

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**YENİ TÜRDEKİ JELLERİN BOYA DUYARLI GÜNEŞ
PİLLERİNDE KULLANILMASI**

Tolga ÖNEN

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hidayet ÇETİN**

Yozgat 2016

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**YENİ TÜRDEKİ JELLERİN BOYA DUYARLI GÜNEŞ
PİLLERİNDE KULLANILMASI**

Tolga ÖNEN


**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hidayet ÇETİN**

Yozgat 2016

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Fizik Anabilim Dalı 70110513013 numaralı öğrencisi Tolga ÖNEN'in hazırladığı "Yeni Türdeki Jellerin Boya Duyarlı Güneş Pillerinde Kullanılması" başlıklı Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 25/07/2016 Salı günü saat 10:00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği / oy çokluğu ile karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Emine Güneri 

Üye : Prof. Dr. Hidayet ÇETİN (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Ümit Temizer




ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 28.../07.../2016 tarih ve 22 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

28.../07/2016


Doc. Dr. Huat KÖKSAL
Müdür

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ	x
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER	16
2.1. Shockley ve Queisser Sınırlaması.....	16
2.2. Üçüncü Nesil Güneş Pilleri (Boya Sentezli Güneş Pili) ve Çalışma Prensibi	17
2.3. Boyanın Özellikleri	21
2.4. Boya-TiO ₂ Etkileşmesi ve Boyanın Yapısı.....	22
2.5. Elektrolit.....	24
2.5.1. Polimer elektrolitler	26
2.6. Güneş Pillerinin Verimlerini Etkileyen Faktörler.....	28
2.6.1. Termal Etkiler	29
2.6.2. Işıma Etkileri.....	29
2.6.3. TiO ₂ Yüzey Morfolojisi	30
2.6.4. Karşı Elektrot Türü	32
2.6.5. Spektral Etkiler.....	33
3. GÜNEŞ PİLİ ÜRETİM VE ELEKTRİKSEL ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	34
3.1. Giriş.....	34
3.2. Güneş Pilinde Yaygın Olarak Kullanılan Şeffaf Elektrotlar.....	34
3.2.1. İndiyum Kalay Oksit (ITO).....	34
3.2.2. Flor Katkılı Kalay Oksit (FTO).....	35
3.3. Titanyum Dioksit Anot Elektrotu	35
3.4. Platin Karşı Elektrot.....	35
3.5. Polimer Jel Elektrolitler	36
3.5.1. Sıvı Elektrolit	37

3.6. DSSC Fabrikasyonu	37
3.6.1. FTO ve ITO camların hazırlanması	37
3.6.2. TiO ₂ 'nin hazırlanması	37
3.6.3. Karşı Elektrota Platin Kaplamanın Hazırlanması	39
3.6.4. Sıvı Elektrolitlerin Hazırlanması.....	39
3.6.5. Polimer Jel Elektrolitlerin Hazır Hale Getirilmesi.....	39
3.7. Boya Sentezli Güneş Pili Üretimi	41
3.7.1. Boya Sentezli Güneş Pillerinin Birleştirilmesi	42
3.8. Elektriksel Karakterizasyon	43
3.8.1. Elektriksel Karakterizasyon Ölçüm Sistemi	43
3.8.2. Spektral Fototepki Ölçüm Sistemi	45
3.9. DSSC'lerin Fotovoltaik Performansı	45
3.10. TCO'ların Morfolojik Yapı Analizleri.....	50
3.10.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	50
3.10.1.1. Enerji Dağılımlı X-Işınları Mikro analiz Spektrometresi (EDS)	51
3.10.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM) Ölçümleri	52
3.10.3. UV-Spektrometre	52
4. DENEYSEL BULGULAR	53
4.1. TiO ₂ parçacıklarının karakterizasyonu	53
4.1.1. SEM Görüntüleri	53
4.1.1.2. EDS Analizi	58
4.1.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM) ve TiO ₂ Tabakanın AKM Görüntüleri	60
4.2 Karadut Boyasının UV-Spektrofotometre ile Analizi.....	62
4.3. Sıvı Elektrolit'in Zaman ile Değişimi	63
4.4. Akım-Gerilim Ölçüm Sonuçları.....	64
4.3. IPCE Ölçümleri	73
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞİM	85

YENİ TÜRDEKİ JELLERİN BOYA DUYARLI GÜNEŞ PİLLERİNDE KULLANILMASI

Tolga ÖNEN

Bozok Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

2016; Sayfa: 85

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hidayet ÇETİN

ÖZET

Bu tezde yeni sentezlenmiş jeller, boya duyarlı güneş pillerinde (DSSC) sıvı elektrolit sorununu çözmek için jel elektrolitler olarak kullanılmıştır. Bu amaçla, duyarlaştırıcı olarak karadut boya ile 7 adet DSSC hazırlanmıştır. Daha sonra bir tanesi, yaygın olan iyot elektrolit kullanılarak hazırlanmıştır. Diğerleri, iyot elektrolit adsorbe edilen Poli (2-akrilamido-2-metilpropan sülfonik asit- ko itakonik asit) (Poli-AMPS-IA) ve bunun türevleri olan Flor (F), Brom (Br), Klor (Cl), Anilin (An) katkıları kullanılarak hazırlanmıştır. Güneş pili parametreleri (verim, dolgu faktörü vs.) 150 gün boyunca DSSC'lerin elektriksel kararlılıkları açısından incelenmiştir. Yukarıda sözü edilen jellerin DSSC'de 150 gün boyunca kararlı elektriksel karakteristik gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca kullanılan jellerden Poli (AMPS-IA/F-Cl-Br-An)'nin 2.62 kat, AMPS-IA'nın 2.23 kat, AMPS-IA/An'nin 1.69 kat, AMPS-IA/Cl-An'nin 1.62 kat, AMPS-IA/F-An'nin ve AMPS-IA/Br-An'nin ise 1.46 kat gibi önemli ölçüdeki değerlerle enerji dönüşüm verimini artırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: DSSC, Karadut doğal boya, Jel polimer elektrolit

NEW TYPE GELS FOR DYE SENSITIZED SOLAR CELLS

Tolga ÖNEN

Bozok University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Master of Science Thesis

2016; Page: 85

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Hidayet ÇETİN

ABSTRACT

In this thesis, newly synthesized gels were used as gel electrolyte to solve the liquid electrolyte problem at Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). For this purpose, DSSCs were fabricated with Black Mulberry as a sensitizer. Seven DSSCs were fabricated. Then, one of them was prepared conventional iodine electrolyte. The others were prepared with iodine electrolyte adsorbed Poly (2- acrylamide- 2- methyl propaure sulfoute acid (itaconic acid/ N.N'methylene bi saerylawulde amice (Poly-AMPS-IA) and Fluorine (F), bromide (Br), Chlorine (Cl), Aniline (An), doped derivatives and solar cell parameters (efficiency, fill factor *etc.*) were investigated in terms of electrical stability of the DSSCs for 150 days. It has been found that DSSCs with above mentioned gels show stable electrical characteristic even for 150 days. Furthermore, it has been observed that used gels can dramatically improve solar cell energy conversion efficiency with the values of 2.62 fold for Poly (AMPS-IA/F-Cl-Br-An), 2.23 fold for AMPS-IA, 1,69 fold for AMPS-IA/An, 1.62 fold for AMPS-IA/Cl-An and 1.46 AMPS-IA/F-An, AMPS-IA/Br-An.

Key words: DSSC, Mulberry natural dye, Gel Polymer Electrolyte

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum tez çalışmasına öncülük eden, gerek teorik gerekse deneysel çalışmalarında bana yoğun bir zaman ayırarak yardımcı olan kıymetli bilim insanı Prof. Dr. Hidayet ÇETİN'in yeteneklerimi ortaya çıkararak, laboratuvarında oluşturduğu çalışma imkânı ile sunmuş olduğu desteklerinden ötürü değerli hocama çok minnettarım.

Çalışmamızda temel teşkil eden polimerleri her seferinde bizler için özel olarak sentezleyen Bozok Üniversitesi Kimya Bölümü Hocamız Doç. Dr. Ramazan ÇOŞKUN'a sunmuş olduğu imkânlardan ötürü teşekkür ederim.

Laboratuvarında geçirdiğim zaman diliminde ihtiyaç duyduğum her türlü bilgi için çekinmeden başvurduğum görüş ve önerilerini benden esirgemeyen değerli Öğretim Görevlisi Mücella ÖZBAY KARAKUŞ'a çalışmamın her anında içinden çıkamadığım noktaları iletmemde sunduğu bütün desteklerden ötürü teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca laboratuvarında beraber çalışma imkânımızın olduğu çalışma arkadaşım Yüksek Fizikçi Merve EREN YAKIŞIKLIER'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmalarına katkı sağlayan kuzenim Talip ÇETİN ve Makine Mühendisi Deniz BAŞKIR'a ayrıca fikir ve moral ile destekler sağlayan isimlerini tek tek yazamayacak kadar fazla olan ve üzerimde emeği geçen koca yürekli dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim sırasında Fen bilimleri Enstitüsünde çalıştığım dönemlerde çalışanların bana karşı sergilemiş olduğu sıcak ve samimiyet dolu yaklaşımlarından ötürü her bir çalışana ayrı ayrı teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Lisans eğitimimizin yanı sıra Yüksek Lisans eğitimimi de beraber sürdürdüğüm Yüksek Fizikçi Rukiye YEGİN'e çalışmalarında vermiş olduğu destekten ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan rol model aldığım değerli annem ve babama ayrıca evimizin neşesi kardeşime hem maddi hem manevi desteklerinden ötürü saygılarımı sunarım.

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1 İncelenen örneğin içerdiği TiO ₂ kaplanmış FTO cam alttaşın 50k nokta analizi (Şekil 4.3’de Selected Area 1 noktası) yapılan yarıkantatif analizin sonuçları.....	59
Tablo 4.2: İncelenen örneğin içerdiği TiO ₂ kaplanmış FTO cam alttaşın 50k nokta analizi (Şekil 4.3’de EDS Spot 1) yapılan yarıkantatif analizin sonuçları.....	59
Tablo 4.3: İncelenen örneğin içerdiği TiO ₂ kaplanmış FTO cam alttaşın 50k nokta analizi (Şekil 4.3’de EDS Spot 2 noktası) yapılan yarıkantatif analizin sonuçları.....	60

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1:	Boya duyarlı güneş pilinin genel şematik gösterimi.....	17
Şekil 2.2:	Boya duyarlı güneş pilinin çalışma mekanizması.....	19
Şekil 2.3:	TiO ₂ üzerindeki antosiyanin moleküllerinin bağlanma görüntüsü	23
Şekil 2.4:	Karadut'ta bulunan (a) tartarik ve (b) sitrik asit'in temel yapısı	24
Şekil 2.5:	TiO ₂ 'nin kristal yapıları a) Anataz b) Rutil c) Brokit.....	30
Şekil 3.1:	FTO kaplı camların görüntüsü.....	35
Şekil 3.2:	Kullanılan polimerlerin kimyasal yapısı.....	36
Şekil 3.3:	Kullanılan reaktiflerin kimyasal yapısı.....	37
Şekil 3.4:	'Doktor blade' tekniği kullanılarak TiO ₂ pastanın yüzeye uygulanmasının şematik gösterimi.....	38
Şekil 3.5:	TiO ₂ 'nin; (a) ön ısıtma (b) fırınlama sonrası görüntüsü.....	38
Şekil 3.6:	Polimerin; (a) işlem görmeden önceki (b) toz haline getirildikten sonra optik mikroskoptaki (c) 50x (d) 10x görüntüsü.....	40
Şekil 3.7:	Boya duyarlı güneş pillerinin şablon görüntüsü.....	41
Şekil 3.8:	Karadutun; (a) ağacı (b) dalı ve (c) süzölmüş görüntüsü.....	42
Şekil 3.9:	Güneş pili elektriksel karakterizasyon ölçüm sistemi.....	43
Şekil 3.10:	Güneş pili ve Keithley 2612A bağlantı şeması.....	44
Şekil 3.11:	Örnek olarak aydınlık ve karanlık değerleri alınmış numunemizin I-V eğrilerinin temsil ettiği noktaların adlandırılması.....	46
Şekil 3.12:	Bir diyot modeli ile seri direnç (R _S) ve paralel direnç (R _{SH}) değerinin eşdeğer devresi.....	47

Şekil 3.13:	I-V karakteristiğinin seri direnç ve paralel direnç etkisi ile değişimi[98].....	48
Şekil 3.14:	SEM cihazının iç yapısı.....	50
Şekil 3.15:	Hach Lange DR 5000 UV-Spektrometre absorpsiyon ölçüm cihazı.....	52
Şekil 4.1:	FTO üzerine kaplanmış TiO ₂ fotoanot yüzeyinin (a) 2 µm (b) 500 nm (c) 200 nm'lik ölçeklendirme altında SEM görüntüleri.....	54
Şekil 4.2:	ITO iletken tabaka üzerine TiO ₂ kaplı fotoanot tabakasının (a) 2µm (b) 500nm (c) 200 nm' deki SEM görüntüleri.....	56
Şekil 4.3:	FTO üzerine kapladığımız TiO ₂ 'nin EDS analizi.....	58
Şekil 4.4:	(a) 10x10 µm AKM 3D topoğrafi (b) yüzey pürüzlülük dağılım histogramı (c) kesit analiz bölgesi seçimi (d) TiO ₂ tabaka kalınlığı.....	61
Şekil 4.5:	Karadut boyanın soğurma spektrumu.....	62
Şekil 4.6:	Sıvı elektrolit miktarının kütleli olarak zamanla değişimi.	63

Şekil 4.7:	A.M 1.5 Aydınlatma ve karanlık ortam altındaki (a) AMPS-IA/F-An (b) AMPS-IA/Cl-An (c) AMPS-IA/Br-An (d) AMPS-IA (e) AMPS-IA/An (f) AMPS-IA/F-Cl-Br-An (g) Sıvı Elektrolitten oluşan güneş hücrelerimizin I-V görüntüleri.....	65
Şekil 4.8:	Farklı elektrolitler kullanılarak üretilmiş güneş pillerinin karşılaştırmalı akım-gerilim grafiği.....	66
Şekil 4.9:	Üretilen güneş pillerindeki enerji dönüşüm veriminin zaman ile değişimi.....	67
Şekil 4.10:	Dolgu faktörünün zaman ile değişimi.....	68
Şekil 4.11:	Üretilen güneş hücrelerinin akım yoğunluğunun zaman ile değişim.....	69
Şekil 4.12:	Üretilen güneş hücrelerinin maksimum gücünün zaman ile değişimi.....	70
Şekil 4.13:	Maksimum güç- açık devre voltajı grafiği.....	71
Şekil 4.14:	Akım yoğunluğu-açık devre voltajı.....	72
Şekil 4.15:	Halojen lambanın farklı dalga boyları için oluşturduğu çıkış gücü spektrumu.....	73
Şekil 4.16:	IPCE'nin dalga boyuna göre dağılımı.....	74

KISALTMALAR LİSTESİ

A	:	Amper
AMPS-IA	:	Poli (2-akrilamido-2-metilpropan sülfonik asit-ko- itakonik asit)
AMPS-IA/An	:	Poli (2-akrilamido-2-metilpropan sülfonik asit-ko- itakonik asit)/Anilin
AMPS-IA/Br-An	:	Poli (2-akrilamido-2-metilpropan sülfonik asit-ko- itakonik asit)/Brom Anilin
AMPS-IA/Cl-An	:	Poli(2-akrilamido-2-metilpropan sülfonik asit-ko- itakonik asit)/Klor Anilin
AMPS-IA/F-An	:	Poli (2-akrilamido-2-metilpropan sülfonik asit-ko- itakonik asit)/Flor Anilin
AMPS/F-Cl-Br-An	:	Poli (2-akrilamido-2-metilpropan sülfonik asit-ko- itakonik asit)/Flor-Klor-Brom Anilin
AKM	:	Atomik Kuvvet Mikroskobu
C	:	Karbon
CdS	:	Kadmiyum Sülfür
DSSC	:	Boya Duyarlı Güneş Pili (Dye Sensitized Solar Cell)
eV	:	Elektron volt
EDS	:	Enerji Dağılımlı X-Işınları Mikro analiz Spektrometresi
GPE	:	Jel Polimer Elektrolit (Gel Polymer Electrolyte)
GW	:	CigaWatt
J_{sc}	:	Kısa Devre Akım Yoğunluğu
HOMO	:	En Yüksek Yörüngedeki Elektron İşgali
I	:	Akım
I-V	:	Akım-Voltaj

I_{SC}	:	Kısa devre akımı
I_M	:	Maksimum akım değeri
V_M	:	Maksimum gerilim değeri
ITO	:	İndiyum Katkılı Kalay Oksit
IPCE	:	Gelen Foto Akım Dönüşüm Verimliliği (Incident Photon to Current Efficiency)
LUMO	:	En Düşük Yörüngedeki Elektron İşgali
n	:	Kırılma indeksi
Nb_2O_5	:	Niyobyum Pentoksit
FF	:	Dolgu Faktörü (Fill Factor)
FTO	:	Flor Katkılı Kalay Oksit
P_{IN}	:	Güneş pili üzerine düşen ışığın gücü (Watt)
Pt	:	Platin
Si	:	Silisyum
SnO_2	:	Kalay oksit
TiO_2	:	Titanyum Dioksit
TCO	:	İnce Oksit İletken
V	:	Volt
V_{oc}	:	Güneş pilinin açık devre voltajı
ZnO	:	Çinko Oksit
η	:	Verim
ν	:	Frekans

1.GİRİŞ

Geçtiğimiz yüzyıldaki teknolojik gelişmeler hayatımıza inanılmaz kolaylıklar sağlamıştır. Elektrikli ve elektronik ev aletlerinin kullanım bağımlılığının artması bu aletlere olan enerji gereksinimini de arttırmıştır. Fosil yakıtların tükenme potansiyelini taşıması, kademeli ve ekonomik büyümenin cari modelini desteklemek için artan enerji talebinden dolayı, küresel ölçekte insanlığı enerji sorunuyla karşı karşıya bırakmaktadır [1,2]. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için yeni kaynak arayışları nedeniyle üç seçenek ortaya çıkmaktadır, bunlar; i-Karbon yakıt temelli kaynaklar, ii-nükleer santraller ve iii- yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Karbon yakıt temelli enerji kaynaklarının kullanımı hakkında yapılan temel bir eleştiri, atmosferdeki CO₂ seviyesini artırması ve böylece iklim değişikliklerini tetiklemesidir. Nükleer enerji santralleri ise GW seviyesinde enerji üretimi sağlanabilmesi için çok sayıda ihtiyaç duyulan santrallerdir. Bununla birlikte nükleer santraller doğada uzun süreler yok edilemeyen nükleer atıklar bırakmaktadır. Üçüncü olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş pilleri dikkat çekmekte ve umut vermektedir [3]. Yeryüzünde azalan kaynakların bir sonucu olarak, güneş enerjisi önemli bir enerji kaynağı olma durumundadır. Son yıllarda baş gösteren çevre sorunları nedeniyle, mevcut elektrik üretim teknolojileri irdelenmeye başlanmış ve çevre ile dost olabilen yeni sistemlerin geliştirilmesi üzerine sürdürülen çalışmalar ivme kazanmıştır. Bunun neticesinde de, artan güç dönüşüm verimlilikleri ve geliştirilen elektronik yardımcı sistemler sayesinde güneş pilleri, kullandığımız elektrik gereksinimi olan her cihazın güç kaynağı olabilme özelliği kazanmıştır. Güneş pilleri sürdürülebilir global enerjinin, tükenmekte olan fosil yakıtların yanında önemli bir unsurudur. Buna ilaveten karbon döngüsü ve sera gazları emisyonu azaltıp, kırsal ekonominin gelişmesini sağlamanın yanı sıra yeşil endüstriyi de desteklemektedir. Bir saat içinde dünya tarafından tüketilen toplam güneş enerjisi, dünyada bir yıl içinde kullanılan fosil enerji miktarından daha fazlasını vermektedir [4]. Diğer bir deyiş ile gezegenin yüzeyine ulaşan güneş enerjisi miktarı, bir yıl içinde kömür, petrol, doğal gaz gibi tüm kaynaklardan elde edilebilecek enerjiden, yaklaşık iki katı miktardan daha yüksek yenilenebilir enerji üretilmesini sağlayacaktır [5].

Güneş pilleri güneşten gelen ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren fotovoltaiik (PV) aygıtlardır. Güneş pili sistemi fotovoltaiik çalışma prensibine dayanmakta ve fotovoltaiik hücrelerin tarihsel gelişimi süreci ise 1800'lü yıllara kadar uzanmaktadır. Fotovoltaiik etki üzerine ilk çalışma 1839 yılında yapılarak Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel'in metal halojenür tuzları ihtiva eden elektrolit çözeltisinin içerisine daldırılmış olan iki elektrot arasındaki gerilimin, elektrolit çözeltisi üzerine düşen ışığa bağımlı olarak akım üretilmesini gözlemlenmesiyle keşfedilmiştir [3]. Halojen emülsiyonu için gümüş boya duyarlaştırıcının eklenmesiyle 1883'de Vogel tarafından yapılan bir bulgu ile fotohassasiyetin arttığı sonucunu ortaya çıkarmış, yıllar sonra ise Moser tarafından, gümüş halojen elektrotlar üzerinde eritrosin boya kullanarak fotoelektrokimyasal hücrelerde foton duyarlı boyanın kavramını geliştirilmiştir [6]. Gerischer ve Tributsch'in yarıiletkenlerin fotoelektrokimyasına ilgisi Gerischer' in ışıktan elektrik enerjisi eldesini sağlayan PEC (photo-electrochemical cell)'lerin keşfine yol açtı [7]. Fotovoltaiik etki teoriği ile ilgili kapsamlı bir çalışma ise 1905'te Albert Einstein tarafından yapılmıştır [8]. Yaptığı teorik çalışma ile 1921 yılında Nobel ödülünün almaya hak kazanmıştır. 1916 yılında Robert Millikan tarafından, Einstein'ın bu teorik açıklaması denenmiş ve 1932 yılında Cd-Se yapısında fotovoltaiik etkinin gözlemlendiği açıklanmıştır [9]. 1954 yılında Pearson, Fuller ve Chapin tarafından ilk silisyum fotovoltaiik hücreleri yapılmış, önceki fotovoltaiik hücrelere kıyasla 6 kat daha yüksek olan ve fotovoltaiik güç dönüşüm sistemleri için dönüm noktası kabul edilen %6'lık bir verim elde edilmiştir [10].

Silisyum tabanlı fotovoltaiik hücreler 1958 yılında Amerikan Vanguard uydusunda kullanılarak elektrik üretiminin ilk uygulaması gerçekleştirilmiştir. [11]. Fotovoltaiik hücrenin çalışma prensibi şu şekildedir. Yarıiletkenler yasak enerji bant aralığı tarafından ayrılmış iki ayrı enerji bandından oluşmaktadır. Bu bantlar iletkenlik bandı ve valans bandı olarak adlandırılmaktadır [7]. Yasak enerji aralığına eşit ve daha fazla enerjiye sahip olarak gelen foton, yarıiletken tarafından soğurulur. Soğrulan foton, enerjisini valans bandındaki elektrona vererek elektronun iletkenlik bandı üst seviyesine ulaşmasını sağlar. Valans bandından ayrılan elektronun yerinde bir hol oluşarak, iletim ve valans bantlarında birbirinden ayrılmış durumda elektron-hol çifti meydana gelir. Işık ile karşılaşan malzemenin denge durumu bozularak

oluşmuş olan serbest durumdaki elektronların, karşı elektroda girmeleri için pilin yüzeyine sürükler. Bu durum güneş pilinin kontaklarında akım oluşmasını sağlar. Her bir fotonun yakalanması ile bu döngü devam etmektedir. Farklı elementler silisyum kristali içerisine katılabilir. Bu elementlerin kristal yapısı içerisinde olması yapının dengede olmasını elektriksel olarak engeller. Bu çalışma prensiplerinde c-Si'den elde edilen tek kristal silisyum güneş pili verimlerinin yüksek olmasına rağmen, elde edilen elektrik enerjisinin maliyeti halen yüksektir. Maliyetinin yüksek olmasının nedeni de, tek kristal silisyum güneş pillerinin yavaş, zahmetli ve yoğun enerjili bir işlem olan Czochralski yöntemi kullanılarak elde edilmesidir [12].

Silisyum pillerinin maliyetinin çok ve üretim koşullarının zahmetli olması nedeniyle Moser tarafından ilk olarak organik boyanın fotoduyarlaştırmasının rapor edilmesinin ardından [13] organik boyalarla yapılan fotoelektrokimyasal pillere yönelik çalışmalar yapılmış ve çok düşük verimlerde bulunmuştur. Düşük verimlerin olmasının nedeni, tek tabakalı boya ile tek kristal yarıiletken yüzeyinin duyarlaştırılması sonucunda, soğurulan ışık miktarının çok az olduğu sonucuna varılmıştır. Bu varsayım sonucunda tekli kristal elektrot yüzeyinin duyarlaştırılmasında, birden fazla boya tabakası kullanılarak daha fazla ışığı soğurabileceği düşünülmüştür [14]. Ancak, akım üretimi yönünden birden fazla boya tabakası kullanımının yararsız olduğu ortaya çıkarılmıştır. Dış tabakadaki boya molekülleri filtre durumu oluşturarak, alt katmanlardaki boya moleküllerinin ışık soğurmasını önlemiş olduğu görülmüştür. Çözüm olarak tek kristalli filmler yerine nanokristal filmler yapılmıştır. Nanokristal yapıda sol jel kimyasındaki gelişmeler ile şeffaf yarı iletken film üretmeyi mümkün kılmaktadır [15]. Tek eklemli ve tek kristal silisyum yarıiletkeni yapısını kullanılan piller, birinci nesil güneş pilleri olarak adlandırılırken, ince film teknolojisi kullanımı ile yapılan piller ise ikinci nesil fotovoltaik pillerdir. Güneş pillerinden yüksek verim elde etmek için tasarlanmıştır ve çoklu birleşim noktaları içermektedir. Yarıiletken malzemelerin ince film olarak kullanılması, kullanılan yarıiletken malzeme miktarını azaltmakta ve dolayısıyla maliyeti oldukça düşürmektedir. Mikrokristal, amorf silisyum, polikristal silisyum, kadmiyum tellür, bakır indiyum selenoid, galyum arsenik türlerinin yanı sıra bakır indiyum sülfatta bu türler içerisinde kullanılan güneş pillerine verilebilecek

örneklerdendir. Ancak bu üretim tekniği maliyeti kullanılan malzeme miktarı yönünden azaltılsa da, ince film kaplama teknolojisinde uygulanan temiz oda ortam koşullarının kolay sağlanamaması üretim zorluğuna yol açmaktadır. Üçüncü nesil fotovoltaik türleri arasında, boya duyarlı güneş pilleri(DSSC), polimer organik yapı ve kuantum noktalı güneş pilli çeşitleri ile bu tür içerisine verilebilecek örnekler arasında yerini alır. Maliyeti ise Watt başına 01-0.5 dolar aralığında değişmektedir [3]. Maliyeti düşürme çabaları da göz önünde bulundurulardan, daha önce yapılan güneş pilli çalışmalarına kıyasla yeni bir türe ait ilk raporu, boya duyarlı güneş pilleri çalışmalarında O'Regan ve Gratzel tarafından yayımlanmıştır [16]. İsviçreli bir grup tarafından yapılan öncü katkılarında dolayı, DSSC'ler Gratzel hücresi olarak adlandırılır [3]. Yüksek verimli sonuçlar elde edildikçe DSSC'leri yeni nesil enerji kaynağı olması yönünde ön plana çıkaracaktır. Genel olarak güneş enerjisi-elektrik enerjisi dönüşüm verimliliği, rutenyum tabanlı boyaların kullanıldığı 25 - 100 cm² modüller için % 8 ve laboratuvar ortamında üretilen 1 cm²'nin altındaki hücreler için % 10'u aşarak şu anda en yüksek % 13 verimliliği kadar ulaşmıştır [17]. DSSC'ler, geleneksel güneş hücrelerine kıyasla düşük maliyet, geniş yüzeylere kaplanılabilme, kolay üretilbilme ve şeffaf olmaları nedeniyle inanılmaz bir alternatif olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda boya duyarlı güneş hücreleri, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için en değerli üçüncü nesil fotovoltaik teknolojilerinden birisi olduğu kanıtlanmıştır [18]. Bu durum aynı zamanda O'Regan ve Gratzel' in boya duyarlı güneş pilleri alanında makalelerinin çok fazla atıf alması gerçeği ile de ispatlanmış durumdadır [16]. 17.000'den fazla araştırma (Scifinder veritabanı) yeni malzemeler, karakterizasyon teknikleri önermeleri için yazılmıştır [19]. Güncel araştırma çabaları ile bu cihazların uzun vadeli ve istikrarlı geliştirilmesi üzerinde durulmaktadır [20,21]. Rutenyum kompleksli boyalar ile elde edilen verimlilikler kararlılık göstermiş ancak, sofistike hazırlama teknikleri, güneş spektrumunun çok dar bir aralığında soğurma yapmaları, sentezlerinin zor olması, molar soğurma katsayılarının düşük olması ve yüksek maliyeti dezavantajlarını ortaya koymuştur. Boyar maddeli güneş pilleri iki elektrot arasına hapsedilmiş redoks elektrolitinden oluşmaktadır. Bu durum doğal olarak sızıntı stabilitesini sınırlar. Elektrolit sızıntısına bir fikir olarak polimer elektrolitler tercih edilmiştir. Polimer elektrolit, yüksek stabilite ve üstün iyonik difüzyon özelliklerine sahip olarak katı ve sıvı elektrolit,

avantajlarını birleştirir ve aynı zamanda gözenekli TiO_2 filmi içine elektrolit penetrasyonu kolaylaştırarak katı ve sıvı elektrolitler için umut verici bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır [22]. Genel olarak yapılan çalışmalarda anot elektrotu olarak geniş bant aralığına sahip olan yarı iletken TiO_2 tabakası, katot elektrotu olarak ise Platin (Pt) kaplı iletken camlar kullanılmaktadır. TiO_2 anot elektrotunun yüzeyi ışığa duyarlı olan boya molekülleri ile kaplanmıştır. Hücrelerde yük ayrımının gerçekleştiği ara yüzey, boyar madde TiO_2 ara yüzeyidir. Yük ayrımından sonra elektron TiO_2 'ye iletilir ve boşlukta elektrolit içinden karşı elektroda (katoda) doğru gider. TiO_2 yüzeyine kimyasal bağ ile bağlanmış bulunan boyar madde molekülleri ince bir film oluştururlar. Bu film içinde foton ile uyarılarak elektronun valans bandından iletkenlik bandına elektron transferi ve bu elektronun TiO_2 'ye geçişi oldukça hızlı bir şekilde gerçekleşir. [19].

Güneş hücresi modelleri olarak p-n düğümlü diyotlar tek tabakalı olarak maliyeti yüksek olan güneş pili üretimi modeline verilecek örneklerden birisidir. En çok kullanılan güneş pili türü örneği olarak silisyum ilk sıradaki yerini korumaktadır. Daha sonra Kadmiyum Tellür (CdTe), Bakır İndiyum Selenit / Sülfür(CIS), veya çoklu-bağlantı bazlı malzemeler, perovskit güneş hücreleri ve DSSC'ler sıralamasıyla yer almaktadır. Bir süre kuantum noktalı boya duyarlı güneş pillerinde(QDSSC) inorganik boyalardan hazırlanan karışımların duyarlaştırıcı olarak kullanılmasıyla çalışmalar devam etmiştir ancak organik boyalardan da aynı duyarlaştırıcı etkilerin gözlenebilmesi sebebiyle DSSC'lere tekrar dönmüştür [7].

Organik güneş pillerinde polimer tabakalarda kullanılabilir. Polimer tabaka hücre üzerine gelen güneş enerjisini absorbe ederek elektrik enerjisine dönüştürür. Organik güneş pillerinde kullanılan organik malzemelerin yapısal farklılıkları nedeniyle çeşitli gruplara ayrılmıştır. Bunlar; yığın heteroeklem, tek tabakalı ve iki tabakalı heteroeklem, kademeli heteroeklem fotovoltajik pillerdir. Heteroeklem yapıya sahip güneş pilleri, 1986 yılında %1'lik bir verim elde edilerek bulunmuştur [23]. Günümüzde iki heteroeklemlili yapıya sahip organik güneş pilinde ise %11'lik bir verim elde edilmiştir [24]. Organik DSSC'lerin üzerine diğer bir rekor ise 2012 yılındaki Alman güneş enerjisi teknoloji şirketi Heliatek tarafından, organik güneş pili üretiminde, iki katmanlı bir soğurucu tabaka kullanarak % 13.2 gibi oldukça

yüksek bir verim elde etmişlerdir [25]. Bu kaydedilen ilerlemelere rağmen anorganik tabanlı güneş pilleri, organik tabanlı güneş pillerine göre ticari olarak pazarda büyük bir yere sahiptir. Anorganik malzemelerden yapılan güneş pilleri bugün fotovoltaik piyasasının büyük bir yüzdesini oluşturmuş durumdadır. DSSC'lerin çalışmalarının temeli elektrolitlere de dayanmaktadır. Kullanılan elektrolitlerde bir takım sorunlar oluşmakta ve bu sorunlara çözümler aranmaktadır. Böylece, buharlaşma, sızıntılar, desorpsiyon, boya bozulması ve kullanılan Pt karşı elektrotun korozyon potansiyeli gibi ortak sorunlara, beklenen çözüm arayışı çalışmaları sürdürülmektedir. Bu sorunların çözüm yollarının aranması ile DSSC gelişimini yeniden düzenlenmiştir [26]. Birçok araştırma çalışmaları ile sıvı elektrolitin oluşturmuş olduğu sorunlara alternatif arayışında bulunulmuştur. Bu alternatifler katı elektrolit, jel elektrolit, yarı katı elektrolit ve iyonik sıvılı elektrolit türü denemelerini doğurmuştur. Bu sebeple yüksek performans ve uzun vadeli mükemmel performanslar yarı-katı ve jel elektrolit türlerinde görülerek dikkat çekmiştir [27,28].

Dünyadaki fotovoltaik piyasasının yıllık toplam enerji üretimi, 2012 yılında kurulu güneş fotovoltaik gücü yaklaşık 31 GW, 2013 yılında 37 GW, 2014 yılında kurulu güç ise 40 GW a ve 2015 yılında 50 GW ulaşmıştır [29]. Çin 10.6 GW, Japonya 9.7 GW ABD 6.5 GW Avrupa 7 GW diğer ülkelerde şu anda 2.5 GW fotovoltaik enerji üretimi söz konusuysen Türkiye'de 40 MW'lık fotovoltaik enerji üretimi mevcuttur. Türkiye'de 2023 yılına kadar bu gücün yaklaşık 5 GW değerinde olacağı açıklanmıştır. Küresel düzeyde ise Dünya'nın 450 GW enerji üretimi düzeyine ulaşacağı tahmin edilmektedir [30]. Güneşten toprağa ulaşan enerji 120.000 TW' tır. Yedi milyardan fazla insanın enerji gereksinimi (tüketimi) dünya çapında yaklaşık olarak 13 TW'ı geçmiştir ve gelecek 35 yıl içerisinde de 10 TW'lık bir artış beklenmektedir [3]. Bu enerji kaynağının yeterli miktarda kullanımı ile evlerimize enerji temiz bir şekilde sağlanabilir. Avrupa Ortak Araştırma Merkezi tarafından, doğrudan güneş ışığından gelen toplam enerji miktarının, 2050 yılında tahmin edilen toplam enerji tüketiminin % 20'si olacağı ve bu değer 2100 yılında ise % 50'nin üzerinde olabileceği tahmin edilmektedir [7].

Global Değişim Alman Danışma Kurulu (WBGU) tarafından hazırlanan senaryolardan birine göre, 2025 yılında toplam küresel elektrik kazancı 589 TWh

olması beklenen dünya yıllık toplam güneş enerjisi üretiminin, 2040 yılındaki planında ise 4890 TWh ile karşılanabileceği belirtilmektedir [31].

Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalardaki çeşitliğe rağmen ticari kullanım olarak piyasada amorf silisyum (a-Si), kristal silisyum (c-Si), Kadmiyum-Tellür (CdTe) ve Bakır-İndiyum/Galyum-Diselenyum (CIGS, CuInGaSe₂) güneş pilleri bulunur ve modül bazında büyük alanlarda elde edilen verimler, güneş pili boyutunda küçük alanlarda elde edilen verimlerden %1–4 daha azdır. Güneş pilleri genellikle üretici firmalar tarafından Standart Test Koşullarında (STC: 25°C güneş pili sıcaklığı ve AM 1.5 koşullarında 1000 W/m² güneş ışığı şiddeti altında) test edilerek piyasaya sürülürler. Güneş pillerini üretim durumlarında ise bu koşullara çok az rastlanmaktadır. Bu nedenle güneş pillerinin gerçek ortam koşullarındaki performansı laboratuvar ortamlarına göre farklılık göstermektedir. Bu farklılığın araştırılması ve modellenmesi gerekmektedir. Yarı iletken malzemeler kullanılarak üretilen güneş pillerinin yanında fotokimyasal yöntemler kullanılarak “boya duyarlı” olarak bilinen güneş pillerinde STC de 1 cm²’lik alanda son araştırmalarda % 13 verim elde edilmiştir [32,17].

DSSC’ler düşük maliyeti ve kolay üretim süreci sayesinde yoğun ilgi görmüştür. Boyar maddeli elektrokimyasal güneş pili çalışmalarının öncülüğünü Michael Gratzel 1991 yılında başlatmış ve o zamandan bu güne kadar polimer elektrolit kullanarak sıvı elektrolitlerin uçucu özelliklerinden kaynaklanan verim azaltıcı etkenleri ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar ile verimi arttırmaya yönelik çalışmalar devam etmektedir. Boya duyarlaştırıcı olarak Fosforin, kumarin ve metal kompleksli olan Rutenyum boyaların kullanıldığı birçok çalışma vardır. Verimleri yüksek olmasına rağmen yüksek maliyeti ve birkaç işlemde geçirilmesi süreci nedeniyle hala yaygınlaşmamıştır. Bununla birlikte, DSSC uygulanması çalışmalarını kısıtlayıcı nedenlerden birisi, yetersiz stabilizeye sahip olan sıvı elektrolit çözücünün akma ve uçma durumları vardır. Bu nedenle, DSSC uzun süreli stabilitesini geliştirmek için polimer jel elektrolit bu çalışmada, geleneksel sıvı elektrolit yerine çalışılmıştır. Sonuçlar, sıvı elektrolit ile karşılaştırıldığında, polimer jel elektrolit ile DSSC daha büyük bir kısa devre akımı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, kullandığımız polimer jel elektroliti, açık devre gerilimi (V_{OC}) önemli bir artışı söz

konusudur. En yüksek $V_{OC} = 0,409 \text{ V}$ ' a kadar, % 1.04'lük artış polimer jel içerikli DSSC'lerde elde edilebilir. Özellikle DSSC fotovoltaiik performansı üzerindeki polimer jel elektrolit etkisi, polimer jel elektrolit içinde yük aktarma kinetiği V_{OC} analiz ederek çalışılmıştır. Ayrıca, DSSC uzun dönemli kararlılığı üzerinde, polimer jel elektrolitlerin etkisi de araştırılmıştır [22].

A.C. Nwanya ve ark. yaptıkları çalışmada DSSC örnekleri olarak Hildegardia adlı bitkiden çıkardıkları DNA, jelatin ve Ağar içeriklerini jel polimer elektrolitler (GPE) olarak kullanmış ve sıvı elektrolit ile kıyaslayacak hücreler hazırlamıştır [33]. Nijerya'nın Nsukka bölgesinde bulunan üniversite çevresinden topladıkları ve aynı zamanda Kamerun ve Fildişi Sahillerinde de bulunan, yağışlı sezonlarda ışıktan yüksek seviyede yararlanmak için büyük kalp şeklinde yapraklara sahip olan Hildegardia adı verilen bitkiyi TiO_2 maddesini boyamada kullanmışlardır. Güneş spektrumunun mavi bölgesinde güçlü bir soğurma yaptığını gözlemlemişlerdir. Karşı elektrot olarak çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) ile kaplanmış. Jelatin kullanılarak % 3.38 DNA kullanılarak % 0.1 Ağar kullanarak % 0.05 ve sıvı elektrolit kullanarak % 0.003 verim elde etmiştir. Yaptıkları çalışmada DSSC'lerdeki en yüksek verim elde edilen sonucu, jelatin polimer elektrolitler kullanarak hazırlanmış hücrelerde elde ettiklerini rapor etmişlerdir.

W. Junhom ve R. Magaraphan yaptıkları çalışmada ZnO yarıiletken tabakası üzerine kimyasal banyo biriktirme yöntemi (chemical baht deposition method) kullanılarak CdS kuantum noktalar oluşturularak kısa dalga boylu bölgede ışığı absorbe etmesini sağlamışlardır [34]. Doğal boya olarak noni (hint dutu) meyve yapraklarını kullanmışlardır. CdS kimyasal banyoda daldırma süresinin miktarı ile CdS altıgen yapısı oluşturularak en iyi verimliliği 9 dakikalık daldırma süresinde gözlemleyerek % 0.292 verim elde edilmiştir. Yapılara poli akrilik asit (PAM) ve poli akrilamit (PMA) jel polimer elektrolit ilavesi yapılarak en yüksek verimi PAM ile yapılan pilde % 0.207 maksimum dönüşüm verimliliği ile elde etmişlerdir.

Simon Mathew ve ark. yaptığı çalışmada, bir donör-p-köprü-alıcısı taşıyıcısı yapısının özelliklerini kullanarak, SM315 kodlu porfirin boya ile elektrolit uyumluluğunu en üst düzeye çıkarmış ve ayrıca ışık yakalama verimliliği özelliklerini de geliştirdiklerini rapor etmişlerdir [17]. Işık yakalanmasına doğrusal

tepkisi, zamana bağılı yoğunluk fonksiyonu teorisi ile geliştirilerek, elektronik yapı pertürbasyonlarının araştırılması için kullanılmıştır. Kobalt (II/III) ile SM315 boyasını kullanarak $V_{OC}= 0.91$, kısa devre akım yoğunluğunda (J_{SC})= 18.1 mA /cm², Dolgu faktörü (FF)= 0.78 güç dönüşüm verimliliğini ise % 13 olarak elde etmişlerdir.

Nagaraj Pavithra ve ark. GPE hazırlamak için asetonitril'e poli etilen oksit (PEO) 20:1 oranında eklemiş biraz karıştırdıktan sonra, propilen karbonat, LiI ve I₂'de ilave edilerek bir sürede daha karıştırmışlardır [35]. Oluşan bu temel karışıma asetamidin farklı ağırlıklarda (% 0, % 2, % 4, % 5, % 6 ve % 8) katılmasıyla DSSC'lerin verimlilikleri arttırılmaya çalışılmış ve 2 saat boyunca 80 °C'de buharlaştırılarak hazırlanan GPE'lerin konformasyonel, elektrokimyasal, fotoelektrokimyasal özellikleri incelenmiştir. TiO₂'yi duyarlaştırmak için N3 boyası kullanılmıştır. PEO'nun seçilmesindeki temel neden termal olarak fotoelektrokimyasal stabilite, kimyasal ve polar yapısı nedeni ile çalışmalarında polimer olarak seçmişlerdir. Polimer elektrolitli hücreler 0.25 cm²'lik fotoanot alanı sahip ve 85 mW/cm² aydınlatma ışığı altında tutularak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Asetamid katılmayarak, jel polimer elektrolitler ile kıyaslama yapıldığında, PEO ile ağırlıkça % 5 oranında asetamid karıştırılarak hazırladıkları elektrolitleri kullanarak % 9.01 ile en yüksek verimliliğini elde etmişlerdir. PEO'ya asetamidin dahil edilmesi üzerine açık devre voltajı (V_{OC}) ve elektron yaşam süresinde artış olduğu, rekombinasyon reaksiyonlarında ise azalma olduğu fark edilmiştir. PEO üzerine asetamidin farklı ağırlıklarda dahil edilmesiyle elektrolitin amorf yapısındaki artış, tri-iyodür difüzyon katsayısı ve iyonik iletkenliğin artışına bağlayarak J_{SC} 'de gözlenen artışın nedeni olarak gösterilmiştir.

Wasan Maiaugree ve arkadaşları doğal organik boya tabanlı DSSC hazırlanması ve fotovoltajik performansı üzerine çalışmasında mongosteen meyvesinin yenmeyen kabuğunu DSSC boyası olarak kullanmışlardır [36]. Aynı zamanda karşı elektrot olaraksa mongosteen kabuğunun kullanmak için argon atmosferinde 85 °C'de 2 saat fırınlandıktan sonra yüzeye yapışması için 10 mL'lik PEDOT:PSS ile yüzeye bağlanması sağlanmıştır. Karbonize olmuş Mongosteen kabuğu ve mongosteen kabuğunun boyasından sırasıyla karşı elektrot katalizörü ve fotoduyarlayıcı boya

olarak kullanmıştır. Elektrolit olarak organik bir disülfid/tiyolat karışımını tercih etmişlerdir. Bu elektrolit türünü kullanmalarının nedeni olarak; literatürdeki çalışmalardan yararlandıklarını yüksek geçirgenlik ve düşük aşındırıcılık özelliğinin olmasından dolayı tercih ettiklerini belirtmişlerdir. SEM ve TEM görüntüleri ile mangosteen kabuğunun C karşı elektrot olarak kullanılması ile bal peteği yapısı gibi nanoboyutta pürüzlü bir yüzey sahip, büyük aktif bir yüzey alanı olduğu göstermişlerdir. Mangosteen kabuğunun boya ve karşı elektrot olarak kullanılarak elde ettikleri verim % 2.63'tür. Karşı elektrot olarak Pt'yi kullanmayı denediklerinde ise % 1.47 bulmuşlardır.

A.O.T. Patrocínio ve arkadaşları beyaz dut (*morus alba*), yaban mersini (*vaccinium myrtillus lam*) ve jaboticaba kabuğu (*Mirtus cauliflora Mart*) gibi doğal duyarlaştırıcılara dayalı cihazların verimliliği ve istikrarı üzerine araştırma yapmışlardır [37]. Sulu dut ekstraktı ile hazırlanan hücrelerde $P_{MAX}=1.6 \text{ mW/cm}^2$, $J_{SC}= 6.14 \text{ mA/cm}^2$ ve $V_{OC}= 0.19 \text{ V}$ değerlerini bulmuşlardır. Dut boyayla duyarlaştırılmış 0.5 cm^2 aktif alana sahip cihazların fotoelektrokimyasal parametrelerinin 14 hafta boyunca sabit kaldığı görülmüştür. Ayrıca vakum altında hazırlama tekniği ile hücreler, elektrolit çözeltisi ile doldurulduktan sonra hava ve su ile temas etmeyecek şekilde antosiyaninlerin bozulmasını önleyecek durumda kapatıldıktan sonra iyi bir verimlilikle 36 hafta sonrasına kadar bile kararlı bir şekilde kalmayı başardığı görülmüştür. Kullanılan doğal boyalar içerisinde en iyi verimliliği dut boya kullanılan hücrede olduğu görülmüştür. Dut meyvesinden çıkarılan boyanın, N3 boya kullanılarak yapılan güneş hücreleri ile kıyaslandığında ise düşük fotoakım görülmüştür. İstikrar durumunun ise her iki boyada aynı doğrultuda olduklarını gözlemlemişlerdir.

Kyung Hee Park ve arkadaşları boya duyarlaştırıcı malzeme olarak kırmızılahana özünü kullanarak DSSC parçalarını birleştirilmiştir [38]. Çalışmalarında farklı çözücüler ve pH'lar altında kırmızılahananın ışık toplama ve elektron transferi için elektrokimyasal davranışları ve absorpsiyon karakteristiklerini araştırmışlardır. Farklı çözücü olarak su yerine etanol kullanıldığında daha yüksek fotovoltaj performansı gösterdiğini görmüşlerdir. Ayrıca HCl ve NaOH eklenmesi yapılarak pH düzenlenmesi yapıldığında, kimyasal yapının değişmesine yol açtığını

gözlemlemişlerdir. DSSC'lerin performanslarının artışının boya çözeltisinin pH'nın düşmesinden kaynaklandığını düşünmüşlerdir. En yüksek verimli sonuçları pH = 3.5'de kırmızılahana ile duyarlaştırılmış DSSC'ler için verim (η)= % 0.4, J_{SC} = 1.60 mA/cm², FF= 0.55, V_{OC} = 0.46 V değerlerini elde etmişlerdir.

Emerson Henrique de Faria ve arkadaşları çalışmalarında Karadut'tan çıkarılan organik siyanidin boyası ile işlevselleştirilen TiO₂ filmleri incelemişlerdir [39]. 12 mL etanol içerisine 1g karadut meyvesini katılarak, karışımın özü çıkarılıp filtrelemiştir. TiO₂ ve siyanidin arasındaki etkileşmenin, hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonu sırasında oluştuğunu belirtmişlerdir. TiO₂, sol-gel metodu ile işlevselleştirilmiş ve daldırarak kaplama (dipcoating) yolu ile cam alttaş üzerine yerleştirmişlerdir. TiO₂ atomlarının sayısına bağlı olarak daha büyük miktarda boya moleküllerini absorbe eden malzeme yapısı oluşturulmuştur. Çalışmalarının amacı filmin özellikleri üzerine, biriktirme süresi ve hızının etkisi ve aynı zamanda boya ve yarıiletken arasındaki etkileşimi araştırmaktır. UV spektroskopisini kullanarak, TiO₂ ile siyanidin birleşiminden oluşan anot tabakası üzerindeki ince film için absorbans aralıklarına baktıklarında 595 nm de etanol solüsyonu, 545 nm de ise kullandıkları boyanın absorpsiyon bandı geçişlerini gözlemlemişlerdir. M-line spektroskopisi ve profilometri kullanılarak filmlerin 100 nm'lik kalınlıklarda üretildiği belirlenmiştir. SEM analizleri ile de filmlerin yüksek yoğunlukta olduğu doğrulanmıştır.

Jasim Uddin ve arkadaşları Bangladeş'te yetiştirilen kırmızı amarant (Amaranthus sp.) bitkisinden yeni bir doğal boya elde ederek DSSC çalışmasında boya duyarlaştırıcısı olarak kullanmıştır [40]. Su, metanol, etanol ve aseton gibi çeşitli polaritelerdeki çözücüleri, boyayı çıkarmak için kullanmışlardır. Kullanılan çözücü türünün önemine vurgu yapılmasına ek olarak, TiO₂'nin boya içerisinde kalma süresinin zamanının da optimize edilmesi gerektiğini düşünmüşlerdir. Ham boyanın farklı polar kısımları sütun kromatografisi tekniği ile ince bir tabaka aracılığıyla çeşitli polar çözücüler kullanılarak ayrılmıştır. En iyi verimliliği ham haldeki boyanın diğer çözücülere göre daha düşük polariteye sahip olan aseton ile çıkarılması ile ve TiO₂ ile 30 dakika boyunca duyarlaştırılması sonucunda elde edilerek % 0.22 verimlilik, V_M = 0.492 V ve J_{SC} = 0.78 mA/cm² değerlerini elde etmişlerdir.

Kullandıkları boyanın özünü su ile çıkardıkları zaman ise elde ettikleri verimi 0.04 olarak bulmuşlardır.

Jun Kyokane ve Masato Ohmukai çalışmalarında dimetil sülfoksit ve LiI'i karıştırarak ve daha sonra karışıma AMPS'yi ekleyerek gel oluşturmuşlar [41]. Farklı oranlarda poli etilen gikol (PEG) ekleyerek, florlu bir jel elektrolit oluşturmuştur. Akım-gerilim (I-V) karakteristiklerini gözleyerek farklı konsantrasyonlarda değişimi raporlamışlardır. Elektrot üzerine florlu jel elektrolitleri uygulayarak DSSC'leri imal etmiş ve TiO₂ nanoparçacıklarının topaklanması durumunun, güneş hücrelerinin performansına etkisi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Florlu jel elektrolit kullanmalarının sebebi olarak, florlu alkil grupları ve iyonik bağlar arasındaki moleküler kuvvetten kohezifliğin sağlanmasıdır. PEG miktarının artışının, üretilen gücü düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. İlave edilen PEG miktarı, toplam jel ağırlığın %10'una kadarken, sönt devre akımı en yüksek değerde olmuştur. Çok fazla PEG kullanıldığında FTO elektrot ile absorblayıcı boya arasında elektriksel yolun oluşumunu engellediğini düşünmüşlerdir. Değişen nanoparçacık boyutuna sahip P-25 malzemesi florlu jel elektrolit karışımına eklenmiştir. Toplam jel polimer ağırlığının %100'ne kadar P-25 eklenmesi bariz bir şekilde üretim gücünü arttırmıştır. Bu sonuçtan yola çıkarak P-25 gibi farklı boyutlardaki TiO₂ nanoparçacıklarının dahil edilmesi, pürüzlü ve büyük bir yüzey alanına sahip yapı haline getirilmesinde önemli bir rol oynayarak, hücre performansındaki artışın altında yatan etken olduğu kanısına varmışlardır.

K. Prabakaran ve arkadaşları, çözücü döküm yöntemiyle hazırladıkları Poli Etilen Oksit (PEO) ve Poliviniliden florür-ko-hekza floropropilen (PVdF-HFP)/ PEO (ağırlıkça % 60:40) karışımı DMF çözücüsü içerisinde 80 °C'de polimer elektrolitler hazırlayarak, TiO₂ yüzeyini doldurmuşlardır [42]. Çalışmalarında boya duyarlaştırıcısı olarak Hierochloe odorata (Şeker otu) bitkisini kullanmışlardır. Polimer elektrolit ağırlığının % 7'sine kadar amino propil trimetoksi silanla muamele edilmiş TiO₂ ilave edilmesiyle iyonik iletkenlik, iyonik hareketlilik, yük taşıyıcı konsantrasyonu, iyon difüzyon katsayısı artışı göstermiştir. Daha yüksek konsantrasyonlarda muamele edilmesi halinde ise karışabilirliğin azalabileceğini ve bunun da faz ayırımına neden olabileceğini düşünmüşlerdir. XRD sonuçlarında TiO₂

modifiye yüzeyine PEO / PVdF HFP karışımı elektrolitin eklenmesiyle kristal fazı içerisinde değişiklik gözlemleyerek, polimer matrisinin kristallik derecesine ve TiO₂ nanoparçacık yüzey fonksiyonelliğine etkisi analiz edilmiştir. Çalışmalarında katı hal boya duyarlı güneş hücreleri çatısı altında duyarlaştırıcı olarak doğal boya, polimer elektrolit oluşumu için ise TiO₂/PEO/PVdF-HFP karışımından oluşan nanokompozitlerler hazırlanmıştır. TiO₂ tabakası da amino propil trimetoksi Silan ile modifiye edilerek 0.5 cm² lik alan üzerine hücreleri imal etmişlerdir. Silanla modifiye edilmiş TiO₂ kullanıldığında V_{OC}'nin 0.31'den 0.47'ye arttığını ve % 64 ile iyi bir FF elde edildiği rapor etmişlerdir. Bunun sebebi olarak ise K⁺ ve Silan moleküllerinin etkileşimi sonucu olduğu tahmininde bulunmuşlardır. İyon taşınmasının hızlı olmasının sebebinin elektrotlar arasındaki kanalların fazla olmasından kaynaklandığı görülmüştür. PVDF-HFP yapısında mevcut olan CF₂ grubu PEO polimeri ile karıştırıldığında yapısındaki C-O-C ile güçlü etkileşim nedeniyle daha iyi bir uyumluluk verebildiğini görmüşlerdir [42].

Sofyan A. Taya ve arkadaşları, yarıiletken tabaka olarak ZnO ve TiO₂'yi kıyaslamış ve verimliliklerin ZnO tabakalara göre TiO₂ tabakalarda daha iyi olduğunu rapor etmişlerdir [43]. Raporları doğrultusunda 0.25 cm² lik alana kaplanmış nanokristal TiO₂ elektrotlar için duyarlaştırıcı olarak dereotu, maydanoz, roka, yeşil alg, ıspanak gibi beş ayrı bitki yaprağının özünü kullanmışlardır. Yapraklar, hem kurutulmadan önce hem de kurutulduktan sonra duyarlaştırıcı olarak ayrı ayrı kullanılmıştır. 100 mW/cm²'lik aydınlatma altında fotovoltaiik parametreleri belirlenmiştir. Kullanılan boyalardan bazılarının kurutulduktan sonra, bazılarının ise kurutulmadan önce en iyi performansı sergiledikleri bulunmuştur. Ispanak bitkisinden elde edilen verim % 0.29 ile çalışmaların içerisinde en yüksek olanıdır. DSSC verimlilikleri ise 30 °C'den 60 °C'ye boyama sıcaklığının artışı ile artmış ve boyama sıcaklığının bu değerden sonra artışı ile de verimliliklerin azaldığı görülmüştür. DSSC'lerin verimliliği boya solüsyonun TiO₂ daldırma zamanı ve daldırmanın 12 saate kadar olan doyumunu ile arttığı, 12 saatten sonra verimlilik üzerinde önemli bir etkisi bulunmadığı görülmüştür.

Masato Ohmukai ve Jun Kyokane florlanmış oligomer jel elektrolitleri inceleyerek iyonik sıvıların iki türü 1-etil-3-metil-imidazolyum trifluorometansülfonat, 3-metil-

imidazolyum tetrafluoroborat ile karıştırarak test etmiştir [44]. Lil, dimetil sülfoksit (DMSO) gibi iyonik sıvılar ile karıştırıldıktan sonra florlanmış oligomerler eklenerek iyi bir şekilde karıştırılır. Florlanmış oligomerlere imidazolyum ve triazolium tabanlı iyonik sıvılar ilave edilmiş ancak oligomerlerin içerisine tam olarak nüfuz edememiş ve bu nedenle verimliliklerinin düşük kaldığı görülmüştür ve 4-tert-butilpiridin elektrolitte mikro faz ayrımını oluşturmak için önemli bir etkiye sahip olduğu düşünülmüştür. Hücrelerin arasını kapatmak için epoksi reçinesi kullanılmıştır. Pridin ilave edilerek veya pridin katılmadan inceleme yapılmış ve pridin ilave edilenlerde yüksek elektrik iletkenliği, J_{SC} ve V_{OC} bulunmuştur. Pridin miktarı arttıkça J_{SC} , FF, V_{OC} miktarı artmıştır. 55 mW/cm^2 'lik ışığa gücü altında en yüksek % 4'lük bir verim elde etmişlerdir. Daha da fazla piridin ilavesi yapıldığında ise J_{SC} değerinin azaldığı görülmüştür. Pridin ilave edilmesinin hücre performansını arttırmasındaki neden, rutenyum boyaya bağlanması ile elektrolit içerisine geri aktığında boyayı uyarılmış halde tutmaya çalışmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Masato Ohmukai ve Jun Kyokane bir başka çalışmalarında ise çapraz bağ içermeyen florlanmış jel elektrolit ile DSSC'leri imal etmiştir [45]. Bu çalışmayı sunarken ise zor bir konu olduğu notunu düşerek, elektrolit jelasyonunun hücrenin dayanıklılık problemini çözmek için önem taşıdığını belirtmişlerdir. Florlanmış jel türünü seçmelerinin nedeni olarak ise hiçbir UV ışığa işlemine tabi tutmayı gerektirecek kimyasal bir aşama gerektirmemesi etken olduğunu belirtmişlerdir. Katot üzerine DC püskürtme tekniği ile Pt biriktirilerek çalışma yapılmış. Pt'nin biriktirilme süresinin J_{SC} ve V_{OC} değerlerini etkilediğini gözlemlemişlerdir. 10 nm'lik kalınlıkta Pt kaplaması yapılmıştır. Deneysel sonuçlarının Pt katmanının optimum püskürtme süresinin 9 nm'lik kalınlığa geldiği zaman olduğunu belirlemişlerdir. Pt'nin durumunun TiO_2 ve boyadan daha da önemli olduğuna vurgu yapılarak, yüzey pürüzlülüğü'nün performans artışı için kritik öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir.

M. H. Khanmirzaei, S. Ramesh, K. Ramesh yaptıkları çalışmalarda, biyolojik olarak parçalanabilen pirinç nişastasını, farklı iyodür tuzları olan, lityum iyodit (LiI), amonyum iyodit (NH_4I) ve sodyum iyodit (NaI) kullanarak farklı polimer elektrolitlerin (PE) hazırlanması için kullanmıştır [46]. Pirinç nişastası tuzların türleri

(LiI, NH₄I, NaI) ile karıştırılarak, 25 mL distile su içerisine ağırlıkça % 5, 10, 15...45'e kadar olan aralıklarda eklenerek ayrı ayrı her tür için 80 °C'de 15 dakika boyunca ısıtılmaya bırakılmışlar. Pirinç nişastası kullanmasının nedeni olarak ise, biyopolimer olması, yüksek amiloz ve düşük viskoziteye sahip olmasından dolayı tercih etmiştir. Fazla miktarda amilozun olması durumunda, iyonların hareketliliğinin artmasına ve iyonik iletkenliğin yüksek olmasına sebep olduğunu belirlemişlerdir. Polimer elektrolitler çözelti döküm yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. PE'lerin iyonik iletkenliği ölçülmüş ve sıcaklığa bağlı davranışı incelenmiştir. NaI içeren PE sistemi ağırlıkça % 45 NaI ilave edildikten sonra en yüksek iyonik iletkenliği 4.79×10^{-4} S/cm ile göstermiştir. Bu elektrolitle yapılan PE'ler için $J_{SC} = 2.4$ mA/cm², $V_{OC} = 0.485$ mV, $FF = 0.67$ $\eta = \% 0.78$ değerleri bulunmuştur. Boya duyarlaştırıcısı malzemesi olarak ise N719 kullanılmıştır. Ayrıca sıcaklığa bağlı iyonik iletkenlik çalışması yapılarak bütün polimerlerin Arrhenius modeli davranışını gösterdiği gözlemlenmiştir. FTIR sonuçları ile polimer ve tuzlar arasında kompleks oluştuğu da doğrulanmıştır.

Yukarıda bahsedilen literatür özetlerinden de görülebileceği gibi, üçüncü nesil güneş pilleri olarak ifade edilen DSSC'ler üzerine verim artırmaya yönelik çalışmalar yapılmış olsa da genel anlamda çalışmaların nicelik açısından kısıtlı olduğu görülmektedir. DSSC'lerde özellikle sıvı elektrolit kullanımı bir problem olmakta, pilin zamanla kararlılığı elektrolitin buharlaşması veya sızması gibi etkenlerle zayıflamaktadır. DSSC'lerdeki sıvı elektrolit problemi ve DSSC'lerin kararlılıkları üzerine yapılan bilimsel çalışmalar ise literatürde yok denilecek kadar azdır. Yapılan bu tez çalışması sıvı elektrolit problemini çözebilecek özgün, güneş pili verimine olumlu katkı yapabilme potansiyeline sahip, yeni bir çeşit jel polimer elektroliti önermektedir. Kullanılan yeni tipteki jel elektrolit ile DSSC'lerin üretim sonrası kararlılığı 150 gün boyunca elektriksel ölçümlerle incelenmiştir. Bu çalışmanın konu üzerinde literatür eksikliğini tamamlamaya yardımcı olacağı, ayrıca üretim yapan sektöre de ışık tutacak düzeyde bilgi içerdiği düşünülmektedir.

2.GENEL BİLGİLER

Bu bölümde güneş pillerinin yapısı, çalışma prensibi, performansını etkileyen parametreler ve elektrolit türlerinin kullanılmasına yönelik araştırmalar özetlenmektedir.

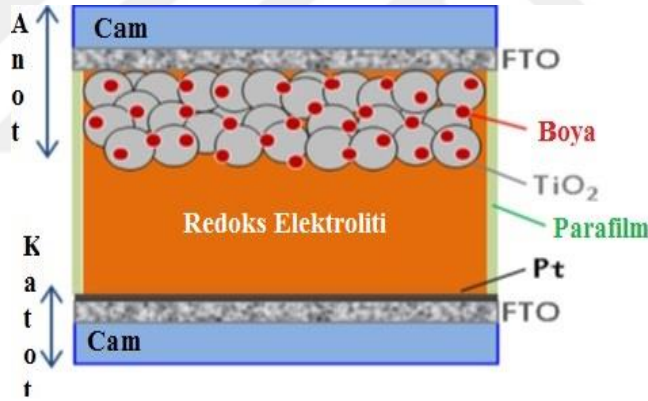
2.1. Shockley ve Queisser Sınırlaması

İlk kez termodinamik eksenli, güneş hücrelerinin verimlilik hesabı 1961 yılında Shockley ve Queisser tarafında gerçekleştirilmiştir. Herhangi bir yarı iletken, bant aralığı enerjisine eşit veya daha fazla enerjiye sahip olan fotonlarında akıma katkı sağlayabileceği bilinmektedir. Shockley–Queisser limit değerine göre kırmızıdan mora kadar olan görünür ışığın büyük çoğunluğu bunu yapmak için gerekli enerjiye sahiptir. Mavi ve mor tayfta bulunan fotonların bant aralığını geçmesi için çok fazla enerjiye sahip olması gerekir. Fazla olan foton enerjileri elektronlara aktarılırken bu enerjinin çoğu ısı enerjisi olarak atılır. Burada kaybolan ısı enerjisinde kazanca dönüştürülebilir ise, verimliliğinde artacağı düşünülmüştür. Işığın soğurulması ve taşıyıcıların oluşumu, soğurucu katman malzemesinde meydana geldiği için güneş hücrelerinin verimi, soğurucu malzemenin özelliklerine de güçlü bir şekilde bağlıdır. Shockley–Queisser limit sınırlamalarına göre bir başka durum ise, foton yakalamak için hazırlanan n-tipi katmanın normalin üzerinde bir kalınlıkta olmasıdır. Bu durum fırlatılan elektronun p-n birleşimine ulaşmadan elektron deliğine ulaşması şansını arttırdığı anlamına gelir. n-tipi tabaka kalınlığının iyi ayarlanabilmesi ile bu sınırlama limiti etkisi özellikle silisyum güneş hücrelerinin verimliliğinde genel verimlilikler için % 12'den % 15'e kadar, laboratuvar hücreleri için % 25'e kadar, teorik olarak maksimum tek katman güneş pili için % 30 civarına kadar bir üst limit (Shockley–Queisser limit) oluşturur. Güç dönüşüm verimliliğinin bulunmasında farklı hesaplamalar kullanılmıştır. Ancak bu bahsedilen kavramların değerlendirilmesi çerçevesinde en popüler hesaplama Shockley ve Queisser'e aittir [3]. Işığın soğurulması ve taşıyıcıların oluşumu soğurucu katman malzemesinde meydana geldiği için güneş hücrelerinin verimi, soğurucu malzemenin özelliklerine güçlü bir şekilde bağlıdır. Tek bir foton için tek elektron veren bir cihaz dikkate alındığında 1 güneş (1 sun) aydınlatması altında % 31 verimlilikte ve hatta maksimum

yoğunlaştırılmış güneş ışığı (46.200güneş) altında % 40.8'e kadar verimliliğin arttırılabileceği ispatında bulunmuşlardır. Enerji kayıplarını azaltarak ve genel güç dönüşüm verimliliğini arttırmak için öne sürülen bu yaklaşımdan yola çıkarak, üçüncü nesil olarak etiketlenmiş tüm fotovoltaik sistemler, Shockley ve Qeisser sınırlarının yukarısında güç dönüşümü ve potansiyeli verebileceği düşünülmektedir. Çeşitli katı-katı ve kat-sıvı ara yüzeyleri anlayışımızdaki ilerlemeler, yarı kristalin ve tek tek dağılmış koloitlerin, polimer jellerin, sıvı elektrolitlerin ve hatta amorf malzemelerin kullanımına izin vermektedir [3].

2.2. Üçüncü Nesil Güneş Pilleri (Boya Sentezli Güneş Pili) ve Çalışma Prensibi

Boya Sentezli Güneş Pillerinin çalışma mekanizması bitkilerin fotosentez reaksiyonu çalışma durumuna çok benzer olduğundan genellikle yapay fotosentez olarak da adlandırılır [7].



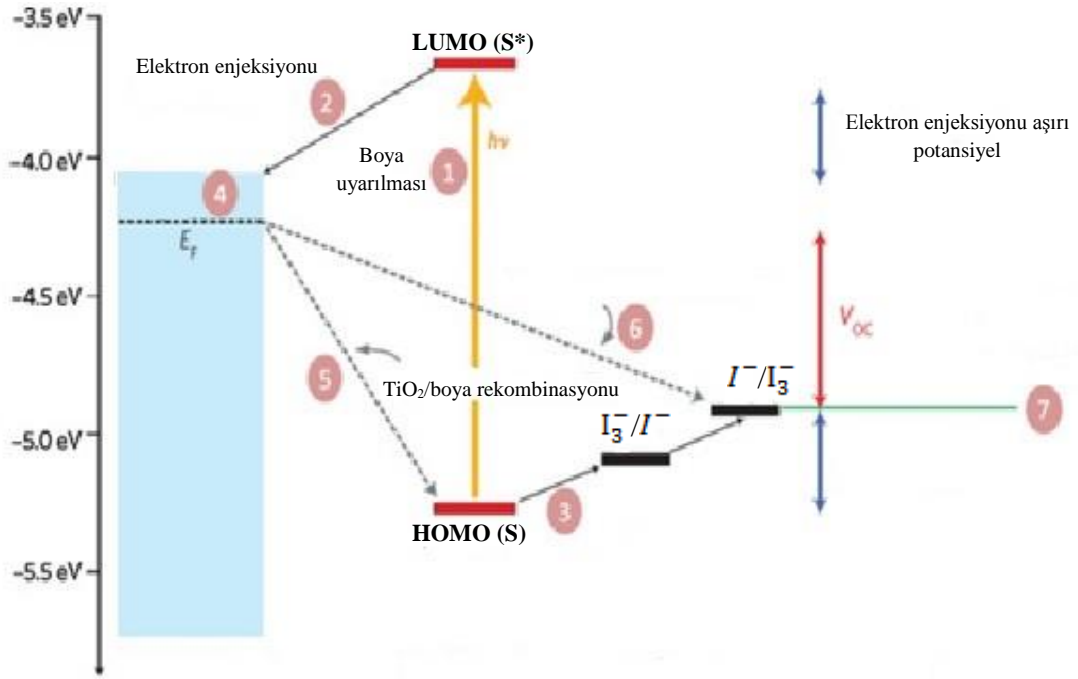
Şekil 2.1. Boya duyarlı güneş pilinin genel şematik gösterimi

Standart bir boya duyarlı güneş pili çalışma mekanizması Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Boya duyarlı güneş pilinin bileşenlerinde geniş bant aralığına sahip yarı iletken matris olarak genellikle cihazın kalbinde TiO₂ nanopartiküllerin (TiO₂NPS) ağı ile oluşan bir mezo-gözenekli yarı iletken oksit filmi elektronik iletimi kurmakla birlikte sinterlenerek oluşturulmaktadır. Film kalınlığı yaklaşık olarak 12 mikron olan bir TiO₂ yapısında %50-60 arasında gözenek miktarı mevcut olmakta ve nanopartikül çapları ise yaklaşık olarak 10-30 nm arasında değişmektedir. TiO₂ katmanı, şeffaf iletken oksit (TCO) cam alt-tabaka üzerine serilir. TCO üzerine tatbik edilmiş olan indiyum katkılı kalay oksit (ITO), flor katkılı kalay oksit (FTO) veya alüminyum

katkılı çinko oksit (AZO) gibi alttaş iletken malzemeleri olarak seçilebilir [7]. Molekül duyarlaştırıcı tek tabaka halinde, nanokristal filmin yüzeyi üzerinde absorbe edilir. İletken alt tabakayı içeren grup, yarıiletken nanopartikül ve TiO₂ tabakası tarafından absorblanmış boya molekülleri fotoanot olarak adlandırılır. Hücre ayrıca, genellikle bir organik çözücü, iyodür/triiyodür redoks elektroliti sistemi ve karşı elektrot ihtiva etmektedir ancak elektrolit için iyodür tabanlı, tiyosiyanat tabanlı ve kobalt tabanlı elektrolitlerde literatürde kullanılmıştır [7]. Karşı elektrot için genellikle FTO cam üzerine ince tabaka olarak kaplanmış Pt katalizörü kullanılır. Boya sentezli güneş pilleri ucuz yarıiletken, bir boya, redoks çifti, iki iletken cam ve metal katalizörü içerir. Bu basit, ucuz ve bol malzemelerden birinci ve ikinci nesil güneş pillerinden belirgin farklılıklara sahip güneş pilleri yapılmıştır [47].

Birinci ve ikinci nesil güneş pillerini bir yana bırakacak olursak, üçüncü nesil güneş pilleri bile kendi içerisinde farklı özelliklere sahiptir. Örnek verecek olursak polimer elektrolitli boya duyarlı güneş pilleri ile yapı olarak katı hal boya duyarlı güneş pilleri birbirinden farklılık göstermektedir. Bu farklılık yük ayırımının yapılma mekanizması ve sıvı bir elektrolit kullanımından kaynaklanmaktadır.

DSSC'lerin çalışma prensibi, göreceli olarak basit ve fotoelektrokimyasal olarak yenilenebilir hücrenin tipik bir örneğidir. Şekil 2.2'deki farklı reaksiyon tepkileri referansları ile açıklanmış elektron transferi için kinetik verileri listelenmiş olarak aşağıdaki adımlara ayrılabilir:



Şekil 2.2. Boya duyarlı güneş pilinin çalışma mekanizması

(1) Boya uyarma; ν frekanslı bir fotonun emilimi üzerine, duyarlaştırıcılar temel durumdan (S), uyarılmış duruma (S^*) geçmektedir.



İyi bir cihaz performansı için temel durumda ki boyanın uyarılmış duruma geçerken ki elektron enjeksiyonu süresi karşılaştırılmalıdır. Bu olay boyanın uyarılmış durumda ki yaşamsüresi (lifetime) tarafından yönetilir (Ru kompleksleri için bu süre 20-60 ns arasındadır) [48].

(2) Elektron enjeksiyonu; Uyarılmış elektron ultra hızlı bir şekilde (femtosaniye ölçeğinde) TiO_2 'nin iletim bandına geçmektedir [49]. TiO_2 'nin iletim bandındaki elektron, sıvı elektrolit ile doldurulmuş yarıiletkenin ağlarına hızlı bir şekilde transfer edilmektedir [7].



Ayrıca yarıiletken tabaka olarak TiO₂'den farklı malzemelerde ileri sürülmüştür [50,51]. TiO₂ iletim bandına geçen elektronlardan geriye boyanın HOMO seviyesindeki holler kalır [7].

(3) Oksitlenmiş boya rejenerasyonu; boya duyarlaştırıcıları, elektrolitlerde çözülmüş redoks bileşenleri oksidasyon reaksiyonu yolunu kullanarak redoks iyonları aracılığıyla rejenere edilebilir. Oksitlenmiş boya, elektron donörleri (I⁻) tarafından mikrosaniye zaman diliminde yeniden yüklenir. Bu reaksiyon ise aşağıdaki şekilde verilir [48];



(4) Gözenekli oksit film aracılığıyla elektron taşınımı; DSSC'lerde önerilen en kafa karıştırıcı durumlardan biriside nanokristal yapıda TiO₂ tabakası içinden yüksek verimlilikte yük taşınmasıdır.



Rekombinasyon kaybına uğramadan TiO₂'nin iletim bandındaki elektronlar difüzyon yolu ile karşı elektrota doğru yol alır. Bu işlem çok hızlı bir şekilde ışığın akıma dönüşümünü başlatır. Enerji dönüşüm sürecinde bir DSSC verimliliği duyarlaştırılmış yarıiletken tabaka, elektrolit arayüzeyinin birleşim yerlerindeki enerji düzeylerine ve elektron transfer süreçlerinin kinetiğine bağlıdır. Hücrenin verimli çalışabilmesi için elektron enjeksiyon hızı, boyanın uyarılmış durumunun bozulmasından daha hızlı olması gerekir [7].

(5) Yarıiletkenden oksitlenmiş boyaya elektron rekombinasyonu; Yarıiletken elektron konsantrasyonuna bağlı olarak, mikrosaniyelik zaman diliminden bile hızlı bir şekilde meydana gelen istenmeyen bir süreçtir. Uyarılmış haldeki boya ile TiO₂'de bulunan elektron birleşerek boyanın geri temel hale indirgenmesi sürecini kapsamaktadır.



(6) Yarıiletken elektronlarının elektrolit türleri ile rekombinasyonu; I_3^- dış devre aracılığıyla elektronların indirgenmesi reaksiyonu ile yenilenir ($I_3^- + 2e^- \rightarrow I^-$) ve karşı elektroda doğru difuze olur. Bu süreç elektron ömrünü etkiler (τ_n). I^- / elektrolit türü aracılığı ile çok uzun yaşam süreleri gözlenmiştir (güneş ışığı altında 1-20 ms dir). Böylece redoks çifti seçimi öneminin arkasında ki neden açıklanmış olur. İstenmeyen rekombinasyon reaksiyonu olarak oluşan durum aşağıdaki gibi yazılabilir:



(7) Karşı elektrot katalizörü ile elektrolit içerisindeki elektron akseptörünün indirgenmesi; Aynı şekilde, boya da redoks mediatörü, yeniden oluşturulmalıdır. Karşı elektrot olarak nano ölçekli Pt kümeleri kullanıldığında, elektrolit içerisindeki elektron akseptörünün indirgenmesi için Pt katalizörünün katalitik aktivitesi oldukça yüksek olması gerekmektedir.

2.3. Boyanın Özellikleri

Yapısına göre organik boyalar ve inorganik boyalar vardır. Organik boyalar inorganik boyalarla karşılaştırıldığı zaman geçiş metal kompleksleri Metalloporfirinler, metalo-phthalosyaninler ve inorganik kuantum noktaları (CdS, CdSe, CZTS, ZnTe) polipridil kompleksleri gibi metal kompleksleri ihtiva ederler. Yüksek termal ve kimyasal kararlılığa sahiptir. İyi bir boya aşağıdaki özellikler sahip olmalıdır:

1- Yakın infrared bölgenin tamamını soğurmalı. UV- görünür bölgede dahil olmak üzere 920 nm'ye kadar olan bölgeleri soğurmalı,

2- Yarıiletken TiO_2 tabakasının üzerine iyi bir şekilde yapışmalı,

2-i- $COOH$, H_2PO_3 , SO_3H yapısı bulduran boyalar TiO_2 tabakanın üzerine daha iyi bir şekilde tutunma sağlar ve verimi artırır.

3- Boyanın LUMO seviyesi yarıiletkenin iletim bandından daha yüksek olmalı (TiO_2 n tipidir) [42].

4- Boyanın oksitlenme seviyesi elektrolitin redoks potansiyelinden daha yüksek olmalı

5- Yarıiletken üzerine boyanın topaklanması engellenmelidir veya boya kümelenme karşısı bir özellik göstermelidir.

6- Fotoduyarlaştırıcılar fotokararlı olmalı ayrıca elektrokimyasal özellik sergilemelidir.

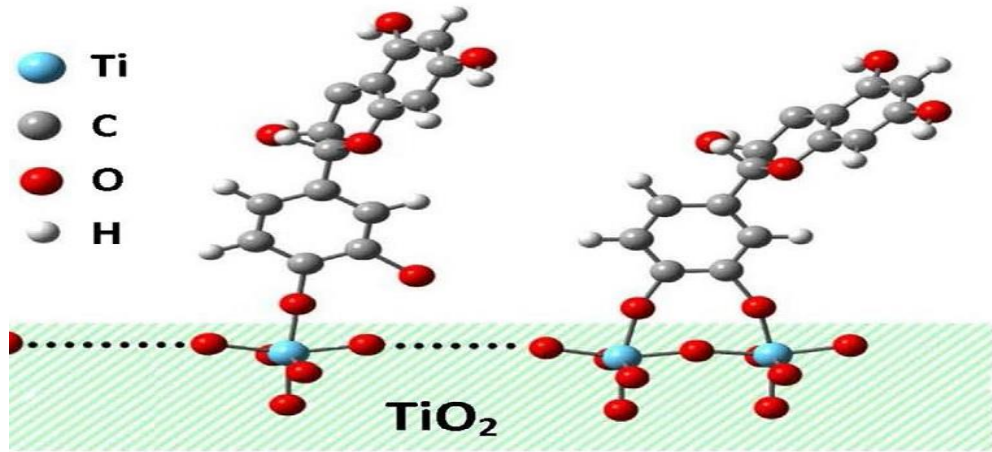
7- Boya tabakasındaki elektron ve holler çok küçük mobiliteye sahiptir. Bu tabaka yaşam süreleri boyunca membranlara ulaşmak için çok ince olmalıdır.

8- Boyalarda, kumarin ve perilen vs. tarzında sentetik boyalardan oluşabileceği gibi doğal organik boya türleride vardır.

İnorganik boyaların çevresel zararları göz önüne alındığında ve doğal boya olarak kullanılan metal kompleksi içeren boyaların ise pahalı olması, bitkilerden elde edilen boyalara yönelmesini sağlayarak bu alanda çalışmalar hızla devam etmektedir [7,19].

2.4. Boya-TiO₂ Etkileşmesi ve Boyanın Yapısı

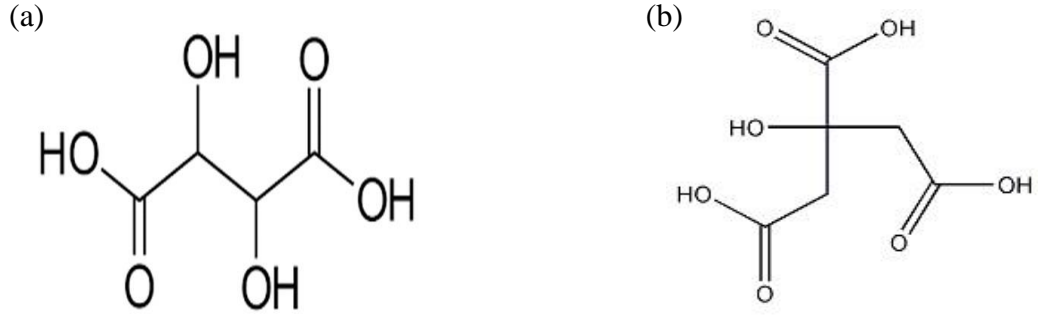
Boya duyarlı güneş pilleri düşük üretim maliyetleri ve yüksek güç dönüşüm verimliliği ile yeni nesil güneş pili çalışmalarıyla dikkat çekmektedir [19]. DSSC'ler elektrokimyasal yollarla gelen ışık huzmesini enerjiye çeviren, elektron kaynağı olarak boyar maddeyi pilin elektron kaynağı olarak kullanan organik yarı iletken bileşiklerdir. Boyanın bant aralığına uygun ışığın boya üzerine düşürülmesi ile boyar maddenin valans bandındaki elektron iletim bandına geçecektir. Anot tabakası olarak yarıiletken maddeler kullanıldığında iletkenlik bandının, boyanın iletkenlik bandı ile mümkün olan en yakın seviyede olacak şekilde boyalar seçilmelidir ki bantlar arası geçişlerde elektron kaybı yaşanmasın. Çalışmamızda kullandığımız karadut doğal boyar maddemizin içerisinde bulunan antosiyonin moleküllerinin TiO₂ yüzeyi ile etkileşmesi Şekil 2.3'deki gibidir. Yapısında antosiyonin içeren boyaların tercih edilmesinin nedeni ise yapısında hidroksil ve karboksil grupları bulundurduğu için TiO₂'ye çok iyi bir şekilde tutunabilme sağlamaktadır.



Şekil 2.3. TiO₂ üzerindeki antosiyanin moleküllerinin bağlanma görüntüsü

Boya duyarlı güneş pillerinde foton absorblanmasını TiO₂ tabakası direk olarak yapamamaktadır. Bu sebeplerden dolayı üzerinde elektron boşlukları oluşmadığından elektronun geri dönüşümü olayı gerçekleşmemektedir. Boya duyarlı güneş pilleri düşük ışık koşullarında bile düzgün bir performans gösterir. Işığın absorblanması ve elektronun uyarılması işlemi boya moleküllerinde gerçekleşir. Antosiyanin pigmentleri içeren meyvelerden ve bitkilerden elde edilen doğal boyalar güneş pillerinde uygulanmaktadır. Kırmızı, mavi, mor renkleri vermesini sağlayan Karadut'un boyar madde olarak kullanılmasında ki en temel sebep antosiyaninlerce zengin olmasıdır. Antioksidan kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle serbest radikallerin yol açtığı reaksiyonları önleyerek veya durdurarak oksidatif stabilitelerini arttırdığının bilinmesidir. Ayrıca yapısında büyük miktarda siyanidin moleküllerini içermektedir [39]. Karadut'un ayrıca antioksidan kapasitesinin ve anti radikal aktivitesinin fenolik madde içeriği ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Karadut'un içerisinde askorbik asitinde bulunduğu görülmüştür. pH değeri 3.75-5.65 arasında değişmektedir. pH yükseldikçe renk zayıflar, yüksek pH'larda yeşil mavi, düşük pH'larda ise mor kırmızı bir renk alır. Antosiyaninler yüksek alkali ortamda mavi rengi alırken, alkali bir ortamda yeşil, asidik ortamda açık kırmızı, nötr bir ortamda ise mor bir renk alır. Karadut (*Morus nigra*) şekerler, boyar maddeler (elajik asit) ve organik asitler (tartarik ve sitrik asitler) taşımaktadır [52]. Şekil 2.4'de karadut boyar maddenin içindeki organik maddelerin temel yapısı gösterilmektedir. Yapılan araştırmalarda karadut meyvesindeki antosiyaninlerin

siyanidin-3-glikozit, pelargonidin-3-glikozit ve syanidin-3-rutinozit olduğu belirlenmiş ve 231.26-+ 21.75 mg/L bulunmuştur [53]. Bölüm 2.3’de belirtildiği gibi yapısında karboksil gruplarının olması TiO_2 ’ye bağlanma bölgesini oluşturmaktadır.



Şekil 2.4. Karadut’ta bulunan (a) tartarik ve (b) sitrik asit’in temel yapısı

Boya malzemesinin foton absorblaması ile boyanın içinde uyarılan elektronların TiO_2 tabakanın iletkenlik bandına geçmesi ve oradan da difüzyon yoluyla cama geçmesi ve katot kısmında camda yine tekrar birleşmesi olayları her zaman iletken cam üzerinde gerçekleşmektedir. İletken olan cam malzemeler anot ve katot kısımlarının taban malzemesini oluşturmaktadır. Boyanın yanı sıra kullanılacak iletken cam malzemeler özellikle şeffaf olmalı ki gelen fotonları gereksiz yere absorblama durumunun oluşup foton elektron üretmeden işlevini kaybetmemelidir.

2.5. Elektrolit

Temel bileşenlerden biri olarak elektrolit, gözenekli TiO_2 katmanın içinde yayılarak iç elektrik iletkenliği sağlar ve elektrolitin iyonik iletimi hücre performansının belirlenmesinde önemli bir faktördür [54]. Elektrolit ışık enerji dönüşümü verimliliğini sürdürebilmek amacıyla karşı elektrot ve nanokristal tabaka arasında yük taşıyıcılarının hızlı difüzyonunu garanti etmeli, oksitlenmiş boyanın hızlıca indirgenmesini sağlamalıdır. Elektrolitler DSSC’lerin ve birçok fotovoltaiik yapının çalışma performansında önemli bir rol oynar. Katot ve anot kısımları arasında bulunur [7]. Katı elektrolitler, sıvı elektrolitler, polimer elektrolitler gibi çeşitli özelliklere sahip elektrolitler farklı türde çalışmalarla incelenerek elektrolitin geliştirilmesi açısından rol oynarlar. Gözlenen verimlilikler katı polimer elektrolitlerden oluşan DSSC’ler için oldukça düşüktür. Bunun sebebi katı matrisindeki iyonların düşük iyonik iletkenliğe sahip olması ve hücrelerin

bozulmasına neden olan iyodit tuzlarının kristalleşmesinin gözlenmesi sebebiyle olabilmektedir [35]. Sıvı elektrolit kullanımı ise DSSC'ler gibi heterojen dönüştürücülerde elektronötrallığın problemine etkili bir çözüm sunmaktadır. Sıvı elektrolit ve iyonik sıvı temelli metal tuzlarının çeşitli türleri olarak triiyodür (I^-/I_3^-), tiosiyanat (SCN^-/SCN_3^-) temelli, pseudo halojenür (Br^-/Br_3^-) kobalt ve nitriller kullanılmaktadır. Organik çözücüler olarak ise asetonitril (ACN), valeronitril, propionitril, 3-metoksipropionitril (MPN) ve heterosiklik bileşikler (örneğin; etilen karbonat (EC), propilen karbonat (PC), γ bütirolakton, N metil 2- pirrolidon (NMP)) olarak böylece DCCS'lerin redoks çiftlerinde kullanılır. Yüksek verimli DSSC'lerin en yaygın olarak kullanılan elektrolit türü, triiyodür/iyodür (I^-/I_3^-)'dür ve bir uçucu organik çözücü içinde çözülür [22]. Birçok dikkat çekici özellikleri ile bu güveni elde etmişlerdir bunlar; TiO_2 'den I_3^- 'e geri elektron transferi (rekombinasyon), büyük ölçüde karmaşık bir elektron transferi mekanizması nedeniyle oldukça yavaştır. I^-/I_3^- oldukça çözünürdür ve çözünürlük sınırlarına veya difüzyon sınırlarına ulaşmak için endişelenmeden her bir türün optimize konsantrasyonları için izin verilen kendi küçük boyutlarında yüksek difüzyon katsayısı vardır. Sıvı redoks elektroliti I^-/I_3^- redoks sistemi içeren sulu olmayan bir çözelti olup, temel işlevi uyarılmış boya moleküllerini yeniden indirgemek ve karşı elektrotta elektronlarla birleştirmek üzere boşluk transferini gerçekleştirmektir [18, 55, 56]. Alternatif olarak alkil imidazolyum tuzu olarak solventsiz oda sıcaklığında iyonik sıvılar (RITL), triailkil methilsülfonyum ve alkil pridinyum tuzları DSSC'de yaygın olarak kullanılanlar arasında yer almaktadır. Bu tuzlar düşük uçuculuğa sahip erimiş tuzlardır [7]. DSSC'ler için elde edilen yüksek dönüşüm verimliliklerine karşılık, elektrolit sıvısının buharlaşması, boyaların fotodegradasyonu ve karşı elektrot korozyonu gibi sıvı elektrolitlerin neden olduğu potansiyel zorluklardır. Sıvı elektrolitlerdeki bu durum hücre üretiminde uzun vadeli performansı ve DSSC'lerin pratik kullanımı sınırlandırmaktadır. Sıvı elektrolitin yanlardan sızdırma gibi nedenlerde DSSC'lerin pratik uygulamalarına engel olduğundan, bunlara dayalı yüksek iyonik iletkenlikleri, mükemmel termal kararlılıkları ve DSSC'lerde uzun vadeli istikrarlar için polimer elektrolit alternatifi vardır [57]. Elektrolitin sızıntı yapmasını azaltmak için çeşitli yöntemler sunulmuştur. Uçucu solventlerin yerine

iyonik sıvılar yerleştirmektir [58,59]. p-tipi yarı iletkenler [60,61], inorganik hole taşıma malzemeleri [62], organik hole taşıma malzemeleri [63], polimer / redoks çiftler karışımları [64], nanokompozitler [65,66], polimer jeller [67,68], katı hal veya yarı-katı-hal malzemeleri [69,70] organik sıvı elektrolitlerin yerine geliştirilmiştir.

2.5.1. Polimer elektrolitler

Polimerler, düzenli olabilecek şekilde birden fazla sayıda molekülün kovalent bağlar ile bağlanabilerek oluşturdukları yüksek molekül ağırlığına sahip bileşiklerdir. Polimerlerin keşfedilmesinden 20 yıl sonra 1995 yılında polimer elektrolit kullanımına ait rapor destek bulmuştur [7]. Polimerlerin farklı şekillerde sınıflandırması yapılabilir. Genel olarak sentetik ve doğal polimerler olmak üzere iki başlık altında incelenebilirler. Polimer elektrolit ise, tuzlar ile birleştirilmiş polimer malzemeler olarak tanımlanır. Polar fonksiyonel gruplarının moleküller arası etkileşimiyle, iyonik türdeki çözücülere ana polimer zincirinin bir aracı olarak davranır. İyonik taşıma, polimer matrisinin serbest hacmi üzerinden taşınması ve ayrılmış iyonların difüzyonu ile gerçekleşir. Polimerlerin fotoelektrokimyasal/güneş pilleri alanındaki kullanımı dışında birçok alanda kullanımı mevcuttur bu alanlara örnek olarak yakıt hücreleri, süperkapasitörler, şarj edilebilir piller, elektrokromik pencereler vs. gibi alanları verilebiliriz. Polimer ve tuzların farklı kombinasyonlarına ait çeşitli polimerler kullanılarak önemli araştırma çalışmaları yapılmıştır. Bugün polielektrolit iyon iletken, jel, iyonik kauçuk polimer elektrolitler gibi polimer elektrolitlerin çeşitli aileleri mevcuttur. Diğer düşük maliyetli iletken polimerler malzemeler; poli (3,4-etilendioksitiyofen) (PEDOT) bazlı kompozitler, polianilin (PANI), polipirol, nitrit temelli ve son zamanlarda demir sülfürler, FeS₂ gibi malzemelere dayalı sülfürler karşı elektrot tabakası olarak dikkat çekmiştir. Ancak bütün bu durumlar nanoparçacıklı Pt ile karşılaştırıldığında düşük bir katalitik aktiviteye sahiptir [7]. Jel polimer elektrolit (GPE) özelliklerini geliştirmek için, birçok strateji uygulanmış bunlardan birkaçı; GPE’lerde membran gözenekli yapının imalatı, proton verici eklenmesi, inorganik nanoparçacıkların girişi, piridin türevlerinin ilave edilmesi gibi çalışmalar ele alınmıştır [57]. DSSC’lerde GPE iyonik iletkenliği, iyodür tuzları, çözücüler ve sıcaklık etkileri ve polimer

konsantrasyonunun performansı etkileyen sebepleri, tartışılmış, bu etkilerin sebepleri ve nedenleri ile izah edilmiştir. Genel olarak klasik bir GPE, UV uygulamalı çapraz bağlanma, ısıl işlem uygulamalı, inorganik(seramik dolgu maddeleri), organik jelatörler, ko-polimerizasyon, plastikleştirilmiş jöle haline getirilmiş kompozisyon elektrolitin stokiometrik oranlarda çözülmüş bir polimer ağından oluşan bir sistem olarak tanımlanır. Oysa GPE diğer türlerinde ise elektrolit çözeltisi bir redoks mediatörü ile sıvı elektrolitler, polimerik membranların şişmesi ile hazırlanmıştır. Bu metotta sıvı bir elektrolit, polimer matrisi içerisine sıkıştırılarak kararlı bir jel elde edilmiştir. Klasik GPE polar aprotik organik çözücüler (ACN, THF vs.) ile propilen karbonat (PC) veya organik plastikleştiricilerin (ör. etilen karbonat (EC)) büyük miktarda düşük molar kütle polar polimerik matrisinin küçük kısımlarından oluşur. Yani, Poli etilen oksit (PEO), poli(metil metakrilat) (PMMA), poli etilen glikol (PEG), poli etilen glikol metil eter metakrilat (PEGMA), poliakrilonitril (PAN), poli vinil klorür (PVC) ve poli viniliden ko-florür hekzafloropropilen (PVdF-HFP) türleri bu aile üyeleridir. Bugüne kadar polisakkaritler ve modifiye edilmiş polisakkaritlere bağlı kitosan, deniz yosunu ve selüloz temelli malzemelerde oda sıcaklığında gösterdiği yüksek iletkenlikleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Bunlara ek olarak hibrit inorganik ve organik polimer elektrolitler iki temel aile olarak çalışılmıştır. Bunlar tek fazlı ve çok fazlı polimer elektrolitlerdir. İnorganik dolgu maddelerinin farklı türleri zirkonya (ZrO_2), karbon nanotüpler ve silika gibi polimer elektrolitlerin içerisine dahil edilmiştir. Ancak söz konusu polimer elektrolitler sadece birkaç gerçek DSSC'lerde test edilmiştir [7].

Polimer elektrolitlerin DSSC performansı, polimer matrisi içerisinde düşük iyon difüzyonuna sebebiyet vermesi nedeniyle düşürmektedir. Polimer jel elektrolit kullanılarak yüksek stabilite, düşük yoğunluk ve üstün iyonik difüzyon olarak katı ve sıvı elektrolit, avantajlarını birleştirir ve aynı zamanda gözenekli TiO_2 filmi içine elektrolit penetrasyonu kolaylaştırarak katı ve sıvı elektrolitler için umut verici bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır [22]. Kullandığımız polimerlerimizin yapısında kullanılan flor, klor, brom, içermesi durumu, iletken olmayan polimerleri katkılayıp iletken hale getirmek içindir. Hepsi elektronegatif ve tepkime eğilimli ametallerdir. Doğada saf halde değil mineral bileşikleri halinde bulunur. Element halinde iki atomlu moleküllerden oluşurlar. Oda koşullarında Flor ve klor gaz, brom ve iyot ise

katı haldedir. Bir örnek olarak; silisyum katkıları n tipi ya da p tipi hale getirilebilmekte ve iletkenlik miktarı ile oynanabilmektedir. Poliasetileni iyi bir elektrik iletkenine dönüştürebilecek olan halojen ile katkılama, bir oksidasyon örneğidir ve bu durum p-tipi katkılama olarak da adlandırılabilir. Eğer bir alkali metal kullanılarak indirgeyici katkılama yapılıyorsa bu duruma aynı zamanda n-tipi katkılama denilebilmektedir. Aynı durum polimerlerde de geçerli olup, onları periyodik tablonun halojenürleri ile yükseltgenme (oksidasyon) yaparak iletkenliklerinin artırılmaları sağlanmaktadır. Polimerlerimizin içerisine enjekte ettiğimiz I_3^- iyonları tamamlayıcı vazifesinde olan iyonlar değildirler, fakat polimerin üzerindeki yüklerin, hareketli yük taşıyıcıları vazifesindedirler. Buldukları yüzeye dik bir elektrik alan uygulayarak, bu iyonlar yapı boyunca dağıtılabilirler. Bu durum katkılama reaksiyonunun ileri veya geri ilerlemesini sağlar. Bu yolla iletkenlik kontrol edilebilerek anahtarlanabilir, yani iletim kapatılabilir veya açılabilir. Bir başka durum ise polimer uzunluğunun artması ile band aralığının (1/N durumu ile) azaldığı bilinmesidir.

2.6. Güneş Pillerinin Verimlerini Etkileyen Faktörler

Birim alan başına düşen foton enerjisinin, hangi oranda elektrik enerjisine dönüştürülebileceğini belirleyen, güneş pillerinin verimidir. TiO_2 morfolojisi boya sentezli güneş pilinin verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Yüzey üzerinde nano yapılar oluşturularak geometrik alan artırılmıştır. Yani nanoparçacık ilaveli TiO_2 yarıiletkeni kullanılarak yüzey alanında pürüzlü yapılar oluşturulur. Pürüzlü yapılar TiO_2 'nin, duyarlaştırıcı ile etkileşen alan miktarını artırır. Böylece güneşten soğurulan foton miktarı artırılmış olacaktır. Bu durum boyanın HOMO seviyesinden LUMO'ya geçen elektron miktarının artışına yol açacaktır. Böylece akım miktarında büyük bir artış elde edilerek, verimde artırılmış olacaktır. Aynı zamanda yüzeyde nano yapılar oluşturulması tek yönlü elektron transferi içinde uygundur [71]. DSSC verimliliği çeşitli unsurlardan etkilenebilir. Yük rekombinasyonu, boya ile ışık absorpsiyonu, spesifik yüzey alanı ve gözeneklilik, elektron taşınması ve benzeri durumlar verimde etkindir [72]. Güneşten yakalanan fotonların sayısı, TiO_2 'nin boya ile etkileşimi sağlanarak en fazla foton-elektron

dönüştürecek şekilde aldıkları belirlenir. Fotoanotun hem küçük hem de büyük TiO_2 parçacıklarından oluşması, üzerine düşen ışığı dağıtmada önemli rol oynamaktadır.

2.6.1. Termal Etkiler

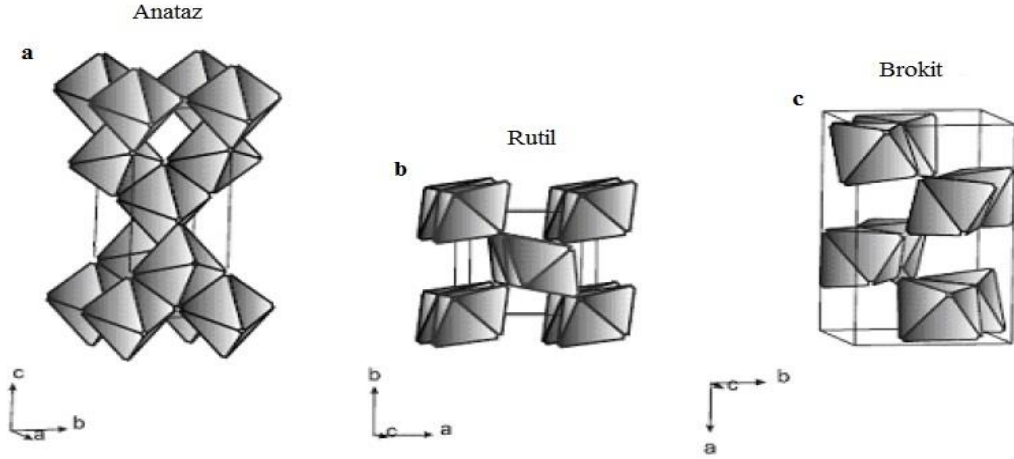
Güneş pillerinin işletme koşullarındaki çalışma sıcaklıkları, geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Bu nedenle sıcaklığın performansa etkisinin anlaşılması gerekmektedir. Güneş pillerinin çalışma sıcaklığı, güneş pilinin yapıldığı yarı iletken malzemeye, çevresel etkilere ve hava koşullarına bağlıdır [73]. Sıcaklığın I_{SC} üzerine etkisi küçük olmakla birlikte çoğu durumda doğrusallık göstermektedir. Artan sıcaklıkla birlikte güneş pillerinde I_{SC} hafif bir artış eğilimi göstermektedir. Bu olay sıcaklık artışıyla, band aralığında meydana gelen daralmanın da etkisiyle ışığın soğurulmasındaki artış ile açıklanabilir. Sıcaklık artışı aynı zamanda diğer güneş pili parametrelerinden olan V_{OC} ve FF 'in azalmasına neden olmaktadır [74].

2.6.2. Işıma Etkileri

Fotoduyarlaştırıcılar, DSSC'lerde yarıiletken tabakanın üzerine kaplanarak foton yakalama kapasitesinin artırılmasını sağlar. Fotoduyarlaştırıcılar elektron verici ve alıcı olarak ışık absorblaması yapılabilir. Moleküllerin ışık absorpsiyonu ile ve S kompleksi daha yukarı seviyede elektronik olarak uyarılmış hale yani S^{*} 'a yükseltilecek daha aktif duruma dönüştürülmüş ve depolanmıştır (denklem 2.1). Güneş ışınlarından gelen fotonların enerjisi, yasak enerji bant aralığına eşit ya da ondan büyük ise, değerlik bandındaki elektronlara, fotonlar enerjisini aktararak onları iletkenlik bandına çıkarır. İletkenlik bandına çıkmış durumdaki elektronlar, burada μs mertebesinde bir süre zarfı içerisinde kalıp, değerlik bandına geri dönme eğilimindedirler. Uyarılmış elektronlar dış devreyi dolaşmadan yarı iletken içerisinde tekrar uyarıldıkları seviyeye geri dönerlerse akıma katkıda bulunamazlar; böyle durumlara da yeniden birleşme veya rekombinasyon adı verilir. V_{OC} güneş pilinin kısa devre ve karanlık doyma akımına logaritmik olarak bağlı olduğundan, artan ışık şiddetiyle V_{OC} 'nin de değeri akımdaki değişime göre daha yavaş bir şekilde artmaktadır [28].

2.6.3. TiO₂ Yüzey Morfolojisi

TiO₂, ZnO₂, ZrO₂, SnO₂ ve Nb₂O₅ yaygın olarak kullanılan yarıiletken malzemelerdir. Bu basit örneklerin yanı sıra SrTiO₃ ve Zn₂SnO₄ gibi üçlü oksitler ve ZnO kaplı SnO₂'ler konusunda da araştırmalar yapılmıştır. Bunların içinde ucuz olması, bol bulunması, üzerinde araştırmaların yoğun bir şekilde yapılmış olması, sağlık açısından da zararının olmaması, kimyasal olarak inört bir malzeme olması, yüksek sıcaklıklarda bile kararlı olması, fotokatalitik aktivitesi ve yüksek geçirgenliği nedenleriyle TiO₂ tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir. Aynı zamanda DSSC'lerdeki en yüksek verimli çalışmalarda da TiO₂ yarıiletken tabakası kullanılarak elde edilmiştir. TiO₂ tetragonal bir kristal yapıya sahiptir. TiO₂ üç farklı kristal yapısında oluşturulabilir. Şekil 2.5 (a,b,c)'de gösterildiği gibi anataz (101), rutil (110) ve brokittir (121).



Şekil 2.5. TiO₂'nin kristal yapıları a) Anataz b) Rutil c) Brokit

Rutil (Şekil 2.5. a) termodinamik olarak kararlı fazda olsa da anataz fazı tercih edilir. Anataz (Şekil 2.5. b) fazda TiO₂ 3,2 eV bant aralığına sahip olması ile bu bant aralığında bulunan TiO₂ yarıiletken filmini uyarmak için gerekli dalga boyu enerjisi 390 nanometredir. Dolayısı ile görünür bölgedeki ışığın TiO₂ tabakasını uyarması beklenmez. Aynı durum rutil faz durumunda ise 3 eV ve dalga boyu enerjisi 410 nm dir. Anataz fazı TiO₂'nin yüksek kırılma indeksi (N = 2.5) ışık soğurmasını önemli ölçüde arttırarak, gözenekli fotoelektrotla ışığı içerisinde yaygın bir şekilde saçılmasını sağlamasıyla sonuçlanmaktadır. Güneş hücrelerinin yapıldığı yarı iletken

malzemenin bant aralığı, ışınım ve sıcaklık etkisini anlayabilmek için oldukça önemli bir parametredir [27]. Buna ek olarak, gözenekli TiO_2 fotoelektrot'u tek tabakalı bir boya duyarlaştırıcısını desteklenmesi için yüksek bir iç yüzey alanına sahip olmalıdır. Birçok boya duyarlaştırıcısının konumu LUMO, TiO_2 'nin iletim bandının kenarının hafif üzerinde bulunmaktadır. Bu durum elektronu yarıiletkenin iletim bandından verimli bir şekilde TCO'ya elektron enjeksiyonu yoluyla taşımak için gereklidir. TiO_2 'nin yüksek dielektrik sabiti (anataz fazı için $\epsilon = 80$) sayesinde TiO_2 yüzeyine bağlanmış oksitlenmiş boya moleküllerinden gelebilecek istenmeyen elektron enjeksiyonundan iyi bir şekilde elektrostatik olarak korunmasını sağlar. Bu şekilde redoks elektrolitiyle boyanın indirgenmesinden önce rekombinasyon olma ihtimali azaltılmış olur. Güneş spektrumunun UV ve yakın UV radyasyon aralığında anataz fazındaki TiO_2 , güneş spektrumunun yalnızca yaklaşık olarak %4'ünü yakalayabilmektedir. Metal karıştırılmış boyalar, geniş bant aralıklı yarıiletken yüzeylerinin boya ile duyarlaştırılması sonrası yarıiletkenin absorpsiyon aralığını uzun dalga boyu bölgesine genişletir. n-tipi nanoparçacıklı TiO_2 'ler DSSC yapımında bazı eşsiz özellikler sunmaktadır. Bunlardan bazıları düşük içsel iletkenlik ve gözenekli filmin içerisine üç boyutta elektrolitin difüzyonunu sağlayarak yarıiletken/elektrolit ara yüzeyini oluşturması sayılabilir [7]. Daha küçük nanoparçacıklar daha geniş bir yüzey alanına neden olur ve bu da daha fazla boyayı emer ve ışık emilimini arttırmış olur. Boyar madde performansını etkileyen en önemli kısmı pilin anodu vazifesinde olan TiO_2 filmidir. TiO_2 filminin görevi boyar maddeden gelen elektroları iletken kaplanmış cama iletmektir. Bunun için boyada bir foton yardımıyla oluşan elektron, TiO_2 tabakanın iletim bandına aktarılır. Elektron, difüzyon yolu ile şeffaf elektroda geçme durumundadır. TCO ile kaplanmış yüzeylerin oluşturduğu direnç, iletim bandında ki elektronların şeffaf iletken tabakaya geçiş zorluğunu oluşturmaktadır. Ayrıca rekombinasyon durumları yarıiletken TiO_2 'nin elektrolite elektron vermesi istenilen bir durumu değildir. Çünkü uyarılma sonucunda TiO_2 tabakasının valans bandında olan boşluklar yüksek oranda reaktifler ve elektrolit içinde istenmeyen yan reaksiyonlar vererek güneş pilinin uzun ömürlü olarak çalışmasını engellerler [56]. Yapılan çalışmaların büyük bir bölümü TiO_2 filminin yüzey alanını arttırarak daha çok boyar madde molekülünün bağlanabilmesini sağlayabilmekle beraber ışık absorblama yeteneğinin arttırılmasını

amaçlanmakta ve çok ciddi verim artışları elde edilmektedir. Bu hedefler doğrultusunda 5-20 mikronluk kalınlıktaki TiO₂ filmler, iletken cam yüzeyine kaplanıp açık pürüzlü yüzey yapısı oluşturmak amacıyla sinterlenmesi çalışmaları yapılmıştır [18,75]. TiO₂ yüzey yapıları nanotüpler şeklinde oluşturulan birçok çalışma yapılmıştır. Ancak bu şekilde yerleşen nanotüp yapılar düzensiz ve rastgele yerleştiği zaman elektronun difüzyon mesafesinde artış ve tane yapıları geçişlerinde önemli elektron saçılmaları gözlenmiştir [56,75]. Bu durum verimi sınırlayan faktörlerden bir tanesi olarak yer almaktadır. TiO₂ nanotüp yapıları oluşturmak için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu metotlardan bir kaçını örnek vermek gerekirse anodik oksidasyon [76], sol-jel [77], mikrodalga ışınlama [78], hidrotermal [79] ve kalıp (şablon) sentezi [80] spin kaplama bu çalışmalara örnek verilebilir. Bunlar arasında anodik oksidasyon en iyi ve kolay yöntem olarak TiO₂'de nanotüp yapıları oluşturmak için tercih edilmektedir [81]. Nanotüp sistemi kullanılarak üretilen boyar maddeli güneş pili hücrelerinde laboratuvar şartlarında elde edilen en yüksek enerji dönüşüm verimliliği %19.5'dir [82]. Oluşturulacak olan nanotüp yapıları cam yüzeyinde oluşturulur ise karakterizasyon sırasındaki aydınlatma ön yüzeyden, eğer nanotüp yapıları titanyum tabakalar üzerinde oluşturulacak ise güneş pilinin arka yüzeyinden aydınlatma sağlatılmalıdır.[83]

2.6.4. Karşı Elektrot Türü

Elektrolitin, FTO yüzeyinden yük transfer direnci oldukça yüksektir. Bir katalizör malzemesi FTO kaplı cam üzerine uygulanarak, karşı elektrotun yük transfer direncini azaltmakla beraber, reaksiyonu ileri yöne iterek elektron transferine yardımcı olur. Literatürde farklı türde birçok karşı elektrot kullanımı mevcuttur. Bunlardan bazıları platin [84], karbon [85], iletken polimerler [86,87], grafen [88], molibden karbür ve tungsten karbür [89], vs. dir. Platin yüksek güç dönüşüm verimliliği ve yüksek katalitik aktiviteye sahip olduğu için en çok kullanılan karşı elektrottur. Ancak platin aşırı maliyeti ve kaynak azlığından platin kullanımını sınırlamaktadır. Platin karşı elektrot yüksek yüzey alanı, yüksek geçirgenliği, düşük yük transferi direnci ve yüksek elektrik iletkenliği ve korozyon direnci gibi mükemmel özelliklere sahiptir. Platin karşı elektrota alternatif, karbon ve allatroplarına dayalı karşı elektrot olarak, karbon, siyah karbon, aktif karbon

nanoparçacıkları, grafit, tek, çift ve çoklu duvarlı karbon nanotüp, grafen ve gözenekli karbon gibi seçimlerin geniş bir yelpazesi mevcuttur. Karbon temelli malzemeler ise triiyodürün indirgenmesi için yüksek reaktiviteye ve yüksek reaksiyon direnci ile bol ve pahalı olmayan başlangıç malzeme içeriği vardır. Ancak karbon ve allatropoları kötü elektrokatalitik aktivitesiyle dezavantajlara sahip olmaktadır. Bu sorun alt-taşı üzerine gözenekli bir film oluşturacak şekilde ve kalın olarak biriktirilmesiyle katalitik tabakanın aktif yüzey alanındaki artış ile dengelenebilmektedir [90].

2.6.5. Spektral Etkiler

Işığın spektral dağılımı, farklı atmosferik koşullarda ve farklı güneş açılarında değişmektedir. Güneş ışığının spektral dağılımındaki değişimlerin, güneş pillerinin performansına etkisi, güneş pillerinin yapıldığı malzemenin bant aralığından ileri gelmektedir. TiO₂ beyaz renkte olduğundan görünür bölgedeki ışığı soğuramaz ışığın emilimini ve yarıiletkenin spektral tepkisini belirleyen karaduttaki siyanidin maddesidir [39]. Hava kütledeki (Air Mass, AM) 1.5 aydınlatma koşulu; zenit açısı (Θ) diye adlandırılan, güneş ışınlarının yatay düzlemin normali ile yaptığı 48 °C'lik açıya karşılık gelmektedir. Denklem 2.2 ile hesaplanmaktadır. AM 1.5 güç yoğunluğu 1000 W/m² veya 100 mw/cm²'dir. Bu ışık yoğunluğu 1 güneş olarak adlandırılır [56]. Bulanıklık hava ve AM'deki salınımlar, geniş bant aralıklı güneş pillerini, dar bant aralıklı güneş pillerinden daha çok etkilemektedir [91]. Işığın spektral dağılımı, üreyen akımın büyüklüğünü doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle güneş pillerinin AM 1.5 aydınlatması altındaki performans sonuçları, diğer durumlardaki performansı temsil etmemektedir [71]. Bir güneş hücresinin verimi aydınlatma şiddetine yüksek derecede bağlıdır.

$$AM\ 1.5 = \frac{1}{\cos \Theta} \quad (2.2)$$

3. GÜNEŞ PİLİ ÜRETİM VE ELEKTRİKSEL ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.1. Giriş

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan malzemeler, üretilen güneş pilleri, üretim yöntemleri, elektriksel karakterizasyon yöntemleri detaylı olarak açıklanmıştır. Bölüme tez çalışmasında kullanılan malzemeleri tanıtmakla başlanılmış, daha sonra nasıl kullanıldığı ve uygulandığından bahsedilmiştir.

3.2. Güneş Pilinde Yaygın Olarak Kullanılan Şeffaf Elektrotlar

Saydam iletken oksit (TCO) $\sim 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ gibi düşük özdirenç özelliğine sahip, görünebilir bölgede $\sim 90\%$ gibi bir oran ile ışık geçirgenliği olan yapılardır. TCO'lar genellikle bant aralığı ≥ 3 eV olan yapılardır [92]. TCO'lar yaygın olarak güneş pillerinde ve dokunmatik ekranlarda kullanılmaktadır. Güneş pillerinde kullanılan yaygın TCO tipleri şu başlıklarla verilebilir;

3.2.1. İndiyum Kalay Oksit (ITO)

İndiyum oksit yapısına, kalay atomu katkılanması ile elde edilen yüksek derecede yapısı bozulmuş n-tipi geniş bant boşluğuna sahip yarıiletkenidir. Mükemmel elektriksel ve optik özellikleri ile bu uygulamalar için genellikle tercih edilen TCO malzemelerdendir. ITO tabakasının direnci düşük olmalıdır ki iletkenliğe karşı zorluk oluşturmamasın. +3 değerliğe sahip indiyum ile +4 değerlikte olan kalay arasında yer değiştirme reaksiyonu meydana gelemez. Bu durumun sağlanamaması oluşturulacak film için safsızlık meydana getirerek taşıyıcı hareketliliği ve taşıyıcı yoğunluğunun düşük düzeyde kalmasına yol açacaktır [93]. Kullandığımız indiyum kalay oksit, ~ 3.7 eV'lik geniş bant boşluğuna ve $\sim 85\%$ gibi görünür bölgede yüksek ışık geçirgenliğine sahiptir. Özdirenç ve taşıyıcı yoğunluğu ise $< 1.5 \times 10^{-4} \Omega\text{ cm}$ ve 10^{20} - 10^{21} cm^{-3} aralığında verilmiştir. ITO alttaşlarımızın kalınlığı 3.2 mm, eni 25 mm, boyu 75 mm' dir. ITO kaplamalar Yüksek vakumda fiziksel buhar biriktirmenin bir türü olan miknatıssal saçtırma tekniği ile üretilmiştir. Yüzey direnci $15 \Omega/\text{kare}$ dir. ITO filmler 300°C veya daha yüksek sıcaklığa maruz kaldığında elektrik direnci

üç katı veya daha fazla artmaktadır. ITO' nun TCO ince filmlerinde kullanılması indiyumun doğada sınırlı olması, toksik bir madde olması ve pahalı olmasından dolayı alternatif iletken oksit tabakaların kullanımına yönelmiştir.

3.2.2. Flor Katkılı Kalay Oksit (FTO)

FTO, 3 eV – 3.6 eV aralığında geniş bant boşluğu sayesinde iyi bir şeffaflık sergileyen, düşük elektrik direncine sahip olan n tipi bir yarı iletkendir. FTO, ITO malzemesine göre kimyasal ve termal olarak daha kararlı ve pahalı olmadığından daha iyi bir alternatiftir. FTO' da ki nanoyapılar, alttaş yüzeyinde fiziksel aşındırma direnci oluşturmakta ve yüzeye güçlü bir şekilde yapışmasını sağlayabilmektedir. SnO₂'nin Flor ile katılanması yüksek taşıyıcı konsantrasyonu oluşturarak elektriksel iletkenliği arttırmıştır [94].



Şekil 3. 1. FTO kaplı camların görüntüsü

Şekil 3.1'de görülen FTO'ların tabaka direnci 10 Ω /kare , kalınlığı 3.2 mm ve eni 25 mm, boyu 75 mm'dir.

3.3. Titanyum Dioksit Anot Elektrotu

Kullanmış olduğumuz n-tipi TiO₂ Sigma Aldrich firmasından satın alınmış ve 20 nm parçacık boyutuna sahiptir. Anot tabakası olarak iletken cam alttaş üzerine kaplamak için kullanılmıştır. Kullanmış olduğumuz n-tipi TiO₂ yarıiletkeni anataz fazda, tetragonal yapıda ve 3.2 eV bant aralığına sahiptir.

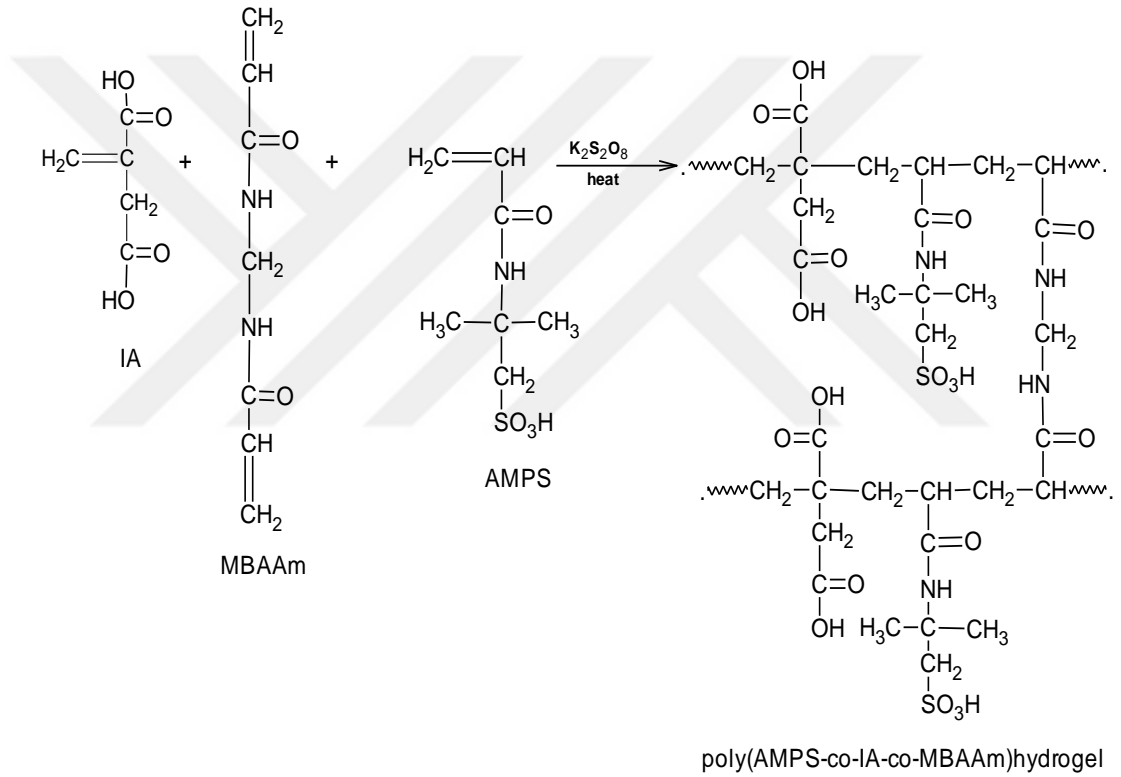
3.4. Platin Karşı Elektrot

Karşı elektrot olarak kullandığımız Pt pasta yüksek güç dönüşüm verimliliği ve yüksek katalitik aktiviteye sahip özellikleri taşıması nedeniyle tercih edilmiştir.

Sigma-Aldrich firmasından satın alınan Pt pastanın viskozitesi 2500- 4500 mPa.s, elektriksel direnci 105 nΩ·m (20°C'de)'dir.

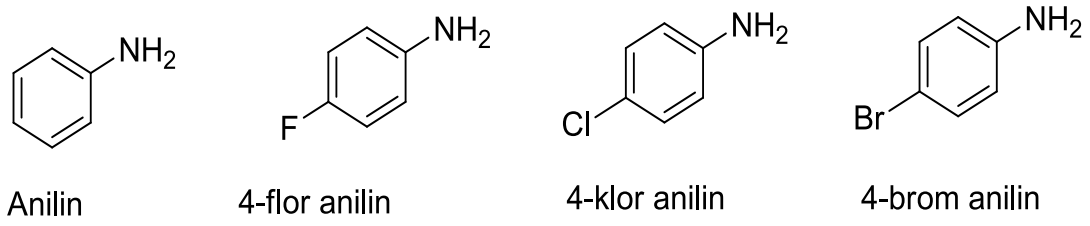
3.5. Polimer Jel Elektrolitler

AMPS-IA, AMPS-IA/An, AMPS-IA/F-An, AMPS-IA/Br-An, AMPS-IA/Cl-An, AMPS-IA/F-Cl-Br-An, polimerler kullanılmıştır. Kullandığımız polimerler Bozok Üniversitesi Fizikokimya Bölümü tarafından güneş pili uygulaması için özel olarak sentezlenmiştir.



Şekil 3.2. Kullanılan polimerlerin kimyasal yapıları [95]

Molce 90:10 AMPS-IA alınarak metilen bisakrilamid çapraz bağlayıcısı ve potasyum persülfat başlatıcısı kullanılarak serbest radikalik kopolimerizasyon yöntemiyle hidrojeller sentezlenmiştir [95]. Sentezlenen hidrojelin kimyasal yapısı Şekil 3.2'de verilmiştir. Ayrıca poli anilin, poli(4-bromoanilin), poli(4-kloroanilin ve poli(4-floroanilin) doplu polimerlerde polimerizasyon ortamına aşağıda formülleri verilen reaktifler eklenerek sentezlenmiştir. Kullanılan reaktiflerin kimyasal yapıları Şekil 3.3'deki gibidir.



Şekil 3.3. Kullanılan reaktiflerin kimyasal yapıları

3.5.1. Sıvı Elektrolit

Boya moleküllerini indirgeyerek, uyarılmış karşı elektrot ve nanokristal tabaka arasında yük taşıyıcılarının hızlı difüzyonunu sağlamaktadır. Bu kullanım amacı ile hazırlanmış olduğumuz hücrelerde sıvı elektrolit kullanılması amacıyla Sigma Aldrich firmasından satın almış olduğumuz asetonitril, valeronitril, 1 bütül- 3 metilimidolium, Lityum iyodit, 4 Tersiyer 3 bütilpridin malzemeleri kullanılmıştır.

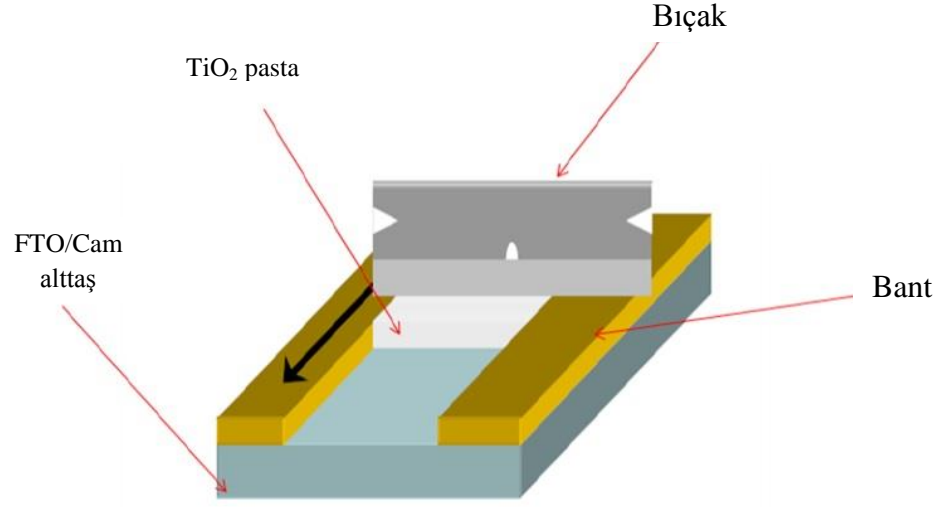
3.6. DSSC Fabrikasyonu

3.6.1. FTO ve ITO camların hazırlanması

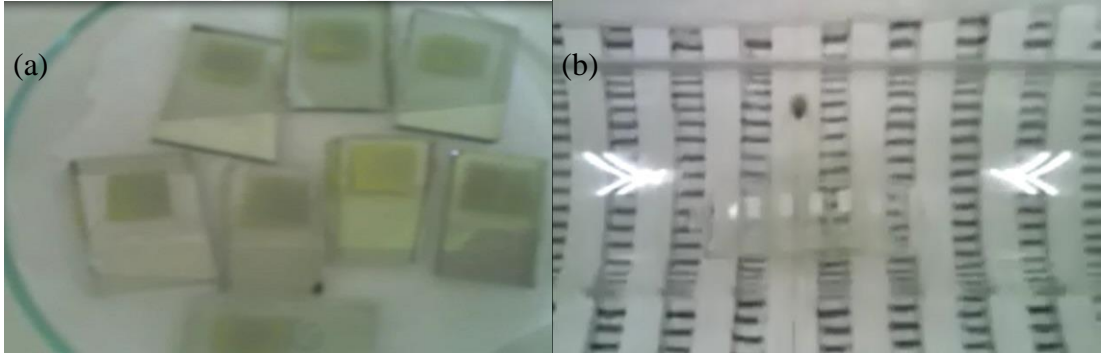
FTO ve ITO iletken camlar 25 mm'lik ene ve 15 mm'lik boya sahip olacak şekilde elmas kalem ile kesilmiştir. Kestiğimiz camların yüzeyindeki kontaminasyon kaynaklarını ortadan kaldırmak için ultrasonik titreştirici yardımı ile trikloretilen, aseton, metanol, saf su içerisinde sırasıyla 3'er dakika tutularak çalkalama işleminden geçirildikten sonra % 99 saflıktaki azot gazı ile kurutulmuştur.

3.6.2. TiO₂'nin hazırlanması

FTO alttaş üzerine TiO₂ pasta 0.7 mm x 0.7 mm alana sahip olacak şekilde, Şekil 3.4 'de gösterildiği gibi 'doktor blade' tekniği kullanılarak uygulanmıştır. Doktor blade tekniği uygulamasında; film oluşturmak için TiO₂ kaplanmış FTO camlar masa üzerine şeffaf bant yardımıyla sabitlenerek ince filmlerin aktif bölgesi boşlukta kalacak şekilde bantla maskelendi. TiO₂ pasta aktif bölgeye konularak bir bıçak kullanılarak sıvandı



Şekil 3. 4. ‘Doktor blade’ tekniği kullanılarak TiO₂ pastanın yüzeye uygulanmasının şematik gösterimi



Şekil 3. 5. TiO₂'nin; (a) ön ısıtma (b) fırınlanma sonra görüntüsü

TiO₂ kaplı FTO alttaşlar, hava ortamı içerisinde ısıtıcı üzerinde 125 °C’de 6 dakika boyunca kurutulmaya bırakılmıştır. Şekil 3.5 (a)’da görüldüğü gibi ısıtma işlemi uygulandıktan sonra TiO₂'nin rengi sarı renkte kalmaktadır. Ön ısıtma işlemi sonunda çözücü maddeler ve olası havadaki nem uçurulmuştur. Buradan fırın içerisine alınarak sırasıyla 300 °C ve 350 °C’de 5’er dakika 450 °C ve 500 °C’de 15’er dakika fırınlanmıştır. Şekil 3.5 (b)’de fırınlanma işlemi sonunda TiO₂'nin rengi beyaza dönmüştür.

3.6.3. Karşı Elektrota Platin Kaplamanın Hazırlanması

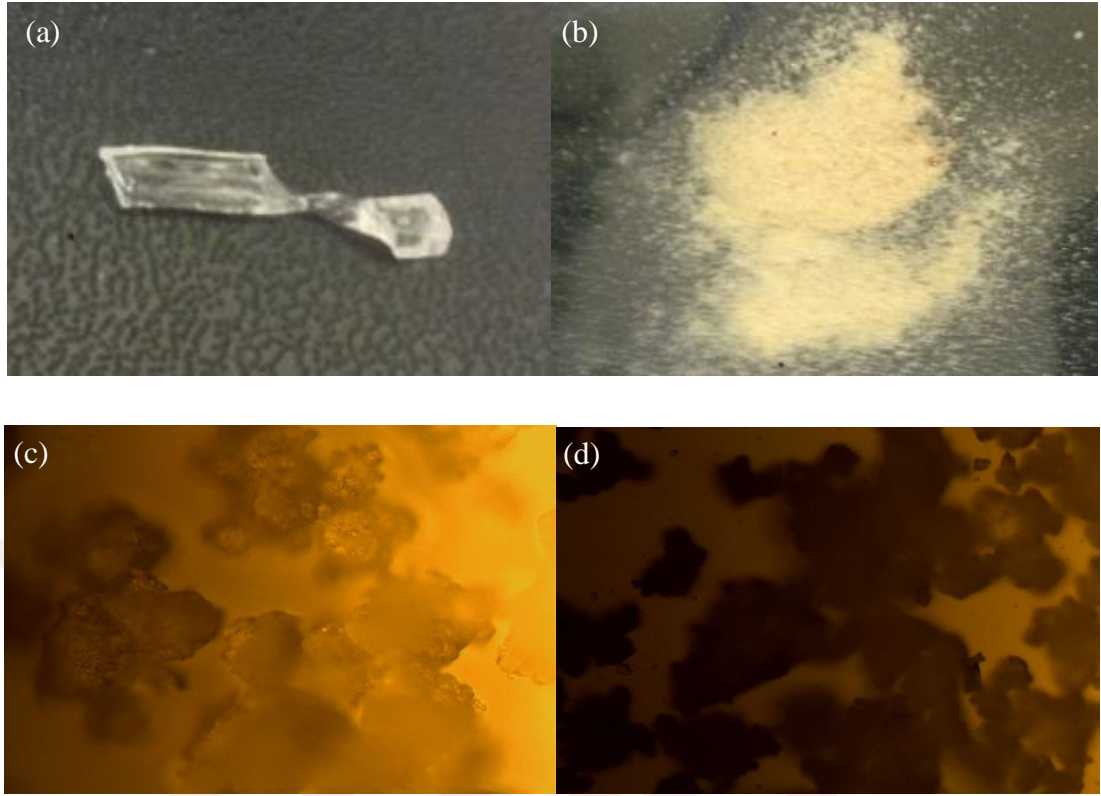
Pt pastamız karşı elektrot olarak ITO alttaş üzerine ‘doktor blade’ tekniği kullanılarak uygulanmıştır. Daha sonra çözücünün buharlaşması için açık hava ortamı içerisinde bulunan ısıtıcı üzerinde 120 °C’ de 10 dakika boyunca ön ısıtma işleminden geçirilmiştir. Bu aşamadan sonra fırınımızın termal-çiftin bulunduğu sıcak bölge içerisine yerleştirilmiştir. 30 dakika boyunca 420 °C sıcaklık fırınlanmıştır.

3.6.4. Sıvı Elektrolitlerin Hazırlanması

5 mL asetonitril, 5 mL valeronitril, 1.59 gr 1 bütül- 3 metilimidazolyum, 63.5 mg iyot bir beher içerisinde manyetik karıştırıcı aracılığı ile karıştırılmıştır. Ayrı bir küçük beher içerisine 66.9 mg lityum iyodit ve 0.676 gr 4 tersiyer 3 bütülpridin karışımı oluşturulmuş ve manyetik karıştırıcıda karışmakta olan karışımın üzerine dökülerek 2 dakika boyunca beraber karıştırılmıştır. Oluşan sıvı elektrolit karışımının uçuculuğu yüksek olduğundan zaman geçirmeden vakumlu tüpün içerisine doldurulmuş ve oda koşullarında saklanmıştır.

3.6.5. Polimer Jel Elektrolitlerin Hazır Hale Getirilmesi

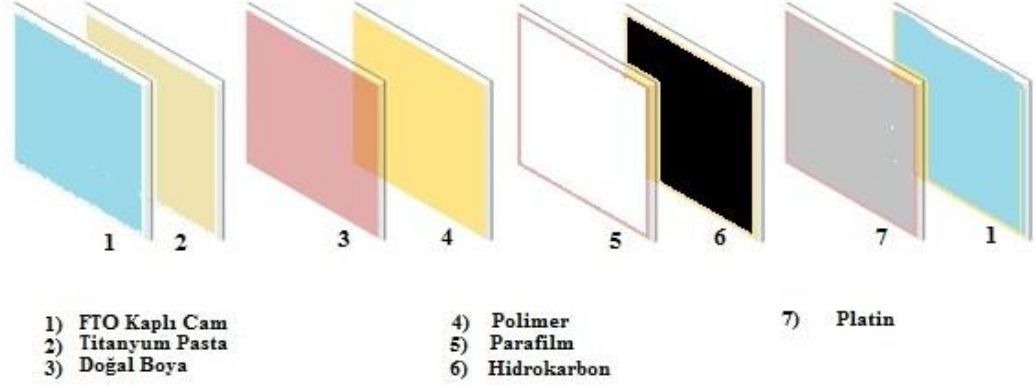
Çalışmamızda 6 farklı polimer türü kullanılmış ve her bir polimer için ayrı ayrı güneş hücreleri oluşturulmuştur. Polimerler güneş hücresi yapımı için hazırlanmadan önce birkaç işlemde geçmektedir. Öncelikle Şekil 3.6 (a)’da polimerlerin içerisinde nem bulunması istenmeyen bir durum oluşturması nedeniyle öğütülmeden önce etüv aracılığı ile 50 °C sıcaklık altında bir gece bekletilmiştir. Bu sıcaklık değerini geçmememizdeki en büyük etken polimerlerin yüksek sıcaklıklarda yapısının bozulabileceğini düşünmemizdir. Daha sonra etüv’den çıkarılan polimerler bir havan içerisine katılarak öğütülmesi sağlanmıştır. Şekil 3.6 (b)’de öğütülen polimerler toz halini almıştır. Polimerler toz halindeyken ufak cam beherlere konularak üzerine daha önce hazırladığımız sıvı elektrolitler damlatılmış ve polimerlerin emmesi sağlanmıştır. Bir gün süre ile polimerler tarafından emilen sıvı elektrolitler jel polimer halini almıştır. Jelimsi kıvamda ve oldukça esnek halde olan polimerlerden elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 3. 6 (c,d)’de verilmiştir.



Şekil 3. 6. Polimerin; (a) işlem görmeden önceki (b) toz haline getirildikten sonra optik mikroskoptaki (c) 50x (d) 10x görüntüsü

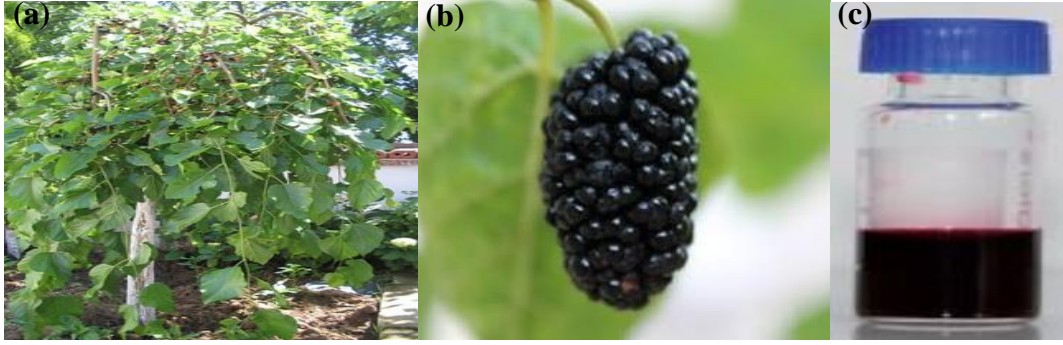
6 ayrı polimer türümüzün her birisi için tek tek bu işlem uygulanmıştır. Son aşama olarak katı polimerlerin boya kaplı TiO_2 yüzeyine zarar vermemesi, anot ve katot elektrotları birleştirildiğinde arasındaki yüksekliğinin çok olmaması ve elektron geçiş sürelerinin de kısılmanın sağlanması amacı düşünülmüştür. Böylece polimerlere bir kez daha sıvı elektrolit damlatılarak hiç bekletilmeden jel haline gelmiş durumda olan polimerler 'Doktor Blade' tekniği uygulayarak boya kaplı TiO_2 tabakasının üzerine kaplanmıştır.

3.7. Boya Sentezli Güneş Pili Üretimi



Şekil 3. 7. Boya duyarlı güneş pillerinin şablon görüntüsü

Şekil 3.7’de görülen plan çerçevesinde güneş pili hücrelerimiz hazırlanmıştır. İlk aşamada kullanacağımız ITO ve FTO iletken camlarımızı 25 mm’lik en ve 15 mm boy ile kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazır hale gelmiş FTO alttaşın iletken yüzeyine TiO_2 kaplama aşamasına geçilmiştir. Kapladığımız TiO_2 7×7 mm²’lik yüzey alanına sahiptir. Nano yapıdaki yarıiletken kaplamanın görevi, yüksek miktarda boya molekülünü taşıyabilmesi için gerekli geniş yüzey alanını sağlayarak boya molekülünden enjekte edilen elektronları şeffaf iletkene aktarmaktır. Bu sebepten yüzeyde pürüzlülüğe sahip bir yapı oluşturabilmek için TiO_2 ’li filmleri ilk olarak ön sinterleme aşamasından, daha sonra da fırınlanma aşamasından geçirek parçacıklar arasında daha iyi bağlantı oluşturulmuştur. Sinterleme sonrası yüzeyde tabaka kalınlığı yaklaşık 1,12 μm olan ve ortalama 92 nm’lik pürüzlü yapılar oluşturulmuştur. Bu durumda TiO_2 tek başına foton soğurmak için yeterli değildir. Absorbsiyon yapabilmesi için boya ile kaplayarak soğurma durumu oluşturulacağı düşünüldükten yapacağımız güneş hücrelerimiz için boya hazırlanması aşamasına geçilmiştir.



Şekil 3. 8. Karadutun; (a) ağacı (b) dalı ve (c) süzölmüş göröntüsü

Şekil 3.8. ((a),(b))'daki gibi dalında görölen karadut boyar maddesi porselen bir havan içerisinde ögütölmüş, çıkan suyu süzme kâğıdı ile filtre edilerek mor renkte pH değeri 3,85 olan saf boya oluşturulmuştur.(Şekil 3.8 (c)) FTO iletken yüzey üzerine TiO_2 kaplanmış anot elektrotu bir gece karadut boyar maddesi içerisinde bırakılmıştır. Daha sonra boya içerisinde çıkarıldığımız TiO_2 'nin üzeri boya ile kaplanmış tabaka ilk olarak etanol ile yıkanmış daha sonra su ile durulanmış en son aşama olarak ise N_2 gazı altına tutularak kurutulmuştur. Katot elektrotunun hazırlanmasında Pt ve C kaplı malzemeler kullanılmış ve katot kısmına kaplanan malzemenin temel görevi gelen elektronları katalizleyici bir ortamda elektrolite aktarmasını sağlaması amacı ile tercih edilmiştir. ITO alttaş üzerine kapladığımız Pt'yi fırın içerisinde ısıtmaya tabi tuttuktan sonra soğuması beklenmiştir. Pt elektrotların üzeri aktiviteyi artırmak amacıyla karbon ile kaplanmıştır.

3.7.1. Boya Sentezli Güneş Pillerinin Birleştirilmesi

Anot ve katot elektrotları hazırlama işleminin tamamlanmasının ardından. Anot elektrotun da bulunan boya ile duyarlaştırılmış TiO_2 tabakasının üzerini karşı elektrot ile kaçak temas oluşturmaması ve iki elektrotun birbirinede yapışmasını sağlaması amacı ile ayırıcı para film kullanılmıştır. Ayırıcı filmin sadece hücre alanı kadar boşluğu olacak şekilde anot tabakayı tamamen kapattıktan sonra, polimer elektrolit jelleri ucu çok ince ve sivri bir kürdan yardımı ile TiO_2 tabakasına zarar vermeden, hiç boş yer kalmayacak şekilde tatbik edilmektedir. Polimer ile tamamen kapatılmış TiO_2 tabaka üzerine şırıngaya çekilmiş sıvı elektrolitten damlatılmakta ve kuartz bir merdane ile polimeri iyice incelterek hücre alanından taşan fazla polimerleri alınmaktadır. Bekletmeden Pt ve C kaplanmış olan karşı elektrotu ayırıcı film kaplı

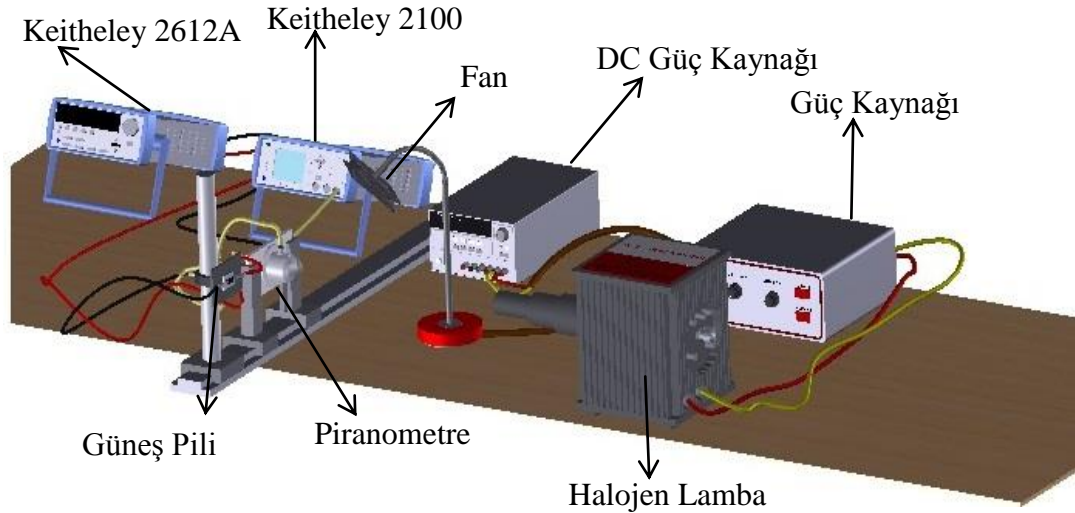
anot elektrotu ile yüz yüze bakacak şekilde ve iki tabaka arasında hava boşluğu kalmayacak nitelikte birleştirilmektedir. İki elektrot tabakası birleştirildikten sonra klips yardımı ile kontak alınacağı noktalar açık kalacak şekilde bırakılarak, boşta kalan iki kenardan sıkıştırma işlemini gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 50 °C'lik sıcaklıktaki ısıtıcı üzerine bıraktığımız güneş hücremizin üzerine ağırlık konularak iki tabaka arasındaki para filmin erimesi beklenerek elektrotların yapışması sağlanmıştır.

3.8. Elektriksel Karakterizasyon

Elektriksel ölçümleri I-V ve IPCE ölçümleri olarak iki ana başlık altında incelenmiştir..

3.8.1. Elektriksel Karakterizasyon Ölçüm Sistemi

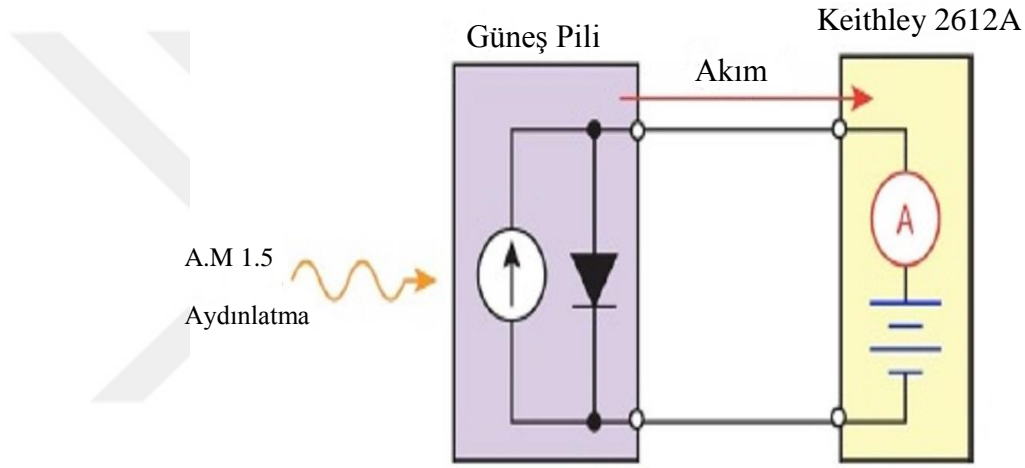
Üretilen güneş hücresine, AM 1.5 (1000 W/m²) şartları altında aydınlatma sağlanabilmesi için Şekil 3.9'da görüldüğü gibi ölçüm için gerekli test düzeneği hazırlanarak ölçüm koşulları oluşturulmuştur.



Şekil 3. 9. Güneş pili elektriksel karakterizasyon ölçüm sistemi

Aydınlatmada 250 W'lık güce sahip halojen lamba kullanılmıştır. Güneş pilinin ve piranometrenin okuduğu değer sürekli kontrol edilebilmesi için raylı, kolay değiştirilebilir bir sistem tasarlanarak ölçümler yapılmıştır. Halojen lambadan çıkan ışığın aydınlatma şiddeti piranometre aracılığı ile okunmuştur. Piranometrenin çıkış

kablosu Keithley 2100 dijital multimetreye bağlanarak okuduğumuz değer 13.21 mV olacak şekilde ayarlanmıştır. Halojen lambayı beslediğimiz güç kaynağından geçen akım değeri 9A'de tutularak, halojen lambadan yayımlanan spektrumun sürekli sabit kalması sağlanmıştır. Radyasyon altında güneş hücresinin ısınması ile doğabilecek deneysel hataları önlemek amacıyla güneş pili bir fan yardımı ile sürekli olarak 25 °C'de tutulmuştur. Sıcaklık ölçümleri 6230N sıcaklık ve pH ölçer cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 3. 10. Güneş pili ve Keithley 2612A bağlantı şeması

Şekil 3.10'da ki gibi bağlantı oluşturularak akım-gerilim ölçümleri Keithley 2612A cihazı kullanılarak -1 ile 1 volt aralığında, 50 farklı noktada, 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω , 1 M Ω , dirençsiz ölçümler yapılarak I-V grafiği oluşturulmuş I_{SC} , V_M , V_{OC} , I_M değerleri elde edilmiştir. Keithley 2100 cihazından piranometre aracılığı ile okuduğumuz 13,21 mV (1000W/m²) değeri ile belirtilen hücre modülümüzün alanı olan 49x10⁻⁶ m²'lik güneş hücremizin yüzey alanı ile çarpılarak yüzeye gelen aktif güç hesaplanır. I_M ile V_M değerlerinin çarpımının vereceği hücremizin maksimum gücü hesaplanarak yüzeye gelen aktif güç değerine bölünür hücremize ait güç dönüşüm verimliliği hesaplanır. Belirlenen parametreler ile verim ve dolum faktörü hesaplamalarına geçiş rahatlıkla yapılabilir. Ölçümlerimiz Fen-Edebiyat Fakültesi yarıiletken ve nano laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. 150 gün boyunca güneş hücresi olarak

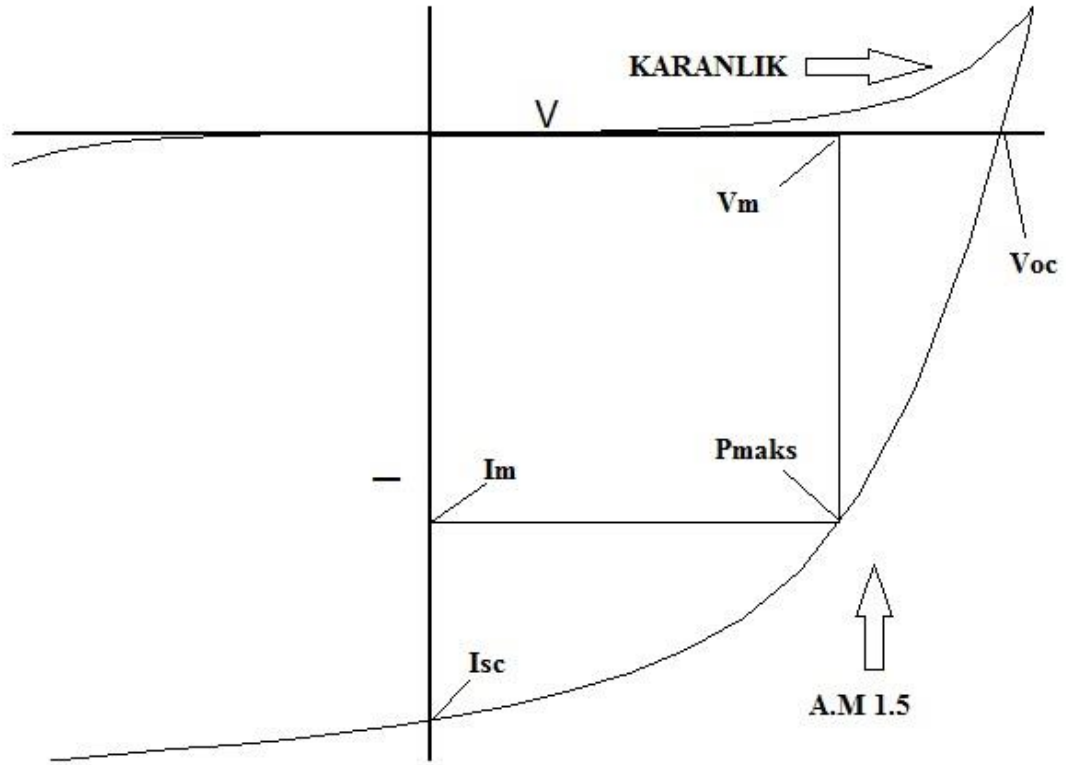
hazırladığımız 7 adet numunemizin laboratuvar ortamı koşullarında saklanarak ölçümü gerçekleştirilmiş, elde ettiğimiz sonuçlar rapor edilmiştir.

3.8.2. Spektral Fototepki Ölçüm Sistemi

IPCE hesaplanması için gerekli ölçümlerde Şekil 3.9'da görülen deney düzeneğine ek olarak beyaz ışık kaynağı olan halojen lambadan gelen ışık monokromatörün giriş sliti üzerine verilmiştir. Monokromatör çıkışından aldığımız değerler Newport 813 U-V ile ölçülerek monokromatörden çıkan farklı dalga boylarındaki fotonların gücü ölçülmüştür. Monokromatörden çıkan ve pilin üzerine düşen ışık şiddetinin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Monokromatörün kontrolü bilgisayar aracılığıyla Dong woo firmasından hazır alınmış bir yazılım aracılığıyla sağlanmıştır. Farklı dalga boyuna göre pilin verdiği fotospektral tepkiyi ölçme işlemine geçilmiştir. Keithley 2612A aracılığıyla farklı dalgaboyarındaki I_{sc} değerleri okunarak IPCE hesaplamalarına geçilmiştir. Monokromatörün dalga boyu 300-1000 nm aralığında 10 nm'lik aralıklarla incelenmiştir.

3.9. DSSC'lerin Fotovoltaik Performansı

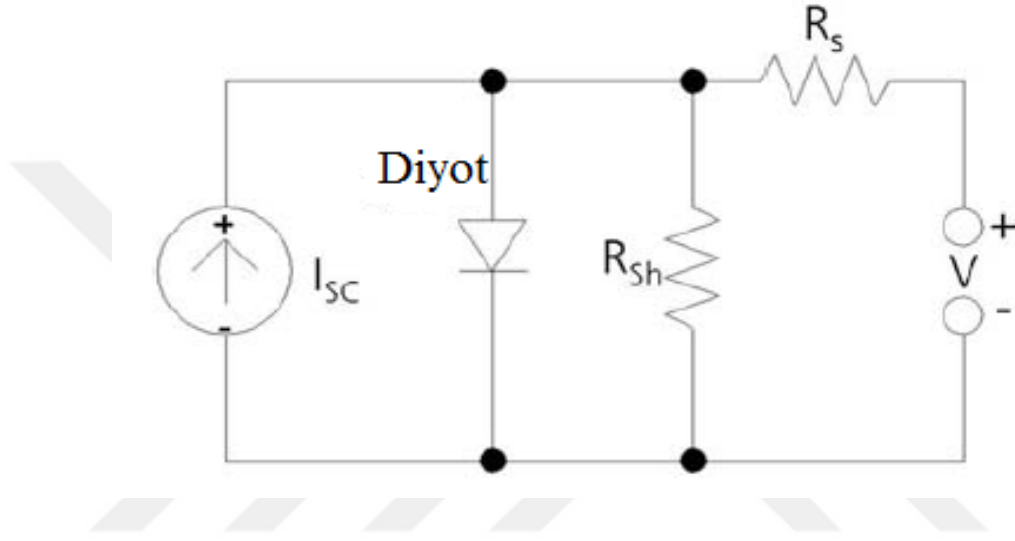
6 birbirinden farklı polimer türü hazırlanmış olduğumuz DSSC'lerin içerisine entegre edilmiştir. Bir adet GPE kullanılmadan sade sıvı elektrolit ile hazırlanmış hücrenin, 6 ayı GPE'li hazırlanmış hücrelerle kıyaslaması yapılarak fotovoltaik performans açısından test edilmiştir. Hücrelerin fotogerilim karakteristiklerine karşı fotoakım karakteristikleri incelenerek hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 3. 11. Örnek olarak aydınlık ve karanlık değerleri alınmış numunemizin I-V eğrilerinin temsil ettiği noktaların adlandırılması

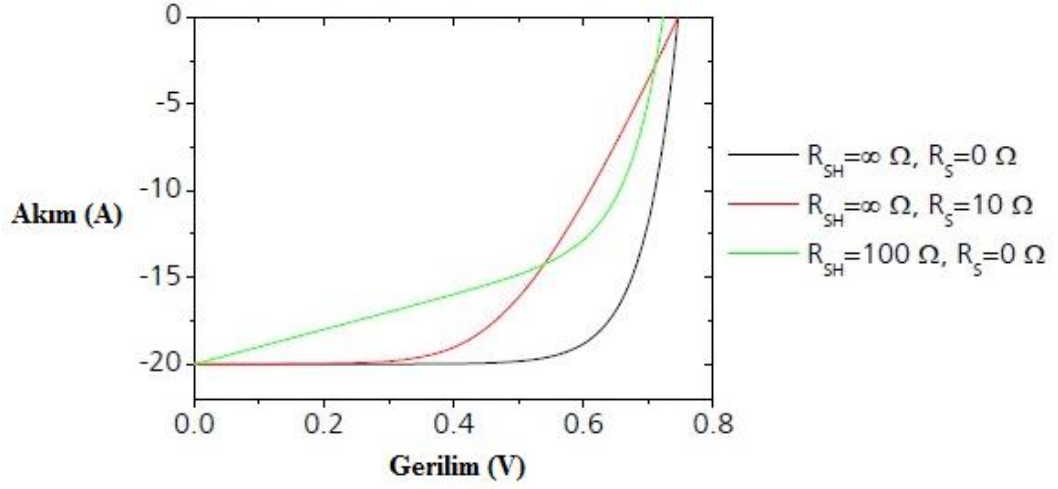
Güneş pilinin Şekil 3.11’de genel örnek olarak verilen I-V eğrisi üzerindeki bir noktada çıkış gücü maksimum değerine ulaşmaktadır. Bu noktaya maksimum güç noktası adı verilmektedir. Çalışma gerilimi $V=V_M$ ve bu gerilime karşılık gelen çalışma akımı $I=I_M$ olan noktada akım-gerilim eğrisi altında kalan alan maksimum değerindedir. Ayrıca I_{SC} ve V_{OC} değerleride gösterilmiştir. I_{SC} ; uygulanan gerilimin sıfır olduğu bir aydınlatma altında ideal bir durumda güneş pili içerisinde akan akımdır. I_{SC} uç kısımların nasıl tasarlandığına, güneş ışığının şiddetine ve kullanılan maddeye bağlıdır. V_{OC} ; açık devre voltajı pilin içinden akan akımın sıfır olduğu andaki gerilime denir. V_{OC} güneş ışığının şiddetine ve hücrenin yapıldığı maddeye göre değişebilir. Yüksek şiddetli güneş ışığı, yüksek yoğunlukta serbest elektron-boşluk çiftleri oluşturur ve bu da V_{OC} ’yi yükseltir. V_{OC} , akıma logaritmik olarak bağlı olduğu için V_{OC} ’deki artış, I_{SC} ’deki artıştan daha az gerçekleşmektedir. Karanlık doyma akımı (I_0)’nın değeri bir güneş pilinin akım-gerilim eğrisi kullanılarak, hesaplanabilir. I_0 , güneş pilinin yapıldığı yarı iletkenin bant aralığına ve

güneş pilinin sıcaklığına bağlıdır. I_0 değeri artırıldığında V_{OC} değeri düşmekte ve akım-gerilim eğrisi düşük gerilimlere doğru kaymaktadır. FF değişimi, I_0 değişime logaritmik olarak bağlıdır. I_0 değişiminin I_{SC} üzerine etkisi ihmal edilebilir olduğundan I_0 ışık şiddetine bağlı değildir. Çizilen doğrunun karanlıktan geçtiği I eksenini kestiği değer pilin karanlık doyma akımını verirken çizilen doğrunun eğimi de düzeltilmiş idealite faktörünü vermektedir.



Şekil 3. 12. Bir diyot modeli ile seri direnç (R_s) ve paralel direnç (R_{SH}) değerinin eşdeğer devresi

Bir güneş pilinin elektronik devre şeması Şekil 3.12'deki gibi gösterilmektedir. Güneş pilimiz bir diyot prensibindeki gibi çalışmaktadır. Güneşten gelen foton ile akım oluşturulmakta ve çıkış voltajı değeri okunmaktadır. R_s değeri çıkıştaki gerilim düşümünü, R_{SH} değeri ise sızıntı akımını temsil etmektedir.



Şekil 3. 13. I-V karakteristiğinin seri direnç ve paralel direnç etkisi ile değişimi[98]

R_S 'nin değeri ideal bir güneş pilinde 0Ω kabul edilmektedir. R_S değeri maksimum güç noktasının belirlenmesinde etkindir. Şekil 3.13'de V_{OC} 'nin değişimi üzerinde R_S değerindeki değişimin bir etkisinin olmadığı, yüksek R_S değerlerinde ise I_{SC} 'nin azaldığı görülmektedir. Paralel direnç değeri akım-gerilim eğrisinin I_{SC} civarındaki eğiminden yola çıkarak, hesaplanabilir. Paralel direnç ise kaçak akımları temsil etmektedir. İdeal bir güneş pilinde ise $R_{SH} \infty$ kabul edilmektedir. Paralel direncin değerinin azalmasıyla, I_{SC} civarındaki eğim artmaktadır. Şekil 3.13'de düşük R_{SH} değerlerinde güneş pilinin V_M değerinden düşük gerilim ve I_M değerinden düşük akım değerlerinde çalıştığı, FF değerinin düştüğü ve modülün V_{OC} açık devre geriliminin azaldığı görülmektedir. R_{SH} değerinin azalmasıyla I_{SC} civarındaki eğim artmasının R_{SH} değerinin azalmasıyla orantılı olduğu görülmektedir. Güneş pillerinin çıkış gerilimini artırmak için birbirine seri bağlanırlar. Aynı şekilde elde edilecek çıkış akımını artırmak için de birbirine paralel bağlanırlar [56].

Performansın belirlenmesinde önemli olan bir diğer parametre maksimum güç noktasındaki alan ile I_{SC} ve V_{OC} çarpımından oluşacak alanın birbirine oranı olarak ifade edilen dolgu faktörüdür [3];

$$FF = \frac{P_M}{V_{OC}I_{SC}} = \frac{V_M I_M}{V_{OC}I_{SC}} \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir. Bu değer 1.00'den küçüktür ve iyi bir güneş pili için 0.70-0.85 aralığında değerler almaktadır [73,74].

Bir güneş pilinin en önemli özelliği güç dönüşüm verimidir ve η ile gösterilir. P_M maksimum güç noktasındaki gücün, P_{in} güneş pili üzerine düşen güneş ışığının gücüne oranı olarak ifade edilen verim, dolun çarpanının bir fonksiyonu olarak denklem 3.1'deki gibi aşağıdaki şekilde yazılabilir [3].

$$\eta = \frac{P_{MAKS}}{P_{IN}} = \frac{V_{OC} I_{SC} FF}{P_{IN}} = \frac{V_{OC} I_{SC} FF}{P_{IN}} \quad (3.2)$$

Aydınlatma altında ölçülen V_{OC} değeri, TiO_2 deki elektronların yarı Fermi seviyesi ile elektrolit içindeki redoks çiftinin redoks potansiyeli arasındaki potansiyel farklılık olarak tanımlanır [16] ve;

$$qV_{oc} = E_F - E_{redoks} \quad (3.3)$$

denklemleri ile verilir. Verimdeki hafif düşüş bant aralığındaki daralmadan değil de, malzemenin davranışı üzerinde daha belirgin bir etkisi olan, yeniden birleşme akımlarından kaynaklandığı da ifade edilmektedir [27].

Güneşten gelen radyasyonun spektral dağılımına bakarak güneş pili verimi hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Spektral dağılımda absorbans verilerinin farkının iyi bir şekilde anlaşılması için gelen foton-akım verimliliği (IPCE) ile net bir şekilde anlaşılması sağlanır. IPCE; Farklı dalga boylarında güneş pilinin yüzeyi üzerine düşen foton sayısına göre, o dalga boyunda oluşturduğu fotoakım, güneş pilinin fotospektral tepkisini belirler. Dong woo optron firmasından satın alınmış monokromatör aracılığı ile çeşitli dalga boylarında fotospektral tepki alınmıştır. Slit açıklığı tek dalgaboyunun çıkışını temin edecek şekilde ayarlanmıştır. Slit genişliği 0,21 mm alınmıştır. En önemli nokta slit genişliğinin 0,14 mm altındaki değerden daha düşük durumlarda absorbansın slit genişliğine bağlılığı yoktur. Bu durum gereğinden fazla daraltarak spektrofotometrenin bant ayırma gücünü azaltmaktadır.

$$IPCE(\%) = \left(\frac{1240 \times J_{SC}}{\lambda P_{in}} \right) \times 100\% \quad (3.4)$$

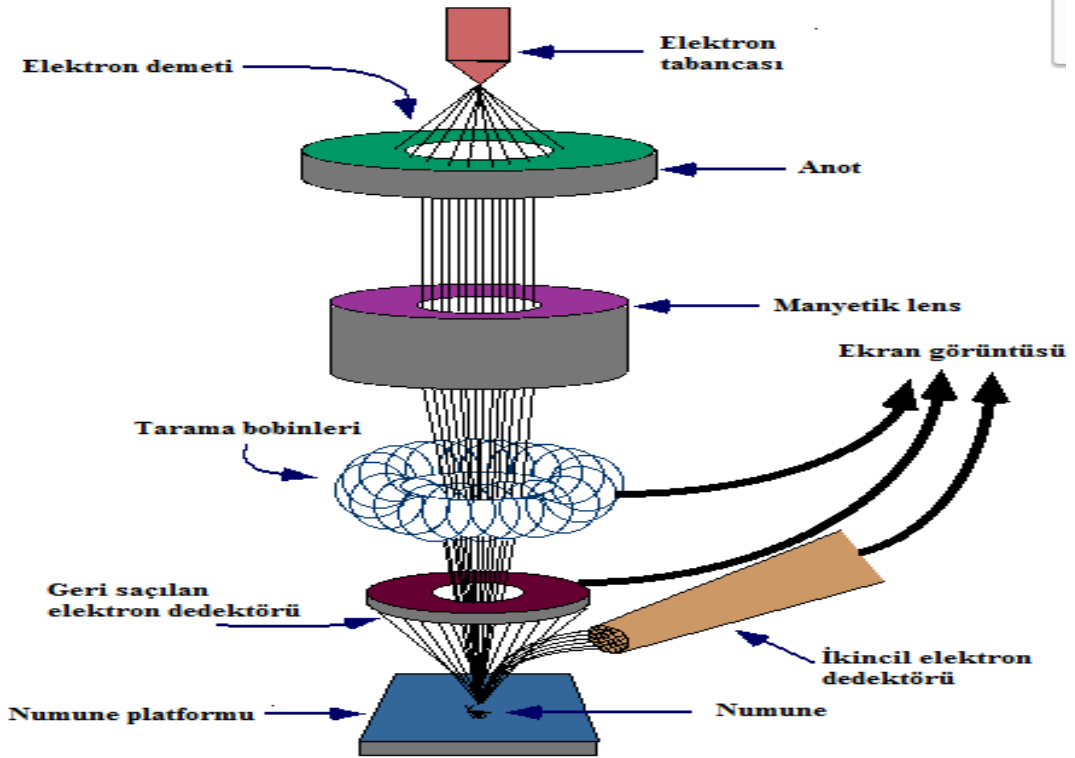
Çalışmamızda P_{IN} ; giriş gücü ve J_{SC} ; kısa devre akım yoğunluğu değerleri denklem 3.2 'deki yerine yazılarak IPCE hesaplamaları yapılmıştır [71].

3.10. TCO'ların Morfolojik Yapı Analizleri

Sentezleme işlemleri sonrasında elde edilen TiO_2 kaplı numunelerimizin morfolojik ve özellikle topraklanma eğilimindeki tozların boyut dağılımlarının tespit edilebilmesi için SEM ve AKM ile yüzey incelemesi çalışmaları yapılmıştır. Takip eden bölümlerde bu yöntemler hakkında bilgiler verilmektedir.

3.10.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Yüzey morfolojisi hakkında bilgi Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan FEI / Quanta 450 FEG Quanta Taramalı Elektron Mikroskobu cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. FEG üç boyutlu görüntüleme ve elektron kaynaklı tarama modu ile (ESEM, yüksek ve düşük vakum) numuneler için en geniş SEM uygulamalarına izin verir.



Şekil 3. 14. SEM cihazının iç yapısı

Quanta 450 SEM sistemleri Enerji Dağılımı Spektrometresi (EDS), Dalga boyu Dağılımı Spektrometresi (WDS) ve Geri Saçılan Elektron Difraksiyonu (EBSD) gibi analitik sistemler ile donatılmıştır. Ek olarak Alan Emisyonu Tabancalı (FEG) sistemleri S/TEM dedektörü ile aydınlık alan (BF) ve karanlık alan (DF) örnek görüntülemesi yapabilirler. SEM görüntüsü, numune yüzeyinin elektron demeti ile taratılması ile oldukça yüksek voltajda hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması ile bu taratılma durumunda elektronların, numune atomlarıyla etkileşiminden oluşan ve çeşitli girişimler yapması sonucunda meydana gelen etkilerin sinyal güçlendiricilerinden geçirilerek, uygun algılayıcılarda toplanması sonrasında bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Teorik olarak bir kaynağı görüntülerken görüntüleme enerjisinin dalga boyunun yarısı bir nesnenin boyutunu çözmesi gerekir. Voltaj Aralığı 200 V - 30KV Taramalı Elektron Mikroskobu çözünürlüğü yüksek olan resim oluşturmak için elektromanyetik lenslerle inceltilebilen elektron demeti, vakum ortamında oluşturularak aynı ortamda incelenecek malzemeyi analiz etme olanağı sunar. Numuneler ve bütün optik kolon elemanları 10^{-4} Pa gibi bir vakumda bulunmaktadır. Şekil 3.14 'de görüldüğü gibi görüntüleme sisteminde, numune ile elektron demetlerinin girişimi sonucunda oluşan çeşitli ışınmaları ve elektronları toplayan detektörler, bunları numune yüzeyindeki elektron demetlerini görüntü ekranıyla senkronize tarama yapabilen manyetik bobinler ve sinyal çoğaltıcıları bulunmaktadır.

3.10.1.1. Enerji Dağılımlı X-Işınları Mikro analiz Spektrometresi (EDS)

Numunenin elementel analizi de yapılarak hem yüzeysel hem de kristalografik bilgilerinin yanı sıra bileşim bilgileri elde edilebilmektedir. Çözünürlük 70-130 eV dir. Aynı anda birçok elementi belirleyebilir. Yüksek enerjili elektronlar numunenin yüzeyine çarptığında bu çarpışmalardan dolayı, numunenin yüzeyinden bazı elektronlar kopar. Eğer elektronlar içteki orbitallerden koparılmışlarsa atomlar kararlılıklarını kaybederler. Tekrar aynı şekilde kararlı hale gelebilmek için iç orbitallerdeki boşlukları dış orbitallerdeki elektronlar doldururlar. İç orbitallerdeki elektronların enerjileri, dış orbitallerdeki elektronların enerjilerinden daha düşük olduğu için, iç orbitalleri dış orbital elektronları doldururken bir miktar enerji kaybetmek durumundadır. Kaybedilen bu enerji X-ışını olarak açığa çıkar.

Yarıiletken detektör tarafından numuneden kaynaklanan X-ışınları algılanır. İletim bandına geçmiş olan elektronlar, elektrik sinyallerine dönüştürülür. Numune içindeki elementlerin piklerinin altındaki alanlar, elementlerin yüzdeleriyle orantılıdır. Sadece, X ışınlarının EDS detektöründe sayılmasıyla numune yüzeyindeki her bir nokta için ayrı ayrı o elementin göreceli oranlarını tespit edilebilir.

3.10.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM) Ölçümleri

AKM ölçümleri Nanomanyetik bilimsel cihazlar firması tarafından Ankara/Hacettepe’de yapılmıştır. Kullanılan AKM cihazının parametreleri; çözünürlük 512x512, titreşim genliği 1.6 V_{RMS}, serbest titreşim genliği için 2.2 V_{RMS}’dir. TiO₂ tabakasının yüzey morfolojisini incelemek için kullanılmıştır.

3.10.3. UV-Spektrometre

UV-VIS absorpsiyon ölçümleri Şekil 3.15’de görülen Hach Lange DR 5000 UV görünür bölge spektrometresi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3. 15. Hach Lange DR 5000 UV-Spektrometre absorpsiyon ölçüm cihazı

Kullanılan boyar madde ve TiO₂ örneklerinin maksimum absorbans yaptığı dalga boylarının belirlenmesi için 200-800 nm arasında tarama yapılmıştır.

4. DENEYSEL BULGULAR

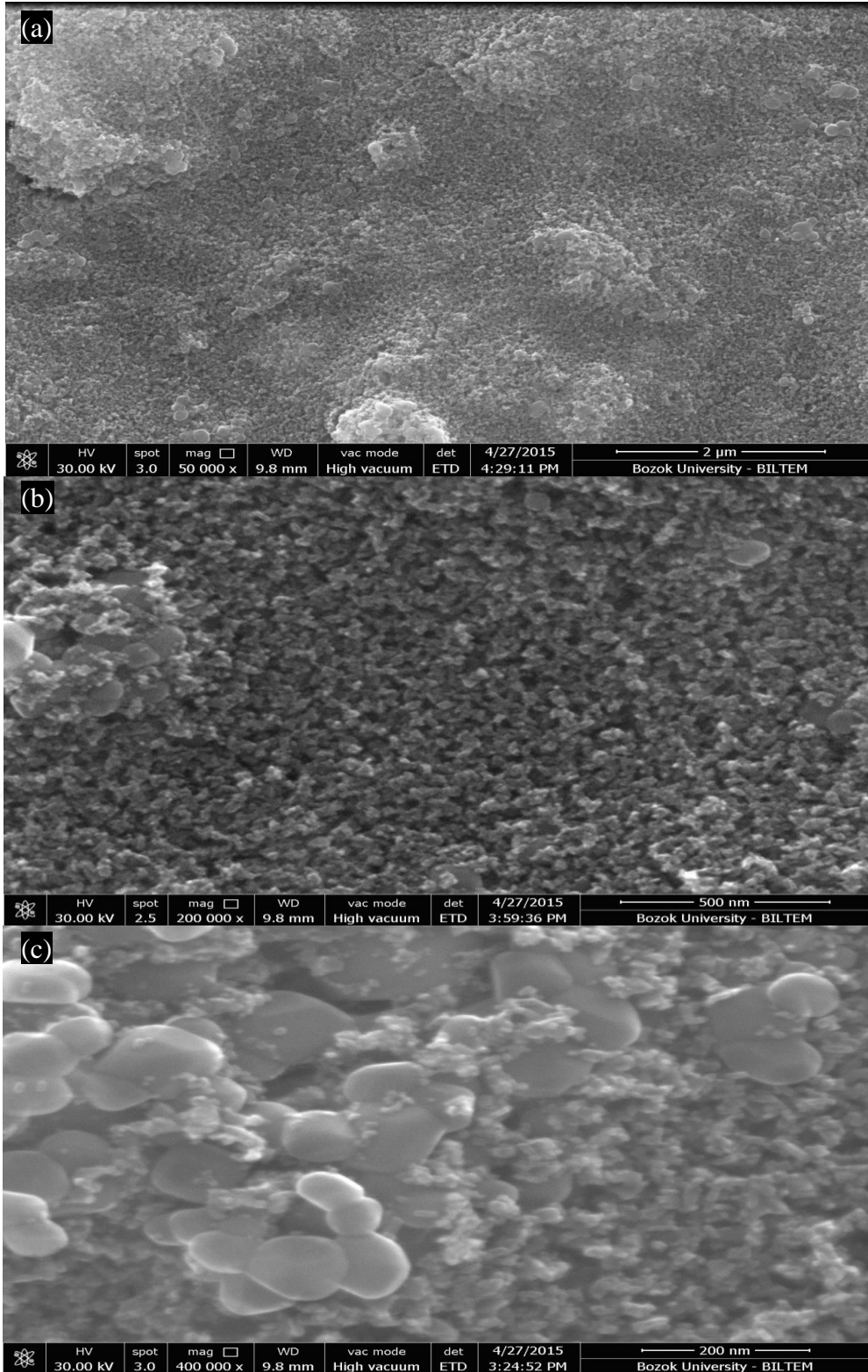
Bu bölümde yarıiletken tabaka olarak kullandığımız TiO_2 'nin AKM, SEM ve SEM'e bağlı EDS görüntü ve analizleri, üretilen güneş hücrelerinin elektriksel ölçümleri, ölçümlerden elde edilen güneş pili parametrelerinin zamana bağlı olarak kararlılıkları, IPCE hesaplamaları verilecektir.

4.1. TiO_2 parçacıklarının karakterizasyonu

TiO_2 kaplı anot elektrot'un, SEM ve SEM'e bağlı EDS sonuçları, AKM alınarak yüzey yapısı hakkında bilgi toplanılmıştır.

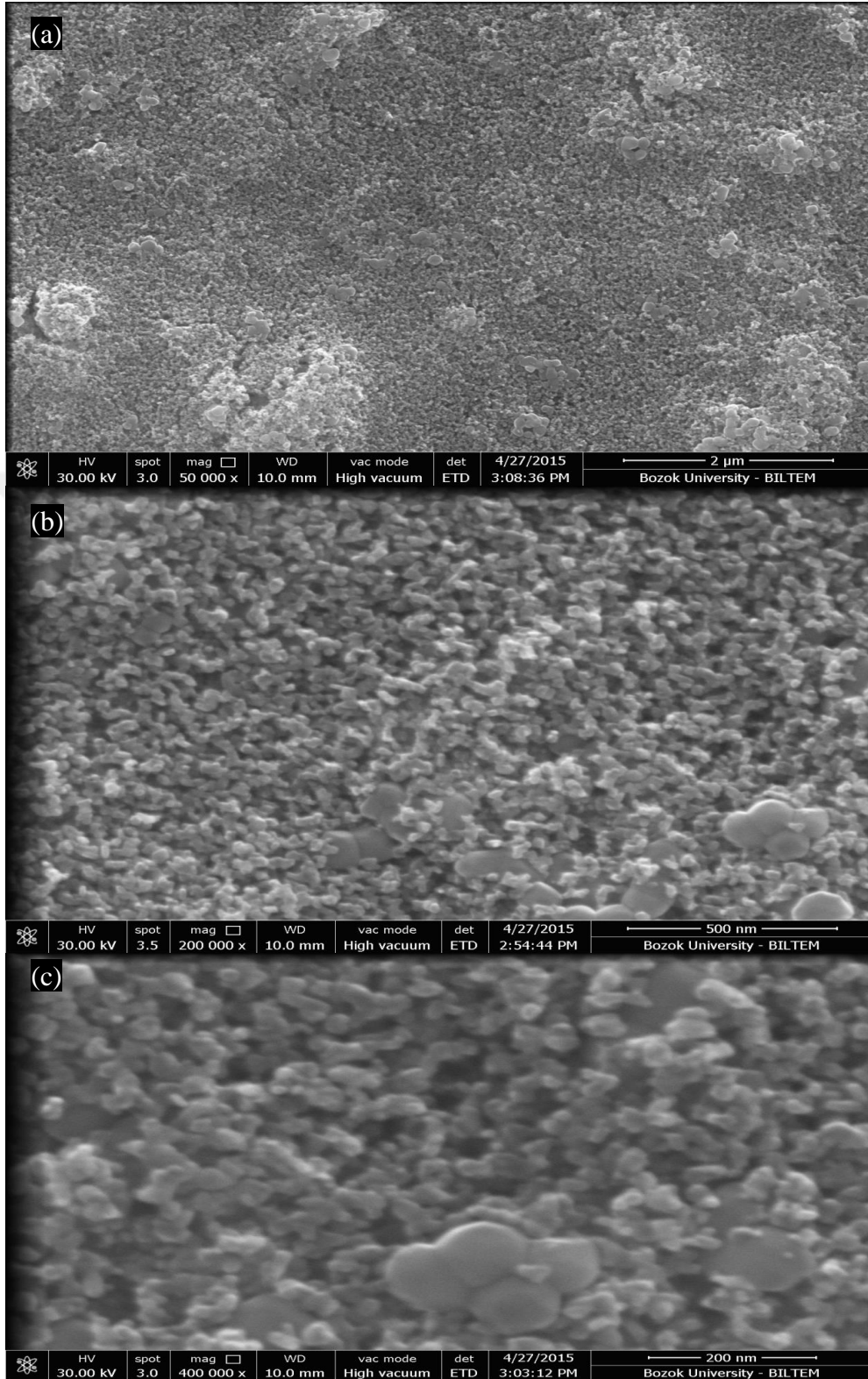
4.1.1. SEM Görüntüleri

Sinterleme işlemi sonrası elde edilen, FTO ve ITO alttaş üzerine kaplanmış nanoparçacıklı TiO_2 yarıiletkeninin morfolojik yapısının ve özelliklede topaklanma eğilimindeki yapıların boyut dağılımlarının tespit edilebilmesi için taramalı elektron mikroskobu çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4.1 (a,b,c)'deki FTO üzerine kaplanmış yapılar incelenmiştir.



Şekil 4. 1. FTO üzerine kaplanmış TiO₂ fotoanot yüzeyinin (a) 2 µm (b) 500 nm (c) 200 nm'lik ölçeklendirme altında SEM görüntüleri

Değişik ölçeklendirmelerle alınan SEM görüntülerine bakıldığında TiO_2 tabakasında çatlak niteliğinde boşluklar görülmemektedir. Bu durum sinterleme işlemindeki prosedürün başarılı bir şekilde yapılamamasıyla ilişkilendirilebilir. Özellikle Şekil 4.1-b'ye bakıldığında TiO_2 tabaka yapısının gözenekli olduğu ve büyük bazı partiküller dışında yapının homojen olduğu görülebilir. Şekil 4.1-c de 400.000X büyütme ile büyük parçaların olduğu noktaya odaklanılmış ve büyük parça boyutlarının yaklaşık olarak 40-100 nm civarında olduğu gözlenmiştir. İstisnai olan büyük parçalar dışında yapı yaklaşık 20 nm'lik TiO_2 tabakasından oluşmaktadır. TiO_2 'de bulunan gözenekli yapılar boyanın etkidiği yüzeyin alanını arttırmıştır. Bu durum TiO_2 'ye tutunan boyanın daha fazla yüzey alanına sahip olmasını ve ışık yakalama verimini arttırmasını sağlamıştır ve bu prosedür TiO_2 üretimi için dikkate alınmıştır.

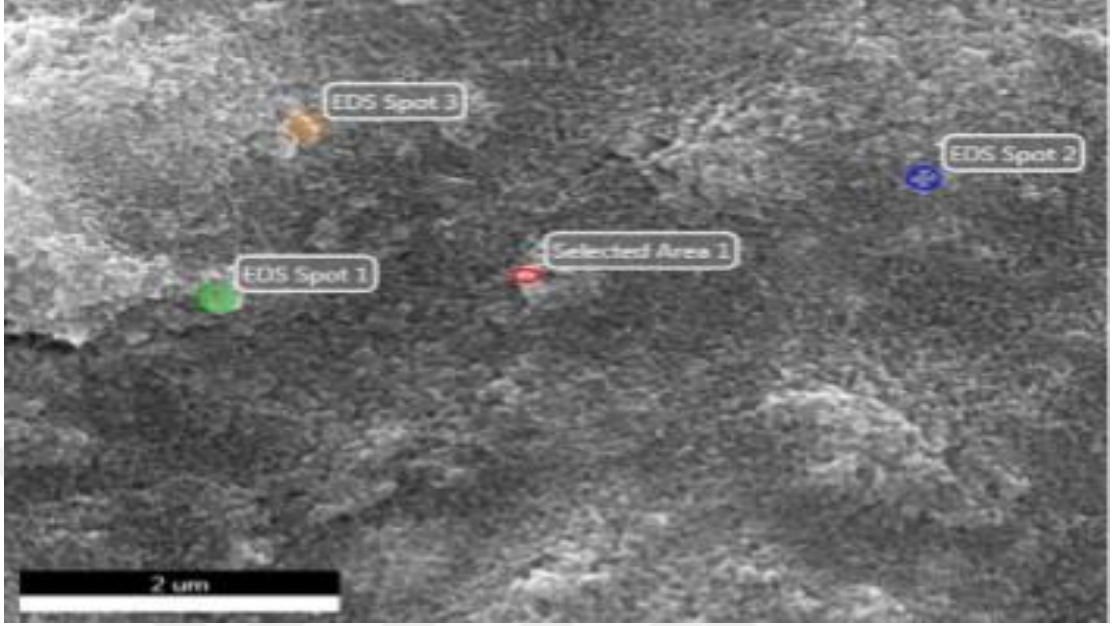


Şekil 4. 2. ITO iletken tabaka üzerine TiO_2 kaplı fotoanot tabakasının (a) $2\mu\text{m}$ (b) 500nm (c) 200nm ' deki SEM görüntüleri

Şekil 4.2 (a,b,c) 'deki görüntüler Şekil 4.1 dekine benzer şekilde FTO tabakası yerine ITO tabakası üzerine kaplanmış TiO_2 tabakasından alınmıştır. Şekil 4.1 ve 4.2 mukayese edildiğinde sinterleme işleminin her iki tabakada da benzer sonuçlar doğurduğu, gözenekli TiO_2 tabakasının alttaştan etkilenmediği görülmektedir. Özellikle Şekil 4.1-a ve Şekil 4.2-a ya bakıldığında homojen olmayan yüzey dağılımı göze çarpmaktadır. Bu durum Doctor Blade tekniğinin kaçınılmaz sonucudur. Ancak daha etkin büyütmelemlerde her iki şekilde de yüzeyin nispeten homojen dağılım sergilediği, özellikle 400.000X büyütmede homojenliğin daha sinterleme esnasından ziyade pasta içerisinde yer alan daha iri tanecikler tarafından bozulduğu gözlenmektedir. Daha iri taneciklerin bulunması boyanın etkileştiği yüzey alanı miktarını azaltacaktır ancak daha iri taneciklerin daha az sayıda bulunmaları bu etkiyi minimize edecektir.

Her iki alttaş türü üzerine kaplanmış olan nanoparçacık ilaveli TiO_2 'ler yakalanan fotonların miktarını ve bunun sonucu olarak üretilen serbest taşıyıcı miktarlarını doğrudan etkileyeceğinden, yüzey morfolojisinin bu konudaki temel anahtarı rolünü üstlenmektedir. Bu yüzden yüzey morfolojisi rekombinasyon kayıplarını önlemek, hızlı ve iyonik yük taşınmasını sağlamak için önemlidir. Parçacık boyutundaki artış düşük bir boya absorpsiyonu nedeniyle daha az verimli güneş hücreleri oluşması sonucuna yol açar. Ancak nanodüzeydeki parçacık boyutunun değişmesi kuantum etkilerden dolayı soğurulacak ve yansıtılacak ışınların miktarının da değişmesine neden olacaktır. Görsel olarak gözenekli yapının oluşup oluşmadığını SEM görüntüleri ile yüzeyimizin pürüzlü yapıda olduğu doğrulanmaktadır. Yüzeyin pürüzlü yapıda olmasını istememizin nedeni olarak düz bir yapıya sahip olan durum ile kıyaslandığında yüzey alanının artmış olmasıdır. Artan TiO_2 yüzey alanımız ile boyanın absorblanmış olduğu miktar artacak ve bu durum daha çok foton emilimine yol açtığı yaptığımız yüzey incelemeleri sonuçlarında görülmüştür.

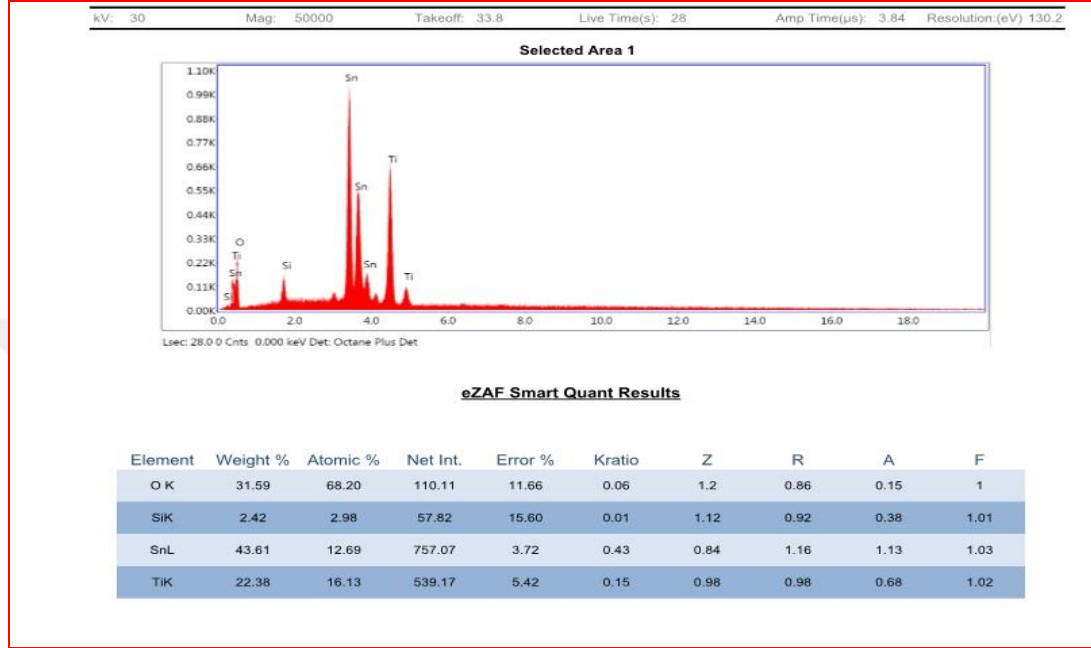
4.1.1.2. EDS Analizi



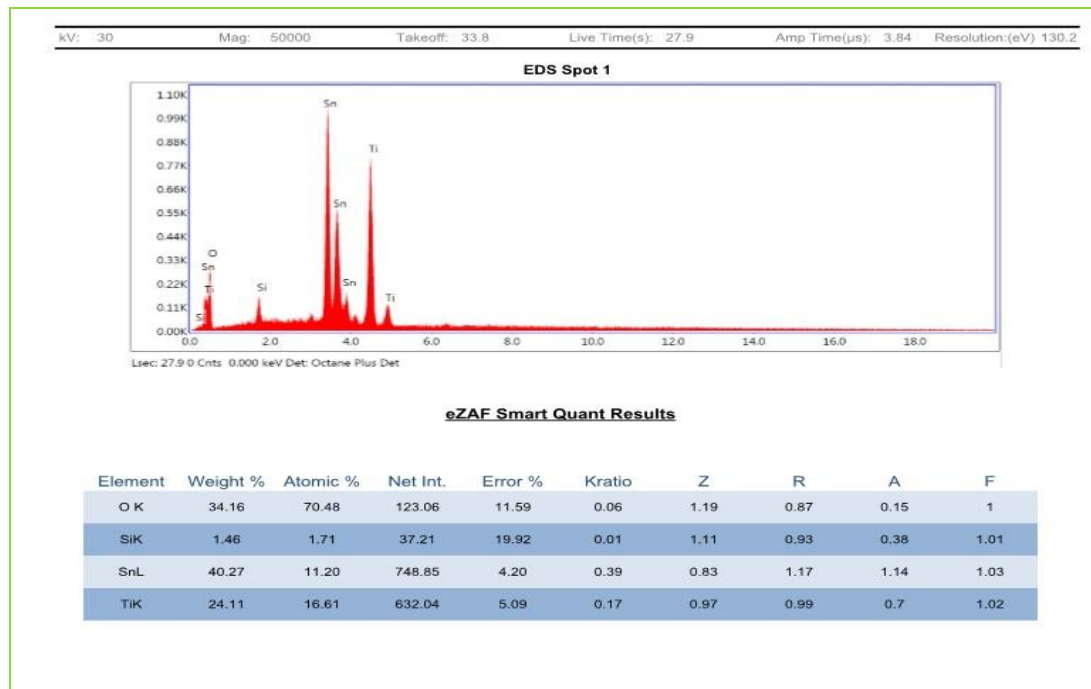
Şekil 4. 3. FTO üzerine kapladığımız TiO₂'nin EDS analizi

Şekil 4.3'de SEM'e bağlı EDS ile dört ayrı nokta seçilerek o bölgede hangi elementin ne kadar bulunduğu yüzdeleri ile verilmiştir. Cihaz Şekil 4.3'de işaretlenen noktalarda, alan1, spot1, spot2 noktalarındaki EDS analiz sonuçları Tablo4.1, 4.2,4.3'de verilmiştir.

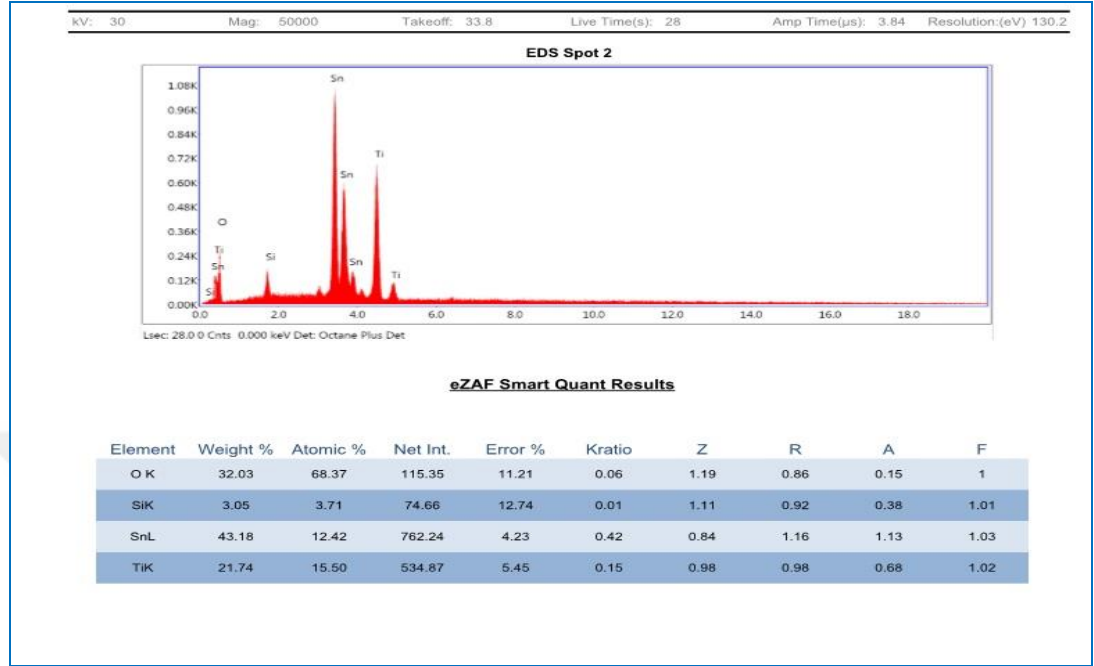
Tablo 4. 1. İncelenen örneğin içerdiği TiO₂ kaplanmış FTO cam alttaşın 50k nokta analizi (Şekil 4.3’de Selected Area 1 noktası) yapılan yarıkantatif analiz sonuçları



Tablo 4. 2. İncelenen örneğin içerdiği TiO₂ kaplanmış FTO cam alttaşın 50k nokta analizi (Şekil 4.3’de EDS Spot 1) yapılan yarıkantatif analiz sonuçları



Tablo 4. 3. İncelenen örneğin içerdiği TiO₂ kaplanmış FTO cam alttaşın 50k nokta analizi (Şekil 4.3’de EDS Spot 2) yapılan yarıkantatif analiz sonuçları

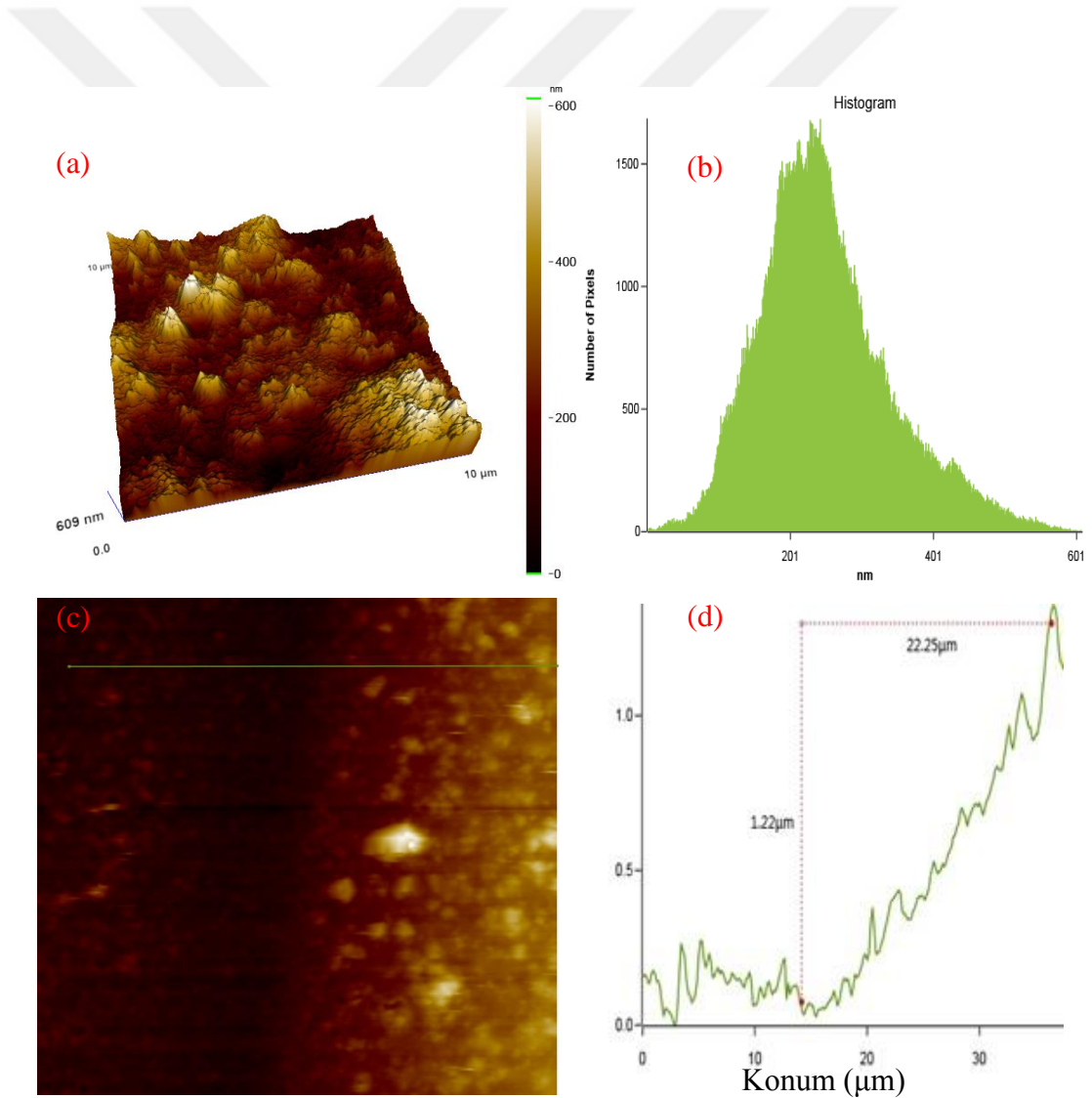


Anot elektrotumuzun belirlenmiş noktadaki yüzey yapısına yönelik SEM görüntüsü üzerinde yapılan EDS analizi Tablo 4.1, 4.2, 4.3’de gösterilmiştir. Malzeme yapısının içerisinde analiz sonuçlarında görülmüş olan Sn, O, Ti, Si elementleri bulunma yüzdeleriyle verilmiştir. Numunelerimizin içerisinde bulunan elementlerin yüzdeleri, elementlerin piklerinin altındaki alanlarla orantılıdır. Yapı içerisinde silisyum bulunması iletken olmayan sade haldeki camımızın yapısı gereğidir. Kalay gözükmemesinin nedeni ise FTO ve ITO tabakalarımızın kalay oksit katkılı olmasından kaynaklanmaktadır. ITO ve FTO’larda kullanılan indiyum ve flor kalay oksit alt tabakalı cam üzerine, ince kaplama şeklinde olduğu için görünür bölgede son derece şeffaf durumdadır. TiO₂ yapısındaki kimyasal elementlerin tayini beklediğimiz bir sonuca ulaştırmıştır.

4.1.3. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM) ve TiO₂ Tabakanın AKM Görüntüleri

U kısmında manivelaya bağlı bulunan sivri ucu ile yüzey taranır. Atomik kuvveti ise manivelanın ucundaki atom ile yüzeydeki atom arasındaki kuvvet şeklinde tanımlayabiliriz. İki farklı moda sahip; çekici, itici. Yüzey ile manivela arasında eğer uzaklık çok fazla ise yüzey manivelayı çeker, bu çekici moddur. Çekici modda

manivela ve yüzey arası uzaklık 10-100 Angström arasındadır, atomik kuvvet değeri ise 10^{-12} Newton'dur. Eğer uzaklık 10 Angströmden az ise, itici moda geçilir. İtici modda iken manivela yüzeye temas halindedir. Atomik kuvvet değeri 10^{-6} ile 10^{-7} Newton arasındaki kuvvet ile yüzey topoğrafyası oluşturulur. AKM'nin çözünürlüğü nanometre boyutlarındadır ve optik tekniklere kıyasla 1000 kat fazladır. Çalışmamızda TiO_2 tabakası boyayla duyarlaştırılmadan önce yüzeyin 2D ve 3D boyutlu AKM görüntüleri elde edilerek, tapping modda yüzey analizi yapılmıştır. Ayrıca TiO_2 tabakanın kesit analizi de tabakanın yüksekliğini belirlemek için gerçekleştirilmiştir.

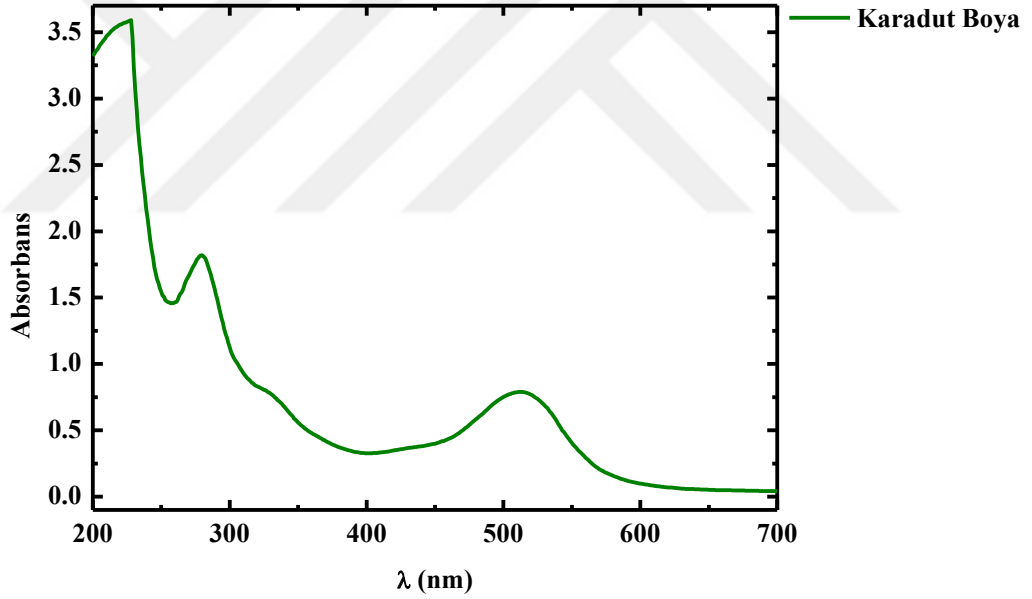


Şekil 4. 4. (a) 10x10 μm AKM 3D topoğrafı (b) yüzey pürüzlülük dağılım histogramı (c) kesit analiz bölgesi seçimi (d) TiO_2 tabaka kalınlığı

Kare ortalama karekök değeri (RMS), yüzey pürüzlülüğünün bir ölçüsünü ifade etmektedir. AKM sonuçları doğrultusunda TiO₂ tabaka için 92 nm de RMS değeri gözlemlenmiştir. TiO₂ tabakanın en yüksek bölgesi ise 609 nm dir. Şekilde 4.4 (c ve d)'de gösterilen kesit analizine göre FTO üzerindeki TiO₂ tabakası 1.12 µm'lik kalınlığa sahiptir.

4.2 Karadut Boyasının UV-Spektrofotometre ile Analizi

Güneş pili üretiminde kullanılan ve karadut meyvesinden elde edilen karadut boyasına ait dalgaboylarına karşın soğurma spektrumu, detayları Bölüm 3 de verilen bir UV-Spektrofotometre ile elde edilmiştir.



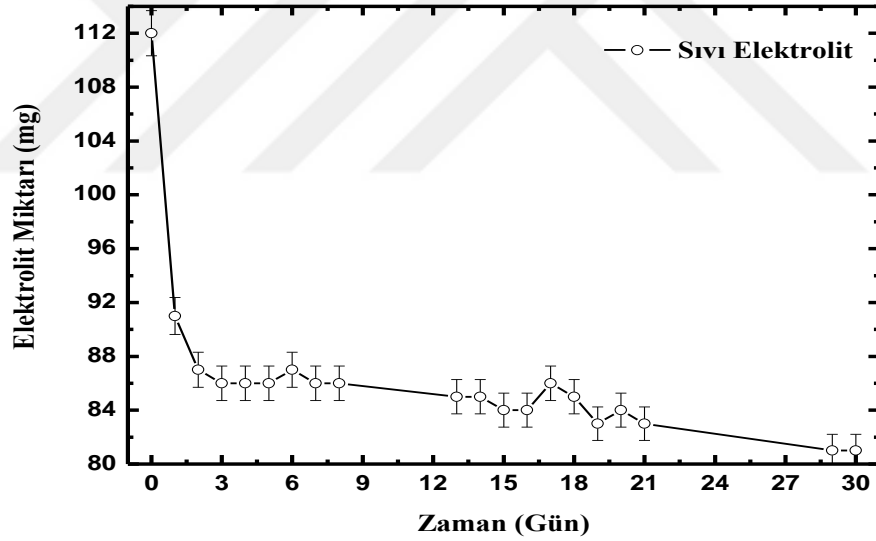
Şekil 4. 5. Karadut boyanın soğurma spektrumu

Şekil 4.5'de karadut boyasının ekstraktını sergileyen soğurma spektrumuna bakıldığında 280 nm ve 520 nm'de iki soğurma piki görülebilir. Bunların haricinde kullanılan boya uzak UV bölgede yoğun bir şekilde soğurma göstermektedir. Boyamızda bulunan hidroksil gruplarında konjüge çift bağ sayısının artırılması ile birlikte pH değişiminin etkisi, uyarılmış durum ile temel durum arasındaki elektronik

geçiş aralığını düşürür ve bu durum daha büyük dalga boylarının emilimi ile sonuçlanır.

4.3. Sıvı Elektrolit'in Zaman ile Değişimi

Boya sentezli güneş pillerinde sıvı elektrolit sızıntı veya uçma problemi en dikkat çekici problemler olarak ortaya çıkmaktadır. Deneyler esnasında kullandığımız sıvı elektrolitin atmosfer ortamında oda sıcaklığında, oda koşullarında uçmasını incelemek amacıyla belirli bir miktar sıvı elektrolit ağzı açık bir kap içerisine konulmuş ve aşağıdaki grafikte verilen tartım günlerinde hassas terazide tartılarak, buharlaşma sonucu meydana gelen kütle kaybı gözlenmiştir.



Şekil 4. 6. Sıvı elektrolit miktarının kütsel olarak zamanla değişimi

Kütle kaybı ölçümleri Bozok Üniversitesinde bulunan laboratuvarında ortalama 23 °C sıcaklık altında Meteoroloji Genel Müdürlüğünün Yozgat iline ait verilerine göre ölçüm yaptığımız dönemler boyunca 1.013- 1.009 hPa (1hPa = 100 Pa) atmosfer basıncı değerlerinde gerçekleştirilmiştir.

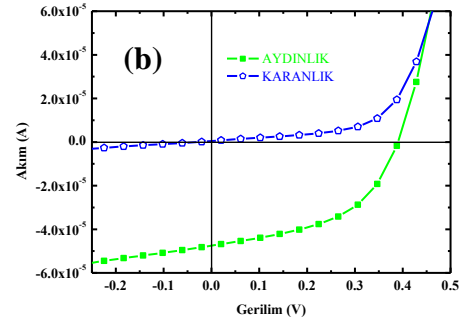
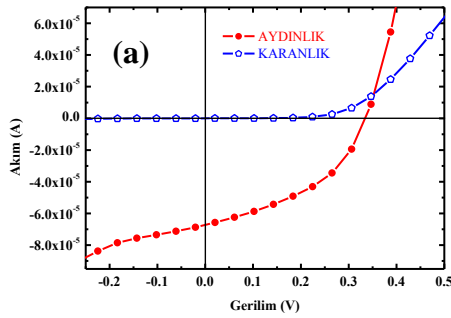
Grafiğe bakıldığında başlangıçta hızlı bir şekilde kütle kaybı görülmektedir. Hatta zamanla meydana gelen kütle kaybı üstel formda azalmayla kendisini

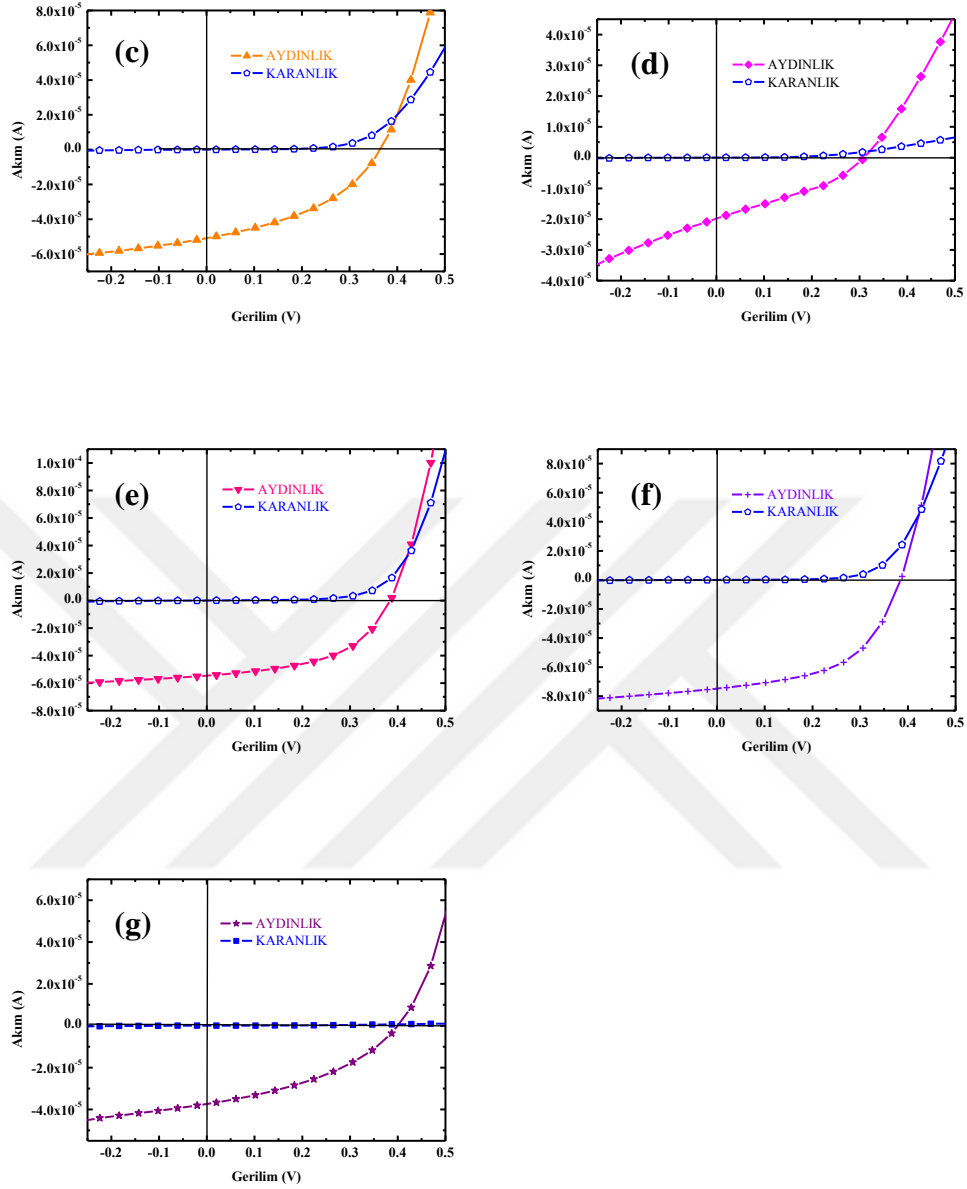
göstermektedir. Bunun nedeni elektrolit içerisindeki sıvı çözücüdür. Elektrolitin tüm bileşenleri buharlaşmamakta, elektrolit içerisindeki sıvı çözücülerden birisi daha kolay buharlaşmaktadır. Sıvı çözücü buharlaştığında nispeten daha yoğun kıvamlı elektrolit ortamda kalmaktadır.

Hazırlanmış olduğumuz güneş hücrelerimizin arasında bulunan sıvı elektrolitin 150 günün sonunda uçmasının nedenini tam olarak gösterebilen mükerrer bir durumdur. Karakterizasyon sonucunda elde ettiğimiz tüm verilerde sıvı elektrolit uçmasının etken olduğu sonuçlar net bir şekilde görülecektir.

4.4. Akım-Gerilim Ölçüm Sonuçları

Keithley 2400 Akım-Gerilim elektronik yük kaynağı yardımıyla 4.5 dakikada alınan 50 noktada gerilim ve buna karşılık gelen akım değerleri ölçülerek, hücrenin karakteristiğini belirleyen akım-gerilim eğrisi oluşturulmuştur. Hücreler için kısa devre akımı I_{SC} , açık devre gerilimi V_{OC} , maksimum güç noktasındaki akım I_M ve maksimum güç noktasındaki gerilim V_M değerleri tespit edilmiştir. Bu değerler denklem 3.1 ve 3.2'de ki formüllerde yerine koyularak verim ve dolgu faktörü sonuçları elde edilmiştir.

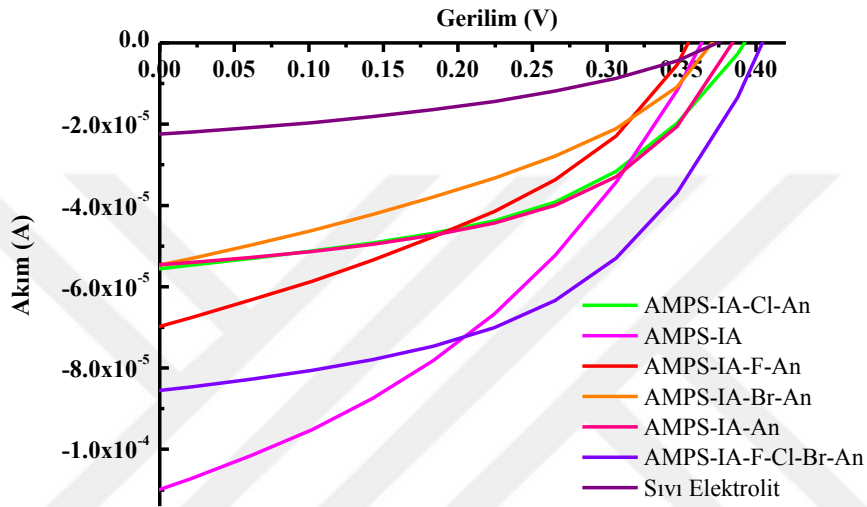




Şekil 4. 7. A.M 1.5 Aydınlatma ve karanlık ortam altındaki (a) AMPS-IA/F-An (b) AMPS-IA/Cl-An (c) AMPS-IA/Br-An (d) AMPS-IA (e) AMPS-IA/An (f) AMPS-IA/F-Cl-Br-An (g) Sıvı Elektrolitten oluşan güneş hücrelerimizimizin I-V görüntüleri.

Şekil 4.7’de GPE’li ve sade sıvı elektrolit ile hazırlanan güneş hücrelerimizimizin A.M 1.5 aydınlatma koşulları altında ve karanlık ortamda I-V ölçümleri verilmiştir. Bu ölçümlerden yola çıkarak tüm hazırlamış olduğumuz hücrelerin, aydınlatma koşulları altında belirli miktarlarda akım ürettikleri görülmüştür. Karanlık ortamda yapmış olduğumuz ölçümlerde ise bir fotoakım oluşmadığı ve tüm hücrelerde grafiklerin yatay eksende merkezi noktadan geçtikleri görülmektedir. Bu sonuçlardan yola

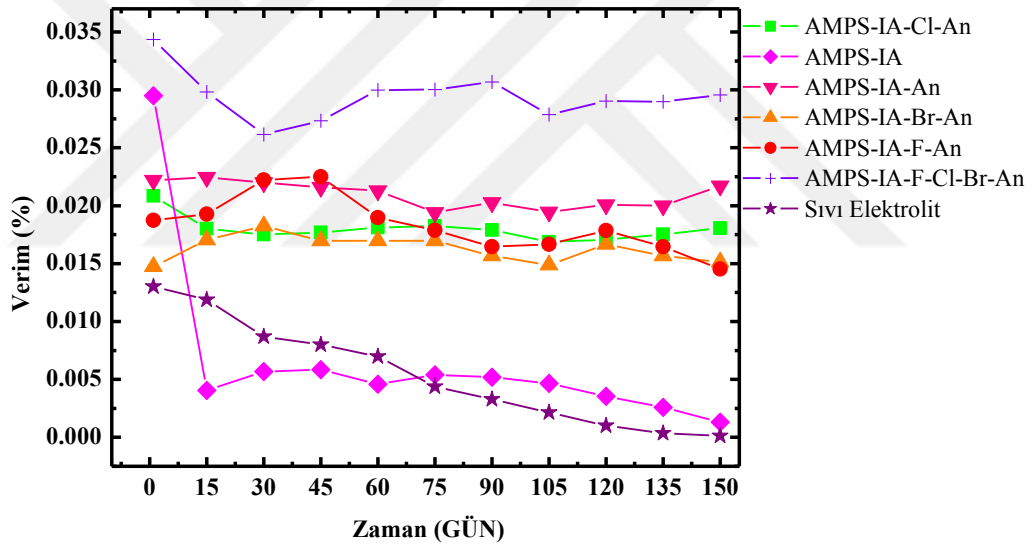
çıkarak, ürettiğimiz hücrelerin güneş pili oldukları, güneş pili dışında kimyasal reaksiyonlarla akım üretmedikleri söylenebilir.



Şekil 4. 8. Farklı elektrolitler kullanılarak üretilmiş güneş pillerinin karşılaştırmalı akım-gerilim grafiği

Şekil 4.8’de tüm hücrelerin verim hesaplarının yapıldığı, üretilen fotoakımın gözlemlendiği bölgesi mukayeseli olarak verilmiştir. Şekildeki I-V grafiklerinde sıvı elektrolitle hazırladığımız hücremizi referans kabul edersek; AMPS-IA bütün GPE’li elektrolitlerimizin içerisinde en yüksek şönt akım değerinin, en yüksek gerilim değerinin ise AMPS-IA/F-Cl-Br-An ile hazırladığımız hücremizde olduğu gözlenmiştir. AMPS-IA/F-Cl-Br-An akım-gerilim grafiğindeki gösterdiği akım ve gerilim sonuç değerleri bir bütün olarak düşünüldüğünde, diğer hücrelere oranla Şekil 4.8’de altında kalan alanın miktarı yüksek olduğundan en yüksek sonuçları vermiştir. Şekil 4.8’de görülen akım ve gerilim değerleri farklılıklarının yanı sıra AMPS-IA/F-An, AMPS-IA/Cl-An, AMPS-IA/Br-An, AMPS-IA/An GPE ile hazırlanan hücrelerimizde sadece sıvı elektrolit ile hazırladığımız hücremize kıyasla geniş bir alan oluşturmuştur. Yani kullanılan polimerler güneş hücresinin elektriksel karakteristiklerini iyileştirmiştir. Rakamsal olarak vermek gerekirse;

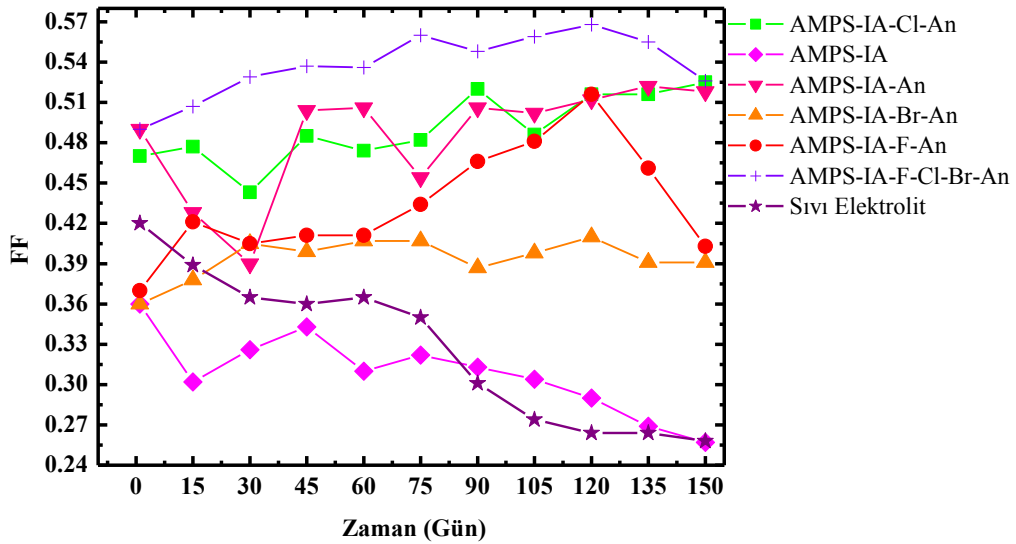
TiO₂ elektrot kullanıldığında en yüksek güneş pili performansı AMPS-IA/F-Cl-Br-An polimer elektroliti içeren yapıyla elde edildiği görülmektedir. Bu pil için $I_{SC}= 85 \mu A/cm^2$, $V_{OC}= 405 \text{ mV}$, $FF=0.49$ ve $\eta= \% 0.034$, olarak bulunmuştur. Yine aynı standart AM 1.5 güneş simülasyonu uyarılma koşullarında, AMPS-IA jel polimer elektrolitli güneş hücresi $I_{SC}= 109 \mu A/cm^2$, $V_{OC}= 363 \text{ mV}$, $FF= 0.362$, $\eta= \% 0.029$, AMPS-IA/Cl-An için $I_{SC}= 56 \mu A/cm^2$, $V_{OC}= 0.392 \text{ mV}$, $FF= 0.469$, $\eta= \% 0.021$, AMPS-IA/F-An için $I_{SC}= 70 \mu A/cm^2$, $V_{OC}= 354 \text{ mV}$, $FF= 0.372$, $\eta= \% 0.019$, AMPS-IA/An $I_{SC}= 55 \mu A/cm^2$, $V_{OC}= 385 \text{ mV}$, $FF= 0.504$, $\eta= \% 0.022$, AMPS-IA/Br-An ile $I_{SC}= 55 \mu A/cm^2$, $V_{OC}= 369 \text{ mV}$, $FF= 0.357$, $\eta= \%0.015$, sıvı elektrolitli ile $I_{SC}= 38 \mu A/cm^2$, $V_{OC}= 394 \text{ mV}$, $FF= 0.422$, $\eta= \%0.013$ değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.9. Üretilen güneş pillerindeki enerji dönüşüm veriminin zaman ile değişimi. Şekil 4.9'da üretilen güneş pillerinin enerji dönüşüm verimlerinin zamanla değişimi gösterilmektedir. Üretilen piller için elektriksel kararlılık en büyük problemdir. Şekile bakıldığında 150 gün boyunca gayet kararlı elektriksel karakteristikler sergileyen piller görülmektedir. Bu pillerde kullanılan boya organik karadut boyasıdır ve organik boyalardaki beklenti zamanla bozunumu yönündedir. Ancak grafiğe bakıldığında GPE'li piller sıvı elektrolit pile göre elektriksel olarak kararlı karakteristikler sergileyebilmektedirler. Dolayısıyla organik boya sentezli güneş

pillerindeki asıl problem sıvı elektrolitin hücreden bir şekilde uzaklaşmasıdır. Grafiğe göre AMPS-IA/F-Br-Cl-An'de polimeri en iyi enerji dönüşüm verimini sağlamakla kalmayıp 150 gün boyunca verim açısından da kararlı veriler ortaya koyabilmektedir. AMPS-IA-An, AMPS-IA-F-An, AMPS-IA-Cl-An, AMPS-IA-Br-An polimerlerinin kullanıldığı güneş hücreleri AMPS-IA/F-Br-Cl-An'e göre 150 gün boyunca daha düşük enerji dönüşüm verimi ortaya koysalar da sıvı elektrolitli ve AMPS-IA'lı polimere göre daha yüksek enerji dönüşüm verimi ortaya koymuşlardır. En düşük enerji dönüşüm verimi ve en kararsız güneş pili sıvı elektrolitli olandır. Sıvı elektrolitli güneş pili 135. günden itibaren hemen hemen % 0 civarında enerji dönüşüm verimi göstermiştir. AMPS-IA polimer ise diğer katkıların olduğu polimerlere göre gerek enerji dönüşüm verimi açısından gerekse kararlılık açısından daha zayıf kalmaktadır.

Şekil 4.10'da üretilen güneş pillerinin dolun faktörünün zamanla değişimi incelenmiştir. Dolun faktörü güneş pilinin kalitesini gösteren karakteristik bir parametredir ve zamanla değişiminin incelenmesi gerekir.

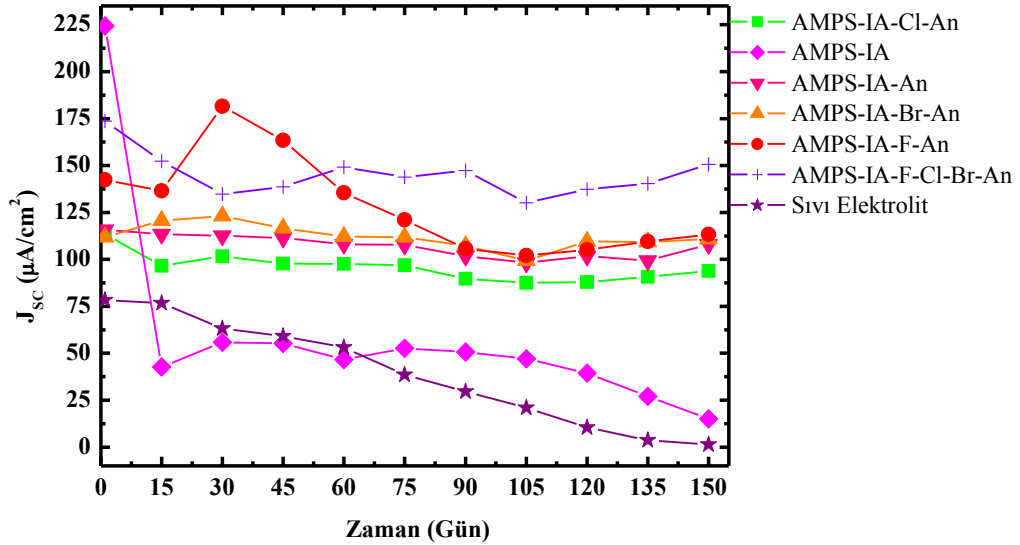


Şekil 4. 10. Dolun faktörünün zaman ile değişimi

Şekile bakıldığında AMPS-IA/F-Cl-Br-An ile yapılan hücrede diğerlerine göre büyük bir fark gözükmektedir. FF= 0.49'luk bir değer ile başlayıp 150 gün sonunda

FF= 0.52 değerini görmüştür. Yani dolun faktörü istikrarını korumuştur. Buna ek olarak AMPS-IA/Cl-An jel polimer elektroliti kullanılarak yapılan hücremizde dolun faktörü başlangıç değerine oranla iyi bir performans artışı göstermiştir. Sıvı elektrolit ile hazırladığımız hücrenin dolun faktörü değeri başlangıç için 0.42 iken sonradan 0.27'lik bir değere düşmüştür ve en kötü dolun çarpanına sahip bir şekilde 150 günü tamamlamıştır.

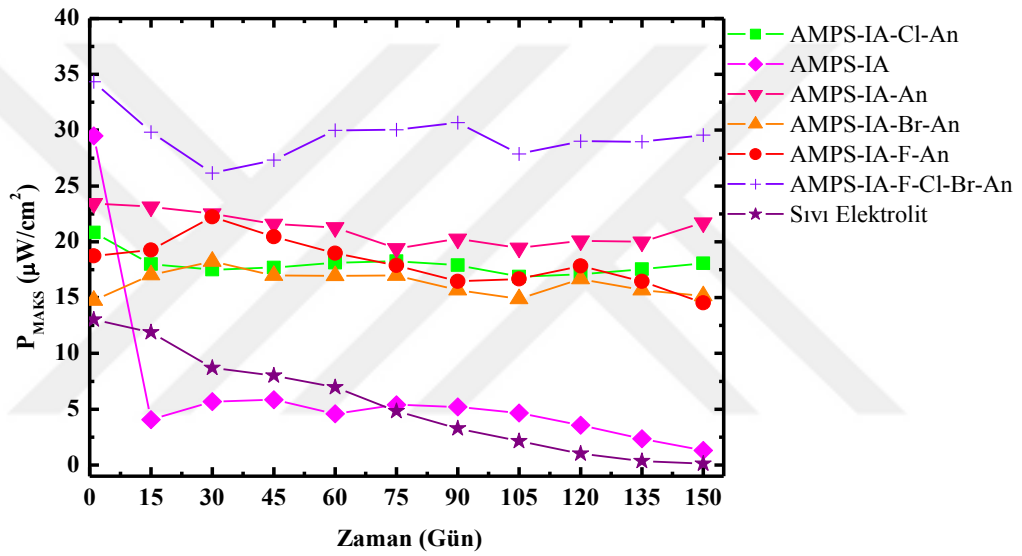
Bir güneş pilinde veya modülde seri direnç değerinin yüksek olması ve paralel direnç değerinin düşük olması, FF dolun çarpanının değerini düşüreceğinden güneş pilinden veya modülden elde edilebilecek güç değeri de düşecektir. Dolun çarpanı üzerinde yüksek ışık şiddetlerinde R_s etkisi, düşük ışık şiddetlerinde de R_{SH} etkisi daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Çok düşük R_{SH} değerlerinde pilden elde edilecek güç azalmaktadır. Düşük R_{SH} değerlerinde (yüksek R_{SH} değerlerine göre) güneş pilinin I_M değerinden düşük akım ve V_M değerinden düşük gerilim değerlerinde çalıştığı, dolun çarpanının değerinin düştüğü ve modülün V_{OC} açık devre geriliminin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4. 11. Üretilen güneş hücrelerinin akım yoğunluğunun zaman ile değişim

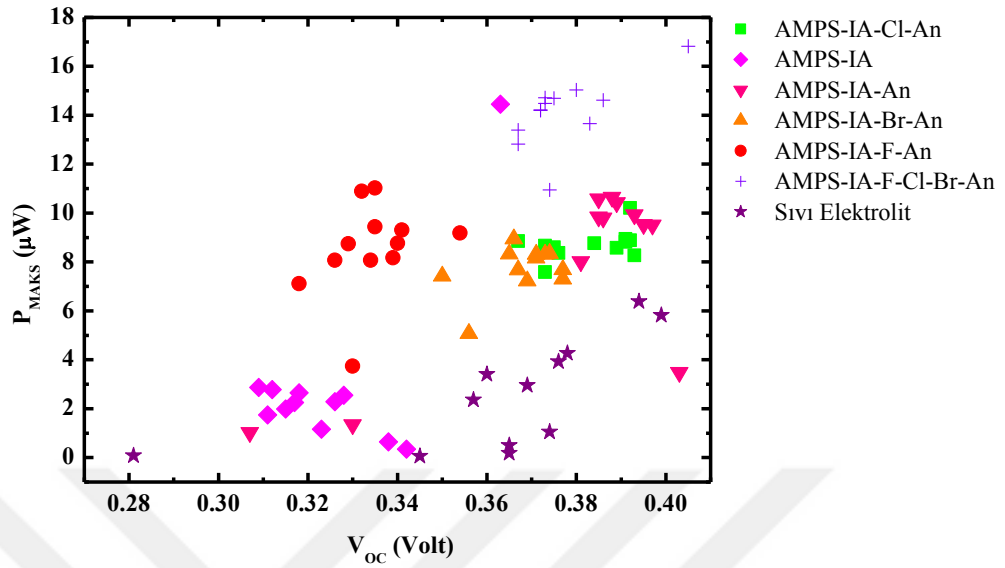
Şekil4.11'de üretilen güneş hücrelerinin akım yoğunluğunun zaman değişimi incelenmiştir. İlk alınan ölçüm ile en yüksek akım yoğunluğu değerinin AMPS-IA ile

yapılan güneş hücresinde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte 15. günde aldığımız ölçümler ve sonrasında üzerinden geçen akım istikrarını koruyamamıştır. En iyi sonuç AMPS/F-Cl-Br-An ile olanda görülmüştür. Diğer bütün polimer elektrolitler kararlı ve istikrarlı bir şekilde ürettikleri akım değerini korumuşlardır.



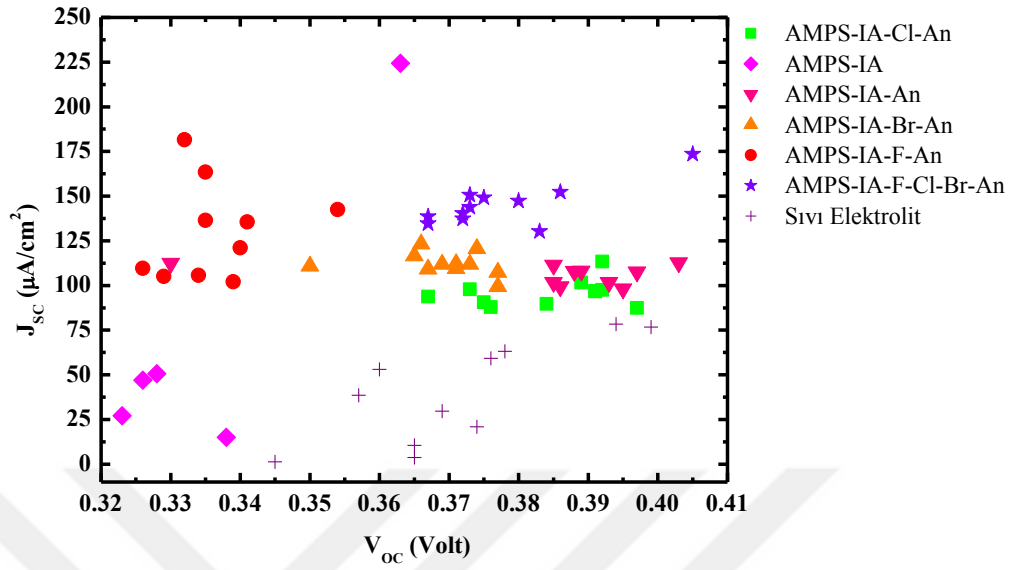
Şekil 4. 12. Üretilen güneş hücrelerinin maksimum gücünün zaman ile değişimi

Güneş hücrelerimizin ürettikleri gücün, o hücrelerin etiketi olduğu ve piyasada kullanımı için önem teşkil ettiği gücün zaman ile değişim grafiği Şekil 4.12'deki gibidir. AMPS-IA/F-Cl-Br-An ile hazırlanan güneş hücresinin 34 μ W ile en iyi maksimum güç değerini verdiği görülmüştür. 150 günlük ölçüm sonunda ortalama olarak 30 μ W'lık değerinde kararlı kaldığı görülmüştür. AMPS-IA ve sıvı elektrolit ile hazırlanan hücreler dışında diğer hücrelerimizin güç değerleri istikrarlı durumdadır ve değişmemiştir.



Şekil 4. 13. Maksimum güç- açık devre voltajı grafiği

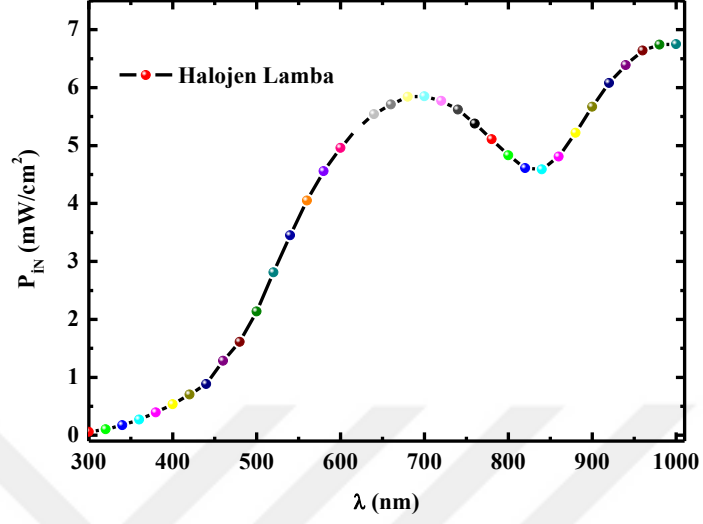
Şekil 4.13’de incelemeye aldığımız bir durum ise redoks elektrolitimizin ve kullandığımız GPE’lerin redoks seviyelerinin TiO_2 ’nin fermi seviyesi arasındaki farkı olan V_{OC} ’nin, maksimum güç değeri ile ilişkisini görebilmektir. Bu bağlamda öncelikle V_{OC} ’nin yüksek bir seviyede olması üretilen gücünde yüksek olacağı anlamına gelmediği açık bir şekilde görülmektedir. Üretilen akım miktarında ele alındığında bu parametrelerin birbirini tamamlayan unsur olup yüksek güce ulaştığı düşünülmüştür. V_{OC} değerleri çoğunluk olarak grafikte belirli yerlerde kümelenmeler oluşturmaktadır.



Şekil 4. 14. Akım yoğunluğu-açık devre voltajı

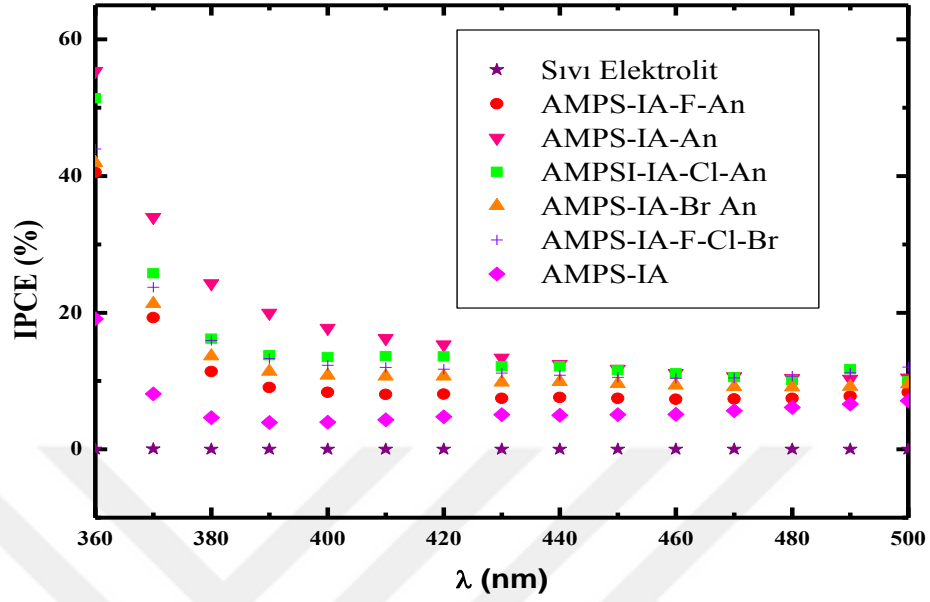
Bir güneş pilinde V_{OC} güneş pili yapımında kullanılan yarı iletken malzemenin bant aralığı ile yaklaşık olarak doğru orantılıdır. Bu durum geniş bant aralığına sahip yarıiletken kullanılan pilin daha yüksek V_{OC} değerine neden olacağı düşünülmektedir. Akım yoğunluğu ise boya ile duyarlaştırılmış TiO_2 malzememizin güneş spektrumundan absorbladığı fotonların, TiO_2 'nin yasak bant aralığını geçerek açığa çıkardığı elektron miktarının bir fonksiyonudur. V_{OC} ve J_{SC} 'nin birbirlerine kıyasla incelenmesi V_{OC} 'deki artışın J_{SC} 'yi arttırmadığı Şekil 4.14'de görülmüştür. J_{SC} açısından en düşük iki değeri AMPS-IA'lı GPE ve sıvı elektrolitle hazırlanan hücreler sergilemiştir.

4.3. IPCE Ölçümleri



Şekil 4. 15. Halojen lambanın farklı dalga boyları için oluşturduğu çıkış gücü spektrumu

Şekil 4.15’de Halojen lambadan gelen ışık şiddetinin Newport 818-UV aracılığı ile farklı dalga boylarındaki (0-1000 nm) gücünü ölçülmüştür. Monokromatör için başlangıçta Izgara 1 (0-429nm) kullanılarak taramaya başlanırken, Izgara 2 (430-1100nm) taraması ile sona erdirilmiştir. Monokromatörden çıkan ışık 500 nm’deki dalga boyundan sonra yüksek giriş gücü göstermektedir.



Şekil 4. 16. IPCE'nin dalga boyuna göre dağılımı

150 gün boyunca I-V karakteristik ölçümleri yapılan numunelerimizin ölçümlerini sonuçlandırmamız ile birlikte en son işlem olarak IPCE ölçümleri yapılmıştır. Şekil 4.16'daki grafiğe baktığımızda karadut boyasının 150. günün sonunda tamamen elektrolitinin uçtuğu bu bağlamda herhangi bir fotospektral tepki vermediği görülmüştür. En yüksek performanslı fotospektral tepkiyi gösteren AMPS-IA-An olmuştur. Optik soğurma durumu 380 nm'den sonra genel olarak yok denilebilecek kadar azdır. Sade sıvı elektrolit ile hazırlanan hücrelerimizde ise tamamen tükenmiş durumdadır. Şekil 4.15'deki halojen lambamızın spektrumu düşük dalga boylarında oldukça az giriş foton gücü göstermektedir. Bu sonuçlar baz alındığında GPE'li hücrelerin düşük dalga boyu aralıklarında son derece hassas bir algılaması mevcuttur.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, yeni nesil güneş pilleri olarak nitelenen, gerek maliyet gerekse üretim kolaylığı açısından avantajlı olan boya sentezli güneş pillerinde elektrolit kullanımının dezavantajlarının ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla, literatürde bulunanlardan gerek yapı gerek özellik olarak farklı jellerle boya sentezli güneş pilleri üretilmiş, boya sentezli güneş pillerinde elektrolit kullanımı sonucu zamanla ortaya çıkan elektriksel ve performans kararsızlıklarına çözüm aranmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

Güneş pili üretiminde kullandığımız tüm jeller ilk ölçümlerde literatürdeki jellerin tersine sıvı elektrolitli güneş piline göre daha yüksek enerji dönüşüm verimi ortaya koymuştur. Enerji dönüşüm veriminin artmasına neden olarak jel kullanılan güneş pillerinde jellerin platin elektrot yanı sıra katalitik aktiviteye yardımcı olduğu yönündedir. Diğer muhtemel neden ise jel taneciklerinin herbirinin ayrı ayrı güneş pili olarak iş görmesidir. Jel kullanarak verimdeki muhtemel üçüncü artış nedeni ise TiO_2 -elektrolit-Pt sisteminde jelin uygun bant ayarlaması yapması ve rekombinasyonu azaltması düşünülmektedir. Bu nedenlerin bulunması için yapılacak araştırmalar bir yüksek lisans tezinin kapsam ve süresini aşmaktadır ve yüksek lisans sonrası çalışma olarak planlanmaktadır.

Deneyle esnasında duyarlaştırıcı boya olarak doğal karadut boyası kullanılmıştır. Sıvı elektrolitin kullanıldığı karadut duyarlaştırıcı boyalı güneş pilinin enerji dönüşüm verimi 135. gün ölçümlerine kadar hızla düşmüş, 135. günden sonra hemen hemen sıfıra yaklaşmıştır. Buna karşın AMPS-IA hariç jel polimerli güneş pilleri 150. günde dahi kararlı bir şekilde işlevlerini yerine getirebilmektedirler. Jel polimer olarak yalnızca AMPS-IA kullanımı yeterli olmamış, AMPS-IA'nın anilin, flor, klor, brom gibi ilavelerle katkılanması daha kararlı güneş pilleri ortaya çıkarmıştır. Sıvı elektrolitli güneş pilindeki zamanla meydana gelen bozulmanın kaynağı doğal boyanın bozulması değildir. Çünkü tüm güneş pillerinde doğal karadut boyası kullanılmıştır. 150. günde dahi jel polimer elektrolitlerle kararlılık gösteren güneş pilleri doğal boyanın beklenildiği gibi çabuk bozulmadığını da göstermektedir.

Kullanılan jeller içerisinde AMPS-IA-F-Cl-Br-An en yüksek enerji dönüşüm verimini ortaya koymuştur. Bahsi geçen gel polimer elektrolitli güneş pili 150 gün boyunca kararlı performans ta gösterebilmiştir.



KAYNAKLAR

1. Mulhall, R. A., Bryson J.R., Energy Price Risk and the Sustainability of Demand Side Supply Chains, *Appl. Energy*, 123, 327-334, 2014.
2. Faria, P., et al., Distributed Generation and Demand Response Rispach for a Virtual Power Player Energy and Eeserve Provision, *Renewable Energy*, 66, 686-695, 2014.
3. Kalyanasundaram, K., *Dye-Sensitized Solar Cells*, Copyrighted Meterials, Switzerland, 2010.
4. Morton, O., A New Day Dawning?: Silicon Valley Sunrise, *Nature* 443 (7107), 19-22, 2006.
5. Global Exergy Resource Chart, Global Climate and Energy Project at Stanford University, <http://gcep.stanford.edu/research/exerycharts.html>, March. 2016.
6. Moser, J., Notiz uber die Verstärkung Photoelectrischer Strome Durch Optische Sensibilisierung. *Monatsh. Chem.* 8, 373, 1887.
7. Su'ait, M. S., Rahman, M.Y. A., Ahmad, A., Review on Polymer Electrolyte in Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs), *Solar Energy* 115, 452–470, 2015.
8. A. Einstein, *Annalen der Physik* 17, 132, 1905.
9. Petrova-Koch, V., Hezel, R., Goetzberger, A., *High-Efficient Low-Cost Photovoltaics: Recent Developments*, Volume 140 of Springer Series in Optical Sciences, Springer, 2009.
10. Würfel, P., *Physics of Solar cells: from Principles to New Concepts*, Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KgaA, Weinheim, 2005.
11. Loh, K., *Solar Cells for Space Applications*, 2013.
12. Fahrenbruch A. F., Bube R. H., *Fundamentals of Solar Cells; Photovoltaic Solar Energy Conversion*, Academic Press, New York, USA, s. 559, 1983.
13. Wei, D., Rewiev Dye Sensitized Solar Cells, *Int. J. Mol. Sci*, 11, 1103-1113, 2010.
14. Gratzel, M., *Low Cost and Efficient Photovoltaic Conversiyon By Nanocrystalline Solar Cells*, *Indian Acad. Sci.*, Vol. 107, 607-619, 1995.

15. Barbe, C. J., et al., Nanocrystalline Titanium Oxide Electrodes for Photovoltaic Applications, *J. Am. Ceram. Soc.*, 80 (12), 3157–3171, 1997.
16. O'Regan, B., Gratzel, M., A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films, *Nature*, 353, 737–740, 1991.
17. Mathew, S., et al., Dye Sensitized Solar Cells with 13% Efficiency Achieved Through the Molecular Engineering of Porphyrin Sensitizers, *Nature Chemistry*, 6, 242-247, 2014.
18. Gratzel, M., Review Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 4, 145-153, 2003.
19. Hagfeldt, A., et al., Dye-Sensitized Solar Cells, *Chem. Rev.*, 110, 6595–6663, 2010.
20. Li, Y., et al., Metal-Organic Framework Derived Hierarchical ZnO Parallelepipeds as an Efficient Scattering Layer in Dye Sensitized Solar Cells, *Chem. Commun.*, 50, 9769-9772, 2014.
21. Vinogradov, A. V., et al., The First Depleted Heterojunction TiO₂/MOF-Based Solar Cell, *Chem. Comm.*, 50 (71), 10210-10213, 2014.
22. Wu, C, et al., Open-Circuit Voltage Enhancement on the Basis of Polymer Gel Electrolyte for a Highly Stable Dye-Sensitized Solar Cell. *ACS Appl Mater Interfaces* 5 (16), 7886-7892, 2013.
23. Tang. C. W., Two-Layer Organic Photovoltaic Cell, *Appl. Phys. Lett.* 48, 183, 1986.
24. Ganose, A, M., Savory, C, N., Scanlon, D, O., (CH₃NH₃)₂Pb (SCN)₂I₂: A More Stable Structural Motif for Hybrid Halide Photovoltaics?, *J. Phys. Chem. Lett.*, 6, 4594–4598, 2015.
25. Heliatek sets new Organic Photovoltaic world record efficiency of 13.2%, Dresden Almany [http:// www.heliatek.com/en/news/news/details/heliatek-sets-new-organic-photovoltaic-world-record-efficiency-of-13-2-228](http://www.heliatek.com/en/news/news/details/heliatek-sets-new-organic-photovoltaic-world-record-efficiency-of-13-2-228), Feb. 2016.
26. Ng, H. M., Ramesh, S., Ramesh, K., Exploration on the P (VP-co-VAc) Copolymer Based Gel Polymer Electrolytes Doped with Quaternary Ammonium Iodide Salt for DSSC Applications: Electrochemical Behaviors and Photovoltaic Performances, *Organic Electronics*, 22, 132–139, 2015.
27. Wang, P., Zakeeruddin, S. M., Moser, J. E., Nazeeruddin, M. K., Sekiguchi, T., Gratzel, M., A Stable Quasi-Solid-State dye-sensitized solar cell with an

amphiphilic ruthenium sensitizer and polymer gel electrolyte, *Nature Materials*, 2, 402 – 407, 2003.

28. Lasnier, F., Ang T. G., *Photovoltaic Engineering Handbook*, Adam Hilger, Bristol, England, s.548, 1990.
29. SolarPower Europe, *Global Market Outlook for Photovoltaics*, s.60, 2013-2017.
30. SolarPower Europe, *Global Market Outlook For Solar Power*, s. 32, 2015-2019.
31. EPIA, *Solar Generation, Solar Electricity for Over One Billion People and Two Million Jobs by 2020*, Brussels, Belgium, s.52, 2006.
32. Green, M. A., et al., *Solar Cell Efficiency Tables (Version 47)*, *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 24 (1), 3, 2015.
33. Nwanya, A. C., et al., *Dye-Sensitized Solar Cell with Natural Gel Polymer Electrolytes and f-MWCNT as Counter-Electrode*, *Philosophical Magazine*, 95 (13), 1490-1498, 2015.
34. Junhom, W., Magaraphan, R., *Co-Sensitization of ZnO by CdS Quantum Dots in Natural Dye-Sensitized Solar Cells with Polymeric Electrolytes to Improve The Cell Stability*, *AIP Conference Proceedings Cleveland, Ohio, USA*, 6–12 June 2014.
35. Pavithra, N., Asiri, A. M., Anandan S., *Fabrication of Dye Sensitized Solar Cell Using Gel Polymer Electrolytes Consisting Poly (Ethylene Oxide)-Acetamide Composite*, *Journal of Power Sources*, 286, 346-353, 2015.
36. Maiaugree, W., et al., *A Dye Sensitized Solar Cell Using Natural Counter Electrode and Natural Dye Derived from Difüzyon Peel Waste*, *Sci. Rep.*, 5, 15230, 2015.
37. Patrocínio, A.O.T., et al., *Efficient and Low Cost Devices for Solar Energy Conversion: Efficiency and Stability of Some Natural-Dye-Sensitized Solar Cells*, *Synthetic Metals* 159, 2342–2344, 2009.
38. Park, K. H., et al., *Analysis of Chameleonic Change of Red Cabbage Depending on Broad pH Range for Dye-Sensitized Solar Cells*, *J. Nanosci Nanotechnol.*, 15 (8), 5840–5844, 2015.
39. Faria, E. H., et al., *Sol-Gel TiO₂ Thin Films Sensitized with the Mulberry Pigment Cyanidin*, *Materials Research*, 4, 413-417, 2007.

40. Uddin, J., et al., Preparation and Characterization of Dye Sensitized Solar Cell Using Natural Dye Extract from Red Amaranth (*Amaranthus* sp.) as Sensitizer, *Int. J. Thin. Fil. Sci. Tec.*, 4 (2), 141-146, 2015.
41. Kyokane, J., Ohmukai, M., Dye-Sensitized Solar Cell with Fluorinated Gel Electrolyte: Effect of TiO₂ Particle Size on Performance, *Advances in Nanoparticles*, 2, 318-322, 2013.
42. Prabakaran, K., Mohanty, S., Nayak, S. K., PEO/PVdF–HFP Electrolytes for Natural Dye Sensitized Solar Cell Applications: Effect of Modified Nano-TiO₂ on Electrochemical and Photovoltaic Performance, *J Mater Sci: Mater Electron*, 26, 3887–3897, 2015.
43. Taya, S. A., et al., Dye-Sensitized Solar Cells Using Fresh and Dried Natural Dyes, *International Journal of Materials Science and Applications*, 2 (2), 37-42, 2013.
44. Ohmukai, M., Kyokane, J., Addition of Pyridine to Dye-Sensitized Solar Cell Including Fluorinated Oligomer Gel Electrolyte, *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 2, 8-13, 2014.
45. Ohmukai, M., Kyokane, J., Pt Deposition on Anode Enhances the Performance of Dye-Sensitized Solar Cell with Non-Cross-Linked Gel Electrolyte, *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 1, 16-19, 2013.
46. Khanmirzaei, M. H., Ramesh, S., Ramesh, K., Effect of Different Iodide Salts on Ionic Conductivity and Structural and Thermal Behavior of Rice-Starch-Based Polymer Electrolytes for Dye-Sensitized Solar Cell Application, *Springer*, 21 (8), 2383-2391, 2015.
47. Hagfeldt, et al., Dye-sensitized Solar Cells, *Chem. Rev.*, 110 (11), 6595, 2010.
48. A. Hagfeldt, M. Gratzel, Molecular photovoltaics, *Acc. Chem. Res.*, 33, 269-277, 2000.
49. D. Kuang, et al., High Molar Extinction Coefficient Heteroleptic Ruthenium Complexes for Thin Film Dye-Sensitized Solar Cells, *J. Am. Chem. Soc.*, 128, 4146-4154, 2006.
50. Park, J. T., Lee, C. S., Kim, J. H., One-Pot Synthesis of Hierarchical Mesoporous SnO₂ Spheres Using a Graft Copolymer: Enhanced Photovoltaic and Photocatalytic Performance, *RSC Adv.*, 4, 31452-31461, 2014.

51. H. Liu, et al., Facile Surfactant-Free Synthesis of Flower-Like ZnO Hierarchical Structure at Room Temperature, *Mater. Lett.*, 137, 300-303, 2014.
52. Baytop, T., Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi (Geçmişte ve Bugün), Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul, 1999.
53. Hepsağ, F., Hayoğlu, İ., Hepsağ, B., Karadut Meyvesinin Antosiyanin İçeriği ve Antosiyaninlerin Gıda Sanayinde Renk Maddesi Olarak Kullanım Olanakları, *Electronic Journal of Food Technologies*, 7 (1), 9-19, 2012.
54. Wang, Q., Moser, J. E., Gratzel, M., Electrochemical Impedance Spectroscopic Analysis of Dye-Sensitized Solar Cells, *J. Phys. Chem. B*, 109 (31), 14945 – 14953, 2005.
55. Ngamsinlapasathiani, S., et al., Dye sensitized solar cell made of mesoporous titania by surfactant-asisted templating method, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 90, 3187-3192, 2006.
56. Sastrawan, R., Photovoltaic Modules of Dye Solar Cells, Doktorgrades, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau, 2006.
57. Wu, J., et al., A Thermoplastic Gel Electrolyte for Stable Quasi-Solid-State Dye- Sensitized Solar Cells, *Adv. Funct. Mater.*, 17, 2645 – 2652, 2007.
58. Kawano, R., et al., High Performance Dye-Sensitized Solar Cells Using Ionic Liquids as Their Electrolytes, *J. Photochem. Photobiol. A*, 164, 87–92, 2004.
59. Wang, P., et al., A New Ionic Liquid Electrolyte Enhances The Conversion Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cells, *J. Phys. Chem. B*, 107, 13280–13285, 2003.
60. Murai, S., et al., Quasi-Solid-dye Sensitized Solar Cells Filled with Phase-Separated Chemically Cross-Linked Ionic Gels, *Chem. Commun.*, 13, 1534–1535, 2003.
61. O’Regan, B., Schwartz, D. T., Large Enhancement in Photo Current Efficiency Caused by UV Illumination of The Dye-Sensitized Hetero Junction TiO_2/RuLL ‘NCS/CuSCN: Initiation and Potential Mechanisms, *Chem.Mater.*, 10, 1501–1509, 1998.
62. O’Regan, B., et al., A Solid-State Dye-Sensitized Solar Cell Fabricated with Pressure-Treated P25– TiO_2 and CuSCN: Analysis of Pore Filling and IV Characteristics, *Chem.Mater.*, 14, 5023–5029, 2002.

63. Ikeda, N., Teshima, K., Miyasaka, T., Conductive Polymer–Carbon–Imidazolium Composite: A Simple Means for Constructing Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells, *Chem. Commun.*, 16, 1733–1735, 2006.
64. Han, H. W., et al., A Hybrid Poly (ethylene oxide)/ Poly (vinylidene fluoride)/TiO₂ Nanoparticle Solid-State Redox Electrolyte for Dye Sensitized Nanocrystalline Solar Cells, *Adv. Funct. Mater.*, 15, 1940–1944, 2005
65. T. Stergiopoulos, et al., Binary Poly Ethylene Oxide/Titania Solid-State Redox Electrolyte for Highly Efficient Nanocrystalline TiO₂ Photo Electrochemical Cells, *Nano. Lett.*, 2, 1259–1261, 2002.
66. Kaneko, M., Hoshi, T., Dye-Sensitized Solar Cell with Polysaccharide Solid Electrolyte, *Chem. Lett.*, 32, 872–873, 2003.
67. Wang, P., et al., High Efficiency Dye-Sensitized Nanocrystalline Solar Cells Based on Ionic Liquid Polymer Gel Electrolyte, *Chem. Commun.*, 24, 2972–2973, 2002.
68. Ileperuma, O.A., Dissanayake, M.A.K.L., Somasundaram, S., Dye-Sensitized Photoelectrochemical Solar Cells with Polyacrylonitrile Based Solid Polymer Electrolytes, *Electrochim. Acta* 47, 2801–2807, 2002.
69. Flores, I. C., et al., Dye-Sensitized Solar Cells Based on TiO₂ Nanotubes and A Solid-State Electrolyte, *J. Photochem. Photobiol. A*, 189, 153-160, 2007.
70. Lianos, P., A Quasi-Solid-State Dye-Sensitized Solar Cell Based on a Sol–Gel Nanocomposite Electrolyte Containing Ionic Liquid, *Chem. Mater.*, 15 (9), 1825–1829, 2003.
71. Zhang, Z., et al., Photoelectrocatalytic Activity of Highly Ordered TiO₂ Nanotube Arrays Electrode for Azo Dye Degradation, *Environ. Sci. Technol.* 41, 6259–6263, 2007.
72. Bayatloo, E., and Saievar-Iranizad, Esmail., Performance Enhancement of TiO₂-Based Dye-Sensitized Solar Cells by Carbon Nanospheres in Photoanode, *Chemical Physics*, arXiv:1311.0415, 2015.
73. Luque, A., Hegedus, S., *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England, 1138p., 2003.
74. Green M. A., *Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, USA, 274p., 1982.

75. Jennings, J. R., et al., Dye-Sensitized Solar Cells Based on Oriented TiO₂ Nanotube Arrays: Transport, Trapping, and Transfer of Electrons, *J. Am. Chem. Soc.*, 130 (40), 13364–13372, 2008.
76. Mor, G.K., et al., Transparent Highly Ordered TiO₂ Nanotube Arrays Via Anodization of Titanium Thin Films, *Adv. Funct. Mater.*, 15, 1291–1296, 2005.
77. Yang, S., Liu, Y.Z., Sun, C., Preparation of Anatase TiO₂/Ti Nanotube-Like Electrodes and Their High Photoelectrocatalytic Activity for The Degradation of PCP In Aqueous Solution, *Appl. Catal. A*, 301, 284–291, 2006.
78. Wu, X., et al., Synthesis of titania nanotubes by microwave irradiation, *Solid State Commun.* 136, 513–517, 2005.
79. Ou, H.H., Lo, S.L., Review of Titania Nanotubes Synthesized Via The Hydrothermal Treatment: Fabrication, Modification, and Application, *Sep. Purif. Methods*, 58, 179–191, 2007.
80. S.I. Na, et al., Fabrication of TiO₂ Nanotubes By Using Electrodeposited ZnO Nanorod Template and Their Application to Hybrid Solar Cells, *Electrochim. Acta*, 53, 2560–2566, 2008.
81. Gong, D., et al., Titanium Oxide Nanotube Arrays Prepared By Anodic Oxidation, *J. Mater. Res.* 16, 3331–3334, 2001.
82. Liu, Z., et al., Spherical TiO₂ Aggregates with Different Building Units for Dye-Sensitized Solar Cells, *Nanoscale*, 5, 8177-8183, 2013.
83. Roy, P., Albu, S. P., Schmuki, P., TiO₂ Nanotubes in Dye-Sensitized Solar Cells: Higher Efficiencies by Well-Defined Tube Tops, *Electrochemistry Communications*, 12, 949-951, 2010.
84. Hauch, A., Georg, A., Diffusion in The Electrolyte and Charge-Transfer Reaction at The Platinum Electrode in Dye-Sensitized Solar Cells, *Electrochimica Acta* 46, 3457–3466, 2001.
85. Imoto, K., et al., High-Performance Carbon Counter Electrode for Dye-Sensitized Solar Cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 79, 459–469, 2003.
86. Wu, J., et al., High-Performance Polypyrrole Nanoparticles Counter Electrode for Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Power Sources*, 181, 172–176, 2008.

87. Lee, K. M., et al., A High-Performance Counter Electrode Based on Poly (3,4-alkylenedioxythiophene) for Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Power Sources*, 188, 313–318, 2009.
88. Wang, H., Hu, Y. H., Graphene As A Counter Electrode Material for Dye-Sensitized Solar Cells, *Energy Environ. Sci*, 5, 8182-8188, 2012.
89. Wu. M., et al., Low-Cost Molybdenum Carbide and Tungsten Carbide Counter Electrodes for Dye-Sensitized Solar Cells, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 50, 3520–3524, 2011.
90. Sebastian, D., et al., Carbon Nanofiber-Based Counter Electrodes for Low Cost Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Power Sources*, 250, 242 – 249, 2014.
91. Faine P., et al., The influence of Spectral Solar Irradiance Variations On The Performance Of Selected Single-junction and Multijunction Solar Cells, *Solar Cells*, 31 (3), 259-278, 1991.
92. Yang, C. H., et al., Electrical and Optical Properties of İndiyum Tin Oxide Films Prepared on Plastic Substrates by Radio Frequency Magnetron Sputtering, *Thin Solid Films*, 516, 1984–1991, 2008.
93. Farhan, M. S., et al., Electrical and Optical Properties of İndiumtin Oxide (ITO) Films by IonAssisted Deposition (IAD) at Room Temperature, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 14 (8), 1465-1469, 2013.
94. Samad, W. Z., at al., Structural, Optical and Electrical Properties of Fluorine Doped Tin Oxide Thin Films Deposited Using Inkjet Printing Technique, *Sains Malaysiana*, 40 (3), 251–257, 2011.
95. Coşkun, R., Delibaş, A., Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Poly(2-Acrylamido-2-Methylpropane Sulfonic Acid-Co-Itaconic Acid) Hydrogels, *Polym. Bull*, 68, 1889–1903, 2012.

ÖZGEÇMİŞİM

1989 yılında Adana'da doğan Tolga ÖNEN ilk ve orta öğrenimini Cebesoy ilköğretim okulun da okuyarak lise öğrenimini Abdulkadir Paksoy lisesinde tamamlamıştır. 2008 yılında kazandığı Dicle Üniversitesinde birinci sınıfı tamamladıktan sonra 2010 yılında tekrar sınava girerek Çukurova üniversitesi Fizik bölümü öğrenimine kaldığı yerden devam ederek 2014 yılında öğrenimini tamamlamıştır.

2014 yılında yüksek lisans öğrenimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü Katı hal Fiziği Anabilim Dalında başlamıştır.

İletişim Bilgileri

Adres: Kurtuluş Mah. 64014 Sok. Çelik Apt. 5/10 Seyhan

01130 ADANA

Telefon: +905418778396

E-posta: tolga_onen_01@hotmail.com