

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOYA DUYARLI GÜNEŞ GÖZELERİNİN FOTOELEKTROKİMYASAL
PERFORMANSINA METOKSİ, DİMETİLAMİNO ve TRİMETOKSİ
ELEKTRON VERİCİ GRUPLARIN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Veysel DURMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA
Enstitü Bilim Dalı : ANALİTİK KİMYA
Tez Danışmanı : Prof. Dr. İlkay ŞİŞMAN

Haziran 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOYA DUYARLI GÜNEŞ GÖZELERİNİN FOTOELEKTROKİMYASAL
PERFORMANSINA METOKSİ, DİMETİLAMİNO ve TRİMETOKSİ
ELEKTRON VERİCİ GRUPLARIN ETKİSİ

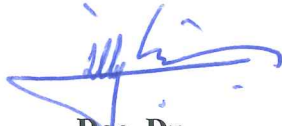
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Veysel DURMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA

Enstitü Bilim Dalı : ANALİTİK KİMYA

Bu tez 19.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Doç. Dr.
İlkay ŞİŞMAN
Jüri Başkanı



Doç. Dr.
Mehmet NEBİOĞLU
Üye



Doç. Dr.
Fatih SÖNMEZ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yagözemediğini, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Veysel DURMAZ

10/05/2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca, bilgi birikimleriyle destek sağlayan ve çalışma süresince gösterdiği sabır ve dayanışmadan dolayı tez danışmanım Doç. Dr. İlkey ŞİŞMAN'a şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarımın gerçekleşmesinde her türlü laboratuvar ve makine-teçhizat ihtiyaçları bakımından anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölüm Başkanı Prof. Dr. Abdil ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Tezime konu olan moleküllerin temini aşamasındaki katkılarından dolayı Doç. Dr. Mehmet NEBİOĞLU'na, laboratuvar çalışmalarında, güneş göze yapımında ve karakterizasyonunda bilgi ve deneyimleriyle destek olan Arş. Gör. Dr. Emre GÜZEL'e, Dr. Barış Seçkin ARSLAN'a ve yüksek lisans öğrencisi Tuğba KAYA'ya teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman arkamda varlığını hissettiğim aileme ve manevi destekleriyle zor zamanda yanımda olan dostlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) (Proje No: 117Z323) ve Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Koordinatörlüğü (Proje No: 2018-02-04-001) tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER	3
2.1. Türkiye ve Dünyada Yenilenebilir Enerji.....	3
2.1.1. Hidrolik enerji	3
2.1.2. Jeotermal enerji.....	4
2.1.3. Güneş enerjisi	4
2.1.4. Biyokütle enerjisi.....	4
2.1.5. Rüzgâr enerjisi.....	4
2.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli	5
2.3. Güneş Pilleri (Fotovoltaik Sistemler)	6
2.4. Güneş Enerjisi Kullanımı ile İlgili Öneriler	7
2.5. Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi	8
2.6. Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminde Örnek Maliyet Hesapları	9
2.7. Boya Duyarlı Güneş Gözeleri.....	10
2.7.1. Boya duyarlı güneş gözelerinin çalışma prensibi	10

2.7.2. BDGG’lerde kullanılan boyalar	13
2.7.3. BDGG’lerde fotoanot olarak kullanılan TiO ₂	13

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Materyal	15
3.2. Kullanılan Teknikler	15
3.3. BDGG Yapımı ve Fotoelektrokimyasal Testler	16

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ARAŞTIRMA VE SONUÇLAR	18
4.1. BDGG’lerde Kullanılan Naftiridin Türevleri	18
4.2. Bileşiklerin Optik ve Elektrokimyasal Özellikleri	19
4.3. BDGG’lerin Fotovoltaik Performansı	23

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ	27
KAYNAKLAR	28
ÖZGEÇMİŞ	34

SİMGELER VE KISALTMALAR

BDGG	: Boya duyarlı güneş gözesi
CV	: Dönüşümlü voltametri
FTO	: Flor katkılanmış kalay oksit
IPCE	: Foton-akım verim oranı
ITO	: İndiyum kalay oksit
N719	: Di-tetrabütülamonyum cis-bis(izotiyosiyanato)bis(2,2'-bipiridil-4,4'dikarboksilato) rutenyum(II)
UV	: Ultra viyole
ϵ	: Molar absorpsiyon katsayısı
C	: Konsantrasyon
FF	: Doluluk faktörü
f_{max}	: Maksimum frekans
η	: Enerji dönüşüm verimi
J_{sc}	: Kısa devre akımı
J_{max}	: Maksimum akım
λ	: Işıdalga boyu
L	: Işın yolu uzunluğu
P_{in}	: Gelen ışık şiddeti
V_{max}	: Maksimum voltaj
V_{oc}	: Açık devre voltajı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bir güneş pilindeki fotovoltajik olay	8
Şekil 2.2. Boya duyarlı güneş gözelerinden üretilmiş bir güneş paneli	11
Şekil 2.3. Bir güneş gözesindeki elektron akım şeması	12
Şekil 2.4. TiO ₂ 'nin kullanım alanları	14
Şekil 2.5. Fotosentezin şematik gösterimi	14
Şekil 3.1. Tipik bir BDGG'nin gösterdiği akım-voltaj (J-V) eğrisi	17
Şekil 4.1. 5a-c bileşiklerinin molekül yapıları	18
Şekil 4.2. 5a, 5b ve 5c bileşiklerinin (a) THF içinde 10 ⁻⁵ M derişimdeki çözeltilerinin ve (b-d) TiO ₂ üzerinde adsorbe hallerinin UV-vis absorpsiyon spektrumları	20
Şekil 4.3. 5a, 5b ve 5c bileşiklerinin (a) CV eğrileri ve (b) HOMO ve LUMO enerji seviyeleri diyagramı	22
Şekil 4.4. 5a, 5b ve 5c bileşiklerinden üretilmiş BDGG'lerin (a) J-V eğrileri ve (b) IPCE spektrumları	24
Şekil 4.5. N719'dan imal edilmiş BDGG'nin J-V eğrisi	24
Şekil 4.6. 5a, 5b ve 5c bileşiklerinden üretilmiş BDGG'lerin (a) Nyquist ve (b) Bode grafikleri	26

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı	5
Tablo 2.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	6
Tablo 4.1. Boya 5a,5b ve 5c boya bileşiklerinin elektro-optik özellikleri.....	21
Tablo 4.2. BDGG'lerin fotovoltaiik parametreleri	24

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Dibenzo [b, h] [1,6] naftiridin[1]; D- π -A organik boyalar; taşıyıcı π -köprü; elektron donör grupları; boya duyarlı güneş gözeleri.

Bu çalışmada, konjuge π köprüsü olarak kaynaşık dibenzo[b,h] [1,6]naftiridin, elektron akseptör/bağlayıcı grup (A) olarak siyanoakrilik asit ve elektron donör grup (D) olarak trimetoksi (**5a**), metoksi (**5b**) ve dimetilamino (**5c**) gibi gruplar içeren D- π -A organik bileşikleri boya duyarlı güneş gözeleri (BDGG) için ilk kez kullanılmıştır. Donör gruplarının BDGG'lerin performansı üzerindeki etkisi optik, elektrokimyasal, teorik ve fotovoltajik yöntemler kullanılarak sistematik olarak incelenmiştir. **5c** no'lu bileşiğin **5a** ve **5b** ile karşılaştırıldığında, dimetilamino grubunun diğerlerinden daha iyi elektron donör olmasından dolayı daha fazla fotonun absorpsiyonuna ve böylece daha fazla akımın oluşumuna imkân sağlayan daha geniş ve kırmızıya kaymış absorpsiyon spektrumuna sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, **5c** ile üretilen BDGG, **5a** ve **5b** ile duyarlılaştırılmış güneş gözelerinden (% 3,22 ve % 2,13) elde edilenlerden daha yüksek bir enerji dönüşüm verimi (% 5,02) (N719 esaslı tabanlı standart gözenin veriminin yaklaşık % 60'ı) göstermiştir. Elde edilen yüksek fotovoltajik performans, IPCE ölçümleriyle de teyit edilen yüksek fotoakımdan kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlar, kuvvetli bir elektron donör içeren dibenzo[b,h] [1,6]naftiridin π köprüsünün BDGG'ler için etkili D- π -A organik boyalar oluşturmak için umut verici bir aday olduğunu göstermektedir.

THE EFFECT OF METHOXY, DIMETHYLAMINO and TRIMETHOXY as ELECTRON DONOR GROUPS on PHOTOELECTROCHEMICAL PERFORMANCE of DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS

SUMMARY

Keywords: Dibenzo[b, h] [1,6]naphthyridine [1]; D- π -A organic dyes; Fused π -bridge; Electron donor groups; Dye-sensitized solar cells.

In this study, a new series of D- π -A organic dyes bearing fused dibenzo[b,h] [1,6]naphthyridine as the conjugated π -bridge, a cyanoacrylic acid moiety as the electron acceptor/anchoring group and different electron donor groups such as trimethoxy (**5a**), methoxy (**5b**) and dimethylamino (**5c**) were examined in dye-sensitized solar cells (DSSCs) for the first time. The effect of donor groups on the performance of the DSSCs was systematically investigated using optical, electrochemical, theoretical and photovoltaic methods. Compared to dyes **5a** and **5b**, **5c** showed a broader and more red-shifted absorption spectrum due to stronger electron donating ability of dimethylamino moiety, which is beneficial for absorbing more photons and thus generating high photocurrent. As a result, the DSSC fabricated with dye **5c** has the highest power conversion efficiency of 5.02% (~60% relative to N719-based standard cell), which is greater than those obtained by **5a** and **5b**-sensitized solar cells (3.22% and 2.13%, respectively). The improved photovoltaic performance mainly came from better photocurrent, as also confirmed by IPCE measurements. These results suggest that dibenzo[b,h] [1,6]naphthyridine π -bridge bearing a strong electron donor group is a promising candidate to construct effective D- π -A organic dyes for DSSCs.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Silisyum esaslı güneş gözelerine göre alternatif olarak gelecek vaat eden boya duyarlı güneş gözeleri (BDGG), düşük maliyetli, kolay üretim, şeffaflık, renklilik, esneklik ve yüksek kararlılık (stabilite) gibi özellikleri nedeniyle büyük ilgi görmektedir [2-4]. Kuşkusuz, BDGG'lerin enerji dönüşüm verimliliği (η), ışık absorpsiyonuna ve elektron emisyonuna bağlı olduğu için duyarlılaştırıcılardan (boya bileşiklerinden) etkilenir [5]. Bugüne kadar, rutenyum, porfirin ve metal içermeyen organik boyalarla yapılan BDGG'lerin ölçülen en yüksek verimler, % 11,5 [6], % 13,0 [7] ve % 13,0 [8] şeklinde elde edilmiştir. Organometalik boyalarla karşılaştırıldığında, metal içermeyen organik boyalar, yüksek molar absorpsiyon katsayısı, kolay moleküler tasarım/sentez, ayarlanabilir optik özellikler ve düşük maliyet gibi önemli avantajlara sahiptir [9]. Ayrıca yakın zamanda Cu (II)/Cu (I) elektrolitinin varlığında, XY1b ve Y123 kodlu iki metal içermeyen organik boyaların ortak duyarlılığına dayanan BDGG'nin bina içi ya da ortam (yapay) ışığı altında (1000 lux) % 31,8 gibi bugüne kadar herhangi bir fotovoltaiik panelin ulaşamadığı en yüksek verim değeri elde edilmiştir [10]. Bu nedenle, metal içermeyen organik boyalar verimli BDGG'ler için uygun duyarlılaştırıcılar olarak kabul edilebilir. Genel olarak, metal içermeyen organik boyalar, D- π -A yapısı adı verilen bir elektron alıcı (A) grupla birleştirilmiş π konjuge köprülü bir elektron donör (verici) (D) kısımdan oluşur [5]. Bir D- π -A organik boya ışığı absorpladığında, π konjuge köprüsü aracılığıyla donörden alıcıya TiO₂'nin iletken bandına etkin elektron enjeksiyonunu sağlayan molekül içi yük transferi (ICT) gerçekleşir [11]. ICT sürecini doğrudan etkilediği için D- π -A organik boyalarına dayalı BDGG'ler için π köprüsü oldukça önemlidir [12]. Tiyofen türevleri [12,13,14], fenilen [15], perilen [16], floren [17], furan [18], antrasen [19], kinolin [20] ve benzotiyadiazol [21] gibi çeşitli π -köprüleri BDGG'ler için kullanılmıştır.

Bu π -köprüler arasında, kaynaşık aromatik sistemler, fotovoltaiik performansı arttırmada yararlı olan görünür ışık bölgesinde geniş ve yoğun bölgede absorpsiyon sergilerler [12,22]. Bu kaynaşmış sistemlerin düzlemsel yapısı, verici ve alıcı arasındaki elektronik iletişimi de kolaylaştırabilir [23]. Naftiridinler, her aromatik halkada bir azot atomu içeren kaynaşık heterohalkalılarından olup, yapıları gereği iyi bir düzlemsellik ve konjügasyon gösterirler [24]. Naftiridin türevlerinin rutenyum esaslı duyarlılaştırıcılarda ligandlar [25,26] ve moleküler tanıma çalışmalarında da floresan probalar olarak kullanıldıkları bilinmektedir [27]. Ancak, BDGG'ler için sentezlenen D- π -A organik boyaların yapısında π köprüsü olarak naftiridin türevlerinin kullanıldığına dair herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışması kapsamında, kaynaşık π köprüsü olarak iki piridin biriminin iki benzen halkası ile birleştirildiği dibenzo[b,h] [1,6]naftiridin yapısını içeren üç adet D- π -A bileşiğiyle BDGG yapımı ve fotovoltaiik karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Türkiye ve Dünyada Yenilenebilir Enerji

İnsanoğlunun enerji ihtiyaçlarının büyük bir kısmını karşıladığı fosil yakıtlar hem tükenmekte hem de kullanıldıkça çevreye zarar vermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtların alternatifi olup, günümüzde onlarla ilgili enerji teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisidir. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemiz, birçok ülkede bulunmayan jeotermal enerjide dünya potansiyelinin % 8'ine, coğrafi konumundan dolayı önemli bir güneş enerjisi potansiyeline, yer şekil özellikleri nedeniyle önemli bir hidrolik enerji potansiyeline ve ciddi bir rüzgâr potansiyeline sahiptir [42].

2.1.1. Hidrolik enerji

Yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri hidrolik enerjidir. Bu enerjinin en yaygın kullanım şekli, nehirler üzerine barajlar inşa ederek suyu rezervuarlarda biriktirmek, biriken suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak türbinlerde elektrik enerjisi üretmektir. Bu amaçla hidroelektrik santrallerden (HES) yararlanılmaktadır.

2.1.2. Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, yerkürenin doğal ısısı olup, yer kabuğunun derinliklerinde birikmiş olan basınç altındaki sıcak akışkan (su buharı, gaz) ve sıcak kuru kayaların içerdiği termal enerji olarak tarif edilmektedir.

2.1.3. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneşte bulunan hidrojen gazını helyuma dönüştüren füzyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkan çok güçlü bir enerjidir. Güneş ışınları vasıtasıyla dünyamıza gelen bu enerjiden yararlanmak için güneş kollektörleri, güneş santralleri ve güneş pilleri (fotovoltaik piller) gibi teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojiler sayesinde güneş enerjisi, ya ısı enerjisi olarak ya da elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılabilir.

2.1.4. Biyokütle enerjisi

Biyokütle enerjisi, içerisinde karbonhidratlı bileşikler bulunan bitkisel ve hayvansal kökenli maddelerden elde edilen enerji kaynağıdır. Günümüzde, biyokütle enerji kaynakları kullanılarak biyoetanol, biyodizel ve biyogaz gibi yakıtlar elde edilmektedir. Biyoetanol ve biyodizel, çeşitli bitkiler veya hayvansal yağlar kullanılarak üretilen bir yakıt türüdür. Biyogaz ise organik maddelerin (bitkisel ve hayvansal atıklar, şehir ve endüstriyel atıklar) oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucu oluşan ağırlıklı olarak metan ve karbondioksit gazlarıdır [43, 44].

2.1.5. Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr enerjisi, güneş ışığının yer yüzeylerini farklı ısıtmasından kaynaklanmaktadır. Denizlerin ve havanın farklı ısınması bir basınç farkı oluşumuna, bu basınç farkı ise havanın hareketine neden olmaktadır. Yüksek basınçtan alçak basınca doğru olan havanın bu hareketi rüzgâr olarak bilinmektedir. Rüzgâr enerjisinden mekanik enerji veya elektrik enerjisi üretmek amacıyla

yararlanılmaktadır. Elde edilen mekanik enerji genel olarak evlerde ve çiftliklerde sulama amacıyla kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretmek amacıyla ise rüzgâr enerjisi santrallerinden yararlanılmaktadır.

2.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1700 katıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti ise 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Buna göre Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde ülkemiz yılda birim metre karede ortalama olarak 1100 kWh’lik güneş enerjisi üretebilir [48, 49, 50]. Tablo 2.1.’de Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin aylara göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 2.1. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı [48, 49].

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (saat/ay)
	(kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311,00	2640
Ortalama	308,0 cal/cm²-gün	3,6 kWh/m²-gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Tablo 2.2.'de Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 2.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [48, 49].

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi	En çok güneş enerjisi (Haziran)	En Az güneş enerjisi (Aralık)	Ortalama güneşlenme süresi	En çok güneşlenme süresi (Haziran)	En az güneşlenme süresi (Aralık)
	kWh/m ² - yıl	kWh/m ²	kWh/m ²	saat/yıl	saat	saat
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	82

Buna göre genel olarak Türkiye’de en çok ve en az güneş enerjisi üretilecek aylar sırası ile Haziran ve Aralık olmaktadır. Bölgeler arasında ise öncelikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri gelmektedir. Güneş enerjisi üretiminin yok denecek kadar az olduğu Karadeniz bölgesi dışında yılda birim metre kareden 1100 kWh’lik enerji üretilebilir ve toplam güneşli saat miktarı ise 2640 saattir. Buna göre Türkiye’de toplam olarak yıllık alınan enerji miktarı ise yaklaşık 1015 kW saat kadardır [49]. Ancak, bu değerlerin Türkiye’nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar [47]. EİE’nin ölçüm yaptığı 8 istasyondan alınan yeni ölçümler ve DMİ verileri yardımı ile güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri değerleri hesaplanarak bir kitapçık halinde basılmış ve EİE’in internet sitesinde satışa sunulmuştur.

2.3. Güneş Pilleri (Fotovoltaik Sistemler)

Güneş pilleri, halen elektrik şebekesinin olmadığı yerleşim yerlerinden uzak yerlerde ekonomik yönden uygun olarak kullanılabilir. İstenen güçte kurulabilmeleri

nedeniyle genellikle sinyalizasyon, kırsal elektrik ihtiyacının karşılanması gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Ülkemizde halen telekom istasyonları, yangın gözetleme istasyonları, deniz fenerleri ve otoyol aydınlatmasında kullanılan güneş pili kurulu gücü 300 kW civarındadır [34]. Ülkemizde güneş enerjisi kullanımında kaynak anlamında bir sorun olmamakla beraber elektrik üretiminde uygulanacak yöntem açısından bazı bölgesel farklılıklar bulunmaktadır. Fotovoltaik sistemler ile bulutlu veya açık her türlü hava şartlarında elektrik üretilebilirken, yoğunlaştırıcı sistemlerde (termik ve mekanik dönüşüm) direk ışınım, yani açık hava gerekli olmaktadır. Bu nedenle, termik ve mekanik dönüşümlü üreteçler için Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinin tercih edilmesi gerekirken, fotovoltaik üreteçler için Doğu Karadeniz Bölgesi dışındaki tüm bölgeler uygundur [51].

2.4. Güneş Enerjisi Kullanımı ile İlgili Öneriler

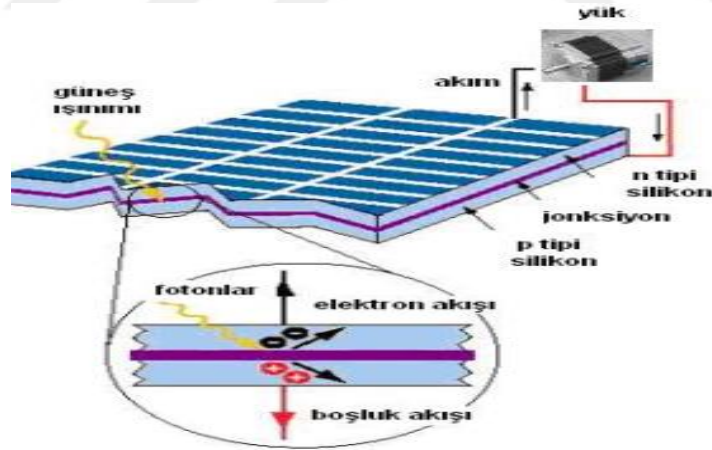
Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından iyi durumda olmasına rağmen ne yazık ki bu potansiyeli yeterince etkin ve yaygın kullanamamaktadır. Bunun sebeplerinden biri olarak kurumlar arası koordinasyon eksikliği gösterilebilir. Ancak buna rağmen ülkemizde güneş enerjisi hakkındaki çalışmalar oldukça uzun zamandır yapılmaktadır. Kamu kurum ve kuruluşlarında, üniversitelerimizde ve konu ile ilgili kurulmuş vakıf ve derneklerde güneş enerjisinden etkin biçimde faydalanmak için çalışmalar sürdürülmektedir. TSE, güneş enerjisi ile standartları çıkarmaya başlamış olup ayrıca TÜBİTAK tarafından düzenlenen ilk güneş arabaları yarışları düzenlenmektedir. Konu ile ilgili olarak ilk kanun, 10.05.2005 tarihinde 5346 sayı ile “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” [42] olarak çıkarılmıştır.

Türkiye’de güneş enerjisinin kullanımı (sıcak su elde edilmesi dışında) genelde bilinmemekte ve tanıtımı yapılmamaktadır. Dolayısıyla, bu konuda hizmet verecek mühendislik, müşavirlik ve müteahhitlik firmaları ve ilgili sanayi gelişmemektedir. İlk yatırım giderleri yüksek olan, ancak yakıt masraflarının olmaması nedeniyle işletme masrafları bulunmayan çevre ile uyumlu, güneş kaynaklı enerji üretim sistemlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli uzun vadeli finansman imkânı

sağlandığında bu teknolojiler gelişecek ve enerji darboğazlarının konuşulduğu ülkemizde bu kaynaktan en üst seviyede faydalanmanın yolu açılmış olacaktır.

2.5. Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi güneş pilleri, güneş hücreleri ya da fotovoltaik piller olarak adlandırılan yarıiletken maddeler ile sağlanmaktadır. Fotovoltaik piller, algıladıkları foton enerjisinden eşit sayıda pozitif (boşluk) ve negatif (elektron) yükler oluşturarak güneş enerjisini doğrudan kullanılabilir yararlı elektrik enerjisine dönüştürürler [52]. Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanılarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan yarı iletken maddeler; kristal silisyum, amorf silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür, bakır indiyum diselenürdür. Doğada en yaygın olarak bulunan silisyum, ticarileşmiş güneş pillerinin en yaygın kullanılanıdır [53]. Şekil 2.1’de fotovoltaik etkiyle güneş pilinden elektrik enerjisi üretimi gösterilmektedir. Güneş ışını güneş piline ulaştığında, pildeki yarıiletkenlerde gerçekleşen elektron alışverişi sonucu elektrik akımı üretimi sağlanabilmektedir.



Şekil 2.1. Bir güneş pilindeki fotovoltaik olay [55].

Güneş pilleri; uzun ömürlü, dayanıklı ve kayda değer bir çevre kirliliği oluşturmayan yarıiletken aygıtlardır. Çalışmaları sırasında hiçbir elektriksel sorun çıkarmazlar ve çok az bakım gerektirirler. Modüler yapıda olan güneş pilleri birbirlerine seri ve paralel bağlanabilirler. Çok küçük güç gereksinimlerini karşılayabildikleri gibi, kendi başına bir güç santrali gibi de çalışabilirler [40]. Güneş enerjisi; güneş pilinin

yapısına bağılı olarak, % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir [41]. Güneş pillerinin maliyetlerinin yüksek olduğu günümüzde elde edilen elektrik çıkış gücü oldukça az olmaktadır. Fakat teknolojinin gelişimi ile beraber güneş pillerinin verimini yükseltmede birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler kısaca; MPPT (Maksimum Güç Takibi) yöntemi ile maksimum güç noktasının yakalanması, güneş takip sistemi ile güneşin doğuş ve batış saatleri esas alınarak güneş pillerinin güneşi takip etmesinin sağlanması ve güneş pili sıcaklık korunumu ve iklimlendirme gibi yöntemlerdir. Bu ve benzeri yöntemler ile güneş pillerinin verimi yükseltilebilmekte ve yatırım için ilerleyen zamanlarda güneş pillerini uygulanabilir ve olanaklı kılmaktadır.

2.6. Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminde Örnek Maliyet Hesapları

Dış aydınlatmanın güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ile sağlanarak çevre dostu enerji ile beslenmesi için örnek bir çalışmaya değinilecektir. Günümüzde, özellikle gelişmiş ülkelerde bazı park ve bahçelerde dış aydınlatma güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisi ile sağlanmaktadır. Çalışmada verilen fiyatlar dünya güneş enerjisi pazarında ortalama ele alınabilecek bir fiyatlandırma tahmini yapılarak ele alınmıştır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ile ilgili yapılan tüm bilimsel araştırmalardan sonra güneş enerjisiyle elektrik enerjisi üretiminin ne ölçüde olabileceği, nerede kullanılabileceği konusunda ihtiyaç belirlenmiştir. İlk etapta ortalama bir fabrikanın aydınlatma hususu gündeme alınmış ve gerekli hesaplar yapılmıştır. Aydınlatma direk sayısı arttıkça hesap da aynı oranda artırılabilir. Ortalama bir hesap yapıldığında; bir fabrikada 5 adet aydınlatma direği olduğu düşünülürse ve her bir aydınlatma direğinde 100 watt'lık projektörler bulunduğu ve bu projektörlerin ortalama 8 saat/gün çalıştığı varsayıp elektriğin birim fiyatı 0,272 TL olarak alınırsa; $100 \text{ watt} \times 5 \text{ aydınlatma direği} \times 8 \text{ saat} = 4000 \text{ watt/gün}$, (4 kW/gün) $4 \text{ kW} \times 0,272 \text{ TL} = 1,088 \text{ TL}$ (bir günde harcanan elektriğin fiyatı), $1,088 \text{ TL} \times 30 \text{ gün} = 32,64 \text{ TL}$ (bir ayda harcanan elektriğin fiyatı) ve $32,64 \text{ TL} \times 12 \text{ ay} = 391,68 \text{ TL}$ (bir yılda harcanan elektriğin fiyatı) sonuçları elde edilir. Ayrıca araştırmalarla beraber 100 watt'lık normal bir projektörün ortalama olarak 12

watt'lık LED aydınlatmalı bir projektöre eşdeğer olduğu varsayılırsa, sonuçta enerji tüketimi 4000 watt/gün'den 480 watt/gün'e düşecektir.

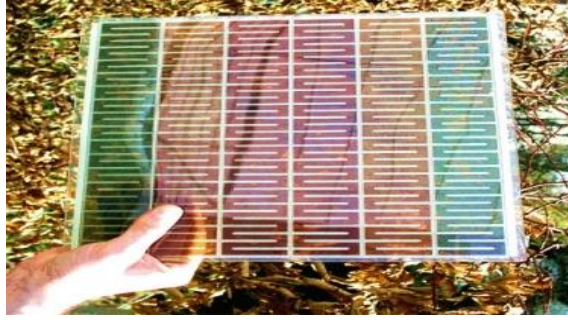
2.7. Boya Duyarlı Güneş Gözeleri

Boya duyarlı güneş gözeleri (BDGG), yenilenebilir enerji kaynaklarında silisyum güneş pillerine bir alternatif olabilir. Son yıllarda artmakta olan enerji ihtiyacı bireysel ve kurumsal kullanıcıları doğal olarak yeni enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Bilindiği üzere iki çeşit güneş gözei vardır. Sıkça kullanılanları inorganik (silisyum gibi) güneş gözeleri ve daha sonra üretime geçen ince ve kaplanabilir (CdTe gibi) güneş panelleridir. Ancak son yıllardaki yoğun araştırmalar neticesinde yaygınlaşan ve gün geçtikçe önem kazanan bir güneş paneli daha mevcuttur, bunlar ise boya duyarlı güneş gözeleridir.

Duyarlaştırıcı boya ya da boyar madde, piyasa üzerinde fazla çeşitliliğe sahip bir üründür. Bu ürün bitki ve doğal maddelerden elde edildiği gibi sentetik (yapay) olarak da elde edilebilir. Boyar maddenin panel içerisindeki görevi ise ışığı absorbe etmektir.

2.7.1. Boya duyarlı güneş gözelerinin çalışma prensibi

Güneş ışığından elektrik üretimi ilk kez 1954 yılında Bell Laboratuvarlarında silisyum kullanılarak yapılmıştır. Günümüzde ticarileşen silisyum esaslı güneş pillerinin üretimlerinin maliyetli ve toksik kimyasallar gerektirmesi gibi dezavantajları vardır. Oysa BDGG'lerde söz konusu dezavantajlar bulunmamaktadır. Rutenyum polipiridil esaslı ilk BDGG, 1991 yılında Michael Grätzel ve O'Regan tarafından geliştirilmiş ve günümüze kadar meydana gelen gelişmelerle % 10 laboratuvar verimliliğine ulaşmıştır [2]. Şekil 2.2.'de BDGG'lerden ibaret örnek bir güneş paneli sunulmaktadır. Mevcut silisyum esaslı p-n eklem tipi güneş gözelerinden farklı olarak, bitkilerde de gözlenebilen fotoelektrokimyasal mekanizmalarla çalışan boya duyarlı güneş gözelerinin bu özelliği yapay fotosentez olarak da adlandırılabilir [1].

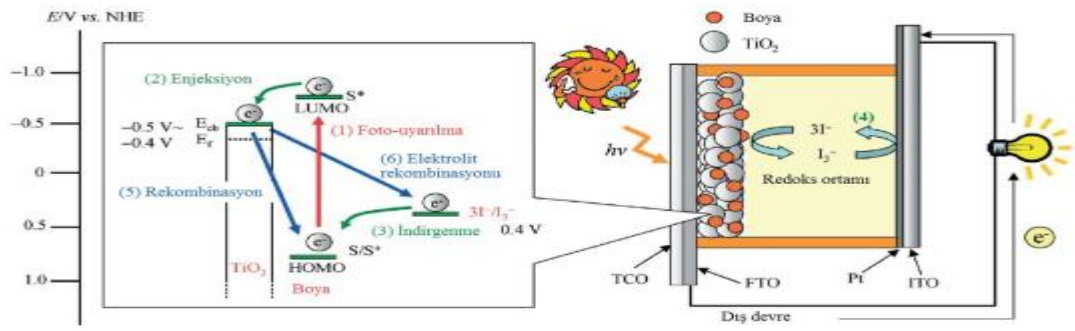


Şekil 2.2. Boya duyarlı güneş gözelerinden üretilmiş bir güneş paneli [57]

Bir BDGG, güneşten gelen ışığı organik molekül tabakası ile absorbe eden ve doğrudan elektrik enerjisine çeviren bir cihazdır. Üçüncü nesil güneş gözeleri olarak adlandırılan ve bilindik güneş gözelerine alternatif olarak ortaya çıkan fotovoltaik gözeler grubuna dâhil güneş gözelerindedir [1].

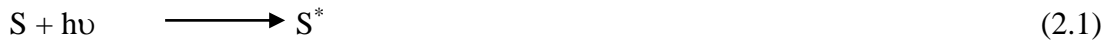
Şu ana kadar rutenyum(II)–polipridil kompleksi (Di-tetrabütülamonyum cis-bis (izotiyosiyano)bis (2,2'-bipiridil-4,4'-dikarboksilato) rutenyum(II), N719) ve çinko içeren porfirin boya bileşiklerinin kullanıldığı BDGG'lerde sırasıyla % 10 ve % 13'ün üzerinde enerji dönüşüm verimleri elde edilmiştir [29]. Bir BDGG, iletken ve şeffaf cam/TiO₂/boya şeklindeki fotoanot, karbon ya da Pt ile kaplı iletken ve şeffaf cam kompozisyonundaki katot ve I⁻/I₃⁻ içeren elektrolitten oluşur.

Boya duyarlı güneş gözelerinde foto-akım üretilmesi prosesi, boyanın güneş ışığındaki fotonları absorbe etmesiyle başlar. Boya molekülleri böylelikle foto-uyarılmış hale (S*) geçer (1) (Şekil 2.3). Sonra, foto-uyarılmış boya (S*), TiO₂'in iletkenlik bandına elektron aktarır (2). Oluşan yükseltgenmiş boya (S⁺), redoks ortamındaki I⁻ iyonlarının elektron vermesiyle tekrar orijinal hali olan nötr haline (S) indirgenir. Bu sürece genellikle boya rejenerasyonu veya geri indirgenme denir (3). TiO₂'in iletkenlik bandına aktarılan elektronlar, saydam iletken okside (FTO) ulaşmak için birbirine bağlı TiO₂ nanopartikül ağı boyunca hareket eder. Daha sonra dış devreden karşıt elektroda (platin kaplı cam) doğru hareket eder. Dış devrenin verdiği elektronlar vasıtasıyla karşıt elektrottaki I₃⁻ iyonu indirgenir, böylelikle I⁻ yeniden geri kazanılmış olur (4) ve devre tamamlanır.



Şekil 2.3. Bir güneş gözesindeki elektron akım şeması [58].

Elektron akış döngüsü boyunca istenmeyen yan etkiler olabilir. TiO₂'in iletkenlik bandına aktarılan elektronlar, yükseltgenmiş boya (S⁺) (rekombinasyon) (5) ile veya TiO₂ yüzeyindeki I₃⁻ (elektrolit rekombinasyonu) (6) ile tekrar birleşebilir. Bu da boya duyarlı güneş gözelerinin fotovoltaik performansında azalma ile sonuçlanır. Rekombinasyon süreçleri, yükseltgenmiş boyaların I⁻ ile geri indirgenme süreci ile her zaman rekabet içindedir. Sonuç olarak, kinetik olarak daha fazla foto-akım ve foto-voltaj üretmek için elektron aktarımı (2) ve geri üretilme süreçleri (3), rekombinasyon süreçlerinden (5 ve 6) daha etkin olmalıdır [56]. Aşağıda bir BDGG'de gerçekleşen reaksiyonlar sunulmaktadır.



2.7.2. BDGG'lerde kullanılan boyalar

Porfirinler, ftalosiyeninler ve polipiridiller gibi metal içeren ve kumarinler, indolinler, trifenilaminler, konjuge polimerler ve perilenler gibi metal içermeyen organik bileşikler BDGG'lerde duyarlaştırıcı boya olarak kullanılmışlardır. Rutenyum polifiridil gibi metal içeren boyalardan imal edilen BDGG'lerden bugüne kadar oldukça yüksek enerji dönüşüm verimleri elde edilmesine rağmen söz konusu boyalar güneş panelleri için uygun değildirler. Çünkü sentezlerinin zor olması, hammadde maliyetlerinin yüksek olması, molar absorpsiyon katsayılarının düşük olması ve güneş spektrumunun çok dar bir aralığında absorpsiyon yapmaları gibi dezavantajları vardır. Oysa metal içermeyen organik boyaların yüksek molar absorpsiyon katsayısı, kolay sentez, düşük maliyet ve ayarlanabilir optik özellikler gibi avantajları vardır [1].

2.7.3. BDGG'lerde fotoanot olarak kullanılan TiO₂

Titanyum dioksit (TiO₂), beyaz inorganik bir bileşiktir. Oda sıcaklığında katı durumda olup, 2500-3000°C arasında kaynamaya başlar. Renklendirici olarak kullanılan titanyum dioksit, titanyum beyazı olarak da bilinir. Gıda renklendiricisi olarak kullanımının yanı sıra, boya ve güneş losyonu üretiminde de kullanılır. Yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü gözle görülebilir ışığı etkin biçimde dağıtır, boya ve kaplamalara beyazlık, parlaklık ve opasite özellikleri verir. TiO₂'nin fotokatalizör olarak kullanıldığı alanlar ise oldukça yaygındır (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. TiO₂'nin kullanım alanları

Fotokatalizörün yüzeyinde gerçekleşen mekanizma, fotosentez mekanizmasına benzetilebilir. Bitkilerdeki klorofil de bir çeşit fotokatalizör görevi görmektedir. Çünkü klorofil, üzerine düşen güneş ışınlarını absorplayarak, su ve karbondioksiti oksijen ve glikoza dönüştürürken, fotokatalizör absorpladığı güneş ışınları etkisi ile yüzeyinde kuvvetli yükseltgen türler olan radikalleri (oksit, peroksit ve hidroksil radikalleri) oluşturarak, zararlı organik moleküllerin parçalanarak, su ve karbondioksit gibi zararsız türlerin oluşmasını sağlar. Bu şekilde birbirine benzetilen fotokataliz ve fotosentez olayları basitçe Şekil 2.5.'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Fotosentezin şematik gösterimi [59].

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

BDGG yapımında kullanılan flor katkılı SnO₂ (FTO) kaplı cam substrat (15 Ω), saydam TiO₂ pastası (15-20 nm), kalınlığı 25 µm olan ayırıcı, platin çözeltisi, N719 ve I⁻/I₃⁻ elektroliti Solaronix'ten satın alınmıştır. Gerek BDGG gerekse elektrokimyasal işlemlerde kullanılan asetonitril (ACN), kenodeoksokolik asit (CDCA), etanol (EtOH), tetrabutylamonyum tetrafloroborat (TBABF₄), tetrahidrofuran (THF) ve ferrosen (Fc/Fc⁺) ise Sigma-Aldrich'ten satın alınmıştır.

3.2. Kullanılan Teknikler

Çözelti ve film halindeki boyaların absorpsiyon spektrumları, Shimadzu UV 2600 spektrofotometresi kullanılarak ölçülmüştür. Adsorbe edilmiş boya miktarının tespit edilebilmesi için önce EtOH/H₂O (1/1, h/h) içerisinde çözünmüş olan bir 0,1 M NaOH çözeltisinde boya kaplı TiO₂ fotoanot, boyanın deadsorbe olması gerçekleşene dek bekletildi. Daha sonra spektrofotometre ile belirlenen absorpsiyon şiddetinin, konsantrasyonu bilinen aynı boyanın absorpsiyonuyla kıyaslanmasıyla adsorbe edilen boya miktarı hesaplandı. Boya bileşikleriyle ilgili tüm elektrokimyasal çalışmalar bir potansiyostat/galvanostat (PARSTAT 2273, Princeton Applied Research) vasıtasıyla yapıldı. Döngüsel voltammetri (CV) ölçümleri, boya bileşiğinin ve 0,1 M TBABF₄ elektrolitinin ACN içerisindeki çözeltilerinden, camı karbonun çalışma elektrotu, Pt diskin referans elektrot ve Pt telin karşıt elektrot olarak kullanıldığı bir hücrede 0,050 V s⁻¹ tarama hızında gerçekleştirildi. CV ölçümlerinden elde edilen pik potansiyelleri, Fc/Fc⁺'nin potansiyeline göre kalibre edildi.

3.3. BDGG Yapımı ve Fotoelektrokimyasal Testler

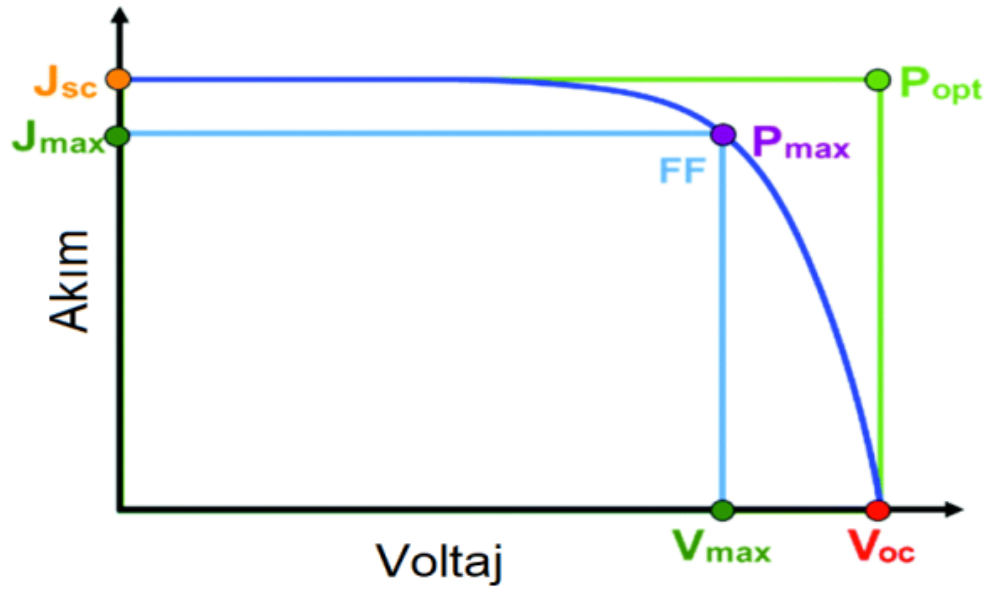
İki şeffaf katmandan oluşan TiO₂ filmi, daha önce bildirildiği gibi iyi temizlenmiş bir FTO substratı üzerinde doktor blade tekniği kullanılarak hazırlandı [27]. TiO₂ filminin aktif alanı 0.196 cm² olarak ayarlandı. Boya duyarlı fotoanotlar, TiO₂ filmlerinin EtOH/THF'de (1/1, h/h) çözünmüş olan 0,3 mM boya ve 0 - 4 mM CDCA adsorbanını içeren çözeltilerde 20 saat oda sıcaklığında bekletilmeleriyle elde edildi. Karşılaştırma için, TiO₂ filmi ayrıca 6 saat boyunca EtOH'ta çözünmüş olan 0,5 mM N719 ve 5 mM CDCA'dan oluşan bir çözelti içinde bekletildi. Pt karşıt elektrot, FTO substratı üzerine platin çözeltisi dökülerek elde edildi [42]. Bu Pt karşıt elektrot daha sonra ayrı ayrı kullanılarak boya duyarlı fotoanotla birleştirildi. Son olarak elektrolit, fotoanot ve karşı elektrot arasına enjekte edildi.

BDGG'lerin fotoakım yoğunluk-voltaj (J-V) eğrileri, bir silisyum detektörü (918D-SL-OD3, Newport) ile kalibre edilmiş bir güneş simülatöründen (96000, Newport) 100 mW/cm² (AM 1.5G) aydınlatma şiddeti altında potansiyostat/galvanostat kullanılarak kaydedildi. Aktif alan (0.196 cm²) ölçümler sırasında siyah maske ile garanti altına alınmıştır. Buna göre enerji dönüşüm verimi (η), doğrusal taramalı voltametri tekniği ile elde edilen voltamogramlardan aşağıda verilen eşitliklerin kullanılmasıyla bulunmaktadır.

$$\% \eta = [(V_{oc} \times J_{sc} \times FF) / P_{in}] \times 100 \quad (3.1)$$

$$FF = (V_{max} \times J_{max}) / (V_{oc} \times J_{sc}) \quad (3.2)$$

Denklemlerdeki V_{oc} açık devre voltajını, V_{max} maksimum voltajı, J_{sc} kısa devre akımını, J_{max} maksimum akımı, FF (Full Fill) tam doluluk oranını ve P_{in} ise gelen ışının şiddetini (100 mW/cm²) göstermektedir. Akımların birimi mA/cm² iken voltajların birimi ise V'tur. Şekil 3.1'den de görüleceği üzere J_{max} ve V_{max} 'ın izdüşümlerinin kesiştiği nokta bir BDGG'nin maksimum enerji ya da güç sağladığı noktadır (P_{max}). J_{sc} ve V_{oc} 'nin kesim noktaları ise BDGG'nin optimum güç noktasıdır (P_{opt}).



Şekil 3.1. Tipik bir BDGG'nin gösterdiği akım-voltaj (J-V) eğrisi [56]

J-V eğrilerinin tekrar üretilebilirliğini kontrol etmek için, her bir boya için en az üç BDGG üretildi ve bunların her birinden orta düzeyde verim veren eğri kullanıldı. BDGG'lerin foton-akım dönüşüm verimliliği (IPCE), bir monokromatör (74004, Oriol) ile ölçülmüştür. % IPCE, aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir.

$$\% \text{ IPCE} = 1240 \times [J_{sc} / P_{in} \times \lambda] \times 100 \quad (3.3)$$

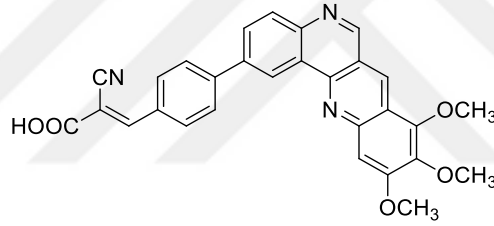
Eşitlikteki λ , ışının dalga boyunun nm cinsinden ifadesidir.

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ölçümleri ise karanlıkta 0,1 ile 10^5 Hz arasında karanlıkta -0,60 V'luk bir voltajda aynı potansiyostat/galvanostat kullanılarak gerçekleştirildi.

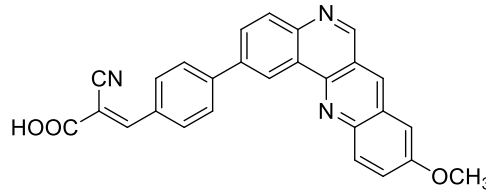
BÖLÜM 4. DENEYSEL ARAŞTIRMA VE SONUÇLAR

4.1. BDGG'lerde Kullanılan Naftiridin Türevleri

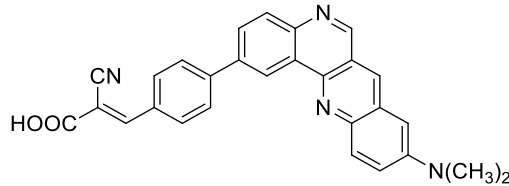
Tez kapsamında daha önce sentezlenen 2-siyano-3-(4-(8,9,10-trimetoksidibenzo[*b,h*][1,6]naftiridin-2-il)fenil)akrilik asit (**5a**), 2-siyano-3-(4-(9-metoksidibenzo[*b,h*][1,6]naftiridin-2-il)fenil)akrilik asit (**5b**) ve 2-siyano-3-(4-(9-dimetilaminodibenzo[*b,h*][1,6]naftiridin-2-il)fenil)akrilik asit (**5c**) bileşikleri, BDGG'lerde duyarlaştırıcı boya olarak kullanılmıştır (Şekil 4.1.).



2-siyano-3-(4-(8,9,10-trimetoksidibenzo[*b,h*][1,6]naftiridin-2-il)fenil)akrilik asit (**5a**)



2-siyano-3-(4-(9-metoksidibenzo[*b,h*][1,6]naftiridin-2-il)fenil)akrilik asit (**5b**)



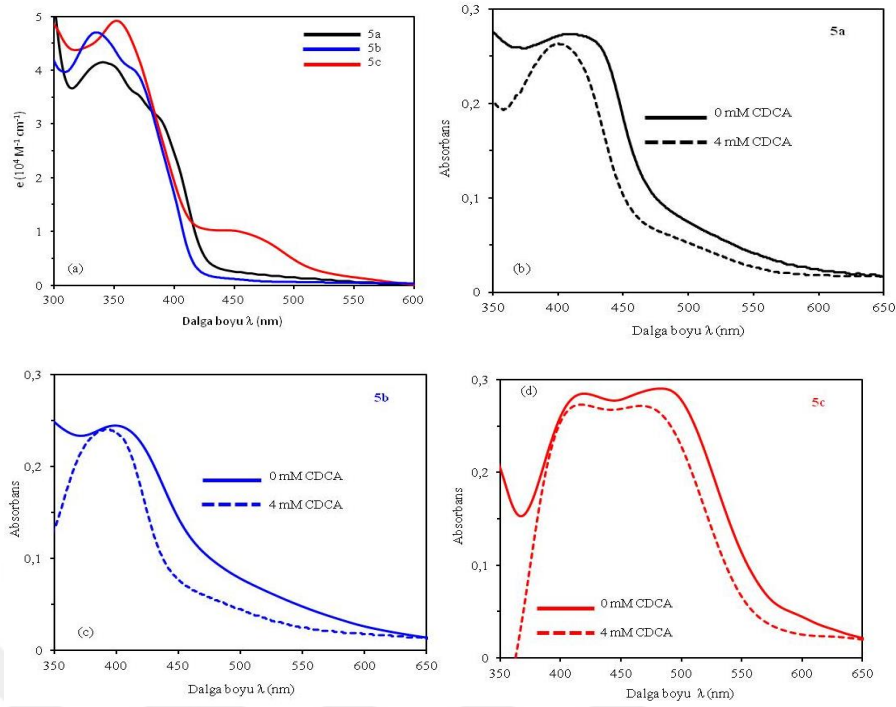
2-siyano-3-(4-(9-dimetilaminodibenzo[*b,h*][1,6]naftiridin-2-il)fenil)akrilik asit (**5c**)

Şekil 4.1. **5a-c** bileşiklerinin molekül yapıları

Görüldüğü üzere söz konusu D- π -A bileşiklerinde sadece donör (D) kısmı değişmektedir. Böylece bileşiklerden elde edilen BDGG'lerin fotovoltaik performanslarına trimetoksi (**5a**), metoksi (**5b**) ve dimetilamino (**5c**) donörlerinin etkisi ortaya çıkarılması hedeflenmiştir.

4.2. Bileşiklerin Optik ve Elektrokimyasal Özellikleri

Şekil 4.2'de çözelti ve TiO₂ üzerinde adsorbe (film) haldeki **5a-5c** boya bileşiklerinin 0 – 4 mM CDCA şartlarında alınmış UV-vis absorpsiyon spektrumları gösterilmektedir. Spektrumlara ait sayısal sonuçlar ise Tablo 4.1'de yer almaktadır. Spektrumlarda 300 ile 550 nm arasında iki farklı absorpsiyon piki görülmektedir. 300 ile 360 nm arasındaki pikler, konjuge sistemdeki π - π^* elektronik geçişine tekabül ederken, 360 ile 550 nm arasındaki pikler ise moleküllerdeki elektron verici (donor) gruptan elektron alıcı (akseptör) gruba gerçekleşen molekül içi elektronik geçişlere (ICT) karşılık gelmektedir [44]. **5a** ve **5b** bileşiklerinin ICT piklerinin π - π^* piklerine oldukça bitişik ya da omuz şeklinde oldukları görülürken, **5c** bileşiğinin ICT piki ise uzun dalga boyundaki bölgede net bir şekilde ayrılmış haldedir. Bu durum, **5c** bileşiğinin diğerlerine göre daha iyi bir ICT davranışına sahip olduğunu açık bir şekilde göstermektedir. Öte yandan **5a**'nın en uzun dalga boyundaki absorpsiyon pik maksimumu (λ_{abs}), **5b** bileşiğine göre daha kırmızıya (daha düşük enerjili bölgeye) kaymış durumdadır. Bu durum trimetoksi grubunun donör kuvvetinin metoksiye göre daha iyi olduğunu bir kanıttır. Buna karşılık, **5a** ve **5b** ile karşılaştırıldığında **5c** bileşiğinin ICT piki sırasıyla 64 ve 84 nm gibi oldukça büyük oranlarda kırmızıya kaymış durumdadır. Bu sonuç dimetilamino grubunun en kuvvetli donör olduğunu açıkça göstermektedir. Bilindiği üzere, spektrumdaki kırmızıya kayma daha fazla fotonun akıma dönüşmesine sebebiyet verebilir [44]. Öte yandan **5c**'nin ICT pikine ait molar absorpsiyon katsayısı (ϵ) belirgin bir şekilde diğerlerinden düşüktür. Bu durum, **5c**'deki ICT geçişinin düşük osilatör kuvvetinden kaynaklanıyor olabilir [46].



Şekil 4.2. **5a**, **5b** ve **5c** bileşiklerinin (a) THF içinde 10^{-5} M derişimdeki çözeltilerinin ve (b-d) TiO_2 üzerinde adsorbe hallerinin UV-vis absorpsiyon spektrumları

TiO_2 üzerine adsorbe haldeki **5a-5c** boyalarının agregasyon önleyici adsorban (CDCA) yokluğunda elde edilen spektrumları incelendiğinde absorpsiyon piklerinin çözelti ortamındakilere göre genişlediği ve sırasıyla 23, 32 ve 31 nm kadar kırmızıya kaydıkları görülmektedir. Bilindiği üzere moleküllerdeki karboksilat grubu ile TiO_2 'deki Ti^{4+} iyonları arasında gerçekleşen agregasyon gibi etkileşimler konjuge sistemin π^* orbitalinin delokalizasyonunu artırır ve bu da söz konusu orbitalin enerjisini düşürür [46]. 4 mM CDCA varlığındaki adsorbe bileşiklerin absorpsiyonlarının ise CDCA yokluğundaki absorpsiyon piklerine göre daha yüksek enerjili bölgelere (maviye) kaydığı ve piklerin daraldığı açıkça görülmektedir. Söz konusu maviye kayma değerleri **5a-5c** boya bileşikleri için sırasıyla 11, 8 ve 16 nm şeklindedir. Bu sonuçlara göre CDCA varlığındaki kaymaların boya çözeltilerinden elde edilen absorpsiyon piklerine göre hala kırmızıya kaymış olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle CDCA gibi agregasyon ya da adsorpsiyon önleyici varlığında bile boyalarla TiO_2 yüzeyleri arasında agregasyon şeklindeki etkileşim hala devam etmektedir. Bu sonuca göre boyalarla TiO_2 arasındaki etkileşimin oldukça güçlü olduğu söylenebilir [47].

Tablo 4.1. **5a**, **5b** ve **5c** boya bileşiklerinin elektro-optik özellikleri

Boya	λ_{abs} [nm] ^a (ϵ [$\times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$] ^a)	$\lambda_{\text{başl}}$ [nm] ^a	$\lambda_{\text{abs}}(\text{TiO}_2)$ [nm] ^b	E_{0-0} [eV] ^c	E_{oks} [V] ^d	E_{HOMO} [V] ^e	E_{LUMO} [V] ^f
5a	342 (4,15), 371 (3,51), 389 (3,07)	427	412	2,90	0,58	1,21	-1,69
5b	336 (4,71), 369 (3,94)	418	401	2,97	0,62	1,25	-1,72
5c	353 (4,91), 453 (1,01)	515	484	2,41	0,26	0,89	-1,52

^a λ_{abs} : Maksimum absorpsiyon dalga boyu, ϵ : Molar absorpsiyon katsayısı, $\lambda_{\text{başl}}$: Absorpsiyon başlangıç dalga boyu.

^b $\lambda_{\text{abs}}(\text{TiO}_2)$: TiO_2 üzerindeki maksimum absorpsiyon dalga boyu.

^c E_{0-0} : $1240/\lambda_{\text{başl}}$ eşitliğinden elde edilen bant aralığı enerjisi.

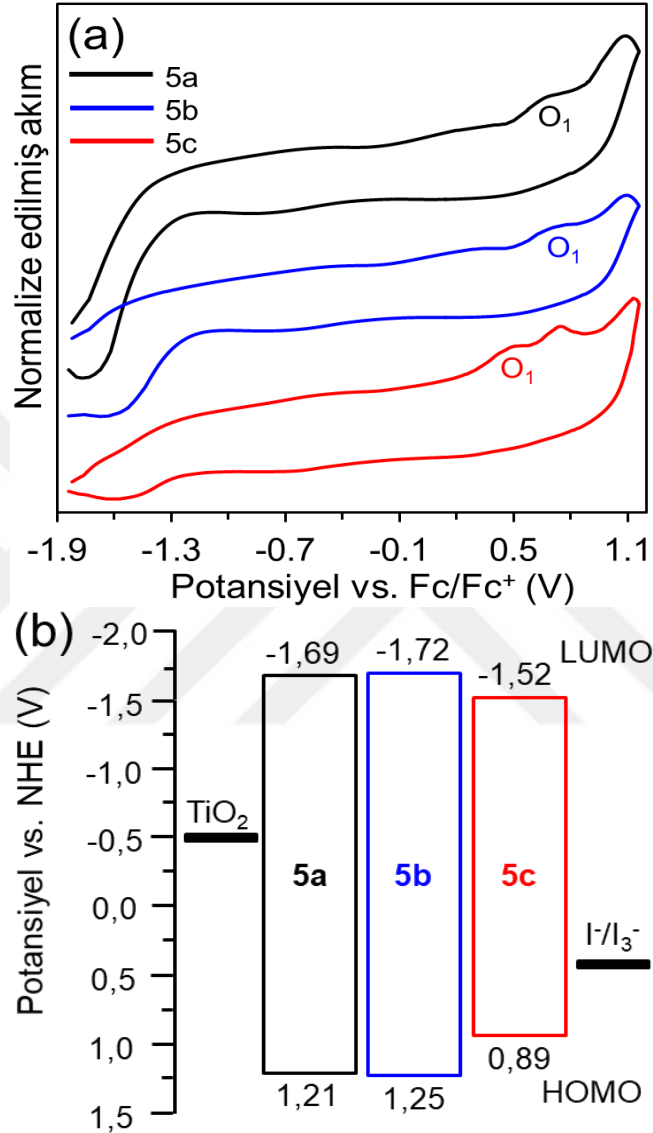
^d E_{oks} : Pt diske karşı potansiyeli 0,34 V olan Fc/Fc^+ redoks çiftine göre belirlenen oksidasyon pik potansiyeli.

^e E_{HOMO} : E_{oks} 'a 0,63 V (NHE'ye karşı) ilave edilerek hesaplanan potansiyel.

^f E_{LUMO} : $E_{\text{HOMO}} - E_{0-0}$ eşitliğinden elde edilen potansiyel.

Bilindiği üzere, güneş ışığı altında BDGG'deki boyanın en yüksek enerjili dolu orbitalinde (HOMO) bulunan elektron uyarıldığında en düşük enerjili boş orbitale (LUMO) geçer ve oradan da TiO_2 'nin iletkenlik bandına aktarılır (elektron enjeksiyonu). Bu esnada boya eksilen elektronunu elektrolitteki I_3^- ten karşılar (boyanın rejenerasyonu). Bu olayların gerçekleşebilmesi için ise sırasıyla LUMO enerji seviyesinin TiO_2 'nin iletkenlik bandından (normal hidrojen elektroda (NHE) göre - 0,5 V) daha yüksek enerjide ve HOMO enerji seviyesinin ise elektrolitin Nernst potansiyelinden (NHE'ye göre 0,4 V) daha düşük enerjide olması gerekir [20]. **5a-5c** bileşiklerinin elektrokimyasal karakterizasyonu dönüşümlü voltametri tekniği ile gerçekleştirildi. ACN'de çözülmüş halde 0,5 mM boya bileşiği (**5a-5c**) ve 0,1 M (TBABF_4), (elektrolit) içeren çözeltilerin dönüşümlü voltamogramları en az 15 dakika süresince azot gazı geçirildikten sonra alındı. Voltamogramlardaki pik potansiyellerinin kalibrasyonu için aynı şartlarda ayrıca Fc/Fc^{+} 'in de dönüşümlü voltamogramları (CV) alındı. Buna göre bileşiklerin CV eğrilerindeki potansiyellerinden 0,34 V şeklinde bulunan Fc/Fc^{+} 'in yarı pik potansiyeli ($E_{1/2}$) değeri çıkarılarak Fc/Fc^{+} 'e karşı potansiyel değerleri elde edildi (E_{oks}). Daha sonra

söz konusu değerlere Fc/Fc^{+} 'in NHE'ye karşı bilinen değeri olan 0,63 V eklenerek bileşiklerin potansiyellerinin NHE'ye göre (E_{HOMO}) olması sağlandı (Şekil 4.3. ve Tablo 4.1.).



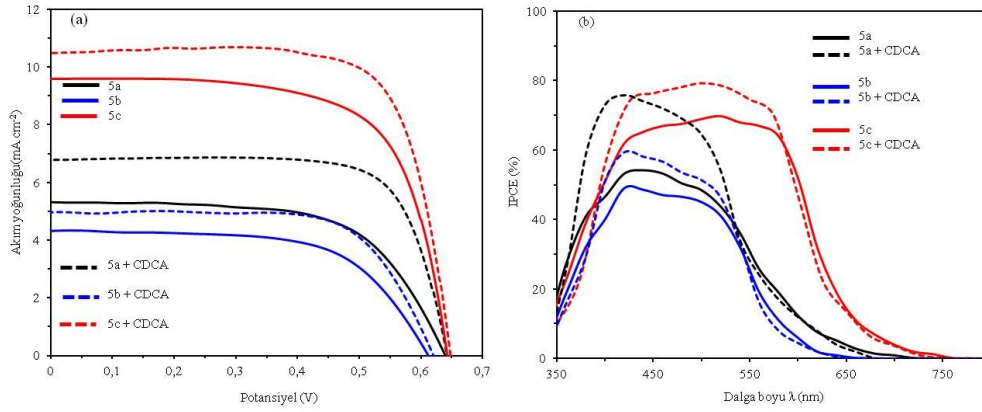
Şekil 4.3. **5a**, **5b** ve **5c** bileşiklerinin (a) CV eğrileri ve (b) HOMO ve LUMO enerji seviyeleri diyagramı

Alınan CV eğrileri incelendiğinde **5a** ve **5b** bileşiklerinde birer dönüşümsüz oksidasyon piki gözlenirken, **5c** bileşiğinde ise iki tane dönüşümsüz oksidasyon piki görülmektedir. Bilindiği üzere voltamogramlardaki ilk oksidasyon pikleri (O₁) moleküllerin elektron verici (donör) gruplarının oksidasyonlarına ya da HOMO enerji seviyelerine karşılık gelmektedir [52]. Buna göre söz konusu HOMO

seviyeleri **5a-5c** için sırasıyla 1,21, 1,25 ve 0,89 V (NHE'ye göre) olarak belirlenmiştir. **5c** bileşiğinin en yüksek HOMO enerji seviyesine ya da en negatif oksidasyon potansiyeline sahip olması dimetilaminonun en kuvvetli donör grubu olduğunun açık bir göstergesidir [53]. Hatırlanacağı üzere, optik karakterizasyon neticesinde de **5c**'nin en kuvvetli donör grubunu barındırdığı tespit edilmiştir. Buna göre optik ve elektrokimyasal analiz sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.2'de de görüldüğü üzere her bir bileşiğin sırasıyla LUMO enerji seviyeleri TiO_2 'nin iletkenlik bandından daha yüksek iken HOMO enerji seviyeleri ise elektrolitin potansiyelinden daha düşüktür. Başka bir deyişle, sentezlenen bileşiklerden elde edilecek olan BDGG'ler güneş ışığı altında enjeksiyon ve rejenerasyon olaylarını rahatlıkla yapabilirler [20].

4.3. BDGG'lerin Fotovoltaik Performansı

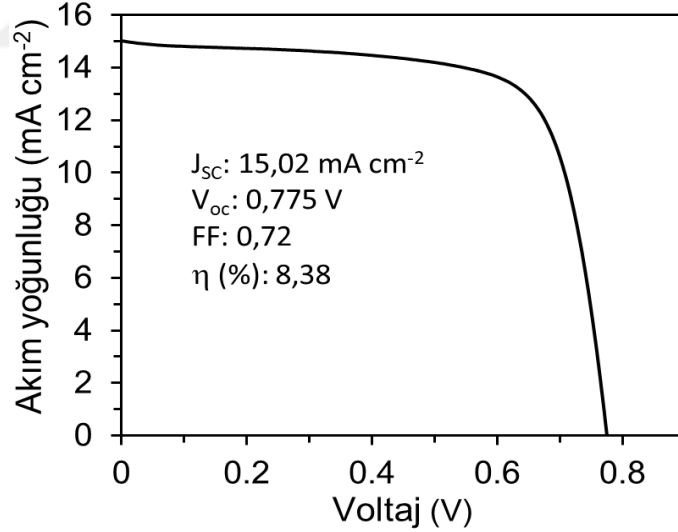
Şekil 4.4.'te EtOH/THF çözücü karışımında TiO_2 fotoanot kısmı **5a-5c** boya bileşikleriyle 0 – 4 mM CDCA varlığında duyarlaştırılarak imal edilmiş BDGG'lerin J-V eğrileri sunulmaktadır. Fotovoltaik parametreler ise Tablo 4.2'de listelenmiştir. Görüldüğü üzere, J_{sc} , V_{oc} , FF ve η değerleri sırasıyla 4,85-10,26 mA cm^{-2} , 0,621-0,648 V, 0,69-0,74 ve % 2,13-5,02 aralıklarındadır. **5a-5c** boya bileşiklerinden üretilmiş BDGG'lerin verimlerinin N719 esaslı BDGG'nin veriminin % 38, % 25 ve % 60'ı kadar olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.5.). Ayrıca 4 mM CDCA varlığındaki **5a-5c** bileşiklerinden imal edilen BDGG'lerin η ve J_{sc} değerlerinin, CDCA'sız şartlarda üretilenlerin değerlerine göre sırasıyla % 23-50 ve % 9-27 aralıklarında arttığı hesaplanmıştır. Bu durum, CDCA adsorbanının etkili bir şekilde agregasyonu engelleyerek akımın artmasına yardımcı olduğunun açık bir kanıtıdır [52]. Benzer şekilde CDCA varlığında imal edilen BDGG'lerin V_{oc} değerleri az da olsa artmıştır. Bilindiği üzere, CDCA ve boya molekülleri eş zamanlı olarak TiO_2 yüzeyine adsorbe olur. Böylece TiO_2 yüzeyinin elektrolitle teması minimuma iner ve V_{oc} düşüşüne neden olan elektrolit rekombinasyonu büyük oranda engellenmiş olur.



Şekil 4.4. **5a**, **5b** ve **5c** bileşiklerinden üretilmiş BDGG'lerin (a) J-V eğrileri ve (b) IPCE spektrumları

Tablo 4.2. BDGG'lerin fotovoltaik parametreleri

Boya	IPCE'den bulunan J_{SC} (mA cm^{-2})	J_{SC} (mA cm^{-2})	V_{OC} (V)	FF	η (%)	Adsorbe boya miktarı (mol cm^{-2})
5a	5,34	5,31	0,639	0,63	2,14	$2,69 \times 10^{-7}$
5a + CDCA	6,51	6,77	0,642	0,74	3,22	$1,62 \times 10^{-7}$
5b	4,39	4,32	0,612	0,64	1,69	$3,19 \times 10^{-7}$
5b + CDCA	4,85	4,96	0,621	0,69	2,13	$2,27 \times 10^{-7}$
5c	9,48	9,58	0,643	0,66	4,07	$3,06 \times 10^{-7}$
5c + CDCA	10,26	10,47	0,648	0,74	5,02	$1,98 \times 10^{-7}$



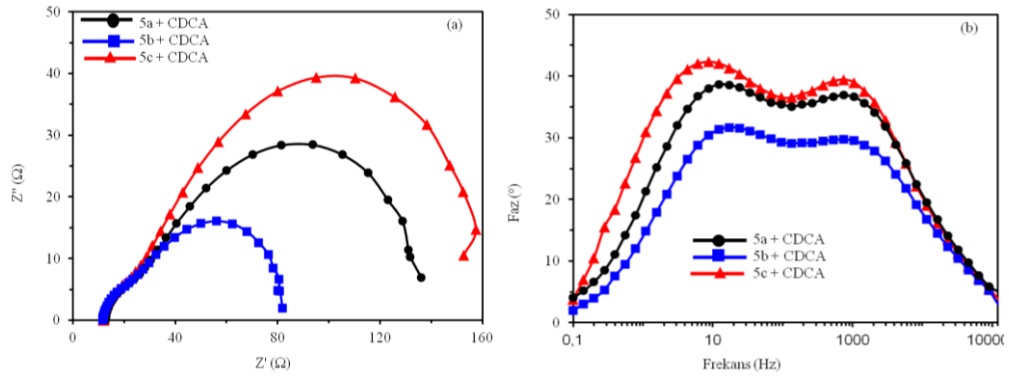
Şekil 4.5. N719'dan imal edilmiş BDGG'nin J-V eğrisi

CDCA varlığında adsorbe boya miktarları azalsa da Şekil 4.4'te görüldüğü üzere BDGG'lerin IPCE değerlerinde önemli artışlar olmuştur. Öte yandan, J-V eğrilerinden de hatırlanacağı üzere **5c** esaslı BDGG'nin verimi diğerlerinden belirgin bir şekilde yüksek bulunmuştu. Bunun en önemli sebebi şüphesiz, daha uzun dalga

boylarında söz konusu bileşiğin absorpsiyon yapmasını sağlayan en kuvvetli elektron donör olan dimetilamino grubudur [26]. Benzer şekilde, **5c**'nin IPCE spektrumundaki akım başlangıç dalga boyu, **5a**'ninkine göre 570 nm'den 650 nm'ye kaymıştır. Son olarak, IPCE spektrumlarından hesaplanan Jsc değerlerinin J-V eğrilerinden elde edilenlerle uyum halinde olması elde edilen fotovoltajik sonuçların güvenilir olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.2. incelendiğinde en düşük adsorbe boya miktarının **5a** esaslı fotoanotta olduğu görülmektedir. Bu durum, trimetoksi grubunun diğerlerine göre daha hacimli olmasından kaynaklanıyor olabilir. Ancak düşük adsorbe boya miktarına rağmen **5a** bileşiğinin daha geniş absorpsiyon göstermesinden dolayı **5a** esaslı BDGG'nin verimi **5b**'den doğal olarak daha büyüktür. **5a** ve **5c** esaslı BDGG'lerin V_{oc} değerlerinin **5b**'ye göre daha büyük olmasının sebebi ise **5a** ve **5c** bileşiklerindeki daha hacimli donör gruplarının elektrolit rekombinasyonunu **5c** bileşiğine göre daha büyük oranda engellemesinden kaynaklanmaktadır [24].

BDGG'lerin V_{oc} değerleri arasındaki fark, elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ile karakterize edildi. Şekil 4.6'da görüldüğü üzere bir Nyquist grafiklerinde yüksek direnç ya da düşük frekans bölgesinde görülen yarım daire şeklindeki eğriler TiO_2 ile elektrolit arasındaki dirence aittir. Bilindiği üzere, karanlık şartlarda söz konusu direncin büyüklüğü V_{oc} ile doğru orantılıdır. Şekil 4.6'daki Nyquist eğrileri incelendiğinde dirençler arasındaki **5b** < **5a** < **5c** şeklindeki sıralamanın, V_{oc} değerleri arasındaki sıralamayla aynı olduğu görülmektedir. Aynı şekilde yer alan Bode grafiklerinde ise düşük frekans bölgesindeki piklerin ters orantılı olarak karşılık geldiği **5b** (9,3 ms) < **5a** (13,1 ms) < **5c** (18,4 ms) şeklindeki elektron yaşam ömürlerinin de V_{oc} değerleri arasındaki sıralamayla uyum halinde oldukları görülmektedir. Böylece, hacimli donörlere sahip **5a** ve **5c** bileşiklerinden yapılan BDGG'lerin rekombinasyonu azaltarak fotovoltajı artırdıkları EIS analiziyle de doğrulanmış oldu.



Şekil 4.6. **5a**, **5b** ve **5c** bileşiklerinden üretilmiş BDGG'lerin (a) Nyquist ve (b) Bode grafikleri



BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez çalışması kapsamında elektron verici (donör) olarak trimetoksi, metoksi ve dimetilamino, π köprüsü olarak dibenzo[b, h] [1,6]naftiridin ve elektron alıcı (akseptör)/bağlayıcı olarak ise siyanoakrilik asit içeren üç yeni metal içermeyen organik boya bileşikleri boya duyarlı güneş gözelerinde (BDGG) duyarlaştırıcı boya olarak kullanılmıştır. Metal içermeyen organik boyaların metal içerenlere göre ayarlanabilir optik özellikler, kolay sentez, çevreci ve düşük maliyet gibi birçok avantajı olduğu için tez çalışması kapsamında değerlendirilmiştir.

Optik ve elektrokimyasal çalışmalar, dimetiamino (**5c**) grubunun trimetoksi (**5a**) ve metoksi (**5b**) gruplarına göre daha iyi elektron donör olduğunu göstermiştir. Bu özelliğinden dolayı görünür bölgede **5c** bileşiğinin daha geniş absorpsiyon gösterdiği tespit edilmiştir. Bilindiği üzere daha geniş absorpsiyon, daha fazla akımın elde edilmesini sağlayabilir.

Sonuç olarak, **5a** ve **5b** esaslı BDGG'lerden sırasıyla % 3,22 ve % 2,13 kadar enerji dönüşüm verimleri elde edilirken, **5c** bileşiğinden imal edilen BDGG'den ise % 5,02 gibi oldukça yüksek bir seviyede verim elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, gelecekte dimetilamino gibi kuvvetli elektron donör barındıran dibenzo[b,h] [1,6]naftiridin π köprüsü esaslı metal içermeyen D- π -A boyalarının sentezlenmesiyle ekonomik, verimli ve çevreci BDGG'ler elde edilebileceğini göstermektedir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen bu çalışma ayrıca uluslararası bilimsel bir dergide yayımlanmıştır [1].

KAYNAKLAR

- [1] Arslan, B.S., Güzel, E., Kaya, T., Durmaz, V., Keskin, M., Avcı, D., Nebioğlu, M., Şişman, İ., Novel D- π -A organic dyes for DSSCs based on dibenzo[b,h][1,6]naphthyridine as a π -bridge. *Dyes Pigments*, 164:188-197, 2019.
- [2] O'Regan B, Gratzel M. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature* 1991;353:737–40.
- [3] Hagfeldt A, Boschloo G, Sun L, Kloo L, Pettersson H. Dye-sensitized solar cells. *Chem Rev* 2010;110:6595–663.
- [4] Clifford JN, Martinez-Ferrero E, Viterisi A, Palomares E. Sensitizer molecular structure-device efficiency relationship in dye sensitized solar cells. *Chem Soc Rev* 2011;40:1635–46.
- [5] Li P, Wang ZX, Song CP, Zhang HY. Rigid fused pi-spacers in D-pi-A type molecules for dye-sensitized solar cells: a computational investigation. *J Mater Chem C* 2017;5:11454–65.
- [6] Chen CY, Wang MK, Li JY, Pootrakulchote N, Alibabaei L, Ngoc-le CH, Decoppet JD, Tsai JH, Gratzel C, Wu CG, Zakeeruddin SM, Gratzel M. Highly efficient light-harvesting ruthenium sensitizer for thin-film dye-sensitized solar cells. *ACS Nano* 2009;3:3103–9.
- [7] Mathew S, Yella A, Gao P, Humphry-Baker R, Curchod BFE, Ashari-Astani N, Tavernelli I, Rothlisberger U, Nazeeruddin MK, Gratzel M. Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the molecular engineering of porphyrin sensitizers. *Nat Chem* 2014;6:242–7.
- [8] Yao ZY, Wu H, Li Y, Wang JT, Zhang J, Zhang M, Guo YC, Wang P. Dithienopicenocarbazole as the kernel module of low-energy-gap organic dyes for efficient conversion of sunlight to electricity. *Energy Environ Sci* 2015;8:3192–7.
- [9] Mishra A, Fischer MKR, Bauerle P. Metal-free organic dyes for dye-sensitized solar cells: from structure: property relationships to design rules. *Angew Chem Int Ed* 2009;48:2474–99.

- [10] Cao YM, Liu YH, Zakeeruddin SM, Hagfeldt A, Gratzel M. Direct contact of selective charge extraction layers enables high-efficiency molecular photovoltaics. *Joule* 2018;2:1108–17.
- [11] Zhang J, Kan YH, Li HB, Geng Y, Wu Y, Su ZM. How to design proper pi-spacer order of the D-pi-A dyes for BDGPs A density functional response. *Dyes Pigments* 2012;95:313–21.
- [12] Zhou NJ, Prabakaran K, Lee B, Chang SH, Harutyunyan B, Guo PJ, Butler MR, Timalisina A, Bedzyk MJ, Ratner MA, Vegiraju S, Yau S, Wu CG, Chang RPH, Facchetti A, Chen MC, Marks TJ. Metal-free tetrathienoacene sensitizers for highperformance dye-sensitized solar cells. *J Am Chem Soc* 2015;137:4414–23.
- [13] Fischer MKR, Wenger S, Wang MK, Mishra A, Zakeeruddin SM, Gratzel M, Bauerle P. D-pi-A sensitizers for dye-sensitized solar cells: linear vs branched oligothiophenes. *Chem Mater* 2010;22:1836–45.
- [14] Liu JY, Zhou DF, Xu MF, Jing XY, Wang P. The structure-property relationship of organic dyes in mesoscopic titania solar cells: only one double-bond difference. *Energy Environ. Sci* 2011;4:3545–51.
- [15] Tian HN, Yang XC, Chen RK, Zhang R, Hagfeldt A, Sun LC. Effect of different dye baths and dye-structures on the performance of dye-sensitized solar cells based on triphenylamine dyes. *J Phys Chem C* 2008;112:11023–33.
- [16] Yang L, Zheng ZW, Li Y, Wu WJ, Tian H, Wang ZH. N-Annulated perylene-based metal-free organic sensitizers for dye-sensitized solar cells. *Chem Commun* 2015;51:4842–5.
- [17] Siu CH, Lee LTL, Ho PY, Majumdar P, Ho CL, Chen T, Zhao JZ, Li H, Wong WY. Fluorene-bridged organic dyes with di-anchoring groups for efficient co-adsorbent-free dye-sensitized solar cells. *J Mater Chem C* 2014;2:7086–95.
- [18] Li RZ, Lv XJ, Shi D, Zhou DF, Cheng YM, Zhang GL, Wang P. Dye-sensitized solar cells based on organic sensitizers with different conjugated linkers: furan, bifuran, thiophene, bithiophene, selenophene, and biselenophene. *J Phys Chem C* 2009;113:7469–79.
- [19] Teng C, Yang XC, Yang C, Li SF, Cheng M, Hagfeldt A, Sun LC. Molecular design of anthracene-bridged metal-free organic dyes for efficient dye-sensitized solar cells. *J Phys Chem C* 2010;114:9101–10.
- [20] Mao M, Zhang XL, Zhu B, Wang JB, Wu GH, Yin Y, Song QH. Comparative studies of organic dyes with a quinazoline or quinoline chromophore as pi-conjugated bridges for dye-sensitized solar cells. *Dyes Pigments* 2016;124:72–81.

- [21] Lee DH, Lee MJ, Song HM, Song BJ, Seo KD, Pastore M, Anselmi C, Fantacci S, De Angelis F, Nazeeruddin MK, Graetzel M, Kim HK. Organic dyes incorporating lowband-gap chromophores based on pi-extended benzothiadiazole for dye-sensitized solar cells. *Dyes Pigments* 2011;91:192–8.
- [22] Grisorio R, De Marco L, Agosta R, Iacobellis R, Giannuzzi R, Manca M, Mastorilli P, Gigli G, Suranna GP. Enhancing dye-sensitized solar cell performances by molecular engineering: highly efficient pi-extended organic sensitizers. *ChemSusChem* 2014;7:2659–69.
- [23] Grisorio R, De Marco L, Giannuzzi R, Gigli G, Suranna GP. Molecular engineering of largely pi-extended metal-free sensitizers containing benzothiadiazole units: approaching 10% efficiency dye-sensitized solar cells using iodine-based electrolytes. *Dyes Pigments* 2016;131:282–96.
- [24] Eom YK, Choi IT, Kang SH, Lee J, Kim J, Ju MJ, Kim HK. Thieno[3,2-b][1]benzothiophene derivative as a new pi-bridge unit in D-pi-A structural organic sensitizers with over 10.47% efficiency for dye-sensitized solar cells. *Adv Energy Mater* 2015;5:1500300.
- [25] Xu MF, Zhang M, Pastore M, Li RZ, De Angelis F, Wang P. Joint electrical, photophysical and computational studies on D-pi-A dye sensitized solar cells: the impacts of dithiophene rigidification. *Chem Sci* 2012;3:976–83.
- [26] Guo X, Tsao HN, Gao P, Xia DB, An CB, Nazeeruddin MK, Baumgarten M, Gratzel M, Mullen K. Dithieno[2,3-d;2',3'-d']benzo[1,2-b;4,5-b']-dithiophene based organic sensitizers for dye-sensitized solar cells. *RSC Adv* 2014;4:54130–3.
- [27] Ren YM, Sun DY, Cao YM, Tsao HN, Yuan Y, Zakeeruddin SM, Wang P, Gratzel M. A stable blue photosensitizer for color palette of dye-sensitized solar cells reaching 12.6% efficiency. *J Am Chem Soc* 2018;140:2405–8.
- [28] Yılmaz, M. 2012. “Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi,” Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, sayı 4 (2), s. 33-54.
- [29] Gizlenci, Ş., Acar, M., Şahin, M. 2012. “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (Biyodizel, Biyoetanol ve Biyokütle) Projeksiyonu,” Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, sayı 8 (3), s. 337-344.
- [30] Koltukçu, H. 2010. “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından SWOT Analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya, 136 s.
- [31] Çanka, K. F. 2011. “Türkiye’deki Yenilenebilir Enerjilerde Mevcut Durum ve Teşviklerdeki Son Gelişmeler,” Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 52, sayı 614, s. 103-115.

- [32] Toklu, E. 2013. Overview of Potential and Utilization of Renewable Energy Sources in Turkey,” Renewable Energy, vol. 50, p. 456-463.
- [33] BP Statistical Review of World Energy. 2014. British Petroleum (BP), London, UK.
- [34] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Resmi internet sayfası, www.eie.gov.tr, erişim: nisan 2006.
- [35] Şen, Z., “Türkiye’nin Temiz Enerji İmkânları”, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan-Mayıs-Haziran, 6-12, 2004.
- [36] Türkiye Çevre Vakfı, “Türkiye’nin Çevre Sorunları 2003”, Ankara, 2003.
- [37] Binark, A. K., “Ülkemizdeki Güneş Enerjisi Uygulamaları için Öneriler”, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan-Mayıs-Haziran, 80-82, 2004. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Tarih: 10.05.2005, Sayı: 5346.
- [38] Altaş İ. H., Fotovoltaj Güneş Pilleri : Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri, Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, Nisan 1998, Sayı 47, Sayfalar:66-71, Bileşim yayıncılık A.Ş., İstanbul.
- [39] Perdahçi C., Güneş Pillerinin Çatı Dizaynında Kullanılması, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 2005, Mersin.
- [40] Gençoğlu, M. T., Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14/2, 57-64, Aralık, 2002.
- [41] Küpeli A. Ö., Güneş Pilleri ve Verimleri, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2005.
- [42] Kumar, Dharendra, K.R. Justin Thomas, Chuan-Pei Lee, and Kuo-Chuan Ho. "Organic Dyes Containing Fluorene Decorated with Imidazole Units for Dye-Sensitized Solar Cells", The Journal of Organic Chemistry
- [43] Biswas AK, Das A, Ganguly B. Can fused-pyrrole rings act as better pi-spacer units than fused-thiophene in dye-sensitized solar cells? A computational study. New J Chem 2016;40:9304–12.
- [44] Flader A, Parpart S, Ehlers P, Langer P. Synthesis of pyrrolo[1,2-a] naphthyridines by Lewis acid mediated cycloisomerization. Org Biomol Chem 2017;15:3216–31.
- [45] Sampathkumar N, Kumar NV, Rajendran SP. A Simple Synthesis of Dibenzo[b,g] [1,8]naphthyridines. Synth Commun 2004;34:2019–24.

- [46] Yamuna E, Zeller M, Prasad KJR. Microwave Assisted Synthesis of Indolo[2,3-b] dibenzo[b,g][1,8]naphthyridines. *Tetrahedron Lett* 2012;53:1514–7.
- [47] Guo K, Yan K, Lu X, Qiu Y, Liu Z, Sun J, Yan F, Guo W, Yang S. Dithiafulvenyl unit as a new donor for high-efficiency dye-sensitized solar cells: synthesis and demonstration of a family of metal-free organic sensitizers. *Org Lett* 2012;14:2214–7
- [48] Teng C, Yang X, Yang C, Tian H, Li S, Wang X, Hagfeldt A, Sun L. “Influence of triple bonds as π -spacer units in metal-free organic dyes for dye-sensitized solar cells. *J Phys Chem C* 2010;114:11305–13.
- [49] Barpuzary D, Patra AS, Vaghasiya JV, Solanki BG, Soni SS, Qureshi M. Highly efficient one-dimensional ZnO nanowire-based dye-sensitized solar cell using a metalfree, D- π -A-Type, carbazole derivative with more than 5% power conversion. *ACS Appl Mater Interfaces* 2014;6:12629–39.
- [50] Keerthi A, Chua MH, Chan TYT, Liu YR, Wang Q, Valiyaveetil S. Synthesis of multidonor dyes and influence of molecular design on dye-sensitized solar cells. *RSC Adv* 2016;6:51807–15.
- [51] Qu SY, Wu WJ, Hua JL, Kong C, Long YT, Tian H. New diketopyrrolopyrrole (DPP) dyes for efficient dye-sensitized solar cells. *J Phys Chem C* 2010;114:1343–9.
- [52] Cao W, Fang MM, Chai ZF, Xu H, Duan TA, Li Z, Chen XG, Qin JG, Han HW. New D π -A organic dyes containing a tert-butyl-capped indolo[3,2,1-jk] carbazole donor with bithiophene unit as π -linker for dye-sensitized solar cells. *RSC Adv* 2015;5:32967–75.
- [53] Liu B, Liu QB, You D, Li XY, Naruta Y, Zhu WH. Molecular engineering of indoline based organic sensitizers for highly efficient dye-sensitized solar cells. *J Mater. Chem.* 2012;22:13348–56.
- [54] Altürk S, Avcı D, Tamer Ö, Atalay Y, Şahin O. A cobalt(II) complex with 6-methylpicolinate: synthesis, characterization, second- and third-order nonlinear optical properties, and DFT calculations. *J Phys Chem Solid* 2016;98:71–80.
- [55] <http://www.esdalcollege.nl/eos/vakkenna/zannecel.htm> Erişim Tarihi: 11 Aralık 2018
- [56] <http://users.cecs.anu.edu.au/~Andres.Cuevas/Sun/helpPVquide.html> Erişim Tarihi: 12 Aralık, 2018
- [57] http://gcell.com/dye_sensitized_solarcells, Erişim Tarihi: 15 Aralık, 2018

[58] acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/84632/mod_resource/content/0/Kim428_11.pdf, Erişim Tarihi: 15 Aralık, 2018

[59] eba.com.tr, Erişim Tarihi: 28 Aralık, 2018



ÖZGEÇMİŞ

Veysel DURMAZ, 01.01.1990 tarihinde Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Sakarya'nın Ferizli ilçesinde tamamladı. 2008 yılında Ferizli Şehit Hakan Bayram Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'ne başlayıp 2015 yılında bitirdi. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya EABD Analitik Kimya bilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2,5 yıl MEB ve Özel Eğitim Kurumlarında kimya öğretmenliği yaptı. 2017 Mayıs-Kasım ayları arası kısa dönem askerlik vazifesi yaptı. Yüksek lisans eğitimi esnasında 117Z323 no'lu TÜBİTAK 1001 projesinde bursiyer olarak çalıştı. İki uluslararası bilimsel yayını ve bir uluslararası kongrelerde sunulmuş bildirisi bulunmaktadır. Halen özel bir şirkette kimyager olarak çalışmaktadır.