

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TİYOFEN VE ANTRASEN İÇEREN KONJUGE
POLİMERLERLE HAZIRLANAN HACİM
HETEROEKKLEMLİ ORGANİK GÜNEŞ GÖZELERİ**

Emel ÇEVİK

**FBE Fizik Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Serap GÜNEŞ (YTÜ)

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖNSÖZ	xiv
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Geleneksel Enerji Kaynakları	1
1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	3
1.2.1 Güneş Gözelerinin Tarihçesi	7
1.2.2 İnorganik Güneş Gözeleri	9
1.2.3 Organik Güneş Gözeleri	11
2. GENEL BİLGİLER	13
2.1 Polimerler	13
2.2 Konjuge Polimerler	16
2.2.1 Konjuge Polimerlerin Yapısal Özellikleri	18
2.2.2 Konjuge Polimerlerin İletkenlik Mekanizması	20
2.2.2.1 Katkılama (Doping)	20
2.2.2.2 Sıçrama (Hopping)	21
2.3 Konjuge Polimerlerin Kullanım Alanları	22
3. ORGANİK GÜNEŞ GÖZELERİ	25
3.1 Giriş	25
3.2 Kullanılan Malzemeler	27
3.3 Hazırlama Teknikleri	30
3.3.1 Süblimasyon	31
3.3.2 Islak İşlem	31
3.4 Temel Çalışma Prensibi	33
3.5 Aygıt Yapıları	35
3.5.1 Tek Tabaka Güneş Gözeleri	35
3.5.2 İki Katlı Heteroeklemlı Güneş Gözeleri	36
3.5.3 Hacim Heteroeklemlı Güneş Gözeleri	37
3.5.4 Yayılmış (Difüze) İki Katlı Heteroeklemlı Güneş Gözeleri	38
3.6 Organik Güneş Gözelerinin Performans Analizi	38
3.6.1 Güç Dönüşüm Verimi	38
3.6.2 Eşdeğer Devre Diyagramı (ECD)	40

3.6.3	Maksimum Güç Noktası ((PMax))	42
3.6.4	Açık Devre Gerilimi (Voc).....	42
3.6.5	Kısa Devre Akımı (Isc).....	42
3.6.6	Dolgu Faktörü (FF).....	43
3.7	Organik Güneş Gözelerinin Nanomorfolojisi ve Yük Taşınması.....	44
3.7.1	Nanomorfoloji.....	44
3.7.2	Yük Taşınması ve Mobilite	46
3.8	Organik Güneş Gözelerinin Bugünkü Durumu	47
3.9	Organik Güneş Gözesi Performansını Geliştirmek İçin İzlenebilecek Rotalar	50
3.9.1	Soğurmayı Geliştirmek	50
3.9.2	Kontrol Edilebilir Bir Morfoloji	50
3.9.3	Yeni Devre Yapıları.....	51
3.9.4	ITO'dan Bağımsız Cihazlar	52
3.9.5	Polimer Güneş Gözelerinin Kararlılığı	52
4.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	54
4.1	Giriş	54
4.2	Kullanılan Malzemeler	54
4.2.1	PC ₆₁ BM	56
4.2.2	PEDOT:PSS.....	56
4.3	Organik Güneş Gözelerinin Hazırlanması.....	57
4.4	Güneş Gözelerinin Karakterizasyon Yöntemleri.....	59
4.4.1	Güneş Gözelerinin Karakterizasyonu için Gereken Standart Şart.....	59
4.4.2	I-V Karakterizasyonu.....	61
4.4.3	IPCE.....	61
4.4.4	AFM.....	62
5.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	63
5.1	P1, P2, P3 ve P4 Polimerlerinin Soğurma Spektrumları	63
5.2	Tiyofen İçeren Konjuge Polimerler Kullanılarak Hazırlanan Organik Güneş Gözeleri.....	64
5.2.1	Tiyofen İçeren P1 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları.....	64
5.2.1.1	P1 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları	64
5.2.1.2	P1 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi	67
5.2.2	Tiyofen İçeren P1 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları.....	69
5.2.2.1	P1 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları	69
5.2.2.2	P1 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi	71
5.2.3	Tiyofen İçeren P1 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları.....	73
5.2.3.1	P1 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları	73
5.2.3.2	P1 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi	75

5.2.4	Tiyofen İçeren P2 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları.....	77
5.2.4.1	P2 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları	77
5.2.4.2	P2 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi	79
5.2.5	Tiyofen İçeren P2 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları.....	81
5.2.5.1	P2 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları	81
5.2.5.2	P2 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi	83
5.2.6	Tiyofen İçeren P2 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları.....	85
5.2.6.1	P2 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları	85
5.2.6.2	P2 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi	87
5.3	Antrasen İçeren Konjuge Polimerleri Kullanılarak Hazırlanan Organik Güneş Gözeleri.....	88
5.3.1	Antrasen İçeren P3 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözeleri.....	89
5.3.1.1	P3 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları	89
5.3.1.2	P3 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi	91
5.3.2	Antrasen İçeren P3 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözeleri	93
5.3.2.1	P3 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları	93
5.3.2.2	P3 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi	95
5.3.3	Antrasen İçeren P3 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözeleri	97
5.3.3.1	P3 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları	97
5.3.3.2	P3 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi	99
5.3.4	Antrasen İçeren P4 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları.....	101
5.3.4.1	P4 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları	101
5.3.4.2	P4 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi	103
5.3.5	Antrasen İçeren P4 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları.....	105
5.3.5.1	P4 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları	105
5.3.5.2	P4 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi	107

5.3.6	Antrasen İçeren P4 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları.....	109
5.3.6.1	P4 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları	109
5.3.6.2	P4 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi	111
6.	SONUÇ.....	113
KAYNAKLAR.....		115
İNTERNET KAYNAKLARI.....		122
ÖZGEÇMİŞ.....		123

SİMGE LİSTESİ

Al	Alüminyum
Au	Altın
Ca	Kalsiyum
CdTe	Kadmiyum Tellürid
CuInSe ₂	Bakır İndiyum Diselenid
C°	Selsius derece
CH ₄	Metan
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbondioksit
E	Elektrik alan
e	Temel yük birimi
eV	Elektron volt
GaAs	Galyum Arsenit
I ₀	Karanlık akımı
<i>I_{MPP}</i>	Maksimum güç noktasındaki akım
<i>I_{SC}</i>	Kısa devre akımı
<i>I_{PH}</i>	Fotoakım
J _{sc}	Kısa devre akım yoğunluğu
LiF	Lityum florid
mV	Milivolt
mA	Miliamper
Mg	Magnezyum
P _{Max}	Maksimum güç noktası
μ	Mobilite
μm	Mikrometre
nm	Nanometre
η	Güç dönüşüm verimi
n	Hacim başına soğurulan foton
P _{in}	Gelen ışığın gücü
R _s	Seri direnç
R _{sh}	Paralel direnç
Si	Silisyum

SO_2	Kükürt dioksit
U	Uygulanan voltaj
V_{MPP}	Maksimum güç noktasında ki gerilim
V_{OC}	Açık devre gerilimi
V_{th}	termal gerilim
V_a	Uygulanan gerilim
W/m^2	Watt/metrekare
ZnO	Çinko oksit
λ_{gelen}	Gelen fotonun dalga boyu
σ	Sigma
π	Pi

KISALTMA LİSTESİ

AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
AM	Hava Kütlesi
CN-MEH-PPV	(poli-[2-metoksi-5-(2'-etilhekziloksi)-1, 4-(1-siyanovinilen)-fenilen])
ECD	Eşdeğer Devre Diyagramı
F8TB	(poli(9, 9'-dioktilfluoreneko-benzotiadiazol))
FF	Dolgu faktörü
HOMO	En yüksek işgal edilmiş moleküler orbital, değerlik bandı
IPCE	Gelen fotonun elektrik akımına dönüşüm verimi
ITO	İndiyum katkılı kalay oksit
IQE	İç kuantum verimi
KB	Klorobenzen
KF	Kloroform
LED	Işık yayan diyotlar
LUMO	En düşük işgal edilmemiş moleküler orbital, iletkenlik bandı
MIM	Metal-yalıtkan-metal
MDMO-PPV	(poli[2-metoksi-5-(3, 7-dimetiloktiloksi)]-1, 4-fenilviniylen)
PC ₆₁ BM	(1-(3-metoksikarbonil) propil-1-fenil[6, 6]C ₆₁)
PEDOT:PSS	Polietilendioksitiyofen: polistirensülfonat
P3HT	Poli(3-hekziltiophen-2, 5-dil)
P3OT	Poly(3-oktiltiyofen)
PFB	(poli (9-9'-dioktilfluorene-co-bis-N-N'-(4-butilfenil)-bis-N-N'-fenil-1, 4 - fenilendiamin))
P1	(MEH-PPE ₁ -PThV ₂), Tiyofen içeren konjuge polimer
P2	(MEH-PThE ₁ -PPV ₂), Tiyofen içeren konjuge polimer
P3	(MEH-PPE ₁ -PAnV ₂), Antrasen içeren konjuge polimer
P4	(MEH-PAnE ₁ -PPV ₂), Antrasen içeren konjuge polimer
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SWCNTs	Karbon nanotüpler
TEM	Transmisyon elektron mikroskobu
TEP	Ton Petrol Eşdeğeri
TL	Toluen

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Çeşitli enerji kaynakları ve pazardaki paylarının geleceği	2
Şekil 1.2	Bell Laboratuvarları'nda geliştirilen ve enerjisiyle resimdeki oyuncak dönme dolabı çeviren ilk silisyum güneş gözesi	8
Şekil 1.3	Dünyada kullanılan güneş gözesi çeşitleri ve verimleri	11
Şekil 2.1	Üç farklı monomerdan oluşmuş üç farklı polimer.....	13
Şekil 2.2	Polimerlerin fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılması	14
Şekil 2.3	C atomu için temel enerji seviyeleri	15
Şekil 2.4	İlk iletken polimerlere ait bir bilgisayar grafiği.....	17
Şekil 2.5	İletkenliğin maddelere göre değişimi.....	18
Şekil 2.6	Poliasetilenin zincir formülü.....	18
Şekil 2.7	Konjuge polimerlerde yük taşıyıcılarının transferi.....	22
Şekil 2.8	İletken polimerlerin kullanım alanları	24
Şekil 3.1	MP3 çaları sarj eden organik güneş gözesi.....	27
Şekil 3.2	Organik güneş gözelerinde kullanılan malzemeler.....	28
Şekil 3.3	Organik güneş gözelerinde kullanılan birkaç tane konjuge polimer ve fulleren türevinin kimyasal yapısı	29
Şekil 3.4	Genel olarak kullanılan malzemelerin soğurma katsayıları ile standart hava kütlesi (Air Mass/AM) 1. 5 doğal güneş spektrumunun kıyaslaması.....	30
Şekil 3.5	Glove box sistemi	31
Şekil 3.6	Baskı yöntemi ile elde edilen organik fotovoltailer.....	32
Şekil 3.7	Polimer:fulleren'den oluşan güneş gözesi düzeneği. Polimer donörü ve fulleren akseptörü içeren aktif tabaka daha net görülebilmesi için büyütülmüştür. (1) polimer içinde eksiton yaratılması (2) eksitonların arayüzeye taşınması (3)eksitonların arayüzeyde ayrılması (4) elektrotlara yük taşınması.....	34
Şekil 3.9	İki katlı heteroeklemlı güneş gözesi	37
Şekil 3.10	Hacim heteroeklemlı güneş gözesi	38
Şekil 3.11	Bir güneş gözesinin akım-voltaj grafiği (I-V eğrisi).....	40
Şekil 3.12	Bir güneş gözesinin eşdeğer devre diyagramı.	41
Şekil 3.13	Güneş Gözesi Yapısı.....	44
Şekil 3.14	Yüzeyi AFM ile taranmış MDMO-PPV:PCBM 1:4 (ağırlık olarak) karışımı olarak hazırlanan filmler, klorobenzende dönel kaplamayla kaplanmış (sol resim) toluende de dönel kaplamayla kaplanmış (sağ resim). Tarama boyutu	

	her iki film icinde 2. 5 µm. Toluenli film klorobenzeneye kıyasla 10 kat fazla yüksekliğe sahiptir.	45
Şekil 3.15	MDMO-PPV:PCBM 1 : 4 oranında toluende hazırlanmış filmin görüntüsü tapping moddaki AFM’le alınmıştır. a)130 °C b)150°C c)165° sıcaklık uygulanmıştır. 150°C ‘ye kadar nano boyuttaki topaklanmalar gözlenebilirken 165°C’den sonra gözlenememiştir.....	46
Şekil 3.16	İdeal bir donör/akseptör hacim heteroeklemlı polimer güneş gözesi.	51
Şekil 4.1	P1, P2, P3 ve P4’ün kimyasal yapıları.....	55
Şekil 4.2	PCBM’in kimyasal yapısı.....	56
Şekil 4.3	PEDOT:PSS’in kimyasal yapısı	57
Şekil 4.4	Hazırlanan organik güneş gözesi yapısı.....	59
Şekil 4.5	Güneşten gelen ışınım enerjisinin, AM koşullarına göre spektral dağılımının gösterimi.	60
Şekil 4.6	Hava kütlesi (AM) kavramının şematik gösterimi.....	61
Şekil 5.1	P1, P2, P3, P4’ ün ince filmlerinin optik soğurma spektrumları	63
Şekil 5.2	Toluendeki P1:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği.....	65
Şekil 5.3	Toluende hazırlanan P1:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri	66
Şekil 5.4	Polimer P1:PCBM ile toluende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4.....	68
Şekil 5.5	Kloroformdaki P1:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği.....	70
Şekil 5.6	Kloroformda hazırlanan P1:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri	71
Şekil 5.7	Polimer P1:PCBM ile kloroformda hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM Resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4.....	72
Şekil 5.8	Klorobenzendeki P1:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği.....	74
Şekil 5.9	Klorobenzende hazırlanan P1:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri	75
Şekil 5.10	Polimer P1:PCBM ile klorobenzende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM Resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4.....	76
Şekil 5.11	Toluendeki P2:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-	

	gerilim karakteristiği.....	78
Şekil 5.12	Toluende hazırlanan P2:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri	79
Şekil 5.14	Kloroformdaki P2:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği.....	82
Şekil 5.15	Kloroformda hazırlanan P2:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri	83
Şekil 5.16	Polimer P2:PCBM ile kloroformda hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4	84
Şekil 5.17	Klorobenzendeki P2:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği.....	86
Şekil 5.18	Klorobenzende hazırlanan P2:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri	87
Şekil 5.19	Polimer P2:PCBM ile klorobenzende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4	88
Şekil 5.20	Toluendeki P3:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği.....	90
Şekil 5.21	Toluende hazırlanan P3:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri	91
Şekil 5.22	Polimer P3:PCBM ile toluende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4.....	92
Şekil 5.23	Kloroformdaki P3:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği.....	94
Şekil 5.24	Kloroformda hazırlanan P3:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri	95
Şekil 5.25	Polimer P3:PCBM ile kloroformda hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4	96
Şekil 5.26	Klorobenzendeki P3:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği.....	98
Şekil 5.27	Klorobenzende hazırlanan P3:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri	99
Şekil 5.28	Polimer P3:PCBM ile klorobenzende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4.....	100
Şekil 5.29	Toluendeki P4:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği.....	102
Şekil 5.30	Toluende hazırlanan P4:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri	103

Şekil 5.31	Polimer P4:PCBM ile toluende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4.....	104
Şekil 5.32	Kloroformdaki P4:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği.....	106
Şekil 5.33	Kloroformda hazırlanan P4:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri	107
Şekil 5.34	Polimer P4:PCBM ile kloroformda hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4.....	108
Şekil 5.35	Klorobenzendeki P4:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği.....	110
Şekil 5.36	Klorobenzende hazırlanan P4:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri	111
Şekil 5.37	Polimer P4:PCBM ile klorobenzende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4.....	112

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Polimer güneş gözelerindeki son gelişmelerin bir özeti	49
Çizelge 4.1	P1-P4'ün ince film optik ve elektronik bilgileri	55
Çizelge 4.2	Farklı polimerlerin PC ₆₁ BM'le karışım oranları a) polimer P1:PC ₆₁ BM, b) polimer P2:PC ₆₁ BM, c) polimer P3:PC ₆₁ BM ve d) polimer P4:PC ₆₁ BM.....	58
Çizelge 5.1	Toluendeki P1:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları	65
Çizelge 5.2	Kloroformdaki P1:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları	70
Çizelge 5.3	Klorobenzendeki P1:PCBM Güneş Gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları.....	73
Çizelge 5.4	Toluendeki P2:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları	77
Çizelge 5.5	Kloroformdaki P2:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları	81
Çizelge 5.6	Klorobenzendeki P2:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları.....	85
Çizelge 5.7	Toluendeki P3:PCBM Güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları	89
Çizelge 5.8	Kloroformdaki P3:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları	93
Çizelge 5.9	Klorobenzendeki P3:PCBM Güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları.....	97
Çizelge 5.10	Toluendeki P4:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları	102
Çizelge 5.11	Kloroformdaki P4:PCBM Güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları	105
Çizelge 5.12	Klorobenzendeki P4:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları.....	109
Çizelge 6.1	P1, P2, P3 ve P4 ile elde edilen en iyi fotovoltaiik sonuçlar	114

ÖNSÖZ

İlk tanıştığımız günden beri, bilim insanı olma yolunda en büyük desteğim olan, çalışmamın bütün aşamalarında teorik ve deneysel bilgi birikimi, önerileri ve ilgisiyle yolumu aydınlatıp, ufkumu genişleten, bitmez enerjisine ve çalışkanlığına her zaman hayran olduğum değerli hocam Sayın Doç.Dr. Serap GÜNEŞ'e,

Çalışmalarımda her türlü bilimsel ve teknolojik imkanları sağlayarak desteğini esirgemeyen Sayın Prof.Dr. N.Serdar SARIÇİFTÇİ'ye,

Polimerlerin sentezini yaparak, bu çalışmanın meydana gelmesine büyük katkı sağlayan Sayın Doç.Dr. Daniel A. M. Egbe'ye ve Andreas Wild'e,

Bütün süreçte her daim yanımda olup, daima cesaretlendiren arkadaşım Derya Ilıcalı'ya,

Psikolojik destekleri için grup arkadaşlarım Gülay Günday, İsmail Karataş ve Adem Karşlı'ya,

Sıcak sohbetleri için Gülbeden Likoğlu ve Nimet Yılmaz Canlı'ya,

Varlıkları ve samimiyetleri için Beşinci Ailesine,

Fiziği sevdiren bütün hocalarıma,

Parçası olmaktan her daim gurur ve mutluluk duyduğum, biricik ailem; annem, babam ve kardeşime,

Varlığıyla beni güçlendiren, her zaman desteğini yanımda hissettiren, sabrı, anlayışı ve bana inanan kalbiyle, emin ellerde olduğumu bana hatırlatan çok sevgili eşime,

Tüm kalbimle teşekkür ederim.

Mayıs, 2010
Emel ÇEVİK

Eşime,

ÖZET

Emel ÇEVİK

Fizik Bölümü, Yüksek Lisans Tezi

Bu tez çalışmasında, tiyofen ve antrasen içeren konjuge polimerlerle hazırlanan, hacim heteroeklemlili organik güneş gözelerinin toluen, kloroform ve klorobenzen olmak üzere 3 farklı çözücüdeki üretimleri yapıp, fotovoltaiik özellikleri incelenmiştir. Poly{(1, 4-(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy)-phenylene-ethynylene-1,4-(5-[(2-ethylhexyl)oxy]-2-methoxy)phenylene-vinylene-2, 5-thiophenylene-vinylene} (MEH-PPE₁-PThV₂) (P1) ve Poly(1, 4-(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy)-phenylene-ethynylene-2, 5-thiophenylene-vinylene-1, 4-(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy)-phenylene-vinylene) (MEH-PThE₁-PPV₂) (P2)] isimli konjuge polimerler tiyofen içermekte, [poly{1,4-(5-[(2-ethylhexyl)oxy]-2-methoxy)phenylene-ethynylene-1, 4-(5-[(2-ethylhexyl)oxy]-2-methoxy)phenylene-vinylene-9, 10-anthracenylene-vinylene}MEH-PPE₁-PAnV₂ (P3) ve poly {(1, 4-(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy)-phenylene-ethynylene-9,10-anthracenylene-vinylene-1, 4-[(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy]-phenylene-vinylene} (MEH-PAnE₁-PPV₂) (P4)] isimli konjuge polimerler ise antrasen içermektedir. P1, P2, P3 ve P4 polimerleri hazırlanan çözeltilerde donör olarak kullanılmış, PC₆₁BM ise akseptör olarak kullanılmıştır. Tiyofen içeren konjuge polimerler arasında en iyi verim, P2 ile klorobenzende 1:3 oranında hazırlanan gözelerde elde edilmiştir. Bu gözelerde kısa devre akım yoğunluğu $J_{SC} = 5.2 \text{ mA/cm}^2$, açık devre gerilimi $V_{OC} = 800 \text{ mV}$ dolgu faktörü ise $FF = 0.44$ olarak elde edilmiştir. %1.8 güç dönüşüm verimine sahiptir. Antrasen içeren konjuge polimerler arasında ise en iyi verim, P4 ile klorobenzende 1:4 oranında hazırlanan gözelerde elde edilmiştir. Bu gözelerde kısa devre akım yoğunluğu $J_{SC} = 3.41 \text{ mA/cm}^2$, açık devre gerilimi $V_{OC} = 850 \text{ mV}$ dolgu faktörü ise $FF = 0.33$ olarak elde edilmiştir. %0.95 güç dönüşüm verimine sahiptir. Fotovoltaiik özellikler, I-V karakterizasyonu, IPCE ölçümleri ve AFM resimleri ile incelenmiştir.

ABSTRACT

Emel ÇEVİK

Department of Physics, M.S. Thesis

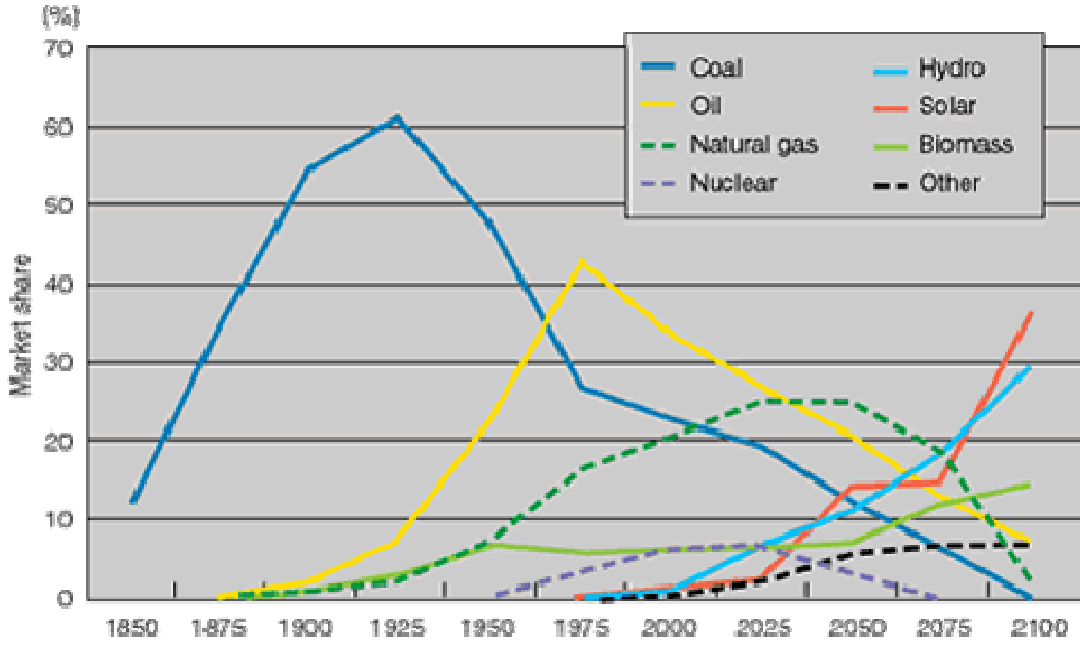
In this thesis, effect of different solvents like toluene, chloroform and chlorobenzene on the photovoltaic properties of bulk heterojunction solar cells employing thiophene and anthracene containing conjugated polymers was investigated. Poly{(1,4-(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy)-phenylene-ethynylene-1,4-(5-[(2-ethylhexyl)oxy]-2-methoxy)phenylene-vinylene-2,5-thiophenylene-vinylene} (MEH-PPE₁-PThV₂) (P1) and poly(1,4-(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy)-phenylene-ethynylene-2,5-thiophenylene-vinylene-1,4-(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy)-phenylene-vinylene (MEH-PThE₁-PPV₂) (P2)] are thiophene-containing polymers and [poly{1,4-(5-[(2-ethylhexyl)oxy]-2-methoxy)phenylene-ethynylene-1,4-(5-[(2-ethylhexyl)oxy]-2-methoxy)phenylene-vinylene-9,10-anthracenylene-vinylene} MEH-PPE₁-PAnV₂ (P3) and poly {(1,4-(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy)-phenylene-ethynylene-9,10-anthracenylene-vinylene-1,4-[(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy]-phenylene-vinylene} (MEH-PAnE₁-PPV₂) (P4)] are anthracene-containing polymers. P1, P2, P3 and P4 were used as donors and PC₆₁BM was used as an acceptor. Among thiophene-containing polymers the best power conversion efficiency was achieved by the blends of P2 and PCBM with 1:3 ratio in chlorobenzene. These type of devices exhibited J_{SC} of 5.2 mA/cm², a V_{OC} of 800 mV and fill factor of 0.44 which corresponds to the power conversion efficiency of 1.8 %. Among anthracene-containing polymers the best power conversion efficiency was achieved using the blends of P4 and PCBM with 1:4 ratio in chlorobenzene. These type of devices exhibited J_{SC} of 3.4 mA/cm², a V_{OC} of 850 mV and fill factor of 0.33 which corresponds to the power conversion efficiency of 0.95%. Photovoltaic properties were investigated via I-V characterization, IPCE measurement and AFM pictures.

1. GİRİŞ

Ekonomik kalkınmanın temel öğelerinden biri olan enerji, insanlığın vazgeçilmez gereksinimlerinden biridir. Günümüzde yaşamın vazgeçilmezi olan enerji, insan yaşam standartlarını yükselten ve hayatı kolaylaştıran en önemli parametredir. Öyle ki bugün artık savaşların sebebini bile enerji gereksinimleri oluşturmaktadır. Bu kadar büyük bir önem arzeden enerjinin kaynakları geleneksel (yenilenemeyen) ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Geleneksel (Yenilenemeyen) enerji kaynakları arasında; kömür, petrol ve petrol ürünleri, doğalgaz gösterilebilirken, yenilenebilir enerji kaynaklarında ise biyokütle (odun, bitki artıkları vb.), rüzgar, hidrolik, jeotermal ve güneş enerjisi ön sıralarda yer almaktadır.

1.1 Geleneksel Enerji Kaynakları

İnsanlar yaşamını doğal çevrede sürdürürken ihtiyaçlarını da doğal kaynaklardan sağlıyordu. Kurutmayı ve ısınmayı güneşle, tahıl üretimini rüzgarla yapıyor, bir kandilin ışığıyla aydınlanabiliyordu. Nüfus artıp ihtiyaçlar çeşitlenince, "daha çok" ve "daha hızlı" yı isteyen insan, yeni kaynakların arayışına girer. Yeni kaynak arayışında ise en kolay bir yolu seçerek, yakılmasıyla daha fazla enerjiyi açığa çıkaran fosil yakıtlara yönelir (Uyar, 2010). İlk dönemlerde yakıt sıkıntısı pek çekilmez çünkü dünya yeterince kaynağa sahiptir. Fakat geçen zaman bir gerçeği ortaya çıkarır ki fosil yakıtlar sanıldığı gibi sonsuz değildir [1]. Yapılan araştırmalara göre petrolün tahmini rezervi 1.4 trilyon varildir ve şu anki tüketim oranlarıyla bile sadece 40 yıllık süre yeterli olacaktır. Kömür rezerv-üretim oranına bakıldığında 230 yıllık bir süreç görülmektedir ki bu azımsanmayacak bir süredir [2]. Bununla birlikte dikkat edilmesi gerekli olan nokta bunların yarısından fazlasının düşük kalite kömür olmasıdır. Buna ilaveten diğer kaynaklardaki tükeniş bu sürenin ani olarak azalmasına da neden olabilir. Doğal Gaz rezerv-üretim oranına bakıldığında ise 70 yıldan daha az bir süre elde edilmektedir [2]. Şekil 1.1’de çeşitli enerji kaynakları ve pazardaki paylarının geleceği gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Çeşitli enerji kaynakları ve pazardaki paylarının geleceği [2]

Dünyada nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları enerjiye olan talebi giderek artırmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) tarafından yapılan projeksiyonlar, mevcut enerji politikaları ve enerji arzı tercihlerinin devam etmesi durumunda dünya toplam enerji talebinin 2005-2030 yılları arasında %49 artarak 11,4 milyar Ton Petrol Eşdeğerinden (TEP) 17,0 milyar TEP düzeyine ulaşacağını göstermektedir [3].

2007 yılında ülkemizin toplam birincil enerji tüketimi 107625 bin TEP, üretimi 27453 bin TEP olarak gerçekleşmiştir. Birincil enerji tüketimimizin yıllık %4,3 artış ile 2020 yılında 220 milyon TEP'e ulaşacağı öngörülmektedir. Dünyada yıllık ortalama artış %2,6'dır [3].

Fosil yakıtlar bitme sürecine girmişken artan enerji ihtiyacı, kısa veya orta vadede giderek büyüyen bir problem haline dönüşmektedir.

Fosil yakıtların bitecek olmasından daha önemli bir tehlike bu yakıtların kullanımının çevreye verdiği zarardır. Fosil yakıtların çevre ve insan sağlığı açısından oluşturduğu olumsuzluklar her geçen gün katlanarak artmaktadır. Fosil yakıtlar yakıldığında altı sera gazının açığa çıkmasına neden olur. Bunlardan en belirleyici olanları karbondioksit (CO_2) ve CH_4 (metan)'dır. Diğerleri ise kükürt, partikül madde, azotoksit, kurum ve küldür [4].

Güneş, gün doğumundan gün batımına kadar atmosfere ısı ve ışık vermektedir. Doğal

döngünün devam etmesi için bu ısının tekrar uzaya verilmesi gerekmektedir. Oysa fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO_2 (karbondioksit) ve CH_4 (metan) gazı bünyelerinde ısı tutma özelliğinden dolayı ısının bir kısmını atmosferde tutmaktadır. Böylece dünya ısınmaya başlamakta ve iklim değişiklikleri meydana gelmektedir (Uyar, 2010).

1900'lerden 2000'lere kadar atmosferin ortalama sıcaklığı 0.5°C artmıştır ve iklim değişikliğinin zincirleme sonuçları yavaş yavaş yaşamı etkilemektedir. Su kaynakları kurumakta, çiçekler erken açmakta, erken yağan karlar tarım ürünlerinde zayıflığa sebep olmakta, bitkiler zamansız meyve vermekte ya da hiç vermemektedir (Uyar, 2010).

Yanma sırasında ortaya çıkan karbon monoksit (CO), oksijenden çok daha hızlı bir şekilde kandaki hemoglobine tutunarak vücuttaki oksijeni bloke edip, baş ağrısı gibi hastalıklara yol açmaktadır. Kömür ve petrolün yanmasıyla ortaya çıkan, kükürt dioksit (SO_2) ise kokusuyla fark edilmekte ve sülfürik aside dönüşerek insan sağlığına ve doğal çevreye onarılmaz zararlar vermektedir (Uyar, 2010).

Uzmanlar, fosil yakıtların etkilerini kısa ve uzun vadeli olarak değerlendirmektedir. Kısa vadede oluşan sonuçlar artık yaşamın bir parçası olmuş durumdadır. Sıcaklık arttıkça buzlar ana kütlelerden koparak erimekte, çığ olayları artmakta, fazla miktarda su dolaşıma girmekte, sel felaketleri, fırtınalar, kasırgalar oluşmaktadır [4].

Küresel ısınmanın, uzun vadede öngörülen sonuçları ise daha vahimdir. Ortalama sıcaklık artışı bu hızla devam ederse, 2020 yılında deniz seviyesinin bir metreye kadar yükselebileceği ve bunun da dünyanın en büyük kentlerinin sular altında kalmasına yol açabileceği öngörülmektedir [4].

Bütün bu olumsuzluklar insanlığı sınırsız ve doğal olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir.

1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Daha hızlı kalkınma isteği ve buna paralel olarak artan enerji gereksiniminin yanı sıra, kullanılan fosil yakıtların atıklarının çevreye onarılmaz zararlar vermesi, alternatif enerji kaynakları arayışlarını arttırmıştır. Bu durumda, kullanılmakta olan yakıtlara alternatif olabilecek, tükenme olasılığı daha az ve atıkları çevreye zarar vermeyecek enerji arayışına gidilmiştir. Yenilenebilir enerji olarak isimlendirilen bu yeni tip enerjinin en önemli özelliği

doğaya zarar vermemesi, atık oluşturmaması, ekstra kaynak istememesi ve yenilenebilir enerji sistemlerinin kolay ve hızlı monte edilebilmesidir. Günümüzde yapılan çalışmalar sonucu geliştirilen, pek çok yenilenebilir enerji sistemi vardır ve ülkeler enerji gereksinimlerinin bir kısmını bu sistemlerle karşılamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları başlıca biyokütle enerjisi, jeotermal enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerjisi, hidrojen ve yakıt pilleri ve güneş enerjisi şeklinde sıralanabilir.

Biyokütle Enerjisi: Her türlü yeşil bitkilerden (bitki ve ağaçlardan) ve hayvan artıklarından oluşan organik ürünlerdir. Bu enerji fotosentez yolu ile yeşil bitkilerde kimyasal enerji olarak depolanmıştır. Yakılarak ısı enerjisi ve elektrik enerjisine çevrilebilir veya katı yakıt, sıvı ve gaz halinde enerji taşıyıcısı olarak da kullanılabilir. Enerji üretiminde kullanılabilecek biyokütle kaynaklarını; bitkisel kaynaklar, bitkisel yağlar, hayvansal atıklar, şehir ve endüstri atıkları şeklinde sınıflandırabiliriz. Biyokütle, bazı işlemlerle etanol, metan ve biyodizel yakıtlarına dönüştürülebilir. Bunlar modern biyokütle olarak adlandırılır [5].

Jeotermal Enerji: Jeotermal kaynaklardan gelen sıcak su, su-buhar, buhar ısı enerjisinden istifade etmektir. 20°C-70°C arasındaki sıcaklık düşük sıcaklık, 70°C-150°C arasındaki sıcaklık orta sıcaklık ve 150°C'nin üstündeki sıcaklıklar ise yüksek sıcaklıklar olarak kabul edilmektedir. Jeotermal enerji merkezi ısıtma ve elektrik enerjisinde kullanılmaktadır [5].

Rüzgar Enerjisi: Rüzgar enerjisi güneş enerjisinin bir sonucudur. Güneş enerjisi sonucu atmosferde meydana gelen sıcaklık farkları, yerkürenin yüzey yapısının değişik formlarda oluşu, sıcaklık farkları ve yer kürenin dönmesi rüzgarları doğurur. Rüzgar enerjisi, mekanik güç (yel değirmeni, su pompaları vb.) olarak kullanıldığı gibi, bir jeneratör aracılığı ile rüzgarın mekanik enerjisi elektrik enerjisine de dönüştürülebilir. Ancak rüzgâr türbinlerinin büyük alan kaplaması, gürültü kirliliği oluşturmaması ve üretilen elektriğin kalite sorunları gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır (Dodi, 2010). Ayrıca rüzgarın enerji potansiyeli yüksek olsa da, ne zaman ne kadar olacağının kontrol edilememesi de bir diğer dezavantajdır.

Hidroelektrik Enerji: Hidroelektrik enerji hızla akan suyun enerjisiyle döndürülen elektrik jeneratörlerinden elde edilen elektriktir. Hidroelektrik enerji santralleri içme, kullanma ya da sanayi suyu sağlamak amacıyla ırmakların önü kesilerek oluşturulan baraj göllerinde kurulmaktadır. Böylece hızla akan bir akarsuyun ya da bir baraj gölünde birikerek yüksekten dökülen suyun enerjisi su türbinlerini, bu türbinler de elektrik üreteçlerini çalıştırır [6].

Yenilenebilir, çevre dostu bir kaynak olmasına karşın son yıllarda yaşanan kuraklıklar hidroelektrik santrallerinden beklenen katkının sağlanamamasına neden olmuştur [3].

Hidrojen Enerjisi ve Yakıt Pilleri: Kömür, doğalgaz gibi fosil kaynakların yanısıra sudan ve biyokütleden de elde edilen hidrojen, enerji kaynağından çok bir enerji taşıyıcısı olarak düşünülmektedir. Elektriğe 20. yüzyılın enerji taşıyıcısı, hidrojene 21. yüzyılın enerji taşıyıcısı diyen çevreler vardır [7].

Hidrojen içten yanmalı motorlarda doğrudan kullanımının yanısıra katalitik yüzeylerde alevsiz yanmaya da uygun bir yakıttır. Ancak dünyadaki gelişim hidrojeninin yakıt olarak kullanıldığı yakıt pili teknolojisi doğrultusundadır [7].

Alternatif enerji kaynağı olmakla birlikte hidrojenin bazı dezavantajları da vardır. Hava ile karıştığında düşük konsantrasyonlar da kolayca yanabilir. Buda çok ciddi güvenlik önlemleri almayı gerektirir. Ayrıca enerjinin üretildiği yakıt hücreleri ve hidrojenin depolandığı tankların hacmi geniş yer kaplamaktadır. Hidrojen petrole göre 4 kat fazla hacim kaplar; hidrojenin kapladığı hacmi küçültmek için hidrojeni sıvı halde depolamak gereklidir. Ama hidrojenin sıvı formda depo edilmesi zordur. Bunun için yüksek basınç ve çok düşük sıcaklıklara inebilecek bir soğutma işlemine ihtiyaç vardır. Bu da bu teknolojinin uygulanabilirliğini azaltmaktadır [7].

Güneş Enerjisi: Güneş Enerjisi, yer kürenin her kösesinde var olup, büyük bir enerji potansiyeline sahiptir. Hali hazırda kullanılmakta olan, yenilenebilir bütün enerji kaynaklarının ana kaynağı da güneş enerjisidir. Yapılan araştırmalar güneş enerjisi kullanımının son yıllarda büyük bir artış gösterdiğini ortaya koymuştur. Örneğin, rüzgar enerjisi kullanımı, son on yılda, yaklaşık %25 oranında artarken, güneş gözesi kullanımı %300'den fazla artmıştır (Çıtıroğlu, 2000). Önümüzdeki on yıl için artış oranları, rüzgar için %45, güneş için ise %800 olarak tahmin edilmektedir (Çıtıroğlu, 2000).

Güneş enerjisine olan talebin başlıca sebebi temiz, güvenilir ve ucuz olmasıdır. Ayrıca doğaldır ve çevreye zararsızdır. Yapılan yatırıma birkaç senede geri dönüşüm vermektedir. Bir diğer sebep ise diğer enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında sonsuz olmasıdır. Dünya üzerindeki bütün ülkeler az ya da çok güneş enerjisine sahiptir (Çıtıroğlu, 2000).

Güneşin uzaya yaydığı enerji aslında güneşin çekirdeğinde gerçekleşen nükleer tepkime (füzyon) süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir. Füzyon; güneşteki 2 hidrojen atomunun

yüksek sıcaklık altında birleşmesidir. Bu reaksiyon neticesi Helyum meydana gelirken ciddi bir enerji de açığa çıkar. Işınım şeklinde uzaya yayılan bu ışık (radyasyon) milyonlarca kilometre kat ederek dünyamıza ulaşır. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, aşağı yukarı sabit ve 1.370 W/m^2 değerindedir, ancak yeryüzünde $0-1.100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat ve kat fazladır (Dodi, 2010).

Coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2. 640 saat (günlük toplam 7, 2 saat)'tir (Dodi, 2010). Türkiye'nin %63'ünde 10 ay, %17'sinde ise 1 yıl boyunca güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür (Çıtıroğlu, 2000).

Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir:

Isıl Güneş Teknolojileri: Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilmesi gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.

Güneş Gözeleri: Fotovoltaikler olarak da isimlendirilen güneş gözeleri, güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler.

Temel olarak, güneş gözesi; yakıtı güneş ışığı olan, çevreye zararlı atıklar içermeyen bir elektrik üretim düzeneğidir. Doğru akım üretir, ihtiyaç halinde doğru akım alternatif akıma dönüştürülüp kullanılabilir. Ya da bataryalar aracılığıyla depolanıp, daha sonra kullanılabilir. Güneş gözeleri, GSM santrallerinde, radyo ve TV istasyonlarında, askeri amaçlı enerji gereksinimlerinde, yatlar ve deniz fenerlerinde, billboard aydınlatılmasında, sokak ve otobüs duraklarının aydınlatılmasında, park ve bahçe aydınlatmalarında, çiftlik evleri ve konutlarda, orman gözetleme kulelerinde, tüm turistik işletmelerde ve uzay çalışmalarında kullanılmaktadır [9].

Güneş gözelerinin alternatif enerji kaynakları arasında enerji potansiyelinin yüksek ve sabit olması, kullanım alanının geniş olması, güneş gözesi maliyetlerini düşürecek çalışmaların sonuç vermeye başlaması sebebiyle üzerinde en çok araştırma yapılan en yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir.

1.2.1 Güneş Gözelerinin Tarihçesi

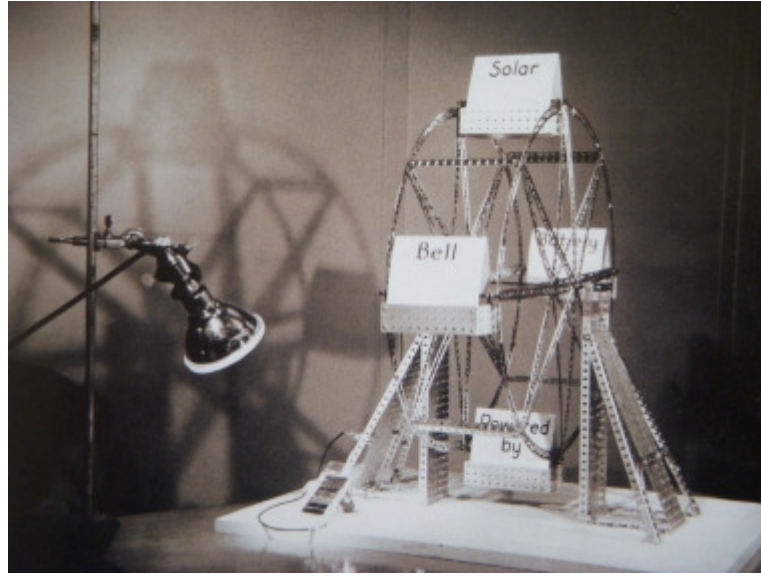
Güneş ışığını elektriğe çeviren güneş gözelerinin geçmişi yüzyıldan daha öncesine dayanır. İlk yapılan güneş gözesinin verimi kullanmak için yetersizdir. 1839'da Henri Becquerel'in de babası olan Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel fotovoltaiik etkiyi keşfeder. Elektrolit bir çözeltinin içinde metal elektrotlarla çalışırken, metal elektrotların ışığa maruz kalınca küçük bir akım ürettiğini farkeder. Fakat etkiyi açıklayamaz [10].

1873 yılına gelindiğinde bir İngiliz mühendis olan Willoughby Smith selenyumun fotoiletkenliğini keşfeder. 1883'te Amerikalı mucit Charles Fritts ilk güneş gözesini yapar. Charles Fritts güneş gözelerinin Edison'un icatlarıyla rekabet edebilmesini istese de gözelerin güneş ışığını elektriğe çevirme verimi %1'in altındadır ve bu yüzden pratik değildir. Birkaç on yıl boyunca selenyum fotovoltaiikleri üzerindeki araştırmalar devam eder ve birkaç kullanım bulunur fakat yaygın bir kullanıma sunulamaz [10].

Güneş gözesi teknolojisindeki bir sonraki gelişme 1940 yılında Bell Laboratuvarlarında yarı iletken araştırmacısı olarak çalışan Russell Shoemaker Ohl tarafından yapılır. Bazı silisyum örnekler üzerinde çalışırken bu örneklerden bir tanesinde bir çatlak (crack) vardır. Özellikle bu örnek ışığa maruz kaldığında üzerinden akım akmaktadır. Bu çatlak (crack) bir ihtimal, örnek yapılırken şekillenmiştir ve farklı safsızlık seviyelerine içeren bölgeler arasındaki sınırı belirginleştirmiştir. Bir bölge pozitif olarak katkılanırken diğer bölge negatif olarak katkılanmıştır. Böylelikle Ohl kazara güneş gözesinin temelini oluşturan p-n eklemi bulur. Artı yükler p-n eklemin bir tarafında bariyer oluştururken negatif yükler de diğer tarafında bariyer oluşturur ve elektrik alan üretir. Göze devreye bağlanınca gelen foton gözeeye çarpar, ve devreden akım geçmeye başlar. Ohl %1 verime sahip güneş gözesinin patentini alır. İlk pratik silisyum güneş gözeleri, 1953 yılında Bell Laboratuvarları'nda birlikte çalışan bir grup bilim adamı tarafından keşfedilir. Mühendis Daryl Chapin, kuru hücre pillerin çok çabuk bozulduğu, uzak nemli lokasyonlarda telefon sistemleri için güç kaynağı geliştirmeye çalışırken, birkaç alternatif enerji kaynağı keşfeder. Güneş gücünün en çok gelecek vaat edenlerden biri olduğuna karar verir. Selenyum güneş gözelerini dener fakat verimsiz bulur.

Bu arada bir kimyacı olan Calvin Fuller ve bir fizikçi olan Gerald Pearson yarı iletkenlerin özelliklerini kontrol etme üzerinde çalışmaktadırlar. Pearson silisyumu lityuma sokarak bir p-n eklem oluşturur. Daha sonra silisyum parçasına ampermetre bağlayıp, ışıkla aydınlatır. Ampermetrede bir sapma gözlenir [10].

Bu üç bilim adamı birkaç ay boyunca silisyum güneş gözelerinin özelliklerini arttırmak için çalışır. Bir problem silisyum güneş gözeleriyle iyi elektrik kontak yapmadaki zorluktur. Bir başka problem oda sıcaklığında lityumun silisyuma doğru göç etmesidir çünkü bu yüzden p-n eklem gelen güneş ışığından daha uzağa hareket etmektedir. Bu problemi çözmek için farklı safsızlıklar denerler ve en sonunda yüzeyin yanında sabit kalan bir p-n eklem üreten, arsenik ve borona karar verirler. Aynı zamanda bor-arsenik silisyum güneş gözeleriyle iyi kontak oluşturulabildiğini de bulurlar. Dizaynında bazı değişiklikleri yaptıktan sonra güneş gözelerinin birkaç tanesini birbirine bağlayarak “solar battery” adını verdikleri güneş gözesini elde ederler [10].



Şekil 1.2 Bell Laboratuvarları’nda geliştirilen ve enerjisiyle resimdeki oyuncak dönme dolabı çeviren ilk silisyum güneş gözesi [10].

25 Nisan 1954 yılında Bell Laboratuvarları New Jersey’de bu yeni keşfi anons eder. Bu güneş gözeleriyle ilk olarak, oyuncak bir dönme dolap ve radyo vericisi çalıştırılır. Şekil 1.2’de oyuncak dönme dolabı döndüren ilk silisyum güneş gözesi görülmektedir. Bu ilk silisyum güneş gözesi %6 verimle güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmektedir [10].

Başlangıçta bu yeni icada ilgi büyük olur ama yatırımcılar bu yeni teknolojiyi üretmenin maliyetini öğrenince, ilgi birden kesilir. Fakat daha sonra uzay çalışmaları için güneş gözelerinin uygun olduğuna karar verilir. Uydu iletişim ekipmanları için uzun süreli enerji kaynağı olabilecek, nispeten hafif ve güvenilir olma özelliğini taşıyan güneş gözeleri, kullanılacağı amaca birebir uygunluk gösterir. Uzay araştırma merkezi NASA uzunca bir

zaman tek alıcı olur. Uzun yıllar sadece uzay programlarında kullanılan güneş gözeleri 1970'lerde ortaya çıkan petrol kriziyle beraber yatırım için tekrar düşünölmeye başlanır [11].

Şimdilerde güneş endüstrisi ekonomilerde daha büyük paya sahip olmaya başlamıştır. Gelecekte de artan bir ivmeyle büyümeyle devam edeceği öngörülmektedir.

Son yıllarda ticari ortama girmiş olan geleneksel Si (silisyum) güneş gözelerinin yerini alabilecek verimleri aynı ama üretim teknolojileri daha kolay ve daha ucuz olan güneş gözeleri üzerinde de çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bunlar; foto-elektro kimyasal çok kristalli Titanyum Dioksit gözeler, polimer yapıli organik güneş gözeleri ve güneş spektrumunun çeşitli dalga boylarına uyum sağlayacak şekilde üretilebilen enerji band aralığına sahip kuantum güneş gözeleri gibi yeni teknolojiler oluşturulmaktadır [2].

Şimdi ilk güneş gözesi teknolojisi olan inorganik güneş gözeleri ile ilgili bilgi verilecektir.

1.2.2 İnorganik Güneş Gözeleri

Silisyum inorganik güneş göze teknolojisinin temelini oluşturmaktadır. Silisyum, dünyada oksijenden sonra en çok bulunan elementtir ve oksijenle birlikte kuartz veya daha bilinen haliyle kumu oluştururlar. Zehirsiz ve güvenilir olduğu kadar da bol bulunabilen bir malzemedir. Fakat kristal silisyum göze üretimi ileri düzeyde yarı iletken teknolojisidir ve aynı oranda pahalı bir teknolojidir. Si göze üretiminin maliyeti, modül üretiminin %50'sine eşdeğerdur (Zafer, 2006). İnorganik güneş gözelerinin maliyetlerinin yüksek olmasının başlıca sebebi bu üretim aşamasıdır.

Günümüzde farklı malzemelerin de kullanıldığı, çok çeşitli inorganik güneş gözesi modülleri üretilmektedir. Bu gözelerin kimisinde maliyetlerin düşürölmesi hedeflenirken, kimisinde maliyetlerin yüksekliğine rağmen verimin yüksekliği hedeflenmiştir.

Kristal Silisyum: Önce büyütölüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen Tek kristal Silisyum bloklardan üretilen güneş gözelerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen Çok kristal Silisyum güneş gözeleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır [2].

Galyum Arsenit (GaAs): Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik

yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarı iletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlili GaAs gözelerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş gözeleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır [2].

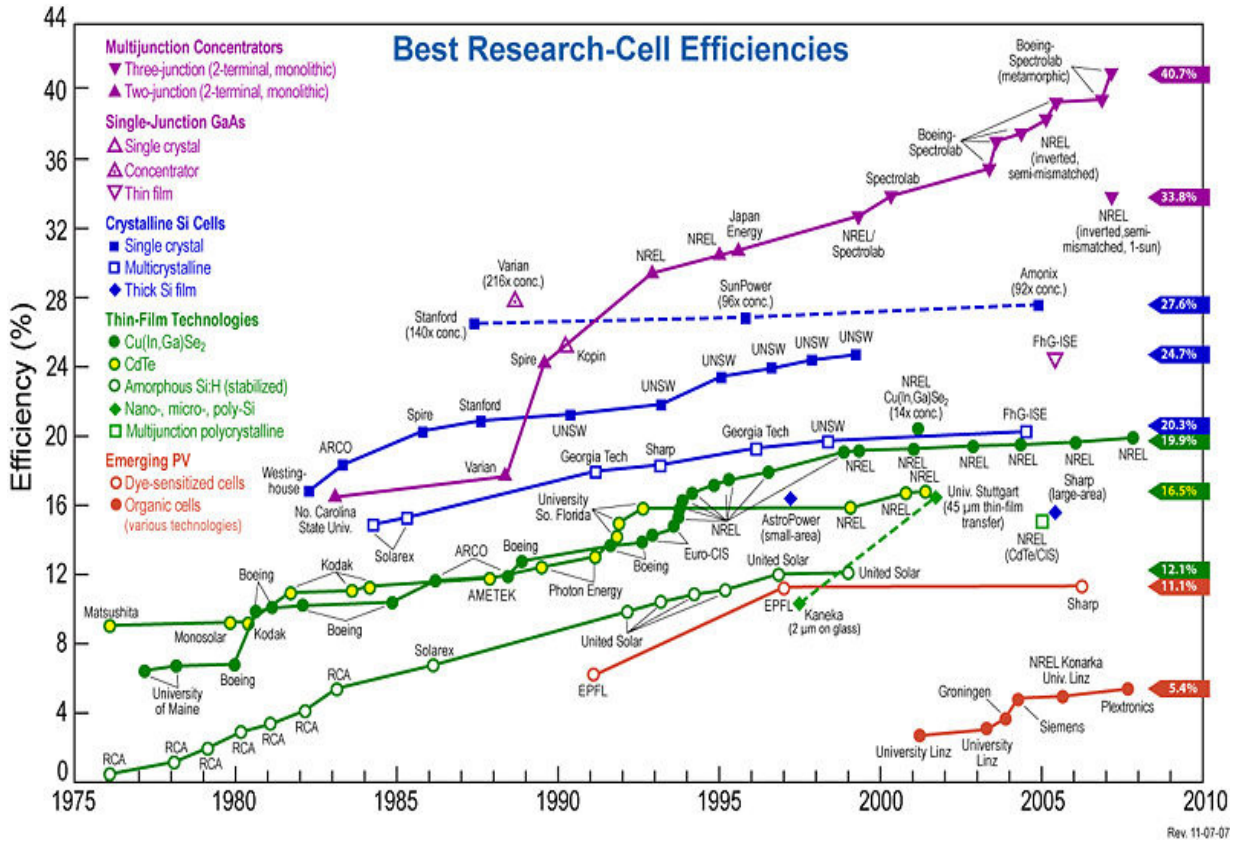
Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si gözelerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesinde. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş gözesinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir [2].

Kadmiyum Tellürid (CdTe): Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş gözesi maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir [2].

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂): Bu çok kristal gözede laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler: Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, göze verimi ise %30'un üzerine çıkarılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır.

Şekil 1.3'de dünyada kullanılan güneş gözesi çeşitleri ve verimleri gösterilmiştir. Günümüzde, üretim ve dizayn maliyetleri gittikçe düşen, inorganik güneş gözeleri, elektrik üretiminde bir seçenek durumuna gelmişlerdir. Ama yine de ilk kuruluş maliyetinin diğer sistemlere göre yüksek olması, güneş gözeleri üretiminde yeni arayışlara sebep olmuştur. Devam eden çalışmalar sonucu, maliyetleri çok büyük oranda düşüren yeni bir güneş gözesi sistemi icat edilmiştir. Bu yeni nesil güneş gözeleri ise organik güneş gözeleridir [13].



Şekil 1.3 Dünyada kullanılan güneş gözesi çeşitleri ve verimleri [12]

1.2.3 Organik Güneş Gözeleri

Organik güneş gözeleri her ikisi de organik olan iki farklı malzemeden yapılmaktadır. Organik yarı iletkenlerden oluşan plastik güneş gözeleri, başarılı güneş gözesi verimleri göstermişlerdir. Bu yeni nesil malzemelerle üretilen organik güneş gözeleri geleneksel inorganik güneş gözelerine alternatif yöntemler olarak araştırma alanları bulmaktadır. Organik güneş gözeleri çok ucuza ve az enerji gerektiren yüksek basınç teknikleriyle silisyum ve diğer inorganik ince film teknolojilerine kıyasla daha az anapara yatırımı gerektirmektedir [13]. Organik yarı iletken malzemelerle hazırlanan gözeler, esnek altlıklara uygulanabilme kolaylığıyla birlikte, çok geniş alanlarda da rahatlıkla üretilip kullanılabilirler.

Ayrıca, piyasaya girebilmesi için inorganik ince film teknolojilerindeki kadar yüksek verime sahip olması da gerekmemektedir. İnorganik güneş gözelerine kıyasla daha düşük bir verime sahip olmasına rağmen organik güneş gözelerini cazibe merkezi haline getiren şüphesiz düşük maliyetlerdir. Çünkü organik güneş gözeleri, inorganik güneş gözelerine kıyasla ortalama 50 kat daha ucuza ve aynı zamanda daha kolay yöntemler kullanılarak üretilmektedir.

Bu tez çalışmasında yeni konjuge polimerlerle hazırlanan, üretim maliyetleri düşük ve uygulaması kolay olan organik güneş gözelerinin fotovoltatik özellikleri incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Polimerler

“Polimer” kelimesi, Latince çok anlamına gelen “polus” ve parça anlamına gelen “meros” kelimelerinden türetilmiş, “çok parça” anlamına gelen bir kelimedir. Polimerler, bileşim ve yapı bakımından birbirlerinin aynı olan çok sayıda grupların (merlerin) bir araya gelmesi ve kendi aralarında kovalent bağlarla bağlanması ile meydana gelirler. Kimyasal bağlar ile birbirine bağlanarak polimeri oluşturan molekülere “monomer”denir. Monomerler tekrarlanan birim içermezler. Birkaç tane tekrarlanan birim içerenler oligomer ismini alırlar.

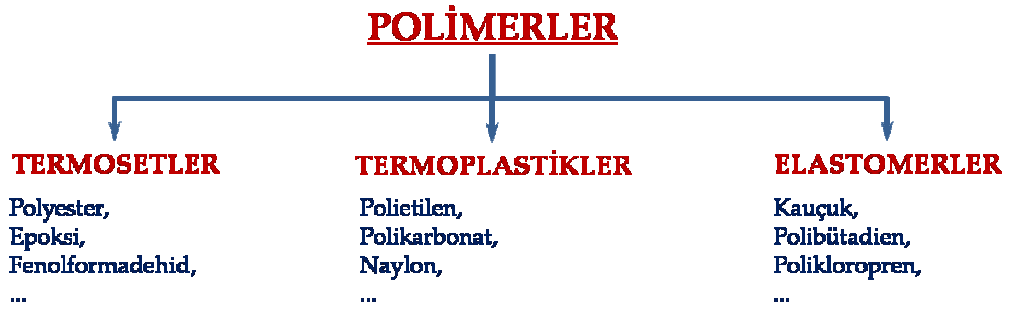
Oligomerler ve monomerler ışığı soğuruyorlar (renkli) ise kromofor olarak adlandırılırlar ve bunlara çözünür ise “boya”, çözünmezler ise “pigment” denir. Uzun tekrarlanan birimler ise polimerleri oluşturur. Polimer oluşturma işlemine de “polimerleşme” denir (Basan, 2001).

Polimer	Monomer	Tekrar Birimi
Polietilen	$2\text{HC}=\text{CH}_2$	$\left(\begin{array}{cc} \text{H}_2 & \text{H}_2 \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \end{array} \right)_n$
Polipropilen	$2\text{HC}=\text{CH}$ $\quad $ $\quad \text{CH}_3$	$\left(\begin{array}{cc} \text{H}_2 & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \end{array} \right)_n$ $\quad \quad \text{CH}_3$
Polistiren	$2\text{HC}=\text{CH}$ $\quad $ $\quad \text{C}_6\text{H}_5$	$\left(\begin{array}{cc} \text{H}_2 & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \end{array} \right)_n$ $\quad \quad \text{C}_6\text{H}_5$

Şekil 2.1 Üç farklı monomerden oluşmuş üç farklı polimer [14].

Yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerin, yani makromoleküllerin varlığı ilk olarak 1920’li yıllarda Hermann Staudinger tarafından öne sürülmüş ve geçen 80 sene içinde polimerler günlük yaşamımızın hemen her safhasında kullanılır hale gelmiştir. Sahip oldukları üstün özellikleri nedeniyle polimerik malzemelerin kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Polimerlerin başlıca avantajları, hafif oluşları, korozyona karşı dayanıklı oluşları ve kolay işlenebilirlikleridir [26].

Polimerleri sınıflandırmada kullanılan evrensel bir sistem henüz bulunmamaktadır. Genel olarak polimerleri sınıflandırmada kullanılan en basit sistem, fiziksel özelliklerine göre sınıflandırma sistemidir. Bu sistemde polimer 3 ana sınıfa ayrılır: Termosetler, Termoplastikler ve Elastomerler. Şekil 2.2’de polimerlerin fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılması gösterilmektedir. Elastomerler, üç boyutlu şebeke yapısı oluşturarak yüksek esneklik gösteren polimerlerden meydana gelirler. Oda sıcaklıklarında göreceli olarak yumuşak ve deforme edilebilirdirler [15]. Termosetler bir kere şekil aldıktan sonra bir daha şekli değiştirilemeyen polimerlere denir. Tekrar tekrar eritilemezler. Eritmek için yeterli ısı verildiğinde şekilleri bir daha geri dönülemez şekilde bozular. Elastomerler gibi üç boyutlu yapıya sahiptirler. Termoplastikler ise sıcaklık yeterince yükseldiğinde erirler, soğutulduğunda ise tekrar eski şeklini alabilirler [16]. Bunlarda moleküller, elastomerlerde ve termosetlerde olduğu gibi üç boyutlu bir yapı teşkil etmezler.



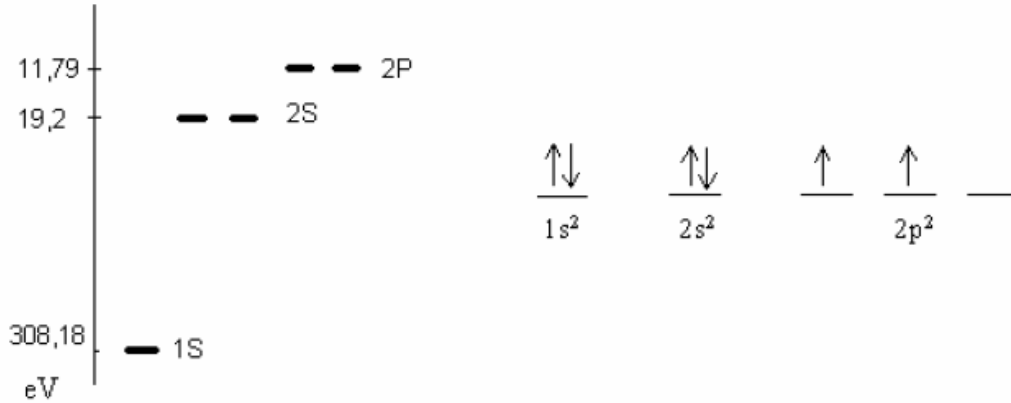
Şekil 2.2 Polimerlerin fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılması [14]

Bunun dışında polimerler kaynağına, yapılarına, makro molekül zincir şekillerine, uzaydaki yapılarına, sentez yöntemlerine, monomer çeşitlerine göre çok çeşitli sınıflandırmalara dahil edilebilir [14].

Polimerler, yüksek molekül ağırlıklı ve ana zinciri karbon atomlarından oluşmuş organik bileşiklerdir (Basan, 2001).

Karbon atomu polimerler için vazgeçilmez bir atom olduğundan bu atomun neden özel olduğuna bakalım:

C atomu 6 elektrona sahiptir. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi değerlik elektronu sayısı 4’tür.



Şekil 2.3 C atomu için temel enerji seviyeleri (Tüzün, 2005).

Bir atomun bağ yapabilmesi, en dış kabuğundaki elektronlarla (valans elektronlar) ilgilidir. Buradan da görüldüğü gibi karbon atomunun valans elektron (en dış elektron kabuğundaki elektronlar) sayısı 4 tür (2 tane 2s ve 2 tane 2p elektronları). Burada 1s orbitali çekirdeğe yakın olan iç kısımda kaldığından, bu orbitaldeki elektronlar bağ oluşumunda yer almazlar. 2p orbitalindeki elektronlar eşlenmemiş (yarı dolu) durumdadır. C atomunun 2 bağ yapabileceği görülür. Bağ yaparken enerji verildiğine ve atomlar daha kararlı hale geçtiğine göre C atomu da ikiden daha fazla bağ yapmak için 2s orbitallerindeki elektronlarını 2p’deki boş enerji seviyelerine geçirerek kullanabilir (Tüzün, 2005).

Bir elektronun başka bir orbitale geçerek enerjileri birbiriyle aynı olan elektronlar haline gelmelerine hibritleşme ve bunun sonucu oluşan yeni enerji orbitallerine de hibrit orbitalleri denir. Hibritleşme sonucu oluşan bağ sigma (σ) bağıdır. Hibritleşmeye uğramayan elektron ise, sigma bağından daha kararsız olan pi (π) bağı yapar.

Karbon atomları sp^3 , sp^2 ve sp hibritleşmeleri yaparlar. Eğer bir s elektronu p orbitaline geçer ve 4 tane eş enerjili elektron haline gelirlerse bu hibritleşme sp^3 hibritleşmesi olur. Sp^3

hibritleşmesi sonucu doymuş hidrokarbonlar oluşur. Alkanlar bu hibritleşme ile oluşurlar ve çok kararlı moleküllerdir. Eğer elektronların birisi p orbitalinde sabit kalıyor ve diğer üçü eşit enerji seviyeli yeni bir orbitale yerleşiyorsa bu da sp^2 hibritleşmesi olur. Alkenler bu hibritleşme ile oluşurlar. Sadece iki elektron eşit enerjili orbitale yerleşirse sp hibritleşmesi olur. İki pi (π) bağı yapabilen alkinler bu hibritleşme ile oluşurlar (Tüzün, 2005).

Organik bileşikler kovalent bağlı bileşiklerdir ve bundan beklenen özellikleri gösterirler. Birinci erime noktaları fazla yüksek değildir, genelde 300°C 'nin altındadır. – OH, –COOH, –NH₂ gibi hidrofil grup içermeyenler suda çözünmezler, ama eter, benzen, kloroform, karbonditetraklorür gibi hidrofob nitelikte olan organik çözücülerde çözünürler. Sayıları onun altında olan kimi organik bileşikler dışarıda tutulursa, bütün organik bileşiklerde C-H bağı bulunur. H elementi de C gibi, organik kimyanın vazgeçilmez bir elementidir. C-H bağının elektronlarını “verme” eğiliminde olmasından dolayı, organik bileşikler indirgendir ve de göreceli olarak düşük aktivasyon enerjisiyle bu elektronları oksijene aktarabildiklerinden dolayı yanıcıdırlar (Tüzün, 2005).

2.2 Konjuge Polimerler

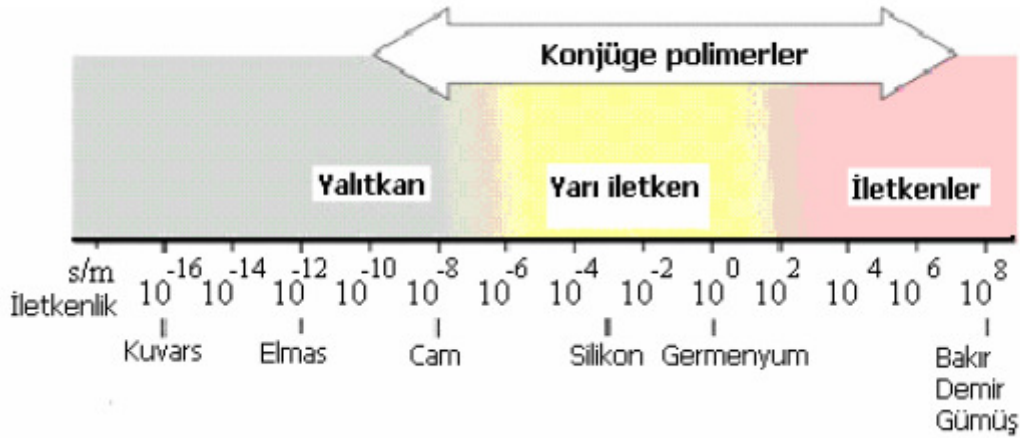
Yıllarca polimerler –diğer adıyla plastikler- metallerin zıddı olarak bilindi. Onların yalıtkan olduğu ve bu sebepten dolayı da elektrik iletmediklerine inanıldı. Elektrik telleri, canlıları ve ve onları temas halinde meydana gelebilecek kısa devrelerden korumak için çok iyi derecede yalıtkan olduğu bilinen polimerlerle kaplandı. Polimerlerin yalıtkan olma özellikleri elektronik teknolojisinde çok yaygın olarak kullanıldı. Fakat 3 bilim adamı Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid ve Hideki Shirakawa polimerlere bakışı yaptıkları büyük keşifle değiştirdiler. Onların keşfine göre yine bir polimer olan poliasetilen neredeyse bir metal kadar iletken hale getirilmiştir. Bu bilim adamları devrim niteliğindeki bu buluşları ve polimerlerle ilgili sonraki çalışmalarından dolayı Nobel 2000 kimya ödülüne layık görülmüşlerdir [17]. Şekil 2.4’de ilk iletken polimerlere ait bir bilgisayar grafiği görülmektedir.



Şekil 2.4 İlk iletken polimerlere ait bir bilgisayar grafiği [18]

Poliasetilen, Shirakawa ve arkadaşları tarafından 1974 te, Ziegler Natta (K. Ziegler ve G. Nata; Nobel 1966 kimya ödülü) katalizini kullanarak, asetilenden gümüş renkli, parlak görünümlü bir film hazırlayana kadar siyah bir toz olarak bilinirdi. Fakat o metalik görünümüne rağmen henüz bir iletken değildi. Bununla birlikte, 1977’de, Shirakawa, MacDiarmid ve Heeger klor (chlorine) brom (bromine) veya iyot (iodine) buharı ile yükseltgenme (oxidation) yaptırdıkları polimer filmlerinin, orjinal hallerinden, 109 kez daha iletken olduklarını buldular (Shirakawa vd., 1977).

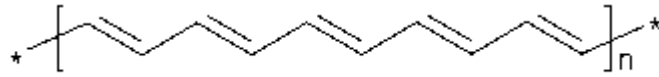
Konjuge polimerler, iletkenlik bakımından, daha çok yarı iletkenler ile uyumaktadırlar. Şekil 2.5’de bu yeni nesil polimerlerde iletkenliğin maddelere göre nasıl değiştiği görülmektedir.



Şekil 2.5 iletkenliğin maddelere göre değişimi [17]

2.2.1 Konjüge Polimerlerin Yapısal Özellikleri

İletken polimerler olarak da bilinen konjüge polimerler, polimerin omurgasındaki birbiri ardına gelen bağların bir tek, bir çift sıralanması özelliğiyle diğer polimerlerden ayrılır. Şekil 2.6'da konjüge bir polimer olan asetilenin zincir formülü görülmektedir.



Şekil 2.6 Poliasetilenin zincir formülü

Tek bağlar sigma (σ) bağı, çift bağlar ise hem sigma (σ), hem pi (π) bağı içerir. Bütün konjüge polimerlerin omurgası sp^2 hibridizasyonu yapan, merkez karbon atomlarından oluşur. C atomlarının üzerindeki düzlemin dışında kalan p_z orbitalleri, (π) bağları oluşturmak üzere, komşu p_z orbitalleri ile çakışır (Skotheim, 1986).

Konjüge polimerlerin kimyasal yapısı, arka arkaya gelen bağların bir tek bir çift olarak ilerlemesi olarak temsil edilse de gerçekte, pi (π) bağlarını oluşturan elektronlar bütün molekül boyunca delokalize olarak tanımlanır.

İnorganik yarı iletkenler için gelen fotondan yük üretilme mekanizması çok iyi kurulmuştur. İdeal yarı iletken için elektronik yapı valans bandı ve iletim bandından oluşur. Valans bandı ve iletim bandı her malzemeye göre değişen bir enerji aralığı ile birbirinden ayrılır. Bu yüzden

gelen foton elektronu valans bandından iletim bandına doğru uyarabilir. Sonuçta valans bandında geriye bir boşluk (hol) kalır. Delik basitçe boş elektronik durum olmasına rağmen, bağımsız pozitif yük gibi davranır (Singh,1995). İletken polimerler de yarı iletkenler gibi davranır. Onların elektronik özellikleri de inorganik yarı iletkenlerin özelliklerine benzer.

Konjuge polimerlerdeki yük iletim mekanizması inorganik yarı iletkenlerin yük iletim mekanizmasından daha komplekstir. Organik yarı iletkenler aşağıdaki önemli yönlerden inorganik yarı iletkenlerden ayrılır (Nelson, 2002).

1. Üretilmiş eksitonlar birbirine coulombik olarak bağlıdır ve kendiliğinden birbirinden ayrılmış yük haline gelmezler.
2. Yük taşınması düşük mobiliteye sebep olan band içi taşınmadan ziyade, indüklenmiş düzensiz lokalize durumlar arasında sıçrama (hopping) ile gerçekleşir.
3. Optik soğurmanın spektral dağılımı solar emisyon dağılımına nazaran daha dardır.
4. Bir boyutlu yarı iletkenler gibi, elektronik ve optik özellikleri anizotropik olabilir.

İlk iki özellik inorganik kristallerdeki bağlardan ve molekül içi bağlardan daha zayıf olan moleküllerarası organik katılardaki Van Der Waals kuvvetlerinden ortaya çıkar. Optik uyarılmalarla π den π^* 'a geçişler elde edilebilir. Düşük yük taşıma mobilitesi yapısal düzensizlikle bağlantılıdır. Bununla birlikte soğurma genişliği konjugasyonun seviyesine dayanır. Ayrıca konjuge boya molekülleriyle farklı spektral hassasiyetler elde edilebilir (Nelson, 2002).

Daha önce bahsedildiği gibi iletken bir polimerin temel özelliği, polimerin omurgası (ana zincir) boyunca konjuge (ardışık sıralanmış) çift bağların olmasıdır. Konjugasyonda, karbon atomları arasındaki bağlar birbiri ardı sıra değişen tek ve çift bağlar şeklinde dizilmişlerdir. Her bir bağ kuvvetli bir kimyasal bağ olan sigma (σ) bağı içerir. İlaveeten, her çift bağda daha zayıf (%30) ve daha az lokalize olmuş bir pi (π) bağı vardır. Bunlara rağmen, konjugasyon, polimer maddeyi iletken yapmak için yeterli değildir. Fakat bunlara katkı maddeleri girtililerek iletkenliği arttırılabilir. Katkı maddelerinin yaptığı şey malzeme içersinde elektron ve “delik” lerin sayısını arttırmaktır. Bir elektron eksikliğinin olduğu konuma bir delik denir. Böyle bir “delik” komşu bir konumdan atlayan bir elektronla doldurulduğunda yeni bir delik oluşturulur ve bunun böyle devam etmesiyle yükün uzun bir mesafeye göç etmesi sağlanır.

2.2.2 Konjuge Polimerlerin İletkenlik Mekanizması

Konjuge polimer kavramı; kendi örgüsü içindeki elektronlarla yeterli düzeyde elektrik iletkenliği sağlayan polimerler için kullanılır. Bu bir elektronik iletkenliktir. Elektronik iletkenliğin mekanizması kesin aydınlatılamamış olmakla birlikte, açıklamaya yönelik kabul edilen yaklaşımların önde geleni band kuramıdır.

Buna göre; bir elektronlu iki atomdan oluşmuş en basit bir molekülde bile bağ oluşumu sırasında yeni iki enerji düzeyi ya da orbitali ortaya çıkar. Elektronların bulunduğu bağ enerji düzeyi (bonding) π orbitali olarak adlandırılırken boş olan anti bağ (antibonding) düzeyi π^* olarak adlandırılır. Yapıya katılan her bir atoma göre molekülün elektronik yapısına yeni bir bağ ve anti bağ enerji düzeyleri eklenecektir. Karmaşık moleküller arasındaki bağ oluşumu aynı şekilde açıklanabilir. Ancak molekül büyüklüğü arttıkça bağ orbitallerinin de sayısı artarak aralarındaki enerji farkı azaldığından enerji düzeyleri yerine bir enerji bandı oluşur ki buna bağ bandı (valans bandı) denilir. Buna benzer şekilde sayıları sonsuza yaklaşan anti bağ orbitalleri de bir karşı enerji bandı oluşturur (iletkenlik bandı) (Zafer, 2006). İki band sınırları arasındaki enerji farkı konjuge polimerin optik özelliklerini belirleyen bant aralığını oluşturur.

İletkenlik; bağ bandında veya eşikte yeni bir enerji düzeyinde bulunan çiftleşmemiş elektronların ortama göre hareketine bağlıdır. Yeterli enerji verilerek belli bir yöne akması sağlanırsa en üst düzeydeki elektronların bağ eşiğini geçerek iletkenlik bandının en alt düzeyine yerleşmesi şeklindeki hareket iletkenliği oluşturacaktır (Oğuz, 2005).

Birçok organik malzemenin optik band genişliği 2 eV civarında olduğundan, asal yük taşıyıcı konsantrasyonları oldukça düşüktür. Optik bant genişliğinin büyük olması, yüksek düzeyde iletkenliğe engel olmaktadır. Düzensizlikten dolayı ve elektronik dalga fonksiyonları sınırlı olarak çakıştığından (Van der Waals etkileşimleri), yük taşıyıcı mobiliteleri de oldukça düşüktür. Konjuge polimerlerde iletkenliği sağlamak ya da arttırmak için katkılama (doping) işlemi yapılmaktadır (Chamberlain, 1983; Hiramoto vd., 1990; Wohrle ve Meissner, 1991).

2.2.2.1 Katkılama (Doping)

Bir konjuge polimerin elektriksel iletkenliği, yalıtkan veya yarı iletkenlik değerlerinden (10^{-10} – 10^{-5} S cm⁻¹), metalik iletkenlik değerlerine ($1 - 10^4$ S cm⁻¹) kadar arttırılabilir. Polimerin

elektriksel iletkenliğinin artırılması, katkılama olarak da bilinen bir safsızlığın zincire katılması ile gerçekleşir. Yani, bir indirgendan polimere veya bir polimerden yükseltgene elektron ilavesi (redoks yöntemi) sonucu katkılama işlemi gerçekleşir (MacDiarmid ve Heeger, 1979; Kanatzidis, 1990). Katkılama işlemi, genellikle polimer zincirinin kimyasal yapısını değiştirmeyen tersinir bir işlemdir. İletken polimerler ya kimyasal ya da elektrokimyasal yolla katkılanırlar. Kimyasal yolla katkılama, uygun bir yükseltgen veya indirgenin polimerle reaksiyonu sonucu meydana gelir. Elektrokimyasal yolla katkılama ise polimer filminin bir çözelti içinde, uygun potansiyele taranması ile yapılır (MacDiarmid, 2001; Malinauskas, 2001).

Elektrokimyasal katkılama, katkılama yönteminin kontrol edilmesi için en uygun yoldur. Elektrokimyasal katkılama işleminde, elektrot, konjuge polimerden elektron alır veya polimere elektron verir ve aynı zamanda yük dengesi için, elektrolit içindeki karşıt iyonlar da polimer zincirine difuze olurlar (MacDiarmid ve Heeger, 1979).

Donor tipli malzemeler oksijene veya iyodin gibi diğer katkı etkilerine maruz kaldıkları zaman katkılama etkisi gösterirler (Chamberlain, 1983; Hiramoto vd., 1990; Wöhrle ve Meissner, 1991). N tipli katkılamaya örnek, perilenin hidrojene maruz bırakılarak katkılanmasıdır (Hiramoto vd., 1990). Bu katkılama etkilerinden dolayı önceden oldukça yalıtkan olan malzemeler serbest yük taşıyıcılarına sahip olabilirler (Lane vd., 2000; Rostalski ve Meissner, 2000).

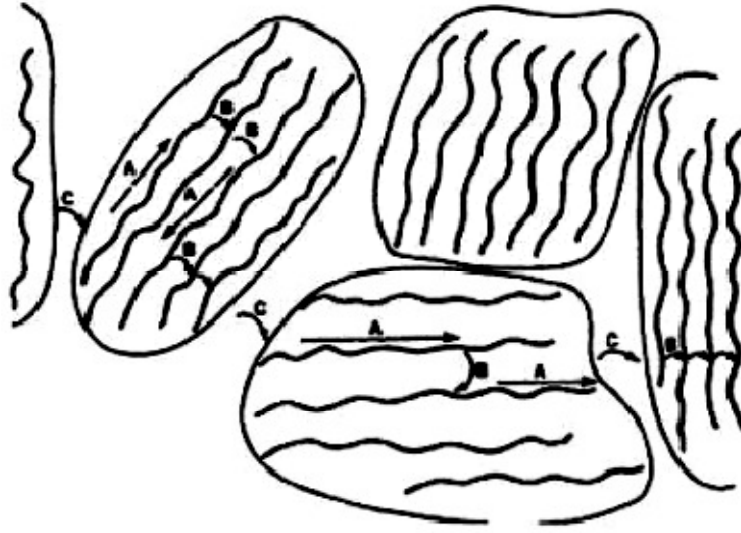
Bununla birlikte gazlarla katkı yapmak pek kontrollü değildir. İki malzemenin aynı anda buharlaştırılmasıyla yapılan katkılama daha kontrollü bir yol olarak bulunmuştur (Pfeiffer vd., 2000; Aernouts vd., 2002).

2.2.2.2 Sıçrama (Hopping)

Konjuge polimerlerin, iletkenlik mekanizmasını anlamak ve karakterize etmek uzun zaman almıştır. İletkenliğin açıklanmasının zor olmasının en büyük nedeni, yük taşıyıcılarının hareketidir. Katkılama işleminde potansiyel yük taşıyıcıları meydana gelir ancak onların iletkenliğe katkı sağlaması için hareketli olmaları zorunludur (Koyuncu, 2008).

Elektriksel yüklerin zincir boyunca hareketi, ya zincir içi (aynı zincir boyunca) taşınma ya da bir zincirden diğerine sıçrama yolu ile taşınma (zincirler arası) şeklinde olabilir. Zincir boyunca taşınma polimerin konjügasyon derecesine bağlı iken, zincirler arası taşınma polimer

zincirlerinin birbirine yakın olmasına bağlıdır. İletkenlik, sadece zincir boyunca yük taşınmasının bir sonucu değildir, aynı zamanda, aynı zincirin konjuge kısımları arasında elektronların sıçraması ile de meydana gelir. Şekil 2.7’de konjuge polimerlerde yük taşıyıcılarının transferi görülmektedir (Koyuncu, 2008).



Şekil 2.7 Konjuge polimerlerde yük taşıyıcılarının transferi (Koyuncu, 2008).

2.3 Konjuge Polimerlerin Kullanım Alanları

Poliasetilen, politiyofen, poliindol, polipirol, polianilin, gibi pek çok iletken polimer şarj edilebilir bataryalar için elektrot materyali olarak kullanılmıştır. Bilim insanları beyine ilaç salım sistemi olarak bir nörotransmitterde polipirol filmlerini kullanmışlardır. Elektronik ve fotonikler (lineer olmayan optikler) alanında iletken polimerler için potansiyel çok büyüktür ve diyotlar, kapasitörler, alan etkili transistörler ve baskı devrelerin üretiminde kullanılmışlardır. Polianilin 4 MB’lık barium ferrit disketin anti statik kaplaması için Hitachi_Maxell tarafından kullanılmıştır (Gerard vd., 2002).

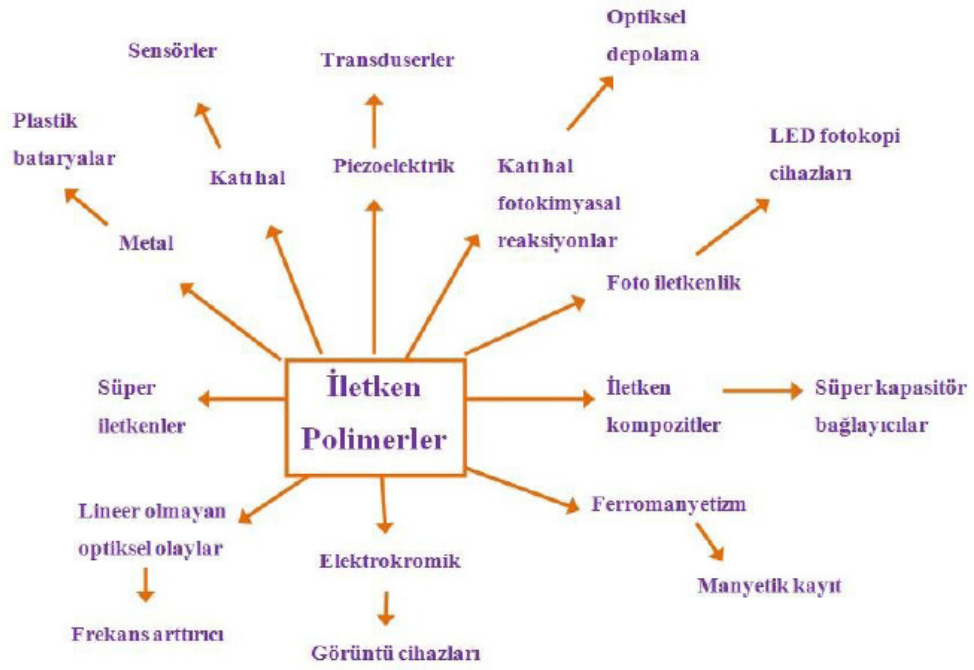
Katkılanmış polianilin, politiyofen ve türevleri statik dağılma ve elektromanyetik koruma için kullanılmıştır. Poliasetilen, polipirol ve polianilin içeren konjuge polimerler yığın iletkenlik ve fotoiletkenlikleri nedeniyle şarj edilebilir bataryalar, sensörler, yapay erişim düzenekleri ve foto dedektörlerde kullanılmaktadır. Ek olarak elektrokromik görüntü cihazları, metallerin korozyondan korunması, kaynak materyalleri, protein ya da gaz ayırma için polianilin ve polipirol gibi bazı konjuge polimerlerin potansiyel uygulamaları geliştirilmektedir. Bu alanda

diğer yeni heyecan verici gelişmeler doğrusal olmayan optik cihazlar (NLO)'da konjuge polimer kullanımı, plastik transistörler, ışık yayan diyotlar (LED'ler) ve polimerik lazer sistemleridir (Dai, 1999).

Bir başka uygulama alanı ise kontrollü ilaç salınımıdır. İletken polimerler antenlerde, Salisbury ekranları, kamuflaj ve diğer koruyucu tip cihazlarda radar soğurucuları olarak askeri alanda ilgi çekmektedir (Mohd vd., 2007).

Konjuge polimerler oksidasyon (doping) sırasında şişme özelliği gösterirler. Farklı iyonların polimerlerin yapısına dahil olmasıyla polimerlerin iskeletinde yapısal değişiklikler meydana gelebilmekte ve hacmi bazı durumlarda %30'lara kadar artabilmektedir. Böyle elektromekaniksel özellikler polimer esaslı yapay kasların üretilmesine olanak sağlar. Polipirol esaslı bir yapay kas üretilmiştir.

Konjuge polimerlerin teknik önemi büyük olan bir uygulama alanı da spektroskopik cihazlarda elektromanyetik girişimi perdeleme etkisini önleme amacıyla kullanılmalarıdır. Polianilin, polipirol, politiyofen ve türevleri bu alanda en çok kullanılan konjuge polimerlerdir. Polivinilklorür, polivinilasetat ya da başka bazı çok bilinen polimerik materyallerde, karbon siyahı yerine dolgu maddesi olarak kullanılmaları üzerinde düşünülmektedir. Bir diğer örnek uygulama da sub-mikron düzeyde ve yüksek çözünürlükte direkt yazı yazma metodu olan elektron demeti litografi tekniği için yük dağıtıcı olarak kullanılmalarıdır. IBM tarafından polianilinin bu amaçla kullanıldığı bilinmektedir (Başbilen, 2006). Şekil 2.8'de iletken polimerlerin kullanım alanları bir tablo halinde gösterilmektedir.



Şekil 2.8 İletken polimerlerin kullanım alanları (Kumar ve Sharma, 1998)

Konjuge polimerler ayrıca sensörler, biyo sensörler, organik ledler, organik güneş gözeleri ve korozyon koruyucu malzemeler gibi çok farklı yerlerde kullanım alanı bulmaktadır (Wallace vd., 2000).

Konjuge polimerlerin güneş gözelerinde kullanılarak organik güneş gözelerinin üretilmesi, güneş gözesi teknolojisinde büyük bir adım olmuştur.

3. ORGANİK GÜNEŞ GÖZELERİ

3.1 Giriş

Konjuge polimer/fulleren güneş gözeleri, çözünebilir poli (para-phenylenevinylene) (PPV) türevi olan MEH-PPV ve C₆₀ buckminsterfulleren arasında ışıkla uyarılmış elektron transferi varlığının keşfi ile doğdu (Sarıçiftçi vd., 1992). İlk iki katlı devreler güneş enerji dönüşüm prensiplerinin göstergesi oldu (Sarıçiftçi vd., 1993). Hacim heteroeklemlı yapıların girişıyle birlikte organik güneş gözelerinin kuantum verimi büyük bir oranda arttı (Yu ve Heeger, 1995; Halls vd., 1995; Hoppe ve Sarıçiftçi, 2005).

30 seneden fazla bir süredir organik fotovoltaiıkların performansını arttırmak için çok büyük bilimsel çalışmalar yapıldı. Bu çalışmalar küçük organik moleküllerin (pigmentler) kullanılmasıyla başladı. Bu çalışmaları yarı iletken polimerlerin organik güneş gözelerinde kullanılması izledi. Yarı iletken polimerlerin kullanılması organik güneş gözelerinde dikkate değer bir ilerleme olmasını sağladı (Brabec vd., 2001; Halls ve Friend, 2001; Brabec vd., 2003) (Winder ve Sarıçiftçi, 2004)). Avrupa’da ilk defa Johannes Kepler Üniversitesi Organik Güneş Gözeleri Enstitüsü’nde (LIOS) Prof. Dr. N. Serdar Sarıçiftçi tarafından ITO/PEDOT:PSS/MDMO-PPV:PCBM(1:4)/LiF/Al sistemi ile %2,5 verim rapor edilmiştir. Bu verim daha sonra %3,5’e kadar yükseltilmiştir (Brabec vd., 2001a).

Organik yarı iletken malzemelerin elektrik akımını taşımaları ve güneş spektrumunun UV-görünür bölgesinde ışık soğurma potansiyeli karbon atomlarının sp^2 hibritleşmesi yapmasından ileri gelir. Örneğin konjuge polimerlerde, her sp^2 hibritleşmesini yapmış karbon atomlarının p_z orbitalindeki elektronları komşu p_z elektronlarıyla π bağı kurarlar. Sp^2 hibritleşmesi yapmış karbon atomlarının lineer zincirdeki elektronları dimerizasyon yapar. (arka arkaya gelen bir tek bir çift bağ yapısı, Peierls bozulması)

Organik yarı iletkenlerin inorganik yarı iletkenlerden farkı inorganiklere nazaran daha düşük olan yük taşıma mobiliteleridir. Bu özellikleri, organik güneş gözelerinin devre dizaynında ve verimlerini etkilemede büyük rol oynamıştır (Dimitrakopoulos ve Mascaro, 2001). Bununla birlikte organik yarı iletkenler yüksek soğurma katsayısına sahip olabilir ve bu genellikle $>10^5 \text{cm}^{-1}$ ‘dir. Soğurma katsayısının yüksek olması 100 nm’lik film kalınlıklarında bile organik yarı iletkenlerin yüksek soğurma göstermesini sağlamaktadır. Bu da düşük mobiliteden kaynaklanan dezavantajın dengelenmesini sağlamaktadır. Bir diğer inorganik yarı

iletkenlerle organik yarı iletkenler arasındaki fark, inorganik yarı iletkenlerin amorf ya da düzensiz organik malzemelere nazaran eksitonlarının küçük difüzyon uzaklığına sahip olmasıdır (Halls vd., 1996; Peumans vd., 2003; Kroeze vd., 2003). Bu eksitonlar, güneş enerji dönüşüm prosesinde önemli araçlardır. Genellikle onları ayırıp serbest yük taşıyıcıları haline getirmek için güçlü elektrik alanlar gerekir. Bunun sebebi organik yarı iletkenlerin eksiton bağlanma enerjilerinin, inorganiklere kıyasla çok yüksek olmasıdır (Sarıçiftçi, 1997; Gregg ve Hanna, 2003). Organik yarı iletkenlerin bu özellikleri yapılan aygıtların kalınlıklarının çok küçük olmasına sebep olmuştur.

Organik yarı iletkenlerin büyük bir kısmı delik iletkenidir. Bant aralıkları da 2 eV civarındadır. Bu silisyumun 1.1 eV olan bant aralığından oldukça büyüktür ve güneş tayfının soğurulmasını önemli ölçüde kısıtlar. Buna rağmen kimyasal sentez aracılığıyla üzerlerinde farklı modifikasyonlara gitmek oldukça kolaydır. Bu kimyasal esneklikleri düşük maliyet, büyük alanlarda uygulama kolaylığıyla birleşince bu alanda akademik ve endüstriyel alanda çalışmalar yapılması çok cazip hale gelmiştir.

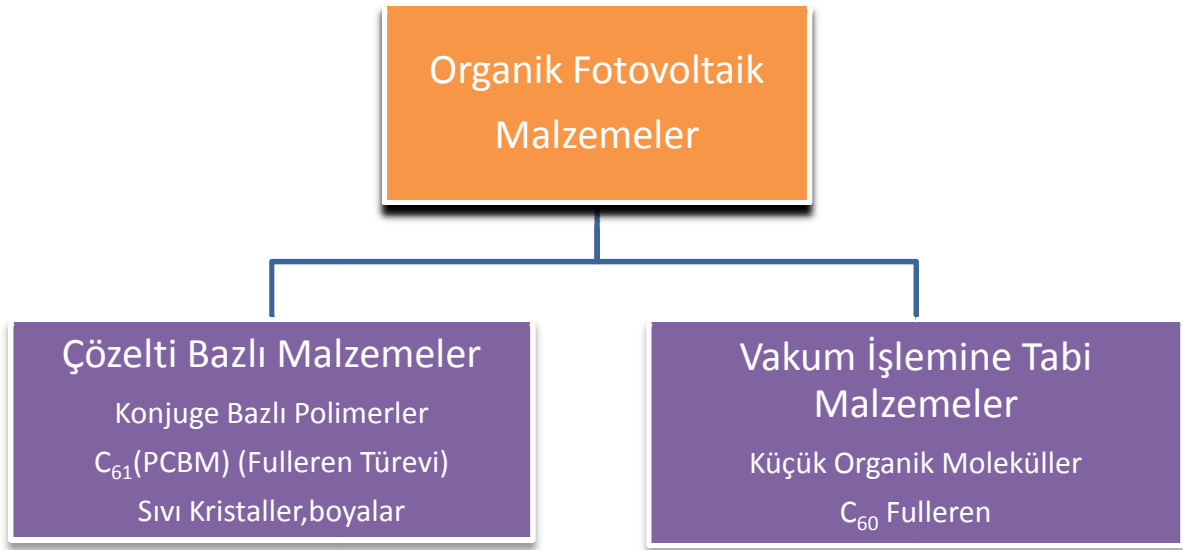
Organik yarı iletkenlerin bir kullanım alanı olan organik güneş gözeleri de hafiflikleri, esneklikleri ve maliyetlerinin düşük olması yanında yüksek güç-ağırlık oranları sayesinde bilim adamları ve teknoloji için oldukça caziptir. Bu özellikler organik güneş gözelerinin özellikle taşınabilir malzeme yapımında faydalı olmasını sağlar. Örneğin, cep telefonları, taşınabilir bilgisayarlar, küresel konumlandırma sistemleri, radyolar, taşınabilir lambalar, oyuncaklar için pil şarjlarında kullanılabilmektedirler [19]. Şekil 3.1’de bir MP3 çaları şarj eden bir organik güneş gözesi görülmektedir.



Şekil 3.1 MP3 çaları sarj eden organik güneş gözesi [20]

3.2 Kullanılan Malzemeler

Güneş gözelerinde kullanılan organik malzemeler konjuge polimerleri, boyaları, pigmentleri ve sıvı kristalleri içermektedir. Bunların içerisinde konjuge polimerler, foto fiziksel özellikleri en iyi bilinen ve çalışılan malzemelerdir (Sariciftci vd., 1992). Şekil 3.2’de organik güneş gözelerinde kullanılan malzemeler görülmektedir.



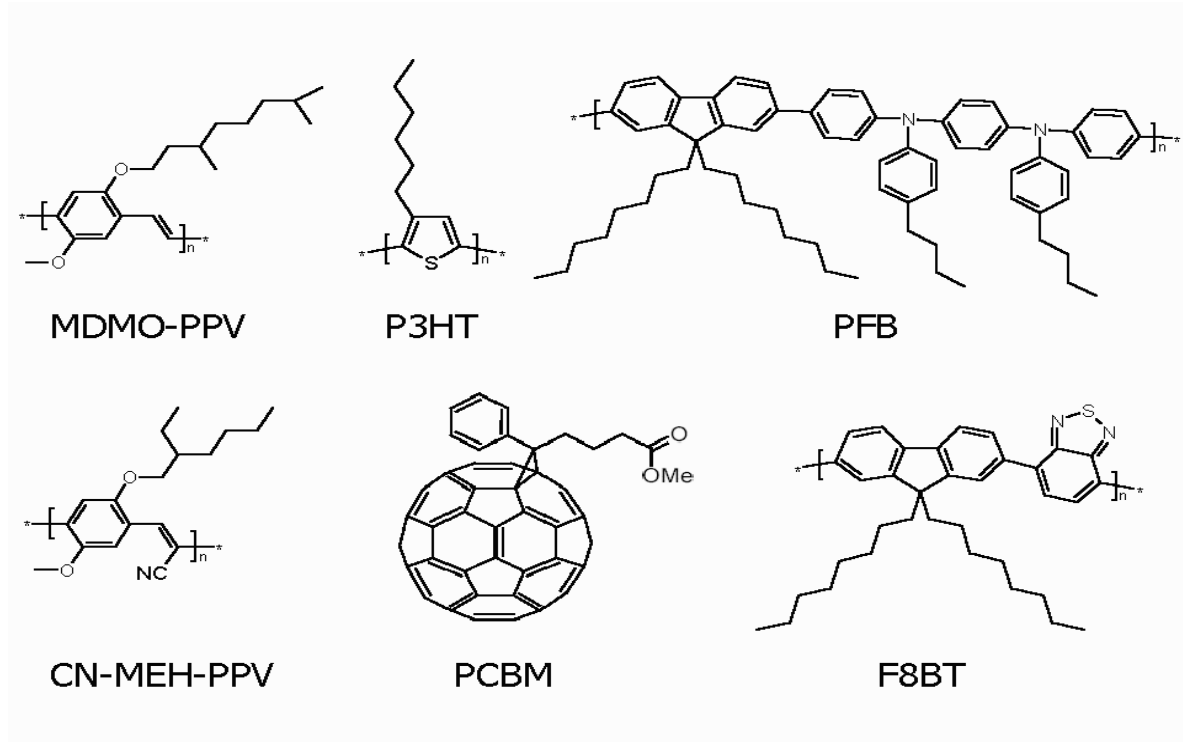
Şekil 3.2 Organik güneş gözelerinde kullanılan malzemeler

Organik güneş gözelerinde kullanılacak organik yarı iletken malzemelerin optik ve elektronik özellikleri konjuge sisteme bağlanacak fonksiyonel gruplar ile istenilen doğrultuda değiştirilebilmektedir. Bu özellikler güneş gözesi veya OLED gibi sistemin çalışması için çok önemlidir. Ancak organik teknolojisinde kullanılacak organik yarı iletkenlerin, işlenebilme gibi “mekanik” özellikleri de çok önemlidir. Örneğin, güneş gözesi hücresinin hazırlanması için süblimleşme yöntemi kullanılacak ise yüksek vakum ve ısı gerekirken çözelti ile hazırlama sürecinde ise oda şartlarında gerçekleştirilebilmektedir.

Bitkiler ışık enerjisini kimyasal enerjiye çevirmek için doğal bir işlem olan fotosentez yaparlar ki bu işlemdeki ilk basamak ışığın klorofil molekülü tarafından soğurulmasıdır. Aynı şekilde klorofil pigmentleri tek katmanlı güneş gözesinde de kullanılmıştır (Tang ve Albrecht, 1975). Işığın soğurulması ve sonrasında ortaya çıkan yük taşıyıcılarından başka güneş göze malzemeleri için ikinci önemli gereksinim de bu yük taşıyıcıların hareket kabiliyetleridir. Her iki özellik de yaygın olarak geniş delokalize pi (π) elektron sistemine sahip malzemelerde bulunmaktadır. Ftalosiyanın p tipli yani elektron verici (donor) olarak çalışan delik iletken malzemelerdendir. Perilen ve onun türevleri ise n tipli yani elektron alıcı olarak çalışan elektron ileten malzemelerdendir. Her iki molekül de vakum süblimleştirme yoluyla elde

edilen güneş gözelerinde sıklıkla kullanılır (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

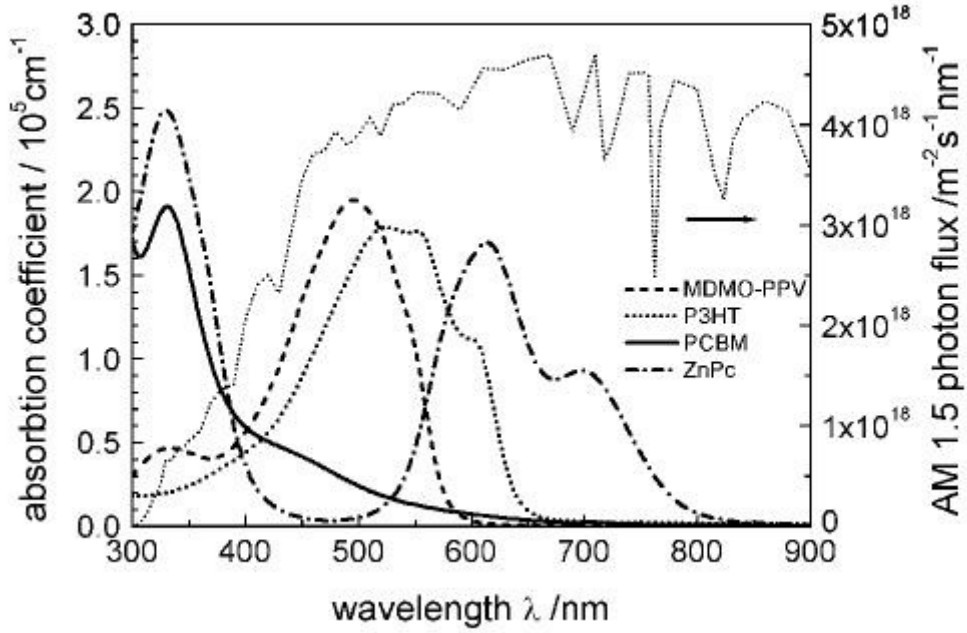
Organik güneş gözelerinde kullanılan bazı moleküler malzemelerin kimyasal yapısı şekil 3.3’de gösterilmiştir. Delik ileten donör tipli polimerlerin en önemli üç temsilcisi MDMO-PPV (poli[2-metoksi-5-(3, 7-dimetiloktiloksi)-1, 4-fenilviniylen]), P3HT (poli(3-hekziltiophen-2, 5-dil) ve PFB (poli (9-9’-dioktilfluoren-co-bis-N-N’-(4-butilfenil)-bis-N-N’-fenil-1, 4-fenilendiamin)dir. Bunlar, CN-MEH-PPV (poli-[2-metoksi-5-(2’-etilhekziloksi)-1, 4-(1-siyanovinilen)-fenilen) ve F8TB (poli(9, 9’-dioktilfluoreneko-benzotiadiazol) gibi elektron ileten akseptör polimerlerle ve PCBM (1-(3-metoksikarbonil) propil-1-fenil [6, 6]C₆₁) olarak adlandırılan çözünebilir C₆₀ türeviyle birlikte gösterilmişlerdir. Yan zincir çözünebilirliklerinden dolayı bu malzemeler çözelti bazlıdır ve polimerler de foto ve elektroluminesens özelliği göstermektedirler (Burroughes vd., 1990; Braun ve Heeger, 1991; Shinar, 2004). Donor-akseptör güneş gözelerinin oluşturulabilmesi için, donör tipli polimerler akseptör tipli polimerlerle veya fullerenlerle bir araya getirilebilir.



Şekil 3.3 Organik güneş gözelerinde kullanılan birkaç tane konjuge polimer ve fulleren türevinin kimyasal yapısı (Hoppe, 2004)

Bu malzemelerde enerji dönüşümüne katılan güneş ışığı kesrini gösterebilmek için, bazı malzemelerin filmlerinin soğurma katsayıları, hava kütlesi (AM) 1.5 standart güneş

spektrumuna kıyasla Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Genel olarak kullanılan malzemelerin soğurma katsayıları ile standart hava kütlesi (Air Mass/AM) 1.5 doğal güneş spektrumunun kıyaslaması (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004)

Organik güneş gözelerinde organik aktif tabakayı oluşturan malzemeler dışında, saydam elektrot olarak, (ITO) denilen indiyum kalay oksit kullanılmaktadır. ITO’nun en temel özelliği ışığın devreden geçmesine izin vermesidir. Bununla birlikte oksijenle birlikte kalayın da organik tabakaya geçmesinden, mavi bölgede zayıf geçirgenliğinden ve ITO filmlerin tamamen kristalizasyonu için yüksek sıcaklık gerektiğinden ideal bir iletken değildir. Ayrıca kalayın (tin) pahalı hale gelmesi, ucuz devre iddialı organik güneş gözelerinin bu iddiasını bozmaktadır. ITO’ya alternatif olarak karbon nanotüpler çalışma alanları bulunmaktadır.

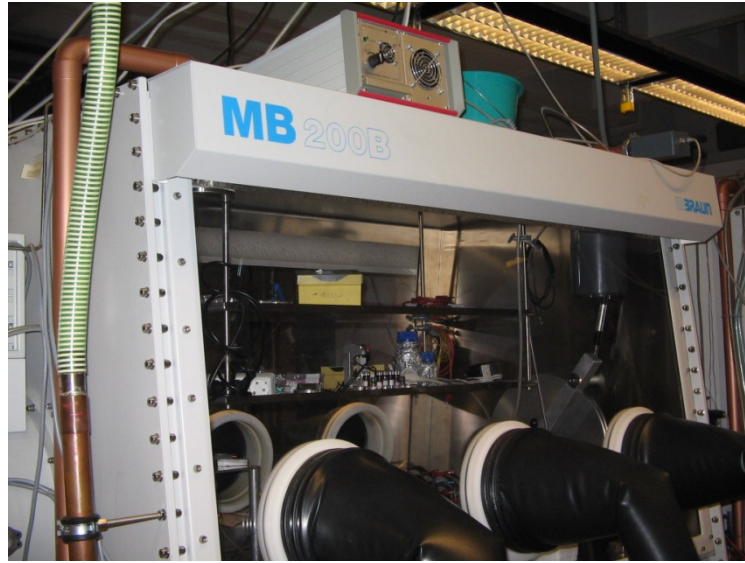
3.3 Hazırlama Teknikleri

İnce film üretimi için çok kullanılan iki metot olan süblimasyon ya da çözelti işlemi tekniklerinden hangisinin seçileceği kullanılacak malzemenin özelliğine göre değişir. Örneğin, süblimasyon tekniği için maddenin termal kararlılık göstermesi gerekiyken, çözelti işlemi için kullanılacak maddenin de çözünebilir olması gerekmektedir. Küçük moleküller termal olarak polimerlerden daha stabil olmasına rağmen, daha az çözünürlüğe sahiptir. Polimerler çok yüksek sıcaklık altında ayrışır ve buharlaşma için çok büyük molar kütleye

sahiptir. Bu nedenle, küçük moleküller için süblimasyon en iyi seçimken, yarı iletken polimerler genel olarak çözültiden işlem görmektedir. Ayrıca, C_{60} gibi çözünürlüğü az olan moleküller çözünürlüğü yüksek gruplar yardımıyla PCBM gibi daha çözünür hale getirilebilirler ve kısa polimerler veya oligomerler de buharlaştırılabilirler (Veenstrai vd., 1997; Geens vd., 2002)

3.3.1 Süblimasyon

Termal buharlaştırma ile film elde edebilmek için genellikle $<10^{-5}$ mbar dan daha düşük vakum uygulanır. Bu nedenle buharlaştırılmış molekülün ortalama serbest yolu, buharlaştırma kaynağı ile örnek tutucu arasındaki mesafeden daha uzundur. Bunun yanısıra oksijen ve su gibi atık maddeler ek ultra yüksek vakum sayesinde ($<10^{-9}$ mbar) veya atıl atmosfer içeren eldivenli sistemler (Şekil 3.5) içinde buharlaştırarak azaltılabilir ve ya da giderilebilir (Hiramoto vd., 1991; Pfeiffer vd., 2000; Geens vd., 2002).



Şekil 3.5 Glove box sistemi [21]

3.3.2 Islak İşlem

Tüm ıslak işlem tekniklerinin ortak noktası, organik maddelerin su, polar veya apolar organik çözücüler gibi uygun çözücülerde çözünmesidir. Polimerler, polimer/polimer veya polimer/molekül karışımlarının çözültiden doğrudan işlenmesinde genel birkaç teknik kullanılır. Dönel kaplama (spin coating), bıçak ağzı ile düz kaplama (doctor blading),

serigrafi, püskürtmeli kaplama, vs. gibi. Örneğin serigrafi tekniği MDMO-PPV:PCBM karışımında kullanılır. Bu teknikler üretimin kolay ölçeklendirilmesinde ve güneş gözesi üretimi esnasında düşük enerji tüketimi açısından önemlidir. Bu sayede enerji amortismanı, yani güneş gözesinin üretilmesi esnasında harcanacak enerjinin, güneş gözesinin ömrü boyunca sağlayacağı enerjiyle karşılanabilmesi amaçlanır (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

Güneş gözesi elde edilen tekniğe göre, organik güneş gözesinin özellikleri farklılaşır. Düşük sıcaklık da yapılan rulodan rulo ya işleme diğer yöntemlerden daha etkili olup, yüksek hızda üretimi mümkün kılmaktadır. Bu işlem tipik baskı, kaplama tekniğidir. Aktif malzemeler bir çözücüde çözüldükten sonra kaplama cihazı ile plastik veya cam bir altlık üzerine uygulanır.

Gravür baskı, flekso baskı, ekran baskı, mürekkep püskürtme gibi farklı baskı ve kaplama teknolojileri güneş gözesi yapımında kullanılabilir [19]. Şekil 3.6’da baskı yöntemiyle üretilen organik güneş gözeleri görülmektedir.



Şekil 3.6 Baskı yöntemi ile elde edilen organik fotovoltaikler [19]

Baskı yöntemi ile kaplama yapılırken çözelti belli bir sıcaklığa getirilerek baskı çözücüsü buharlaştırılır böylelikle kuru aktif katman oluşur. Katman kalınlıkları 100-200nm olduğundan kaplama işleminin itina ile yapılması gerekir. Elde edilen katmanlar kapsüle edilerek malzeme mekanik aşınmadan korunur.

Maliyet fiyatları düşük olup, baskı/kaplama işlemleri 2 m uzunluğunda alttabakalar üzerine dakikada 30-40 m hızda organik güneş gözeleri üretilmektedir. Bu teknoloji yüksek hızda

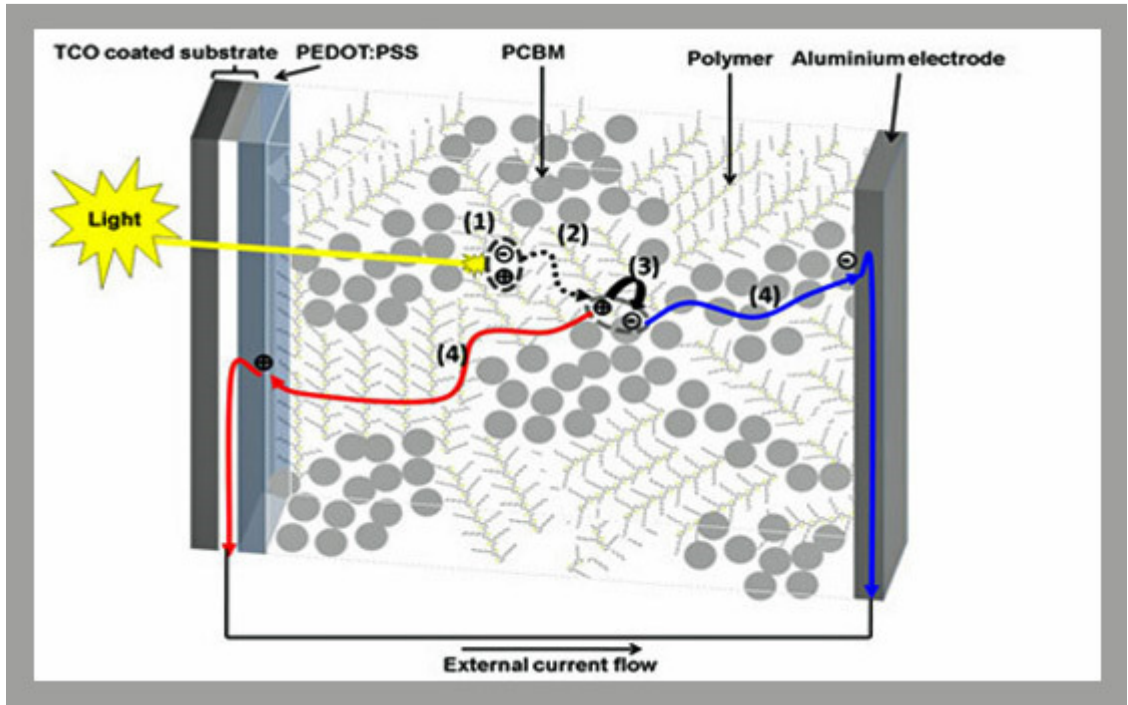
üretim yapmaya imkan tanımaktadır. Yapılan çalışmalar plastik güneş gözelerinin raf ömrünün 1 yıldan fazla olduğunu göstermektedir [19].

3.4 Temel Çalışma Prensibi

İnorganik kristal malzemelerdeki fotovoltaiik özellikler, enerji bandı modeliyle açıklanabilir. Moleküler veya polimerik organik güneş gözelerinde ise durum çok daha karışık ve açıklanması zordur. İnorganik güneş gözelerinin aksine organik malzemelerde, üç boyutlu kristal yapı bulunmazken; farklı molekül içi ve moleküller arası etkileşimler mevcuttur (Wöhrle ve Meissner 1991). Organik malzemelerin fotofiziği henüz daha tam olarak anlaşılmış değildir (Zafer, 2006). İnce film organik güneş gözelerinin çalışma prensibini moleküler özellikler seviyesinde açıklayan teorik bir model henüz mevcut değildir. Konjuge polimerlerde fotovoltaiik etki, literatürde çok basitleştirilmiş düzeyde ele alınmaktadır. Organik güneş gözelerinin çalışma prensibini anlamak için inorganik p-n eklemi temel alınmaktadır (Meissner ve Rostalski, 2000).

Organik güneş gözelerinde ışığın elektrik akımına dönüştürülme işlemi arka arkaya dört adımda gerçekleşir.

- 1) Eksiton(elektron-delik çifti) yaratılması için foton soğurulması,
- 2) Donor ve akseptör ara yüzeyine eksiton difüzyonu (yayılması),
- 3) Bu bölgede yük ayrımının olması,
- 4) Son olarak da doğru akım elde etmek için deliklerin anotta ve elektronların katotta toplanması (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).



Şekil 3.7 Polimer:fulleren'den oluşan güneş gözesi düzeneği. Polimer donörü ve fulleren akseptörü içeren aktif tabaka daha net görülebilmesi için büyütülmüştür. (1) polimer içinde eksiton yaratılması (2) eksitonların arayüze taşınması (3)eksitonların arayüzeyde ayrılması (4) elektrotlara yük taşınması [22]

Şekil 3.7 konjuge polimer/fulleren'den oluşan bir güneş gözesinde işleyiş basamaklarını göstermektedir. Organik malzemenin soğurma spektrumu güneş gözesinin ışığa hangi aralıkta karşılık vereceğinin bir ölçüsüdür. Bu da polimerin ya da molekülün kimyasal yapısına bağlıdır. Bir çok boya ve molekül kuvvetli soğurucudur. Eğer malzemenin bant aralığı içindeyse sadece birkaç yüz nanometre film, ışığın önemli bir kısmını soğurmaya yeterlidir. Foto dönüşümde ilk önemli adım soğurmadır. Soğurma verimliliği malzemenin soğurma spektrumuna, kalınlığına ve devre tipine bağlıdır. Organik yarı iletkenlerde optik uyarılmalar oda sıcaklığında bağlı elektron delik çifti (eksiton) oluşumuna yol açar. Organik yarı iletken malzemelerde uyarılmış haldeki elektronlar ile temel haldeki elektron boşlukları arasında zayıf bir kulombik bağ mevcuttur. Eksiton yayılma difüzyon verimliliği, eksiton difüzyon uzunluğu ve donör-akseptör ara yüzeyindeki morfolojiyle belirlenir. Eksitonlar yaratıldıktan itibaren 5-15 nanometre uzunluğuna kadar beraber yayılabilirler. Sonra yeniden birleşip bunun sonucunda dışarıya ışık verebilirler de vermeyebilirler de. Fotovoltaik amaçlar için eksitonlar, yaşam süreleri içerisinde yeniden birleşmeden (rekombine olmadan) önce birbirlerinden ayrılmalıdırlar. Eksitonların verimli ayrılması için güçlü elektrik alanları

değerlendirilebilir. Bu dışarıdan uygulanabilen bir voltajla sağlanabileceği gibi arayüzeylerde de gerçekleşebilir. Potansiyelin ani değiştiği, bir ara yüzeyde güçlü elektrik alanlar vardır ($E=-\Delta U$). Eksiton ayrılması elektron bir fazda, delik diğer fazda kalacak şekilde ara yüzeyde oluşabilir. Eksiton ayrılma aynı zamanda hacimsel tuzak bölgelerinde gerçekleşebilir. Böylece bir tuzaklanmış taşıyıcı ve bir potansiyel olarak serbest taşıyıcı oluşur. Elektronla ve delikler ayrılır ayrılmaz elektrotlara hareket ederler (Zafer, 2006).

Organik güneş gözelerinin büyük çoğunluğunda oluşan elektron ve delikler zıt kutuplara taşınmaktadır. Bu taşınma işlemi, elektrotların asimetrisi (farklı iş fonksiyonları) veya uygulanan potansiyel sebebi ile oluşan içsel elektrik alanda gerçekleşmektedir (Yoshino vd., 1997). Geri yük transferlerini önlemek amacı ile elektron ve elektron boşlukları tercihen farklı malzemelerde veya fazlarda taşınmaktadır. Örneğin donör-akseptör hücrelerde, elektron iletkenliği iyi olan akseptör ve boşluk iletkenliği iyi olan donör malzeme kullanımı idealdir. Yüksek yük toplama verimliliği için organik yarı iletken malzeme ile metal elektrot arasında enerji bariyeri olmaması gerekmektedir. Bazı durumlarda iki malzeme arasındaki enerji bariyerini gidermek için ilave bir malzeme daha kullanılması yük toplama verimliliğini arttırmaktadır (Shaheen vd., 2001; Brabec vd., 2001).

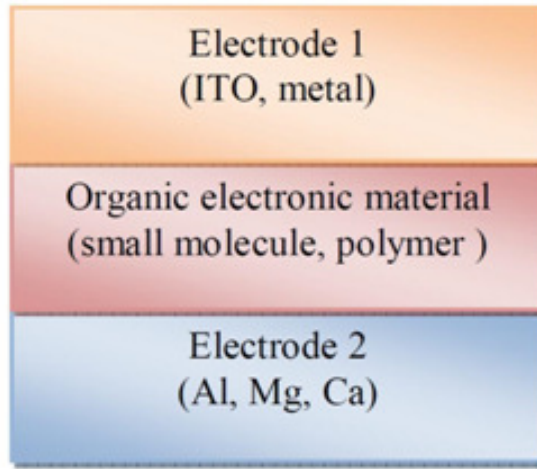
3.5 Aygıt Yapıları

Organik yarı iletkenlerde foto uyarılmayla oluşan eksitonların bağlanma enerjisi inorganiklere kıyasla yüksektir (0.1-1 eV) (Sarıçiftçi, 1997; Pope ve Swenberg, 1999; Gregg ve Hanna, 2003). Bu yüzden bağlı elektron-delik çiftlerini ayırmaya yönelik yeni bir yöntem ortaya çıkarılmalıdır. Bu ise donor-akseptörde ve de yarı iletken-metal ara yüzeylerinde keskin potansiyel düşüşüyle mümkündür. Aşağıda en çok kullanılan aygıt yapıları açıklanmıştır. Bunlar arasındaki asıl fark, eksiton ayrılması ya da fotoaktif tabakada farklı bölgelerde oluşan yük ayrılması işleminde saklıdır. Diğer ikinci bir olay da elektrotlara yük taşınmasıdır.

3.5.1 Tek Tabaka Güneş Gözeleri

İlk tip güneş gözeleri farklı iş fonksiyonlarına sahip iki metal elektrot arasına sıkıştırılmış tek tabakalardan oluşmaktadır. Bir elektrot ITO olmak üzere diğer elektrot Al, Au, Ca, Mg, olabilir. Fotovoltaik gereksinimlere göre organik yarı iletkenlerde yaratılan eksitonlar serbest yük taşıyıcılarına dönüşmelidir. Tek başına polimer içeren gözelerde eksitonları ayırmanın tek yolu elektrik alanları değerlendirmektir. Basit olarak metal-yalıtkan-metal (MIM) modeline

göre devrede olan yük taşıyıcılarının sayısı fazla değildir. Diğer taraftan eğer yarı iletken katkılanırsa, bant bükülmesi oluşarak metal elektrot yarı iletken arayüzeyinde schottky kontağı oluşturulabilir. Bu durumda tüm devrenin kalınlığı boyunca elektrik alan sabittir. Büyük elektrik alanlar eksitonları ayırmaya yeterli olduğundan tek konjuge polimerli devrelerde schottky devresi yük yaratılmasını arttıracaktır. Bu konuda yapılan çalışmalar tek tabaka güneş gözelerinin veriminin kısıtlı olduğunu göstermiştir. Devre yapısı verimde önemli rol oynamaktadır. Tek tabaka bir devrede sadece arınma bölgesine ya da schottky kontağa yakın yaratılan foto uyarılmalar, kısıtlı eksiton ve difüzyon uzunluğu nedeniyle ayrılmış yük taşıyıcıları oluşumuna neden olacaktır. Böylece sadece kısıtlı bir bölge fotoakım yaratılmasına katkıda bulunur. Yüksek seri dirençten dolayı, bu malzemeler, düşük dolgu akımına ve alan etkili yük taşıyıcı toplanmasına sahiptir. Bu yüzden bu devrenin verimi oldukça düşüktür. Bu ince film devreler foto detektör olarak da çalışabilirler. Şekil 3.8’de tek tabakalı bir organik güneş gözesi görülmektedir.

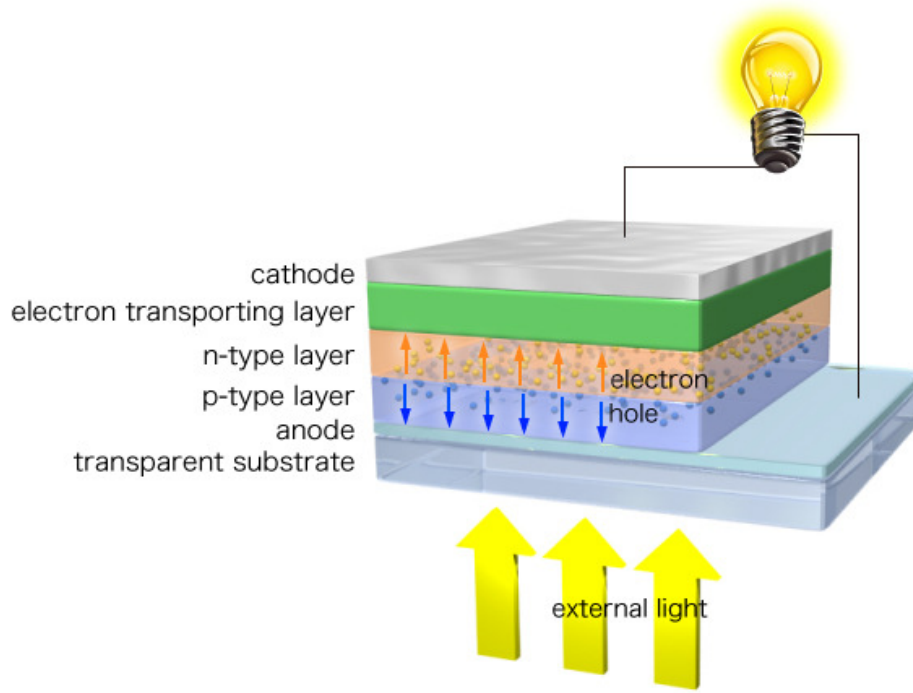


Şekil 3.8 Tek tabakalı organik güneş gözesi [23]

3.5.2 İki Katlı Heteroeklemlı Güneş Gözeleri

Tek tabakada ortaya çıkan yük yaratılması kısıtlılığını ortadan kaldırmak için donör akseptör yaklaşımı önerilmiştir. İki katlı bir devre donör ve akseptör malzemeyi üst üste sıkıştırarak oluşturulabilir. Donör ve akseptör arasındaki etkileşim geometrik ara yüzeyde gerçekleşir.

Konjuge polimerler ve fullerenler üzerine yapılan fotofizik çalışmaları konjuge polimerlerden fullerene ultrahızlı (femtosaniye)de elektron transferi gerçekleşebildiğini göstermiştir. İki kat heteroeklem, yük taşıyıcılarının verimli olarak çekilebilmesi için HOMO'su ve LUMO'su uyuşan, donör ve akseptör özelliği gösteren iki farklı organik malzemenin iş fonksiyonları farklı iki elektrod arasında sıkıştırılmasıyla oluşur. Şekil 3.9'da iki katlı heteroeklemlı güneş gözesi görülmektedir.

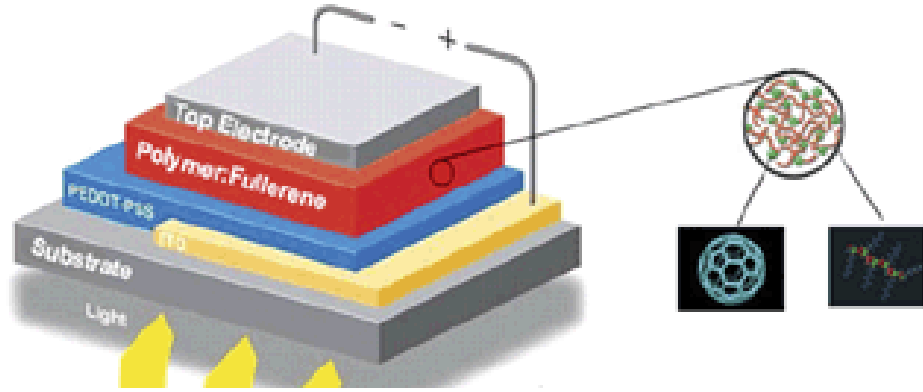


Şekil 3.9 İki katlı heteroeklemlı güneş gözesi [24]

3.5.3 Hacim Heteroeklemlı Güneş Gözeleri

Hacim heteroeklemi, donör ve akseptör bileşenlerinin karıştırılmasıyla oluşur. Böylece donör-akseptör ara yüzeyi tüm hacim içerisine dağılmıştır ve bu ara yüzeyler eksiton difüzyon uzunluğundan daha kısa uzaklığa düşmektedirler. Böylece oluşan elektron delik çiftinin yeniden birleşmeden donör akseptör ara yüzeyine ulaşma olasılığı artmaktadır. İki katlı heteroeklemlerde donör ve akseptör fazları katod ve anoda seçici olarak temas halindeyken, hacim heteroekleminde donör ve akseptör fazları sürekli ve iç içe geçmiş ağlar oluşturmak durumundadır. Dolayısıyla, hacim heteroeklem devreleri karışımındaki nano ölçekli morfolojiye daha duyarlıdır.

Genel olarak, hacim heteroeklemleri donör ve akseptör pigmentlerinin birlikte buharlaştırılmasıyla ya da polimer/polimer, polimer/molekül ya da molekül/molekül donör akseptör karışımlarından çözelti bazlı kaplama yaparak elde edilebilir. (Hiramoto vd., 1991; Dittmer vd., 2000; Petritsch vd., 2000; Geens vd., 2002).



Şekil 3.10 Hacim heteroeklemlerli güneş gözesi [24]

3.5.4 Yayılmış (Difüze) İki Katlı Heteroeklemlerli Güneş Gözeleri

Konsept olarak iki katlı ve hacim heteroeklemi arasında olan bir başka devre tipi de yayılmış iki katlı heteroeklemdir. Bu devre tipinde her iki devre tipinin avantajlarını bir araya getirmek hedeflenmektedir. Bu tip yapılarda hedef, keskin bir ara yüzey yerine yayılmış (difüze) bir ara yüzey elde etmektir. Yayılmış ara yüzey farklı şu şekillerde elde edilebilir:

- 1) Kullanılacak polimerler çözelti bazlı elde edildilerse iki ince polimer filmi birlikte laminasyon işlemi ile preslenebilir (Granstrom vd., 1998).
- 2) İkinci tabakayı alttaki tabakayı kısmen çözecek bir çözeltilerden kaplamaktır (Chen vd., 2000; Brabec vd., 2002).
- 3) Son yöntem ise iki katlı tabakaya ısıtıl işlem uygulamaktır (Drees vd., 2002).

3.6 Organik Güneş Gözelerinin Performans Analizi

3.6.1 Güç Dönüşüm Verimi

Bir güneş gözesinin verimi, onun kalitesinin bir göstergesi olarak çok önemlidir. Bir güneş gözesinin verimi ne kadar yüksek olursa, göze o derece kaliteli olur (Köse 1986). Bir gözenin

verimi ne kadar yükselirse harcanan güç amortismanı o kadar hızlı olacaktır. Bir güneş gözesinden sağlanan maksimum gücün, göze üzerine gelen maksimum güce oranına güç dönüşüm verimi denir ve η simgesiyle gösterilir.

Şekil 3.11’de bir güneş gözesinin karanlıkta ve aydınlatma altındaki akım-voltaj karakteristiği gösterilmiştir. Açık devre geriliminden daha büyük voltajlar için ileri yönde kutuplamada kontaklar şiddetle enjekte edene kadar karanlıkta neredeyse hiç akım akmamaktadır. Işık altında ise akım enjekte edilen akımın tersi yönde akar. (A)’da kısa devre koşulları altında yaratılan maksimum foto akım akar b)’de fotoetkili akım 0’a dengelenmiştir (düz band koşulları). A) ve b) arasında 4.bölgede devre güç (akım $\times$ voltaj) üretir. Maksimum güç noktası (MPP) ile gösterilen belli bir noktada, akım ve gerilimin çarpımı ve dolayısıyla güç çıkışı en büyüktür (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004). Bir güneş gözesinin verimini belirlemek için bu güç gelen ışık şiddetiyle kıyaslanmalıdır. Genellikle dolgu faktörü (FF),

$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (3.1)$$

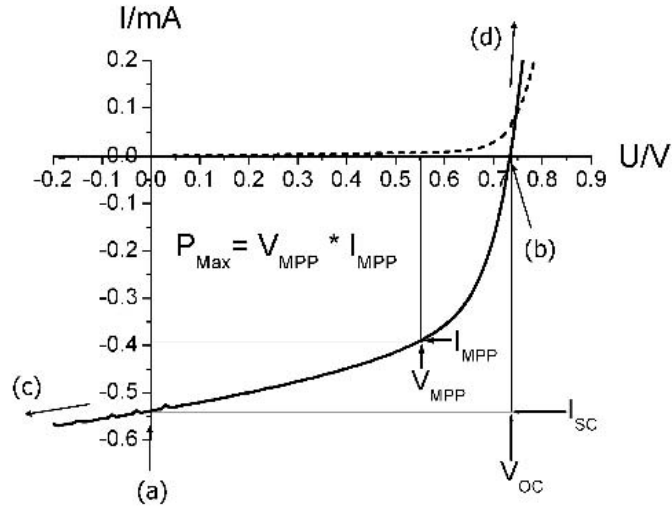
Güç dönüşüm verimi,

$$\eta = \frac{P_{Max}}{P_{in}} = \frac{I_{MPP} \times V_{MPP}}{P_{IN}} = \frac{FF \times I_{sc} \times V_{oc}}{P_{IN}} \quad (3.2)$$

Genellikle, bir fotovoltaiik devrenin akım gerilim karakteristiği (I-V) şu şekilde tanımlanabilir.

$$I = I_o \left\{ \exp\left(\frac{e}{nkT}(U - IR_s) \right) - 1 \right\} + \frac{U - IR_s}{R_{SH}} - I_{PH} \quad (3.3)$$

I_o , karanlık akımı; e , temel yük birimi; n , diyot idealite faktörü; U , uygulanan voltaj; R_s , seri direnç; R_{sh} , paralel direnci ve I_{ph} , fotoakımdır. Yüksek dolgu faktörü elde etmek için: paralel direnci sızma akımlarını engellemek için oldukça yüksek, ileri akımda keskin bir yükseliş elde etmek için oldukça düşük olmalıdır (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).



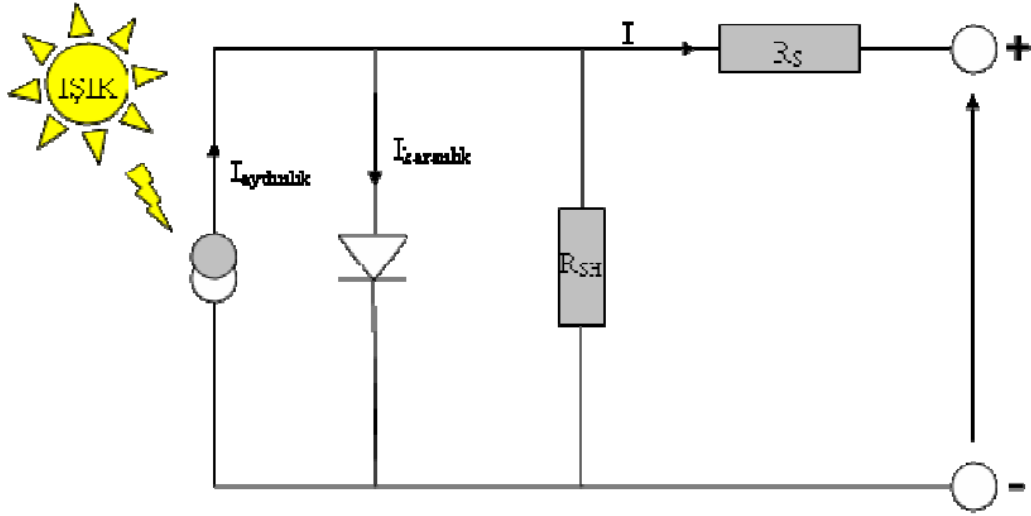
Şekil 3.11 Bir güneş gözesinin akım-voltaj grafiği (I-V eğrisi) (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

Kesik çizgiler karanlıkta, düz çizgi ise aydınlıktaki karakteristiği göstermektedir. Karakteristiklerin x eksenine ile kesiştikleri noktalar açık devre voltajını (V_{oc}) ve y eksenine ile kesiştikleri noktalar ise kısa devre akımını (I_{sc}) göstermektedir. Maksimum güç çıkışı eğrideki akım ve voltajın çarpımının maksimum olduğu noktada elde edilmektedir. Bu maksimum gücün açık devre voltajı (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc}) çarpımına bölümü ise dolgu faktörünü (Fill Factor-FF) verir (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

3.6.2 Eşdeğer Devre Diyagramı (ECD)

Eşdeğer devre diyagramı (ECD), diyotlar, akım-gerilim kaynakları ve resistörler gibi daha kompleks yarı iletken aygıtların elektriksel davranışlarını idealize ederek tanımlamak için kullanılır. Aslında gerçek bir kaynakta her zaman paralel ve seri dirençlerden dolayı kayıplar vardır.

Işınım altında güneş gözesi, elektriksel bir devre gibi değerlendirilmektedir. Akım kaynağına paralel olarak, diyot ve paralel direnç (R_{SH}) bulunmaktadır. Ayrıca, güneş gözesi üretiminde kullanılan malzemelerin tümünden kaynaklanan seri direnç (R_s) bulunmaktadır (Zafer, 2006).



Şekil 3.12 Bir güneş gözesinin eşdeğer devre diyagramı (Zafer, 2006).

$I_{aydınlık}$, soğurulan fotonlardan kaynaklanan akımı göstermektedir, $I_{karanlık}$ ise karanlıkta yük oluşum bölgeleri üzerinden ters yönde akan akımı göstermektedir (diyot akımı). Şekil 3.12’de bir güneş gözesinin eşdeğer devre diyagramı görülmektedir.

Güneş gözesinin akım-voltaj karakteristikleri 3.4’te gösterilen eşitliğe göre modellenmektedir.

$$I = I_{aydınlık} - I_s \left(e^{\frac{V_a}{V_{th}}} - 1 \right) - \frac{V_a}{R_{SH}} \quad (mA) \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte, I toplam akımdır, I_s diyodun doyumluk akımıdır, V_{th} ise termal gerilimdir. $I_{aydınlık}$ ’ın uygulanan gerilimden (V_a) bağımsız olduğu var sayılmaktadır.

$$V_a = V + R_S I \quad (V) \quad (3.5)$$

Termal gerilim V_{th} ,

$$V_{th} = \frac{n.k.T}{e} \quad (V) \quad (3.6)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. n , ideallik faktörüdür ve 1 ile 2, 4 arasında değişmektedir, e , elektronun yüküdür, k , Boltzman sabitidir. Paralel direnç (R_{SH}), normalde seri dirençten (R_S) çok daha yüksektir. Bu durumda, 3.4 eşitliği basitleştirilebilir.

$$I = I_{aydınlık} - I_s \left(e^{\frac{V_a}{V_{th}}} - 1 \right) \quad (mA) \quad (3.7)$$

3.6.3 Maksimum Güç Noktası ((P_{Max}))

Güneş gözesinde elde edilen gücün en yüksek olduğu noktaya Maksimum Güç Noktası (P_{Max}) denir ve bu noktadaki akım ve gerilime de güneş gözesinin maksimum akımı (I_{MPP}) ve maksimum gerilimi (V_{MPP}) denir.

$$P = V_a \times I \quad (3.8)$$

$$P_{Max} = V_{MPP} \times I_{MPP} \quad (3.9)$$

3.6.4 Açık Devre Gerilimi (V_{oc})

Açık devre gerilimi (V_{oc}) fotovoltaiik aygıtların anahtar parametrelerinden biridir. Dış devreden geçen akım sıfıra eşit olduğunda ölçülen voltaj değeridir. Genel olarak açık devre gerilimi metal-yalıtkan-metal (MIM) modeline göre, iki metal kontağının iş fonksiyonlarının farkına göre belirlenir (Peumans vd., 2003). Organik güneş gözelerinde açık devre gerilimi p tipli yarı iletkenin (HOMO)'su ve n tipli yarı iletkenin (LUMO)'su arasındaki enerji farkına lineer olarak direk bağlıdır (Brabec vd., 2001b). Voc, deneysel olarak denklem 3.10'daki formülasyonla gösterilebilir (Scharber vd., 2006).

$$eV_{OC} = (|E_{HOMO}^{DONOR}| - |E_{LUMO}^{AKSEPTÖR}|) - 0.3 \quad (3.10)$$

Açık devre gerilimi, kullanılan metallerin enerji seviyelerine ve onların ara yüzlerine ait hassas bir fonksiyondur. Ayrıca Voc, aktif alanın elektrotlara temasından ve filmin morfolojisinden de etkilenmektedir (Cai vd., 2010).

Şekil 3.11 'de grafiğin x eksenini kestiği nokta V_{oc} değerini vermektedir.

3.6.5 Kısa Devre Akımı (I_{sc})

Göze üzerine uygulanan gerilim V_a = 0 V iken ölçülen akım, kısa devre akımıdır (I_{sc}). İdealde kısa devre akımı (I_{sc}), organik yarı iletkenindeki uyarılmış yük taşıyıcı yoğunluğu, ve yük taşıyıcı mobilitelerinin çarpımıyla doğru orantılıdır.

$$I_{sc} = ne\mu E \quad (3.11)$$

Burada n yük taşıyıcı yoğunluğu; e temel yük; μ mobilite ve E elektrik alanıdır.

Hacim heteroeklemi karışımında fotoetkili yük oluşumu verimi %100 farzedilirse, n buradaki birim hacim başına soğurulan foton sayısıdır. Kısa devre akımı yoğunlu ise (J_{sc}), kısa devre

akımının, aktif yüzey alanına bölümüdür.

Optik modellemeyle, iki katlı devreler için eksiton difüzyon aralığı ve aktif tabakanın kalınlığı hesaplanabilmektedir (Pettersson, vd., 1999; Meissner ve Rostalski, 2000; Peumans vd., 2003). Hacim heteroeklemlı güneş gözelerinde hacim içindeki her yerde verimli eksiton ayrılmasından dolayı tüm fotoaktif tabakadaki soğurma fotoakıma katkıda bulunur (Hoppe vd., 2003, 2004). Bütün soğurma spektrumu için soğurulan ışığın kesri bilirse iç kuantum verimi (IQE) hesaplanabilmektedir.

Eğer I_{sc} soğurulan fotonların hesaplanan sayısı ile (IQE=1) uyuşursa tabaka kalınlığında bir artış fotoakımda da bir artışa neden olur. Net fotoakımda maksimum kazanç düşük optik band aralıklı malzemeler kullanarak geniş bir spektral aralığa olanak sağlanmasıyla elde edilebilir (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

Kısa devre akımı aynı zamanda yük taşıyıcı mobilitesine de bağlıdır. Organik yarı iletkenler genellikle düşük mobilitelere sahiptirler. Bu doğrudan organik fotovoltaiik devrenin aktif tabakasının kalınlığını sınırlar. Belli bir kalınlığın ötesinde, rekombine olmadan önce yük taşıyıcıları elektrodla ulaşamayacaktır. Dolayısıyla, yüksek mobiliteli/düşük band aralıklı malzemeler kısa devre akımının iyileştirilmesi için genel bir yoldur (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004). Şekil 3.11’de grafiğin y eksenini kestiği nokta I_{sc} değerini vermektedir.

3.6.6 Dolgu Faktörü (FF)

Dolgu faktörü, gözenin bir güç kaynağı olarak kalitesinin bir ölçüsüdür ve maksimum gücün, açık devre gerilimi ile kısa devre akımı çarpımına oranıdır.

$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{OC} \times I_{sc}} = \frac{P_{Max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (3.12)$$

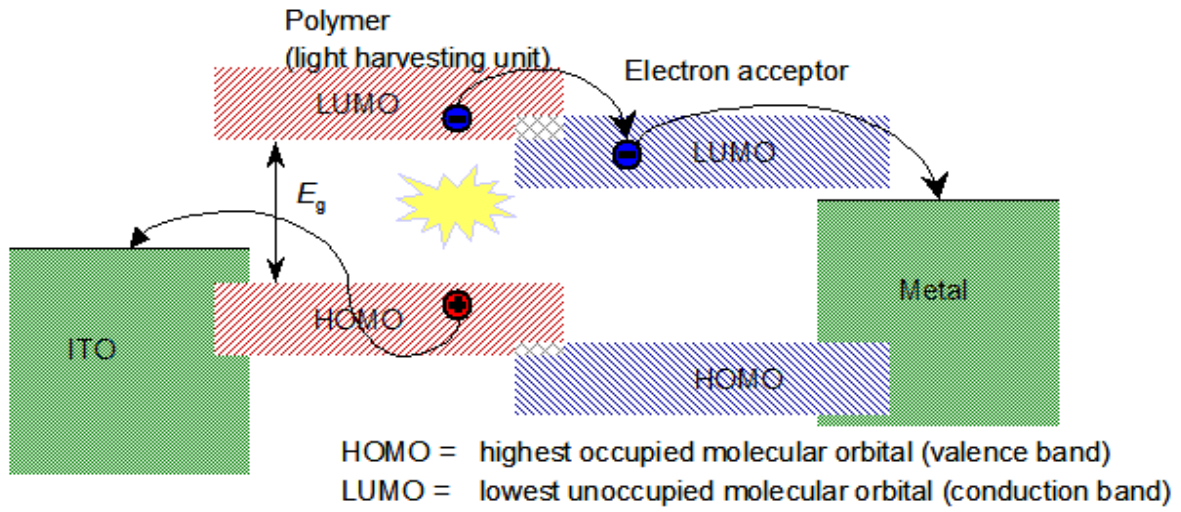
Dolgu faktörü açık devre gerilimine (V_{OC}) ve kısa devre akım yoğunluğuna kıyasla (J_{sc}), daha hassas bir parametredir. Ve katot-polimer arayüzeyinin morfolojisine, aktif-polimer katmanının kalınlığına, yaşam ömrüne ve mobilitelere bağlıdır (Dhritiman vd., 2010).

Dolgu faktörünün alabileceği maksimum değer 1’dir. Dolgu faktörü (FF) değeri, hem seri hem paralel dirençler tarafından etkilenmektedir. Kullanılan malzemelerin ve elektrotlarla kontakların direncinden kaynaklanan iç direnç mümkün olduğu kadar küçük, paralel direnç ise mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır (Zafer, 2006).

3.7 Organik Güneş Gözelerinin Nanomorfolojisi ve Yük Taşınması

3.7.1 Nanomorfoloji

Hacim heteroeklemi yöntemi, biri donör (genellikle konjuge polimer), diğeri akseptör olan iki organik malzemeden oluşur. Donör ve akseptör malzemeler arasında ideal bir elektronik ilişki olmalıdır. Şekil 3.13 birbirine enerji bakımından uygun donör-akseptör ve iş fonksiyonları uygun elektrotlarla hazırlanmış güneş gözesi düzeneğini göstermektedir.

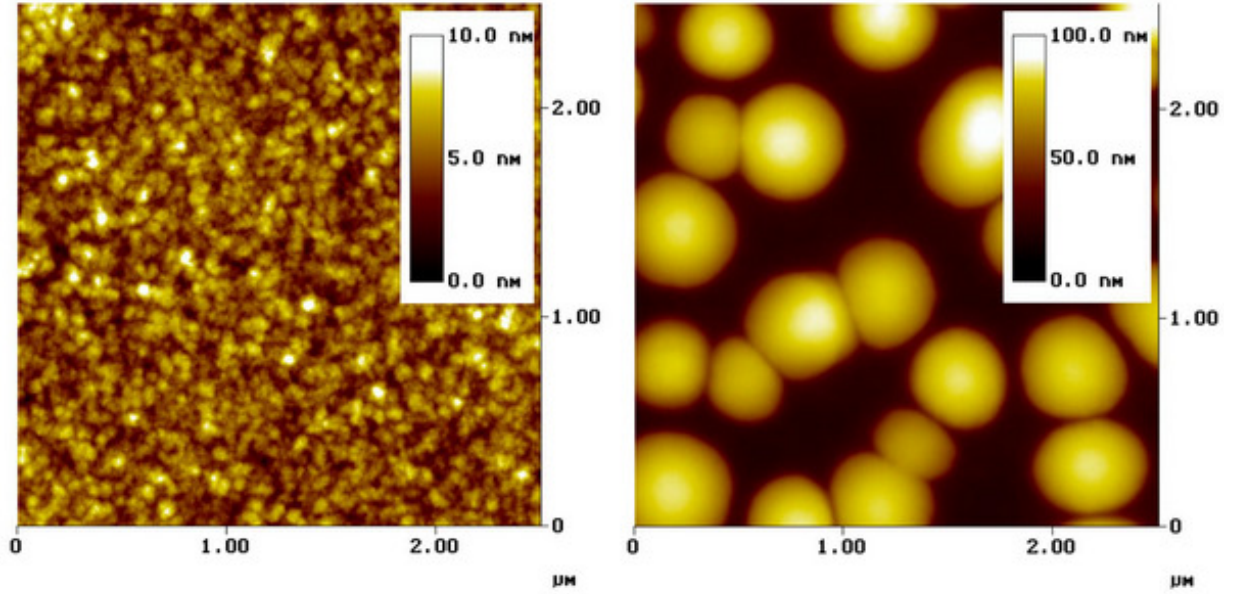


Şekil 3.13 Güneş Gözesi Yapısı [25]

Donör ve akseptör malzemeler ideal elektronik ilişkiye sahip olsa bile (enerji seviyeleri birbirine uysa bile) hacim heteroeklemlı güneş gözelerinin performansı donör ve akseptör bileşenlerinin fiziksel etkileşimine bağlıdır. Bunu da morfoloji belirler. Aktif tabakanın morfolojisi polimer ve fulleren özelliklerine bağlıdır. Örneğin iki bileşenin karışabilirliğine, devre üretimiyle ilgili etkilere, çözücü türüne, polimer fulleren konsantrasyonuna, kaplama tekniğine ve termal tavlamaa bağlıdır (Barrau vd., 2009).

Konjuge polimerler ve fulleren türevleri içeren organik güneş gözelerinin güç dönüşüm verimi moleküler morfolojiden etkilenir. Uygun çözücü seçiminin, verimi önemli ölçüde arttırdığı literatürde gösterilmiştir. Polimer zincirlerinin konformasyonu, organik çözücünün seçimi, polimer çözücünün konsantrasyonu ve dönele kaplama işleminin dönme hızına bağlıdır. Şekil 3.14’de çözücünün morfolojiye olan etkisine bir örnek gösterilmektedir. Sonuçta oluşan morfoloji hem malzeme hemde devre karakteristiklerini önemli ölçüde etkiler

(Liu vd., 2001).



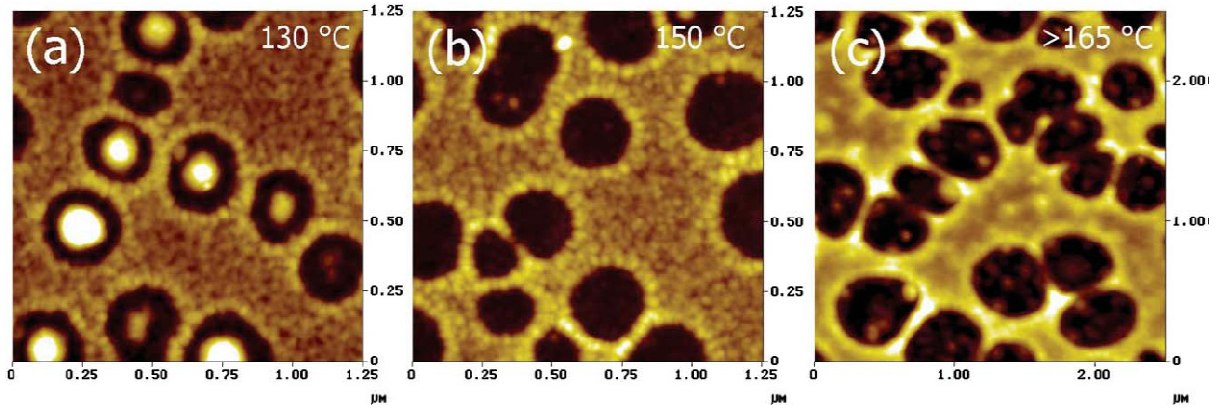
Şekil 3.14 Yüzeyi AFM ile taranmış MDMO-PPV:PCBM 1:4 (ağırlık olarak) karışımı olarak hazırlanan filmler, klorobenzende dönel kaplamayla kaplanmış (sol resim) toluende de dönel kaplamayla kaplanmış (sağ resim). Tarama boyutu her iki film içinde 2. 5 µm. Toluenli film klorobenzene kıyasla 10 kat fazla yüksekliğe sahiptir (Hoppe, 2004).

Akım ve açık devre gerilimi polimer işlem koşullarına oldukça bağlıdır. Aromatik olmayan çözücüler, aromatik çözücülerin kullanıldığı duruma göre daha düşük akıma neden olabilirler. Sonuçların farklı olmasının sebebi, farklı çözücülerin farklı polimer morfolojisine sahip olmasıdır. AFM, TEM, SEM yüzey morfolojisini karakterize etmede en sık kullanılan yöntemlerdir. Yapılan çalışmalarda, farklı PCBM konsantrasyonlarının faz ayrımına yol açtığı gözlenmiştir. Örneğin PCBM konsantrasyonu %50'den %67'ye ve daha üzerine çıkarıldığında, nano ölçekli faz ayrımı gözlenmiştir.

Sıcaklık işlemi uygulanması da morfolojiyi değiştirebilir. Organik güneş gözelerinde kullanılan polimerler içerisinde PPV'den başka kullanılan en önemli polimerlerden bir tanesi P3HT(poli(3-hekziltiophen-2, 5-dil)'dir. Bu malzeme kullanılarak oluşturulan güneş gözelerinde yüksek verim elde etmenin bir yolu güneş gözeleri hazırlandıktan sonra sıcaklık işlemi uygulanmasıdır (Van vd., 2009).

Sıcaklık işleminin sonucu olarak organik tabakaları morfolojik yapısı değişebilir. Buda serbest hacmin azalarak ve çözücü buharlaşması sırasında, ara yüzeydeki kusur yoğunluğunun

azalması ve zincirlerarası etkileşimin güçlendirilmesiyle saptanabilir. Şekil 3.15’de sıcaklığın morfolojiye etkisine bir örnek görülmektedir.



Şekil 3.15 MDMO-PPV:PCBM 1 : 4 oranında toluende hazırlanmış filmin görüntüsü tapping moddaki AFM’le alınmıştır. a)130 °C b)150°C c)165° sıcaklık uygulanmıştır. 150°C ‘ye kadar nano boyuttaki topaklanmalar gözlenebilirken 165°C’den sonra gözlenememiştir (Hoppe vd., 2005).

Sıcaklık işlemi uygulanmasının kristallliği arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca sıcaklık işlemi uygulanmasıyla polimer filmdeki oksijen içeriği azaltılabilir. Literatürde farklı sıcaklık değerleri bulunması karşın en sık kullanılanı 110°C’de 10 dakikadır. Ayrıca sıcaklık işlemi fotoiletkenliği artırır. Bu işlemler sırasında oluşabilecek faz ayrımının derecesi ve uzunluğunun polimer güneş gözelerinin performansına etkisi mevcuttur. Faz ayrımı için kritik uzunluk eksiton-difüzyon uzunluğudur.

3.7.2 Yük Taşınması ve Mobilité

Organik yarı iletkenlerin mobilitesi ve yük taşıması devre performansı açısından önemlidir. Organik malzemelerin yük taşıma mekanizmasını açıklayan çeşitli modellemeler mevcuttur. Bu modeller arasında bant tipi taşıma ve sıçrama (hopping) mekanizması önemlidir (Brütting, 2005; Ortmann vd., 2010).

Organik yarı iletkenler gibi pek çok sistem için hangi tip taşıma olduğunu belirlemek kolay değildir. Çok yüksek olmayan sıcaklıklarda oldukça saf moleküler kristallerde, bant tipi taşıma mevcuttur (Brütting, 2005). Organik kristallerde düşük sıcaklıklarda bant taşımasının baskın olduğu, oda sıcaklığında ise sıçrama mekanizmasının baskın olduğu gösterilmiştir (Ortmann vd., 2010). Bant tipi taşımanın karakteristik bir özelliği olarak sıcaklık bağımlılığı düşük sıcaklıklara indikçe etkisini gösterir. Tuzakların varlığında bu davranıştan sapmalar

görünebilir (Brütting, 2005). Amorf organik katılarda sıçrama tipli taşıma ağır basar. Organik güneş gözesi malzemeleri üzerine yapılan taşıma ve mobilite araştırmaları organik malzemelerin düzensizliği konusunda hem fikirdir. Örgüye düzensizlik sokmak ve kristal simetrisini bozmak, dalga fonksiyonlarının lokalize olmasına ve yasak enerji aralığında enerji durumlarının oluşmasına yol açar. Literatürde organik güneş gözesi malzemelerinin düzensiz olduklarından ve düzensiz ortamdaki yük taşıyıcılarının fiziksel teorilerini içeren mekanizmaların gözönüne alınması gerektiğinden sıkça bahsedilir (Tessler vd., 2009).

Yük taşınımını karakterize eden anahtar nicelik mobilitedir. Mobilite birim elektrik alanda sürüklenme hızıdır. Dış potansiyelin yokluğunda taşınım difüzyon bazlıdır ve basit bir difüzyon denklemiyle ifade edilir. Dış elektrik alan uygulanması yük taşıyıcılarının sürüklenmesine sebep olur. En iyi durumda bile organik yarı iletkenlerin mobiliteleri inorganik fotovoltaiik malzemelerin yük taşıyıcı mobilitelerinden 10-20 kat daha düşüktür. Düşük mobilite elektronik durumların bağımsız bir molekülün ya da molekülün bir bölümü üzerinde lokalize olmasından kaynaklanır. Dengeli elektron ve delik mobilitesi devre performansı açısından önemlidir. Yük taşıyıcı mobiliteleri TOF, CELIV, FET, SCLC, IV yöntemleri kullanılarak belirlenir. Makroskobik uzunluklar boyunca ($\approx 1\text{mm}$) mobilite ölçen metodlar malzemenin saflığına ve düzenine bağlıdır. Mikroskobik boyutlar için bu parametrelere daha az bağlılık gözlenir.

Konjuge polimerlerdeki yük taşıma mobilitelerini arttırmanın bir yolu onları akseptör malzemeyle karıştırmaktır. Polimer-polimer veya polimer-molekül karışımlarında yük taşınımını etkileyecek faktörler arasında malzemenin morfolojisi görülebilir.

Özet olarak, düşük mobiliteler yük rekombinasyon olasılığını arttırdığından organik güneş gözelerinin verimini kısıtlar. Farklı mobilite ölçüm metodları farklı mobilite sonuçlarına yolaçabilir. Farklı molekül ağırlığı, PCBM'in varlığı, sıcaklık uygulanması gibi işlemler elektron ve delik mobilitelerini etkiler. Dolayısıyla taşıyıcı mobiliteleri için uygun sonuçlar aynı konfigürasyonda ve organik güneş gözelerinin çalışma şartlarına uygun koşullar altında karakterize edilmelidir.

3.8 Organik Güneş Gözelerinin Bugünkü Durumu

İlk organik güneş gözeleri, tek tabaka organik malzeme iş fonksiyonları birbirinden farklı iki elektrot arasına sıkıştırılarak yapıldı (Chamberlain vd., 1983). Bu tip güneş gözelerinde,

gözenin performansı elektrotların doğasına dayanır.

1986'da Tang, büyük bir buluş olan, bakır-ftolasiyanini ve perilen tetrakarboksilik türevini kullanarak iki katlı organik güneş gözelerini yapar (Tang, 1986). AM2 aydınlanması altında güç dönüşüm verimi %1 civarında elde edilir. Bu devre tipindeki yeni olan özellik, yük üretilme veriminin kısmen ön gerilimden bağımsız olmasıdır. Ayrıca 0.65 civarında dolgu faktörüne sahiptir. Güneş gözesinin fotovoltaik özelliklerinin belirlenmesinde, iki organik malzeme arasındaki arayüzey, elektrot/organik kontakından daha önemli bulunur (Tang, 1986). Bu verim, zamanı için büyük bir buluş olsa da OPV'nin performansı hala ara yüzeye çok yakın ince bir tabakadaki fotoakım yaratılmasına katkıda bulunan limitli soğurma ile sınırlıdır.

OPV'lerin yük toplama verimi ve güç dönüşüm verimi, yarı iletken polimerin, C_{60} ya da onun türevleriyle karıştırılmasından sonra daha da geliştirilir (Yu vd., 1995). MEH-PPV ve fullerenerler karıştırılarak hazırlanan gözeler, MEH-PPV tek başına kullanılarak yapılan gözelerin verimine göre birkaç yüksek bir göze verimi gösterir. Donor olarak kullanılan MEH-PPV'den, akseptör olarak kullanılan C_{60} 'a foto indüklenmiş elektron transferi verimli yük ayrılmasına yol açar. Donor-akseptör heteroeklemleri arasında oluşan iç ağlar sayesinde yüksek verim elde edilir (Yu vd., 1995).

Donor-akseptör malzemelerin çeşitli kombinasyonları, hacim heteroeklemlerli güneş gözelerini üretmek için kullanılır. Malzeme kombinasyonlarının en başarılısı yarı iletken polimer ve fullerenden oluşan karışımlardır. Malzemelerin arayüzeyinde pikosaniye altı bir zaman diliminde gerçekleşen yük transferi verimli yük yaratılmasını sağlar (Sarıçiftçi vd., 1992).

Çözelti bazlı organik güneş gözelerinde devrim sayılabilecek donor olarak MDMO-PPV kullanımını ve akseptör olarak PCBM kullanımı ilk olarak Shaheen ve arkadaşları tarafından yapıldı (Shaheen vd., 2001). Konjuge polimer/metafulleren karışımlarına dayanan organik güneş gözelerinin güç dönüşüm verimlerinin moleküler morfolojiden çok büyük bir oranda etkilendiklerini gösterdiler. AM1.5 aydınlanma altında %2.5 güç dönüşüm verimine sahip gözeler üretmeyi başardılar (Shaheen vd., 2001).

P ve n tipli malzemeler karıştırılarak hazırlanan güneş gözelerinin verimi artsa da iki farklı malzemenin karıştırılması başka zorluklara sebep oldu. Hacim heteroeklem konseptinde donor ve akseptörün karıştırılmasının sebebi donor-akseptör arayüzeylerinin eksiton difüzyon

uzunluğundan daha kısa olmasını sağlamaktı (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004). Donor ve akseptör fazları içiçe geçmiş devamlı ağları kurmak zorundadır. Bu yüzden hacim heteroeklemlı gözeler nanoboyuttaki morfolojiye daha hassastır (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004). Donor akseptör malzemelerin nano boyuttaki morfolojilerini organize etmek ayrı bir zorluktur.

Organik güneş gözelerinin veriminin daha da geliştirilmesi, PPV ile P3HT'nin yer değiştirmesiyle elde edildi. P3HT delik mobilitesinin ve güç dönüşüm veriminin artmasını sağladı. Yeni güç dönüşüm verimi %3.5'lere yükseldi (Padinger vd., 2003).

Konarka Teknolojileri 1.024 cm² aktif alanda %5.21 güç dönüşümüne sahip güneş gözelerini gösterdi. (NREL 20. 11. 2006'da Konarka güneş gözelerine sertifika vererek %5.2'lik verimi onayladı (Hoth vd., 2007).

Polimer güneş gözelerinde gelişim çok hızlıdır. 2009 yılında, verimde bir adım daha ileri gidilerek tek aktif tabaka için güç dönüşüm verimi %6 olarak rapor edildi (Park vd., 2009 Liang vd., 2009)

Çizelge 3.1'de polimer güneş gözelerinin son dönemdeki en iyi performanslarının bir özeti gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Polimer güneş gözelerindeki son gelişmelerin bir özeti((Cai vd., 2010)

PCE(%)	V _{oc} (V)	FF (%)	J _{sc} (mA/cm ²)	Active materials
~5	~0.6	~60	~11	P3HT:PCBMs
5.4	0.9	50.7	9.5	PSiF-DBT:PCBM
5.3	0.56	63.3	15	PTB1:P ₇₁ CBM
5.2	0.62	55	16.2	PCPDTBT:PCBM
4.76	0.58	65.4	12.5	PTB1:PCBM
2.18	~0.6	~50	~7	Hyperbranched CdSe nanoparticle:P3HT
2.8	0.76	40	9.1	OC ₁₀ -PPV:CdSe tetrapods
6.5	1.24	67	7.8	PCPDTBT:PCBM/TiO _x /PEDOT:PSS/P3HT:PCBM
6	0.88	66	10.6	PCDTBT:PC ₇₀ BM/TiO _x

En son olarak hacim heteroeklemlı organik güneş gözeleri için güç dönüşüm verimi %7.4 olarak rapor edilmiştir (Yongye vd., 2009).

3.9 Organik Güneş Gözesi Performansını Geliştirmek İçin İzlenebilecek Rotalar

3.9.1 Soğurmayı Geliştirmek

Polimer güneş gözelerini kısıtlayan parametrelerden bir tanesi soğurma bölgesidir. Geniş bant aralıklı malzemeler dünya üzerindeki güneş spektrumuyla uyumsuzluğa sahiptir. Örneğin poli(p-phenylene vinylenes) (PPV'ler) ve poliyofenlerin bant aralığı 1.85 eV ve 2.2 eV aralığındadır. 1.85 eV bant aralığı, 670 nm sınırında soğurur. Bu gelen fotonların %46'sına karşılık gelir. 1.1 eV bant aralığına sahip olan (Si) gelen fotonların %90'dan fazlasını soğurabilmektedir.

Polimer güneş gözelerinde güç dönüşüm verimini %10'dan daha fazlasına arttırmak için, PCBM akseptör olarak kullanılacaksa donörün bant aralığı 1.7 eV ve bu donörün LUMO'su 3.9 eV olmalıdır (Scharber vd., 2006). Ayrıntılı bant tartışmaları özetleri literatürde vardır (Dennler vd., 2009). Düşük bant aralıklı polimerlerin yapısını anlama üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu polimerleri sentezlemek için gereken strateji, yüksek iyonizasyon potansiyeline sahip donör ile yüksek elektron ilgisine sahip akseptör kullanmaktır.

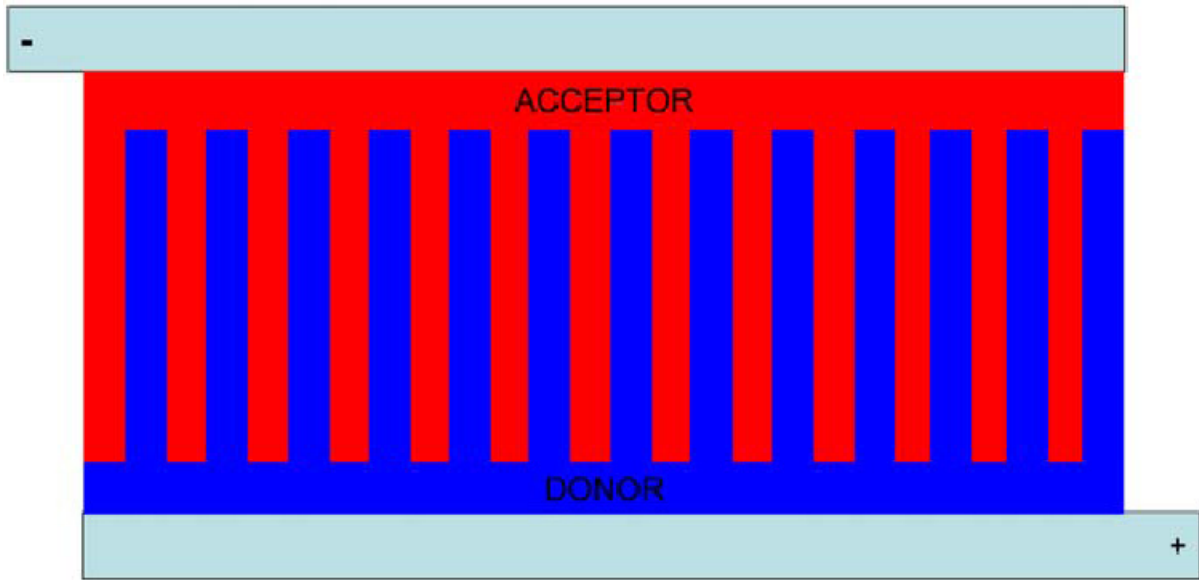
Ayrıca soğurmayı arttırmak için kullanılabilir diğer bir yöntem, geniş soğurma aralığına sahip akseptörlerin üretilmesidir. PC₇₁BM ve PC₈₅BM'in görünür dalga boyunda daha iyi soğurma yaptığı rapor edilmiştir. Fakat bunlar donör polimerlerle çok iyi karışım yapmamaktadır. Elektron akseptörün karışabilirliğini arttırmak için, donörün oranı azaltılarak, optik yoğunluk artırılabilir. Soğurma aralığını genişletmek için, fullerenden daha iyi soğurmaya ve mobiliteye sahip inorganik nano-malzemeler de kullanılabilir (Saunders vd., 2008).

3.9.2 Kontrol Edilebilir Bir Morfoloji

Organik Güneş gözelerinin verimini doğrudan etkileyen parametrelerden bir tanesi de morfolojidir. Daha önce de bahsedildiği gibi yük taşıma verimi aktif tabakanın morfolojisinden çok fazla etkilenir. Uygun morfoloji, eksiton ayrılması için yeterli arayüzü sağlamakla kalmaz aynı zamanda iç içe geçmiş ağlarla elektronların ve deliklerin verimli bir şekilde taşınmasına da olanak verir. Optimize edilmiş bir morfolojinin ön koşulu malzemelerin iyi bir şekilde karışabilmesidir. Morfolojiyi kontrol etmek için kullanılacak yöntemlerden bir diğeri ise çözeltiye katkı maddeleri eklemektir (Peet vd., 2007). Sıcaklık uygulamak morfolojiyi olumlu etkileyen bir diğer yöntemdir.

3.9.3 Yeni Devre Yapıları

Organik güneş gözelerinde asidik PEDOT:PSS tabakasının, aktif polimer tabakasına zarar verdiği ispat edildi. Düşük iş fonksiyonuna sahip metal katotta çok hassas bir kapsülleme yapılsa bile zamanla havayla temas edip okside olmaktadır. Bu dezavantajlardan kurtulmak için tersine çevrilmiş yapı polimer güneş gözeleri keşfedilmiştir. Tersine çevrilmiş yapı polimer güneş gözelerinde ITO'yla aktif tabaka arasında ZnO nanorod (nanoçubuk) lar kullanılarak dolgu faktörünün %50'den %65'e çıkması sağlanmıştır (Takanezawa vd., 2008). Polimer güneş gözelerinin performansını optimize etmek için hacim heteroeklemlili ideal bir güneş gözesi önerilmiştir (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2008). Bu ideal güneş gözesi yapısı Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Bu yapıda, nanoyapılı n-tipli ve p-tipli bölgeler verimli yük ayrımını sağlayacak biçimde elektron difüzyon uzunluğuna (15-20) yakın bir şekilde yerleştirilmiştir. Bu kesintisiz, anayollar yük taşıyıcılarını elektrotlara götürebilir. Fakat böylesine iyi organize olmuş nanoyapıları klasik polimer karışımında elde etmek kolay değildir. Güneş bu yapıyı anlamak için kullanılan stratejileri özetlemiştir (Güneş vd., 2007).



Şekil 3.16 İdeal bir donör/akseptör hacim heteroeklemlili polimer güneş gözesi (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2008).

3.9.4 ITO'dan Bağımsız Cihazlar

ITO yaratılan yükleri toplamak için kullanılan çok popüler bir anot elektrottur. Fakat ITO'nun çok pahalı olmasından dolayı birçok yeni malzeme onunla yer değiştirmek için geliştirilmektedir. Bu malzemelerin gelecekte yüksek iletkenlik, yüksek geçirgenlik ve esnek altlıklarda iyi mekanik dayanıklılık göstermeleri durumunda, kullanılmaları amaçlanmaktadır. En göze çarpan organik malzeme ise PEDOT:PSS'tir. Araştırmacılar onun iletkenliğini arttırmak için birçok modifikasyon yapmışlardır. İletkenliğinin 10^3 S/cm 'e kadar çıktığı rapor edilmiştir. PEDOT:PSS yeni formülü de geliştirilmiştir (Gadisa vd., 2006; Krebs vd., 2006).

Metal ızgara transparan elektrot olarak kullanılan bir başka adaydır. Transparan elektrot olarak gümüş ızgaraların, polimer ışık veren diyotlarda kullanılması ile elde edilen performansın, ITO'nun performansı ile kıyas götürebilecek seviyede olduğu rapor edilmiştir (Myung-Gyu ve Jay, 2007).

Karbon nanotüpler (SWCNTs) de bir başka alternatiftir. (SWCNTs)'ler organik elektronik cihazlar için çözeltiden hazırlanarak transparan elektrot olarak kullanılırlar (Wu vd., 2004). Karbon nanotüpler tersine çevrilmiş cihazlarda kullanılıp ITO olmadan da performans kaybı olmadan elektrot görevini yerine getirmişlerdir (Zimmermann vd., 2007).

3.9.5 Polimer Güneş Gözelerinin Kararlılığı

Organik güneş gözelerinin verimi adım adım arttırılırken organik güneş gözelerinin ticari yönü, bilim insanlarını organik güneş gözelerinin dayanıklılığına da odaklanmaya itti. Diğer organik cihazlar gibi organik güneş gözeleri de kapsüle edilmeden birkaç dakikadan birkaç güne kadar değişen aralıkta olabilecek çok kısa bir yaşam ömrüne sahip olurlar (Krebs vd., 2005).

Termoklövaj malzemeler havaya dayanıklı güneş gözelerini üretmek için kullanılmaktadır. Aktif tabaka termoklövaj yan zincirlerine sahip malzemeler tarafından şekillendirilir. Sıcaklık uygulamak bu çözünebilir malzemeleri çözünemeyen katı filmlere dönüştürür. Bu termoklövaj malzemelerle şekillenen filmlerin diğer yaygın polimerlerden daha dayanıklı olduğuna inanıldı. Krebs ve diğerleri termoklövaj malzemelerle yapılan hacim heteroeklemlerli polimer güneş gözeleri rapor etti (Krebs vd., 2008a; 2008b). Ayrıca farklı ester gruplarını değiştirmeye karşılık, farklı sıcaklıklar uygulanarak dayanıklılığın ne kadar etkilendiği de

gözlendi. (Petersen vd., 2008).

Bunların dışında hacim heteroeklem yapısına sahip cihazların, çift katlı yapıdan daha dayanıklı olduğu bulundu. Bu büyük ihtimalle polimerin yüksek reaktifli uyarılmış durumlarını boşaltan hızlı elektron transferi sebebiyledir (Neugebauer vd., 2000).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Giriş

Organik güneş gözesi araştırmaları her geçen gün artan bir ilgiyle devam etmektedir. Organik yarı iletkenler, kolay üretilebilme özelliklerine, hafif ağırlıklara, çok çeşitli cihazlara kolaylıkla entegre edilme ve kimyasal olarak değiştirilebilir özelliklere sahiptir (Sarıçiftçi, 2004). Bu özellikler, organik plastik güneş gözelerinin geleneksel silisyum güneş gözelerine kıyasla sahip oldukları avantajlardır. Organik güneş gözeleri karşılıklı içiçe geçmiş ağlarla perkolasyon yapmak için, temel olarak elektron veren bir konjuge polimer ve elektron alan bir malzemeden oluşur (Shaheen vd., 2001; Brabec vd., 2001a; Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

π -konjuge polimerler arasında politiyofenler, sadece organik güneş gözeleri için değil, aynı zamanda diğer elektronik cihazlar olan ışık veren diyotlar ve alan etkili transistörler için de ümit vaadeden adaylardır (AlIbrahim vd., 2005). Günümüzde organik güneş gözelerinde donör olarak en çok kullanılan politiyofen türevleri, poly(3-hekziltiyofen) (P3HT) ve poly(3-oktiltiyofen) (P3OT)'dir (Erb vd., 2004; Hoth vd., 2008; Hauch vd., 2008). Son dönemde %100'e yaklaşan iç kuantum verimiyle %6.1'lik hacim heteroeklemlili güneş gözeleri rapor edilmiştir (Park vd., 2009). Organik güneş gözelerindeki ilerleme, daha iyi soğurma ve taşıma özelliklerine sahip, gelişmiş malzemeler için talep oluşturmaktadır.

4.2 Kullanılan Malzemeler

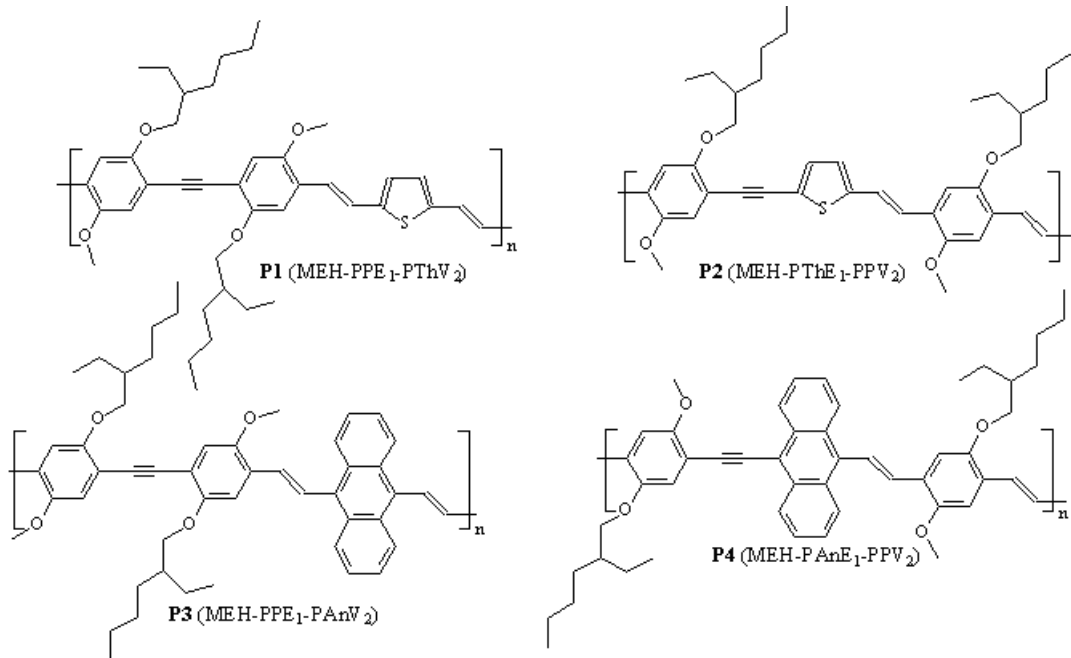
Bu tezde, iki tane tiyofen içeren polimerin (P1 ve P2) [poly{(1, 4-(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy)-phenylene-ethynylene-1, 4-(5-[(2-ethylhexyl)oxy]-2-methoxy)phenylene-vinylene-2, 5-thiophenylene-vinylene} (MEH-PPE₁-PThV₂) (P1), [poly(1, 4-(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy)-phenylene-ethynylene-2, 5-thiophenylene-vinylene-1, 4-(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy)-phenylene-vinylene) (MEH-PThE₁-PPV₂) (P2)] ve iki tane de antrasen içeren polimerin (P3 ve P4) [poly{1, 4-(5-[(2-ethylhexyl)oxy]-2-methoxy)phenylene-ethynylene-1, 4-(5-[(2-ethylhexyl)oxy]-2-methoxy)phenylene-vinylene-9, 10-anthracenylene-vinylene}MEH-PPE₁-PAnV₂ (P3), [poly {(1, 4-(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy)-phenylene-ethynylene-9, 10-anthracenylene-vinylene-1, 4-[(5-(2-ethylhexyl)oxy)-2-methoxy]-phenylene-vinylene} (MEH-PAnE₁-PPV₂) (P4)]'ün fotovoltaiik özellikleri, farklı çözücü etkisi altında incelenmiştir. Çözelti olarak toluen, kloroform ve klorobenzen kullanılmıştır.

P1, P2, P3 ve P4 hazırlanan güneş gözelerinde donör olarak kullanılmışlardır. Sentezleri, moleküler ağırlıkları, optik ve elektrokimyasal karakteristikleri başka bir makalede anlatılmıştır (Wild vd., 2009).

Donör olarak kullanılan P1-P4'ün kimyasal yapıları şekil 4.1'de gösterilirken, çizelge 4.1'de de P1-P4'ün ince film optik ve elektronik bilgileri özetlenmiştir (Wild vd., 2009).

Çizelge 4.1 P1-P4'ün ince film optik ve elektronik bilgileri

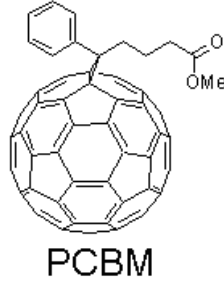
kod	M_n [g/mol]	M_w/M_n	P_n	λ_a [nm]	$E_g^{\text{opt b)}$ [eV]	HOMO [eV]	LUMO [eV]	E_g^{elc} [eV]
P1	16 600	1. 9	26	508	2. 11	5. 17	3. 23	1. 94
P2	32 500	2. 3	52	499	2. 11	5. 15	3. 15	2. 00
P3	33 000	2. 4	46	453	2. 22	5. 21	3. 23	1. 98
P4	31 000	2. 5	43	506	2. 05	5. 23	3. 35	1. 88



Şekil 4.1 P1, P2, P3 ve P4'ün kimyasal yapıları (Wild vd., 2009).

4.2.1 PC₆₁BM

PC₆₁BM (1-(3-metoksikarbonil) propil-1-fenil[6, 6]C₆₁) organik çözücülerde çok iyi çözünen n-tipli bir malzemedir. Fulleren türevidir. Güneş gözelerinde akseptör olarak kullanılır. Optik soğurması görünür bölgenin altındadır. PCBM'in kimyasal yapısı şekil 4.2'de gösterilmiştir. PCBM'in 350 nm'de soğurma piki vardır.



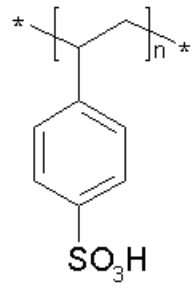
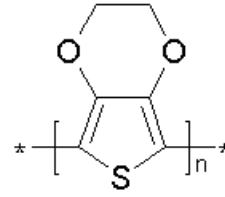
Şekil 4.2 PCBM'in kimyasal yapısı

PC₆₁BM (1-(3-metoksikarbonil) propil-1-fenil[6, 6]C₆₁) n tipli bir malzeme olduğu için hazırlanan güneş gözelerinde akseptör olarak kullanılmıştır.

4.2.2 PEDOT:PSS

PEDOT:PSS (polietilendioksitiyofen: polistirensülfonat), PEDOT(poli etilendioksitiyofen) polistren sulfanik asitle (PSS) katkılanarak PEDOT:PSS halini alır. Şekil 4.3'de kimyasal yapısı gösterilmektedir. Su bazlıdır. Politiyofen içeren, p tipli bir malzemedir. LED'lerde de bu malzeme kullanılmaktadır. PEDOT:PSS ITO elektrotun kalitesini artırır. Pürüzlü olan ITO yüzeyinin üstüne kaplanarak, ortamın pürüzlülüğünü azaltır. Ayrıca deliklerin elektrotlara taşınmasında, enerji açısından bir basamak görevi görür. Aynı zamanda delik enjeksiyonunu (girmesini) ve ekstraksiyonunu (çıkmasını) artırır.

PEDOT:PSS tabakasına kimyasal işlem uygulayarak iş fonksiyonu değiştirilebilir.

**PSS****PEDOT**

Şekil 4.3 PEDOT:PSS'in kimyasal yapısı

4.3 Organik Güneş Gözelerinin Hazırlanması

Güneş gözelerini hazırlamak için 1.5 cm × 1.5 cm boyutlarında, indiyum kalay oksit (ITO) kaplı camlar kullanıldı. ITO kaplı cam yüzeyinin bir kısmı, HCl:HNO₃:H₂O (4.6: 0.4: 5) oranlarında hazırlanan asit çözeltisinde 30 dakika bekletilerek aşındırma (etching) işlemine tabi tutuldu. Kontağı oluşturacak olan cam yüzeyinin bir kısmı, skotch bantla kapatılarak dağlama işleminden etkilenmemesi sağlandı. Dağlama (etching) işleminden sonra bant cam yüzeyinden çıkarılıp, ITO kaplı camlar önce deterjanlı suda yıkanıp destile sudan geçirildikten sonra sırasıyla 10 dakika aseton, 15 dakika isopropanol ve tekrar 10 dakika destile su ile ultrasonik banyoda yıkanıp temizlenip ardından azot tabancasıyla kurutuldu. Daha sonra kimyasal yapısı Şekil 4.3'de gösterilen polystren-sulfonik asit katkılanmış poly(etilen-dioksitiyofen) PEDOT:PSS, ince film şeklinde dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile 2000 devir/dakika hızla kaplandı.

P1, P2, P3, P4 polimerlerinin her biri toluende, kloroformda ve klorobenzende olmak üzere 3 farklı çözücüde PC₆₁BM'le farklı oranlarda karıştırılarak çözelti haline getirildi. Bu çözeltiler hazırlanırken her bir polimerin (P1, P2, P3, P4) PC₆₁BM'le hangi oranlarda karıştırıldığı çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 Farklı polimerlerin PC₆₁BM'le karışım oranları a) polimer P1:PC₆₁BM, b) polimer P2:PC₆₁BM, c) polimer P3:PC₆₁BM ve d) polimer P4:PC₆₁BM

P1	PCBM	ORAN
6 mg	6 mg	1:1
6 mg	12 mg	1:2
6 mg	18 mg	1:3
6 mg	24 mg	1:4

a)

P2	PCBM	ORAN
6 mg	6 mg	1:1
6 mg	12 mg	1:2
6 mg	18 mg	1:3
6 mg	24 mg	1:4

b)

P3	PCBM	ORAN
6 mg	6 mg	1:1
6 mg	12 mg	1:2
6 mg	18 mg	1:3
6 mg	24 mg	1:4

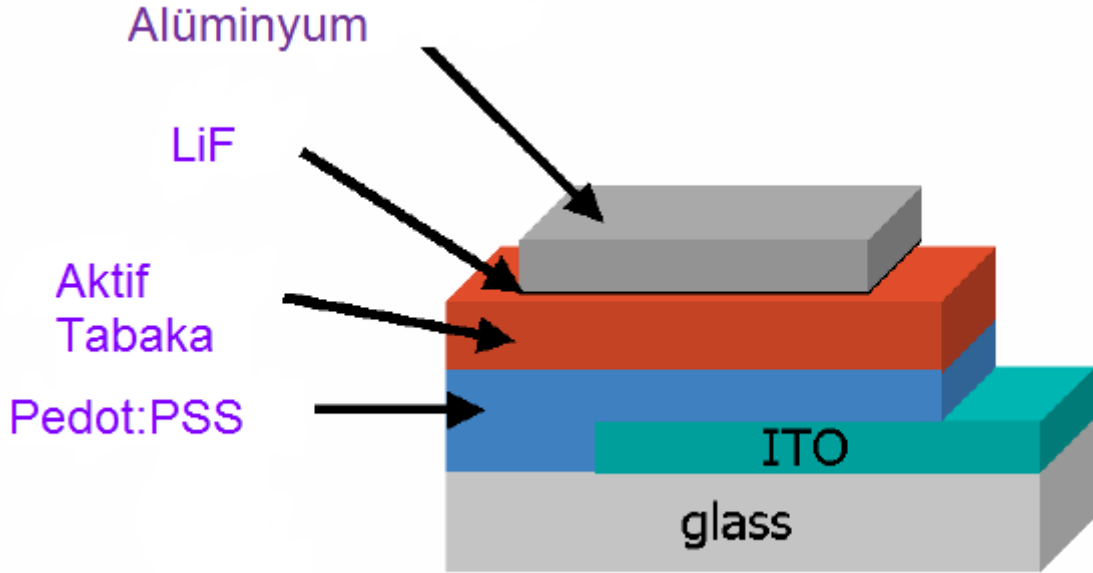
c)

P4	PCBM	ORAN
6 mg	6 mg	1:1
6 mg	12 mg	1:2
6 mg	18 mg	1:3
6 mg	24 mg	1:4

d)

Çizelge 4.2'de de görüldüğü gibi P1, P2, P3, P4 oranı sabit tutulup, düzenli olarak PCBM oranı artırıldı. Hazırlanan her bir çözeltide 1ml çözücü kullanıldı. Örneğin, P1 polimeriyle/PCBM arasında (1:1) oranında hazırlanan çözeltide 6 mg P1, 6 mg PCBM ve bir ml tolüen, kloroform ya da klorobenzen kullanıldı. Hazırlanan çözeltiler manyetik karıştırıcıda 50 °C sıcaklıkta bir gece karıştırıldı. Üst elektrot olarak 0. 6 nm lityum florid (LiF) ve 100 nm Alüminyum (Al) termal olarak buharlaştırıldı. Şekil 4.4'de hazırlanan

organik güneş gözesi yapısı görülmektedir. Hazırlanan güneş gözeleri ITO/PEDOT:PSS/Polimer:PCBM/LiF/Al yapısı kullanılarak hazırlandı.



Şekil 4.4 Hazırlanan organik güneş gözesi yapısı

4.4 Güneş Gözelerinin Karakterizasyon Yöntemleri

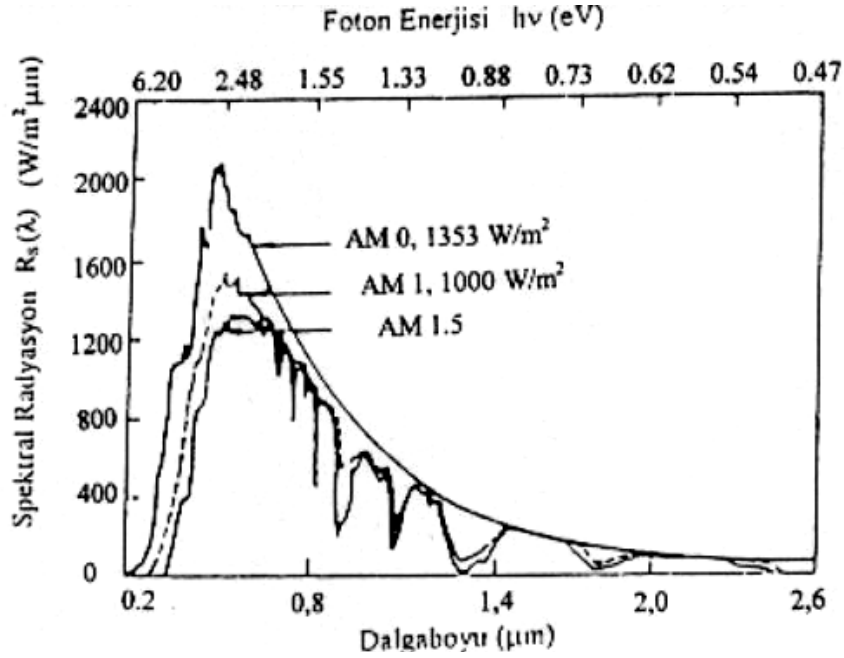
Hazırlanan güneş gözelerini karakterize etmek için birkaç farklı yöntem kullanılmıştır. Kullanılan bu yöntemlerin özellikleriyle ilgili bilinmesi gereken temel bilgiler 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 ve 4.4.4’de sıralanmıştır.

4.4.1 Güneş Gözelerinin Karakterizasyonu için Gereken Standart Şart

Dünyanın farklı yerlerindeki laboratuvarlarda üretilen ve karakterize edilen güneş gözelerinin karşılaştırılabilmesi için, ölçümlerin tamamı standart test şartlarında yapılmalıdır. Bu şartlara göre ölçümü yapılan güneş gözesinin sıcaklığı 25°C, ölçüm alınan ışınımın şiddeti 100 mW/cm² ve spektral dağılımı 1,5 AM olmalıdır.

Dünya yüzeyinin aldığı güneş enerjisinin miktarını atmosferik koşullar belirler. Atmosferik koşulların dünya yüzeyine ulaşan güneş ışığını etkileme oranı, Air Mass (AM) koşulu ile tanımlanır. Şekil 4.5’de AM0 ve AM1 koşullarında güneşten yayınlan enerjinin spektral dağılımını (birim yüzeye birim dalga boyunda güneşten ulaşan güç) gösteren eğriler görülmektedir. Üstteki eğri, dünya atmosferi dışındaki güneş ışığının (güneş sabitinin)

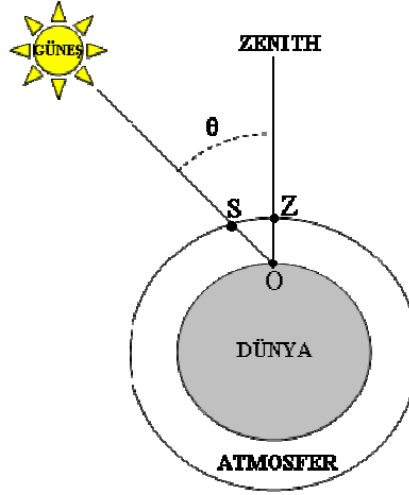
spektral dağılımını gösterir. Bu AM0 koşulu olarak adlandırılır. Altındaki eğri ise güneş tam tepede iken dünya atmosferinden geçerek yeryüzüne ulaşan ışığın (güneş sabitinin) spektral dağılımını verir. Bu koşul ise AM1 koşulu olarak adlandırılır. Son olarak ise güneşin dünyanın tepesi ile 48°'lik açı yaptığı durumda yeryüzüne ulaşan güneş ışığının spektral dağılımı görülmektedir. Bu da AM1.5 koşuludur. AM0, AM1, AM1.5 koşullarında dünyaya ulaşan ışık şiddetleri ve spektrumları farklıdır. Çünkü bu koşulların herbirinde, güneş ışığının dünyaya giriş açıları, yeryüzüne ulaşana kadar aldığı yollar, soğurulma ve saçılma oranları farklıdır (Tercan, 2000).



Şekil 4.5 Güneşten gelen ışınım enerjisinin, AM koşullarına göre spektral dağılımının gösterimi (Tercan, 2000).

Bir başka ifadeyle tanımlamak istersek Hava Kütlesi (AM), güneş ışınlarının, güneş zenith noktasına θ° konumunda iken atmosferde aldığı yolu, ışınların güneş zenith konumunda iken atmosferde aldığı yola oranıdır (Şekil 4.6). 1.5 AM hava kütlesi spektral dağılımı, standart test şartı olarak belirlenmiştir ve güneş ışınları $\theta = 48^\circ$ açıyla gelirken sahip oldukları spektral güç dağılımıdır. Denklem 4.1 hava kütlesi AM'in hesaplanışını göstermektedir.

$$AM \approx \frac{1}{\cos \theta} = \frac{SO}{ZO} \quad (4.1)$$



Şekil 4.6 Hava kütlesi (AM) kavramının şematik gösterimi (Zafer, 2006).

4.4.2 I-V Karakterizasyonu

Fotovoltaik sistemler genellikle, karanlık da dahil olmak üzere farklı ışınlam şiddetlerinde uygulanan gerilime göre değişen akım yoğunluğunun ölçülmesi ile karakterize edilirler.

Güneş gözelerinin akım – voltaj karakteristikleri, bilgisayar kontrollü potansiyostat, xenon lambaya sahip 1.5 AM filtreli güneş simülatörü ve veri işleme yazılımı kullanarak yapılmıştır.

4.4.3 IPCE

IPCE gelen fotonun elektrik akımına dönüşüm verimidir. Monokromatik ışınlam altında fotoakım ölçümü ile, gelen fotonun elektrik akımına dönüşüm verimi (IPCE) hesaplanabilmektedir. IPCE ölçümleriyle devrede varolan organik yapıların toplam fotoakım yaratılmasına katkısı incelenebilir. IPCE spektrumunun şekli fotovoltaik devrenin hangi kısmının aktif olduğu konusunda bilgi verir.

IPCE (Incident Photon to Current Conversion Efficiency) (% IPCE) aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$\text{IPCE (\%)} = \frac{I_{sc} \times 1240}{P_{in} \times \lambda_{gelen}}, \quad (4.2)$$

I_{sc} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) kısa devre akımıdır ve kısa devre şartlarında hesaplanır. P_{in} (W/m^2) gelen ışığın gücüdür, ve ise λ_{gelen} (nm) gelen fotonun dalga boyudur.

4.4.4 AFM

Organik güneş gözelerinin performanslarının, doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için yüzey morfolojik özelliklerini bilmek büyük önem taşımaktadır. Organik filmlerin yüzey morfolojisini ve özelliklerini incelemek için mikroskopik analiz yöntemlerinden biri olan AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu) kullanılmıştır.

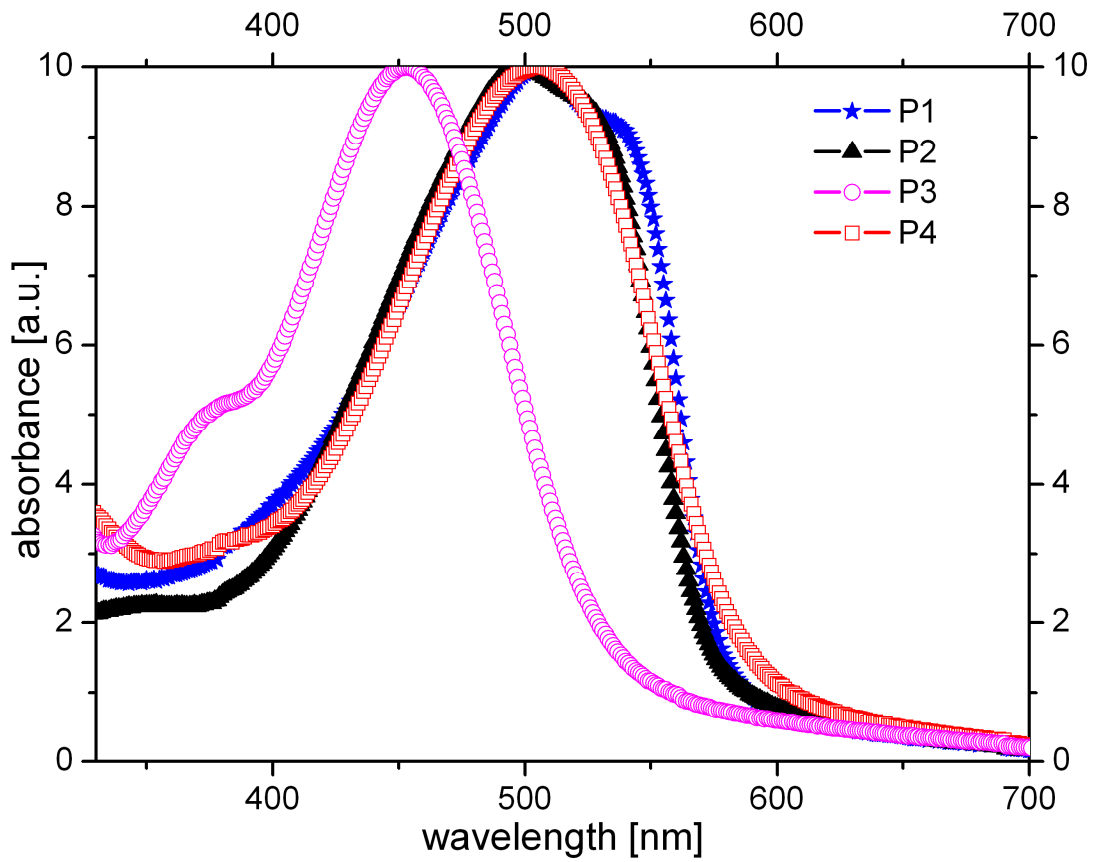
AFM, sıvı ya da katı örneklerin yüzey topografisini nanometre (nm) seviyesinde görüntüleyebilen ve moleküller arası kuvvetleri (nN, pN) ölçebilen bir sistemdir. Örnek ile iğne arasındaki kuvvet etkileşimi sonucu kaldıraç mekanizması nm ölçeğinde hareket eder. Bu hareketten faydalanılarak bilgisayar ortamına aktarılan veriler, yazılım aracılığıyla derlenerek ya örneğin görüntüsü elde edilir ya da iğne ve örnek arası etkileşimler ölçülür. Hassas bir iğnenin yüzeyi taramasıyla, yüzeyin yüksek çözünürlüklü 3d görüntüsünü verir. Örneğin iletken olma koşulu yoktur. Örnek hazırlama ve kullanımı oldukça kolaydır. Hava, sıvı, vakum ortamlarında görüntüleme yapabilir. Biyolojik örnekler, kaplamalar, seramikler, kompozitler, camlar, membranlar, metaller, polimerler ve yarı iletkenler gibi materyallerin yüzeyleri ayrıntılı görüntülenebilir ve elektriksel yük, manyetiklik, adhesif, hidrofilik davranış gibi çeşitli özellikleri belirlenebilir. İğne ucuna immobilizasyon ile moleküller arası çekim kuvvetlerinin ölçülmesi ve moleküler sensör çalışmaları gerçekleştirilebilir (Doğan, 2006).

Filmlerin nanomorfolojisi Digital instrument 3100 atomik kuvvet mikroskobuyla (AFM) alınmıştır. Görüntüler “tapping mode” kullanarak alınmıştır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1 P1, P2, P3 ve P4 Polimerlerinin Soğurma Spektrumları

Güneş gözesini oluşturan her bir bileşenin optik soğurma spektrumunun bilinmesi güneş gözesinin spektral yansımada bileşenlerin rolünün incelenmesi açısından önemlidir. Böylece yük yaratılma mekanizmasında hangi bileşenin etkin rol oynadığını bulmak daha kolay olacaktır. Şekil 5.1’de P1, P2, P3 ve P4’ün optik soğurma spektrumları verilmektedir.



Şekil 5.1 P1, P2, P3, P4’ün ince filmlerinin optik soğurma spektrumları

P1 ve P2’nin hem çözeltide hemde ince filmde optik soğurma spektrumları benzerdir (Wild vd., 2009). Antrasen içeren polimerler P3 ve P4’ün optik soğurma spektrumu ise birbirinden farklıdır.

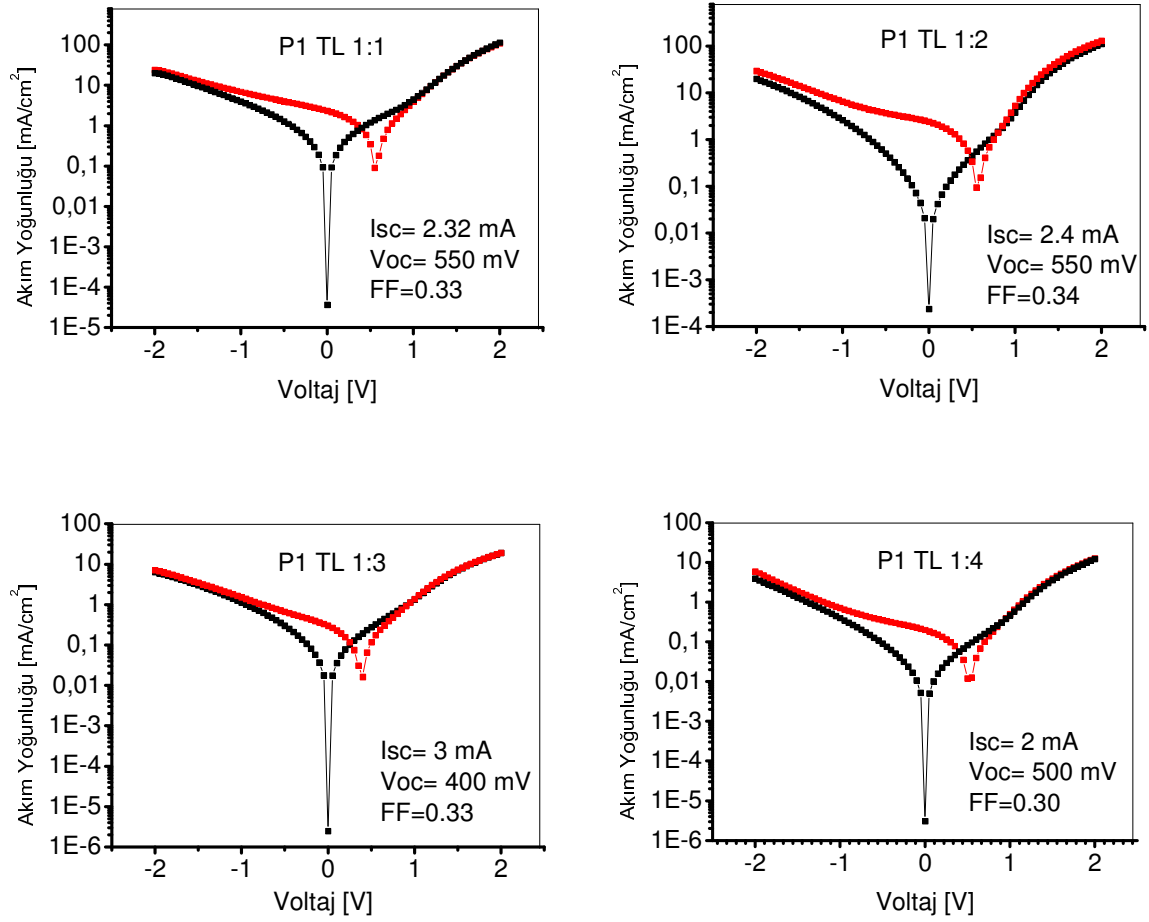
5.2 Tiyofen İçeren Konjuge Polimerler Kullanılarak Hazırlanan Organik Güneş Gözeleri

Tiyofen içeren olan P1 ve P2 polimerleriyle hazırlanan organik güneş gözelerinin fotovoltaiik karakterizasyon sonuçları aşağıda sıralanmıştır. P1, P2'nin akım-gerilim karakteristikleri, IPCE sonuçları ve AFM görüntüleri incelenerek güneş gözesi performansını etkileyen faktörler ayrıntılarıyla incelenmiştir.

5.2.1 Tiyofen İçeren P1 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları

5.2.1.1 P1 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları

P1 polimerinin toluen çözücüsüyle çözelti oluşturulduğunda verdiği en iyi performans PCBM'le 1:2 oranında hazırlandığında gösterdiği performanstır. Bu orandaki güç dönüşüm verimi %0.44 olarak hesaplanmıştır. En düşük güç dönüşüm verimi ise %0.3 olarak hesaplanmış olup, 1:4 oranında hazırlanmış gözelerde elde edilmiştir. 1:4 oranında hazırlanan göze dışındaki, güneş gözelerinin güç dönüşüm verimleri birbirine oldukça yakındır. En yüksek I_{sc} 3 mA/cm² iken en düşük I_{sc} ise 2 mA/cm² olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek V_{oc} , 550 mV iken en düşük V_{oc} , 400 mV olarak elde edilmiştir. En düşük FF, 0.3 iken en yüksek FF'ün 0.34 olduğu görülmüştür. Dolgu faktörlerinin genel olarak düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.2 toluende hazırlanan P1:PCBM güneş gözelerinin akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Bu gözeler ITO/PEDOT:PSS/P1:PCBM/LiF/Al yapısında ve 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarında hazırlanmıştır. Çizelge 5.1 ise bu güneş gözelerinin fotovoltaiik sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 5.2 Toluendeki P1:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği

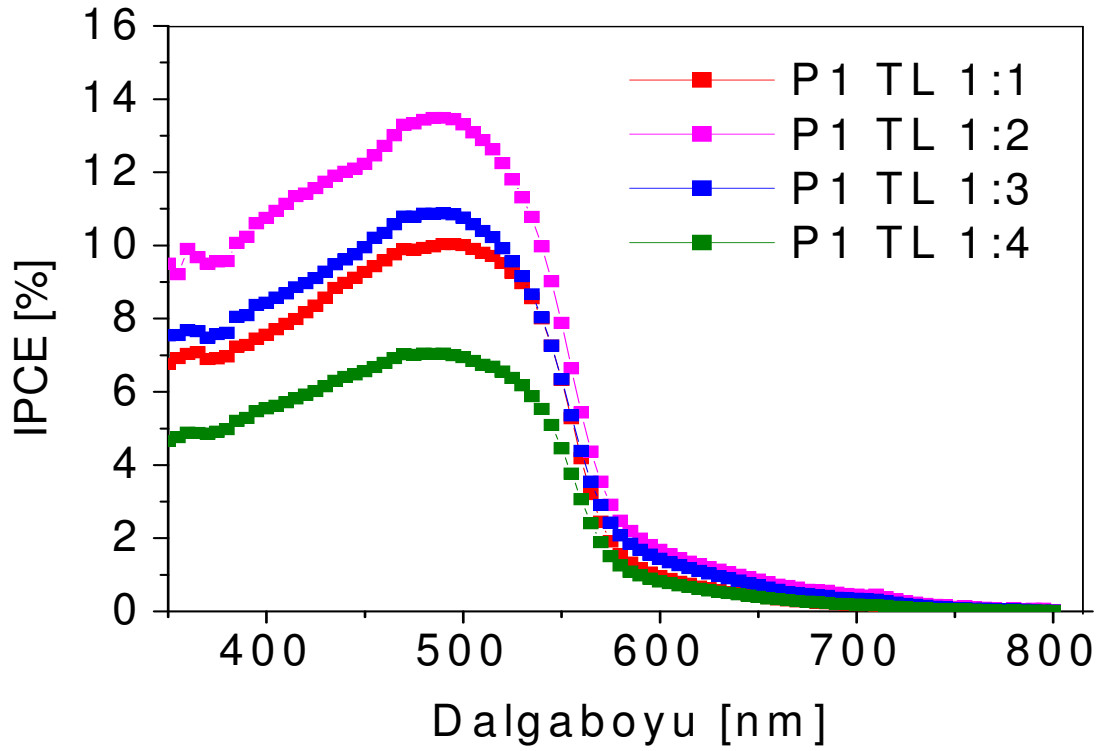
Çizelge 5.1 Toluendeki P1:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaik dataları

P1:PCBM-TL	$J_{sc} \text{ (mA/cm}^2\text{)}$	$V_{oc} \text{ (mV)}$	FF	$\eta \text{ (\%)}$
1:1	2.32	550	0.33	0.42
1:2	2.4	550	0.34	0.44
1:3	3	400	0.33	0.39
1:4	2	500	0.30	0.30

IPCE (incident photon to current efficiency) ölçümleri de yapılmıştır. IPCE soğurulan farklı enerjideki fotonların yüzde kaçının, elektrotlara ulaşarak yük yaratılmasına katkı sağladığını gösterir. Optik soğurma skalasının spektral cevapla kıyaslanması sonucu, yük taşıma mekanizmasıyla ilgili bilgiler elde edilebilir.

P1'le toluende 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarında hazırlanan gözelerin %IPCE değerleri 500 nm'de pik yapmıştır. %IPCE'ler sırasıyla %7, %14, %10 ve %6 civarında ölçülmüştür. Soğurma spektrumu ise 350 nm ile 800 nm arasında değişiklik göstermiştir.

Şekil 5.3 Toluende hazırlanan P1:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerlerini göstermektedir.



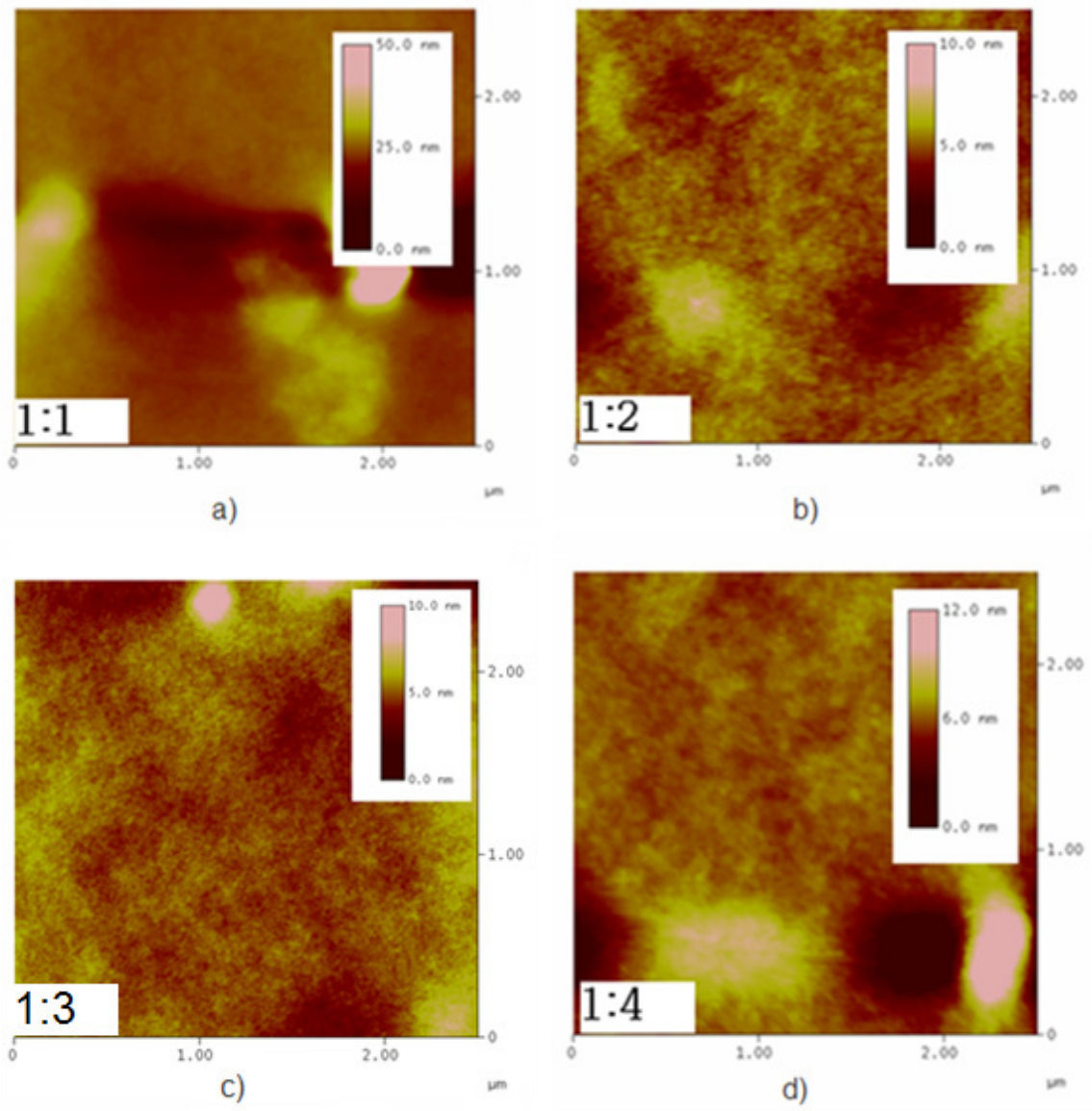
Şekil 5.3 Toluende hazırlanan P1:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri

5.2.1.2 P1 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi

Güneş gözelerinin davranışları, aktif tabakanın nanomorfolojisini anlayarak daha iyi analiz edilebilir. Hacim heteroeklemlı güneş gözelerindeki zorluk, donör ve akseptör malzemeyi nano ölçekte organize etmektir. Yük taşıyıcılarının elektrotlara ulaşmasını sağlamak için ve iç içe geçmiş, bozulmamış, devamlılığı olan geçiş yolları kurulmalı ve donör –akseptör arasında meydana gelebilecek faz ayırımından kaçınılmalıdır. Bu özellikleri incelemenin yollarından birisi de atomik kuvvet mikroskopuyla (AFM)'le, film yüzeylerinin farklı özellikteki resimlerini almaktır.

Fotovoltaik performansın filmlerin morfolojisi ile olan bağlantısını inceleyebilmek için AFM görüntüleri alınmıştır. AFM görüntülerindeki yüzey pürüzlülüğü göze performansını etkilemektedir. Yükseklik skalası (Height scale) olarak adlandırılan veriye yüzey pürüzlülüğünün ölçüsünü gösteren bir parametre olarak bakılabilir.

Şekil 5.4 Toluende dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile hazırlanmış P1:PCBM filmlerinin, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarına ait AFM resimlerini göstermektedir.



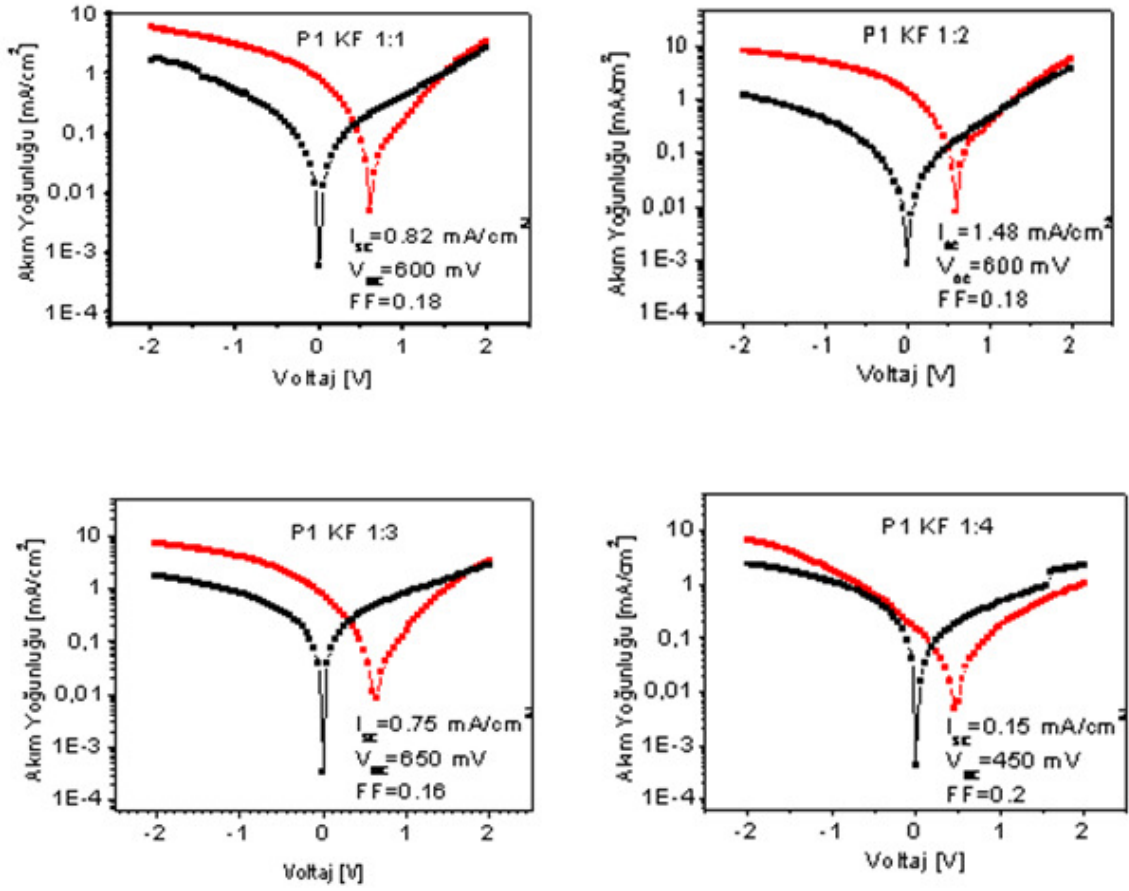
Şekil 5.4 Polimer P1:PCBM ile toluende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4

Şekil 5.4’de görüldüğü gibi, yükseklik skalası değerinden okunan büyüklüklere göre, P1:PCBM filmlerinin arasında en pürüzsüz yüzeye sahip olanı 1:2 ve 1:3 oranında hazırlanandır. 1:2 oranında hazırlanan gözenin performansı da, yüzey görüntüleriyle uyumlu olup en yüksek güç dönüşüm verimine sahiptir. En pürüzlü yüzey ise 1:1 oranında hazırlanan filminden elde edilmiştir.

5.2.2 Tiyofen İçeren P1 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları

5.2.2.1 P1 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları

P1 polimerinin kloroform çözücüsüyle çözelti oluşturulduğunda verdiği en iyi performans PCBM'le 1:2 oranında hazırlandığında gösterdiği performanstır. Bu orandaki güç dönüşüm verimi % 0.15 olarak hesaplanmıştır. En düşük güç dönüşüm verimi ise %0.01 olarak hesaplanmış olup, 1:4 oranında hazırlanmış gözelerde elde edilmiştir. En yüksek I_{sc} , 1.48 mA/cm² iken, en düşük I_{sc} ise 0.15 mA/cm² olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek V_{oc} , 650 mV iken en düşük V_{oc} , 450 mV olarak elde edilmiştir. En düşük FF, ise 0.16 iken en yüksek FF'ün 0.2 olduğu görülmüştür. Dolgu faktörlerinin genel olarak düşük olduğu burada da gözlenmiştir. Şekil 5.5 kloroformda hazırlanan P1:PCBM güneş gözelerinin akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Bu gözeler ITO/PEDOT:PSS/P1:PCBM/LiF/Al yapısında ve 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarında hazırlanmıştır. Çizelge 5.2 ise bu güneş gözelerinin fotovoltaiik sonuçlarını göstermektedir.



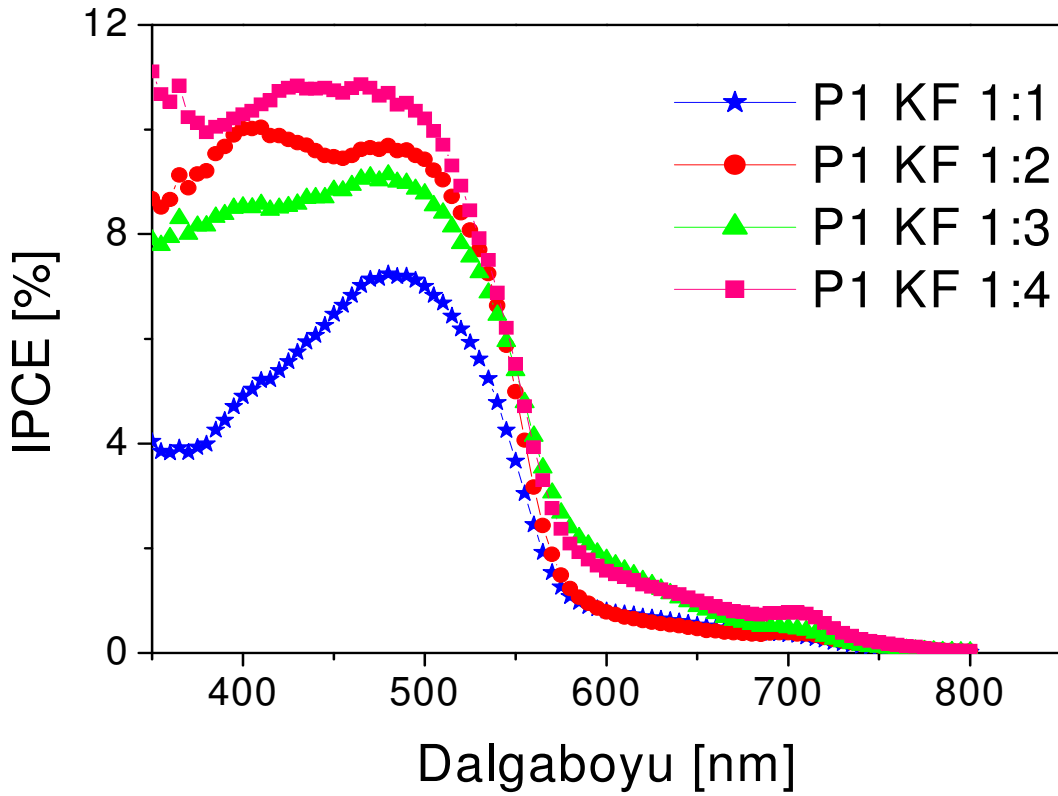
Şekil 5.5 Kloroformdaki P1:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği

Çizelge 5.2 Kloroformdaki P1:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltajik dataları

P1:PCBM-KF	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
1:1	0.82	600	0.18	0.08
1:2	1.48	600	0.18	0.15
1:3	0.75	650	0.16	0.07
1:4	0.15	450	0.2	0.01

P1'le kloroformda 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarında hazırlanan gözelerin IPCE yüzdeleri sırasıyla 400-500 nm arasında %7, %9, %10 ve %11 civarında ölçülmüştür. Soğurma spektrumu ise 350 nm ile 800 nm arasında değişiklik göstermiştir.

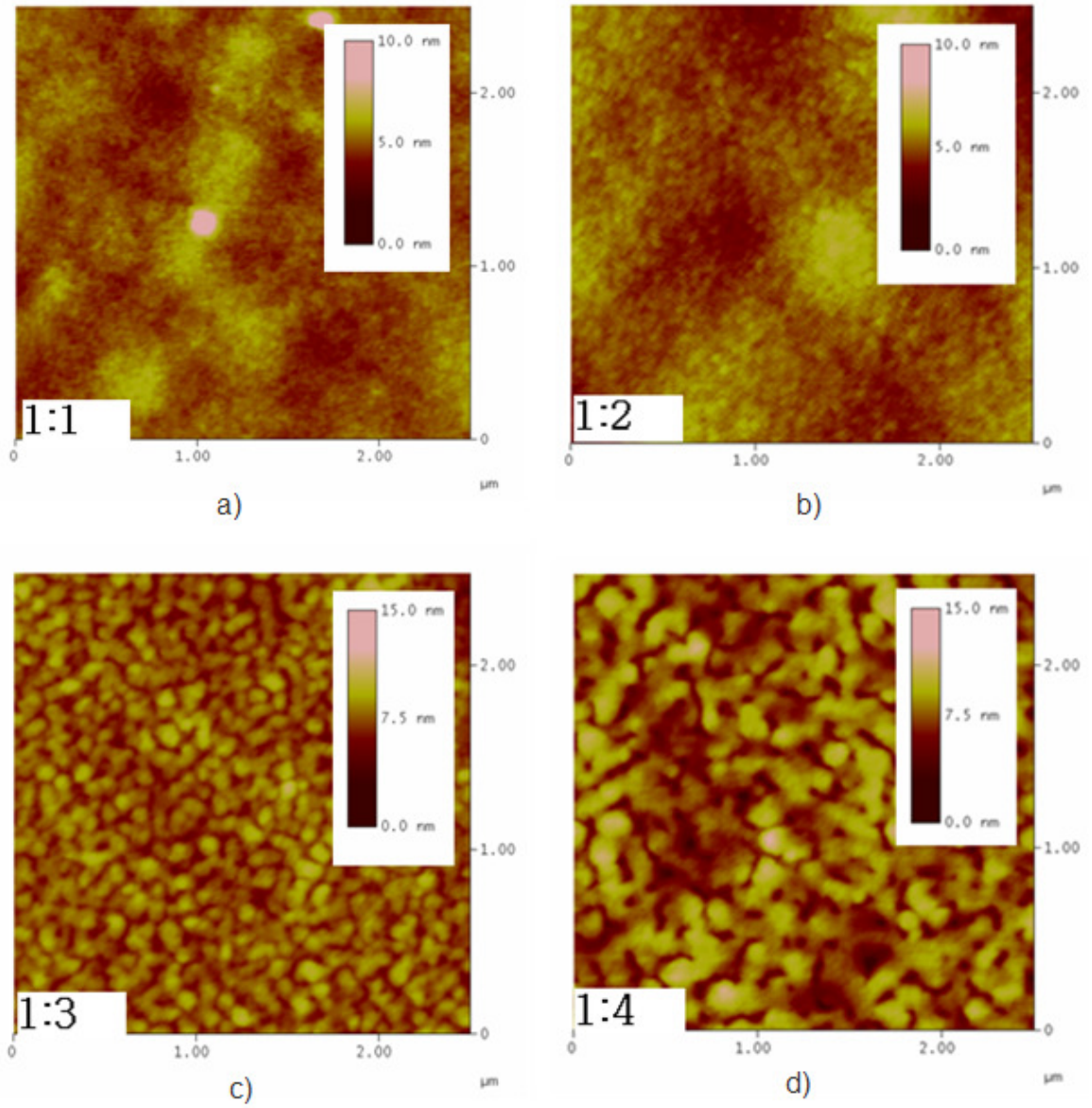
Şekil 5.6 kloroformda hazırlanan P1:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerlerini göstermektedir.



Şekil 5.6 Kloroformda hazırlanan P1:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri

5.2.2.2 P1 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi

Fotovoltaik performansın filmlerin morfolojisi ile olan bağlantısını inceleyebilmek için AFM görüntüleri alınmıştır. Şekil 5.7 kloroformda dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile hazırlanmış P1:PCBM filmlerinin, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarına ait AFM resimlerini göstermektedir.



Şekil 5.7 Polimer P1:PCBM ile kloroformda hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM Resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi, yükseklik skalası değerinden okunan büyüklüklere göre, P1:PCBM filmlerinin arasında en pürüzsüz yüzeye sahip olan filmler 1:1 ve 1:2 oranında hazırlanandır. En pürüzlü yüzey ise 1:3 ve 1:4 oranında hazırlanan filmlerden elde edilmiştir. Bu filmlerde faz ayrımı gözlenmiş ve yüzeylerde gözlenen delik gibi yapıların, formasyonu bozarak dolgu faktörlerinin düşük olmasına sebebiyet vermiş olabileceği düşünülmektedir.

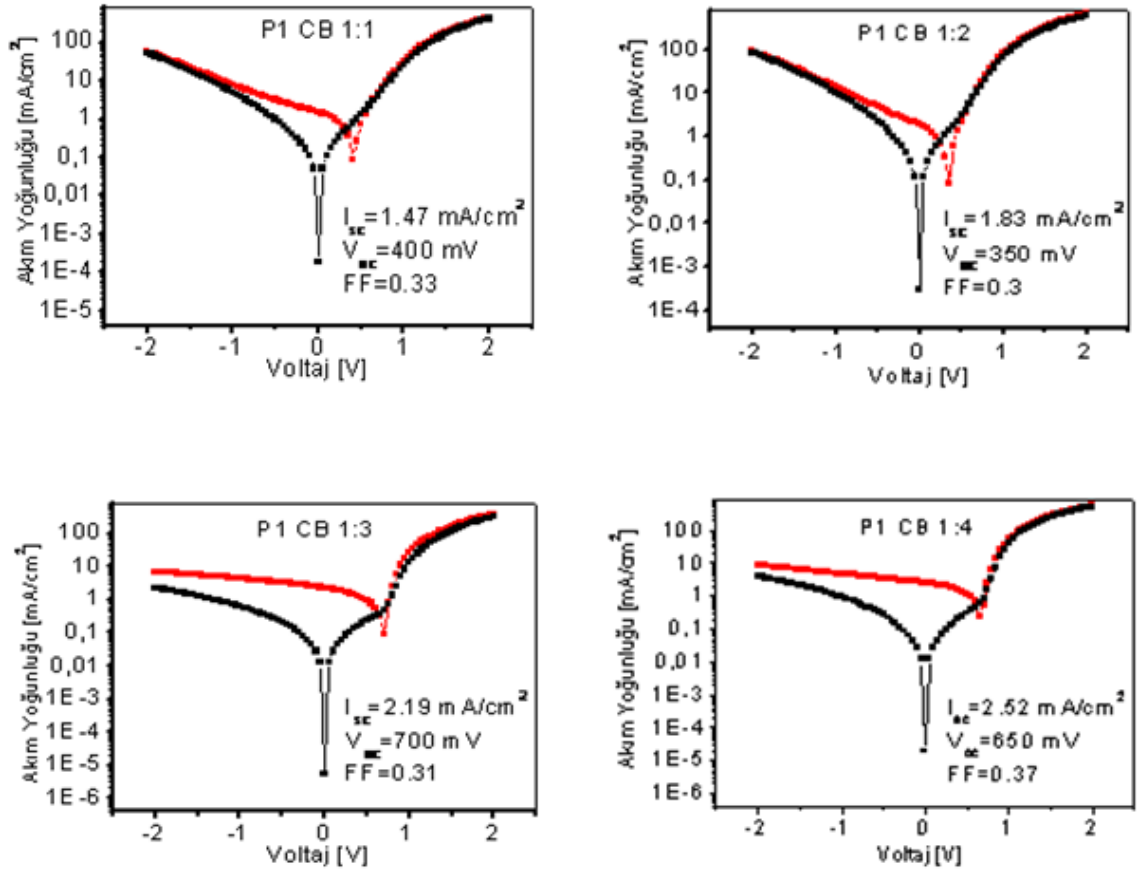
5.2.3 Tiyofen İçeren P1 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları

5.2.3.1 P1 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları

P1 polimerinin klorobenzen çözücüsüyle çözelti oluşturulduğunda verdiği en iyi performans PCBM'le 1:4 oranında hazırlandığında gösterdiği performanstır. Bu orandaki güç dönüşüm verimi %0.60 olarak hesaplanmıştır. En düşük güç dönüşüm verimi ise %0.19 olarak hesaplanmış olup, 1:1 ve 1:2 oranında hazırlanmış gözelerden elde edilmiştir. En yüksek J_{sc} ise 2.52 mA/cm^2 iken en düşük J_{sc} ise 1.47 mA/cm^2 olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek V_{oc} 700 mV iken en düşük V_{oc} 350 mV olarak elde edilmiştir. En düşük FF, ise 0.30 iken en yüksek FF'ün 0.37 olduğu görülmüştür. Dolgu faktörlerinin genel olarak düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.8 klorobenzende hazırlanan P1:PCBM güneş gözelerinin akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Bu gözeler ITO/PEDOT:PSS/P1:PCBM/LiF/Al yapısında ve 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarında hazırlanmıştır. Çizelge 5.3 ise bu güneş gözelerinin fotovoltaiik sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 5.3 Klorobenzendeki P1:PCBM Güneş Gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları

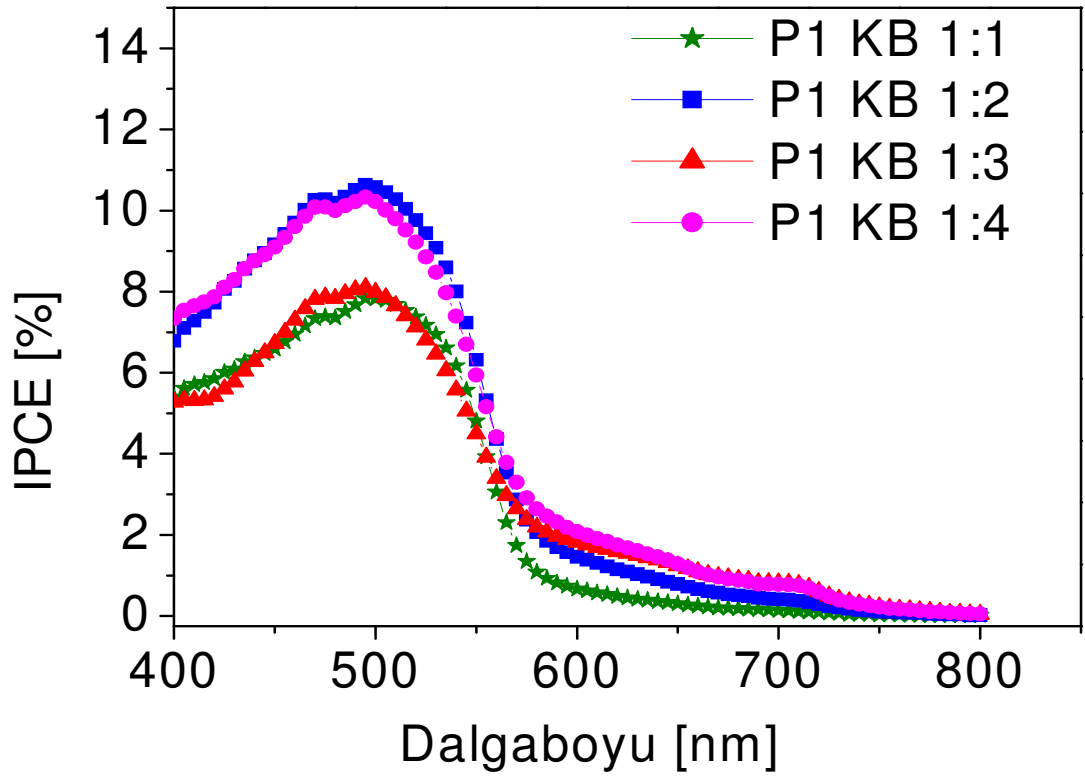
P1:PCBM-KB	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
1:1	1.47	400	0.33	0.19
1:2	1.83	350	0.30	0.19
1:3	2.19	700	0.31	0.47
1:4	2.52	650	0.37	0.60



Şekil 5.8 Klorobenzendeki P1:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği

P1 ile klorobenzende 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarında hazırlanan gözelerin %IPCE'leri yaklaşık olarak 500 nm'de pik vermektedir. Maksimum akım katkıları sırasıyla %7.5, %11, %8 ve %10 civarında ölçülmüştür. Soğurma spektrumu ise 400 nm ile 800 nm arasında değişiklik göstermiştir.

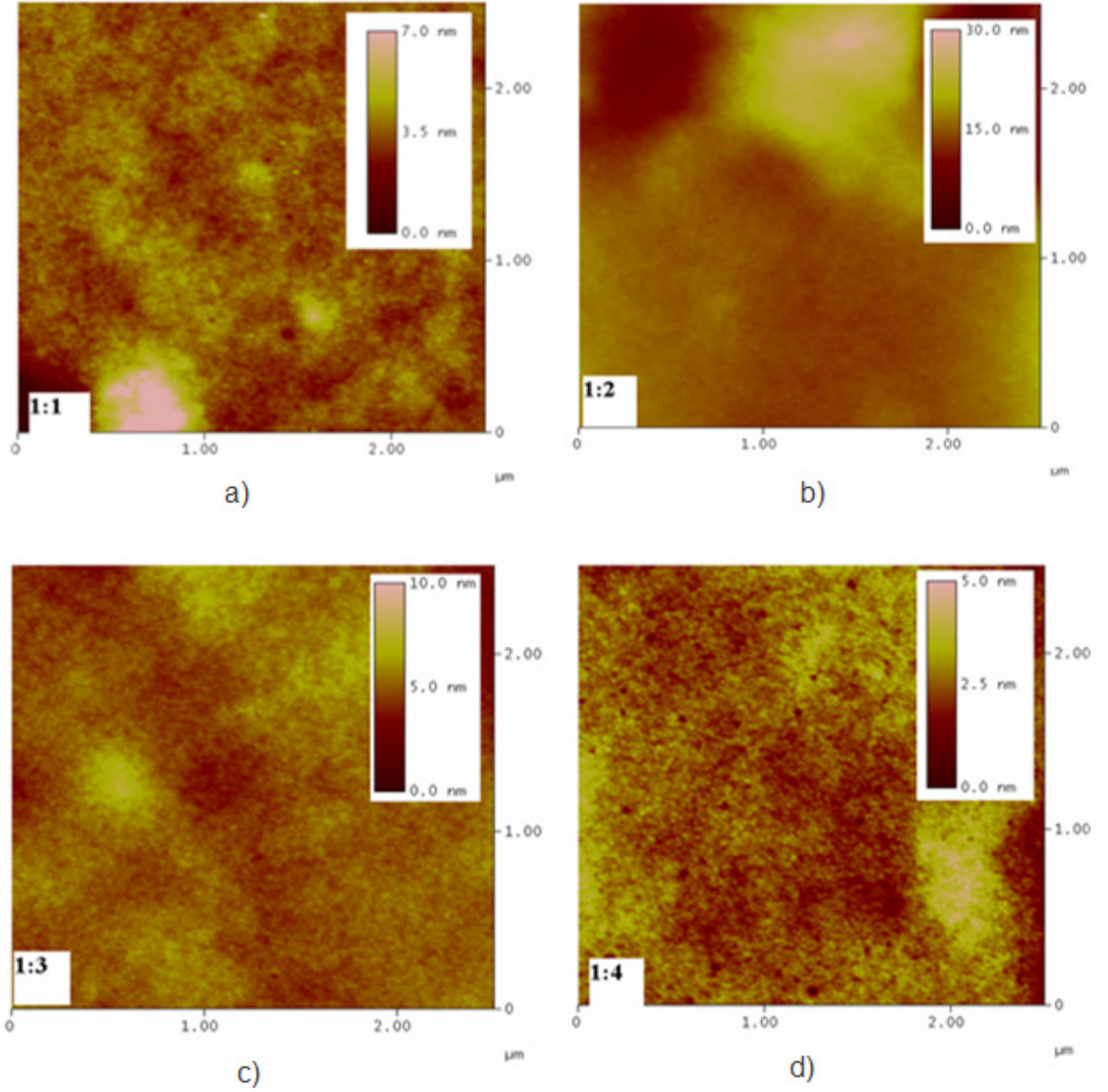
Şekil 5.9 klorobenzende hazırlanan P1:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerlerini göstermektedir.



Şekil 5.9 Klorobenzende hazırlanan P1:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri

5.2.3.2 P1 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi

Fotovoltaik performansın filmlerin morfolojisi ile olan bağlantısını inceleyebilmek için AFM görüntüleri alınmıştır. Şekil 5.10 klorobenzende dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile hazırlanmış P1:PCBM filmlerinin, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarına ait AFM resimlerini göstermektedir.



Şekil 5.10 Polimer P1:PCBM ile klorobenzende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM Resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4

Şekil 5.10'da görüldüğü gibi, yükseklik skalası değerinden okunan büyüklüklere göre, P1:PCBM filmlerinin arasında en pürüzsüz yüzeye sahip olanı 1:4 oranında hazırlanandır. En pürüzlü yüzey ise 1:2 oranında hazırlanan filminden elde edilmiştir.

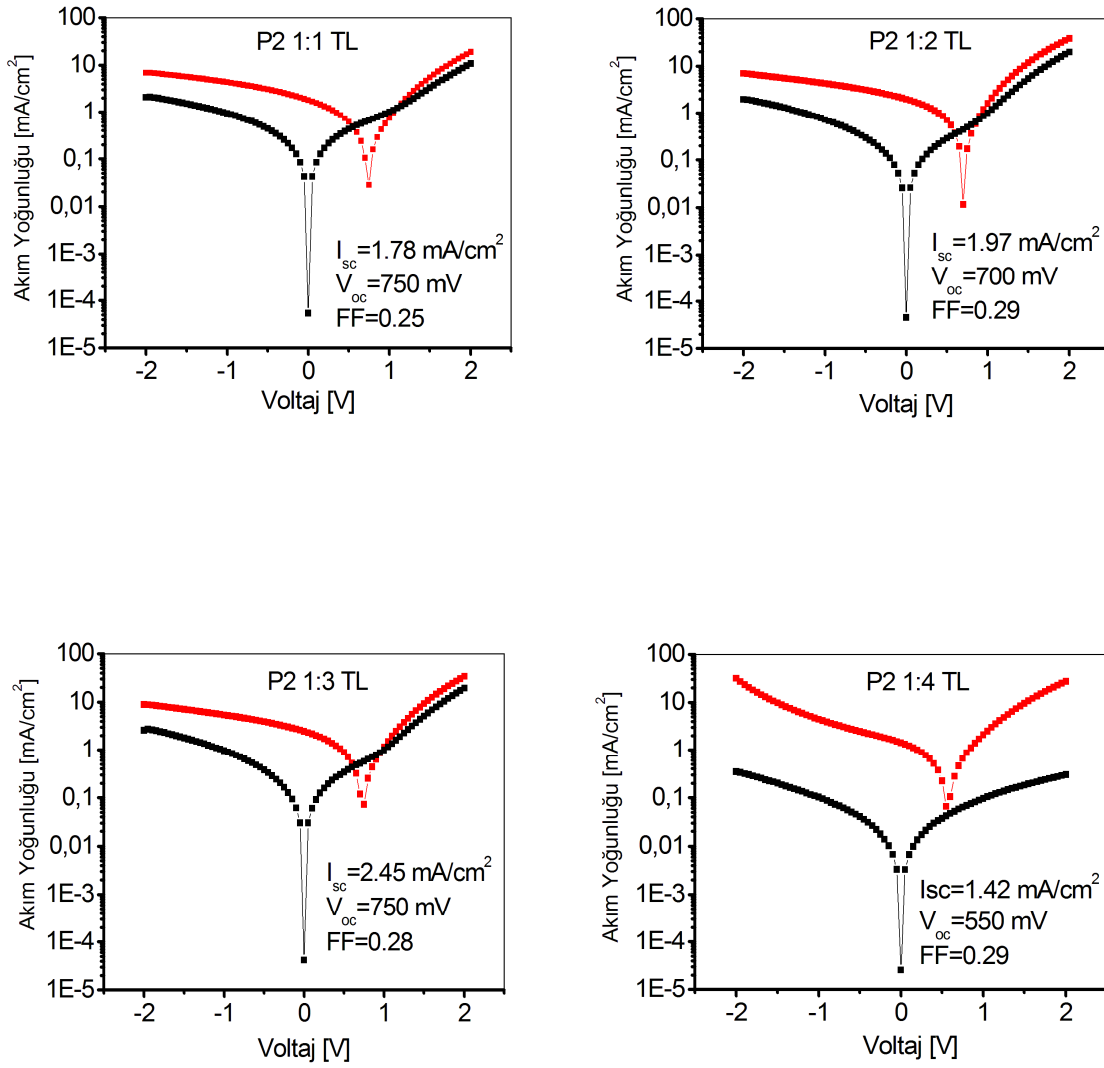
5.2.4 Tiyofen İçeren P2 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları

5.2.4.1 P2 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları

P2 polimerinin toluen çözücüsüyle çözelti oluşturulduğunda verdiği en iyi performans PCBM'le 1:3 oranında hazırlandığında gösterdiği performanstır. Bu orandaki güç dönüşüm verimi %0.51 olarak hesaplanmıştır. En düşük güç dönüşüm verimi ise %0.22 olarak hesaplanmış olup, 1:4 oranında hazırlanmış gözelerde elde edilmiştir. En yüksek J_{sc} ise 2.45 mA/cm^2 iken en düşük J_{sc} ise 1.42 mA/cm^2 olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek V_{oc} , 750 mV iken en düşük V_{oc} , 550 mV olarak elde edilmiştir. En düşük FF ise 0.25 iken en yüksek FF'ün 0.29 olduğu görülmüştür. Dolgu faktörlerinin genel olarak düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.11 toluende hazırlanan P2:PCBM güneş gözelerinin akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Bu gözeler ITO/PEDOT:PSS/P2:PCBM/LiF/Al yapısında ve 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarında hazırlanmıştır. Çizelge 5.4 ise bu güneş gözelerinin fotovoltaiik sonuçlarını göstermektedir.

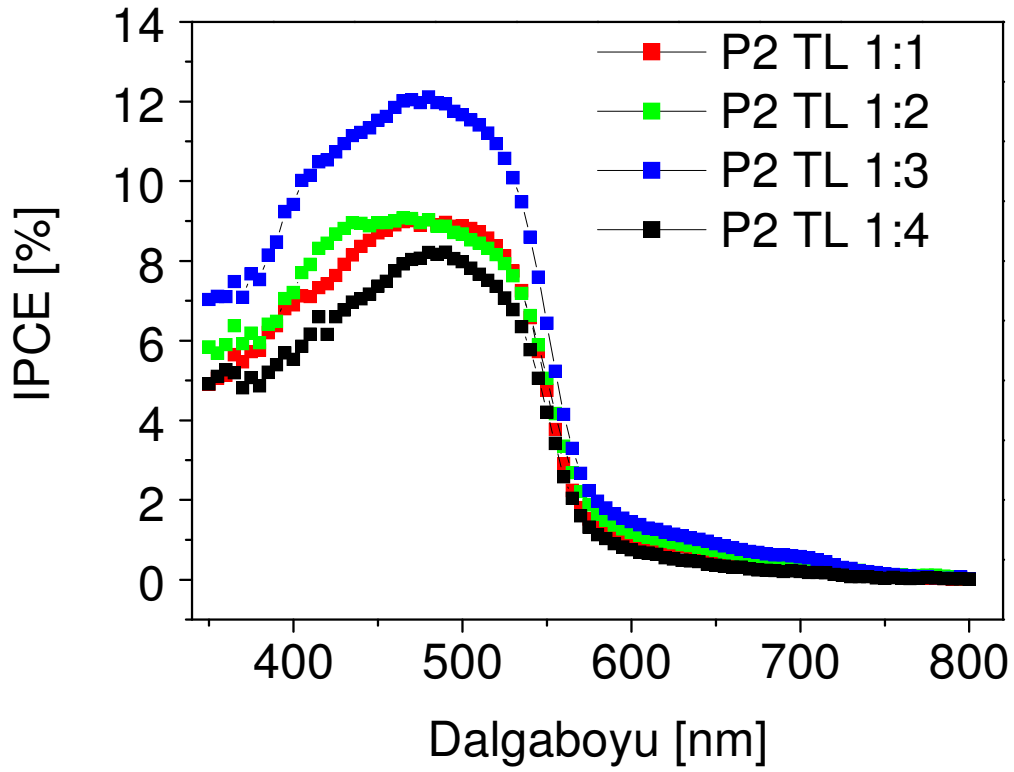
Çizelge 5.4 Toluendeki P2:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları

P2:PCBM-TL	J_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
1:1	1.78	750	0.25	0.33
1:2	1.97	700	0.29	0.39
1:3	2.45	750	0.28	0.51
1:4	1.42	550	0.29	0.22



Şekil 5.11 Toluendeki P2:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği

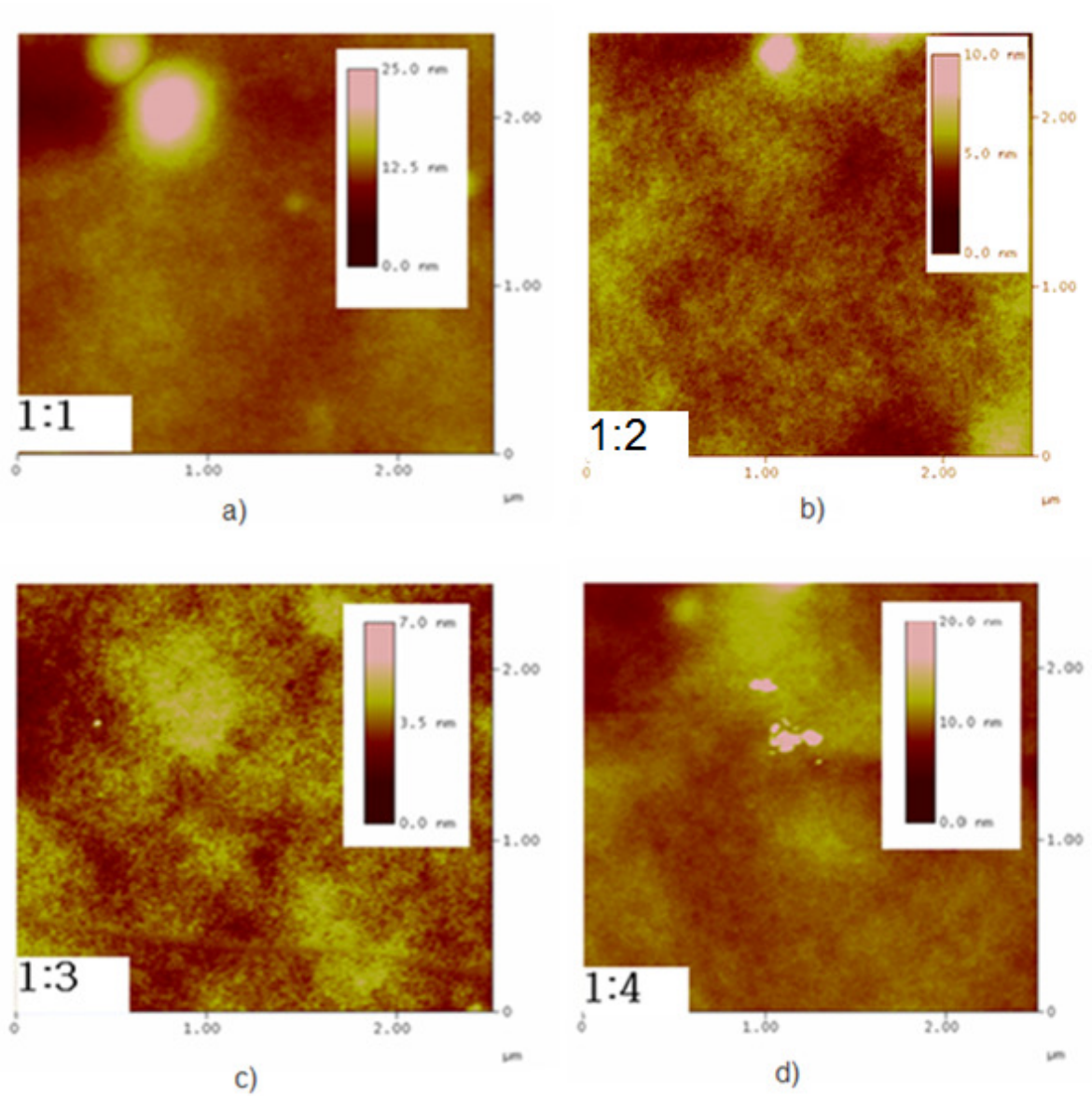
P2 ile 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarında toluende hazırlanan gözelerin %IPCE'leri 400-500 nm arasında pik vermektedir. Maksimum akım katkıları sırasıyla %7, %9, %10 ve %11 civarında ölçülmüştür. Soğurma spektrumu ise 350 nm ile 800 nm arasında değişiklik göstermiştir. Şekil 5.12 toluende hazırlanan P2:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerlerini göstermektedir.



Şekil 5.12 Toluende hazırlanan P2:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri

5.2.4.2 P2 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi

Fotovoltaik performansın filmlerin morfolojisi ile olan bağlantısını inceleyebilmek için AFM görüntüleri alınmıştır. Şekil 5.13 toluende dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile hazırlanmış P2:PCBM filmlerinin, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarına ait AFM resimlerini göstermektedir.



Şekil 5.13 Polimer P2:PCBM ile toluende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4

Şekil 5.13'den görüldüğü gibi, yükseklik skalası değerinden okunan büyüklüklere göre, P2:PCBM filmlerinin arasında en pürüzsüz yüzeye sahip olanı 1:3 oranında hazırlanan gözede elde edilmiş 1:2 oranında hazırlanan göze de benzer yükseklik skalası göstermiştir. En pürüzlü yüzey ise 1:1 oranında hazırlanan filminden elde edilmiştir. AFM'lerin yükseklik skalası 7 nm ile 25 nm arasında farklılık göstermiştir. Fotovoltaik sonuçlara göre de en

yüksek verim 1:3 oranında hazırlanan gözeden elde edilmiştir. 1:2'nin verimi de çok yakın bir değerde ölçülmüştür.

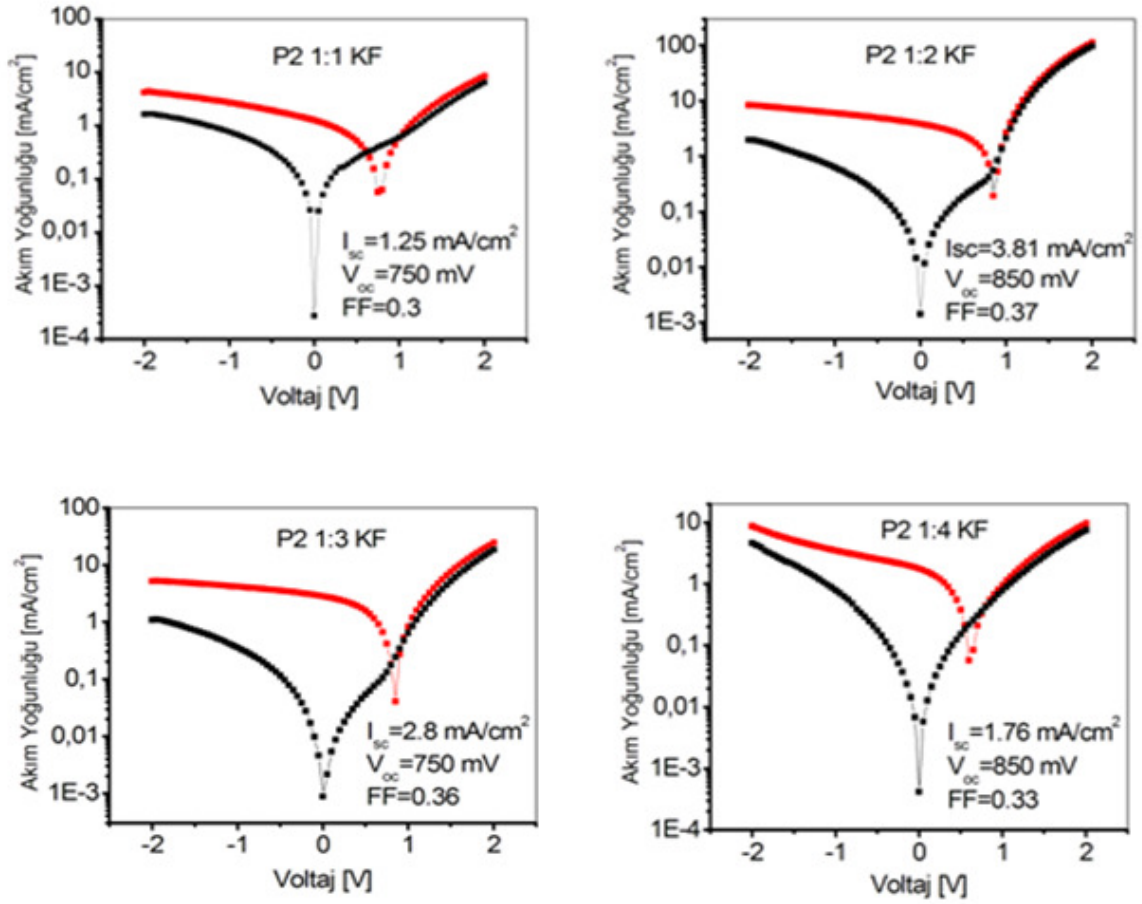
5.2.5 Tiyofen İçeren P2 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları

5.2.5.1 P2 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları

P2 polimerinin kloroform çözücüsüyle çözelti oluşturulduğunda verdiği en iyi performans PCBM'le 1:2 oranında hazırlandığında gösterdiği performanstır. Bu orandaki güç dönüşüm verimi %1.01 olarak hesaplanmıştır. En düşük güç dönüşüm verimi ise %0.28 olarak hesaplanmış olup, 1:1 oranında hazırlanmış gözelerde elde edilmiştir. En yüksek J_{sc} ise 3.81 mA/cm^2 iken en düşük J_{sc} , ise 1.25 mA/cm^2 olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek V_{oc} , 850 mV iken en düşük V_{oc} , 750 mV olarak elde edilmiştir. En düşük FF ise 0.3 iken en yüksek FF'ün 0.37 olduğu görülmüştür. Dolgu faktörlerinin genel olarak düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.14 kloroformda hazırlanan P2:PCBM güneş gözelerinin akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Bu gözeler ITO/PEDOT:PSS/P2:PCBM/LiF/Al yapısında ve 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarında hazırlanmıştır. Çizelge 5.5 ise bu güneş gözelerinin fotovoltaiik sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 5.5 Kloroformdaki P2:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataıları

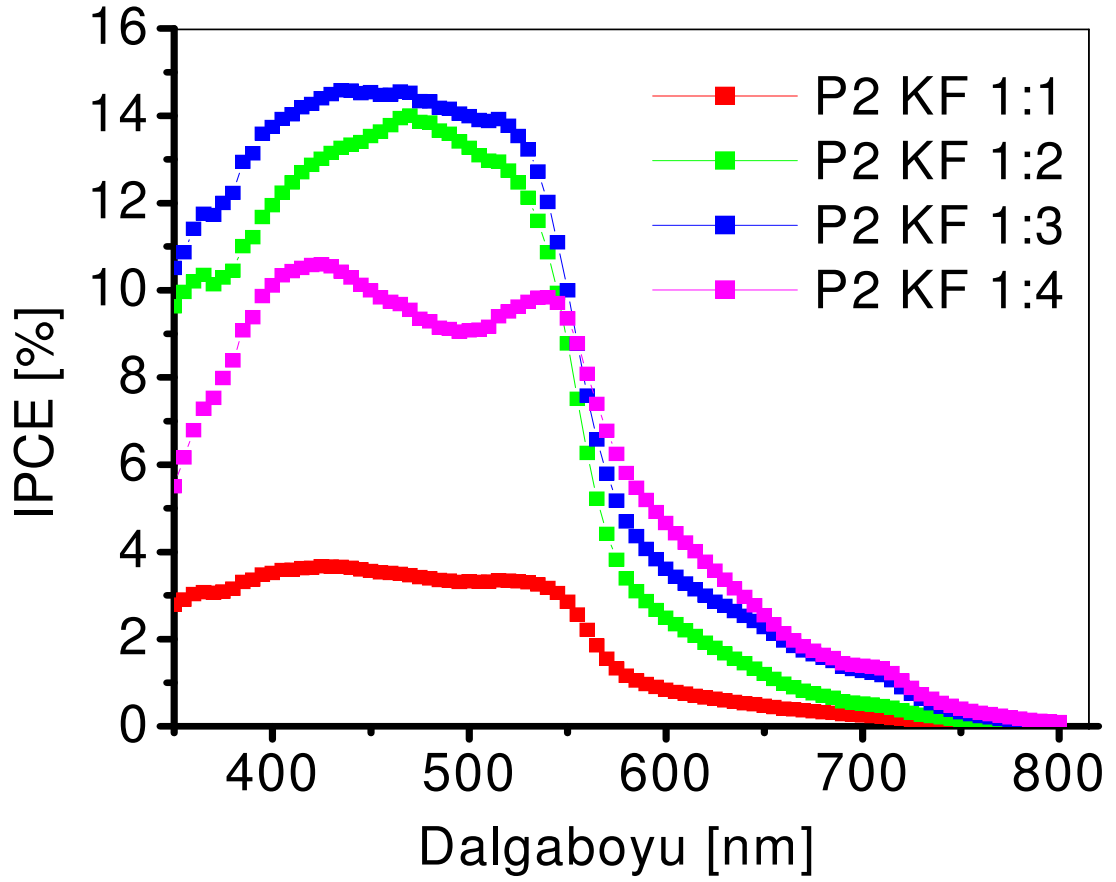
P2:PCBM-KF	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
1:1	1.25	750	0.3	0.28
1:2	3.81	850	0.37	1.01
1:3	2.80	750	0.36	0.75
1:4	1.76	850	0.33	0.49



Şekil 5.14 Kloroformdaki P2:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği

P2 ile kloroformda 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarında hazırlanan gözelerin %IPCE'ye en büyük akım katkısı 400-500 nm arasında gerçekleşmiştir. Bu akım katkısı sırasıyla 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 için %4, %14, %14 ve %10 civarında ölçülmüştür. Soğurma spektrumu ise 350 nm ile 800 nm arasında değişiklik göstermiştir.

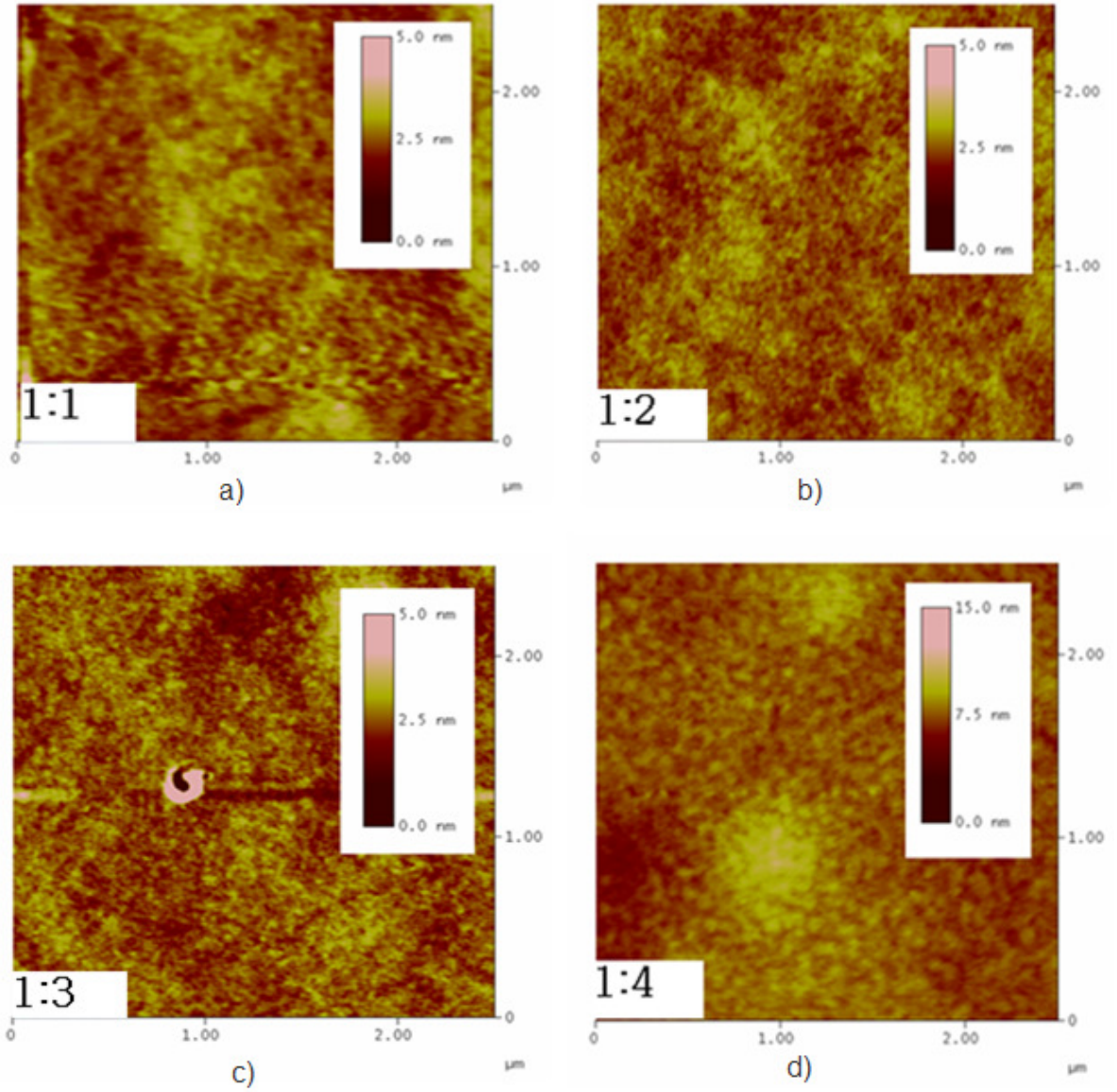
Şekil 5.15 kloroformda hazırlanan P2:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerlerini göstermektedir.



Şekil 5.15 Kloroformda hazırlanan P2:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri

5.2.5.2 P2 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi

Fotovoltaik performansın filmlerin morfolojisi ile olan bağlantısını inceleyebilmek için AFM görüntüleri alınmıştır. Şekil 5.16 kloroformda dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile hazırlanmış P2:PCBM filmlerinin, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarına ait AFM resimlerini göstermektedir.



Şekil 5.16 Polimer P2:PCBM ile kloroformda hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4

Şekil 5.16'dan görüldüğü gibi, yükseklik skalası değerinden okunan büyüklüklere göre, P2:PCBM filmlerinin 1:1, 1:2 ve 1:3 oranında hazırlanmış olanları benzer yüzey pürüzlülüğü göstermiştir. En pürüzlü yüzey ise 1:4 oranında hazırlanan filmde elde edilmiştir. 1:4 oranında hazırlanan film yükseklik skalası 15 nm olarak ölçülmüştür.

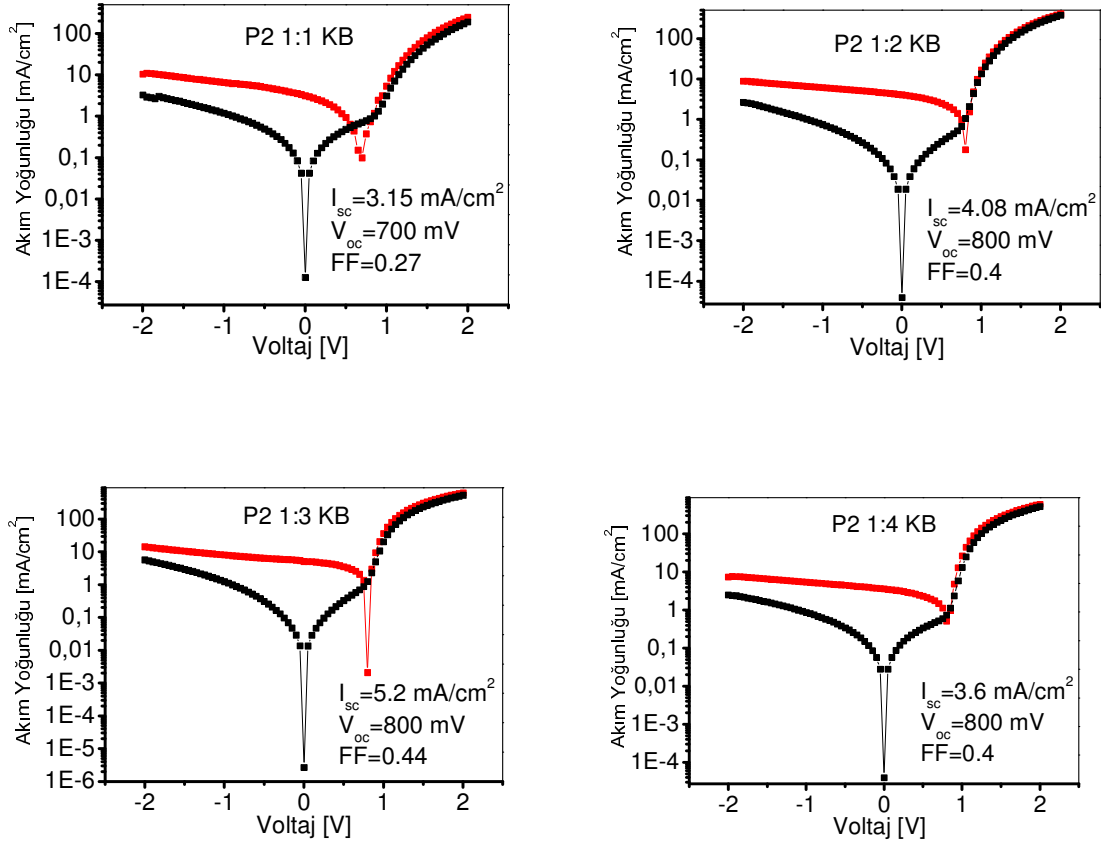
5.2.6 Tiyofen İçeren P2 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları

5.2.6.1 P2 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları

P2 polimerinin klorobenzen çözücüsüyle çözelti oluşturulduğunda verdiği en iyi performans PCBM'le 1:3 oranında hazırlandığında gösterdiği performanstır. Bu orandaki güç dönüşüm verimi %1.8 olarak hesaplanmıştır. En düşük güç dönüşüm verimi ise %0.6 olarak hesaplanmış olup, 1:1 oranında hazırlanmış gözelerde elde edilmiştir. En yüksek J_{sc} ise 5.02 mA/cm² iken en düşük J_{sc} ise 3.15 mA/cm² olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek V_{oc} 800 mV iken en düşük V_{oc} 700 mV olarak elde edilmiştir. En düşük FF ise 0.27 iken en yüksek FF'ün 0.44 olduğu görülmüştür. Dolgu faktörlerinin genel olarak düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.17 klorobenzende hazırlanan P2:PCBM güneş gözelerinin akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Bu gözeler ITO/PEDOT:PSS/P2:PCBM/LiF/Al yapısında ve 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarında hazırlanmıştır. Çizelge 5.6 ise bu güneş gözelerinin fotovoltaiik sonuçlarını göstermektedir.

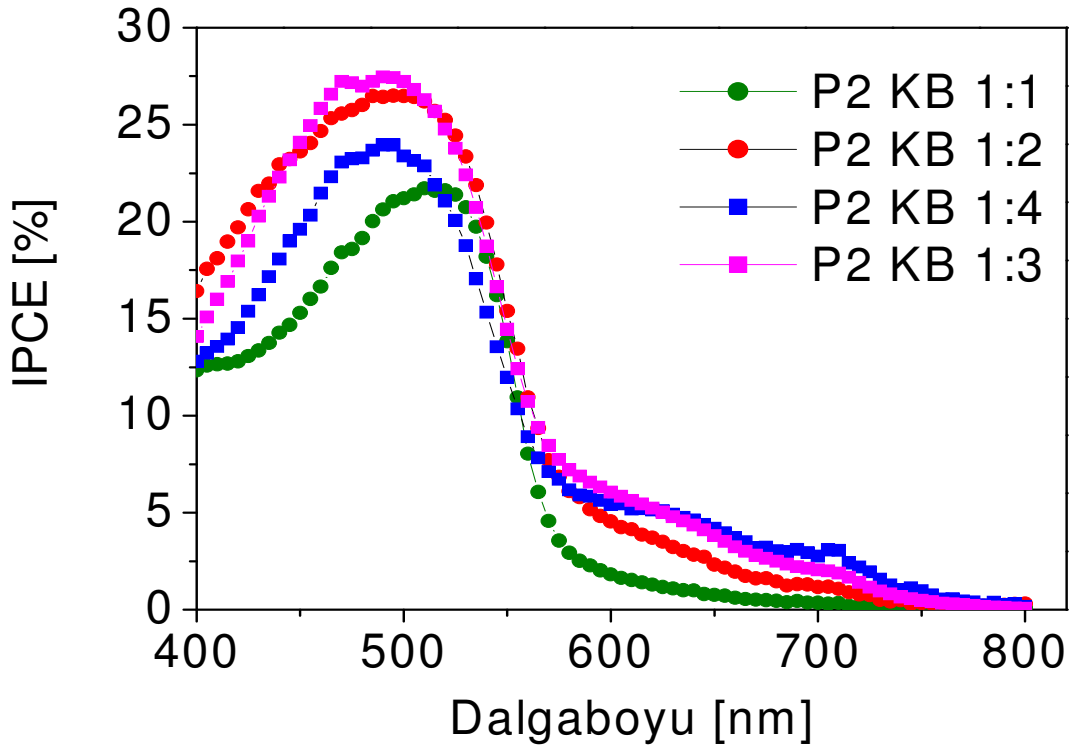
Çizelge 5.6 Klorobenzendeki P2:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları

P2:PCBM-KB	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
1:1	3.15	700	0.27	0.6
1:2	4.08	800	0.40	1.3
1:3	5.2	800	0.44	1.8
1:4	3.6	800	0.40	1.2



Şekil 5.17 Klorobenzendeki P2:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği

Şekil 5.18 klorobenzende hazırlanan P2:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerlerini göstermektedir. P2 ile 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarında klorobenzende hazırlanan gözelerin %IPCE'leri 480-500 nm arasında pik vermektedir. Maksimum akım katkıları %30 civarında ölçülmüştür. Soğurma spektrumu ise 400 nm ile 800 nm arasında değişiklik göstermiştir.

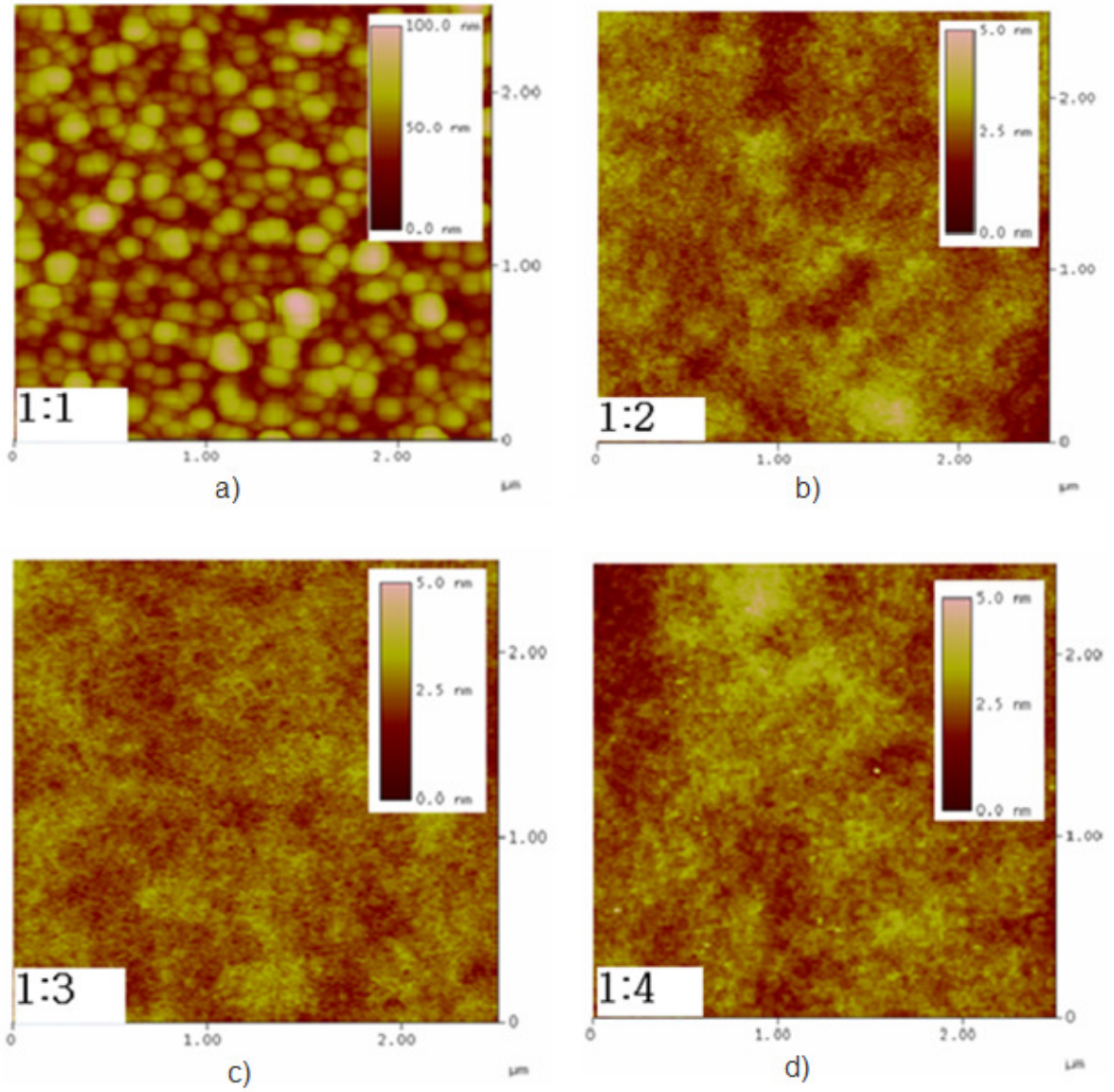


Şekil 5.18 Klorobenzende hazırlanan P2:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri

5.2.6.2 P2 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi

Fotovoltaik performansın filmlerin morfolojisi ile olan bağlantısını inceleyebilmek için AFM görüntüleri alınmıştır. Şekil 5.19 klorobenzende dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile hazırlanmış P2:PCBM filmlerinin, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarına ait AFM resimlerini göstermektedir.

Şekil 5.19'den görüldüğü gibi, yükseklik skalası değerinden okunan büyüklüklere göre, P2:PCBM filmlerinin arasında 1:1, 1:2 ve 1:3 benzer yüzey özellikleri göstermiştir. Her üç yüzeyde oldukça pürüzsüzdür. En pürüzlü yüzey ise 1:1 oranında hazırlanan filmde elde edilmiştir.



Şekil 5.19 Polimer P2:PCBM ile klorobenzende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4

5.3 Antrasen İçeren Konjuge Polimerleri Kullanılarak Hazırlanan Organik Güneş Gözeleri

Antrasen içeren olan P3 ve P4 polimerleriyle hazırlanan güneş gözelerinin fotovoltaiik karakterizasyon sonuçları aşağıda sıralanmıştır. P3, P4'ün akım-gerilim karakteristikleri, IPCE sonuçları ve AFM görüntüleri incelenerek güneş gözesi performansını etkileyen faktörler ayrıntılarıyla incelenmiştir.

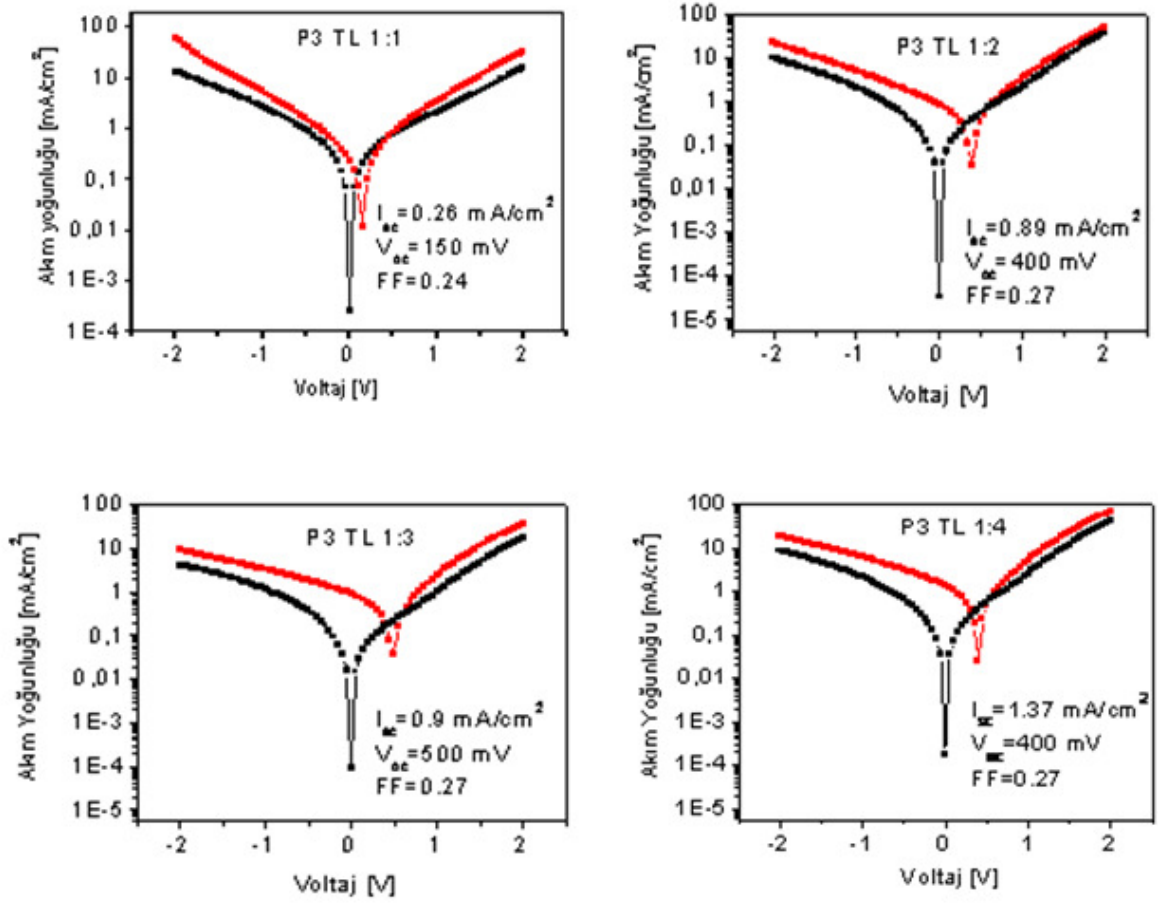
5.3.1 Antrasen İçeren P3 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözeleri

5.3.1.1 P3 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları

P3 polimerinin toluen çözücüsüyle çözelti oluşturulduğunda verdiği en iyi performans PCBM'le 1:4 oranında hazırlandığında gösterdiği performanstır. Bu orandaki güç dönüşüm verimi %0.14 olarak hesaplanmıştır. En düşük güç dönüşüm verimi ise %0.009 olarak hesaplanmış olup, 1:1 oranında hazırlanmış gözelerde elde edilmiştir. En yüksek J_{sc} ise 1.37 mA/cm^2 iken en düşük J_{sc} ise 0.26 mA/cm^2 olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek V_{oc} 500 mV iken en düşük V_{oc} 150 mV olarak elde edilmiştir. En düşük FF ise 0.24 iken en yüksek FF'ün 0.27 olduğu görülmüştür. Dolgu faktörlerinin genel olarak düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.20 toluende hazırlanan P3:PCBM güneş gözelerinin akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Bu gözeler ITO/PEDOT:PSS/P3:PCBM/LiF/Al yapısında ve 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarında hazırlanmıştır. Çizelge 5.7 ise bu güneş gözelerinin fotovoltaiik sonuçlarını göstermektedir.

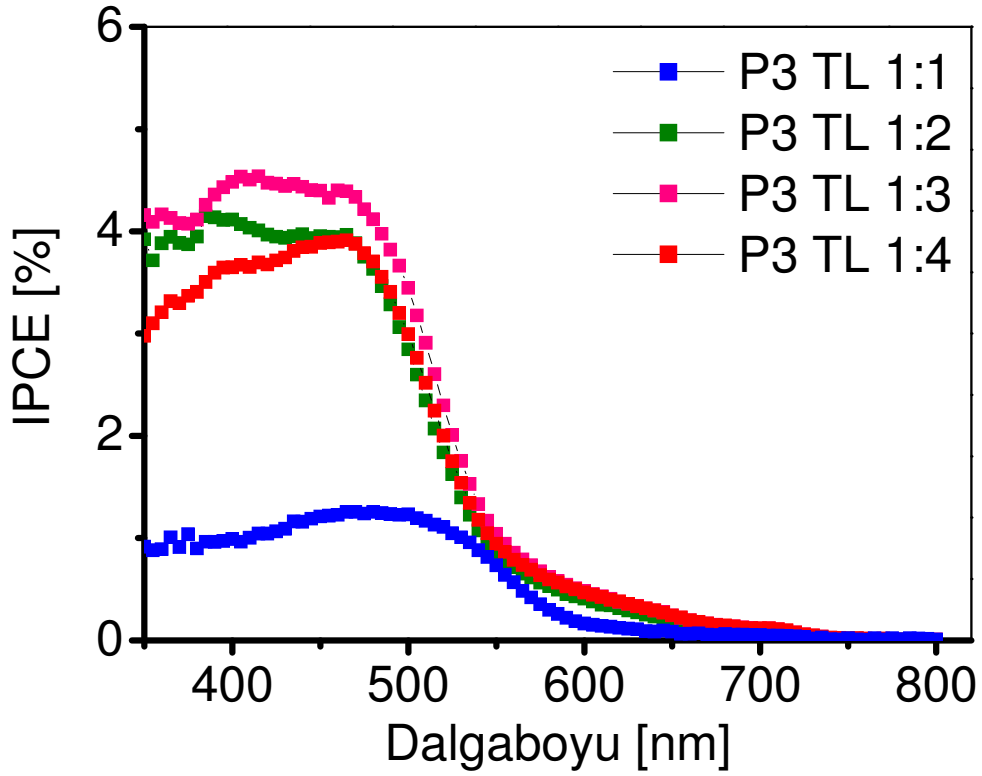
Çizelge 5.7 Toluendeki P3:PCBM Güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları

P3:PCBM-TL	$J_{sc} \text{ (mA/cm}^2\text{)}$	$V_{oc} \text{ (mV)}$	FF	$\eta \text{ (\%)}$
1:1	0.26	150	0.24	0.009
1:2	0.89	400	0.27	0.1
1:3	0.9	500	0.27	0.12
1:4	1.37	400	0.27	0.14



Şekil 5.20 Toluendeki P3:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği

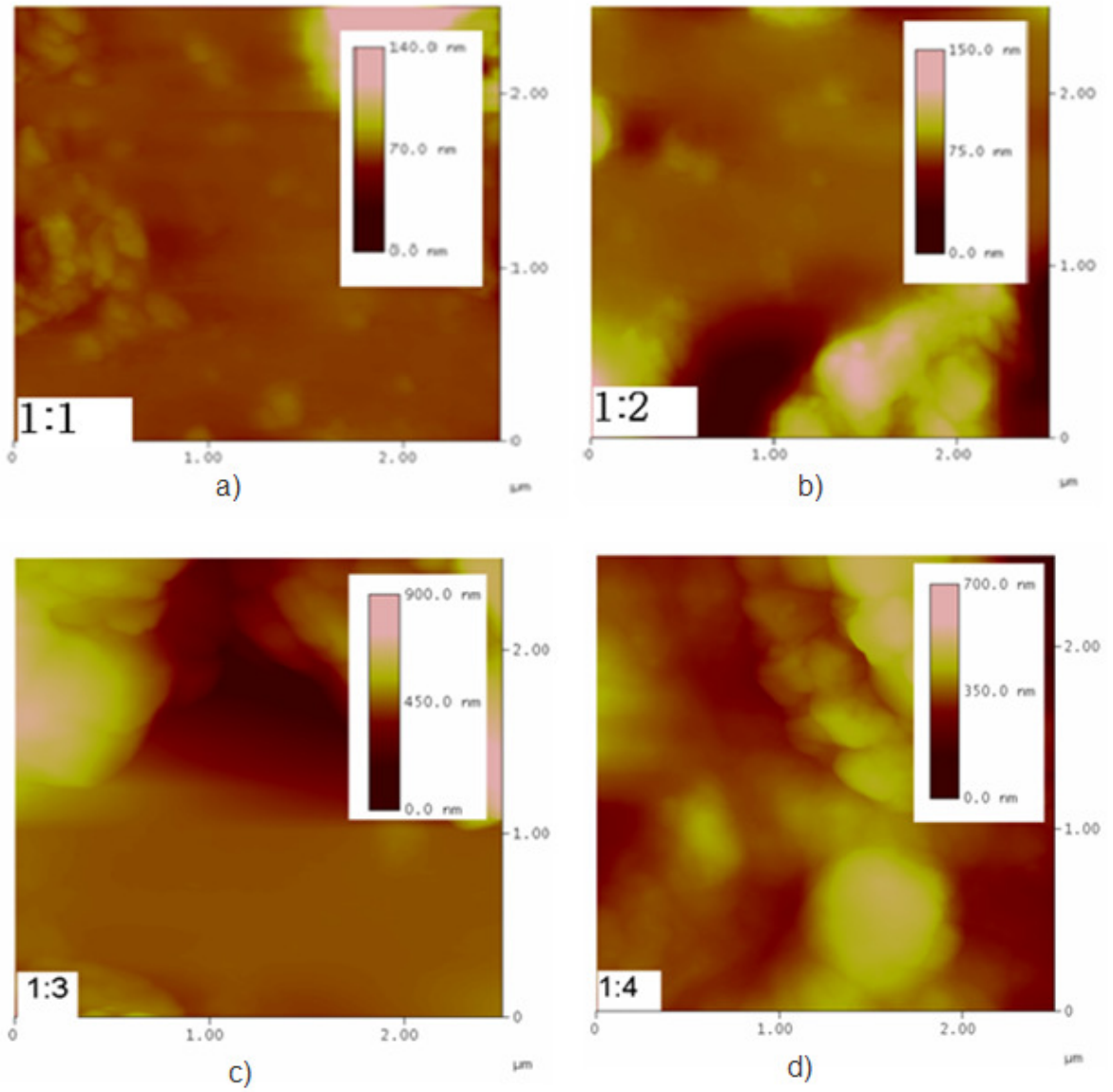
Şekil 5.21 toluende hazırlanan P3:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerlerini göstermektedir. P3 ile 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarında toluende hazırlanan gözelerin %IPCE'leri 450 nm civarında pik vermektedir. Maksimum akım katkıları yaklaşık olarak %5 ölçülmüştür. Soğurma spektrumu ise 350 nm ile 800 nm arasında değişiklik göstermiştir. %IPCE grafiğinden okunan değerlere göre gözelerin akım katkıları birbirine benzerdir.



Şekil 5.21 Toluende hazırlanan P3:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri

5.3.1.2 P3 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi

Fotovoltaik performansın filmlerin morfolojisi ile olan bağlantısını inceleyebilmek için AFM görüntüleri alınmıştır. Şekil 5.22 toluende dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile hazırlanmış P3:PCBM filmlerinin, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarına ait AFM resimlerini göstermektedir.



Şekil 5.22 Polimer P3:PCBM ile toluende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4

Şekil 5.22’den görüldüğü gibi, yükseklik skalası değerinden okunan büyüklüklere göre, P3:PCBM filmlerinin hepsinin de yüzey pürüzlülüğü yüksektir. En pürüzsüz yüzey bile 140 nm yükseklik skalasına (height scale) sahiptir. Bu değer 1:1 oranında hazırlanan filmde elde edilmiştir. En pürüzlü yüzey ise 900 nm yükseklik skalasına (height scale) sahip olan 1:3 oranında hazırlanan filmlerden elde edilmiştir ve bütün filmlerde büyük bir faz ayrımı gözlenmektedir.

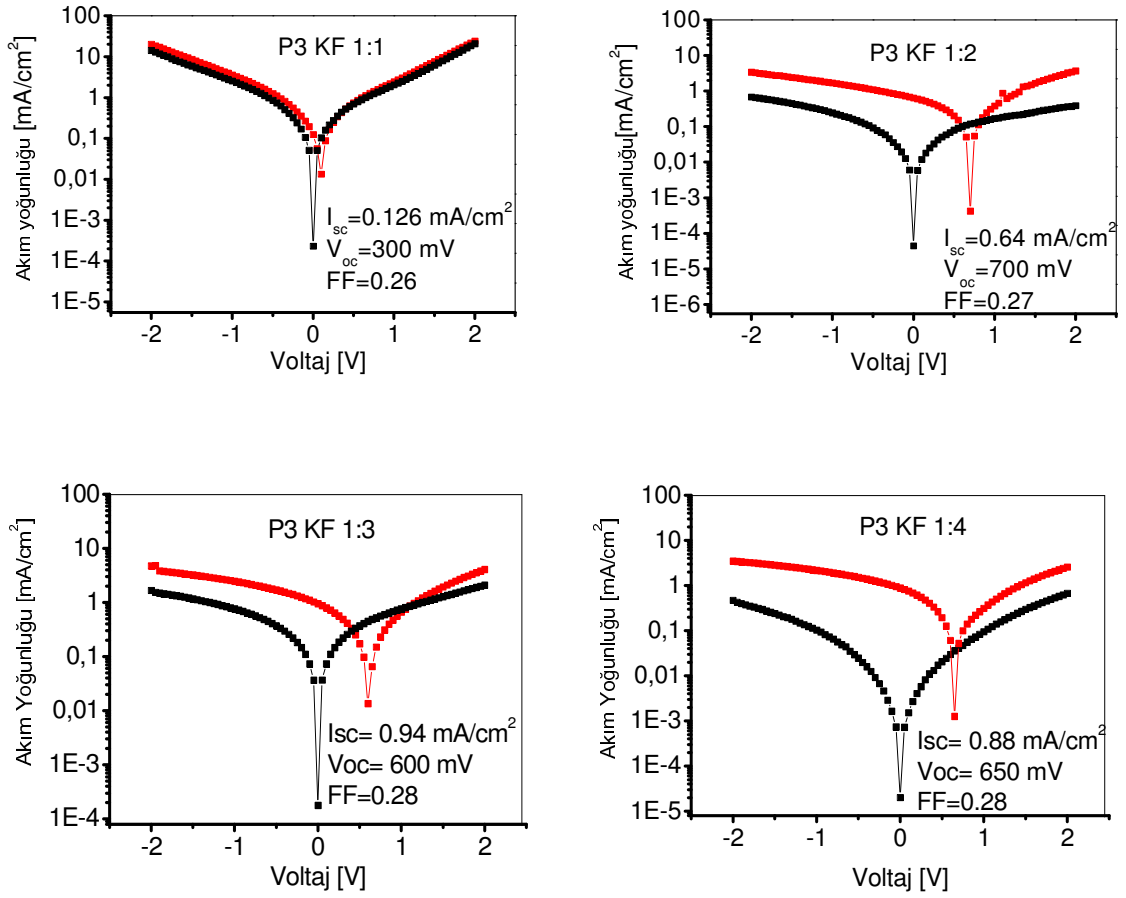
5.3.2 Antrasen İçeren P3 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözeleri

5.3.2.1 P3 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları

P3 polimerinin kloroform çözücüsüyle çözelti oluşturulduğunda verdiği en iyi performans PCBM'le 1:4 oranında hazırlandığında gösterdiği performanstır. Bu orandaki güç dönüşüm verimi %0.16 olarak hesaplanmıştır. En düşük güç dönüşüm verimi ise %0.01 olarak hesaplanmış olup, 1:1 oranında hazırlanmış gözelerde elde edilmiştir. En yüksek J_{sc} ise 0.94 mA/cm^2 iken en düşük J_{sc} ise 0.126 mA/cm^2 olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek V_{oc} 700 mV iken en düşük V_{oc} 300 mV olarak elde edilmiştir. En düşük FF ise 0.26 iken en yüksek FF'ün 0.28 olduğu görülmüştür. Dolgu faktörlerinin genel olarak düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.23 kloroformda hazırlanan P3:PCBM güneş gözelerinin akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Bu gözeler ITO/PEDOT:PSS/P3:PCBM/LiF/Al yapısında ve 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarında hazırlanmıştır. Çizelge 5.8 ise bu güneş gözelerinin fotovoltaiik sonuçlarını göstermektedir.

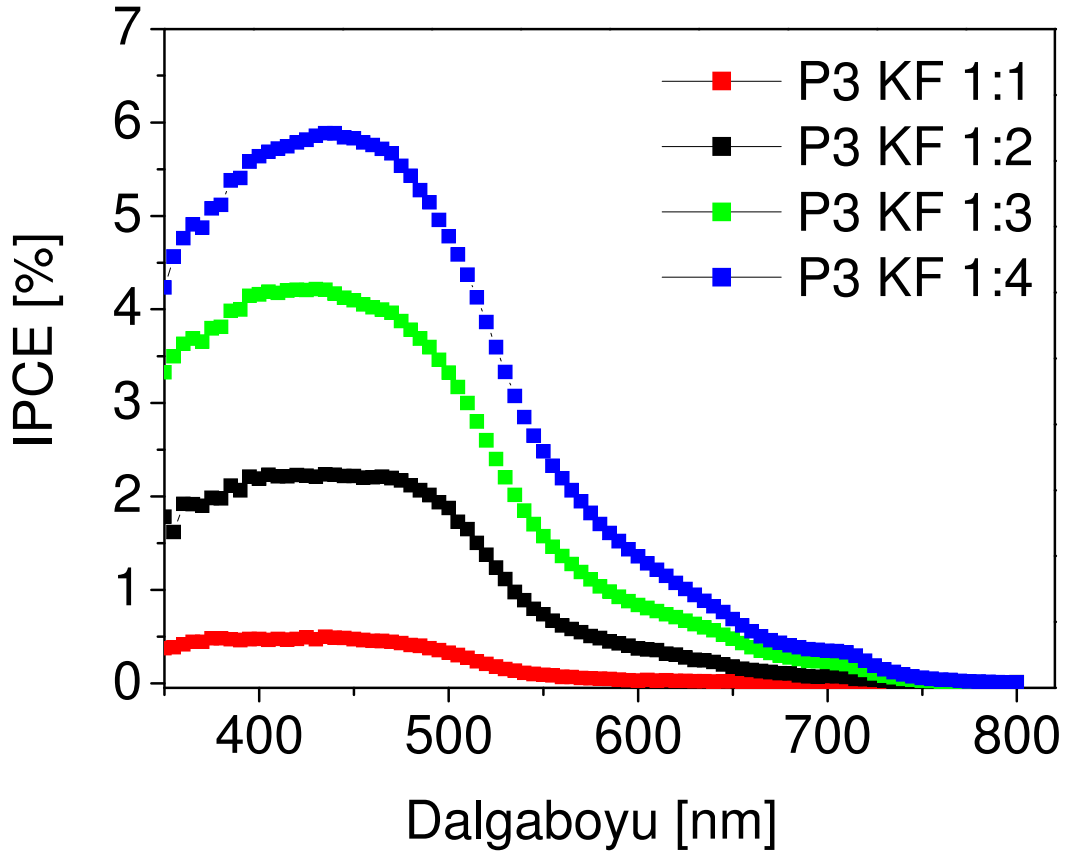
Çizelge 5.8 Kloroformdaki P3:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları

P3:PCBM-KF	J_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
1:1	0.126	300	0.26	0.01
1:2	0.64	700	0.27	0.12
1:3	0.94	600	0.28	0.15
1:4	0.88	650	0.28	0.16



Şekil 5.23 Kloroformdaki P3:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği

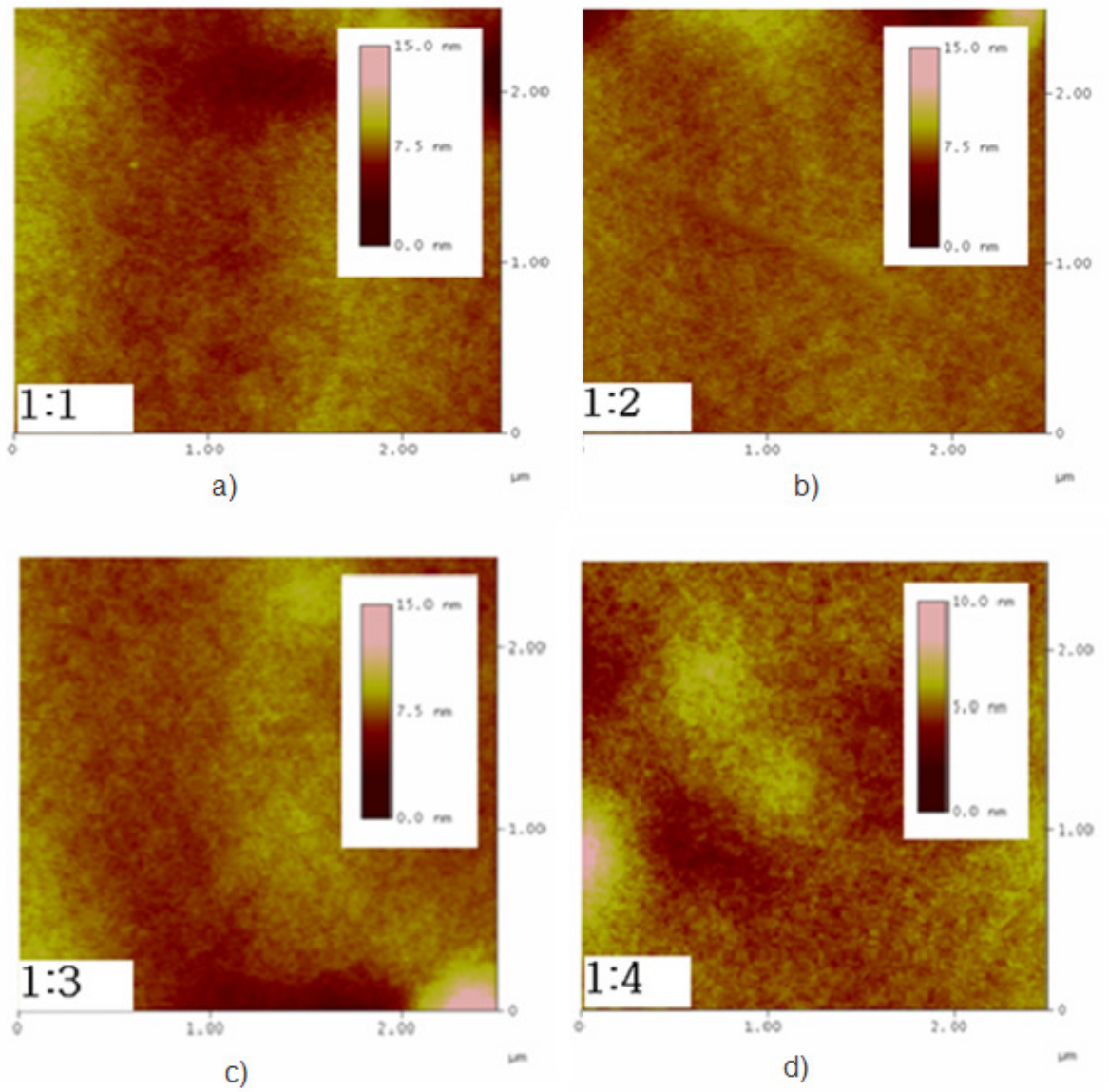
Şekil 5.24 kloroformda hazırlanan P3:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerlerini göstermektedir. P3 ile 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarında kloroformda hazırlanan gözelerin %IPCE'leri 450 nm civarında pik vermektedir. Maksimum akım katkıları yaklaşık olarak %6 ölçülmüştür. En düşük akım katkısı ise %0.5 olarak ölçülmüştür. Soğurma spektrumu ise 350 nm ile 800 nm arasında değişiklik göstermiştir.



Şekil 5.24 Kloroformda hazırlanan P3:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri

5.3.2.2 P3 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi

Fotovoltaik performansın filmlerin morfolojisi ile olan bağlantısını inceleyebilmek için AFM görüntüleri alınmıştır. Şekil 5.25 kloroformda dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile hazırlanmış P3:PCBM filmlerinin, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarına ait AFM resimlerini göstermektedir.



Şekil 5.25 Polimer P3:PCBM ile kloroformda hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4

Şekil 5.25’den görüldüğü gibi, yükseklik skalası değerinden okunan büyüklüklere göre, P3:PCBM filmlerinin arasında 1:1, 1:2 ve 1:3 benzer yüzey özellikleri göstermiştir. Her üç yüzeyde 15 nm yükseklik skalasına (height scale) sahiptir. En pürüzsüz yüzey olan 1:4 oranında hazırlanan filmin yükseklik skalası 10 nm olarak elde edilmiştir. Elde edilen fotovoltajik sonuçlar 1:1’in sonuçları dışında, pürüzlülük değerlerinin birbirine yakın olması gibi benzerdir. Bütün yüzeyler oldukça pürüzsüz görünmektedir ve belirli bir faz ayrımı gözlenmemiştir.

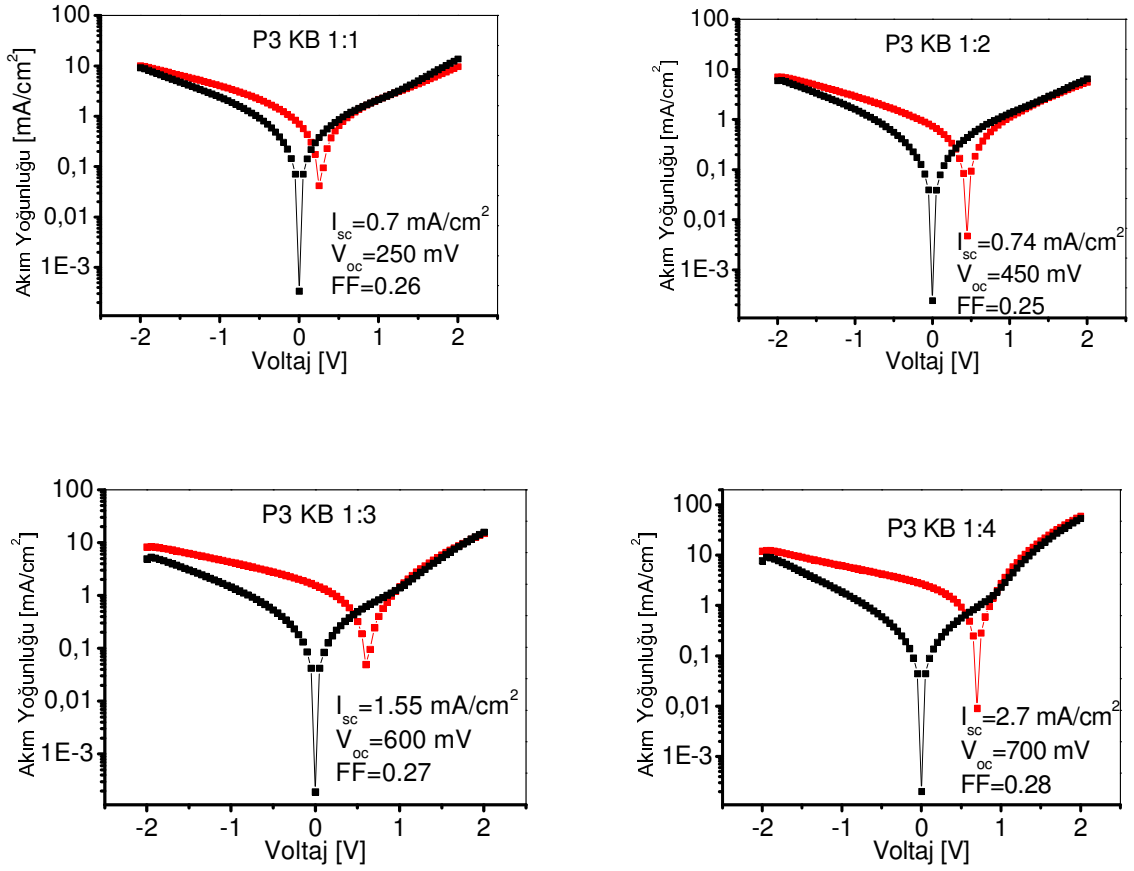
5.3.3 Antrasen İçeren P3 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözeleri

5.3.3.1 P3 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları

P3 polimerinin klorobenzen çözücüsüyle çözelti oluşturulduğunda verdiği en iyi performans PCBM'le 1:4 oranında hazırlandığında gösterdiği performanstır. Bu orandaki güç dönüşüm verimi %0.52 olarak hesaplanmıştır. En düşük güç dönüşüm verimi ise %0.04 olarak hesaplanmış olup, 1:1 oranında hazırlanmış gözelerde elde edilmiştir. En yüksek J_{sc} ise 2.70 mA/cm² iken en düşük J_{sc} ise 0.7 mA/cm² olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek V_{oc} 700 mV iken en düşük V_{oc} 250 mV olarak elde edilmiştir. En düşük FF ise 0.25 iken en yüksek FF'ün 0.28 olduğu görülmüştür. Dolgu faktörlerinin genel olarak düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.26 klorobenzende hazırlanan P3:PCBM güneş gözelerinin akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Bu gözeler ITO/PEDOT:PSS/P3:PCBM/LiF/Al yapısında ve 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarında hazırlanmıştır. Çizelge 5.9 ise bu güneş gözelerinin fotovoltaiik sonuçlarını göstermektedir.

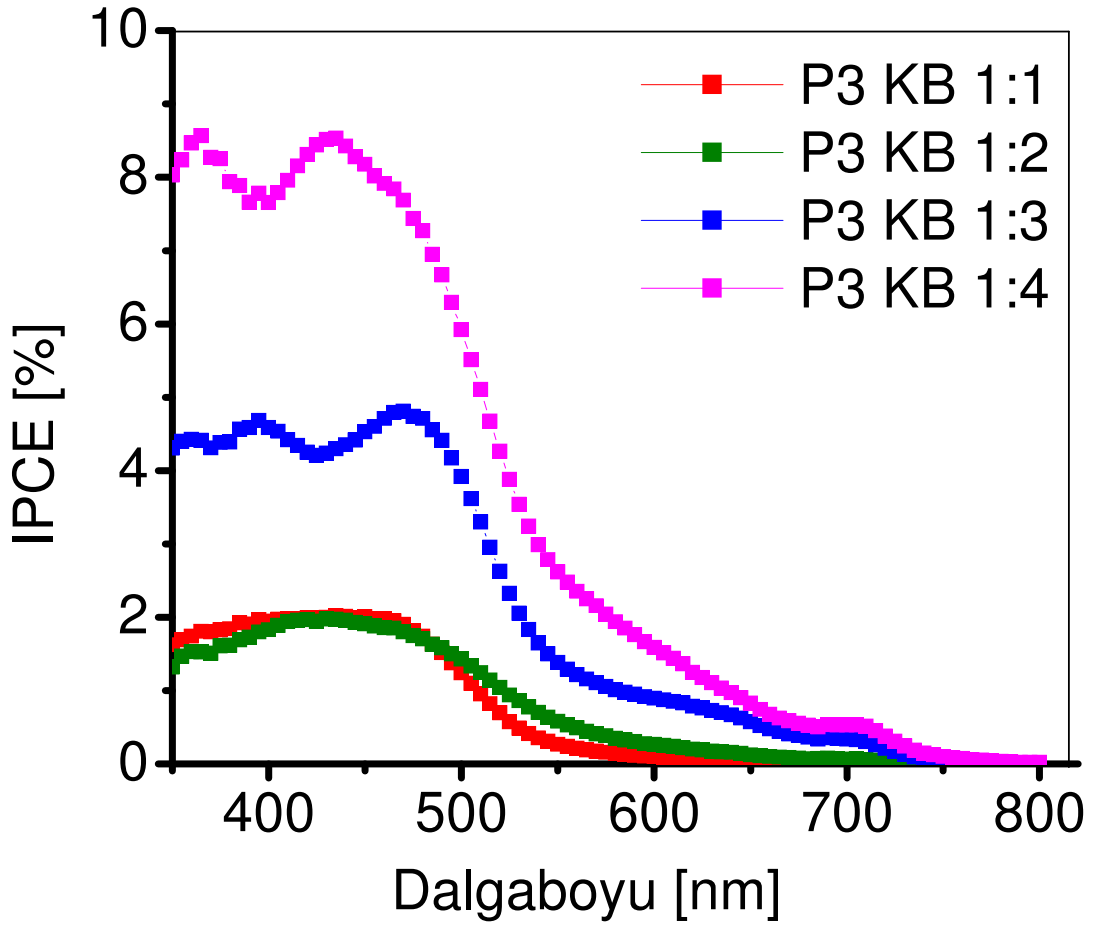
Çizelge 5.9 Klorobenzendeki P3:PCBM Güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları

P3:PCBM-KB	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
1:1	0.7	250	0.26	0.04
1:2	0.74	450	0.25	0.08
1:3	1.55	600	0.27	0.25
1:4	2.70	700	0.28	0.52



Şekil 5.26 Klorobenzendeki P3:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği

P3 ile klorobenzende 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarında hazırlanan gözelerin %IPCE'ye en büyük akım katkısı 400-500 nm arasında gerçekleşmiştir. Bu akım katkısı sırasıyla 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 için %2, %2, %4.5 ve %9 civarında ölçülmüştür. Soğurma spektrumu ise 350 nm ile 800 nm arasında değişiklik göstermiştir. 1:1 ve 1:2 oranında hazırlanan gözelerin güç dönüşüm verimleri de %IPCE değerlerine benzer şekilde yakın çıkmıştır. 1:3 ve 1:4'de de fotovoltaiik sonuçlarla %IPCE arasında uyum gözlenmiştir.

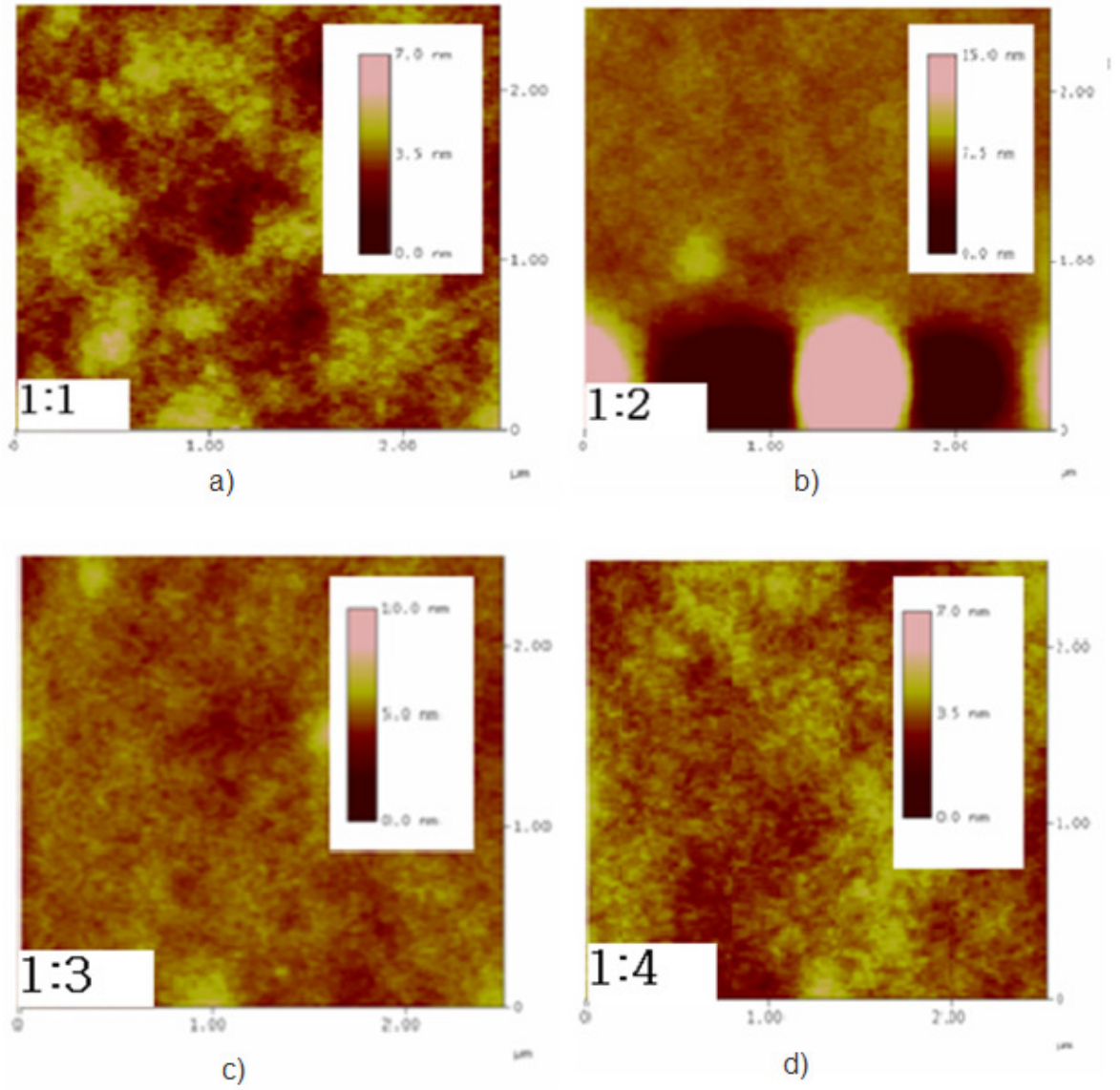


Şekil 5.27 Klorobenzende hazırlanan P3:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri

5.3.3.2 P3 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi

Fotovoltaik performansın filmlerin morfolojisi ile olan bağlantısını inceleyebilmek için AFM görüntüleri alınmıştır. Şekil 5.28 klorobenzende dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile hazırlanmış P3:PCBM filmlerinin, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarına ait AFM resimlerini göstermektedir.

Şekil 5.28'den görüldüğü gibi, yükseklik skalası değerinden okunan büyüklüklere göre, P3:PCBM filmlerinin arasında 1:1 ve 1:4 benzer yüzey özellikleri göstermiş ve en pürüzsüz yüzeyi oluşturmuştur. En iyi verimde en pürüzsüz yüzeylerden olan 1:4 oranında hazırlanan gözeden elde edilmiştir. En pürüzlü yüzey ise 1:2 oranında hazırlanan filminden elde edilmiştir

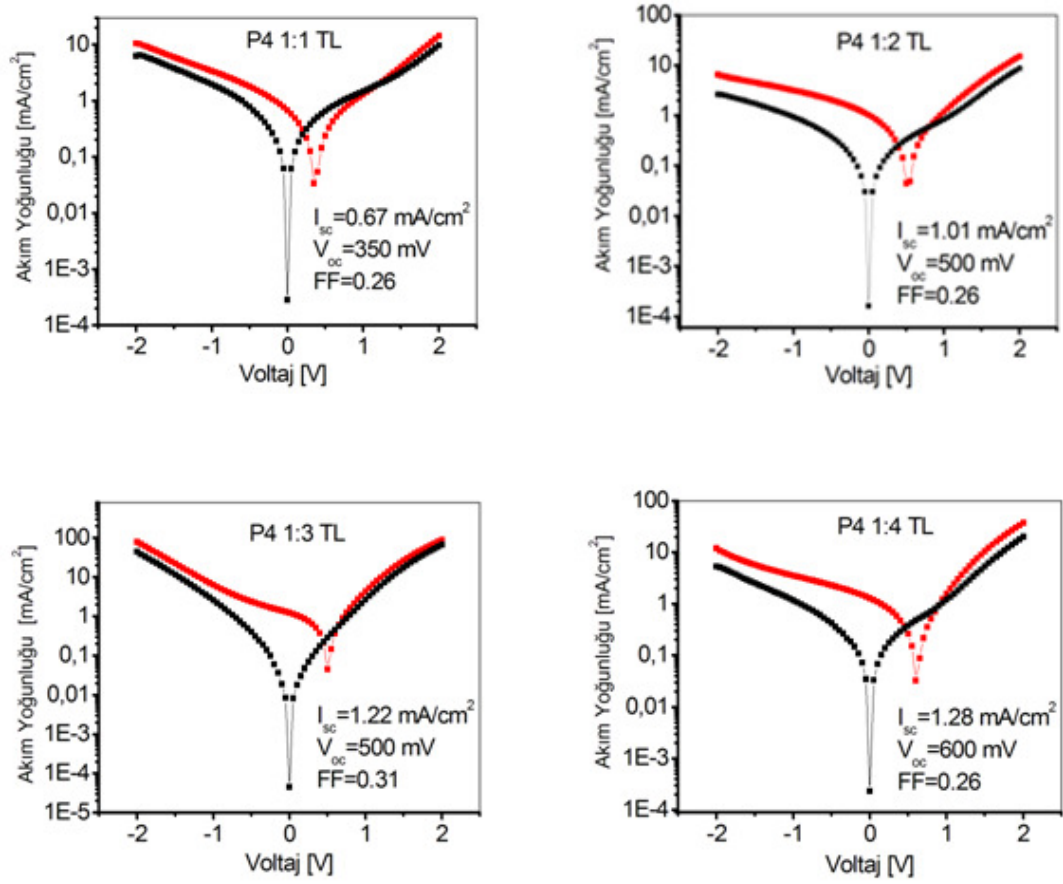


Şekil 5.28 Polimer P3:PCBM ile klorobenzende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4

5.3.4 Antrasen İçeren P4 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları

5.3.4.1 P4 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları

P4 polimerinin toluen çözücüsüyle çözelti oluşturulduğunda verdiği en iyi performans PCBM'le 1:4 oranında hazırlandığında gösterdiği performanstır. Bu orandaki güç dönüşüm verimi %0.19 olarak hesaplanmıştır. En düşük güç dönüşüm verimi ise %0.06 olarak hesaplanmış olup, 1:1 oranında hazırlanmış gözelerde elde edilmiştir. En yüksek J_{sc} ise 1.28 mA/cm^2 iken en düşük J_{sc} ise 0.67 mA/cm^2 olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek V_{oc} 600 mV iken en düşük V_{oc} 350 mV olarak elde edilmiştir. En düşük FF ise 0.26 iken en yüksek FF'ün 0.31 olduğu görülmüştür. Dolgu faktörlerinin genel olarak düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.29 toluende hazırlanan P4:PCBM güneş gözelerinin akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Bu gözeler ITO/PEDOT:PSS/P4:PCBM/LiF/Al yapısında ve 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarında hazırlanmıştır. Çizelge 5.10 ise bu güneş gözelerinin fotovoltaiik sonuçlarını göstermektedir.

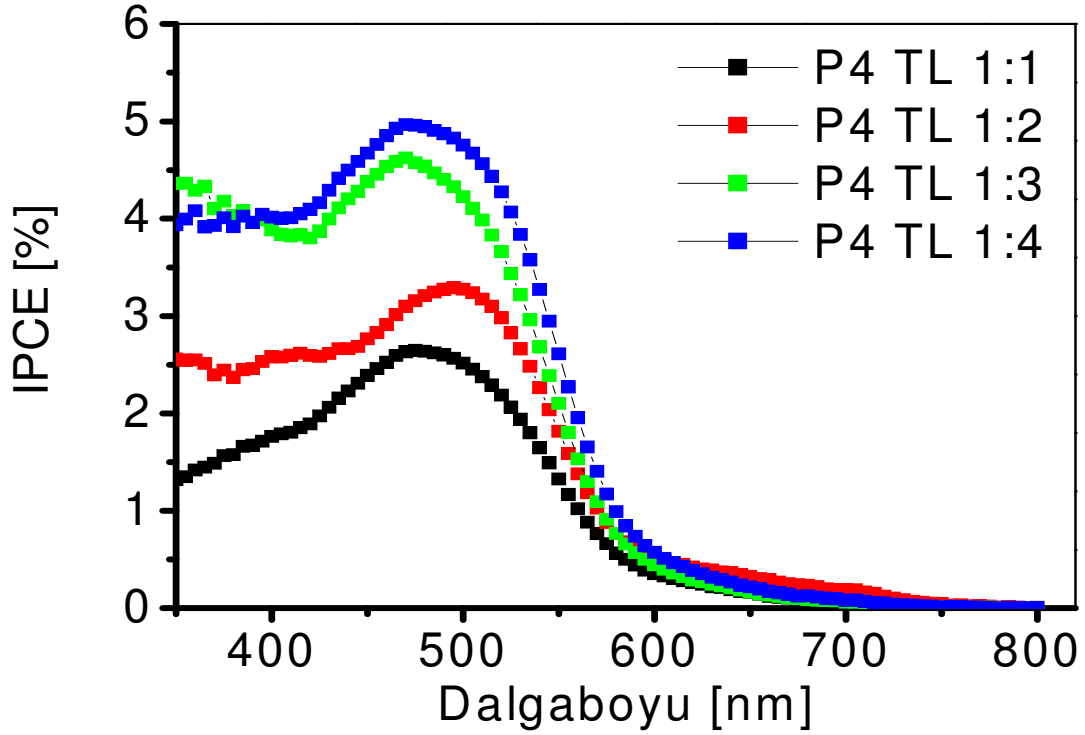


Şekil 5.29 Toluendeki P4:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği

Çizelge 5.10 Toluendeki P4:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltajik dataları

P4:PCBM-TL	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
1:1	0. 67	350	0. 26	0. 06
1:2	1. 01	500	0. 26	0. 13
1:3	1. 22	500	0. 31	0. 18
1:4	1. 28	600	0. 26	0. 19

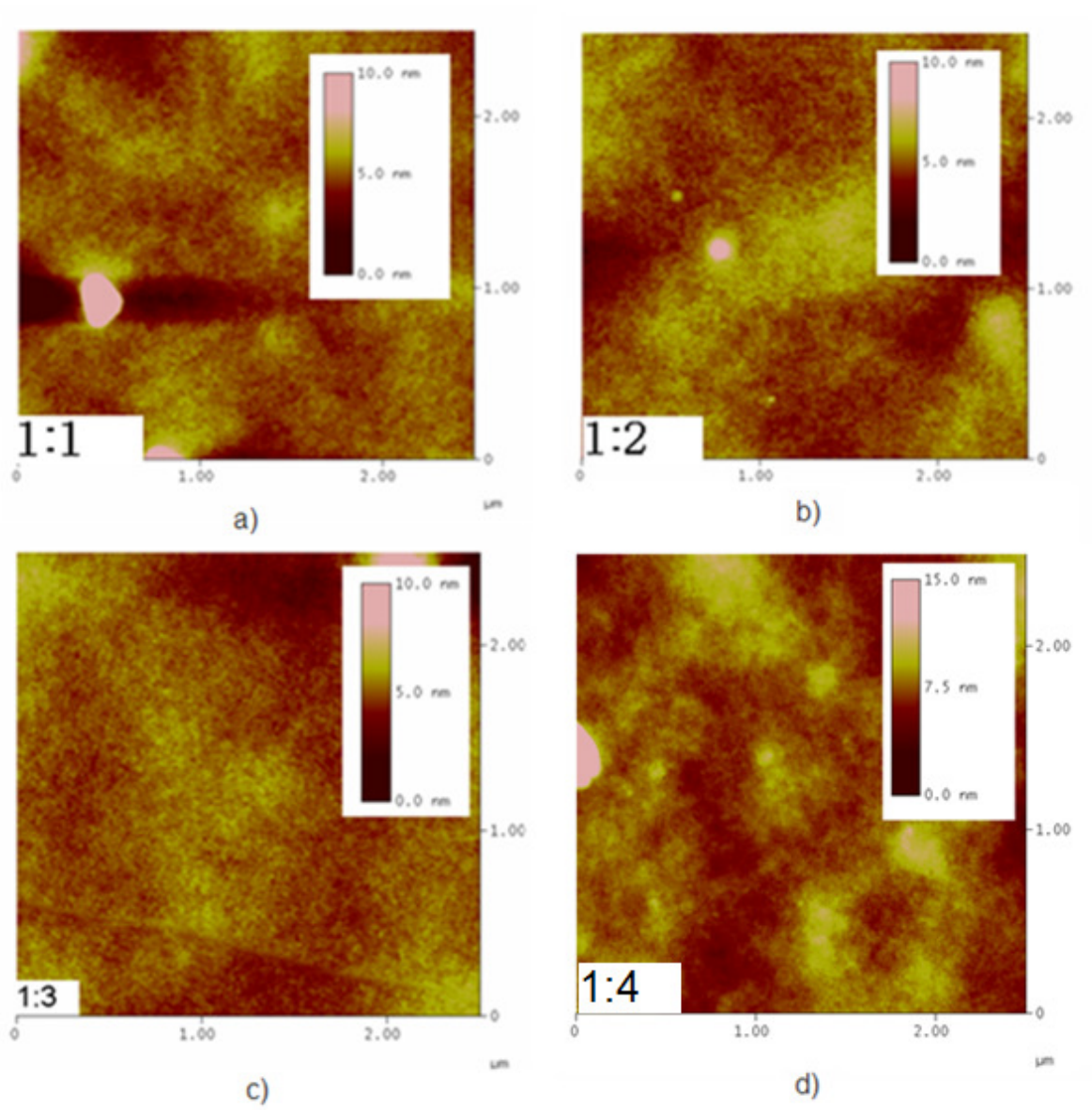
Şekil 5.30 toluende hazırlanan P4:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerlerini göstermektedir. P4 ile 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarında toluende hazırlanan gözelerin %IPCE'leri 500 nm civarında pik vermektedir. Maksimum akım katkıları yaklaşık olarak %5 ölçülmüştür. Soğurma spektrumu ise 350 nm ile 800 nm arasında değişiklik göstermiştir.



Şekil 5.30 Toluende hazırlanan P4:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri

5.3.4.2 P4 Polimeriyle Toluen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi

Fotovoltaik performansın filmlerin morfolojisi ile olan bağlantısını inceleyebilmek için AFM görüntüleri alınmıştır. Şekil 5.31 toluende dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile hazırlanmış P4:PCBM filmlerinin, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarına ait AFM resimlerini göstermektedir.



Şekil 5.31 Polimer P4:PCBM ile toluende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4

Şekil 5.31'den görüldüğü gibi, yükseklik skalası değerinden okunan büyüklüklere göre, P4:PCBM filmlerinin yüzeyleri benzer özellikler göstermiştir. Yükseklik skalası 10 nm-15 nm arasında değişmiştir. Fotovoltaik sonuçlar da birbirine yakın çıkmıştır. Genel olarak dolgu faktörleri düşüktür. Toluene çözücüsünde elde edilen güç dönüşüm verimleri de düşük çıkmıştır.

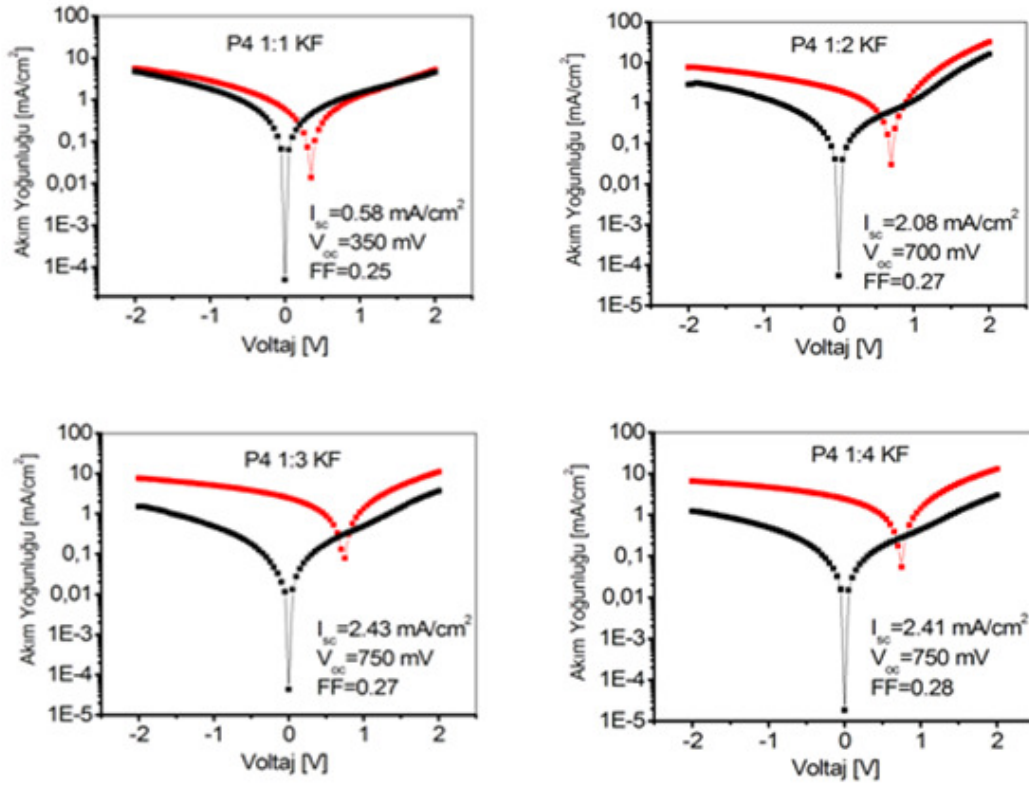
5.3.5 Antrasen İçeren P4 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları

5.3.5.1 P4 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları

P4 polimerinin kloroform çözücüsüyle çözelti oluşturulduğunda verdiği en iyi performans PCBM'le 1:4 oranında hazırlandığında gösterdiği performanstır. Bu orandaki güç dönüşüm verimi %0.50 olarak hesaplanmıştır. En düşük güç dönüşüm verimi ise %0.05 olarak hesaplanmış olup, 1:1 oranında hazırlanmış gözelerde elde edilmiştir. En yüksek J_{sc} ise 2.43 mA/cm² iken en düşük J_{sc} ise 0.58 mA/cm² olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek açık V_{oc} 750 mV iken en düşük V_{oc} 350 mV olarak elde edilmiştir. En düşük FF ise 0.25 iken en yüksek FF'ün 0.28 olduğu görülmüştür. Dolgu faktörlerinin genel olarak düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.32 kloroformda hazırlanan P4:PCBM güneş gözelerinin akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Bu gözeler ITO/PEDOT:PSS/P4:PCBM/LiF/Al yapısında ve 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarında hazırlanmıştır. Çizelge 5.11 ise bu güneş gözelerinin fotovoltaiik sonuçlarını göstermektedir.

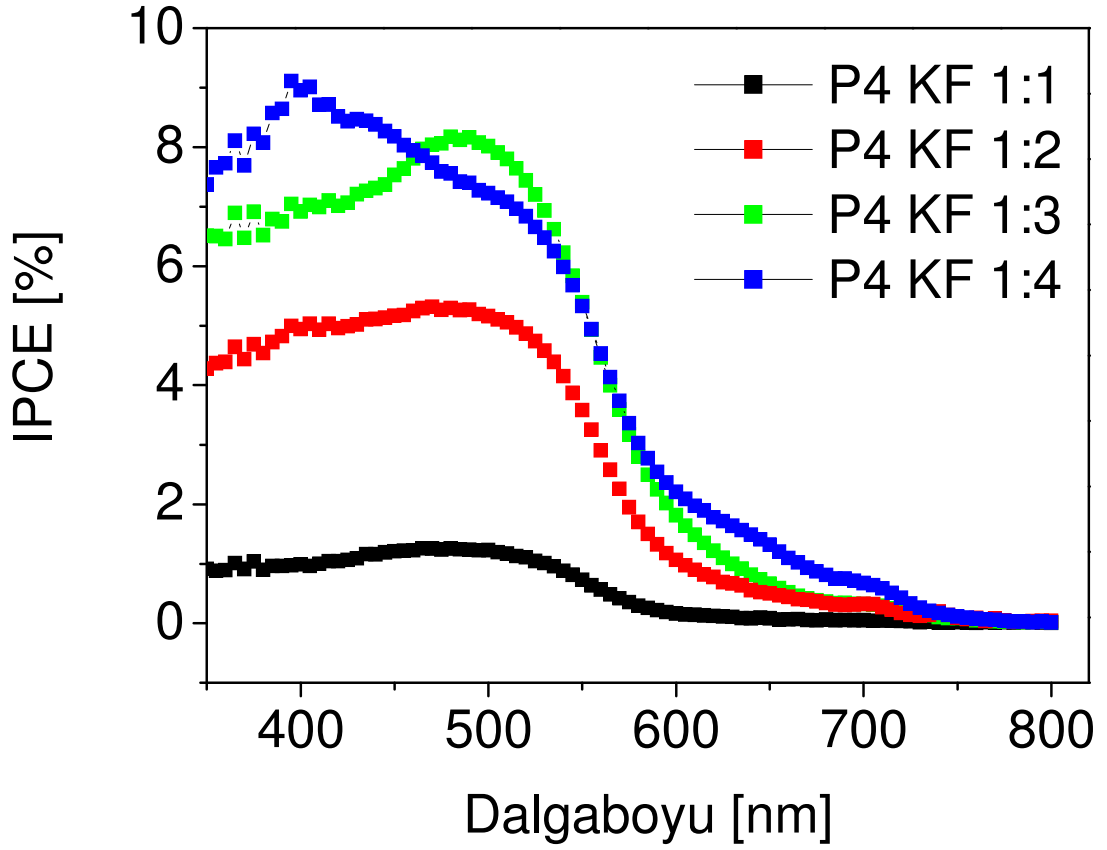
Çizelge 5.11 Kloroformdaki P4:PCBM Güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları

P4:PCBM-KF	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
1:1	0. 58	350	0. 25	0. 05
1:2	2. 08	700	0. 27	0. 39
1:3	2. 43	750	0. 27	0. 49
1:4	2. 41	750	0. 28	0. 50



Şekil 5.32 Kloroformdaki P4:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği

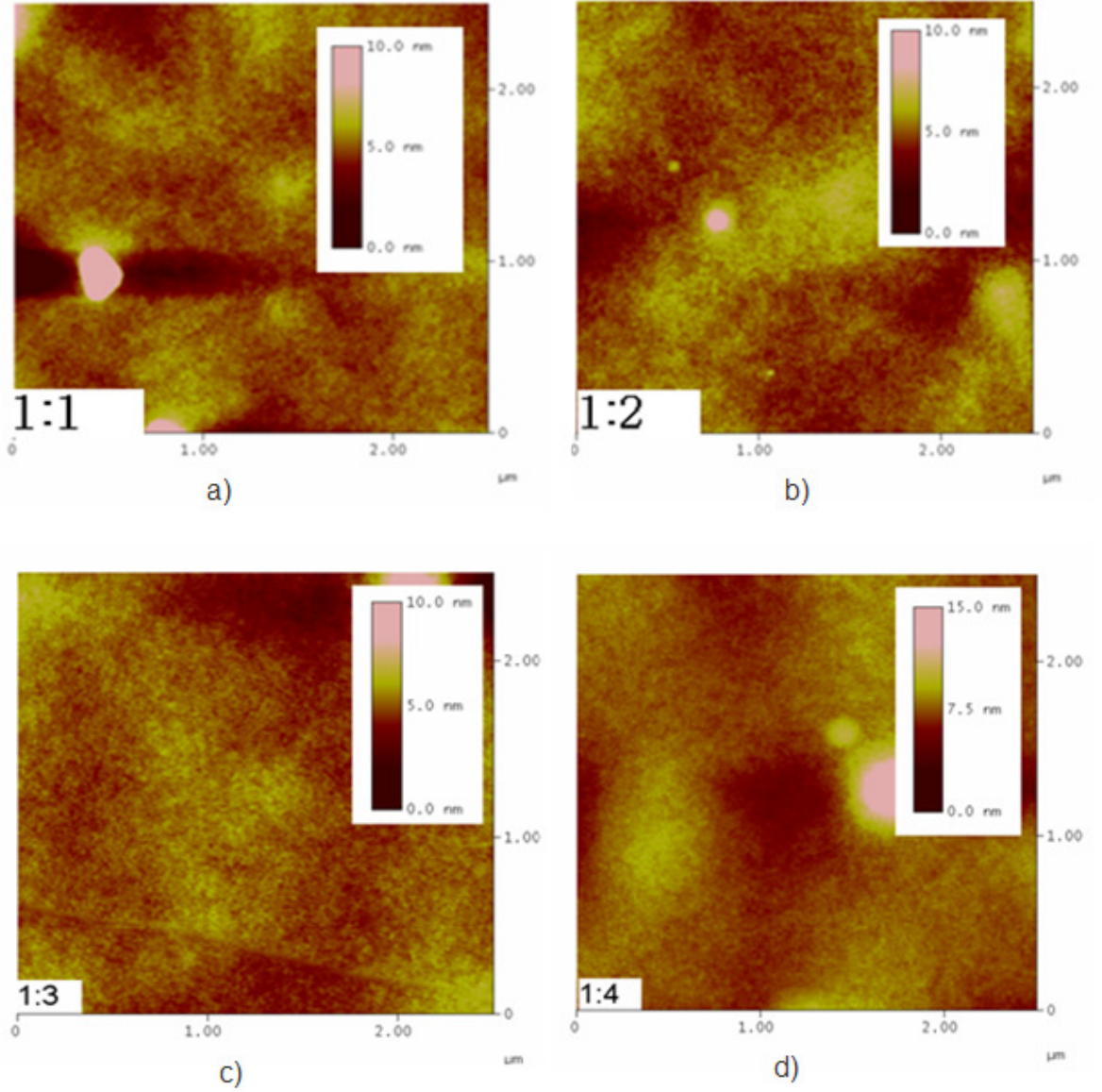
Şekil 5.33 kloroformda hazırlanan P4:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerlerini göstermektedir. P4 ile 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarında kloroformda hazırlanan gözelerin %IPCE'leri 500 nm civarında pik vermektedir. Maksimum akım katkıları yaklaşık olarak %9 ölçülürken minimum akım katkısı %1 olarak ölçülmüştür. Soğurma spektrumu ise 350 nm ile 800 nm arasında değişiklik göstermiştir. IPCE sonuçları, fotovoltaiik datalarla uyumludur.



Şekil 5.33 Kloroformda hazırlanan P4:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri

5.3.5.2 P4 Polimeriyle Kloroform Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi

Fotovoltaik performansın filmlerin morfolojisi ile olan bağlantısını inceleyebilmek için AFM görüntüleri alınmıştır. Şekil 5.34 kloroformda dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile hazırlanmış P4:PCBM filmlerinin, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarına ait AFM resimlerini göstermektedir.



Şekil 5.34 Polimer P4:PCBM ile kloroformda hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4

Şekil 5.34'den görüldüğü gibi, yükseklik skalası değerinden okunan büyüklüklere göre, P4:PCBM filmlerinin arasında 1:1, 1:2 ve 1:3 benzer yüzey özellikleri göstermiştir. Her üç yüzeyde 10 nm yükseklik skalasına (height scale) sahiptir. En pürüzlü yüzey olan 1:4 oranında hazırlanan filmin yükseklik skalası 15 nm olarak elde edilmiştir. Pürüzlülük skalası çok değişmemiş, fotovoltaik sonuçlarda yüzey pürüzlülükleri gibi benzer çıkmıştır.

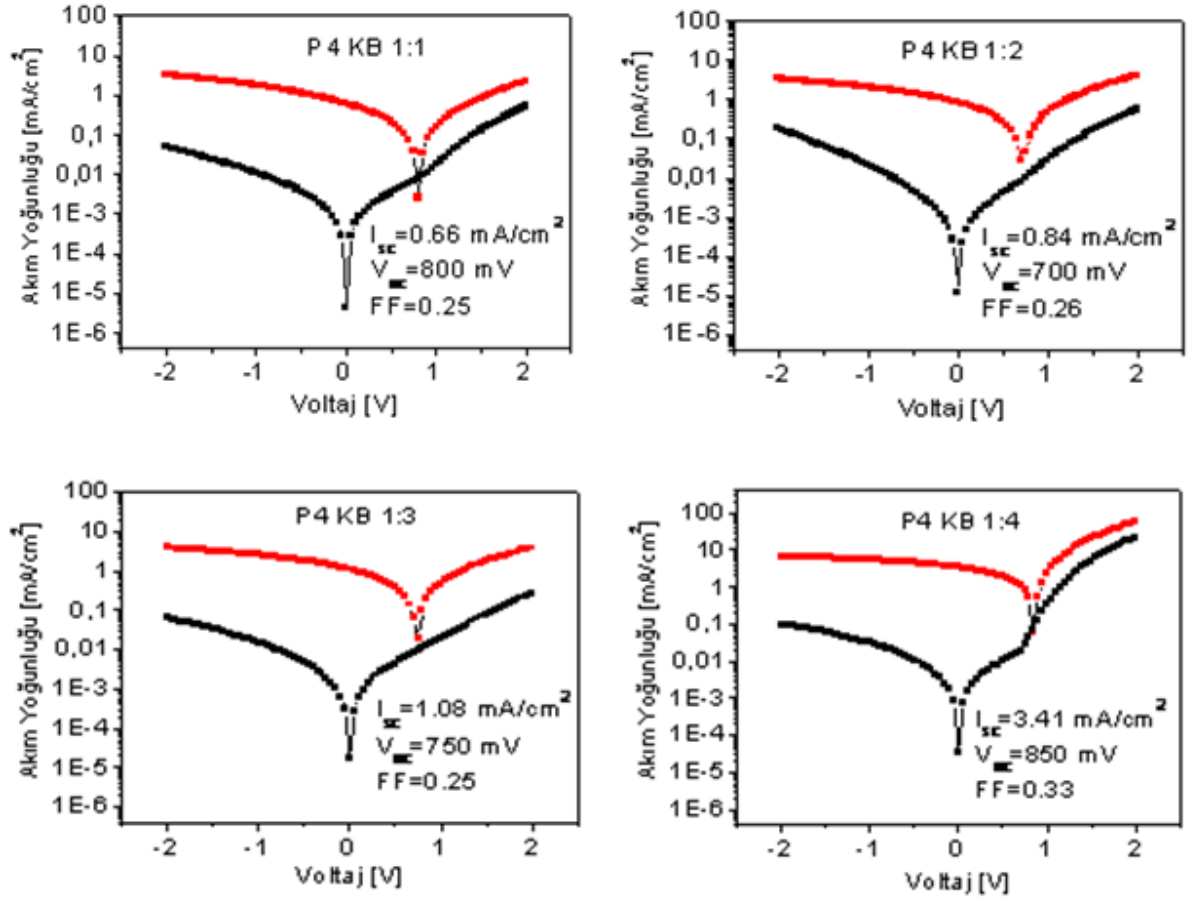
5.3.6 Antrasen İçeren P4 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözesi Sonuçları

5.3.6.1 P4 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu ve IPCE sonuçları

P4 polimerinin klorobenzen çözücüsüyle çözelti oluşturulduğunda verdiği en iyi performans PCBM'le 1:4 oranında hazırlandığında gösterdiği performanstır. Bu orandaki güç dönüşüm verimi %0.95 olarak hesaplanmıştır. En düşük güç dönüşüm verimi ise %0.13 olarak hesaplanmış olup, 1:1 oranında hazırlanmış gözelerde elde edilmiştir. En yüksek J_{sc} ise 3.41 mA/cm^2 iken en düşük J_{sc} ise 0.66 mA/cm^2 olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek V_{oc} 850 mV iken en düşük V_{oc} 700 mV olarak elde edilmiştir. En düşük FF ise 0.25 iken en yüksek FF'ün 0.33 olduğu görülmüştür. Dolgu faktörlerinin genel olarak düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.35 klorobenzende hazırlanan P4:PCBM güneş gözelerinin akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Bu gözeler ITO/PEDOT:PSS/P4:PCBM/LiF/Al yapısında ve 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarında hazırlanmıştır. Çizelge 5.12 ise bu güneş gözelerinin fotovoltaiik sonuçlarını göstermektedir.

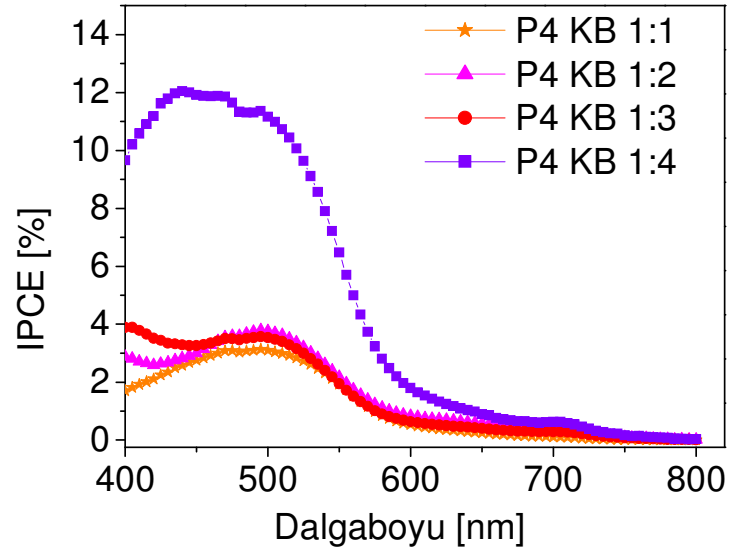
Çizelge 5.12 Klorobenzendeki P4:PCBM güneş gözelerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki fotovoltaiik dataları

P4:PCBM-KB	J_{sc} (mA/cm^2)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
1:1	0.66	800	0.25	0.13
1:2	0.84	700	0.26	0.15
1:3	1.08	750	0.25	0.20
1:4	3.41	850	0.33	0.95



Şekil 5.35 Klorobenzendeki P4:PCBM ince filmlerinin 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 oranlarındaki akım-gerilim karakteristiği

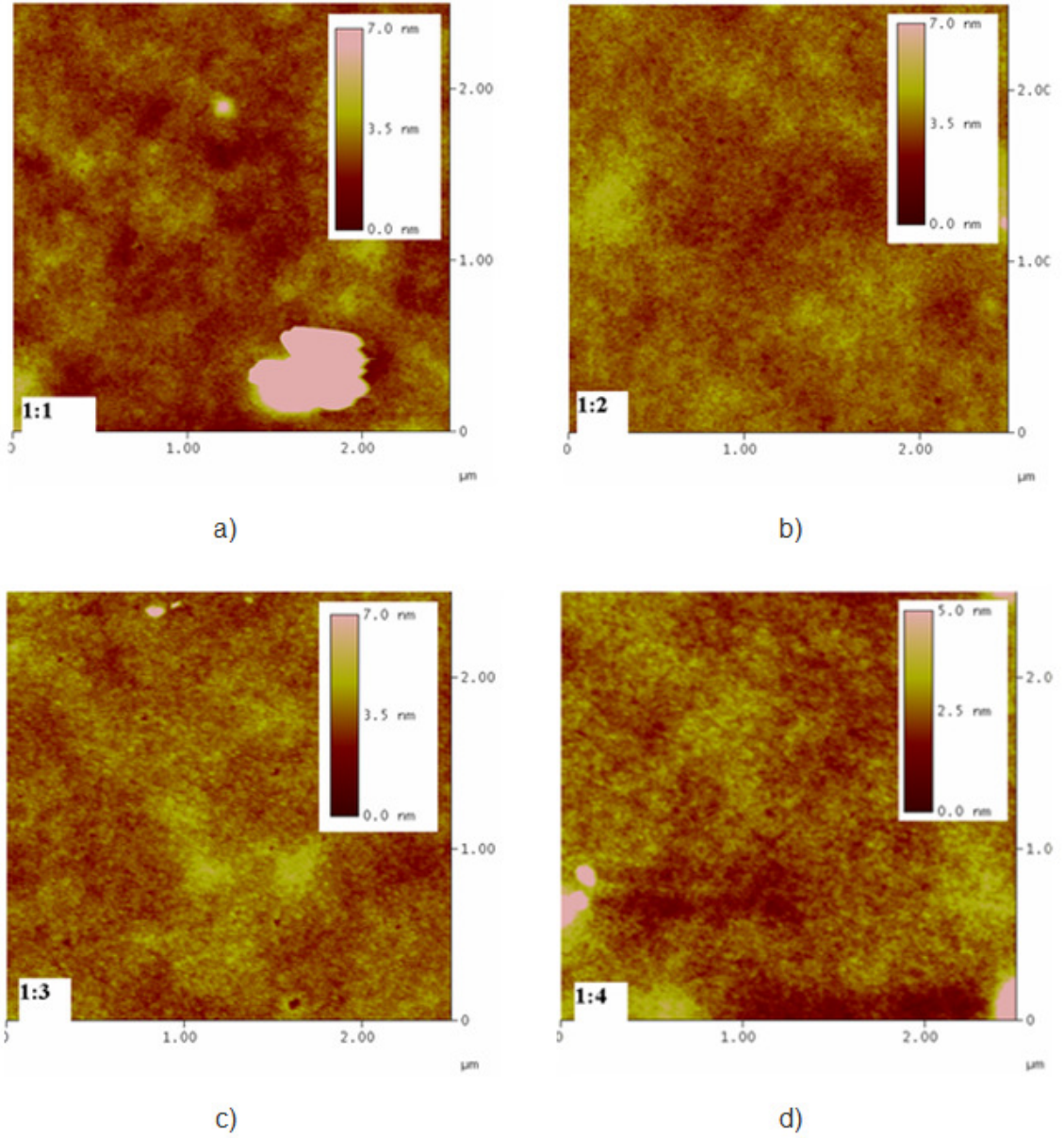
Şekil 5.36 klorobenzende hazırlanan P4:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerlerini göstermektedir. P4 ile 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarında klorobenzende hazırlanan gözelerin %IPCE'leri 500 nm civarında pik vermektedir. Maksimum akım katkıları yaklaşık olarak %12 ölçülmüştür. Soğurma spektrumu ise 400 nm ile 800 nm arasında değişiklik göstermiştir.



Şekil 5.36 Klorobenzende hazırlanan P4:PCBM filmlerinin farklı oranlardaki IPCE değerleri

5.3.6.2 P4 Polimeriyle Klorobenzen Çözücüsünde Hazırlanan Organik Güneş Gözelerinin Morfolojisi

Fotovoltaik performansın filmlerin morfolojisi ile olan bağlantısını inceleyebilmek için AFM görüntüleri alınmıştır. Şekil 5.37 klorobenzende dönel kaplama (spin coating) yöntemi ile hazırlanmış P4:PCBM filmlerinin, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 oranlarına ait AFM resimlerini göstermektedir.



Şekil 5.37 Polimer P4:PCBM ile klorobenzende hazırlanmış filmlerin farklı oranlardaki AFM resimleri (a) 1:1, (b) 1:2, (c) 1:3, (d) 1:4

Şekil 5.37'den görüldüğü gibi, yükseklik skalası değerinden okunan büyüklüklere göre, P4:PCBM filmlerinin arasında 1:1, 1:2 ve 1:3 benzer yüzey özellikleri göstermiştir. Her üç yüzeyde 7 nm yükseklik skalasına (height scale) sahiptir. En pürüzsüz yüzey olan 1:4 oranında hazırlanan filmin yükseklik skalası 5 nm olarak elde edilmiştir. En yüksek fotovoltaiik sonuç en pürüzsüz yüzeyde elde edilmiştir.

6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında tiyofen içeren P1, P2 konjuge polimerleriyle antrasen içeren P3, P4 konjuge polimerlerinin kloroform, klorobenzen ve toluende olmak üzere 3 farklı çözücüdeki fotovoltaiik özellikleri incelenmiştir.

Hacim heteroeklemlili olarak hazırlanan organik güneş gözelerinde kullanılan P1, P2, P3 ve P4 polimerleri çözeltilerde donör olarak kullanılmış, akseptör olarak ise PC₆₁BM kullanılmıştır. Hazırlanan organik güneş gözeleri ITO/PEDOT:PSS/Polimer:PCBM/LiF/Al yapısında hazırlanmıştır.

Tiyofen içeren konjuge polimerler arasında en iyi verim, P2 ile klorobenzende 1:3 oranında hazırlanan gözelerde elde edilmiştir. Bu gözelerde kısa devre akım yoğunluğu $J_{SC} = 5.2 \text{ mA/cm}^2$, açık devre gerilimi $V_{OC} = 800 \text{ mV}$ dolgu faktörü ise $FF = 0.44$ olarak elde edilmiştir. %1.8 güç dönüşüm verimine sahiptir. Antrasen içeren konjuge polimerler arasında ise en iyi verim, P4 ile klorobenzende 1:4 oranında hazırlanan gözelerde elde edilmiştir. Bu gözelerde kısa devre akım yoğunluğu $J_{SC} = 3.41 \text{ mA/cm}^2$, açık devre gerilimi $V_{OC} = 850 \text{ mV}$ dolgu faktörü ise $FF = 0.33$ olarak elde edilmiştir. %0.95 güç dönüşüm verimine sahiptir. Fotovoltaiik özellikler I-V karakterizasyonu, IPCE ölçümleri ve AFM resimleriyle incelenmiştir.

Bütün polimerler gözönüne alındığında P2 polimeri %1.8 güç dönüşüm verimiyle P1, P3 ve P4'den daha iyi performans göstermiştir. Açık devre gerilimi (V_{OC})'nin doğasıyla alakalı literatürde hala tartışmalar olsa da V_{OC} , donörün HOMO'suyla akseptörün LUMO'su arasındaki farkla orantılıdır. P1, P2, P3 ve P4'ün HOMO ve LUMO seviyeleri çizelge 4.1'de gösterilmiştir. PCBM'in LUMO'su 4.2 eV'tur (Mühlbacher, 2002). Hesaplanan teorik açık devre gerilimi (V_{OC}) değerleri sırasıyla P1, P2, P3 ve P4 için 0.97, 0.95, 1.01 ve 1.03'tür. Bu çalışmada ise açık devre gerilimi (V_{OC}) değerleri deneysel olarak, P2, P3 ve P4 için 0.8 mV, P1 için ise 0.7 mV civarında bulunmuştur. Bütün konjuge polimerler için fotovoltaiik sonuçlar incelenerek yapılan kıyaslamalara göre, klorobenzenin en iyi çözücü olduğu saptanmıştır. Çizelge 6.1'de P1, P2, P3 ve P4 ile elde edilen en iyi fotovoltaiik sonuçlar görülmektedir.

Çizelge 6.1 P1, P2, P3 ve P4 ile elde edilen en iyi fotovoltaiik sonuçlar

P1,P2,P3,P4	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF	η (%)
P1	2.52	650	0.37	0.60
P2	5.2	800	0.44	1.8
P3	2.70	700	0.28	0.52
P4	3.41	850	0.33	0.95

Bununla birlikte bütün konjuge polimerlerin dolgu faktörleri 0.37 ile 0.44 arasında bir değişim göstermiştir. Dolgu faktörleri genel olarak düşük çıkmıştır. Bu da birbirinden ayrılmış olan serbest yük taşıyıcılarının elektrotlara verimli olarak transfer edilmediğini göstermektedir.

IPCE'nin maksimum akım katkısı 500 nm civarında olmuştur. %IPCE P2 için en yüksek %30 iken, P1 için %14, P4 için %12 ve P3 için %8 olarak gözlenmiştir. Bu değerler fotovoltaiik performansla uyumlu çıkmıştır. Deneysel olarak gözlenen soğuma spektrumu 350 nm ile 750 nm arasında, Şekil 5.1'deki soğurma spektrumuyla uyumlu olarak gözlenmiştir.

AFM görüntüleri incelendiğinde genellikle yüzey pürüzlülüğü ve faz ayrımı azaldıkça performansın arttığı gözlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların bir bölümü Solar Energy Materials and Solar Cells dergisinde yayınlanmıştır. Fotovoltaiik özelliklerin daha da iyileştirilebilmesi için polimerlerin moleküler yapılar üzerinde gerekli düzenlemeleri yapmak, yeni devre yapıları denemek, donör ve akseptör malzemenin karışım oranlarını değiştirmek fotovoltaiik performansı arttırabilir.

KAYNAKLAR

- Aernouts, T., Geens, W., Portmans, J., Heremans, P., Borghs, S. ve Mertens, R., (2002), "Extraction of bulk and contact components of the series resistance in organic bulk donor-acceptor heterojunctions", *Thin Solid Films*, 403:297-301.
- AlIbrahim, M., Klaus Roth, H., Schroedner, M., Kalvin, A. Zhokhavets, U., Gobsch, G. Scharff, P. ve Sensfuss, S., (2005), "The Influence of the Optoelectronic Properties of Poly(3-alkylthiophenes) on the Device Parameters in Flexible Polymer Solar Cells", *Organic Electronics*, 6:65-77.
- Barrau, S., Andersson, V. ve Zhang, F., (2009), "Nanomorphology of Bulk Heterojunction Organic Solar Cells in 2D and 3D Correlated to Photovoltaic Performance", *Macromolecules*, 42:4646-4650.
- Basan, S., (2001), *Polimer Kimyası*, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No: 88, 367, Sivas.
- Başbilen, B., (2006), *Yüzeyi Polianilinle Kaplanmış Pirincin Klorürlü Ortamdaki Elektrokimyasal Davranışı*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Bavel, S. S., Sourty, E. ve With, D., (2009), "Three Dimensional Nanoscale Organization of Bulk Heterojunction Polymer Solar Cells", *Nano Letters*, 9:507-513
- Brabec, C. J., Cravino, A., Meissner, D., Sarıçiftçi, N. S., Fromherz, T., Rispen, M. T., Sanchez, L., Hummelen, J. C., (2001), "Origin of the open circuit voltage of plastic solar cells", *Adv. Funct. Mater.*, 11:374-380.
- Brabec, C. J., Dyakonov, V., Parisi, J. ve Sarıçiftçi, N. S., (2003), *Organic Photovoltaics: Concepts and Realization*; Vol. 60, Springer, Berlin.
- Brabec, C. J., Sarıçiftçi, N.S., ve Hummelen, J. C., (2001a), "Plastic Solar Cells", *Adv. Funct. Mater.*, 11:15.
- Brabec, C.J., Cravino, A., Meissner, D., Sarıçiftçi, N.S., Rispen, M.T., Sanchez, L., Hummelen, J.C. ve Fromherz, T., (2002), "The influence of materials work function on the open circuit voltage of plastic solar cells", *Thin Solid Films*, 368:403-404.
- Braun, D. ve Heeger, A.J., (1991), "Visible light emission from semiconducting polymer diodes", *Appl. Phys. Lett.*, 58:1982-1984.
- Brütting, W., (2005), *Introduction to the Physics of Organic Semiconductors*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Germany.
- Burroughes, J.H., Bradley, D.D.C., Brown, A.R., Marks, R.N., Mackay, K., Friend, R.H., Burns, P.L. ve Holmes, A.B., (1990), "Light emitting diodes based on conjugated polymers", *Nature*, 347:539-541.
- Cai, W., Gong, X. ve Cao, Y., (2010), "Polymer solar cells: Recent development and possible routes for improvement in the performance Solar Energy Materials and Solar Cells", *Volume 94, Issue 2*:114-127.
- Chamberlain, G. A., (1983), *Organic Solar Cells, A review*, *Solar Cells*, 8:47-83.
- Chen, L., Godovsky, D., Inganas, O., Hummelen, J.C., Janssens, R.A.J., Svensson, M. ve Andersson, M.R., (2000), "Polymer photovoltaic devices from stratified multilayers of donor

acceptor blends”, *Adv. Mater.*, 12:1367-1370.

Çıtıroğlu, A. R., (2000), Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi.

Dai, L., (1999), “Conjugated and Fullerene-Containing Polymers for Electronic and Photonic Applications: Advanced syntheses and Microlithographic Fabrications ”, *Polymer Reviews*, 39:2, 273-387.

Dennler, G., Scharber ve M. C., Brabec, C. J., (2009), “Polymer-fullerene bulk-heterojunction solar cells”, *Adv. Mater.*, 21:1–16.

Dhritiman, G., Sabyasachi, M. ve Narayan, K.S., (2010), “Fill factor in organic solar cells *Solar Energy Materials and Solar Cells*”, Volume 94, Issue 8, Pages 1309-1313.

Dimitrakopoulos, C. D. ve Mascaró, D.J., (2001), “Organic thin-film transistors: A review of recent advances”, *IBM J. Res. Dev.*, 45:11-27.

Dittmer, J.J., Lazzaroni, R., Leclerc, P., Moretti, P., Granstrom, M., Petritsch, K., Marseglia, E.A., Friend, R.H., Bredas, J.L., Rost, H. ve Holmes, A.B., (2000), “Crystal network formation in organic solar cells”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 61:53-61.

Dodi, K., (2010), Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları – Kullanım Alanları – Muhasebesi, Ankara.

Doğan, M., (2006), Kimya ve Sanayi Dergisi, Nanoteknoloji ve Uygulamaları Kimya İle İlişkisi, 39:12-18.

Drees, M., Premaratne, K., Graupner, W., Heflin, J.R., Davis, R.M., Marciu, D. ve Miller, M., (2002), “Creation of a gradient polymerfullerene interface in photovoltaic devices by thermally controlled inter diffusion”, *Appl. Phys. Lett.*, 81:4607-4609.

Erb, T., Raleva, S., Zhokhavets, U., Gobsch, G., Stühn, B., Spode, M. ve Ambacher, O., (2004), “Structural and Optical Properties of both pure poly(3-octylthiophene) (P3OT) and P3OT/fullerene Films”, *Thin Solid Films*, 450:97-100.

Gadisa, A., Tvingstedt, K., Admassie, S., Lindell, L., Crispin, X., Andersson, M. R., Salaneck, W. R. ve Inganäs, O., (2006), “Transparent polymer cathode for organic photovoltaic devices”, *Synth. Met.*, 156:1102–1107.

Geens, W., Aernouts, T., Poortmans, J. ve Hadziioannou, G., (2002), “Organic co-evaporated films of a PPV-pentamer and C60: Model systems for donor/acceptor polymer blends”, *Thin Solid Films*, 403:438-443.

Gerard, M., Chaubey, A. ve Malhotra, B. D., (2002), “Application of Conducting Polymers to Biosensors, Biosensors and Bioelectronics”, 17:345-359.

Granstrom, M., Petritsch, K., Arias, A.C., Lux, A., Andersson, M.R. ve Friend, R.H., (1998), “Laminated fabrication of polymeric photovoltaic diodes”, *Nature*, 395:257-260.

Gregg, B. A. ve Hanna, M.C., (2003), “Comparing organic to inorganic photovoltaic cells: Theory, experiment, and simulation”, *J. Appl. Phys.*, 93:3605-3615.

Gunes, S., Neugebauer, H. ve Sarıçiftçi, N. S., (2007), “Conjugated polymer-based organic solar cells”, *Chem. Rev.*, 107:1324–1338.

Halls, J. J. M. ve Friend, R.H., (2001), *Clean Electricity from Photovoltaics*, Imperial College Press, London.

- Halls, J. J. M., Pichler, K., Friend, R.H., Moratti, S.C. ve Holmes, A.B., (1996), "Exciton diffusion and dissociation in a poly(p-phenylenevinylene)/C60 heterojunction photovoltaic cell", *Appl. Phys. Lett.*, 68:3120-3125.
- Halls, J. J. M., Walsh, C. A., Greenham, N. C., Marseglia, E. A., Friend, R. H., Moratti, S. C. ve Holmes, A. B., (1995), "Efficient photodiodes from interpenetrating polymer networks", *Nature*, 376:498-500.
- Harun, M. H., Saion, E., Kassim, A., Noorhana, Y. ve Ekramul M., (2007), "Conjugated Conducting Polymers", *A Brief Overview, JASA*, 2:63-68.
- Hauch, J. A., Schilinsky, P., Choulis, S. A., Childer, R., Biele, M. ve Brabec, C. J., (2008), *Flexible Organic P3HT:PCBM Bulk Heterojunction Modules with More Than 1 Year Outdoor Lifetime, Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92:727-731.
- Hiramoto, M., Fujiwara, H., ve Yokoyama, (1991), "M., Three-layered organic solar cell with a photoactive interlayer of codeposited pigments", *Appl. Phys. Lett.* 58:1062-1064.
- Hiramoto, M., Kishigami, Y. ve Yokoyama, M., (1990), "Doping Effect on the Two-Layer Organic Solar Cell", *Chem. Lett*, 19:119-122.
- Hoppe, H. ve Sarıçiftçi, N., (2005), *In Organic Photovoltaics*, Taylor & Francis, p. 217. London.
- Hoppe, H. ve Sarıçiftçi, N. S., (2008) , "Polymer solar cells", *Adv. Polym. Sci.*, 214:1–86.
- Hoppe, H., (2004), *Nanomorphology – Efficiency Relationship in Organic Bulk Heterojunction Plastic Solar Cells*, P.H.D Thesis, Johannes Kepler Universitat, Linz
- Hoppe, H., Arnold, N., Meissner, D. ve Sarıçiftçi, N.S., (2003), "Modelling the optical absorption within conjugated polymer/fullerene based bulk-heterojunction organic solar cells", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 80:105-113.
- Hoppe, H., Arnold, N., Meissner, D. ve Sarıçiftçi, N.S., (2004), "Modeling of optical absorption in conjugated polymer/fullerene bulk heterojunction plastic solar cells", *Thin Solid Films*, 451:589-592.
- Hoppe, H., Glatzel, T., Niggemann, M., Schwinger, W., Schaeffler, F., Hinsch, A. Lux-Steiner, M. C. ve Sarıçiftçi, N.S., (2005), "Efficiency limiting morphological factors of MDMO-PPV : PCBM plastic solar cells", *Thin Solid Films*, 511:587-592.
- Hoppe, H., ve Sarıçiftçi N. S., (2004), "Organic Solar Cells", *J. Mater. Res.*, Vol. 19, No. 1944, 7:1924-1945.
- Hoth, C. N., Choulis, S., A., Schilinsky, P., (2007), "High Photovoltaic Performance of Inkjet Printed Polymer:Fullerene Blends", *Adv Mat.*, 19:3973-3978.
- Hoth, C. N., Schilinsky, P., Choulis, S. A., Brabec, C. J., (2008), "Printing Highly Efficient Organic Solar Cells", *Nanoletters*, 8, 2008:2806-2813.
- Petritsch, K., Dittmer, J.J., Marseglia, E.A., Friend, R.H., Lux, A., Rozenberg, G.G., Moratti, S.C. ve Holmes, A.B., (2000), "Dye-based donor/ acceptor solar cells ", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 61:63-72.
- Kanatidis, M. G., (1990), "Conductive Polymers", *Chem. Eng. News*, 68: 36-37.
- Koyuncu, S., (2008), Güneş Pillerinde Elektrolit Olarak Görev Yapacak İletken Polimerlerin

Sentezi, Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.

Köse, S., (1986), Yarı iletken Güneş Pilleri ve Verimlilikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Krebs, F. C. ve Jensen, W., (2006), “High-conductivity large-area semi-transparent electrodes for polymer photovoltaics by silk screen printing and vapour-phase deposition”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 90:123–132.

Krebs, F. C. ve Spanggaard, H., (2005), “Significant improvement of polymer solar cell stability”, *Chem. Mater.*, 17:5235–5237.

Krebs, F. C., (2008b) “Air stable polymer photovoltaic based on a process free from vacuum steps and fullerenes”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 92:715–726.

Krebs, F. C., Thomann, Y., Thomann, R. ve Andreasen, J. W., (2008a), “A simple nano structured polymer/ZnO hybrid solar cell—preparation and operation in air”, *Nanotechnology*, 19:424013–424025.

Kroeze, J. E., Savaniye, T.J., Vermeulen, M.J.W. ve Warman, J.M., (2003), “Contactless Determination of the Photoconductivity Action Spectrum, Exciton Diffusion Length, and Charge Separation Efficiency in Polythiophene-Sensitized TiO₂ Bilayers”, *J. Phys. Chem. B*, 107:7696–7705.

Kumar, D. ve Sharma, R. C., (1998), “Advances in conducting polymers”, *Eur. Polym. J.*, 34: 1053-1060.

Lane, P.A., Rostalski, J., Giebel, C., Martin, S. J., Bradley, D.D.C. ve Meissner, D., (2000), “Electroabsorption studies of phthalocyanine/ perylene solar cells”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 63:3-13.

Liang, Y. Y., Feng, D. Q., Wu, Y., Tsai, S. T., Li, G., Ray, C. ve Yu, L. P., (2009), “Highly efficient solar cell polymers developed via fine-tuning of structural and electronic properties”, *J. Am. Chem. Soc.*, 131:7792–7799.

Liang, Y., Xu, Z., Xia, J., S.T., Tsai, S.T., Wu, Y., Li, G., Ray, C., ve Yu, L., (2009), “For the Bright Future—Bulk Heterojunction Polymer Solar Cells with Power Conversion Efficiency of 7.4%” *Adv. Mater.*, 2010, 22:1–4.

Liu, J., Shi, Y. ve Yang, Y., (2001), “Solvation Induced Morphology Effects on the Performance of Polymer-Based Photovoltaic Devices”, *Adv Func Mat*, 11:420-424.

MacDiarmid, A. G. , (2001), "Synthetic metals": A novel role for organic polymers (Nobel lecture), *Angew. Chem. Int. Ed.*, 40: 2581-2590.

MacDiarmid, A. G. ve Heeger, A. J., (1979), “Organic Metals And Semiconductors – The Chemistry of Polyacetylene, (CH)_x and Its Derivatives”, *Synthetic Metals*, 1: 101-118.

Malinauskas, A., (2001), Chemical Deposition of Conducting Polymer, *Polymer*.

Myung-Gyu, K., Jay, G. L., (2007), “Nanoimprinted semitransparent metal electrodes and their application in organic light-emitting diodes”, *Adv. Mater.*, 19:1391–1396.

Nelson, J., (2002), *Curr. Opin.*, In Solid State Mat. Sci., 6, 87.

Neugebauer, H., Brabec, C., Hummelen, J. C. ve Sarıçiftçi, N. S., (2000), “Stability and photo

degradation mechanisms of conjugated polymer/fullerene plastic solar cells”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 61:35–42.

Oğuz, İ., (2005), İletken Polimer/Kırmızı Çamur Nanokompozitlerinin Kimyasal Yöntemle Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ortmann, F., Bechstedt, F. ve Karsten, H., (2010), “Charge Transport in Organic Crystals: Interplay of band transport, Hopping and Electron-Phonon Scattering”, *New Journal of Physics* 12:023011, doi: 10. 1088/1367-2630/12/2/023011

Padinger, F., Rittberger, R. S., Sarıçiftçi, N., S., (2003), “Effects of Post Production Treatment on Plastic Solar Cells”. *Adv Func Mat*, 13:85-88.

Park, S. H., Roy, A., Beaupre, S., Cho, S., Coates, N., Moon, J. S., Moses, D., Leclerc, M., Lee, K. ve Heeger, A. J., (2009), “Bulk heterojunction solar cells with internal quantum efficiency approaching 100%”, *Nat. Photonics*, 3:297–303.

Peet, J., Kim, J. Y., Coates, N. E., Ma, W. L., Moses, D., Heeger, A. J. ve Bazan, G. C., (2007), “Efficiency enhancement in low-bandgap polymer solar cells by processing with alkane dithiols”, *Nat. Mater.*, 6:497–500.

Petersen, M. H., Gevorgyan, S. A., F. C. ve Krebs, F. C., (2008), “Thermocleavable low band gap polymers and solar cells therefrom with remarkable stability toward oxygen”, *Macromolecules*, 41:8986–8994.

Pettersson, L.A.A., Roman, L.S., ve Inganas, O., (1999), “Modeling photocurrent action spectra of photovoltaic devices based on organic thin films”, *J. Appl. Phys.*, 86:487-497.

Peumans, P., Yakimov, A. ve Forrest, S.R., (2003), “Small molecular weight organic thin-film photodetectors and solar cells”, *J. Appl. Phys.*, 93:3693-3724.

Pfeiffer, M., Beyer, A., Plonnigs, B., Nollau, A., Fritz, T., Leo, K., Schlettwein, D., Hiller, S. ve Wohrle, D., (2000), “Controlled p-doping of pigment layers by cosublimation: Basic mechanisms and implication for their use in organic photovoltaic cells”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 63:83-99.

Pope, M. ve Swenberg, C.E, (1999), *Electronic Processes in Organic Crystals and Polymers*, 2nd ed., Oxford University Press, New York.

Rostalski, J. ve Meissner, D., (2000), “Photocurrent spectroscopy for the investigation of charge carrier generation and transport mechanisms in organic p/n-junction solar cells”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 63:37-47.

Sarıçiftçi, N. S., (1997), “Primary Photoexcitations in Conjugated Polymers: Molecular Exciton versus Semiconductor Band Model”, World Scientific.

Sarıçiftçi, N. S., (2004), “Plastic Photovoltaic Devices”, *Materials Today*, 7:36-40.

Sarıçiftçi, N. S., Braun, D., Zhang, C., Srdanov, V., I., Heeger, A. J., Stucky, G. ve Wudl, F., (1993), “Semiconducting polymer-buckminsterfullerene heterojunctions: Diodes, photodiodes, and photovoltaic cells”, *Appl. Phys. Lett.*, 62:585-587.

Sarıçiftçi, N. S., Smilowitz, L., Heeger, A. J. ve Wudl, F., (1992), “Photoinduced elektron transfer from a conducting polymer to buckminsterfullerene”, *Science*, 1992, 258:1474-1476.

- Saunders, R., M. ve Turner, L., (2008), "Nanoparticle-polymer photovoltaic cells", *Adv. Colloid Interface*, 138:1–23.
- Scharber, M. C., Muhlbacher, D., Koppe, M., Denk, P., Waldauf, C., Heeger, A. J. ve Brabec, C. J., (2006), "Design rules for donors in bulk-heterojunction solar cells—towards 10% energy-conversion efficiency", *Adv. Mater.*, 18:789–794.
- Shaheen, S. E, Brabec, C ve Padinger, F., (2001), "2.5 % Efficient Organic Plastic Solar Cells", 78:841-843.
- Shinar, J., (2004), *Organic Light-Emitting Devices: A Survey*, Springer, New York.
- Shirakawa H., Louis, E. J., MacDiarmid, A. G., Chiang, C. K. ve Heeger, A. J., (1977), *J Chem Soc Chem Comm*, 579.
- Singh, J., (1995), *Semiconductor Optoelektronics*, McGraw Hill Inc, USA.
- Skotheim, T. A., (1986), *Handbook of Conducting Polymers*, Marcel Dekker Inc., Vol 1-2 New York.
- Takanezawa, K., Tajima, K. ve Hashimoto, K., (2008), "Efficiency enhancement of polymer photovoltaic devices hybridized with ZnO nanorod arrays by the introduction of a vanadium oxide buffer layer", *Appl. Phys. Lett.*, 93:063308-1- 3.
- Tang, C. W. ve Albrecht, A.C., (1975)., "Photovoltaic effects of metalchlorophyll-a-metal sandwich cells", *J. Chem. Phys.*, 62:2139-2149.
- Tang, C. W., (1986), "Two Layer Organik Photovoltaic Cell", *App Phys Lett*, 43:183-186.
- Tercan, M. B., (2000), *Güneş Pili Karakterizasyon Yöntemleri*, Yüksek lisans Tezi, Hacettepe Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tessler, N., Preezant, Y. ve Rappaport, N., (2009), "Charge Transport In Disordered Organic Materials and Its Relevance to Thin Film Devices", *Adv Materials*, 21:2741-2761.
- Tüzün, C., (2005), *Organik Kimya*, Palme Yayıncılık, (1-2), Ankara.
- Uyar, T., S., (2010), *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*
- Veenstra, S.C., Malliaras, G.G., Brouwer, H.J., Esselink, F.J., Krasnikov, V.V., Hutten, P.F., Wildeman, J., Jonkman, H.T., Sawatzky, G.A. ve G. Hadziioannou, G., (1997), "Sexithiophene-C60 blends as model systems for photovoltaic devices", *Synth. Met.*, 84:971-972.
- Wallace, G. G., (2000), "Conjugated polymers: New materials for photovoltaics", *chemical innovation*, 30, 1:14-22.
- Wild, A., Egbe, D. A. M , Birckner, E., Cimrová, V., Baumann, R. U., Grummt, U. ve Schubert, W U. S., (2009), "Anthracene and Thiophene Containing MEH-PPE-PPVs: Synthesis and Study oft he Effect of the Aromatic Ring Position on the Photophysical and Electrochemical Properties", *J. Polym. Sci. Part. A: Polym. Chem.*, 47:2243-2261.
- Winder, C. ve Sarıçiftçi, N.S., (2004), "Low Bandgap Polymers for Photon Harvesting in Bulk Heterojunction Solar Cells", *J. Mater. Chem.*, 14:1077-1086.
- Wohrle, D. ve Meissner, D., (1991), "Organic Solar Cells", *Adv. Mater.* 3:129-138.
- Wu, Z., Chen, Z., Du, X., Lgan, M., Sippel, J., Nikolou, M., Kamaras, K., Reynolds, J. R.,

Tanner, D. B., Hebard, A. F ve Rinzler, A. G., (2004), “Transparent conductive carbon nanotube films”, *Science*, 305:1273–1276.

Yoshino, K., (1997), “Novel Photovoltaic Devices Based on Donor- Acceptor Molecular and Conducting Polymer Systems”, *IEEE Transaction on Electron Devices*, 44, 8:1315-1324.

Yu, G. ve Heeger, A. J., (1995), “Charge separation and photovoltaic conversion in polymer composites with internal donor/acceptor heterojunctions”, *J. Appl. Phys.*, 78:4510-4516.

Yu, G., Gao, J., Hummelen, J. C., Wudl, F. ve Heeger, A. J., (1995), “Polymer Photovoltaic Cells: Enhanced Efficiencies via a Network of Internal Donor–Acceptor Heterojunctions”, *Science*, 270:1789-1791.

Zafer, C., (2006), *Organik Boya Esasli Nanokristal Yapılı İnce Film Güneş Pili Üretimi*, Doktora Tezi, İzmir.

Zimmermann, B., Glatthaar, M., Niggemann, M., Riede, M. K., Hinsch, A. ve Gombert, A., (2007), “ITO-free wrap through organik solar cells -a module concept for cost-efficient reel-to-reel production”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 913:74–378.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] <http://www.tepkime.net>
- [2] http://www.marmara.gov.tr/document/news/392/Yrd._Do%C3%A7_Dr._%C3%9Cmit_Terzi'nin_Sunumu.ppt
- [3] <http://www.enerji.gov.tr/index.php>
- [4] “Yenilenebilir Enerji”, <http://www.bugday.org/article.php?ID=79>
- [5] <http://www.tuba.gov.tr/haber.php?id=36>
- [6] <http://www.genbilim.com/content/view/1473/>
- [7] http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/hidrojen/hidrojen_enerjisi.html
- [8] http://www.haber.net.kk.tc/haber_detay.php?haber_id=1094
- [9] http://elektroteknoloji.com/elektrik_elektronik/teknik_yazilar/gunes_pilleri_kullanim_alanlari.html
- [10] <http://www.aps.org/publications/apsnews/200904/physicshistory.cfm>
- [11] <http://www.solarenergyedge.com/solar-energy-history.Html>
- [12] <http://www.best-research.com.mx/ingles/index.Html>
- [13] <http://www.sopra-sa.com>
- [14] <http://www.polimernedir.com/page/3/?s=kompazit&x=0&y=0#polimernedir>
- [15] http://www.plastikfirmalari.com/plastik_cesitleri.html
- [16] http://nobelprize.org/educational_games/chemistry/plastics/readmore.html
- [17] http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/chemadv.pdf
- [18] <https://services.tubitak.gov.tr/edergi/user/yaziList1.jsp?konuno=34&dergiKodu=4>
- [19] http://www.ume.tubitak.gov.tr/lablar/menu_lablar.php?f=241
- [20] <http://imi.proteus.cisti.nrc.ca/eng/education/innovations/spotlight/solarcells.html>
- [21] http://www.ipc.uni-linz.ac.at/os/index_lios.html
- [22] https://www.elitenetzwirk.bayern.de/ilkakriegel_organiksolcell.0.html
- [23] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/archive/a/ae/20090504034437!Fig_2.sketch_of_single_layer_organik_photovoltaic_cell.JPG
- [24] <http://www.displaybank.com/eng/info/column.php?device2=9>
- [25] <http://www.chemphys.lu.se/research/projects/teratransport/>
- [26] http://www.kimya.itu.edu.tr/ookay/Davetli_okay.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	11.04.1980	
Doğum yeri	İstanbul	
Lisans	2001-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü
Yüksek Lisans	2008-2010	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

Görev Aldığı Projeler

1. Bursiyer, Tübitak Projesi, 108-T-485, “Yarıiletken Polimerler Kullanılarak Organik Güneş Pillerinin Üretilmesi”, 2008 Aralık - Devam ediyor
2. Serap Güneş, "Organik Güneş Pillerinin Akım-Gerilim Karakteristiklerinin İncelenmesi", Belkıs Bilgin Eran, Emel Çevik, Nimet Yılmaz Canlı, Hale Ocak, 2008-2009.

Burslar

1. Avrupa Bilim Fonu (European Science Foundation) (ESF) Değişim Bursu (Exchange Grant), 1 Eylül-1 Ekim 2008
2. Avrupa Bilim Fonu (European Science Foundation) (ESF) Değişim Bursu (Exchange Grant), 5 Temmuz -15 Ağustos 2009
3. Avrupa Bilim Fonu (European Science Foundation) (ESF) Değişim Bursu (Exchange Grant), 24 Kasım - 3 Aralık 2009

Eserler

Özet (Abstract) olarak yayınlanan uluslararası toplantı:

Emel Çevik, Abdülkadir Karaduman, Ufuk Kılıç, Serap Güneş, “Organic Solar Cells Using Poly(3-hexylthiophene)”, Nanomat, 24-26 Nisan 2008, Ankara.

E. Cevik, İ. Karatas, D. Ilıcalı, G. Günday and S. Günes, Effect of Chemical Additives On The Performance Organic Solar Cells, TFD Eylül 2009, Bodrum.

Emel Cevik, Derya Ilıcalı, Gülay Günday, Serap Gunes, Daniel Ayuk Mbi Egbe, Niyazi Serdar Sariciftci, A Novel N Type Polymer For Bulk Heterojunction Solar Cells.

Yayınlar

Serap Güneş, Andreas Wild, Emel Cevik, Almantas Pivrikas, Ulrich Schubert, Daniel Egbe, "Effect of shifting of aromatic rings on charge carrier mobility and photovoltaic response of of anthracene and thiophene containing MEH-PPE-PPVs", Solar Energy Materials and Solar Cells, 2009