

BIYO-MALZEME DUYARLI GÜNEŞ PİLİ

Serdal MUTLU

Yüksek Lisans Tezi

Biyoloji Anabilim Dalı

Moleküler Biyoloji ve Genetik Programı

Yrd. Doç. Dr. Özlem ATEŞ SÖNMEZOĞLU

Doç. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU

Şubat – 2016

T.C.
KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYO-MALZEME DUYARLI GÜNEŞ PİLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Serdal MUTLU

Anabilim Dalı: Biyoloji
Programı: Moleküler Biyoloji ve Genetik

Tez Danışmanları
Yrd. Doç. Dr. Özlem ATEŞ SÖNMEZOĞLU
Doç. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU

KARAMAN-2016

TEZ ONAYI

Serdal MUTLU tarafından hazırlanan "**Biyo-Malzeme Duyarlı Güneş Pili**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LISANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman:

Yrd. Doç. Dr. Özlem ATEŞ SÖNMEZOĞLU

Eş-Danışman:

Doç. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Abdullah KAYA
Biyoloji Bölümü, KMU

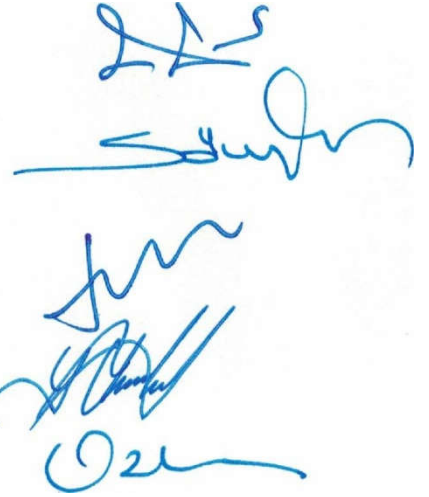
Doç. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU
Metaller ve Malzeme Müh. Bölümü, KMU

Yrd. Doç. Dr. Hasan AKYILDIZ
Metaller ve Malzeme Müh. Bölümü, SELÇUK I...IA[IV].

Yrd. Doç. Dr. Yakup ULUSU
Biyomühendislik Bölümü, KMU

Yrd. Doç. Dr. Özlem ATEŞ SÖNMEZOĞLU
Biyomühendislik Bölümü, KMU

İmza



Tez Savunma Tarihi: 15.02.2016



Yukarıdaki Sonucu Onaylarım

Doç. Dr. Ahmet İPEK

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.



Serdal MUTLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİYO-MALZEME DUYARLI GÜNEŞ PİLİ

Serdal MUTLU

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı

Danışmanlar: Yrd. Doç. Dr. Özlem ATEŞ SÖNMEZOĞLU

Doç. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU

Şubat 2016, 57 Sayfa

Bu çalışmada, mor ötesi bölgede etkin bir soğurmaya sahip çift sarmallı buğday (*Triticum durum* L.) ve nohut bitkisi (*Cicer arietinum* L.) DNA'sı ışığı soğuran tabaka olarak kullanılarak biyo-malzeme duyarlı güneş pilleri (Biyo-DGP) üretilmiştir. Bitki DNA'ları tek başına ve geleneksel boya duyarlı güneş pillerinde kullanılan rutenyum kompleks (N719) boyası ile birlikte eş-duyarlaştırıcı olarak kullanılmıştır. Üretilen güneş pillerinin fotovoltaiik performansı akım-gerilim karakteristiği ve IPCE analizleri yardımıyla incelenmiştir. Buğday ve nohut DNA'sının titanyum dioksit (TiO₂) yarıiletken yüzeyine iyi tutunduğu ve hem TiO₂'nin hem de N719 boyasının soğurma özelliğini arttırdığı saptanmıştır. En yüksek verimlilik değeri, buğday DNA'sı, nohut DNA'sı ve N719 boyalarının birlikte kullanıldığı üçlü eş-duyarlaştırıcılı Biyo-DGP için % 6,83 olarak elde edilmiştir. Bunun yanında, sadece N719 boyası kullanılarak üretilen güneş pili verimlilikleri (% 3,83) ile kıyaslandığında, hem buğday DNA'sı ile N719 (% 4,89) hem de nohut DNA'sı ve N719 (% 6,61) eş duyarlaştırıcılı Biyo-DGP'lerin verimlilik değerlerinin de akım yoğunluğunun artmasına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, nohut ve buğday DNA'larının yüksek verimlilik elde edilen diğer sentetik boyar maddeler ile boya duyarlı güneş pillerinde hem eş-duyarlaştırıcı hem de enerji bariyeri olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyo-Malzeme Duyarlı Güneş Pili, Buğday, DNA, Eş-Duyarlaştırıcı, N719.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

BIO-MATERIAL SENSITIZED SOLAR CELL

Serdal MUTLU

Karamanoğlu Mehmetbey University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Biology

Supervisors: Asst. Prof. Dr. zlem ATEŞ SÖNMEZOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU

February 2016, 57 Pages

In this study, biomaterial sensitized solar cells (Bio-SSC) were fabricated by using the double helix wheat (*Triticum durum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants DNA as absorbing layers having effective absorption in ultraviolet region. Plant DNAs were used as alone and co-sensitizer with ruthenium complex dye which is used in the conventional dye sensitized solar cells. The photovoltaic performance of the obtained solar cells were investigated by current-voltage characteristic and IPCE analysis. It was clearly observed that wheat and chickpea DNA were well adsorbed onto the TiO₂ semiconductor surface as well as they increased the absorption ability of both TiO₂ and N719 dye. The highest efficiency value was obtained as 6.83% in Bio-SSC with triple co-sensitized including wheat DNA, chickpea DNA and N719 dyes. Moreover, when compared to only-N719 dye sensitized solar cell efficiency (3.83%), it was determined that the efficiency values of both N719-wheat DNA (4.89%) and N719-chickpea DNA (6.61%) co-sensitized Bio-SSCs increased depending on the increasing current density. As a result, wheat and chickpea DNA can be used in dye-sensitized solar cell as both co-sensitizer and energy barrier with other high-efficient synthetic dyes.

Keywords: Biomaterial-Sensitized Solar Cells, Co-Sensitization, DNA, N719, Wheat.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi ve birikimleriyle destek sağlayan danışman hocalarım Yrd. Doç. Dr. Özlem ATEŞ SÖNMEZOĞLU'na ve Doç. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU'na teşekkür ederim.

Laboratuar çalışmalarının, DNA ekstraksiyonu çalışmalarında yardımcı olan Arş. Gör. Begüm TERZİ, Leyla Nurefşan GÜNDÜZ ve Ramazan ÖZBEY arkadaşlarıma teşekkür ederim. Güneş pili yapımında ve karakterizasyonunda bana yardımcı olan Arş. Gör. Seçkin AKIN, Mahir GÜLEN ve Uzm. Erdi AKMAN arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Seçmiş olduğum tüm yollarda maddi ve manevi desteklerini biran olsun esirgemeyen, eğitimim süresince aldığım tüm kararlarda benim yanımda olan anne ve babama şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca ablalarıma ve kardeşime teşekkür ediyorum.

Bu tez çalışması, 03-YL-14 numaralı proje kapsamında Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Serdal MUTLU

Şubat- 2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMA	4
2.1. Alternatif Enerji ve Güneş Pilleri	4
2.2. DNA	8
2.3. Fotovoltaik Enerji Dönüşümünün Temelleri	14
2.4. Güneş Spektrumu	17
2.5. Güneş Pillerinin Fotovoltaik Özelliklerinin İncelenmesi	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1. Biyo-Duyarlı Güneş Pillerini Oluşturan Tabakaların Hazırlanması	24
3.1.1. Cam Alt Tabakaların Temizlenmesi	24
3.1.2. TiO ₂ Yarıiletken Tabakasının Hazırlanması	24
3.1.3. Platinik Asit Çözeltilisinin Hazırlanması	24
3.1.4. DNA İzolasyonu	25
3.1.4.1. Boyar Madde Sentezi	27
3.1.5. Sıvı Elektrolit Hazırlanması	27
3.1.6. Üretilen Biyo-Duyarlı Güneş Pillerinin Yapısı	28
3.1.7. Biyo-Duyarlı Güneş Pillerinin Üretimi	29
3.1.7.1. Çalışma Elektrodunun Yapımı	29
3.1.7.2. Karşıt Elektrodun Yapımı	31
3.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar ve Sistemler	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
4.1. DNA Miktar ve Saflık Tayini	37
4.2. Farklı Yapılı Yarıiletken TiO ₂ Filmlerin Morfolojik Karakterizasyonu	38
4.3. Fotoanotların Optiksel Özellikleri	40
4.4. Üretilen Biyo-DGP Fotovoltaik Karakterizasyonu	42
4.4.1. Biyo-DGP'ne ait I-V (Akım-Gerilim) Karakterizasyonu	42
4.4.2. Biyo-DGP'ye Ait IPCE (Kuantum Verimliliği) Karakterizasyonu	46
5. SONUÇ	48
6. KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Spektrofotometrik ölçüm sonuçları.....	37
Çizelge 4.4.1: Biyomalzemeli güneş pillerinin fotovoltaiik parametreleri	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: DNA molekülünün fiziksel yapısı.....	10
Şekil 2.2: BDGP'lerin çalışma prensibi ve yapısında meydana gelen kinetik süreçler. 16	
Şekil 2.3: 5800K'deki kara cisim soğurum, yeryüzü dışı ışınımı AM0 ve standart güneş referans ışınımı AM1.5G'nin spektrum gösterimleri.	18
Şekil 2.4: Güneş pilinin basit eşdeğer devresi.....	20
Şekil 2.5: İdeal bir güneş pilinin aydınlık ve karanlık altındaki akım-gerilim grafiği... 21	
Şekil 3.1: DNA izolasyonu aşamaları.	26
Şekil 3.2: Boyar madde olarak kullanılan rutenyum bazlı N719.	27
Şekil 3.3: Biyo-DGP ve BDGP yapılarının şematik gösterimi; (a) FTO/TiO ₂ /DNA, ... 28	
Şekil 3.4: Şeffaf bant yardımıyla kenarları maskelenmiş FTO cam.	29
Şekil 3.5: TiO ₂ kaplanmış FTO camının görüntüsü.	30
Şekil 3.6: Farklı FTO/TiO ₂ /duyarlılaştırıcı, N719 içerisinde: (a) B-N719 (b) N-N719 (c) N719.....	31
Şekil 3.7: Farklı FTO/TiO ₂ /duyarlılaştırıcı çalışma elektrotları: (a) B (b) N-N719 (c) B-N719 (d) N719 (e) B-N-N719 (f) N (g) B-N.	31
Şekil 3.8: FTO/Platin kaplı karşıt elektrot.....	32
Şekil 3.9: Farklı duyarlılaştırıcı kullanılarak üretilen güneş pilleri: (a) N719 (b) B-N719 (c) N- N719 (d) B (e) N (f) B-N719 (g) N.....	32
Şekil 3.2.1: Enlitech IPCE cihazı.	33
Şekil 3.2.2: Bilgisayar kontrollü Holmarc spin coating H0-TH-05 sistemi.....	33
Şekil 3.2.3: 0-1100 °C aralığında çalışabilen Nüve MF106 kül fırını.	34
Şekil 3.2.4: Optiksel özelliklerin belirlendiği UV-Vis-NIR spektrofotometresi.....	34
Şekil 3.2.5: Light XPS 300 solar simülatör.....	35
Şekil 3.2.6: Keithley 4200-SCS yarıiletken karakterizasyonu sistemi.....	35
Şekil 3.2.7: Jellerin koşulduğu elektroforez ünitesi.	36
Şekil 3.2.8: UV transmilatör.....	36
Şekil 4.1.1: DNA'ların agaroz jel görüntüsü.....	37
Şekil 4.1.2: DNA'ların sıvı formları için oda sıcaklığındaki absorbans spektrumu.	38
Şekil 4.2.1: Çalışma elektrotlarının SEM görüntüleri (a) N (b) N-N719.....	39
Şekil 4.3.1: Saf TiO ₂ ve TiO ₂ yüzeyine kaplanmış B, B-N719 ve N719 fotoanotlarının oda sıcaklığındaki soğurma spektrumları.	40
Şekil 4.3.2: Saf TiO ₂ ve TiO ₂ yüzeyine kaplanmış N, N-N719 ve N719 fotoanotlarının oda sıcaklığındaki soğurma spektrumları.	41
Şekil 4.3.3. Saf TiO ₂ ve TiO ₂ yüzeyine kaplanmış B-N, B-N-N719 ve N719 fotoanotlarının oda sıcaklığındaki soğurma spektrumları.	42
Şekil 4.4.1: B, B-N719 ve N719 boyar madde duyarlı güneş pillerinin akım yoğunluğu-gerilim (J-V) grafikleri.....	43
Şekil 4.4.2: N, N-N719 ve N719 boyar madde duyarlı güneş pillerinin akım yoğunluğu-gerilim (J-V) grafikleri.....	44
Şekil 4.4.3: B-N, B-N-N719 ve N719 boyar madde duyarlı güneş pillerinin akım yoğunluğu-gerilim (J-V) grafikleri.	45
Şekil 4.4.2.1: B, B-N719 ve N719 yapılı güneş pilinin foton-akım dönüşüm verimi... 46	
Şekil 4.4.2.2: N, N-N719 ve N719 yapılı güneş pilinin foton-akım dönüşüm verimi. .. 47	
Şekil 4.4.2.3: B-N, B-N-N719 ve N719 yapılı güneş pilinin foton-akım dönüşüm verimi.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Bç	Baz çifti
G	Gram
M	Molar
MA	Moleküler ağırlık
mA	Miliamper
Mmol	Milimolar
mV	Milivolt
Mg	Miligram
mL	Mililitre
nM	Nanomolar
Ng	Nanogram
Sn.	Saniye
V	Volt
µA	Mikroamper
µL	Mikrolitre
µM	Mikromolar
°C	Santigrat derece

Açıklama

Kısaltmalar

B	Buğday DNA'sı
B-N	Buğday DNA'sı ve nohut DNA'sı eş duyarlılaştırıcı
B-N719	Buğday DNA'sı ve N719 eş duyarlılaştırıcı
B-N-N719	Buğday DNA'sı, nohut DNA'sı ve N719 eş duyarlılaştırıcı
BDGP	Boya Duyarlı Güneş Pili
Biy-DGP	Biy-Duyarlı Güneş Pili
DNA	Deoksiribonükleik Asit
EDTA	Etilendiamin Tetra Asetik Asit
EtBr	Ethidium Bromür
FF	Doluluk Oranı
FTO	Flor Katkılanmış Kalay Oksit (SnO ₂ :F)
I₂	İyot
I_{sc}	Kısa Devre Akımı
J_{sc}	Kısa Devre Akım Yoğunluğu
MgCl₂	Magnezyum Klorür
N	Nohut DNA'sı
NaCl	Sodyum klörür
N-N719	Nohut DNA'sı ve N719 eş duyarlılaştırıcı
Pt	Platin
RNA	Ribonükleik Asit
Rpm	Dakikadaki Devir Sayısı
SDS	Sodyum Dodesil Sülfat

SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
TBE	Tris/ Borik Asit/ EDTA
TE	Tris/EDTA
TiO₂	Titanyum Dioksit
UV	Ultraviyole
V_{oc}	Açık Devre Gerilimi
λ	Dalga Boyu

1. GİRİŞ

Dünya nüfusu arttıkça ve gelişmekte olan ülkelerin sanayisi ilerledikçe enerji ihtiyacı bunlara paralel olarak artmaktadır. Bu enerji ihtiyacı sanayi devriminden sonra yenilenemez enerji türleri olan kömür, doğal gaz ve petrolden sağlanmaktadır. Ancak bu yakıtların kullanımının neden olduğu çevresel sorunlar ve giderek tükenmeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye neden olmuştur. Gelişmiş ülkeler çevre-dostu, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaya büyük bir önem vermektedirler. Bu yönüyle gelecek yüzyıl, yenilenebilir enerji kaynakları olan, güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi, biokütle enerjisi, rüzgar enerjisi ve bunların türevleri ile diğer yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları kullanımında atılım yapılacak bir yüzyıl olma eğilimindedir. Bu yenilenebilir enerji kaynakları arasında en dikkat çeken ve günümüzde öne çıkan güneş enerjisi büyük ilgi görmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına nazaran daha genel ve yaygın bir kaynak olması, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi gibi avantajları nedeniyle hızla popüler bir hal almaktadır. Güneş enerjisinden hem ısı hem de elektrik enerjisi olarak faydalanılabilir. Güneş enerjisi ile elektrik enerjisi elde edebilmek için termoelektrik dönüşüm ve fotoelektrik dönüşüm yöntemleri kullanılır. Fotoelektrik dönüşüm; güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaiik ya da güneş pili sistemlerdir.

Güneş pilleri, yapılarında kullanılan malzemeler ve yapılış şekillerine göre farklı gruplara ayrılır ve değişik isimlerle adlandırılır. Güneş pilleri çok farklı materyaller kullanılarak üretilmektedir. Farklı maddelerin kullanımına göre güneş pilleri üç ana sınıfa ayrılmaktadır. I. nesil güneş pilleri olarak adlandırılan güneş pilleri; tek kristal silisyum güneş pilleri, çok kristal silisyum güneş pilleridir. II. nesil güneş pilleri ise ince film güneş pillerini kapsamaktadır. Bunlar amorf silisyum güneş pilleri, Kadmiyum tellür (CdTe) ince film güneş pilleri, Bakır indiyum diselenür ($CuInSe_2$) güneş pilleridir. III. nesil güneş pilleri, organik güneş pilleri ve boya duyarlı güneş pilleridir (BDGP).

Günümüzde organik olmayan malzemelerle yapılan güneş pillerinin katı ve elastik olmaması, uygulama sahalarının kısıtlı olması, kullanılan malzemelerin pahalı ve rezerv sıkıntısının olması gibi sebeplerden dolayı bilim insanlarını farklı malzeme arayışlarına sürüklemiştir. Bu arayışlar gerek maliyetinin düşük olması gerekse iletkenlik ve yüksek molekül ağırlığına sahip olması gibi avantajları nedeniyle, araştırmacıları organik moleküllere yönlendirmiştir. Yarıiletken polimerlerin kullanıldığı organik güneş pilleri, iletken polimerlerin bulunması ve geliştirmesi ile önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Güneş pillerinde organik olmayan malzemeler yerine organik malzemeler kullanılmasının sağladığı önemli üstünlükler nedeniyle son yıllardaki araştırmalar bu yöne kaymaktadır. Organik malzemeler kullanılarak üretilen güneş pilleri, BDGP ve organik güneş pilleri olmak üzere iki bölüme ayrılır.

III. nesil güneş pilleri arasında yer alan boya duyarlı güneş pili teknolojisi genel olarak titanyum dioksit (TiO_2) tabanlı yarıiletken güneş pilleridir. Bu tip güneş pillerinin yapısı ışığa duyarlı organik veya inorganik yapıya sahip boya ve yarıiletken tabakadan meydana gelmektedir. TiO_2 yarıiletken tabakanın içerisine tutunan boya molekülleri tarafından ışığın soğurulması ile elektron transferi başlar ve böylece güneş pili akım üreterek çalışır.

Boya duyarlı güneş pillerinde en önemli malzemelerden biri olan boyarmadde; ışığın soğurulmasında ve pilin çalışmasında görev yapmaktadır. Boyar maddenin pil yapısında kullanılabilmesi için boyar maddenin; direkt bant aralıklı, kolaylıkla elde edilebilir, zehirli maddeler içermemesi, uyarılmış enerji seviyesinin TiO_2 'nin iletim bandından düşük olması, uzun süre dayanıklılık ve kararlılık göstermesi, iyi bir fotovoltaj dönüşüm verimine ve yüksek soğurma katsayısına sahip olması gerekmektedir.

Boyar madde olarak kullanılan inorganik ve organik boyar maddeler mevcut olup günümüzde de halen farklı boyar madde arayışları devam etmektedir. Bunların arasında 1991 yılında nano kristal yapılı TiO_2 , rutenyum (Ru) kompleks boyaları (N3, N719) ve türevleri ile duyarlaştırılarak yüksek verimliliğe ulaşılmış ve bu boyar maddeler ön plana çıkmıştır (O'Regan ve ark., 1991). Fakat rutenyumun, toprakta nadir bulunan alkali ve ağır metal olmasının yanında yüksek maliyetinden dolayı da pahalı olması gibi

problemleri bulunmaktadır. Bu problemler boya duyarlı güneş pili sitemleri için uygun nitelikte yeni boyar maddelerin sentezlenmesi ile giderilmeye çalışılmaktadır.

Boya duyarlı güneş pillerinde kullanılmak amacıyla çok çeşitli boyar madde sentezi gerçekleştirilmiştir. Organik boya esaslı güneş pillerinde kullanılan boya türleri arasında polipridiller (O'Regan ve ark., 1991), porfirinler (Kay, 1993; Cherian ve ark., 2000), ftalosiyanınler (Komori ve ark., 2003), kumarinler (Hara ve ark., 2003), indolinler (Tamotsu ve ark., 2004), konjüge polimerler (Gebeyehu ark., 2002) ve perilenler (Ferrere ve ark., 2002) yer almaktadır. Ancak, bu boyar maddeleri istenilen verimlilikte olmayıp soğurma aralığı bakımından dar aralığa sahiplerdir. Bu sentetik boyar maddelerin yanında, doğal yaşam koşullarında yer alan biyolojik moleküllerden elde edilen doğal boyar maddelerden biri olan deoksiribonükleik asit (DNA), hem UV bölgede yüksek soğurum katsayısına sahip olması hem de çift sarmallı yapısı nedeni ile yapı içerisine giren ışınların bu sarmal yapı tarafından hapsedilmesi ile foton yoğunluğunu arttıracak olması gibi güneş pili performansını arttıracak ciddi avantajlara sahiptir (Wang ve ark., 2010a). Bu özelliklerinin yanında, ayrıca, DNA'nın toksik bir madde olmayışı ve kolay elde edilebilir olması gibi diğer avantajları da DNA'nın güneş pili yapımında kullanılmaya uygun aday malzeme olduğunu göstermektedir. Bu nedenlerle boya duyarlı güneş pilleri çalışmalarında biyolojik materyallerin önemi giderek artmaktadır.

Bu tez çalışmasında güneş pili yapımında bitki DNA'sı kullanılmıştır. DNA, buğday (*Triticum durum* L.) ve nohut (*Cicer arietinum* L.) bitkilerinden izole edilmiştir. DNA ekstraksiyonu petrielerde büyütülen buğday ve nohut bitkilerinin en genç yaprakları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boyar madde olarak kullanılan bitki DNA'ları ayrı ayrı ve DNA-N719 birlikte kullanılarak biyo-duyarlı güneş pili (Biyo-DGP) üretilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMA

2.1. Alternatif Enerji ve Güneş Pilleri

Fosil yakıtlar; bitkilerin ve hayvanların milyonlarca yıl boyunca yer altında çürümesi neticesinde oluşmaktadır. Bu yakıtları yeryüzüne ıkarabilmenin yolu, yeryüzünü delmek ya da kazmaktır. Yeraltında yüksek ısı ve yüksek basınçla oluşan bu yakıtlar, oluŐumlarından daha hızlı olarak tketlenmektedir. Bu nedenle, fosil yakıtlar, kısa zamanda yenilenemeyen yakıtlar olarak nitelendirilirler. Dünya nüfusu arttıka ve gelişmekte olan ülkelerin sanayisi ilerledikçe enerji ihtiyacı bunlara paralel olarak artmaktadır. Bu enerji ihtiyacı sanayi devriminden sonra yenilenemez enerji türleri olan kömür, doğal gaz ve petrolden sağlanmaktadır.

Ancak bu enerji talebi fosil yakıtların kullanımıyla karŐılanınca, sera etkisi, küresel ısınma, asit yağmurları, evre kirliliği, ozon tabakasının delinmesi, iklim deđiŐiklikleri, hava kirliliği ve oksijen azalması gibi evre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte bu konvansiyonel enerji kaynakları yenilenmez oldukları ve fiyatlarının devamlı artması, hızla tükenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının neden bu denli önemli olduğunun kanıtlamaktadır. Fosil yakıtların kullanımının, evre konusundaki uluslararası taahhütler nedeni ile azaltılması gündemde olan bir konudur. Ayrıca, fosil yakıtların kısa bir süre sonra tükeneceği gerçeği de bilinmektedir. Gelişmiş lkeler evre-dostu, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaya büyük bir önem vermektedirler. Bu yönüyle gelecek yüzyıl, yenilenebilir enerji kaynakları olan, güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi, biokütle enerjisi, rüzgar enerjisi ve bunların türevleri ile diğer yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları kullanımında atılım yapılacak bir yüzyıl olma eğilimindedir. Bu yenilenebilir enerji kaynakları arasından en dikkat çeken ve günümüzde ne çıkan güneş enerjisi büyük ilgi görmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına nazaran daha genel ve yaygın bir kaynak olması, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi gibi avantajları nedeniyle hızla popüler bir hal almaktadır. Güneş enerjisinden hem ısı hem de elektrik enerjisi olarak faydalanılabilir. Güneş enerjisi ile elektrik enerjisi elde edebilmek için termoelektrik dönüşüm ve fotoelektrik dönüşüm

yöntemleri kullanılır. Fotoelektrik dönüşüm; güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaiik ya da güneş pili sistemlerdir. Bir yarıiletken sistemin kolloidal ve nanokristal filmleri güneş enerjisini direkt elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılmıştır (Bard, 1982; Hagfeldt ve Gratzel, 1995). Güneş enerjiden elektrik elde edilmesinde en çok kullanılan teknoloji fotovoltaiik teknolojisi, dünya ölçeğinde büyük bir hızla büyüyen bir pazar hacmine sahiptir.

Güneş pilleri, yapılarında kullanılan malzemeler ve yapılış şekillerine göre farklı gruplara ayrılır ve değişik isimlerle adlandırılır. Güneş pilleri çok farklı materyal kullanılarak üretilebilmektedir. Farklı maddelerin kullanımına göre güneş pilleri üç sınıfa ayrılmaktadır.

I. nesil güneş pilleri gurubuna tek kristal ve çok kristal silisyum güneş pilleri girmektedir. Üstün fiziksel özelliklerinden dolayı uzun ömürlü olması ve üretim teknolojisindeki gelişmelerden dolayı silisyum, güneş hücreleri malzemeleri arasında en popüler olanıdır. Hammaddesi Si (Silisyum), deniz kumunda bol miktarda bulunan maddelerden birisi olmasına karşın, deniz kumunun tüm metallere arındırılması ve eritilmesi oldukça zahmetli ve pahalı bir yöntemdir.

II. nesil güneş pilleri denildiğinde, ince film güneş pilleri ifade edilmektedir. Amorf silisyum (a-Si), ince film silisyum, $CuInSe_2$, kadmiyum tellür (CdTe), gibi ince film güneş pillerini içermektedir. Kadmiyum tellür, ucuz bir yarıiletken olması sebebiyle tercih edilmektedir fakat bu ürün zehirli bir madde olan kadmiyum içeriyor olmasından dolayı kanuni olarak birçok ülkede yasaklanmış, birçok ülkede de kullanım alanları sınırlandırılmıştır. Bakır indiyum selenür (Copper Indium Diselenide) yarıiletken film çok ince olmasına (1-2 μm) karşın indiyumun doğada az bulunması nedeniyle çok tercih edilmemektedir.

III. nesil güneş pilleri, organik güneş pilleri ve boya duyarlı pillerdir. Günümüzde organik olmayan malzemelerle yapılan güneş pillerinin katı ve elastik olmaması, uygulama sahalarının kısıtlı olması, kullanılan malzemelerin pahalı ve rezerv sıkıntısının olması gibi sebeplerden dolayı bilim insanlarını farklı malzeme arayışlarına sürüklemiştir. Bu arayışlar gerek maliyetinin düşük olması gerekse iletkenlik ve yüksek

molekül ağırlığına sahip olması gibi avantajları nedeniyle, araştırmacıları organik moleküllere yönlendirmiştir. Yarıiletken polimerlerin kullanıldığı organik güneş pilleri, iletken polimerlerin bulunması ve geliştirmesi ile önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Güneş pillerinde organik olmayan malzemeler yerine organik malzemeler kullanılmasının sağladığı önemli üstünlükler nedeniyle araştırmaların gelecekte bu yöne kayacağı düşünölmektedir. Organik malzemeler kullanılarak üretilen güneş pillerini, BDGP ve organik güneş pilleri olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.

Üçüncü nesil fotovoltaik hücre teknolojisi olarak adlandırılan organik güneş pilleri, iki metal elektrot arasına organik tabanlı malzemelerin yerleştirilmesiyle elde edilmektedir. Organik güneş pillerinde organik temelli malzemeler olarak, yarıiletken polimerlerin kullanılması bu pillerin geliştirilme aşamasına ciddi katkılar yapmıştır (Winder ve Sarıçiftçi, 2004). İletken, yüksek molekül ağırlığına sahip organik moleküller istenen özelliğe göre kolaylıkla değiştirilebilmeleri, ucuz olmaları, kolay üretim teknikleriyle üretilmeleri ve hafif olmaları gibi avantajları olması nedeniyle gelecek için umut vermektedirler.

III. nesil güneş pilleri arasında yer alan boya duyarlı güneş pili teknolojisi genel olarak TiO_2 tabanlı yarıiletken güneş pilleridir. Bu tip güneş pillerinin yapısı ışığa duyarlı organik veya inorganik yapıya sahip boya ve yarıiletken tabakadan meydana gelmektedir. Titanyum dioksit yarıiletken tabakanın içerisine tutunan boya molekülleri tarafından ışık absorbe edilmektedir. Pil, ışığın kristal titanyum dioksit üzerine adsorblanmış olan boya molekülleri tarafından tutulması ile çalışmaya başlamaktadır. Boya molekülü tarafından soğurulan foton, boya moleküllerini uyararak elektronik olarak boya uyarılmış olur. TiO_2 'in iletim bandı birçok boyar maddenin uyarılmış enerji seviyesinden düşüktür. Bu nedenle boyar madde tarafından absorblanan güneş ışığı ile boyar maddenin esas haldeki elektronları uyarılmış enerji bandına geçer (Kay ve Graetzel, 1996). Bu uyarılmış elektronlar daha düşük enerji seviyesine sahip olan TiO_2 'nin iletim bandına transfer olur. Bu şekilde uyarılmış boya moleküllerinden kopan bir elektron TiO_2 iletkenlik bandına enjekte edilmiş olur. Uyarılan boya molekülü bir elektronunu TiO_2 'nin iletkenlik bandına göndermesiyle yükseltgenmiş olur. TiO_2 film tabakası nanokristal bir yapıya sahip olduğu için bu elektron iletken FTO ($SnO_2:F$, flor katkılanmış kalay oksit) tabakasına ulaşarak dış devreye ulaşmaktadır. Bir elektronunu

TiO₂'e veren boya, elektrolit tarafından bir elektron verilerek nötral hale getirilmek için indirgenmektedir. İyot molekülleri negatif hale geçerler ve boya nötral haline döner. (I⁻ / I₃⁻) iyodür/tiriyodür çifti içeren elektrolit bu durumda yükseltgenmiş olup dış devre üzerinden platin tabakasına gelen elektron tarafından indirgenmektedir.

Bu süreç doğada doğal olarak şu şekilde işlemektedir; klorofil pigmentleri tarafından yakalanan güneş ışınları bitkilerin yeşil kısımları ve yapraklarında kloroplast organellerinde karbondioksit ve su, güneş enerjisi kullanılarak karbonhidrat (glukoz) ve oksijene çevirirler. BDGP'de, bu temel fotosentez olayı baz alınarak geliştirilmiştir. Işığı soğuran BDGP sistemlerde boyar maddenin ışığı yakalaması ile elektrik enerji üretimi gerçekleştirilir. BDGP sistemlerinde ışık absorbe eden organik ve ya doğal boya molekülleri geniş bant aralığı bulunan yarıiletkenlerde değerlik bandından iletkenlik bandına elektron geçişine neden olur, bu da içeride elektron akışı olmasını sağlar.

Boya duyarlı güneş pillerinde en önemli malzemelerden biri olan boyarmadde; ışığın soğurulmasında ve pilin çalışmasında görev yapmaktadır. Boyar maddenin pil yapısında kullanılabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler: i) Boyanın uyarılmış enerji seviyesinin TiO₂'nin iletim bandından düşük olması, ii) Güneş spektrumunun geniş bir aralığını sağurabilmesi için düşük band aralığına sahip olması, iii) Kolay sentezlenebilir olup yapısında toksik elementler içermiyor olması, iv) Yüksek molar soğurum katsayısına sahip olması ve v) Uzun ömürlü olması şeklinde özetlenebilir.

Boyar maddeler genel olarak doğal ve yapay (sentetik) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Bunların arasında en yüksek verimlilik değerine, sentetik boyalar arasında yer alan rutenyum kompleks boyaları (N3, N719) ve türevleri (yaklaşık % 12-14) ile ulaşılmıştır (O'Regan ve ark., 1991). Ancak, rutenyum (Ru) elementinin toprakta nadir bulunan alkali ve ağır metal ayrıca da pahalı olması gibi dezavantajlara sahip olması, boya duyarlı güneş pilleri için ideal boyar madde olmasını kısıtlamaktadır. Bundan dolayı, boya duyarlı güneş pillerinde kullanılmak amacıyla çok çeşitli boyar madde sentezi gerçekleştirilmiştir. Rutenyum kompleks boyaları dışında boya esaslı güneş pillerinde kullanılan diğer sentetik boyar madde türleri arasında polipridiller (O'Regan ve ark., 1991), porfirinler (Kay, 1993; Cherian ve ark., 2000), ftalosiyeninler (Komori ve ark.,

2003), kumarinler (Hara ve ark., 2003), indolinler (Tamotsu ve ark., 2004), konjüge polimerler (Gebeyehu ve ark., 2002), perilenler (Ferrere ve ark., 2002) yer almaktadır. Ancak, bu boyar maddelerin hem soğurma aralığı bakımından dar aralığa hemde dış ortamlarda kısa yaşam ömrüne (stabiliteye) sahip olmaları gibi dezavantajlarından dolayı beklenen verimlilik değerlerine ulaşamamıştır.

Sentetik boyalara alternatif bir diğer boyar madde türü ise doğal boyalardır. Genel olarak, yapısında pigmentler içeren bitkilerden, alglerden ve bakterilerden elde edilen doğal boyar maddeler güneş pillerinde denenmektedirler. Ancak, bu doğal boyar maddelerin kimyasal çözeltiler veya uzun süreli sıcak su (yaklaşık 50 °C'de 24 saat) yardımıyla ekstrasyon işlemine maruz bırakılması organik yapıdaki boyarmaddelerin zarar görebilme riski ve istenmeyen diğer boyarmaddelerin de ekstrasyon sıvısına geçebilme ihtimalini doğurmaktadır. Bunun yanında, bu tür doğal boyar maddelerdeki klorofilin karbonil, hidroksil gruplarındansa alkil grupları içeriyor olmasından dolayı, metal oksit yarıiletken TiO₂ ile yeterli bağlanma sağlanamamakta ve elde edilen güneş pillerinin verimliliğini ciddi oranda düşürmektedir (Hao ve ark. 2006). Bunların yanında, farklı canlılardan (bitki ve hayvan gibi) elde edilen ve yine biyo-DGP'lerde boyar madde olarak kullanılan Fotosistem-I ve Fotosistem-II gibi bazı yapılar ise yapısında hem pigment hemde protein içerirken, bakteriyorodopsin ve C-phycoyanin gibi yapılar ise sadece protein içermektedir. Pigment-protein yapısı taşıyan boyar maddelerden elde edilen biyo-DGP'lerin verimlilik değerleri pigmentlerin sahip olduğu dezavantajlardan dolayı sadece protein taşıyanlara oranla oldukça düşüktür. Proteinlere kıyasla, DNA'ların hem molar soğurma katsayılarının yüksek olması hemde çift sarmallı yapısı nedeni ile güneş pili içerisine giren ışınların yapı içerisinde daha fazla girmesi yani ışık toplama/tutma (light harvesting) özelliğinin daha yüksek olmasından dolayı (Wang ve ark., 2010a) DNA yapısının boya duyarlı güneş gözelerinde kullanılması büyük önem arz etmektedir.

2.2. DNA

BDGP'lerde boyar madde olarak kullanılmak amacıyla çok çeşitli boyarmadde sentezi gerçekleştirilmiştir. Bugüne kadar, BDGP'lerde kullanılan boya türleri arasında

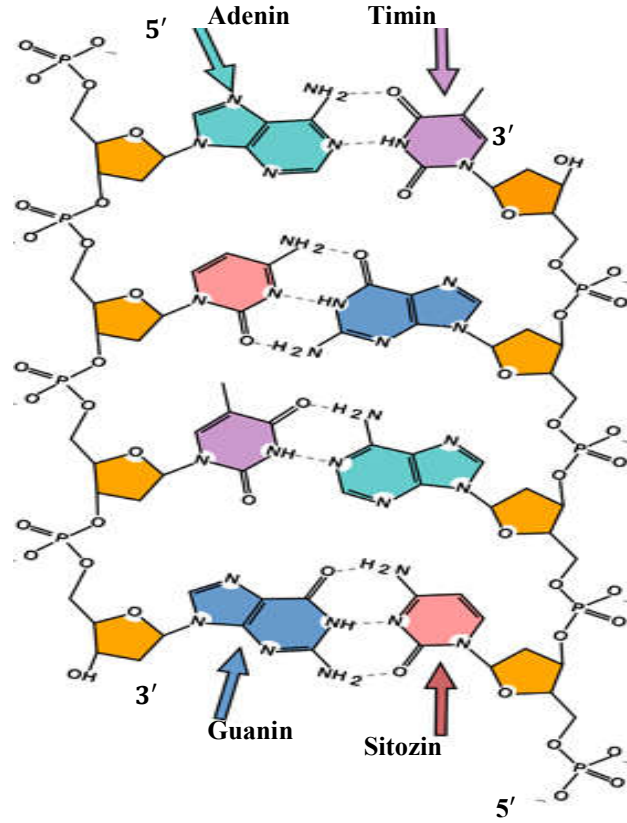
polipridiller (O'regan ve ark., 1991), konjüge polimerler (Gebeyehu, 2002), porfirinler (Cherian, 2005), indolinler (Tamotsu, 2004), gibi boyar maddeler yer almaktadır. Bunların arasında 1991 yılında sentezlenen rutenyum kompleks boyaları (N3, N719) nano kristal yapıları TiO₂ ile kullanılarak yüksek verimlilik göstermeleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (O'regan ve ark., 1991). Rutenyum polipiridil bazlı boyalar en yüksek verimli boyalar olarak bilinmelerine rağmen hammaddelerinin pahalı olması, molar soğurma katsayılarının düşük olması, sentezlerinin zor olması, ağır metal olmaları ve güneş spektrumunun çok dar bir aralığında soğurma yapmaları gibi dezavantajlarından dolayı ideal boyalar değildirler.

Metal içermeyen boyarmaddelerin, metal kompleks boyalara göre daha büyük soğurma katsayısına sahip olduğundan dolayı BDGP'lerde verimliliği artırdığı daha önceki çalışmalardan bilinmektedir. Doğal boyarmaddelerden güneş pillerinde kullanılanlar genelde antosiyanin, karotenoid ve klorofil gibi molekülleri içermektedirler (Tennakone ve ark., 1997; Smestad ve Graetzel, 1998; Garcia ve ark., 2003; Kumara ve ark., 2006; Polo ve İha 2006; Sirimanne ve ark., 2006; Yamazaki ve ark., 2007; Wongcharee ve ark., 2007; Ernando ve Senadeera, 2008; Gomez-Ortiz ve ark., 2010). Boyar maddelerin 920 nm altındaki tüm güneş ışığını absorbe edebilme özelliğinde olması gerekmektedir. Aynı zamanda boyarmadde yarıiletken (TiO₂ gibi) yüzeye uygun şekilde tutunabilmeli ve oksit yarıiletkenin iletim bandına elektron verecek niteliği olmalıdır. Boyarmaddenin redoks reaksiyon potansiyeli de yeterince yüksek olmalıdır, çünkü elektrolitten veya hole (+ yük) üreticiden kolaylıkla elektron alabilmelidir (Sönmezoğlu ve ark., 2012).

Bu tez çalışmasında, duyarlılaştırıcı olarak buğday ve nohut tohumunun çimlendirilmesi ile elde edilen bitkilerin yapraklarından izole edilen DNA'lar ve bu DNA'larla rutenyum bazlı N719 boyar maddeleri eş-duyarlılaştırıcı olarak kullanılmıştır.

DNA canlıların genetik bilginin depolanması ve kendine benzer yeni nesiller meydana getirmesi için anahtar bir molekül ve aynı zamanda canlı organizmalarda önemli görevlerden sorumludur (Frank-Kamenetskii, 1997). DNA çift sarmal iki polinükleotid diziden meydana delmiş bir polimer moleküldür. 1953 yılında DNA'nın çift sarmal yapısı keşfedilmiştir (Watson ve Crick, 1953). DNA molekülünün moleküler yapısı Şekil 2.1'de verilmiştir. Çift sarmal yapısının keşfi ile birlikte DNA molekülü, farklı

disiplinlerde (fizik, biyoloji, tıp, malzeme, kimya gibi) çalışan pek çok araştırmacının ilgi odağı olmuştur. Nanoteknolojide ki son gelişmeler ile özellikle çok yönlü DNA molekülü biyoloji, tıp, biyoteknoloji ve bilgisayara kadar birçok uygulama alanının yanı sıra güneş pili olarak yenilenebilir enerjide de kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2.1. DNA molekülünün fiziksel yapısı (Lents, 2009).

Biyo-DGP olarak alışılmışın dışında özelliklere sahip DNA'lı biyopolimer bazlı malzemeler, şu ana kadar kullanılan organik veya inorganik materyaller ile taklit edilememektedir. Bunlara ek olarak, DNA'dan türetilmiş yenilenebilir kaynaklar doğal olarak geri dönüşümlüdür. Bu özelliklerinden dolayı, son yıllarda biyopolimer bazlı malzemeler, DNA tabanlı mikroelektronik ve optoelektronik aygıtların üretimi konusundaki araştırmalarda daha çok yer edinmeye başlamıştır. Biyolojik alan etkili transistörler, organik ışık saçan diyotlar ve doğrusal olmayan optiksel elektro-optik modülatörler DNA bazlı biyopolimerler kullanılarak elde edilmiştir (Hagen ve ark., 2006; Singh ve ark., 2006) Bu tür cihazların gösterdikleri yüksek performans, organik materyallerle yapılan son model cihazların üretilmesiyle sonuçlanmıştır (Stadler ve ark., 2007; Yumusak ve ark., 2009).

Bunların yanında, son yıllarda, DNA molekülünün hem optiksel özellikleri hemde elektriksel özellikleri bakımından güneş pili yapımına uygun olduğunu gösteren çalışmalar (Sönmezoğlu ve Ateş Sönmezoğlu, 2011), DNA'nın duyarlaştırıcı olarak Biyo-DGP'lerde kullanılabileceğini göstermektedir. Yapısında sadece pigment, sadece protein ve hem protein hemde pigment bulunduran doğal boyaların yanında DNA bazlı yapılan bazı çalışmalara ise aşağıda yer verilmiştir:

Doğal boyalar, foto elektrokimyasal güneş pillerinde boyar madde (duyarlaştırıcı) olarak ilk kez 1997 yılında Cherapy ve arkadaşları tarafından kullanılmıştır. Bu çalışmada, yapısında antosiyanin (anthocyanine) içeren böğürtlen meyvesinde elde edilen doğal boyalar kullanılarak BDGP üretmişler ve fotovoltaiik etkilerini incelemişlerdir (Cherapy ve ark., 1997). Üretilen güneş pili; doğal boyalarla duyarlaştırılmış yarıiletken TiO₂ pasta'dan (Degussa P25, ortalama tane boyutu 10-50 nm) oluşan bir fotoanottan, platinden oluşan bir fotokatottan ve iki tabaka arasında elektron transferininin sağlanmasına yardımcı olan iyodür-triiyodür (I⁻ / I₃⁻) çifti içeren sıvı elektrolitten oluşmaktadır. Yaklaşık 1 cm²'lik aktif bölgeye sahip olan pilden alınan ölçümler sonucunda (1,5 AM- 1000W/m²) açık devre gerilimi (V_{oc}) = 0,45 V, kısa devre akım yoğunluğu (J_{sc}) = 2,2 mA.cm⁻² ve verimlilik (η) = % 0,56 olarak hesaplanmıştır.

Hao ve ark. (2006), yaptıkları çalışmalarında, siyah pirinç (*Oryza sativa* L.), kırmızı biber (*Capsium annuum* L.), mercan ağacının kırmızı çiçeği (*Erythrina sandwicensis* L.), orkide çiçeği (*Erythrina variegata* L.), kanarya kuş gülü (*Rosa xanthina* L.) ve yosunu (*Macrocystis pyrifera* L.) alkol içerisinde bekleterek boyaları ekstraksiyon etmişlerdir. UV-vis spektroskopileri incelendiğinde kanarya kuş gülü ve siyah pirincin antosiyanin, mercan ağacının kırmızı çiçeğinin ve kırmızı biberin karoten, orkide çiçeği ve yosunun ise klorofil içerdiği belirlenmiştir. Antosiyanin molekülü hidroksil ve karbonil gruplarının yardımıyla TiO₂ yarıiletken yüzeye kolaylıkla bağlanabildiği, ancak, klorofil ve karotenin yarıiletken oksit yüzeye tutunamadığı rapor edilmiştir. Alınan fotovoltaiik ölçümler sonucunda en iyi fotovoltaiik etkiyi siyah pirinç boyar maddesiyle yapılan pilden (V_{oc} =0,55 V, I_{sc} = 1,14 mA, P_{max}: 327 μW ve FF: 0,52) elde edilmiştir.

Wongcharee ve ark. (2007) ise afrika bamyası (*Hibiskus sabdariffa* L.) ve mavi bezelye çiçeğinden elde edilen doğal boyalar ve her iki boyanın karışımı kullanılarak üç farklı BDGP üretmişlerdir. Ayrıca, çalışmada saf su ve etil alkol gibi çözücü türünün ve sıcaklığın pil verimliliği üzerine olan etkisinde araştırılmıştır. En yüksek verim mavi bezelye çiçeğinden elde edilen boya ile yapılan BDGP'den elde edilmiş ve I_{sc} : 1,63 mA/cm², V_{oc} : 4,04 V FF: 57, η = % 0,37 olarak hesaplanmıştır.

Calogero ve ark. (2008), kırmızı Sicilya portakalı (*Citrus arantium* L.) ve mor patlıcan kullanılarak BDGP üretmişlerdir. Kırmızı portakal suyu kullanılarak üretilen BDGP'nin fotovoltaiik parametreleri sırasıyla η : % 0.66, J_{sc} : 3,84 mA.cm⁻², V_{oc} : 0,340 V ve FF: 0,50'dir, Patlıcan kabuğundan elde edilen boya madde ile yapılan boya maddeli güneş pilinde ise J_{sc} : 3,40 mA/cm², V_{oc} : 0,350 V ve FF: 0,40 olarak ölçülmüştür.

Zhang ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, doğal betalain pigmentleri içeren kırmızı pancar köklerinden elde edilen boya maddenin, görünür bölgede (535 nm) güçlü bir soğurum yaptığı rapor edilmiştir. Sıvı elektrolit olarak metoksypropiyonitril içeren I / I₃ sıvı elektrolit kullanılarak elde edilen BDGP'den alınan sonuçlar doğrultusunda J_{sc} : 2,42 mA/cm², V_{oc} : 0,44 V, FF: 0,63, η : % 0,67 olduğu tespit edilmiştir.

Tekerek (2009), tez çalışmasında, bitkilerden elde edilen doğal boya maddeler kullanarak BDGP üretmiştir. Doğal boya maddesi olarak urmududu (*Morus nigra* L.), siyah ahududu (*Rubus ideaus* L.), böğürtlen (*Rubus fruticosus* L.), Afrika bamyası (*Hibiscus sabdariffa* L.), mor havuç (*Daucus carota* L.) ve urmududu, ahududu, böğürtlen karışımından elde edilen meyve suları kullanılmıştır. Elde edilen güneş pilleri arasında en yüksek verimliliğe % 0,248 mor havuç suyu ile yapılan pilde rastlanmıştır.

Zhou ve ark. (2011), çiçek, yaprak, meyve, geleneksel Çin ilaçları ve içecekleri gibi doğal malzemelerden izole edilen yirmi farklı doğal boyayı BDGP'lerde boya madde olarak kullanmışlardır. Bu boyalara dayalı boya duyarlı güneş pillerinin fotovoltaiik performansı V_{oc} : 0,337 ile 0,689 V arasında ve J_{sc} : 0,14 ile 2,69 mA.cm⁻² arasında değişen değerlere sahip olduğu görülmüştür. En yüksek V_{oc} değeri 0,686 V ve η : % 1,17 mangostan pericabından ekstre edilen boyadan hesaplanmıştır.

Sönmezoğlu ve ark. (2014) yapmış oldukları çalışmada, boyarmadde olarak kullandıkları juglon boyarmaddesini ceviz meyve kabuklarından sıcak ekstraksiyon yöntemiyle izole etmiş ve TiO₂ tabanlı boyarmadde duyarlı güneş pili üretiminde kullanmışlardır. Alınan optik analiz ölçümleri incelendiğinde juglon boyarmaddesinin TiO₂'ye bağlanmasıyla TiO₂'den daha yüksek bir soğurma katsayısına sahip olduğu görülmüştür. BDGP, FTO/TiO₂/juglon çalışma elektrotu ile FTO/Platin karşıt elektrot tabakalarının sandiviç şeklinde birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Oluşturulan BDGP güneş pilinin 100 mW.cm⁻²'lik ışınım altında alınan fotovoltaj parametreleri değerlendirildiğinde verimlilik değerinin η : % 1,63 olduğunu rapor etmişlerdir.

Thavasi ve ark. (2009) ise yaptıkları çalışmada, bir zar proteini olan ve Arkea *Halobacterium salinarum* türünde elde edilen bakteriyorodopsini (bR) üstün soğurma yeteneği sebebinden dolayı BDGP'lerde boyar madde olarak TiO₂ fotoanot tabakasıyla birlikte kullanmışlardır. Bu çalışmada yabani tip bR ve üç mutant bR, 3Glu [E9Q / E194Q / E204Q] yapılarının ayrı ayrı etkileri incelenmiştir. Diferansiyel taramalı kalorimetre verileri güneş hücreleri duyarlılaştırıcı olarak da bR yabani tip ve mutant 3Glu yapılarının, termal anlamda dayanıklı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, TiO₂ film üzerine tutunmuş vahşi tip bR boyar maddesinden elde edilen Biyo-DGP fotoakım yoğunluk gerilimi (J-V) ölçüm sonuçları V_{oc}: 0,35 V, 40 mW.cm⁻², J_{sc}: 0,09 mA.cm⁻² olarak bulunmuştur.

Janfaza ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, bir zar proteini olan ve *Halobacterium salinarum* bakterisinin mor zarından elde edilen heptahelikal protein olan bakteriyorodopsini BDGP'lerde duyarlaştırıcısı olarak kullanılmıştır. Etkili bir şekilde TiO₂ nanopartikülleri üzerine tutunan bakteriyorodopsinin, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme kabiliyeti incelenmiştir. AM1.5 ışınımı altında karşıt elektrot olarak platin kullanılarak alınan J-V ölçüm sonuçları; I_{sc}: 0.28 mA.cm⁻², V_{oc}: 0,51 V, FF: 0,62, η : % 0,09 bulunmuş ve ayrıca maliyeti azaltmak için platin karşıt elektrot yerine karbon elektrot kullanılarak ölçümler alınmıştır. Karbon karşıt elektrot kullanıldığında J-V ölçümleri; V_{oc}: 0,52 V, I_{sc}: 0,21 mA.cm⁻² olarak elde edilmiştir.

Ocakoğlu ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, kırmız alg olan *Cyanidioschyzon merolae* türünden izole edilen fotosistem I (PSI) ile ışık toplama antenini (HITA) boyar madde, n-tipi TiO₂ ve hematit (α -Fe₂O₃)'in de birlikte yarıiletken olarak kullanıldığı biyo-DGP üretmişlerdir. FE-SEM ve XRD verilerinden PSI-HITA yapısının her iki yarıiletken tabaka üzerine büyütüldüğü görülmüştür. Hematit-PSI-HITA ile TiO₂-PSI-HITA karşılaştırıldığında fotoakım, pil verimliliği ve kuantum veriminde artış olduğu görülmüştür. Ayrıca, hematit-PSI-HITA yapılı BDGP 90 gün boyunca stabilitesini (yaşam ömrünü) koruduğu da saptanmıştır. Oluşturulan güneş pillerinin fotovoltaik performansları; PSI/Hematit/FTO için I_{sc}:56,9 μ A, V_{oc}: 321 μ V, FF: 0,56, η : % 0,17 ve PSI/TiO₂/FTO için ise I_{sc}: 0,94 μ A, V_{oc}: 260 μ V, FF: 0,60, η : % 0,026 olarak elde edilmiştir.

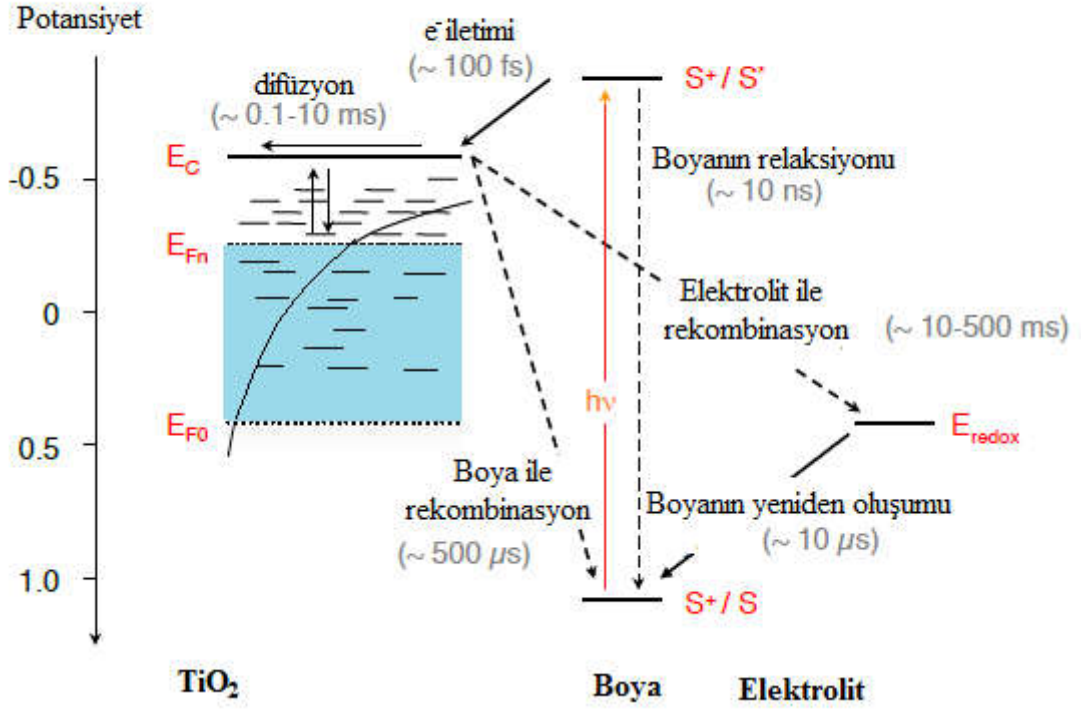
Ner ve ark. (2009) yaptıkları çalışmalarında, somon balığı DNA'sı kullanarak, bir DNA-lipit kompleksi ve floresan rezonans enerji transferi (FRET) öz-örgütlenme yoluyla beyaz-parlak DNA temelli nanolifler elde etmişlerdir. Kumarin 102 (Cm102) ve 4- [4-dimethylaminostyryl] -1-docosylpyridinium bromid (Hemi22), sırasıyla verici ve alıcı olarak DNA ile birlikte kullanılmıştır. Emisyon yoğunluğunun nanolif geometrisi ile geliştirildiğinin yanında DNA, boya moleküllerinin hem uzaysal organizasyonunu hemde özgülü bağlanma noktalarını ve buna bağılı olarak beyaz ışık emisyonunun arttırıldığı rapor edilmiştir.

2.3. Fotovoltaik Enerji Dönüşümünün Temelleri

Güneş ışığı; ısı, kimyasal enerji (örn. fotosentez) veya elektrik enerjisi gibi çeşitli enerji formlarına dönüştürülebilir. Bir katot ve bir anot olmak üzere iki kutuptan oluşan ve güneş ışığını elektrik enerjisine çeviren aygıtlara, fotovoltaik cihaz ya da güneş pili denir. 1839 yılında yaptığı deneyle, üzerine düşen ışık miktarı ile elektrolit içerisinde bulunan anot ile katot elektrotlar arasındaki gerilimin değişimini gözlemleyen Becquerel, fotovoltaik olayın varlığını ilk kez ortaya koymuştur (Bequerel, 1839). Endüstriyel anlamda, fotovoltaik güneş pili üretimi ise silikon temelli fotovoltaik diyotlar üzerine çalışmalar yapan ilk kez 1954 yılında rapor edilmiştir (Chapin, 1954). Gelişen teknoloji ile beraber, gerek maliyetin düşük olması, gerekse yüksek verimlilik

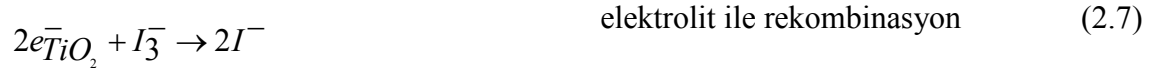
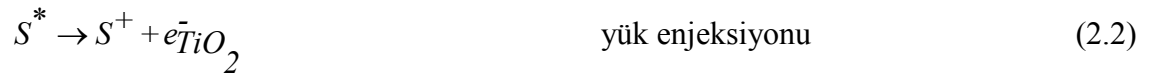
gibi özellikleriyle, son yıllardaki araştırmalarda ön plana çıkan boya duyarlı güneş pilleri, güneş pilleri sınıflandırmasında III. nesil güneş pilleri arasında yer almaktadır. BDGP'nin temelinde ışığa duyarlı boya malzemesi ve yarıiletken malzeme tabakası esastır. Klasik bir BDGP cam veya optik geçirgenliği olan flor katkılı kalay oksit (FTO) gibi iki adet şeffaf iletken oksit (TCO) ile oluşturulmaktadır (Hagfeldt, 1995; Grätzel, 2000). İlk TCO tabakası, nanokristal yarıiletken elektrotun (çoğunlukla nano yapılı TiO_2) yüzeyine tutunmuş boyarmaddelerden meydana gelen çalışma elektrodu (working electrode), elektron transferini sağlayan elektrolit (I^- / I_3^-) ve genellikle platinin kullanıldığı karşıt elektrodundan (counter electrode) meydana gelmektedir.

Etkili fotovoltajik enerji dönüşümüne sahip boya duyarlı güneş pilleri üretebilmek için, yapı içerisindeki elektron (yük) transfer mekanizmasının ve kinetik süreçlerin dikkatli bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Şekil 2.2'de yer alan enerji diyagramında bu süreçler şematize edilmiştir. Karanlıkta, TiO_2 içindeki elektronların Fermi seviyesi elektrolit redoks enerji düzeyi ile dengelenir ($E_{F0} = E_{redoks}$). Bir foton, duyarlılaştırıcı tarafından soğurulduğunda (S) (reaksiyon 2.1), uyarılan molekül (S^*) yarıiletkenin iletim bandına femtoda pikosaniye zaman skalasında (reaksiyon 2.5) bir elektron enjekte eder (E_C). Yükseltgenen boya, elektrolit içerisindeki iyodür tarafından birkaç mikrosaniye içerisinde tekrar indirgenir (reaksiyon 2.6). Bu olay genellikle TiO_2 içindeki foto-enjekte elektronlar tarafından gerçekleştirilen indirgenmeden daha hızlı olmaktadır. Boya molekülünün indirgenmesi (S^+) ile oluşan I_3^- , platin ile kaplanmış karşıt elektrot üzerinde indirgenir (reaksiyon 2.4). Işık altında, TiO_2 içindeki ekstra yükler, yarı-Fermi seviyesi (E_{Fn}) olarak tanımlanır. TiO_2 içerisindeki elektronlar iki süreçten etkilenirler: i) elektrolit içerisindeki I_3^- 'ün yeniden birleşmesi yani rekombinasyonu (reaksiyon 2.7), ii) gözenekli TiO_2 'den ön elektroda doğru difüzyon işlemi.



Şekil 2.2. BDGP'lerin çalışma prensibi ve yapısında meydana gelen kinetik süreçler (Wenger, 2010).

Bu süreçlerde gerçekleşen reaksiyonlar aşağıdaki gösterilmiştir:



Boya duyarlı güneş pillerinde meydana gelen kayıplar, enjekte elektron tarafından sağlanan boyanın relaksasyonu, boyanın indirgenmesi ya da I_3^- ile TiO_2 içindeki elektronların rekombinasyonundan (reaksiyon 2.5, 2.7) kaynaklanabilir (Tachibana ve ark., 1996). Rekombinasyon olayı ise milisaniye-saniye aralığında meydana gelir. İlk iki süreç rutenyum bipiridin boyaları için ihmal edilebilir. Ancak, enjeksiyon boyanın indirgenmesi ve I_3^- ile yük rekombinasyonu, yüzeye tutturulan eş yapıstırıcılara bağlıdır, bunlar TiO_2 'in iletim bant seviyesini kaydırabilir ve/veya I^-/I_3^- konsantrasyonu etkiler (Haque ve ark., 1999; Marinado ve ark., 2010).

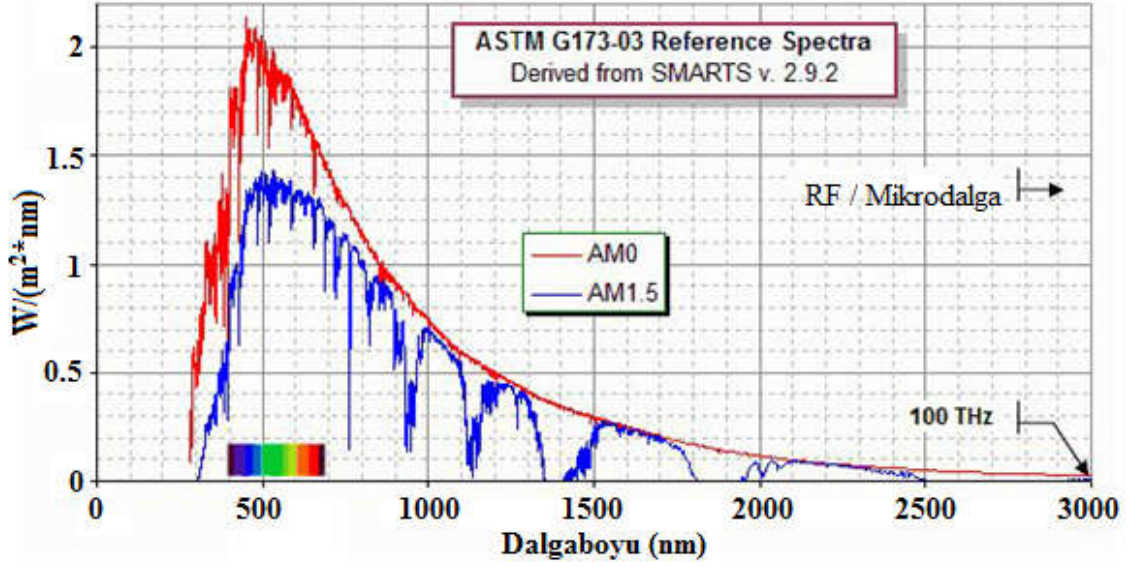
2.4. Güneş Spektrumu

Güneş ışını, yaklaşık olarak 5800 K sıcaklıkta Planck dağılımına göre yayılan bir siyah cisim olarak tanımlanabilir (Planck, 1901). Dünya atmosferi dışındaki güneş ışını (AM0), siyah cisim spektrumu ve standart güneş referans spektrumu (AM1.5G) şekil 2.3'de karşılaştırılmıştır. Dünya dışındaki spektruma (AM0) ve referans spektrumuna (AM1.5G) ait olan ışın değerleri Şekil 2.3'de verilen eğrilerin integrali ile hesaplanır ve sırasıyla,

$$I_{AM0} = 1366.1 \text{ W m}^{-2} \text{ ve } I_{AM1.5G} = 1000.4 \text{ W m}^{-2} \quad (2.8)$$

değerlerine eşittir. Dünya yüzeyindeki ışık spektrumu, atmosferdeki moleküllerle girdiği etkileşim sonucu meydana gelen soğurma, yansımaya ve saçılma ile azalır. Işık, UV ve görünür bölgelerde oksijen (O_2), ozon (O_3), azot oksit (N_2O) ve metan (CH_4) ile; orta-kızılötesi bölgesinde su buharı (H_2O) ile ve uzak-kızılötesi bölgesinde ise karbondioksit (CO_2) ile soğurulmaktadır. Soğurma, atmosfer boyunca ışığın ilerlediği yol uzunluğu ile artar. Atmosferin kalınlığını l_0 ve ışığın ilerlediği yol uzunluğunda l kabul edersek, l/l_0 oranına hava-kütlesi (air-mass; AM) katsayısı denir. Bu kapsamda, atmosfer dışındaki spektrum ve dünya yüzeyine dik gelen spektrum sırasıyla AM0 ve AM1 olarak belirlenmiştir. Bunların yanında, standart referans spektrumunda 48° geliş açısında atmosferik koşullar altında toplam küresel (hemisferik) ışınım ile uyumlu AM1.5G ile tanımlanmıştır. AM1.5G spektrumu, Test ve Materyaller için Amerikan

Topluluğu (ASTM) (Gueymard ve ark., 2002) tarafından modellenmiş ve tanımlanmıştır.



Şekil 2.3. 5800K'deki kara cisim soğurum, yeryüzü dışı ışınımı AM0 ve standart güneş referans ışınımı AM1.5G'nin spektrum gösterimleri (Gueymard ve ark., 2002).

2.5. Güneş Pillerinin Fotovoltaik Özelliklerinin İncelenmesi

Genellikle fotovoltaik sistemlerin karakterizasyonu, karanlık ve aydınlık olmak üzere farklı ışınım şiddetlerinde uygulanan gerilime göre değişen akım yoğunluğunun ölçülmesi ile yapılmaktadır. Aydınlık ortamda alınan akım-gerilim (I-V) ölçümlerinden eklemlerin foto-duyarlılıkları, verimlilikleri, dolum faktörleri; karanlıkta yapılan I-V ölçümlerinden ise doyma akımı, bariyer yüksekliği ve idealite faktörü katsayısı hesaplanabilmektedir.

Güneş pillerinin karakteristikleri beş temel parametre ile belirlenmektedir. Bunlar; dolum faktörü, kısa devre akımı, açık devre gerilimi, maksimum güç noktası ve verimdir.

Dolum faktörü (fill factor, *FF*): "*FF*" kısaltması yaygın olarak kullanılan dolum faktörü, güneş pillerinden alınacak olan en fazla gücü belirleyen ölçüdür. Kısa devre

akım ve açık devre gerilimi değerleri güneş pilleri için maksimum akım ve gerilim değerleri ise de, güneş pillerinin gücü bu iki noktada sıfırdır.

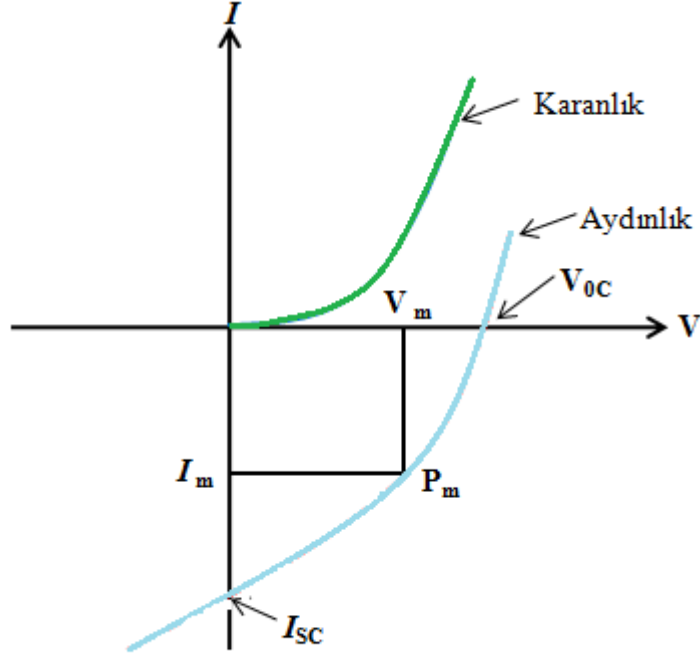
Açık-devre gerilimi (open-circuit voltage, V_{oc}): Güneş pilinde, devre açık iken yani uçları arasındaki direnç sonsuzken ölçülen gerilime denir. Açık devre gerilimi, güneş pilinde elektron-boşluk çiftlerinin yeniden bir araya gelmesinin (rekombinasyon) ölçüsüdür.

Kısa devre akımı (short-circuit current, I_{sc}): Güneş pilinde, devre kapalı ve iki kutup arasında direncin sıfır olduğu andaki ölçülen akım değeri olarak tanımlanmaktadır. Kısacası, aydınlık ortamda oluşan akım değerine eşit olacaktır. Kısa devre akımı, foto taşıyıcıların (elektron-boşluk) oluşturulması ve birikimine bağlıdır. Standart bir güneş pilinde, kısa devre akımı ile foto-akım aynıdır ve bu nedenle kısa devre akımı güneş pilinden elde edilebilecek en yüksek akım değeridir. Kısa devre akımı, güneş pilinin alanına, ışık spektrumuna, gelen ışık yoğunluğuna ve güneş pilinin soğurma/yansıtma özelliklerine bağlıdır.

Maksimum güç noktası (Maximum Power Point, P_m): Güneş pillerine V gerilimi uygulanırken elde edilen güç, potansiyel ile uygulanan potansiyelde oluşan akımın çarpımı olarak tanımlanmaktadır. Hesaplanan güç eğrisinin en yüksek olduğu nokta olarak ifade edilir. Bu noktadaki gerilim ve akımına da güneş pilinin maksimum gerilimi (V_m) ve maksimum akımı (I_m) olarak ifade edilir.

Verim (efficiency, η): Bir güneş pilinin verimliliği, η , güneş pili üzerine düşen ışık enerjisi ile ışık enerjisi sonucu oluşan elektrik enerjisinin oranı hakkında bilgi veren bir parametredir. Bir başka ifadeyle, fotovoltaik hücre üzerine düşen güneş ışınım gücünün, güneş pilinden alınabilecek güce oranı olarak tanımlanır.

Fotovoltaik parametreler Şekil 2.4'de görülen güneş pilinin basit bir eşdeğer devre modeli ele alınarak açıklanabilir. Uygulanan gerilim altında ileri yönde diyottan geçen



Şekil 2.5. İdeal bir güneş pilinin aydınlık ve karanlık altındaki akım-gerilim (I-V) grafiği.

Güneş piline, ışık altında hiçbir gerilim uygulanmadığında akım değeri;

$$I_{SC} = -I_L \quad (2.10)$$

olur yani pil üzerine uygulanan gerilim $V = 0$ iken ölçülen akım, kısa devre akımıdır (I_{SC}), devre üzerinden hiç akım geçmiyor iken ($I = 0$), $V = V_{OC}$,

$$V_{OC} = \left(\frac{nkT}{q} \right) \ln [(I_L - I_0) + 1] \quad (2.11)$$

olup, açık devre gerilimini ifade eder.

Maksimum gerilim (V_m) ve maksimum akımın (I_m) kaplamış olduğu alan maksimum güce (P_m) eşittir. Yani,

$$P_m = V_m \cdot I_m = I_{SC} V_{OC} \text{ FF} \quad (2.12)$$

olur, buradaki FF dolun faktörü olup, aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$FF = \frac{P_m}{V_{OC} \cdot I_{SC}} = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (2.13)$$

İyi bir güneş pili için, dolun faktörü değerinin 0,75-0,8 aralığında olması gerekmektedir. Pillerin verimi n , ise güneş pilinin performansının ifadesi olup,

$$n = \frac{P_m}{P_{ışık}} = \frac{I_{SC} V_{OC} FF}{P_{ışık}} \quad (2.14)$$

denklemleri ile elde edilir. Güneş pillerinin güneş spektrum aralığındaki performansını analiz etmek için kullanılan bir diğer önemli parametre ise foton akım dönüşüm verimliliği (IPCE) veya kuantum verimliliği (QE)'dir. IPCE, gelen fotonların (N_{foton}) ne kadar fotoelektron ($N_{elektron}$) oluşturduğunu belirleyen bir oran olarak tanımlanır,

$$IPCE = \frac{N_{elektron}}{N_{foton}} = \frac{q \frac{N_{elektron}}{s}}{q \frac{N_{foton}}{s}} = \frac{I_{ph} [amp]}{q \frac{N_{foton}}{s}} \quad (2.15)$$

diğer yandan, güç [Watt biriminde] ise aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$P_{in}[Watt] \rightarrow P_{in} \left[\frac{Joule}{s} \right] = \frac{N_{foton}}{s} hv = \frac{N_{foton}}{s} \frac{hc_0}{\lambda}, \quad (2.16)$$

burada h Planck sabiti, λ dalga boyu, hv foton enerjisi, s saniye ve c_0 ise ışığın hızıdır. Denklem 2.16 ve denklem 2.17 birleştirilerek,

$$IPCE(\lambda) = \frac{I_{ph} [amp]}{q P_{in} \frac{\lambda}{hc_0}} \quad (2.17)$$

$$= \frac{I_{ph}}{I_{in}} \cdot \frac{hc0}{q} \cdot \frac{1}{\lambda}$$

$$= \frac{I_{ph}}{P_{in}} \cdot \frac{1240}{\lambda(nm)} \cdot 100\%$$

elde edilmiş olur. Aynı zamanda, test aygıtının kısa devre akım yoğunluğunu, gelen foton akısı $\phi(\lambda)$ ve IPCE yardımıyla hesaplayabiliriz.

$$J_{sc} = \int qIPCE(\lambda)\phi(\lambda)d\lambda \quad (2.18)$$

Denklemden yer alan IPCE değeri: (1) duyarlaştırıcının ışık toplama verimliliği $LHE(\lambda)$, (2) duyarlaştırıcının uyarılmış halinden TiO_2 'nin iletkenlik bandına elektron enjeksiyonu için redoks potansiyeli ve elektron rekombinasyon ömrüne bağlı olan kuantum verimliliği ϕ_{inj} , ve (3) TiO_2 tabakasının yapı ve morfolojisine bağlı olan elektron toplama verimliliği, η_{coll} , parametrelerine bağlıdır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Biyo-Duyarlı Güneş Pillerini Oluşturan Tabakaların Hazırlanması

3.1.1. Cam Alt Tabakaların Temizlenmesi

İnce filmlerin özelliklerini etkileyeceğinden dolayı alt tabaka temizliği oldukça önemlidir. Bu nedenle alt tabaka olarak kullanılan malzeme ne kadar temiz olursa o kadar kaliteli ince film üretilebilir. Bu çalışmada ince film alt tabakası olarak 20 mm x 20 mm x 2 mm'lik FTO kaplı camlar kullanılmıştır. Kullanılacak olan cam alt tabakalar; kirden ve yağdan arındırılması için ultrasonik su banyosunda beşer dakika saf su, etanol ve tekrar saf suda sırasıyla bekletilmiştir. Ayrıca her ultrasonik banyo işlemi sonunda cam alt tabakalar etüv yardımıyla kurutulmuş ve kaplama işlemi için hazır hale getirilmiştir.

3.1.2. TiO₂ Yarıiletken Tabakasının Hazırlanması

TiO₂ çözeltisi hazırlamak için 3,5 gr TiO₂ nano-toz (P25) etanol içerisinde yaklaşık 30 dakika boyunca karıştırıldıktan sonra içerisine 0,5 mL titanyum (IV) tetraisopropoksit (% 99,5 saflıkta) eklenmiş ve çözelti manyetik karıştırıcı ile homojen hale gelene kadar oda sıcaklığında karıştırılarak hazırlanmıştır.

3.1.3. Platinik Asit Çözeltisinin Hazırlanması

Karşı elektrot yapımında kullanılacak olan 5 mM'lık platinik asit çözeltisi, 5 ml 2-propanol içerisinde H₂PtCl₆ (hidro platinik asit) çözülerek hazırlanmıştır.

3.1.4. DNA İzolasyonu

Bu çalışmada DNA ekstraksiyonu için, öncelikle buğday ve nohut tohumları petrilere ekilerek büyütülmüştür. Daha sonra bitkilerin en genç yapraklarında DNA ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Modifiye edilerek çalışmada kullanılan DNA ekstraksiyonu metodu aşağıda verilmiştir (Doyle ve Doyle, 1990).

1) 1,5 cm boyunda ki örnekler likit nitrojen içinde öğütülür ve buna daha sonra 500 µl buffer ilave edilir.

* 100 ml Buffer hazırlamak için;

- 65 ml ddH₂O,
- 10 ml 1 M Tris (pH: 7,5),
- 14 ml 5 M NaCl ve
- 10 ml 0.5 M EDTA (pH: 8,0) karıştırılarak 65 °C’de ısıtılır ve buna
- 1 g CTAB ile
- 1 ml 14 M Beta MerkaptOEtanol (BME) eklenir.

2) Bir ünite Proteinase K eklendikten sonra (bir ünite 5 µl konsantrasyon) vortekste karıştırılır.

3) 40 µl % 20 SDS (veya 80 µl % 10 SDS) eklenerek 65 °C’ deki su banyosunda 1 saat tutulur ve ara sıra alt üst ederek karıştırılır.

4) Su banyosundan çıkarılan tüplere 2 / 3 hacim (400 µl) kloroform:isoamil alkol (24:1) eklenir. 5-10 dakika alt üst edilerek karıştırılır.

5) 10.000 g’de 15 dakika santrifüj edilir.

6) Süpernatant 2 / 3 hacim yani 400 µl 2-propanol içeren yeni bir tüpe alınır. Alt üst edilerek DNA gözle görülür hale getirilir.

7) 15 dakika 10.000 g’de santrifüj edilir.

8) Sıvı dökülür. Pelet kurduktan sonra 500 µl 1 x TE eklenir.

9) 10 mg / ml RNase çözeltisinden 1 µl eklenir. DNA 60 °C’ deki su banyosunda 2 saat eritilir.

10) 400 µl kloroform:isoamil alkol (24:1) eklenir. Tüpler 5-10 dakika alt üst edilerek karıştırılır.

11) 15 dakika 10.000 g’ de santrifüj edilir.

- 12) Süpernatant 80 µl 1,2 M NaCl (veya 20 µl 5 M NaCl) içeren yeni bir tüpe alınır. Hafifçe karıştırılır.
- 13) 800 µl % 96 soğuk etil alkol ilave edilir. Alt üst edilip karıştırılarak DNA çökeltilir.
- 14) 10.000 g' de 20 dakika santrifüj edilir ve sıvı dökülür.
- 15) Pelet 900 µl % 70 soğuk etil alkol ile dikkatlice yıkanır. Ters çevrilmiş halde 2 saat kurutulur.
- 16) Kuruyan pelet 70 µl ddH₂O'da çözülür.

Bu metotla petrielerde büyütülmüş olan tohumların çimlenmesi sonrası en genç yaprakları alınarak DNA ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). İzole edilen DNA'lar -20 °C'de muhafaza edilmiştir.



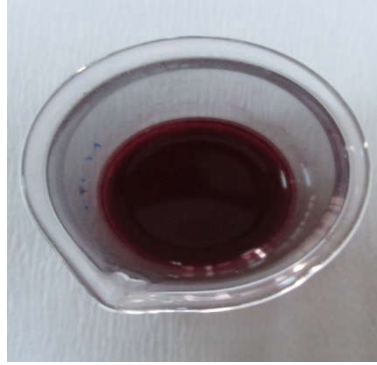
Şekil 3.1. DNA izolasyonu aşamaları.

DNA'larda miktar ve kalite tayini amacıyla agaroz jeller ve spektrofotometrik ölçümler kullanılmıştır. DNA örneklerinin yüklendiği 120 ml % 1'lik agaroz jeller; 1,2 gr agaroz (LONZA SeaKem®LE Agarose, 50004), 24 ml 5 x TBE, 96 ml ddH₂O ve 8 µl Ethidyum Bromür (10 mg/ml) içermektedir.

Spektrofotometrede 260 ve 280 nm (A_{260}/A_{280}) ölçüm aralığındaki oran nükleik asit saflığını vermektedir. DNA yaklaşık olarak 1,8 ve 2,0 değerleri (A_{260}/A_{280}) saf olarak kabul edilmektedir. Bu tez çalışmasında spektrofotometrede DNA tayininde kör (blank) küvetine 20 µl 1 x TE, 980 µl dH₂O, örnek küvetine ise 20 µl DNA ve 980 µl dH₂O koyularak ölçümler alınmıştır. DNA miktarı (µg/ml) = 260 nm'deki OD (Optik dansite) absorpsiyon değeri x sulandırma oranı x 50 formülü ile belirlenmiştir.

3.1.4.1. Boyar Madde Sentezi

Methanol içerisine 3×10^{-4} M konsantrasyonda olacak şekilde N719 rutenyum temelli boyar maddeler; 10 mg N719 boyar madde 25ml methanol içerisine koyularak hazırlanmıştır (Şekil 3.2). Elde edilen N719 boyası ışık almayacak şekilde karanlık ortamda muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.2. Boyar madde olarak kullanılan rutenyum bazlı N719.

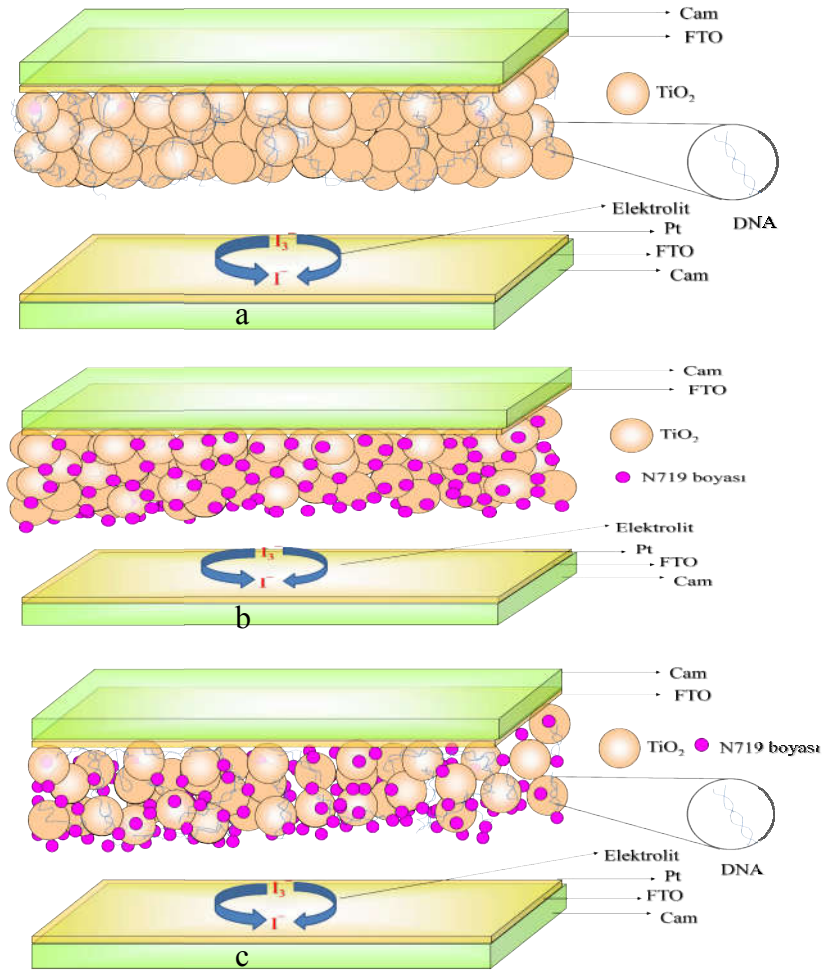
3.1.5. Sıvı Elektrolit Hazırlanması

Sıvı elektrolit; 10 ml saf etilen glikol içerisinde 0,05 M iyodun (I_2) çözülmesi ve sonrasında içerisine 0,5 M potasyum iyodür (KI) eklenmesiyle hazırlanmıştır. Elektron döngüsünün gerçekleşebilmesi için gerekli olan redoks tepkimesinin gerçekleştiği sıvı tabaka olan bu çözelti iyice karıştırıldıktan sonra, çözeltinin bozunmasını önlemek için karanlık bir ortamda ya da koyu renkli bir cam kap içerisinde saklanmıştır. Sıvı

elektrolit Biyo-DGP'nin çalışması esnasında gerekli olan tepkimelerin gerçekleştiği tabakayı oluşturur ve çalışma elektrotu ile karşıt elektrot arasında yer almaktadır.

3.1.6. Üretilen Biyo-Duyarlı Güneş Pillerinin Yapısı

Biyo-DGP; FTO/TiO₂/DNA/N719 ve FTO/TiO₂/DNA'dan oluşan çalışma elektrotları ile FTO/Platin kaplı karşıt elektrot tabakası ve bu iki tabaka arasında sıvı elektrolit bulunan sandviç biçiminde üst üste konularak meydana getirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Biyo-DGP ve BDGP yapılarının şematik gösterimi; (a) FTO/TiO₂/DNA, (b) FTO/TiO₂/ N719 (c) FTO/TiO₂/DNA/N719.

3.1.7. Biyo-Duyarlı Güneş Pillerinin Üretimi

3.1.7.1. Çalışma Elektrodunun Yapımı

Film oluşturmak için FTO kaplı camlar masa üzerine şeffaf bant yardımıyla, FTO ince filmlerin üzerinde aktif bölge denilen yaklaşık 1 cm²' lik bir alan boşlukta kalacak şekilde sabitlenmiştir. Diğer kısımlar şeffaf bant yardımıyla kapatılarak kaplanması engellenmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Şeffaf bant yardımıyla kenarları maskelenmiş FTO cam.

Etanol içerisinde titanyum (IV) tetraisopropoksit çözülerek hazırlanan TiO₂ nano-toz (P25) süspansiyonu homojen bir kıvamına gelene kadar karıştırıldıktan sonra elde edilen macun kıvamındaki TiO₂ pasta aktif bölgeye konularak şerit döküm tekniği (doctor blade) yardımıyla homojen olarak Şekil 3.5'deki gibi kaplanmıştır. Homojen yayılan FTO/TiO₂ yapısının TiO₂ üstte kalacak şekilde sıcak bir yüzey (hot plate) üzerinde 150 °C'de 20 dk bekletilerek pasta hazırlanmıştır.



Şekil 3.5. TiO₂ kaplanmış FTO camının görüntüsü.

Daha sonra TiO₂ yüzeyine, i) buğday DNA'sı ve nohut DNA'sı döndürme ile kaplama metodu yardımıyla ve ii) N719 duyarlılaştırıcısı ise daldırma ile kaplama metodu yardımıyla kaplanmıştır. Kaplamadan sonra numuneler +4 °C'de 12 saat bekletilmiştir. Elde edilen bu tabakalar aşağıdaki gibi kodlanmıştır.

B: Buğday DNA'sı

N: Nohut DNA'sı

B-N: Buğday DNA'sı ve nohut DNA'sı eş duyarlılaştırıcı

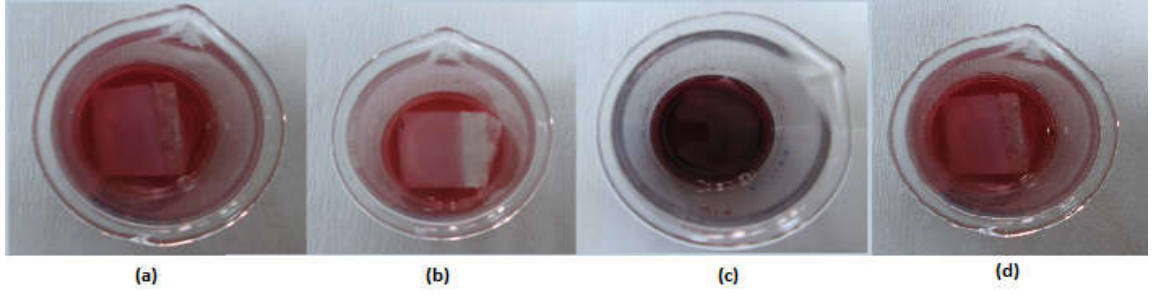
N719: N719

B-N719: Buğday DNA'sı ve N719 eş duyarlılaştırıcı

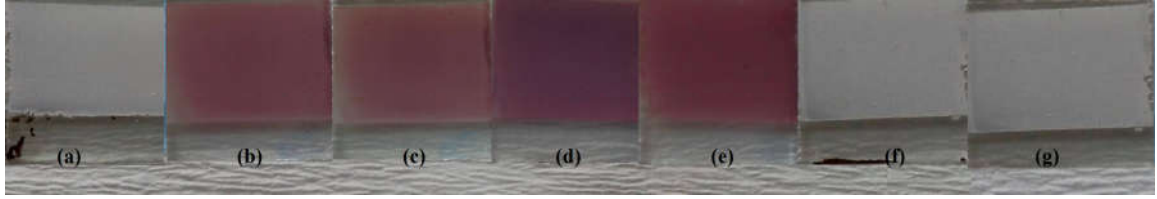
N-N719: Nohut DNA'sı ve N719 eş duyarlılaştırıcı

B-N-N719: Buğday DNA'sı, nohut DNA'sı ve N719 eş duyarlılaştırıcı.

Boyar madde olarak B, N, B-N, N719, B-N719, N-N719 ve B-N-N719 kombinasyonları kullanılmıştır. Şekil 3.6'da hazırlanan FTO/TiO₂ ve FTO/TiO₂/(N ve/veya B) tabakalarının, N719 boyar maddesi içerisindeki durumu ve Şekil 3.7'de ise N719 boyar maddesinden çıkarılmış hallerinin fotoğrafları verilmiştir.



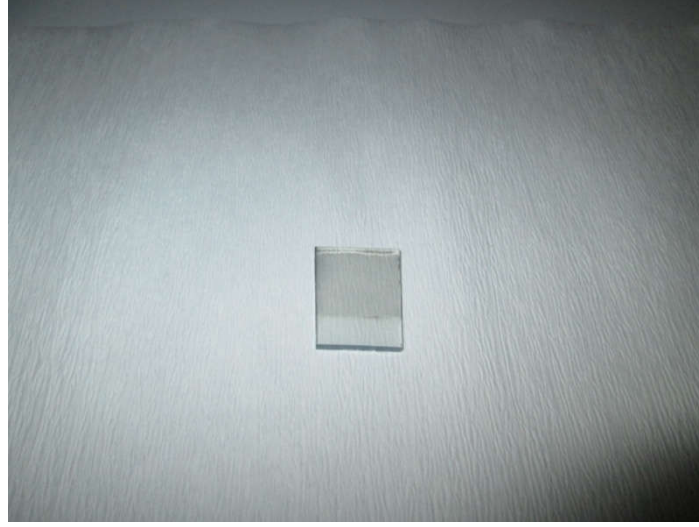
Şekil 3.6. Farklı FTO/TiO₂/duyarlılaştırıcı, N719 içerisinde: (a) B-N719 (b) N-N719 (c) N719 (d) B-N-N719.



Şekil 3.7. Farklı FTO/TiO₂/duyarlılaştırıcı çalışma elektrotları: (a) B (b) N-N719 (c) B-N719 (d) N719 (e) B-N-N719 (f) N (g) B-N.

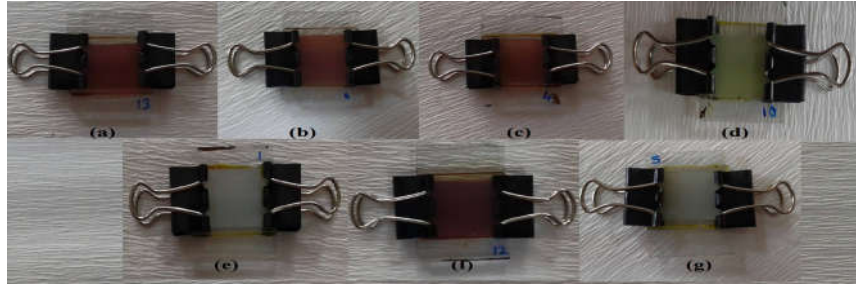
3.1.7.2. Karşıt Elektrodun Yapımı

BDGP'lerin sürekli olarak çalışabilmesi için, elektrolitten boyar maddeye sürekli olarak elektron transferi olması gerekmektedir. Bu elektron transferi, iyot-iyodür dönüşümü ile sağlanmaktadır. Bu dönüşüm hızı, platin (Pt) yüzeyinde, FTO yüzeyinde olduğundan çok daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu nedenle, tüm yüzeyin platin kaplanmasına gerek yoktur, sadece aktif bölgeyi kaplayacak kadar bölgesel kaplamalar yeterli olmaktadır. Şekil 3.8'de fotoğrafı görülen FTO/Platin kaplı karşıt elektrot tabakasının oluşturulması için hidroplatinik asit çözeltisi, temizlenmiş cam yüzeylere döndürerek kaplama yöntemiyle kaplanmıştır. Kaplama işlemi 3000 rpm hızda 30 saniye boyunca her cam yüzeyi için 20 kez tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu tabaka 450 °C'de 1 saat tavlama işlemine maruz bırakılmıştır.



Şekil 3.8. FTO/Platin kaplı karşıt elektrot.

Pil, epoksi yardımıyla FTO/TiO₂/boyar madde tabakası ile FTO/platin tabakasının üst üste gelecek şekilde ve her iki tabakanın sadece FTO kaplı kısımları dışarıda kalacak şekilde yapıştırılmıştır. Yapıştırma esnasında sıvı elektroliti enjekte edecek kadar küçük açıklık bırakılmış ve bu noktadan sıvı elektrolit bu iki tabaka arasına enjekte edilmiştir. Tez çalışması kapsamında üretilen ve DNA boyarmaddesi ile duyarlılaştırılan Biyo-DGP Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Farklı duyarlaştırıcı kullanılarak üretilen güneş pilleri: (a) N719 (b) B-N-N719 (c) N-N719 (d) B (e) N (f) B-N719 (g) N.

3.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar ve Sistemler

Biyo-DGP’lerin kuantum verimliliği (IPCE) ölçümünde kullanılan, Enlitech markasına ait QE-R Series 3011 model cihaz Şekil 3.2.1’de verilmiştir.



Şekil 3.2.1 Enlitech IPCE cihazı.

Karşıt elektrot tabakasının oluşturulması için döndürerek kaplama yapan Holmarc spin coating H0-TH-05 sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.2.2).



Şekil 3.2.2. Bilgisayar kontrollü Holmarc spin coating H0-TH-05 sistemi.

Kaplama sonrası tabakaların tavlama işlemleri için 0-1100°C aralığında çalışabilen Nüve MF106 marka kül fırını kullanılmıştır (Şekil 3.2.3).



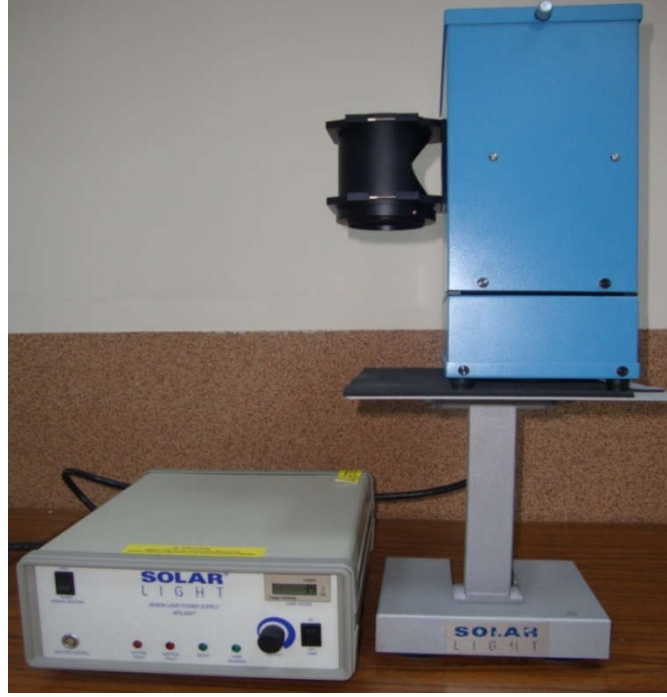
Şekil 3.2.3. 0-1100 °C aralığında çalışabilen Nüve MF106 kül fırını.

TiO₂ pasta, N719 boyası ve DNA'ların soğurma spektrumları Şekil 3.2.4'de gösterilen Shimadzu 3600 UV-vis-NIR spektrometresiyle yardımıyla 190-800 nm dalgaboyları arasında alınmıştır.



Şekil 3.2.4. Optiksel özelliklerin belirlendiği UV-Vis-NIR spektrofotometresi.

Üretilen güneş pillerinin fotovoltaik karakterizasyonu için 300 watt xenon arc lambaya sahip Solar Light XPS 300 marka güneş benzetici (solar simülatör) ünitesi kullanılmıştır (Şekil 3.2.5).



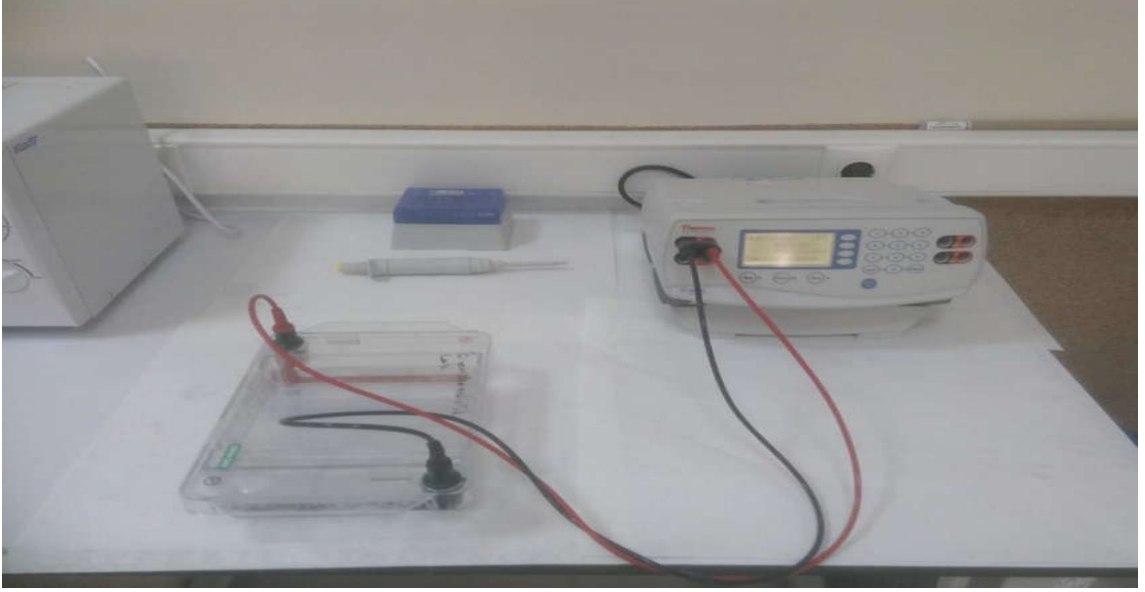
Şekil 3.2.5. Light XPS 300 solar simülatör.

Üretilen Bio-DGP'lerin fotovoltaik karakterizasyonu Keithley marka 4200-SCS model Yarıiletken Karakterizasyonu Sistemi ile ölçülmüştür (Şekil 3.2.6).



Şekil 3.2.6. Keithley 4200-SCS yarıiletken karakterizasyonu sistemi.

DNA örneklerinin yürütülmesinde kullanılan agaroz jel elektroforez sistemi (Thermo Scientifij EC 1000 XL Power Supply) Şekil 3.2.7’de verilmiştir.



Şekil 3.2.7. Jellerin koşulduğu elektroforez ünitesi.

Yürütülen DNA ürünlerinin görüntülenmesinde kullanılan UV görüntüleme sistemi (BIORAD Chemi DOC MP Imaging System) Şekil 3.2.8’de verilmiştir.

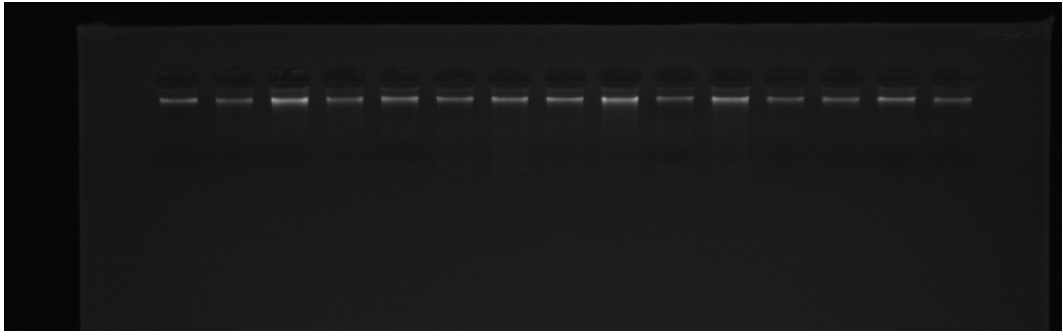


Şekil 3.2.8. UV transilatör.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. DNA Miktar ve Saflık Tayini

Buğday ve nohut bitkileri yapraklarından izole edilen DNA'lar agaroz jelde (% 1) görüntülenmiştir (Şekil 4.1.1). Pil yapımları için fazla miktarda (6 ml) DNA gerektiği için aynı bitkilerden alınan DNA'lar falkon tüplerde biriktirilmiştir.



Şekil 4.1.1. DNA'ların agaroz jel görüntüsü.

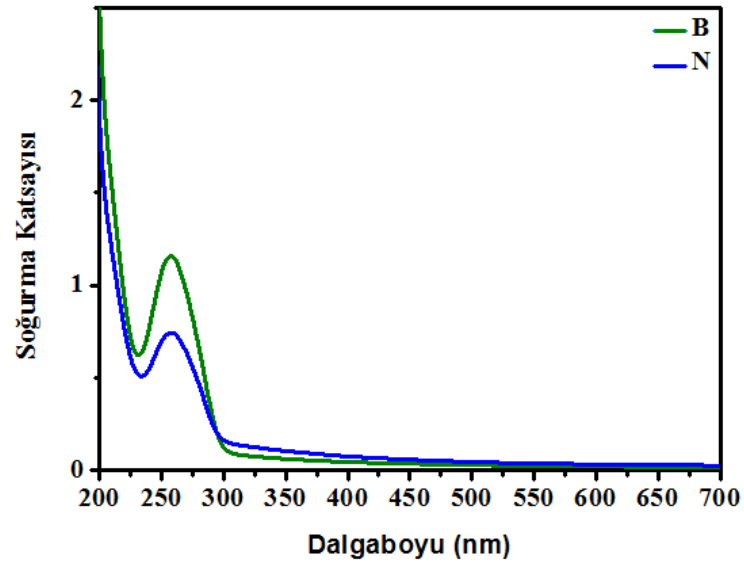
Spektriftometride 260 – 280 nm'de ölçümler alınarak DNA'da miktar ve saflık tayini yapılmıştır. 280 – 260 nm'deki ölçüm değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Spektrofotometrik ölçüm sonuçları.

DNA	260 (nm)	Seyreltme Oranı (%)	Miktar µg/ml
Buğday DNA'sı	0,045	49	110,3
Nohut DNA'sı	0,034	49	83,3

İzole edilen toplam buğday DNA'sı miktarı 110,3 µg/ml olarak hesaplanırken, nohut DNA'sı miktarı 83,3 µg/ml olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1).

Buğday ve nohut DNA'larının sıvı hallerinin spektrofotometrik absorban ölçümlerinde, önce zemin düzeltmesi yapılmış, yani çözücüden (su) geçen ışınım % 100 olarak normalize edilmiştir. Böylece numunelere ait optik soğurma spektrumları ölçülmüş ve Şekil 4.1.2'de verilmiştir.

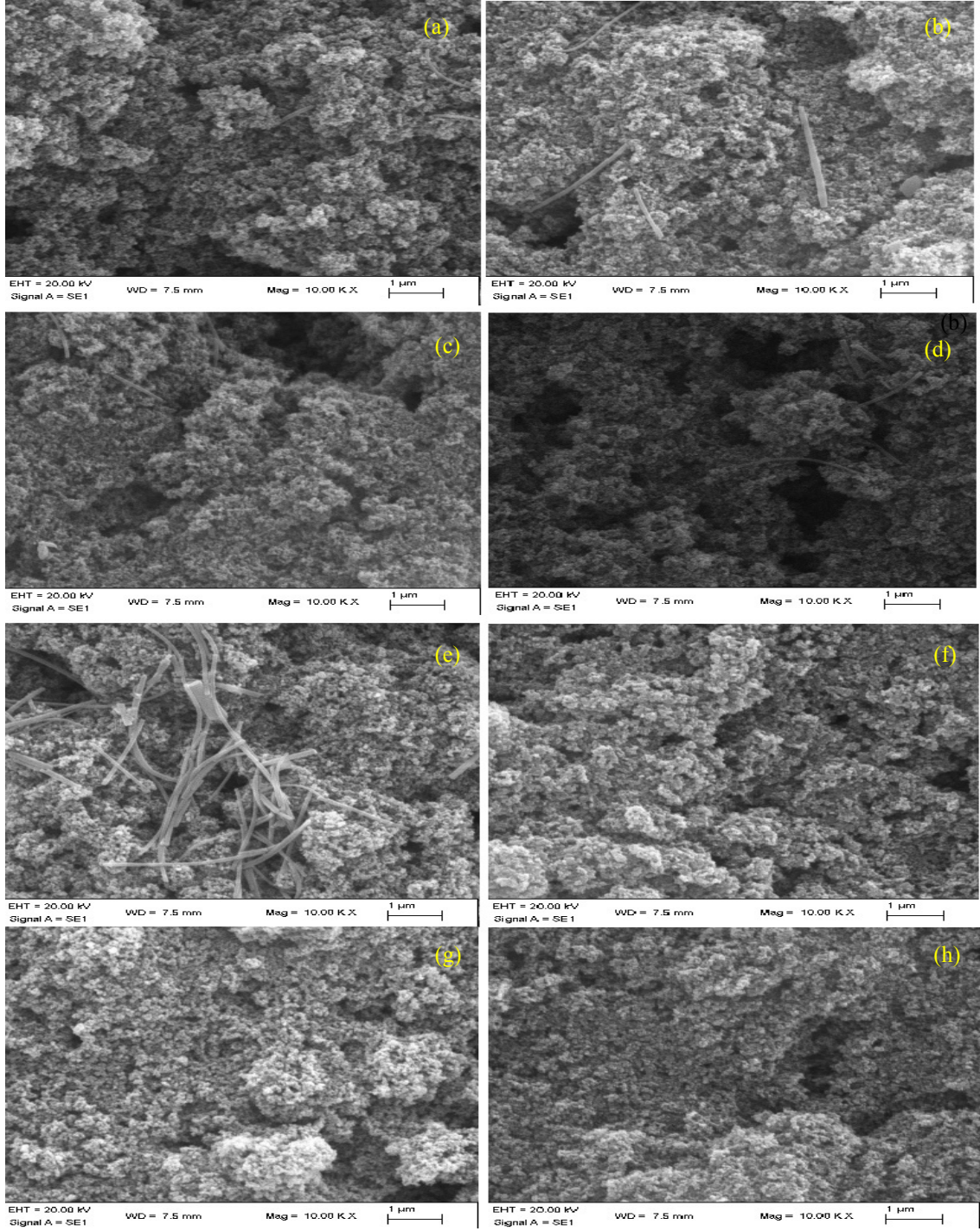


Şekil 4.1.2. DNA'ların sıvı formları için oda sıcaklığındaki absorbanans spektrumu.

Şekil 4.1.2' de görüldüğü üzere DNA'lar sadece UV bölgede 250-300 nm aralığında soğurum yapmaktadır ki bu aralık literatür ile uyumludur (Kundu ve Liang, 2008). Yaklaşık 270 nm'de buğday DNA'sının nohut DNA'sına oranla daha yüksek bir soğurma katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Bu farklılığın, buğday DNA'sının zincir uzunluğunun (13.000 Mb) ve ışığı fazla soğuran alkil grubunu yapısında barındıran adenin bazı miktarının nohut DNA'sına (750 Mb) göre daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Eisinger, 1968; Sutherland ve Griffin, 1981; Arumuganathan ve Earle, 1991; Leitch ve Bennett, 1997).

4.2. Farklı Yapılı Yarıiletken TiO₂ Filmlerin Morfolojik Karakterizasyonu

DNA molekülünün yarıiletken TiO₂ yüzeyinde tutunup tutunmadığını anlamak ve yüzey morfolojisini incelemek için SEM görüntüleri alınmıştır (Şekil 4.2.1). TiO₂ yüzeyleri incelendiğinde tanecikli yapıların DNA'lı yapılarda, saf TiO₂ yapıya nazaran daha belirgin olduğu ve bazı yüzey alanlarında topaklanmalar olduğu görülmektedir. Bu durum, hem buğday hemde nohut DNA'larının TiO₂ yüzeyine tutunmuş olduğunu fakat homojen bir dağılım yerine DNA'nın sarmal yapısına benzer çubuk şeklinde yapıların oluştuğunu göstermektedir.

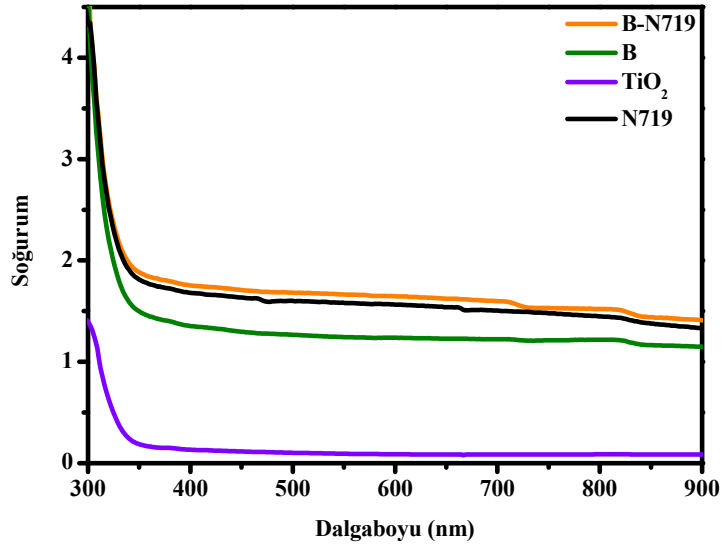


Şekil 4.2. 1. Çalışma elektrodlarının SEM görüntüleri (a) N (b) N-N719 (c) B-N-N719 (d) B-N (e) B (f) B-N719 (g) N719 (h) kaplama yapılmamış boş TiO₂.

4.3. Fotoanotların Optiksel Özellikleri

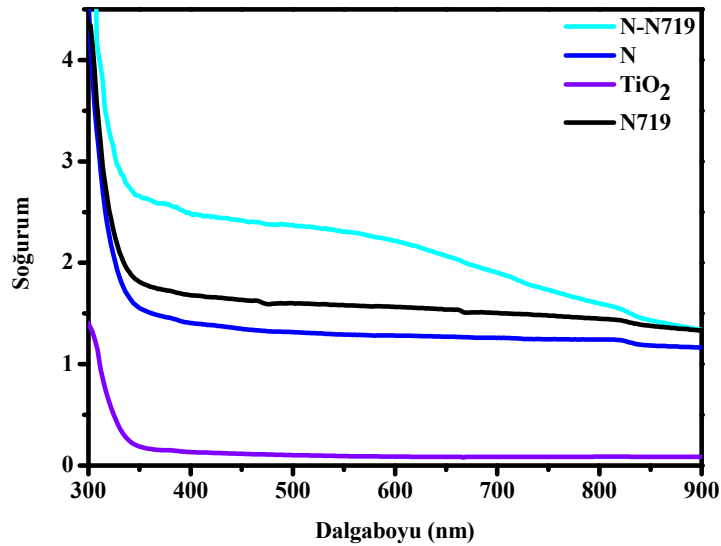
Bu tez çalışmasında, farklı FTO/TiO₂/duyarlılaştırıcı yapılarının soğurma spektrumları ölçülmüştür. Optiksel karakterizasyon ölçümleri için kullanılan UV-vis spektrofotometre sisteminin önce zemin düzeltmesi (baseline) yapılmış, yani FTO kaplı camdan geçen ışınım % 100 olarak normalize edilmiştir. Böylece numunelere ait optik geçirgenlik spektrumları ölçülmüştür.

TiO₂ yarıiletken yüzeyine kaplanmış B, N719 ve B-N719 fotoanotların ultra-viyole (300 – 400 nm), görünür (400 – 700 nm) ve yakın-kızıl ötesi (700 – 900 nm) bölgelerindeki soğurum grafikleri Şekil 4.3.1’de verilmiştir. Tüm fotoanotların hem UV bölgesindeki soğurumunun ciddi bir şekilde artması hem de görünür ve kızıl-ötesi bölgelerinde soğurumun TiO₂ yarıiletken tabakasına göre artması B-DNA’sının TiO₂ ve N719 ile kolaylıkla bağ yapabildiğini ve ışık soğurumunu ciddi oranda arttırdığını göstermektedir. Ayrıca, buğday DNA’sının N719 ile birlikte eş-duyarlılaştırıcı olarak kullanıldığı fotoanodun en yüksek soğuruma sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum, B-DNA’sının N719 ile birlikte eş-duyarlılaştırıcı olarak kullanılabileceğini net olarak ortaya koymaktadır.



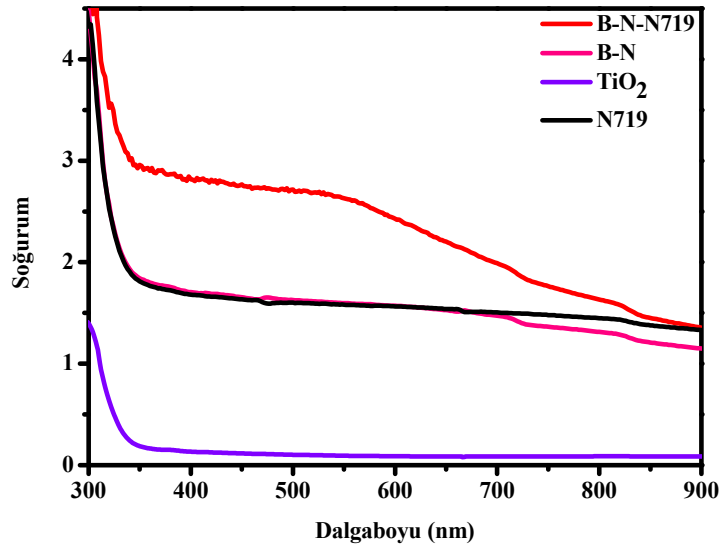
Şekil 4.3.1. Saf TiO₂ ve TiO₂ yüzeyine kaplanmış B, B-N719 ve N719 fotoanotlarının oda sıcaklığındaki soğurma spektrumları.

TiO₂ yarıiletken yüzeyine kaplanmış N, N719 ve N-N719 fotoanotların UV-vis-NIR bölgelerindeki soğurum grafikleri Şekil 4.3.2’de verilmiştir. Buğday DNA’sında görülen benzer soğurum özellikleri nohut DNA’sında da görülmektedir. Tüm fotoanotların soğurumunu artması, N-DNA’sının TiO₂ ve N719 ile kolaylıkla bağ yapabildiğini ve ışık soğurumunu ciddi oranda arttırdığını göstermektedir. Ayrıca, nohut DNA’sının N719 ile birlikte eş-duyarlılaştırıcı olarak kullanıldığı fotoanodun en yüksek soğuruma sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu sonuç, B-N719 ile kıyaslandığında N-N719 yapısının özellikle görünür bölgede daha yüksek bir soğuruma sahip olduğu görülmektedir. Bu artış N-DNA’sının N719 yapısı ile daha kolay bağ yapmasının yanında N719 yapısı içerisine difüze ettiği ve böylece yeni tuzak seviyeleri oluşturması ile açıklanabilir.



Şekil 4.3.2. Saf TiO₂ ve TiO₂ yüzeyine kaplanmış N, N-N719 ve N719 fotoanotlarının oda sıcaklığındaki soğurma spektrumları.

TiO₂ yarıiletken yüzeyine kaplanmış B-N, N719 ve B-N-N719 fotoanotların UV-vis-NIR bölgelerindeki soğurum grafikleri Şekil 4.3.3’de verilmiştir. B-N-DNA’larının N719 boyar maddesi ile benzer bir soğurum sergilediği görülmektedir. Ayrıca, B-N-DNA’larının N719 ile birlikte eş-duyarlılaştırıcı olarak kullanıldığı fotoanodun beklenildiği gibi en yüksek soğuruma sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu sonuç, BDGP’lerde boyar madde olarak en ideal yapının B-N-N719 yapısı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3.3. Saf TiO₂ ve TiO₂ yüzeyine kaplanmış B-N, B-N-N719 ve N719 fotoanotlarının oda sıcaklığındaki soğurma spektrumları.

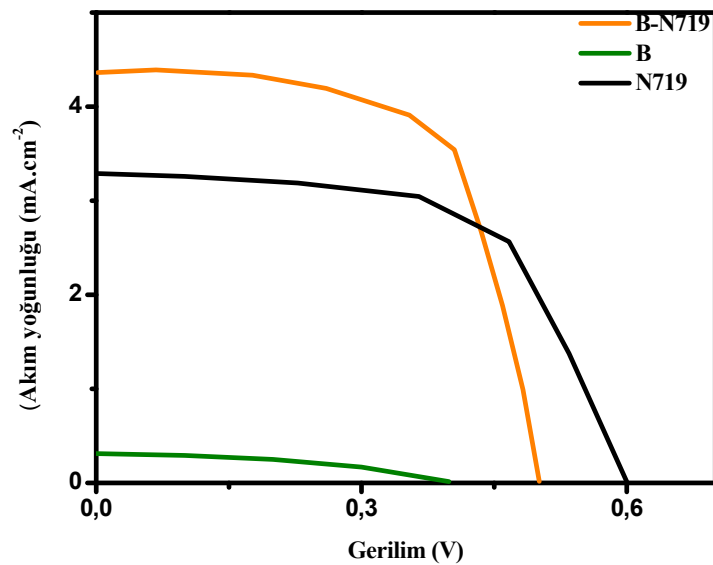
4.4. Üretilen Biyo-DGP Fotovoltaik Karakterizasyonu

4.4.1. Biyo-DGP'ne ait I-V (Akım-Gerilim) Karakterizasyonu

B ve N DNA’larının tek başına ve birlikte eş duyarlılaştırıcı olarak kullanıldığı Biyo-DGP’lerin yanında, bu DNA’ların N719 boyası ile birlikte eş-duyarlılaştırıcı olarak kullanıldığı güneş pilleri de üretilmiş ve akım yoğunluğu-gerilim (J-V) Şekil 3.10’da gösterilmiştir. 1 cm²’lik aktif alana sahip güneş pillerinin elektriksel karakterizasyonları 300 Watt/m² ışık şiddeti altında ölçülmüştür. Üretilen Biyo-DGP’lerin fotovoltaik

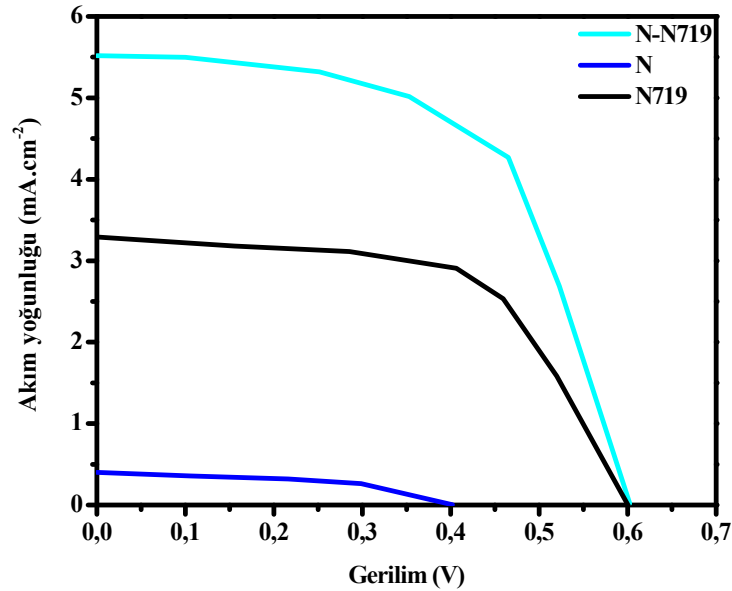
parametreleri; kısa devre akım yoğunluğu (I_{sc}), açık devre gerilimi (V_{oc}), doluluk oranı (FF) ve verimlilik değerleri (η) Çizelge 4.4.1’de verilmiştir.

Şekil 4.4.1’de B, N719 ve B-N719 duyarlaştırıcılarının kullanıldığı güneş pillerinin akım yoğunluğu-gerilim grafikleri verilmiştir. Tek başına duyarlaştırıcı olarak kullanılan B-duyarlı güneş pilinin, N719 ve B-N719 eş-duyarlılaştırıcı yapılar nazaran fotovoltaik özelliklerinin daha düşük olduğu Çizelge 4.4.1’de görülmektedir. Akım değerlerinin düşük olmasının nedeni, B duyarlılaştırıcısının sadece güneş spektrumunda % 7’lik kısmı içeren UV bölgede soğurma yapmasıdır. UV bölgenin yanında görünür bölgede de soğurma yapan N719 boyar maddesinin, B yapısı ile birlikte kullanılarak üretilen güneş pilinin açık devre geriliminde bir azalış gözlenirken, bunun tam aksine akım yoğunluğunda ise yaklaşık % 32’lik bir artış olduğu görülmektedir. Akım yoğunluğundaki bu artışın nedeni, UV bölgesindeki ışığın B yapısı yardımıyla daha fazla soğurulmasına ve güneş piline gelen ışık miktarının B DNA’sının sarmal yapısından dolayı içeride daha fazla tutulmasına atfedilebilir (Wang ve ark., 2010a; Wang ve ark., 2010b; Kumar ve ark., 2015; Lee ve Choi, 2015). Açık devre gerilimindeki azalma ise B-DNA’sının hem TiO_2 yarıiletkeninin iletim bandı seviyesini aşağıya doğru kaydırması hemde yeniden birleşme yani rekombinasyonu arttırması ile açıklanabilir (Sewvandi ve ark., 2014)



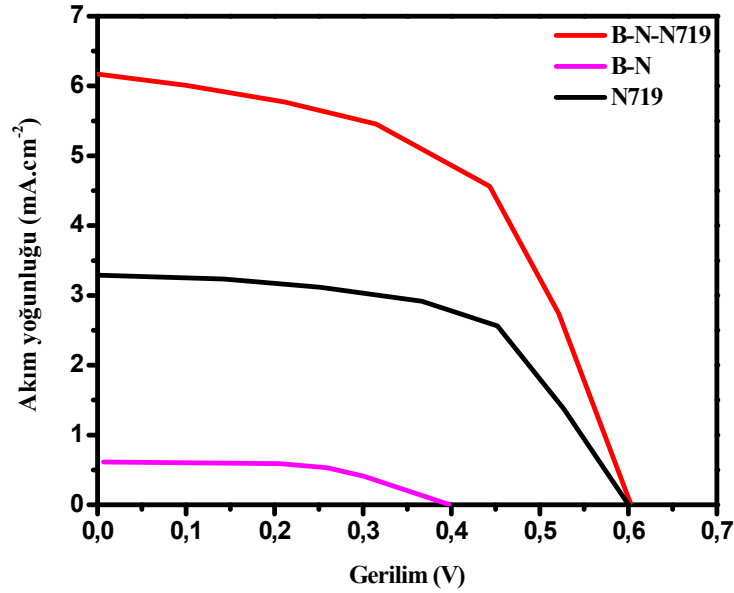
Şekil 4.4.1. B, B-N719 ve N719 boyar madde duyarlı güneş pillerinin akım yoğunluğu-gerilim (J-V) grafikleri.

Şekil 4.4.2’de N, N719 ve N-N719 duyarlaştırıcılarının kullanıldığı güneş pillerinin akım yoğunluğu-gerilim grafikleri verilmiştir. N-DNA’sı kullanılarak üretilen güneş piline ait fotovoltaik özelliklerin de N719 ve N-N719 eş-duyarlaştırıcılı yapılara nazaran daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni, N yapısında B yapısı gibi sadece UV bölgesinde soğurum yapmasıdır. N-tabanlı biyo-DGP ile B-tabanlı biyo-DGP’ler karşılaştırıldığında ise her iki yapısında hemen hemen eşit açık devre voltajı ve akım yoğunluğuna sahip oldukları görülmektedir. Bu durum, SEM görüntülerinden de açıkça görüldüğü gibi N yapısının TiO₂ yapısına daha iyi bağlandığını desteklemektedir. N-N719 ile B-N719-tabanlı biyo-DGP’ler karşılaştırıldığında da N yapısının kullanılarak üretildiği güneş pillerinin daha yüksek bir akım yoğunluğuna ve açık devre voltajına sahip olduğu Çizelge 4.4.1’de açıkça görülmektedir. Bu durum ise N yapısının hem TiO₂ hemde N719 yapılarına daha iyi bağlanmasının yanında bu iki tabaka arasında elektronların yeniden birleşmesini (rekombinasyon) engelleyen bir ara tabaka olarak elektron transferini olumlu yönde etkilediğini de göstermektedir.



Şekil 4.4.2. N, N-N719 ve N719 boyar madde duyarlı güneş pillerinin akım yoğunluğu-gerilim (J-V) grafikleri.

Şekil 4.4.3’de her iki bitki DNA’sının eş duyarlılaştırıcı olarak kullanıldığı B-N, tek başına N719 ve B-N-N719 eş-duyarlılaştırıcılarının kullanıldığı biyo-tabanlı güneş pillerinin akım yoğunluğu-gerilim grafikleri verilmiştir. B-N-duyarlı güneş piline ait fotovoltaiik özelliklerin de N719 ve B-N-N719 eş-duyarlılaştırıcı yapılarına nazaran daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Her iki bitki ile birlikte N719 yapısının eş-duyarlılaştırıcı olarak kullanıldığı güneş pili en yüksek akım yoğunluğu ($6,17 \text{ mA.cm}^{-2}$) değerine ve buna bağlı olarak en yüksek verimliliğe (% 6,83) sahiptir. Bu durum B ve N DNA’larının hem UV bölgedeki ışığı soğurduğundan dolayı eş-duyarlılaştırıcı olarak hemde TiO_2 ile N719 arasında elektron transfer bariyeri olarak kullanılabilceğini göstermektedir.



Şekil 4.4.3. B-N, B-N-N719 ve N719 boyar madde duyarlı güneş pillerinin akım yoğunluğu-gerilim (J-V) grafikleri.

Çizelge 4.4.1’de üretilen tüm güneş pillerinin fotovoltaiik parametreleri özetlenmiştir. Çizelge 4.4.1’de de açık bir şekilde görüldüğü üzere, en yüksek kısa devre akım yoğunluğu ($J_{sc}=6,17 \text{ mA.cm}^{-2}$), açık devre voltajı ($V_{oc}= 0,6 \text{ V}$) ve verimlilik (% 6,83) ile üçlü eş duyarlılaştırıcı B-N-N719 yapısında gözlenirken, en düşük fotovoltaiik özellikler ise B-DNA’sı kullanılarak yapılan güneş pilinde % 0,16 olarak ölçülmüştür.

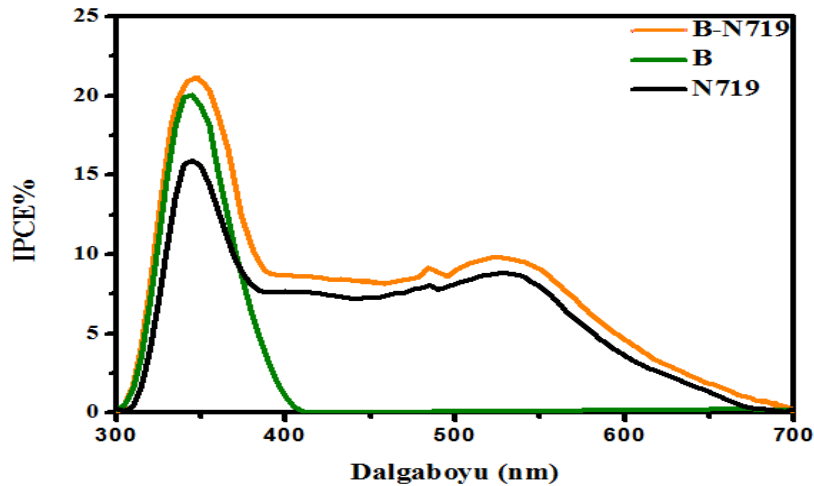
Çizelge 4.4.1. Üretilen biyo-DGP'lerin fotovoltaik parametreleri.

	V_{oc} (V)	J_{sc} ($mA \cdot cm^{-2}$)	J_{max} ($mA \cdot cm^{-2}$)	V_{max} (V)	FF	n(%)
N	0,4	0,33	0,29	0,30	68,1	0,30
B	0,4	0,31	0,20	0,25	53,4	0,16
B-N	0,4	0,61	0,28	0,51	59,4	0,48
B-N719	0,5	4,35	3,69	0,39	67,5	4,89
N-N719	0,6	5,51	4,38	0,45	60,0	6,61
B-N-N719	0,6	6,17	4,68	0,43	55,1	6,83
N719	0,6	3,29	2,61	0,44	58,3	3,83

4.4.2. Biyo-DGP'ye Ait IPCE (Kuantum Verimliliği) Karakterizasyonu

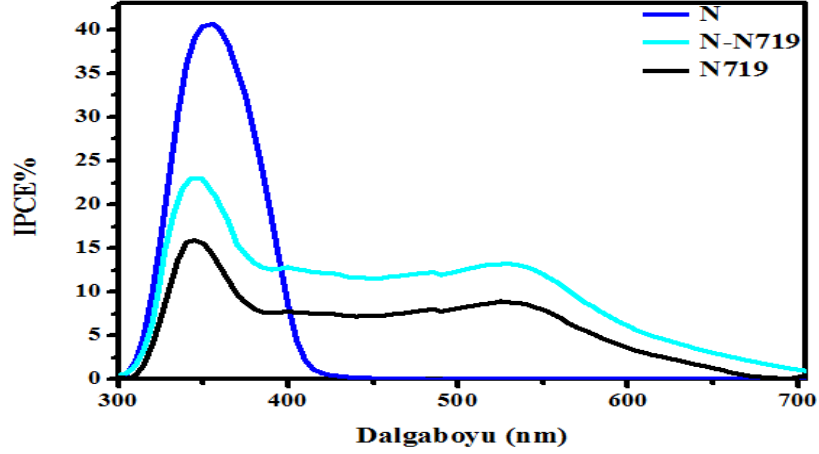
DNA ve DNA/N719 yapıları kullanılarak elde edilen güneş piline ait foton akım dönüşüm verimi (IPCE) grafikleri aşağıda verilmiştir. Biyo-DGP'lere ait IPCE grafikleri, UV ve görünür bölgelerde (300-700 nm) aktif alana gelen fotonların ne kadarının elektron kopardığını ve buna bağlı olarak akım oluşturduğunu hakkında bilgi verilmektedir.

DNA yapılı olan B ile oluşturulan güneş pilinin 300-400 nm arasında soğurum yaptığı ve en yüksek verimi 350 nm % 20 olduğu Şekil 4.4.2.1'de görülmektedir. B-N719 yapısında N719'a göre 350 nm'de verimi % 23 çıkarmasına ek olarak N719 yapıya göre genel olarak soğurmasını ve kuantum verimini artırmıştır. Bu artış I-V karakterizasyonunu da doğrular niteliktedir.



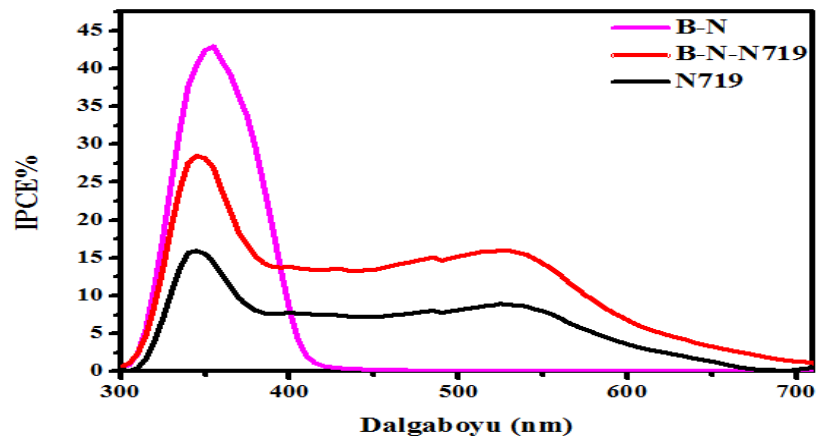
Şekil 4.4.2.1. B, B-N719 ve N719 yapılı güneş pilinin foton-akım dönüşüm verimi.

Şekil 4.4.2.2’de görüldüğü gibi N yapısı da B yapısı (Şekil 4.4.2.1) gibi sadece 300-400 nm de soğurma yapmakla birlikte en yüksek kuantum verimi % 40 olarak ölçülmüştür. N-N719’daki en yüksek verimlilik ise 350 nm’de % 22,5 olarak ölçülmüştür. N-N719 eş duyarlılaştırıcı olarak kullanıldığında N719 yapısına göre 300-700 nm aralığındaki tüm dalga boylarında % 5-12,5 aralığında bir artış görülmüştür.



Şekil 4.4.2.2. N, N-N719 ve N719 yapıları güneş pilinin foton-akım dönüşüm verimi.

Şekil 4.4.2.3’de B-N eş duyarlılaştırıcı olan yapı B (Şekil 4.4.2.1) ve N (Şekil 4.4.2.2) yapılarından daha verimli olduğu ve verimliliğin 350 nm’de % 42,5 olarak hesaplandığı görülmektedir. Her üç yapının da B-N-N719 eş duyarlılaştırıcı olan pillerde ise en yüksek kuantum verimliliği 350 nm’de % 27,5 olarak ölçülmüştür. Bu veriler ışığında daha önce verilmiş olan verilerinde doğruluğu yani soğurmanın ve verimliliğin artışının, DNA’nın N719 duyarlılaştırıcısını iyileştirdiği ifade edilebilir.



Şekil 4.4.2.3. B-N, B-N-N719 ve N719 yapıları güneş pilinin foton-akım dönüşüm verimi.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, buğday (*Triticum durum* L.) ve nohut (*Cicer arietinum* L.) bitkilerinin yapraklarından DNA ekstraksiyonu yöntemi ile buğday ve nohut DNA'ları izole edilmiş ve eş-duyarlaştırıcı olarak boya duyarlı güneş pillerinde kullanılmıştır. Farklı bitki DNA yapılarının boya duyarlı güneş pilleri üzerine etkisi optiksel, morfolojik ve fotovoltajik özelliklerinin karakterizasyonu ile incelenmiştir.

Yapılan optiksel analizler sonucu, buğday DNA'sının zincir uzunluğunun ve adenin bazı miktarının nohut DNA'sına göre daha fazla olmasından dolayı 270 nm'de buğday DNA'sının nohut DNA'sına oranla daha yüksek bir soğurma katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Morfolojik özelliklerin incelenmesinden elde edilen veriler incelendiğinde ise buğday ve nohut DNA'larının TiO₂ yüzeyine tutunmuş olduğunu fakat özellikle buğday DNA'sında homojen bir dağılım yerine DNA'nın sarmal yapısına benzer çubuk şeklinde yapıların oluştuğu görülmüştür.

TiO₂ yarıiletken yüzeyine kaplanmış B, N, B-N, N719, B-N719, N-N719 ve B-N-719 fotoanotlarının ultra-viyole (300 – 400 nm), görünür (400 – 700 nm) ve yakın-kızıl ötesi (700 – 900 nm) bölgelerindeki soğurma özellikleri incelenmiş ve referans saf TiO₂ yarıiletken tabakası ile karşılaştırılmıştır. Tüm fotoanotların ultra-viyole, görünür ve kızıl-ötesi bölgelerinde soğurumlarının TiO₂ yarıiletken tabakasına göre artması buğday ve nohut DNA'larının hem TiO₂ ve hem de N719 ile kolaylıkla bağ yapabildiğini ve ışık soğurumunu ciddi oranda arttırdığını göstermektedir. Ayrıca, B-N-DNA'larının N719 ile birlikte eş-duyarlılaştırıcı olarak kullanıldığı fotoanodun beklenildiği gibi en yüksek soğuruma sahip olduğu ve böylece BDGP'lerde boyar madde olarak en ideal kombinasyon olduğu tespit edilmiştir.

Buğday ve nohut DNA'larının tek başına ve birlikte eş duyarlılaştırıcı olarak kullanıldığı Biyo-DGP'lerin yanında, bu DNA'ların N719 boyası ile birlikte eş-duyarlılaştırıcı olarak kullanıldığı 1 cm²'lik aktif alana sahip güneş pilleri üretilmiş ve 300 Watt/m² ışık şiddeti altında fotovoltajik özellikleri incelenmiştir. N-tabanlı biyo-DGP ile B-tabanlı biyo-DGP'ler karşılaştırıldığında, her iki yapının hemen hemen eşit

açık devre voltajı ve akım yoğunluğuna sahip oldukları görüldüken, N719 ile birlikte eş-duyarlaştırıcı-tabanlı biyo-DGP'lerde, N yapısı kullanılarak üretilen güneş pillerinin daha yüksek bir akım yoğunluğuna ve açık devre voltajına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, N-DNA'sının B-DNA'sına oranla hem TiO₂ hemde N719 yapılarına daha iyi bağlanmasının yanında bu iki tabaka arasında elektronların yeniden birleşmesini (rekombinasyon) engelleyen bir ara tabaka olarak elektron transferini olumlu yönde etkilediğini de göstermiştir. Her iki bitki ile birlikte N719 yapısının eş-duyarlaştırıcı olarak kullanıldığı güneş pili en yüksek akım yoğunluğu (6,17 mA.cm⁻²) değerine ve buna bağlı olarak en yüksek verimliliğe (% 6,83) sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, buğday ve nohut DNA'larının hem UV bölgedeki ışığı soğurduğundan dolayı eş-duyarlaştırıcı olarak hemde TiO₂ ile N719 arasında elektron transfer bariyeri olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Mevcut literatür çalışmalarını incelendiğinde elde edilen bulguların Biyo-DGP alanında oldukça büyük yenilikler getireceği ve Biyo-DGP teknolojisinin geliştirilmesine, ilerlemesine yönelik olduğu kanısına varılmıştır. Bu özellikleri itibariyle literatürde daha önce çalışılmamış olan DNA/N719 boyarmadde duyarlı güneş pillerinin, BDGP güneş pilleri çalışmalarında önemli bir yer tutacağı düşünölmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Anta, J. A., Guillén, E. ve Tena-Zaera, R., 2012. ZnO-Based Dye-Sensitized Solar Cells. *The Journal of Physical Chemistry C*, 116(21), 11413-11425.
- Aşkar, Z., 2009. Organik Boya Uyarımlı Güneş Pillerinde Kullanılabilecek Yeni Perilen Türevlerinin Sentezi ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.*
- Arumuganathan, K. ve Earle, E. D., 1991. Nuclear DNA Content of Some Important Plant Species. *Plant Molecular Biology Reporter*, 9(3), 208-218.
- Bandyopadhyay, A., Ray, A. K. ve Sharma, A. K., 2007. Use of DNA in the Fabrication of Solid State Dye Sensitized Solar Cells. *Journal of Applied Physics*, 102(6), 4508.
- Bard, A. J., 1982. Design of Semiconductor Photoelectrochemical Systems for Solar Energy Conversion. *The Journal of Physical Chemistry*, 86(2), 172-177.
- Becquerel, A. E., 1839. Mémoire Sur Les Effets Électriques Produits Sous L'influence Des Rayons Solaires. *Comptes Rendus*, 9(567).
- Bequerel, A. E., 1839. Recherche Sur Les Effets de la Radiation Chimique de la Lumière Solaire, au Moyen des Courants Electriques. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 9, 145-149.
- Bennett, M. D. ve Leitch, I. J., 1995. Nuclear DNA Amounts in Angiosperms. *Annals of Botany*, 76(2), 113-176.
- Birkel, A., Lee, Y. G., Koll, D., Van Meerbeek, X., Frank, S., Choi, M. J. ve Tremel, W. 2012. Highly Efficient and Stable Dye-Sensitized Solar Cells Based on SnO₂ Nanocrystals Prepared By Microwave-Assisted Synthesis. *Energy & Environmental Science*, 5(1), 5392-5400.
- Calogero, G. ve Di Marco, G., 2008. Red Sicilian Orange and Purple Eggplant Fruits as Natural Ensitizers for Dye-Sensitized Solar Sells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(11), 1341-1346.
- Chapin, D. M., Fuller, C. S. ve Pearson, G. L., 1954. A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation Into Electrical Power. *Journal of Applied Physics*, (25), 676-677.
- Cherepy, N. J., Smestad, G. P., Grätzel, M. ve Zhang, J. Z., 1997. Ultrafast Electron Injection: Implications for a Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin Dye-Sensitized TiO₂ nanocrystalline electrode. *The Journal of Physical Chemistry B*, 101(45), 9342-9351.

- Cherian, S. ve Wamser, C. C., 2000. Adsorption and Photoactivity of Tetra(4-Carboxyphenyl) Porphyrin (TCPP) on Nanoparticulate TiO₂. *Journal of Physical Chemistry B*, 104(15), 3624-3629.
- Cherian, S. M., Bobryshev, Y. V., Tran, D., Sivaraman, A., Lord, R. S. A. ve Cherian, K.M., 2005. Cellular Destruction Following Transmyocardial Laser Revascularization (TMR). *Journal of Molecular Histology*, 36(4), 275-280.
- Doyle, J. J. ve Doyle, J. L., 1990. Isolation of Plant DNA From Fresh Tissue. *Focus*, 12, 13-15.
- Edelstein, A. S. ve Cammanata, R. C., 1996. Nano Materials: Synthesis, Properties and Applications. *Taylor and Francis Group*, 340.
- Eisinger, J., 1968. The excited states of nucleic acids. *Photochem. Photobiol*, 7, 597-612.
- Emslie, A. G., Bonner, F. T. ve Peck, L. G., 1958. Flow of a Viscous Liquid on a Rotating Disk. *Journal of Applied Physics*, 29(5), 858-862.
- Ernando, J. M. R. C. ve Senadeera, G. K. R., 2008. Natural Anthocyanin as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Devices. *Current Science*, 95(5), 10.
- Ferrere, S. ve Gregg, B. A., 2002. New Perylenes for Dye Sensitization of TiO₂. *New Journal of Chemistry*, 26(9), 1155-1160.
- Frank-Kamenetskii, M. D., 1997. Biophysics of the DNA Molecule. *Physics Reports*, 288(1), 13-60.
- Garcia, C. G., Polo, A. S. ve Iha, N. Y. M., 2003. Fruit Extracts and Ruthenium Polypyridinic Dyes for Sensitization of TiO₂ in Photoelectrochemical Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 160(1), 87-91.
- Gebeyehu, D., Brabec, C. J. ve Sariciftci, N. S., 2002. Solid-State Organic/Inorganic Hybrid Solar Cells Based on Conjugated Polymers and Dyesensitized TiO₂ Electrodes. *Thin Solid Films*, 403, 271-274.
- Gueymard, C., Myers, D. ve Emery, K., 2002. Proposed Reference Irradiance Spectra for Solar Energy Systems Testing. *Solar Energy*, 73, 443-467.
- Gómez-Ortiz, M. N., Vazquez-Maldonado, I. A., Perez-Espadas, A. R., Mena-Rejón, G.J. ve Oskam, G., 2010. Dye-Sensitized Solar Cells With Natural Dyes Extracted From Achitoe Seeds. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 94(1), 40-44.

- Grätzel, M., 2000. Perspectives for Dye-Sensitized Nanocrystalline Solar Cells. *Progress in Photovoltaics, Research and Applications*, 8(1), 171-185.
- Grätzel, M., 2005. Solar Energy Conversion By Dye-Sensitized Photovoltaic Cells. *Inorganic Chemistry*, 44, 6841-6851.
- Hagen, J., Li, W., Steckl, A., Grote, J. ve Hopkins F., 2006. Enhanced Emission Efficiency in Organic Light-Emitting Diodes Using Deoxyribonucleic Acid Complex as an Electron Blocking Layer. *Applied Physics Letters*, 88(17), 171109.
- Hagfeldt, A. ve Gratzel, M., 1995. Light-Induced Redox Reactions in Nanocrystalline Systems. *Chemical Reviews*, 95(1), 49-68.
- Hao, S., Wu, J., Huang, Y. ve Lin, J., 2006. Natural Dyes as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cell. *Solar Energy*, 80(2), 209-214.
- Hara, K., Kurashige, M., Dan-Oh, Y., Kasada, C., Shinpo, A., Suga, S., Sayama, K. ve Arakawa, H., 2003. Design of New Coumarine Dyes Having Thiophene Moieties for Highly Efficient Organic Dye Sensitized Solar Cells. *New Journal of Chemistry*, 27(5), 783-785.
- Haque, S. A., Tachibana, Y., Willis, R. L., Moser, J. E., Grätzel, M., Klug, D. R., ve Durrant, J. R., 1999. Parameters Influencing Charge Recombination Kinetics in Dye-Sensitized Nanocrystalline Titanium Dioxide Films. *The Journal of Physical Chemistry B*, 104, 538-547.
- Horiuchi, T., Miura, H. ve Uchida, S. 2004. Highly Efficient Metal-Free Organic Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 164(1), 29-32.
- Janfaza, S., Molaeirad, A., Mohamadpour, R., Khayati, M. ve Mehrvand, J., 2014. Efficient Bio-Nano Hybrid Solar Cells via Purple Membrane as Sensitizer. *BioNanoScience*, 4(1), 71-77.
- Kalyanasundaram K., ve Grätzel, M., 1998. Applications of functionalized transition metal complexes in photonic and optoelectronic devices. *Coordination Chemistry Review*, 77, 347-414.
- Kay, A. ve Graetzel, M., 1993. Artificial Photosynthesis I: Photosensitisation of TiO₂ Solar Cells With Chlorophyll Derivatives and Related Natural Porphyrins. *Journal of Physical Chemistry*, 97(23), 6272-6277.
- Kay, A. ve Graetzel, M., 1996. Low Cost Photovoltaic Modules Based on Dye Sensitized Nanocrystalline Titanium Dioxide and Carbon Powder. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 44(1), 99-117.

- Komori, T. ve Amao, Y., 2003. Dye Sensitized Solar Cell With The Near-Infrared Sensitisation of Aliminum Phthalocyanine. *Journal of Porpyrins Phthalocyanines*, 7(02), 131-136.
- Kumar, C. V., Novak, M. C., Benson, K. R., Baveghems, C., Thilakarathne, V. D., Stromer, B. S. ve Ross, F. M., 2015. Towards the Design of Bio-Solar Cells: High Efficiency Cascade Energy Transfer Among Four Donor-Acceptor Dyes Self- Assembled in a Highly Ordered Protein-DNA Matrix. *RSC Advances*, 5, 72416-72422.
- Kumara, G. R. A., Kaneko, S., Okuya, M., Onwonaagyeman, B., Konno, A. ve Tennakone, K., 2006, Shiso Leaf Pigments for Dye-Sensitized Solid Sate Solar Cell. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(9), 1220-1226.
- Kundu, S. ve Liang, H., 2008. Photochemical Synthesis of Electrically Conductive CdS Nanowires on DNA Scaffolds. *Advanced Materials*, 20(4), 826-831.
- Lee, H. ve Choi, S., 2015. A Micro-Sized Bio-Solar Sell for Self-Sustaning Power Generation. *Lab on a Chip*, 15, 391-398.
- Lee, K. W., Kim, K. M., Lee, J., Amin, R., Kim, B., Park, S. K., Lee, S. K., Park, S. H. ve Kim, H. J., 2011. A Two-Dimensional DNA Lattice Implanted Polymer Solar Cells. *Nanotechnology*, 22(37), 375202.
- Lents, N. H., 2009. DNA II: The Structure of DNA. <http://www.visionlearning.com/en/library/Biology/2/DNA-II/160> (Erişim Tarihi: 10.02.2016).
- Li, C., Yang, X., Chen, R., Pan, J., Tian, H., Zhu, H. ve Sun, L., 2007. Anthraquinone Dyes as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91(19), 1863-1871.
- Marinado, T., Nonomura, K., Nissfolk, J., Karlsson, M. K., Hagberg, D. P., Sun, L., Mori, S. ve Hagfeldt, A., 2010. How the Nature of Triphenylamine-Polyene Dyes in Dye-Sensitized Solar Cells Affects the Open-Circuit Voltage and Electron Lifetimes. *Langmuir*, 26, 2592-2598.
- Ner, Y., Grote, J.G., Stuart, J. A. ve Sotzing, G. A., 2009. White Luminescence from Multiple-Dye-Doped Electrospun DNA Nanofibers by Fluorescence Resonance Energy Transfer. *Angewandte Chemie International Edition*, 48(28), 5134-5138.
- Ocakoğlu, K., Krupnik, T., Van Den Bosch, B., Harputlu, E., Gullo, M. P., Olmos, J. D. J. ve Reek, J. N., 2014. Photosystem I-based Biophotovoltaics on Nanostructured Hematite. *Advanced Functional Materials*, 24(47), 7467-7477.
- O'regan, B. ve Grätzel, M., 1991. A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films. *Nature*, 353(6346), 737-740.
- Planck, M., 1901. Ueber das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum. *Annalen der Physik*, 4, 553-563.

- Polo, A. S. ve Iha, N. Y. M., 2006. Blue Sensitizers for Solar Cells: Natural Dyes from Calafate and Jaboticaba. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(13), 1936-1944.
- Sayama, K. ve Sugihara, H., Arakawa, H. 1998. Photoelectrochemical Properties of a Porous Nb₂O₅ Electrode Sensitized by a Ruthenium Dye. *Chemistry of Materials*, 10(12), 3825-3832.
- Sewvandi, G. A., Tao, Z., Kusunose, T., Tanaka, Y., Nakanishi, S., ve Feng, Q., 2014. Modification of TiO₂ Electrode With Organic Silane Interposed Layer for High-Performance of Dye-Sensitized Solar Cells. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6(8), 5818-5826.
- Sharma, G. D., Singh, S. P., Nagarjuna, P., Mikroyannidis, J. A., Ball, R. J. ve Kurchania, R., 2013. Efficient Dye-Sensitized Solar Cells Based on Cosensitized Metal Free Organic Dyes with Complementary Absorption Apectra. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5(4), 043107.
- Singh, B., Sariciftci, N. S., Grote, J. G. ve Hopkins, F. K., 2006. Bio Organic-Semiconductor-Field-Effect Transistor Based on Deoxyribonucleic Acid Gate Dielectric. *Journal of Applied Physics*, 100(2), 024514.
- Sirimanne, P. M., Senevirathna, M. K. I., Premalal, E. V. A., Pitigala, P. K. D. D. P., Sivakumar, V. ve Tennakone, K., 2006. Utilization of Natural Pigments Extracted From Pomegranate Fruits as Sensitizers in Solid State Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A:Chemistry*, 177(2), 324-327.
- Smestad, G. P. ve Graetzel, M., 1998. Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology: a Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Energy Converter. *Journal of Chemical Education*, 75(6), 752.
- Stadler, P., Oppelt, K., Singh, T. B., Grote, J. G., Schwödiauer, R., Bauer, S. ve Sariciftci, N. S., 2007. Organic Field-Effect Transistors and Memory Elements Using Deoxyribonucleic Acid (DNA) Gate Dielectric. *Organic Electronics*, 8(6), 648-654.
- Sutherland J. C., ve Griffin, K. P., 1981. Absorption Spectrum of DNA for Wavelengths Greater Than 300 nm. *Radiation Research*, 86(3), 399-410.
- Sönmezoğlu, S. ve Ateş Sönmezoğlu, Ö., 2011. Optical and Dielectric Properties of Double Helix DNA Thin Films. *Materials Science and Engineering*, 31(8), 1619-1624.
- Sönmezoğlu, S., Akyürek, C. ve Akış, H., 2014. Modification of Juglon Dye as A Sensitiser in Dye-Sensitized Solar Cells. *IET Optoelectronics*, 8(6), 270-276.
- Sönmezoğlu, S., Akyürek C. ve Akın, S., 2012. High-Efficiency Dye-Sensitized Solar Cells Using Ferrocene-Based Electrolytes and Natural Photosensitizers. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 45(42), 5101.

- Tachibana, Y., Moser, J. E., Grätzel, M., Klug, D. R. ve Durrant, J. R., 1996. Subpicosecond interfacial charge separation in dye-sensitized nanocrystalline titanium dioxide films. *Journal of Physical Chemistry*, 100, 20056-20062.
- Tamotsu, H., Miura, H. ve Uchida, S., 2004. Highly Efficient Metal-Free Organic Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 164, 29-32.
- Tekerek, S., 2009. TiO₂ Tabanlı Doğal Boyar Maddeli Güneş Pili Yapımı, *Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş.
- Tennakone, K., Kumarasinghe, A. R., Kumara, G. R. R. A., Wijayantha, K. G. U. ve Sirimanne, P. M., 1997. Nanoporous TiO₂ photoanode sensitized with the f lower pigment cyanidin. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 108(2), 193-195.
- Thavasi, V., Lazarova, T., Filipek, S., Kolinski, M., Querol, E., Kumar, A., Ramakrishna, S. ve Padrós, E. ve Renugopalakrishnan, V., 2009. Study on the Feasibility of Bacteriorhodopsin as Bio-Photosensitizer in Excitonic Solar Cell: A First Report. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 9(3), 1679-1687.
- Wang, Y., Yang, H. ve Xu, H., 2010a. DNA-Like Dye-Sensitized Solar Cells Based on TiO₂ Nanowire-Covered Nanotube Bilayer Film Electrodes. *Materials Letters*, 64(2), 164-166.
- Wang, Y., Liu, Y., Yang, H., Wang, H., Shen, H., Li, M. ve Yan, J., 2010b. An Investigation of DNA-Like Structured Dye-Sensitized Solar Cells. *Current Applied Physics*, 10(1), 119-123.
- Watson, J.D. ve Crick, F.H., 1953. Molecular Structure of Nucleic Acids. *Nature*, 171(4356), 737-738.
- Wenger, S., 2010. Strategies to Optimizing Dye-Sensitized Solar Sells: Organic Sensitizers, Tandem Device Atructures, and Numerical Device Modeling. *Doktora Tezi, École Polytechnique Federale De Lausanne*.
- Wongcharee, K., Meeyoo, V. ve Chavadej, S., 2007. Dye Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes Extracted From Rosella and Blue Pea Flowers. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91(7), 566-571.
- Winder, C. ve Sarıçiftçi, M. S., 2004. Low Bandgap Polymers for Photon Harvesting in Bulk Heterojunction Solar Cells. *Journal of Materials Chemistry*, 14(7), 1077-1086.
- Yamazaki, E., Murayama, M., Nishikawa, N., Hashimoto, N., Shoyama, M. ve Kurita, O., 2007, Utilization of Natural Carotenoids as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells. *Solar Energy*, 81(4), 512-516.

- Yumusak, C., Singh B., Sariciftci N. S. ve Grote, J. G., 2009. Bio-Organic Field Effect Transistors Based on Crosslinked Deoxyribonucleic Acid (DNA). *Gate Dielectric. Applied Physics Letter*, 95 (26), 263304.
- Zhang, D., Lanier, S. M, Downing, J. A., Avent, J. L., Lumc, J. ve Mchalea, J. L., 2008. Betalain Pigments for Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A:Chemistry*, 195(1), 72-80.
- Zhou, H., Wu, L., Gao, Y. ve MA, T., 2011. Dye-Sensitized Solar Cells Using 20 Natural Dyes as Sensitizers. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 219, 188-194.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serdal MUTLU
Uyruğu : TC.
Doğum Yeri ve Tarihi : ULUKIŞLA 01.04.1987
Telefon : 0553 610 34 69
e-mail : serdalmutlu51@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Üniversite	Bölüm	Bitirme Yılı
Lise	Ereğli Lisesi	Lise	2001 – 2003
Lisans	Atatürk Üniversitesi	Biyoloji	2007 – 2011
Lisans	Gümüşhane Üniversitesi	Hemşirelik	2013 – 2016
Yüksek Lisans	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	Biyoloji	2013 – 2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Görev yeri	Görev Ünvanı
2013-1014	Özel Er Ereğli Final Dergisi Dersanesi	Biyoloji Öğretmeni

YAYINLAR

Uluslararası kongre, sempozyum, panel, çalıştay gibi bilimsel, sanatsal toplantılarda poster olarak sunulan bildiri

Ö. Ateş Sönmezoğlu, S. Mutlu, S. Sönmezoğlu 2015. Enhancing Efficiency by Co-Sensitization with Employing Wheat DNA in Dye-Sensitized Solar Cells. Solar TR-3, 27-29 April 2015, p. 52, Ankara, Turkey, Poster.