spektrumları gösterilmektedir.

$\text{TiO}_2$  varlığıyla PFE:BNDI absorpsiyonunun arttığı (Şekil 3.12. (a)), fotoluminesansın ise sönümlendiği gözlenmiştir (Şekil 3.12. (b)). Saf- $\text{TiO}_2$  içeren PFE:BNDI karışımı ile elde edilen absorpsiyon şiddetinin sadece PFE:BNDI karışımından elde edilen absorpsiyon şiddeti ile hemen hemen aynı olmasına karşın, N-katkılı  $\text{TiO}_2$  nanoparçacıklarının kullanıldığı tüm diğer filmlerde absorpsiyon şiddetinin arttığı görülmektedir (Şekil 3.12. (a)).

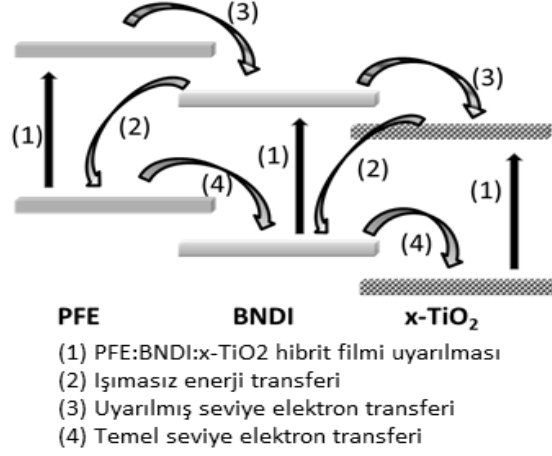
Absorpsiyon şiddetlerinde artış sergileyen temel seviye davranışlarının aksine,  $\text{TiO}_2$  içeren filmler fotoluminesans şiddetinde sönümlenmeye gitmiştir (Şekil 3.12. (b)). Bununla birlikte,  $\text{TiO}_2$  varlığı, karışımda uyarılmış halde bulunan elektronların ışımali relaksasyon yapma olasılığını azaltmaktadır. En yüksek soğurma ve en düşük emisyon şiddeti, aktif tabakasında  $\text{NH}_4\text{OH-TiO}_2$  içeren film tabakasından elde edilmiştir. Daha sonraki en yüksek absorpsiyon şiddeti ve sönümlenme, aktif tabakasında DETOH- $\text{TiO}_2$  içeren filme aittir.



Şekil 3.12. (PFE:BNDI) (3:1) ve [(PFE:BNDI) (3:1):x-TiO<sub>2</sub>] [9:1] ince filmlerinin, oda sıcaklığındaki (a) absorpsiyon ve (b) fotoluminesans eğrileri (x= saf-, DPRYL-, NH<sub>4</sub>OH- ve DETOH-).

Azot katkılı TiO<sub>2</sub>'lerde, TiO<sub>2</sub> değerlik bandının 0.14-0.75 eV üzerinde ek enerji seviyeleri (N-seviyeleri) olduğu literatürden bilinmektedir (Peng et al., 2008; Valentin et al., 2004). Bu seviyelerin yoğunluğu, azot doplama seviyesine göre değişmektedir (Yang et al., 2007). Bu çalışmada kullanılan nanoparçacıklar için azot katkılama seviyeleri sırasıyla DETOH- >NH<sub>4</sub>OH- >DPRYL- şeklindedir (Diker vd., 2011).

Elde edilen en yüksek iki absorpsiyon şiddeti ve en fazla sönümlenme, azot katkılama seviyesi yüksek olan filmlere aittir. Bunun sebebi literatürde, azot katkılama seviyesinin artırılmasıyla artan oksijen boşluklarının fazlaşması ve ışıkla uyarılan uyarılmış seviye elektronlarının tuzaklanmaları ile açıklanmaktadır (Valentin et al., 2004).

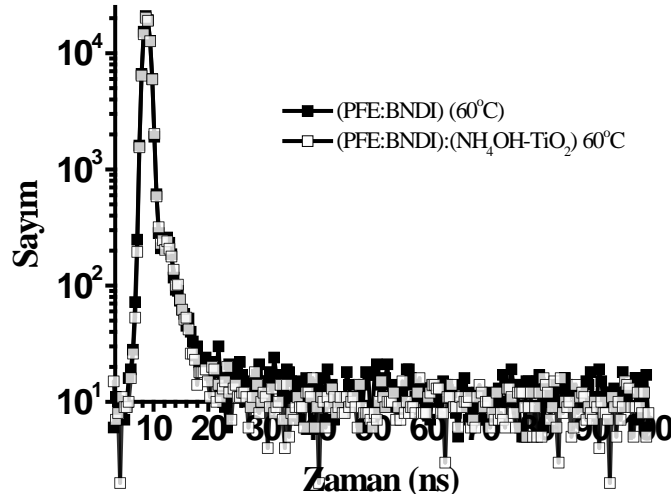


**Şekil 3.13.** [(PFE:BNDI):x-TiO<sub>2</sub>] karışımında gerçekleştiği öngörülen enerji/elektron aktarım mekanizması.

Şekil 3.13.'te [(PFE:BNDI):x-TiO<sub>2</sub>] hibrit filmini oluşturan malzemeler arasında gerçekleştiği öngörülen enerji/elektron transfer mekanizması gösterilmiştir. Mekanizmanın (1) nolu aşaması, 365 nm'de hibrit filmi oluşturan malzemelerden gerçekleşen absorpsiyonu göstermektedir. BNDI LUMO'sundan PFE HOMO'suna ve x-TiO<sub>2</sub> iletkenlik bandından BNDI HOMO'suna ışımasız enerji transferi (2), PFE LUMO'sundan BNDI ve x-TiO<sub>2</sub> iletkenlik bandına uyarılmış seviye elektron transferi (3) ve temel seviye elektron transferi (4) nolu aşama olarak önerilmektedir.

Bu mekanizmada ışımasız enerji transferi aşamasının (2), x-TiO<sub>2</sub> içeren filmlerin absorpsiyon şiddetine katkısı olabileceği düşünülmüştür.

Mekanizmada uyarılmış seviye elektron transferleri ile ilgili olan (3) nolu aşama, Şekil 3.14.'te, ince filmlerin zaman çözünürlüklü floresans şiddet eğrilerinden elde edilen uyarılmış seviyede kalma ömür ortalaması ( $\tau_{AV}$ ) incelenerek yorumlanmıştır.



Şekil 3.14. (PFE:BNDI) (3:1) ve [(PFE:BNDI) (3:1): NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub>] [9:1] 60 °C’ de tavllanmış ince filmlerin zamana bağlı floresansta kalma eğrileri (425 nm’ de).

(PFE:BNDI) (3:1) ve [(PFE:BNDI) (3:1): NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub>] [9:1] 60 °C’ de tavllanmış karışım ve hibrit ince filmlerin 425 nm’ de zaman çözünürlüklü floresans şiddet değişim özellikleri (zamana bağlı floresansta kalma eğrileri) Şekil 3.14.’te gösterilmektedir.

İnce filmelere ait  $\tau_{AV}$  değerleri aşağıdaki formül ile elde edilmiştir (ilk emisyon maksimumları ( $\lambda_{max1} = 425$  nm)) (Jones et al., 2003):

$$\tau_{AV} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \tau_i^2}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \tau_i} \quad (9)$$

burada,  $\alpha_i$  bileşenlerin  $t = 0$ ’daki genliği,  $\tau_i$  sönüm (decay) süresi ve  $n$  sönüm sayısıdır.

Çizelge 5.’de, hesaplanan  $\tau_{AV}$  değerleri verilmiştir. İnce filmlere ait  $\tau_{AV}$  değerleri 1.55-1.81 ns aralığında değişmektedir. Birbirine çok yakın değerlerin elde edilmiş olması, fotoluminesans sönümlenmesinde Şekil 3.13.’te önerilen mekanizmada (3) nolu aşamanın katkısının ihmal edilebileceğini göstermektedir.

N-TiO<sub>2</sub> hibritleri ile yüksek fotoluminesans sönümlenmesinin elde edilmesi, mekanizmada önerilen (4) nolu aşamada, N katkılama ile TiO<sub>2</sub> değerlik bandı üzerinde ekstra N-enerji seviyelerinin, temel seviye elektron transferlerindeki önemini göstermektedir (Peng et al., 2008; Valentin et al., 2004).

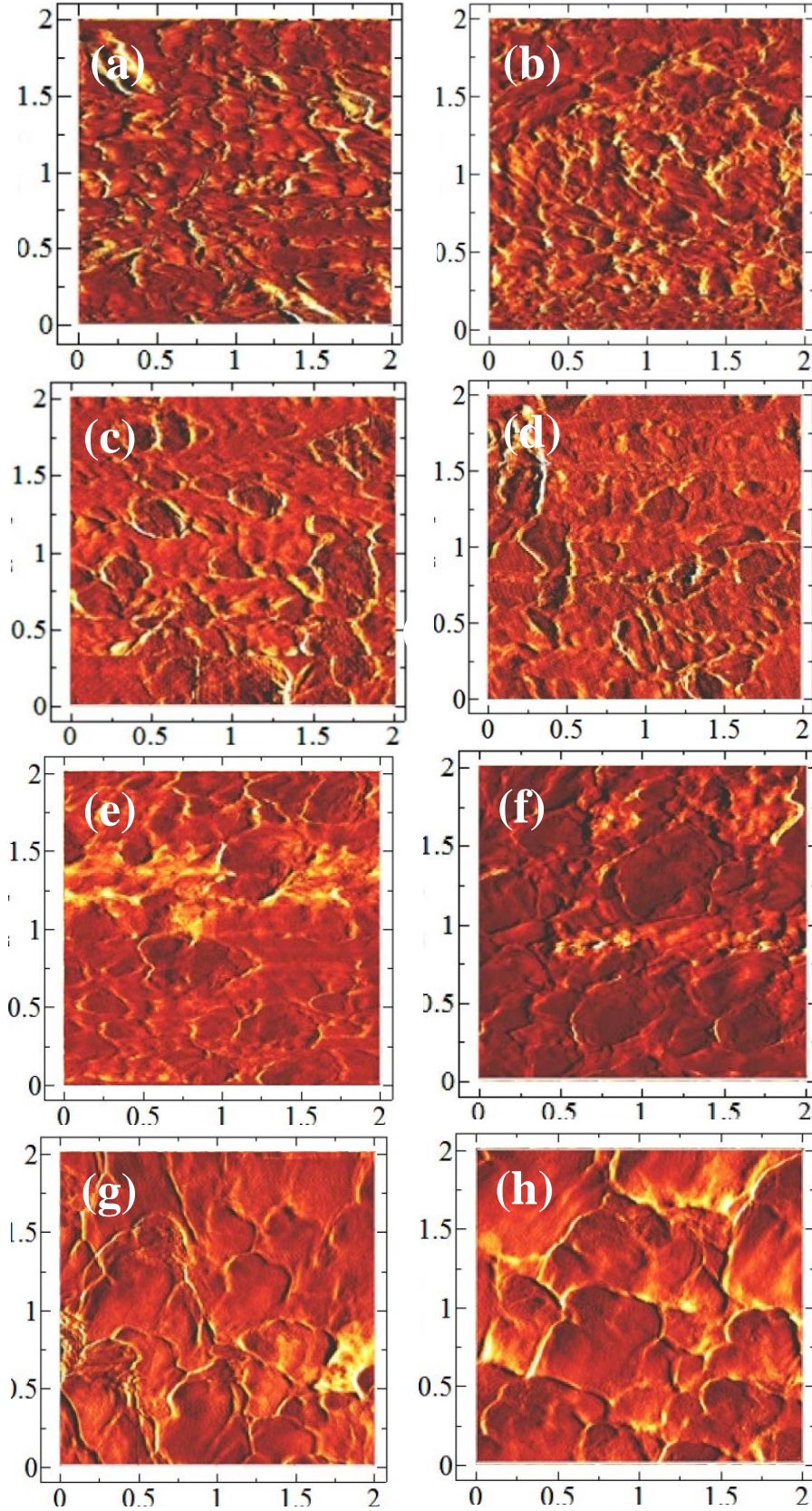
**Çizelge 5.** İnce filmlere ait  $\tau_{AV}$  (uyarılmış seviyede kalma ömür ortalaması) değerleri.

Film içeriği	$\tau_{AV}$	$\chi^2$
PFE:BNDI 25 °C	1.79	1.1
PFE:BNDI:TiO <sub>2</sub> - 25 °C	1.72	0.9
PFE:BNDI:DPRYL- 25 °C	1.75	1.1
PFE:BNDI:DETOH- 25 °C	1.74	1.2
PFE:BNDI:NH <sub>4</sub> OH- 25 °C	1.68	1.1
PFE:BNDI 60 °C	1.79	1.2
PFE:BNDI:DETOH- 60 °C	1.70	0.9
PFE:BNDI:NH <sub>4</sub> OH- 60 °C	1.55	1.0

İnce filmlerin oda sıcaklığında ve 60 °C’de tavlendiğinde elde edilen AFM faz modu görüntüleri Şekil 3.15.’te gösterilmektedir. İnce filmlerin yüzey pürüzlülükleri (RMS) azalan düzende NH<sub>4</sub>OH- < DETOH- < DPRYL- < saf-sıralamasında olduğu gibidir.

İnce filmlerin oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerleri 16.2-10.5 nm aralığındadır ve bu değerler 60 °C’ye tavlendiklerinde 10.8-7.5 nm aralığına inmiştir. x-TiO<sub>2</sub> varlığı, karışımın pürüzlülük değerini (11.2 nm) arttırmış olmasına karşın, N katkılı TiO<sub>2</sub> nanoparçacıkların kullanımıyla pürüzlülük değeri azalmıştır.

Metal oksit ve polimer karışımlarında, metal oksit nanoparçacıkların polimer içerisindeki görüntüleri literatürde raporlanmıştır (Li et al., 2011; Han et al., 2010; Li et al., 2010). Bu çalışmada kullanılan PFE:BNDI karışımının TiO<sub>2</sub> nanoparçacıkların üzerini örtmesi nedeniyle, nanoparçacıklar AFM ile tam olarak ayırt edilememiştir. Bununla birlikte, x-TiO<sub>2</sub> nanoparçacıkların PFE:BNDI karışımı içinde büyük kümeleşmeler oluşturduğu gözlenmiştir.



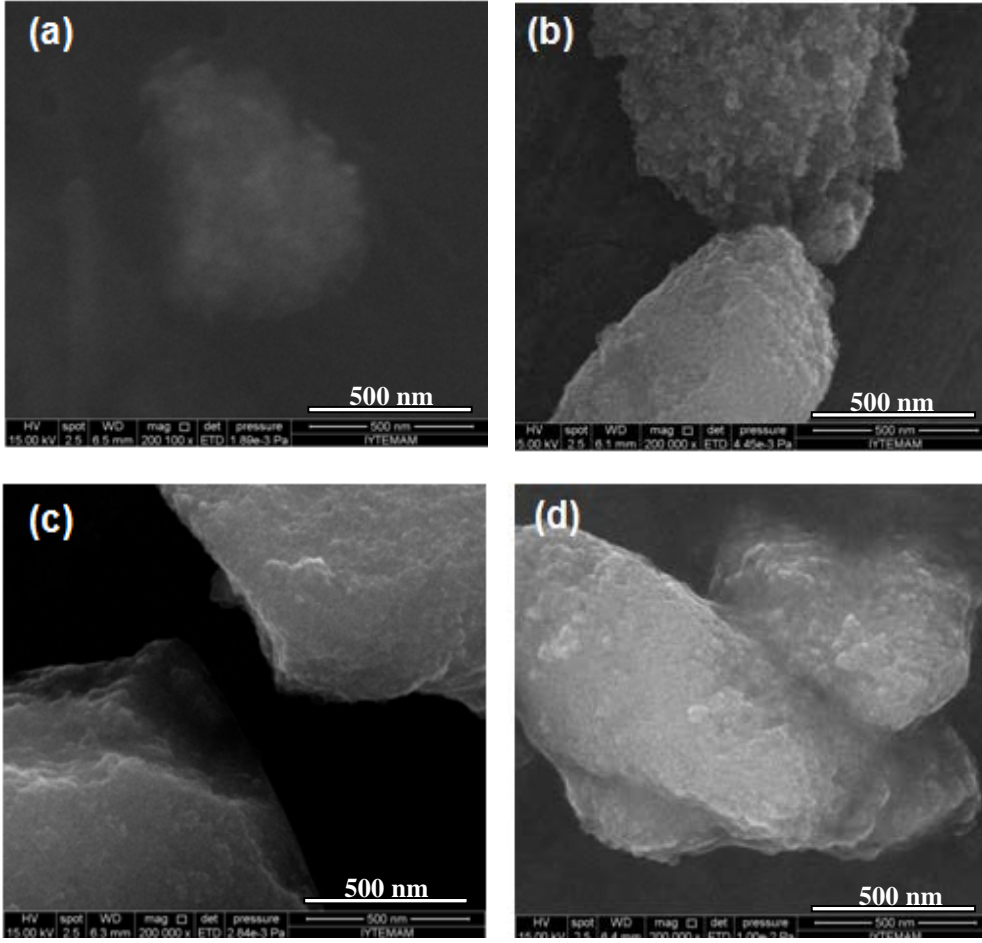
**Şekil 3.15.** (PFE:BNDI) (3:1) filminin (a) oda sıcaklığındaki (pürüzlülük: 11.2 nm) ve (b) 60 °C'deki (pürüzlülük: 7.5 nm), (c) [(PFE:BNDI): saf-TiO<sub>2</sub>] [9:1] filminin (pürüzlülük: 16.5 nm) ve (d) [(PFE:BNDI):DPRYL-TiO<sub>2</sub>] [9:1] filminin (pürüzlülük: 11.77 nm) oda

sıcaklığındaki, [(PFE:BNDI):DETOH-TiO<sub>2</sub>] [9:1] filminin (e) oda sıcaklığındaki (pürüzlülük: 11.05 nm) ve (f) 60 °C'de (pürüzlülük: 10.8 nm), [(PFE:BNDI):NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub>] [9:1] filminin (g) oda sıcaklığındaki (pürüzlülük: 10.5 nm) ve (h) 60 °C'deki (pürüzlülük: 7.8 nm) yüzey morfolojileri; AFM faz görüntüleri.

Ada-tipi olarak adlandırdığımız bu kümeleşmeler, N-katkılı TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklarda daha büyüktür. Tavlama ile daha da büyüyen bu kümeler, ekziton ayrışma arayüzeyini arttırdığı ve fotodedektör performansını daha verimli hale gelen yük taşınımalarıyla geliştirdiği düşünülen, süreklilik arz eden patikalar oluşturmuştur (Li et al., 2011; Huang et al., 2010). 60 °C'de tavlama ile PFE:BNDI karışımına katkılanan NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub> için kümeleşmeler 750 nm genişliğe ulaşmaktadır (Şekil 3.15. (h)).

TiO<sub>2</sub> nanoparçacıkların karışım içinde gömülü halde konumlanması olasılığında, AFM ile net olarak gözlenemeyen nanoparçacıklar, SEM ile incelenmiştir. Azot içeren TiO<sub>2</sub> nanoparçacıkların PFE:BNDI karışımı içinde kümeleştiği varsayımı, SEM görüntüleri ile desteklenmiştir (Şekil 3.16. (a-d)).

SEM görüntüleri incelendiğinde, saf-TiO<sub>2</sub> içeren ince filmlerdeki kümeleşmelerin daha küçük olduğu ve TiO<sub>2</sub> lerin PFE:BNDI karışımı tarafından çevrelendiği görülmektedir. Bununla birlikte, N-TiO<sub>2</sub> içeren ince filmlerdeki kümeleşmeler N içermeyene göre daha büyük, birbirine ve film yüzeyine daha yakınlaşmıştır. Ayrıca, TiO<sub>2</sub> kümeleri arasındaki mesafe, 60 °C'ye tavlандıklarında azalmaktadır (Şekil 3.16. (b) ve Şekil 3.16. (d)).



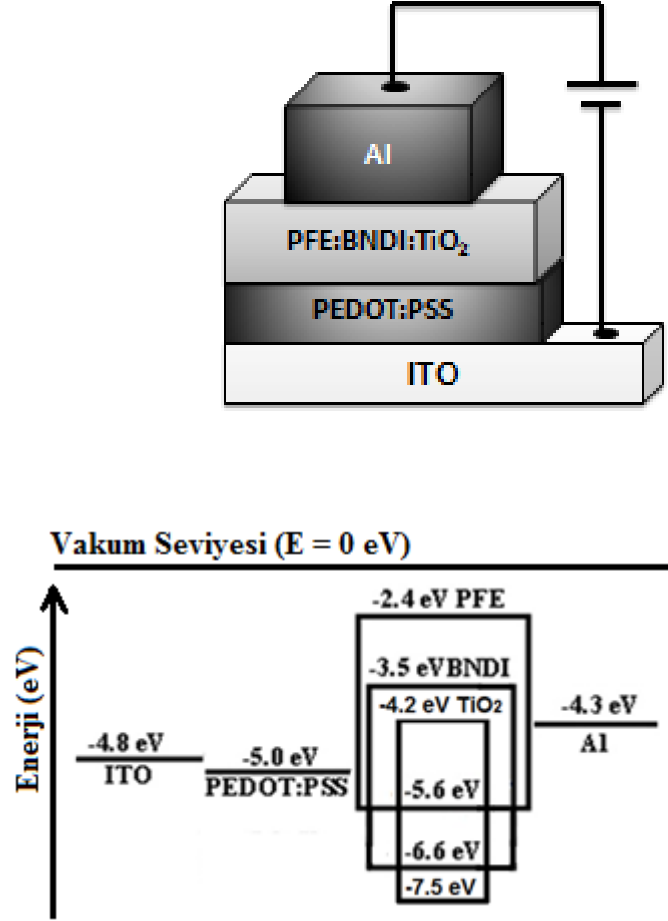
**Şekil 3.16.** (a) [(PFE:BNDI): saf-TiO<sub>2</sub>] [9:1], (b) [(PFE:BNDI): NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub>] [9:1] 25 °C'deki, (c) [(PFE:BNDI): DETOH-TiO<sub>2</sub>] [9:1] ve (d) [(PFE:BNDI): NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub>] [9:1] 60 °C'deki SEM görüntüleri.

### 3.2.2 Fotodedektör karakterizasyonları

Fotodedektör karakterizasyonu öncelikle azot içermeyen saf-TiO<sub>2</sub>'in (PFE:BNDI)(3:1) karışımına katkılanma miktarının belirlenmesiyle başlamıştır.

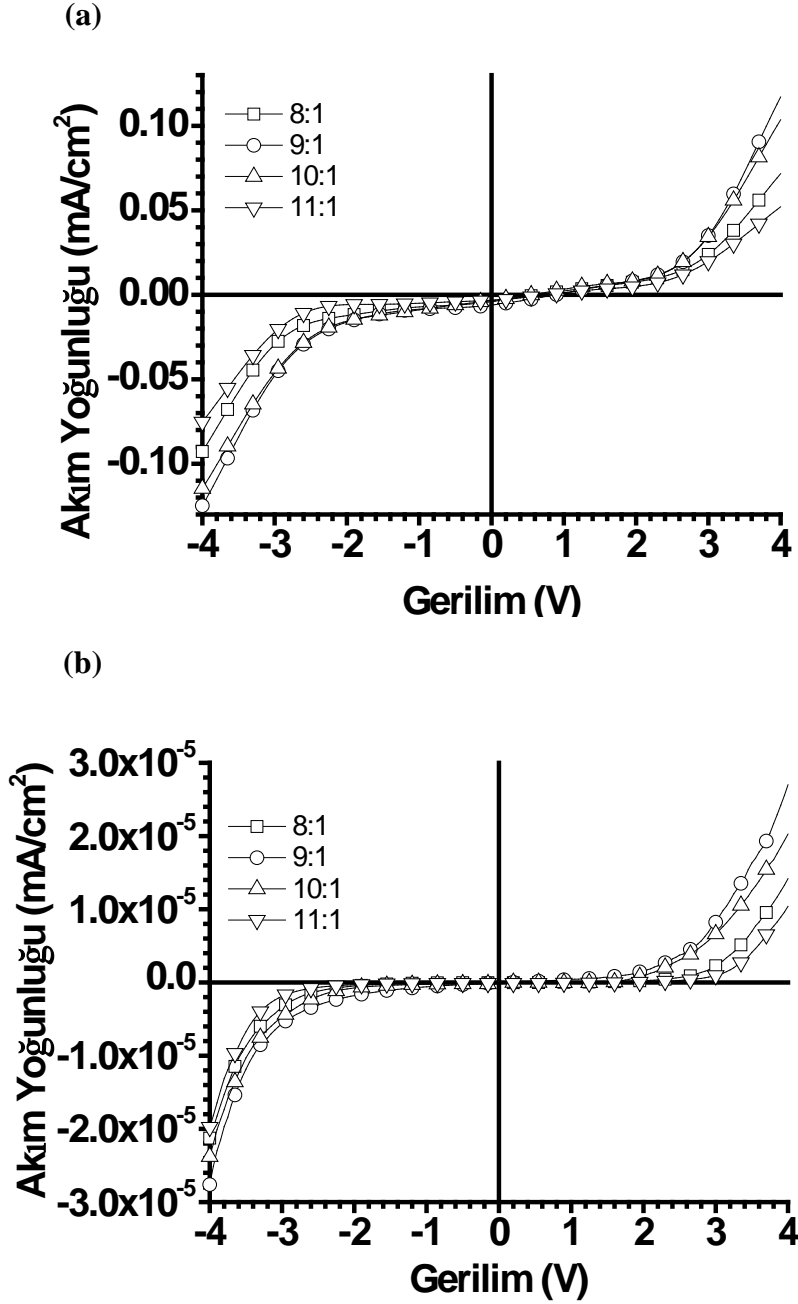
ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1)x:(saf-TiO<sub>2</sub>)] [x:1] /Al, x: 8, 9, 10 ve 11 için performans incelemeleri yapılmıştır (burada x; karışım içindeki saf-TiO<sub>2</sub> miktarıdır).

Hibrit UV-A fotodetektörde kullanılan malzemelere ait enerji seviyeleri Şekil 3.17.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Hibrit UV-A fotodetektör yapısı ve bileşenlerinin enerji seviyeleri.

Karanlık ve 365 nm dalgaboylu 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli UV ışınım altında ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1) x : saf-TiO<sub>2</sub>] [x:1] /Al, x: 8, 9, 10 ve 11 aygıtlarına ait gerilimle değişen akım yoğunluğu eğrileri Şekil 3.18.'de gösterilmektedir.

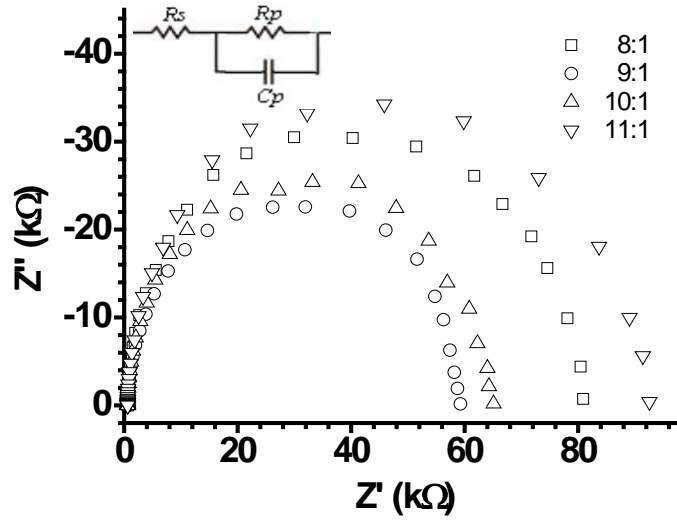


Şekil 3.18. ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1) x : saf-TiO<sub>2</sub>] [x:1] /Al fotodetektörünün (a) karanlık ve (b) 365 nm dalgaboylu 1 mW/cm<sup>2</sup> UV ışınım altındaki akım yoğunluğu-gerilim eğrileri (x: 8, 9, 10 ve 11).

Şekil 3.18.'deki ışınım altındaki akım gerilim eğrileri incelendiğinde, akım yoğunluğunun 8:1 ve 9:1 katkılamada 10:1 ve 11:1 katkılamaya göre daha yüksek olduğu görülmüştür. [(PFE:BNDI)(3:1)] içerisinde yüksek miktarda TiO<sub>2</sub> varlığı akım yoğunluğunu azaltmıştır.

UV-A fotodedektörlerin empedans karakteristikleri 1 Hz ile 1 MHz frekans aralığında incelenmiştir. Yük transfer direnci en düşük olan (akıma karşı en az tepki gösteren) aygıt, akım yoğunluğu en yüksek aygıt ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):saf-TiO<sub>2</sub>] [9:1] /Al' dir.

Aygıtların tümünde bir adet yarım-daire vardır. Eşdeğer devre modellerinde, paralel bir  $R-C$  devresi ve ona seri bağlı bir kontak direncinden oluşmaktadır. (aygıtların endüktif etkileri (negatif kapasitans) gözlenmediğinden, eşdeğer devre modelinde yoktur). Aygıtların empedans eğrileri direnç ve sığanın fonksiyonu olarak 1 nolu eşitlikte (Huang et al., 2010) belirtildiği şekilde temsil edilmektedir.



**Şekil 3.19.** ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1): x - TiO<sub>2</sub>]/Al fotodedektörünün 1 mW/cm<sup>2</sup>, 365 nm UV-A ışınım altındaki empedans eğrileri (x: 8, 9, 10 ve 11).

Akım-gerilim ve empedans eğrileri incelendiğinde en yüksek akım yoğunluğunun ve en düşük aygıt direncinin 9:1 katkılama içeren aygıtta olduğu görülmüştür. Bu nedenle, farklı azot kaynakları içeren TiO<sub>2</sub>'in PFE:BNDI karışımına katkılama oranı 9:1 olarak seçilerek aşağıdaki fotodedektör yapılarında incelemeler yapılmıştır:

ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1)]/Al (referans aygıt)

ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):saf-TiO<sub>2</sub>] [9:1]/Al

ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):DPRYL-TiO<sub>2</sub>] [9:1]/Al

ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):DETOH-TiO<sub>2</sub>] [9:1]/Al

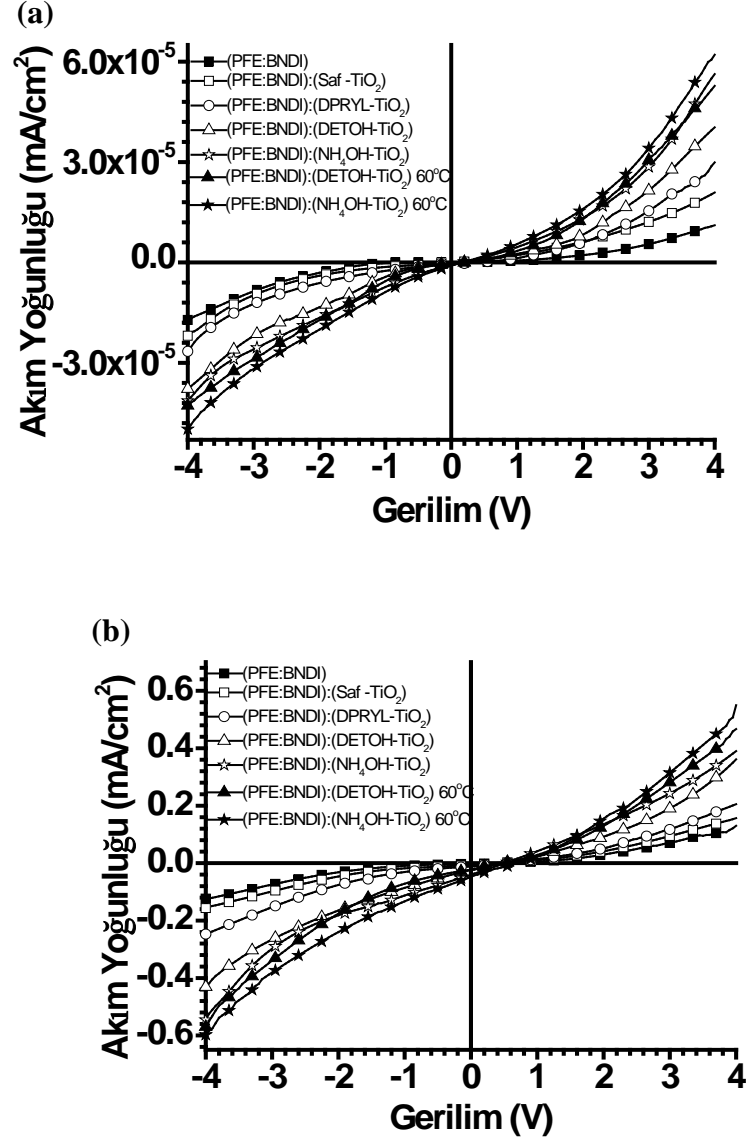
ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub>] [9:1]/Al

ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):x-TiO<sub>2</sub>]/Al hibrit UV-A fotodedektör yapısı Şekil 3.17.'de gösterilmektedir. Fotodedektörlere ait elektriksel karakteristikler -4 V ile 4 V gerilim aralığında, karanlık ve 365 nm dalgaboylu 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli ışınım altında gerçekleştirilmiştir. Uygulanan gerilime karşı elde edilen akım yoğunluğu ( $J$ , mA/cm<sup>2</sup>) eğrileri karanlık için Şekil 3.20. (a) ve UV ışınım altında Şekil 3.20. (b)'de gösterilmektedir.

Fotodedektörlerden birbirine yakın değerlerde açık devre gerilimleri ( $V_{oc}$ ) elde edilmiş olup, kısa devre akım yoğunlukları ( $J_{sc}$ ) hibrit fotodedektörlerde artmıştır. UV-A ışınım altında oda sıcaklığında PFE:BNDI karışımından 2  $\mu$ A/cm<sup>2</sup>  $J_{sc}$  alınmış olup, bu değer saf-TiO<sub>2</sub> ve NH<sub>4</sub>OH- TiO<sub>2</sub> katkılı fotodedektörlerde 4  $\mu$ A/cm<sup>2</sup> ve 40  $\mu$ A/cm<sup>2</sup> değerindedir.

Aktif tabakada başka bir madde ile karışım halinde kullanılan polimerin kristalizasyon sıcaklığı üzerinde gerçekleştirilen tavlamalarda, polimer-küçük molekül ve/veya nanoparçacık karışımları arasındaki donör-akseptör ilişkisi zayıflar; oysaki kristalizasyon sıcaklığı altında, camsı geçiş sıcaklığı dolaylarında gerçekleştirilecek tavlama, bu ilişkiyi güçlendirebilir ve fotodedektör performansını artırabilir.

Oda sıcaklığında -4 V'ta NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub> katkılı fotodedektörden elde edilen fotoyanıt 545 mA/W'dır. Bu fotoyanıt, DETOH- ve NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub> katkılı fotodedektörlerde referans aygıtı göre 5 kat fazladır (Çizelge 6.). DETOH- ve NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub> katkılı fotodedektörlerin fotoyanıtları, tavlama ile 570 ve 597 mA/W'a yükselmiştir.

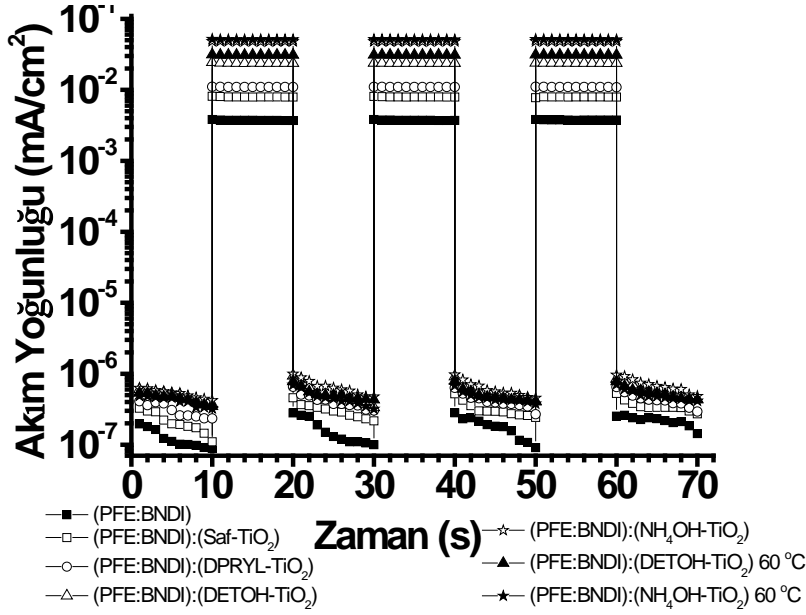


Şekil 3.20. ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):x-TiO<sub>2</sub>][9:1]/Al (x= saf-, DPRYL-, NH<sub>4</sub>OH- ve DETOH-) UV fotodedektörlerine ait (a) karanlık ve (b) 1 mW/cm<sup>2</sup>, 365 nm UV-A ışınım altında, oda sıcaklığı ve 60 °C'deki akım yoğunluğu-gerilim eğrileri.

Daha önce de belirtildiği gibi, PFE kristalleşme sıcaklığı altında, camı geçiş sıcaklığı civarındaki 60 °C'de tavlama ile gözlenen gelişme, bileşenler ile aktif tabaka arasındaki enerji ve elektron transfer aşamalarını geliştirmiştir.

Hibrit ultraviyole fotodedektörlerden elde edilen yüksek fotoyanıtların; absorblanan UV-A ışınımın ölçülebilir elektriksel sinyaline dönüştürülme verimi ve mobilite gibi, katkılandırılmış metal oksit nanoparçacık (azot katkılı TiO<sub>2</sub>) ve

hazırlanan filmlerin özelliklerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Li et al., 2011; Ma et al., 2005; Chen et al., 2010).

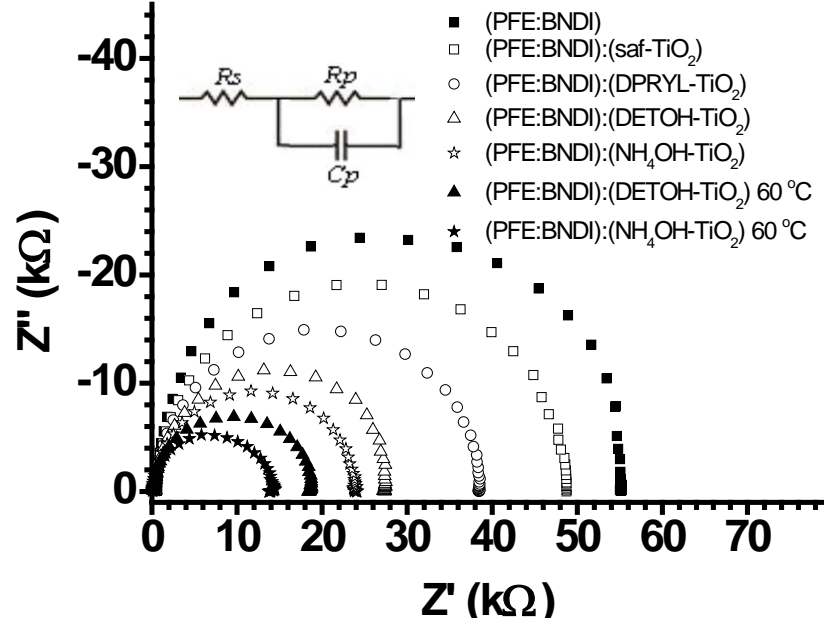


**Şekil 3.21.** ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):x-TiO<sub>2</sub>][9:1]/Al fotodetektörlerinde periyodik ışık aç-kapa düzeneği ile zamana bağlı elde edilen fotoyanıtları (x= saf-, DPRYL-, NH<sub>4</sub>OH- ve DETOH-) (V<sub>uyg.</sub>= 0 V).

Kullanılan TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklar aynı kristal yapısına (anataz) sahiptir (Diker vd., 2011), aynı katkılama oranlarındadır ([[(PFE:BNDI):x-TiO<sub>2</sub>][9:1]), film kalınlıkları aynıdır ve hazırlanan filmlerindeki absorpsiyon spektrumlarında spektral kayma olmamıştır. 365 nm’de filmlere ait absorpsiyon değerleri sırasıyla NH<sub>4</sub>OH- > DETOH- > DPRYL- > saf-  $\cong$  PFE:BNDI düzenindedir (Şekil 3.12. (a)). Saf-TiO<sub>2</sub> içeren ince film hariç, absorpsiyon değerleri ile fotoyanıtlar birbirleriyle uyumlu gitmiştir.

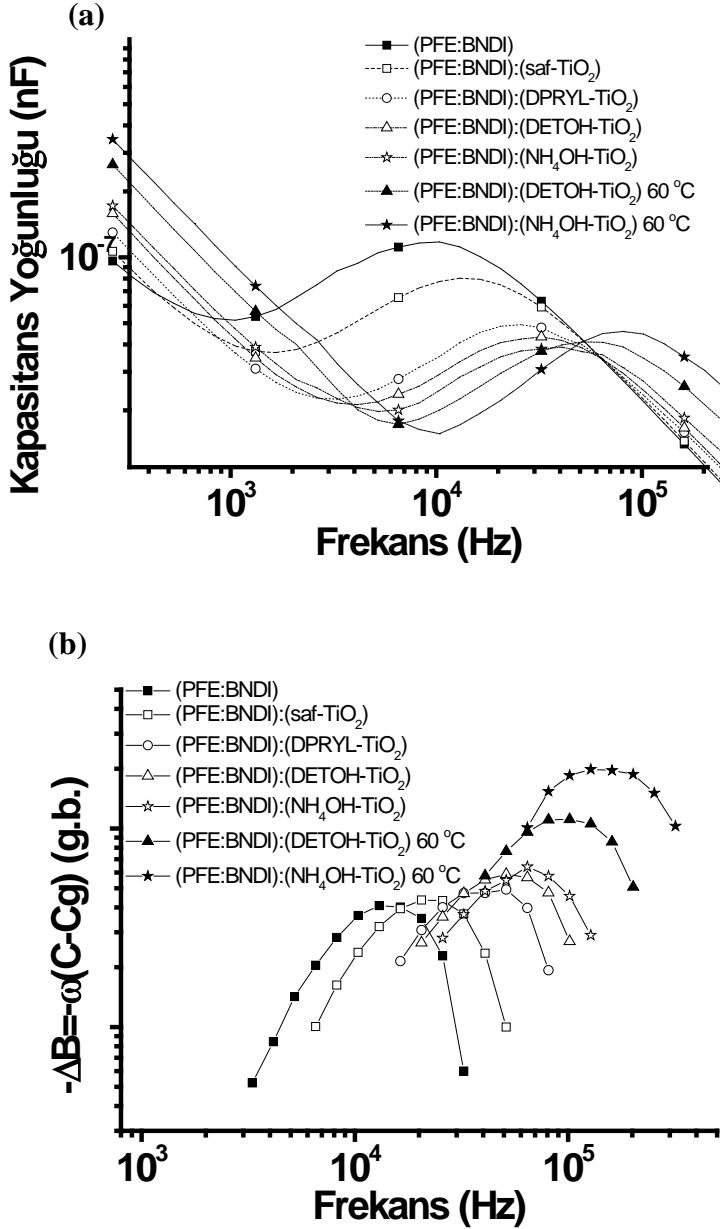
Saf-TiO<sub>2</sub> katkılı filmin, PFE:BNDI karışımı ile aynı absorpsiyon şiddetine sahip olmasına karşın, referans aygıtla karşılaştırıldığında, fotodetektör performansını % 25 arttırmıştır (Çizelge 6.). TiO<sub>2</sub> iletkenlik bandı ve valans bandı enerji seviyeleri (N-seviyeleri) ve N-katkılama ile artan yoğunluklar, Al elektrodun iş fonksiyonu (Shankar et al., 2007) ile aktif tabakanın uyarılmış haline ve fotodetektör performansına etki etmektedir.

Aygıtların zamana bağlı akım yoğunlukları, periyodik olarak ışınının açılıp kapatılması deneyi ile elde edilmiştir. Gerilim uygulanmadan elde edilen  $J_{foto}$  değerlerinin zamana bağlı grafiği Şekil 3.21.'de gösterilmektedir. Aygıtlara ait fotoyanıtlar, ışınım açıldığında 4 ila 5 kat artmaktadır.



Şekil 3.22. ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):x-TiO<sub>2</sub>][9:1]/Al fotodedektörünün 365 nm dalgaboylu 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli UV ışınım altında oda sıcaklığı ve 60 °C' deki kompleks empedans eğrileri (x= saf-, DPRYL-, NH<sub>4</sub>OH- ve DETOH-).

Fotodedektörlerin 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli 365 nm dalgaboylu UV ışınım altında, oda sıcaklığında ve 60 °C'de elde edilen empedans eğrileri Şekil 3.22.'de gösterilmektedir. Eğrilerin tümü tek zaman sabitlidir ve paralel direnç-kapasitans devresiyle modellenmektedir (Barsoukov ve Macdonald, 2005). Paralel direnç ( $R_p$ ), referans sitemle karşılaştırıldığında, x-TiO<sub>2</sub> katkılı PFE:BNDI için azalmaktadır. Diğer bir ifadeyle, tüm x-TiO<sub>2</sub> katkılı fotodedektörlerin yük transfer direnci azalmıştır. En küçük  $R_p$  değeri NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub> katkılı fotodedektörde, en yüksek fotoyanıtın da alındığı sistem olan 60 °C'ye tavlanan fotodedektörden elde edilmiştir.



Şekil 3.23. ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):x-TiO<sub>2</sub>][9:1]/Al fotodedektörünün 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm<sup>2</sup> ışınım altında, oda sıcaklığında ve 60 °C'deki (a) kapasitans yoğunluğu-frekans ve (b) süsseptans-frekans eğrileri (x= saf-, DPRYL-, NH<sub>4</sub>OH- ve DETOH-).

Eşitlik 2 ile hesaplanan kapasitans değerlerinin frekansa bağlı eğrileri Şekil 3.23. (a)'da gösterilmektedir. Kapasitans eğrilerinde relaksasyon pikleri orta frekans bölgesinde görülmektedir. Bu bölgedeki en küçük kapasitans değerleri geometrik kapasitansları ( $C_g$ ) temsil etmektedir ve bu değerler negatif diferansiyel süsseptans formülü (4 nolu eşitlikten) kullanılarak elde edilerek frekansa karşı

grafiklendiğinde (Şekil 3.23. (b)) maksimum frekans değerlerinden, transit süreler ( $\tau_t$ ) elde edilmiş ve eşitlik 6 ile fotodedektörlere ait toplam yük taşıyıcı mobiliteleri hesaplanmıştır.

Karakterizasyonu yapılan UV-A fotodedektörlere ait elektriksel parametreler Çizelge 6.'da verilmektedir. Maksimum frekans ( $f_{max}$ ) değeri, minimum transit süre ( $0.49 \times 10^{-6}$  s)) ile maksimum toplam yük taşıyıcı mobilitesi ( $15.3 \times 10^{-8}$  cm<sup>2</sup>/V.s), 60 °C'de tavllanmış NH<sub>4</sub>OH içeren fotodedektörlerden elde edilmiştir.

**Çizelge 6.** Karakterizasyonu yapılan UV fotodedektörlere ait elektriksel parametreler.

Parametre	PFE:BNDI:x; x:						
	25 °C					60 °C	
	-	saf	DPRYL	DETOH	NH <sub>4</sub> OH	DETOH	NH <sub>4</sub> OH
Fotoyanıt (mA/W)	123	156	247	430	545	570	597
$\mu$ (x 10 <sup>8</sup> ) (cm <sup>2</sup> /V.s)	0.33	0.51	1.0	6.2	10.8	12.5	15.3

Azot katkılı TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklar içinde DETOH- en düşük bant aralığına sahiptir (Diker vd., 2011) ve düşük bant aralığı, malzemeler arası yük transferine yardımcı olmakta ve aygıt içinde ani akım değişimlerine mahal vermemekte, arayüzeylerde yüklerin tuzaklanmasını önlemekte ve empedansı azaltmaktadır. Bununla birlikte, daha önce de bahsedildiği üzere, en iyi fotoyanıt ve yük transfer direnci NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub> katkılı PFE:BNDI ile elde edilmiştir. Bu performans NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub> katkılı fotodedektörlerde optimum azot katkılama seviyesine (Diker vd., 2011) ve daha yakın kümeleşmeler sonucunda daha büyük yük transfer arafazlarından kaynaklanmasına atfedilebilir.

### 3.2.3 ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI:TiO<sub>2</sub>/Al bulgular

Bu çalışmada, azot katkılı TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklarının organik fotodedektör sistemine etkisi üzerine çalışılmıştır. ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI)(3:1):NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub>] [9:1]/Al aygıt konfigürasyonundan oda sıcaklığında 545 mA/W ve 60 °C'de 597 mA/W fotoyanıt elde edilmiştir. Aygıt performanslarının azot kaynağının doğasına göre değiştiği görülmüştür.

PFE:BNDI:x-TiO<sub>2</sub> hibritleri ve bu hibritlerin aktif tabakasında kullanıldığı fotodedektörlerde, nano-saniye ve femto-saniye geçiş (transient) davranışları, azot kaynağının, yük taşınımı ve ayrışma mekanizmaları üzerindeki etkisi hakkında daha fazla bilgi verebilir. Elde edilen fotoyanıt değerlerinin, radyo-frekans püskürtme ile hazırlanmış metal oksit tabanlı UV fotodedektörlerin altında olmasına (Bi et al., 2009) ve metal organik kimyasal buhar kaplayıcı (Liu et al., 2009) ile elde edilenden daha düşük olmasına karşın, daha düşük maliyetli ıslak kaplama prosesleriyle üretilen organik/inorganik hibrit UV-A fotodedektörlerden 5 kat daha yüksektir (Çizelge 6.; Han et al., 2009; Han et al., 2011; Yang et al., 2010; Wang et al., 2010).

Bu çalışmada, *Bölüm 3.1*'de açıklanan (PFE:BNDI) çalışmasından daha yüksek verim elde edilmiştir. Azot kaynağının morfolojiye etkileri ve donor-akseptör ilişkileri bakımından incelemeler yapıp, optik ve elektriksel karakterizasyonlarla açıklanmıştır.

### 3.3 Geleneksel [ITO/PEDOT:PSS/(PFE:ZnO)/Al] ve Evrik [ITO/(PFE:ZnO)/Au] Mimarili Hibrit Fotodedektörler

Bu bölümde, sentezi yapılan ZnO nanoparçacıklar, fotodedektör aktif tabakasında PFE ile geleneksel mimaride ITO/PEDOT:PSS (45 nm) /aktif tabaka (85 nm) /Al (100 nm) ve evrik mimaride ITO/aktif tabaka (85 nm) /Au (55 nm) hazırlanmıştır. UV-A fotodedektörlerin hem optik hem de elektriksel karakterizasyonları yapılmış ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

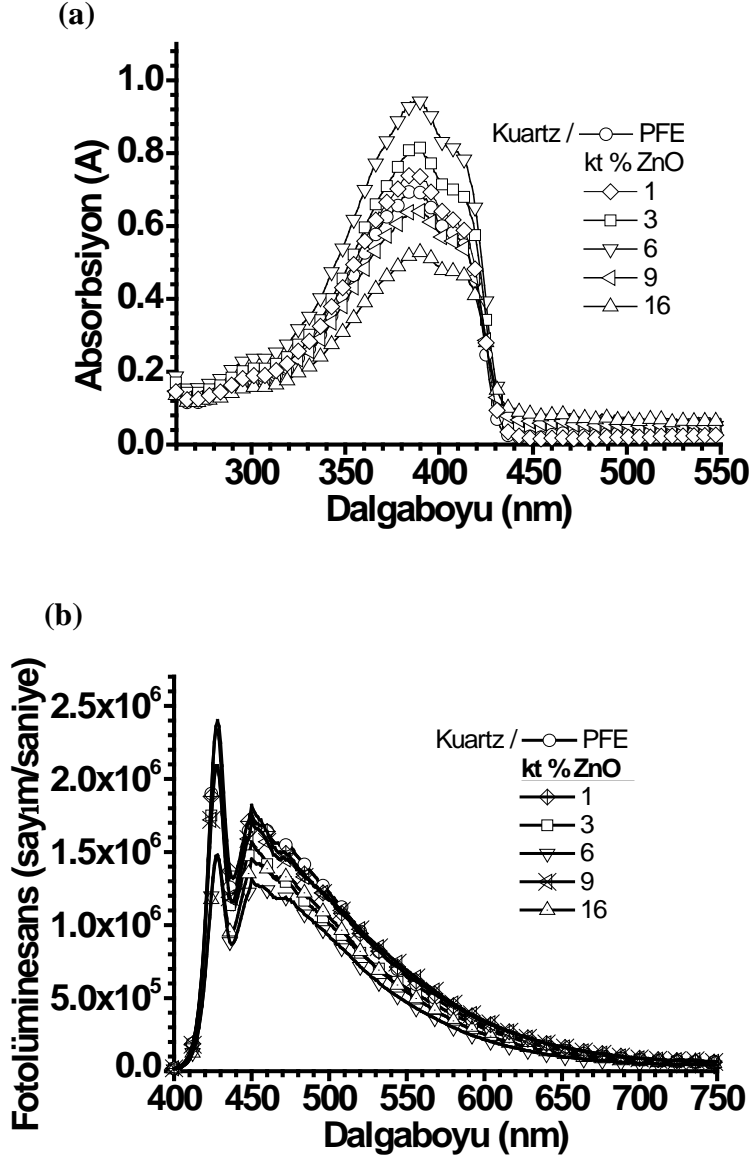
Evrik fotodedektör sistemlerinin kararlılıklarının geleneksel fotodedektörlerden daha iyi olduğu literatürde raporlanmıştır (Sahin et al., 2005; Li et al., 2006; Waldauf et al., 2006; Hau et al., 2008; Ameri et al., 2008; Hsieh et al., 2010; Yang et al., 2010; Sun et al., 2011; Liu et al., 2012). Evrik mimarili aygıt incelemeleri yapılmasının temel nedeni, fotoyanıt kararlılıklarının karşılaştırılmasıdır. Literatürde, güneş hücrelerinde de evrik yapılar araştırılmıştır (Yang et al., 2010; Jiang et al., 2010). Bununla birlikte, polimer ve ZnO karışımının aktif tabakada kullanıldığı evrik mimarili güneş hücresi veya fotodedektör araştırmasına rastlanmamıştır. Aşağıda ilgili deneyler ve sonuçlar, yorumlarla açıklanmaya çalışılmıştır.

### 3.3.1 PFE:ZnO film fazı incelemeleri

Fotodedektör hazırlığına geçmeden önce aktif tabakada kullanılan malzemelerin optik karakterizasyonları (absorbsiyon ve fotoluminesans şiddetleri ve enerji seviyeleri incelemeleriyle, malzemelerin kütlece karışım oranlarının belirlenmesi) yapılmıştır.

*(PFE:ZnO) Karışımının Optik Özellikleri:* PFE ve ZnO malzemeleri ayrı ayrı tüplerde, kloroform çözgeni içinde, sırasıyla; 10 mg/ml ve 20 mg/ml derişimlerde hazırlanarak manyetik karıştırıcıda bir gece bekletilmiştir. ZnO 0.45 µm filter ile filtrelenmiş ve filtreleme sonrasında 4 mg / 2 ml disperse ZnO elde edilmiştir. PFE çözeltisi ve ZnO süspansiyonu, farklı karışım oranlarında (PFE: (kt % 1, 3, 6, 9 ve 16) ZnO) bir araya getirilerek 1 gece manyetik karıştırıcıda bekletildikten sonra dönü-kaplayıcı ile 1500 rpm de temiz kuartz altlıklar üzerine kaplanmıştır.

Kaplama sonrası soğurma ve emisyon şiddetlerini gösteren grafikler Şekil 3.24.'deki gibidir.



Şekil 3.24. ZnO:PFE ince filmlerinin (a) absorpsiyon ve (b) fotoluminesans eğrileri ( $\lambda_{uy} = 386$  nm).

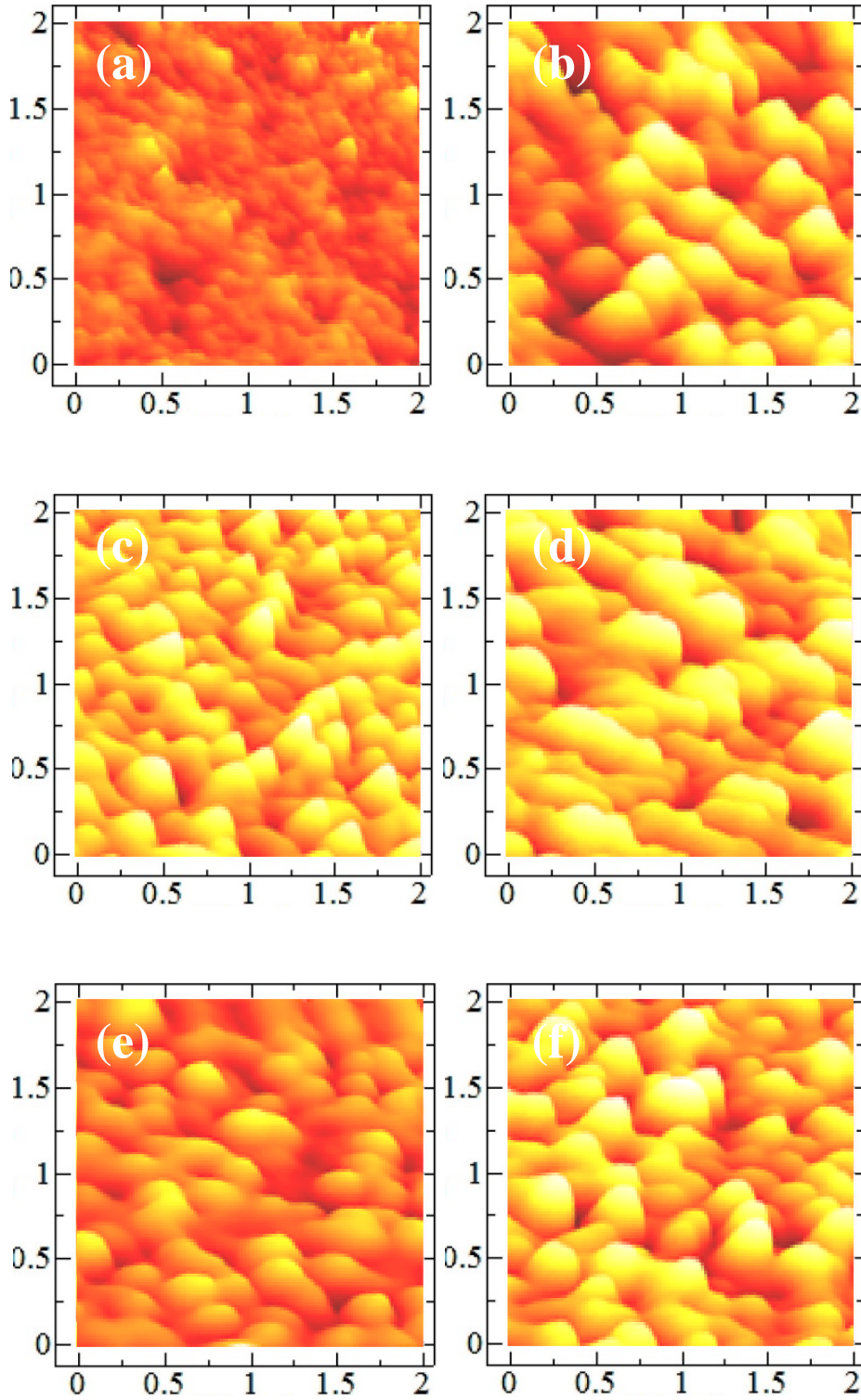
PFE: kt% x ZnO (x: 1, 3, 6, 9 ve 16) ince filmlerine ait absorpsiyon ve fotoluminesans spektrumları Şekil 3.24. (a) ve Şekil 3.24. (b)'de gösterilmektedir. PFE içerisinde ZnO varlığı absorpsiyon grafiğinde spektral kaymaya sebebiyet vermemekle birlikte, absorpsiyon şiddetini arttırmıştır. Bununla birlikte, ZnO varlığı ile artan derişimlerde fotoluminesansta azalma gerçekleşmiştir. En yüksek absorpsiyon ve sönümlenme, PFE'e kt% 6 ZnO eklendiğinde gözlenmiştir.

Hibrit filmlerin fotoluminesans şiddetinin PFE'den daha fazla olmamasına karşın, katkılama oranı kütlece kt% 6 üzerinde iken fotoluminesans şiddetindeki gidişatta, *Bölüm 3.1* ve *Bölüm 3.2*'dekinden farklı olarak polimerin sürekli sönümlenmesi söz konusu değildir. Bununla birlikte, PFE:akseptör malzeme (naftalendiimit veya azot katkılı TiO<sub>2</sub>) üzerine önerdiğimiz mekanizmalar, PFE:ZnO hibritleri için geçerli değildir. Kullanılan 386 nm uyarma dalgaboylu ışın, nanoparçacıkların değerlik bandı elektronları üzerinde etkili değildir ve polimerin temel seviyesine, nanoparçacık iletkenlik bandından polimer HOMO'suna elektron transferi aracılığıyla, etki etmemektedir.

ZnO nanoparçacıklarının karışım absorpsiyonu gelişmesine katkısı, saçılma etkilerine atfedilmektedir (Wang et. al., 2014; Diker vd., 2014; Ma et. al., 2005; Chen et. al., 2011).

PFE: kt% x ZnO malzemelerinin kuartz üzerinde dönü kaplayıcıda hazırlanan ince filmlerine ait AFM görüntüleri Şekil 3.25.'te gösterilmektedir. Sadece PFE ince filmine ait pürüzlülük değeri 0.5 nm'dir. Bu pürüzlülük en düşük ZnO katkılamasında 2.94 nm olmakla birlikte, artan katkılama miktarında 3.42 nm'lere kadar çıkmaktadır. Literatürde, artan pürüzlülüğün, malzemeler arası daha fazla kontak alan oluşturacağı ve daha iyi arayüzey sağlayarak aygıt performansını pozitif yönde etkileyebileceği raporlanmaktadır (Wang et. al., 2014; Ma et. al., 2005).

ZnO katkılamasıyla artan pürüzlülük yanında, PFE: kt% 6 ZnO için 60 °C'de tavlama ile pürüzlülüğün 3.14 nm'den 3.05 nm'ye azaldığı görülmüştür.



**Şekil 3.25.** PFE:kt% x ZnO ince filmlerin AFM görüntüleri, x: (a) 0 (pürüzlülük: 0.5 nm), (b) 1 (pürüzlülük: 2.94 nm), (c) 3 (pürüzlülük: 3.17 nm), (d) 6 (pürüzlülük: 3.14 nm), (e) 9 (pürüzlülük:3.42 nm) oda sıcaklığında ve (f) 6 (pürüzlülük: 3.05 nm) 60 °C'de tavllanmış.

### 3.3.2 Fotodetektör karakterizasyonları

Aktif tabakada kullanılan malzemelerin optik karakterizasyonları yapıldıktan sonra hibrit UV-A fotodetektörler hazırlanmış, aygıtların optik ve elektriksel karakterizasyonları yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

İncelenecek fotodetektör aygıt yapıları şöyledir:

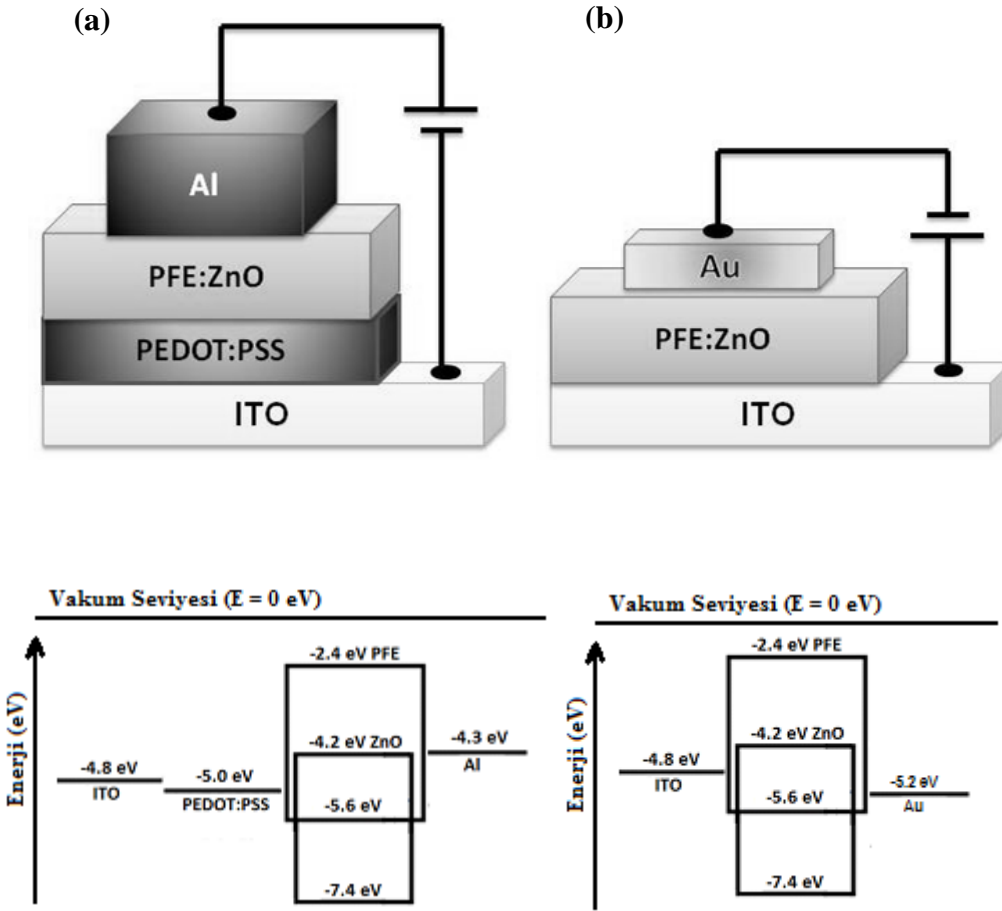
ITO/PEDOT:PSS/[(PFE: kt% x ZnO)(x: 0, 1, 3, 6, 9 ve 16)]/Al (geleneksel aygıt)

ITO/[(PFE: kt% x ZnO)(x: 0, 1, 3, 6, 9 ve 16)]/Au (evrik aygıt)

İncelenen aygıt yapılarına ait yan kesit ve enerji seviye diyagramları Şekil 3.26. (a) ve Şekil 3.26. (b)'de gösterilmektedir.

Geleneksel fotodetektörde boşlukların, evrik fotodetektörde ise elektronların ITO elektrot tarafından toplanabilmesi için hemen hemen aynı ( $|E_{\text{PFEHOMO}} - E_{\text{PEDOT:PSS}}|$  ve  $|E_{\text{ZnOCB}} - E_{\text{ITO}}|$  farkı 0.6 eV) enerji farkı mevcuttur (Şekil 3.26. (a) ve Şekil 3.26. (b)). Aktif tabakada PFE ile birlikte ZnO varlığının hem geleneksel hem de evrik sistemlerde elektronların toplanmasını kolaylaştırabileceği görülmektedir (Şekil 3.26.).

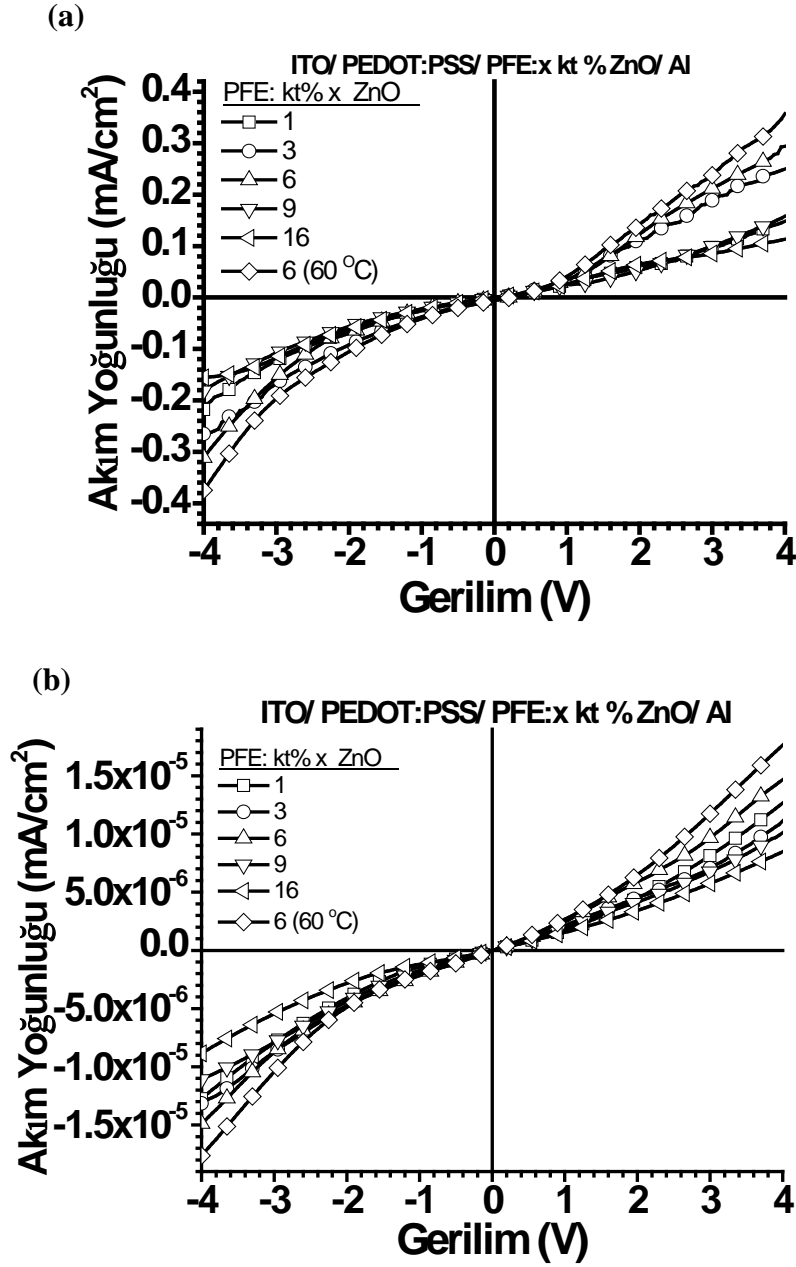
Karanlıkta ve  $1 \text{ mW/cm}^2$  şiddetli 365 nm dalga boylu UV ışınım altında, -4 V ile 4 V gerilim aralığında gerçekleştirilen akım yoğunluğu ( $J$ ,  $\text{mA/cm}^2$ ) gerilim ( $V$ ) eğrileri geleneksel ve evrik sistemler için Şekil 3.27. ve 3.28.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.26. (a) Geleneksel ve (b) evrik fotodedektör aygıt yapıları ve bileşenlerinin enerji seviyeleri.

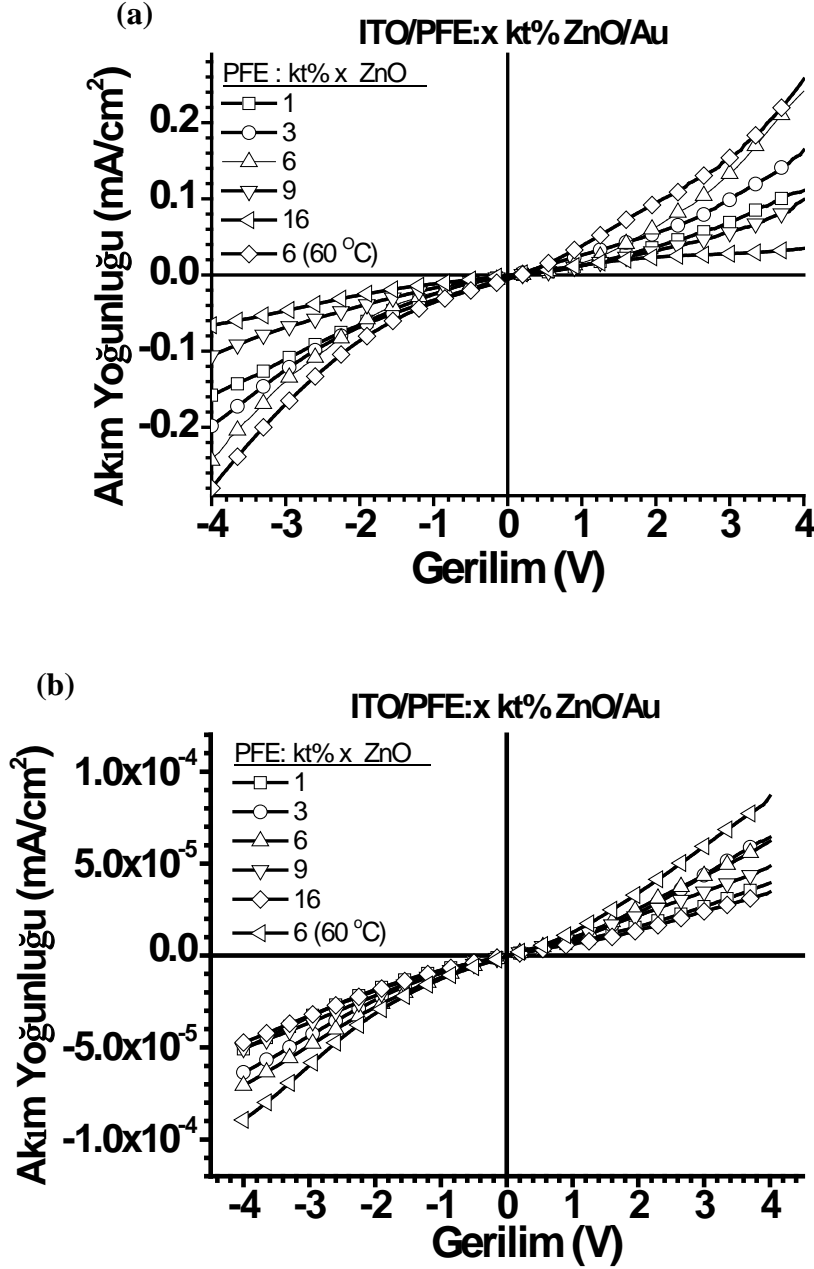
-4 V'taki en yüksek akım yoğunlukları kt% 6 ZnO katkılama ile geleneksel mimaride  $0.31 \text{ mA/cm}^2$  ve evrik mimaride  $0.32 \text{ mA/cm}^2$  olarak elde edilmiştir.

Katkılama oranının artmasıyla bu değerlerde azalma gözlenmiştir. En yüksek katkılama oranında geleneksel ve evrik fotodedektörde akım yoğunlukları;  $0.15 \text{ mA/cm}^2$  ve  $0.06 \text{ mA/cm}^2$ 'dir. kt% 6 ZnO içeren aktif tabakanın polimer camsı geçiş sıcaklığına ( $T_g$ ) ( $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ) tavllanmasıyla akım yoğunluğu geleneksel sistemde  $0.37 \text{ mA/cm}^2$  ve evrik sistemde  $0.28 \text{ mA/cm}^2$ 'ye artmıştır.



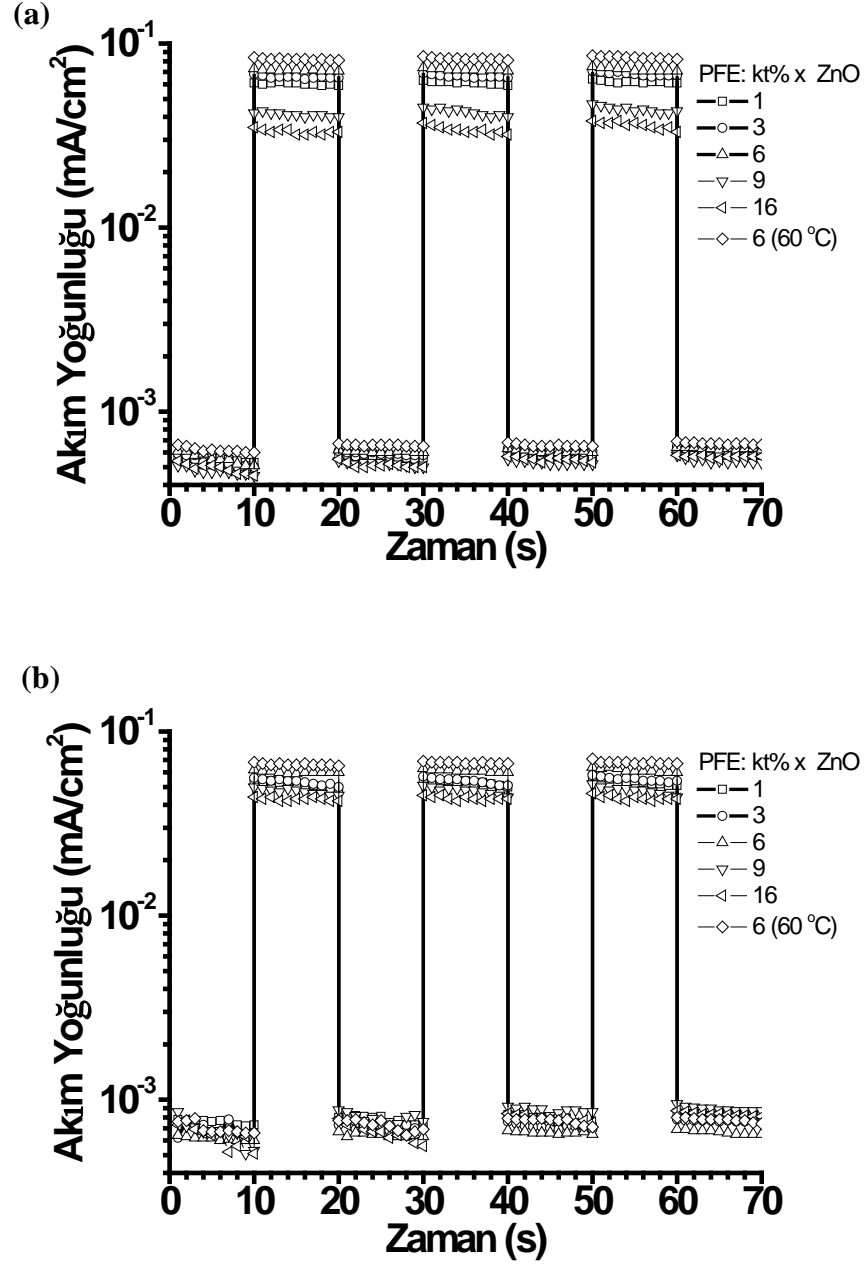
Şekil 3.27. Geleneksel fotodedektörlerin (a) 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli ışınım altında ve (b) karanlıkta elde edilen akım yoğunluğu-gerilim eğrileri.

Fotoakımlar ve karanlık akımlar incelendiğinde, fotoakımların karanlık akımlardan geleneksel fotodedektörde  $10^4$  ve evrik fotodedektörde  $10^3$  kat daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 3.27. ve Şekil 3.28.). Literatür taraması ile de benzer olarak (Chen et. al., 2011) geleneksel aygıtlar, evrik aygıtlardan daha fazla fotoakım sergilediği tespit edilmiştir.



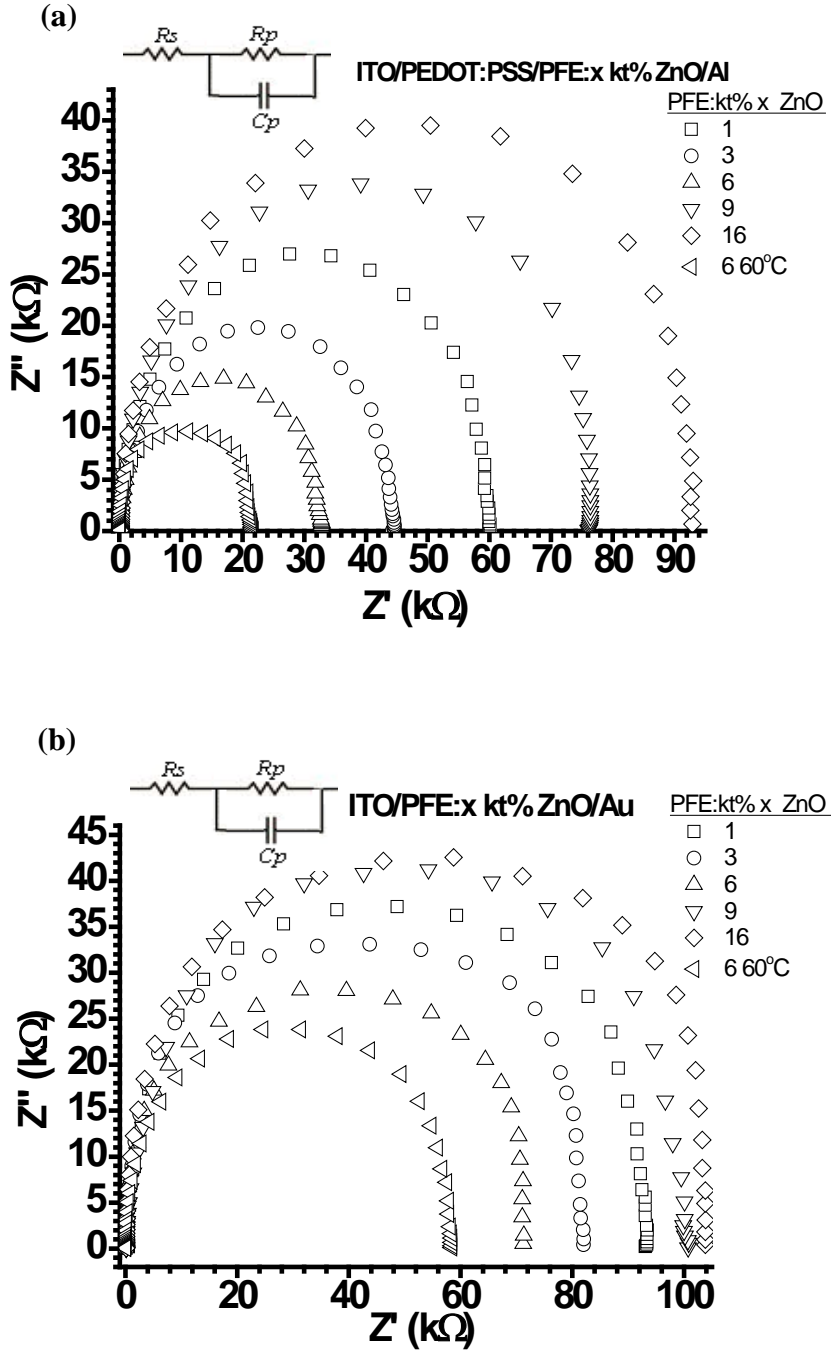
Şekil 3.28. Evrik fotodetektörlerin (a) 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli ışınım altında ve (b) karanlıkta elde edilen akım yoğunluğu-gerilim eğrileri.

Fotodetektörlerin UV- açık ve UV- kapalı döngüsünde zamana bağlı olarak değişen fotoakım yoğunluğu karakteristikleri Şekil 3.29.'da gösterilmektedir. Her iki mimari için de aygıtlardan UV- açık iken elde edilen akım yoğunluklarının hemen hemen aynı kaldığı görülmüştür. Aygıtlardaki yüklerin ışığa verdiği yanıtların değişmemesinin, yüklerin kararlılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.29. 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli ışınım altında, ışınım açık-kapalı döngüsünde (a) geleneksel ve (b) evrik mimarideki fotodedektörlerin akım yoğunlukları (0 V).

Geleneksel aygıtta gerilim uygulanmadan UV- açık iken elde edilen akım yoğunluklarının evrik aygıtlardan daha fazla olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, tavlama ile her iki aygıtta da akım yoğunluklarında bir miktar artış olmuştur.



Şekil 3.30. 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli ışınım altında (a) geleneksel ve (b) evrik fotodedektörlerin empedans eğrileri.

Farklı miktarlarda ZnO içeren fotodedektörlere ait empedans eğrileri Şekil 3.30. (a) ve 3.30. (b)'de gösterilmektedir. Tüm aygıtlardan tek yarım-daire Nyquist eğrileri elde edilmiştir. (aygıtların endüktif etkileri (negatif kapasitans) gözlenmediğinden, eşdeğer devre modelinde yoktur). Empedans eğrileri direnç ve

sığanın fonksiyonu olarak 1 nolu eşitlikte (Huang et al., 2010) belirtildiği şekilde temsil edilmektedir.

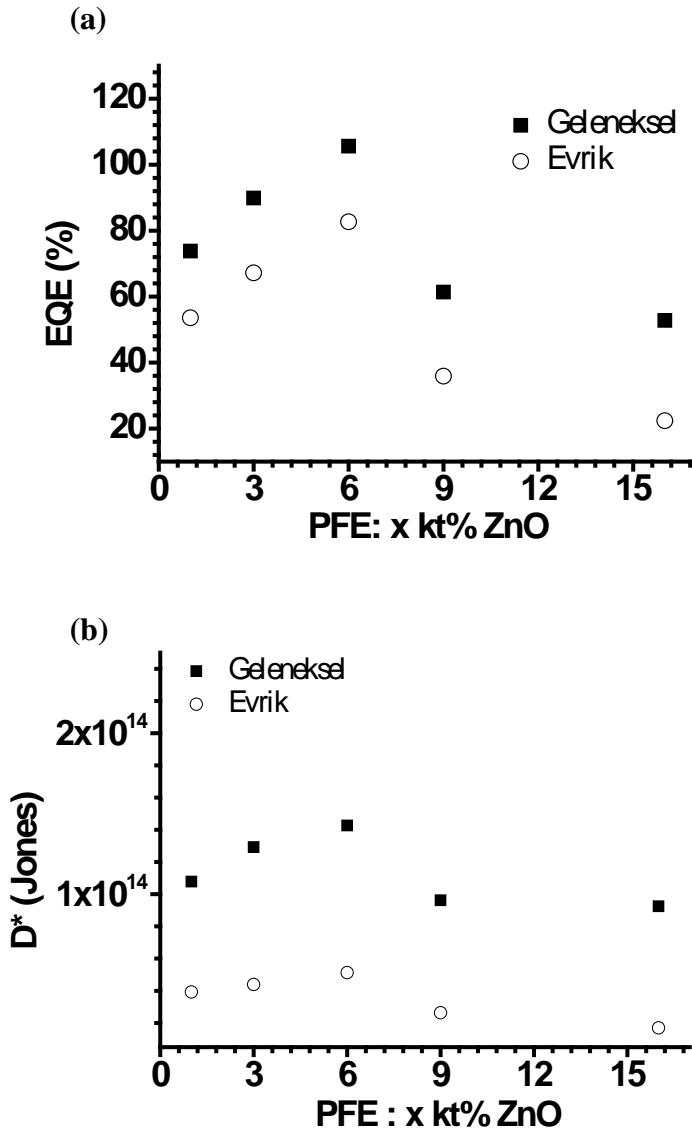
ITO ve organik tabaka arası direnç olan seri dirençler ( $R_s$ ) incelendiğinde, kt% 6 ZnO katkılama oranına kadar  $R_s$  değerinin değişmediği gözlenmiştir. Evrik aygıt yapısında kt% 6 ZnO katkılanmış aygıtta  $R_s$  değerinde küçük bir azalış gözlenmesine karşın, tüm katkılama oranlarında hemen hemen aynı olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, kt% 9 ve kt% 16 ZnO katkılamalarında elde edilen  $R_s$  değerleri geleneksel sistemde diğer katkılamalardan ve evrik aygıtlardan daha fazladır. ZnO için bu katkılama düzeylerine çıkıldığında, geleneksel sistemde, ZnO'in ışıkla üretilen yükler için tuzak gibi davranmaya başladığı öngörülmektedir.

Fotodetektör aktif tabakasına ait paralel direnç ( $R_p$ ) değerleri kt% 6, kt% 9 ve kt% 16 ZnO katkılama için sırasıyla; 32.7 k $\Omega$ , 76.6 k $\Omega$  ve 92.9 k $\Omega$ ' dur. Dirençte gözlenen 2 kattan daha fazla artışın, yüklerin tuzaklanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

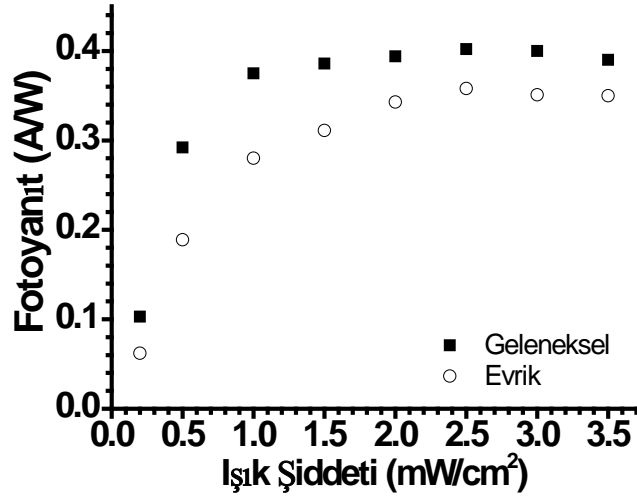
Paralel direnç ( $R_p$ ) artışının etkileri, kt% 9 and kt% 16 ZnO içeren geleneksel UV fotodetektörlerdeki fotoyanıt azalışında gözlenmiştir. Ayrıca fotoyanıtları, kt% 1 ZnO katkılı aygıttan daha düşüktür. Bu durum, evrik aygıt yapıları için de geçerlidir. Evrik yapıda da fotoyanıt değerleri  $R_p$  arttıkça azalmaktadır. En küçük  $R_p$  değerleri kt% 6 ZnO katkılı fotodetektörlerden elde edilmiştir. Bu aygıtların PFE'in camsı geçiş sıcaklığında ( $T_g$ ) tavlama ile geleneksel aygıtta 375 mA/W ve evrik aygıtta 280 mA/W fotoyanıt elde edilmiştir. Tavlama ile dirençlerde de azalma gözlenmiştir, geleneksel aygıtta 32.7 k $\Omega$ 'dan 21.5 k $\Omega$  değerine ve evrik aygıtta 71.2 k $\Omega$ 'dan 58.4 k $\Omega$ 'a azalmıştır.

Şekil 3.31.'de gösterilen geleneksel ve evrik sistemlere ait dış kuantum verimleri (EQE) ve dedektivite ( $D^*$ ) değerleri sırasıyla, 1 ve 2 numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan EQE'ler 22 % ile 127 % arasında değişmektedir (Şekil 3.31. (a), Çizelge 7.) ve bu sonuçlar literatürdeki muadilleriyle karşılaştırılabilir seviyededir (Zhu et. al., 2011, Razeghi et. al., 1996, Wang et. al., 2014).

UV-A fotodedektörlere ait dedektivite değerleri geleneksel sistemde oda sıcaklığında  $1.4 \times 10^{14} \text{ cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$  iken tavlama ile  $1.6 \times 10^{14} \text{ cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$  yükselmiştir. Evrik sistemde ise oda sıcaklığında  $5.1 \times 10^{13} \text{ cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$  elde edilen dedektivite, tavlama ile  $5.3 \times 10^{13} \text{ cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$  değerine yükselmiştir (Şekil 3.31. (b)). Elde edilen dedektivite değerleri, literatürdeki UV-A fotodedektörlerle karşılaştırılabilir değerlerdedir (Zhu et. al., 2011, Wang et. al., 2014, Razeghi et. al., 1996).

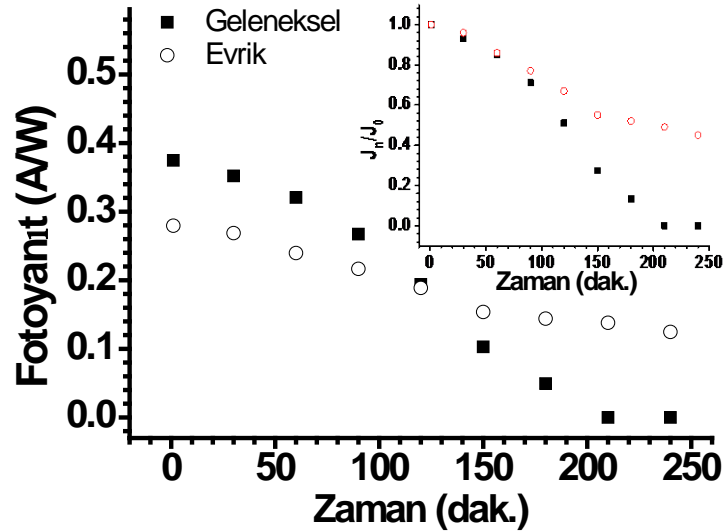


Şekil 3.31. Geleneksel ve evrik mimarideki fotodedektörlerin 365 nm dalgaboylu,  $1 \text{ mW/cm}^2$  şiddetli ışınım altında PFE kt% ZnO katkılama oranı ile değişen; (a) EQE ve (b) dedektivite değerleri.



Şekil 3.32. Gelen ışık şiddeti ile değişen geleneksel ve evrik fotodenedektörlerin ait fotoyanıt değerleri.

PFE: kt% 6 ZnO aktif tabakası içeren geleneksel ve evrik fotodenedektörlerin ışık şiddetine bağlı fotoyanıt değerleri Şekil 3.32.'de gösterilmektedir. 1 mA/W ışınım şiddetinden itibaren fotoyanıt değerleri artış göstermemekte, neredeyse sabitlenmektedir.



Şekil 3.33. PFE: kt% 6 ZnO aktif alana sahip geleneksel ve evrik mimarili fotodenedektörlerin 365 nm dalga boylu 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli ışınım altındaki zamana bağlı değişen fotoyanıt değerleri (içteki şekil: zamana bağlı  $J_n/J_0$  değerleri).

Uzun-dönemli kararlılık incelemelerinde zamana bağlı değişimler önem arz etmektedir. Literatürde geleneksel ve evrik ultraviyole sistemlerinin uzun-dönem kararlılık araştırmasına rastlanmamıştır. Şekil 3.33.'te PFE: kt% 6 ZnO aktif tabakası içeren geleneksel ve evrik fotodedektörlerin zamana bağlı fotoyanıt değerleri verilmiştir. Evrik UV-A fotodedektörde 150 dakika sonra fotoyanıt kararlı hale gelmekte iken, geleneksel UV-A fotodedektörde 150. dakikada tamamen tükenmiş durumdadır.

Işınım altında, geleneksel fotodedektörde, ışııkla üretilen boşluklar, PEDOT:PSS'i de geçerek ITO elektrota doğru ilerler. PEDOT:PSS malzemesi asidik özelliklidir ve bu özelliği nedeniyle zamanla ITO elektrot yüzeyini tahrip etmek suretiyle aşındırarak aygıt kararlılığını negatif yönde etkilemektedir (Jong et. al., 2000; Jorgensen et. al., 2008). Bu nedenle, UV-A fotodedektörlere ait fotoyanıtların zamana bağlı gidişatları incelendiğinde, evrik fotodedektör daha fazla aygıt kararlılığına sahiptir ama evrik UV-A fotodedektör, geleneksel UV-A fotodedektörden daha düşük fotoyanıt sergilemiştir.

Her iki fotodedektör aygıt mimarisinde elde edilen fotoyanıt ve dedektiviteler, silikon tabanlı ticari UV fotodedektörlerin fotoyanıtları ve dedektiviteleri ile karşılaştırılacak değerlerdedir. Bununla birlikte, çalışmamızda üretilen UV fotodedektörlerin fotonik uygulamalarda ticarileşebilir düzeye gelebilmesi için kararlılıklarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 7. Geleneksel ve evrik aygıtlara ait elektriksel parametreler.

Parametreler	ITO / PEDOT:PSS / PFE:kt% xZnO / Al					
	25 °C					60 °C
	1	3	6	9	16	6
Fotoyanıt (mA/W)	217	265	311	181	156	375
R <sub>p</sub> (kΩ)	60.1	44.5	32.7	76.3	92.9	21.5
R <sub>s</sub> (kΩ)	0.119	0.120	0.113	0.180	0.218	0.102
J <sub>foto</sub> (mA/W) (-4V)	0.217	0.265	0.311	0.181	0.155	0.375
J <sub>karanlık</sub> (at -4V) (mA/W) (x10 <sup>5</sup> )	-1.27	-1.31	-1.48	-1.11	-0.88	-1.76
J <sub>karanlık</sub> (at 0V) (mA/W) (x10 <sup>8</sup> )	-1.61	-0.58	-3.11	-0.51	-0.89	-3.49
EQE (-4V) (%)	73.8	89.9	105.6	61.4	52.8	127
Dedektivite (-4V) (cmHz <sup>1/2</sup> W <sup>-1</sup> )x 10 <sup>-14</sup>	1.08	1.29	1.43	0.96	0.92	1.60
Parametreler	ITO / PFE:kt% xZnO / Au					
	25 °C					60 °C
	1	3	6	9	16	6
Fotoyanıt (mA/W)	158	198	244	106	66	280
R <sub>p</sub> (kΩ)	93.2	82.1	71.2	100.7	103.8	58.4
R <sub>s</sub> (kΩ)	0.126	0.123	0.114	0.129	0.139	0.108
J <sub>foto</sub> (mA/W) (at -4V)	0.158	0.198	0.244	0.106	0.066	0.280
J <sub>karanlık</sub> (-4V) (mA/W) (x10 <sup>5</sup> )	-5.08	-6.36	-7.07	-5.03	-4.73	-8.94
J <sub>karanlık</sub> (0V) (mA/W) (x10 <sup>8</sup> )	-1.29	-1.72	-2.80	-7.51	-5.49	-3.07
EQE (at -4V) (%)	53.6	67.2	82.7	35.9	22.4	95
Dedektivite (-4V) (cmHz <sup>1/2</sup> W <sup>-1</sup> )x 10 <sup>-14</sup>	3.9	4.4	5.1	2.6	1.7	5.3

### 3.3.3 ITO/PEDOT:PSS/PFE:ZnO/Al ve ITO/PFE:ZnO/Au bulgular

Fotovoltaik sistemlerde metal oksitler uygun koşullarda polimer içinde düzgün disperse olduğunda polimerik kümeleşmeyi önleyebildiğinden, aktif tabakasında kullanıldıkları sistemlerde cihaz içi yük dengesini düzenleyerek cihaz performansını arttırılabilmektedir. Bu nedenle bu bölümde, ultraviyole bölgede absorpsiyonu olan metal oksitlerden ZnO malzemesi ile çalışılmıştır.

Sentezi yapılan ZnO nanoparçacıklar, *p*-tipi PFE'e katkılanarak, geleneksel ve evrik fotodedektör sistemlerinde performans incelemesi yapılmıştır. Her iki mimari için diyot ömürleri izlenmiş ve elektriksel karakterizasyonlar yapılmıştır.

Oda sıcaklığında -4 V'ta 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli 365 nm dalgaboylu UV ışık altında ITO/PEDOT:PSS/PFE:ZnO/Al geleneksel ve ITO/PFE:ZnO/Au evrik aygıt mimarilerinden elde edilen fotoyanıtlar ve empedans değerleri sırasıyla, 311 mA/W; 244 mA/W ve 32.7 k $\Omega$ ; 71.2 k $\Omega$  gibidir. 60 °C'de tavlama ile fotoyanıtlar geleneksel aygıtta 375 mA/W ve evrik aygıtta 280 mA/W'a yükselmiş, empedans değerleri ise geleneksel aygıtta 21.5 k $\Omega$  ve evrik aygıtta 58.4 k $\Omega$ 'a düşmüştür.

Geleneksel aygıt ile evrikten daha yüksek fotoyanıt elde edilmesine karşın, geleneksel aygıtlar zamana göre fotoyanıtları değerlendirildiğinde, evrikten daha düşük kararlılık sergilemiştir.

Geleneksel ve evrik fotodedektörlerde sırasıyla  $1.4 \times 10^{14}$  cmHz<sup>1/2</sup>W<sup>-1</sup> ve  $5.1 \times 10^{13}$  cmHz<sup>1/2</sup>W<sup>-1</sup> dedektivite değerleri ve 105.6 % and 82.7 % dış kuantum verimi değerleri elde edilmiştir. Bu değerler, aktif tabakaların, polimer camsı geçiş sıcaklığında tavlama ile, geleneksel ve evrik sistemde sırasıyla;  $1.6 \times 10^{14}$  cmHz<sup>1/2</sup>W<sup>-1</sup> ve  $5.3 \times 10^{13}$  cmHz<sup>1/2</sup>W<sup>-1</sup>, 127 % ve 95 %'e yükselmiştir.

### **3.4 Geleneksel [ITO/PEDOT:PSS]/[(PFE:BNDI):ZnO]/Al ve Evrik [ITO]/[(PFE:BNDI):ZnO]/Au Mimarili Hibrit Fotodedektörler**

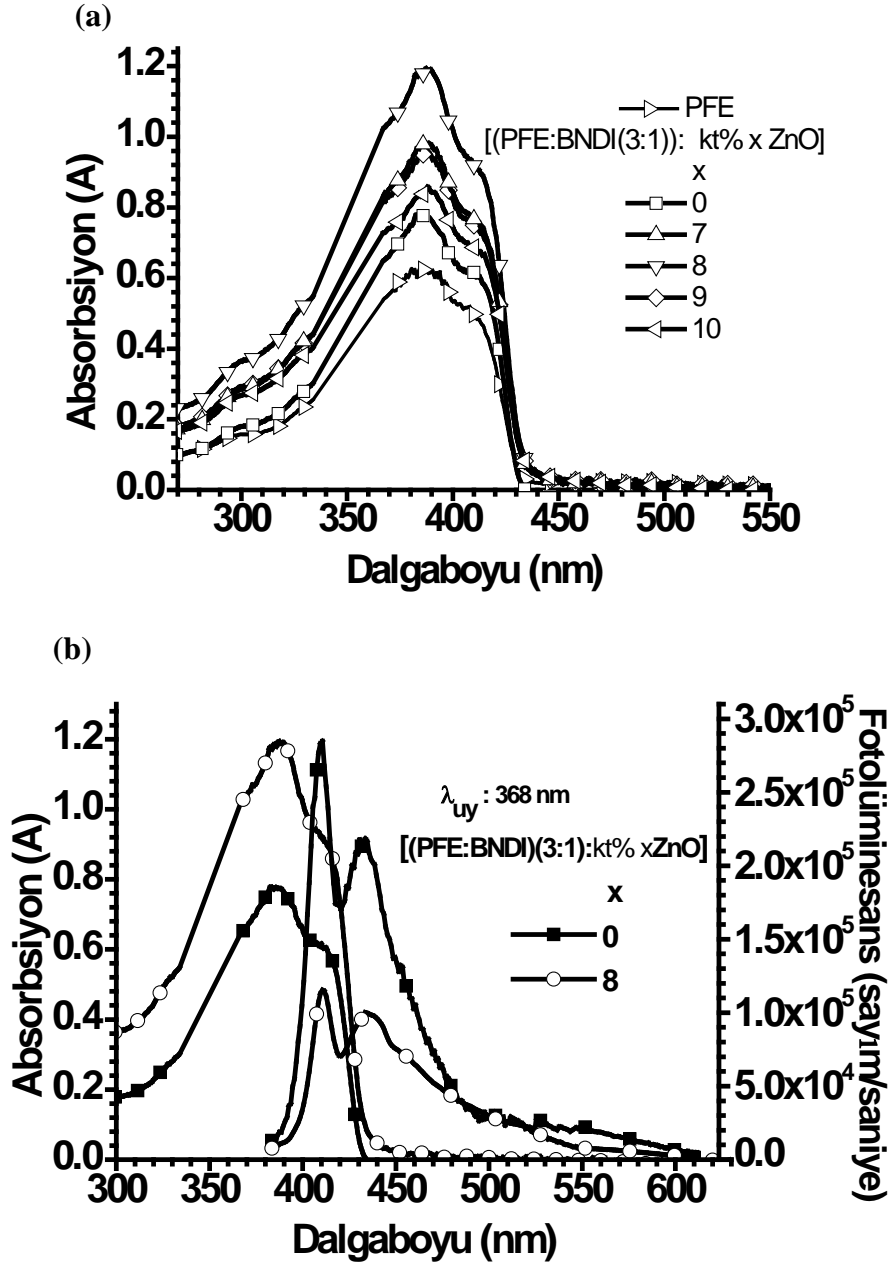
ZnO nanoparçacıklar (NP), *Bölüm 3.1*'de optimize edilen PFE ve BNDI (kt 3:1) karışımına eklenmiş ve geleneksel mimarili ITO/PEDOT:PSS (45 nm)/aktif tabaka (110 nm)/Al (100 nm) ve evrik mimarili ITO/aktif tabaka (110 nm)/Au (55 nm) hibrit UV-A fotodedektörleri aktif tabakasında kullanılmış ve hem optik hem de elektriksel karakterizasyonları yapılmış ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Fotodedektör hazırlığına geçmeden önce aktif tabakada kullanılan malzemelerin optik karakterizasyonları yapılmıştır (absorbsiyon ve fotoluminesans şiddetleri ve enerji seviyeleri incelemeleriyle, malzemelerin kütlece karışım oranlarının belirlenmesi gibi) hibrit UV-A fotodedektörler hazırlanmış, optik ve elektriksel karakterizasyonları yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

#### **3.4.1 PFE:BNDI:ZnO film fazı incelemeleri**

(PFE:BNDI) karışımı *Bölüm 3.1*'de (kt 3:1) optimize edilmişti. Bu bölümde bu karışıma farklı miktarlarda ZnO disperse edilmiş ve 1500 rpm'de dönü kaplayıcı ile kuartz cam üzerine ince filmleri hazırlanarak optik karakterizasyonlar yapılmıştır.

[(PFE:BNDI)(3:1): kt % x ZnO], x: 7, 8, 9 ve 10 ile hazırlanan ince filmlere ait absorpsiyon ve fotoluminesans spektrumları Şekil 3.34. (a) ve Şekil 3.34. (b)'de gösterilmektedir.



Şekil 3.34. (a) PFE ve [(PFE:BNDI)(3:1):kt% x ZnO (x: 0, 7, 8, 9 ve 10) karışımlarının absorpsiyonu ve (b) (PFE:BNDI) ve [(PFE:BNDI)(3:1):8 kt% ZnO] malzemelerine ait absorpsiyon ve fotolüminesans eğrileri, ( $\lambda_{uy} = 368 \text{ nm}$ ).

(PFE:BNDI) karışımına ait absorpsiyon şiddeti, *Bölüm 3.1*'de (kt 3:1) olarak optimize edilmişti. Bu absorpsiyon şiddeti, ZnO eklenmesiyle arttırılmış ve kt% 8 ZnO nanoparçacık katkılama miktarında maksimum şiddet elde edilmiştir (Şekil 3.34.).

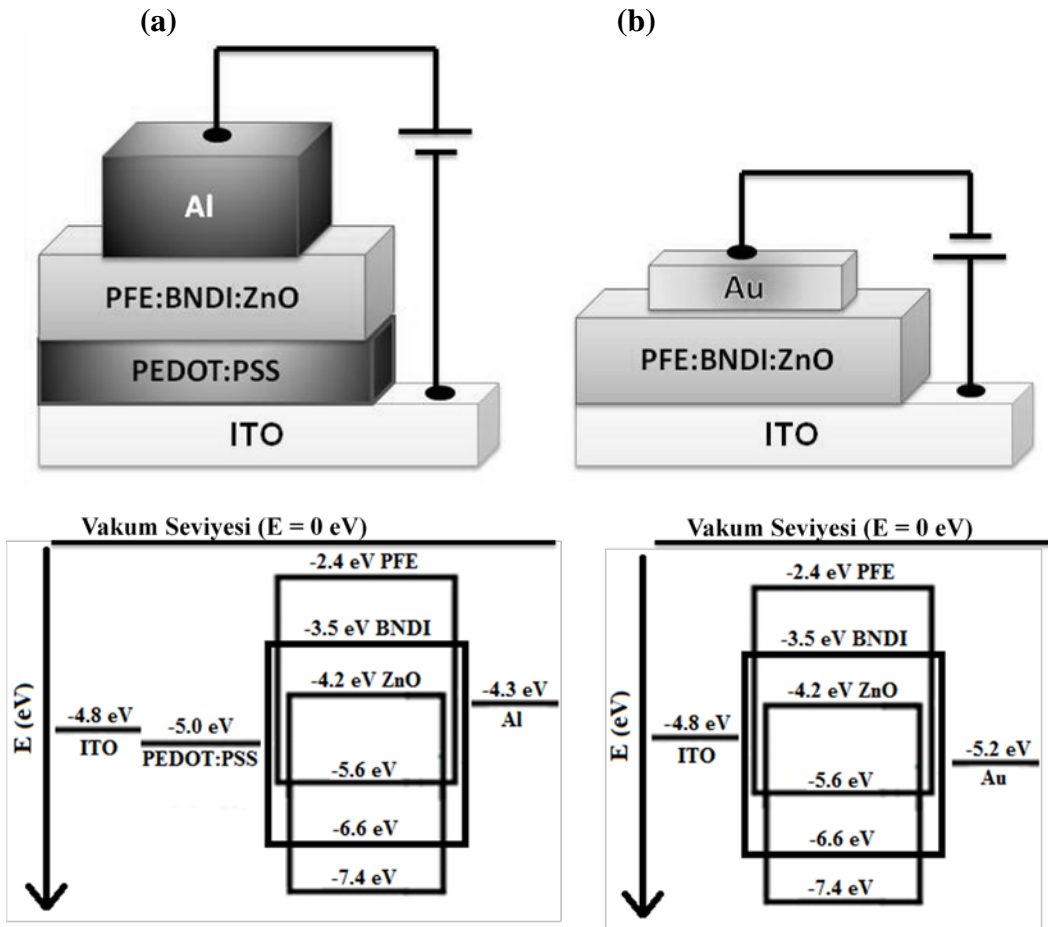
Absorbsiyon şiddetinde ZnO nanoparçacık eklenmesiyle oluşan artış, PFE ve BNDI malzemeleri arası enerji transferlerinin, daha önce optimize ettiğimiz oranda (kt 3:1) henüz tamamlanmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, absorbsiyon şiddetinin, ZnO nanoparçacıkların saçılmasıyla arttığı düşünülmektedir. UV ışık altında okside moleküllerin adsorbsiyon ve desorpsiyon aşamalarının, ZnO fotoiletkenliğini değiştirdiği literatürden bilinmektedir (Gong et. al., 2009).

ZnO varlığı ve yokluğundaki fotolüminesanslar karşılaştırıldığında, fotolüminesans şiddetinde, en yüksek absorbsiyon şiddetine sahip olan kt% 8 ZnO varlığı ile % 59.7 sönümlenme gerçekleştiği görülmüştür. Bunun nedeninin, ZnO nanoparçacıklarının kt% 8 değeriyle karışım [(PFE:BNDI)(3:1)] arasında gerçekleşen verimli enerji transferleri olduğu öngörülmektedir (Şekil 3.34.).

### 3.4.2 Fotodedektör karakterizasyonları

Geleneksel ve evrik UV fotodedektörlere ait aygıt yapıları ve enerji seviyeleri, Şekil 3.35.'de gösterilmektedir.

Elektrotlar ile aktif tabaka arası enerji seviye farkı ne kadar az ise, yüklerin elektrotlara doğru ilerleyişi o kadar kolay olacaktır. PFE:BNDI karışımına ZnO nanoparçacığı eklenmesiyle geleneksel sistemde Al elektrottan elektronların toplandığı Al elektrot ile aktif tabaka arası enerji seviye farkı 0.1 eV'a düşürmüştür. Evrik sistemde ise elektronlar ITO tarafından toplanmaktadır. 4.2 eV'luk LUMO enerji seviyesi sayesinde, ZnO, ITO elektrot ile aktif tabaka arasındaki enerji seviyesini 0.6 eV'a düşürmektedir. ZnO' in hem geleneksel hem de evrik sistemlerde elektronların toplanmasını kolaylaştırabileceği görülmektedir (Şekil 3.35.).

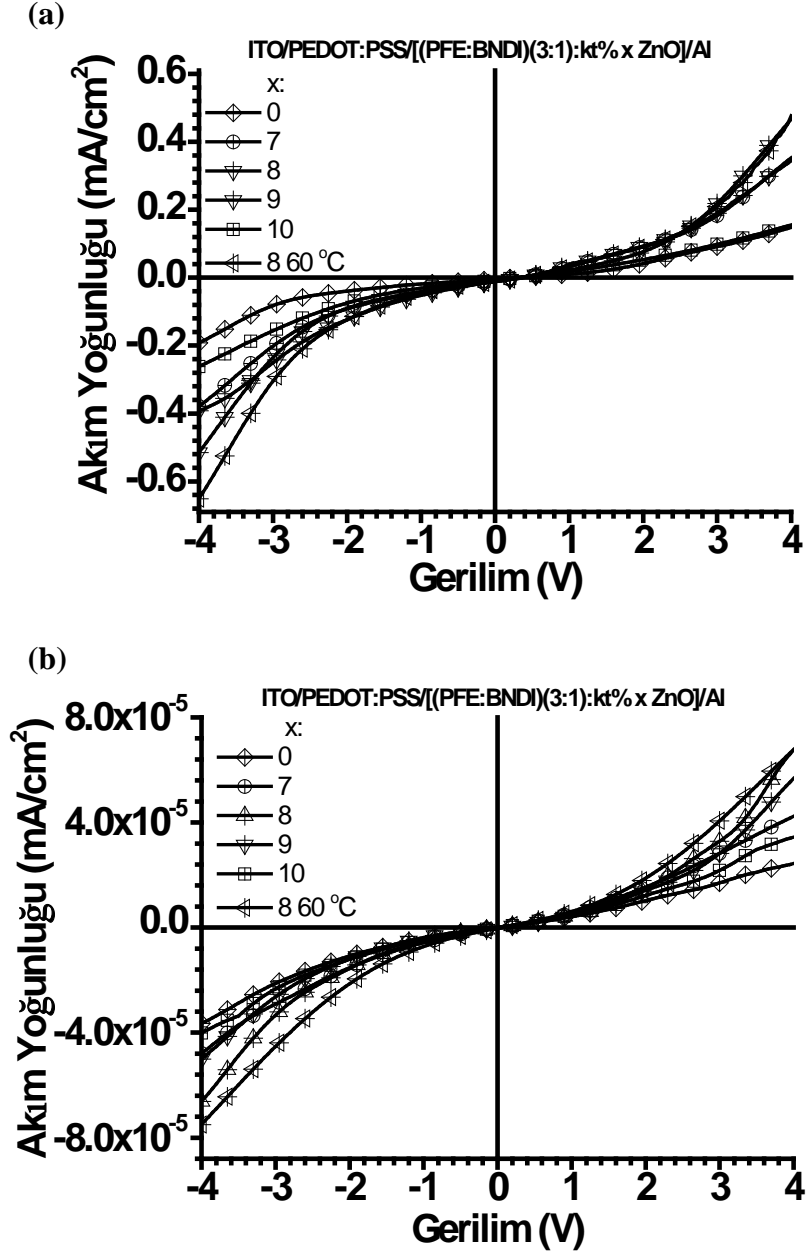


Şekil 3.35. (a) Geleneksel ve (b) evrik mimarideki fotodedektör yapıları ve enerji seviyeleri.

Geleneksel ve evrik yapılar için elde edilen karanlık ve UV ışık altındaki akım yoğunluğu ( $J$ ,  $\text{mA}/\text{cm}^2$ ) – gerilim ( $V$ ) eğrileri, Şekil 3.36. (a) ve Şekil 3.36. (b)'de verilmektedir ve elde edilen performanslar, Çizelge 8.'de özetlenmiştir. Karanlıkta oksijen molekülleri ZnO yüzeyi üzerine adsorblanır ve ZnO yüzeyi çevresinde serbest elektronlar oluşur. UV-A ışınım altında ise elektron-boşluk çiftleri oluşur ve boşluklar ZnO yüzeyinde tuzaklanırlar.

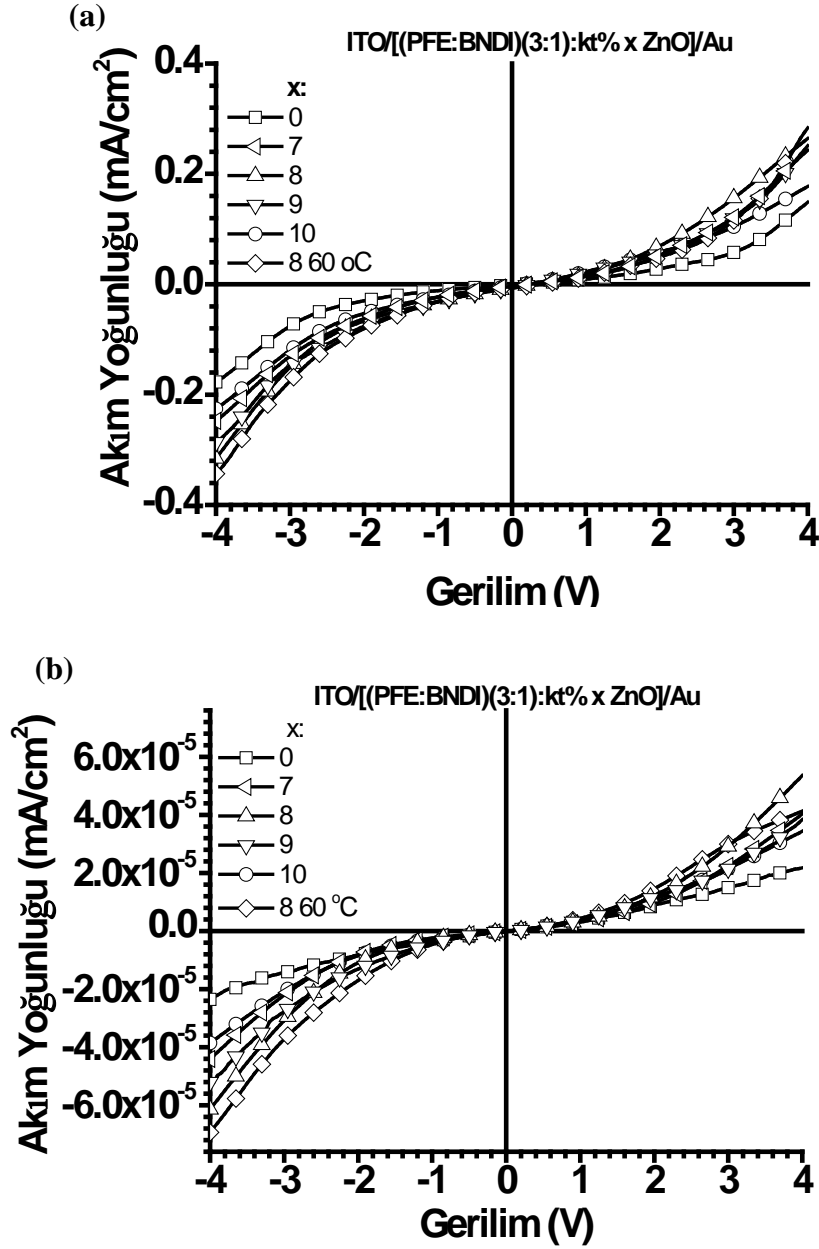
Aygitların fotoakımları incelendiğinde, kt% 8 ZnO katkılı tavlammamış geleneksel ve evrik fotodedektörlerden elde edilen en yüksek akım yoğunluğu ( $J$ )  $0.525 \text{ mA}/\text{cm}^2$  ve  $0.316 \text{ mA}/\text{cm}^2$  olarak elde edilmiştir.

Fotoakımlar en yüksek katkılama oranlarında  $515 \text{ mA}/\text{W}$  ve  $316 \text{ mA}/\text{W}$ 'a düşmüştür. Bu değerler  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de tavlama ile artmıştır.



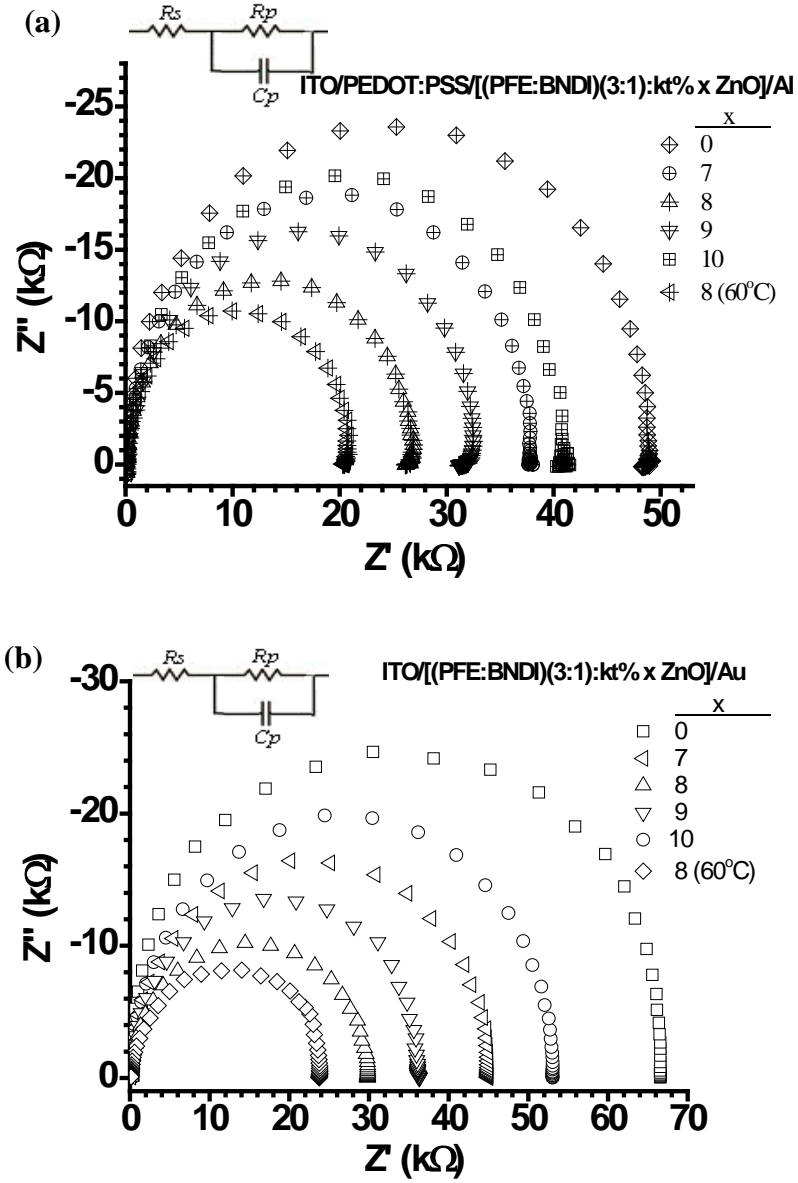
Şekil 3.36. Geleneksel mimarili fotodetektörlerin (a) 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm<sup>2</sup> ışınım şiddeti altında ve (b) karanlıktaki akım yoğunluğu-gerilim eğrileri.

Geleneksel ve evrik sistemlerin her ikisinde de -4 V'ta UV-A ışınım altında fotoakımlar, karanlık akımlardan 10<sup>4</sup> kat daha fazladır (Şekil 3.36. (a), Şekil 3.37. (a) ve Çizelge 8.).



Şekil 3.37. Evrik mimarili fotodedektörlerin (a) 365 nm dalgaboylu,  $1 \text{ mW}/\text{cm}^2$  şiddetli ışınım altında ve (b) karanlıktaki akım yoğunluğu-gerilim eğrileri.

Literatür ile benzer olarak (Chen et al., 2011) geleneksel aygıt  $J_{foto}$  değerleri, evrik aygıttan daha yüksek elde edilmiştir.



Şekil 3.38. (a) Geleneksel ve (b) evrik mimarili fotodedektörlerin 365 dalgaboylu, 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli ışınım altında elde edilen empedans eğrileri.

Geleneksel ve evrik UV-A fotodedektörlere ait empedans eğrileri Şekil 3.38. (a) ve Şekil 3.38. (b)'de gösterilmektedir. Nyquist eğrilerinin tümü tek zaman sabitlidir ve paralel direnç ( $R_p$ ) ve kapasitans ( $C_p$ ) ve onlara seri bağlı bir seri dirençten ( $R_s$ ) oluşan eşdeğer devre modeli ile temsil edilmektedir (aygıtların endüktif etkileri (negatif kapasitans) gözlenmediğinden, eşdeğer devre modelinde yoktur). Aygıtların empedans eğrileri direnç ve sığanın fonksiyonu olarak 1 nolu eşitlikte (Huang et al., 2010) belirtildiği şekildedir. Geleneksel UV fotodedektörlerde ITO ile organik katman arası direnç,  $R_s$ ; 0.13 kΩ ile 0.139 kΩ aralığındadır. PEDOT:PSS tabakası ITO katmanı yüzeyini modifiye etmekte ve

aktif tabaka ile ITO iş fonksiyonunu arası enerji seviye farkını azaltmakta, boşlukların ITO tarafından toplanmasına katkıda bulunmaktadır.

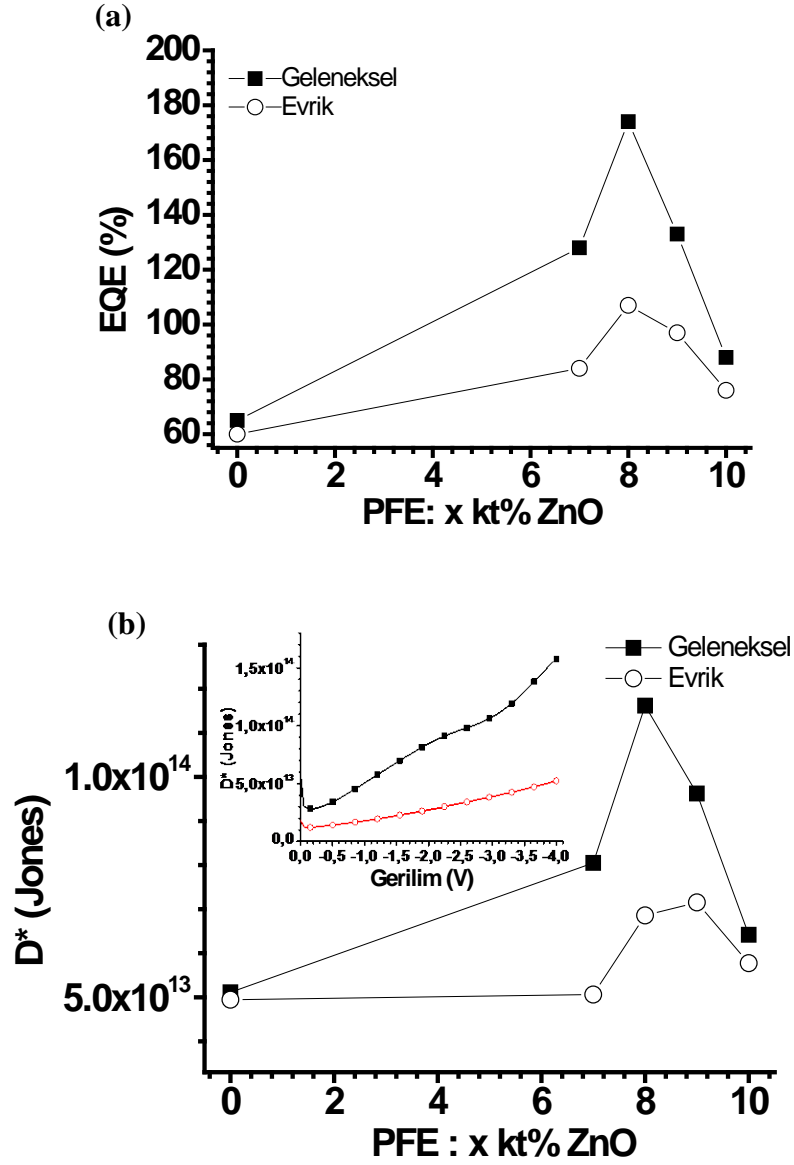
Evrik sistemde  $R_s$  değerleri hemen hemen aynı aralıkta kalmıştır (0.134 k $\Omega$  - 0.145 k $\Omega$ ). Bununla birlikte, PEDOT:PSS içeren geleneksel sistem, evrikten daha az  $R_s$  sergilemektedir.

Fotodedektör aktif tabakasındaki karışıma (bulk) ait direnç  $R_p$ , kt% 9 ve kt% 10 ZnO içeren dedektörlerde geleneksel için 31.1 k $\Omega$  ve 40.3 k $\Omega$  iken evrikte 36.5 k $\Omega$  ve 53.0 k $\Omega$ 'dir. Yüksek ZnO katkılama oranlarında (kt% 9 ve kt% 10 gibi), ZnO'in aygıttaki ekzitonik yükler (ışıkla uyarılan) için tuzak bölgeleri oluşturduğu düşünülmektedir ve bu tuzak bölgeleri, rekombinasyona neden olabilmektedir.

Geleneksel ve evrik fotodedektörler için en küçük  $R_p$  değerleri kt% 8 ZnO katkılama ile 26.2 k $\Omega$  and 29.8 k $\Omega$  olarak elde edilmiştir. Bu değerler, 60 °C'de tavlama ile 20.9 k $\Omega$  ve 23.7 k $\Omega$ 'a azalmıştır.

Her iki aygıt mimarisi için de süsseptans metodu ile transit sürelerin ( $\tau_t$ ) hesaplanmasında 6 nolu eşitlik kullanılmıştır. Hesaplanan  $\tau_t$  değerleri 7 nolu eşitlikte yazılarak, aygıtlara ait total yük taşıyıcı mobiliteleri ile hesaplanmıştır. Hesaplanan mobilite değerleri Çizelge 8.'de verilmektedir. Geleneksel UV fotodedektörlere ait total yük taşıyıcı mobilite değerleri, evrik UV fotodedektörlerden daha fazladır. Geleneksel aygıttan elde edilen en yüksek mobilite, evrikten elde edilenden 2.1 kat daha yüksektir.

Çinkooksit katkılama oranı kt% 8 üzerinde iken aygıt içindeki yük hareketliliğinin azalması (Çizelge 8.), ekzitonik yükler için çinkooksitin tuzak bölgeleri oluşturduğu, yüklerin elektrotlara doğru ilerleyişini engelleyerek rekombinasyona neden olduğu öngörümüzü desteklemektedir.



Şekil 3.39. Geleneksel ve evrik mimarideki fotodedektörlerin aktif tabakasına eklenen kütlece % ZnO miktarına bağlı (a) EQE ve (b) dedektivite değerleri (iç şekil: en iyi fotodedektör performansına sahip (kt% 8 ZnO içeren) dedektörde uygulanan gerilim ile değişen dedektivite değerleri).

Geleneksel ve evrik UV fotodedektörler için, elde edilen fotoakımın gelen foton sayısına oranı olarak ifade edilen dış kuantum verim (EQE) değerleri, 7 nolu eşitlikten hesaplanmıştır. Geleneksel ve evrik UV-A fotodedektör aktif tabakasındaki ZnO derişimine bağlı EQE değerleri,  $1 \text{ mW/cm}^2$  şiddet ve 365 nm dalgaboylu UV ışık altında, -4 V'ta Şekil 3.39. (a)'da gösterilmektedir.

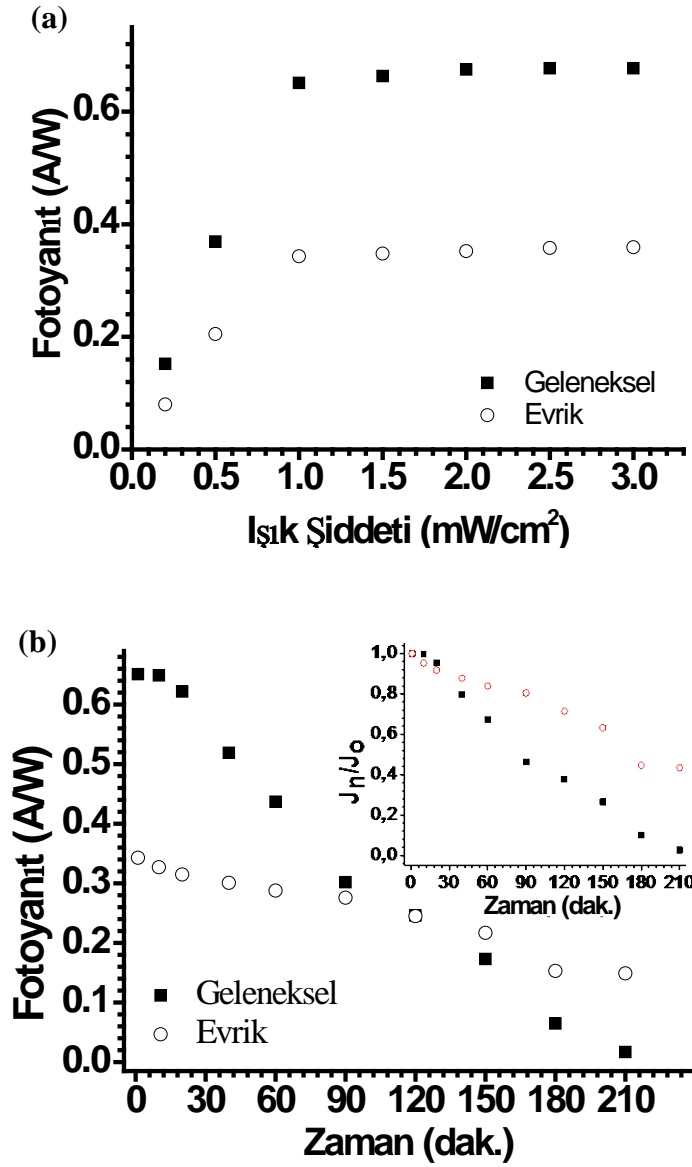
Karışımlara ait EQE değerleri geleneksel ve evrik sistemde, sırasıyla; 65 % ve 60 %'dir. Bu değerler kt% 8 ZnO katkıyla ile oda sıcaklığında 174 % ve 107 %'ye ve 60 °C'de tavlama ile 221 % ve 116 %'ya yükselmiştir (Şekil 3.39. (a)).

Geleneksel ve evrik UV fotodedektörlere ait Dedektivite ( $D^*$ ) değerleri, 8 nolu eşitlikten hesaplanmıştır. ZnO derişimine bağılı  $D^*$  değerleri, 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddet ve 365 nm dalgaboylu UV ışık altında, -4 V'ta Şekil 3.39. (b)'de gösterilmektedir.

Karışımlara ait  $D^*$  değerleri;  $0.56 \times 10^{14}$  cmHz<sup>1/2</sup>W<sup>-1</sup> ve  $0.71 \times 10^{14}$  cmHz<sup>1/2</sup>W<sup>-1</sup>'dir. kt% 8 ZnO katkılı geleneksel ve evrik UV fotodedektörlerde  $D^*$  değerleri oda sıcaklığında  $1.12 \times 10^{14}$  cmHz<sup>1/2</sup>W<sup>-1</sup> ve  $0.71 \times 10^{14}$  cmHz<sup>1/2</sup>W<sup>-1</sup>'dir ve aktif tabakası 60 °C'ye tavlanan aygıtlarda bu değerler  $1.33 \times 10^{14}$  cmHz<sup>1/2</sup>W<sup>-1</sup> ve  $0.73 \times 10^{14}$  cmHz<sup>1/2</sup>W<sup>-1</sup> değerlerine yükselmiştir.

Bu çalışmada tasarlanan fotodedektörlere ait EQE ve  $D^*$  değerleri literatürde belirtilenlerle yarışır seviyelerdedir (Razeghi et. al., 1996; Zhu et. al., 2011; Wang et. al., 2014). 0.2 mW/cm<sup>2</sup>, 0.5 mW/cm<sup>2</sup>, 1 mW/cm<sup>2</sup>, 1.5 mW/cm<sup>2</sup>, 2 mW/cm<sup>2</sup> ve 2.5 mW/cm<sup>2</sup> ışınım şiddetli ve 365 nm dalgaboylu UV ışık altında her iki aygıt yapısında da 1.5 mW/cm<sup>2</sup> ışık şiddeti üzerinde akım yoğunluğu neredeyse doymuştur (Şekil 3.40. (a)).

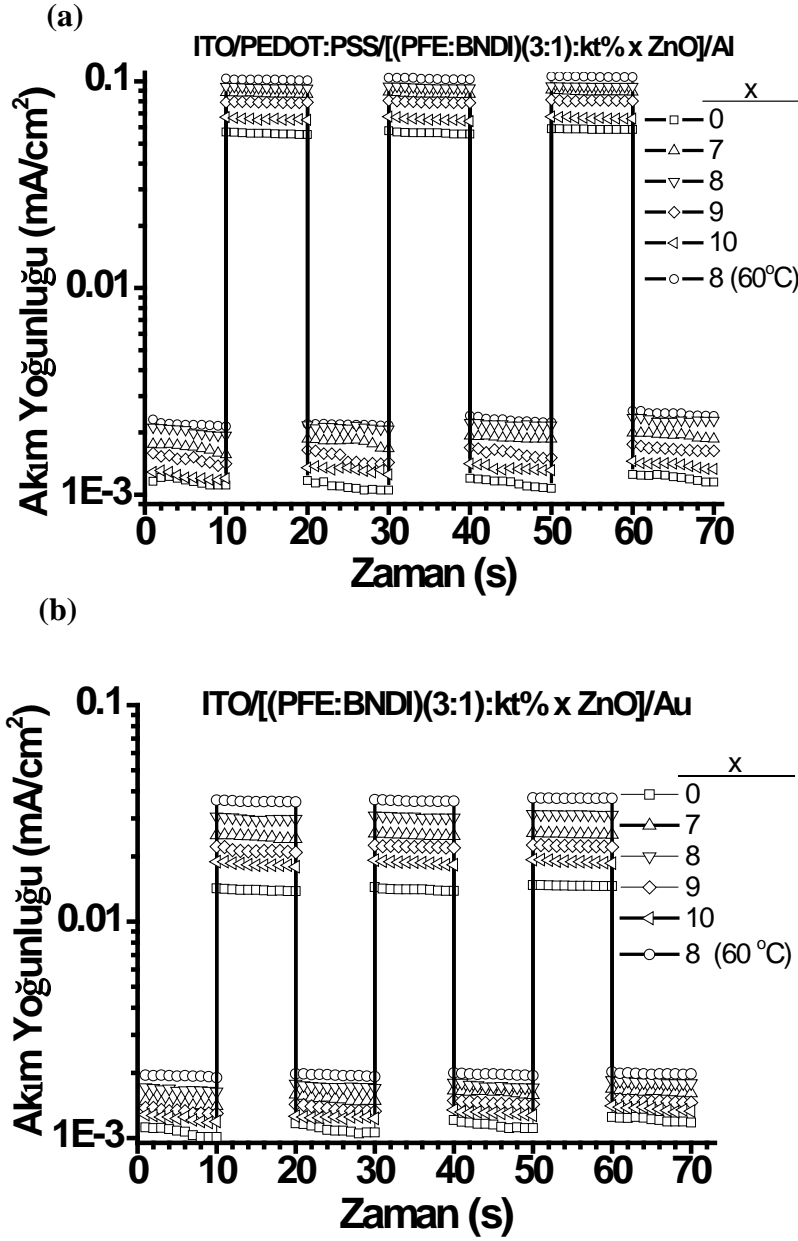
Fotodedektörlerin 1 mW/cm<sup>2</sup> ışık şiddeti altındaki karakteristikleri incelendiğinde, [(PFE:BNDI)(3:1)]: kt% 8 ZnO] aktif tabakalı evrik fotodedektörler 180 dakika sonunda kararlı hale gelirken, geleneksel fotodedektörler tamamen tükenmiş durumdadır Şekil 3.40. (b).



Şekil 3.40. Geleneksel ve evrik mimarideki fotodedektörlerin zamana bağlı değişen fotoyanıt değerleri (a) farklı ışık şiddetleri ve (b) 365 nm dalgaboylu 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli ışınım altında (iç şekil: zamana bağlı  $J_n/J_0$  noktaları).

Geleneksel sistemlerde boşluk taşınımının kolaylaşması için kullanılan PEDOT:PSS malzemesi, ITO yüzeyini düzgülleştirme gibi pozitif etkileri yanında, asidik doğası gereği, temasta olduğu ITO yüzeyini zamanla aşındırarak tahrip ettiği literatürden bilinmektedir. Bu nedenden dolayı, geleneksel sistemin kararlılığı zamanla azalır. Evrik sistemde PEDOT:PSS yoktur, aktif tabaka ile ITO elektrot arasında yük akışını kolaylaştırıcı bir katman olmadığından, geleneksel aygıtla karşılaştırıldığında fotoyanıt değerleri düşüktür. Ama ITO

üzerinde PEDOT:PSS tabakası olmaması, zamanla ITO yüzeyinin aşınmaması dolayısıyla kararlılığını korumasını sağlamaktadır. Aygıtların, her 10 saniyede bir, UV- açık, UV- kapalı döngüsüyle elde edilen, zamana bağlı fotoakım yoğunluğu karakteristikleri Şekil 3.41. (a) ve Şekil 3.41. (b)'de gösterilmektedir.



Şekil 3.41. [(PFE:BNDI): kt% xZnO], x: 0, 7, 8, 9 ve 10 aktif tabakalarına sahip (a) geleneksel ve (b) evrik fotodetektörlerin ışınım açık - kapalı döngüsünde zamana bağlı akım yoğunluğu eğrileri (açık: 365 nm dalgaboylu, 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetli ışınım ve kapalı: karanlık).

Çizelge 8. Geleneksel ve evrik aygıtlara ait elektriksel parametreler.

Parametreler	ITO / PEDOT:PSS /[( PFE:BNDI)(3:1):kt% xZnO] / Al					
	25 °C					60 °C
	-	7	8	9	10	8
Fotoyant (mA/W)	192	379	515	392	262	651
R <sub>p</sub> (kΩ)	48.3	38.0	26.2	31.1	40.3	20.3
R <sub>s</sub> (kΩ)	0.139	0.138	0.137	0.139	0.139	0.130
Mobilite (cm <sup>2</sup> /V.s) (x10 <sup>8</sup> )	0.62	1.4	2.9	2.29	1.1	3.6
J <sub>foto</sub> (at -4V) (mA/cm <sup>2</sup> )	0.192	0.379	0.515	0.392	0.262	0.651
J <sub>karanlık</sub> (at -4V) (mA/cm <sup>2</sup> ) (x10 <sup>5</sup> )	3.64	4.79	6.62	5.00	4.02	7.51
J <sub>karanlık</sub> (at 0V) (mA/cm <sup>2</sup> ) (x10 <sup>8</sup> )	5.76	9.16	13.5	11.5	7.41	15.8
EQE (at -4V) (%)	65	128	174	133	88	221
Dedektivite (-4V) (cmHz <sup>1/2</sup> W <sup>-1</sup> )(x 10 <sup>-14</sup> )	0.56	0.96	1.12	0.98	0.73	1.33
Parametreler	ITO / [(PFE:BNDI)(3:1):kt% xZnO] / Au					
	25 °C					60 °C
	-	7	8	9	10	8
Fotoyant (mA/W)	177	248	316	285	227	343
R <sub>p</sub> (kΩ)	66.6	44.9	29.8	36.6	53.0	23.7
R <sub>s</sub> (kΩ)	0.145	0.141	0.140	0.143	0.144	0.134
Mobilite (cm <sup>2</sup> /V.s) (x10 <sup>8</sup> )	0.55	0.99	1.38	1.23	0.73	2.16
J <sub>foto</sub> (at -4V) (mA/cm <sup>2</sup> )	0.212	0.248	0.315	0.286	0.226	0.343
J <sub>karanlık</sub> (-4V) (mA/cm <sup>2</sup> ) (x10 <sup>5</sup> )	2.35	4.41	6.14	4.95	2.92	6.93
J <sub>karanlık</sub> (0V) (mA/cm <sup>2</sup> ) (x10 <sup>8</sup> )	5.32	6.83	9.51	7.59	6.54	10.4
EQE (-4V) (%)	60	84	107	97	76	116
Dedektivite (-4V) (cmHz <sup>1/2</sup> W <sup>-1</sup> )(x 10 <sup>-14</sup> )	0.64	0.68	0.71	0.69	0.65	0.73

UV-açık ve UV-kapalı döngüsünde, ilk 3 saniyede sızıntı akımı ( $J_{\text{sızıntı}}$ ) olduğu gözlenmiştir. İkinci UV-açık UV-kapalı döngülerinde ise sızıntı akımı ilk 2 saniyeden sonra kaybolmuştur ve son UV-açık UV-kapalı döngülerinde yük taşıyıcılar denge haline ulaşmıştır.

Geleneksel fotodedektörlerin uzun dönem çalışma kararlılığı evrikten daha fazladır (Çizelge 8.). Ayrıca, tavllanmış aktif alana sahip fotodedektörler, tavlansızlardan daha kararlı olduğu görülmüştür.

### **3.4.3 ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI):ZnO]/Al ve ITO/[(PFE:BNDI):ZnO]/Au bulgular**

Düşük maliyetli geleneksel ve evrik UV fotodedektörler tasarlanmış, karakterize edilmiş ve yüksek fotoyanıtlar alınmasının nedenleri, optik ve elektriksel karakterizasyonlarla incelenmiştir. Elde edilen absorpsiyon, fotoyanıt, akım yoğunluğu, empedans karakteristikleri ve hesaplanan kuantum verimi ve dedektivite değerleri tartışılmıştır. Aktif tabakada kullanılan malzemelerin iyi temas yüzeyi ve aralarındaki etkileşim sayesinde, yüksek fotoyanıt, kuantum verimi ve dedektivite değerleri elde edilmiştir.

Her iki mimarideki için de kt% 8 ZnO katkı oranına sahip aygıtlar en yüksek fotoyanıtları (geleneksel ve evrik fotodedektörlerden sırasıyla; oda sıcaklığında 515 mA/W ve 316 mA/W ve tavlандıklarında 651 mA/W ve 343 mA/W) sergilemiştir.

Geleneksel sistemden elde edilen fotoyanıt, dedektivite, mobilite ve kuantum verimi; evrik sistemden daha fazladır. Bununla birlikte, evrik sistemin kararlılığı, geleneksel sistemden daha fazladır.

## 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 4.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, organik ve organik:inorganik hibrit UV-A fotodedektörler hazırlanmış; optik ve elektriksel karakterizasyonları yapılmış, elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Projenin ana başarı ölçütü olan tekrarlanabilir olması ve ticarilerden daha yüksek ve literatürde raporlanan dedektörlerle yarışabilir akım yoğunlukları elde edilebilmiştir.

**Çizelge 9.** Doktora tez çalışmasında yapılan çalışmalarla ulaşılan fotoyanıt değerleri (Geleneksel mimari; ITO/PEDOT:PSS/Aktif Tabaka/Al ve evrik mimari; ITO/Aktif Tabaka/Au).

Aktif Tabaka Parametre	(PFE:BNDI) Geleneksel	(PFE:BNDI:TiO <sub>2</sub> ) Geleneksel	(PFE:ZnO)		(PFE:BNDI:ZnO)	
			Geleneksel	Evrik	Geleneksel	Evrik
Fotoyanıt (mA/W)	410	597	375	280	651	343

Çizelge 9.'da özetlenen bu tez çalışmasında incelenen UV fotodedektörlerin fotoyanıtları; Çizelge 1.'deki mevcut ticari UV-A fotodedektörler ve Çizelge 2. ile Çizelge 3.'teki literatür muadilleri ile karşılaştırıldığında, ticarilerden daha yüksek ve literatürdeki muadilleri ile yarışır fotoyanıt değerlerini temsil ettiği görülecektir.

Tez kapsamında yapılan (ITO/PEDOT:PSS/PFE:BNDI/Al), (ITO/PEDOT:PSS/[PFE:BNDI]:TiO<sub>2</sub>/Al) ve (ITO/PEDOT:PSS/PFE:ZnO/Al, ITO/PFE:ZnO/Au) çalışmaları, tez süresi içinde SCI dergilerde yayımlanmıştır (Memisoglu ve Varlikli 2012; Memisoglu vd., 2013; Memisoglu ve Varlikli 2015) ve (ITO/PEDOT:PSS/[(PFE:BNDI):ZnO]/Al, ITO/[(PFE:BNDI):ZnO]/Au) çalışmasının yayımlanmak üzere değerlendirme süreci başlamıştır (Memisoglu ve Varlikli 2015).

## 4.2. Öneriler

Bu tez kapsamında olmayan ama gelecekte UV-A fotodedektörlerin performansına etki edebilecek/ticarileşmesine imkan tanıyabilecek bazı öneriler aşağıda sıralanmıştır:

Elektrot ve aktif tabaka arasındaki enerji seviyesini azaltmak için; geleneksel sistemde katot ile aktif tabaka arasına elektron taşınımını kolaylaştıracak malzeme (LiF, Ca, MoO<sub>3</sub> gibi) kaplayarak optik ve elektriksel karakterizasyonlarını yapmak, performans değişimini incelemek.

UV-A fotodedektörleri esnek altlıklar üzerine hazırlayarak makaradan makaraya kaplanabilirliğe zemin hazırlamak.

Enkapsülasyon (kapsül içine alma) çalışmaları ile UV-A Fotodedektörün nem ve oksijene maruziyetini sonlandırarak, Uluslararası test standartlarını (ISO4892, IP67 gibi) sağlayıp sağlamadığını incelemek (bu standartların koşullarında yaşlandırma testleri, kimyasal ve çevresel direnç testleri gibi aşamalar vardır).

**KAYNAKLAR DİZİNİ**

- Adams L. K., Lyon D. Y., McIntosh A. and Alvarez P. J. J.,** 2006, Comparative toxicity of nano-scale TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> and ZnO water suspensions, *Water Science Technology*, 54, 327–334 pp.
- Ali F., Periasamy N., Patankar M. P. and Narasimhan K. L.,** 2011, Integrated organic blue led and visible-blind UV photodetector, *The Journal of Physical Chemistry C*, 115, 2462-2469 pp.
- Ali G. M., Moore J. C., Kadhim A. K. and Thompson C.,** 2014, Electrical and optical effects of Pd microplates embedded in ZnO thin film based MSM UV photodetectors: A comparative study, *Sensors Actuators A Physics*, 209, 16–23 pp.
- Ali G. M. M. and Chakrabarti P.,** 2010, Performance of ZnO-Based Ultraviolet Photodetectors Under Varying Thermal Treatment, *IEEE Photonics Journal*, 2, 784–793 pp.
- Al-Hardan N. H., Abdullah M. J., Ahmad H., Aziz A. A. and Low L. Y.,** 2011, Investigation on UV photodetector behavior of RF-sputtered ZnO by impedance spectroscopy, *Solid State Electronics*, 55, 59–63 pp.
- Alp S., Erten S., Karapire C., Koz B., Doroshenko A. O. ve Icli S.,** 2000, Photoinduced energy-electron transfer studies with naphthalene diimides, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 135, 103-110 s.
- Ameri T., Dennler G., Waldauf C., Denk P., Forberich K., Scharber M.C., Brabec C.J., Hingerl K.,** 2008, *Journal of Applied Physics*, 103, 084506 pp.
- Arredondo B., De Dios C., Vergaz R., Criado A. R., Romero B., Zimmermann B., and Würfel U.,** 2013, Performance of ITO-free inverted organic bulk heterojunction photodetectors: Comparison with standard device architecture, *Organic Electronics*, 14, 2484–2490 pp.
- Auaj M. A., Diaz R., Belayachi A., Rueda F., Abd-Lefdil M.,** 2009, Comparative study of ITO and FTO thin films grown by spre pyrolysis, *Materials Research Bulletin*, 44, 1458-1461 pp.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

- Babel A., Jenekhe S. A.,** 2003, Charge carrier mobility in blends of Poly(9,9-dioctylfluorene) and Poly(3-hexylthiophene), *Macromolecules*, 36, 7759-7764 pp.
- Bahaa, E. A., Malvin S., Teich C.,** 1991, *Fundamentals of Photonics*, New York/A WILEY-Interscience Publication, 1200 p.
- Baeg K. J., Binda M., Natali D., Caironi M., Noh Y. Y.,** 2013, Organic light detectors: photodiodes and phototransistors, *Advanced Materials*, 25, 4267–4295 pp.
- Barnes R. J., Molina R., Xu J., Dobson P. J.,** 2013, Thompson IP. Comparison of TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles for photocatalytic degradation of methylene blue and the correlated inactivation of gram-positive and gram-negative bacteria, *Journal of Nanoparticle Research*, 15, 1432–1439 pp.
- Barsoukov, E., Macdonald, J. R.,** *Impedance Spectroscopy*, 2005, Wiley InterScience, United States of America, 595 p.
- Bisquert J., Garcia-Belmonte G., Pitarch A., Bolink H. J.,** 2006, Negative capacitance caused by electron injection through interfacial states in organic light-emitting diodes, *Chemical Physics Letters*, 422, 184-191 pp.
- Buckland D., Bhosale S. V., Langford S. J.,** 2011, A chemodosimer based on a core-substituted naphthalene diimide for fluoride ion detection, *Tetrahedron Letters*, 52, 1990-1992 pp.
- Cells D. S., Chandiran A. K., Abdi-jalebi M., Nazeeruddin M. K., Gra M.,** 2014, Analysis of Electron Transfer Properties of ZnO and TiO<sub>2</sub> Photoanodes for Dye-Sensitized Solar Cells, *ACS Nano*, 8, 2261–2268 pp.
- Chen, K. S., Zhang, Y., Yip, H. L., Sun, Y., Davies, J. A., Ting, C., Chen, C.-P., and Jen, A. K. Y.,** 2011, Highly efficient indacenodithiophene-based polymeric solar cells in conventional and inverted device configurations, *Organic Electronics*, 12, 794–801 pp.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

- Chen E. C., Chang C. Y., Shieh J. T., Tseng S. R., Meng H. F., Hsu C. S., Horng S. F.**, 2010, Applied Physics Letters, 96, 043507 pp.
- Chen K. S., Zhang Y., Yip H. L., Sun Y., Davies J., Ting C., Chen C.P., and Hau, S. K., Yip, H. L., Ma, H., Jen, A. K. Y.**, 2008, Applied Physics Letters, 93, 233304 pp.
- Chieng, B. W. and Loo, Y. Y.**, 2012, Synthesis of ZnO nanoparticles by modified polyol method, Material Letters, 73, 78–82 pp.
- Chieng B. W. and Loo Y. Y.**, 2012, Synthesis of ZnO nanoparticles by modified polyol method, Materials Letters, 73, 78–82 pp.
- De Jong, M. P., Van Ijzendoorn, L. J., and De Voigt, M. J. A.**, 2000, Stability of the interface between indium-tin-oxide and poly 3,4-ethylenedioxythiophene poly styrenesulfonate in polymer light-emitting diodes, Applied Physics Letters, 77, 2255–2257 pp.
- Diker H., Varlikli C., and Stathatos E.**, 2014, *N*-doped titania powders prepared by different nitrogen sources and their application in quasi-solid state dye-sensitized solar cells, International Journal of Energy Research, 38, 908–917 s.
- Dindar B., İçli S.**, 2001, Unusual photoreactivity of zinc oxide irradiated by concentrated sunlight, Journal of Photochemistry and Photobiology A Chemistry, 140, 263–268 s.
- Fukuda M., Sawada K., Yoshino K.**, 1989, Fusible conducting Poly(9-alkylfluorene) and Poly(9,9-dialkylfluorene) and their characteristics, Japanese Journal of Applied Physics, 28, L1433 pp.
- Garcia-Belmonte G., Bisquert J., Santiago F. F.**, 1999, Effect of trap density on the dielectric response of varistor ceramics, Solid State Electronics, 43, 2123-2127 pp.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

- Gartner, F.**, 1997, A comparison of the electrical properties of polymer LEDs based on poly(thiophene)s and PPV-derivatives. PhD thesis, University of Groningen, The Netherlands.
- Goldberg, Y. A.**, 1999, Semiconductor near-ultraviolet photoelectronics, *Semiconductor Science & Technology*, 14, 41-60 pp.
- Gong X., Tong M., Xia Y., Cai W., Moon J. S., Cao Y., Yu G., Shieh C. L., Nilsson B., and Heeger A. J.**, 2009, High-detectivity polymer photodetectors with spectral response from 300 nm to 1450 nm., *Science*, 325, 1665–1667 pp.
- Gong S. C., Jang J. G., Chang H. J., Park J. S.**, 2011, The characteristics of organic light emitting diodes with Al doped zinc oxide grown by atomic layer deposition as a transparent conductive anode, 161, 823-827 pp.
- Guo W., Wu L, Chen Z., Boschloo G., Hagfeldt A., Ma T.**, 2011, Highly efficient dye sensitized solar cells based on nitrogen-doped titania with excellent stability, *Journal Photochemistry Photobiology. A: Chemistry*, 219, 180-187 pp.
- Haiguo L., Gang W.**, 2011, Hongzheng C., Mang W., *Organic Electronics*, 12, 70-77 pp.
- Hamasaki T., Morimune T., Kajii H., Minakata S., Tsuruoka R., Nagamachi T., Ohmori Y.**, 2009, Fabrication and characteristics of polyfluorene based organic photodetectors using fullerene derivatives, *Thin Solid Films*, 518, 548-550 pp.
- Han Y., Wu G., Wang M., Chen H.**, 2009, Hybrid ultraviolet photodetectors with high photosensitivity based on TiO<sub>2</sub> nanorods array and polyfluorene, *Applied Surface Science*, 256, 1530-1533 pp.
- Han Y., Wu G., Wang M., Chen H.**, 2010, High efficient UV-A photodetectors based on monodispersed ligand capped TiO<sub>2</sub> nanocrystals and polyfluorene hybrids, *Polymer*, 51, 3736-3743 pp.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

**Han Y. G., Wu L. L.,** 2011, Influence of surface ligand on ultraviolet photodetection property of TiO<sub>2</sub> nanocrystal/polymer hybrids,'’ Journal of Electronic Materials, 40, 2147-2151 pp.

**Hau S. K., Yip H.L, Ma H., and Jen A. K. Y.,** 2008, High performance ambient processed inverted polymer solar cells through interfacial modification with a fullerene self-assembled monolayer, Applied Physics Letters, 93, 233304 pp.

**He J. H., Lin Y. H., Mc Conney M. E., Tsukruk V. V., Wang Z. L, Bao G.,** 2007, Enhancing UV photoconductivity of ZnO nanobelt by polyacrylonitrile functionalization. Journal of Applied Physics, 102, 084303–4 pp.

**Hsieh C. H., Cheng Y. J., Li P. J., Chen C. H., Dubosc M., Liang R. M., Hsu C. S.,** 2010, Journal of American Chemical Society, 132, 4887 pp.

<http://www.boselec.com/> (Erişim tarihi: 02.14.2015)

<http://www.matter.org.uk/> (Erişim tarihi: 02.14.2015)

<http://www.thorlabs.de/> (Erişim tarihi: 02.14.2015)

<http://www.eoc-inc.com/> (Erişim tarihi: 02.14.2015)

**Huang W. B., Peng J. B., Wang L.,** 2010, Investigation of an annealing effects on microstructure of hybrid nanocrystal-polymer solar cells by impedance spectroscopy, Synthetic Metals, 160, 445-449 pp.

**Huang J., Xu Z., Zhao S., Li S., Feng X., Wang P., Zhang Z.,** 2010, Study on carrier mobility measurement using electroluminescence in frequency domain and electrochemical impedance spectroscopy, Measurement, 43, 295-298 pp.

**Ishihara S., Hase H., Okachi T., Naito H.,** 2011, Determination of charge carrier mobility in tris(8-hydroxy-quinolato) aluminum by means of impedance spectroscopy measurements, Organic Electronics, 12, 1364-1369 pp.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

- Jen A.**, 2011, Highly efficient indacenodithiophene-based polymeric solar cells in conventional and inverted device configurations, *Organic Electronics*, 12, 794–801 pp.
- Jiang C.Y., Sun X.W., Zhao D.W., Kyaw A.K., Li Y.N.**, 2010, Low work function metal modified ITO as cathode for inverted polymer solar cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 94, 1618 pp.
- Jin Z., Wang J.**, 2013, High-responsivity solution-processed organic–inorganic hybrid bilayer thin film photoconductors, *Journal of Material Chemistry C*, 1, 7996–8002 pp.
- Jørgensen M., Norrman K., and Krebs F. C.**, 2008, Stability/degradation of polymer solar cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 92, 686–714 pp.
- Jones M, Nedeljkovic J, Ellingson RJ, Nozik AJ, Rumbles G**, 2003, Photoenhancement of Luminescence in Colloidal CdSe Quantum Dot Solutions. *Journal Physical Chemistry B*, 107, 11346-11352 pp.
- Kang S. H., Kim H. S., Sung Y. E.**, 2010, Enhanced photocurrent of nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> film for dye-sensitized solar cells, *Material Chemistry Physical*, 124, 422-426 pp.
- Koch N., Kahn A., Ghijsen J., Pireaux J. J., Schwartz J., Johnson R. L., and Elschner A.**, 2003, Conjugated organic molecules on metal versus polymer electrodes: Demonstration of a key energy level alignment mechanism,” *Applied Physical Letters*, 82, 70 pp.
- Kus M., Hakli O., Zafer C., Varlikli C., Demic S., Ozelik S.**, 2008, Optical and electrochemical properties of polyether derivatives of perylenediimides adsorbed on nanocrystalline metal oxide films, *Organic Electronics*, 9, 757-766 s.
- Lee M. L., Mue T. S., Huang F. W., Yang J. H., Sheu J. K.**, 2011, High-performance GaN metal-insulator-semiconductor ultraviolet photodetectors using gallium oxide as gate layer, *Optics Express*, 19, 12658–12663 pp.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Lee, J. I., Lee, V. Y. and Miller, R. D.**, 2002, Excimer and aggregate formation in Poly(fluorene)s, ETRI Journal, 24, 6p.
- Li G., Chu C. W, Shrotriya V., Huang J., Yang Y.**, 2006, Applied Physics Letters, 88, 253503 pp.
- Li H. G., Wu G., Shi M. M., Chen H. Z., Wang M.**, 2010, Synthesis of solution processable ultraviolet sensitive organic molecules and their application in hybrid UV photodetector, Synthetic Metals, 160, 1648-1653 pp.
- Li H. G., Wu G., Chen H. Z., Wang M.**, 2011, Spectral response tuning and realization of quasi-solar-blind detection in organic ultraviolet photodetectors, Organic Electronics, 12, 70-77 pp.
- Li H. G., Wu G., Chen H. Z., Wang M.**, 2011, Solution-processed organic UV photodetectors based on polyfluorene and naphthalene diimide, Current Applied Physics, 11 750-754 pp.
- Liu C. P., Hung Y. T.**, 2005, The effect of thermal annealing and evaporating vacuum level on the performance of a polyfluorene-based polymer light emitting diode, Thin Solid Films, 492, 269-274 pp.
- Liu X., Wang H., Yang T., Zhang W., Hsieh I. F., Cheng S. Z. D., and Gong X.**, 2012, Solution-processed near-infrared polymer photodetectors with an inverted device structure, Organic Electronics, 13, 2929–34 pp.
- Ma W., Yang C., Gong X., Lee K., and Heeger A. J.**, 2005, Thermally Stable, Efficient Polymer Solar Cells with Nanoscale Control of the Interpenetrating Network Morphology, Advanced Functional Materials, 15, 1617–1622 pp.
- Martens H., Pasveer W., Brom H., Huiberts J., Blom P.**, 2001, Crossover from space-charge-limited to recombination-limited transport in polymer light-emitting diodes, Physical Review B, 63, 125328-7 pp.
- Memisoglu G., Varlikli C.**, 2012, Highly Efficient Organic UV Photodetectors Based on Polyfluorene and Naphthalenediimide Blends: Effect of Thermal Annealing, International Journal of Photoenergy, 2012, 1–11 s.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

- Memisoglu G., Varlikli C., Diker H.**, 2013, Solution-Processed Polyfluorene: Naphthalenediimide–N-Doped TiO<sub>2</sub> Hybrids for Ultraviolet Photodetector Applications, *Journal of Electronic Materials*, 42, 3502–3511 s.
- Memisoglu G., Varlikli C.**, 2015, Conventional and Inverted Hybrid UV-PDs Based on Solution Processed PFE:ZnO Active Layer, *IEEE Photonics Technology Letters*, 27, 537–540 s.
- Ma W., Yang C., Gong X., Lee K., and Heeger A. J.**, 2005, Thermally Stable, Efficient Polymer Solar Cells with Nanoscale Control of the Interpenetrating Network Morphology, *Advanced Functional Materials*, 15, 1617–1622 pp.
- Martens H. C. F., Pasveer W. F., Brom H. B., Huiberts J. N., Blom P. W. M.**, 2001, Crossover from space-charge-limited to recombination-limited transport in polymer light-emitting diodes, *Physical Review B*, 63, 125328-1 pp.
- Mazzillo M., Condorelli G., Castagna M. E., Catania G., Sciuto A., Roccaforte F. and Raineri V.**, 2009, High Efficient Low Reverse Biased 4H-SiC Schottky Photodiodes for UV-Light Detection, *IEEE Photonics Technology Letters*, 21, 1782–1784 pp.
- Monroy E., Omnes F., Calle F.**, 2003, Wide-bandgap semiconductor ultraviolet photodetectors, *Semiconductor Science and Technology*, 18, 33-51 pp.
- Okachi T., Nagase T., Kobayashi T., Naito H.**, 2008, Influence of injection barrier on the determination of charge-carrier mobility in organic light-emitting diodes by impedance spectroscopy, *Thin Solid Films*, 517, 1331-1334 pp.
- Peng F., Cai L., Yu H., Wang H., Yang J.**, 2008, Synthesis and characterization of substitutional and interstitial nitrogen-doped titanium dioxides with visible light photocatalytic activity, *Journal of Solid State Chemistry*, 181, 130-136 pp.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

- Pereira L., Raniero L., Barquinha P., Fortunato E., Martins R.,** 2006, Impedance study of the electrical properties of poly-Si thin film transistors, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 352, 1737-1740 pp.
- Razeghi, M., Rogalski, A.,** 1996, Semiconductor ultraviolet detectors, *Journal of Applied Physics*, 79, 7433-7473 pp.
- Redecker M., Bradley D. D. C., Inbasekaran M., Woo E.,** 1998, Nondispersive hole transport in an electroluminescent polyfluorene, *Applied Physics Letters*, 73, 1565 pp.
- Romero B., Arredondo B., Alvarez A. L., Mallavia R., Salinas A., Quintana X., Oton J. M.,** 2009, Influence of electrical operating conditions and active and active layer thickness on electroluminescence degradation in polyfluorene-phenylene based light emitting diodes, *Solid-State Electronics*, 53, 211-217 pp.
- Sahin Y., Alem S., Bettignies R., Nunzi J. M.,** 2005, Development of air stable polymer solar cells using an inverted gold-on-top anode structure, *Thin Solid Films*, 476, 340-343 s.
- Sevim S., Memisoglu G., Varlikli C., Doğan L. E., Tascioglu D., and Ozcelik S.,** 2014, An ultraviolet photodetector with an active layer composed of solution processed polyfluorene:Zn<sub>0.71</sub>Cd<sub>0.29</sub>S hybrid nanomaterials," *Applied Surface Science*, 305, 227–234 s.
- Shankar K., Mor G.K., Prakasam H.E., Varghese O.K., Grimes C.A.,** 2007, *Langmuir* 23, 12445p.
- Shao Z. G., Hsing I. M., Zhang H. and Yi B.,** 2006, Influence of anode diffusion layer on the performance of a liquid feed direct methanol fuel cell by AC impedance spectroscopy, *International Journal of Energy Research*, 30, 1216-1227 pp.
- Shukla D., Nelson S. F., Freeman D. C., Rajeswaran M., Ahearn W. G., Meyer D. M. and Carey J. T.,** 2008, Thin film morphology control in naphthalene diimide based semiconductors, *Chemical Materials*, 20, 7486-7491 pp.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Singh T. B., Erten S., Gunes S., Zafer C., Turkmen G., Kuban B., Teoman Y., Sariciftci N. S., Icli S.**, 2006, Soluble derivatives of perylene and naphthalene diimide for n-channel organic field-effect transistors, Organic Electronics, 7, 480-489 pp.
- Simon M., Sze K. K. N.**, 2006, Physics of Semiconductor Devices. 3rd Edition New York, NY, USA: Wiley.
- Singh T. B., Erten S., Günes S., Zafer C., Turkmen G., Kuban B., et al.**, 2006, Soluble derivatives of perylene and naphthalene diimide for n-channel organic field-effect transistors, Organic Electronics, 7, 480–489 pp.
- Sobus J, Burdzin G, Karolczak J, Anta JA, Zio M.**, 2014, Comparison of TiO<sub>2</sub> and ZnO Solar Cells Sensitized with an Indoline Dye: Time-Resolved Laser Spectroscopy Studies of Partial Charge Separation Processes. Langmuir, 30, 2505–12 pp.
- Su Z., Li W., Chu B., Li T., Zhu J., Zhang G., Yan F., Li X., Chen Y., Lee C. S.**, 2008, High response organic ultraviolet photodetector base on blend of 4,4',4"-tri-(2-methylphenyl phenylamino) triphenylamine and tris-(8-hydroxyquinoline) gallium, Applied Physics Letters, 93, 103309-3 pp.
- Sun Y. M., Seo J. H., Takacs C. J., Seifert J., Heeger A. J.**, 2011, Inverted polymer solar cells integrated with a low-temperature-annealed sol-gel-derived ZnO Film as an electron transport layer, Advanced Materials, 23, 1679–1683 pp.
- Sung Y. M., Hsu F. C., Chen Y. F.**, 2014, Improved charge transport in inverted polymer solar cells using surface engineered ZnO-nanorod array as an electron transport layer, Solar Energy Materials & Solar Cells, 125, 239–247 pp.
- Sungmook, L.**, 2011, Long Term Stability Testing of GaN based sensor under UV lamp irradiation.
- Sze S. and Ng K.**, 2007, Physics of semiconductor devices, 3<sup>rd</sup> Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, 832p.
- Tao C. S., Jiang J., Tao M.**, 2011, Natural resource limitations to terawatt-scale solar cells, Solar Energy Materials & Solar Cells, 3176-3180 pp.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

- Tinti F., Debebe SE, Mammo W, Yohannes T, Camaioni N.,** 2011, Temperature and electric field dependent hole mobility in a polyfluorene copolymer. *Synthetic Metals*, 161, 794–798 pp.
- Unalan H. E., Hiralal P., Kuo D., Parekh B., Amaratunga G., and Chhowalla M.,** 2008, Flexible organic photovoltaics from zinc oxide nanowires grown on transparent and conducting single walled carbon nanotube thin films,” *J. Material Chemistry*, 18, 5909s.
- Valentin C. Di, Pacchioni G., Selloni A.,** 2004, Origin of the different photoactivity of N-doped anatase and rutile TiO<sub>2</sub>, *Physical Review B*, 70, 085116/1-4 pp.
- Yan F., Liu H., Li W., Chu B., Su Z., Zhang G., Chen Y., Zhu J., Yang D., Junbo W.,** 2009, Double wavelength ultraviolet light sensitive organic photodetector, *Applied Physics Letters*, 95, 253308 pp.
- Yang T., Cai W., Qin D., Wang E., Lan L. G., Gong X., Peng J., Cao Y.,** 2010, Solution-processed Zinc Oxide thin film as a buffer layer for polymer solar cells with an inverted device structures, *Journal of Physical Chemistry C*, 114, 6849-6853 pp.
- Yu G., Pakbaz K., Heeger A. J.,** 1994, Semiconducting polymer diodes: Large size, low cost photodetectors with excellent visible-ultraviolet sensitivity, *Applied Physical Letters*, 64, 3422–3424 pp.
- Zafer C., Ocakoglu K., Ozsoy C., Icli S.,** 2009, Dicationic bis-imidazolium molten salts for efficient dye sensitized solar cells: Synthesis and photovoltaic properties, *Electrochimica Acta*, 54, 5709-5714 s.
- Zhang G., Li W., Chu B., Su Z., Yang D., Yang F., Chen Y., Zhang D., Han L., Wang J., Liu H., Che G., Zhang Z., Hu Z.,** 2009, Highly efficient photovoltaic diode based organic ultraviolet photodetector and the strong electroluminescence resulting from pure exciplex emission. *Organic Electronics*, 10, 352-356 pp.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

- Zhu L., Dai Q., Hu Z., Zhang X., and Wang Y.,** 2011, Organic Deep Ultraviolet Photodetector With Response Peak Focusing on 270 nm Using the Acceptor BA1q, *IEEE Photonics Technology Letters*, 23, 1835–1837 pp.
- Wakizaka D., Fushimi T., Ohkita H., and Ito S.,** 2004, Hole transport in conducting ultrathin films of PEDOT/PSS prepared by layer-by-layer deposition technique, *Polymer*, 45, 8561–8565 pp.
- Waldauf C., Morana M., Denk P., Schilinsky P., Coakley K., Choulis S.A., Brabec C.J.,** 2006, *Appl. Phys. Lett.* 89, 233517 pp.
- Wang X., Huang J., Han S., Yu J.,** 2014, High photoresponse inverted ultraviolet photodetectors consisting of iridium phosphor doped into poly(N-vinylcarbazole) polymeric matrix, *Applied Physical Letters*, 104, 173304 pp.
- Wang X., Fang F., Su Z., Fang X., Zhang G., Wang J., Wei Z., Li J. And Wang X.,** 2014, Aluminum-doped zinc oxide as anode for organic near-infrared photodetectors, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 47, 335104 pp.
- Wang L., Zhao D., Su Z., Fang F., Li B., Zhang Z., Shen D., and Wang X.,** 2010, High spectrum selectivity organic/inorganic hybrid visible-blind ultraviolet photodetector based on ZnO nanorods, *Organic Electronics*, 11, 1318–22 pp.
- Wang J. B., Li W. L., Chu B., Chen L. L., Zhang G., Su Z. S., Chen Y. R., Yang D. F., Zhu J. Z., Wu S. H., Yan F., Liu H. H.,** 2010, Visible-blind ultraviolet photo-detector using tris-(8-hydroxyquinoline) rare earth as acceptors and the effects of the bulk and interfacial exciplex emissions on the photoresponsivity, *Organic Electronics*, 11, 1301-1306 pp.

## ÖZGEÇMİŞ



### KİŞİSEL

Adı, Soyadı : Görkem, Memişoğlu

Doğum Tarihi/Yeri : 25.10.1982, Zonguldak, Türkiye

E-mail : gorkemgrkm@yahoo.com

İş Durumu : Vestel Elektronik R&D Projects (2012-şimdi)

Sürücü Belgesi : B (2002), A2 (2009)

Bilgisayar Bilgisi: MS Office, Laboratuvar Pro (Wolfram Mathematica  
Sigma Plot, Origin lab, ACD lab)

### EĞİTİM

Doktora, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü (2010- )

Yüksek Lisans, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü (2008-2010)

Lisans, Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü (2002-2007)

Lise, İzmir Atakent Anadolu Lisesi (1996-2000)

Orta Okul, Zonguldak Gazi İlköğretim Okulu (1993-1996)

İlkokul, Zonguldak Asma İlkokulu (1988-1993)

### TEZLER

Yüksek lisans : Perilen Diimid Türevinin Kullanıldığı Mavi Işık Yayan

Organik Diyotta Empedans Araştırmaları

(Danışman: Doç. Dr. Canan VARLIKLI).

Lisans : Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

(Danışman: Prof. Dr. Nadide KAZANCI).

## **İLGİ ALANLARI**

Optoelectronics, Impedance Spectroscopy, Ultraviolet Photodetectors (UV PD), Organic Light Emitting Diode (OLED), Solid State Bulk Heterojunction Solar Cells (BHJSC), Dye Synthesized Solar Cells (DSSC), Wireless Communication, Graphene.

## **LABORATUVAR CİHAZI KULLANIMI**

- Ambios QScope Atomik Kuvvet Mikroskopu (AFM)
- AmbioStechonology XP1 profilometre
- Döngüsel Voltametre (CV)
- Edinburgh FLSP920P Floresans Spektrofotometre
- Keithley 2400, Osiloscope, Monochromator
- LCR-Meter
- MBRAUN 200B Glove Box-Termal evaporasyon cihazı
- Ocean Optics USB-4000 spektrofotometre
- Perkin Elmer Pyris 6 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)
- Perkin Elmer Lambda 950 ve Analytic Jena UV/VIS/NIR Spektrofotometreleri
- Rigaku Ultima IV X-Ray Diffractometer (XRD)
- Zahner IM6 Empedans Analizörü (ve SIM programı), AUTOLAB Empedans Analizörü
- WS-400B-6NPP/Lite Dönü Kaplama Cihazı

## **PROJELER**

- ‘Organic semiconductor based UV-A photodetector production and characterizations’, 2013-2014, 112T013, görevi: bursiyer.
- ‘Organic semiconductor based UV-A photodetector investigations-II’, 2013-2014, 13-GEE-003, görevi: araştırmacı.
- ‘Organic semiconductor based UV-A photodetector investigations-I’, 2011-2012, 12-GEE-009, görevi: araştırmacı.

- ‘Impedance Analysis of Aromatic Imides as Dopant at Organic Light Emitting Diodes’, 2008-2009, 09-GEE-009, görevi: araştırmacı.
- DPT, ‘Photo-Electronic Technology Productions: OLED, OFET’, 07-DPT-002, görevi: bursiyer.
- DPT, ‘Organic and Optoelectronic Technologies in Sustainable Energy’, 11-DPT-001, görevi: bursiyer.

### **BURS/ÖDÜL**

- European Science Foundation, Universitat Jaume I, Valencia-Spain, 09/2010-02/2011 (6 ay).
- The Bell Labs Prize (ilk %10), Nanoscale Magneto-Inductive Communication with Strained Graphene and Applications to Magnetic Laser and Passive Monitoring of Intra-Body Nanoscale Life, 2015 Haziran, süreç devam ediyor.
- Türkiye Taş Kömürleri Kurumu Güvenlik Vakfı, Zonguldak-Türkiye.

### **YAYINLAR**

- Gorkem Memisoglu, and Canan Varlikli, “High Photoresponse Solution Processed Conventional and Inverted UltraViolet PhotoDetectors” değerlendirme aşaması.
- Gorkem Memisoglu, and Canan Varlikli, “Conventional and Inverted Hybrid UV-PDs Based on Solution Processed PFE:ZnO Active Layer,” IEEE Photonics Technology Letters, 27(5), 537-40, 2015.
- Gorkem Memisoglu, Halide Diker and Canan Varlikli, “Solution processable graphene oxide hole transport layers and their application in P3HT:HHPER active layer based BHJSC”, Turkish Journal of Physics, kabul edildi, Haziran 2015.
- Secil Sevim, Gorkem Memisoglu, Canan Varlikli, Leyla Eral Doğan, Didem Tascioglu, and Serdar Ozcelik, “An ultraviolet photodetector with an active layer composed of solution processed polyfluorene:Zn<sub>0.71</sub>Cd<sub>0.29</sub>S hybrid nanomaterials,” Applied Surface Science, 305, 227–234, 2014.

- Gorkem Memisoglu, Canan Varlikli, and Halide Diker, “Solution-Processed Polyfluorene:Naphthalenediimide–N-Doped TiO<sub>2</sub> Hybrids for Ultraviolet Photodetector Applications,” Journal of Electronic Materials, 42, 3502–3511, 2013.
- Gorkem Memisoglu, and Canan Varlikli, “Highly Efficient Organic UV Photodetectors Based on Polyfluorene and Naphthalenediimide Blends:Effect of Thermal Annealing,” International Journal of Photoenergy, 2012, 1–11, 2012.

### **KONFERANS SUNUMLAR**

- Gorkem Memisoglu, Canan Varlikli, and Halide Diker, “P3HT:HHPER Active Layer Based BHJSC with Solution Processable Graphene Oxide Hole Transport Layer” SOLARTR-3, Poster Sunum, Ankara, 27-29 Apr. 2015.
- Gorkem Memisoglu, Canan Varlikli, and Cigdem Sahin, “Amphiphilic Ruthenium complexes for Dye Sensitized Solar Cells,” SOLARTR-4, Sözlü Sunum (ayrıca tam metin olarak yayımlandı), İzmir-Turkey, 2014.
- Kerem Dirik, Erhan Domekeli, Pinar Gulten, Gorkem Memisoglu, “4K Ultra High Definition Television,” SID-ME 2014 Conference, Poster Sunum, Istanbul, 7-8 Apr. 2014.
- Gorkem Memisoglu, Ozan Canbaz, “Multi-touch Infrared (IR) Touch Screen Design,” SID-ME 2014 Conference, Sözlü Sunum, Istanbul, 7-8 Apr. 2014.
- Gorkem Memisoglu and Canan Varlikli, “PFE:ZnO Based Solution Processed Hybrid UltraViolet PhotoDetector,” IWOBOE Conference, Sözlü Sunum, Konya-Turkey, 2014.
- Gorkem Memisoglu, Canan Varlikli and Halide Diker, “Solution Processed Polyfluorene:Naphthalenediimide:N-doped TiO<sub>2</sub> Hybrids for Ultraviolet Photodetector Applications” 5th International Symposium for Flexible Organic Electronics (ISFOE12) Conference, Poster Presentation, Thessaloniki-Greece, 2-5 July 2012.

- Gorkem Memisoglu, Canan Varlikli, ve Halide Diker, “Hybrid Ultraviolet Photodetector Applications in the Concept of Polyfluorene:Naphthalenediimide:N-doped Titanium dioxide,” SOLARTR-2, Sözlü Sunum, Antalya-Turkey, 7-9 Nov. 2012.
- Gorkem Memisoglu, Canan Varlikli, Siddık Icli, ‘An Impedance Study of Perylene Dimide Usage in Blue Organic Light Emitting Diodes’, 6<sup>th</sup> Nanoscience and Nanotechnology Conference, Poster Sunum, Izmir Institute of Technology, Turkey, 15-18 June 2010.
- Gorkem Memisoglu, Canan Varlikli, Siddık Icli, ‘The Effect of Spin-Coating Rate and Annealing Temperature on PFH Based OLEDs’, 26. International Physics Conference, Poster Sunum, Mugla University, Turkey, 24-27 Sep. 2009.

## **EKLER**

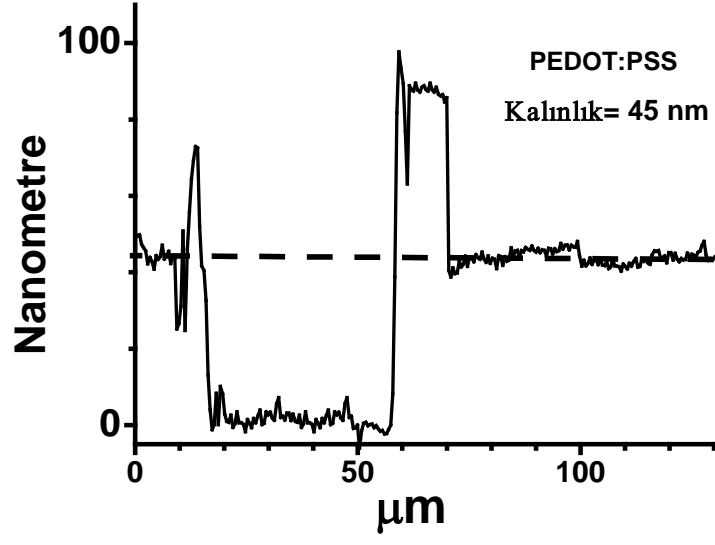
Ek 1 PEDOT:PSS'e ait kalınlık ölçüm eğrisi

Ek 2 PFE:BNDI'a ait kalınlık ölçüm eğrisi

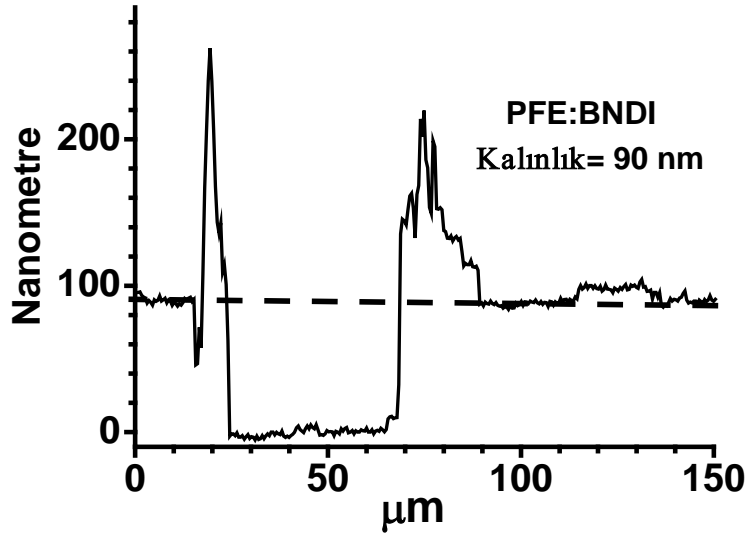
Ek 3 PFE:BNDI:TiO<sub>2</sub>'e ait kalınlık ölçüm eğrisi

Ek 4 PFE:ZnO'e ait kalınlık ölçüm eğrisi

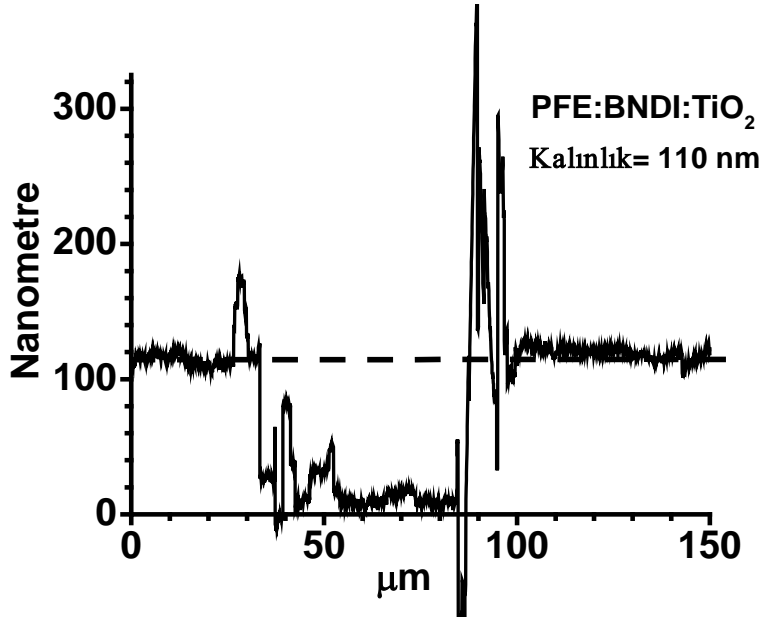
Ek 5 PFE:BNDI:ZnO'e ait kalınlık ölçüm eğrisi



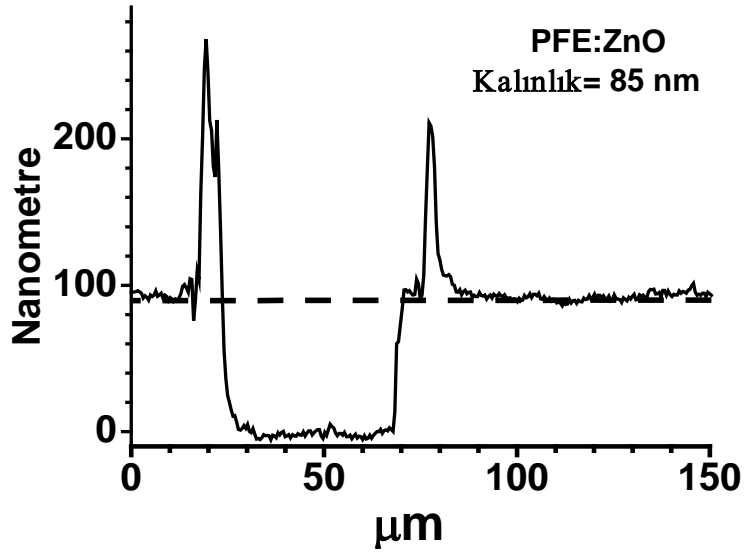
Ek 1 PEDOT:PSS'e ait kalınlık ölçüm eğrisi



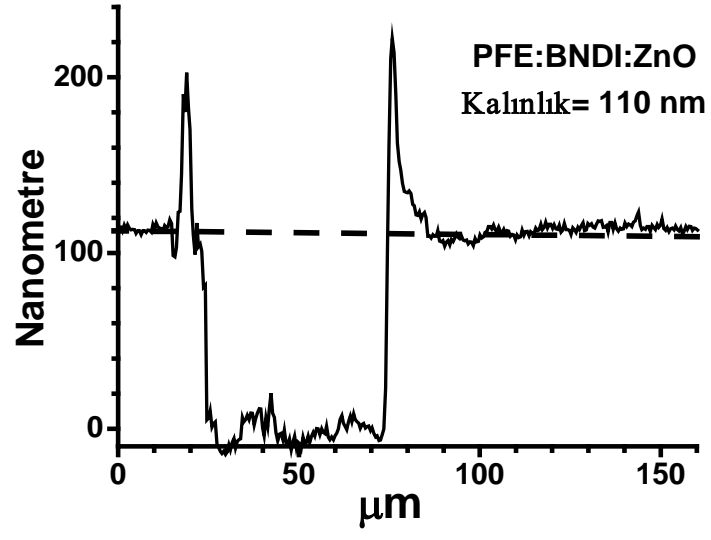
Ek 2 PFE:BNDI'a ait kalınlık ölçüm eğrisi



Ek 3 PFE:BNDI:TiO<sub>2</sub>'e ait kalınlık ölçüm eğrisi.



Ek 4 PFE:ZnO'e ait kalınlık ölçüm eğrisi.



Ek 5 PFE:BNDI:ZnO'e ait kalınlık ölçüm eğrisi.