

**GRAFEN NANOTABAKA KATKILI TiO<sub>2</sub>  
KULLANILAN BOYA DUYARLI GÜNEŞ  
HÜCRELERİNİN ÜRETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Ayten BİLGE

Danışman  
Prof. Dr. Atilla EVCİN

**NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ  
ANABİLİM DALI**

Ocak 2021

Bu tez çalışması 20.FEN.BİL.15 numaralı proje ile TÜBİTAK BAPK tarafından desteklenmiştir

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GRAFEN NANOTABAKA KATKILI TiO<sub>2</sub> KULLANARAK BOYA  
DUYARLI GÜNEŞ HÜCRESİ ÜRETİMİ**

**Ayten BİLGE**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Atilla EVCİN**

**NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ**  
**ANABİLİM DALI**

**Ocak 2021**

## TEZ ONAY SAYFASI

AYTEN BİLGE tarafından hazırlanan “Grafen Nanotabaka Katkılı TiO<sub>2</sub> Kullanarak Boya Duyarlı Güneş Hücresi Üretimi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 25/02/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Atilla EVCİN

**İmza**

**Başkan** : Prof. Dr. Atilla EVCİN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

**Üye** : Doç. Dr. Nalan Çiçek BEZİR  
Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Erman DUMAN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bir üniversite veya başka bir üniversitede başka bir dönem projesi olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**25/02/2021**

**Ayten BİLGE**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### GRAFEN NANOTABAKA KATKILI TiO<sub>2</sub> KULLANARAK BOYA DUYARLI GÜNEŞ HÜCRESİ ÜRETİMİ

Ayten BİLGE

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Atilla EVCİN

Bu çalışmamızda farklı silan bağlayıcı bileşiklerine nano boyutlu, birkaç tabakalı grafen nanotabaka katkılı boyar madde içeren TiO<sub>2</sub> ince filmler üretilmiştir. Çalışmada grafen nanotabaka (7µ, 18µ, 30µ) miktarı, TiO<sub>2</sub>' nin kaynağı ve silan cinsi gibi parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Grafen nanotabakaların FT-IR ve dijital mikroskop analizleri ile karakterize edilmiştir. FTIR analizlerinde GLYMO, ITO, TiO<sub>2</sub>, TMSPM, rutenyum ve 3(APTES) için karakteristik pikler elde edilmiştir. Dijital mikroskop görüntülerinde kaplama kalınlığı 4.456-23.581 µm aralığında çıkmıştır. Kaplama işleminden sonra güneş pili hücrelerine dönüştürülen numuneler UV, karanlık ve aydınlıkta akım gerilim ölçümü yapılarak verim tespiti yapılmıştır. Hassas akım kaynağı ile (I-V) analizine tabii tutulan güneş pili hücrelerinde FF (Dolum Faktörü) ve pil verimi gözlenmemiştir. Daha sonra dijital mikroskop ve UV-Visible analizlerine tabii tutulan boyarlı ve boyar maddesiz güneş pili hücrelerinden elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır.

**2021, x + 60 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Güneş hücre, Boyar Madde, Yarı İletken, Silan.

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **PRODUCTION OF DYE SENSITIZED SOLAR CELL USING GRAFEN NANOPLATELET DOPED TiO<sub>2</sub>**

Ayten Bilge

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Nanoscience and Nanotechnology

**Supervisor:** Prof. Atilla EVCİN

In this study, a graphene nanoplatelet consisting of TiO<sub>2</sub> thin films with nano-size was produced for different silane binder compounds. The effect of parameters such as graphene nanoplatelet type (7 $\mu$ , 18 $\mu$ , 30 $\mu$ ), source of TiO<sub>2</sub>, and kind of silane was investigated. Graphene nanoplatelets were analyzed by FT-IR and digital microscopy analysis. Characteristic peaks were obtained for GLYMO, ITO, TiO<sub>2</sub>, TMSPM, ruthenium and 3(APTES) in FTIR analysis. The 4.456-23.581  $\mu$ m coating left on digital microscope images is a thing of the past. After the coating process, the traces converted into a solar cell were measured and the efficiency was determined by measuring the current in UV, dark, and light. FF (Filling Factor) and battery efficiency, which were subjected to (I-V) analysis with a sensitive current source, were not observed. The findings obtained with and without dyestuff, which were subjected to a digital microscope and UV-Visible analysis, were compared.

**2021, x + 60 page**

**Keywords:** Solar Cell, Dyestuff, Semiconductor, Silane.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, analiz aşamalarının yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılardan dolayı tez danışmanım Sayın, Prof. Dr. Atilla EVCİN'e her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezimin gerçekteşmesinde 20.FEN.BİL.15 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi TÜBİTAK BAPK'a teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı eşime teşekkür ederim.

Ayten BİLGE  
Afyonkarahisar 2021

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
RESİMLER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	2
2.1 Güneş Pilleri .....	2
2.1.1 Güneş Pilleri ve Tarihsel Gelişimi .....	2
2.1.2 Güneş Pillerinin Kullanım Alanları .....	4
2.1.3 Güneş Pillerinin Yapısı .....	5
2.2 Güneş Pillerinin Çeşitleri.....	7
2.2.1 Birinci Nesil Hücreler .....	8
2.2.2 İkinci Nesil Hücreler.....	8
2.2.2.1 Amorf Silisyum Güneş Pilleri (a-Si).....	8
2.2.2.2 Kadmiyum Tellür (Cd Te).....	9
2.2.2.3 Bakır İndiyum Selenoid Piller.....	10
2.2.2.4 Bakır İndiyum Galyum Arsenik Piller (CIGS) .....	10
2.2.3 Üçüncü Nesil Hücreler.....	10
2.3 Güneş Pillerinde Kullanılan Yarı İletken Malzemeler .....	12
2.4 Boya Duyarlı Güneş Pilleri.....	13
2.4.1 Güneş Pillerinde Boyar Madde .....	15
2.4.2 Akım - Voltaj Parametreleri.....	17
2.5 Silanlar.....	18
2.6 Sol-Jel .....	21
2.6.1 Hidroliz oranı .....	22



2.6.2 Katalizörler.....	23
2.6.3 PH değeri.....	23
2.6.4 Reaksiyon sıcaklığı .....	23
2.6.5 Sol jel Avantaj Ve Dezavantajları.....	24
2.7 Grafen Nanotabaka (GNP).....	25
3. MATERİYAL ve METOT .....	27
3.1 Altlık Malzemelerinin Hazırlanması .....	27
3.2 Çözeltilerin Hazırlanması .....	27
3.3 ITO Camların Kaplanması ve Sinterlenmesi:.....	30
3.4 Kaplanan Cam Malzemelerin Görüntüleri.....	32
3.5 Kaplanan ITO Camların Pil Haline Getirilmesi .....	34
3.6 Karakterizasyon Testleri .....	35
3.6.1 Dijital Mikroskop Görüntüsü .....	36
3.6.2 FT-IR Analizi .....	36
3.6.3 Hassas Akım Kaynağı.....	37
4. BULGULAR .....	38
4.1 Dijital Mikroskop Görüntüsü Sonuçları .....	38
4.2 FT-IR Analizi.....	41
4.3 Hassas Akım Kaynağı ile (I-V) Analizi.....	46
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	52
6. KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ .....	60

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

°	Derece
g	Gram
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
nm	Nanometre
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
TiO <sub>2</sub>	Titanyum (IV) oksit

---

### Kısaltmalar

---

A. Ac.	Asetil Aseton
APTES	(3-aminopropil)trioksisilan
DC	Doğru Akım
DSSC	Boya Duyarlı Güneş Hücresi
FTO	Flor Katkılanmış Kalay Oksit
GLYMO	3-glisidiloksipropiltrimetoksisilane
ITO	İndiyum Katkılanmış Kalay Oksit
PSC	Perovskit
PV	Fotovoltaik (Photo Voltaic)
UV	Morötesi (Ultraviyole)

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Güneş pilinin şematik gösterimi. ....	7
Şekil 2.2 Güneş enerjisi güç sistemlerinde kullanılan üç farklı ince film teknolojisi; CdTe/CdS, CIGS ve a-Si güneş pilleri. ....	9
Şekil 2.3 Grätzel güneş pilinde kullanılan malzemelerin indirgenme yükseltgenme enerji seviyeleri iletkenlik bandı (kırmızı) ve valans bandı (yeşil). ....	13
Şekil 2.4 Işığın absorblanması ve elektron akışı. ....	14
Şekil 2.5 Boya duyarlı güneş pilinin işleyiş prensibi. ....	15
Şekil 2.6 Fotonun soğurumu ve yük taşıyıcı transferleri. ....	15
Şekil 2.7 Çeşitli organik boya moleküllerinin yapısı. ....	16
Şekil 2.8 Rutenyum ve porfirin esaslı boya moleküllerinin yapısı. ....	17
Şekil 2.9 Bir fotovoltaj hücresinin akım-voltaj grafiği (I-V eğrisi). siyah çizgiler karanlıkta, kırmızı çizgi ise aydınlıktaki karakteristiği göstermektedir. ....	18
Şekil 2.10 Silan genel formülü. ....	19
Şekil 2.11 Silan birleştirme ajanıyla geliştirilmiş ara yüzey bağlanması. ....	20
Şekil 3.1 TMSPM katkılı çözelti eldesi (1T). ....	28
Şekil 3.2 GLYMO katkılı çözelti eldesi 2(G). ....	29
Şekil 4.1 G7-G18-G30-ITO glass Ft-Ir analiz görüntüleri. ....	42
Şekil 4.2 GR7-GR18-GR30-ITO glass Ft-Ir analiz görüntüleri. ....	43
Şekil 4.3 GT7-GT18-GT30-ITO glass Ft-Ir analiz görüntüleri. ....	43
Şekil 4.4 GTR7-GTR18-GTR30-ITO glass Ft-Ir analiz görüntüleri. ....	44
Şekil 4.5 T7-T18-T30- ITO glass Ft-Ir analiz görüntüleri. ....	44
Şekil 4.6 TR7-TR18-TR30- ITO glass Ft-Ir analiz görüntüleri. ....	45
Şekil 4.7 TT7-TT18-TT30- ITO glass FT-IR Analiz Görüntüleri. ....	45
Şekil 4.8 TTR7-TTR18-TTR30-ITO glass Ft-Ir analiz görüntüleri. ....	46
Şekil 4.9 G7-G18-G30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri. ....	47
Şekil 4.10 Sırasıyla GT7-GT18-GT30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I- V analiz görüntüleri. ....	47
Şekil 4.11 Sırasıyla GR7-GR18-GR30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I- V analiz görüntüleri. ....	48
Şekil 4.12 Sırasıyla GTR7-GTR18-GTR30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri. ....	49

<b>Şekil 4.13</b> Sırasıyla T7-T18-T30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri. ....	49
<b>Şekil 4.14</b> Sırasıyla TT7-TT18-TT30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri. ....	50
<b>Şekil 4.15</b> Sırasıyla TR7-TR18-TR30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri. ....	51
<b>Şekil 4.16</b> Sırasıyla TTR7-TTR18-TTR30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri. ....	51

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 2.1</b> Güneş enerjisinin bazı kullanım alanları. ....	5
<b>Resim 2.2</b> Boya duyarlı güneş pili hücresinin gösterimi. ....	11
<b>Resim 3.1</b> Film aplikatör. ....	31
<b>Resim 3.2</b> 80 C' de etüv (Termal Kütleme). ....	31
<b>Resim 3.3</b> Manyeti karıştırıcı (Multi-HS DİG). ....	31
<b>Resim 3.4</b> UV ışık kür cihazı. ....	32
<b>Resim 3.5</b> 4/3'ü Pt kaplı ITO cam. ....	35
<b>Resim 3.6</b> İki iletken cam arasına elektrolit sıvısı enjekte edilmiş pil. ....	35
<b>Resim 3.7</b> Deneyde kullanılan dijital mikroskop cihazı. ....	36
<b>Resim 3.8</b> FT-IR spektrum cihazı. ....	37
<b>Resim 3.9</b> Keithley 2400 marka hassas akım ölçer. ....	37

## ÇİZELGE DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 3.1</b> TMSPM katkılı çözeltiler.....	29
<b>Çizelge 3.2</b> GLYMO katkılı çözeltiler.....	30
<b>Çizelge 3.3</b> TMSPM katkısıyla kaplanmış ITO camların görüntüleri. ....	32
<b>Çizelge 3.4</b> GLYMO katkısıyla kaplanmış ITO camların görüntüleri.....	33
<b>Çizelge 4.1</b> G7-G18-G30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri. ....	38
<b>Çizelge 4.2</b> GR7-GR18-GR30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri. ....	38
<b>Çizelge 4.3</b> GT7-GT18-GT30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri.....	39
<b>Çizelge 4.4</b> GRT7-GRT18-GRT30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri.....	39
<b>Çizelge 4.5</b> T7-T18-T30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri.....	40
<b>Çizelge 4.6</b> TR7-TR18-TR30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri.....	40
<b>Çizelge 4.7</b> TT7-TT18-TT30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri. ....	41
<b>Çizelge 4.8</b> TTR7-TTR18-TTR30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri. ....	41

## 1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında artan nüfus ile birlikte enerji tüketimi de artmaktadır. Sürekli artan enerji ihtiyacının %81,6'lık kısmını hızla tükenen, çevreye ve insana zararlı, maliyeti yüksek fosil yakıtlar karşılamaktadır (Batur 2014). Bu sebeplerden dolayı alternatif olarak insanlar güneş, rüzgâr, su ve biokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ve araştırma geliştirme çalışmalarına yönelmişlerdir. Özellikle güneş enerjisi üzerinde yoğunlaşmakta ve bu alanda çalışmalar hızla devam etmektedir (Zafer 2006).

Dünyada bulunan enerji sağlayan tüm kaynaklardan daha fazla enerji, güneş ışığı olarak dünya üzerine gelir. Ayrıca güneş enerjisi ısı ve elektrik ihtiyacını karşılayan bir enerjidir ve dünya için gereken yıllık ortalama enerjinin 15.000 katına eşdeğerdir. (Akman, Akın, Karanfil, Sönmezoğlu, 2013).

Güneş pilleri güneş enerjisinin fotovoltajik materyaller yüzeyine düşmesi ile elektrik gerilimi oluşur ve elektrik enerjisine dönüşümü sağlar. Fotovoltajik materyallerin kullanımının en önemli özelliği ve yararı çevre dostu enerji üretim yöntemlerinden biri olmasıdır (Koyuncu 2008).

Bu çalışmamızda enerji kullanım alanlarından güneş pillerinin farklı silan bağlayıcılar ve bileşiklerine nano boyutlu, birkaç tabakalı grafen nanotabaka katkılı Boyar madde içeren TiO<sub>2</sub> ince filmlerin üretim aşamalarını incelenmiştir.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Güneş Pilleri

#### 2.1.1 Güneş Pilleri ve Tarihsel Gelişimi

1839-1899 Fotovoltaik Materyallerin Keşfi ve Özellikleri;

Fotovoltaik hücreler tarihte 1800'lü yıllardan bu yana gelişmektedir. Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel'in 1839'da yapmış olduğu deneyde elektrolit bünyesine bırakılmış elektrot etkileşimindeki gerilimin, elektrolit yüzeyine gelen ışığa bağlı bulunduğu gözlem yoluyla belirlemiştir. Bu gözlem sonucunda Becquerel, bünyesinde metal halojenür tuzu bulunduran karışımın içine iki platin elektrotun bırakılarak akım üretimini sağlayan fotoğrafın bulunması ile hız kazanmıştır (Prevenslik 2003).

G. W. Adams ve R. E. Day tarafından 1876 yılında selenyum malzemesi fotovoltaik durumun incelenmesiyle sert cisimlerin de fotovoltaik etki olabileceği ispatlanmıştır (Smith 1873).

Charles Fritts ise 1883 yılında ise selenyum malzemesini (Se) altın kaplama yaparak %1 verime sahip ilk gerçek fotovoltaik hücreyi üretmiştir. İlerleyen yıllarda fotovoltaik etkiler Cu-CuO ince film kaplamalar da olduğu belirlenmiştir (Würfel 2005).

1900-1949: Fotovoltaik Etkinin Teorik Olarak Açıklanması ve İlk Güneş Pilleri;

1904'te Albert Einstein fotovoltaik etki üzerine yaptığı çok kapsamlı teorik bir çalışması sonucunda 1921 Nobel ödülü verilmiştir. Einstein'in bu çalışmasından sonra, 1916 yılında Robert Millikan araştırarak ve deneyerek 1932'de Cd-Se yapısında fotovoltaik oluşum gözlemlenmiştir.

1950-1969 Yoğun Uzay Araştırmaları;



1954' de ise Chapin, Fuller, Pearson ile birlikte yaptığı bir çalışmada silikon kristali üzerinde denediği fotovoltaik bir hücre çalışmasında %1 olan fotovoltaik verimliliği 6 kat arttırarak fotovoltaik enerji sistemlerinde ilk başarılı çalışma olarak sayılan %6 oranında başarıya ulaşmıştır ve bunu izleyen tarihlerdeki tasarımlar uzay araçlarındaki güç sistemlerinde kullanılmak üzere yapılmıştır (Würfel 2005).

#### 1970-1979 Büyük Fotovoltaik Kuruluşlarının Kurulması:

Güneş pillerinin elektrik enerjisi dönüşümünde yararlanılması için yapılan deneysel çalışmalar 1954'lerde başladı fakat ciddi anlamda 1973' deki "1. petrol bunalımı" zamanı ve sonrasındaki zaman diliminde meydana gelmiştir. Amerika'da, Avrupa'da, Japonya'da büyük maliyetli ve çok kapsamlı araştırma ve geliştirme tasarımları başlatılmıştır (Karamanav 2007).

1970'li yıllarda, silikon pil gelişmesinde ışıktan enerji dönüşüm verimi, ticari alanda kullanılmasında yenilikçi bir sürece girilmiştir. Güncel uygulamaların kullanımında da önemli olmasından sonra, bu pillerin üretim kapasitesinde artışa sebep olmuştur, bundan dolayı da güneş pili fiyatlarında da düşüşe sebep olmuştur. 1970 yılında Güneş Enerjisi Derneği kurulmuştur (Solar Power Corporation). 5 yıl sonra Solec Internatiol ve Solar Tecnology Internatinal kurulmuştur (Karamanav 2007).

#### 1980-Günümüze Fotovoltaiklerin Gelişimi, Yeni Teknolojiler;

Geçmişten günümüze süregelen araştırmalar güneş enerjisinin elektrik enerjisi şeklinde kullanımı çevreye az zararlı ve daha az maliyetli yaygın kullanılabilir olması için üniversitelerin, bilim insanlarının üzerinde düşündüğü ve laboratuvar ortamında çalışmalar yaptığı bir konudur fakat çok gelişme sağlanamamıştır (Karamanav 2007).

Son yirmi yılda fosil yakıtlarında tükenme ihtimali karşısında, dünyada çevre ve canlılara olan duyarlılığın artış göstermesi ile kamuoyunun fazla baskısı, çok milletli gelişmiş şirketlerin fosil yakıt olmayan yenilenebilir enerji teknolojileri üzerinde çalışmalar yapmasına sebep olmuştur. Büyük şirketlerin de desteğiyle fotovoltaik hücreler

konusundaki teknolojik araştırma, geliştirme ve kullanımına artan talep ile birlikte genişleyen üretim kapasitesi, maliyetlerinin de düşmesini sağlamıştır. Günümüzde fotovoltaik enerji sistemleri, artık güç üretiminde fayda sağlayan sistemler olarak sayılmaktadır (İnt. Kyn. 1).

### **2.1.2 Güneş Pillerinin Kullanım Alanları**

Güneş enerjisinin önemli olmasının sebebi fosil yakıtlara bağımlı olamamak daha temiz bir çevre ve yenilenebilir olmasıdır. Güneş enerjisinden ısınma ve elektrik olarak faydalanılmaktadır (Ceylan 2014, Mahmutoğlu 2013).

Güneş enerji teknolojilerini sınıflandıracak olursak;

- 1- Isıl güneş sistemlerinde öncelikli olarak ısı eldesi güneş enerjisinden sağlanmaktadır. Direkt olarak kullanılan bu teknoloji elektrik enerji dönüşümünde de kullanılır.
- 2- Yoğunlaştırıcı teknolojik sistemler, parabolik çanak sistemler ve merkezi alıcı sistemler, parabolik kolektörler, örnek verilebilir. Elektriğe ihtiyaç duyulan her yerde fotovoltaik uygulamalar kullanılabilir.
- 3- Yüksek olmayan sıcaklık sistemleri güneş kolektörleri, güneş bacaları, güneş ocakları ve su arıtma sistemleri gibi uygulama alanlarını içerir (Ceylan 2014, Mahmutoğlu 2013).

Güneş enerjisinden tarım ve seracılık alanlarında, içme suyu arıtımında, tekstil uygulamalarında, hibrit sistemlerde, aydınlatma ve ısıtma sistemlerinde, su pompalarında, sıcak su üretiminde, uzay uygulamalarında, elektrik enerji eldesinde, ulaşım teknolojilerinde vb. alanlarda kullanımı yaygındır (Tsoutsos, Frantzeskaki, Gekas 2005).

Güneş Enerjili Araçlar	Güneş Enerjili Yapılar	Çevre elemanları
 	 	 

**Resim 2.1** Güneş enerjisinin bazı kullanım alanları (Tsoutsos 2005).

Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü, fotovoltaik sistem ile gerçekleşmektedir. Bu sistemin çalışma prensibi güneş ışınlarının, plakaların yüzeyine düşmesi ile elektron kopararak elektronların aktif hareketini sağlayıp bir akım oluşturarak enerji açığa çıkması ile gerçekleşmektedir (Aykal, Gümüş, Akça 2009).

Güneş enerjisine ile ilgili teknolojiler fotovoltaik hücreler dünyada tükenmez ve yenilenebilirlik açısından çok daha avantajlı olduğu için yıllardır araştırılıp üzerinde durulmaktadır ve gelecek yıllarda teknoloji açısından da daha geniş yelpazede kullanılıp gelişmeye devam edecektir. Böylelikle maliyetleri de azaltılıp kullanımı daha da artacaktır (Kalay 2020).

### 2.1.3 Güneş Pillerinin Yapısı

Güneş pilleri (fotovoltaik hücre) güneş ışınlarının paneller üzerine düşmesi ile bu enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünü sağlar. Fotovoltaik hücre, güneş enerjisini fotovoltaik etki ile doğrudan elektriğe dönüştüren bir tür elektrikli cihazdır. Si bazlı güneş pilleri gibi fotovoltaik hücrelerde (Pv'ler) yaygın olarak kullanılmaktadır. Perovskit solar hücreler (PSC' ler) ve boya duyarlı güneş pilleri (DSSC' ler), düşük maliyetli, yüksek verimli pratik uygulamalarda ilgi çekici bir potansiyel göstermiştir. Güneş pilinde 1µm eninde Si

tabakasından yararlanılmaya çalışılması ve güneş spektrumunun tümünden faydalanacak biçimde katmanlı pil üretimi yapımı için faydalı olması açısından a-silisyum önem kazanmıştır. Güneş pillerinde kullanılan malzemelere göre %5 ile %20 arasında bir verimliliğe sahiptirler ve kalınlıkları 0,2-0,4 mm aralığında bulunmaktadır (Green, Ho-Baillie, Snaith, Mathew 2014).

Güneş pilinin yapımında kullanılan materyaller ve özellikleri;

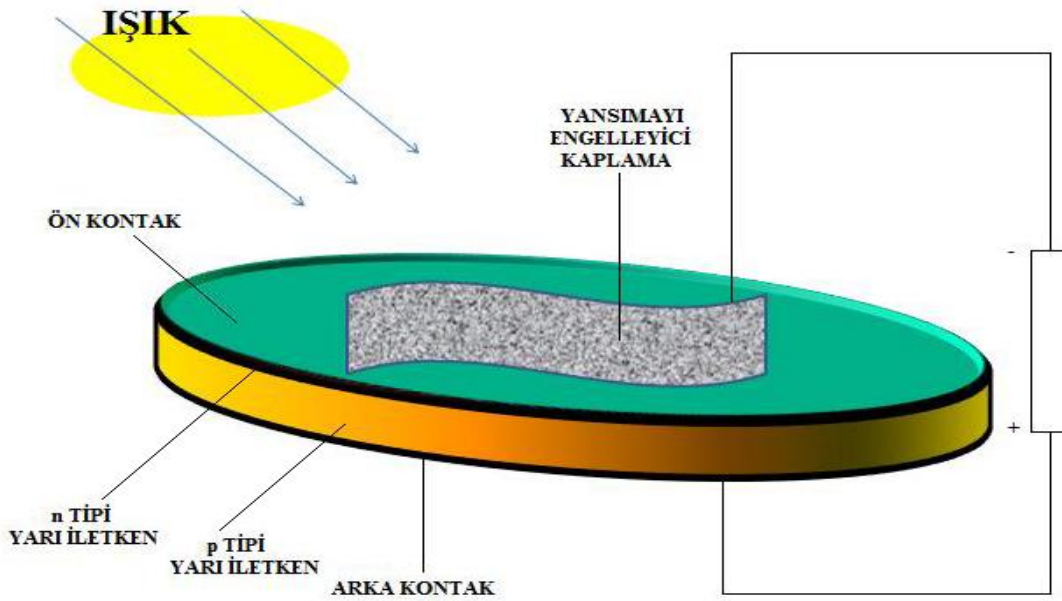
- 1–12 eV bant aralığında bulunması,
- Direk geçişli bant yapısında bulunmaktadır,
- Kolay elde edilmesi ve maliyetinin az olarak üretilebilmesi,
- Zehirleyici özellik içermemektedir,
- Fotovoltaik dönüşümünün yüksek verime sahip olması,
- Malzemenin yapısal ve elektriksel durumları gelişmeye açıktır,
- Heteroeklem seçiminde en uygun kombinasyonun kullanılması,
- Yüksek absorbe etme özelliğine sahiptir,
- Dayanımı uzun sürelidir (Küpeli 2005).

Güneş pilleri fotovoltaik etki ile oluşur. Bu güneş pilleri, bir p-n bağlantısı oluşturmak için birleştirilmiş iki farklı yarı iletken (bir p-tipi ve bir n-tipi) oluşur. Bu iki tip yarı iletkeni birleştirerek, elektronlar n tipi malzemeden çıkan elektronlar pozitif p tipi malzeme tarafına hareket ederken bağlantı bölgesinde bir elektrik alanı oluşur. Bu elektrik alanı, Eyap olarak adlandırılmaktadır. Işık, küçük elektromanyetik radyasyon veya enerji demetleri olan fotonlardan oluşur (Küpeli 2005).

Bu fotonlar, güneş panellerini oluşturan bir hücre türü olan fotovoltaik bir hücre tarafından absorbe edilebilir. Bu hücrelere uygun bir dalga boyunda ışık geldiğinde fotondan gelen p-n bağlantısında ki yarı iletken malzemenin bir atomuna aktarılır. Spesifik olarak, enerji malzeme içindeki elektronlara aktarılır. Bu elektronların iletim bandı olarak bilinen daha yüksek bir enerji durumuna geçmesine neden olur. Bu, elektronun sıçradığı değerlik bandında bir "elektron boşluk" oluşur (Küpeli 2005).

Eklene enerji bir sonucu olarak elektronun bu hareketi, bir elektron boşluk çifti oluşturur. Daha sonrasında, oluşan elektrik alan sayesinde birbirlerinden ayrılır. Elektronlar uyarılmadıklarında çevreleyen atomlarla bağlar oluşturarak yarı iletken malzemeyi bir arada tutarlar ve bu nedenle hareket edemezler. Bununla birlikte, iletim bandındaki uyarılmış durumlarında bu elektronlar malzeme içinde hareket etmekte serbesttir. Pn bağlantısının bir sonucu olarak oluşan elektrik alanı nedeniyle elektronlar ve boşluklar beklendiği gibi ters yönde hareket eder. Serbest elektron, p tarafına çekilmek yerine n tarafına geçme eğilimindedir (Küpeli 2005).

Elektronun bu hareketi hücrede bir elektrik akımı yaratır. Elektron hareket ettikten sonra, geride bir “elektron boşluğu” vardır. Bu boşlukta hareket edebilir, ancak p-tarafının tersi yönde. Hücrede bir akım yaratan bu süreçtir. Bu sürecin bir diyagramı Şekil (2.1)'de görülebilir (Küpeli 2005).



Şekil 2.1 Güneş pilinin şematik gösterimi.

## 2.2 Güneş Pillerinin Çeşitleri

Güneş pilleri çeşitleri 3 ana başlıkta incelenebilir bunlar 1. nesil (mono kristal), 2. nesil polikristal (ince film) ve 3. nesil boya duyarlı güneş pilleri olarak bilinmektedir.

### 2.2.1 Birinci Nesil Hücreler

Birinci nesil fotovoltaik piller monokristal silisyum pillerdir. Silisyum (Si) ve galyum arsenik (GaAs) maddesi güneş pili yapımında en yaygın olarak kullanılan iki maddedir. Silisyumun tüm kimyasal özelliklerini uzun yıllar koruyabilmesi ve rezervinin kolay ulaşılabilir olması yaygın kullanımının etkilerindedir. Kum yapısından dolayı saflığı çok azdır. Bu yüzden çok fazla tercih edilmez. Kuvarsın %90'ı silisyumdan meydana gelmektedir. Kuvars uğradığı işlemler sonrasında %99 saflık oranında silika oluşumu gerçekleşir. Sonrasında silika silisyuma dönüştürülür. Güneş pil piyasasının %80'i genel olarak kristal silikon piller tarafından meydana gelmektedir. Güneş hücresi türlerindeki verim %15-23 aralığında değişkenlik göstermektedir (Küpeli 2005).

### 2.2.2 İkinci Nesil Hücreler

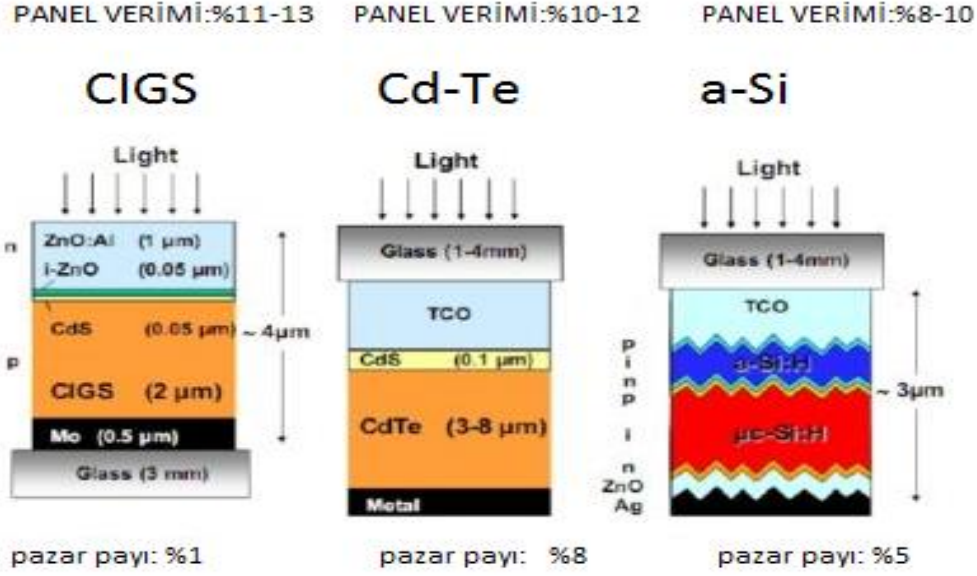
İkinci nesil güneş pilleri ince film güneş hücreleri; a-Si, CdTe, CIS veya CIGS piller olmak üzere 4 çeşittir (Sio 2019).

#### 2.2.2.1 Amorf Silisyum Güneş Pilleri (a-Si)

Muhtemelen en iyi geliştirilmiş güneş pili teknolojisi amorf silikondur. 1980'den beri ticari üretimdedir ve ışığı absorbe etmek için özel kristal titreşimlerine ihtiyaç duymama avantajına sahiptir (çünkü kristal kafeslerin hepsi zaten uyumsuzdur). Bu nedenle doğrudan bir bant aralığına sahiptir ve monokristal silikondan daha güçlü emer (Matsumoto 1990).

Amorf silikonun, uyumsuz kristal kafeslerden dolayı bazı bağların sarkık kalması gibi bir sorunu vardır. Bu sarkan bağlar akım akışına müdahale edebilir, bu nedenle bu hücreler çoğu zaman sarkan tüm bağları tutup doldurmak için hidrojen ile pasifleştirilir. Henüz monokristal silikonun verimlilik kayıtlarına ulaşmamış olsa da (a-Si şu anda %10 veya %11 verimlilikte bulunuyor), daha az katı üretim yöntemleri amorf silikonu ilginç bir olasılık haline getiriyor (Matsumoto 1990).

# İnce Film Güneş Gözelleri



Şekil 2.2 Güneş enerjisi güç sistemlerinde kullanılan üç farklı ince film teknoloji; CdTe/CdS, CIGS ve a-Si güneş pilleri (Karamanav 2007).

## 2.2.2.2 Kadmiyum Tellür (Cd Te)

Kadmiyum tellür (CdTe), II-VI grup elemanlarından yapılı ve 1,44 eV'lik doğrudan bant aralığına sahiptir, bu da onu fotovoltaik uygulamalar için en uygun malzemelerden biri yapar. CdTe, fiziksel buhar biriktirme, püskürtme biriktirme, elektro biriktirme, kimyasal biriktirme, sinterleme ve daha fazlası gibi çeşitli tekniklerle ince film biçiminde sentezlenebilen kimyasal olarak kararlı bir bileşiktir. CdTe hücrelerinin malzeme kalitesinin geliştirilmesi de önemli olduğu keşfedilmiştir. CdTe tabanlı PV, ince film teknolojisi olarak kabul edilir çünkü aktif katmanlar sadece birkaç mikron kalınlığındadır veya insan saçının yaklaşık onda biri çapındadır (Das Morris 1993).

CdS gibi ara katmanlar, TCO ve CdTe arasındaki hem büyüme hem de elektriksel özelliğe yardımcı olur. CdTe film, birincil foto-dönüştürme katmanı olarak işlev görür ve malzemenin ilk mikronundaki görünür ışığı emer ve CdTe katmanında emilen ışığı akım ve gerilime dönüştüren bir elektrik alanı oluşturur. Elektrik kontakları oluşturmak için metal yerleştirilir. Üretimde, tüm bu katmanlar gelen camın üzerine bırakılır ve sadece birkaç saat içinde tam güneş panellerine dönüştürülür (Das Morris 1993).

### 2.2.2.3 Bakır İndiyum Selenoid Piller

Periyodik cetvelde bulunan 1. 3. ve 6. gruplarının bir araya gelerek oluşturduğu yarı iletkenlerdir. Bu oluşturulan yarı iletkenlerde absorpsiyon katsayıları oldukça fazladır. Bakır indiyum selenoid güneş pili, bakır, indiyum ve selenyum ile yapılan birleşik yarı iletken malzemeden üretilir (Balkan, Erol 2005).

Bu ince film pillerin diğer güneş pil teknolojilerinden üstünlükleri;

- Optik absorpsiyon kat sayısı fazladır,
- İletkenlik ve özdirenç özellikleri değişime uğrayabilir,
- Fabrika ortamında yüksek verime sahip hücre üretimi yapılır.

Bakır indiyum selenoid piller oldukça fazla soğurganlığa sahiptir. Bu materyallerin  $1\mu$  eninde ki katmanı, gelen ışınları %99 oranında absorbe etme özelliğine sahiptir. Bu sebepten ötürü ticaret sektöründe CIS fotovoltaiik güneş pilleri yaygın şekilde kullanılır. Öte CIS güneş pili hücrelerine Ga elementi katkılanması yapılırsa, oldukça fazla verime ulaşılır (Karamanav 2007).

### 2.2.2.4 Bakır İndiyum Galyum Arsenik Piller (CIGS)

Bildiğimiz tüm malzemeler arasında bakır indiyum diselenide (CIS) en yüksek optik absorpsiyona sahiptir. Bununla birlikte, bant aralığı 1 eV civarındadır, bu nedenle araştırmacılar bant aralığı enerjisini güneş idealine yaklaştırmak için kafese galyum yerleştirdiler. Bu, fotovoltaiik hücre yapımı için bakır indiyum-galyum diselenide ( $\text{CuInGaSe}_2$  veya CIGS) malzemesi olarak geliştirildi (Bhattacharya 2013).

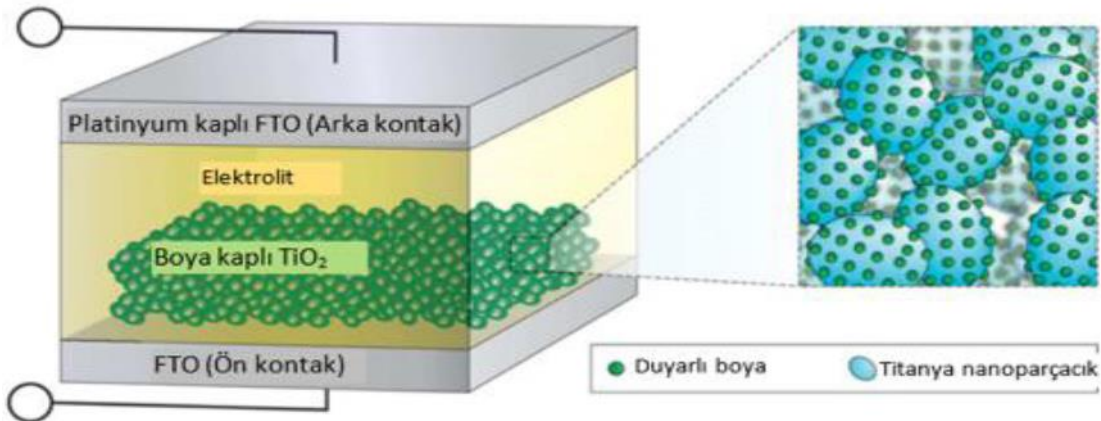
### 2.2.3 Üçüncü Nesil Hücreler

3. nesil hücrelerin organik ve boya duyarlı olarak 2 şekilde incelenmektedir. Organik güneş pilleri, ışıktan, dış mekandan ve iç mekandan enerji toplamak için ITO (şeffaf iletken oksit) ve metal arasına organik tabanlı malzemeler kullanan bir teknolojidir. Güneş



pilleri, bir foto-aktif katman ve iki elektrot katmanı olmak üzere birkaç katmandan oluşur ve yarı iletken polimer malzemeler kullanılarak da verimliliği artırılır. Bu katmanlar, nanometre ölçeğindeki kalınlıkta, gazetelerin basılmasına benzer şekilde rulodan ruloya üretim kullanılarak basılır. Bu katmanlar tipik olarak ince bir plastik substrat üzerine basılır ve ardından koruyucu ve esnek bir folyo ile laminasyon yapılır (Sio 2019).

Sıvı boyalar içeren güneş pilleri aslında pillere oldukça benzer. Her iki uçta elektrotlar vardır ve biri elektron kaybederken diğeri bir elektron kazanır (oksidasyon ve indirgeme, redoks olarak da bilinir). Bir güneş hücresindeki tek fark, elektron kaybının (iletim bandına) bir fotonun emilmesiyle başlamasıdır. 1991 yılında, Gratzel ve Regan , titanyum (IV) oksit film üzerinde sıvı boya kullanan düşük maliyetli bir güneş pili gerçekleştirdi. Genel şema aşağıda gösterilmektedir ve boyaya duyarlı güneş pillerinin genel bir yaklaşımı olarak bilinir hale gelmiştir (Regan 1991).



**Resim 2.2** Boya duyarlı güneş pili hücresinin gösterimi (Mohammad Bagher 2016).

Boyaya duyarlı güneş pillerini araştırmacılar için pek çekici hale getirmede, çünkü donabilirler ve genellikle diğeri güneş pillerine göre daha fazla kararsızlık yaşadılar. Ayrıca kısa taşıma özelliklerine sahiptirler yani mümkün olduğunca fazla enerji yakalamak için yeterince hızlı tepki vermiyorlar. Bununla birlikte, hala üzerinde çalışılıyorlar ve yüksek verimlilikler elde ederek büyük ilerleme kaydettiler. Taşıyıcıların mesafesini sınırlayan bazı çalışmalar da çok umut verici görünüyor (Sio 2019).

Son olarak, boyaya duyarlı güneş pilleri aynı zamanda günümüzde en çok çalışılan güneş pili türlerinden biri olan perovskitlere doğru önemli bir basamak görevi görmüştür (Sio 2019).

### 2.3 Güneş Pillerinde Kullanılan Yarı İletken Malzemeler

Güneş pillerinde yarı iletken malzemelerin kullanımı yük aktarım süreci için çok önemlidir. Cdo,  $TiO_2$  ve ZnO en çok kullanılan yarı iletken malzemelerdir.

Doğada en fazla rutil formda bulunan  $TiO_2$ 'nin anataz ve brukit olmak üzere 3 formu vardır. Anataz formu düşük sıcaklıkta kararlı ve piramit, rutil formu iğne kristal yapısına sahip olduğu gözlenmiştir. Geniş bant aralığına sahip olan  $TiO_2$  anataz formda 3,2 eV, rutil formda 3 eV'dur. Kolay teminatı, düşük maliyetli ve zararsız daha verim elde edilebilir olmasından dolayı en çok kullanılan yarı iletkenidir (Tang 2009).

Zno modern malzeme biliminde, geniş bant aralığı (3,37 eV), iyi şeffaflık, mükemmel elektron hareketliliği ve düşük termal genleşme gibi birçok benzersiz özelliğe sahip önemli bir II–VI yarı iletkenidir. Işık yayan diyotlar, ultraviyole (UV) lazerler, güneş pilleri, güneş enerjili su bölme hücreleri, biyosensörler ve piezoelektronik gibi çok sayıda yeni malzeme uygulamalarında kullanılmaktadır (Miao, Liu 2015).

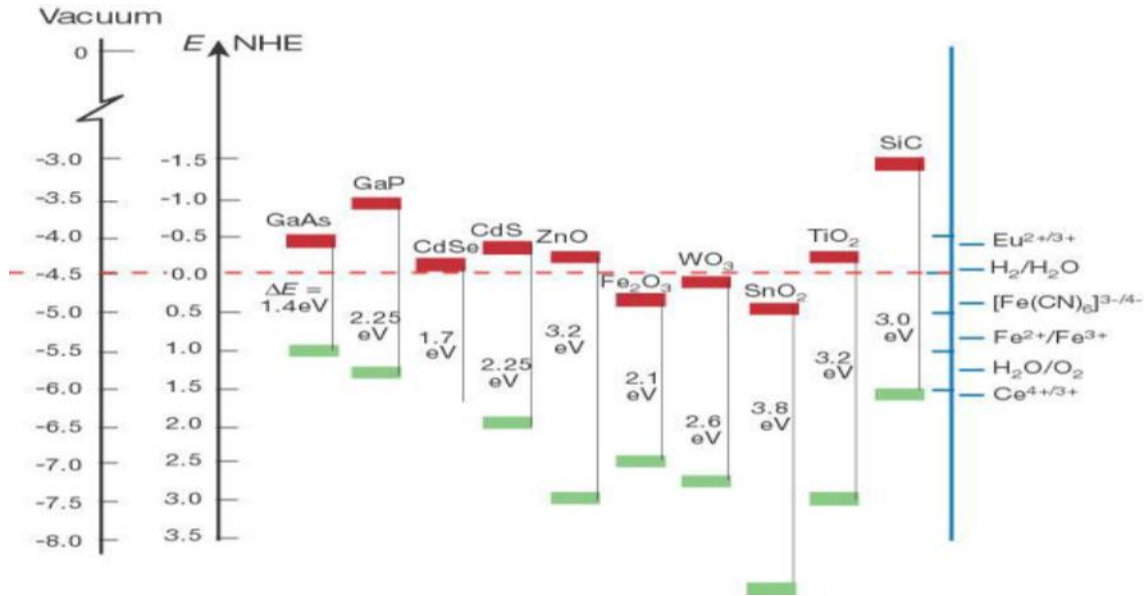
ZnO nanopartiküller, nanoteller, nanobeltler, nanoflowers vb. çeşitlerde hidrotermal, elektrokimyasal biriktirme, fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme, püskürtme, atomik katman biriktirme ve püskürtme pirolizi gibi çeşitli sentetik yöntemler ve stratejiler kullanılarak kolayca sentezlenebilir (Miao Liu 2015).

Kadmiyum Oksit (CdO) yarı iletken, doğrudan ve geniş bir bant boşluğuna (4.05 eV) sahiptir. Gaz sensörleri, güneş pilleri, lazer vb. uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Yakuphanoglu 2011).

Kadmiyum Oksit (CdO) filmler, magnetron püskürtme, darbeli lazer biriktirme, püskürtme proliz tekniği ve sol-jel gibi farklı teknikler kullanılarak üretilmiştir. Sprey

piroliz tekniği, kadmiyum oksit (CdO) filmleri üretmek için en ucuz ve en basit yöntemlerden biridir (Yakuphanoglu 2011).

Kadmiyum Oksit (CdO) hem yarı iletken hem de piezoelektrik özelliklere sahip benzersiz bir kimyasaldır. Diğer yarı iletkenlerle karşılaştırıldığında, Kadmiyum Oksit (CdO) daha yüksek eksiton bağlanma enerjisine (75 meV) ve yaklaşık 4.05 (eV) kadar boşluk enerjisine sahiptir (Yakuphanoglu 2011).



Şekil 2.3 Grätzel güneş pilinde kullanılan malzemelerin indirgenme yükseltgenme enerji seviyeleri iletkenlik bandı (kırmızı) ve valans bandı (yeşil) (Hagfeldt, Grätzel 1995).

## 2.4 Boya Duyarlı Güneş Pilleri

Büyüyen bir araştırma alanı olan güneş pili, organik fotovoltaik teknolojisidir. Hafifliği, geniş yüzey alanı, düşük maliyeti ve sağlamlığı dahil olmak üzere birçok umut verici avantajı vardır (Rudra 2019).

Organik güneş pili, yüksek optik soğurma katsayıları nedeniyle diğer güneş teknolojilerine göre çok daha büyük miktarlarda güneş enerjisi depolayabilir. Bu tür güneş enerjisi, özellikle sürdürülebilirliklerini artıracak yeni araştırma ve geliştirme faaliyetleri yoluyla sektörü hızla ilerletme potansiyeline sahiptir (Rudra 2019).

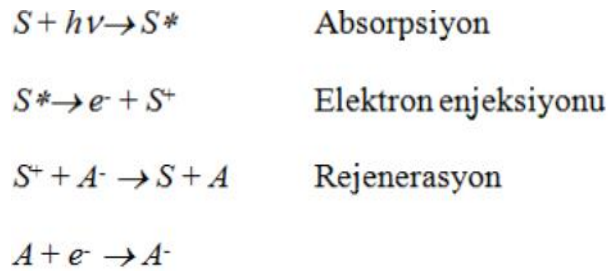
Organik güneş pilleri, inorganik silikon güneş pillerinden farklıdır, 1000 kat daha ince yapılabilir ve bu da malzemelerde önemli tasarruf sağlar organik boyar madde bitkilerde bulunan klorofil gibi ışığı absorplayan bir moleküler yapıdır (Rudra 2019).

Organik malzemelere dayalı fotovoltaiik hücre konfigürasyonu, inorganik yarı iletkenlerden farklıdır. En belirgin fark, inorganik ve organik yarı iletkenlerin fiziksel özellikleridir. Plastik güneş pilleri olarak da bilinen organik güneş pili, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için küçük organik moleküller, dendrimerler ve polimerler şeklinde organik malzemeler (karbon bazlı) kullanır. Geliştirme faaliyetleri sebebiyle organik pil sektörü hızla ilerleme potansiyeline sahiptir (Rudra 2019).

Organik güneş pillerinde iletken metal oksit tabaka da elektronik iletkenliği için önemlidir. ZnO, TiO<sub>2</sub> ve SnO<sub>2</sub> vb. geniş bant aralığındaki metal oksitler geçmişten günümüze bu alanda sıkça kullanılmaktadır. Elektrik ve optik özellikleri ele alındığında eldesinin kolay, maliyetinin de düşük olma sebebiyle TiO<sub>2</sub> daha fazla tercih edilmektedir (Sarica 2013).

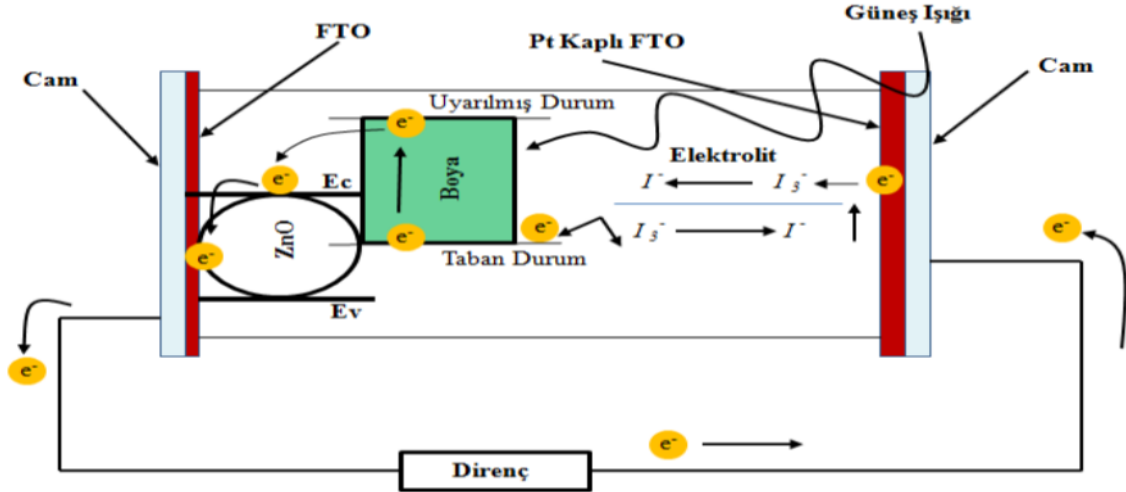
Boya güneş pili yapımında TiO<sub>2</sub> metal elektrotu gibi karşı elektrot ve elektrolit sıvısı da büyük öneme sahiptir. Elektrolit sıvısı I<sup>3</sup> / I iyonları barındıran sıvı bir çözeltilidir. Karşı elektrot olarak genellikle Pt kaplı ITO veya FTO camlar kullanılır. Boyar madde olarak da genellikle Rutenyum, Azo, Osmiyum, İridyum'un gibi inorganik boyar maddeler kullanılmaktadır (Regan 1991)

Fotosentez gibi gelişen organik güneş pillerinin çalışma prensibi ışığı absorbe eden boyar maddenin elektron metalinin uyarılmasıyla üst enerji seviyesine çıkarır ve ITO iletken cam yüzeyine transfer olur (Koleman 2011).



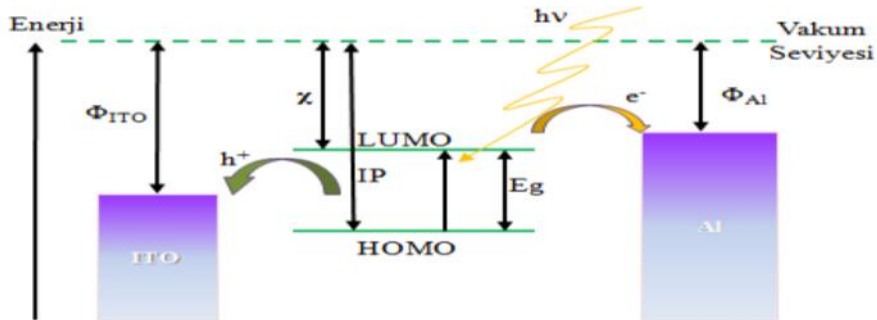
**Şekil 2.4** Işığın absorblanması ve elektron akışı (Sarica 2013).

Boyar güneş pil yapımında metal oksit tabakası yüzeyine tutturulmuş boyar madde sayesinde yüzeye düşen güneş ışığı absorbe edilir bu metal oksit tabakası yüzeyine tutturulmuş boyar maddeli elektrottan kopan elektronların tekrar redoks işlemi sağlayan elektrolit sıvısına iletilmesini sağlamaktadır (Sarıca 2013).



Şekil 2.5 Boya duyarlı güneş pilinin işleyiş prensibi (Gratzel 2003).

Gelen elektron Pt katkılı karşı cam üzerinden boyar maddenin HOMO enerji seviyesine aktarılır boyar maddenin rejenerasyonu sağlanmış olur. Boya uyarılmaya devam ettiği sürece bu döngü devam eder (Sarıca 2013).



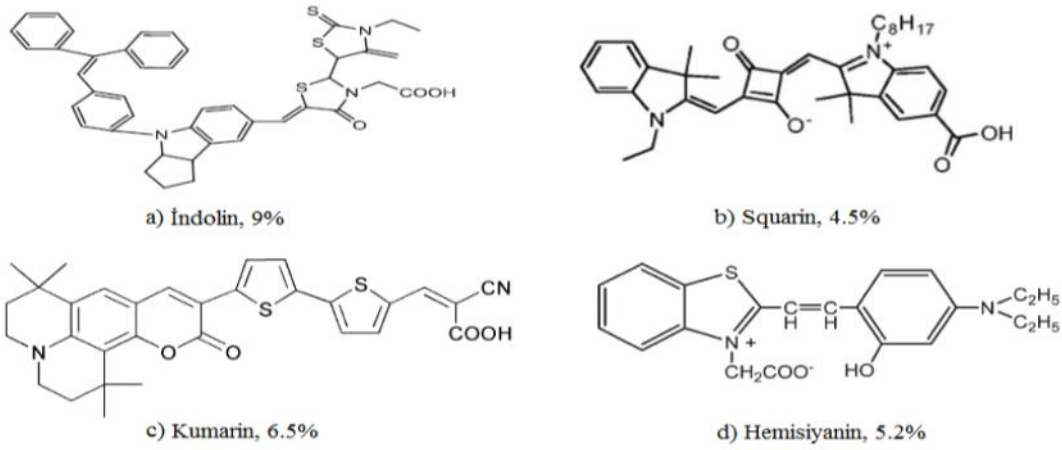
Şekil 2.6 Fotonun soğurumu ve yük taşıyıcı transferleri (Schilinsky 2002).

#### 2.4.1 Güneş Pillerinde Boyar Madde

Boyanın, güneş enerjisinin soğurulmasında ve elektrik enerjisine dönüştürülmesinde önemli rolleri vardır;

- Yarı iletken üzerinde güçlü boya absorpsiyonu yapması;
- Büyük görünür ışık toplama kapasitesi;
- Yarı iletkenlere verimli bir şekilde elektron enjeksiyonu iyi iletim bandı;
- Son olarak, O veya —OH grupları içermesi

Boyanın, güneş enerjisinin soğurulmasında ve elektrik enerjisine dönüştürülmesinde önemli rolleri vardır. DSSC'lerde uygulanan boyalar, organik ve inorganik boyalar olmak üzere iki türe ayrılır. İnorganik boyalar metal kompleksi, örneğin Ruthenium ve Osmium'un polipiridil kompleksleri, metal porfirin, ftalosiyanın ve inorganik kuantum noktalarından oluşurken organik boya, doğal ve sentetik boyalardan oluşur (Ludin 2014).



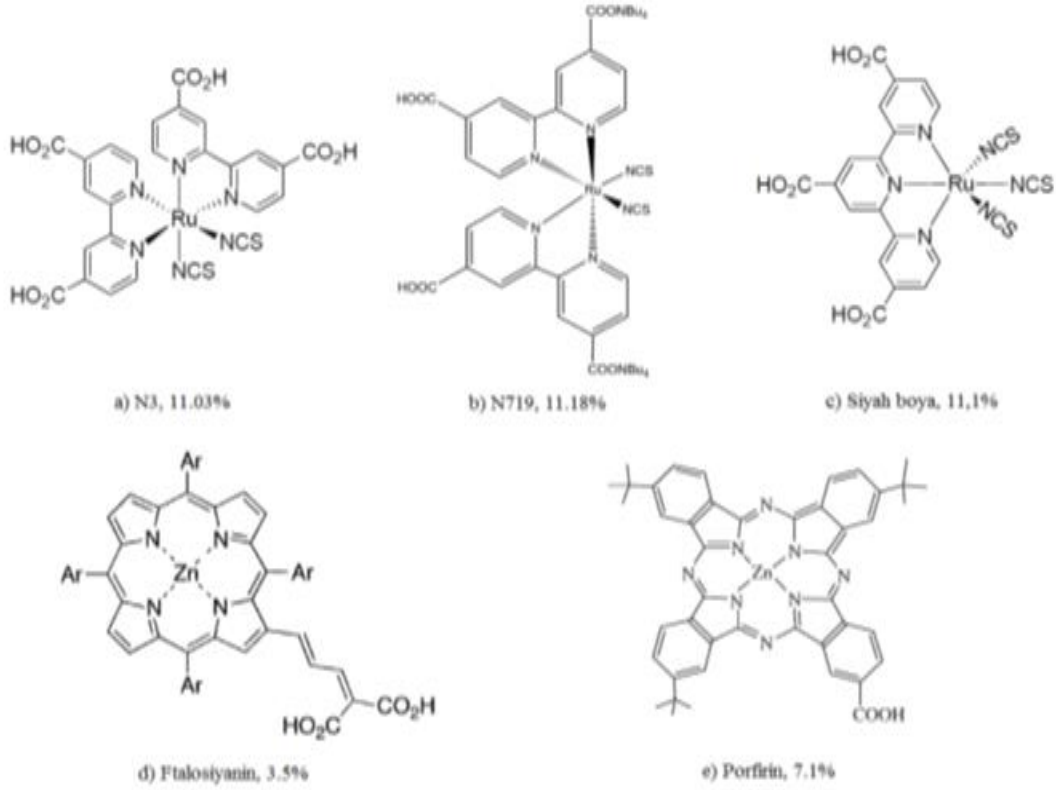
Şekil 2.7 Çeşitli organik boya moleküllerinin yapısı (Sönmez 2018).

Doğal boyalar, inorganik bazlı DSSC'lere uygun bir alternatif sunar. Doğal olarak, bitkinin meyveleri, çiçekleri ve yaprakları kırmızıdan mora farklı renkler gösterir ve basit bir prosedürle elde edilebilen ve DSSC üretimi için kullanılabilen farklı doğal boyalar içerir (Chang 2010).

Çeşitli inorganik metal komplekslerinin ve organik boyaların moleküler mühendisliğinde çok sayıda araştırma yapılmıştır (Hao 2006).

Geçiş koordinasyon kompleksleri, yük transfer duyarlılaştırıcıları olarak kullanılır ve standart küresel hava kütlesi 1.5 güneş ışığında yaklaşık %11 güneş enerjisinden elektrik enerjisine toplanır. Bu kompleksler, aynı zamanda daha yüksek verimlilikleri, kimyasal

stabiliteleeri, uygun foto-elektrokimyasal vb. nedeniyle en etkili duyarlılaştırıcılardan biridir. Grätzel ve grubu, görünür bölgeden yakın kızılötesi bölgeye yoğun absorpsiyon aralığı nedeniyle en etkili hassaslaştırıcıları (%11) temsil eden birçok Ru kompleks fotosensitizör geliştirdi (Hao 2006).

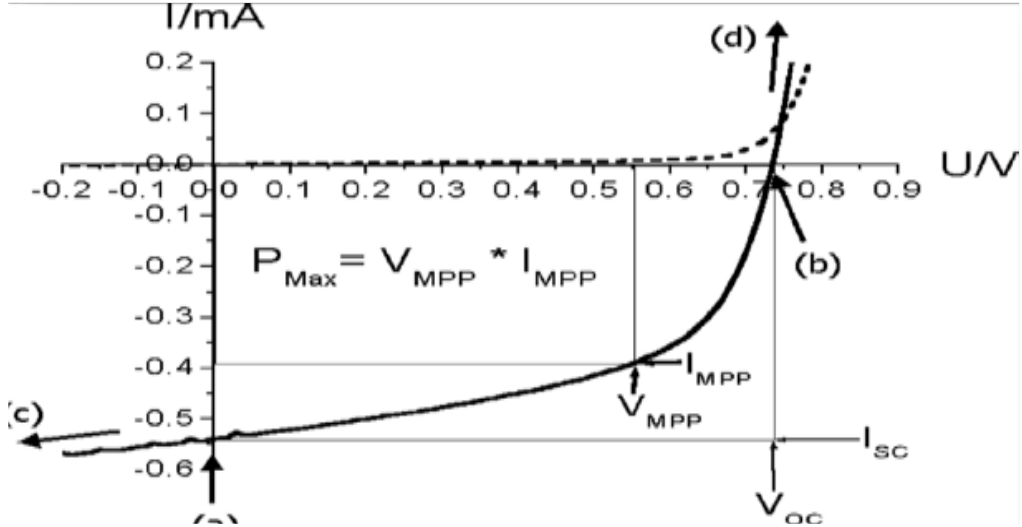


Şekil 2.8 Rutenyum ve porfirin esaslı boya moleküllerinin yapısı (Sönmez 2018).

Kimyasal kararlılıkları ve olasılıkları ne olursa olsun yarı iletken katı maddeler ile şarj değişimi, Rutenyum kompleksleri büyük görünür ışık toplama kapasitesine sahiptir ve bu da onları güneş enerjisi dönüştürme cihazlarının üretimi için akıllıca bir seçim haline getirir (Yuancheng 2012).

#### 2.4.2 Akım - Voltaj Parametreleri

Güneş pillerinin verimini ve parametrelerini belirlemek için kullanışlı bir metottur. Verimin belirlenmesinde 4 önemli parametre hesaplanır. Bu parametreler; kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ), açık devre potansiyeli ( $V_{oc}$ ), dolun faktörü (FF) ve güç dönüşüm verimi ( $\eta$ )'dir (Sarica 2013).



Şekil 2.9 Bir fotovoltaik hücrenin akım-voltaj grafiği (i-v eğrisi). siyah çizgiler karanlıkta, kırmızı çizgi ise aydınlıktaki karakteristiği göstermektedir (Guvenc 2012).

FF (Dolum Faktörü): maksimum gücün, açık devre gerilimi ile kısa devre akımı çarpımına oranıdır pilin güç kaynağı olarak kalitesinin göstergesidir(Sarıca 2013).

Pilin verimi;  $\eta$ , güneş pilinin performansı göstermektedir. Elde edilen maksimum gücün (MPP), güneş pili yüzeyine gelen ışık şiddetine ( $P_{ışık}$ ) oranıdır.

$$FF = \frac{V_{max} V_{min}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.1)$$

$V_{oc}$ : Açık devre potansiyeli

$I_{sc}$ : Kısa devre akımı

$I_{max}$ : MPP'deki akım yoğunluğu

$V_{max}$ : MPP'deki gerilim

$\eta$  : Pilin verimi

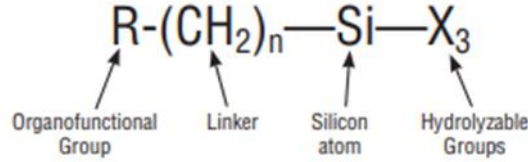
$$\eta = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{ışık}} \quad (2.2)$$

## 2.5 Silanlar

Silan birleştirme maddeleri, organik ve inorganik malzemeler arasında dayanıklı bir bağ oluşturma yeteneğine sahiptir. Birbirine benzemeyen malzemeler arasındaki karşılaşmalar, genellikle en az bir silisli veya silisli özelliklere sahip yüzey kimyasına sahip bir elemanı içerir. Silikatlar, alüminatlar, boratlar vb. yer kabuğunun temel



bileşenleridir. Bu tür malzemeleri içeren arayüzler, istenen heterojen ortamları oluşturmak veya farklı fazların yığın özelliklerini tek tip bir kompozit yapıya dahil etmek için yüzeylerin modifiye edildiği dinamik bir kimya alanı haline gelmiştir (İnt. Kyn. 3).



Şekil 2.10 Silan genel formülü.

Bir silan birleştirme ajanı için genel formül tipik olarak iki işlevsellik sınıfını gösterir. X, hidrolize edilebilir bir gruptur, tipik olarak alkoksi, asiloksi, halojen veya amindir. Hidrolizin ardından, siloksan bağlarını oluşturmak için diğer silanol gruplarıyla, örneğin silisli dolguların yüzeyindekilerle yoğunlaşabilen reaktif bir silanol grubu oluşur. Alüminyum, zirkonyum, kalay, titanyum ve nikel gibi diğer oksitlerle de kararlı yoğunlaşma ürünleri oluşturulur. Bor, demir ve karbon oksitleriyle daha az kararlı bağlar oluşur. Alkali metal oksitler ve karbonatlar Si O- ile kararlı bağlar oluşturamaz. R grubu, istenen özellikleri veren bir işlevsellik sunabilen hidrolize olmayan bir organik radikaldir (İnt. Kyn. 3).

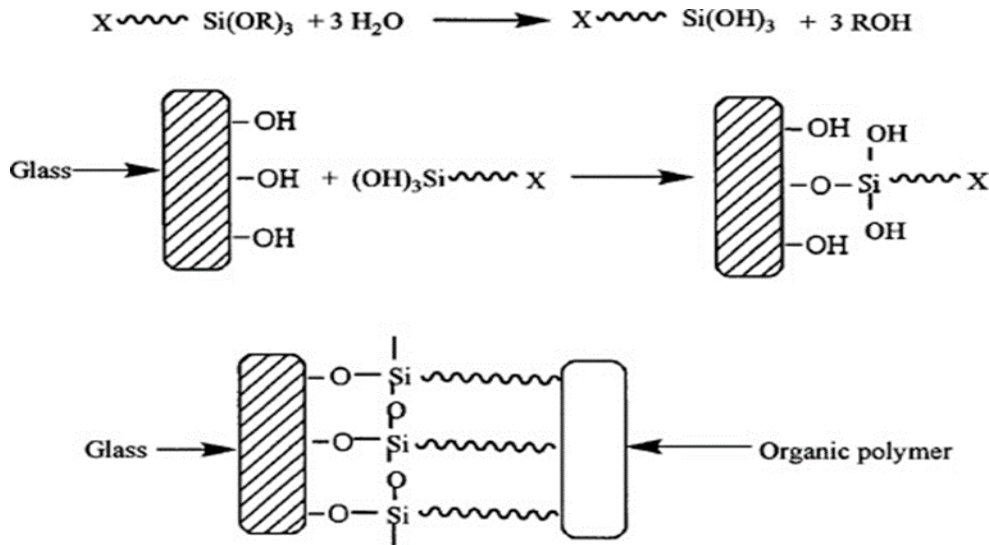
Bir organosilanın bir substrat ile reaksiyona sokulmasının nihai sonucu, substratın ıslatma veya yapışma özelliklerini değiştirmekten, substratı heterojen arayüzde kimyasal dönüşümleri katalize etmek için kullanmaktan, arayüz bölgesini sipariş etmekten ve bölme özelliklerini değiştirmekten kadar değişir. Organik ve inorganik malzemeler arasında kovalent bir bağ kurma yeteneğini önemli ölçüde içerir (İnt. Kyn. 3).

Yaygın olarak kullanılan organosilanların çoğu, bir organik ikame ediciye ve üç hidrolize edilebilir ikame ediciye sahiptir. Yüzey işleme uygulamalarının büyük çoğunluğunda, trialkoksisilanların alkoksi grupları, silanol içeren türler oluşturmak için hidrolize edilir. Bu silanların reaksiyonu dört adımdan oluşur. Başlangıçta, üç kararsız grubun hidrolizi meydana gelir. Oligomerler için yoğunlaşma takip eder. Oligomerler daha sonra substratın OH grupları ile hidrojen bağı oluşturur (İnt. Kyn. 3).

Son olarak, kurutma veya sertleştirme sırasında, su kaybı ile birlikte substrat ile kovalent bir bağlantı oluşturulur. Sıralı olarak açıklanmasına rağmen, bu reaksiyonlar ilk hidroliz adımından sonra eşzamanlı olarak gerçekleşebilir. Arayüzde, organosilanın her silikonundan substrat yüzeyine genellikle sadece bir bağ vardır. Kalan iki silanol grubu, yoğunlaştırılmış veya serbest formda mevcuttur. R grubu, diğer fazlarla kovalent reaksiyon veya fiziksel etkileşim için kullanılabilir durumda kalır (İnt. Kyn. 3).

Silanlar, tek tabakalı ve buhar fazı biriktirme gereklilikleriyle tutarlı susuz koşullar altında yüzeyleri değiştirebilir. Yüksek sıcaklıklarda (50 ° -120 °C) uzatılmış reaksiyon süreleri (4-12 saat) tipiktir. Alkoksisisilanlardan sadece metoksisilanlar, buhar biriktirme için kataliz olmadan etkilidir. Buhar fazı birikimi için en etkili silanlar, döngüsel azasilanlardır (İnt. Kyn. 3).

Silan organik polimerler ve cam, mineraller ve metaller gibi inorganik dolgu maddeleri. Silan bağlama ajanlarının genel yapısı (RO). Organofonksiyonel grup ve alkoksi grubu, sırasıyla polimer matris ve dolgu partikülleri ile güçlü bağlar oluşturabilir. Alkoksi gruplarının hidrolizinden kaynaklanan hidroksi gruplarının sayısı, optimum bağlama etkilerinin elde edilmesi için silan bağlama maddesinin hidroliz ve yoğunlaşma oranlarının ayarlanmasıyla kontrol edilebilir. Şekil 2.11, iki faz arasındaki ara yüzey bağıni iyileştirmek için bir silan birleştirme maddesinin mekanizmasını göstermektedir (İnt. Kyn. 3).



Şekil 2.11 Silan birleştirme ajanıyla geliştirilmiş ara yüzey bağlanması (İnt. Kyn. 3).

Genel olarak vinil, alil, amino, metakriloksi ve epoksi grupları gibi organik gruplar polimerlerle olumlu tepkimeye girebilir (İnt. Kyn. 3).

## 2.6 Sol-Jel

Sol-jel süreçleri temel olarak, sıvı bir ortamda bir oksit ağı geliştiren moleküler öncüler olan metal alkoksitlerin hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonlarına dayanır. Oksit materyallerin yapıları, reaksiyon hızına ve bunu izleyen kurutma ve işlem sonrasına göre nanopartiküllerden jele dönüşür. Sol-jel reaksiyon parametrelerinin doğru kontrolü, cam, fiber, seramik tozu ve ince film formundaki malzemelerin belirli özelliklerinin birçok formunu üretmek için tasarlanabilir (Sanchez, Livage 1988).

Öncülerin türlerine göre, sol-jel işlemi iki türe ayrılabilir: organik ve inorganik. Organik yol, sol-jelin, iki aşamalı bir inorganik polimerizasyon olarak düşünülebilecek metal alkoksitler tarafından hazırlanmasıdır. İlk adım, hidroksile metal merkezler elde etmek için alkoksit ligandlarının hidrolizidir (Sanchez, Livage 1988).



İkinci adım, aşağıdaki gibi oksijen köprüleri oluşturan ve XOH türlerini dışarı atan bir oksilasyon reaksiyonunu içeren, oksipolimerler oluşturmak için hidroksile türlerin yoğunlaştırılmasıdır.



Yoğunlaşan türler, bu reaksiyonlar ilerledikçe oksopolimerlere ve daha sonra fazla su eklendiğinde sulu oksitler  $MO_n \cdot xH_2O$ 'ya yol açar. Sol-jel kimyasının böyle bir açıklaması çok basittir ve inorganik oksopolimerlerin büyümesini kontrol etmek için kimyasal katkı maddelerinin neden eklenmesi gerektiğini açıklamaz. Aslında, çoğu sol-jel reaksiyonu hidroksillenmiş türleri içerir ve nükleofilik ikameler olarak tanımlanabilir (Sanchez, Livage 1988):

Sol-jel kimyasının kökeni, 19. yüzyılda  $\text{SiCl}_4$ 'ten hazırlanan bir alkoksidin havaya maruz kaldığında jel oluşturmaya başladığı gözlemdir. Bunun daha sonra, silikon alkoksidin hidrolizine ve ardından yoğunlaşmaya neden olan atmosferik nem tarafından yönlendirildiği bulundu. Bu işlemler çok farklı yapılara sahip jeller oluşturmak için örneğin asit veya baz kataliziyle dikkatlice ayarlanabilirliği o zamandan beri geniş çapta incelenmiştir, hidroliz ve yoğunlaşma kimyası, kolayca alkoksitler oluşturan elementlerin sayısı ve ayrıca bu bileşiklerin çoğunun yüksek reaktivitesiyle sınırlıdır. Ayrıca, farklı alkoksitlerin çok farklı hidroliz oranları, önemli faz ayrılmasına, üçlü veya dörtlü sistemleri sentezlemede güçlükler yol açabilir. Bununla birlikte, bu 'geleneksel' sol-jel kimyası, halen malzeme kimyasının en yaygın kullanılan ve üzerinde çalışılan alanlarından biridir (Sanchez, Livage 1988).

Sol-jel tekniği ile elde edilen nihai ürünlerin özelliklerini etkileyen faktörler arasında hidroliz oranı, hidrolize edici maddenin asitliği, jelleşme koşulu, kurutma koşulu ve prosedürler ve çözücü türleri yer alır (Sanchez, Livage 1988).

### 2.6.1 Hidroliz oranı

Hidroliz oranı, denklem 2.5'de, ana harici parametredir ve metal alkoksitlerin hidrolizini ve yoğunlaşmasını kontrol etmede önemli olduğu gösterilmiştir (İnt. Kyn.5).

$$h = [\text{H}_2\text{O}] / [\text{M}(\text{OR})_z] \quad (2.5)$$

Burada  $\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{M}(\text{OR})_z$ , sırasıyla, su ve metal alkoksit, molar sayılardır;  $z$ , metal M'nin değerlik yüküdür.

Eklenen daha düşük su miktarı, düşük çapraz bağlanma ürününü oluşturmak kolaydır ve solun viskozitesi artar; eklenen su miktarı ne kadar yüksek olursa, yüksek oranda çapraz bağlı bir ürün oluşturmak kolaydır ve viskozite azalır. Bu nedenle su miktarı, ürünün yapısı ve viskozite ve jelleşme süresi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Zaman  $h < 1$ , su molekülleri tam hidrolizi oluşamaz ve böyle olması jelleşme ya da çökmesi için yeterli değildir.  $1 < h < z$  olduğunda, zincir oksipolimerler oluşabilir. Zaman  $h > z$ , çapraz bağlanmış

oksipolimerler elde edilebilir ve nanopartiküller ya da jeller oluşturulabilir. Hidroliz oranının da hidroliz ve yoğunlaşma hızı üzerinde büyük bir etkisi vardır (İnt. Kyn.5).

### **2.6.2 Katalizörler**

Hem asitler hem de bazlar sol-jel reaksiyonlarını katalize edebilir. Hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları,  $SN_2$  nükleofilik ikame reaksiyon mekanizması ile açıklanabilir. Örnek olarak alkolü ele alalım, silikon alkoksiti hidrolize etmek kolay değildir ve hidrolizi ve polimerizasyonu genellikle asit veya alkali ile katalize edilir. İnorganik asit, kısmen negatif yüklü alkoksi matrisi yapabilir, böylece silikon atomundan kopması kolaydır. Alkali, alkali katalizli hidrolizde nükleofilik hidroksil OH ve Si-OH proton kaybı sağlar, böylece polimerizasyonu hızlandırır. Fazla su varlığında, asitle katalize edilen hidroliz reaksiyonu nedeniyle Si(OH) oluşabilir. Polimerizasyon hızı, alkali kataliz koşulu altında hidrolizinkinden daha hızlıdır. Asit veya baz katalizi tek katalizör değildir (İnt. Kyn.5).

### **2.6.3 PH değeri**

Çinko oksit (ZnO) nanopartikülleri, öncül olarak sitrik asit kullanılarak sol-jel yöntemi ile hazırlanmış ve sentezlenmiştir. Tavlama sıcaklığı 600 °C'de sabitlendi. pH'ın partikül boyutu üzerindeki etkisi araştırıldı. Prekürsör için üç farklı pH (3.0, 5.0 ve 1.01) seçildi ve Zn NPs boyutunun öncü alkalinitesi ile arttığı ortaya çıktı. Sol-jel çözeltisinin pH değeri, reaksiyonları katalize etmek için asitler ve alkaliler eklendiğinde değişecektir. Deneysel sonuçlar, pH değeri ve hidroliz oranının, ürünlerin morfolojileri üzerinde sinerjik bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (İnt. Kyn. 5).

### **2.6.4 Reaksiyon sıcaklığı**

Genel olarak, artan sıcaklık hem hidroliz hem de yoğunlaşma hızının artmasına neden olur (İnt. Kyn.5).

Öncü hazırlamanın yanı sıra, sol-jel süreci aşağıdaki temel adımlarda özetlenebilir:

- 1- Alkoksitlerin hidrolizinden ve kısmi yoğunlaşmasından 'sol' sentezi,
- 2- Metal-okso-metal veya metal-hidroksi-metal bağları oluşturmak için polikondensasyon yoluyla jelin oluşumu,
- 3- Jel ağı içinde yoğunlaşmanın devam ettiği, sıklıkla küçüldüğü ve çözücünün atılmasına neden olan sinerez veya "yaşlanma",
- 4- Gözenekli ağın çökmesi yoluyla yoğun bir "kserojel" oluşturmak veya örneğin süper kritik kurutma yoluyla bir aerogel oluşturmak için jeli kurutmak,
- 5- 800 °C'ye kadar yüksek sıcaklıkta kalsinasyon yoluyla yüzey M–OH gruplarının uzaklaştırılması (gerekirse) (Sanchez, Livage 1988).

### **2.6.5 Sol Jel Avantaj ve Dezavantajları**

Sol-jel işlemi, numunelerin yüksek saflık, homojenlik ve kolay kontrol yapısı sağlar. Fonksiyonel malzemelerin hazırlanmasında sol-jel işleminin en önemli avantajları şu şekildedir (Amiri S 2016 ):

Tüm aşamalarda gerekli sıcaklıklar düşük ve oda sıcaklığına yakındır. Daha sonra, organik materyalin ve yakalanan türlerin termal ayrışması en aza indirilerek yüksek saflık ve stokiyometri elde edilir.

Farklı metaller için organometalik öncüler karışabilir olduğundan, homojen solüsyonlar kolaylıkla elde edilir. Sol-jel, çözeltinin reaksiyonu ile başlatıldığından, malzemeler çok muntazamdır ve modifiye edilmesi kolaydır; bu, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini kontrol etmek için çok önemlidir.

Metal alkoksitler ve karışık alkil/alkoksitler gibi öncüler, yüksek saflıkta ürünlere yol açan yaygın tekniklerle (örn., damıtma veya süblimasyon) kolayca saflaştırılır.

Sol-jel işleminde kimyasal koşullar hafiftir. Hidroliz ve yoğunlaştırma, hafif pH koşulları altında asit veya alkali ile katalize edilir.

Oldukça gözenekli ve nanokristalin malzemeler bu yöntemle sentezlenebilir.

Nihai ürünün kolloid partikül boyutu ve gözenek boyutu, gözenekliliği ve kimyası, öncüllerin kimyasal olarak işlenmesi, kontrollü hidroliz oranları ve yoğunlaşma ile optimize edilebilir .

Birkaç bileşeni tek bir adımda veya iki adımda birleştirebilmek. Numunelerin farklı fiziksel formlarda üretimi. Aynı hammaddeden başlayarak, işlemin değiştirilmesi elyaf, toz veya film ve kompozit malzemeler gibi farklı ürünler elde edebilir.

İşlem sıcaklığı düşüktür, inorganik malzemeler yaklaşık 600 °C'de düşük sıcaklık koşullarında sentezlenebilir, ürünün bileşimi ve yapısı tek tiptir, tane boyutu küçüktür, malzeme parçacıklarının aktivitesi artar ve malzemenin performansı artar.

Büyük ölçekli endüstriyel üretim için uygundur.

Sol-jel işleminin olumsuz faktörleri arasında yüksek öncül maliyeti, genel olarak yüksek maliyet ve büyük miktarlarda organik yan ürünlerin atılmasıyla ilişkili çevresel sorunlar yer alır. Olumsuz yorumlardan ortak bir tema, öncül olarak alkoksitlerin kullanıldığı ıslak kimyasal işlemdir (Uhlmann 1997).

Sol-jel işlemi, farklı sıcaklıklarda farklı kimyasal ve kristal morfoloji oluşumu olan faz kontrolündeki zorluk açısından daha karmaşıktır. Morfoloji nispeten basit, genellikle küresel parçacıklardır (Uhlmann 1997).

Jelleşme, kurutma ve ısıl işlem, numuneyi hazırlamak için çok zaman alır. Kurutma ve ısıl işlem aşamasında, numune büyük bir ağırlık kaybına ve gerilmeye sahiptir, film çatlamaya meyillidir ve bu durum ince filmin kalınlığını objektif olarak sınırlandırır, film kalıntısı gözenekliliği ile sonuçlanır (Uhlmann 1997).

## **2.7 Grafen Nanotabaka (GNP)**

Grafen iki boyutlu malzeme atomik ölçekli bir karbon bal peteği kafesinden oluşan, birçok olağanüstü özellikleri vardır. Bunlar yüksek taşıyıcı hareketliliği, mekanik sertlik ve çok iyi bir elektromanyetik tepki gibi sıralanabilir.

Son birkaç yıldır, grafen araştırmaları çok hızlı gelişti. Ancak şu anda yüksek maliyet ve düşük verim grafen araştırma ve uygulamasını engelliyor. Son yıllarda, grafen nanoplatelet (GNP), birkaç yığılmış grafen tabakalarının devam eden gelişimini genişletmek için daha fazla olasılık sunmak üzere ortaya çıkmıştır ve araştırılmaya devam edilmektedir (Deligeorgis 2009).

Grafen ile karşılaştırıldığında GSMH çok daha düşük üretim maliyetine ve daha iyi istikrara sahiptir. Grafen nanoplateletler (GNP'ler), yüksek elektriksel iletkenlik, yüksek modül, yüksek mukavemet, yüksek termal iletkenlik ve yüksek özgül yüzey alanı gibi iyi özelliklere sahip olan, tek veya çok katmanlı grafit düzlemlili iki boyutlu karbon yapıli malzemelerdir (Zhang 2011).

Ortalama 5-10 nanometre kalınlığa sahip grafen nanotabakalar 50 mikrona kadar değişen boyutlarda sunulmaktadır. Bu ilginç nanopartiküller, karbon nanotüplerin duvarlarında bulunanlarla aynı, düzlemsel bir formda olan kısa trombosit şekilli grafen tabakalarından oluşuyor. Hidrojen veya kovalent bağlanma yeteneği, trombositlerin kenarlarındaki bölgelerde işlevselleştirme yoluyla eklenebilir. Gelişmiş bariyer özellikleri ve geliştirilmiş mekanik özellikler (sertlik, mukavemet ve yüzey sertliği) benzersiz boyutları ve morfolojileri nedeniyle grafen nanoplateletler ile elde edilebilir. Nanoplateletler, saf grafitik bileşimlerinin bir sonucu olarak mükemmel elektriksel ve termal iletkenlerdir (Huang 2012).

Grafen Nanoplateletler ;

- Termal iletkenliği ve kararlılığı artırmada
- Elektriksel iletkenliği
- Bariyer özelliklerini iyileştirilmesinde kullanılmaktadır.



### **3. MATERYAL ve METOT**

#### **3.1 Altık Malzemelerinin Hazırlanması**

Deneyimizde kullanacağımız iletken (ITO) camlar ilk olarak temizlenme işlemi görülmüştür. Elde edilen ince filmlerin özelliklerini etkilediğinden dolayı kaliteli film elde edebilmek için alt taban temizliği oldukça önemlidir.

Temizleme işlemlerinde 10 ml saf su ve 10 ml etanol, aseton kullanılmıştır. İletken cam üzerindeki iletkenlik özeliğine zarar vermektan kaçınılmıştır. Yapılan kaplamalar sonucunda iyi bir kristalleşme elde etmek için ve ölçülen sonuçlarında istenilen verilere ulaşabilmek için iletken camın özelliğinin bozulmaması gerekmektedir.

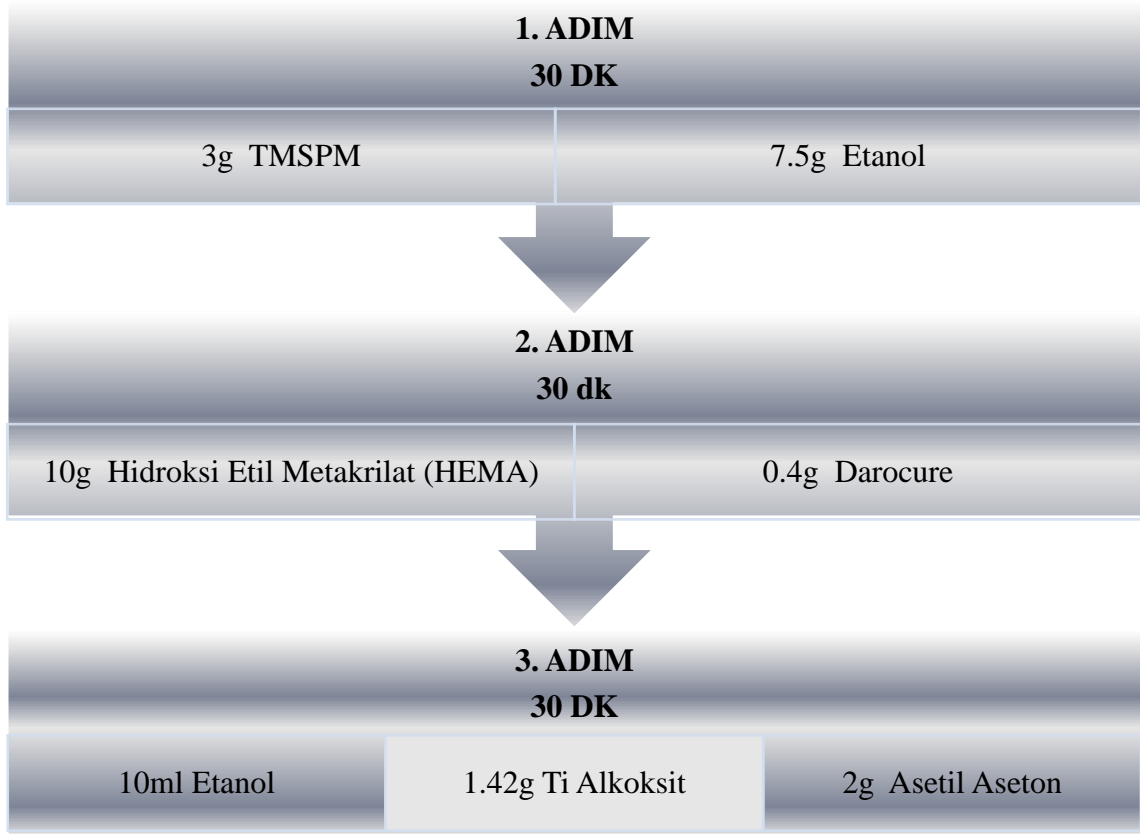
#### **3.2 Çözeltilerin Hazırlanması**

ITO camların kaplanması için TMSPM, GLYMO, Etanol, Hidroksi Etil Metakrilat (HEMA), Darocure, Ti Alkoksit, Asetil Aseton, grafen nanotabaka 7 µm, 18 µm, 30 µm boyutlarında, Rutenyum, H<sub>2</sub>O, (3-Aminopropyl) triethoxysilane (APTES) ve TiO<sub>2</sub> farklı kombinasyonlarda kullanılarak çözeltiler hazırlanmıştır.

ITO cam yüzeyleri kaplamak için hazırlanan çözeltiler içerdikleri bileşenlere göre gruplara ayrılmıştır. Her kaplama çözeltilisine çözeltili kodu verilmiştir.

TMSPM katkılı çözeltiler 1(T) olarak ve GLYMO katkılı çözeltiler 2(G) olarak adlandırılıp hazırlanmıştır.

1. adımdaki çözeltiler 30 dk manyetik karıştırıcıya tabi tutuldu. 2. adımdaki çözeltilerde 30 dakikalık karışıma tutulan çözeltiler ile birleştirilerek 2 saat daha manyetik karıştırıcıya tabi tutuldular. Daha sonra 3. adımdaki çözeltili eklenerek 1 saat daha manyetik karıştırıcıya tabi tutuldular Şekil 3.1'deki 1(T) çözeltileri hazırlandı.



**Şekil 3.1** TMSPM katkılı çözelti eldesi (1T).

Çizelge 3.1’de verilen oranlarda TMSPM ile yapılan katkılandırmalar isim atamaları yapılarak hazırlandı.

1 (T) çözeltinin %1 değerinde ayrı kaplara 7  $\mu\text{m}$ , 18  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$  boyutlarında GNP eklenerek 1 saat manyetik karıştırıcıya tabi tutuldular (T7-T18-T30).

Hazırlanan T7-T18-T30 çözeltilerine 0,03 gr rutenyum (boyar madde) katılarak bir saat manyetik karıştırıcıya tabi tutuldular ve TR7-TR18-TR30 çözeltileri elde edildi.

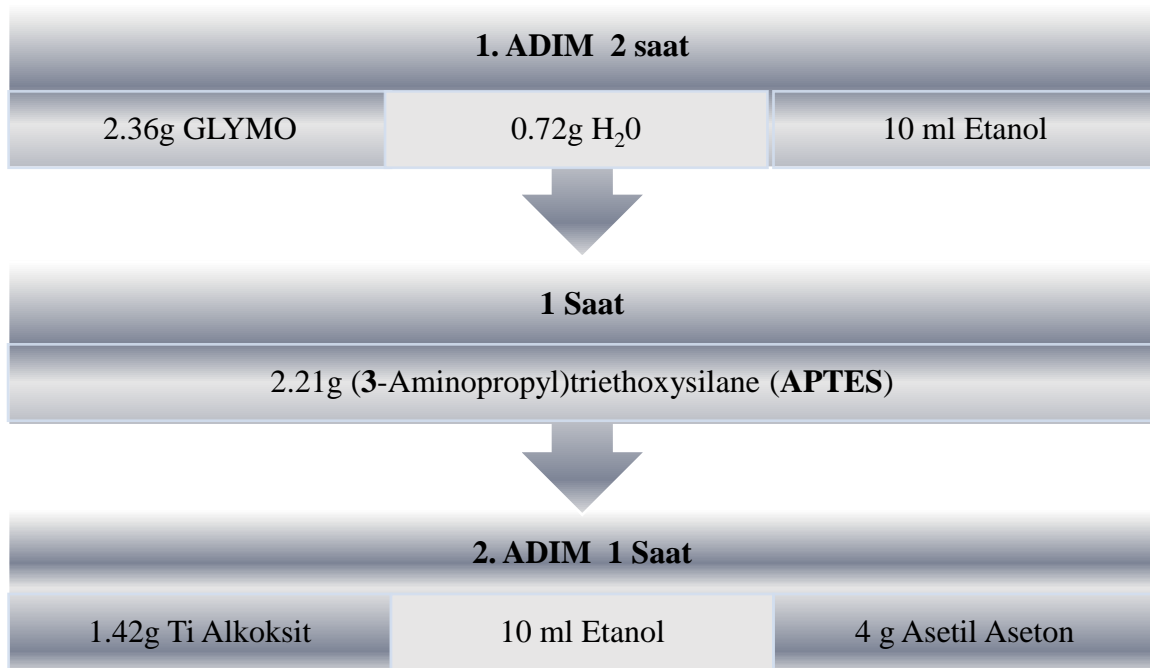
Hazırlanan T7-T18-T30 çözeltilerine 2 gr  $\text{TiO}_2$  nano toz katılarak bir saat manyetik karıştırıcıya tabi tutuldular ve TT7-TT18-TT30 çözeltileri elde edildi.

Hazırlanan T7-T18-T30 çözeltilerine 2 gr  $\text{TiO}_2$  nano toz ve 0,03 gr rutenyum (boyar madde) katılarak manyetik karıştırıcıya tabi tutulan çözeltiler hazırlandı (TTR7-TTR18-TTR30).

**Çizelge 3.1** TMSPM katkılı çözeltiler.

<b>TMSPM Katkılı Çözeltiler</b>						
	<b>1( T)</b>	<b>GNP 7 µm</b>	<b>GNP 18µm</b>	<b>GNP 30µm</b>	<b>Rutenyum</b>	<b>TiO2</b>
T 7	30,71 gr	0,3gr	---	---	---	---
T 18	30,71 gr	---	0,3gr	---	---	---
T 30	30,71 gr	---	---	0,3 gr	---	---
TT7	30,71 gr	0,3gr	---	---	---	2 gr
TT18	30,71 gr	---	0,3 gr	---	---	2gr
TT30	30,71 gr	---	---	0,3 gr	---	2 gr
TR7	30,71 gr	0,3gr	---	---	0,03 gr	---
TR18	30,71 gr	---	0,3gr	---	0,03 gr	---
TR30	30,71 gr	---	---	0,3 gr	0,03 gr	---
TTR7	30,71 gr	0,3gr	---	---	0,03 gr	2 gr
TTR18	30,71 gr	---	0,3gr	---	0,03 gr	2 gr
TTR30	30,71 gr	---	---	0,3 gr	0,03 gr	2 gr

Şekil 3.2’deki akım şemasında gösterilen GLYMO katkılı çözeltinin hazırlanması 1. Adım ile 2. Adım’daki 30 dakikalık karışıma tutulan çözeltiler birleştirilerek 2 saat boyunca manyetik karıştırıcıya tabi tutuldular. Bu işlemden sonra çözeltinin %1 değerinde ayrı kaplara 7 µm, 18 µm, 30 µm boyutlarında GNP eklenerek 1 saat manyetik karıştırıcıya tabi tutuldular. Şekil 3.2’deki 2(G) çözeltiler hazırlandı.



**Şekil 3.2** GLYMO katkılı çözelti eldesi 2(G).

Çizelge 3.2' de gösterildiği gibi isimlendirilen çözeltilerin hazırlanması 2 (G) çözeltinin %1 değerinde ayrı kaplara 7 µm, 18 µm, 30 µm boyutlarında GNP eklenerek 1 saat manyetik karıştırıcıya tabi tutuldular (G7-G18-G30).

Hazırlanan G7-G18-G30 çözeltilerine 0,03 gr boyar madde ( rutenyum) katılarak bir saat manyetik karıştırıcıya tabi tutuldular ve GR7-GR18-GR30 çözeltileri elde edildi.

Hazırlanan G7-G18-G30 çözeltilerine 2 gr TiO<sub>2</sub> nano toz katılarak bir saat manyetik karıştırıcıya tabi tutuldular ve GT7-GT18-GT30 çözeltileri elde edildi.

Hazırlanan G7-G18-G30 çözeltilerine 2 gr TiO<sub>2</sub> nano toz ve 0,03 gr boyar madde katılarak 1 saat manyetik karıştırıcıya tabi tutulan çözeltiler hazırlandı GTR7-GTR18-GTR30.

**Çizelge 3.2** GLYMO katkıli çözeltiler.

GLYMO KATKILI ÇÖZELTİLER						
	2(G)	GNP 7 µm	GNP 18µm	GNP 30µm	Rutenyum	TiO <sub>2</sub>
G 7	30,71 gr	0,3gr	---	---	---	---
G 18	30,71 gr	---	0,3gr	---	---	---
G 30	30,71 gr	---	---	0,3 gr	---	---
GT7	30,71 gr	0,3gr	---	---	---	2 gr
GT18	30,71 gr	---	0,3 gr	---	---	2gr
GT30	30,71 gr	---	---	0,3 gr	---	2 gr
GR7	30,71 gr	0,3gr	---	---	0,03 gr	---
GR18	30,71 gr	---	0,3gr	---	0,03 gr	---
GR30	30,71 gr	---	---	0,3 gr	0,03 gr	---
GTR7	30,71 gr	0,3gr	---	---	0,03 gr	2 gr
GTR18	30,71 gr	---	0,3gr	---	0,03 gr	2 gr
GTR30	30,71 gr	---	---	0,3 gr	0,03 gr	2 gr

### 3.3 ITO Camların Kaplanması ve Sinterlenmesi:

Bu çalışmamızda iki farklı silan çeşidi ( GLYMO, TMSPM), 3 farklı boyutta grafen nanotabaka (GNP) (7 µm, 18 µm, 30 µm) ve TiO<sub>2</sub> nano toz kullanarak 8 adımda çözeltilerimizi hazırlayarak ITO camların üzerine film aplikatör (Resim 3.1) yöntemi ile

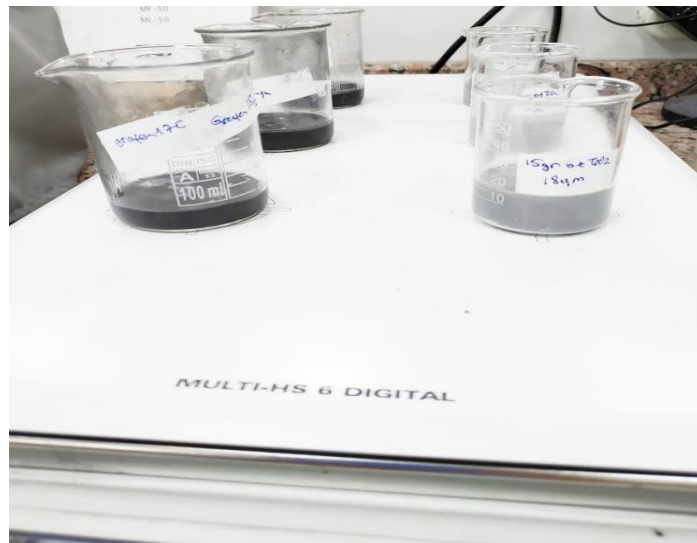
kaplama yapıldı. Kaplanan numuneler 30dk UV kürleme (Resim 3.4) yapıldıktan sonra etüvde (Resim 3.2) 80 °C'de 30 dk termal kürlemeye tabii tutulur.



**Resim 3.1** Film aplikatör.



**Resim 3.2** 80 C' de etüv (Termal Kürleme).



**Resim 3.3** Manyetik karıştırıcı (Multi-HS DİG).



**Resim 3.4** UV ışık kür cihazı.

### 3.4 Kaplanan Cam Malzemelerin Görüntüleri

Film aplikatör yardımı ile kaplanmış ITO camların görüntüleri Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4 de ki gibidir.

**Çizelge 3.3** TMSPM katkısıyla kaplanmış ITO camların görüntüleri.

<b>TMSPM Kaplama</b>		
<b>TMSPM-GNP</b>		
T7	T18	T30
<b>TMSPM-Rutenyum</b>		
TR7	TR18	TR30

---

**TMSPM-TiO<sub>2</sub>**



TT7



TT18



TT30

**TMSPM -TiO<sub>2</sub> .Rutenyum**



TTR7



TTR18



TTR30

---

**Çizelge 3.4** GLYMO katkısıyla kaplanmış ITO camların görüntüleri.

---

**GLYMO Kaplama**

---

**GLYMO -GNP**



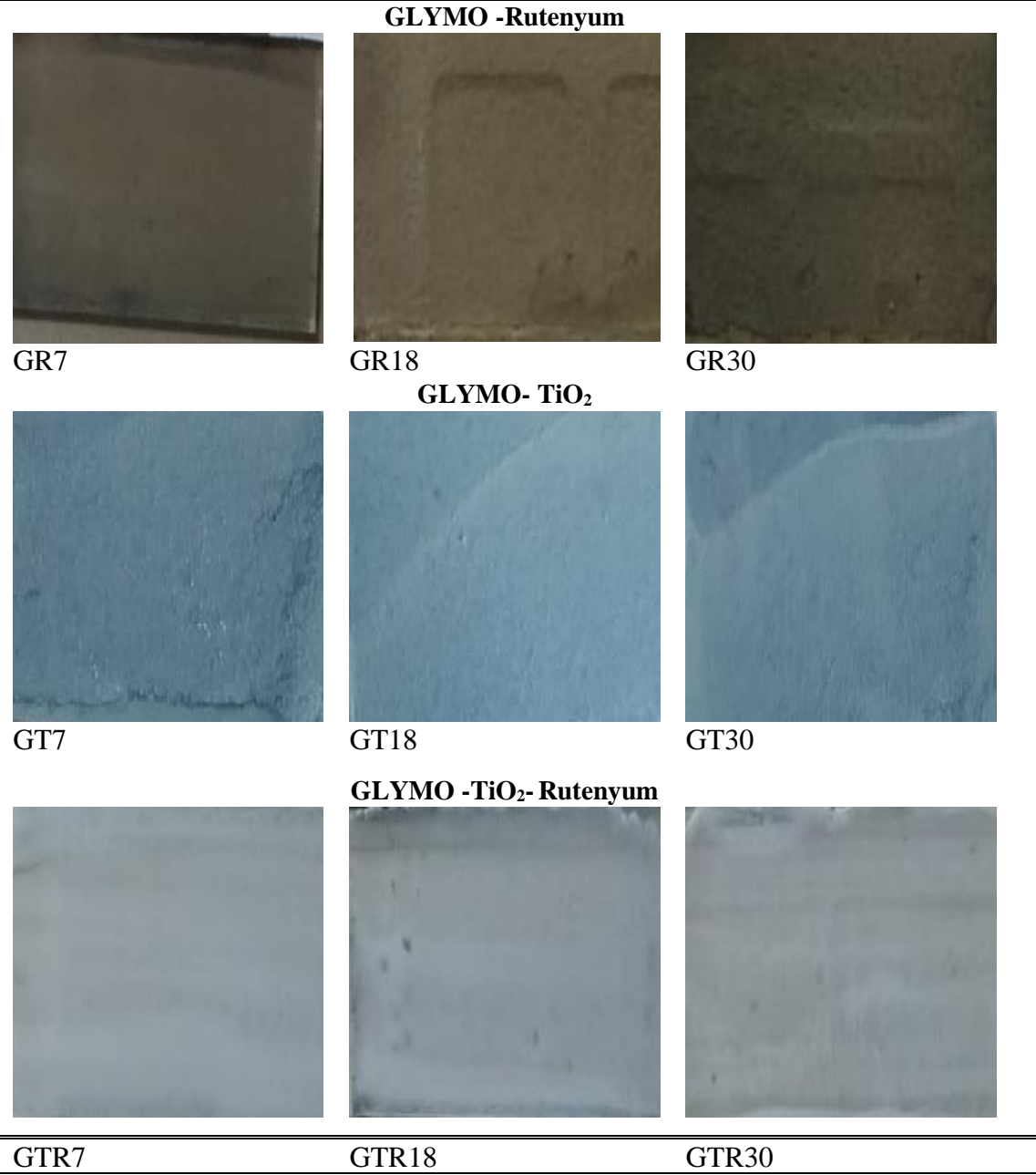
G7



G18



G30



### 3.5 Kaplanan ITO Camların Pil Haline Getirilmesi

4 x 4 cm ölçülerinde ITO cam yüzeyine her bir çözelti kaplamasına karşılık gelecek (24 adet) platin kaplaması yapıldı. GLYMO ve TMSPM katkılandırması ile hazırlanan çözeltilerle kaplanmış olan (Çizelge 3.3, Çizelge 3.4) ITO camlar ve karşıt cam olarak Pt kaplama yapılan ITO camlar (Resim 3.4) kaplı yüzeyleri birbirine bakacak şekilde aralarına termoplastik malzeme konularak yapıştırıldı. Kontak almak için ITO camların 1/4 ü çözeltilerle kaplanmamış olarak bırakıldı. ITO camlar sandviç şeklindeki yapıya

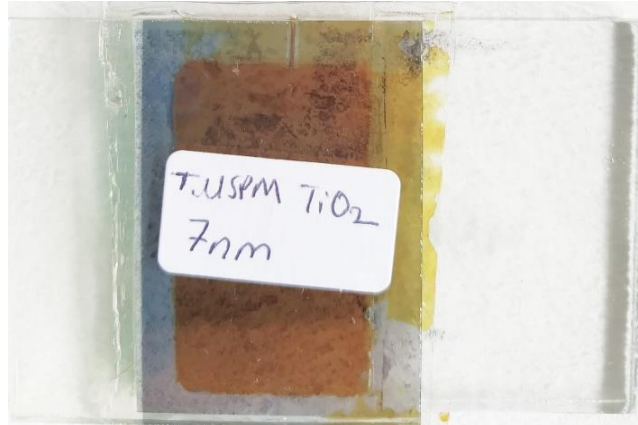


dönüştürüldü (Resim 3.5) ve ince uçlu bir şırınga yardımıyla hazırlanan elektrolit sıvısı enjekte edilerek dolduruldu.

Elektrolit Sıvısı hazırlanması; 10 ml saf etilen ile 0,012gr  $I_2$  (iyot) behere konularak manyetik karıştırıcıda çözünene kadar karışıma tabii tutuldu. Daha sonra 0,83gr KI (Potasyum İyodür) eklenerek bir saat daha karışıma tabii tutuldu ve elektrolit sıvısı sandviç şeklindeki iki iletken cam arasına enjekte edilerek pil yapımı tamamlandı.



**Resim 3.5** 4/3'ü Pt kaplı ITO cam.



**Resim 3.6** İki iletken cam arasına elektrolit sıvısı enjekte edilmiş pil.

### 3.6 Karakterizasyon Testleri

Yüzey kaplaması gerçekleşen ITO cam numuneler sonuçların değerlendirilmesi için FT-IR, dijital mikroskop ve UV aydınlık karanlık akım voltaj analizleri yapılmıştır.

### 3.6.1 Dijital Mikroskop Görüntüsü

Dijital mikroskoplar yüksek çözünürlükte büyütme yaparak gözle görülmeyecek kadar küçük ayrıntıları gözlemlememize olanak vermektedir.

Resimde 3.6'da verilen dijital mikroskop cihazı ile kaplanan ITO camların kesit analizleri yapılarak kaplama kalınlıkları ölçülmüştür.



**Resim 3.7** Deneyde kullanılan dijital mikroskop cihazı.

### 3.6.2 FT-IR Analizi

FTIR, "Fourier dönüşümü kızılötesi" spektroskopisi (Resim 3.7) organik sentez, polimer bilimi, petrokimya mühendisliği, ilaç endüstrisi ve gıda analizinde kullanılır. Bileşiklerin tanımlanmasına ve herhangi bir karışımdaki bileşenlerin belirlenmesine kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir (Mohamed 2017).

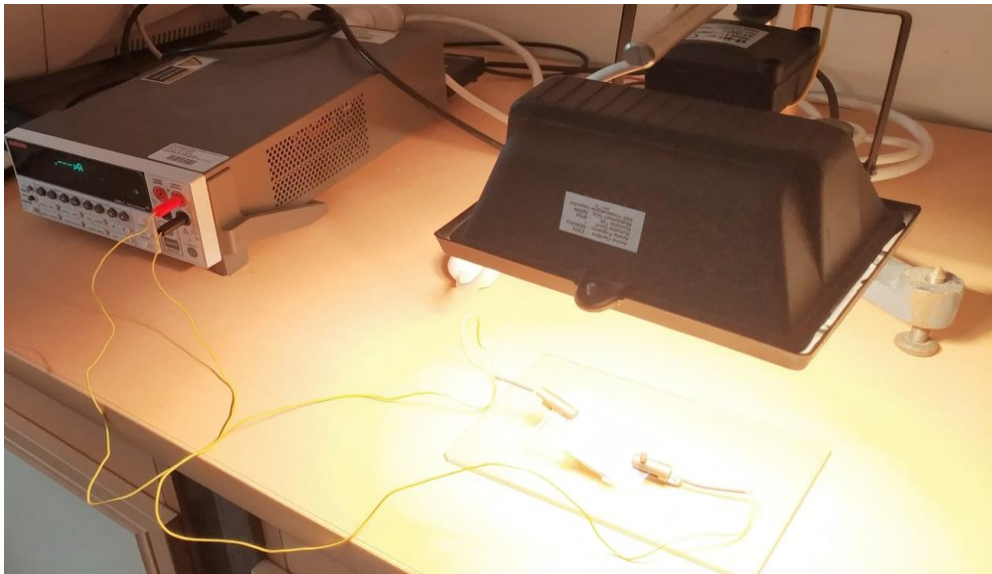
Bir molekülün kovalent bağları, bağdaki titreşim enerjisini değiştiren belirli dalga boylarındaki radyasyonu seçici olarak emer. Kızılötesi radyasyonun neden olduğu titreşimin türü bağdaki atomlara bağlıdır. Farklı bağlar ve fonksiyonel gruplar farklı frekansları emdiğinden, iletim modeli farklı, moleküller için farklıdır. Spektrum, X ekseninde kaydedilen dalga numarası ( $\text{cm}^{-1}$ ) ve Y eksenine kaydedilen transmittans ile bir grafiğe kaydedilir (Mohamed 2017).



**Resim 3.8** FT-IR spektrum cihazı.

### **3.6.3 Hassas Akım Kaynağı**

Ölçümler de kaplamaların üzerindeki bağlantılar bilgisayar destekli bir hassas akım kaynağı ve nanovolt ölçere bağlanarak farklı durumlardaki akıma bağlı potansiyel verileri ölçülmüştür (Resim 3.8). Ölçümde kullanılan hassas akım kaynağı için Keithley markasının 2400 modeli cihazı kullanılmıştır. Hassas akım kaynağı en düşük Akım ( 10 nA - 7A DC), gerilim (200 mV - 200 V), güç 100 W DC' ye kadar ve 1000 W darbe gücüne sahiptir. Cihazlardan alınan veriler Akım/Voltaj (A/V) grafiğine aktarılmıştır. Pil haline getirilen numunelerin aydınlık ve karanlık ortamdaki Akım/Voltaj ölçümleri yapıldı.



**Resim 3.9** Keithley 2400 marka hassas akım ölçer.

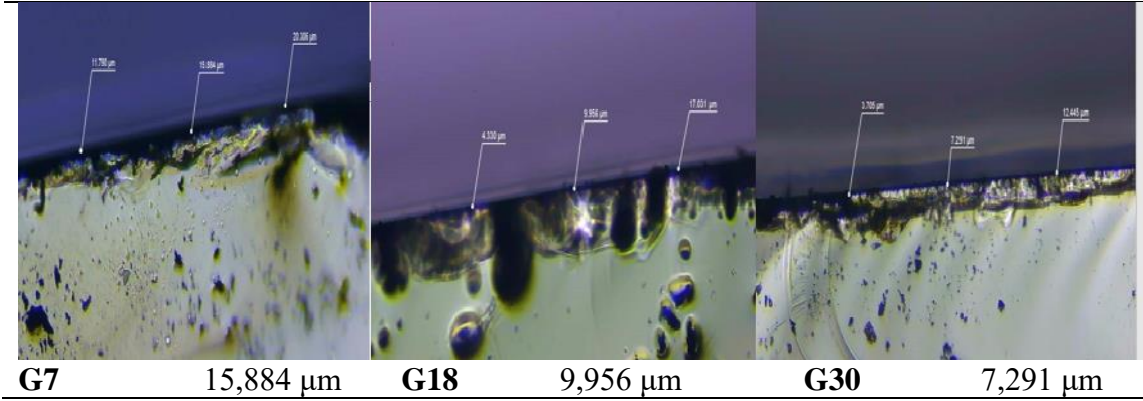
## 4. BULGULAR

### 4.1 Dijital Mikroskop Görüntüsü Sonuçları

Kaplama kalınlıkları kontrolü için farklı noktalardan ölçümler alındı ve ortalama ölçüm değerleri hesaplandı:

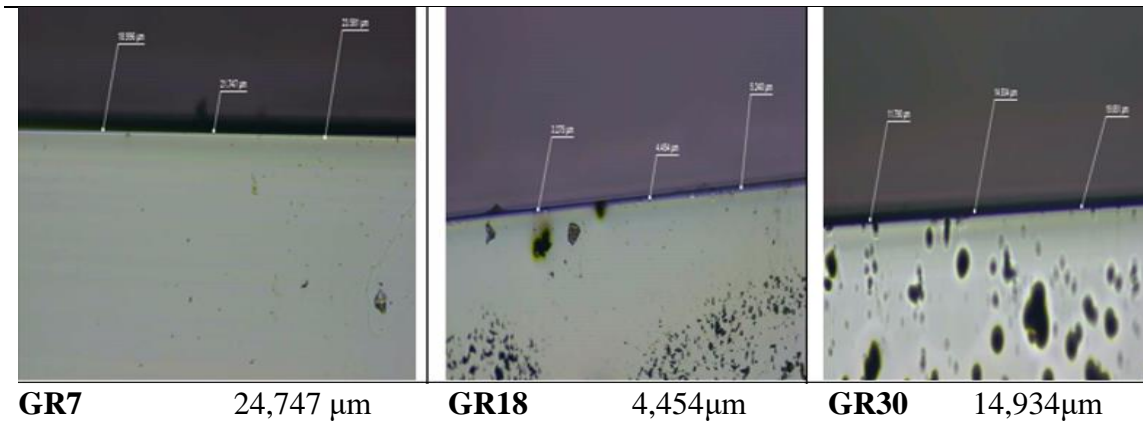
Şekil 4.1' de verilen GLYMO-GNP katkılandırması ile kaplanmış numunelerin kesit kalınlıkları hesaplanmıştır. İncelediğimizde en iyi sonuç G30 (7,291  $\mu\text{m}$  ) numunesi olduğu gözlemlenmektedir.

**Çizelge 4.1** G7-G18-G30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri.



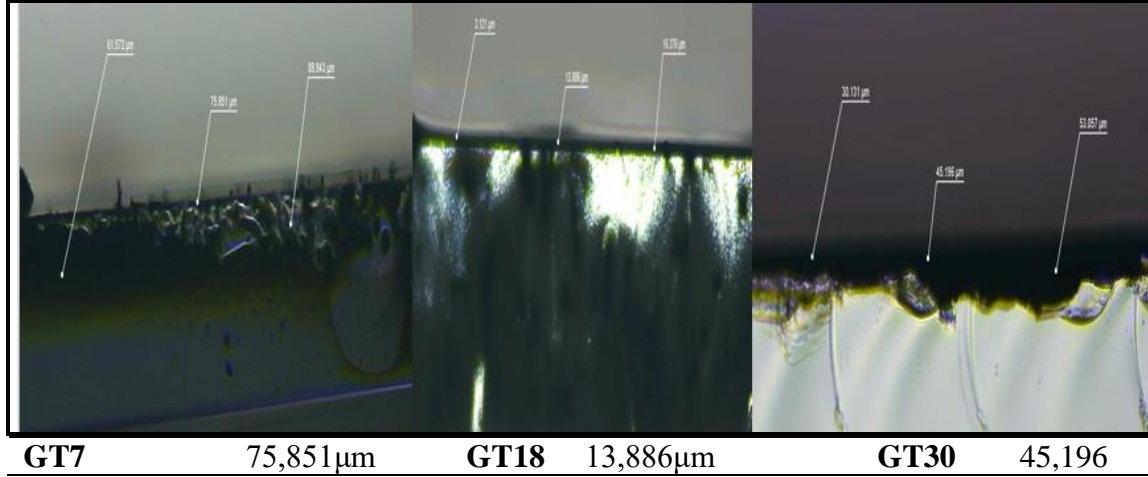
Şekil 4.2' de verilen GLYMO-GNP-Rutenyum katkılandırması ile kaplanmış numunelerin kesit kalınlıklarını incelediğimizde en iyi sonuç GR 18 (4,454 $\mu\text{m}$ ) numunesi olduğu gözlemlenmektedir.

**Çizelge 4.2** GR7-GR18-GR30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri.



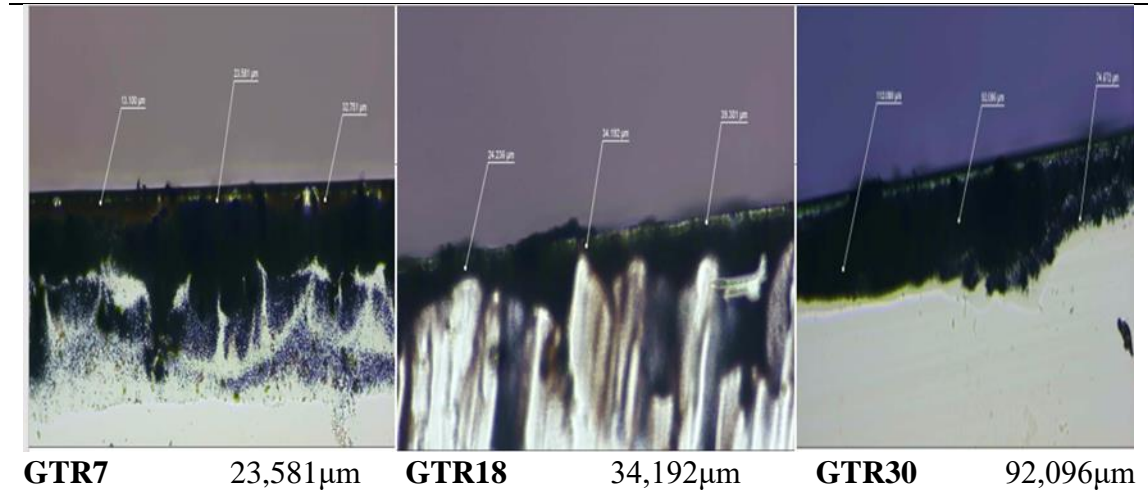
Şekil 4.3’ de verilen GLYMO-GNP-TiO<sub>2</sub> katkılandırması ile kaplanmış numunelerin kesit kalınlıklarını incelediğimizde en iyi sonuç GT 18 (13,886µm) numunesi olduğu gözlemlenmektedir.

**Çizelge 4.3** GT7-GT18-GT30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri.



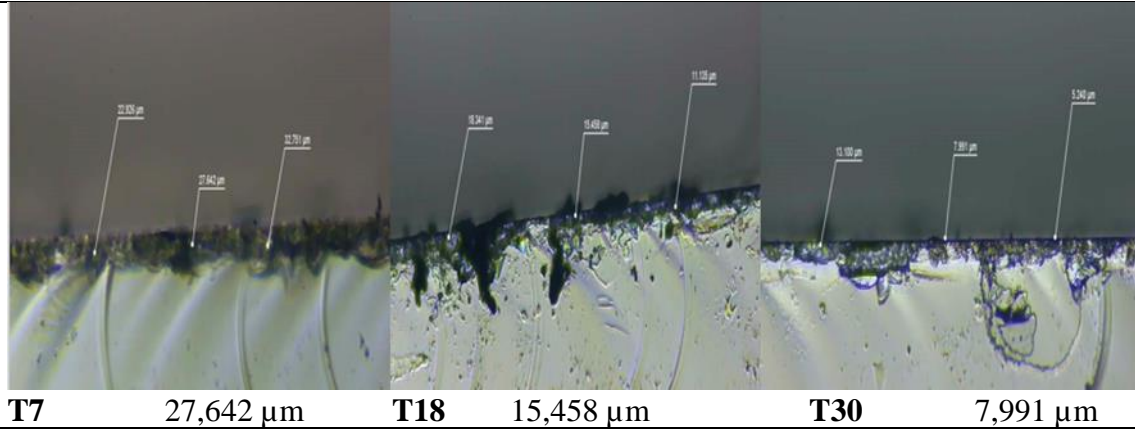
Şekil 4.4’ de verilen GLYMO-GNP-TiO<sub>2</sub> -Rutenyum katkılandırması ile kaplanmış numunelerin kesit kalınlıklarını incelediğimizde en iyi sonuç GTR 7 (23,581µm) numunesi olduğu gözlemlenmektedir.

**Çizelge 4.4** GRT7-GRT18-GRT30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri.



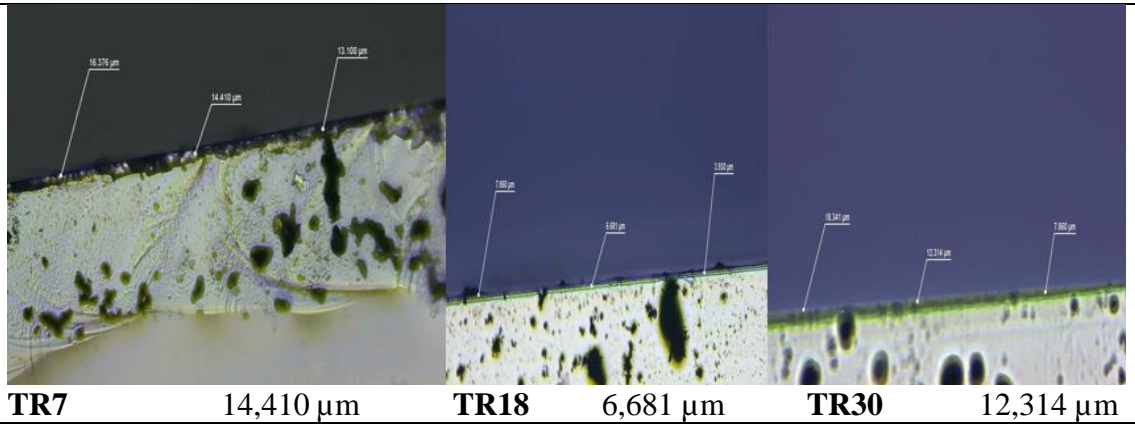
Şekil 4.5’ de verilen TMSPM-GNP katkılandırması ile kaplanmış numunelerin kesit kalınlıklarını incelediğimizde en iyi sonuç T30 (7,991 µm) numunesi olduğu gözlemlenmektedir.

**Çizelge 4.5** T7-T18-T30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri.



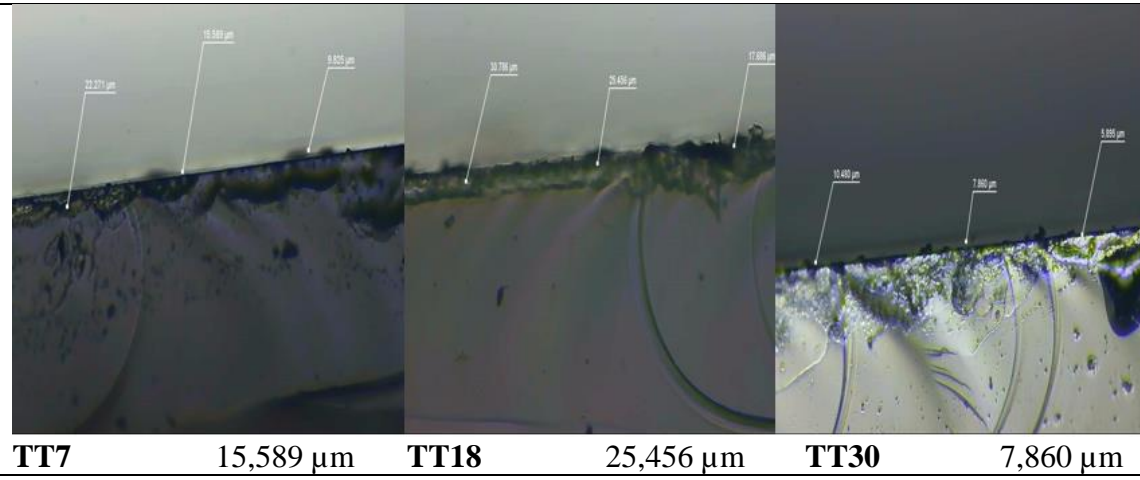
Şekil 4.6' de verilen TMSPM-GNP-Rutenyum katkılandırması ile kaplanmış numunelerin kesit kalınlıklarını incelediğimizde en iyi sonuç TR18 (6,681 µm) numunesi olduğu gözlemlenmektedir.

**Çizelge 4.6** TR7-TR18-TR30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri.



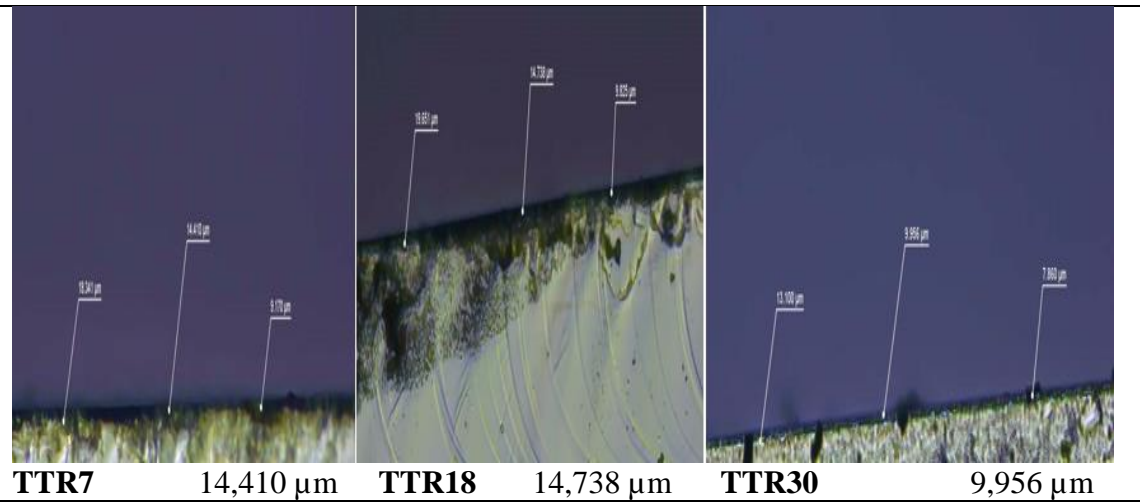
Şekil 4.7' de verilen TMSPM-GNP-TiO<sub>2</sub> katkılandırması ile kaplanmış numunelerin kesit kalınlıklarını incelediğimizde en iyi sonuç TT30 (7,860 µm) numunesi olduğu gözlemlenmektedir.

**Çizelge 4.7** TT7-TT18-TT30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri.



Şekil 4.8’ de verilen TMSPM-GNP-TiO<sub>2</sub>-Rutenyum katkılandırması ile kaplanmış numunelerin kesit kalınlıklarını incelediğimizde en iyi sonuç TTR30 (9,956 µm) numunesi olduğu gözlemlenmektedir.

**Çizelge 4.8** TTR7-TTR18-TTR30 dijital mikroskop görüntüleri ve değerleri.



## 4.2 FT-IR Analizi

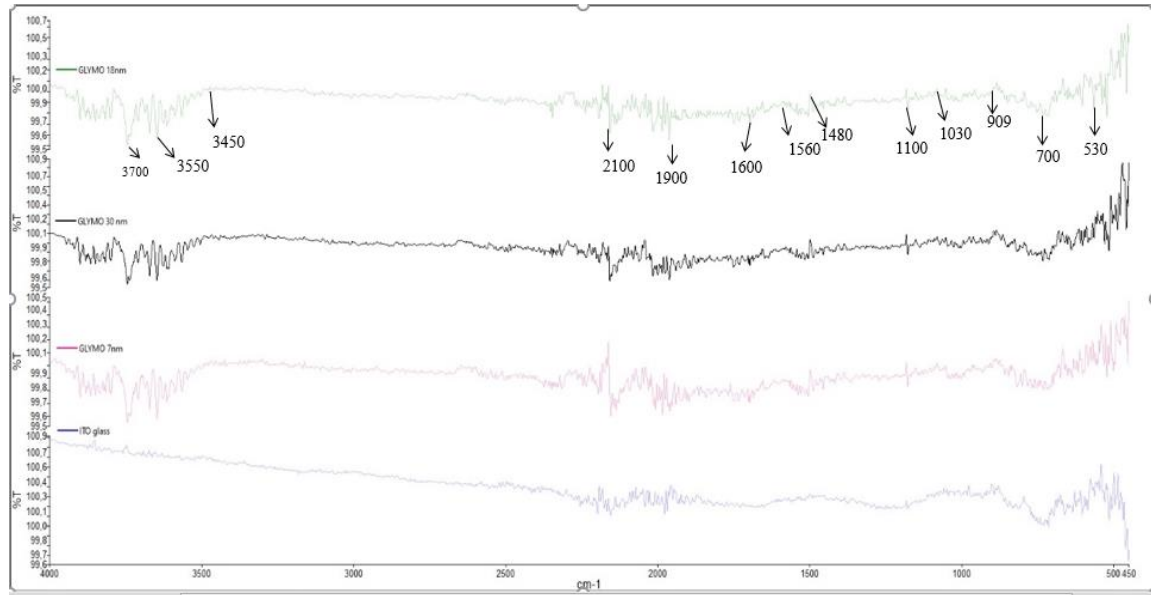
GLYMO katkısı ile kaplanmış numunelerin FT-IR analiz görüntüleri Şekil 4.9’daki gibidir. Buna göre;

GLYMO ( $C_9H_{20}O_5Si$ ) yaklaşık  $1100\text{ cm}^{-1}$ 'deki pikte Si-O-Si bağı gözlemlendi.  $1190\text{ Si-O-CH}_3$ 'te metil grubu.  $1460\text{ cm}^{-1}$   $CH_2$  deformasyonu,  $909\text{ cm}^{-1}$  C-O-C epoksi grupları gözlemlenmiştir.

3APTES ( $C_9H_{23}NO_3Si$ ) yaklaşık  $3700\text{ cm}^{-1}$ 'deki pikte  $NH_2$ 'nin asimetrik germe noktası gözlemlenmiştir.

Si-OH gruplarında hidrojenin gerilme modu ile ilişkili  $3700$  ila  $3450\text{ cm}^{-1}$  arasında değişen geniş bir bant fark edilebilir,  $1560\text{ cm}^{-1}$  ve  $1480\text{ cm}^{-1}$  ilişkili zirveler, silanol gruplarına çok güçlü hidrojen bağlı olan amin gruplarının  $NH_2$  deformasyon modlarına atanır.

Ayrıca, Si- $CH_2$  tepe noktasının  $1400\text{ cm}^{-1}$ 'de deformasyon modu ve  $1100\text{ cm}^{-1}$  ve  $1040\text{ cm}^{-1}$ 'de Si-O-Si bağının tepe noktasının asimetrik gerilme modları gözlemlenebilir. Ayrıca, Si-O-Si siloksan gruplarının makaslama absorpsiyon modu,  $460\text{ cm}^{-1}$ 'de sığ bir bant zirvesi sunar.



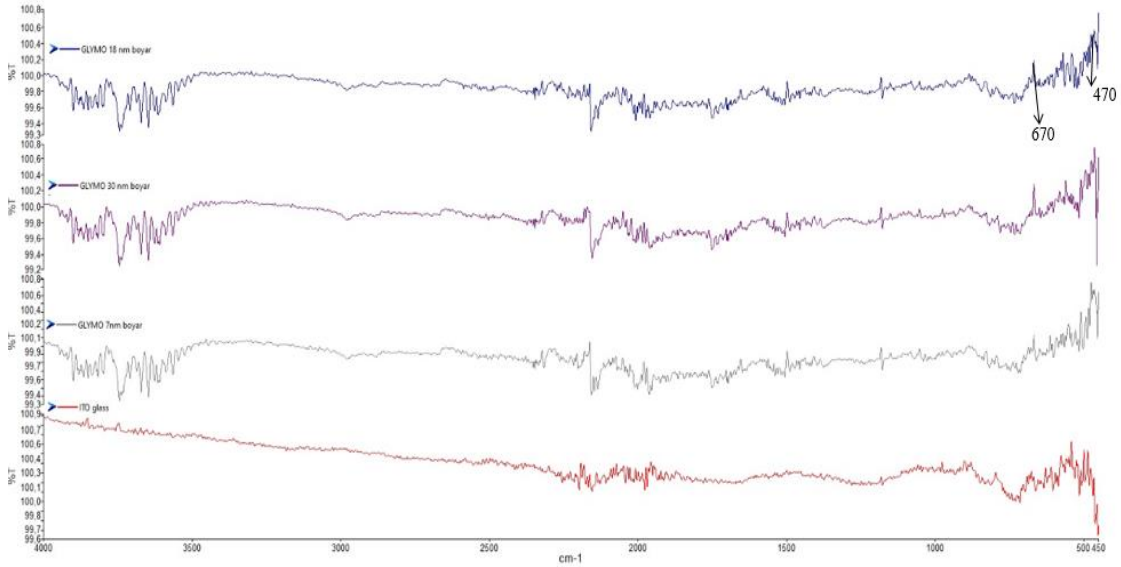
Şekil 4.1 G7-G18-G30-ITO glass Ft-Ir analiz görüntüleri.

GLYMO-GNP-Rutenyum katkısı ile kaplanmış numunelerin FT-IR analiz görüntüleri şekil 4.10'daki gibidir. Buna göre;



Rutenyum: Ru-N bağları için 470- 670 cm<sup>-1</sup> titreşim bandıdır.

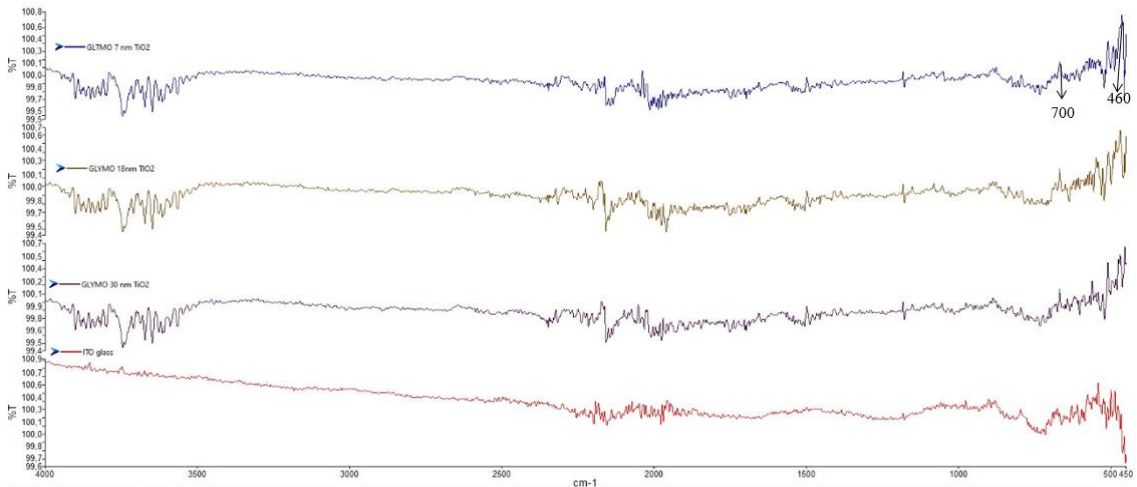
Oda sıcaklığında kaydedilen ITO iletken camlar In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, In-O kafes germe titreşimlerine atfedilen 450 ve 500 cm<sup>-1</sup> civarında yoğun bantlar sergiler.



Şekil 4.2 GR7-GR18-GR30-ITO glass Ft-Ir analiz görüntüleri.

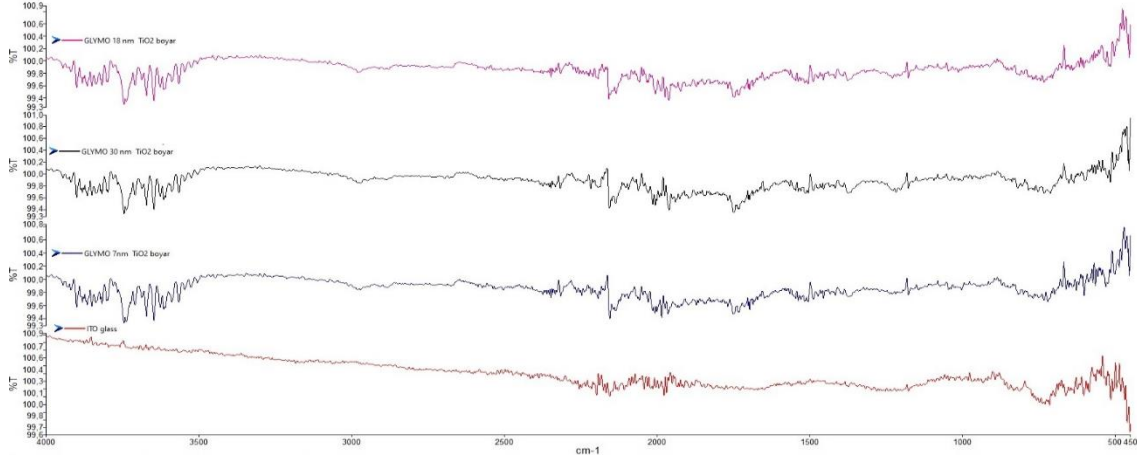
GLYMO-GNP-TiO<sub>2</sub> katkısı ile kaplanmış numunelerin FT-IR analiz görüntüleri şekil 4.11'deki gibidir. Buna göre;

400-700 cm<sup>-1</sup>'de Ti-O-Ti keskin zirvelere ulaşıldığı düşünüldü



Şekil 4.3 GT7-GT18-GT30-ITO glass Ft-Ir analiz görüntüleri.

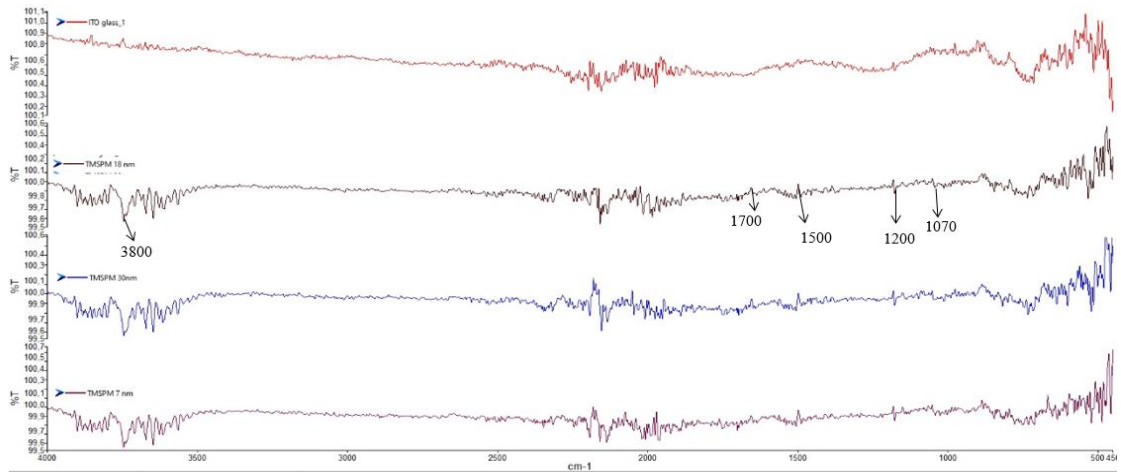
GLYMO-GNP-TiO<sub>2</sub>-Rutenyum katkısı ile kaplanmış numunelerin FT-IR analiz görüntüleri Şekil 4.12'deki gibidir.



Şekil 4.4 GTR7-GTR18-GTR30-ITO glass Ft-İr analiz görüntüleri.

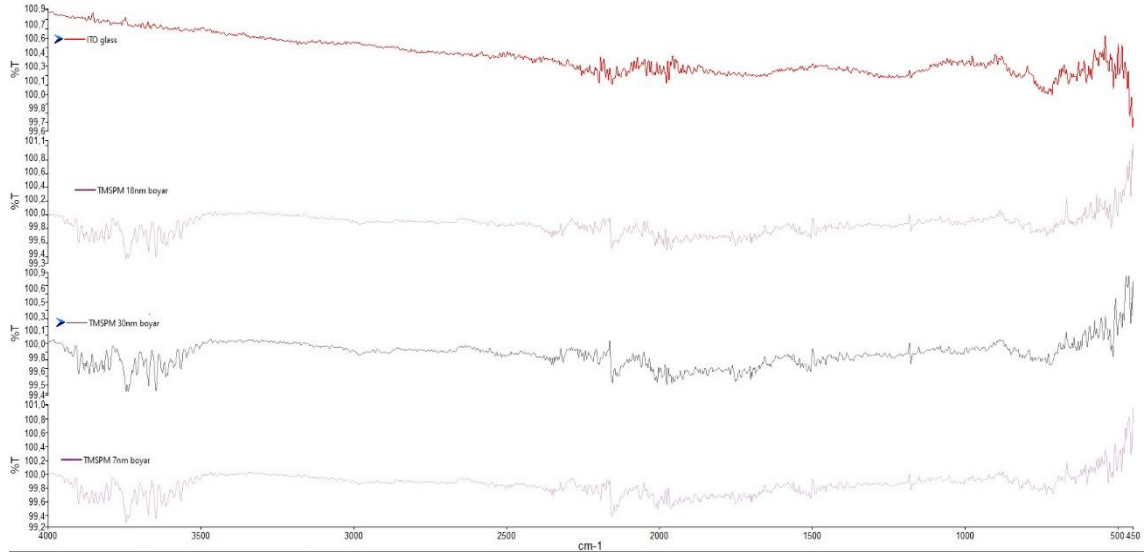
TMSPM-GNP katkısı ile kaplanmış numunelerin FT-IR analiz görüntüleri şekil 4.13' deki gibidir. Buna göre;

TMSPM 1700 cm<sup>-1</sup>'de bir karbonil zirvesi (C=O) gözlemlenmiştir. Yaklaşık 1200 cm<sup>-1</sup>'de -SiO CH<sub>3</sub> karakteristik zirveleri olarak atfedilebilir. Yaklaşık 1070 cm<sup>-1</sup>'de Si-O-Si bağ yapısı gözlemlendi. 3800cm<sup>-1</sup> pikleri arasında TMSPM bağlayıcı ajanda C-H germe titreşimlerine denk geldiği gözlemlendi. Yaklaşık olarak 1500 cm<sup>-1</sup>'de ki titreşim C-H bükme ve C-O, C-C germe titreşimi gözlemlendi. TMSPM hacimce arttıkça C=O ve C=C'ye karşılık düşen piklerin yoğunluğu artmıştır.



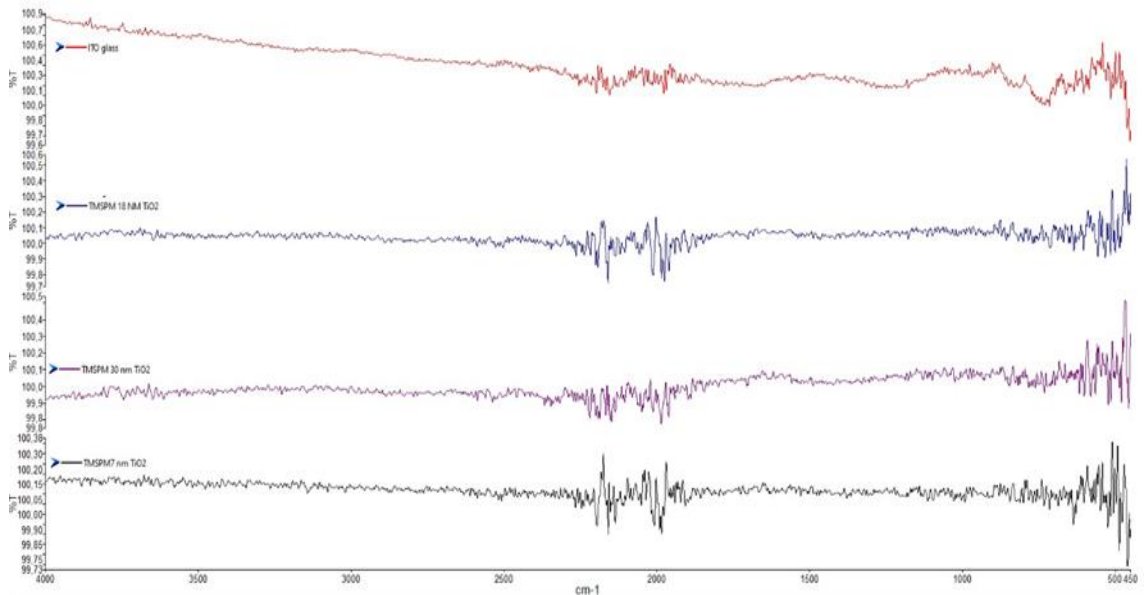
Şekil 4.5 T7-T18-T30- ITO glass Ft-İr analiz görüntüleri.

TMSPM-GNP-Rutenyum katkısı ile kaplanmış numunelerin FT-IR analiz görüntüleri şekil 4.14' deki gibidir.



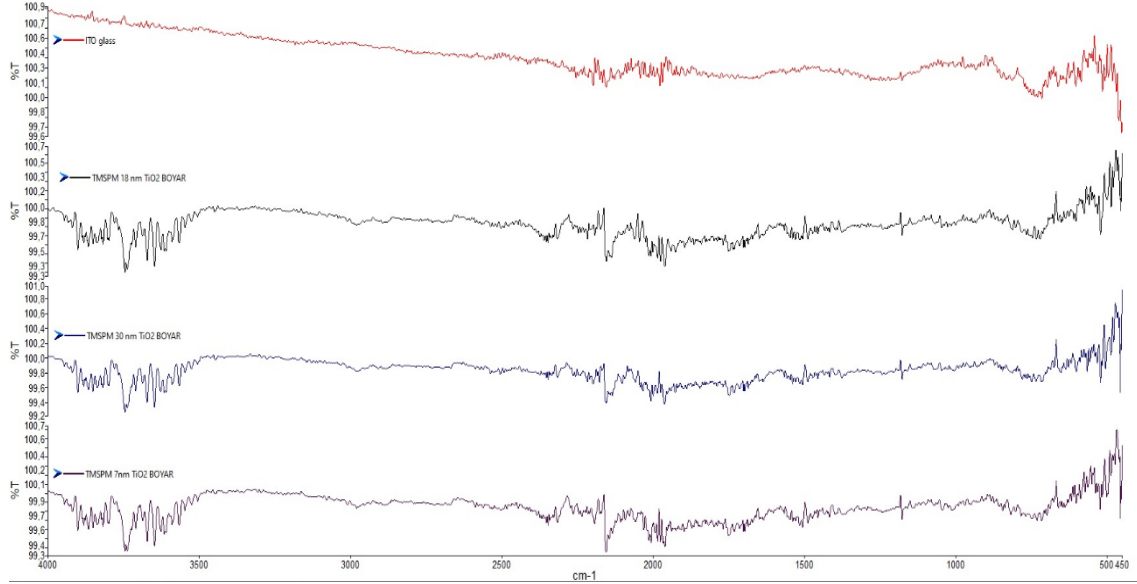
Şekil 4.6 TR7-TR18-TR30- ITO glass Ft-İr analiz görüntüleri.

TMSPM-GNP-TiO<sub>2</sub> katkısı ile kaplanmış numunelerin FT-IR analiz görüntüleri şekil 4.15' deki gibidir.



Şekil 4.7 TT7-TT18-TT30- ITO glass FT-IR Analiz Görüntüleri.

TMSPM-GNP-TiO<sub>2</sub>-Rutenyum katkısı ile kaplanmış numunelerin FT-IR analiz görüntüleri şekil 4.16' daki gibidir.



Şekil 4.8 TTR7-TTR18-TTR30-ITO glass Ft-Ir analiz görüntüleri.

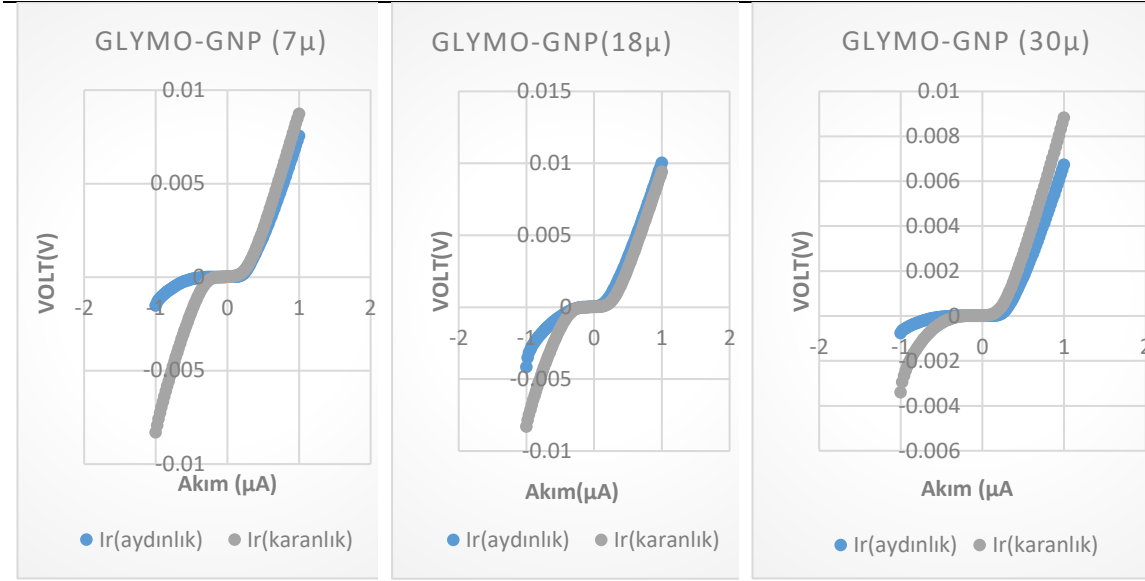
### 4.3 Hassas Akım Kaynağı ile (I-V) Analizi

Bir diyot için doğrultma oranları (RR) akım-gerilim grafiğinden hesaplanarak bulunmaktadır.

$$RR = \frac{I_d}{I_t} \quad (4.1)$$

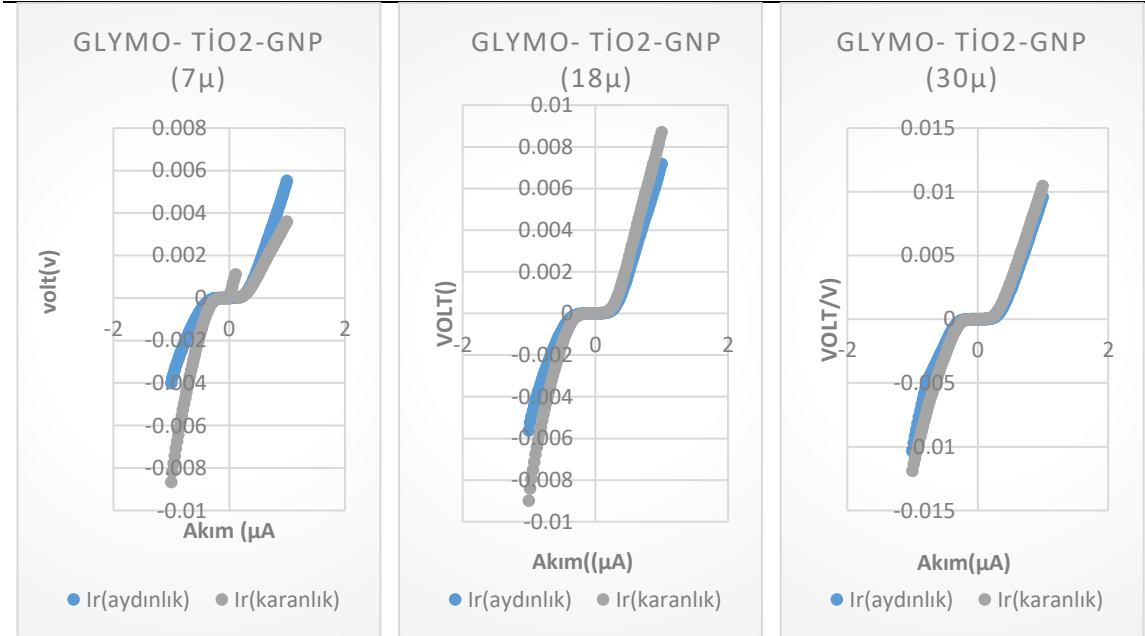
Denklemden, sabit bir gerilim değerindeki  $I_d$ , düz beslem akımı ve  $I_t$  ise ters beslem yönündeki akımdır. Bu akım voltaj grafiği için +1V ve -1V değerleri için aydınlık ve karanlık ortamda ölçüm değerlerindeki doğrultma oranları her bir numune için hesaplanmıştır.

Şekil 4.9'da verilen grafik üzerinden yapılan hesaplamalara göre G7 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 4,92-1,0507 G18 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 2,398-1,130 G30 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 8,746-2,591 olarak bulunmuştur.



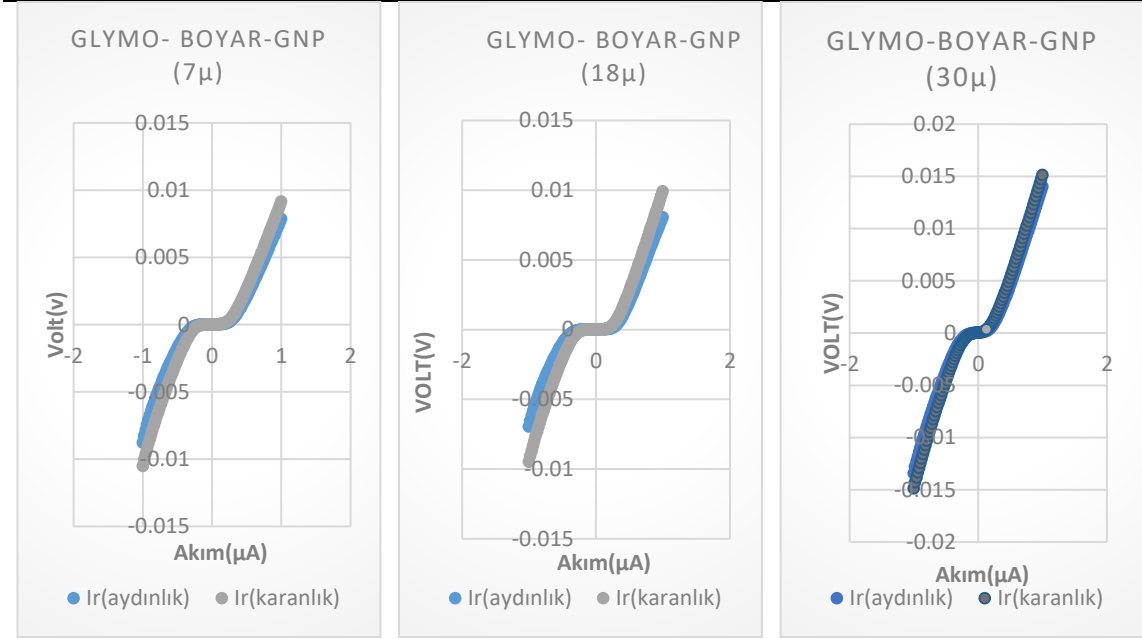
Şekil 4.9 G7-G18-G30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri.

Şekil 4.10’da verilen grafik üzerinden yapılan hesaplamalara göre GT7 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 1,37-0,41 GT18 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 1,27-0,96 GT30 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 0,92-0,87 olarak bulunmuştur.



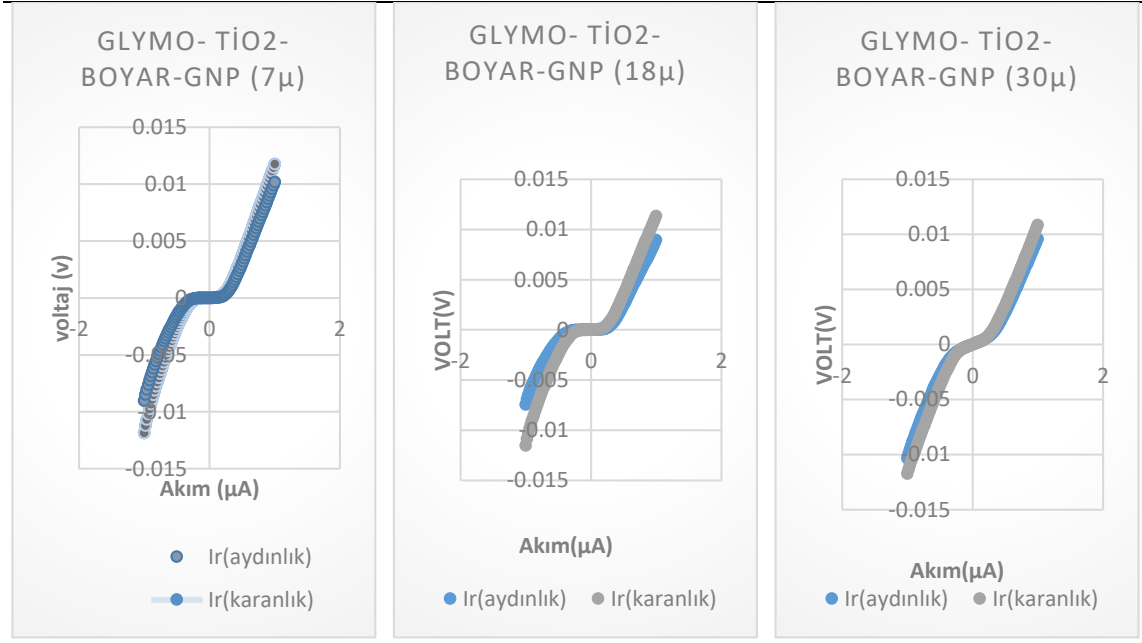
Şekil 4.10 Sırasıyla GT7-GT18-GT30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri.

Şekil 4.11’ de verilen grafik üzerinden yapılan hesaplamalara göre GR7 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 0,89-0,86 GR18 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 1,15-1,04, GR30 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 1,043-1,016 olarak bulunmuştur.



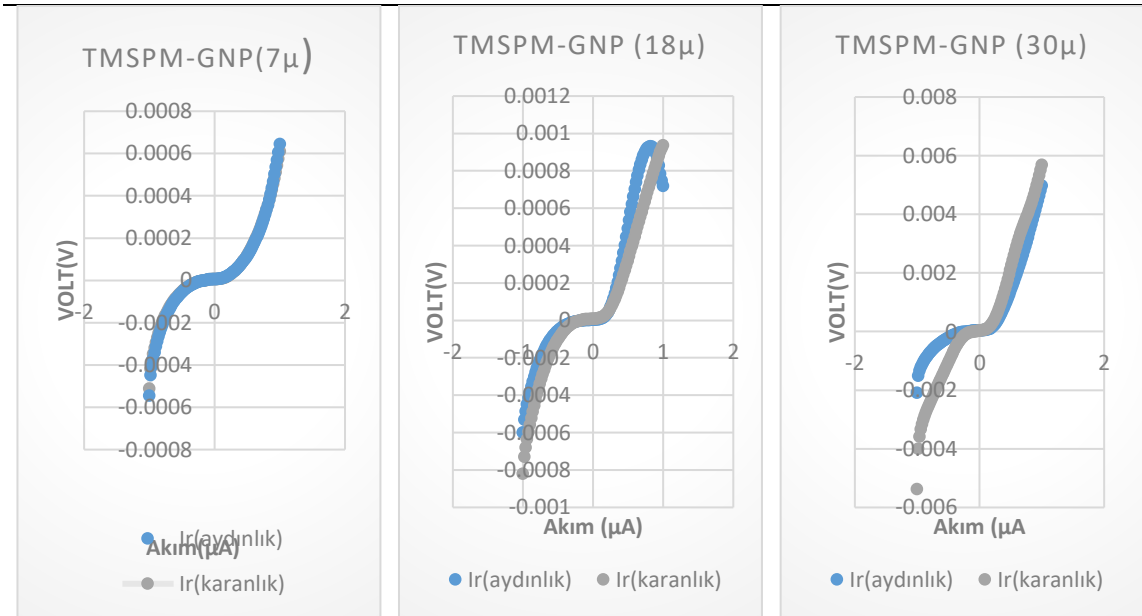
Şekil 4.11 Sırasıyla GR7-GR18-GR30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri.

Şekil 4.12’ de verilen grafik üzerinden yapılan hesaplamalara göre GTR7 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 1,12-0,99, GTR18 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 1,2-0,98, GTR30 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 0,90-0,92 olarak bulunmuştur.



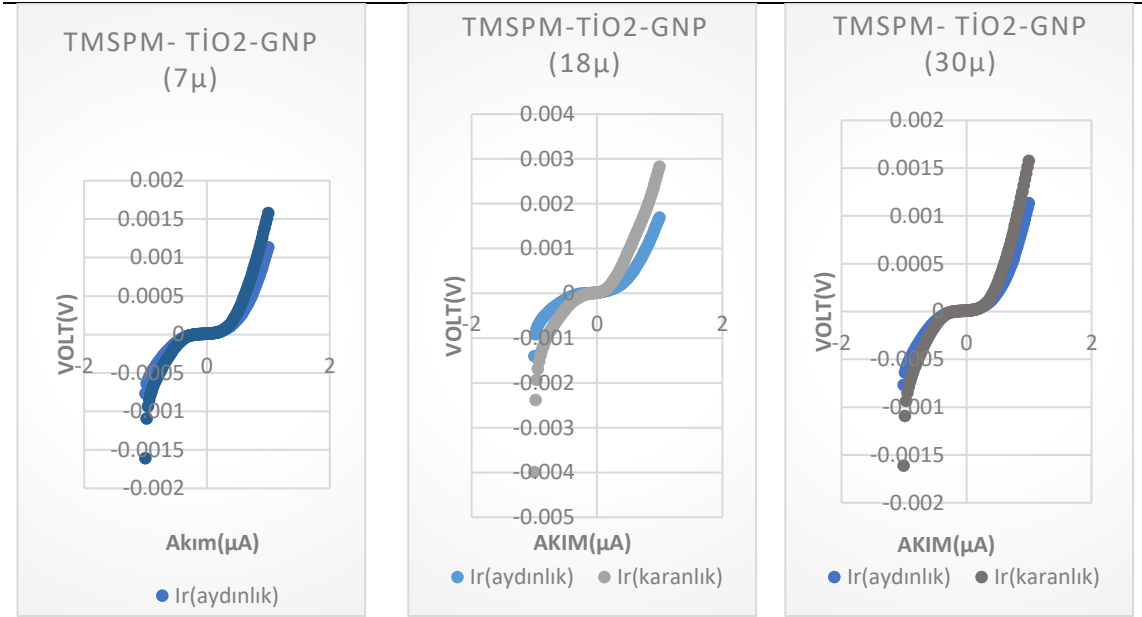
**Şekil 4.12** Sırasıyla GTR7-GTR18-GTR30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri.

Şekil 4.13'de verilen grafik üzerinden yapılan hesaplamalara göre T7 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 1,18-1,19, T18 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 1,19-1,14, T30 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 2,38-1,05 olarak bulunmuştur.



**Şekil 4.13** Sırasıyla T7-T18-T30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri.

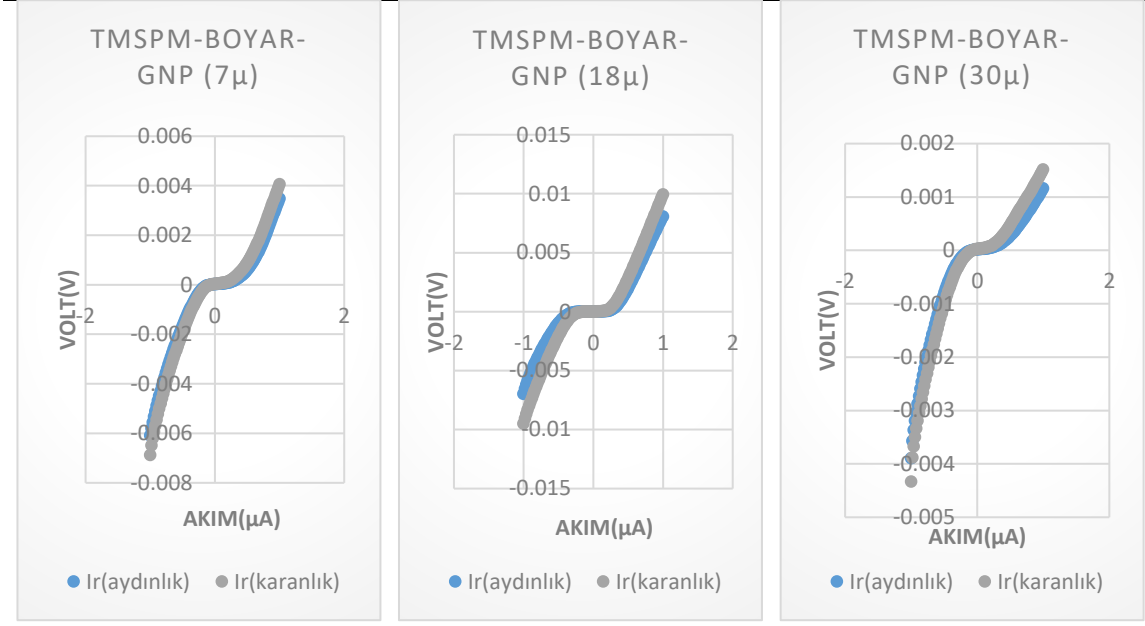
Şekil 4.14 de verilen grafik üzerinden yapılan hesaplamalara göre TT1 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 1,30-1,2 TT2 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 1,20-0,70, TT3 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 2,01-1,1 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.14 Sırasıyla TT7-TT18-TT30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri.

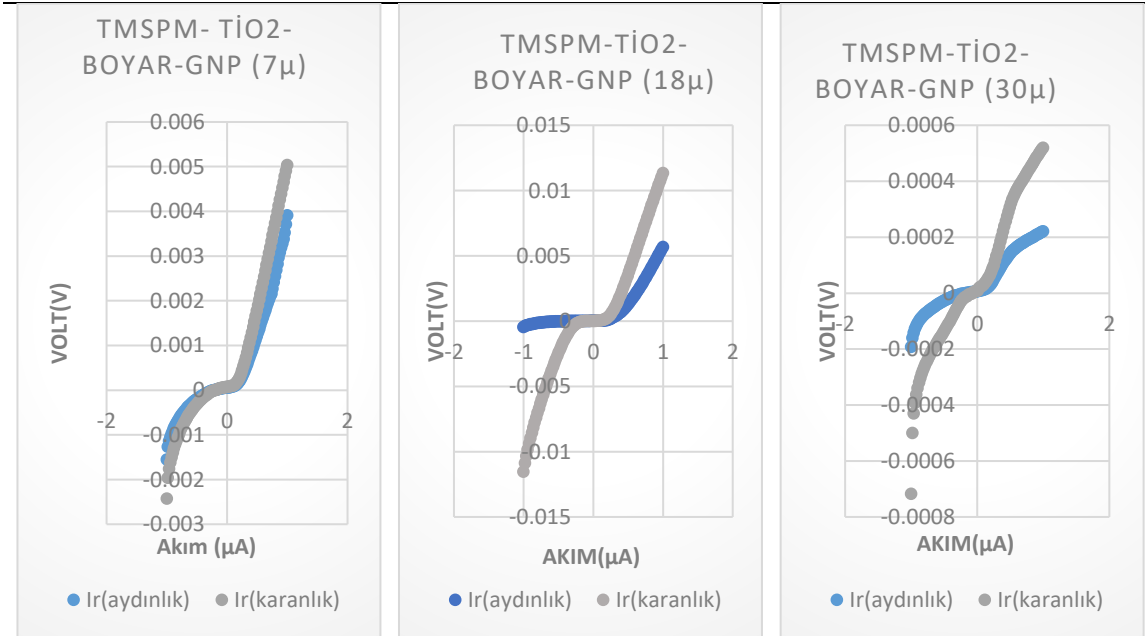
Şekil 4.15 de verilen grafik üzerinden yapılan hesaplamalara göre TR7 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 0,57-0,58, TR18 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 1,15-1,04, TR30 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 0,2-0,347 olarak bulunmuştur.





Şekil 4.15 Sırasıyla TR7-TR18-TR30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri.

Şekil 4.16' da verilen grafik üzerinden yapılan hesaplamalara göre TTR7 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 2,5-2,07, TTR18 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 11,9-0,9, TTR30 için hesaplanan aydınlık karanlık RR değer sırasıyla 1,1-0,7olarak bulunmuştur.



Şekil 4.16 Sırasıyla TTR7-TTR18-TTR30 numunelerinden elde edilen güneş hücrelerinin I-V analiz görüntüleri.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmamızda farklı silan bağlayıcı bileşiklerine nano boyutlu, birkaç tabakalı Grafen Nanotabaka katkılı Boyar madde içeren  $TiO_2$  ince filmler üretilmiştir. Kaplama işleminden sonra güneş pili hücrelerine dönüştürülmüştür. Grafen nanotabakaların FT-IR ve dijital mikroskop analizleri ile karakterize edilmiştir. Kaplama işleminden sonra güneş pili hücrelerine dönüştürülen numuneler UV, karanlık ve aydınlıkta akım gerilim ölçümü yapılarak verim tespiti yapılmıştır.

Dijital mikroskop görüntü sonuçlarına baktığımızda GLYMO ve TMSPM ile katkılanmış (GNP) grafen nanotabaka ( $7\mu$ ,  $18\mu$ ,  $30\mu$ ) çözeltisi ile ITO altlık üzerine yapılan kaplamada, kesitten alınan görüntüde kaplama kalınlığını kontrol ettiğimizde  $7.291\ \mu m$  kaplama kalınlığına sahip G30'dan en verimli sonucu aldık. Aynı şekilde GLYMO ve TMSPM ile katkılanmış (GNP) grafen nanotabaka ( $7\mu$ ,  $18\mu$ ,  $30\mu$ ) ve rutenyum karışımı çözelti ile ITO altlık üzerine yapılan kaplamada, kesitten alınan görüntüde kaplama kalınlığını kontrol ettiğimizde  $4.454\ \mu m$  kaplama kalınlığına sahip GR18'den en verimli sonucu aldık. GLYMO ve TMSPM ile katkılanmış (GNP) grafen nanotabaka ( $7\mu$ ,  $18\mu$ ,  $30\mu$ ) ve nano  $TiO_2$  karışımı çözelti ile ITO altlık üzerine yapılan kaplamada, kesitten alınan görüntüde kaplama kalınlığını kontrol ettiğimizde  $7.860\ \mu m$  kaplama kalınlığına sahip TT30'dan en verimli sonucu aldık. GLYMO ve TMSPM ile katkılanmış (GNP) grafen nanotabaka ( $7\mu$ ,  $18\mu$ ,  $30\mu$ ), rutenyum ve nano  $TiO_2$  karışımı çözelti ile ITO altlık üzerine yapılan kaplamada, kesitten alınan görüntüde kaplama kalınlığını kontrol ettiğimizde  $9.956\ \mu m$  kaplama kalınlığına sahip TTR30'dan en verimli sonucu aldık. En ideal sonuç GR18 numunesi  $4.454\ \mu m$  kaplama kalınlığıdır.

ITO iletken camlar için yapılan FT-IR analizi sonucunda,  $450$  ve  $500\ cm^{-1}$  civarında  $In_2O_3$  yoğun bantlar sergilemektedir.

GLYMO ( $C_9H_{20}O_5Si$ ) katkılı numunelerde yaklaşık  $1100\ cm^{-1}$ 'deki pikte Si-O-Si bağı gözlemlendi.  $1190\ cm^{-1}$  Si-O- $CH_3$ 'te metil grubu.  $1460\ cm^{-1}$   $CH_2$  deformasyonu,  $909\ cm^{-1}$  C-O-C epoksi grupları gözlemlenmiştir. 3APTES ( $C_9H_{23}NO_3Si$ ) yaklaşık  $3700\ cm^{-1}$ 'deki pikte  $NH_2$ 'nin asimetrik germe noktası gözlemlenmiştir.

Rutenyum ile katkılandırılmış ince film kaplamalarda Ru-N bağları 470- 670  $\text{cm}^{-1}$ 'deki titreşim bandında olduğu gözlemlenmiştir.

Nano  $\text{TiO}_2$  ile katkılandırılmış ince film kaplamalarda 460-700  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik aralığında Ti-O-Ti bağları gözlemlenmiştir.

TMSPM 1700  $\text{cm}^{-1}$ 'de bir karbonil zirvesi (C=O) gözlemlenmiştir. Yaklaşık 1070  $\text{cm}^{-1}$ 'de Si-O-Si bağ yapısı gözlemlendi. 3800 $\text{cm}^{-1}$  pikleri arasında TMSPM bağlayıcı ajanda C-H germe titreşimlerine denk gelindiği gözlemlendi.

Yapılan çalışmalar sonucunda organik güneş hücreleri pil haline getirildi ve potasyum iyodür sıvısı enjekte edilerek hassas akım kaynağı ile (I-V) analizine tabii tutuldu. Akım voltaj ölçümleri yapılan pillerde diyot karakteristiği gözlemlendi. Doğrultucu özellikleri hesaplandı. Işığa duyarlı aydınlık ve karanlık ölçüm değerleri hemen hemen aynı olduğundan dolayı foto diyot özelliği göstermemektedirler. FF (Dolum Faktörü) pilin güç kaynağı olarak kalitesinin göstergesidir ve pilin verimini  $\eta$ , güneş pilinin performansı göstermektedir çalışmamızdaki güneş hücrelerinin analizlerinde bu faktörlere rastlanmamaktadır. Bu çalışmamızda güneş hücrelerinden verim alınamamıştır.

Bunun nedeni nano  $\text{TiO}_2$ 'nin hem rutil hem anataz evresinden kaynaklı olabileceği düşünüldü. İncelediğimiz makalelerde sadece anataz evresinde kullanıldığında daha fazla verim alınmaktadır. Kullandığımız silanlar yüksek dereceli sıcaklıkta bozulma olacağından 80°C'de sinterlendi bu sebepten dolayı hazırladığımız çözeltilerin ITO cam yüzeyine iyi tutunamamış olabileceği düşünüldü buda verimliliği etkileyen önemli faktörlerden.

## 6. KAYNAKLAR

- Akman E, Akın S, Karanfil G, Sönmezoğlu S, 2013, Organik Güneş Pilleri, Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(1), Edirne.
- Amiri S, Rahimi A, 2016, Hybrid Nanocomposite Coating By Sol–Gel Method A Review, Iranian Polymer Journal, 25, 559–577.
- Aykal D, Gümüş B, Akça Y Ö, 2009, Sürdürülebilirlik Kapsamında Yenilenebilir ve Etkin Enerji Kullanımının Yapılarda Uygulanması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu V Bildiri, Diyarbakır, 78–83s.
- Balkan N, Erol A, 2005, Çevremizdeki Fizik, Tubitak Yayınları, 221s, Ankara.
- Batur H, 2014, Güneş Gözelerinin Modellenmesi ve Verimlilik Analizleri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60s, Isparta.
- Bhattacharya R N, 2013, CIGS-Based Solar Cells Prepared From Electrodeposited Stacked Cu In Ga Layers, Solar Energy Materials and Solar Cells, 113, 96–99.
- Ceylan M, 2014, Elektrik Enerji Santralleri ve Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı, Seçkin Yayıncılık, 2, 439s, Denizli.
- Chang H, Lo Y J, 2010, Pomegranate Leaves and Mulberry Fruit As Natural Sensitizers For Dye Sensitized Solar Cells, Sol Energy, 84, 1833–1837.
- Das S, Morris G, 1993, Preparation and Properties of Electrodeposited Indium Tin Oxide  $\text{SnO}_2$  Cdte and Indium Tin Oxide  $\text{SnO}_2$  Cds Cdte Solar Cells, Journal of Applied Physics, 73 (2), 782–786.
- Deligeorgis G, Dragoman M, Neculoiu D, Dragoman D, Konstantinidis D, Cismaru A and Plana R, 2009, Different Propagation in Graphene, Applied Physics Letters 95 (7), 073107
- Green M A, Ho Baillie A, Snaith H J, 2014, The Emergence of Perovskite Solar Cells, Nature Photonics, 8, 506–514.
- Guvenc A B, 2012, Fabrication and Characterization of Organik/Inorganik Photovoltaic Devices University Of California Riverside, Graduate Program,p 135, California.

- Hao S, Wu J, Huang Y, Lin J, 2006, Natural Dyes As Photosensitizers For Dye Sensitized Solar Cell, *Sol Energy*, 80, 209–214.
- Huang Wu ve Lawrence T D, 2012, Graphene Nanoplatelet Paper As a Light-Weight Composite With Excellent Electrical and Thermal Conductivity and Good Gas Barrier Properties, 50 (3), 1135–1145.
- Kalay H, 2020, Azobenzen ve Kumarin Alt Birimleri ile Tiyofen İçeren Alternatif Kopolimerlerin Sentezi, Elektrokromik Karakterizasyonu ve Güneş Pili Uygulamaları, İskenderun Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101s, Hatay.
- Karamanav M, 2007, Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitü, Yüksek Lisans Tezi, 76s, Sakarya.
- Kolemen S., Bozdemir (2011), Optimization of Distyryl-Bodipy Chromophores For Efficient Panchromatic Sensitization In Dye Sensitized Solar Cells, *Chemical Science*, 2, 949–954.
- Koyuncu S, 2008, Güneş Pillerinde Elektrolit Olarak Görev Yapacak İletken Polimerlerin Sentezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 165s, Çanakkale
- Küpeli A Ö, 2005, Güneş Pilleri ve Verimleri, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 125s, Eskişehir..
- Lahiri D, Hec F, Thiesse M, Durygin A, Zhang C, Agarwal A, 2014, Nanotribological Behavior of Graphene Nanoplatelet Reinforced Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene Composites, *Tribology International*, 70, 165–169.
- Liu Y, Li M, Wang H, Zheng J, Xu H, Ye Q, Shen H, 2010, Synthesis of Tio<sub>2</sub> Nanotube Arrays And Its Application In Mini–3D Dye–Sensitized Solar Cells, *Journal of Physics D, Applied Physics*, 43 (20), 205103.
- Livage J, Henry M and Sanchez C, 1988, *Program Solid State Chem*, 18, p 259.
- Ludin N A, Mahmoud A A, Mohamad A B, Kadhum A H, Sopian K, Abdülkerim N S, 2014, Review On The Development of Natural Dye Photosensitizer For Dye-Sensitized Solar Cells, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31, 386–396.

- Mahmutoğlu M, 2013, Türkiye Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerjinin Rolü, Ankara Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Mathew S, Yella A, Gao P, Baker R, Curchod B F, Astani N, Grätzel M, 2014, Dye-Sensitized Solar Cells With %13 Efficiency Achieved Through The Molecular Engineering of Porphyrin Sensitizers, *Nature Chemistry*, 6 (3), 242–247.
- Matsumoto Y, Hirata G, Takakura H, Okamoto H, Hamakawa Y, 1990. A New Type Of High Efficiency With a Low Cost Solar Cell Having the Structure of a Mc Sic Polycrystalline Silicon Heterojunction, *Journal Of Applied Physics*, 67, 6538– 6543.
- Miao J, Liu B, 2015, 1 - II–VI semiconductor nanowires ZnO, *Materials, Synthesis, Characterization and Applications Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials*, 3–28
- Mohamed M A, J Jaafar, Ismail A F, Othman M H D, Rahman M A, 2017, Fourier Transform Infrared FTIR Spectroscopy, 3–29.
- Prevenslik T, 2003, The Cavitation Induced Becquerel Effect and The Hot Spot Theory of Sonoluminescence, *Ultrasonics*, 41, 313–317.
- Regan O, 1991, A Low-Cost High-Efficiency Solar Cell Based On Dyesensitised Colloidal Tio<sub>2</sub> Films, *Nature* , 353, 737–740.
- Rudra S, Sarker S, Kim D M, 2019, Review On Simulation of Current-Voltage Characteristics Of Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 80, 516–526.
- Sarıca H, 2013, Farklı Morfolojilerde Cdo ve Zno Elektrotların Sentezi Karakterizasyonu ve Organik Boya Esaslı Güneş Pillerinde Uygulamaları, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 54s, İzmir
- Schilinsky P, Waldauf C, Brabec C J, 2002, Recombination and Loss Analysisin Polythiophene Based Bulk Heterojunction Photodetectors, *Applied Physics Letters*, 81, 3885–3887.

- Sio H C, Phang S P, Fell A, 2019, The Electrical Properties of High Performance Multicrystalline Silicon and Mono-Like Silicon, Material Limitations and Cell Potential, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 201, 110059.
- Smith W, 1873, Effect of Light on Selenium, *Nature* 7, p 303.
- Sönmez M, 2018, Ono Onno Tipi İmin Bileşikleri Heteronükleer Komplekslerinin Sentezi ve Fotovoltaik Özelliklerinin Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 145s, Ankara.
- Şenel M C, Mevlüt G, Koç E, 2015, Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Yeni Nesil Kompozitler, *Mühendis ve Makine*, 56, 669, 36–47.
- Tang X, Qian J, Wang, Feng Q, Liu G, 2009, Comparison of Low Crystallinity Tio<sub>2</sub> Film With Nanocrystalline Anatase Film For Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Colloidal And Interface Science*, 330, 386–391.
- Tian F, Pan L and X Wu J, 1988, Non-Cryst, *Solids*, 104–129.
- Tsoutsos T, Frantzeskaki N, Gekas V, 2005, Environmental Impacts From The Solar Energy Technologies, *Energy Policy*, 33 (3), 289–296.
- Uhlmann DR, 1997, The Future of Sol-Gel Science and Technology, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 8 (1–3), 1083–1091.
- Weintraub B, Wei Y, Wang Z L, 2009, Optical Fiber Nanowire Hybrid Structures For Efficient Three-Dimensional Dye-Sensitized Solar Cells, *Angewandte Chemie*, 121 (47), 9143–9147.
- Wu Z S, Zhou G, Yin L C, Ren W, Li F, Cheng H M, 2012, Graphene/Metal Oxide Composite Electrode Materials For Energy Storage, *Nano Energy*, 1 (1), 107–131.
- Würfel P, 2005, *Physics of Solar Cells, From Principles To New Concepts*, Verlag GmbH Co KGaA In Weinheim Wiley VCH, 10.
- Yakuphanoglu, F. 2011. Synthesis And Electro-Optic Properties Of Nanosized-Boron Doped Cadmium Oxide Thin Films For Solar Cell Applications. *Solar Energy*, 85, 2704–2709
- Yuancheng Q, Peng Q, 2012, Ruthenium Sensitizers and Their Application In Dye Sensitized Solar Cells, Review articles, *Int. J Photoenergy*, 21.

Zafer C, 2006, Organik Boya Esaslı Nanokristal Yapılı İnce Film Güneş Pili Üretimi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 132s, İzmir.

Zhang H B, Yan Q, Zheng W G, He Z and Yu Z Z, 2011, Tough Graphene Polymer Microcellular Foams for Electromagnetik İnterference Shielding, ACS Applied Materials and Interfaces, 3, 918–924.



## İnternet Kaynakları

- 1- <https://temizenerji.org>, 10.01.2021.
- 2- <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/ii-vi-semiconductor>, 25.12.2020.
- 3- [https://www.gelest.com/wp-content/uploads/Silane\\_Coupling\\_Agents.pdf](https://www.gelest.com/wp-content/uploads/Silane_Coupling_Agents.pdf), 14.12.2020.
- 4- <https://www.tek.com/keithley-source-measure-units/keithley-smu-2400-series-sourcemeater>, 15.12.2020.
- 5- <https://www.intechopen.com/books/chemical-reactions-in-inorganic-chemistry/sol-gel-processes-of-functional-powders-and-film>, 11.01.2021.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayten BİLGE  
Doğum Yeri ve Tarihi : KARAPINAR 22.04.1994  
Yabancı Dili : İngilizce (B1)  
İletişim (Telefon / e-posta) : 0 (506) 098 00 14 / aytenbilge49@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gazi Lisesi (2008 – 2012)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü. (2012–2018)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. İş Güvenliği (Tezsiz) Anabilim Dalı. (2019 – 2020)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nnobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı, (2019–2021)