

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİNOLİN ESASLI D- π -A ORGANİK BOYALARIN
GÜNEŞ GÖZELERİNDE KULLANIMLARININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seda Nur ÜLÜŞ

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

Ekim 2020

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİNOLİN ESASLI D- π -A ORGANİK BOYALARIN
GÜNEŞ GÖZELERİNDE KULLANIMLARININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seda Nur ÜLÜŞ

Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA

Enstitü Bilim Dalı : ANALİTİK KİMYA

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 yapılmadığını, 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.

Seda Nur ÜLÜŞ

16/03/2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve birikimleriyle bana yol gösterici ve destek olan, önerilerini esirgemeyen ve tez çalışmalarım süresince teşvik eden tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İlkay ŞİŞMAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Her türlü laboratuvar olanakları konusunda yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölüm Başkanı Prof. Dr. Abdil ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasındaki moleküllerin tedarik edilmesindeki katkılarından dolayı Doç. Dr. Mehmet NEBİOĞLU'na, laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimleriyle destek olan Dr. Barış Seçkin ARSLAN'a teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca desteklerini esirgemeyen, beni sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştiren canım aileme, bize anne-baba olmak gibi eşsiz duyguları yaşatan, neşemiz, çok sevdiğimiz kızımız Elif Duru'ya, yüksek lisans eğitimim süresince beni teşvik eden, her zaman başarıya yönlendiren ve daima yanımda olduğunu bildiğim biricik eşim Engin ÜLÜŞ'e sonsuz teşekkür ederim.

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığı'na (Proje No. 2019-5-19-174 ve 2019-7-24-189) bu çalışmaya verdikleri desteklerinden ötürü teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
YENİLENEBİLİR ENERJİ	4
2.1. Güneş Enerjisi.....	5
2.1.1. Türkiye’de güneş enerjisi	6
2.2. Boya Duyarlı Güneş Gözeleri (BDGG).....	6
2.3. BDGG’lerde Verimi Etkileyen Faktörler	8
2.4. TiO ₂ ’nin Fotoanotta Kullanımı.....	9
2.5. BDGG’lerde Kullanılan Boyalar	11
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Materyal.....	16
3.2. Kullanılan Teknikler.....	16
3.3. BDGG Yapımı ve Fotoelektrokimyasal Ölçümler	17
3.3.1. Boya duyarlı güneş gözelerinin hazırlanması.....	17

3.3.1.1. Flor katkılı SnO ₂ (FTO) kaplanmış cam substratın temizlenmesi	17
3.3.1.2. TiO ₂ filminin hazırlanması	17
3.3.1.3. TiO ₂ yüzeyine boya adsorpsiyonu	18
3.3.1.4. Karşıt elektrot hazırlanması	18
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ARAŞTIRMA VE SONUÇLAR.....	21
4.1. BDGG’lerde Kinolin Esaslı Organik Boyaların Kullanımı.....	21
4.2. Kinolin Esaslı Bileşiklerin Optik ve Elektrokimyasal Özellikleri.....	22
4.3. BDGG’lerin Fotovoltaik Performansları	25
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	32
KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	42

SİMGELER VE KISALTMALAR

BDGG	: Boya duyarlı güneş gözesi
CV	: Dönüşümlü voltametri
DMSO	: Dimetil sülfoksit
EIS	: Elektrokimyasal empedans spektroskopisi
eV	: Elektron volt
FESEM	: Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu
FTO	: Flor katkılanmış kalay oksit
H ₂ PtCl ₆	: Hekzakloroplatinik asit
HOMO	: En yüksek enerjili dolu moleküler orbital
Hz	: Hertz
I/I ₃ ⁻	: İyodür/triiyodür redoks çifti
IPCE	: Foton-akım verim oranı
LUMO	: En düşük enerjili boş moleküler orbital
NHE	: Normal hidrojen elektrot
nm	: Nanometre
N719	: Di-tetrabütilamonyum cis-bis(izotiyosiyano)bis(2,2'-bipiridil-4,4'-dikarboksilato) rutenyum(II)
Pt	: Platin
TBABF ₄	: Tetrabütilamonyum Tetrafloroborat
TiCl ₄	: Titanyum Tetraklorür
TiO ₂	: Titanyum dioksit
UV-vis	: Ultraviyole-görünür
ϵ	: Molar absorpsiyon katsayısı
<i>C</i>	: Konsantrasyon
<i>FF</i>	: Doluluk faktörü
<i>f_{max}</i>	: Maksimum frekans

μm	: Mikrometre
η	: Enerji dönüşüm verimi
J_{sc}	: Kısa devre akımı
J_{max}	: Maksimum akım
λ	: Işın dalga boyu
P_{in}	: Gelen ışın şiddeti
V_{max}	: Maksimum voltaj
V_{oc}	: Açık devre voltajı
Ω	: Ohm



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bir BDGG'deki elektron aktarım mekanizması	8
Şekil 2.2. 15 nm gözenek çaplı nanokristal bir TiO ₂ filminin FESEM görüntüsü.	10
Şekil 2.3. Rutil ve anataz fazlarının birim hücre yapıları	11
Şekil 2.4. Rutenyum kompleksinin (N719) molekül yapısı.....	13
Şekil 3.1. BDGG hazırlama akım şeması	19
Şekil 3.2. Tipik bir boya duyarlı güneş gözesinin akım-voltaj (J-V) eğrisi.....	20
Şekil 4.1. 5a-c bileşiklerinin molekül yapıları.....	21
Şekil 4.2. 5a-c bileşiklerinin THF içindeki (a) ve TiO ₂ üzerindeki (b) UV-vis absorpsiyon spektrumları.....	22
Şekil 4.3. 50 mV s ⁻¹ tarama hızında 0.1 M TBABF ₄ içeren DMSO içerisindeki boyaların dönüşümlü voltamogramları.....	25
Şekil 4.4. BDGG'lerin CDCA yokluğundaki (a) ve CDCA varlığındaki (b) boyaların J-V eğrileri.....	27
Şekil 4.5. CDCA yokluğunda (a) ve varlığında (b) boya moleküllerinin TiO ₂ yüzeyindeki muhtemel adsorpsiyonu.	28
Şekil 4.6. CDCA yokluğunda (a) ve CDCA varlığında (b) 5a-c boyalarına dayanan BDGG'lerin IPCE spektrumları.	29
Şekil 4.7. CDCA içermeyen boyalara dayanan BDGG'lerin Nyquist (a) ve Bode (b) grafikleri.....	31

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1. 5a-c boya bileşiklerinin fotofiziksel özellikleri.....	23
Tablo 4.2. BDGG'lerin fotovoltatik parametreleri	26



ÖZET

Anahtar kelimeler: Kinolin, piridokarbazol, D- π -A organik boyalar, boya duyarlı güneş gözeleri.

Bu çalışmada, boya duyarlı güneş gözeleri (BDGG'ler) için π -köprüsü olarak kinolin (**5a** ve **5b**) ve piridokarbazol (**5c**) içeren üç yeni D- π -A organik boya kullanılmıştır. Deneysel ve teorik sonuçlar, piridokarbazollü boyaların, kinolin bazlı boyalara kıyasla uzun dalga boyunda ışık hasatı için uygun olabileceğini doğrulamıştır. Kenodeoksokolik asit (CDCA) ile birlikte **5a-c** boyalarından üretilen BDGG'lerin enerji dönüşüm verimleri sırasıyla % 2,39, % 2,62 ve % 3,25'dir. Bununla birlikte, bu verimlerin yardımcı adsorbant (CDCA) yokluğunda elde edilen verimlere kıyasla sadece % 8-15 aralığında artması, **5a-c** boyalarının moleküller arası agregasyonu baskıladığını ve yük rekombinasyonunu sınırladığını göstermektedir. Başka bir deyişle, bu çalışmayla D- π -A organik boyalarına π -köprüsü olarak kinolin veya piridokarbazol eklenmesiyle koadsorben içermeyen BDGG'lerin elde edilebileceği ortaya çıkarılmıştır.

INVESTIGATION OF D- π -A ORGANIC DYES BASED ON QUINOLINE FOR THEIR APPLICATIONS IN DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS

SUMMARY

Keywords: Quinoline, pyridocarbazole, D- π -A organic dyes, dye-sensitized solar cells.

In this study, three novel D- π -A organic dyes containing quinoline (**5a** and **5b**) and pyridocarbazole (**5c**) as the π -spacers have been used for dye-sensitized solar cells (DSSCs). The experimental and theoretical results confirmed that the incorporation of pyridocarbazole in the dye could be favorable for the long wavelength light-harvesting as compared to quinoline based dyes. Power conversion efficiency of DSSCs based on **5a-c** dyes together with chenodeoxycholic acid (CDCA) is 2.39%, 2.62% and 3.25% respectively. However, these efficiencies present only 8–15% of enhancement compared to that in the absence of coadsorbent (CDCA), which suggests dyes **5a-c** suppress the intermolecular aggregation and restrain charge recombination. In other words, this work suggests that the introduction of quinoline or pyridocarbazole as the π -spacers into D- π -A organic dyes is a promising way for coadsorbent-free DSSCs.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günlük yaşamın en temel ihtiyaçlarından biri olan enerji talebi son yıllarda büyük bir artış göstermektedir. Enerji kaynaklarına ulaşılması, gelişmekte olan ülkelerin nüfusu arttıkça daha da önemli hale gelmektedir. Bu sebeplerden dolayı güneş enerjisi, hidroelektrik, rüzgar enerjisi, nükleer ve jeotermal enerji gibi alternatif enerji kaynaklarının önümüzdeki yıllarda büyük güç haline geleceği öngörülmektedir [2].

21. yüzyıldaki en büyük sorunlardan biri artan enerji talebinden dolayı kullanılan fosil yakıtların sebep olduğu küresel ısınmadır. Her yıl ortalama 20 milyar ton karbondioksit, 100 milyon ton kükürt bileşikler, 2 milyon ton kurşun ve diğer zehirli gazlar, fosil yakıtların kullanılması sebebiyle atmosfere bırakılmaktadır [3]. Ayrıca fosil yakıtlar sonsuz enerji kaynakları değildir. Bu sebeplerden dolayı insanlar daha temiz enerji kaynakları aramaya yönelmişlerdir. Güneş enerjisi tükenmeyen ve israfı olmayan en önemli enerji kaynaklarından biridir. Örneğin, dünyanın sadece % 0,1'inin fotovoltaik panellerle kaplanması durumunda, ihtiyaç duyulan tüm enerjinin karşılanabileceği tahmin edilmektedir [4]. Son yıllardaki ticari fotovoltaik panellerin çoğu silisyum esaslıdır. Bu panellerin ortalama % 25 enerji dönüşüm verimi olmasına rağmen, hem üretiminin maliyetli oluşu hem de toksik kimyasalların kullanılması, silisyum esaslı fotovoltaik panellerin yaygın kullanımını sınırlandırmaktadır [5,6,7].

Silisyum esaslı panellere alternatif olarak, boya duyarlı güneş gözeleri (BDGG) ilk olarak 1991 yılında geliştirilmiştir [8]. Bir metal türü olarak rutenyum kompleksleri (N3, N719 ve Z907) içeren duyarlaştırıcılar, zor sentez ve pahalı metal içeriği nedeniyle BDGG'lerde yaygın kullanım için uygun değildir [5]. Porfirinler ise bir başka metal içeren duyarlaştırıcı türü olup, sentez aşamasında yüksek toksisite içeren bileşiklere ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda, metal içermeyen organik boyalar,

ham madde zenginliği, yüksek molar absorpsiyon katsayısı, kolay sentezlenebilme, kararlılık, çevre dostu olma, ayarlanabilir optik özellikler ve düşük maliyet gibi avantajları sebebiyle büyük ilgi görmektedir [9]. Genellikle metal içermeyen organik boyalar, bir elektron alıcı (akseptör, A) grubun ve bir elektron verici (donör, D) grubun konjuge aromatik π -köprüsü ile birleştirilmesiyle oluşturulan D- π -A yapısına sahiptir [10]. Metal içermeyen organik boyalarda, ana bileşen, molükülün absorpsiyon kapasitesini ve molekül içi elektron geçiş sürecini en çok etkileyen aromatik π -köprüsüdür [11]. Özellikle, kaynaşmış veya esnek olmayan düzlemsel aromatik π -köprüleriyle ilgili çalışmalara artan bir ilgi vardır. Çünkü kaynaşmış π -köprüsü içeren boyaların artan konjugasyon sebebiyle, hem absorpsiyonları hem de molar absorpsiyon katsayıları artmaktadır [12].

Boya duyarlı güneş gözeleri için, tiyofen türevleri, fenilen, perilen, floren, furan, antrasen, kinolin, benzotiadiazol ve tiyenoindol gibi π -köprüleri kullanılmıştır. Bu köprüler arasında kaynaşmış aromatik sistemler, görünür ışık bölgesinde geniş ve yoğun spektral absorpsiyon sergiler, bu da fotovoltaiik performansın artmasında yararlı olmaktadır [10].

Kinolin, on adet π elektronuna ve elektron veren bir azot atomu içeren bir heterosiklik halka yapısına sahiptir. Diğer bir deyişle kinolin, benzen halkasındaki iki bitişik karbon atomundan piridin halkasına kaynaşmış bir çift halka yapısıdır [13]. Kinolin, birçok doğal ürün ve ilaçta bulunur. Tıbbi uygulamalar, optoelektronik, elektronik ve polimer kimyası bu bileşiklerin uygulama alanları arasındadır [14]. Kinolin yüksek termal ve oksidatif stabiliteye sahip olup güçlü bir şekilde elektron kabul eder. İlginç optoelektronik özellikleri nedeniyle, OLED'lerde ışık yayan tabaka olarak kullanılırlar [15]. Son zamanlarda yapılan bir araştırma, metal yüzeyinde kolayca adsorbe olduklarından korozyon inhibitörü olarak kullanılabileceklerini göstermiştir [16]. Kinolin, doymamış azot atomlarından kaynaklanan yüksek elektron ilgisi nedeniyle elektronları kuvvetlice kabul eden bir moleküldür. Anılan özellikleri sebebiyle kinolin içeren bileşiklerin duyarlaştırıcı olarak BDGG'lerde kullanımını oldukça uygun olmasına rağmen söz konusu alanda gerçekleştirilen çalışmalar oldukça azdır [17].

Bu tez çalışması kapsamında, elektron donör olarak metoksi, trimetoksi ve etil grupları, π -köprüsü olarak kinolin grubu (**5a** ve **5b**) ve piridokarbazol (**5c**), elektron alıcı olarak ise siyanoakrilik asit içeren üç adet D- π -A bileşiğinin optik ve elektrokimyasal karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra söz konusu bileşiklerden elde edilen BDGG'lerin akım-voltaj (J-V), foton akım dönüşüm verimi (IPCE) ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) teknikleriyle fotovoltaik performansları belirlenmiştir.



BÖLÜM 2. YENİLENEBİLİR ENERJİ

20. yüzyılın ortalarından bu yana ekosistemler için tehdit oluşturan çevresel bozulmanın temelinde, enerji talebinin karşılanması çabaları bulunmaktadır. Enerji ihtiyacının artması sonucu fosil kaynakların kullanımı da hızla artmıştır. Enerji politikalarının belirlenmesinde dikkate alınan temel ilkeler arasında, enerjinin kesintisiz olması, zamanında temin edilmesi, enerjiye ulaşımın uygun maliyette olması, çevreye zararsız olması ve enerji kaynaklarının güvenilir olması yer almaktadır. Son yıllarda enerji üzerine yapılan bilimsel çalışmaların temelini fosil yakıtların yerine geçebilecek, yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi gün geçtikçe daha da artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan hidroelektrik enerji, suyun akış ve düşüş hızının diğer bir deyişle suyun hareket enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilir. Maliyet açısından uygun olduğu için kullanımı yaygındır. Söz konusu teknolojiye belirli bir yükseklikten fazla miktarda sular serbest bırakılır ve meydana gelen enerji türbin yoluyla mekanik enerjiye çevrilir. Daha sonra elektrik enerjisi bölgedeki jeneratörler sayesinde mekanik enerjiden elde edilir ve hidroelektrik enerji meydana gelir. Öte yandan hidroelektrik enerjinin yatırım maliyeti yüksektir ve yapıldığı yerdeki doğal yapıyı bozabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de jeotermal enerjidir. Yer kabuğu içinde yer alan magmada depolanmış geçirimli kayaların içindeki ısının enerjisine jeotermal enerji denir. Geçmişte sıklıkla yararlanılan enerji kaynaklarından biridir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından bir diğeri ise biyokütle enerjisidir. Odun atıkları, zirai mahsuller, kentsel katı atıklar ve hayvan atıkları biyokütle enerji kaynaklarıdır. Diğer enerji kaynaklarının yetersiz kaldığı yerlerde biyokütle enerjisi yakma teknikleriyle elde edilmektedir. Biyokütle enerjisi genel olarak ısıtma ve pişirme amacıyla kullanılmaktadır. Fakat biyokütle enerjisinin verimi düşüktür ve tarım arazilerinin azalmasına sebep olabilir [18,19].

Diğer bir yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de rüzgardır. Bilindiği üzere güneş ışınları yeryüzü katmanlarını tek tek ısıtır ve bu ısınan katmanlardan havaya yansıyan güneş ışınları havanın ısınmasına sebep olur. Güneşten gelen ışınların depolanması zaman ve konum gibi etkilerle değişmektedir. Bu nedenle atmosferde meydana gelen basınç, yoğunluk ve sıcaklık farklılık göstermektedir. Bunun sonucunda çeşitli kuvvetler oluşur ve oluşan bu kuvvetler rüzgar enerjisini meydana getirmektedir [20,21].

2.1. Güneş Enerjisi

Güneş canlılar için vazgeçilmez bir enerji ve yaşam kaynağıdır. Sıcak gazlardan meydana gelen güneş dünyamıza 150 milyon km uzaklıkta bulunur. Güneşten gelen enerji füzyon tepkimesi sonucunda oluşan çok büyük potansiyele sahip bir enerjidir. Dünya üzerine güneşten gelen enerjinin küçük bir kısmı düşmektedir. Güneş, dünyada var olan bütün enerji kaynaklarının temel dayanağını meydana getirmektedir. Yüzyıllar öncesinde güneşten elde ettikleri enerji sayesinde dönüşüm geçiren fosil kaynaklar günümüzdeki şekline gelmiştir. Canlı hayatının sürdürülebilmesi güneş enerjisine bağlıdır [20,22].

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi en güçlü ve en fazla araştırma yapılan enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisinden faydalanarak elektrik enerjisi üretimi hızla yol kateden bir araştırma alanıdır. Yeryüzünün, güneşten her saat yaklaşık olarak 100.000 terawatt'lık anlık ışınım şiddeti aldığı düşünüldüğünde, gelecek yılların enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin büyük bir potansiyele sahip olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bunun neticesinde son zamanlarda fotovoltaiik araştırmalar, bilim insanlarının öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır [23].

Bir yıl süresince dünyaya gelen güneş ışığı $1,5 \times 10^{18}$ kW h kadardır. Buna karşılık dünyada bulunan petrol, kömür ve doğal gaz rezervleri sırasıyla $1,75 \times 10^{15}$ kW h, $1,4 \times 10^{15}$ kW h ve $5,5 \times 10^{15}$ kW h kadardır [24]. Görüldüğü üzere güneşin dünyaya ulaşan çok küçük bir kısmı bile, diğer enerji kaynaklarından çok daha fazladır. Diğer bir deyişle güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren güneş gözeleri veya panelleri

ile dünya yüzeyinin yalnızca % 0,1'inin kaplanması halinde dünyanın enerji ihtiyacı karşılanabilmektedir [25]. Bu nedenle güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren cihazların kullanımı ve geliştirilmesi enerji sorunuyla başa çıkmada önemli rol oynayacaktır. Gitgide azalan maliyetlerle elektrik enerjisi elde edilmesini sağlayan güneş ya da fotovoltaik paneller de enerji sorununa etkili bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu paneller ile elektrik enerjisi eldesi, toksik olmayan ve gürültüsüz bir teknolojidir. Son zamanlarda büyük ilgi gören organik güneş gözeleri de gün geçtikçe gelişme kaydetmektedir.

2.1.1. Türkiye’de güneş enerjisi

Türkiye’nin enerji ihtiyacı, ekonomik gelişmeler neticesinde hızla artış göstermiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi ülkemiz için büyük önem teşkil etmektedir. Üstelik Türkiye güneş enerjisinden yüksek düzeyde faydalanabilecek konumdadır. Uluslararası Enerji Ajansı’na göre, Türkiye’de günlük ortalama güneş yoğunluğu 3,6 kW h/m²’dir [26]. Ayrıca, 10 milyon m² kurulu güneş enerjisi kollektörü, Türk halkının güneş enerjisine olumlu yaklaştığını göstermektedir. Sonuç olarak Türkiye’nin enerji ihtiyacını karşılamada güneş enerjisi büyük bir potansiyel sunmaktadır [27]. Avrupa’da güneş enerjisini etkin bir şekilde kullanan Almanya ile bu alanda iş birliği sağlayan Türkiye, mevcut olan gücünü artırmakta ve güneş enerjisine yatırım yapmaktadır. Türkiye kendi mevcut gücü ile karşılaştırıldığında fotovoltaik teknoloji açısından yol katetmiştir. Bununla birlikte gün geçtikçe artan enerji ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanabilmesi için gelecek yıllarda daha fazla yatırım yapılması gerekmektedir [28].

2.2. Boya Duyarlı Güneş Gözeleri (BDGG)

Boya duyarlı güneş gözeleriyle (BDGG) ilgili daha önceden çeşitli çalışmalar yapılsa da, yüksek verimliliğe sahip boya duyarlı güneş gözeleri ilk olarak 1991 yılında Gratzel tarafından geliştirilmiştir. Rutenyum kompleksli boya içeren bu ilk tip BDGG’nin verimliliği % 7-8 olarak hesaplanmıştır. Boya duyarlı güneş gözelerinin avantajları arasında boya moleküllerinin kolaylıkla saflaştırılabilmeleri, ucuz bir

şekilde elde edilebilmeleri ve dolayısıyla ucuz maliyetlerle üretilebilmeleri sayılabilir. Diğer güneş gözeleriyle karşılaştırıldığında düşük verimliliğe sahip gözükseler de, ucuz maliyetli olmaları dikkate alındığında göreceli olarak yüksek verim sağlarlar. Boya duyarlı güneş gözeleri ayrıca yüksek sıcaklık ve difüze ışık şartları altında diğer güneş gözelerine göre nispeten daha iyi performans gösterir [29,30,31]. Şu zamana kadar rutenyum(II)–polipridil kompleksi (Ditetrabütülamonyum cis-bis (izotiyosiyano)bis (2,2'-bipiridil-4,4'-dikarboksilato) rutenyum(II), N719) ve çinko içeren porfirin boyalarının kullanıldığı BDGG'lerde sırasıyla % 10 ve % 13'ün üzerinde enerji dönüşüm verimleri elde edilmiştir [32,33].

Bir BDGG aşağıdaki bileşenlerde oluşur:

- Elektronun taşınmasına ve gelen ışığın geçmesine olanak sağlayan anot
- Elektronların aktarılması amacıyla substrat üzerinde biriktirilen bir mezo-gözenekli metal oksit katmanı (TiO₂)
- Monomoleküler boya tabakası
- I⁻/I₃⁻ içeren elektrolit
- Karbon ya da Pt ile kaplı iletken ve şeffaf cam kompozisyonundaki katot [8,34,35,36]

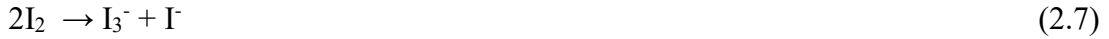
BDGG güneş ışınına maruz bırakıldığında anottaki uyarılan boya (B), elektronunu metal oksite (TiO₂ gibi) aktarır [37,38] (Şekil 2.1).



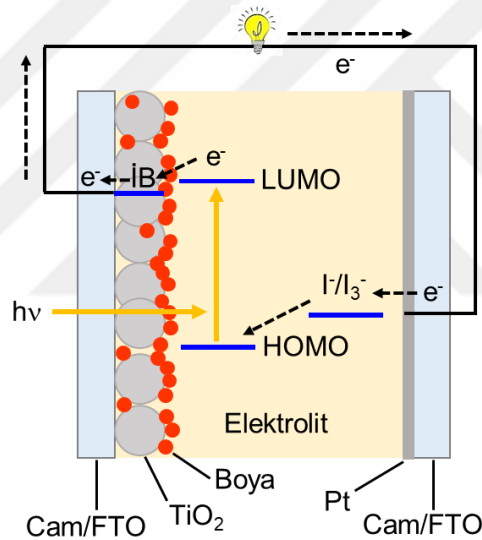
Metal oksitteki elektron katoda (veya karşıt elektroda) giderek elektrolitin indirgenmesini gerçekleştirir:



Bu esnada yükseltgenmiş boya ile elektrolit arasında aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelir:



Bu şekilde yükseltgenmiş boya yeniden eski haline döner ve uyarılarak elektron vermeye devam eder. Aynı zamanda elektrolit hem elektron aldığı hem de elektron verdiği için ortamda kalmaya devam eder [39,40].



Şekil 2.1. Bir BDGG'deki elektron aktarım mekanizması

2.3. BDGG'lerde Verimi Etkileyen Faktörler

BDGG'lerde enerji dönüşüm veriminin yüksek olması için ışığı soğuran boyanın, yarıiletken metal oksit nanokristalin ve boşluk taşınımı için seçilen elektrolitin içeriğinin uygun seçilmesi gerekmektedir. Seçilen boyanın, TiO₂'nin yüzeyine bağlanabilmesi amacıyla bir bağlayıcı grup içermesi ve güneş spektrumunun daha geniş bir kısmında güçlü bir şekilde soğurma yapması gerekmektedir [41,42].

Aynı zamanda BDGG'lerin verimliliğini etkileyen faktörler arasında boya ve elektrolit konsantrasyonu, tavlama sıcaklığı ve yarıiletken metal oksit film kalınlığı sayılabilir. Ayrıca elektrotlarda iletkenlik ve geçirgenlik, redoks potansiyeli, elektrolitin difüzyon sabiti, katkıları, kullanılan yarıiletken materyalin bant boşluğu, buhar basıncı, yüzey alanı ve parçacık boyutu, yükseltgenme derecesi, elektron transfer hızı ve kararlılık, spektral kaplama alanı, kullanılan boyanın soğurma sabiti gibi birçok faktör de BDGG'lerin verimini etkilemektedir [41].

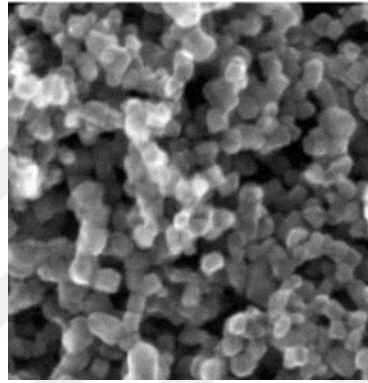
BDGG'lerde fotokataliz, fotovoltajik enerji dönüşüm uygulamaları ve elektronik cihazlar için nanokristal metal oksit filmleri önemlidir. Kalay oksit (SnO_2), Çinko oksit (ZnO) ve Niobyum pentoksit (Nb_2O_5) gibi metal oksitlerin, TiO_2 nanokristal metal oksit filmlerine alternatif olarak gösterilmesi adına çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda SnO_2 'nin iletim bandı potansiyelinin TiO_2 'nin iletim bandı potansiyelinden 0,4 V daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu nedenden dolayı SnO_2 kullanılan BDGG'lerde daha düşük açık devre voltajı (V_{OC}) elde edildiğinden dolayı elektronlarda yük kaybına sebebiyet vermektedir [41,43].

2.4. TiO_2 'nin Fotoanotta Kullanımı

Güneş ışınlarının yaklaşık olarak % 50'si yakın kızılötesi (NIR), % 45'i görünür bölge (GB ya da vis) ve % 5'i ultraviyole (UV) ışınlarından oluşur [44]. BDGG'lerde kullanılan boyalar görünür bölge ışınlarını absorplamaktadır ve BDGG'lerde genellikle metal oksit olarak TiO_2 kullanılmaktadır. Yarıiletken bir bileşik olan TiO_2 aynı zamanda UV ışınları da absorplamaktadır. TiO_2 'ye bu ayrıcalığı sağlayan sahip olduğu bant aralığı enerjisidir (3,2 eV). Sahip olduğu bu özellik sayesinde güneş ışınlarının UV bölümlerini absorplaması ve yüzeyindeki boyanın da GB ışınlarını absorplaması sonucunda oluşturulmuş BDGG'nin söz konusu ışınları absorplaması sağlanmış olmaktadır [45,46].

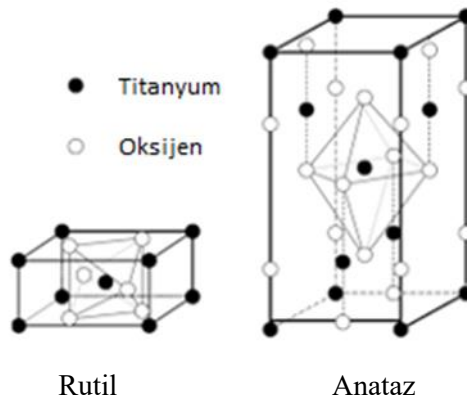
Bilindiği gibi BDGG'ye güneş ışını iletken cam/ TiO_2 /boya dizilişine göre elde edilen fotoanotun cam kısmından girer ve TiO_2 'nin saydam olması nedeniyle de görünür bölge ışınlarının boyaya ulaşması sağlanmış olur. TiO_2 yapı olarak Rutil, Anataz ya

da Brukit kristal formlarında bulunur (Şekil 2.2). Anataz, TiO_2 'nin en iyi fotoaktiviteye sahip formu olmasından dolayı BDGG'lerde daha çok tercih edilir. Anataz hem yüksek iletkenlik bant değerine hem de geniş bant aralığına sahip olan formdur. Anataz formunun kullanılması neticesinde fotoreaksiyon daha hızlı meydana gelmektedir [8,30]. Günümüze kadar olan çalışmalar genellikle daha geniş yüzey alanına sahip fotoanot elektrot üretilmesi üzerine yapılmıştır ve bu çalışmalar neticesinde, pil verimleri yapılan ilk çalışmalara göre ortalama 10 kat artış göstermiştir [47].



Şekil 2.2. 15 nm gözenek çaplı nanokristal bir TiO_2 filminin FESEM görüntüsü [48].

Rutil ve anataz TiO_2 formlarının birim hücre yapıları Şekil 2.3.'de verilmiştir. Rutil formunda, her bir oktahedronun 10 komşu oktahedron ile temasta olduğu görülmektedir. Anataz formunda ise her oktahedronun 8 komşu ile temas halinde olduğu görülmektedir. Yapılardaki bu farklılık nedeniyle, elektronik bant yapıları ve kütle yoğunlukları rutil ve anataz fazlarda değişiklik göstermektedir [49,50].



Şekil 2.3. Rutil ve anataz fazlarının birim hücre yapıları [51]

TiO₂, BDGG'lerin yanı sıra gıda, boya, kozmetik gibi birçok alanda kullanılmaktadır. TiO₂'nin fotokatalitik özelliğinin keşfedilmesi ile birlikte kullanım alanlarında artış meydana gelmiştir [52]. TiO₂'nin yüzeyi ışık etkisi ile süper hidrofilik özellik kazanır ve bu özelliği sayesinde buğulanmayan yüzeyler elde edilmektedir [53]. Fotokatalitik TiO₂'nin aynı zamanda kanser tedavilerinde kullanılabileceği Fujishima ve grubu tarafından ileri sürülmüştür [54,55].

2.5. BDGG'lerde Kullanılan Boyalar

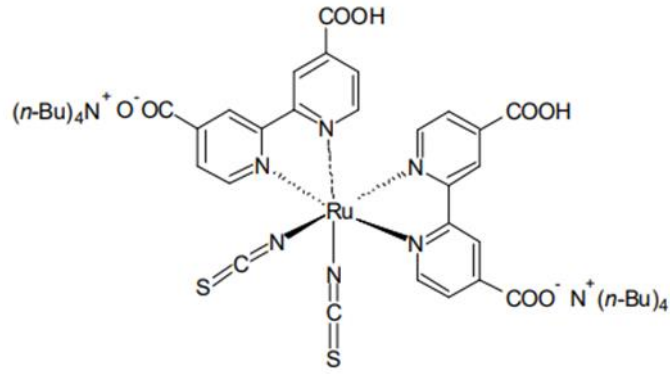
Boya duyarlı güneş gözelerinde kullanılacak boyalar aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmalıdır [34,35,56]:

- Görünür bölgede hatta yakın kızılötesi bölgesinin bir bölümünde absorpsiyon spektrumu sergilemeleri gerekmektedir.
- -COOH, -SO₃H, -H₂PO₃⁻, -SCN⁻ gibi yüzeye tutunabilecek gruplar içermesi gerekmektedir.
- Kullanılacak boyaların uyarılmış hal seviyelerinin (LUMO) yarıiletkenin iletkenlik bant sınırından yüksek olması istenmektedir.
- Ayrıca boyaların temel hal seviyelerinin (HOMO) yarıiletkenin değerlik bant sınırından yüksek olması ve aynı zamanda iletkenlik bant sınırının altında olması istenmektedir.
- Boyanın HOMO seviyesi elektrolitin redoks potansiyelinden yüksek olmalıdır. Bu özellik boya rejenerasyonunun sağlanması için de gerekmektedir.
- Yüzeydeki istenmeyen boya yığılmaları (agregasyon) yardımcı adsorbantın eklenmesi ya da boyanın molekül yapısının optimizasyonu ile önlenabilir olmalıdır.
- Boyaların fotokararlı ve aynı zamanda termal, elektrokimyasal kararlılığa sahip olması gerekir.

Boyar madde, BDGG'lerin elektron kaynağıdır ve bu amaç doğrultusunda birçok boya molekülü geliştirilmiştir. Kullanılan boyaları, metal kompleks boyalar, metal içermeyen organik boyalar ve doğal boyalar olmak üzere sınıflandırabiliriz.

Metal kompleks boyalar, merkez metal iyonuna bağlı, en az bir adet bağlayıcı grup bulduran ligantları kapsamaktadır. Bu boyaların metalden liganda yük taşınması sonucunda ışık absorpsiyonu meydana gelmektedir. Komplekslerin tüm özellikleri üzerinde merkezdeki metal iyonu fazlasıyla rol oynamaktadır. Farklı fonksiyonel gruplar sayesinde (alkil, aril, heterohalkalı bileşikler vs.) ligandların elektrokimyasal ve fotofiziksel özelliklerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Bu neticede fotovoltajik performans artırılabilir. Metal kompleks boyalar diğer boya türleri ile (metal içermeyen organik boyalar, doğal boyalar) karşılaştırıldığında yüksek termal ve kimyasal kararlılığa sahiptir. Bu tür boyalarda en fazla rutenyum (Ru) kompleksleri kullanılmaktadır. Aynı zamanda Cu, Os, Re, Fe ve Pt metallerinin kompleksleri de BDGG'ler üzerinde uygulanmıştır [38,49].

BDGG'lerde ilk olarak kararlı elektrokimyasal özelliklere ve redoks özelliklere sahip aynı zamanda görünür bölgede absorpsiyon yapabilen rutenyum temelli boyalar kullanılmış ve bu boyalardan yüksek fotovoltajik verimler elde edilmiştir. Rutenyum komplekslerinde farklı ligantlar kullanılarak rutenyum içeren güneş gözelerinin verim çalışmaları yapılmıştır. N719 (V_{OC} : 846 mV, J_{SC} : 17,73 mA/cm²) yapılan çalışmalarda kullanılan en başarılı boyalardan biri olup verimi % 11,18 olarak elde edilmiştir (Şekil 2.4.). N719 boyasının en büyük dezavantajı ise görünür bölgedeki spektrumun kırmızı bölgesindeki absorpsiyon eksikliği ve monodentat tiyosiyanat (SCN) ligantlarının varlığıdır. SCN ligandı I⁻ ile etkileşime girerek boyanın yenilenmesini sağlar. Fakat aşırı termal stres ve ışık altında düşük hücre stabilitesine sebep olmaktadır [41,57].



Şekil 2.4. Rutenyum kompleksinin (N719) molekül yapısı [58]

BDGG'lerde çeşitli porfirinler de duyarlaştırıcı boya olarak kullanılmıştır. Porfirinlerin makro halkasındaki 22 π elektronunun 18 tanesini konjugasyona katar ve aromatik yapı elde edilir. Bu sayede görünür bölgede 350-500 nm arası çok kuvvetli absorpsiyon gösterirler. Son zamanlarda güneş gözelerinde çinko porfirin boyası kullanılarak elde edilen verim % 13 olarak bulunmuştur [33,41,59].

Ftalosiyanimler, geniş π -konjuge sistemleri, yüksek sönüm katsayıları, TiO_2 filmlerinin duyarlılığı için uygun redoks özellikleri ve sağlamlığı nedeniyle boya duyarlı güneş gözelerinde kullanılan bir diğer metal içeren duyarlaştırıcılar olarak bilinirler. Ftalosiyanimler doğal porfirinlerin sentetik analogları olup mezo pozisyonundaki 8 adet azot atomu ile birbirine bağlı 4 izoindol ünitesinden meydana gelen, 18 π elektron sistemini barındıran aromatik, makrosiklik bileşiklerdir. Bilinen en iyi türevleri ise tetraazaporfirinlerdir. Düzlemsel yapının azot atomları ile sarılı olması nedeniyle yüksek termal kararlılığa sahiptirler. Ftalosiyanimler elektronik absorpsiyon spektrumlarında B (Soret) ve Q bandı olmak üzere karakteristik iki tane kuvvetli absorpsiyon bandı sergilemektedirler. Q bandını veren π - π^* geçişlerinden dolayı ftalosiyanimler mavi ve yeşil renge sahiptir ve genel olarak bu bant 600-700 nm dolaylarında elde edilir. Daha az şiddetli olan B bandı ise 300-400 nm dolaylarında elde edilmektedir [60,61,62]. Ftalosiyanimin esaslı BDGG'lerin en önemli dezavantajı enerji dönüşüm verimlerinin genellikle düşük olmasıdır.

Metal içermeyen organik boyalar genellikle bir elektron alıcı grubun ve bir elektron verici grubun konjuge π -köprüsü ile birleştirilmesiyle oluşturulan D- π -A (donör-

köprü-akseptör) yapısına sahiptir [10]. Metal komplekslerine göre metal içermeyen organik boyaların avantajları arasında organik boyaların moleküler yapılarının farklılık göstermesi ve daha kolay modifiye edilerek sentezlenebilmesi, yüksek sönümlenme yapabilmeleri, çevreye daha az zarar vermeleri sayılabilir. Ayrıca maliyet açısından bakıldığında soy metal komplekslerine kıyasla daha avantajlıdır. Fakat organik boyaların agregasyon yapma eğiliminde olmaları, dar bant aralığında absorpsiyon yapmaları ve kararlılık gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Metal içermeyen organik boyalarda, ana bileşen, molükülün absorpsiyon kapasitesini ve molekül içi elektron geçiş sürecini en çok etkileyen bileşen olan aromatik π -köprüsüdür [11]. Günümüzde kaynaşmış düzlemsel aromatik π -köprülerle ilgili çalışmalara artan ilgi vardır. Kaynaşmış π -köprüsü içeren boyaların artmış konjugasyonu sebebiyle, hem absorpsiyonları hem de molar absorpsiyon katsayıları artmaktadır [12]. BDGG'lerde tercih edilen organik boyalar genellikle D- π -A yapılarındadır ve bu sayede HOMO ve LUMO enerji seviyelerini düzenlemek, molekülün absorpsiyon spektrumunu genişletmek ve molekül içi yük ayrımını tamamlamak mümkün hale gelmektedir. Donörden akseptöre doğru π -köprüleri vasıtasıyla molekül içi yük taşınımı meydana gelmektedir. Şimdiye kadar BDGG'ler üzerinde çalışma yapılmış metal içermeyen organik boyalar arasında karbazol boyaları, kumarin boyaları, indolin boyaları, perilen boyaları, polimerik boyalar, tetrahidrokinolin boyaları vs. sayılabilir [38,49,63,64].

Tiyofen türevleri, fenilen, perilen, flor, furan, antrasen, kinolin, benzotiadiazol ve tiyenoindol gibi çeşitli π -köprüleri boya duyarlı güneş gözeleri için kullanılmıştır. Bu köprüler arasında kaynaşmış aromatik sistemler, görünür ışık bölgesinde geniş ve yoğun spektral absorpsiyon sergiler, bu da fotovoltajik performansı arttırmak için yararlı olmaktadır [10].

Kinolin, doymamış azot atomlarından kaynaklanan yüksek elektron ilgisi nedeniyle elektronları güçlü olarak kabul eden bir moleküldür [17]. On adet π elektronu içeren bir heterosiklik halka yapısına ve elektron veren bir azot atomuna sahip olan kinolin, birçok doğal ürün ve ilaçta bulunur [13]. Aynı zamanda tıbbi uygulamalar, optoelektronik, elektronik ve polimer kimyası bu bileşiklerin uygulamaları

arasındadır [14]. Kinolin yüksek termal ve oksidatif stabiliteye sahiptir. İlginç optoelektronik özellikleri nedeniyle, OLED'lerde ışık yayan bir tabaka olarak kullanılırlar [15]. Son zamanlarda yapılan bir araştırma, metal yüzeyinde kolayca adsorbe olmaları nedeniyle korozyon inhibitörü olarak kullanılacaklarını göstermiştir [16]. Anılan özelliklerine göre kinolinin BDGG'lerde duyarlaştırıcı metal içermeyen boya yapılarında kullanımının oldukça uygun olduğu görülmektedir. Ancak literatür incelendiğine kinolin esaslı BDGG'ler ile ilgili çok az sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir [17]. Bu bilgiler ışığı altında, söz konusu tez çalışması kapsamında π -köprüsü olarak kinolin içeren üç D- π -A boyasının BDGG'lerde duyarlaştırıcı olarak kullanımı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, söz konusu boyaların yardımcı adsorbant gerektirmeden BDGG'lerde kullanılacaklarını göstermiştir.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez çalışması kapsamında BDGG üretiminde kullanılan flor katkılı SnO₂ (FTO) kaplanmış cam substrat (15 Ω), saydam TiO₂ pastası (15-20 nm), platin çözeltisi, N719 (Ruthenizer 535-bisTBA, Solaronix), I⁻/I₃⁻ içeren redoks elektrolit (Iyodolit HI-30) ve ayırıcı film (kalınlığı 25 µm) Solaronix'ten satın alınmıştır. Ayrıca hem BDGG'lerde hem de elektrokimyasal işlemlerde kullanılan kenodeoksokolik asit (CDCA), asetonitril (ACN), etanol (EtOH), metanol (MeOH), tetrahidrofuran (THF), ferrosen (Fc/Fc⁺) ve tetrabütilamonyumtetrafloroborat (TBABF₄) Sigma-Aldrich'ten satın alınmıştır. Elde edilen BDGG'lerin fotoelektrokimyasal çalışmaları ile ilgili kısımlar ayrıntılı olarak sonraki kısımlarda açıklanmıştır.

3.2. Kullanılan Teknikler

Shimadzu UV 2600 spektrofotometresi kullanılarak çözelti ve film formundaki boyaların absorpsiyon spektrumları ölçülmüştür. Bir potansiyostat/galvanostat (PARSTAT 2273, Princeton Applied Research) aracılığıyla kullanılan boyalarla ilgili tüm elektrokimyasal çalışmalar yapıldı. DMSO içerisindeki 0,3 mM boya bileşiği ve 0,1 M TBABF₄ elektrolitini içeren çözeltilerinden, Pt telin karşıt elektrot, Pt diskin referans elektrot ve camsı karbonun çalışma elektrotu şeklinde kullanıldığı bir hücrede 0,050 V s⁻¹ tarama hızında dönüşümlü voltametri ölçümleri alındı. Fc/Fc⁺'nin potansiyeline göre dönüşümlü voltametri ölçümlerinden alınan pik potansiyelleri kalibre edildi.

3.3. BDGG Yapımı ve Fotoelektrokimyasal Ölçümler

3.3.1. Boya duyarlı güneş gözelerinin hazırlanması

3.3.1.1. Flor katkılı SnO₂ (FTO) kaplanmış cam substratın temizlenmesi

Flor katkılı SnO₂ (FTO) kaplanmış cam substratın temizliği hem cam substratın homojen yapıda olması hem de BDGG'nin performansı yönünden oldukça önemlidir. Bu sebepten dolayı kullanılan cam substratın temizliğine özen gösterilmelidir. Cam substratlar bir kesici yardımıyla 16 x 25 mm boyutlarında kesildi. Sonrasında sırasıyla 0,1 M HCl, aseton ve izopropanol içerisinde sonikatör vasıtasıyla ultrasonik işleme temizlendi. Ardından deiyonize su (DI) ve etanol ile yıkandı.

3.3.1.2. TiO₂ filminin hazırlanması

Cam substratların kuruması beklendikten sonra substratın iletken yüzeyi ampermetre yardımıyla tespit edildi. İletken yüzeye aktif alanı 0.196 cm² olacak şekilde ve yaklaşık 50 µm derinliğe sahip yapışkan bant (Scotch TM, 3M) uygulandı. Cam substratlar, bant kaplandıktan sonra 70°C'de 30 dakika süresince önceden hazırlanmış 0,04 M'lik sulu TiCl₄ çözeltisi içerisinde bekletildi ve DI ile durulanıp kurumaları sağlandı. Sonrasında substratların 0.196 cm²'lik aktif alanı üzerine TiO₂ macunu (Solaronix Ti-Nanoxide T/SP) cam baget vasıtasıyla doktor blade yöntemi kullanılarak homojen bir şekilde sürüldü [65]. Cam substratlar üzerindeki bant dikkatlice çıkarıldı. Daha sonra TiO₂ kaplı film bir ısıtıcı üzerine konularak düzenli aralıklar ve düzenli sıcaklık artışları ile 500°C'ye ulaşıldı ve 30 dakika boyunca bu sıcaklıkta substratlar bekletildi. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken noktalarda biri de cam substratların üzerinde ısıtma işleminden sonra bant kalıntılarının kalmaması yani camın yüzeyinin şeffaf olarak kalmasıdır. TiO₂ kaplanmış filmlerin kendi halinde oda sıcaklığına gelmesi beklendi. Aktif alanda çift tabakalı TiO₂ film elde etmek üzere cam substratlar üzerine tekrar bant yapıştırıldı, TiO₂ macunu tekrar sürüldü ve ısıtma işlemi tekrarlandı. Macun sürme işleminde alt TiO₂ katmanına zarar verilmemesine dikkat edildi. TiO₂ filmi oda sıcaklığına soğutuldu ve 70°C'de 30 dakika süresince önceden hazırlanmış

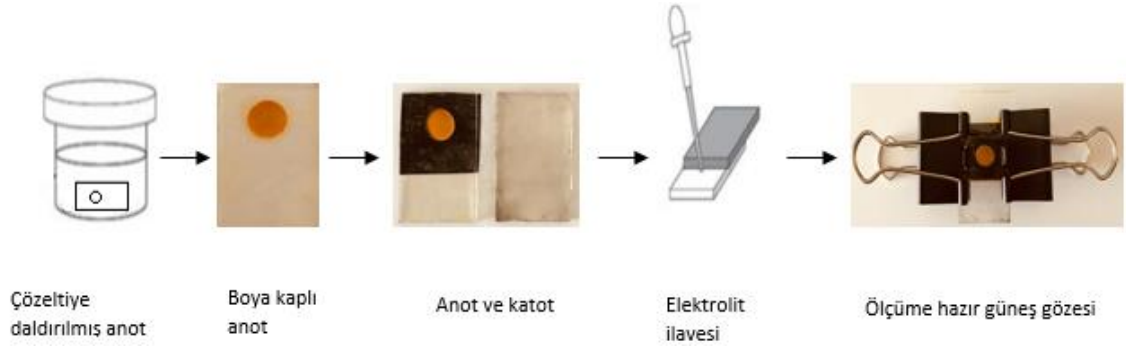
0,04 M'lik sulu $TiCl_4$ çözeltisinde tekrar bekletildi ve akabinde kurumaya bırakıldı. Cam substratlar kuruduktan sonra tekrar düzenli aralık ve düzenlik sıcaklık artışları ile $500^{\circ}C$ 'ye kadar çıkarıldı ve 30 dakika boyunca $500^{\circ}C$ 'de bekletildi. Sonrasında oda sıcaklığında kurumaya bırakılarak TiO_2 filmi hazır hale getirildi.

3.3.1.3. TiO_2 yüzeyine boya adsorpsiyonu

Hazırlanan TiO_2 kaplı fotoanotlar $130^{\circ}C$ 'ye kadar ısıtıldı ve içerisinde 0,3 mM boya (5a-c) içeren MeOH çözeltilerine daldırıldı, oda sıcaklığında 6 saat bekletildi. Daha sonra boya çözeltileri içerisindeki cam substratlar alınıp MeOH ile yıkandı ve bu sayede TiO_2 filmi yüzeyine tutunamayan boya molekülleri uzaklaştırıldı. Cam substratlar oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı ve böylece BDGG'nin fotoanot ya da fotoelektrot kısmı hazırlanmış oldu. Aynı işlem 3 mM CDCA yardımcı adsorbanını içeren çözeltilerde 6 saat oda sıcaklığında bekletilerek yapıldı. Böylelikle CDCA içeren ve CDCA içermeyen boya çözeltilerine daldırılmış fotoanotlar için değerlendirmelere olanak sağlandı.

3.3.1.4. Karşıt elektrot hazırlanması

Flor katkılı SnO_2 (FTO) üzerine H_2PtCl_6 çözeltisi (Platisol T, Solaronix) üzerinde boşluk kalmayacak şekilde damlatılmış, $500^{\circ}C$ 'ye kızdırılarak platinle (Pt) kaplanmıştır ve bu cam substratlar BDGG'lerde karşıt elektrot olarak kullanılmıştır. Daha sonra BDGG'lerde fotoanot ve karşıt elektrot arasına kısa devreyi önlemek amacıyla 25 μm kalınlığındaki bir polimer film (Meltonix 1170-25, Solaronix) konuldu. Birleştirilen fotoanot ve karşıt elektrot arasına elektrolit olarak ise I^-/I_3^- içeren redoks çözeltisi (Iyodolit HI-30, Solaronix) enjekte edildi. Daha sonra hızlı bir şekilde, elde edilen yapının karşılıklı iki kenarı klipslerle tutturuldu. Aynı zamanda TiO_2 filmi, EtOH/ACN'de (1/1) çözülmüş olan 0,5 mM N719 ve 5 mM CDCA içeren bir çözelti içerisinde 6 saat süresince bekletildi [66].



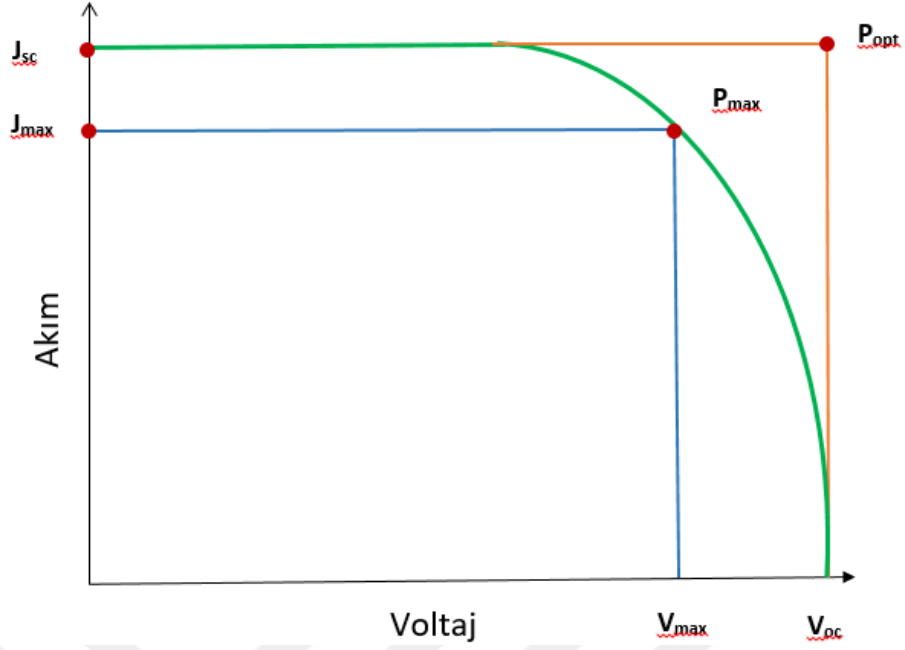
Şekil 3.1. BDGG hazırlama akım şeması

AM 1.5 global filtrelili bir güneş simülatörü (96000, Newport) ile BDGG'lerin akım-voltaj (J-V) eğrileri potansiyostat/galvanostat aracılığıyla kaydedildi. Silisyum dedektör (918D-SL-OD3, Newport) ile simülatörün gücü 100 mW/cm^2 olarak kalibre edildi. Siyah maske kullanılarak aktif alan (0.196 cm^2) sabitlendi. Simülatörden gelen ışın altında doğrusal taramalı voltametri tekniği ile alınan voltamogramlardan elde edilen parametrelerin aşağıda verilen eşitliklerde kullanılmasıyla enerji dönüşüm verimi (η) hesaplandı [67,68].

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

$$FF = (V_{max} \times J_{max})/(V_{OC} \times J_{SC}) \quad (3.2)$$

Eşitliklerdeki V_{OC} , açık devre voltajıdır ya da akım sıfır olduğunda devrede görülen potansiyeldir. Açık devre voltajı ışık miktarına göre değişmektedir ve parlaklık arttıkça logaritmik olarak artar. J_{SC} , kısa devre akımını gösterir ve pilde uçlar arasındaki voltajın sıfır olduğu zaman gözlenen akımdır. FF (Full Fill) tam doluluk oranını ve P_{in} ise gelen ışının şiddetini (100 mW/cm^2) göstermektedir. V_{max} maksimum voltajı, J_{max} maksimum akımı göstermektedir. Voltajların birimi V, akımların birimi ise mA/cm^2 'dir [47]. Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi J_{max} ve V_{max} 'ın izdüşümlerinin kesiştiği nokta P_{max} olarak bilinir. Bu, bir BDGG'nin maksimum güç sağladığı nokta ya da diğer bir deyişle maksimum enerji olarak bilinir. P_{opt} ise BDGG'nin optimum güç noktası olup, J_{SC} ve V_{OC} 'nin kesim noktalarına karşılık gelmektedir.



Şekil 3.2. Tipik bir boya duyarlı güneş gözesinin akım-voltaj (J-V) eğrisi

BDGG'lerin % IPCE değeri yani foton-akım dönüşüm verimliliği, bir monokromatörden (74004, Oriol) 350 ile 800 nm arasında gelen ışın altında alınan doğrusal taramalı voltamogramlar ile bulunur. % IPCE aşağıda verilen eşitlikle hesaplanabilmektedir [61,69].

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

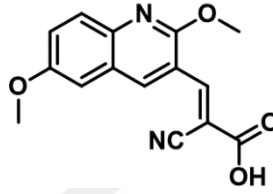
Eşitlikte yer alan λ , ışının nm cinsinden dalga boyudur.

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ölçümleri ise potansiyostat/galvanostat kullanılarak karanlık ortamda 0,1 ile 10^5 Hz frekans aralığında -0,61 V'de yapıldı.

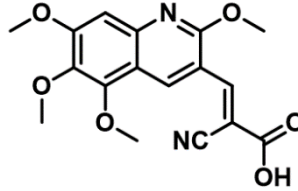
BÖLÜM 4. DENEYSEL ARAŞTIRMA VE SONUÇLAR

4.1. BDGG'lerde Kinolin Esaslı Organik Boyaların Kullanımı

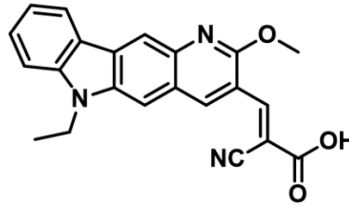
Tez kapsamında daha önce sentezlenen 2-siyano-3-(2,6-dimetoksikinolin-3-il) akrilik asit (**5a**), 2-siyano-3-(2,5,6,7-tetrametoksikinolin-3-il) akrilik asit (**5b**) ve 2-siyano-3-(6-etil-2-metoksi-6H-pirido[3,2-b]karbazol-3-il) akrilik asit (**5c**) bileşikleri BDGG'lerde duyarlaştırıcı boya olarak kullanılmıştır (Şekil 4.1).



2-siyano-3-(2,6-dimetoksikinolin-3-il) akrilik asit (**5a**)



2-siyano-3-(2,5,6,7-tetrametoksikinolin-3-il) akrilik asit (**5b**)



2-siyano-3-(6-etil-2-metoksi-6H-pirido[3,2-b]karbazol-3-il) akrilik asit (**5c**)

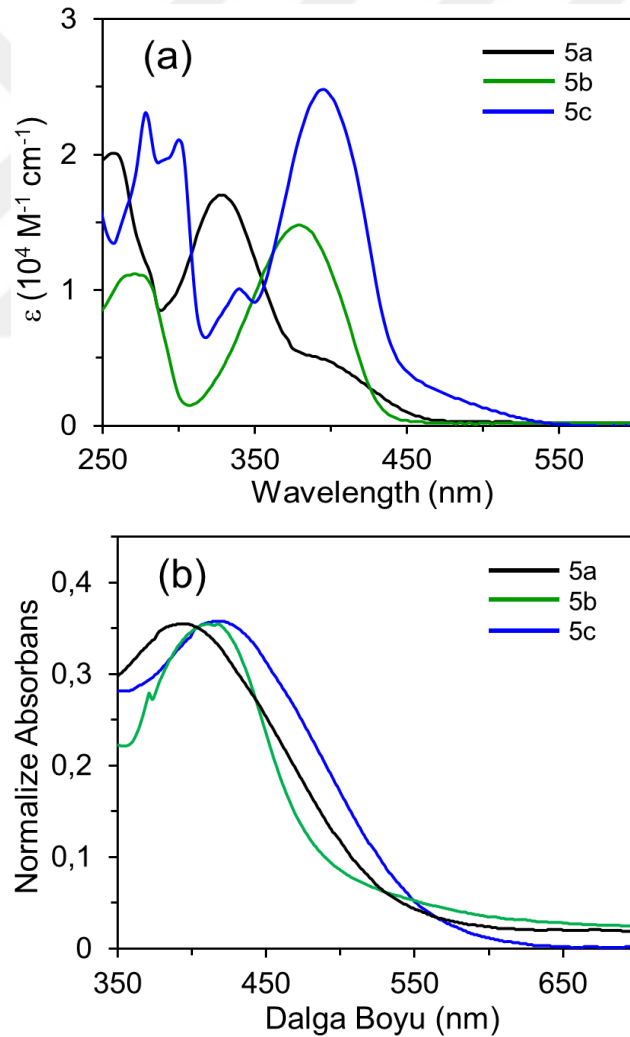
Şekil 4.1. **5a-c** bileşiklerinin molekül yapıları

Şekil 4.1. incelendiğinde akseptör olarak siyanoakrilik asitin kullanıldığı görülmekte ve 5b'de, 5a bileşiğinden farklı olarak donör olarak metoksi yerine trimetoksi

grubunun yer aldığı görülmektedir. 5c bileşiğinde ise π -köprüsü olarak kinolin ile karbazolün bir araya gelmesiyle oluşan piridokarbazolün ve donör olarak da etil grubunun bağlandığı görülmektedir.

4.2. Kinolin Esaslı Bileşiklerin Optik ve Elektrokimyasal Özellikleri

5a-c boyalarının seyreltilmiş THF çözeltisi (1×10^{-5} M) ve TiO₂ filmi üzerindeki UV-vis absorpsiyon spektrumları Şekil 4.2.'de verilmektedir. Fotofiziksel veriler ise Tablo 4.1.'de sunulmaktadır. Şekil 4.2.a. incelendiğinde tüm boyaların 250-525 nm aralığında iki absorpsiyon bandına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. 5a-c bileşiklerinin THF içindeki (a) ve TiO₂ üzerindeki (b) UV-vis absorpsiyon spektrumları

250-310 nm arasındaki dar absorpsiyon bandı lokalize aromatik π - π^* elektronik geçişine atfedilirken, 310-525 nm'deki geniş absorpsiyon bandı ise donör ve akseptör arasındaki moleküller arası yük transferinden (ICT) kaynaklanmaktadır [71]. 5b'nin ICT bandı ($\lambda_{\max} = 380$ nm), 5a'ya ($\lambda_{\max}=331$ nm) kıyasla önemli derecede kırmızı kayma sergilemektedir, bu da yapıda elektron verici metoksi gruplarının 5b'de daha fazla olduğunu göstermektedir [4]. Zayıf elektron verici gruba (etil) sahip olmasına rağmen piridokarbazol içeren 5c'nin kinolin içeren 5a ve 5b ile karşılaştırıldığında, kırmızıya kaymış ICT bandı (396 nm) ve yüksek molar absorpsiyon katsayısı sergilediği açıkça görülmektedir. Söz konusu batokromik ve hiperkromik kaymalar, bileşiğin konjügasyonunun eklenen piridokarbazolle artmasından kaynaklanabilir [5]. TiO₂ filmine adsorbe olan boyaların normalize edilmiş absorpsiyon spektrumları Şekil 4.2.b.'de gösterilmektedir. Çözeltideki absorpsiyon spektrumları ile karşılaştırıldığında, TiO₂ yüzeyindeki tüm boyalar, bağlayıcı grupların Ti⁴⁺ iyonları ile etkileşimi ve boya moleküllerinin TiO₂ yüzeyi üzerindeki J-agregasyonu nedeniyle genişleme ve kırmızıya kayan absorpsiyon bantları sergilemektedir [6].

Tablo 4.1. 5a-c boya bileşiklerinin fotofiziksel özellikleri

Boya	λ_{abs} [nm] ^a (ϵ [$\times 10^4$ M ⁻¹ 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	258 (2,01), 331 (1,70)	371	393	3,34	0,47	1,10	- 2,24
5b	272 (1,12), 380 (1,48)	432	410	2,87	0,44	1,07	- 1,80
5c	278 (2,31), 300 (2,11), 396 (2,48)	442	418	2,81	0,39	1,02	- 1,79

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

^b $\lambda_{\text{abs}}(\text{TiO}_2)$: TiO₂ 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.

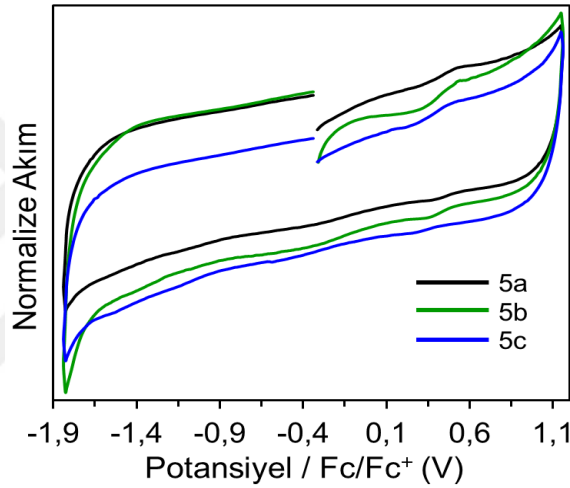
^e E_{HOMO} : E_{oks} 'a 0,63 V (NHE'ye karşı) ilave edilerek hesaplanan potansiyel.

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

BDGG'lerdeki boyanın en yüksek enerjili dolu orbitalinde (HOMO) bulunan elektron, güneşten gelen foton tarafından uyarıldığında en düşük enerjili boş orbitale (LUMO) geçmektedir. Daha sonrasında oradan da TiO_2 'nin iletkenlik bandına aktarılır ve bu olaya elektron enjeksiyonu adı verilir. Bu sırada boya, azalan elektronunu elektrolitteki I_3^- 'ten redoks tepkimesi ile karşılamaktadır, bu olay ise boyanın rejenerasyonu olarak bilinmektedir. Bu olayların meydana gelebilmesi için sırasıyla LUMO enerji seviyesinin TiO_2 'nin iletkenlik bandından (normal hidrojen elektroda (NHE) göre -0,5 V) daha yüksek enerjide ve HOMO enerji seviyesinin de elektrolitin Nernst potansiyelinden (NHE'ye göre 0,4 V) daha düşük enerjide olması gerekmektedir [17].

5a-c bileşiklerinin elektrokimyasal özellikleri, ilgili boya bileşiklerinin uyarılmış halden yarıiletkenin (TiO_2) iletkenlik bandına elektron aktarım yetenekleri, elektron kabul etme kapasiteleri (rejenerasyon) ve redoks kararlılıkları dönüşümlü voltametri tekniği ile incelendi. DMSO'da çözülmüş halde 0,3 mM boya bileşiklerinin (5a-c), 0,1 M TBABF₄ elektrolitini içeren çözeltilerinden 15 dakika boyunca azot gazı geçirildikten sonra dönüşümlü voltamogramları alındı. Söz konusu voltamogramlardaki pik potansiyellerinin kalibrasyonu için aynı şartlarda Fc/Fc⁺'in dönüşümlü voltamogramı da alındı. Buna göre boya bileşiklerinin dönüşümlü voltamogram eğrilerindeki oksidasyon potansiyellerinden, 0,34 V olarak elde edilen Fc/Fc⁺'in yarı pik potansiyeli ($E_{1/2}$) değeri çıkarılarak Fc/Fc⁺'e karşı potansiyel değerleri bulundu (E_{oks}). Sonrasında elde edilen değerlere Fc/Fc⁺'in NHE'ye göre bilinen değeri olan 0,63 V eklenerek bileşiklerin potansiyellerinin NHE'ye göre (E_{HOMO}) olması sağlandı. Dönüşümlü voltamogramlar Şekil 4.3.'de gösterilmektedir ve ilgili elektrokimyasal veriler Tablo 4.1.'de sunulmaktadır. Moleküllerin donör (elektron verici) gruplarının oksidasyonları ya da HOMO enerji seviyeleri voltamogramlardaki ilk oksidasyon piklerine (O_1) karşılık gelmektedir [72]. Görüldüğü gibi, 5a-c boyalarının HOMO enerji seviyeleri sırasıyla (NHE'ye göre) 1,10, 1,07, 1,02 V'dir. Boyaların HOMO enerji seviyelerinin I^-/I_3^- redoks potansiyelinden (NHE'ye göre 0,4 V) oldukça pozitif olması, okside olmuş boyaların I^- tarafından uygun şekilde yenilenebildiğini göstermektedir [73]. Benzer şekilde her üç boyanın da LUMO enerji seviyelerinin TiO_2 'nin iletkenlik bandından (NHE'ye göre

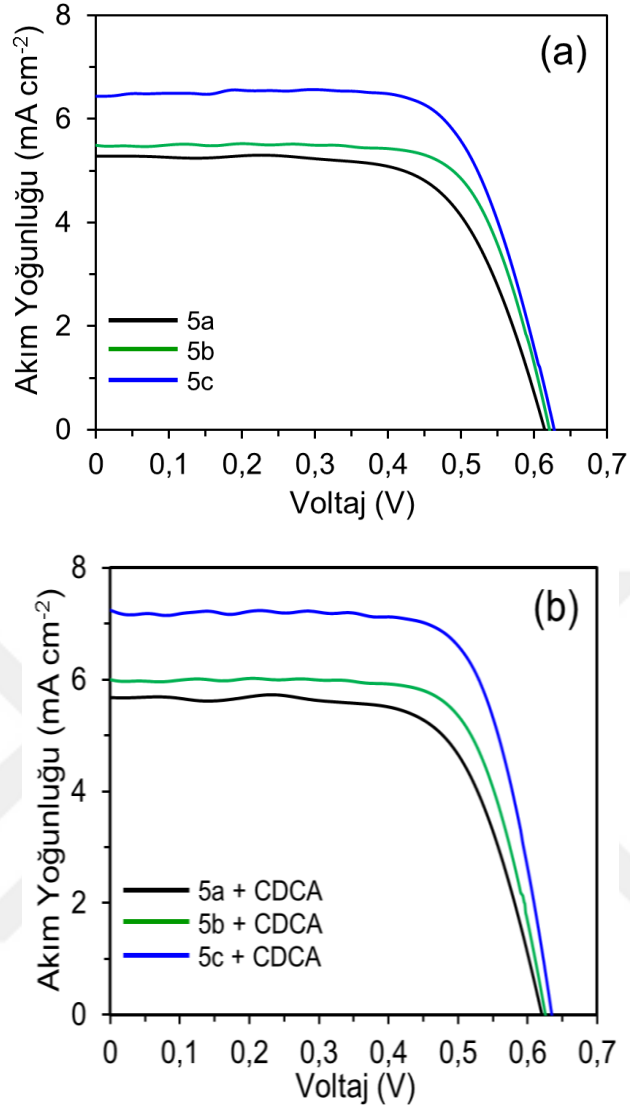
-0,5 V) daha negatif olması, TiO_2 'ye elektron enjeksiyonunun termodinamik olarak mümkün olduğu anlamına gelmektedir [39]. Başka bir deyişle, bileşiklerden elde edilecek olan BDGG'ler güneş ışığı altında enjeksiyon ve rejenerasyon olaylarını kolaylıkla gerçekleştirebilirler. 5a ile karşılaştırıldığında, 5b'nin daha güçlü elektron verici olarak üç metoksi grubunun barındırmasından dolayı HOMO seviyesinin daha negatife kaydığı görülmektedir [40]. Başka bir deyişle 5b, 5a'ya göre daha kolay oksitlenmektedir. 5c boyasına π -köprüsü olarak piridokarbazol eklenmesi sonucunda ise delokalizasyon derecesinin artması nedeniyle 5c boyasının HOMO düzeyi 5b boyasınınkinden daha negatif potansiyele kaymıştır [41].



Şekil 4.3. 50 mV s⁻¹ tarama hızında 0.1 M TBABF₄ içeren DMSO içerisindeki boyaların dönüşümlü voltamogramları.

4.3. BDGG'lerin Fotovoltaik Performansları

5a-c boyalarından üretilen BDGG'lerin akım-voltaj (J-V) eğrileri Şekil 4.4.'de ve kısa devre akım yoğunluğu (J_{SC}), açık devre voltajı (V_{OC}), dolun faktörü (FF), enerji dönüşüm verimi (η) Tablo 4.2.'de listelenmiştir. Sunulan her bir verim değeri, her bir durum için üretilen üç adet BDGG'nin ortalama verimidir. Enerji dönüşüm verimi (η), J_{SC} değerlerine paralel olarak 5a (% 2,14) < 5b (% 2,42) < 5c (% 2,83) sırasıyla artmaktadır. J_{SC} 'deki bu artış, boyalara ek donörler ya da π -köprülerinin ilavesi yoluyla ışık hasatı verimi için faydalı olan absorpsiyon spektrumunun kırmızıya kayması ile ilişkilendirilebilir [9,10,11,74].



Şekil 4.4. BDGG'lerin CDCA yokluğundaki (a) ve CDCA varlığındaki (b) J-V eğrileri.

Tablo 4.2. BDGG'lerin fotovoltaik parametreleri

Boya	J_{sc}^{IPCE} (mA cm^{-2}) ^a	J_{sc} (mA cm^{-2})	V_{oc} (V)	FF	η (%)
5a	5,25	5,28	0,614	0,66	2,14
5a + CDCA	5,67	5,68	0,620	0,68	2,39
5b	5,52	5,49	0,621	0,71	2,42
5b + CDCA	6,03	5,99	0,624	0,70	2,62
5c	6,44	6,44	0,628	0,70	2,83
5c + CDCA	7,17	7,22	0,634	0,71	3,25
N719 + CDCA	–	15,16	0,736	0,70	7,81

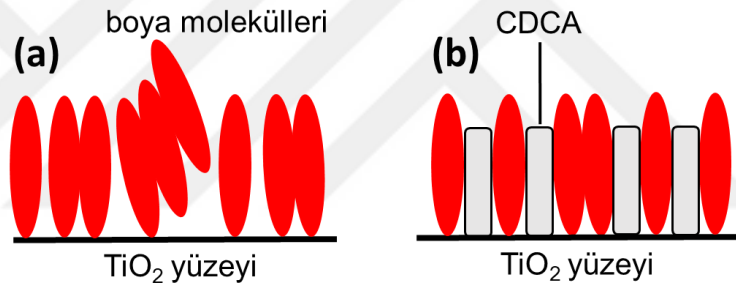
^a J_{sc}^{IPCE} değerler IPCE spektrumlarından entegre edilmiştir.

Öte yandan, metoksi donör grubunun (5a) trimetoksiyle (5b) değiştirilmesi, V_{OC} 'de 7 mV'lik hafif bir artış meydana getirmektedir. 5a'ya göre 5b'deki daha hacimli donör kısmının, TiO_2 'yi daha etkin bir şekilde kaplayarak, boyadan enjekte edilen elektron ile elektrolitteki akseptör iyonu (I_3^-) arasındaki yük rekombinasyonunu geciktirdiği ve daha yüksek V_{OC} 'ye ulaşılmasını sağladığı tahmin edilmektedir [12]. 5c'nin V_{OC} değerinin 5b'ye göre daha büyük olması ise 5b boyasındaki D-A arası mesafenin 5b'ye göre daha uzun olduğunu göstermektedir. Böylece 5b ile TiO_2 yüzeyi daha kalın bir moleküler tabakayla kaplanabilir. Bunun sonucunda da elektrolitin TiO_2 yüzeyine nüfuz etmesi daha çok önlenmiş olur [13,75]. Özetle, 5a ve 5b boyaları ile duyarlaştırılmış hücrelerle karşılaştırıldığında, piridokarbazol içeren 5c boyasına dayanan BDGG'ler daha yüksek η gösterir, bu da piridokarbazolün iyi bir π -köprüsü olabileceğini düşündürmektedir.

Kenodeoksokolik asit (CDCA), BDGG'lerde yardımcı adsorban olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. CDCA, boya agregasyonunu önlemekle kalmayıp ayrıca TiO_2 yüzeyini redoks elektrolitindeki oksitlenmiş türlerle (örn., I_3^- iyonları) yük rekombinasyonuna karşı koruyarak sırasıyla J_{SC} ve V_{OC} 'nin artmasına sebep olmaktadır [14]. 3 mM CDCA ile üretilen BDGG'lerin J-V eğrileri Şekil 4.4.'de gösterilmiş ve karşılık gelen veriler Tablo 4.2.'de özetlenmiştir. Tüm boyalar 0.40-0.78 $mA\ cm^{-2}$ J_{SC} artışı ve 3-6 mV V_{OC} artışı sergilemekte, bu da CDCA'nın güneş gözesi performansı üzerine agregasyonu azaltıcı bir etkisinin olduğunu açıkça göstermektedir. Sonuç olarak, nihai η 'lerin sırası 5c (% 3,25) > 5b (% 2,62) > 5a (% 2,39) şeklindedir. Bu boyalara dayalı en iyi verimlilik, aynı koşulda N719 tabanlı standart BDGG'nin (% 7,81) verimliliğinin yaklaşık % 42'sine ulaşmaktadır. Boyaların absorpsiyon spektrumlarının yeterince geniş olamamalarından dolayı N719'a kıyasla daha düşük verimler elde edilmiştir [15].

Bu noktada TiO_2 yüzeyinde agregasyonun nasıl gerçekleştiği ve CDCA gibi bir yardımcı adsorbanın agregasyona nasıl etki ettiğinin anlaşılması gerekmektedir. D- π -A şeklindeki molekülleri içeren çözücülere FTO/ TiO_2 elektrotu daldırıldığında, moleküllerdeki karboksilat grubu ile TiO_2 arasında bağlanmayla sonuçlanan bir etkileşim gerçekleştiği önceki kısımlarda anlatılmıştı. Bu esnada, TiO_2 yüzeyinde yan

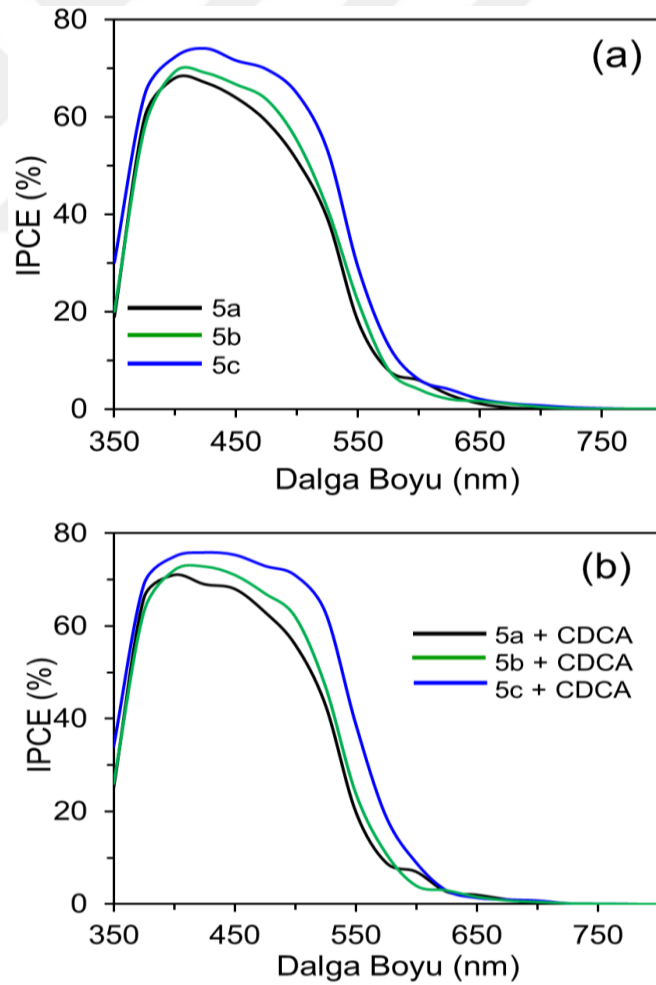
yana bağlanan moleküller, her bir molekülün aromatik konjüge π köprülerinin üst üste gelmesiyle sonuçlanan π - π etkileşimi yani agregasyonlar gerçekleştirir. Hatta duyarlaştırma süresi artırıldığında bazı moleküller TiO_2 yüzeyine bağlanmaksızın diğer moleküllerin üzerine agrega olabilirler (Şekil 4.5.a). Moleküllerin yüzeydeki adsorpsiyonunun bu şekilde gerçekleşmesi halinde ise güneş ışığı altında uyarılan elektronların bir kısmının komşu molekül ya da moleküllere transferinin kaçınılmaz olmasından (sönümlenmesinden) dolayı BDGG'lerde oluşan elektrik akımlarında azalmalar görülür. Boya moleküllerinin olduğu çözeltiye yapısında TiO_2 ile bağ yapabilecek karboksilik asit barındıran CDCA gibi yardımcı adsorbanlar konulduktan sonra TiO_2 'nin duyarlaştırılması sağlandığında ise agregasyon büyük ölçüde azalır. Çünkü Şekil 4.5.b'de görüldüğü üzere boya molekülleri ile yarışmalı bir şekilde yüzeye adsorbe olan CDCA molekülleri π - π etkileşimi ihtimalini büyük oranda azaltır.



Şekil 4.5. CDCA yokluğunda (a) ve varlığında (b) boya moleküllerinin TiO_2 yüzeyindeki muhtemel adsorpsiyonu

Öte yandan η değerleri yardımcı adsorban içermeyen BDGG'lere kıyasla yalnızca % 8-15 oranında iyileşme göstermekte, bu da boyaların CDCA'ya az bağımlı olduğunu ortaya koymaktadır [16]. Şekil 4.5.'te gösterildiği gibi üç boya, en az bir elektron verici grup ve bağlayıcı grubunun yanında da bir metoksi grubu içermektedir. Bu gruplar elektronların redoks elektrolite geçişini engelleyebilir. Bu gruplar aynı zamanda π - π istiflenmesini ya da boya agregasyonunu baskılayarak sırasıyla daha yüksek V_{OC} ve J_{SC} elde edilebilir.

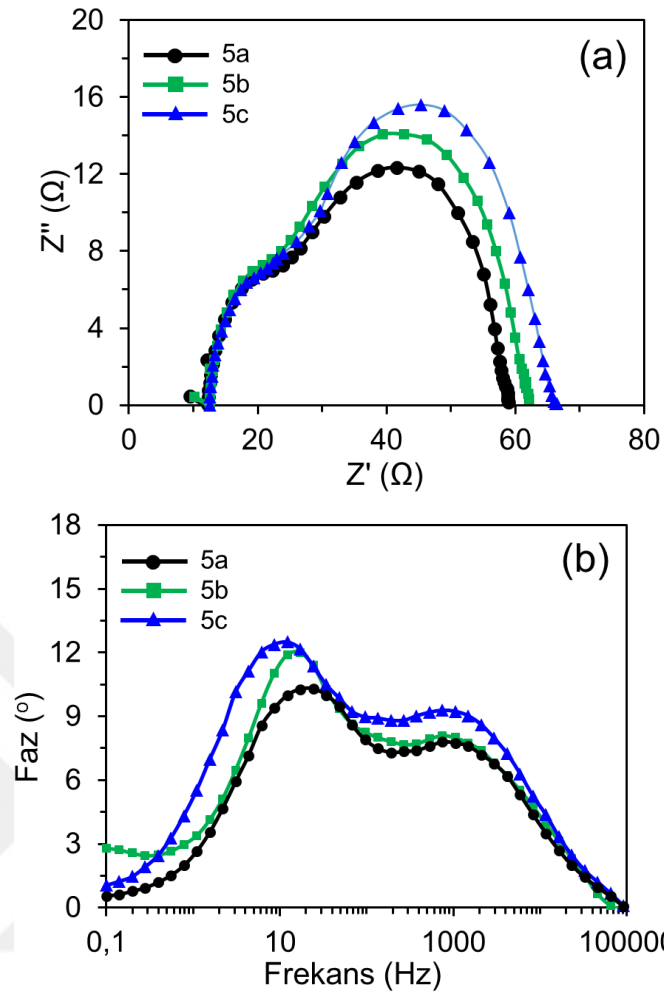
BDGG'lerin J_{SC} değerleri arasındaki farkı doğrulamak için, foton akım dönüşüm verimi (IPCE) spektrumları Şekil 4.6.'da verilmiştir ve entegre J_{SC} değerleri Tablo 4.2.'de sunulmuştur. Genel olarak, daha geniş ve daha yüksek IPCE spektrumları daha yüksek kısa devre akımına (J_{SC}) karşılık gelmektedir [54]. Hücrelerin IPCE spektrumlarının eğiliminin, TiO_2 filmi üzerindeki absorpsiyon spektrumlarının eğilimine benzer olduğu görülebilir. 5a-c'ye sahip hücreler için IPCE spektrumlarının başlangıçları sırasıyla 570, 575, 590 nm'dedir. 375 ila 525 nm dalga boyu aralığındaki IPCE bantlarının maksimum değerleri şu şekilde artış gösterir: 5a (% 68) < 5b (% 69) < 5c (% 74). CDCA içeren 5a-c boyalarına dayanan BDGG'ler için IPCE spektrumları Şekil 4.5.'de gösterilmektedir. Tüm IPCE değerleri, CDCA içermeyenlerle kıyaslandığında yaklaşık % 5 iyileşme göstermiş olup, bu da moleküller arası agregasyonun baskılandığını göstermektedir.



Şekil 4.6. CDCA yokluğunda (a) ve CDCA varlığında (b) 5a-c boyalarına dayanan BDGG'lerin IPCE spektrumları.

J-V eğrilerinden de hatırlanacağı üzere 5c esaslı BDGG'nin verimi diğer boyalardan elde edilen BDGG'lerin verimlerinden yüksek bulunmuştu. Bu artış, boyalara ek donörler ya da π -köprülerinin ilavesi yoluyla ışık hasatı verimi için faydalı olan absorpsiyon spektrumunun kırmızıya kayması ile ilişkilendirilmektedir. Benzer şekilde, 5c'nin IPCE spektrumundaki akım başlangıç dalga boyu, 5a ve 5b boyalarınıninkine göre daha kırmızıya kaymıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere, IPCE spektrumlarından hesaplanan J_{sc} değerlerinin J-V eğrilerinden elde edilenlerle uyum halinde olması, elde edilen fotovoltaj sonuçların güvenilir olduğunu göstermektedir.

5a-c boyalarına dayanan BDGG'lerin ara yüzey yük rekombinasyon süreçlerini anlamak için, karanlık koşullar altında uygulanan EIS analizi, Nyquist ve Bode eğrileri şeklinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7.). Nyquist eğrilerindeki büyük ve küçük yarım daireler, sırasıyla TiO_2 /boya/elektrolit ve Pt karşıt elektrot/elektrolit ara yüzlerindeki yük rekombinasyon dirençlerine karşılık gelmektedir [55]. TiO_2 /boya/elektrolit arayüzündeki direncin yarıçapı (R_{rec}), 5a (31 Ω) < 5b (34 Ω) < 5c (38 Ω) sırasıyla artar, bu da V_{OC} 'nin aynı sırasıyla yükseldiğini göstermektedir. Elektron ömürleri $\tau_r = 1/2\pi f$ formülü kullanılarak hesaplandı. 5a-c'ye dayanan BDGG'ler için Bode grafiklerinden hesaplanan elektron ömürleri sırasıyla 6.6 ms, 9.3 ms, 13.1 ms'dir. Açıkça, 5a-c'ye dayalı hücreler için hem R_{rec} hem de elektron ömürlerinin sırası, bu hücrelerdeki V_{OC} değerlerinin sırası ile örtüşmektedir. Özetle, nispeten daha büyük yük rekombinasyon direnci ve daha uzun elektron ömrü, 5c güneş gözesinin gösterdiği yüksek V_{OC} 'nin nedeni olabilir [56].



Şekil 4.7. CDCA içermeyen boyalara dayanan BDGG'lerin Nyquist (a) ve Bode (b) grafikleri.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez çalışması kapsamında elektron verici olarak tek metoksi, üç metoksi veya etil ve bağlayıcı grup olarak siyanoakrilik asit ile π -köprüsü olarak kinolin ya da piridokarbazol esaslı üç yeni D- π -A organik boya, BDGG'ler için duyarlaştırıcı boya olarak kullanılmıştır.

Metal içermeyen organik boyalar, hammadde zenginliği, yüksek molar absorpsiyon katsayısı, kolay sentezlenebilme, kararlılık, düşük maliyet, ayarlanabilir optik özellikler ve çevre dostu olma gibi avantajları sebebiyle büyük ilgi görmüş ve tez çalışması kapsamında değerlendirilmiştir.

Optik ve elektrokimyasal çalışmalar, **5a-c** boyalarının BDGG'ler için duyarlaştırıcı olarak kullanılabilirliklerini göstermiştir. Öte yandan, **5a** ve **5b**'ye kıyasla **5c**'nin başlangıç dalga boyu sırasıyla 10 ve 71 nm kırmızıya kayma göstermiştir. **5c**, piridokarbazol biriminin varlığı nedeniyle daha geniş bir absorpsiyon bandı sergilemiştir. Bu da **5c**'den imal edilecek BDGG'nin daha çok ışık absorpsiyonu yapmasına fırsat vermiştir. **5c** duyarlaştırılmış göze için IPCE spektrumunun başlangıcı, **5a** ve **5b**'den daha uzun olarak 590 nm'ye ulaşmaktadır. Sonuç olarak, yardımcı adsorban varlığında **5c**'ye dayanan BDGG'ye ait J_{sc} , V_{oc} ve FF değerleri sırasıyla 7,22 mA cm⁻², 0,634 V ve 0,71 şeklinde elde edilmiştir. Bu parametrelerin sonucunda ise söz konusu gözenin η değeri % 3,25'e ulaşmıştır. Elde edilen söz konusu verim, bu tez çalışması kapsamındaki en yüksek değerdir.

Sonuçlar, D- π -A organik boyalarına piridokarbazol π -köprüsü dahil edilmesinin fotovoltaiik performansı artırabildiğini ortaya koymaktadır. Öte yandan CDCA varlığındaki sınırlı verim artışları tez kapsamında kullanılan 5a-c boyalarının yardımcı

adsorbana ihtiyaç olmaksızın BDGG'lerde duyarlaştırıcı boya olarak kullanılabilirlerini göstermektedir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar uluslararası bilimsel bir dergide makale olarak yayımlanmıştır [1].



KAYNAKLAR

- [1] Arslan, B.S., Ülüş, S.N., Gezgin, M., Arkan, B., Güzel, E., Avcı, D., Nebioğlu, M., Şişman, "İ., Insight into the effects of the donors and pi-spacers on the photovoltaic performance of quinoline and pyridocarbazole based DSSCs", *Opt. Mater.* 106, 109974, 2020.
- [2] İçli, K.Ç., Core-shell type nanocrystalline fto photoanodes for dye sensitized solar cells. Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 2010.
- [3] www.cka.org.tr, Erişim Tarihi: 23.05.2019.
- [4] Lee, C.P., Lin, R.Y.Y., Lin, L.Y., Li, C.T., Chu, T.C., Sun, S.S., Lin, J.T., Ho, K.C., "Recent progress in organic sensitizers for dye-sensitized solar cells", *RSC Adv.* 5, 23810–23825, 2015.
- [5] Mishra, A., Fischer, M.K.R., Büuerle, P., "Metal-Free organic dyes for dye-Sensitized solar cells: From structure: Property relationships to design rules", *Angew. Chemie - Int. Ed.* 48, 2474–2499, 2009.
- [6] Wu, J., Lan, Z., Fan, L., Lin, J., "Electrolytes in Dye-Sensitized Solar Cells", *Chem. Rev.* 115, 2136–2173, 2015.
- [7] Li, B., Wang, L., Kang, B., Wang, P., Qiu, Y., "Review of recent progress in solid-state dye-sensitized solar cells", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 90, 549–573, 2006.
- [8] O'Regan, B., Grätzel, M., "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films", *Nature* 353, 737–740, 1991.
- [9] Huang, H., Chen, H., Long, J., Wang, G., Tan, S., "Novel D–A–π–A organic dyes based on 3-dimensional triarylamine and benzothiadiazole derivatives for high-performance dye-sensitized solar cells", *J. Power Sources* 326, 438–446, 2016.

- [10] 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", *Dye. Pigment.* 164, 188–197, 2019.
- [11] Zhou, N., Prabakaran, K., Lee, B., Chang, S.H., Harutyunyan, B., Guo, P., Butler, M.R., Timalina, A., Bedzyk, M.J., Ratner, M.A., Vegiraju, S., Yau, S., Wu, C.-G., Chang, R.P.H., Chen, M.-C., Facchetti, A., Marks, T.J., "Metal-Free Tetrathienoacene Sensitizers for High-Performance Dye-Sensitized Solar Cells", *J. Am. Chem. Soc.* 137, 4414–4423, 2015.
- [12] Ni, J.S., Yen, Y.C., Lin, J.T., "Organic dyes with a fused segment comprising benzotriazole and thieno[3,2-b]pyrrole entities as the conjugated spacer for high performance dye-sensitized solar cells", *Chem. Commun.* 51, 17080–17083, 2015.
- [13] Pounraj, P., Mohankumar, V., Pandian, M.S., Ramasamy, P., Donor functionalized quinoline based organic sensitizers for dye sensitized solar cell (DSSC) applications: DFT and TD-DFT investigations. *J. Mol. Model.* 24. <https://doi.org/10.1007/s00894-018-3872-8>, 2018.
- [14] Dos Santos, G.C., Oliveira, E.F., Lavarda, F.C., da Silva-Filho, L.C., Designing new quinoline-based organic photosensitizers for dye-sensitized solar cells (DSSC): a theoretical investigation. *J. Mol. Model.* 25. <https://doi.org/10.1007/s00894-019-3958-y>, 2019.
- [15] Slodek, A., Matussek, M., Filapek, M., Szafraniec-Gorol, G., Szlapa, A., Grudzka-Flak, I., Szczurek, M., Malecki, J.G., Maron, A., Schab-Balcerzak, E., Nowak, E.M., Sanetra, J., Olejnik, M., Danikiewicz, W., Krompiec, S., 2016. Small Donor-Acceptor Molecules Based on a Quinoline-Fluorene System with Promising Photovoltaic Properties. *European J. Org. Chem.*, 2500–2508. <https://doi.org/10.1002/ejoc.201600318>, 2016.
- [16] Singh, P., Srivastava, V., Quraishi, M.A., "Novel quinoline derivatives as green corrosion inhibitors for mild steel in acidic medium: Electrochemical, SEM, AFM and XPS studies", *Journal of Molecular Liquids.* 216, 164-173, 2016.
- [17] Mao, M., Zhang, X., Zhu, B., Wang, J., Wu, G., Yin, Y., Song, Q., "Comparative studies of organic dyes with a quinazoline or quinoline chromophore as π -conjugated bridges for dye-sensitized solar cells", *Dyes and Pigments.* 124, 72-81, 2016.

- [18] Açıkalın, N., Sürdürülebilir kalkınmada yenilenebilir enerji kaynaklarının rolü: Türkiye ve Almanya’da rüzgar enerjisi üzerine yasal ve kurumsal bir değerlendirme. Bursa Uludağ Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Kentleşme ve Çevre Sorunları Bilim Dalı, Doktora Tezi, 2018.
- [19] Kocakuşak, R., Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin Türkiye’deki önemi ve GES kurulum araştırması. Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [20] Bartık, A., Türkiye’nin enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacın giderilmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi. Kafkas Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [21] Şen, Z., Temiz Enerji Kaynakları, Su Vakfı Yayınları, 2002.
- [22] Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Türkiye Çevre Vakfı Yayınları, 2006.
- [23] Schiermeier, Q., Tollefson, J., Scully, T., Witze, A., Morton, O., “Energy alternatives: Electricity without carbon”, Nature, 454: 816-823, 2008.
- [24] Sum, T.C., Mathews, N., Advancements in perovskite solar cells: photophysics behind the photovoltaics. Energy Environ. Sci., 7, 2518-2534, 2014.
- [25] Gratzel, M., Photoelectrochemical cells. Nature, 414, 338-344, 2001.
- [26] International Energy Agency; Energy Policies of IEA Countries Paris, 2005.
- [27] Giray, H.B., The effects of platinum particle size to the efficiency of a dye sensitized solar cell. Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 2010.
- [28] Kaya, H.İ., Teşvik mekanizmalarının yenilenebilir enerji yatırımları üzerine etkisi: AB ülkeleri ve Türkiye’de güneş enerjisi yatırımlarına yönelik ampirik bir çalışma. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2017.
- [29] Işılar, Ö., Bazı perilen temelli bileşiklerin sentezi ve özelliklerinin incelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014.

- [30] Nazeeruddin, M.K., Kay, A., Rodicio, I., Humphry-Baker, R., Mueller, E., Liska, P., Vlachopoulos, N., Gratzel, M.J., Conversion of light to electricity by cis-X₂bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate)ruthenium(II)charge-transfer sensitizers (X = Cl-, Br-, I-, CN-, and SCN-) on nanocrystalline titanium dioxide electrodes. *Journal of the American Chemical Society*, 115, 6382, 1993.
- [31] Kara, A., Katkılı boya duyarlı güneş pillerinin elektronik özelliklerinin hesaplanması. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [32] Ito, S., Murakami, T. N., Comte, P., Liska, P., Grätzel, C., Nazeeruddin, M. K., Grätzel, M., Fabrication of thin film dye sensitized solar cells with solar to electric power conversion efficiency over 10%. *Thin Solid Films*, 516, 4613–4619, 2008.
- [33] Mathew, S., Yella, A., Gao, P., Humphry-Baker, R., Curchod, B. F. E., Ashari-Astani, N., Tavernelli, I., Rothlisberger, U., Nazeeruddin, Md. K., Gratzel, M., Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the molecular engineering of porphyrin sensitizers. *Nat. Chem.*, 6, 242-247, 2014.
- [34] Faideci Arslan, M., 4,5-Diazafluoren-9-on esaslı kobalt (II/III) redoks aracının boya duyarlı güneş pillerindeki performansları. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [35] Hagfeldt, A., Boschloo, G., Sun, L., Kloo, L., Pettersson, H., Dye-sensitized solar cells. *Chemical Reviews*, 110, 6595, 2010.
- [36] Wu, J., Lan, Z., Hao, S., Li, P., Lin, J., Huang, M., Fang, L., Huang, Y., Progress on the electrolytes for dye-sensitized solar cells. *Pure and Applied Chemistry*, 80-2241, 2008.
- [37] Kay, A., Gratzel, M., Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder. *Solar energy materials and solar cells*, 44(1), 99-117, 1996.
- [38] Thomas, S., Deepak, T.G., Anjusree, G.S., Arun, T.A., Nair, S.V., Nair, A.S., A review on counter electrode materials in dye-sensitized solar cells. *J. Mater. Chem. A*, 2, 4474-4490, 2014.
- [39] Pelet, S., Moser, J.E., Gratzel, M., Cooperative effect of adsorbed cations and iodide on the interception of back electron transfer in the dye sensitization of nanocrystalline TiO₂. *J. Phys. Chem. B*, 104, 1791-1795, 2000.
- [40] Boschloo, G., Hagfeldt, A., Characteristics of the Iodide/Triiodide redox mediator in dye-sensitized solar cells. *Acc. Chem. Res.*, 42, 1819-1826, 2009.

- [41] Ercengiz, N.F., Boya temelli güneş pillerine yönelik ftalosiyanın türevlerinin sentezi ve performans çalışmalarının yapılması. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [42] Ceylan, Z., Organik boya esaslı nanokristal yapıları ince film güneş pili üretimi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2006.
- [43] Tennakone, K.; Kumara, G.R.R., Kottegoda, I.R.M., Perera, V.S.P., An efficient dyesensitized photoelectrochemical solar cell made from oxides of tin and zinc. *Chem. Commun*, 15, 16, 1999., Kay, A., Gratzel M., Dye-sensitized core-shell nanocrystals: Improved efficiency of mesoporous tin oxide electrodes coated with a thin layer of an insulating oxide. *Chem. Mater*, 2930-2935, 2002., Green, A.N.M., Palomares, E., Haque, S.A., Kroon, J.M.K., Durrant, J.R., Charge transport versus recombination in dye-sensitized solar cells employing nanocrystalline TiO₂ and SnO₂ Films. *J.Phys.Chem.B*, 109: 12525-12533, 2005.
- [44] Sang, Y.H., Liu, H., Umar, A., Photocatalysis from UV/Vis to near-infrared light: Towards full solar-light spectrum activity. *Chemcatchem*, 7, 559-573, 2015.
- [45] Diebold, U., The surface science of titanium dioxide. *Surf. Sci. Rep.* 48,53-229, 2003.
- [46] Gratzel, M., Solar energy conversion by dye-sensitized photovoltaic cells. *Inorg. Chem.*, 44, 6841-6851, 2005.
- [47] Çaktı, K., Boya hassasiyetli güneş pilleri için D- π -D türevli ftalosiyanın sentezlenmesi, spektroskopik ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [48] Ngamsinlapasathiani, S., Pavasupree, S., Suzuki, Y., Yoshikava, S., Dye sensitized solar cell made of mesoporous titania by surfactant-assisted templating method. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 90, 3187-3192, 2006.
- [49] Ünlü, B., Boya duyarlı güneş pilleri için ditizon metal kompleks boyalar geliştirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [50] Chen, X., Mao, S.S., Titanium dioxide nanomaterials: Synthesis, properties, modifications and applications. *Chem. Rev.*, 107, 7, 2891–2959, 2007.
- [51] www2.mst.dk/Udgiv/publications/2014/11/978-87-93283-02-2.pdf, Erişim Tarihi: 09.10.2019.

- [52] Fujishima, A., Honda, K., Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature*, 238, 5358, 37-38, 1972.
- [53] Wang, R., Hashimoto, K., Fujishima, A., Chikuni, M., Kojima, E., Kitamura, A., Shimohigoshi, M. ve Watanabe, T., Light-Induced amphiphilic surfaces. *Nature*, 388, 431-432, 1997.
- [54] Fujishima, A., Rao, T.N. ve Tryk, D.A., Titanium dioxide photocatalysis, *Journal of photochemistry and photobiology c: Photochemistry reviews*, 1, 1-21, 2000b.
- [55] Şam, D.E., Ürgen M., Tepehan, F.Z., TiO₂ Fotokatalistleri, 6.cilt, itüdergisi/d mühendislik, Sayı:5-6, 81-92, 2007.
- [56] Çakar, S., Yeni yaklaşımlarla tanin esaslı boya duyarlı güneş pillerinin geliştirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2017.
- [57] Nazeeruddin, M.K., Angelis, F., Fantacci, S., Selloni, A., Viscardi, G., Liska, P., Ito, S., Takeru, B., Gratzel, M., Combined experimental and DFT-TDDFT computational study of photoelectrochemical cell ruthenium sensitizers. *J. Am. Chem. Soc.*, 127, 16835, 2005.
- [58] Sekar, N., Gehlot, V., Metal complex dyes for dye-sensitized solar cells: Recent developments. *Resonance*, 819-831, 2010.
- [59] Panda, M.K., Ladomenou, K., Coutsolelos, A.G., Porphyrins in bio-inspired transformations: light-harvesting to solar cell. *Coordination Chemistry Reviews*, vol. 256, no. 21-22, pp. 2601-2627, 2012.
- [60] Şenzeybek, F.A., Boya temelli güneş pillerine yönelik yeni subftalosiyanın türevlerinin sentezi ve performans çalışmalarının yapılması. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2015.

- [61] a) Phthalocyanines. Properties and Applications (Eds. C. C. Leznoff, A. B. P. Lever), VCH Publishers (LSK) Ltd., Cambridge, 1996, Vols. 1-4. b) Phthalocyanine Materials. Synthesis, Structure and Function (Ed. N. B. McKeown), Cambridge University Press, Cambridge, 1998. c) De la Torre G., Claessens C.G., Torres T., Phthalocyanines: old dyes, new materials. Putting color in nanotechnology. *Chem. Commun.* 2007, 2000. d) Claessens C.G., Hahn U., Torres T., Phthalocyanines: From outstanding electronic properties to emerging applications. *Chem. Record.* 8: 75-97, 2008. e) Rio Y., Rodriguez-Morgade M.S., Torres T., Modulating the electronic properties of porphyrinoids: a voyage from the violet to the infrared regions of the electromagnetic spectrum. *Org. Biomol. Chem.* 6: 1877-1894, 2008. f) Mack J., Kobayashi N., Low symmetry phthalocyanines and their analogues. *Chem. Rev.* 111: 281-321, 2011.
- [62] Boz, M., Katkılandırılmış TiO₂ ince filmlerin üretilmesi, karakterizasyonu ve boya katkılı güneş pili aygıtlarının geliştirilmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2015.
- [63] Tunç G., Güzel E., Şişman İ., Ahsen V., Cardenas-Jiron G., Gürek A.G., Effect of new asymmetrical Zn(II) phthalocyanines on the photovoltaic performance of a dye-sensitized solar cell. *Royal society of chemistry and the centre national de la recherche scientifique. New j. chem.* 43, 14390-14401, 2019.
- [64] Soppok, R., *Ullmans encyclopedia der technischen chemie.* Urban & Schwarzenberg, München, 18:501, 1979.
- [65] Ren Y.M., Sun D.Y., Cao Y.M., Tsao H.N., Yuan Y., Zakeeruddin S.M., Wang P., Gratzel M., A stable blue photosensitizer for color palette of dye-sensitized solar cells reaching 12.6% efficiency. *J Am Chem Soc.* 140:2405–8, 2018.
- [66] Kumar, Dharendra, K.R. Justin Thomas, Chuan-Pei Lee, Kuo-Chuan Ho. "Organic Dyes Containing Fluorene Decorated with Imidazole Units for Dye-Sensitized Solar Cells", *The Journal of Organic Chemistry.*
- [67] Şişman, İ., Can, M., Ergezen, B., Biçer, M., One-step anion-assisted electrodeposition of ZnO nanofibrous networks as photoanodes for dye sensitized solar cells. *RSC Adv.*, 5, 73692–73698, 2015.
- [68] Wang, J.C., Hill, S.P., Dilbeck, T., Ogunsolu, O.O., Banerjee, T., Hanson, K. Multimolecular assemblies on high surface area metal oxides and their role in interfacial energy and electron transfer. *Chem. Soc. Rev.*, DOI: 10.1039/c7cs00565b, 2017.
- [69] Lin, Y.G., Hsu, Y.K., Chen, Y.C., Wang, S.B. Miller, J.T., Chen, L.C., Chen, K.H. Plasmonic Ag@Ag₃(PO₄)_{1-x} nanoparticle photosensitized ZnO nanorod-array photoanodes for water oxidation. *Energy Environ. Sci.*, 5, 8917–8922, 2012.

- [70] Flader A, Parpart S, Ehlers P, Langer P. Synthesis of pyrrolo[1,2-a]naphthyridines by Lewis acid mediated cycloisomerization. *Org Biomol Chem.* 15:3216–31. 2017.
- [71] Z. Yu, F. Li, L. Sun, Recent advances in dye-sensitized photoelectrochemical cells for solar hydrogen production based on molecular components, *Energ. Environ. Sci.*, 8. 760-775, 2015.
- [72] Cao W, Fang MM, Chai ZF, Xu H, Duan TA, Li Z, Chen XG, Qin JG, Han HW. New Dpi-A organic dyes containing a tert-butyl-capped indolo[3,2,1-jk]carbazole donor with bithiophene unit as pi-linker for dye-sensitized solar cells. *RSC Adv.* 5:32967–75, 2015.
- [73] García-Iglesias M, Cid JJ, Yum JH, Forneli A, Vázquez P, Nazeeruddin MK, et al. *Energy Environ. Sci.*,4: 189-194, 2011.
- [74] Z. Yao, M. Zhang, R. Li, L. Yang, Y. Qiao, P. Wang, A metal-free N-annulated thienocyclopentaperylene dye: Power conversion efficiency of 12% for dye-sensitized solar cells, *Angew. Chem. Int. Edit.* 54, 5994-5998., 2015.
- [75] O.O. Ajani, K.T. Iyaye, O.Y. Audu, S.J. Olorunshola, A.O. Kuye, I.O. Olanrewaju, Microwave assisted synthesis and antimicrobial potential of quinoline based 4-hydrazide-hydrazone derivatives, *J. Heterocycl. Chem.* 55, 302-312., 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Seda Nur ÜLÜŞ, 10.03.1991'de Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2009 yılında Mithatpaşa Şükrü Ayna Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2018 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya EABD Analitik Kimya bilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Eğitimi esnasına 117Z323 no'lu TÜBİTAK 1001 projesinde bursiyer olarak çalıştı. Bir uluslararası bilimsel yayını ve uluslararası kongrede sunulmuş bir bildirisi bulunmaktadır.