

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYASAL KATKI MADDELERİNİN POLİTİYOFEN
İÇEREN ORGANİK GÜNEŞ GÖZELERİNİN VERİMİNE
ETKİLERİ**

Fizikçi İsmail KARATAŞ

**FBE Fizik Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

İSTANBUL, 2010

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYASAL KATKI MADDELERİNİN POLİTİYOFEN
İÇEREN ORGANİK GÜNEŞ GÖZELERİNİN VERİMİNE
ETKİLERİ**

Fizikçi İsmail KARATAŞ

**FBE Fizik Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Başlıca Enerji Çeşitleri	1
1.2 Türkiye’ de Yenilenebilir Enerji Kaynakları	4
1.3 Türkiye’ de Güneş Enerjisi	5
2. YARIİLETKEN MADDELER VE ÖZELLİKLERİ	8
3. GÜNEŞ GÖZELERİ	10
3.1 İnorganik Güneş Gözeleri	11
3.2 Organik Güneş Gözelerinin Temelleri	16
3.2.1 Organik Yarıiletkenler	16
3.2.2 Organik Güneş Gözesi Malzemeleri	18
3.2.3 Organik Güneş Gözelerinin Temel Çalışma Prensipleri	21
3.3 Organik Güneş Gözelerinin Hazırlanması	23
3.3.1 Organik Yarıiletkenlerin Yapısal Özellikleri ve İnce Film Oluşturma Teknikleri	24
3.3.1.1 Buharlaştırma	24
3.3.1.2 Islak İşlem	25
3.3.2 Devre Tipleri	28
3.3.2.1 Tek Tabaka Güneş Gözeleri	28
3.3.2.2 İki Katlı Heteroeklem Güneş Gözeleri	28
3.3.2.3 Hacim Heteroeklem Güneş Gözeleri	29
3.3.2.4 Yayılmış İki Katmanlı Heteroeklem	30
4. GÜNEŞ GÖZELERİNDE VERİMİN HESAPLANMASI	31
5. VERİMİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	34
5.1 Açık Devre Gerilimi (V_{OC})	34
5.2 Kısa Devre Akımı (J_{SC})	34
5.3 Dolgu Faktörü (Fill Factor-FF)	35

6.	ORGANİK GÜNEŞ GÖZELERİNİN GELİŞİM SÜRECİ.....	36
6.1	Sıvı Kristaller Kullanılarak Organik Güneş Gözelerinin Hazırlanması	37
7.	DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	39
7.1	P3HT, PCBM, BB1 ve Thiol Gruplarının Kimyasal Özellikleri	39
7.2	Organik Güneş Gözelerinin Hazırlanması	41
7.2.1	ITO Camların Hazırlanması ve PEDOT:PSS Kaplanması	41
7.2.2	Tiyol ve Sıvı Kristal İçeren Güneş Gözelerinin Hazırlanması	42
7.2.3	Metal Buharlaştırılması.....	44
7.2.4	Akım-Gerilim Karakterizasyonu	44
7.3	Sonuçlar	46
7.3.1	Tiyol Türevleri Katkılanarak Üretilen Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu	46
7.3.2	“BB1” Sıvı Kristali Katkılanarak Üretilen Organik Güneş Gözeleri	59
7.3.2.1	Akım-Gerilim Karakterizasyonu	59
7.3.2.2	“BB1” Sıvı Kristali Katkılanarak Üretilen Organik Güneş Gözelerinin Yüzey Morfolojisi	63
8.	SONUÇ VE TARTIŞMA	66
	KAYNAKLAR.....	68
	ÖZGEÇMİŞ.....	71

SİMGE LİSTESİ

E_c	İletim bandının taban enerji değeri
E_g	Yasak enerji band aralığı
E_v	Valans badının tavan enerji değeri
μ	Mobilite
c	Işık hızı
E	Elektrik alan
e	Temel yük birimi
E	Enerji
E_F	Fermi enerji seviyesi
FF	Dolgu faktörü
I	Akım
I_0	Karanlık akımı
I_{MPP}	Maksimum güç noktasındaki akım değeri
I_{ph}	Soğurulan fotonlardan kaynaklanan akım (fotoakım)
I_s	Diyodun doygunluk akımı
I_{sc}	Kısa devre akımı
k	Boltzmann sabiti
m	Kütle
n	Diyot idealite faktörü
P_{in}	Gelen ışığın güç yoğunluğu
R_s	Seri direnç
R_{sh}	Shunt direnci (paralel direnç)
T	Sıcaklık
U	Uygulanan voltaj
V_{MPP}	Maksimum güç noktasındaki gerilim değeri
V_{oc}	Açık devre gerilimi
V_{th}	Termal gerilim
η	Verim

KISALTMA LİSTESİ

DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
FV	Fotovoltaik
HOMO	İşgal edilmiş en yüksek moleküler orbital seviye
ITO	İndiyum kalay oksit
KW	Kilowatt
KWh	Kilowatt saat
LUMO	İşgal edilmemiş en düşük moleküler orbital seviye
MIM	Metal-yalıtkan-metal
MPP	Maksimum güç noktası
MTEP	Mega ton eşdeğer petrol
MW	Megawatt
PET	Polietilentetraftalat
RPM	Diskini dakika' ki dönüş sayısı
TEP	Ton eşdeğer petrol
TWh	Terawatt saat
μ l	Mikrolitre

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli 5
Şekil 2.1a	Yarıiletkenin p tipi oluşum mekanizması 8
Şekil 2.1b	Yarıiletkenin p tipi oluşum mekanizması 8
Şekil 3.1	Sırasıyla fotovoltaiik hücre, modül, panel ve dizilerin gösterimi 10
Şekil 3.2	Güneş gözelerinin günümüzdeki bazı kullanım alanları..... 11
Şekil 3.3	Fotovoltaiik hücrenin yük iletim mekanizması..... 12
Şekil 3.4	P-n eklemine oluşturulması ve ışık altındaki davranışı 13
Şekil 3.5	İnorganik güneş gözesi 15
Şekil 3.6	“sp ² ” hibritli karbon atomlarına sahip olan etilen molekülünün yapısının çeşitli yöntemlerle gösterilmesi 16
Şekil 3.7a	“sp” hibritleşmesinin geometrik gösterimi 17
Şekil 3.7b	“sp ² ” hibritleşmesinin geometrik gösterimi 17
Şekil 3.7c	“sp ³ ” hibritleşmesinin geometrik gösterimi 17
Şekil 3.8	“sp ² ” orbitalleri düzlemi, π bağı, σ bağı ve p _z orbitalinin şematik gösterimi 17
Şekil 3.9	Organik güneş gözesi 18
Şekil 3.10	Güneş gözesinde kullanılan malzemelerin kimyasal yapıları 19
Şekil 3.11	Genel olarak kullanılan malzemelerin soğurma katsayıları ile standart hava kütlesi(Air Mass/AM) 1.5 doğal güneş spektrumunun kıyaslaması 19
Şekil 3.12	Organik güneş gözesinin temel çalışma prensibi 21
Şekil 3.13	Yeniden Birleşme (Rekombinasyon) Mekanizması 23
Şekil 3.14	Dönel kaplama yöntemi kullanarak ince film hazırlanması 25
Şekil 3.15	Dönel kaplama yöntemiyle film kalınlığı ayarlanarak örneğe filmin kaplanması..... 26
Şekil 3.16	Bıçak ağız ile düz kaplama mekanizması 27
Şekil 3.17	İki katlı heteroeklem güneş gözesinin düzenlenme biçimi 29
Şekil 3.18	Hacim heteroeklem güneş gözesinin düzenlenme biçimi 30
Şekil 4.1	Bir güneş gözesinin akım-voltaj grafiği..... 31
Şekil 4.2	Organik güneş gözesinin elektriksel devre şeması 32
Şekil 4.3	Bir güneş gözesinin yarı logaritmik akım-voltaj grafiği..... 32
Şekil 5.1	Dolgu faktöründe etkili olan parametreler 35
Şekil 7.1a	P3HT, MDMO-PPV ve PCBM' in kimyasal yapısı 40

Şekil 7.1b	“BB1” sıvı kristalinin kimyasal yapısı.....	40
Şekil 7.1c	Hekzanditiyol, oktanditiyol, oktantiyol, pentanditiyol ve pentantiyol malzemelerinin kimyasal yapısı.....	40
Şekil 7.2	PEDOT:PSS polimerinin kimyasal yapısı	41
Şekil 7.3	Spin coater ve ultrasonik banyo aygıtları.....	42
Şekil 7.4	Manyetik karıştırıcı cihazı	43
Şekil 7.5	Termal metal buharlaştırma aleti	44
Şekil 7.6	Keithley ve solar simülatör cihazları	45
Şekil 7.7	Referans güneş gözesinin lineer ve yarı logaritmik ölçekte akım-gerilim eğrisi	46
Şekil 7.8	Hacimce %3 oranında pentantiyol içeren organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.....	47
Şekil 7.9	Hacimce %3 oranında oktantiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi	48
Şekil 7.10	Hacimce %10 oranında oktantiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi	49
Şekil 7.11	Hacimce %3 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi	50
Şekil 7.12	Hacimce %10 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi	51
Şekil 7.13	Hacimce %20 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi	52
Şekil 7.14	Hacimce %3 oranında hekzanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi	53
Şekil 7.15	Hacimce %3 oranında oktanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi	54
Şekil 7.16	MDMO-PPV:PCBM referans güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi	55
Şekil 7.17	Hacimce %3 oranında oktantiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi	56
Şekil 7.18	Hacimce %3 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi	57
Şekil 7.19	Klorobenzen çözücüsü kullanılarak hazırlanan P3HT:PCBM organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.....	59

Şekil 7.20	0,5 mg BB1 sıvı kristali katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.....	60
Şekil 7.21	1 mg BB1 sıvı kristali katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.....	61
Şekil 7.22	5 mg BB1 sıvı kristali katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.....	62
Şekil 7.23	Sırasıyla referans, 0,5 mg BB1, 1 mg BB1 ve 5 mg BB1 oranında katkılanan P3HT:PCBM filmlerin AFM resimleri	64

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Türkiye’ nin yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli	4
Çizelge 1.2 Türkiye’ nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	6
Çizelge 1.3 Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı	7
Çizelge 7.1 BB1 bileşiğinin faz geçiş sıcaklıkları ve entalpi değerleri.....	40
Çizelge 7.2 Tiyo1 ve ditiyo1 katkılanarak üretilen organik güneş gözelerine ait önemli parametrelerin sayısal değerleri	58
Çizelge 7.3 “BB1” sıvı kristali katkılanarak üretilen organik güneş gözelerine ait önemli parametrelerin sayısal değerleri	63

ÖNSÖZ

Dünyada enerji gereksinimi her geçen gün artmaktadır ve enerji ihtiyacının büyük bir bölümü fosil yakıtlar tarafından karşılanmaktadır. Fakat fosil yakıtların, rezervlerinin hızla tükenmesi ve çevreye zarar vermesi buna bağlı olarak maliyet sorununun ve canlılar için sağlık problemlerinin ortaya çıkması nedeniyle insanları enerji açısından alternatif çözüm arayışlarına sevk etmektedir. Bu alternatif enerji kaynaklarından biri de güneş enerjisidir.

Güneşten gelen ısı ve ışık enerjisinden değişik cihazlar tasarlanarak faydalanılmaktadır. Bu cihazlardan olan fotovoltaiik cihazlar hızla gelişen alternatif enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Fotovoltaiik cihazlar olarak bilinen güneş gözeleri, hızla gelişen bir alan haline gelmiştir. Her enerji kaynağında olduğu gibi güneş gözelerinde de verim önemli bir faktördür. Güneş gözelerinde en yüksek verime inorganik maddeler ile üretilen cihazlarda ulaşılmaktadır. Fakat inorganik güneş gözeleri her ne kadar verim açısından avantajlı görünüyorsa da birçok olumsuzluğu da içinde barındırmaktadır.

İnorganik güneş gözeleri üretim aşamasında üstün basım teknikleri ve yüksek maliyete sahip olması nedeniyle bu dezavantajları daha azaltacak çalışmalara gereksinim duyulmaktadır. İnorganik güneş gözelerine alternatif olarak geliştirilen organik güneş gözeleri bu olumsuzlukları en aza indirmiştir. Her ne kadar verimi inorganik güneş gözelerine göre düşük olsa da onlara ait olan dezavantajlara sahip olmamasından dolayı hızla rağbet gören bir alan haline gelmiştir. Buna bağlı olarak her geçen gün yeni bilgiler ve deneyler ışığında hızlı ve olumlu bir şekilde gelişmektedir. Bu tezde, kimyasal katkı maddelerinin politiyofen içeren organik güneş gözelerinin verimine etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir.

Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nden aldığım yüksek lisans tezimin hazırlanması süresince bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen, her konuda sonsuz sabır gösteren, yardımseverliği, güler yüzlülüğü, çalışkanlığı ve en doğru şekilde yönlendirmeleriyle bana yardımcı olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Serap GÜNEŞ'e,

Deneyisel ve teorik her konuda yardımını benden esirgemeyen Fizik Bölümü araştırma görevlisi Sayın Arş. Gör. Dr. Süreyya AYDIN YÜKSEL'e,

Her konuda desteğini yanımda bulduğum Fizik Bölümü öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Rıza DEMİRBİLEK'e,

Desteğini her zaman yanımda hissettiğim Fizik Bölüm Öğrenci İşlerinde görevli olan Sayın Eylem ATTAR'a,

Teorik, deneyisel ve psikolojik desteğini hep yanımda bulduğum Fizik Bölümü yüksek lisans öğrencisi Sayın Emel ÇEVİK'e,

Yardımlarını benden esirgemeyen Fizik Bölümü araştırma görevlisi olan Sayın Arş. Gör. Nimet Yılmaz CANLI'ya ve Arş. Gör. Fatih ONGÜL'e,

Psikolojik destekleri için Fizik Bölümü yüksek lisans öğrencisi olan grup arkadaşlarım Sayın Derya ILICALI, Gülay GÜNDAY ve Adem KARSLI'ya,

Fiziği sevmeme katkı sağlamış bütün hocalarıma,

Her konuda yardımını ve desteğini benden esirgemeyen Sayın İnsaf TAŞDÖĞEN'e ve Burcu TUTMAZ'a,

Öğretim hayatımın lisans ve yüksek lisans aşamasında başlangıçtan sonuna kadar sıcak ilgisi, sonsuz sabrı, psikolojik desteği ile her zaman yanımda olan ve beni her konuda destekleyen Sayın Gizem TAŞDÖĞEN'e,

Bugünleri yaşamama sebep olan dostlarıma, biricik anneme, babama ve kardeşlerime,
Teşekkür ederim.

ÖZET

Fotovoltaik yöntem (PVs) güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir yöntemdir. Fotovoltaik aygıtlar, ışığa maruz kaldığında elektrik akımı oluşturma yeteneğine sahiptir. Bunlar daha çok ‘güneş gözeleri’ veya ‘güneş panelleri’ olarak bilinmektedir. Silikon güneş gözeleri 1940’larda icat edilmiştir. İnsanlar fotovoltaik sistemlerin büyük ölçekli elektrik üretimi için büyük bir potansiyel var olduğunu kabul etmiş durumdadırlar. Ama silikon devre levhalarının yüksek maliyetinden dolayı büyük çalışmalar, ucuz olan ince film güneş pili gelişimine yoğunlaşmış bulunmaktadır.

Polimer güneş gözeleri, organik güneş gözelerinin bir tipidir (ayrıca plastik güneş gözesi olarak adlandırılır) ve organik fotovoltaik hücrenin güneş ışığından elektrik üretmesi için polimerler kullanılır. Bu, oldukça yeni bir teknolojidir. Polimer elektronüğün en belirgin özellikleri düşük maliyet, düşük enerji tüketimine sahip iken çok amaçlı olması ve yüksek işlem hacmi potansiyelinin olmasıdır. Polimer güneş gözeleri için, en çok kullanılan devre yapısı polimer/fulleren içeren hacim heteroeklem (BHJ) sistemidir, bu sistem ile düzenlenmiş tek bir hücre için elde edilen verim %5 civarında olduğu tasdik edilmiştir.

Poly(3-hekziltiyofen) (P3HT) ve 1-(3-metoksikarbonil) propil-1-fenil[6,6]C₆₁ (PCBM) (sırasıyla, polimer ve fulleren) tabanlı güneş gözeleri yüksek verime sahiptir. Güneş gözelerinde verimi arttırmak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada, P3HT ve PCBM karışımı içeren hacim heteroeklem güneş gözelerine sıvı kristal ve tiyol katkılamının etkileri üzerinde çalışıldı. Sıvı kristalin ve bazı tiyol türevlerinin P3HT/PCBM güneş gözelerinin güç dönüşüm verimlerini iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Organik güneş gözeleri, konjuge polimer, polimer güneş gözeleri, hacim heteroeklem güneş gözeleri.

ABSTRACT

Photovoltaics (PVs) is a method of turning sunlight into electrical energy. Photovoltaic devices which, when exposed to light, have the ability to generate an electrical current. These are more popularly known as 'solar cells' or 'solar panels'. Ever since the invention of the silicon solar cell in the 1940s. People have acknowledged the enormous potential that photovoltaic systems have for a large-scale electricity production. But silicon wafers are expensive, so great efforts have been focused on the development of cheaper thin-film solar cell.

Polymer solar cells are a type of organic solar cell (also called plastic solar cell) and organic photovoltaic cell that produce electricity from sunlight using polymers. It is a relatively novel technology. The most salient attributes of polymer electronics are the potential to be low-cost, versatile while having low-energy consumption and high-throughput processing. For polymer solar cells, the polymer/ fullerene based bulk-heterojunction (BHJ) system is the most commonly used device architecture for which a certified efficiency of around 5% for a single cell configuration was achieved.

Organic solar cells have high efficiency based on poly(3-hexylthiophene) (P3HT) and 1-(3-methoxycarbonyl) propyl-1-phenyl[6,6]C₆₁ (PCBM) (polymer and fullerene, respectively). Increasing the efficiency of solar cells for such a method is used. In this study, the effects of liquid crystal and thiol addition into bulk-heterojunction solar cells, based on P3HT and PCBM mixtures have been investigated. In conclusion, addition of liquid crystal and some thiol derivatives to P3HT/PCBM solar cells resulted in improved power conversion efficiencies.

Keywords: Organic solar cells, conjugated polymer, polymer solar cells, bulk heterojunction solar cells.

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun enerji gereksinimi, dünya var olduğu tarihten bu yana gittikçe artmış ve ilk insanların kullandığı ateşten başlayarak, gelişen dünyamızda çağdaş boyutlara ulaşmıştır. Son yıllarda, dünya enerji kaynaklarının yetersiz olduğu ve bütün gereksinimleri karşılayamayacağı düşüncesi yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle endüstrileşmiş ülkelerde, birbirinden bağımsız ve önceden planlanmamış çok sayıdaki endüstri kuruluşu, büyük miktarda enerji tüketmektedir. Toplumsal davranışlardaki bazı değişiklikler ve yeni petrol yataklarının bulunması gibi yenilikler, enerji kaynakları ve tüketimi konusunda önemli değişikliklere neden olmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, enerjinin dörtte biri evlerin ısıtılmasında ve aydınlatılmasında, dörtte biri taşımacılıkta, geri kalanı da endüstri ve tarım üretim alanlarında tüketilmektedir [1].

Herhangi bir hareketi (aksiyonu) yapan veya yapmaya hazır olan kabiliyete enerji denir. Kısaca enerji “iş yapma yeteneği” olarak da tanımlanabilir. Enerji temelde dayandığı esasa göre potansiyel enerji ve kinetik enerji olarak ikiye ayrılır. Potansiyel enerji depolanan enerjidir, kinetik enerji ise hareketten kaynaklanan enerjidir. Bu iki enerji çeşidi enerji dönüşüm kuralları çerçevesinde birbirilerine dönüştürülebilirler.

1.1 Başlıca Enerji Çeşitleri

1) Hareket enerjisi: Bir hareket sonucu açığa çıkan enerjiye denir. Örneğin rüzgar bir pervaneyi kinetik enerjisi nedeni ile çevirir. Bu pervaneye bağlı jeneratör de elektrik üretir. Böylece rüzgarın kinetik (hareket) enerjisi elektrik enerjisine dönüşmüştür.

2) Hidrolik (su) enerjisi: Barajda biriken suyun yüksekten düşerken sahip olduğu kinetik enerji aşağıda bir su tribünün (pervanesi) çevrilmesi ile elektrik enerjisine dönüşür.

3) Kimyasal enerji: Bir maddenin moleküllerinin başka bir madde molekülleri ile yaptığı reaksiyon sonucu ortaya çıkan enerjiye denilir. Bunun en temel örneği yanan odun, kağıt, kömür, petrol gibi fosil yakıtlar vb. gibi birçok malzemelerdeki molekül ile havadaki oksijen molekülünün birleşerek ortaya çıkardığı ısı enerjidir. Uzmanlar bunu termik enerji ya da ısı enerjisi olarak isimlendirmektedir.

4) Nükleer (çekirdek) enerji: Atom çekirdeklerinin bölünmesi veya parçalanması neticesi açığa çıkan enerji olarak tanımlanır. Bu enerji miktarını belli eden Einstein formülü ise $E=mc^2$ dir. Burada “m” kaybolan kütleyi “c” ise ışık hızını ifade eder. 300.000.000 m/sn olan bu değer karesinin ne denli büyük bir enerjiye karşılık geleceği ortadadır. Dünyada mevcut 443 nükleer santral bu prensip ile çalışır.

5) Termonükleer (Termâl) enerji: Atom çekirdeklerinin birleşmesi neticesi ortaya çıkan bir çekirdek enerjisi olup Termonükleer olarak isimlendirilir. İki Hidrojen atomunun birleşmesi (füzyon) ile ortaya çıkan ve bilimin artık laboratuarda kolayca gerçekleştirdiği bir enerji dalıdır. Güneş bu reaksiyon ile ayakta duran dev bir termonükleer enerji merkezidir.

6) Elektrik Enerjisi: Serbest elektronların hareketinden kaynaklanan bir enerjidir. Genelde bakır veya alüminyum tel ile iletilen “alternatif ve doğru” akım modelleri olan bir enerjidir. Elektrik insanlık tarihinde “tekerlekten” sonraki en önemli buluş olarak bilinir.

Elektrik enerji üretim kaynakları ele alınıp incelendiğinde;

Elektrik enerjisi üretim kaynakları iki ana başlık altında ifade edilir.

1. Ana enerji kaynakları.
2. Yenilenebilir (Alternatif) enerji kaynakları.

Bu iki elektrik enerji kaynağı kendi içerisinde çeşitlere ayrılır. Bunlar;

1. Ana enerji kaynakları 3 çeşittir;
 - i. Su enerjisine hidrolik,
 - ii. Kömür, petrol ve gaz enerjisine termik,
 - iii. Çekirdek enerjisine de nükleer enerji denilmektedir.
2. Alternatif (yenilenebilir) enerji kaynakları ise çok çeşitlidir. Bunlar;

Rüzgar, güneş, jeotermal, biokütle, vb. [2].

Günümüze kadar kullanılan enerjinin büyük bir bölümü kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların yakılmasıyla sağlanmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, elektrik elde etmek için tüketilen enerji, 1970'te toplam enerjinin 1/4'ü kadardı. Bu değerin önümüzdeki yıllarda daha da artacağı sanılmaktadır. Günümüzdeki petrol kaynaklarının çok geniş olduğu (430 x 106 MW yıllık) sanılabilir, ama tüketimin günden güne arttığı göz önüne alınınca, bunun yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Yıllık petrol tüketimi %5’azaltılsa, zift ve şist tabakalarından petrol elde edilmesi için gereken teknoloji geliştirilse bile, var olan yatakların 2020 yılında tükeneceği öngörülmektedir. Fosil yakıtlar, fotosentez yoluyla 400 milyon yıldır bitkilerde birikmiş olan güneş enerjisi taşır. Fosil yakıtların önemli bir problemi mevcut rezervlerin bitiyor olmasıdır. Halen dünyamızda 700 milyar varil petrol rezervi mevcut olup, yıllık tüketimse 2 milyar varildir. Bu durumda 2020 yılına kadar petrol mevcuttur. Kömür rezervi 300 yıl, doğalgaz rezervi de 50 yıl yetecek kadardır. Ne var ki, bu kaynaklar, yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır [3]. Fosil yakıt rezervlerinin tükenimi dışında bir diğer önemli problem çevre kirliliğidir. Fosil yakıtlar, yeraltındaki tortulardan 100 milyonlarca yılda oluşan, kömür,

petrol ve doğalgaz gibi yakıtlardır. Kömür, petrol ve doğalgaz yoğunlaştırılmış enerji kaynağı olarak yeraltından kolay çıkarılır ve nakledilir. Yandığı zaman kömür ve petrol, çevreyi çok fazla kirletir. Fosil yakıtlı santrallerden yılda milyonlarca ton kükürt ve azotoksit ile on binlerce ton kirletici parçacıklar meydana gelir ve bunlar atmosfere yayılır. Kükürt ve azotoksitler asit yağmuruna yol açarlar. Asit yağmurları ise bitkilerin, nehir ve göllerdeki balıkların ölümüne sebep olurken, metal sanayi ürünlerine de zarar verirler. Azotoksit, ozon tabakasının incelmeye ve delinmesine yol açar. Ozon tabakası, ultraviyole (mor ötesi) ışınları soğurarak biyosferi korur, stratosferi ısıtır. Ozon tabakasının incelmeye insan sağlığına, ekolojik sisteme ve ekonomiye büyük zararları vardır.

Fosil yakıtlardan bol miktarda CO₂ yayılması olur. CO₂ atmosferde sera etkisi yaratır, yani CO₂ güneşten gelip yere ulaşan ve tekrar yükselen ışınları dünyaya geri yansıtır. Son zamanlarda havadaki kirletici gazların artışı; bölgesel yağışlarda belirgin farklılık, deniz yüzeyinin 10 ile 20 cm. arasında yükselmesi, hava ve okyanusların uzun süreli ortalama sıcaklığında artışlar, tropik bölgelerde buharlaşmanın artması ve buzulların erimeye başlaması gibi değişikliklere yol açmaktadır.

Fosil yakıtlardan dolayı yayılan diğer gaz ve parçacıklar ise, solunum yolları hastalıklarına, kanserlere ve erken ölümlere sebep olmaktadır. Ayrıca, kömür dumanlarında da radyoaktivite mevcuttur. Hatta termik santraller, nükleer tesislerden daha fazla radyoaktivite yayarlar. Dünyanın tüm enerji ihtiyacının % 85 kadarı kömür, petrol, doğalgaz, bitümlü şist gibi fosil yakıtlardan üretilmektedir.

Türkiye'deki elektrik üretiminin % 65'i fosil kaynaklı; % 35'i ise, hidrolik kaynaklıdır. 2 000 yıllık fosil yakıt dönemi bitmek üzeredir ve insanoğlu, bunun yerini alabilecek yeni enerji kaynakları bulmak zorundadır.

Yenilenebilir enerji, sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Bu kaynaklar güneş ışığı, rüzgar, akan su, biyolojik süreçler ve jeotermal olarak sıralanabilir. Bu yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarından olan güneş enerjisine olan ilgi her geçen süratle artmaktadır. Dünyadaki yaşam kaynağı güneştir. Yerkürenin aydınlanması, fotosentez sonucu besin zincirinin oluşması, yağmur döngüsü ve rüzgarın kaynağı güneştir. Güneş aynı zamanda tüm kaynaklar arasında en temiz ve tükenmez olanıdır. Güneş, en azından iki milyar yıldır çevresine enerji saçıyor. Görünüşe göre daha bu işi milyarlarca yıl yapmaya devam edecek bir takım karmaşık nükleer reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan bu enerji, sürekli çevreye yayılıyor. Güneşin merkezindeki sıcaklığın 20.000.000 °C olduğu düşünülürse, bütün bunların doğal olduğunu kabul etmek gerekir. Bu enerji, Dünyaya

radioaktif ışınlar şeklinde ulaşır. Bu ışınların çoğu güneş ışığı şeklinde yeryüzüne gelir. Bir kısmı da atmosfer içinde süzülür. Eğer bu radioaktif enerjinin yüzde 0.01'i kullanılabilir bir biçime getirilebilse, günümüz enerji gereksinimi bütünüyle karşılanabilir. Güneş enerjisinin üstünlükleri; yakıt masrafının olmaması, işletme maliyetinin düşük olması, süreç ısısının istenilen sıcaklıkta doğrudan elde edilmesi, enerji kaynağının tükenmez oluşu ve çevreyi kirletmemesidir. Bu avantajlarından ötürü güneş enerjisini alternatif enerji kaynakları arasında çok önemli bir yer taşımıştır [4].

1.2 Türkiye’ de Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemiz, birçok ülkede bulunmayan jeotermal enerji de dünya potansiyelinin %8’ine sahiptir. Ayrıca coğrafi konumu nedeniyle büyük ölçüde güneş enerjisi almaktadır. Türkiye hidrolik enerji potansiyeli açısından da dünyanın sayılı ülkeleri arasındadır. Rüzgar enerjisi potansiyeli yaklaşık 160 TWh olarak tahmin edilmektedir (Gençoğlu, 2002).

Çizelge 1.1’ de Türkiye’nin yenilenebilir enerji türleri; güneş enerjisi, hidrolik enerji, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji olarak gösterilmiştir. Enerji potansiyeli bakımından ilk sırayı güneş enerjisi almaktadır ve bu sırayı hidrolik enerji takip etmektedir.

Çizelge 1.1 Türkiye ‘nin yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli (MTEP:Mega Ton Eşdeğer Petrol) (Gençoğlu, 2002).

Yenilenebilir Enerji Türü		Kullanım Enerji Türü	Doğal Potansiyel	Teknik Potansiyel	Ekonomik Potansiyel
Güneş Enerjisi		Elek.Enj.(milyarkWh)	977000	6105	305
		Isı (MTEP)	80000	500	25
Hidrolik Enerji		Elek.Enj.(milyarkWh)	430	215	124.5
Rüzgar Enerjisi	Direkt Rüzgar Enj.Karasal	Elek.Enj.(milyarkWh)	400	110	50
	Direkt Rüzgar Enj.Denizsel	Elek.Enj.(milyarkWh)	-	180	-
	Deniz Dalga Enj.	(Milyar kWh)	150	18	-
Jeotermal Enerji		Elek.Enj.(milyarkWh)	-	-	1.4
		Isı (MTEP)	31500	7500	2843
		Yakıt Modern (MTEP)	90	40	25

Türkiye'nin temel enerji kaynakları petrol, linyit, kömür, doğalgaz, jeotermal ve hidrolik enerji olarak gözükmektedir. Türkiye'nin kendi üretimi tüm enerji ihtiyacının ancak %48' ini sağlayabilmektedir.

Yenilenebilir olmayan fosil yakıtlar bakımından fakir bir ülke olan ülkemiz direkt elektrik, doğalgaz, petrol ve yüksek kalitede kömür alımı için her yıl yüksek ücretler ödemektedir. En çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları hidrolik enerji ve güneş kolektörleridir.

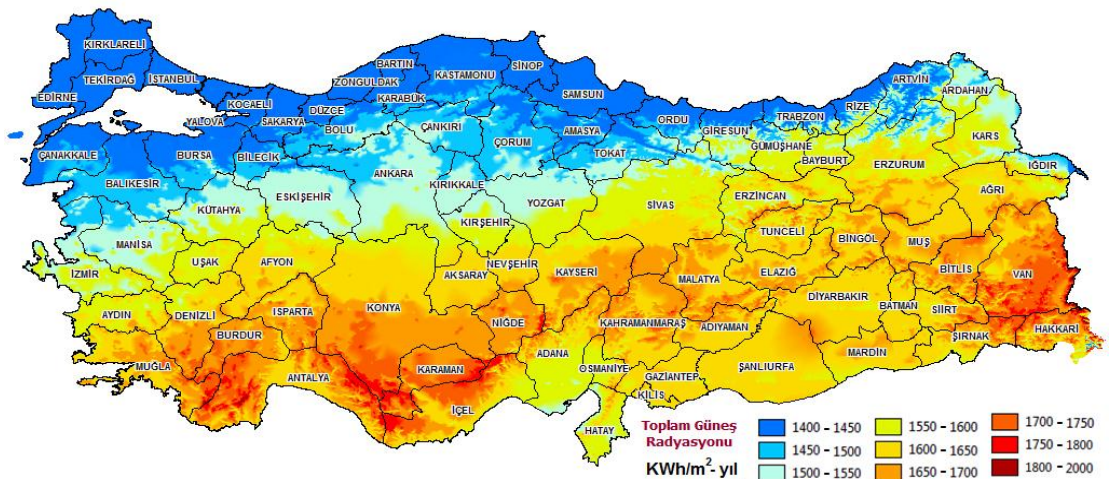
Güneş enerji sistemlerinin bir avantajı, herhangi bir enerji maddesinden tam bağımsızlık, doğal afetlere karşı güvenlik, enerji kaynağının çeşitlendirilmesi ve merkezi enerji üretiminden kurtulmak olarak sıralandırılabilir.

FV sistemin, güneşi ve rüzgarı çok bol olan Türkiye için çok önemli kriterler olan taşınabilirliği, bakım ihtiyacı olmaması, ihtiyacın olduğu yerde üretimi, hiçbir açık çıkmaması, sessiz üretim ve modüler yapı özellikleri ile merkezci enerji üretimi ve dağıtımından uzak olması diğer avantajları arasındadır. Bu avantajlar yerli enerji üretim modellerine geçişi sağlamakta önemli etkenlerdendir.

Sınırsızca ve sorumsuzca enerji tüketiminin yerini, bilinçli ve çevreye saygılı ve ihtiyacı karşılamaya yönelik enerji kullanımı alacaktır. Böyle bir ortamda da, refah düzeyini en fazla tüketen sistem yerine, en verimli enerji kullanan sistemler belirleyecektir. Türkiye'de benzeri bir anlayışın hakim olması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha da artacaktır (Sağlam, 2000).

1.3 Türkiye' de Güneş Enerjisi

Ülkemiz Türkiye açısından güneş enerjisi bakımından ele alırsak; Türkiye dünya üzerinde 36°-42° kuzey enlemleri ve 26°-45° doğu boylamları arasında bulunmaktadır.



Şekil 1.1 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [5].

Türkiye'nin yıllık ortalama güneş Işınımı $1303 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$, ortalama yıllık güneşlenme süresi ise 2623 saattir. Bu rakam günlük $3,6 \text{ kWh/m}^2$ güce, günde yaklaşık 7,2 saat, toplamada ise 110 günlük bir güneşlenme süresine denk gelmektedir. 9,8 milyon TEP (ton eşdeğer petrol) ısı uygulamalara olmak üzere yıllık 26,2 milyon TEP enerji potansiyeli mevcuttur. Yılın 10 ayı boyunca teknik ve ekonomik olarak ülke yüzölçümünün %63'ünde ve tüm yıl boyunca %17'sinden yararlanabilir [5].

Çizelge 1.2 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [5].

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (Kcal/cm ² -ay) (KWh/m ² -ay)		Güneşlenme Süresi (Saat/ay)
Ocak	4.45	51.75	103.0
Şubat	5.44	63.27	115.0
Mart	8.31	96.65	165.0
Nisan	10.51	112.23	197.0
Mayıs	13.23	153.86	273.0
Haziran	14.51	168.75	325.0
Temmuz	15.08	175.38	365.0
Ağustos	13.62	158.40	343.0
Eylül	10.60	123.28	280.0
Ekim	7.73	89.90	214.0
Kasım	5.23	60.82	157.0
Aralık	4.03	46.87	103.0
Toplam	112.74	1311	264.0
Ortalama	308.0 cal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat/gün

Çizelge 1.3' e göre Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Çizelge 1.3' de verilmiştir. Ancak, bu

değerlerin Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. Bu durumun nedenleri arasında, öncelikle DMİ' nin güneş enerjisi ölçümlerini, enerji amaçlı değil tarımsal klimatoloji amaçlı ölçmüş olması, kullanılan cihazların hassasiyetinin düşük olması ve zamanla istasyonların şehir içinde kalması yer almaktadır [5].

Çizelge 1.3 Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı [5].

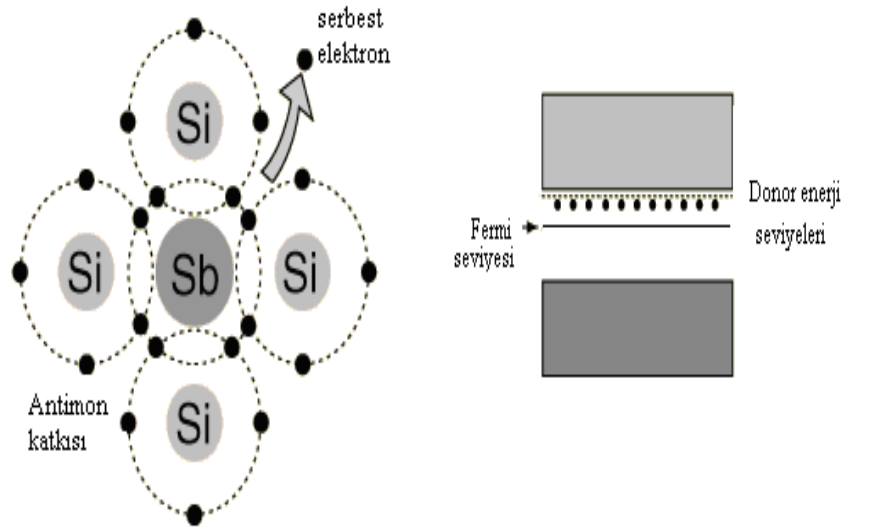
BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Günümüzde güneş enerjisinden geniş ölçüde yararlanan iki sistem vardır. Bu sistemlerin biri güneşin ısıtma etkisinden yararlanarak sıcak su üretilmesi, diğer sistem ise ışığın taşıdığı enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir, bu sistemlere fotovoltaik (photovoltaic) sistemler de denilir. En basit ifade ile fotovoltaikler güneş ışığının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürücüsüdür.

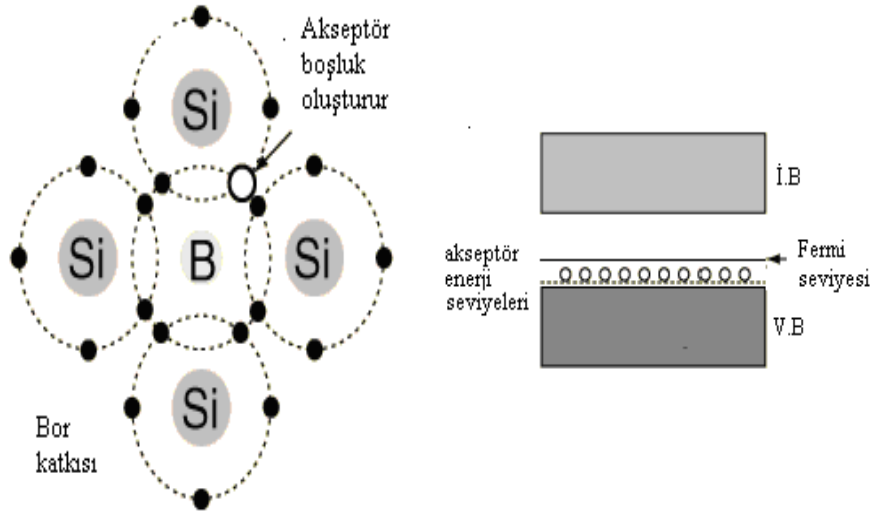
Güncel literatürde güneş gözesi olarak isimlendirilen fotovoltaik sistemler ait olduğu alanda her geçen gün gelişen ve değişen teknolojiyle paralel, sahip olduğu olağanüstü avantajlardan dolayı enerji bakımından adeta odak noktası olmuştur.

2. YARIİLETKEN MADDELER VE ÖZELLİKLERİ

Yarıiletken madde, elektrik iletkenliği bakımından, iletken ile yalıtkan arasında kalan maddelerdir. Normal durumda yalıtkan olan bu maddeler ısı, ışık, manyetik etki veya elektriksel gerilim gibi dış etkiler uygulandığında bir miktar değerlik elektronlarını serbest hale geçirerek iletken duruma gelirler. Uygulanan bu dış etki veya etkiler ortadan kaldırıldığında ise yalıtkan duruma geri dönerler. Bu özellik elektronik alanında yoğun olarak kullanılmalarını sağlamıştır.



(a)



(b)

Şekil 2.1 Yarıiletkenin (a) n-tipi ve (b) p-tipi oluşum mekanizması [6].

Kuantum teorisine göre izole edilmiş atomda elektronların enerjisi kesikli olarak değişmektedir. Pauli ilkesine göre atomun her enerji düzeyine en çok iki ters yönelmiş spinler ile elektronlar yerleşebilir. Yarıiletken malzeme oluştuğunda, yani atomlar birbirine çok yaklaştığında (yaklaşık 10^{-8} cm), komşu atomların kuvvetli elektrik alanı etkisiyle valans elektronlarının enerji düzeyi banda ayrılır. Valans elektronlarından oluşmuş enerji bandına valans bandı denir. Atomlardaki valans elektronlarının uyarılma düzeylerinden oluşan band serbest veya iletim bandı olarak adlandırılır. İletim ve valans bandlarının arasında yasak band bulunmaktadır. İletim bandının dip ve valans bandının tavan enerjilerinin farkı $E_c - E_v = E_g$ yarıiletkenin yasak enerji band genişliğini karakterize eder. Kusursuz ve katkısız yarıiletkenlerde elektronların enerjisi yasak band enerjileri içinde olamaz. Yasak band genişliği ise yarıiletkenin kimyasal bağ türü ve atomların türü ile belirlenmektedir.

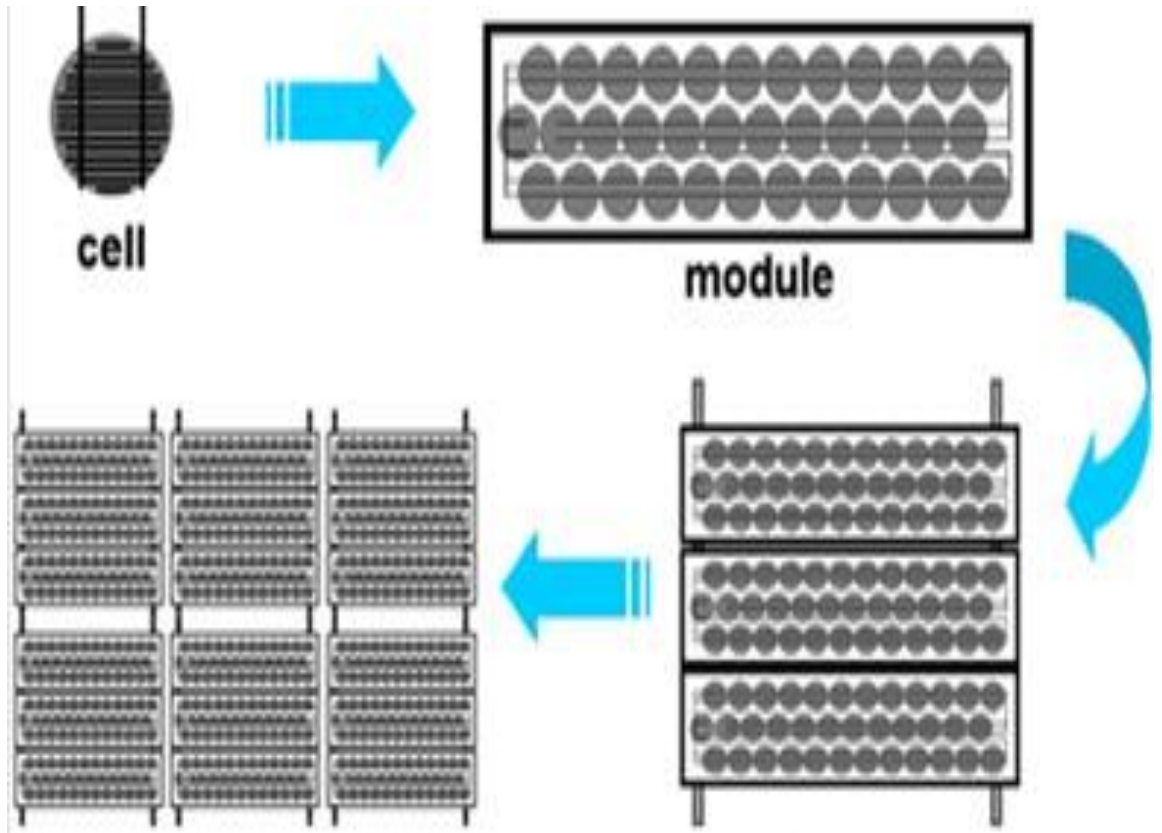
Taşıyıcıların en yoğun oldukları enerji seviyesi “Fermi enerji seviyesi” olarak isimlendirilir. Elmas yapıda Fermi enerji seviyesi, E_F , yasak enerji bandının tam ortasından geçiyor kabul edilir. N-tipi yarıiletkende ise, Fermi seviyesi iletim bandının alt kenarına yakın yerden geçer. P-tipi yarıiletkende ise valans bandının üst kenarına yakın yere Fermi enerji seviyesi adı verilir (Caferov, 2000).

İçinde katkı atomlarının bulunmadığı yarıiletkenlere asal yarıiletkenler denir. Bunlarda hem “elektron”lar hem de “boşluk”lar vardır. Bu durumda “elektron” yoğunluğu “boşluk” yoğunluğuna eşittir. Katkılı yarıiletkenler kristal yapısı içinde safsızlık atomlarının bulunduğu yarıiletkenlerdir. Bazen bu durum istemeyerek oluşur bazen de serbest taşıyıcı oluşturmak için bilinçli bir şekilde yapılmaktadır.

Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş gözeleri de, yarıiletken maddelerden yapılırlar.

3. GÜNEŞ GÖZELERİ

Fotovoltaik gözeler ilk olarak 1839 yılında Fransız fizikçi Edmond Becquerel tarafından bulunmuştur. Güneş gözeleri (fotovoltaik gözeler), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlardır. Güneş gözeleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Gözenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş gözelerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır fakat bu ölçü uygulamak istediğimiz alanla doğru orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 3.1 Sırasıyla fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizilerin gösterimi [8].

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş gözesi birbirine paralel yada seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş gözesi modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri yada paralel bağlanarak 1 Watt ‘tan MegaWatt’lara kadar sistem oluşturulur [7]. Fotovoltaik modül, panel ve diziler fotovoltaik hücreler daha yüksek akım, gerilim veya güç seviyesi elde etmek için olarak seri veya paralel bağlanırlar. Fotovoltaik modüller çevre etkilerine karşı sızdırmazlık sağlayacak şekilde birbirine eklenmiş fotovoltaik hücreler içerirler. Fotovoltaik paneller elektrik kabloları

ile birbirine bağlanmış iki veya daha çok sayıda fotovoltaik modül içerirler. Fotovoltaik diziler ise belli sayıda fotovoltaik modül veya panel içeren enerji üretim ekipmanlarıdır.

Güneş gözesi sistemleri şebekeden bağımsız olarak birçok yerin elektrik ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilmektedir. Örneğin, haberleşme istasyonlarında, uydu, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemlerinde, petrol boru hatlarının katodik korumasında, metal yapıların, köprülerin ve kulelerin korozyondan korunmasında, elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümlerde, hava gözlem istasyonlarında, bina içi ya da dışı aydınlatmada, dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılmasında, tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompasında, orman gözetleme kulelerinde, deniz fenerlerinde, ilkyardım, alarm ve güvenlik sistemlerinde, deprem ve hava gözlem istasyonlarında, ilaç ve aşı soğutmada güneş gözeleri yaygın olarak uygulanmaktadır.



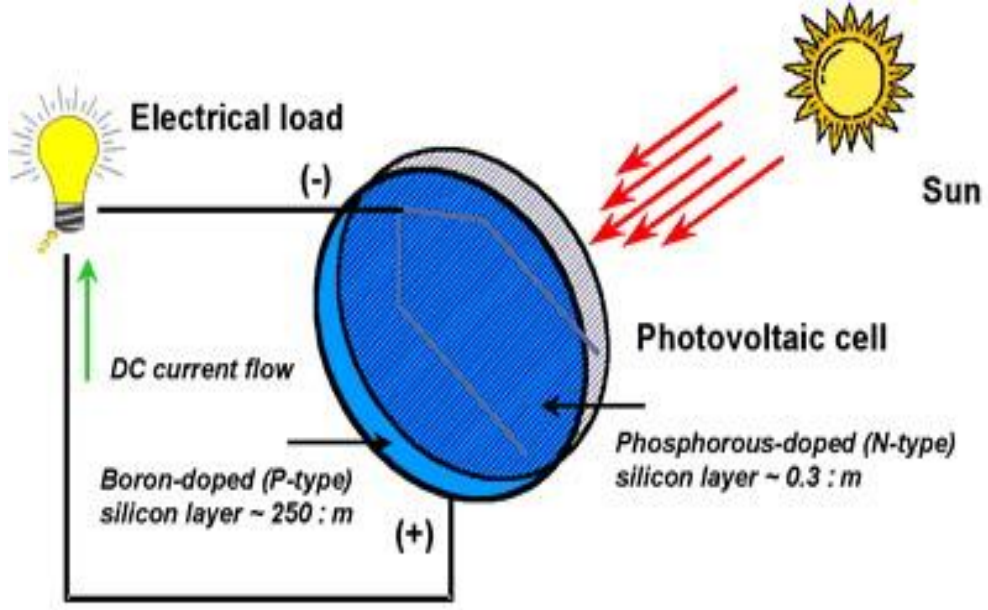
Şekil 3.2 Güneş gözelerinin günümüzdeki bazı kullanım alanları [7].

Güneş gözeleri kullanılan malzemelerin türüne göre sınıflandırılmaktadır. İnorganik malzemeler kullanılarak üretilen güneş gözelerine inorganik güneş gözesi, organik malzemeler kullanılarak üretilenlere ise organik güneş gözesi adı verilir.

3.1 İnorganik Güneş Gözeleri

Güneş gözesi tarihinde ilk güneş gözesi, inorganik malzemeler kullanılarak üretilmiştir. 1970'li yılların başlarına kadar, güneş gözelerinin uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. Güneş gözelerinin yeryüzünde de elektriksiz güç sistemi olarak kullanılabilesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'lerde başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki "1. petrol bunalımı"nı izleyen yıllarda olmuştur. Amerika' da, Avrupa'da, Japonya'

da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. 1964 yılında Nimbug isimli uzay aracı 470 W'lık güneş gözesi ile uzaya gönderilmiştir. 1966 yılında ise 1 KW'lık güneş gözesi sistemine sahip Orbiting Astronomik gözlemci yörüngeye oturmuştur. Uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş gözelerinin verimliliğini artırma çabaları üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir. 1977 yılına gelindiğinde ise Amerika Birleşik Devletleri'nde ulusal yenilenebilir enerji laboratuvarı açılmıştır. 1982 yılında Dünya çapında güneş gözesi üretimi 21,3 MW'a kadar yükselmiştir [7].



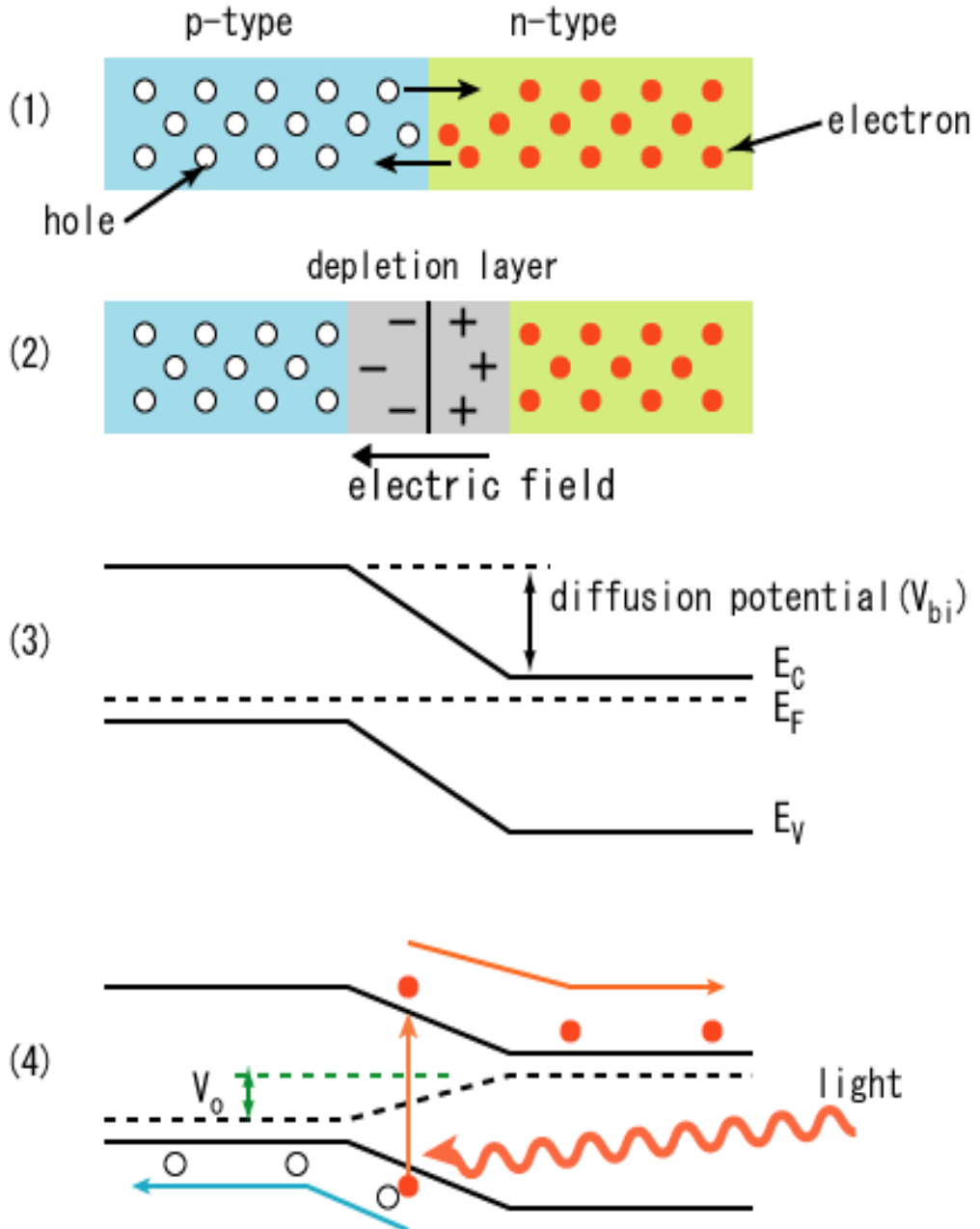
Bir Fotovoltaik Hücre Diyagramı

Şekil 3.3 Fotovoltaik hücrenin yük iletim mekanizması [7].

Yarıiletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş gözesi yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. Yarıiletken maddelerin güneş gözesi olarak kullanılabilimleri için n ya da p tipi katkılanmaları gereklidir.

P ya da n tipi, ana malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile oluşturulur. Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarıiletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş gözesi maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyum'un dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle V. grup elementlerine "verici" denir. P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde

bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol, boşluk, delik ya da deşik denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de “alıcı” denir. N tipi yarıiletkende elektronlar, p tipi yarıiletkende delikler (boşluklar) çoğunluk taşıyıcısıdır. P ve n tipi yarıiletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. P-n eklem oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. P-n tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, p bölgesi tarafında negatif, n bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine “geçiş bölgesi” ya da “yükten arındırılmış bölge” denir. Bu bölgede bir elektrik alan oluşur (Caferov, 2000).



Şekil 3.4 P-n eklemine oluşturulması ve ışık altındaki davranışı [1].

Yarıiletken eklemine güneş gözesi olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaiik dönüşümün sağlanması gerekir. Yarıiletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bandlar, valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans bandındaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-delik çifti oluşur. Bu olay, p-n eklem güneş gözesinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-delik çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Birbirlerinden ayrılan elektron-delik çiftleri, güneş gözesinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun göze yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder [1].

Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-delik çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolabilmektedir. Yeniden birleşme olarak adlandırılan bu evre güneş gözelerinde istenmeyen bir durumdur.

Katı malzemeler atomların katı içinde dizilişlerine göre sınıflandırılırlar. Malzemede atomlar rastgele dizilmiş ise “amorf yapı” olarak, çok düzenli bir yapıda dizilmiş ise “ kristal yapı” olarak adlandırılır. Polikristaller ise kısa erim düzeninde düzenli, uzun erimde ise düzensiz yapıdadır, bu tür malzemeler birbirinden tanecik (grain) sınırlarıyla ayrılmış rastgele yerleşmiş kristal bölgelerden oluşmuştur [6].

Güneş gözeleri pek çok farklı yarıiletken malzemeden üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan inorganik maddeler şunlardır:

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.

Galyum Arsenit (GaAs): Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcılı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemli GaAs gözelerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş gözeleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde kullanılmaktadır.

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.

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.

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe_2): Bu çok kristal gözede laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

Optik Yoğunlaştırıcılı Hücreler: Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, göze verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir [7].



180W polycrystalline



210W polycrystalline



200W polycrystalline



180W polycrystalline

Şekil 3.5 İnorganik güneş gözesi [7].

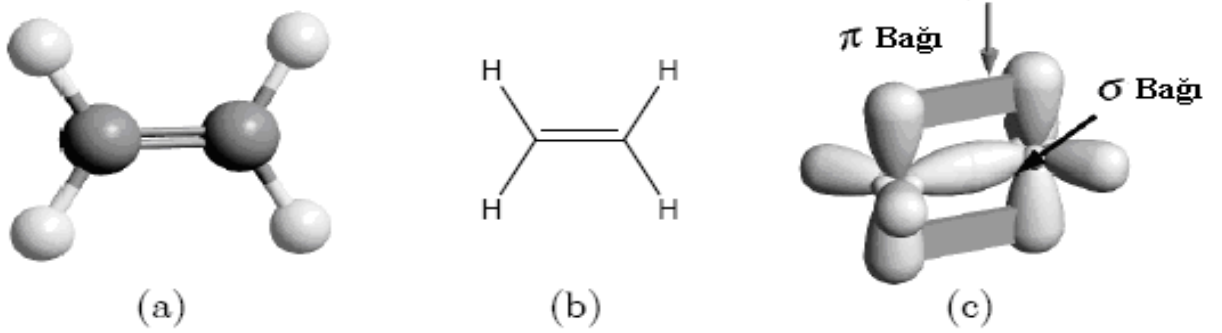
3.2 Organik Güneş Gözelerinin Temelleri

Bir organik güneş gözesi biri n tipli diğeri p tipli iki organik yarıiletkenin bir araya gelmesiyle oluşturulabilir. Organik güneş gözeleri tanıtılmadan önce organik yarıiletkenlerin özelliklerinin tanıtılması yararlı olacaktır.

3.2.1 Organik Yarıiletkenler

Aktif yarıiletken olarak kullanılan küçük moleküller ve polimer malzemeler, karbon atomu temelli olduğundan genellikle “organik” kelimesi kullanılır.

Karbon kimyasal açıdan çok özellikli bir atomdur. Orta derecede elektronegatifliğe (bir atomun elektron alma eğilimi) sahiptir ve bu sayede kovalent bağ yapabilmektedir, IV. grup elementtir. Çok çeşitli uzun polimer zincirleri kurabilir, farklı biçimlerde melez özellik gösterir böylece tekli, ikili ve üçlü bağ yapabilir. Tekli, ikili ve üçlü bağlar; Bazı moleküllerde, iki atom birbirine iki ya da üç bağ ile bağlanabilirler. İki atom arasındaki ilk oluşan bağ sigma bağıdır. Diğer bağlar ise pi bağıdır. İki atom arasında ikili bağ varsa biri sigma, diğeri pi bağıdır. Üçlü bağ varsa bir tanesi sigma, diğerleri pi bağıdır. İki atom arasında sigma bağı olmadan pi bağı oluşamaz.

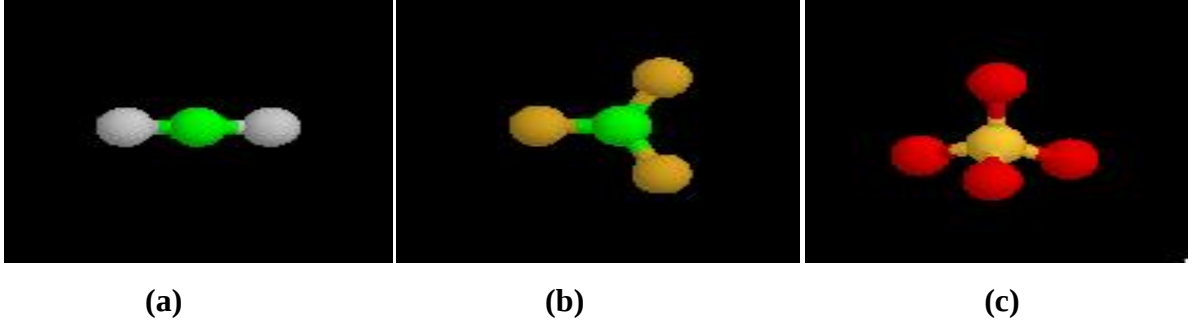


Şekil 3.6 “sp²” hibritli karbon atomlarına sahip olan etilen molekülünün yapısının çeşitli yöntemlerle gösterilmesi a) basit gösterimi b) kimyasal gösterimi c) şematik orbital diyagramı (Wolfgang, 2005).

Şekil 3.6’da etilen, molekül yapısı ve şematik orbital yapısı gösterilmektedir. Karbon atomları çift bağ ile birbirlerine bağlanmıştır. Bağlardan biri melez sp² orbitalinde diğeri ise melez özellik kazanmadan geriye kalan p_z orbitalinde yer almaktadır. sp² bandı σ sigma bağı ve p_z bandı π pi bağı olarak bilinir. Molekülün bel kemiğini oluşturan σ bağlarına nispeten π bağları oldukça zayıftır.

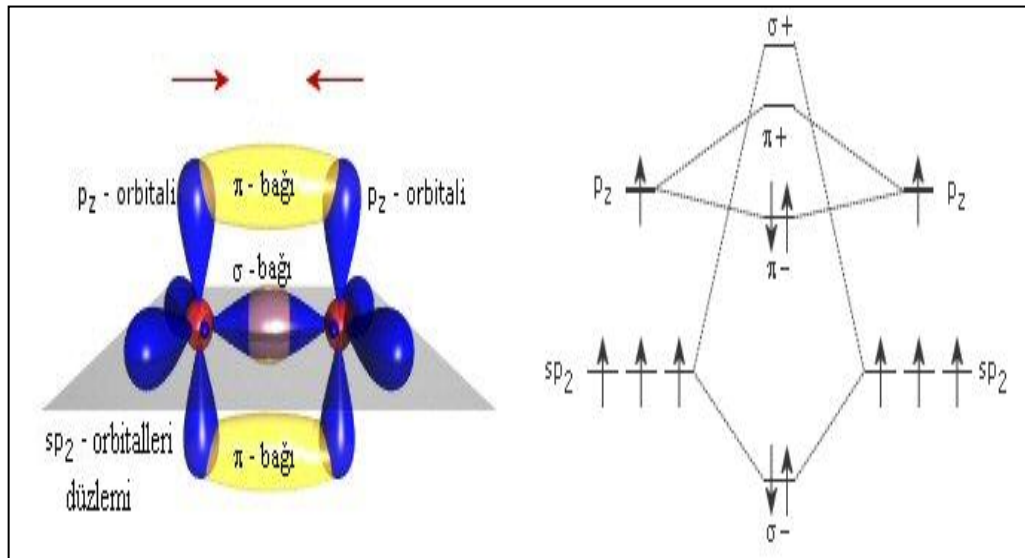
Karbon elementi, her zaman 4’lü bağ yapar. Eğer tüm bağlar tekli bağ ise her bir C atomu sp³ hibritleşmesi yapmıştır. İkili bağ yapan C atomları sp² hibritleşmesi yapmıştır. Üçlü bağ yapan C atomları ise sp hibritleşmesi yapmış demektir [16]. Hibritleşme, bir atomun

yapabileceği kovalent bağ sayısı taşıdığı ya da az bir enerjiyle taşıyabileceği yarı dolu orbital sayısına eşittir. Bir atomun son yörüngesinde boş orbitali varsa ve gene son yörüngede çiftleşmiş elektronları da varsa, son yörüngedeki orbitaller melezleşerek eşit orbitallere bölünürler. Bu olaya hibritleşme denir. Bu orbitallere de hibrit (melez) orbitalleri diyoruz. Hibrit orbitallerinin en önemli özelliği birbirine en uzak açı yapacak şekilde uzaya yönelmeleri ve moleküle belli bir geometrik yapı kazandırmalarıdır.



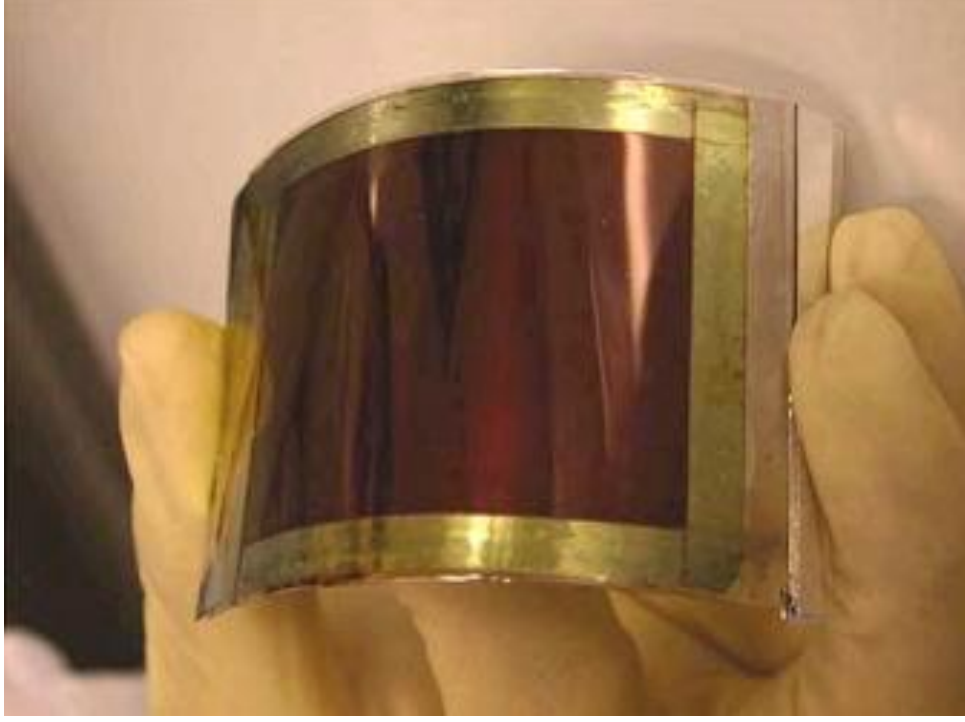
Şekil 3.7 (a) sp hibritleşmesinin (doğrusal), (b) sp^2 hibritleşmesinin (düzlem üçgen), (c) sp^3 hibritleşmesinin (üçgen piramit) geometrik gösterimi [9].

Organik yarıiletkenler, karbon atomunun melez özellik göstermesine dayanır. Şekilde görüldüğü gibi karbon atomunda, sp^2 orbitallerinin yatay bir düzlemde üçgen oluşturacak şekilde dağıldığı ve p_z orbitallerinin de bu düzleme dik olduğu düşünülür. İki karbon atomu arasındaki sigma bağı, karbon atomlarının birer sp^2 orbitallerinin üst üste gelmesiyle oluşur. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi sigma bağı için işgal edilmiş bağı orbitaller (σ^-) ile işgal edilmemiş bağı orbitaller (σ^+) arasındaki enerji farkı büyüktür ve görünür spektral bölgenin dışındadır. Sadece sigma bağı karbon atomlarıyla oluşmuş uzun zincir polimerler, büyük enerji band aralığına sahiptirler ve neredeyse yalıtkan özellik gösterirler.



Şekil 3.8 sp^2 orbitalleri düzlemi, π bağı, σ bağı ve p_z orbitalinin şematik gösterimi (Wolfgang, 2005).

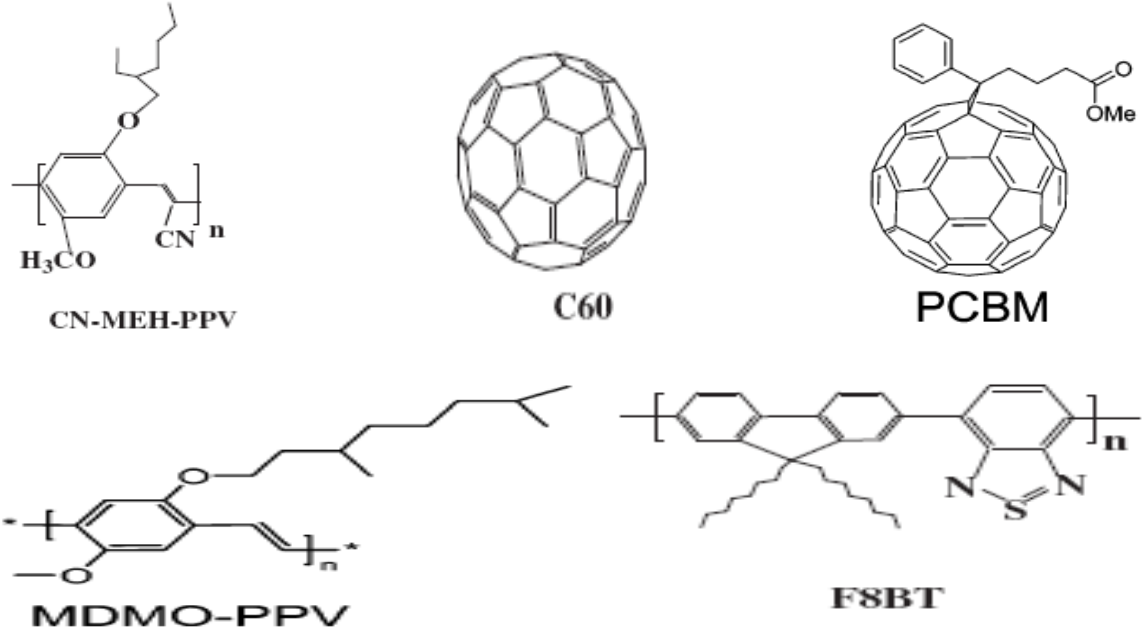
Ancak hibridleşmemiş p_z orbitallerinin oluşturduğu π bağları için en yüksek işgal edilen orbital (π^-) ile en düşük işgal edilmemiş orbital (π^+) arasındaki enerji farkı daha küçüktür. Bu sayede görünür spektral bölge çevresinde güçlü soğurmalar sağlanmakta ve yarıiletken özelliği kazanmaktadır (Wolfgang, 2005).



Şekil 3.9 Organik güneş gözesi [5].

3.2.2 Organik Güneş Gözesi Malzemeleri

Organik güneş gözelerinde p ve n tipli iki yarıiletken malzeme kullanılır. Organik güneş gözesi araştırmalarında sıklıkla kullanılan malzemeler küçük organik moleküller, konjuge polimerler ve fulleren türevleridir. Örneğin, Ftalosiyanın p tipli yani elektron verici (donor) olarak çalışan delik iletken küçük organik moleküllerdendir. Perilen ve onun türevleri ise n tipli yani elektron alıcı olarak çalışan elektron ileten malzemelerdendir (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004). Donor tipli polimerlerin en önemli üç temsilcisi poli[2-metoksi-5-(3,7-dimetiloktiloksi)]-1,4-fenilviniylen (MDMO-PPV), poli(3-hekziltiophen-2,5-dil (P3HT) ve poli(9-9'-dioktilfluoren-co-bis-N-N'-(4-butilfenil)-bis-N-N'-fenil-1,4-fenilendiamin(PFB)'dir. Akseptör tipli polimerler de mevcuttur. Poli-[2-metoksi-5-(2'-etilhekziloksi)-1,4-(1-siyanovinilen)-fenilen (CN-MEH-PPV) ve poli(9,9'-dioktilfluoreneko-benzotiadiazol (F8TB) gibi elektron ileten akseptör polimerlere örnek teşkil ederler. C_{60} ve türevleri 1-(3-metoksikarbonil) propilen-1-fenil [6,6] C_{61} (PCBM) güçlü elektron akseptörü fullerenlerdir. (Burroughes vd., 1990; Shinar, 2004).

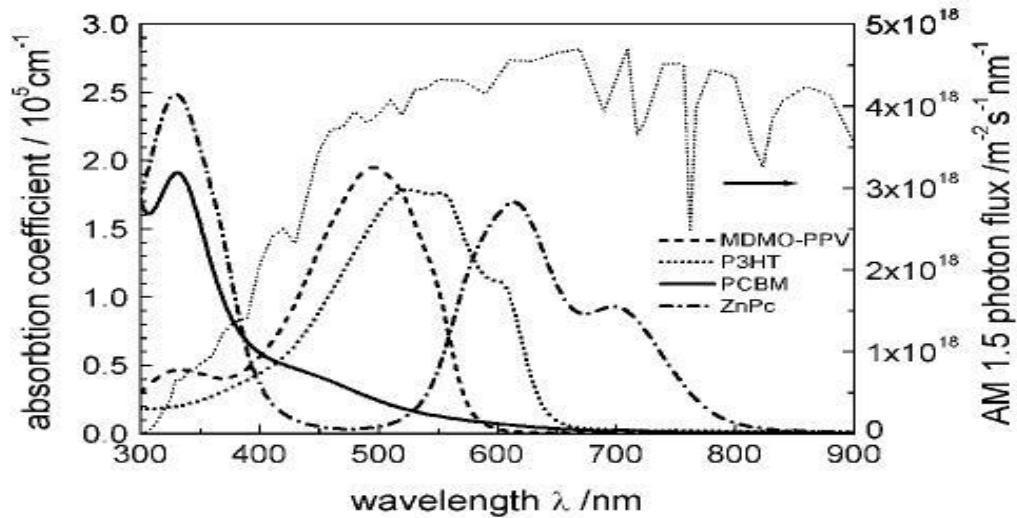


Şekil 3.10 Güneş gözesinde kullanılan malzemelerin kimyasal yapıları (Güneş ve Sarıçiftçi, 2007).

Organik güneş gözelerinde kullanılan malzemeler iki önemli gereksinimi sağlamalıdır: Soğurma ve yük taşınması.

Soğurma açısından bakıldığında birçok organik malzemenin optik band genişliği 2 eV civarındadır ve asal yük taşıyıcı konsantrasyonları oldukça düşüktür.

Donor tipli ve akseptör tipli malzemelerde enerji dönüşümüne katılan güneş ışığı kesrini gösterebilmek için, bazı malzemelerin filmlerinin soğurma katsayıları hava kütlesi (AM) 1.5 standart güneş spektrumuna kıyasla gösterilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Genel Olarak Kullanılan Malzemelerin Soğurma Katsayıları İle Standart Hava Kütlesi (Air Mass/AM) 1.5 Doğal Güneş Spektrumunun Kıyaslaması (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

Güneş ışığının soğurulmasındaki en önemli özellik fotonun düşürüldüğü malzemenin bant aralığıdır. Bundan dolayı organik maddelerdeki bant aralığının geniş olması gelen güneş ışığının sadece küçük bir kısmı soğurulmasına olanak sağlamaktadır. Dünyaya gelen güneş ışığının %77 si 1.1 eV band aralığında soğurulabilmektedir. Ayrıca çoğunlukla band aralığı 2 eV'tan daha yüksek olan yarıiletken polimerlerin soğurma oranı %30 oranında sınırlanmaktadır (Nunzi, 2002).

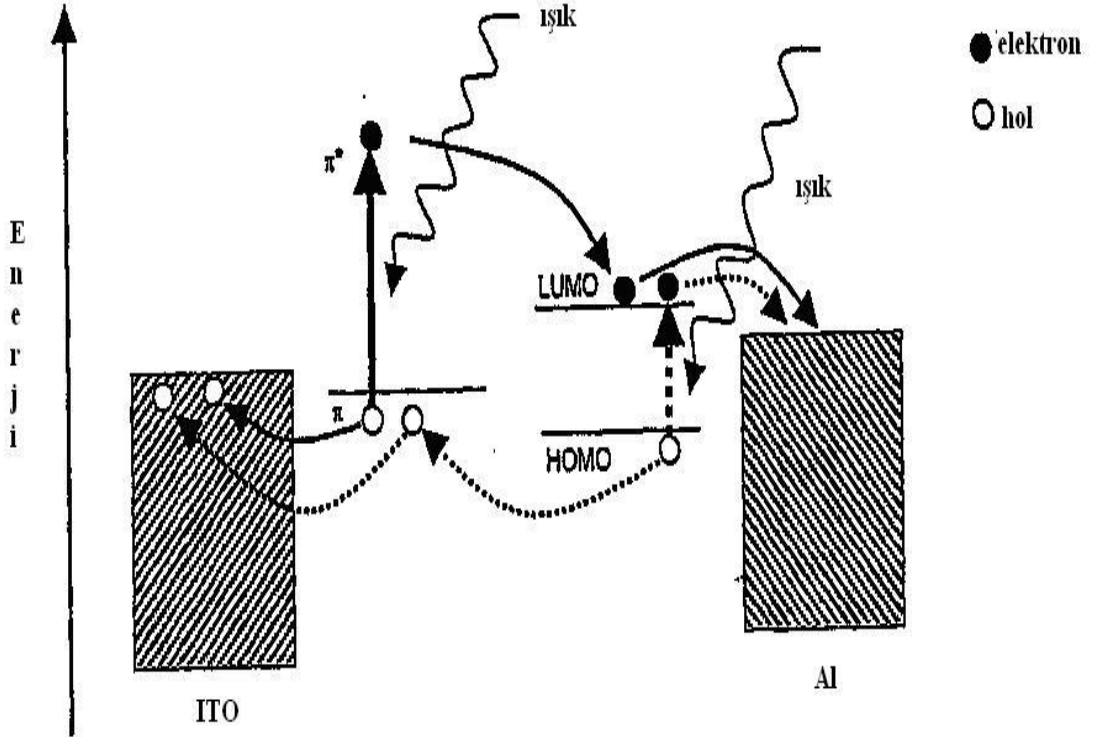
Fotonları aktif tabakanın mümkün olduğu kadar soğurması gerekmektedir. Aktif tabakanın kalınlığı yük taşıyıcı hareketliliğiyle (mobilité) ters orantılıdır. Organik yarıiletkenlerin düzensiz yapılarından dolayı mobilitelerinin, oldukça düşük olduğu bilinmektedir. Organik yarıiletkenler açısından optimum koşullar sağlanmış olsa dahi, organik yarıiletkenlerin mobiliteleri inorganik fotovoltaiik malzemelerin yük taşıyıcı mobilitelerinden 10-20 kat daha düşüktür. Düşük mobilité, elektronik durumların bağımsız bir molekülün veya molekülün bir bölümü üzerinde lokalize olmasından kaynaklanır. Dengeli elektron ve boşluk mobilitesi devre performansı açısından önemlidir. Konjuge polimerlerdeki yük taşıyıcı mobilitelerini arttırmanın bir yolu konjuge polimeri akseptör bir malzeme ile karıştırmaktır. Örneğin p-tipi polimer ile PCBM karıştırıldığında mobilitelerinde değişiklik olur ve polimerin mobilitesi artmaktadır. Sık zincirli polimerlerin mobilitelerinin yüksek olduğu bilinmektedir. Düşük mobiliteler, istenmeyen durum olan yeniden birleşmeyi (rekombinasyon) arttırdığından organik güneş gözelerinin verimini kısıtlar. Mobilité, yük iletimi mekanizmasında ve fotovoltaiik sistemlerde çok önemli bir kavramdır (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

Düşük yük taşıyıcı mobilitelerine sahip olmaları, inorganik yarıiletkenlerin aksine, organik yarıiletkenlerin oluşturduğu film kalınlığını kısıtlamaktadır. Bu yüzden, organik güneş gözelerindeki aktif tabakanın kalınlığı birkaç yüz nanometre (100-200 nm) ile sınırlı kalmaktadır. 100–200 nm'lik ince filmlerdeki güneş ışınımı soğurmasının arttırılması ve güneş spektrumuyla aktif katmanın soğurma spektrumu arasındaki uyumun sağlanması, organik güneş gözelerinin verimini arttırma yolunda en önemli malzeme seçimi zorluğu olarak görünmektedir. Film kalınlığını arttırmak, soğurma açısından bir çözüm gibi görünse de soğurulan foton miktarının artması sağlanabilir, fakat hücrenin seri direncini de arttırmıştır bu yüzden pek de cazip bir çözüm değildir. Bu konuda asıl umut vaat eden araştırmalar, gelen ışığın daha yüksek bir oranının hücre içerisine girebildiği aynı zamanda içeride daha çok kalabileceği malzeme ve yöntemler üzerinde yapılmaktadır [1].

3.2.3 Organik Güneş Gözelerinin Temel Çalışma Prensipleri

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

- 1) Güneşten gelen ışığın yani fotonun soğurulması sonrasında uyarılmış durumun oluşması ve eksitonun (elektron-delik çifti) oluşması,
- 2) Eksitonun yük ayrımının olacağı bölgeye geçişi,
- 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 3.12 Organik güneş gözesinin temel çalışma prensibi (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

Gelen fotonun enerjisi, yarıiletkenin bant aralığına eşit ve daha büyükse, elektronu değerlik bandından ki, organik yarıiletken terminolojisinde işgal edilmiş en yüksek moleküler orbital (HOMO) seviyesine karşılık gelmektedir, iletkenlik bandına, yine organik yarıiletken terminolojisinde işgal edilmemiş en düşük moleküler orbital (LUMO) seviyesine çıkarabilir.

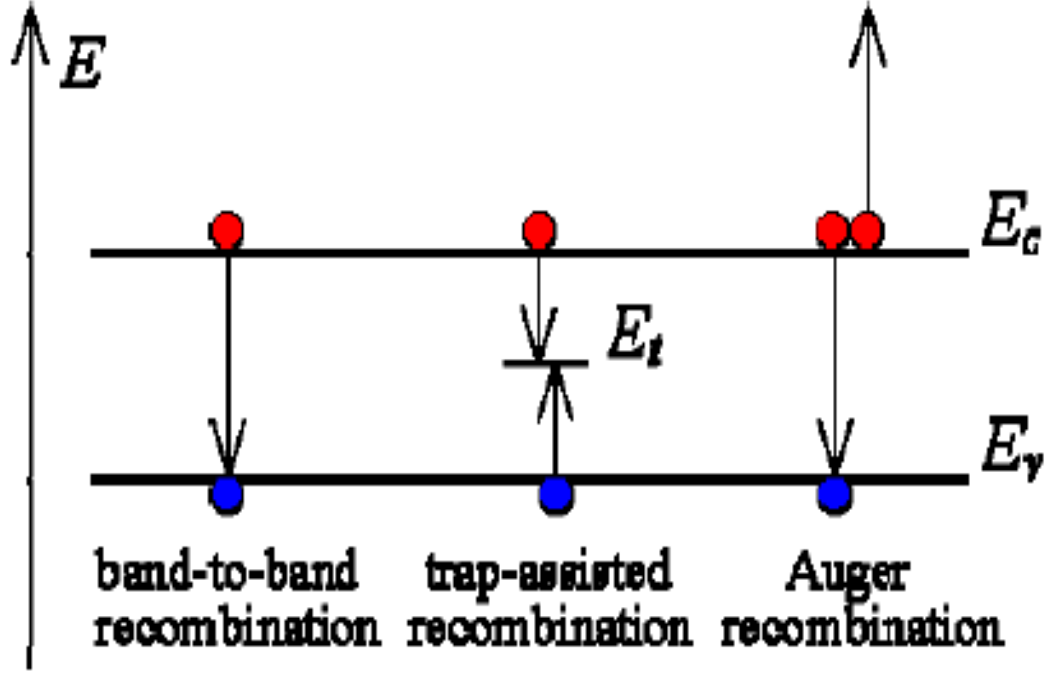
Bu durumda bir elektron-delik çifti (eksiton) yaratılmış olur. Yasak band aralığından daha küçük enerjiye sahip fotonların enerjisi elektron-boşluk çifti yaratmaya yetmez ve fotovoltaiik dönüşüme katkısı yoktur (Caferov, 2000).

Foto uyarılmalar sonucu oluşan elektron ve delik çifti birbirine Coulomb etkileşmesiyle bağlıdır ve bağlanma enerjileri inorganik yarıiletkenlere kıyasla daha yüksektir. Yarıiletkende iletkenlik bandına çıkmış elektronlar, burada saniyenin milyonda biri basamağında bir süre kalıp, valans bandına geri dönme eğilimindedirler [1]. Elektronların iletkenlik bandında kaldıkları süreye yaşam süresi adı verilir. Akım oluşturmak için serbest yük taşıyıcılarına ihtiyaç vardır ve yaratılan eksitonların yaşam süreleri içerisinde serbest yük taşıyıcıları haline dönüşmesi gerekmektedir. Eksitonların yaşam süreleri yeniden birleşinceye (rekombinasyon) kadar geçen süreyle sınırlıdır ve eğer bu süre içerisinde birbirinden ayrılıp serbest yük taşıyıcısı haline gelmezlerse elektriksel akıma ve dolayısıyla güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümüne katkısı olmayacaktır. Eksitonları ayırmak için p-n eklemine ara yüzeyinde kendiliğinden var olan elektrik alanlar değerlendirilebilir [1]. Organik yarıiletkenlerin düzensiz yapılarından dolayı eksitonları ayırmak inorganik yarıiletkenlere göre daha güç bir olaydır. Örneğin, organik yarıiletkenlerden konjuge polimerlerde oluşan eksitonların sadece %10'u serbest yük taşıyıcılarına dönüşür (Miranda vd., 2001).

P-n eklemine ara yüzey aracılığıyla karşılanacak olan elektrik alan, ara yüzeydeki ani potansiyel enerji değişimlerinden dolayı güçlü lokal elektrik alanlar oluşması ile sağlanabilmektedir (Nunzi, 2002). Foto etkili yük transferi eksitonun bu ara yüzeye yaşam süresi içinde ulaşabilmesi ile sağlanabilir.

Yeniden birleşme mekanizması üç çeşittir;

- 1) Banddan banda yeniden birleşme: İletkenlik bandındaki elektronla valans bandındaki delik yeniden birleşir. Direk geçişli yarıiletkenlerdeki tipik ışımsal geçiş budur.
- 2) Tuzak destekli yeniden birleşme: Elektronun band aralığı içinde yabancı atom tarafından ya da yapısal kusur olarak oluşmuş bir “tuzaga” düşmesi neticesinde oluşur. Bu tuzak seviyesi bir elektronla dolduktan sonra buraya başka bir elektron gelemez ve tuzacı işgal eden elektron ikinci aşamada valans bandındaki boş seviyeye geçer. Buna iki aşamalı geçiş de denir ve bu elektronla deliğin tuzakta karşılaşp birbirlerini yok etmeleri şeklinde de yorumlanabilir. Buna Shockley-Read-Hall (SRH) rekombinasyonu denir.
- 3) Auger yeniden birleşme: Elektron ve boşluk banddan banda geçişle yok olurlar ama enerji bu durumda bir başka elektrona verilir [6].



Şekil 3.13 Yeniden Birleşme (Rekombinasyon) Mekanizması [6].

Yeniden birleşme ilkesine ve ışık yayınlamak üzere tasarlanan sistemlere ışık yayan diyot (LED) adı verilir.

Akıma katkı sağlayacak serbest yük taşıyıcılarının taşınma mekanizması, yarıiletken ara yüzeyindeki veya elektrik alan tarafından elektron-delik çifti ayrılarak deliğin donör tipli malzeme üzerinden, elektronun ise akseptör tipli malzeme üzerinden hareket ederek oluşturulan yarıiletken-metal kontaklara doğru iletilmesine dayanmaktadır. Eklem bölgesinde birbirinden ayrılan elektron ve deliğin taşınmasında en önemli faktörler donor ve akseptörün enerji seviyeleri arasındaki uyum ve metalin iş fonksiyonudur. Elektronun hareketi, yapısı gereği, yüksek potansiyelden alçak potansiyele doğru, deliğin hareketi ise elektronun tersi biçimde düşük potansiyelden yüksek potansiyele doğru hareket etmektedirler. Bu sebepten dolayı güneş gözesi üretilmesi aşamasında uygun bir biçimde seçilen p-tipi ve n-tipi malzemenin birbiri ile uyumlu yasak bant aralıklarına sahip olması elektron ve boşluğun taşınması aşamasında çok önemli bir unsurdur (Caferov, 2000).

3.3 Organik Güneş Gözelerinin Hazırlanması

Organik güneş gözeleri genellikle indiyum kalay oksit (ITO) ve florin katkılı kalay oksit (F: doped SnO_2) kaplı camlar üzerine imal edilir. ITO camlar üzerine polimer/polimer veya polimer/fulleren çözeltileri ince filmler şeklinde kaplanır. İnce film hazırlama yöntemleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

3.3.1 Organik Yarıiletkenlerin Yapısal Özellikleri ve İnce Film Oluşturma Teknikleri

İnce film, kalınlığı nanometre (10^{-9}) ile mikrometre (10^{-6}) arasında değişen ince malzeme katmanlarıdır. İnce filmler, elektronik yarıiletken cihazlar ve optik kaplamalarda sıklıkla kullanılmaktadır [1].

Organik güneş gözelerinde ince film oluşturma süreci organik yarıiletkenlerin özelliklerine bağlıdır. İnce film oluşturma işlemi temel olarak iki ıslak işlem ve buharlaştırma/süblimasyon yöntemleri olarak iki gruba ayrılabilir:

Yan zincir fonksiyonelliğine sahip organik yarıiletkenler genel organik çözücülerde çözünebilirler. Yan zincirler moleküle çözünürlük kazandırmak için veya çözünürlüğünü arttırmak için bağlanırlar ve ıslak işlem için bu özellik yeterlidir. Örneğin; C_{60} gibi çözünürlüğü az olan moleküller çözünürlüğü yüksek gruplar yardımıyla güneş gözelerinde fazlaca kullanılan ve n-tipi malzeme olan PCBM gibi daha çözünür hale getirilebilirler (Veenstra, 1997). Yan zincirler molekülün çözünürlüğünü arttırmakla birlikte moleküllerin kümelenmesini de önlemektedirler. Düzlemsel moleküllerin moleküller arası π - π etkileşimi sebebi ile birbirlerine yapışıp çözelti içerisinde katı gibi davranma eğilimleri vardır. Dallanmış yan zincirler veya gruplar moleküllerin birbiri ile etkileşimlerini önleyerek çözgen moleküllerinin molekülü daha rahat sarmasını ve çözünmesini sağlamaktadırlar (Zafer, 2006).

Polimerleri yüksek molar kütlelerinden ve uzun zincirlerinden dolayı buharlaştırmak mümkün değildir. Yüksek sıcaklıklara çıkılması polimerin parçalanmasına ve bozunmasına neden olacaktır. Küçük organik moleküller yüksek ısıya dayanıklı olduklarından buharlaştırma/süblimasyon tekniği sıkça kullanılmaktadır (Geens, 2002).

3.3.1.1 Buharlaştırma

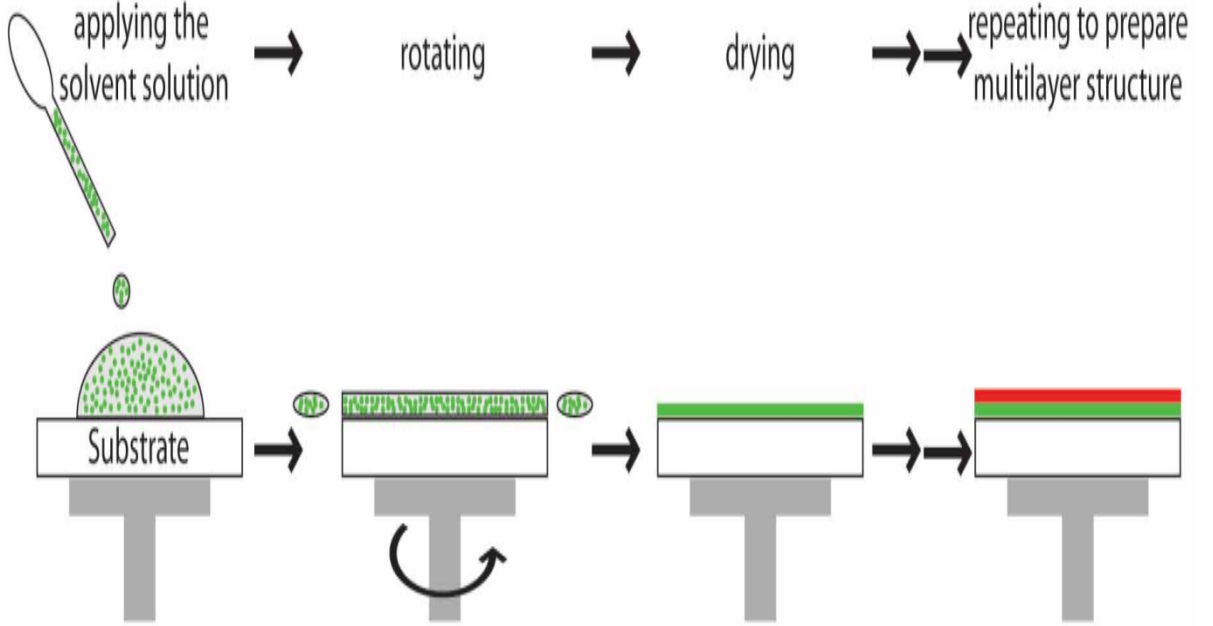
Kaplanacak malzeme, herhangi bir şekilde ısı etkisi ile buharlaştırılır ve buharlaşan atomlar, altlıklar üzerine giderek yoğunlaşırlar. Termal buharlaştırma ile film kaplamak için, genellikle $<10^{-5}$ mbar'dan daha küçük vakum kullanılır. Böylece, buharlaşan molekülün ortalama serbest yolu buharlaştırma kaynağı ve numune tutucusu arasındaki mesafeden daha uzundur. Bununla birlikte, oksijen ve su gibi kirletici unsurlar azaltılmış olur ve daha yüksek vakumla ($<10^{-9}$ mbar) veya inert atmosfer içeren glove boxta buharlaştırma yaparak bu unsurların etkisi olabildiğince ortadan kaldırılabilir. İç içe geçmiş donor-akseptör ağı oluşturmak veya moleküler katkılama yapmak için aynı anda buharlaştırma tekniği kullanılabilir [1]. Polimerler, yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmadıklarından ısı etkisiyle parçalanırlar ve

polimerleri buharlaştırmak mümkün değildir. Organik elektronikte küçük organik moleküller için bu işlem uygulanmaktadır.

3.3.1.2 Islak İşlem

Organik yarıiletkenler su, polar veya apolar organik çözücüler içerisinde çözünebilirler. Bu çözeltilerle dönel kaplama (spin coating), püskürtmeli kaplama (spray coating), bıçak ağzı ile düz kaplama (doctor blading) ve serigrafi vb yöntemlerinin kullanılarak ince film oluşturulması ıslak işlem olarak adlandırılır (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

a)Dönel Kaplama (Spin Coating); Dönel kaplama ile ince filmlerin üretimi uzun yıllardır kullanılmaktadır. Tipik olarak proses bir çözelti damlasının bir altlığın merkezine damlatılması ve sonra altlığın istenilen dönme hızlarında (tipik olarak 300-8000 dev/dak) döndürülmesi esasına dayanır. Merkezi hızlandırma fazla çözeltinin uzaklaştırılmasına ve kalan çözeltinin ise altlık yüzeyine ince film şeklinde yayılmasına neden olur. Oluşturulan filmin kalınlığı ve diğer özellikler çözelti özellikleri (viskozitesine, kuruma hızına, katı oranına ve yüzey gerilimleri) ile işlem şartlarına (devir, hızlandırma) bağlıdır.



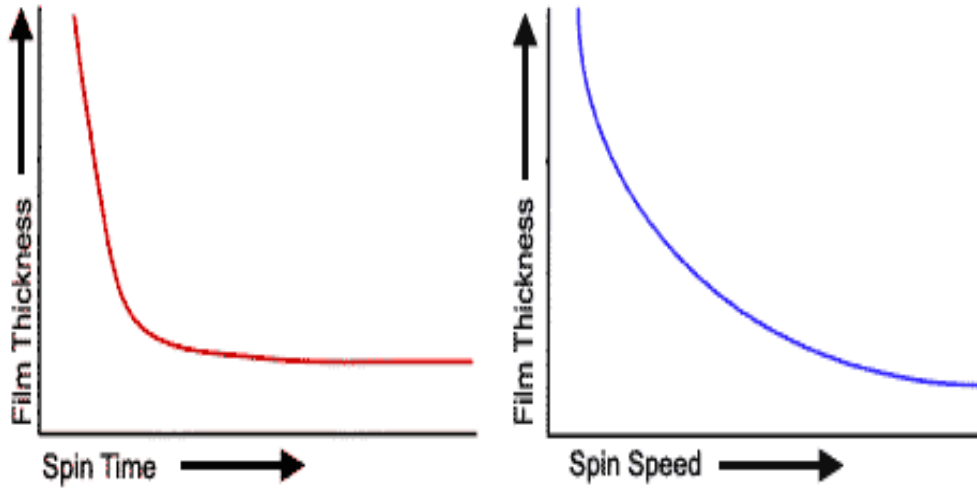
Şekil 3.14 Dönel kaplama yöntemi kullanarak ince film hazırlanması. Sırasıyla çözeltinin örneğe homojen şekilde damlatılması, döndürme etkisi ile kaplama, ince filmin oluşturulması ve son olarak da isteğe bağlı olarak farklı tür çözücünden elde edilmiş çözelti kullanılarak film oluşturulması [10].

Kaplama işlemi üç adımdan oluşur. Şekil 3.14’de şematik olarak gösterilmiştir. Hazırlanan altlık üzerine çözelti damlatılması ile başlayan işlem yüksek hızlı döndürme ile fazla

çözücünün uzaklaşması ve çözeltinin yayılması ve sonra kurutma ile çözeltinin buharlaştırma ile jelleştirme ile kaplama işlemi tamamlanır.

Çözeltinin dağıtılmasında dinamik ve statik olarak iki yaygın yöntem vardır. Statik dağıtım, çözelti damlasını altlığın merkezine veya merkezine yakın bölgeye damlatılmasıdır. Altlığın boyutlarına ve çözelti viskozitesine bağlı olarak gerekli çözelti miktarı 10-100 mikrolitre arasında değişir. Dinamik dağıtım ise altlık düşük hızlarda dönerken çözeltinin damlatılmasıdır. Yüksek viskozitelerde veya büyük altlıklarda yüksek dönme hızlarında altlığın yüzeyini tamamen kaplaması için daha fazla çözelti damlatılması gerekir [11].

Bu proseste farklı dönüş hızları kullanılabilir. Üretilen filmin ince olması istenildiğinde yüksek dönüş hızı ve uzun dönme süresi, filmin kalın olması istenildiğinde ise düşük dönüş hızı ve kısa dönme süresi gerekmektedir. Bu yöntem kullanıldığında uygulanan malzemenin büyük hacminin, dönmenin yüksek ivmede ve değişken hızda, akışkanın az ve akışkanın uygunsuz olması düşük kalitede film oluşturmaktadır.



Şekil 3.15 Dönel kaplama yöntemiyle film kalınlığı ayarlanarak örneğe filmin kaplanması [11].

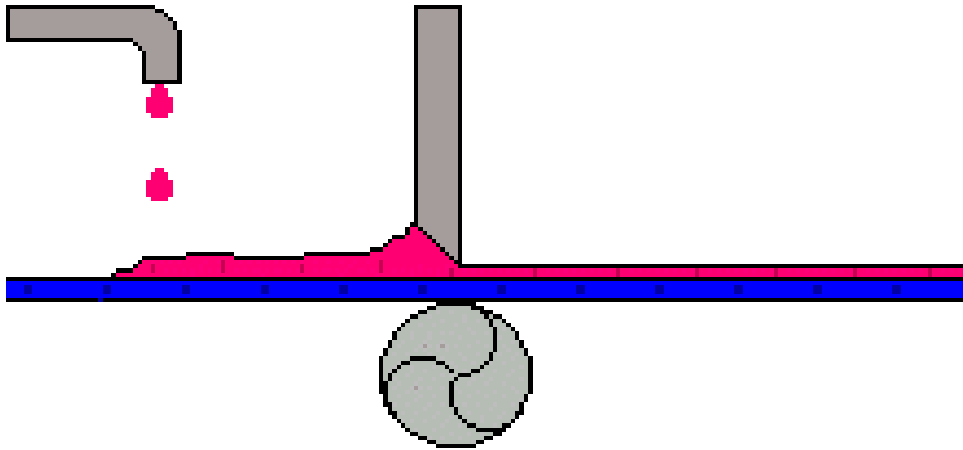
Dönel kaplama yöntemi ile oldukça düzgün kaplamalar elde edilebilir. Bir diğer avantajı ise dönme hızının değiştirilerek istenilen kalınlıkta film elde edilebilmesidir. Ancak bu yöntem yoğun film oluşturmak ve simetrik olmayan geniş alanların kaplanması için uygun bir yöntem değildir. En büyük dezavantajı ise kullanılan çözeltinin büyük bir kısmının kaybedilmesidir. Geri kalan madde ise aletin içinde kalmakta ve bundan yararlanılabilmesi mümkün değildir [11].

b) Püskürtmeli Kaplama (Spray Coating); Bu yöntemde çözeltinin basınçlı şekilde nozülde püskürtülmesiyle atomizasyona benzer şekilde ince damlacıklar üretilir. Üretilen damlacıklar bir altlık yüzeyine püskürtülmek suretiyle kaplama yapılır. Altlık yüzeyi sıcak ya

da soğuk olabilir. Altlık yüzeyine ulaşan sıvı damlacıkların yüksek reaktiviteleri nedeniyle sürekli bir film oluşur. Oluşan film çözücü buharlaşması ile kurumaya başlar ve son olarak ısı parçalanma ile kaplama elde edilir. Bu tür kaplama işleminde altlık yüzeyine sıvı damlacıklar olarak değil de nanometre boyutlarındaki kuru küçük tanecikler şeklinde kaplama gerçekleşir. Püskürtme kaplama tekniği yüksek üretim hızı, karmaşık şekil kaplama kolaylığı, düşük maliyet, ucuz ekipman maliyeti ve sürekli proses olması gibi avantajlarının yanında kalınlığın her zaman homojen olamaması ve tekrarlanabilir kalınlık problemleri nedeniyle kısıtlamalara da sahiptir [12].

c) Serigrafi; Bu teknikte, belirli bir dokuya sahip taslak tabakasına çözelti emdirildikten sonra malzeme yüzeyine baskı uygulanması ile kaplama gerçekleşir. Tipik film kalınlığı 10-100 µm aralıklarındadır. Kaplama malzemeleri organik polimer kökenlidir. Bu teknikler üretimin kolay ölçeklendirilmesinde ve güneş gözesi üretimi esnasında düşük enerji tüketimi açısından önemlidir (Evcin, 2006).

d) Bıçak Ağzı ile Düz Kaplama (Doctor Blading); Çalışma prensibi oldukça basittir. Bu kaplama yönteminde rol alan üç önemli bileşen yer almaktadır. Bu bileşenler; bıçak ağzı, dönen tabaka (rulo) ve örnek ile bıçak ağzı arasındaki boşluktur. Kaplama yapılması istenilen tabaka, rulo yardımıyla hareket ederken bıçak ağzı tarafından fazla veya istenilen miktardaki çözelti kazınması ile birlikte ince film oluşturulması esasına dayanır. Bıçak ağzı ile örnek arasındaki boşluk mesafesi istenilen şekilde ayarlanarak film kalınlığı büyüklüğü belirlenebilmektedir. Bu yöntem yardımıyla çok geniş yüzeylere, kolay bir şekilde kaplama yapılabilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı, dönel kaplama yönteminin bıçak ağzı ile düz kaplama yöntemine göre daha homojen ve düzgün yüzeye sahip filmler elde edilmesidir [13].



Şekil 3.16 Bıçak ağzı ile düz kaplama mekanizması [13].

3.3.2 Devre Tipleri

Organik güneş gözelerinde en önemli sorun, foton tarafından uyarılmış elektronu bağlı olduğu delikten verimli bir şekilde ayırmaktır. Daha önce de bahsedildiği gibi, eksiton bağlanma enerjisi, organik yarıiletkenlerde inorganik yarıiletkenlere kıyasla daha yüksektir (0.1-1 eV) (Sariciftci, 1997; Gregg ve Hanna, 2003; Pope ve Swenberg, 1999).

Elektron delik çifti arasındaki bağ çok güçlü olduğundan güçlü elektrik alanlara gereksinim vardır. Bu ayırma işleminin gerçekleşebilmesi için, p-n kavşağı veya yarıiletken/metal ara yüzeyleri değerlendirilebilir. Organik güneş gözelerinde geliştirilen farklı devre tipleri arasındaki temel fark, eksiton ayrılma işleminin, foto aktif yüzeyin neresinde gerçekleştiği ve diğer önemli durum ise yüklerin uygun elektrotlara taşınmasıdır. Aşağıda en çok kullanılan devre tipleri açıklanmıştır:

3.3.2.1 Tek Tabaka Güneş Gözeleri

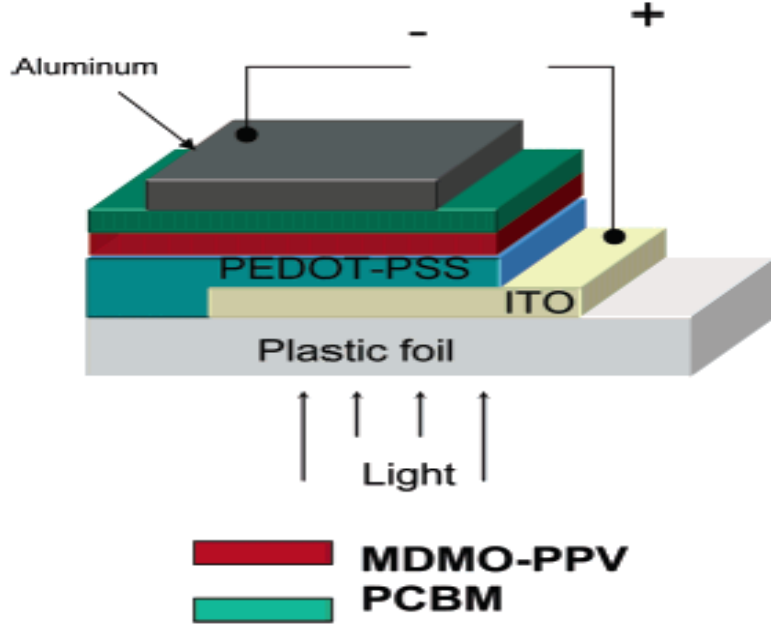
İlk üretilen organik güneş gözelerinde tek tabaka yöntemi kullanılmıştır. Tek tabaka güneş gözeleri, farklı iş fonksiyonlarına sahip iki metal elektrot arasına sıkıştırılmış aktif bölgeden oluşmaktadır. Uygun iş fonksiyonu esas alındığında, genellikle bir elektrot ITO, diğer elektrot ise Al, Au, Ca, Mg olabilir. Basit metal-yalıtkan-metal (MIM) modeline göre devrede var olan yük taşıyıcılarının sayısı fazla değildir. Diğer taraftan devredeki yarıiletken katkılanırsa bant bükülmesi oluşarak metal elektrotla yarıiletken ara yüzeyinde Schottky kontağı oluşturulabilir. Bu durumda tüm devrenin kalınlığı boyunca elektrik alan sabittir. Büyük elektrik alanlar, eksitonları ayırmaya yeterli olduğundan tek tabakalı devrelerde Schottky kontağı serbest yük taşıyıcılarının yaratılmasını arttıracaktır (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004; Güneş ve Sarıçiftçi, 2007).

Bu konuda yapılan çalışmalar tek tabaka güneş gözelerinin veriminin kısıtlı olduğunu göstermiştir. Devre yapısı verimde önemli rol oynamaktadır. Tek tabaka bir devrede sadece Schottky kontağına yakın yaratılan foto uyarılmalar eksiton difüzyon uzunluğu nedeniyle serbest yük taşıyıcılarına dönüşmektedir. Bundan dolayı sadece kısıtlı bir bölge fotoakım yaratılmasına katkıda bulunur ve dolayısıyla da bu devrenin verimi oldukça düşüktür (Sze, 1981).

3.3.2.2 İki Katlı Heteroeklem Güneş Gözeleri

Tek tabakalarda ortaya çıkan serbest yük yaratılması kısıtlılığını ortadan kaldırmak için (eksitonları ayırmak için) donör-akseptör yaklaşımı üretilmiştir. İki katlı bir devre, donör ve

akseptör malzemeyi üst üste sıkıştırarak oluşturulabilmektedir. Donör ve akseptör arasındaki etkin etkileşim geometrik ara yüzeyde gerçekleşir. İki katlı heteroeklemde, karşılık gelen yük taşıyıcılarının verimli ekstraksiyonu için donör HOMO'su ve akseptör LUMO'su uyuşan iki organik malzeme, iki metal elektrot arasına sıkıştırılmıştır. Konjuge polimerler ve fullerenler üzerinde yapılan fotofizik çalışmaları, konjuge polimerlerden fullerenlere doğru ultra hızlı elektron transferi gerçekleşebildiğini göstermiştir (Sariciftci, 1992; Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004; Güneş ve Sarıçiftçi, 2007; Hoppe, 2004). Fakat, eksiton difüzyon uzunluğunun 10-20 nm arasında sınırlı olması dolayısıyla, foto uyarılmalar sonucu oluşan elektron-delik çiftinden sadece p-n eklem ara yüzeyine yakın olanlar serbest yük taşıyıcılarına dönüşebilmektedir ve böylece akıma katkı sağlayabilirler. Etkin ara yüzeyin sadece p ve n tipi yarıiletkenin birbirine temasta bulunduğu geometrik ara yüzey ile sınırlı kalması bu tip güneş gözelerinin verimini kısıtlamıştır.



Şekil 3.17 P-tipi malzeme olarak MDMO-PPV, n-tipi malzeme olarak PCBM kullanarak hazırlanmış iki katlı heteroeklem güneş gözесinin düzenlenme biçimi (Güneş ve Sarıçiftçi 2007).

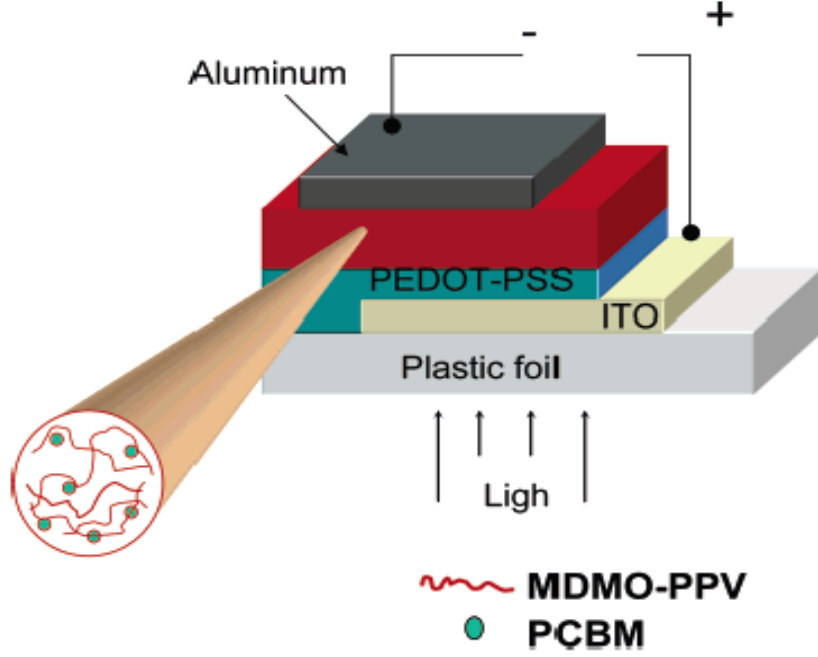
3.3.2.3 Hacim Heteroeklem Güneş Gözeleri

Hacim heteroeklemlı güneş gözelerindeki aktif bölge, tek katmanlı ve iki katmanlı güneş gözelerindeki gibi geometrik ara yüzeylerle sınırlı değildir. Hacim heteroeklemlı devrelerin içeriğı, iki katmanlı devrelerin içeriğine çok benzemektedir. Tek ve iki katmanlı devreler bir tane aktif bölgeden oluşmakta iken hacim heteroeklemlı bölgede birçok aktif bölge mevcuttur.

Hacim heteroeklemi yönteminde, donör ve akseptör arasındaki faz ayrımı, dolayısıyla, nanomorfoloji kontrol edilerek, içi içe nüfuz eden ağ oluşması sağlanır. İdeal hacim

heteroeklemi resmi, 10-20 nm mesafesinde her yere dağılmış olan milyonlarca p-n kavşağından oluşmakta ve böylece filmin içerisinde her yer aktif bölge gibi davranmaktadır. Bundan dolayı istenilmeyen durum olarak karşılanan yeniden birleşme olayı en aza indirilmiştir.

Güncel literatürde, P3HT ve PCBM karışımı kullanılarak elde edilen hacim heteroeklemine dayalı güneş gözeleri %7.4 verime sahiptir (Liang vd., 2010).



Şekil 3.18 P-tipi malzeme olarak MDMO-PPV, n-tipi malzeme olarak PCBM kullanarak hazırlanmış hacim heteroeklem güneş gözесinin düzenlenme biçimi (Güneş ve Sarıçiftçi, 2007; Hoppe, 2004).

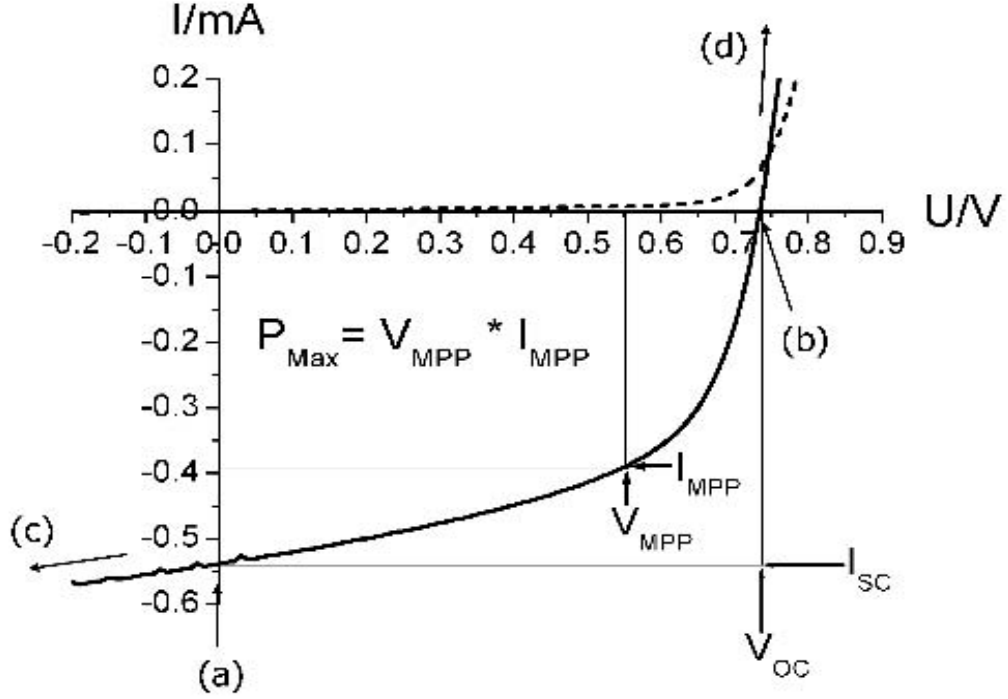
3.3.2.4 Yayılmış İki Katmanlı Heteroeklem

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 şu şekillerde elde edilebilir:

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

4. GÜNEŞ GÖZELERİNDE VERİMİN HESAPLANMASI

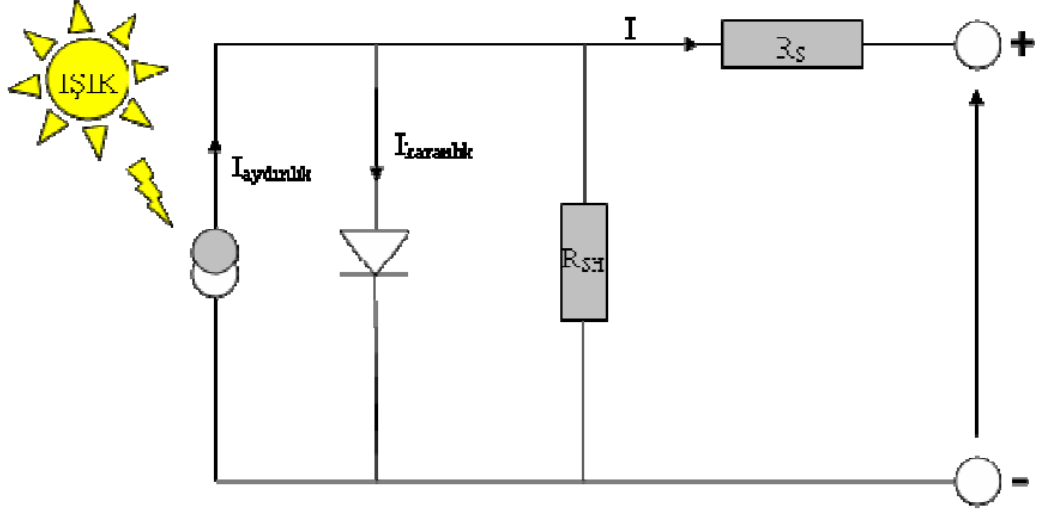
Teknolojik aygıt üretiminde verim, önemli bir parametredir. Güneş gözesinin verimi kısa devre akımı ve açık devre voltajı ile doğrudan ilişkilidir. Güneş gözelerinde verimin hesaplanması için bu verilerin sahip olduğu akım-gerilim karakteristik eğrilerinden yararlanılır. Aşağıdaki grafikte güneş gözelerinin karanlık ve aydınlıktaki sahip olduğu karakteristik eğri yer almaktadır.



Şekil 4.1 Bir güneş gözesinin akım-voltaj grafiği (I-V eğrisi). Kesik çizgiler karanlıkta düz çizgi ise aydınlıktaki karakteristiği göstermektedir. Karakteristiklerin x eksenine ile kesiştikleri noktalar açık devre gerilimi (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 gerilimi (V_{OC}) ve kısa devre akımı (I_{SC}) çarpımına bölümü ise dolum faktörünü (fill factor-FF) verir (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

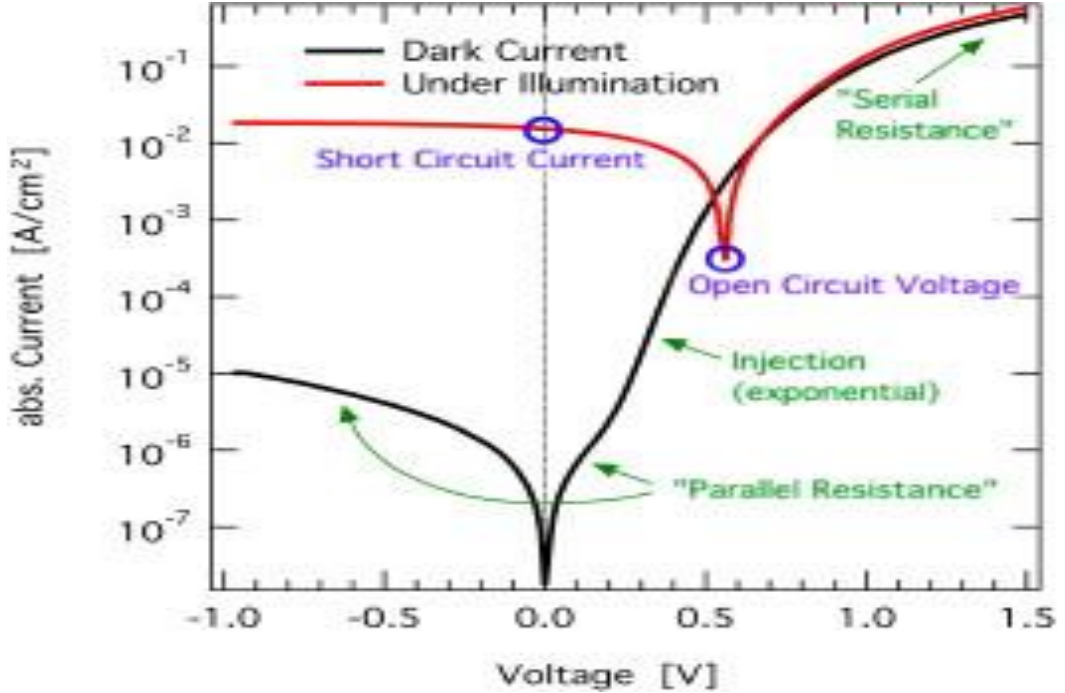
Şekil 4.1’de bir güneş gözesinin karanlıkta ve aydınlatma altındaki akım-voltaj karakteristiği gösterilmiştir. Açık devre geriliminden daha büyük voltajlar için (ileri yönde kutuplamada) kontaklar şiddetle enjekte edene kadar karanlıkta neredeyse hiç akım akmamaktadır. (a) noktasında kısa devre koşulları altında yaratılan maksimum fotoakım akar (b) noktasında fotoetkili akım 0’a dengelenmiştir (düz band koşulları). (a) noktası ve (b) noktası arasında 4. bölgede devre güç (akım x 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).



Şekil 4.2 Organik güneş gözesinin elektriksel devre şeması (R_{sh} ; shunt direnci, R_s ; seri direnç) (Zafer, 2006).

Güneş gözesi devresinde akım, voltaj ve direnç önemli faktörlerdir. Güneş gözesi devresindeki kısıtlamalar seri ve paralel bağlı dirençlerle temsil edilir. Seri dirençlere örnek, injeksiyon bariyerleri ve tabaka dirençleri gösterilmektedir. Paralel dirençler ise iki elektrot arasındaki bölgesel kısa devreler olarak tanımlanmaktadır. Paralel dirençlerde bölgesel kısa devreler tarafından akım ilerleme yönünde sapmalar meydana gelmektedir [14].



Şekil 4.3 Bir güneş gözesinin yarı logaritmik akım-gerilim grafiği. Siyah renkteki eğri karanlıkta, kırmızı renkteki eğri ise aydınlıktaki karakteristiği göstermektedir. Akım-gerilim eğrisinin seri ve paralel dirençlerle olan ilişkisi [14].

Güneş gözesinin sahip olduğu akım-gerilim eğrileri şekil 4.1’de gösterildiği gibi lineer ölçekte de çizilebilir. Lineer ölçekte çizilen akım-gerilim grafikleri kısa devre akımı, açık devre geriliminin daha kolay okunmasını ve dolgu faktörünün daha kolay hesaplanmasını sağlar. Şekil 4.3’de gösterilen eğri ise yarı logaritmik ölçekte çizilmiş bir akım-gerilim grafiğini göstermektedir. Bu grafikten bir diyodun ne kadar iyi olduğunun bir ölçeği olan doğrultma oranı hesaplanabilir. Doğrultma oranı, herhangi bir voltaj değeri için ileri yöndeki kutuplama değerindeki akımın, ters yönde kutuplamadaki akımın değerine oranı olarak tanımlanır ve yarı logaritmik eğrilerden kolayca hesaplanabilir.

Güneş gözesindeki akım-gerilim ilişkisi ideal devreler için Shockley diyot denklemi adı verilen aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$I = I_o \left\{ \exp \left(\frac{e}{nkT} (U) \right) - 1 \right\} - I_{PH} \quad 4.1$$

Fakat gerçek devrelerde bu ifadeye direnç faktörleri eklenmektedir. Genellikle, bir fotovoltaiik devrenin akım-gerilim karakteristiği (I-V) Shockley denkleminin düzenlenmesiyle aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$I = I_o \left\{ \exp \left(\frac{e}{nkT} (U - IR_s) \right) - 1 \right\} + \frac{U - IR_s}{R_{SH}} - I_{PH} \quad 4.2$$

I_o , karanlık akımı; e , temel yük birimi; n , diyot idealite faktörü; U , uygulanan voltaj; R_s , seri direnç; R_{sh} , shunt direnci ve I_{ph} , fotoakımdır.

Verimin hesaplanmasında açık devre gerilimi (open circuit voltage), kısa devre akımı (short circuit current) ve dolgu faktörü (fill factor) parametreleri kullanılmaktadır. Açık devre gerilimi (V_{oc}), devreden hiç akım akmadığında gerilimin okunan değeridir. Kısa devre akımı (I_{sc}), devrede gerilim değerinin sıfır olduğunda akımın okunan değeridir. Dolgu faktörü (FF), gözenin güç kaynağı olarak kalitesi hakkında bilgi veren bir parametredir. Genellikle dolgu faktörü (FF), $FF = V_{MPP} I_{MPP} / (V_{oc} I_{sc})$ [15].

Bir güneş gözesinin verimini belirlemek için bu güç gelen ışık şiddetiyle kıyaslanmalıdır. Tüm bu bilgiler ışığında güç dönüşüm verimi,

$$\eta_{power} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{I_{MPP} * V_{MPP}}{P_{IN}} = \frac{FF * I_{sc} * V_{oc}}{P_{IN}} \quad 4.3$$

formülü ile hesaplanmaktadır (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

5. VERİMİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

5.1 Açık Devre Gerilimi (V_{oc})

Açık devre gerilimi MIM modeline göre genellikle, iki metal kontağının iş fonksiyonlarının farkına göre belirlenmektedir (Peumans vd., 2003).

Organik güneş gözelerinde açık devre gerilimi p tipli yarıiletkenin en yüksek işgal edilen moleküler orbital seviyesi (HOMO) ve n tipli yarıiletkenin işgal edilmemiş en düşük moleküler orbital seviyesine (LUMO) lineer olarak bağlıdır.

$$V_{oc} = V_{th} \ln (I_{ph}/I_s - 1) \approx V_{th} \ln (I_{ph}/I_s) \quad 5.1$$

I_s diyodun doyma akımı, $V_{th} = nkT/e$ ise termal gerilimdir. I_{ph} , soğurulan fotonlardan kaynaklanan akımı göstermektedir.

Sonuç olarak, açık devre gerilimi, kullanılan metallerin enerji seviyelerine ve onların ara yüzlerine ait hassas bir fonksiyondur.

5.2 Kısa Devre Akımı (I_{sc})

İdealde kısa devre akımı (I_{sc}), organik yarıiletkendeki uyarılmış yük taşıyıcı yoğunluğu, ve yük taşıyıcı mobilitesinin çarpımıyla doğru orantılıdır.

$$I_{sc} = ne\mu E \quad 5.2$$

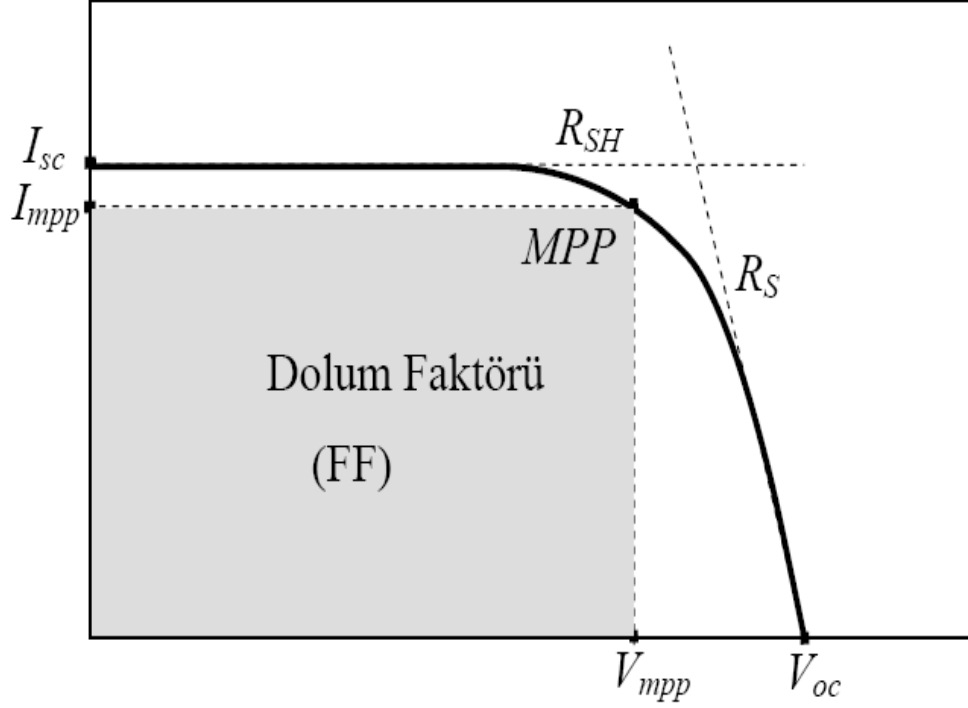
Burada n yük taşıyıcı yoğunluğu; e temel yük; μ mobilite ve E elektrik alanıdır. Hacim heteroeklemi karışımında fotoetkili yük oluşumu verimi %100 kabul edilirse, n buradaki birim hacim başına soğurulan foton sayısıdır.

Kısa devre akımını etkileyen faktörler, malzemenin soğurma aralığı ile güneşten gelen ışınların soğurulması orantılı olmalıdır. Bu orantıda optimum koşul, soğurma aralıklarının tam çakışma halidir. Bu orantının iyileşmesi düşük bant aralıklı polimerler sentezlenerek gerçekleştirilmektedir [1].

Kısa devre akımı aynı zamanda yük taşıyıcı mobilitesine de bağlıdır. İnorganik malzemelerde kalınlığı arttırarak daha fazla soğurma sağlanabilir ancak organik malzemelerde mobilite düşük olduğu için kalınlığı arttırmak kısa devre akımına katkıda bulunmaz. Dolayısıyla, yüksek mobiliteli/düşük band aralıklı malzemeler kısa devre akımının iyileştirilmesi için genel bir yoldur [1].

5.3 Dolgu Faktörü (Fill Factor-FF)

Dolgu faktörü, gözenin bir güç kaynağı olarak kalitesinin bir ölçüsüdür ve maksimum gücün, açık devre gerilimi ile kısa devre akımı çarpımına oranıdır. Elde edilen gücün en yüksek olduğu noktaya maksimum güç noktası (MPP) denir ve bu noktadaki akım ve gerilime de güneş gözesinin maksimum akımı (I_{mpp}) ve maksimum gerilimi (V_{mpp}) olarak ifade edilir. (Zafer, 2006).



Şekil 5.1 Dolgu faktöründe etkili olan parametreler (Zafer, 2006).

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).

6. ORGANİK GÜNEŞ GÖZELERİNİN GELİŞİM SÜRECİ

Organik güneş gözesi üretimi için birçok yol vardır. Konjuge polimerler, organik güneş gözelerinde sıklıkla kullanılan malzemelerdendir ve bu sebepten dolayı organik güneş gözeleri, polimer güneş gözeleri olarak da bilinmektedir. Polimer güneş gözesi kullanılan malzemelerin türüne veya devre tipine göre adlandırılmaktadır.

Güncel literatürde, en çok tercih edilen organik güneş gözesi malzemeleri konjuge polimerler (p-tipli) ve fullerenler (n-tipli)'dir. Organik güneş gözelerinde yüksek verimler bu malzeme kombinasyonlarında elde edilmiştir. Ayrıca her ikisi de konjuge polimer olan p ve n tipli malzemeler kullanılarak üretilen organik ya da inorganik nanoparçacıklarla, konjuge polimerlerin veya fullerenlerin bir araya gelmesiyle oluşturulan hibrit güneş gözeleri de mevcuttur (Güneş ve Sarıçiftçi, 2007; Hoppe, 2004).

Hibrit güneş gözeleri olarak adlandırılan diğer tür güneş gözelerinde ise organik ve inorganik yarıiletkenlerin avantajlarının birleştirilmesi esas alınarak geliştirilmiştir. Konjuge polimerlerin film oluşturma özellikleri ile inorganik malzemelerin özelliklerinin birleşiminden oluşur. Yarıiletken polimer karışımına katılan inorganik yarıiletken nanoparçacıkların birçok özelliği vardır. İnorganik yarıiletken nanoparçacıklar, birçok organik yarıiletken malzeme ile kıyaslandığında yüksek soğurma katsayılarına ve daha yüksek fotoiletkenliğe sahip olabilirler, nanokristallerin n-tipi veya p-tipi karakteri sentez yoluyla değiştirilebilir, inorganik malzemelerin band aralığı nanoparçacık büyüklüğünün bir fonksiyonudur (Güneş ve Sarıçiftçi, 2007; Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

Polimer güneş gözelerinde yapılan ilk çalışmalarda, elektron verici olarak MEH-PPV ve elektron alıcı olarak da CN-PPV kullanarak yapılmıştır. Bu malzemeler kullanılarak hazırlanan güneş gözelerindeki verim %0.9 olarak ölçülmüştür [Yu ve Heeger, 1995; Halls vd., 1995]. 1999 yılında yapılan araştırmalarda verimin artmasında yardımcı olması açısından düzenlenen CN-PPV yapısının bir eter grubu ile çözünürlüğünün geliştirilmesi sağlanmıştır (Tillmann ve Hörhold 1999).

2001 yılında polimerli güneş gözelerinin verimi, artarak %2.5 olarak ölçülmüştür. Yapılan bu çalışmalarda MDMO-PPV konjuge polimeri elektron verici, fulleren PCBM ise elektron alıcı olarak kullanılmıştır (Shaheen vd., 2001). Organik fotovoltaiik aygıtların güç veriminin, konjugopolimer/metanofulleren karışımının nanomorfolojisinden etkilendiği gösterilmiştir. Karışımdaki bu yapılanmada karışımın içerdiği metanafulleren'in ayrışma evresi ve aynı zamanda konjuge polimer zincirlerindeki etkileşmelerinin derecesinin artması hakkında birçok bilgi vermektedir, bu tür gözelerin verimi, AM (air mass) 1.5 altında karakterize

edildiğinde güç verimi %2.5 olarak ölçülmüştür. Bu sonuç, daha önce tasarlanmış olan aygıtlardaki ölçülen değerlerin yaklaşık olarak üç katı kadar artmış olduğunu göstermiştir ve güneş ışığının enerjisinin pratik olarak kullanılabilmesi için olanak sağlayan bir çözüm olmuştur.

2006 yılında elektron verici olarak P3HT ve elektron alıcı olarak da PCBM kullanılarak güç veriminin %5 olarak ölçülmüştür (Kim vd., 2006). P3HT ve PCBM malzeme sistemlerinin, verimi güçlü bir şekilde değiştirdiği gözlenmiştir (Kim vd., 2006; Li vd., 2005). 2007 yılında Konarka Teknolojileri Amerika, plastik güneş gözelerinde aktif alanı 1.024 cm^2 olarak güç verimini %5.21 olarak uluslararası standartlar tarafından tasdik edilmiştir (Hoth vd., 2007).

Düşük band aralıklı bir polimer ve fulleren kullanılarak yapılan denemelerde 2009 yılında güç verimi yaklaşık olarak %6.1 olarak ölçülmüştür (Park vd., 2009).

Güncel literatürde en yüksek verim son zamanlarda elektron verici olarak PTB7 ve elektron alıcı olarak da PC₇₁BM yapıları kullanılmış ve güç veriminin %7.4 olarak ölçülmüştür (Liang vd., 2010). Bu özdeşleşme ile uygun metotlar kullanılarak üretilen organik güneş gözeleri odak noktası ve sonraki gelişmeler için ise bir dönüm noktası olmaktadır.

6.1 Sıvı Kristaller Kullanılarak Organik Güneş Gözelerinin Hazırlanması

Hacim heteroeklemi prensibine dayalı konjuge polimer ve fullerene türevi ile hazırlanan güneş gözelerinin verimi günümüzde %7.4 olarak verilmektedir (Liang vd., 2010). Bu tür güneş gözelerinde donör olarak kullanılan organik malzeme konjuge polimerlerdir. Konjuge polimerlerin kullanılmasında en önemli problemlerden biri, oksijen vb yapısal tuzakları barındırmalarından dolayı düşük yük taşıyıcı mobilitesine sahip olmalarıdır. Bu da yük taşıyıcılarının elektrotlara ulaşmadan yeniden birleşmeleri anlamına gelmektedir. Genel olarak, kristal organik malzemeler polimer malzemelerden daha iyi taşıma (transport) özelliklerine sahiptirler.

Madde genellikle; katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç temel halde bulunmaktadır. Katı kristal halde molekül, sıkı istiflenmiş bir düzene sahip olmakla birlikte, genellikle sabit bir pozisyon ve yönelimdedir. Katılar gibi yönelimsel bir düzenin görülmediği sıvı halde, molekül daha hareketli bir özellik göstermektedir. Katı hale kıyasla daha az düzenli olmaları nedeniyle deforme edilmeleri de daha kolay olur. Madde gaz halinde ise, molekülün hareketliliğindeki artış moleküller arası etkilerin ortadan kalkmasıyla sonuçlanmaktadır. Bunların yanı sıra katı ve sıvı hal arasında değişen sıcaklıklarda birden fazla geçiş gösteren maddeler de bilinmektedir. Mekaniksel, optiksel ve yapısal açıdan çeşitli özelliklere sahip bu yeni

maddeler, üç boyutlu olarak düzenli katı kristal ve isotropik sıvı arasında yer aldıklarından sıvı kristal maddeler olarak adlandırılmaktadır. Meydana gelen bu yeni faz için mezofaz terimi kullanılmaktadır (Ateş, 2009).

Sıvı kristaller, polimerlerin yük taşıma problemlerini azaltmak üzere son yıllarda organik güneş gözelerinde kullanılmıştır. Organik güneş gözesi çalışmalarında diskotik sıvı kristaller tercih edilmiştir. Yakın bir zamanda delik taşınımı için heksabenzokoronene dayalı diskotik sıvı kristal kullanarak verimli bir organik güneş gözesi yapılmıştır (Mende vd., 2001). Supramoleküler disk yapılı moleküller, diskotik sıvı kristallerin ortaya çıkmasını sağlamıştır (Gregg vd., 1990; Chandrasekhar ve Suresh, 1977). Bu moleküller tarafından oluşturulan mezofazlar ilk önce kolumnardır (sütun biçiminde olan). Kolumnar fazda diskler birbiri üzerine sıkıştırılarak kolonlar oluşturulur. Kolumnar mezofazdaki sıvı kristaller oldukça yüksek yük taşıyıcı mobilitesine sahiptirler. Bu da onlara birçok organik devrede kullanılma potansiyeli yaratmaktadır.

Hem trifenilen, dibenzopiren ve heksabenzokoronene gibi p tipli (donor) hem de trisiklokuinozolin, antrakınon ve perilen gibi n tipli diskotik sıvı kristaller bulunmaktadır. Gregg vd., diskotik sıvı kristal porfirin kompleksleri ile doldurulmuş simetrik gözelerde fotovoltajik etki görmüşlerdir ve bu fotovoltajik etki polimerler kullanılarak hazırlanan organik güneş gözeleriyle kıyaslanabilecek düzeydedir (Chandrasekhar, 1993). Fakat, yazarlar mezofazın kendinde yük mobilitesini incelememiş, sadece sıvı kristalleri makroskopik düzenin sağlanması amacıyla kullanmışlardır.

Tek kristal organik malzemeler ve inorganik yarıiletkenler daha verimli olmalarına rağmen işlenebilirlikleri zahmetli ve oldukça da pahalıdır. Basit çözelti bazlı sistemler ve diskotik sıvı kristallerin kendiliğinden organize olabilme özellikleri yük taşınması için değerlendirilmelidir.

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1 P3HT, PCBM, BB1 ve Tiyol Gruplarının Kimyasal Özellikleri

Organik güneş gözesi araştırmalarının en büyük sorunlarından bir tanesi verimlerinin inorganik güneş gözelerine kıyasla daha düşük olmasıdır. Verimin nasıl artırılabilceği konusunda en önemli çalışma Scharber vd. tarafından yapılmıştır ve bu çalışmanın öngörülerine göre %10 verim elde etmek için hiçbir sorun yoktur (Scharber vd., 2006). Günümüze kadar yapılan çalışmalarda kullanılan temel donör malzemesi poli(3-hekzil)tiyofen (P3HT) ile verim %5'lere kadar ulaşmıştır. Verimin nasıl iyileştirilebileceği konusunda yapılan teorik çalışmalar, fiziksel ve kimyasal özellikleri öngörölmüş yeni malzemelere veya yeni yöntemlere işaret etmektedir. Yeni malzemelerin ne zaman ve nerede ortaya çıkacağı belli olmadığı için bunu beklemek vakit kaybettirici olabilir. Verimin %5'in üzerine çıkarılması durumunda organik güneş pillerinin satışa sunulabilmesi önündeki engel kalkacaktır. Alkiltiyollerin politiyofen bazlı malzemelerin morfolojik özelliklerini iyileştirildiği öngörülmektedir fakat organik güneş gözlerine uygulamaları detaylı incelenmemiştir. Bu çalışmada, yeni malzemeler üzerine çalışmak yerine var olan P3HT:PCBM sistemlerine kimyasal katkı maddeleri (alkiltiyollerin) ve sıvı kristallerin etkileri incelenerek verimi nasıl etkilediği araştırılmıştır.

P3HT ((poli(3-hekzil)tiyofen)) ve PCBM (1-(3-metoksikarbonil) propil-1-fenil[6,6]C₆₁) (polimer ve fulleren) ile üretilen güneş gözelerinin (politiyofen bazlı organik güneş gözesi) yüksek verime sahip olduğu bilinmektedir. Güncel literatüre göre P3HT'nin konjuge polimerler arasında yüksek yük taşıyıcı mobilitesine sahip olduğu bilinmektedir (Sirringhaus vd., 1998). Ayrıca P3HT 1.9-2.0 eV band aralığındadır ki bu en güçlü güneş ışığına oldukça uygun bir yapıdır (McCullough vd., 1998). Bu özellikleri ile P3HT polimer-fulleren organik fotovoltaiik hücreler için iyi bir aday haline gelmektedir (Camaioni vd., 2002; Riedel ve Dyakonov, 2004). P3HT'den başka bir polimer kullanıldığında fotovoltaiik özelliklerin nasıl değişeceğini incelemek üzere poli-[2-(3,7-dimetiloktiloksi)-5-metiloksi]-para-fenilen-vinilen] (MDMO-PPV) kullanılmıştır (Şekil 7.1 a).

Diğer yandan PCBM ise n tipli bir yarıiletkenidir. Bir fulleren türevidir. C₆₀'ın fonksiyonelleştirilerek çözünür hale getirilmesiyle oluşmuştur. Organik güneş gözelerinde kullanılan, bilinen en iyi n tipli yarıiletkenidir ve yüksek elektron mobilitesine sahiptir.

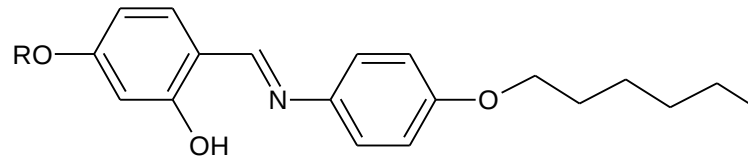
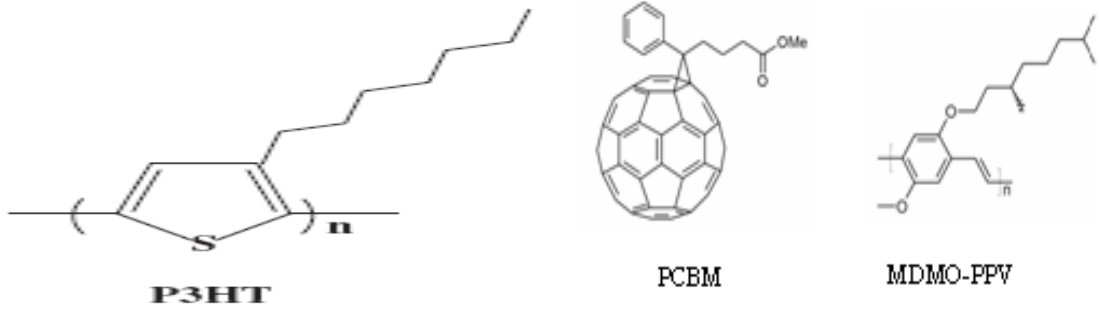
Yapılan deneylerde ilk olarak farklı tiyol gruplarının etkileri incelenmiştir. Tiyol gruplarının kullanılmasının nedeni, güncel literatürde, iletkenlik özelliği taşıyan malzemelere

katkılandıktan sonra yük taşıyıcı mobilitesini artırma ve optik soğurma aralığını genişletme özelliklerine sahip olmasıdır (Pivrikas vd., 2008).

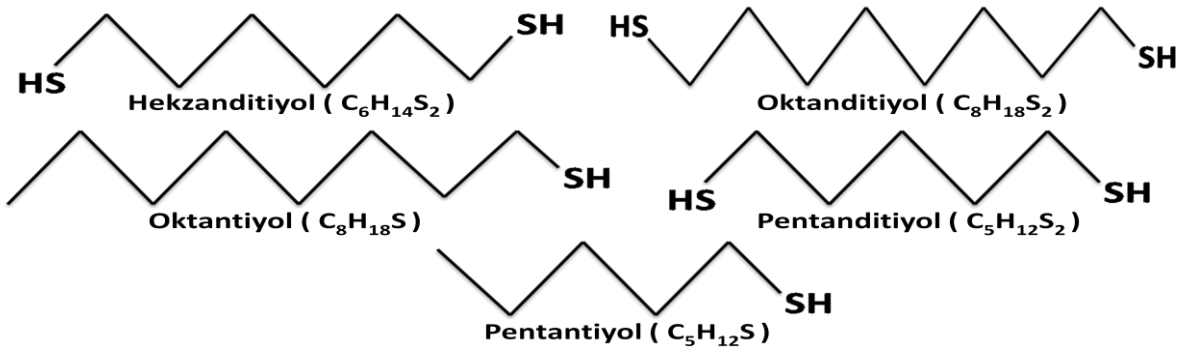
Diğer bir katkı maddesi olarak da sıvı kristaller kullanılmıştır. 4-(Heksadesiloksi)-N-(4-heksiloksifenil)-2-hidroksibenzalimin (BB1) sıvı kristali P3HT:PCBM güneş gözelerine katkılanarak sonuçlar incelenmiştir. Şekil 7.1b BB1 sıvı kristalinin kimyasal yapısını ve Çizelge 7.1 de aynı sıvı kristalin faz geçiş sıcaklıklarını göstermektedir.

Çizelge 7.1 BB1 bileşiğinin faz geçiş sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$) ve entalpi (kJ mol^{-1}) değerleri (K: kristal, Sm: smektik ve I: isotropik mesofaz).

Bileşik	R	$T^{\circ}\text{C}$ ($\Delta H \text{ kJ/mol}$)
BB1	$\text{C}_{16}\text{H}_{33}$	K 83.9 (119.4) SmC 119.7 (14.2) I



(b)



Şekil 7.1 (a) P3HT, MDMO-PPV ve PCBM'in kimyasal yapısı. (b) BB1 sıvı kristalinin kimyasal yapısı. (c) Hekzanditiyol, oktanditiyol, oktantiyol, pentanditiyol ve pentantiyol malzemelerinin kimyasal yapısı [15].

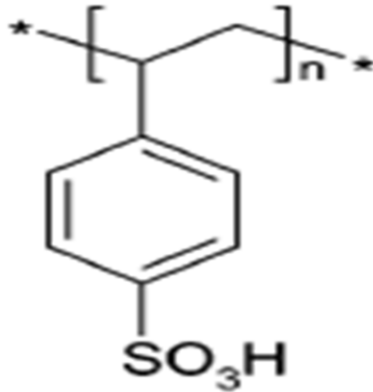
7.2 Organik Güneş Gözelerinin Hazırlanması

İlk olarak, P3HT ve PCBM ile tiyol grupları katkılanarak hazırlanan organik güneş gözelerinin deneysel süreci incelenecektir. Sonra, P3HT ve PCBM ile 4-(Heksadesiloksi)-N-(4-hekziloksifenil)-2-hidroksibenzalimin (BB1) sıvı kristali katkılanarak hazırlanan organik güneş gözelerinin deneysel süreci incelenecektir. Organik güneş gözeleri hacim heteroeklemi yöntemi kullanarak hazırlandı. P-tipli malzeme (donor) olarak P3HT, n-tipli malzeme (akseptör) olarak ise PCBM kullanıldı. Elektrot olarak ise ITO ve alüminyum kullanıldı.

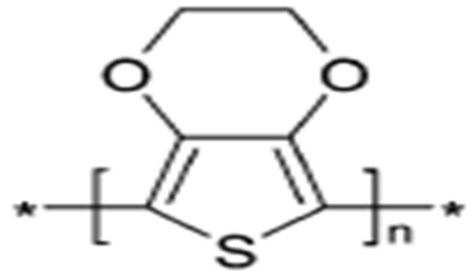
7.2.1 ITO Camların Hazırlanması ve PEDOT:PSS Kaplanması

Bir yüzü ITO kaplı cam üzerinde asit çözeltisi yardımıyla dağlama (etching) işlemi yapılarak ITO'nun bir kısmı kaldırıldı. Dağlama (etching) işleminin kullanılmasının sebebi, olası kısa devrelerin engellenmesidir. Aseton, isopropanol, toluen ve distile su kullanılarak camlar temizlendi. Böylece film kaplanacak yüzeyin mümkün olduğunca temiz olması sağlandı.

PEDOT:PSS (poli(3,4-etilendioksitiyofen):polistren-para-sulfonik asit) malzemesi bir iletken polimerdir. PEDOT:PSS güneş gözesinde elektrotların elektriksel özelliklerinin düzenlenmesini sağlar ve aynı zamanda pürüzlü bir yapıya sahip olan ITO yüzey pürüzlülüğünün azaltılmasında ve delikler için basamak potansiyeli oluşturmaktadır.



PSS



PEDOT

Şekil 7.2 PEDOT:PSS polimerinin kimyasal yapısı (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2004).

Örnekleri PEDOT:PSS ile kaplamak için dönel kaplama tekniği (spin coater) kullanıldı. Şekil 7.3'de bir spin coater görülmektedir. Sırasıyla dönel kaplama cihazına konulan örneklerin üzerine sıvı halde bulunan PEDOT:PSS şırınga yardımıyla damlatıldı ve spin coater

alıştırıldı. PEDOT-PSS, ITO kaplı camlara dönel kaplama yöntemiyle 2000 rpm’de 3 kez kaplandı.



Şekil 7.3 Spin coater (soldaki cihaz) ve ultrasonik banyo (sağdaki cihaz) aygıtları.

7.2.2 Tiyol ve Sıvı Kristal İçeren Güneş Gözelerinin Hazırlanması

10 mg P3HT ve 12.5 mg PCBM 1 ml toluen içerisine katılmıştır. Bu zelti, 70°’de manyetik karıştırmacıda karıştırılarak bir gece beklenerek hazırlanmıştır. Bu zelti referans çözelti olarak kabul edilmiştir. %3 oranında oktantiyol, oktanditiyol, pentantiyol, pentanditiyol ve hekzanditiyoller farklı 10 mg P3HT ve 12.5 mg PCBM içeren 1 ml toluen çözeltisi içerisine karıştırılmıştır. %10 ve %20 oranlarında pentanditiyol farklı 10 mg P3HT ve 12.5 mg PCBM içeren 1 ml toluen çözeltisi içerisine karıştırılmıştır. %10 oranında oktantiyol 10 mg P3HT ve 12.5 mg PCBM içeren 1 ml toluen çözeltisi içerisine karıştırılmıştır. Tiyoller katıldıktan sonra 45-50 dakika manyetik karıştırmacıda karıştırılarak çözelti içerisinde tiyollerin homojen dağılımı sağlanmıştır.

MDMO-PPV içeren çözelti, 3.5 mg MDMO-PPV’nin 7 mg PCBM ile 1 ml toluen katılmasıyla hazırlandı. Bu zelti referans çözelti olarak kabul edildi. %3 oranında oktantiyol ve pentanditiyol 3.5 mg MDMO-PPV ve 7 mg PCBM içeren çözelti içerisine katılarak ve 45-50 dakika manyetik karıştırmacıda karıştırılarak tiyollerin çözelti içerisinde homojen dağılması sağlandı.

Sıvı kristal içeren organik güneş gözelerinde ise 10 mg P3HT, 12.5 mg PCBM ile 1 ml klorobenzen çözücüsü içerisinde karıştırıldı. Bu çözelti, sıvı kristal organik güneş gözeleri için referans çözelti kabul edildi. 0.5 mg, 1 mg ve 5 mg BB1 sıvı kristali farklı 10 mg P3HT ve 12.5 mg PCBM içeren 1 ml klorobenzen çözeltisi içerisine katıldı ve bir gece manyetik karıştırıcıda bekletildi.



Şekil 7.4 Manyetik karıştırıcı.

Sırasıyla dönel kaplama cihazına konulan örneklerin üzerine sıvı halde bulunan çözeltiler pipet yardımıyla damlatıldı ve spin coater çalıştırıldı. Çözeltiler, PEDOT:PSS kaplı ITO camlara dönel kaplama yöntemiyle 2000 rpm’de 1 kez kaplandı.

7.2.3 Metal Buharlaştırılması

Kontakların oluşturulması aşamasında termal metal buharlaştırma sistemi kullanılarak 100 nm alüminyum buharlaştırılarak kontaklar kuruldu.



şekil 7.5 Termal metal buharlaştırma aleti.

7.2.4 Akım-Gerilim Karakterizasyonu

Akım gerilim karakterizasyonu için solar simülatör, Keithley cihazı ve bilgisayardan veri alabilmek için uyumlu olan bir yazılım programı kullanılmaktadır. Solar simülatör, standart

koşulları simüle eden (hava kütlesi 1.5, 1000 W/m^2) bir aygıttır. Dünyanın farklı yerlerinde farklı gruplar organik güneş gözelerinin verimini ölçmektedir. Tutarlı sonuçlar elde edebilmesi için güç dönüşüm verimini hesaplamada kullanılan parametrelerin ölçümü yapılırken standart şartlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu şartlara göre hazırlanan güneş gözesini karakterize ederken ortam sıcaklığı oda şartlarında 25°C olmalıdır. Göze üzerine vuran ışığın şiddeti 100 mW/cm^2 ya da 1000 W/m^2 olmalıdır ve ışığın spektral dağılımı 1.5 hava kütlesi (AM) değerinde olmalıdır. Hava Kütlesi (AM), güneş ışınlarının atmosferden geçerken aldığı yola eşittir. 1,5 AM hava kütlesi spektral dağılımı, standart test şartı olarak belirlenmiştir ve güneş ışınları $\theta=48.2^\circ$ açıyla gelirken sahip oldukları spektral güç dağılımıdır (Zafer, 2006). Bu çalışmada standart koşullar gözetilerek ölçüm alınmıştır.

Keithley cihazı, bilgisayarda yüklü olan yazılımlar aracılığıyla kontrolü sağlanan ve incelenen örneğe ait karakteristik bilgileri oluşturan bir aygıttır.

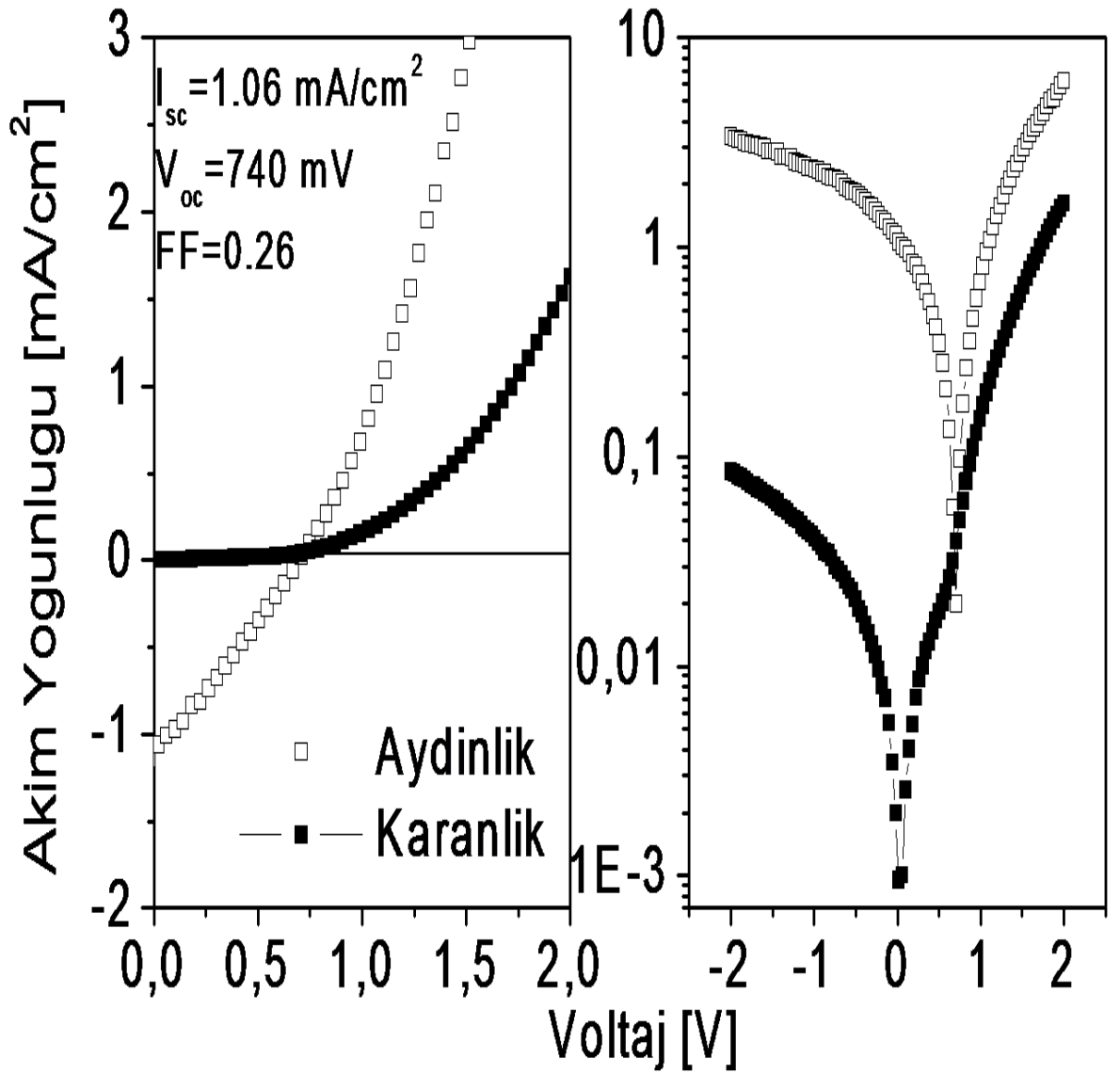


Şekil 7.6 Akım-gerilim karakterizasyonu için Keithley cihazı (yuvarlak içine alınmış olan cihaz). En sağdaki parlak görünen solar simülatördür.

7.3 Sonuçlar

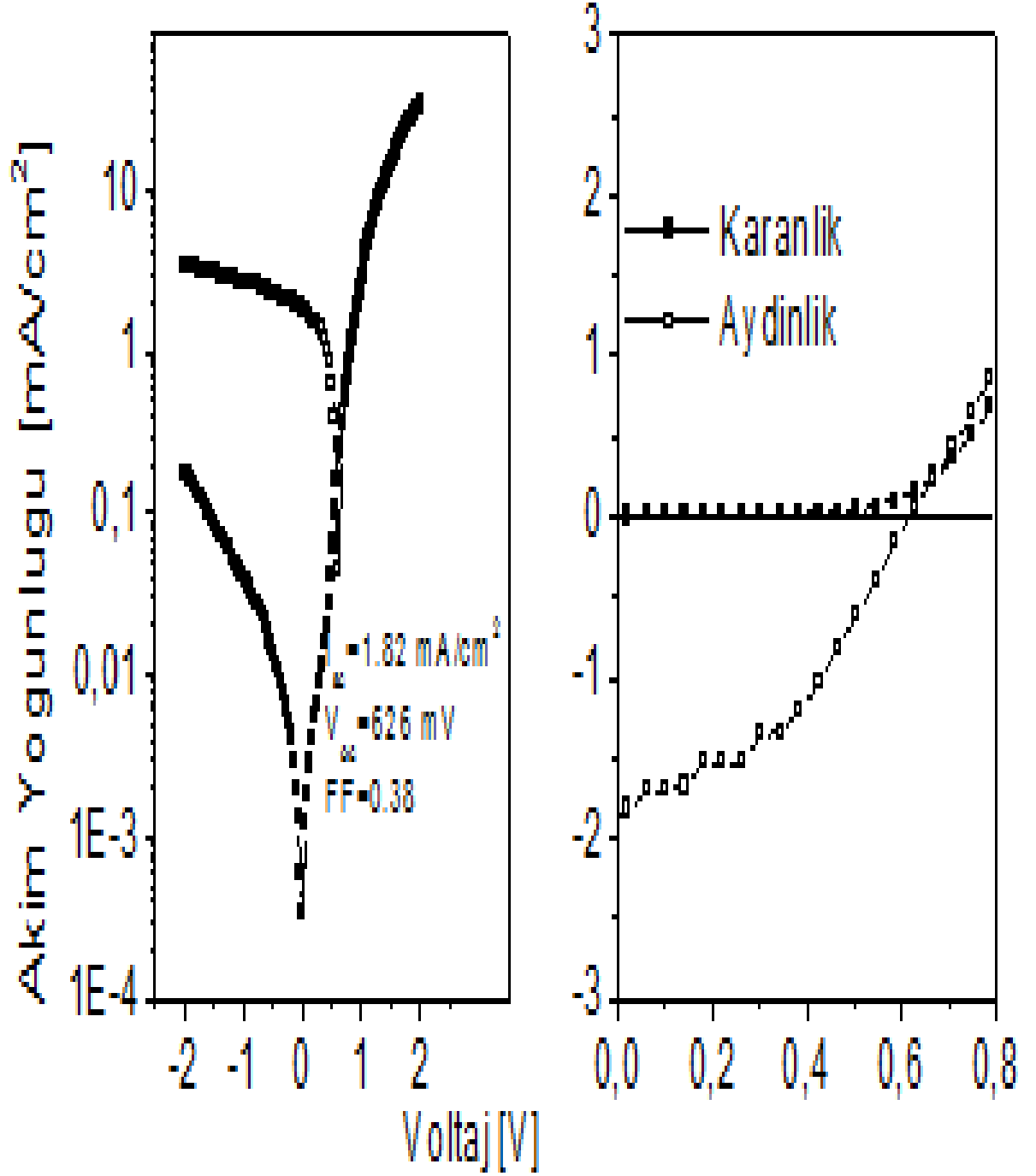
7.3.1 Tiyol Türevleri Katkılanarak Üretilen Organik Güneş Gözelerinin Akım-Gerilim Karakterizasyonu

Şekil 7.7, referans çözelti kullanılarak hazırlanan organik güneş gözesinin lineer ve yarı logaritmik ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. Bu güneş gözesi için kısa devre akım yoğunluğu $J_{sc}=1,06 \text{ mA/cm}^2$, açık devre gerilimi $V_{oc}=740 \text{ mV}$, dolgu faktörü $FF=0,26$ olarak ölçülmüş ve güç dönüşüm verimi $\eta=\%0,2$ olarak hesaplanmıştır.



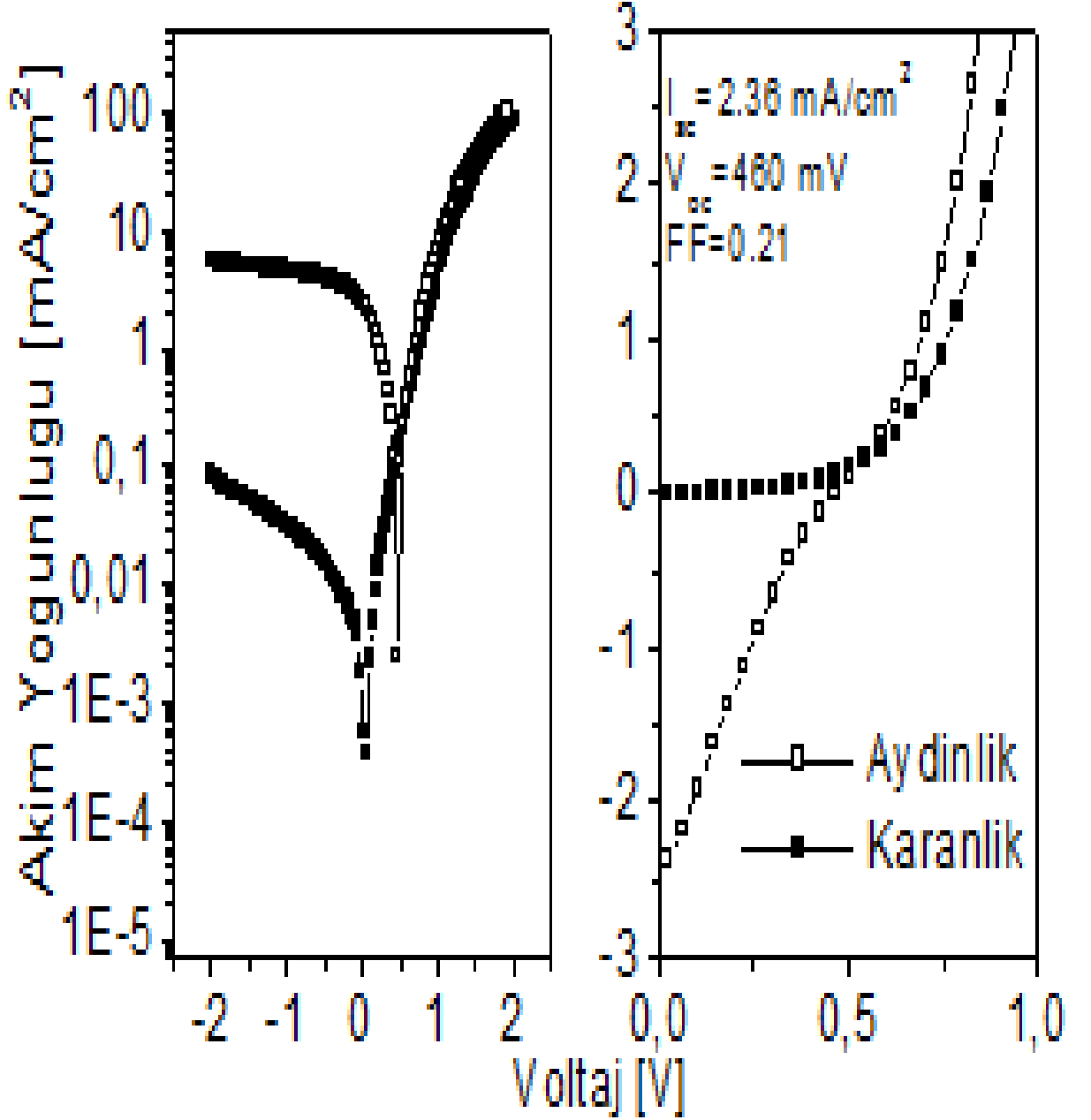
Şekil 7.7 Referans güneş gözesinin lineer ve yarı logaritmik ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.8, hacimce %3 oranında pentantiyol içeren organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim grafiğini göstermektedir. %3 oranında pentantiyol içeren organik güneş gözesi için $J_{sc}=1,82 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=626 \text{ mV}$ ve $FF=0,38$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=\%0,43$ olarak hesaplanmıştır.



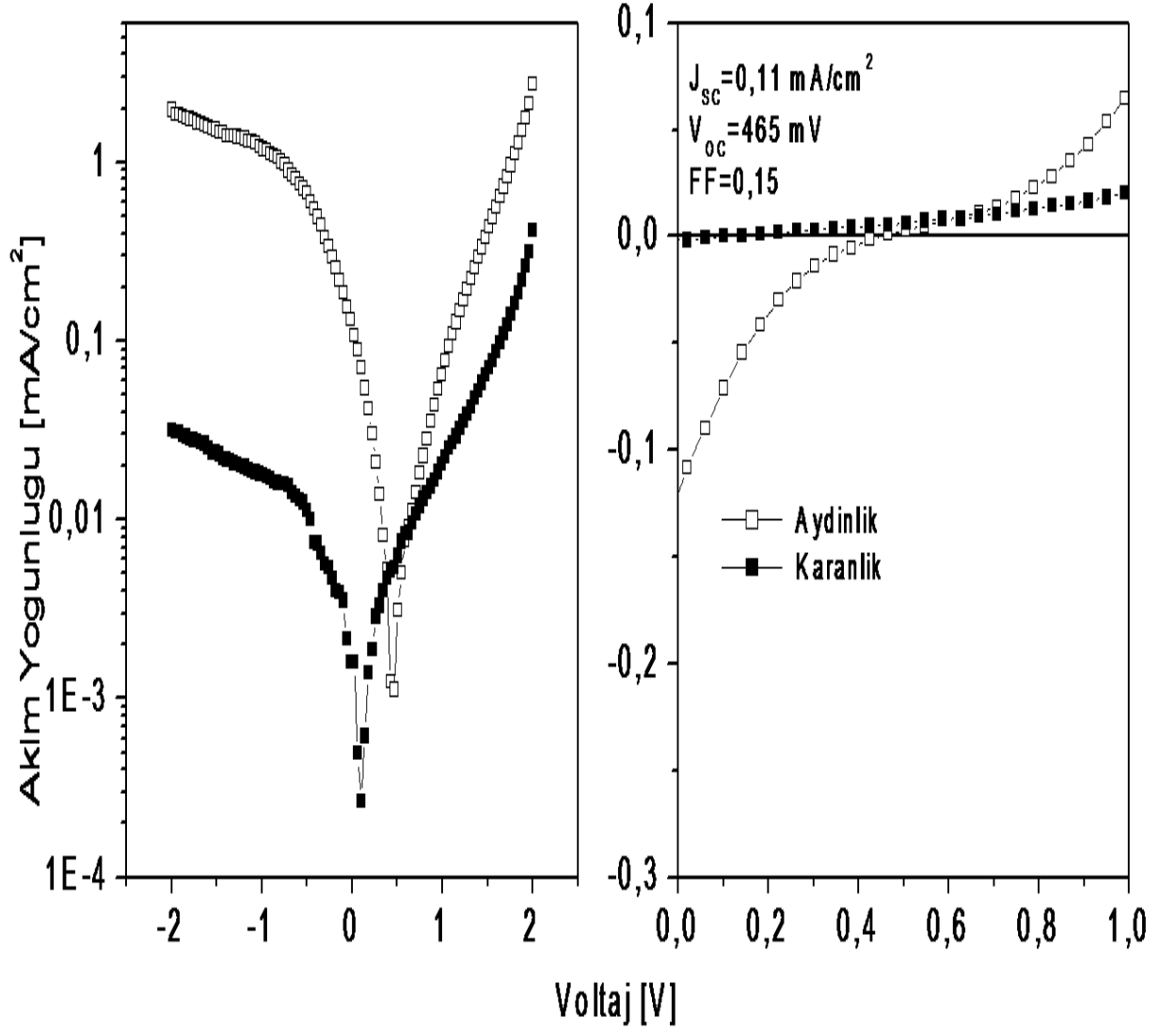
Şekil 7.8 Hacimce %3 oranında pentantiyol içeren organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.9, hacimce %3 oranında oktantiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim karakterizasyonunu göstermektedir. Hacimce %3 oranında oktantiyol katkılanarak hazırlanan organik güneş gözesi için $J_{sc}=2,36 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=460 \text{ mV}$, $FF=0,21$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=\%0,23$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.9 Hacimce %3 oranında oktantiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.10, hacimce %10 oranında oktantiyol katkılanarak hazırlanan organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. Hacimce %10 oranında oktantiyol katkılanarak hazırlanan çözeltiden üretilen organik güneş gözesi için $J_{sc}=0,11 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=465 \text{ mV}$, $FF=0,15$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=\%0,008$ olarak hesaplanmıştır.

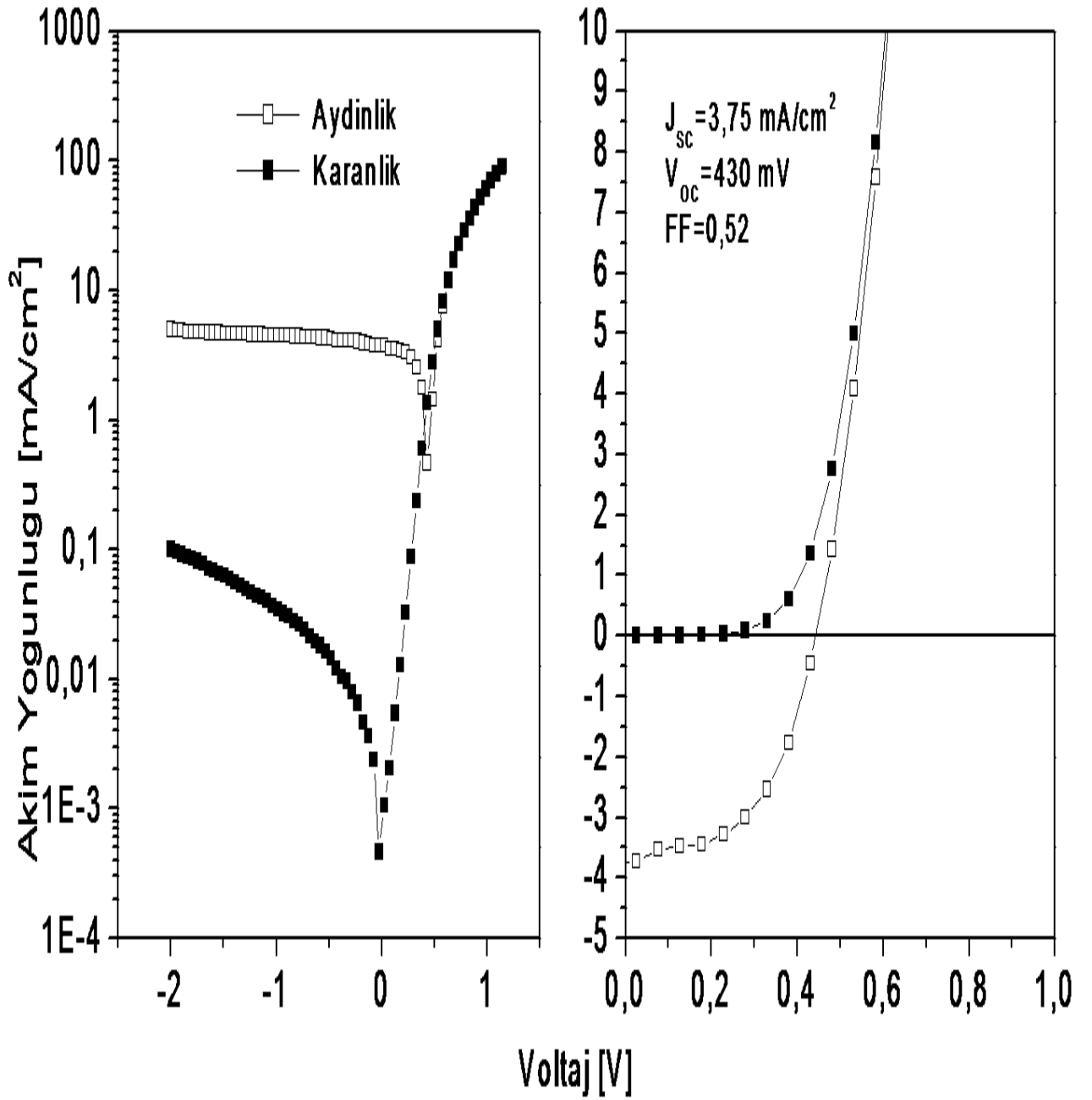


Şekil 7.10 Hacimce %10 oranında oktantiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.7, 7.8, 7.9 ve 7.10 kıyaslandığında %3 oranında katkılanan pentantiyolün referans güneş gözesinin verimini yaklaşık olarak 2 kat arttırdığı, oktantiyolün verimi çok fazla değiştirmemesine rağmen, az da olsa iyileştirdiği gözlenmiştir. Oktantiyol miktarının artırılması verimi kötüleştirmiştir.

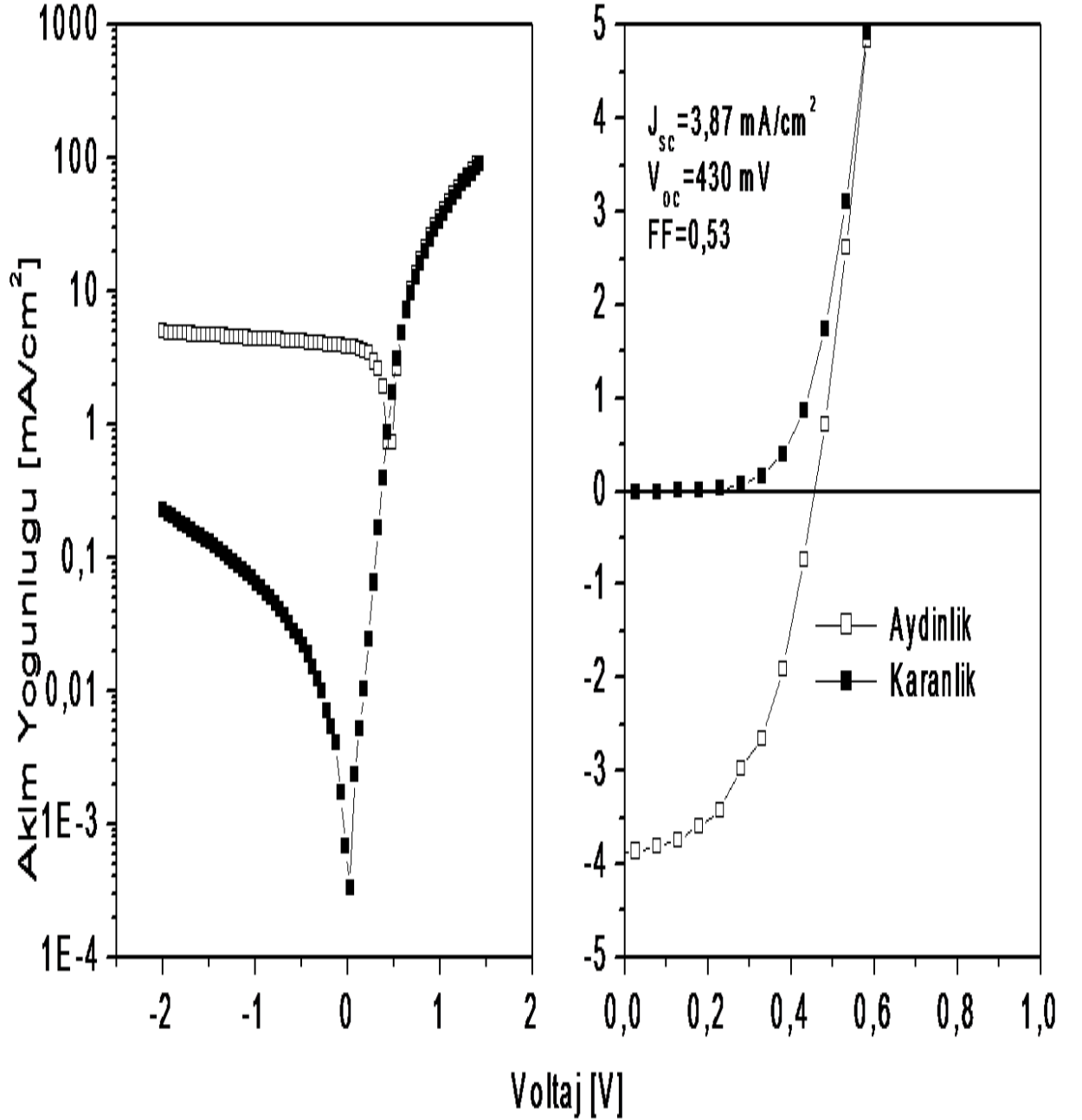
Ditiyol gruplarının verime etkilerini incelemek üzere, farklı oranlardaki pentanditiyol, hekzanditiyol ve oktanditiyol incelenmiştir.

Şekil 7.11, hacimce %3 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. Hacimce %3 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesi için $J_{sc}=3,75 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=430 \text{ mV}$, $FF=0,52$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=\%0,84$ olarak hesaplanmıştır.



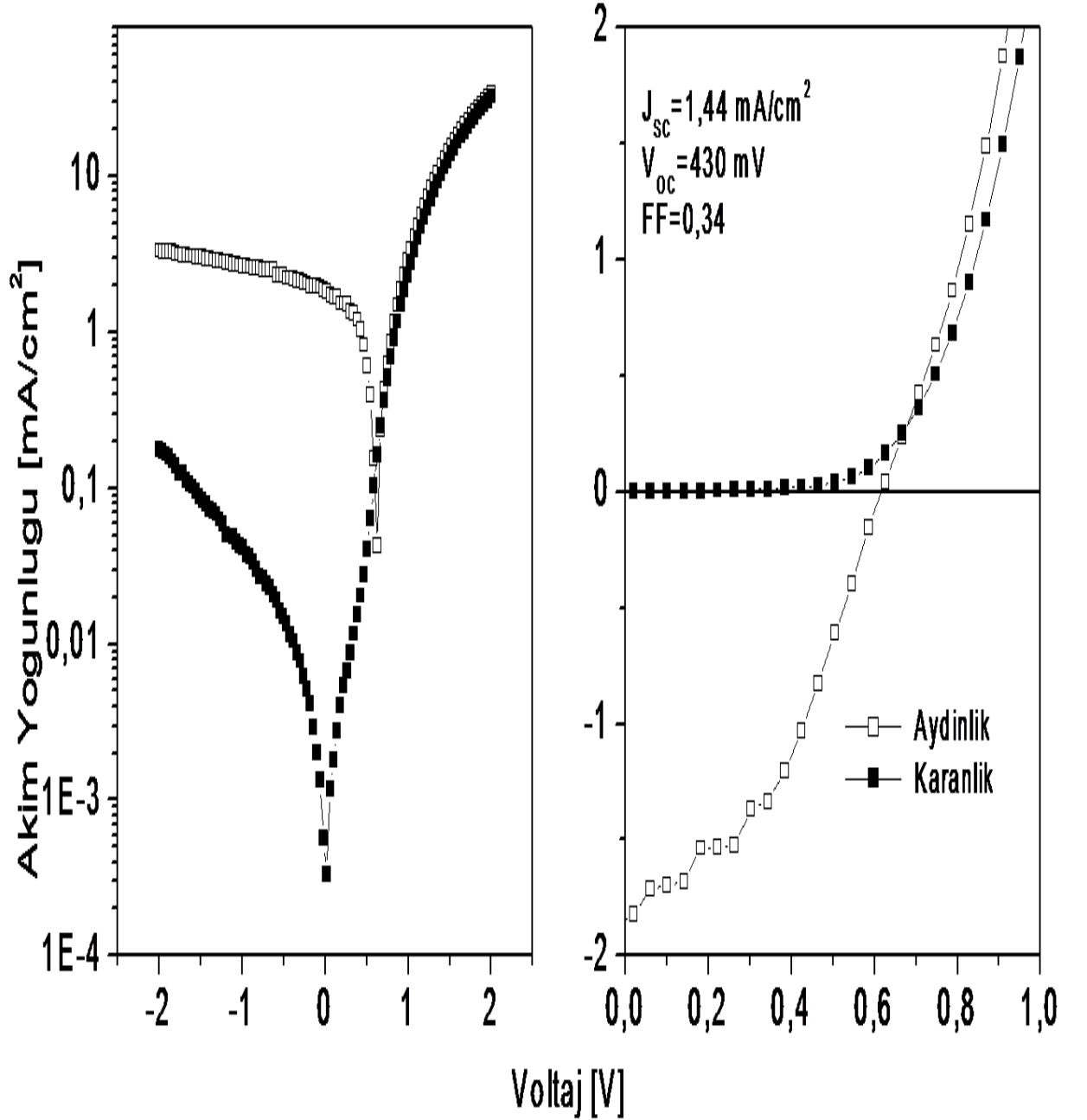
Şekil 7.11 Hacimce %3 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.12, hacimce %10 oranında pentanditiyol katkılanarak organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. Hacimce %10 oranında pentanditiyol katkılanarak güneş gözesi için $J_{sc}=3,87 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=430 \text{ mV}$, $FF=0,53$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=0,88$ olarak hesaplanmıştır.



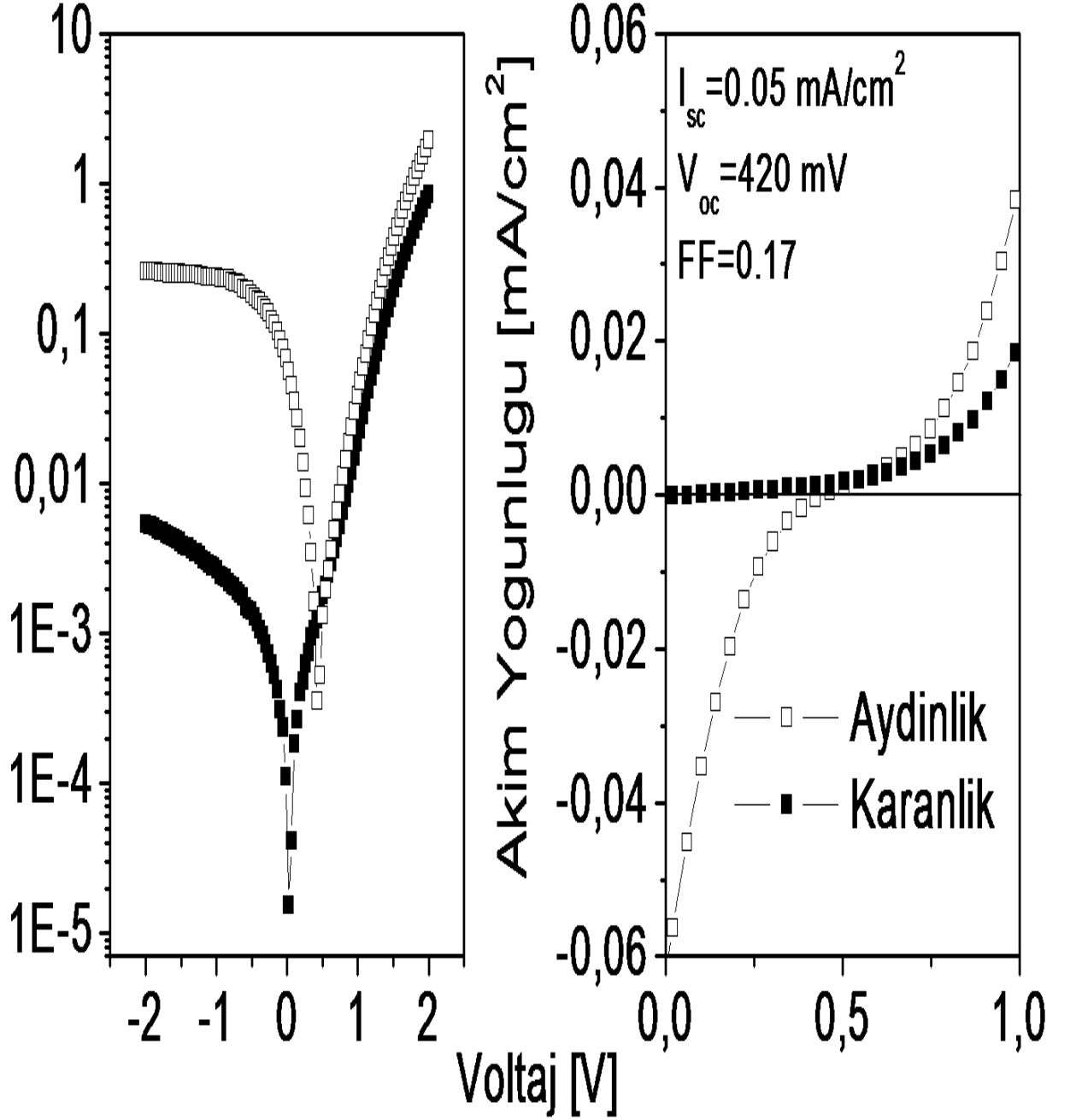
Şekil 7.12 Hacimce %10 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.13, hacimce %20 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. Hacimce %20 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş için $J_{sc}=1,44 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=430 \text{ mV}$, $FF=0,34$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=\%0,21$ olarak hesaplanmıştır.



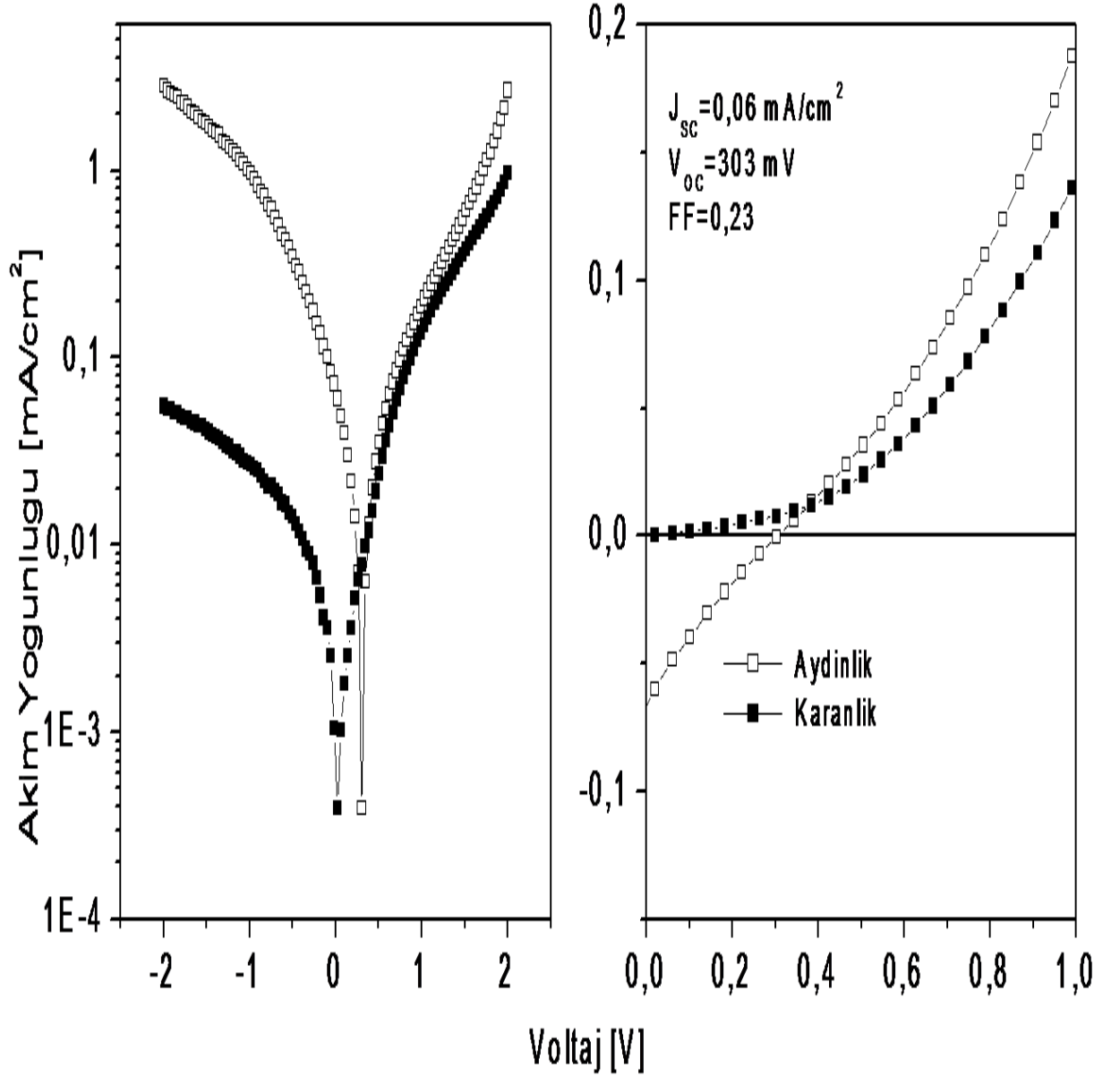
Şekil 7.13 Hacimce %20 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.14, hacimce %3 oranında hekzanditiyol katkılanarak hazırlanan organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. Hacimce %3 oranında hekzanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesi için, $J_{sc}=0,05\text{mA/cm}^2$, $V_{oc}=420\text{ mV}$, $FF=0,17$ olarak ölçölmüş ve verim $\eta=\%0,004$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.14 Hacimce %3 oranında hekzanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.15, hacimce %3 oranında oktanditiyol katkılanarak hazırlanan organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini vermektedir. Hacimce %3 oranında oktanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesi için $J_{sc}=0,06 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=303 \text{ mV}$, $FF=0,23$ olarak ölçölmüş ve verim $\eta=\%0,0042$ olarak hesaplanmıştır.

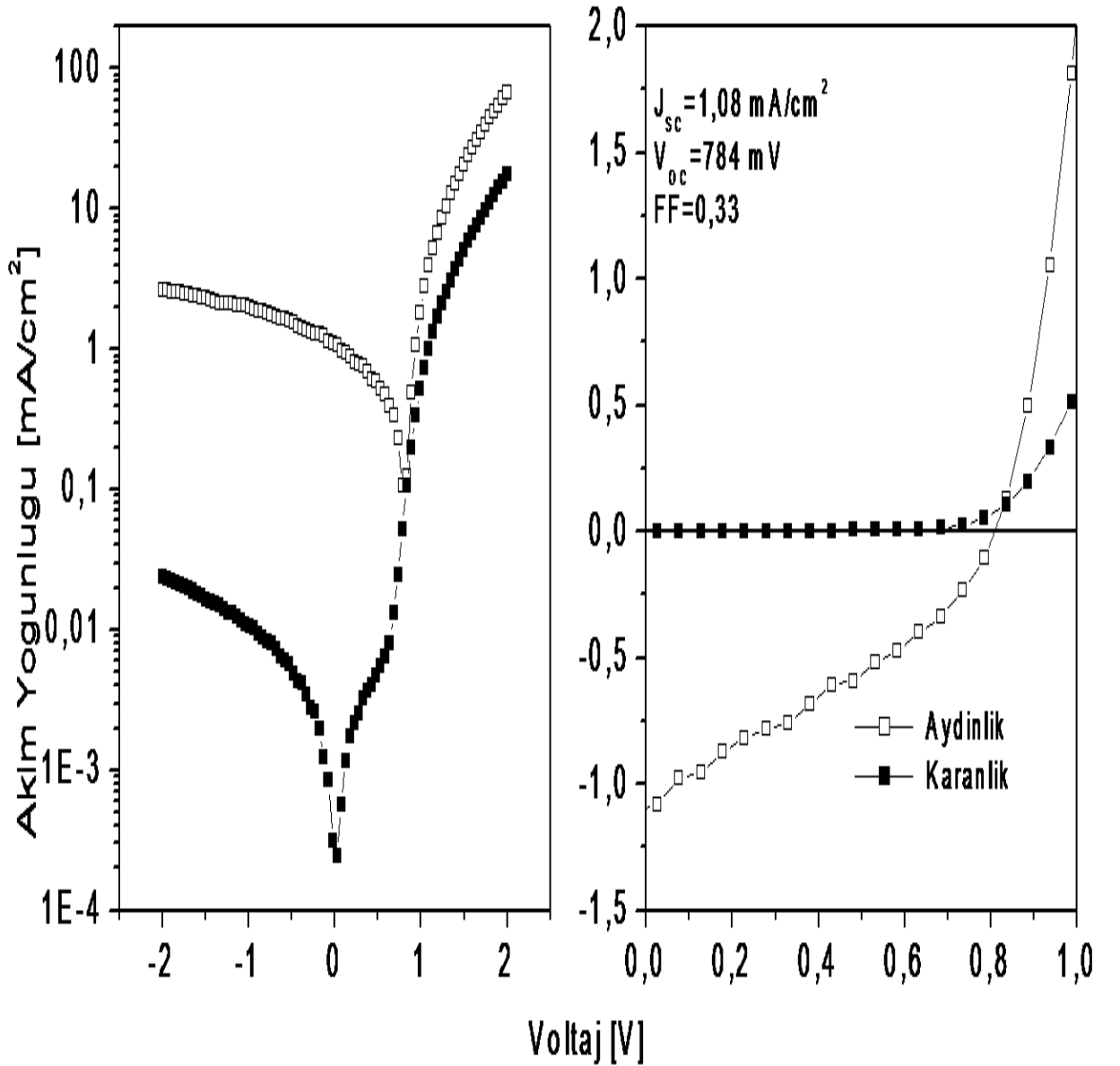


Şekil 7.15 Hacimce %3 oranında oktanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.11, 7.12, 7.13, 7.14 ve 7.15 kıyaslandığında ditiyol içeren gruplar arasında en iyi sonucun hacimce %10 oranında pentanditiyol kullanıldığında elde edildiği gözlenmiştir.

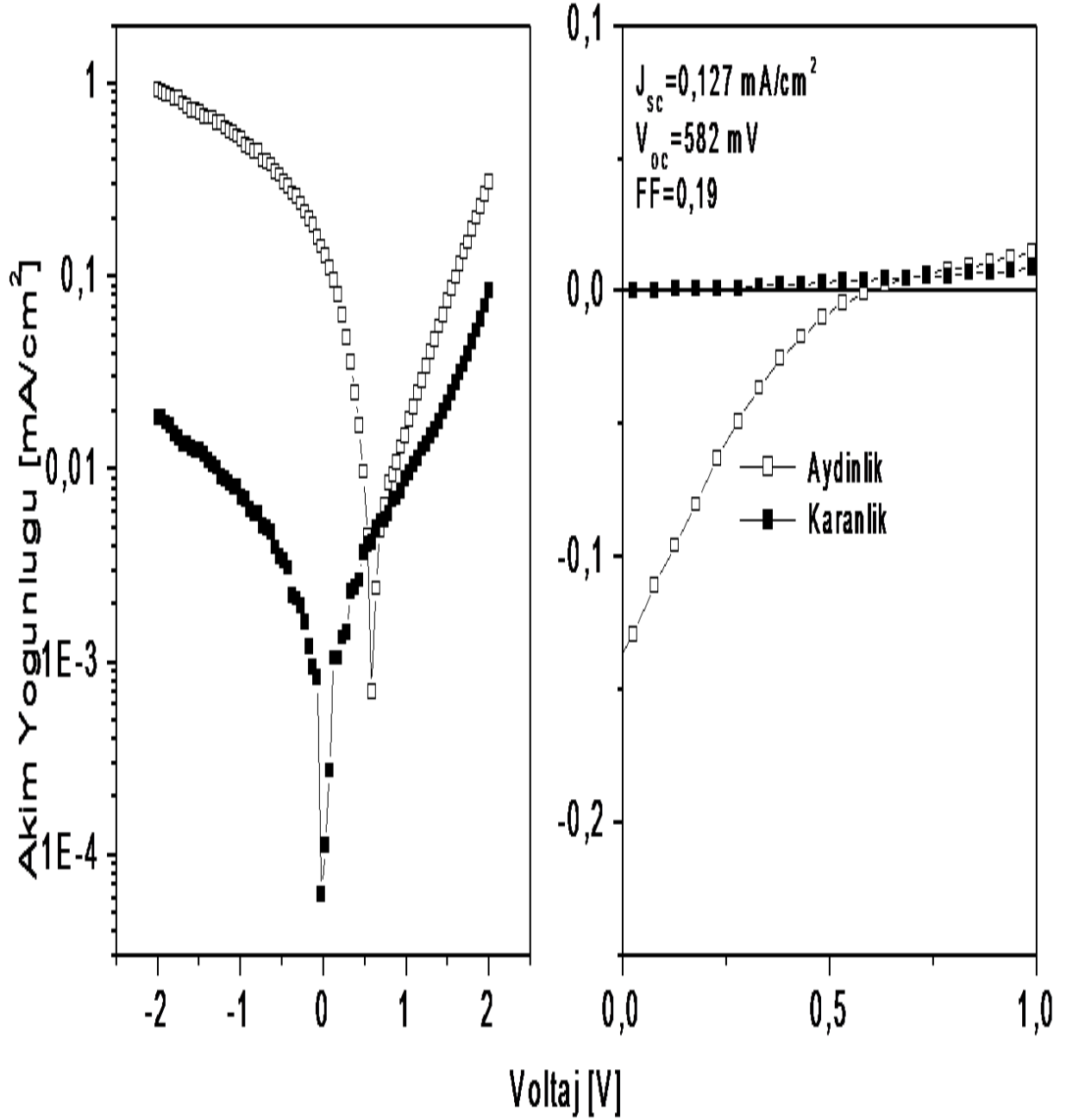
Farklı polimer ve PCBM içeren organik güneş gözelerine tiyol gruplarının etkisini incelemek üzere MDMO-PPV ve PCBM içeren organik güneş gözeleri hazırlanmıştır.

Şekil 7.16, sadece MDMO-PPV:PCBM içeren (referans) güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. MDMO-PPV:PCBM referans güneş gözesi için $J_{sc}=1,08 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=784 \text{ mV}$, $FF=0,33$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=\%0,28$ olarak hesaplanmıştır.



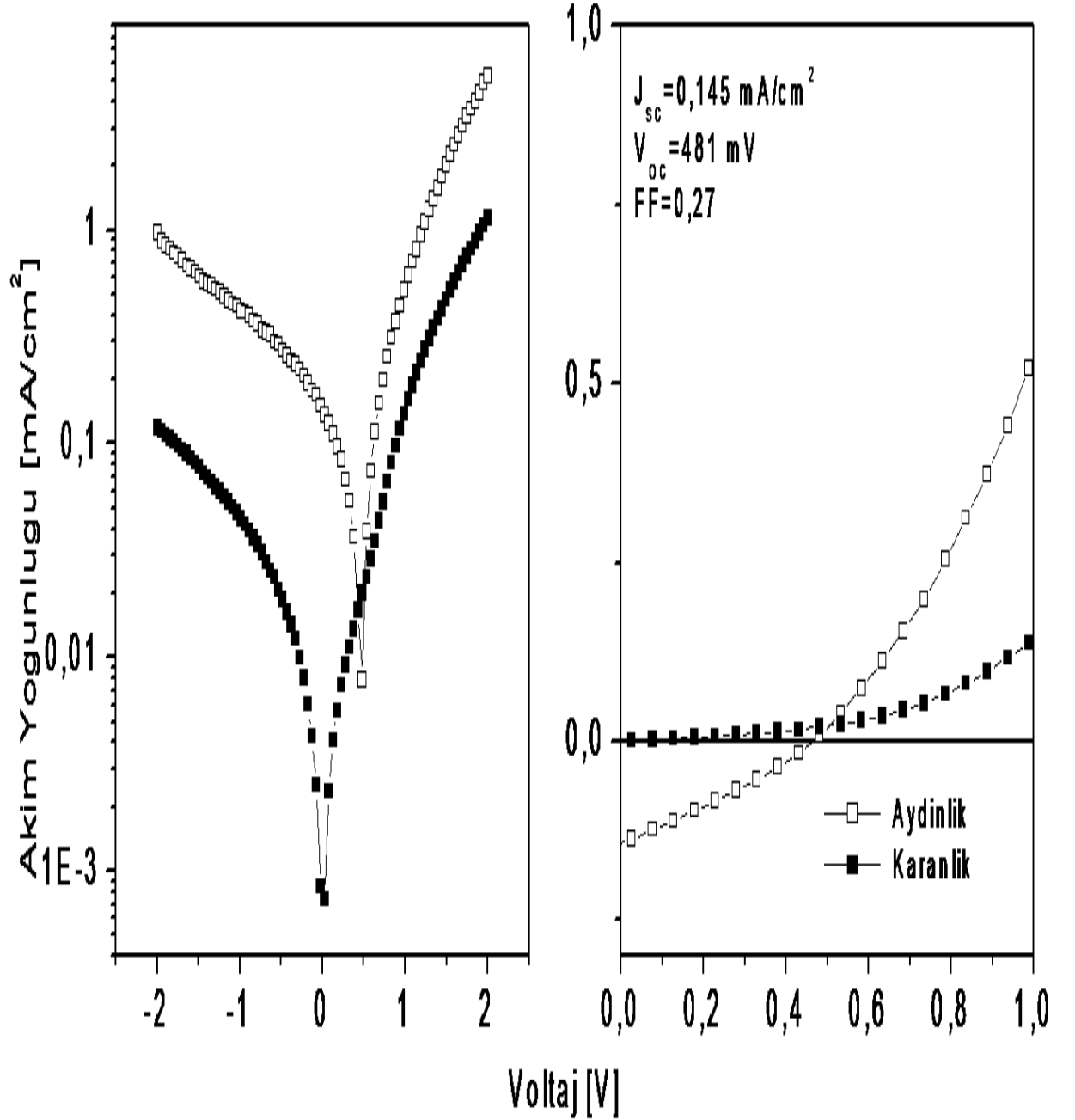
Şekil 7.16 MDMO-PPV:PCBM referans güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.17, hacimce %3 oranında oktantiyol katkılanarak hazırlanan organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. Hacimce %3 oranında oktantiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesi için $J_{sc}=0,127 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=582 \text{ mV}$, $FF=0,19$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=\%0,014$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.17 Hacimce %3 oranında oktantiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.18, hacimce %3 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. Hacimce %3 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesi için $J_{sc}=0,145 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=481 \text{ mV}$, $FF=0,27$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=0,019$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.18 Hacimce %3 oranında pentanditiyol katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

MDMO-PPV:PCBM içeren organik güneş gözelerinin verimine tiyol ve ditiyol gruplarının olumlu etkisi gözlenmemiştir. Sadece oktantiyol ve pentanditiyol seçilmesinin nedeni, bunların P3HT ve PCBM içeren organik güneş gözelerinde fotovoltaiik özellikleri iyileştirdiklerinden dolayıdır.

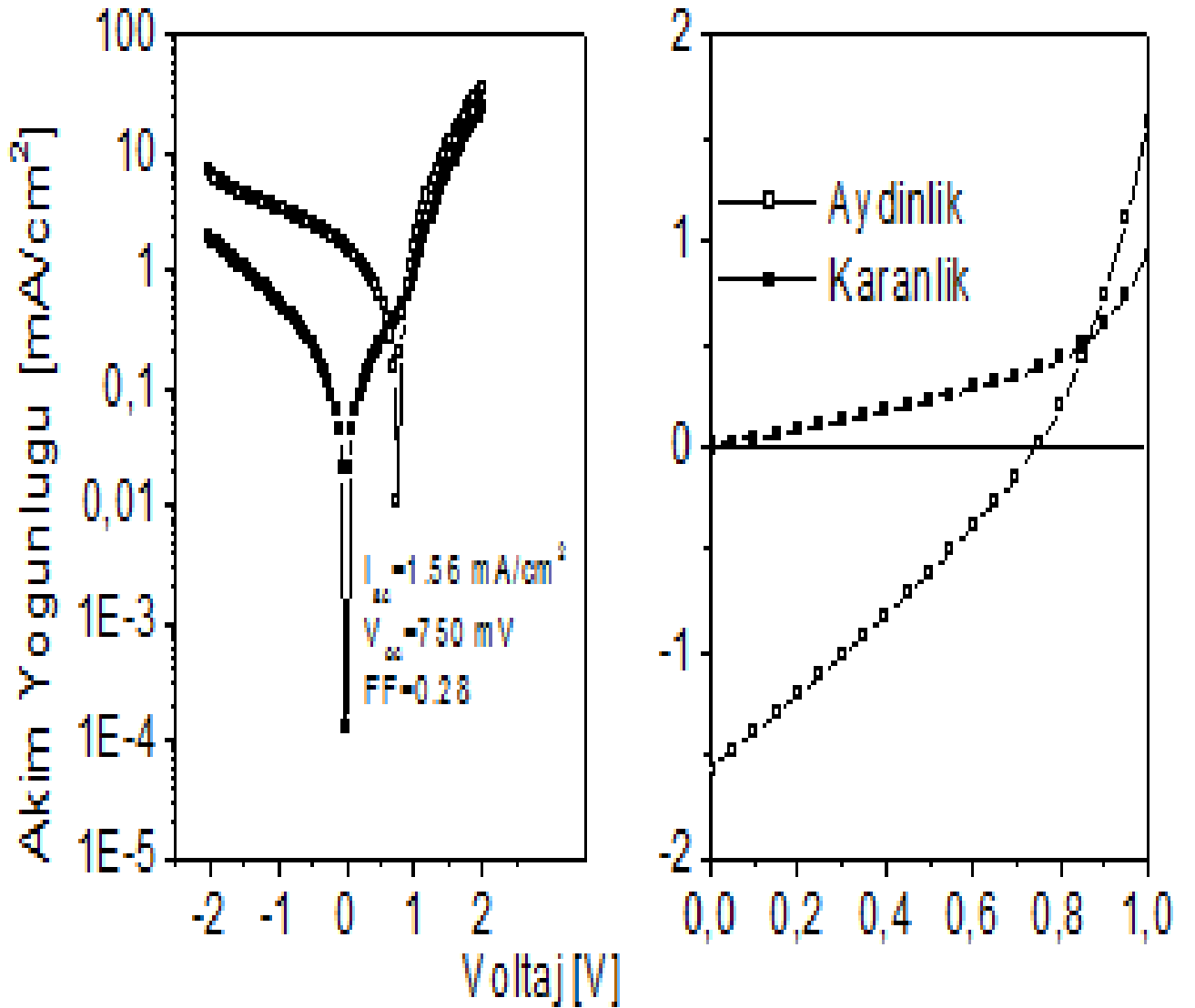
Çizelge 7.2 Tiyol ve ditiyol katkılanarak üretilen organik güneş gözelerine ait önemli parametrelerin sayısal değerleri.

	V_{oc} (mV)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (verim)
Referans (P3HT:PCBM)	740	1,06	0,26	%0,2
Hacimce %3 oranında Oktantiyol (P3HT:PCBM)	460	2,36	0,21	%0,23
Hacimce %10 oranında Oktantiyol (P3HT:PCBM)	465	0,11	0,15	%0,008
Hacimce %3 oranında Pentantiyol (P3HT:PCBM)	626	1,82	0,38	%0,43
Hacimce %3 oranında Pentanditiyol (P3HT:PCBM)	430	3,75	0,52	%0,84
Hacimce %10 oranında Pentanditiyol (P3HT:PCBM)	430	3,87	0,53	%0,88
Hacimce %20 oranında Pentanditiyol (P3HT:PCBM)	430	1,44	0,34	%0,21
Hacimce %3 oranında Hekzanditiyol (P3HT:PCBM)	420	0,05	0,17	%0,004
Hacimce %3 oranında Oktanditiyol (P3HT:PCBM)	303	0,06	0,23	%0,0042
Referans (MDMO-PPV:PCBM)	784	1,08	0,33	%0,28
Hacimce %3 oranında Oktantiyol (MDMO-PPV:PCBM)	582	0,127	0,19	%0,014
Hacimce %3 oranında Pentanditiyol (MDMO- PPV:PCBM)	481	0,145	0,27	%0,019

7.3.2 “BB1” Sıvı Kristali Katkılanarak Üretilen Organik Güneş Gözeleri

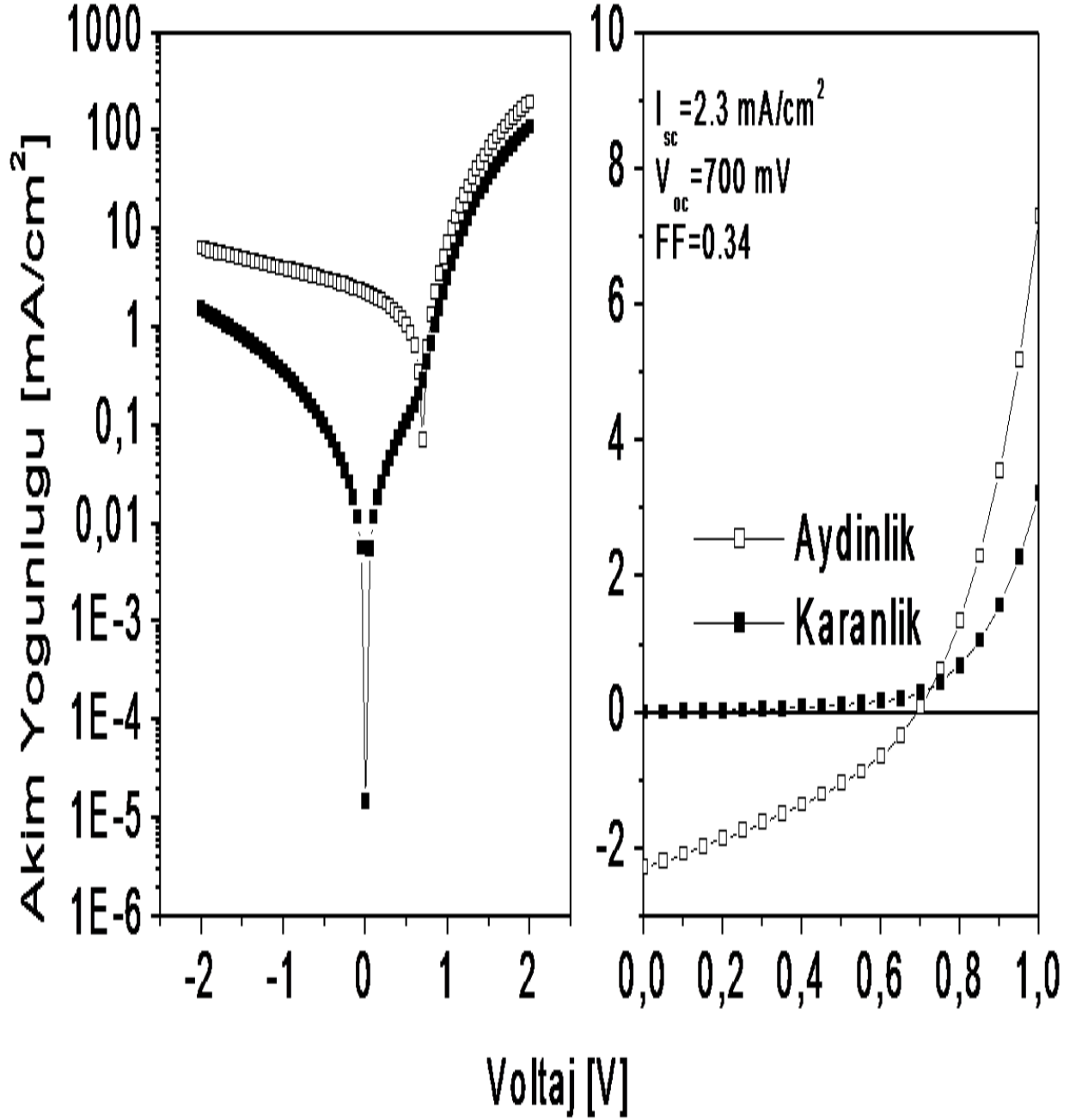
7.3.2.1 Akım-Gerilim Karakterizasyonu

Şekil 7.19, klorobenzen çözücüsü kullanılarak hazırlanan P3HT:PCBM organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. Bu güneş gözesi sıvı kristal içeren organik güneş gözeleri için referans olarak kabul edilmiştir. Referans güneş gözesi için $J_{sc}=1,56 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=750 \text{ mV}$ ve $FF=0,28$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=\%0,33$ olarak hesaplanmıştır.



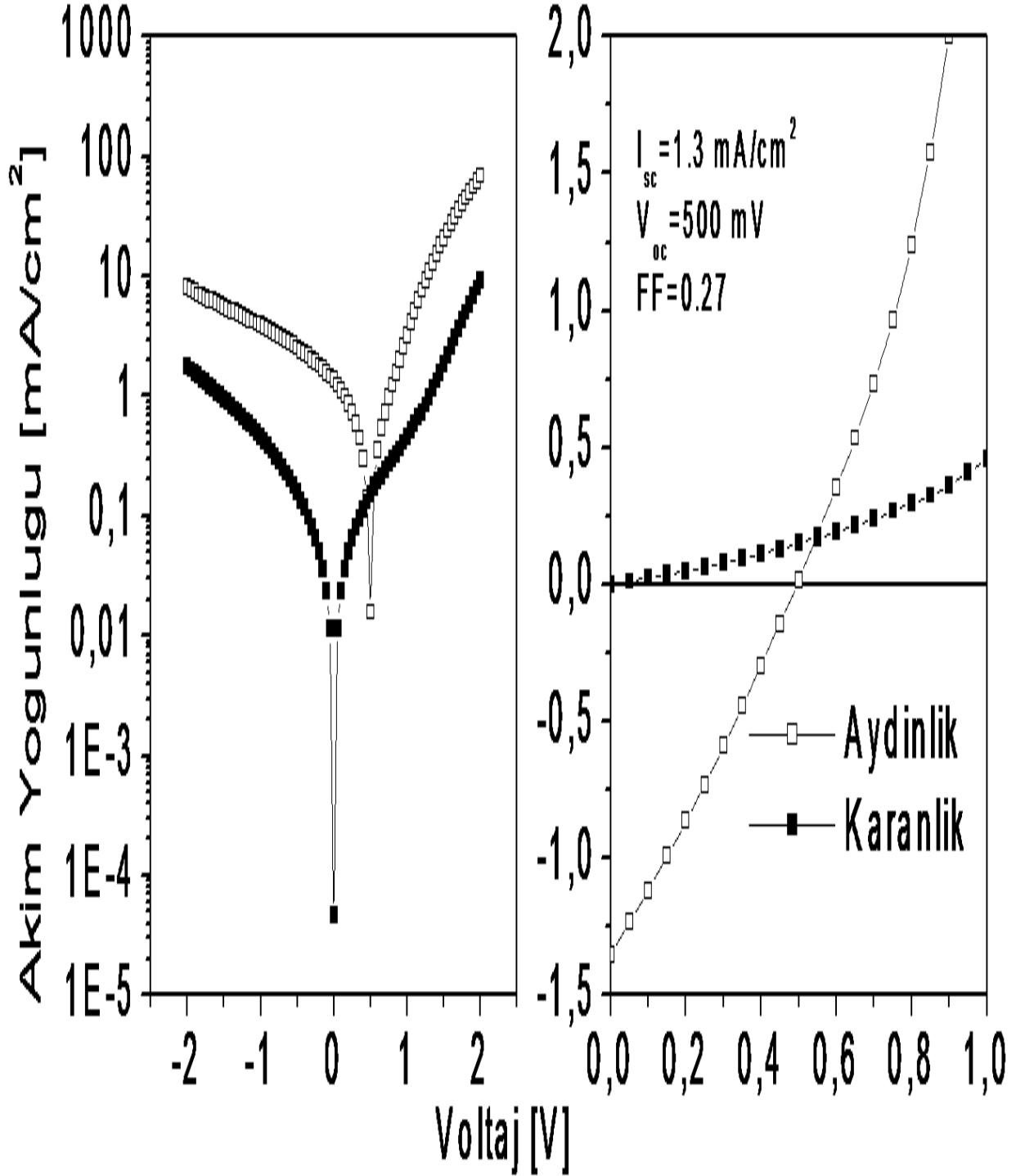
Şekil 7.19 Klorobenzen çözücüsü kullanılarak hazırlanan P3HT:PCBM organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.20, 0,5 mg BB1 sıvı kristali katkıları ile hazırlanan organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. Bu güneş gözesi için $J_{sc}=2,3 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=700 \text{ mV}$, $FF=0,34$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=\%0,55$ olarak hesaplanmıştır.



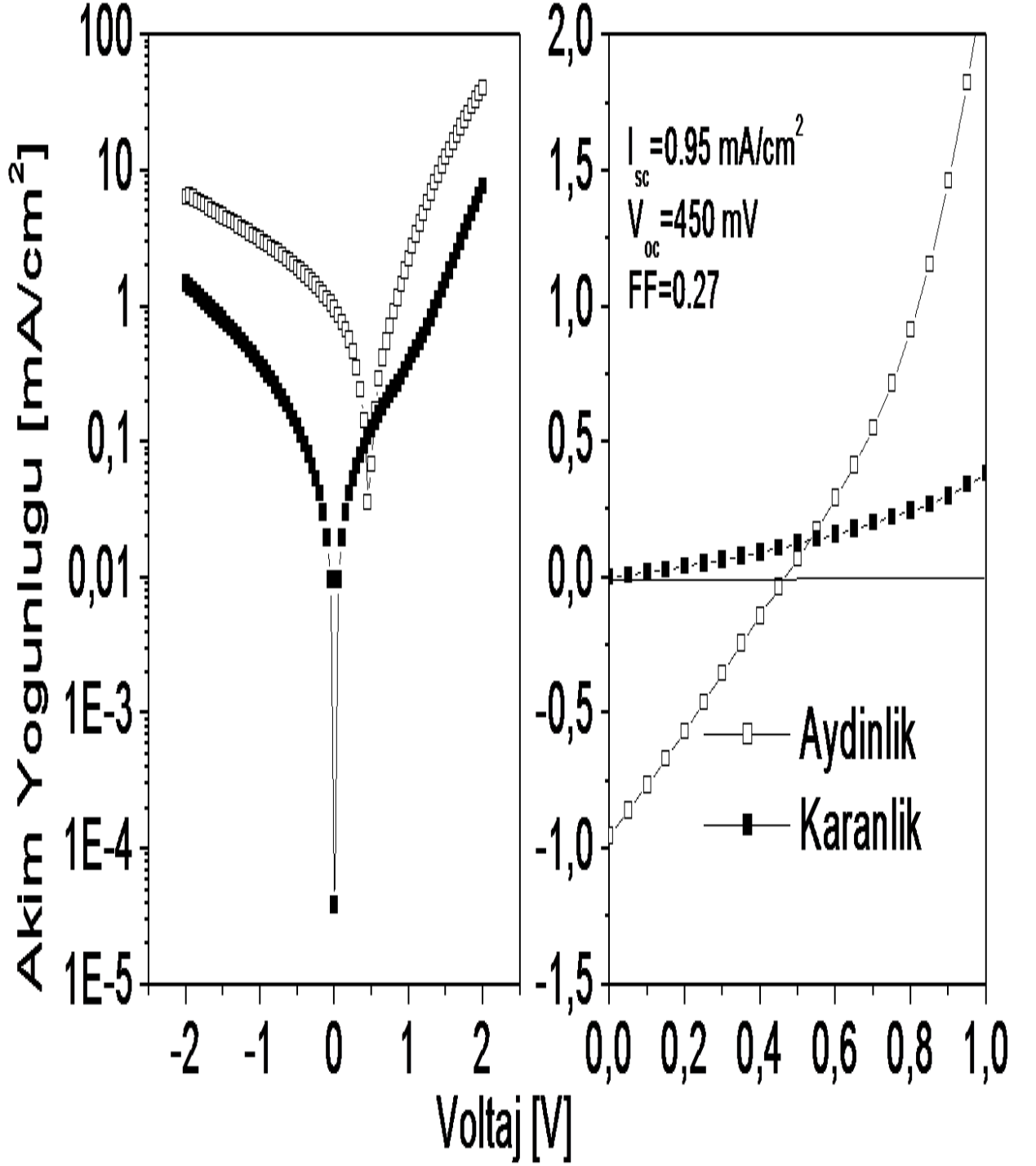
Şekil 7.20 0,5 mg BB1 sıvı kristali katkıları ile hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.21, 1 mg BB1 sıvı kristali katkılanarak hazırlanan organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. Bu tür göze için $J_{sc}=1,3$ mA/cm², $V_{oc}=500$ mV, $FF=0,27$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=\%0,18$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.21 1 mg BB1 sıvı kristali katkılanarak hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Şekil 7.22, 5 mg BB1 sıvı kristali katkıları ile hazırlanan organik güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisini göstermektedir. Bu tür göze için, $J_{sc}=0,95$ mA/cm², $V_{oc}=450$ mV, $FF=0,27$ olarak ölçülmüş ve verim $\eta=\%0,12$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7.22 5 mg BB1 sıvı kristali katkıları ile hazırlanan güneş gözesinin yarı logaritmik ve lineer ölçekte akım-gerilim eğrisi.

Çizelge 7.3 “BB1” sıvı kristali katkılanarak üretilen organik güneş gözelerine ait önemli parametrelerin sayısal değerleri.

	$J_{sc} (mA/cm^2)$	$V_{oc} (mV)$	FF	$\eta(\text{verim})$
REFERANS P3HT:PCBM	1,56	750	0,28	%0,33
0,5 mg BB1 katkılanmış P3HT:PCBM	2,3	700	0,34	%0,55
1 mg BB1 katkılanmış P3HT:PCBM	1,3	500	0,27	%0,18
5 mg BB1 katkılanmış P3HT:PCBM	0,95	450	0,27	%0,12

7.3.2.2 “BB1” Sıvı Kristali Katkılanarak Üretilen Organik Güneş Gözelerinin Yüzey Morfolojisi

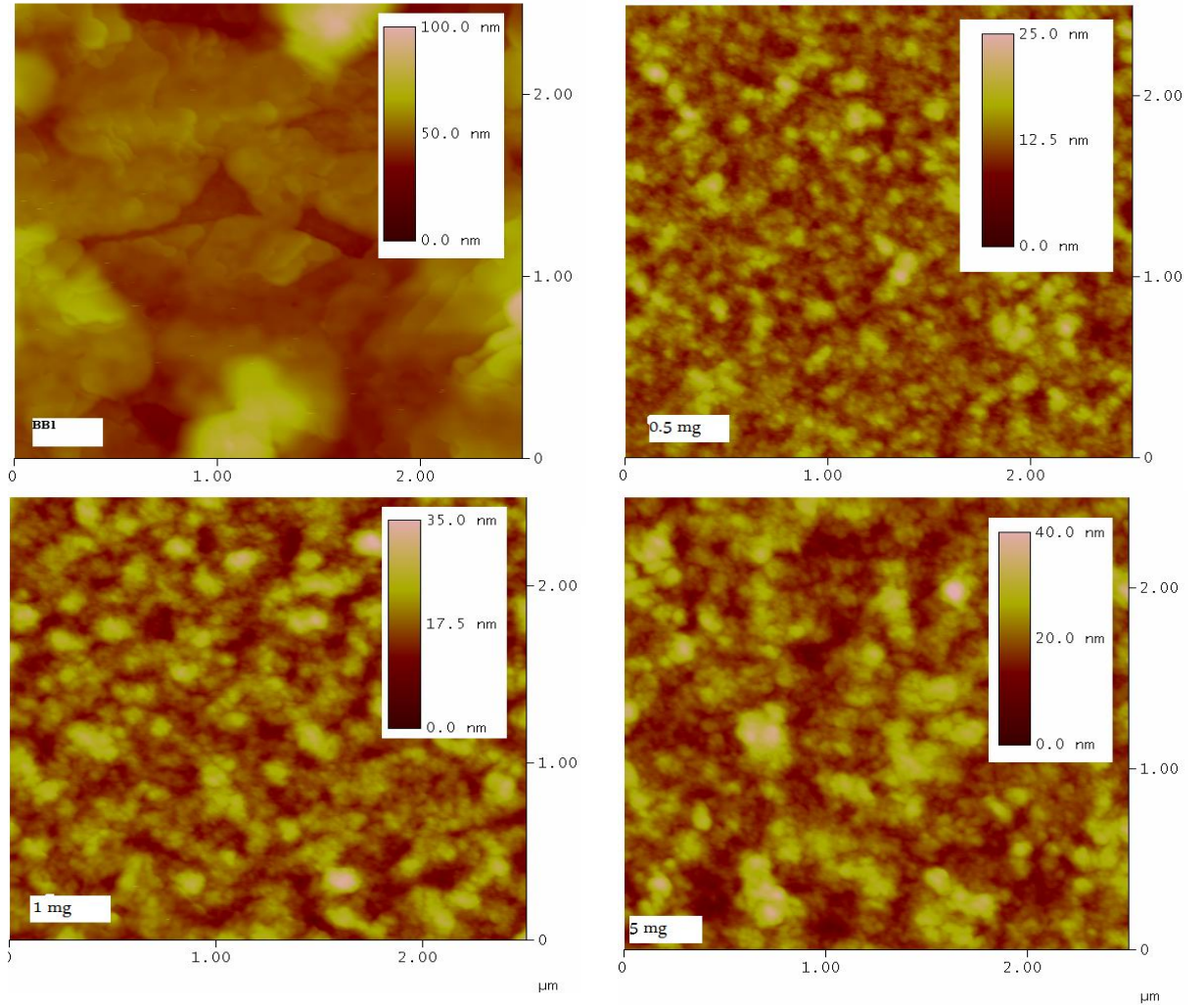
Hacim heteroeklemi yöntemi, biri donör (genellikle konjuge polimer) diğeri ise akseptör olan iki organik malzemeden oluşmaktadır. Donör ve akseptör malzeme ideal elektronik ilişkiye sahip olsa bile hacim heteroeklem devre yapısına sahip organik güneş gözelerinin performansı donör ve akseptör bileşenlerinin fiziksel etkileşimine bağlı olmaktadır. Bu fiziksel etkileşimi, morfoloji belirlemektedir. Aktif tabakanın morfolojisi polimer ve fulleren özelliklerine bağlıdır. Morfoloji; iki bileşenin birbirileri ile karışabilirliğine, devre üretimi ile ilgili etkilere, çözücü türüne, polimer-fulleren konsantrasyonuna, kaplama tekniğine ve termal tavlamaya bağlıdır. Konjuge polimerler ve fulleren türevleri içeren organik güneş gözelerinin verimi, moleküler morfolojiden etkilenmektedir. Polimer zincirlerinin konformasyonu, organik çözücünün seçimine, polimer konsantrasyonuna ve dönel kaplama işleminin dönme hızına bağlıdır. Oluşturulan morfoloji, malzeme ve devre karakteristiklerini önemli ölçüde etkiler. Ölçülen akım ve açık devre gerilimi polimer işlem koşullarına oldukça bağlıdır. Aromatik olmayan çözücüler, aromatik çözücülerin kullanıldığı duruma göre daha düşük akıma neden olabilmektedir ve bu sonuçların farklı olmasının sebebi farklı çözücülerin farklı polimer morfolojisine sahip olmasıdır. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM), yüzey morfolojisini karakterize etmekte en sık kullanılan yöntemlerden biridir (Hoppe ve Sarıçiftçi, 2006).

AFM ile malzeme yüzeyi analizleri yapılmaktadır. AFM'nin en önemli özelliği, alışılmış elektron mikroskopisi tekniklerinde kaçınılmaz olan, özel örnek hazırlanması, vakum v.b. şartlara ihtiyaç duyulmadan, incelenen örnek yüzeyinin moleküler veya atomik seviyede üç boyutlu görüntüsünü verebilmesidir. AFM iğne örnek üzerinde hareket eder ve iğne-örnek

arasındaki itme ve çekme kuvvetlerini (10^{-11} – 10^{-6} newton) ölçer. İğne cantilever denilen yaya tutturulmuştur. Lazer kaynağından çıkan ışınlar cantilever' a gelmektedir ve cantilever' dan yansıyan ışın pozisyona duyarlı fotodetektöre gelir. İki fotodiyotun sinyali arasındaki fark, lazer spotunun pozisyonunu belirler. Bu cantileverin yükseklik bilgisi bilgisayara gönderilip x ve y pozisyonuna karşı kaydedilir. AFM'de 3 boyutlu veri kullanılarak topografik grafik görünüm elde edilir. Atomik kuvvet mikroskopunun genel olarak uygulama alanları; Yüzeylerin topografik görüntüleri oluşturulması, bazı malzemelerin ortamda olup olmadığını anlamaya yardımcı olması ve malzemenin karakteristik özelliği hakkında bilgi toplaması olarak bilinmektedir.

Bu çalışmada, yüzey morfolojik özelliklerinin gözelerin çalışma performansına etkisinin olup olmadığını araştırmak amacıyla hazırlanan piller üzerinde AFM ölçümleri yapılmıştır.

Şekil 7.23 hiç sıvı kristal içermeyen (referans), 0.5 mg, 1 mg ve 5 mg BB1 sıvı kristali içeren P3HT:PCBM filmlerin yüzey morfolojilerini göstermektedir.



Şekil 7.23 Sırasıyla referans, 0,5 mg BB1, 1 mg BB1 ve 5 mg BB1 oranında katkılanan P3HT:PCBM filmlerin AFM resimleri.

Şekil 7.23' de görüldüğü üzere, farklı durumlar için nanomorfolojik yapıda herhangi bir değişiklik gözlenmemektedir. Bu sonuca göre, verimdeki değişimin kaynağında, sıvı kristallerin P3HT:PCBM güneş gözelerinin, morfolojik özelliklerini iyileştirmekten ziyade, mobilitelerini iyileştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Canlı vd., 2010 yılında yaptıkları çalışmada farklı bir sıvı kristal kullandıklarında mobilitenin arttığını gözlemişlerdir (Canlı vd, 2010). Burada da benzer durumun oluştuğu düşünülmektedir.

8. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada farklı tiyol gruplarının ve sıvı kristallerin organik güneş gözelerinin verimine etkileri incelenmiştir. Hem tiyol gruplarının belli oranlarında, hem de sıvı kristallerin belli oranlarında verimin tiyol ve sıvı kristal içermeyen güneş gözelerine (referans güneş gözelerine) kıyasla arttığı gözlenmiştir.

Tiyol türevleri ile elde edilen sonuçlardan, pentanditiyol katkılanarak üretilen güneş gözesinin veriminin referans güneş gözesine kıyasla yaklaşık olarak 4,4 kat artmış olduğu ve pentantiyol katkılanarak üretilen güneş gözesinin veriminin referans güneş gözesine kıyasla yaklaşık olarak 2,15 kat artmış olduğu gözlenmiştir. Oktantiyol katkılanarak hazırlanan organik güneş gözelerinin toplam veriminin çok fazla değişmemesine rağmen akım yoğunluğu (J_{sc}) yaklaşık olarak 2,25 kat artmıştır. Diğer taraftan, hekzanditiyol ve oktanditiyol katkılanarak üretilen güneş gözelerinde verimin azaldığı saptanmıştır.

Fotovoltaik özelliklerin olumlu yönde artmasını sağlayan oktantiyol ve pentanditiyol için konsantrasyonu yükselterek yeni denemeler yapılmıştır. Yapılan bu denemelerde, oktantiyol katkısının konsantrasyonunun yükseltilmesi verimin azalmasına neden olmuştur. Pentanditiyol konsantrasyonunun hacimce %10 oranına yükseltilmesi verimin artmasına, hacimce %20 oranına yükseltilmesi verimin azalmasına neden olmaktadır. Pentanditiyol için optimum konsantrasyon oranı %10 olarak belirlenmiştir.

Farklı bir p tipi malzeme olan MDMO-PPV ile P3HT:PCBM için iyi sonuçların elde edildiği pentanditiyol ve oktantiyol ile denemeler sonucunda, fotovoltaik özelliklerin kötüleştiği gözlenmiştir.

Güncel literatürde, elde edilen yüksek verim P3HT:PCBM karışımını toluene göre daha iyi bir çözücü olan klorobenzen içinde çözerek hazırlanan güneş gözelerinde ulaşılmıştır. Bu çalışmada ise tiyol katkılanarak üretilen güneş gözelerinde toluen çözücüsü kullanılmıştır. Bunun sebebi, tiyollerin toluen içerisinde klorobenzene göre daha iyi dağılması ve klorobenzen çözücüsü kullanıldığında elde edilen filmlere göre çok daha homojen filmler elde edilmesidir.

Güncel literatürde tiyol türevlerinden olan n-alkiltiyol katkılanarak güneş gözesi üretilmiştir. Pivrikas vd. tarafından yapılan çalışmada, n-alkiltiyol katkılanarak üretilen organik güneş gözesinde fotovoltaik performansın ve verimi arttığı gözlenmiştir (Pivrikas vd., 2008). Referans güneş gözesi ve tiyol türevi ile katkılanmış çözelti kullanılarak üretilen güneş gözesi arasında kıyaslama yapıldığında yük taşıyıcı mobilitesinin arttığı, iletkenlik özelliğinin

iyileştiği ve optik soğurma aralığının genişlediği gözlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar da literatür ile uyumludur.

Sıvı kristallerle yapılan çalışmalar, belirli bir sıvı kristal konsantrasyonunun P3HT:PCBM güneş gözelerinin verimini arttırdığı gözlenmiştir. AFM resimleri sıvı kristallerin P3HT:PCBM içerisinde nasıl dağıldığı konusunda net bir bilgi vermemektedir. Nanomorfolojide herhangi bir değişiklik gözlenememesine rağmen fotovoltaiik etkideki iyileşmenin sıvı kristallerin P3HT:PCBM'in yük taşınma özelliklerini iyileştirdiği düşünölmektedir. Bu konuda daha önce yapılan çalışmada da sıvı kristallerin mobilitayı arttırarak fotovoltaiik etkiyi iyileştirdiği gözlenmiştir (Canlı vd., 2010). Benzer bir etkinin bu sıvı kristaller için de geçerli olabileceği düşünölmektedir.

Polimer güneş gözelerinin veriminin %10'a çıkması için teorik bir engel görölmemektedir. Verimin arttırılması için yapılan simölasyon çalışmaları fiziksel özellikleri belirlenmiş yeni malzemelere işaret etmektedir. Yeni malzemenin ortaya çıkmasını beklerken geçen bu süreçte hali hazırda bilinen malzemeler ve parametrelerin uygun bir biçimde değiştirilerek daha iyi sonuçlar elde edilebileceği görölmektedir ve ayrıca kazanılan her yeni bilginin bir sonraki yapılan denemelere ışık tutması nedeniyle önemli bir yere sahip olduğu bilinmektedir.

KAYNAKLAR

- Ateş, Ş., (2009), “Bükülmüş Molekül Geometrilili Resorsinol Türevlerinde Farklı Substitüentlerin Mesomorfizme Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- 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.
- Brabec, C.J., Dyakonov, V., Parisi, J. ve Sarıçiftçi, N.S., (2003), “Organic Photovoltaics: Concepts and Realization”, Springer-Verlag, Heidelberg.
- 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), “Lightemitting diodes based on conjugated polymers”, *Nature*, 347: 539-541.
- Caferov, T., (2000), Katıhal Elektronik, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- Camaioni, N., Ridolfi, G., Miceli, G.C., Possamai, G. ve Maggini, M., (2002), *Adv. Mater.*, 14: 1735-1738.
- Chandrasekhar, S., (1993), *Liq. Cryst.*, 14: 3-14.
- Chandrasekhar, S. ve Suresh, K.A., (1977), *Pramana*, 9: 471-480.
- Chen, L., Godovsky, D., Ingana s, 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(18): 1367-1370.
- Drees, M., Premaratne, K., Graupner, W., Heflin, J.R., Davis, R.M., Marciu, D., ve Miller, M., (2002), “Creation of a gradient polymer fullerene interface in photovoltaic devices by thermally controlled interdiffusion”, *Appl. Phys. Lett.*, 81: 4607-4609.
- Evcin, A., (2006), “Kaplama Teknikleri Ders Notları”, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- 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.
- Gençoğlu, M.T., (2002), “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2): 57-64.
- Granström, 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: 3605-3614.
- Gregg, B.A., Fox, M.A. ve Bord, A.J., (1990), *J. Phys. Chem*, 94: 1586-1598.
- Güneş, S. ve Sarıçiftçi, N.S., (2007), “Conjugated Polymer-Based Organic Solar Cells”, *Chem. Rev.*, 107: 1324-1338.
- Halls, J.J.M., Walsh, C.A., Greenham, N.C., Marseglia, E.A., Friend, R.H., Moratti, S.C. ve Holmes, A.B., (1995), *Nature*, 376: 498-500.
- Hoppe H. ve Sarıçiftçi, N. S., (2006), “Morphology of polymer/fullerene bulk heterojunction solar cells”, *J. Mater. Chem.*, 16: 45-61 .

- Hoppe, H. ve Sarıçiftçi N. S., (2004), "Organic Solar Cells", J. Mater. Res., 19: 1924-1945.
- Hoth, C. N., Choulis, S. A., Schilinsky, P. ve Brabec C., (2007), Advanced Materials, 19: 3973-3978.
- Kim, J., Kim, S., Lee, H., Lee, K., Ma, W., Huong, X. ve Heeger, A. J., (2006), Adv.Mat., 18: 572-576.
- Kim, Y., Cook, S., Tuladhar, S.M., Choulis, S.A., Nelson, J., Durrant, J.R., Bradley, D.D.C., Giles, M., McCulloch, I., Ha, C.S. ve Ree, M., (2006), Nature Materials, 5: 197-203.
- Li, G., Shrotriya, V., Huang, J., Yao, Y., Moriarty, T., Emery, K. ve Yang, Y., (2005), Nature Materials, 4: 864-868.
- Liang, Y., Xu, Z., Xia, J., Tsai, S.T., Wu, Y., Li, G., Ray, C. ve Yu, L., (2010), Advanced Materials, 22: 1-4.
- McCullough, R.D., Ewbank, P.C. ve Skotheim T., A., (1998), Handbook of Conducting Polymers, Marcel Dekker, 225, New York.
- Mende, L.S., Fechtenkötter, A., Mullen, K., Moons, E., Friend, R. ve Mackenzie, J., (2001), Science, 293: 1119-1122.
- Miranda, P. B., Moses, D. ve Heeger, A. J., (2001), Phys. Rev. B., 64: 81201.
- Nunzi, J. M. C. R., (2002), Physique, 3: 523-542.
- Park, S.H., Roy, A., Beaupré, S., Cho, S., Coates, N., Moon, J.S., Moses, D., Leclerc, M., Lee, K. ve Heeger, A.J., (2009), Nature Photonics, 3: 297-302.
- Peumans, P., Yakimov, A. ve Forrest S.R., (2003), "Small molecular weight organic thin-film photodetectors and solar cells", J. Appl. Phys., 93: 3693-3723.
- Pivrikas, A., Stadler, P., Neugebauer, H. ve Sarıçiftçi, N.S., (2008), "Substituting The Postproduction Treatment For Bulk-Heterojunction Solar Cells Using Chemical Additives", Organic Electronics, 9: 775-782.
- Pope M. ve Swenberg C.E., (1999), Electronic Processes in Organic Crystals and Polymers, 2nd ed, Oxford University Press, New York.
- Riedel, I. ve Dyakonov, V. (2004), Phys. Stat. Sol., 201: 1332-1341.
- Sağlam, Ş., (2000), "Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli’nin ve Kullanım Alanlarının İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, 3-28.
- Sarıçiftçi, N.S., (1997), "Primary Photoexcitations in Conjugated Polymers: Molecular Exciton versus Semiconductor Band Model", World Scientific, Singapore.
- 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", Advanced Materials, 18: 789-794.
- Shaheen, S.E., Brabec, C.J., Sarıçiftçi, N.S., Padinger, F., Fromherz, T. ve Hummelen, J.C., (2001), Appl. Phys. Lett. 78: 841-843.
- Shinar, J., (2004), Organic Light-Emitting Devices: A Survey, Springer, New York.
- Sirringhaus, H., Tessler, N. ve Friend, R.H., (1998), Science, 280: 1741-1744.
- Sze, S.M., (1981), Physics of Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, New York.
- Tillmann, H. ve Hörhold, H.H., (1999) "Synthetic Metals", 101: 138-139.

Veenstra, S.C., Malliaras, G.G., Brouwer, H.J., Esselink, F.J., Krasnikov V.V., Hutten, P.F. van, Wildeman, J., Jonkman, H.T., Sawatzky, G.A. ve Hadziioannou, G., (1997), “Sexithiophene-C60 blends as model systems for photovoltaic devices”, Synth. Met., 84: 971-972.

Wolfgang, B., (2005), Physics of Organic Semiconductors, Wiley-Vch, Weinheim.

Yilmaz Canli, N., Guenes, S., Pivrikas, A., Fuchsbaue, A., Sinwel, D., Sariciftci, N.S., Yasa, O. ve Bilgin-Eran, B., (2010), Solar Energy Materials & Solar Cells, 94: 1089-1099.

Yu, G. ve Heeger, A.J., (1995), “Journal of Applied Physics”, 78(7), 4510-1515.

Zafer, C., (2006), “Organik Boya Esaslı Nanokristalyapılı İnce Film Güneş Pili Üretimi” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi.

İnternet kaynakları:

- [1] [www.wikipedia.org/]
- [2] [www.nukte.org/node/100]
- [3] [www.msxlab.org]
- [4] [www.kongreikt.ege.edu.tr/cd/pdf/53.pdf]
- [5] [www.eie.gov.tr]
- [6] [www.yifiz.com]
- [7] [www.alternaturk.org]
- [8] [www.yildiz.edu.tr]
- [9] [http://kimyadersimiz.com/wpcontent/uploads/2007/02/kimyasalba%C4%9Flar1.pdf]
- [10] [http://materials.web.psi.ch/Research/Thin_Films/Methods/Spin.htm?forprint]
- [11] [www.brewerscience.com/research/processing-theory/spin-coater-theory/]
- [12] [www.gordonengland.co.uk/tsc.htm]
- [13] [www.tciinc.com/coating.html]
- [14] [http://blog.disorderedmatter.eu/]
- [15] [www.chemblink.com/]
- [16] [www.kimyadersimiz.com/wp-content/uploads/2007/02/kimyasal-bağlar1.pdf]

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 29.11.1981

Doğum yeri İSTANBUL

Lise 1995-1998

Dr. Kemal Naci Ekşi Lisesi

Lisans 2002-2008

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat
Fakültesi Fizik Bölümü