

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AC VE DC PÜSKÜRTME İLE ÜRETİLEN SAYDAM AZO İNCE  
FİLMLEİN KARAKTERİZASYONU VE BİRBİRİ İLE  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Buse KULOĞLU**

**AĞUSTOS 2015**

**Fizik Anabilim Dalında** Buse KULOĞLU tarafından hazırlanan AC VE DC PÜSKÜRTME İLE ÜRETİLEN SAYDAM AZO İNCE FİMLERİN KARAKTERİZASYONU VE BİRBİRİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Saffet NEZİR  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Sedat AĞAN  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. M. Burak TÜRKÖZ \_\_\_\_\_  
Üye (Danışman) : Prof. Dr. Sedat AĞAN \_\_\_\_\_  
Üye : Yrd. Doç. Dr. Erdem YAŞAR \_\_\_\_\_

.../.../...

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans Derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### AC VE DC PÜSKÜRTME İLE ÜRETİLEN SAYDAM AZO İNCE FİLMLERİN KARAKTERİZASYONU VE BİRBİRİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

KULOĞLU, Buse

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Sedat AĞAN

Ağustos 2015, 50 sayfa

Bu çalışmada, alüminyum çinko oksit (AZO) ince filmler AC ve DC püskürtme yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Öncelikle, üretilen AZO ince filmler için hangi güç kaynağının daha uygun olduğu incelenmiştir. Sonrasında, bu güç kaynağı kullanılarak farklı güçlerde üretim yapılacaktır. Yapısal karakterizasyon için XRD, yüzey yapısı için SEM, değişen dağılımla yük niceliğini tanımlanmak için EDX ve ayrıca PL ve Raman spektroskopik yöntemleri kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** AZO, Organik Güneş Pilleri, ITO, ZnO, SEM, XRD, PL.

## ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF TRANSPARENT AZO THIN FILMS WHICH ARE PRODUCED BY AC AND DC SPUTTERING AND COMPARISON WITH EACH OTHER

KULOĞLU, Buse

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, M.Sc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Sedat AĞAN

August 2015, 50 pages

In this study, aluminum zinc oxide thin films was prepared with using AC and DC sputtering system. First of all, we had investigated that which power supply is useful for fabricated AZO thin film. After, samples will fabricated with this power supply for different powers. XRD was used for the structural characterization, SEM was used for investigating surface structural. EDX was used for determine ion quantity with changing contribution. Also, PL and Raman spectroscopy methods was used.

**Key Words:** AZO, Organic Solar Cells, ITO, ZnO, SEM, XRD, PL.

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca emeği geen danışman hocam sayın Prof. Dr. Sedat AĞAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Tezim için gerekli olan numunelerin üretimi ve temininde desteği olan sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa Burak TÜRKÖZ'e teşekkür ederim. Fikir ve önerileri ile yardımcı olan arkadaşım uzman Ümit ERDEM'e teşekkür ederim. Ayrıca Gazi Üniversitesi'nde XRD analizleri için desteği bulunan sayın Doç. Dr. Mustafa Kemal ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Bu zorlu süreçte desteğini esirgemedен bana yardımcı olan meslektaşım, hayat arkadaşım, sevgili eşim Abdullah Fatih KULOĞLU'na sevgilerimi ve teşekkürlerimi iletirim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yol gösteren babam Hayrullah ALSANCAK'a, annem Kâmuran ALSANCAK'a ve kardeşlerim Burak ile Metin'e teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	iv
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	3
2.1. Fotovoltaik Etki Ve P-N Eklem .....	3
2.2. Güneş Pillerinin Temelleri .....	5
2.2.1. Açık Devre Voltajı.....	7
2.2.2. Kısa-Devre Akımı.....	8
2.2.3. Doldurma Faktörü .....	8
2.2.4. Güç Dönüşüm Verimi .....	8
2.2.5. Harici Kuantum Verimi .....	10
2.3. Organik Güneş Pilleri .....	11
2.3.1. Düzlemsel Çoklu Eklemler.....	13
2.3.2. Yığın Çoklu Eklemler.....	13
2.3.3. Birleşik Güneş Pilleri.....	15
2.3.4. İndiyum Kalay Oksit ve Eksiklikleri .....	16
2.3.5. Alüminyum Çinko Oksit (AZO) İnce Filmler .....	18
2.4. Ölçüm Yöntemleri .....	20
2.4.1. X-Işını Kırınımı Spektroskopisi (XRD) .....	20
2.4.2. Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDX) .....	21
2.4.3. Fotoluminesans (PL) Spektroskopisi .....	22
2.4.4. Raman Spektroskopisi .....	23
2.4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) .....	24

	<u>Sayfa</u>
<b>3. ARAŞTIRMA BULGULARI</b> .....	26
3.1. XRD Analiz Sonuçları .....	26
3.2. EDX Analiz Sonuçları.....	31
3.3. Fotolüminesans (PL) Analiz Sonuçları .....	32
3.4. Raman Spektroskopisi Analiz Sonuçları .....	34
3.5. SEM Analiz Sonuçları.....	37
<b>4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b> .....	43
<b>KAYNAKLAR</b> .....	45
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	50

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. ITO'nun bazı parametreleri ve alternatif örnek bir saydam iletken oksitin minimum gereksinimleri .....	18
2.2. Çeşitli katkı elementleri ile katkılanmış ZnO filmler için öz direnç değerleri ve katkı oranları .....	19
3.1. DC 50 W güç uygulanarak üretilen örneklerdeki elementlerin yüzde oranları .	31
3.2. AC 50 W güç uygulanarak üretilen örneklerdeki elementlerin yüzde oranları .	32



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Fotovoltaik etkinin basit şematik gösterimi .....	3
2.2. Bir p-n eklem güneş pilinde konvansiyonel akım akış yönü .....	4
2.3. Bir güneş pilinin tipik akım-gerilim grafiği .....	5
2.4. Bir güneş pilinin gerilime karşılık güç ve akım yoğunluğu grafikleri .....	7
2.5. Farklı AM spektrumları için güneşin konumları .....	9
2.6. AM 1.5 spektrumunun dalga boyuna karşılık parlaklık grafiği .....	10
2.7. Organik güneş pillerinin esneklikleri. Eğrilebilir ve yuvarlanabilirler .....	12
2.8. Düzlemsel çoklu eklem ve yığın çoklu eklem yapılarının şematik gösterimi .	14
2.9. İki adet seri bağlı birleşik güneş pili yapısının basit şematik gösterimi .....	15
2.10. 2002 – 2006 yılları arasında dünyada üretilen In miktarları .....	17
2.11. Bir kristal düzleminde x-ışınının kırınımı .....	21
2.12. EDX analiz yönteminin temeli .....	22
2.13. PL ölçümleri için tipik deneysel bir düzenek .....	23
2.14. SEM'in temel kısımlarının basit şekilsel gösterimi .....	24
3.1. Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesindeki GNR APD 2000 Pro X-Işını kırınım ölçeri .....	26
3.2. Cam üzerinde AC 50 W ve DC 50 W güç ile büyütülmüş AZO ince filmlerin XRD analiz sonuçları .....	27
3.3. Si üzerinde AC 50 W ve DC 50 W güç ile büyütülmüş AZO ince filmlerin XRD analiz sonuçları .....	28
3.4. AC 50 W ile cam ve Si üzerinde büyütülmüş AZO ince filmlerin XRD analiz sonuçları .....	29
3.5. DC 50 W ile cam ve Si üzerinde büyütülmüş AZO ince filmlerin XRD analiz sonuçları .....	30
3.6. AC ve DC güçleri uygulanarak üretilen örneklerin EDX görüntüleri .....	31
3.7. AC 50 W güç ile üretilmiş numunenin PL grafiği .....	33
3.8. DC 50 W ile üretilmiş numunenin PL grafiği .....	34
3.9. KÜBTAL bünyesinde bulunan SENTERRA Raman mikroskobu .....	35

3.10. AC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin Raman spektrumu .....	36
3.11. DC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin Raman spektrumu .....	36
3.12. JEOL JSM 5600 SEM cihazı .....	37
3.13. AC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin kesit alanının SEM görüntüsü .....	38
3.14. AC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin yüzey alanının 500 nm'lik SEM görüntüsü.....	39
3.15. AC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin yüzey alanının 1 µm'lik SEM görüntüsü .....	39
3.16. DC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin kesit alanının SEM görüntüsü .....	40
3.17. DC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin yüzey alanının 500 nm'lik SEM görüntüsü .....	41
3.18. DC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin yüzey alanının 1 µm'lik SEM görüntüsü .....	41

## SİMGELER DİZİNİ

A	Amper
Au	Altın
B	Bor
BCP	Bathocuproine
C	Karbon
c	Işık hızı
CN-PPV	Cyano-PPV
Cu	Bakır
CuIn	Bakır indiyum
CuPc	Copperphthalocyanine
CdTe	Kadmiyum tellür
$E_g$	Band aralığı
e	Birim yük
Ga	Galyum
GaSe	Galyum selenür
h	Planck sabiti
$I_L$	Fotovoltaik akım
In	İndiyum
$I_{SC}$	Kısa devre akımı
J	Akım yoğunluğu
$J_0$	Ters doyum akım yoğunluğu
$J_f$	Foto-akım yoğunluğu
$J_{max}$	Maksimum akım yoğunluğu
$J_0$	Ters doyum akım yoğunluğu
$J_{SC}$	Kısa devre akım yoğunluğu
k	Boltzmann sabiti
MEH-PPV	Poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)- pphenylenevinylene]
n	İdealite faktörü
$\eta$	Güç dönüşüm verimi
P	Güç

$P_{max}$	Maksimum güç
PEDOT: PSS	Poly(3,4- ethylene dioxy thio phene) polystyrenesulfonate
PTCBI	Perylenetetracarboxylicbisbenzimidazole
S	Siemens
Sc	Skandiyum
Si	Silisyum
SubNc	Subnaphthalocyaninechloride
SubPc	Subphthalocyanine
T	Sıcaklık
Ti	Titanyum
V	Gerilim
$V_{max}$	Maksimum gerilim
$V_{OC}$	Açık-devre gerilimi
$\nu$	Frekans
W	Watt
Y	İtriyum
ZnO	Çinko oksit
$\lambda$	Dalga boyu
$\Omega$	Ohm

## KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternatif akım
AM	Atomik kütle
AZO	Aluminyum çinko oksit
Cm	Santimetre
DC	Doğru akım
DF	Doldurma faktörü
EDÇ	Elektron-deşik çifti
EDX	Enerji dağılımlı x-ışını
FV	Fotovoltaik
HKV	Harici kuvantum verimi
ITO	İndiyum kalay oksit
KNT	Karbon nanotüp
$\mu\text{m}$	Mikrometre
Nm	Nanometre
OFV	Organik fotovoltaik
OLED	Organik ışık yayan diyot
PL	Fotoluminesans
R	Spektral duyarlılık
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TW	Terawatt
XRD	X-ışını kırınımı

## 1. GİRİŞ

2008 yılında yeryüzündeki enerji tüketim seviyesi yaklaşık olarak 15 terawatt (TW) mertebesindeydi [1]. Günümüzde, fosil enerji kaynakları dünya enerji tüketiminin yaklaşık olarak % 86,5 kadarını karşılamaktadır [2]. Enerji tüketiminin yıllara göre artış hızı göz önünde bulundurulduğunda 2050 yılında enerji tüketiminin % 2'lik bir artışla 28-35 TW olması beklenmektedir [3]. Enerji tüketimindeki bu artış, küresel ısınmanın etkisi ve fosil yakıtlar gibi yaygın enerji kaynaklarının azalması insan yaşamındaki dengeyi tehdit etmeye başlamış ve insanoğlunu yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Bahsi geçen alternatif enerji kaynaklarından bazıları rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji ve güneş enerjisidir. Günümüzde güneş enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi elde etmek oldukça popüler hale gelmiştir. Çünkü güneş enerjisi temiz enerji kaynaklarına en güzel örnektir.

Güneşin enerji kapasitesi ile ilgili olarak, dünyanın 1 saatte güneşten aldığı enerjinin ona 1 yıl boyunca yeteceği ifade edilmektedir [4]. Dünyanın enerji tüketimi yılda ortalama 15 TW iken güneşin sahip olduğu yenilenebilir enerji miktarı yaklaşık 86000 TW mertebindedir [4]. Bu verilere bakarak güneş enerjisini toplamının ve kullanılabilir enerjiye çevirmenin, enerji problemini aşmada önemli bir yere sahip olduğu görülebilir.

Güneş enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi elde edilen yapılara genel olarak güneş pili ya da güneş hücresi denilmektedir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirme düşüncesi ilk olarak 1954 yılında Bell Laboratuvarı'nda yarıiletken katkılarında uygulanmıştır [5]. Yapılan bu çalışmadaki güneş pilinin güç verimi % 6 olarak raporlanmıştır. Bu güneş pilleri birinci nesil güneş pilleriydi. Temellerinde silikon (Si) tabanlı p-n eklem hücreler yatmaktadır. Bu güneş pilleri fotonlardan enerjiyi çıkarmak için son derece saf silikonun tek eklemine kullanılmaktadır. Teorik olarak verimlilikleri % 33 olarak raporlanmıştır [6].

1960’larda Si tabanlı güneş pillerinin verimleri yaklaşık olarak % 11 civarındaydı. Bu güneş pilleri nispeten pahalıydı. Aynı zamanda yalnızca düşük güç uygulamaları için yeterlilerdi. Standart olarak yaygın Si güneş pillerinin verimleri yaklaşık % 15 civarındadır [2]. Geçtiğimiz 50 yıl boyunca Si tabanlı güneş pillerinin verimlerini arttırmak için pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların pek çoğu, daha iyi ışık soğurulması, iç ışık tuzaklaması için arka yüzey yansıtıcı olduğu ince piller ve rekombinasyon etkileri nedeniyle meydana gelen kayıpları azaltmak için pasifleştirilmiş pil yüzeyleri ile ilgiliydi. Ancak bu güneş pillerini üretmek oldukça pahalı olduğundan bilim adamları ikinci nesil güneş pillerini geliştirme yoluna girdiler. İkinci nesil güneş pilleri ince film güneş pilleri olarak adlandırılmıştır. Bu konu hakkında ilk çalışma 1980 yılında Wolf ve Spitzer tarafından yapılmıştır [7]. Bu güneş pillerinin temelinde kristal Si, bakır indiyum (CuIn), galyum selenür (GaSe) [8] ve kadmiyum tellür (CdTe) [9] gibi malzemeler bulunmaktadır. Birinci nesil güneş pillerine göre oldukça ucuz olmalarına karşın verimleri düşüktür.

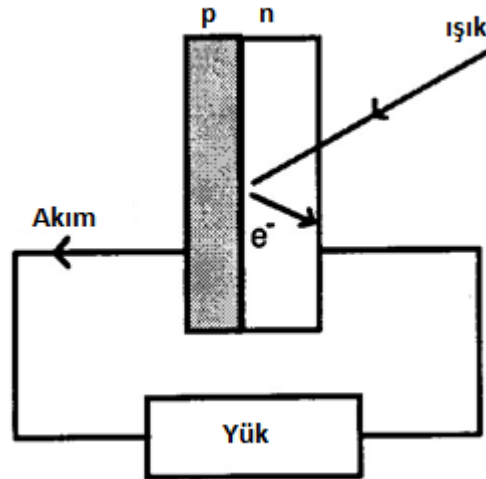
Son yıllarda ise yeni organik fotovoltaiik (FV) malzemelerin keşfedilmesiyle organik güneş pili tabanlı üçüncü nesil FV yapılar bilim adamları için oldukça ilgi çekici hale gelmiştir. Bu yapılar esnek olduğu için plastik hücreler olarak da isimlendirilir. Bu yapılarda hedeflenen verim % 30 – 60 arasındadır. Pek çok bilim adamının organik güneş pillerini kullanarak enerjiyi toplamak için farklı yapılar ve malzemeler üzerinde çalışmasına rağmen yapılan çalışmaların halen ticarileştirme adına yeterli seviyede olmadığı söylenebilir. Geçmiş yıllarda yapılan farklı iki çalışmada bu aygıtların verimleri % 4 – 5 olarak raporlanmıştır [10-11].

Bu tez çalışmasında da bir organik güneş pili yapısı olan saydam alüminyum çinko oksit (AZO) filmlerin karakterizasyonu ve birbiriyle karşılaştırılması yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Fotovoltaik Etki Ve P-N Eklem

Organik güneş pillerinin fiziğini anlamak için öncelikli olarak geleneksel inorganik kristal Si güneş pillerinin işlevlerini anlamak gerekir. Saf, katkısız bir tek kristal Si levhasında, valans elektronlarının bağlanma ve anti-bağlanma durumlarındaki enerji seviyelerindeki farklılığın sonucu olarak bir band aralığı ( $E_g$ ) oluşmaktadır. Yani, düşük enerji seviyeleri fazlasıyla doludur ve en yüksek enerji seviyeleri de Fermi-Dirac istatistiğine [12] göre termal uyarımın bir sonucu olarak birkaç dolu durumun istisnası ile çoğunlukla boş durumdadır. Elektriksel iletkenliğin gerçekleşmesi için kristaldeki valans elektronları çeşitli yollarla uyarılarak iletim bandına çıkarılmalıdır. Bu yollardan biri de yapıya ışık göndererek foton enerjisinden yararlanmaktır. Aynı zamanda Fermi seviyesinin yeri değiştirilerek de yapının elektriksel özellikleri değiştirilebilir. Eğer bir kristal yarıiletken n-tipi veya p-tipi bir katkı atomu ile katkılanırsa Fermi seviyesi band aralığının ortasından valans bandı veya iletkenlik bandına doğru kayar.

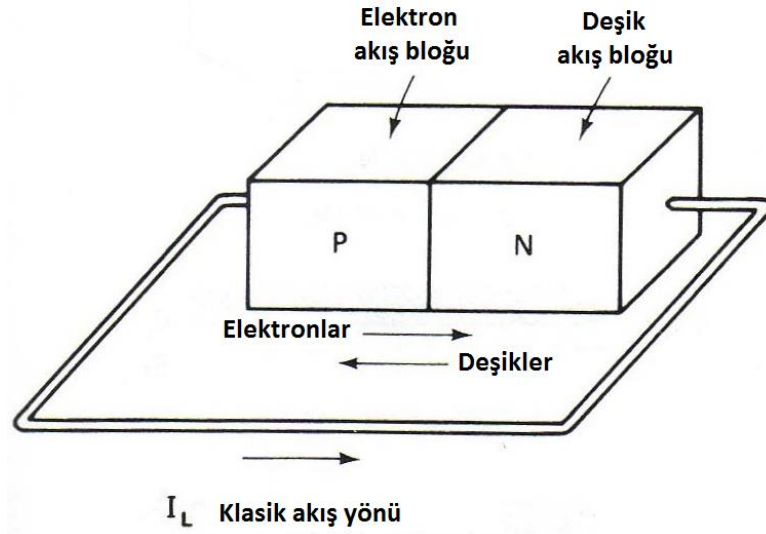


Şekil 2.1. Fotovoltaik etkinin basit şematik gösterimi.



Şekil 2.1’de fotovoltaik etki basit olarak şematik bir şekilde gösterilmiştir. Şekilde gösterilen ışıktaki fotonların enerjisi en az yarıiletkenin band aralığı ( $E_g$ ) değerine eşitse ya da ondan büyükse ( $h\nu \geq E_g$ ), valans bandındaki deşik ile iletkenlik bandındaki elektron ile serbest elektron – deşik çifti (EDÇ) meydana gelir. Eğer bu üretilen EDÇ, tüketim bölgesinin difüzyon uzunluğu (Si için 10 – 100  $\mu m$ ) içerisinde olursa, elektron ve deşik dâhili bir elektrik alanla ayrılabilir ve zıt elektrotlarda toplanabilir. Bu sonuç önemlidir. Çünkü fotovoltaik etki yük ayrımı ve toplanması için bir asimetri gerektirir.

Bir güneş hücresi fotovoltaikleri kuran temel bir blok gibi düşünülebilir. Bu hücre şekil 2.2’deki gibi iki uçlu bir aygıt gibi düşünülebilir. Bu aygıt karanlıkta bir diyot gibi davranır ve güneş ışınlarından gelen fotonlar ile yüklendiği zaman bir fotovoltaj üretir ve bir  $I_L$  akımı meydana gelir.



**Şekil 2.2.** Bir p-n eklem güneş pilinde konvansiyonel akım akış yönü.

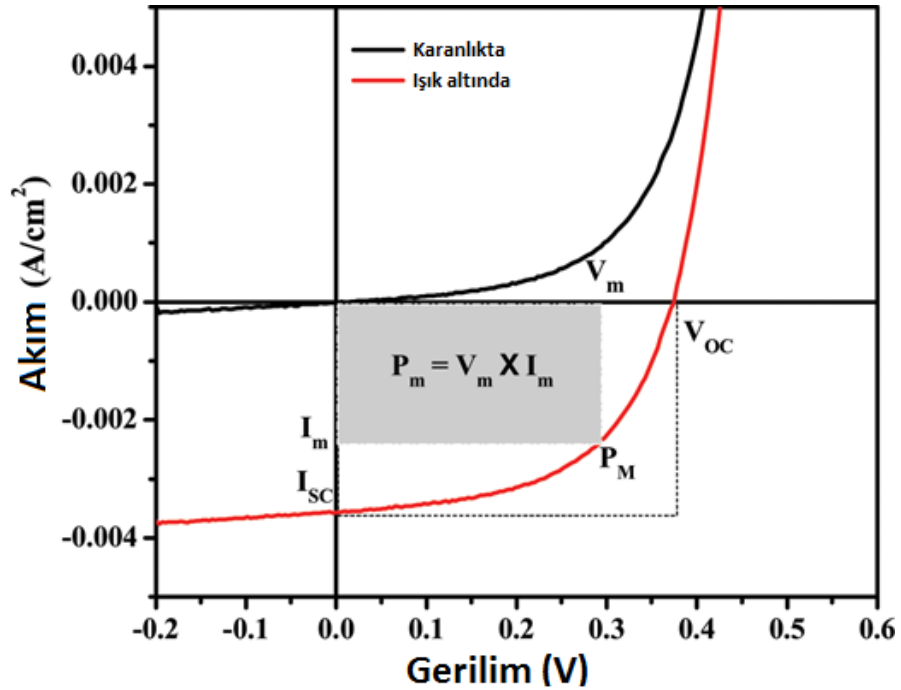
Elbette güneş pillerinde verim konusu önemlidir. Optik güçten maksimum oranda faydalanılırsa güneş pilinin verimi de ona bağlı olarak artacaktır. Bunun için de p-n eklem güneş pilinde geniş yüzeye sahip bir eklem alanı olması avantajlı olacaktır. Elektron-deşik çiftlerinin eklem bölgesine ulaşabilirliği maksimum olacak şekilde

ayarlanırsa verim de o oranda artacaktır. Aynı zamanda gelen fotonların yüzeyden yansımalarını azaltacak ve taşıyıcıların yüzeyde birleşmesini azaltacak kaplamalar da kullanılabilir. Güneş pillerinin verimi ile ilgili detaylı bilgilere bölüm 2.2’de yer verilmiştir.

## 2.2. Güneş Pillerinin Temelleri

Bu bölümde organik güneş pilleri ile ilgili bazı tanımlamalara ve karakteristik özelliklerini ve verimini belirleyen bir takım parametrelere yer verilmiştir.

Güneş pillerinin performansını tanımlamak için yaygın olarak kullanılan en önemli parametreler, açık-devre gerilimi ( $V_{OC}$ ), kısa-devre akımı ( $I_{SC}$ ), doldurma faktörü (DF) ve güç dönüşüm verimi ( $\eta$ )’dir.



Şekil 2.3. Bir güneş pilinin tipik akım-gerilim grafiği.

Şekil 2.3'te bir güneş pilinin karanlık ve aydınlatılmış şartlar altında tipik akım-gerilim karakteristikleri görülmektedir. Kısa-devre akımı, herhangi bir harici potansiyel uygulanmaksızın aydınlatma altında güneş pilleri ile üretilmiş akım olarak tanımlanır. Açık-devre gerilimi, terminal uçlar boyunca akan herhangi bir akım olmadığı zaman aydınlatma altında güneş pillerinin iki ucu arasındaki potansiyel farklılıktır.  $DF$  ise, güneş pili tarafından üretilen maksimum güç ( $P_{max}$ ) olarak tanımlanır. Bu tanımlara detaylı olarak yer verilecektir.

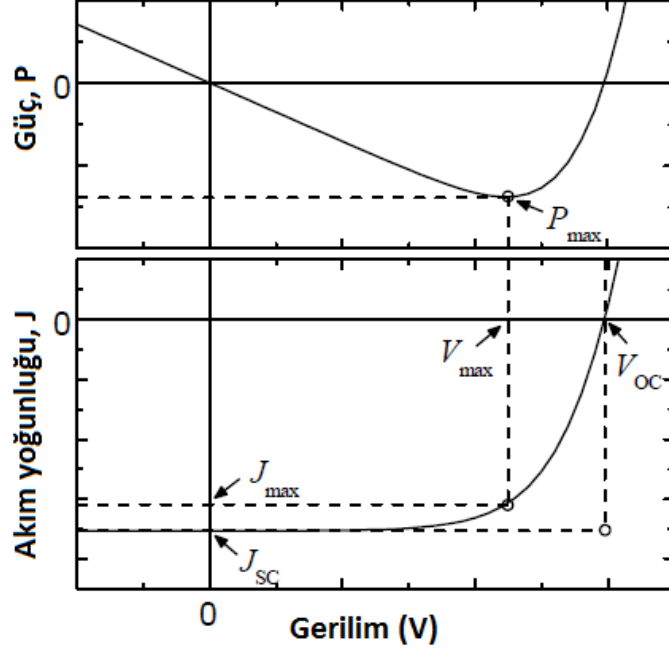
Güneş pili tasarımı ve karakterizasyonundaki diğer bazı önemli parametreler, spektral duyarlılık ( $R$ ) ve kuvantum verimdir. Spektral duyarlılık, güneş pilinden ortaya çıkan akımın oranı olarak tanımlanır. Kuantum verim ise, yük fotonu başına toplanan elektron-deşik çifti sayısıyla tanımlanır.

Yukarıda belirtilen açıklama akım yoğunluğu-gerilim ilişkisi ile de açıklanabilir. Karanlıktaki ölçümde, çok verimli inorganik ve organik güneş pillerinin akım yoğunluğuna karşılık gelen gerilim ( $J$ - $V$ ) karakteristikleri, ileri yöndeki ön gerilimlemede yüksek akım ve ters yöndeki ön gerilimlemede düşük akım tepkisi veren diyodun eksponansiyel tepkisini andırmaktadır. Diyot davranışına ilave olarak, aygıt üzerine düşen ışık sayesinde hücrede bir fotovoltaj oluştuğunu ifade etmiştik. Aydınlatma altında  $J$ - $V$  karakteristikleri, karanlıktaki karakteristiğinin ve oluşan fotovoltaj karakteristiğinin ideal olarak üst üste binmiş halidir.

İdeal bir aygıtın  $J$ - $V$  karakteristiği Schockley denklemi ile tanımlanabilmektedir. Bu denkleme bir ilave foto-akım terimi  $J_f$  eklenmesiyle,

$$J = J_0[\exp(eV/nKT) - 1] - J_f \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilebilir [13]. Bu ifadede bulunan  $J$ , akım yoğunluğunu,  $V$ , uygulanan gerilimi,  $J_0$ , diyodun ters doyum akım yoğunluğunu,  $e$ , elementer yükü,  $n$ , idealite faktörünü,  $k$ , Boltzmann sabitini ve  $T$  de sıcaklığı göstermektedir.



**Şekil 2.4.** Bir güneş pilinin gerilime karşılık güç ve akım yoğunluğu grafikleri.

Şekil 2.4, güç üretim bölgesi için bir güneş pilinin J-V eğrisini göstermektedir. Gerilime karşılık güç yoğunluğu, üretilen voltaj ve akım yoğunluğu çizilmiştir. Bu grafikte bazı parametreler de ön plana çıkmaktadır. Buradaki  $V_{OC}$ , açık-devre voltajına,  $J_{sc}$ , kısa-devre akım yoğunluğuna karşılık gelmektedir. Ayrıca bu grafikte ilgili olarak doldurma faktörü (DF) ve güç dönüşüm verimi ( $\eta$ )'den de bahsedilecektir.

### 2.2.1. Açık-Devre Voltajı

Şekil 2.3'teki grafikte görülen  $V_{OC}$  gerilimi,  $J = 0$  iken güneş pilinin üzerinden geçen açık-devre gerilimidir.  $J = 0$  iken güç, akım ve gerilimin ürünüdür. Aslında bu gerilimde güç üretilmez. Ama gücün üretilebildiği gerilimler için  $V_{OC}$  sınırları belirtir.

### 2.2.2. Kısa-Devre Akımı

Yukarıdaki ifade edilen  $V_{OC}$ 'ye benzer olarak  $V = 0$  iken söz konusu olan akım yoğunluğu kısa devre akım yoğunluğu olarak ifade edilir ve  $J_{SC}$  sembolü ile gösterilir. Bu durum aslında birbiri ile kısa devre olan iki elektrodun durumuna benzerdir. Bu noktada güç üretilmez. Fakat  $J_{SC}$ , güç üretiminin başlamasını göstermez. İdeal aygıtlarda  $J_{SC}$ , foto-akım yoğunluğu  $J_f$ 'ye benzeyecektir.

### 2.2.3. Doldurma Faktörü

$V_{OC}$  ve  $J_{SC}$  güneş pilinde güç üretiminin sınırlarını gösterirken, üretilen maksimum güç  $P_{max}$ , maksimum gerilim değeri  $V_{max}$  ve maksimum akım yoğunluğu  $J_{max}$ 'da elde edilir. Bu nokta,  $J$  ve  $V$ 'nin minimumunda olduğu durumun veya mutlak değerde maksimumda olduğu durumun ürünüdür [13]. Şekil 2.4'te bu durum görülmektedir. Bu yapıdaki diyot davranışı, ilave direnç ve yeniden birleşim kayıplarından dolayı  $|J_{max}|$  ve  $V_{max}$  her zaman için sırasıyla  $|J_{SC}|$  ve  $V_{OC}$ 'den daha küçüktür. İşte bu noktada doldurma faktörü (DF) adı verilen bir çarpan devreye girer ve bu farklılıkları tanımlar. DF,

$$DF = \frac{J_{max}V_{max}}{J_{SC}V_{OC}} \quad (2.2)$$

şeklinde tanımlanır [13]. DF,  $J_{max}$  ve  $V_{max}$ 'in  $J_{SC}$  ve  $V_{OC}$ 'in güç üretim sınırlarına nasıl yaklaştığını göstermektedir. Aynı zamanda  $J_{SC}$  ve  $V_{OC}$ 'yi birbirine bağlayan eksponansiyel J-V eğrisindeki eğriliğin keskinliğini de göstermektedir. Daha yüksek DF, daha yüksek maksimum güç ile ilgili olduğu için, elbette yüksek DF istenmektedir. Ancak güneş pillerinin diyot benzeri davranışından dolayı DF, her zaman bir öncekinden daha düşük değerde sonuçlanır.

### 2.2.4. Güç Dönüşüm Verimi

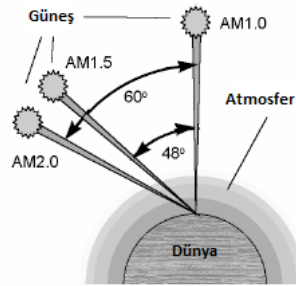
Güneş pillerinin verimleri ile alakalı olarak yapılan en büyük tartışmalardan birisi de güç dönüşüm verimidir. Bu parametre  $\eta$  sembolü ile gösterilmektedir. Tanım olarak

ise, çıkış gücüne dönüşebilen yük parlaklığı  $I_L$ 'nin yüzdesidir. Buradaki  $I_L$ , birim alan başına düşen ışık gücü olarak da ifade edilebilir. Çıkış gücü yüke bağlıdır. Tutarlılık için, maksimum çıkış gücü verimliliği hesaplamak için kullanılır. Aşağıdaki verilen denklemlerle ifade edilebilir:

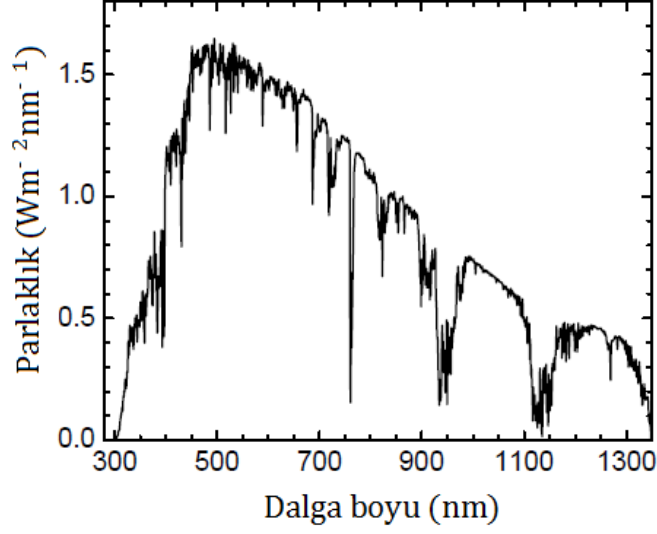
$$\eta = \frac{J_{max}| \times V_{max}}{I_L} \times 100 \% = \frac{DF \times |J_{sc}| \times V_{oc}}{I_L} \times 100 \% \quad (2.3)$$

Denklem 2.3'ten de görüldüğü üzere DF,  $J_{sc}$  ve  $V_{oc}$ ,  $\eta$ 'ni doğrudan etkilemektedir. Ayrıca akım yoğunluğunu hesaplamak için kullanılan alan da  $\eta$ 'ni etkilemektedir ve büyük alan aygıtlar için verim hesaplandığı zaman ızgara ve ara bağlantılar gibi güneş pilini bütünleyici olan pasif alanlar içermelidir.

Ayrıca, güç dönüşüm verimi ışık kaynağının gücü ve spektrumuna çok fazla derecede bağlıdır. Çünkü güneş pilleri, aynı verimlilik ile tüm dalga boylarında fotonları soğuramaz ve elektrona dönüştüremezler. Çeşitli güneş pilleri arasındaki kıyaslamaları çizmek için,  $\eta$ 'in hesaplanmasında standart bir spektrum seçilmelidir. Dünyanın yüzeyindeki güneş enerjisinin spektrumu konuma, havadaki bulut yoğunluğuna ve diğer faktörlere bağlı olarak değişebilir. Fotovoltaiklerin performansını ölçme ve kıyaslamada atomik kütle (AM) 1.5 spektrumu adı verilen bir standart spektrum yaygın olarak kullanılır. Bu spektrum açık alan kullanımı içindir. AM, aslında dünya atmosferi boyunca güneş ışığının yol uzunluğu ile ilgili bir kavramdır ve tepe noktasından olan açı ile değişmektedir. Şekil 2.5'te AM 1.5 konumu şekilsel olarak gösterilmiştir.



**Şekil 2.5.** Farklı AM spektrumları için güneşin konumları.



**Şekil 2.6.** AM 1.5 spektrumunun dalga boyuna karşılık parlaklık grafiği.

Şekil 2.6’da AM 1.5 spektrumu için dalga boyuna karşılık parlaklık şiddeti verilmiştir. Standart lambalar ile laboratuvarda bu spektrumu oluşturmadaki zorluklardan dolayı, güç dönüşüm verimi ölçümleri harici kuvantum verimine dayalı bir düzeltmeyle olur.

### 2.2.5. Harici Kuantum Verimi

Bir aygıtın harici kuvantum verimi (HKV), akıma dönüşen yük fotonları bölümüdür ve dalga boyuna bağlıdır. Dalga boyuna bağlı olmasının nedenlerinden birisi, aktif katmanlardaki soğurmanın dalga boyunun bir fonksiyonu olmasıdır. Diğer bir nedeni ise, bilhassa inorganik güneş pillerinde, aygıtta soğurulan fotonun olduğu yerde, yüklerin toplanması veya yeniden birleşmesi ve kaybolması ile sonuçlanma olasılığını etkilemektedir.

Bir ışık kaynağı altında beklenen kısa devre akım yoğunluğu, harici kuvantum veriminden ve harici kuvantum verimi ve foton akış yoğunluğunun üretimini birleştirmeye ışık kaynağının spektral parlaklığından hesaplanabilir. Standart AM 1.5 spektrumu için hesaplama aşağıda verildiği gibi yapılır:

$$J_{SC} = \int_0^{\infty} eHKV(\lambda) \frac{\lambda}{hc} E_{\lambda}^{AM 1.5}(\lambda) d\lambda \quad (2.4)$$

Bu ifadedeki  $E_{\lambda}^{AM 1.5}$ , AM 1.5 spektrumunun spektral parlaklığını,  $\lambda$  dalga boyunu,  $h$  Planck sabitini,  $c$  ışık hızını ve  $e$  de birim yükü temsil etmektedir. Eğer HKV düşük şiddetlerde ölçülmüşse, ideal aygıtlar için beklendiği gibi bu hesaplama, eğer kısa devre akımı parlaklığın lineer bir fonksiyonu ise hatasızdır.

### 2.3. Organik Güneş Pilleri

Geçtiğimiz yıllar içerisinde, temiz enerji kaynaklarından birisi olan güneş pilleri ile ilgili araştırmalar hızla artmaya başlamıştır. Geleneksel silisyum güneş pilleri ve çoklu eklem güneş pilleri gibi inorganik güneş pilleri nispeten tam gelişmiş teknolojilerdir ve bu aygıtların güç dönüşüm verimi kristal silisyum güneş pilleri için yaklaşık % 24.7 limitine [14] yakındır.

Si-tabanlı aygıtlar, tüketici piyasasına güneş pillerini sunmada ön ayak olmuş aygıtlardır. Ancak, üretim aşamaları karışıktır ve güneş pillerini pahalılaştıran adımları gerektirmektedir. Dahası, Si-tabanlı güneş pilleri katıdır ve Si yaprak işleme teknolojisinin sınırından dolayı büyük boyutlarda endüstriyel olarak üretilemez.

Si fotovoltaiğin bu dezavantajlarından dolayı araştırmacılar da güneş pili üretimi için alternatif malzemelere yönelmişlerdir. En çok gelecek vadeden malzemelerden birkaçı da bağlı organik parçalardır. Organik fotovoltaiğin sistemlerin (OFV) doğal özellikleri, onların esnek ve büyük alan fotovoltaiğin piller gerektiren uygulamalarda kullanılabilmesine imkân tanımaktadır. Şekil 2.7'de organik güneş pillerinin mekanik esneklikleri ile ilgili bir görüntü verilmiştir.





**Şekil 2.7.** Organik güneş pillerinin esneklikleri. Eğrilebilir ve yuvarlanabilirler [6].

OFV'lerin düşük üretim ücretlerine, kolaylıkla üretilebilmelerine ve mekanik kararlılığa sahip olmalarına karşın halen daha yeni nesil fotovoltaik sistemler teknolojik gelişim sürecindedir. OFV'ler genellikle küçük-molekül güneş pilleri ve polimer güneş pilleri olarak kategorize edilebilirler. Polimer güneş pillerinin küçük-molekül güneş pillerinden daha iyi dönüşüm verimine ulaştığı 2007 yılında Kietzke ve arkadaşları [15] tarafından raporlanmasına rağmen 2012 yılında Sun ve arkadaşları [16] küçük-molekül güneş pillerinin hızlı gelişimlerinin bir sonucu olarak polimer güneş pilleriyle kıyaslanabilir verimliliklere ulaşabileceğini raporlamışlardır. Organik ince film güneş pilleri için güç dönüşüm veriminin teorik limiti inorganik güneş pillerinkinden daha düşüktür. Solarmer Enerji Şirketi'ne göre 2009 yılında sunulan bir raporda, OFV'lerin ticarileştirilmesi için % 10 kadar bir güç dönüşüm veriminin gerekli olduğu belirtilmiştir [6]. En yüksek beklenen sonuç % 15 güç dönüşüm verimidir. Bundan dolayı, OFV'ler güç dönüşüm verimi yönünden inorganik güneş pilleri ile rekabet edemez. Fakat maliyet, üretim basitliği ve alışılmamış uygulamalar yönünden rekabet edebilir.

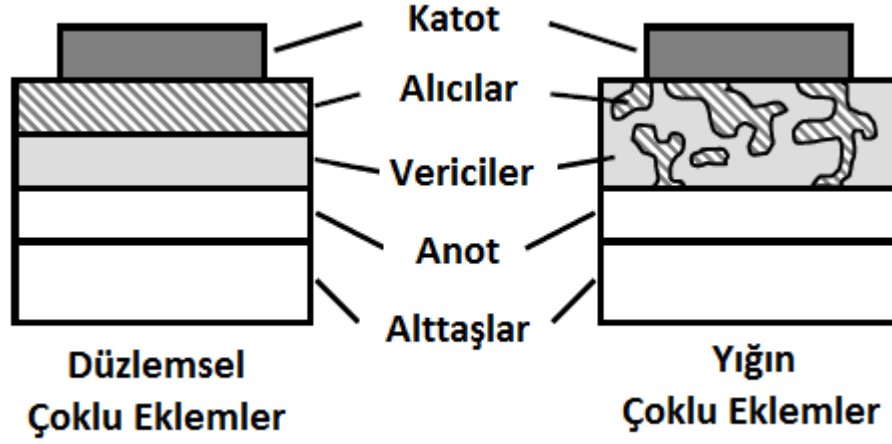
### 2.3.1. Düzlemsel Çoklu Eklemler

İlave edilebilen bazı katmanlar ve yeni malzemelerle düzlemsel çoklu eklem yapıları kullanılarak ilerlemeler sağlanabilmektedir. Yayınlamış bir çalışmada, Copperphthalocyanine (CuPc) / Perylenetetracarboxylicbisbenzimidazole (PTCBI) aygıtlarında güç dönüşüm veriminin, alıcı ve metal katot arasına bir Bathocuproine (BCP) katmanı eklenmesiyle yaklaşık % 2.4'e arttığı gözlenmiştir [17]. BCP katmanı, organik katman ve metal ara yüzeyindeki uyarılmış nükleonların (eksiton) yeniden birleşmesini engellemek için düşünülmüştür. Aynı zamanda bu katmanın ilave edilmesi, metal çökeltisiyle alıcı katmana zarar gelmesini engellemek için de düşünülmüştür. Bu yöndeki diğer bir geliştirme çalışmasında ise, alıcı olarak C<sub>60</sub> fulleren yapısının devreye girmesi olmuştur. Bu sayede ise güç dönüşüm verimi yaklaşık %3.6'ya kadar çıkarılmıştır [18, 19]. Verimdeki bu artış, PTCBI'ya kıyasla C<sub>60</sub>'daki daha uzun eksiton difüzyon uzunluğu ile alakalıdır. Burada bahsedilen eksiton difüzyon uzunluğu, yeniden birleşmeden önce hareket eden eksitonun ortalama mesafesidir. Bu detay, düzlemsel çoklu eklem yapılarında kritik bir detaydır. Çünkü bir ışıkla üretilmiş bir eksiton, deşik ve elektrona ayrılması için alıcı ve verici ara yüzeyi kadar bir mesafede hareket etmelidir. Eksiton difüzyon uzunluğunun kısa olması, organik katmanların kalınlığını sınırlamaktadır.

Düzlemsel çoklu eklemlere eklenen verici malzemelere örnek olarak, pentacene [20, 21], tetracene [22], DCV5T [23], SubPc [24] ve SubNc [25] verilebilir.

### 2.3.2. Yığın Çoklu Eklemler

Küçük eksiton difüzyon uzunluğunun sınırlamalarından bazılarını önlemek için alıcı ve verici katmanlar alıcı – verici ara yüzeyine hareket etmesi gereken eksiton mesafesini minimize etmek için birbiri ile karışabilir. Bu yapılar yığın çoklu eklem yapıları olarak adlandırılır. Şekil 2.8'de bu durum görülmektedir.



**Şekil 2.8.** Düzlemsel çoklu eklem ve yığın çoklu eklem yapılarının şematik gösterimi.

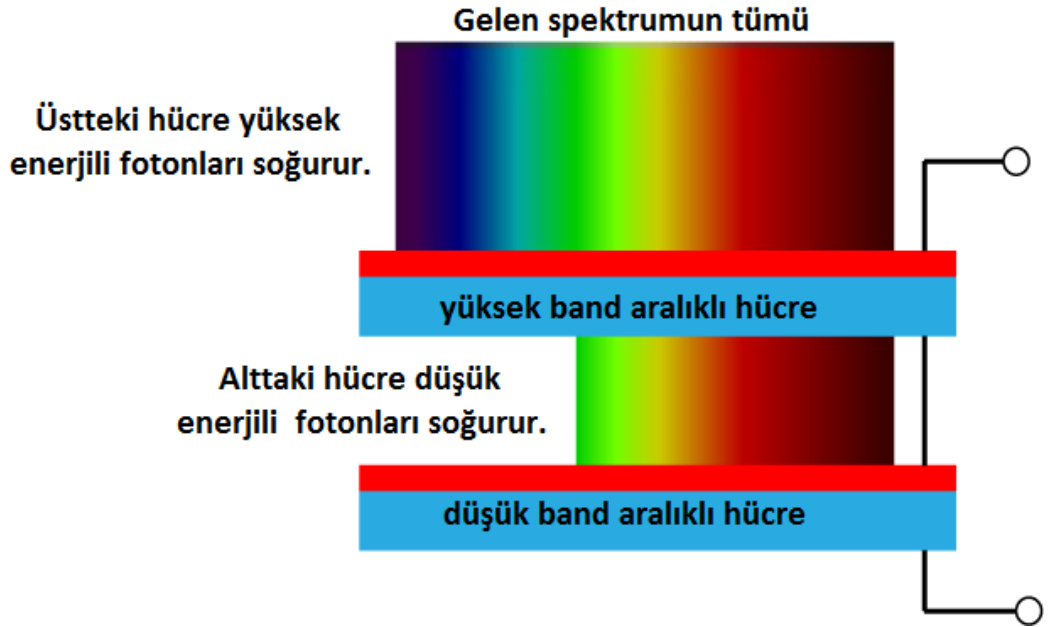
İlk yığın çoklu eklem yapısı Hiramoto ve arkadaşları tarafından alıcı ve vericinin düzenli katmanları arasında serbest metal phthalocyanine (verici olarak) ve perylenetetracarboxylic türevinin (alıcı olarak) yardımcı biriktirme tabakasıyla sergilenmiştir [26]. Oluşturulan bu yapı, karışık katmanların olmadığı aygıtlara kıyasla daha yüksek foto-akıma öncülük etmiştir.

Yığın çoklu eklem yapıları ayrıca organik katmanların çözelti işlenmesine geçişi de kolaylaştırmaktadır. Çözelti işleme ilgi çekicidir. Çünkü kolaylıkla büyük ölçeğe ve vakum işlemeye kıyasla yazdırma gibi yüksek hızlı üretim işlemlerine uygulanabilir.

İlk çözelti - işlenmiş organik güneş pilleri aktif katman için bir karışım içeren, verici olarak MEH-PPV polimerleri ve alıcı olarak cyano-PPV (CN-PPV) polimerleri karıştırılmasıyla sergilenmiştir ve harici kuvantum verimleri % 6'ya kadar arttırılmıştır [27, 28].

### 2.3.3. Birleşik Güneş Pilleri

Birleşik güneş pilleri, toplam soğurmayı ve güneş pilinin verimini arttırmada etkili çözüm sunan yöntemlerden birisidir. Birleşik güneş pilleri genel olarak, ortada bir saydam elektrot ile birbirinin üzerinde doğrudan istiflenmiş iki veya daha fazla güneş pilinden oluşmaktadır. Burada, ortadaki saydam elektrot yeniden birleşim katmanıdır. Gelen ışık, ön hücre boyunca hareket edecektir. Daha sonra saydam elektrota geçecektir ve arka hücre içerisine girecektir. İdeal olarak bir güneş pili şekil 2.9'da görüldüğü gibi seri bağlı iki hücre gibi davranış sergileyecektir.



Şekil 2.9. İki adet seri bağlı birleşik güneş pili yapısının basit şematik gösterimi.

Hiramoto ve arkadaşları termal buharlaştırmayla serbest metal phthalocyanine ve perylenetetracarbyclic türevinin (Me-PTC) iki katmanlı hücreleri arasında altının (Au) ince bir katmanını kullanarak ilk organik birleşik güneş pilini elde etmişlerdir [29]. Düşen ışık yoğunluğundan ve arka hücredeki akımın düşmesinden dolayı tek hücreye kıyasla birleşik güneş pilindeki foto-akımın düşmesine rağmen, yaklaşık 0.6nm'lik bir kalınlıkta altın katmanının dâhil edilmesi iki hücreyi birleştiren bir

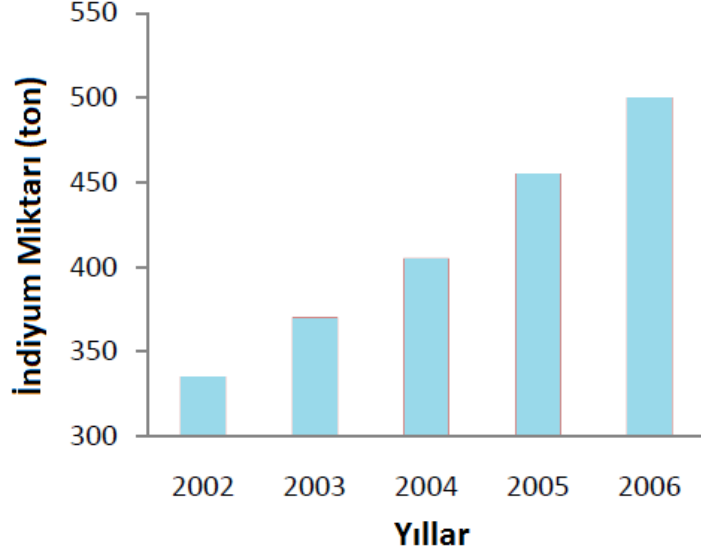
yerinden birleşim konumu olarak yeterlidir ve  $V_{OC}$ 'nin ikiye katlanmasına sebep olur. Au katmanı olmayan hücreler  $V_{OC}$ 'de herhangi bir artış sergilemezler.

#### **2.3.4. İndiyum Kalay Oksit (ITO) ve Eksiklikleri**

İndiyum kalay oksit (ITO), saydam iletken oksit olarak kullanılan yaygın malzemelerden birisidir. ITO, indiyum (III) oksitin (ağırlığıyla % 90 katılan) ve kalay oksitin (ağırlığıyla % 10 katılan) katı bir çözeltilisidir. İnce katmanlarda saydamdır. Yığılma, sarı veya gri hale gelir. ITO dejenere olmuş bir n-tipi yarıiletken oksittir. Band aralığı yaklaşık olarak 3.75 eV'tur [30, 31].

Son zamanlarda, organik elektronik endüstrisinde, katıhal aydınlatma için organik ışık yayan diyot (OLED) film teknolojisi, düz panel ekranlar, geniş alan PV çabaları ve sıvı kristal ekranlar gibi alanlarda önemli bir rol oynamaktadır. Elektriksel iletkenlik ve optik saydamlık arasında tamamlayıcı bir uzlaşma sağlayabilmektedir. OLED ve organik güneş pillerinde anot olarak görev yapmaktadır. Yaygın olarak ITO'nun biriktirilmesi yöntemleri, püskürtme, elektron ışın buharlaştırma veya fiziksel buhar biriktirme içermektedir.

Ancak, indiyum kaynaklarının sınırlı olması ve ITO'nun düz panel endüstrisinde yaygın olarak kullanımını onu pahalı hale getirmiştir. 2006 yılında indiyum kalay oksitin fiyatının 2003 yılındaki fiyatına göre 10 kat artmasında düz ekran piyasasındaki önemli ölçüde üretim artışı sebep olmuştur [32, 33]. Şekil 2.10'da dünya genelinde 2002 ve 2006 yılları arasında üretilen indiyum miktarlarının grafiği verilmiştir. 2006 yılındaki In tüketimi yaklaşık olarak 500 tondur. 2002 yılındakine kıyasla neredeyse 1,5 kat artmıştır. Dünya üzerindeki In rezervlerinin çinko cevherlerindeki In yoğunluklarına dayanarak sadece 16000 ton olduğu belirtilmiştir [34]. Dolayısıyla eldeki verilere göre oldukça az miktarda kaynak olduğu görülmektedir. Dolayısıyla da zaten yüksek olan In fiyatları gelecekte de oldukça pahalı hale gelecektir.



**Şekil 2.10.** 2002 – 2006 yılları arasında dünyada üretilen In miktarları [33].

Ayrıca, ITO malzeme özellikleri bakımından da bazı dezavantajlara sahiptir. Bunlardan bazıları, ITO katmanının esnekliğinin bulunmaması, kimyasal kararlılığının bulunmaması ve In elementinin kolay kırınlılığı ve zehirliliğidir. Yukarıda bahsedilen bütün problemler göz önüne alındığı zaman anot malzemesi olarak ITO haricinde bir malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Bazı alternatif saydam iletken organik malzemeler bilim adamları tarafından incelenmiştir:

- 1) PEDOT : PSS gibi saydam polimer ince filmler. PEDOT : PSS'nin iletkenliği 1000 S/cm'ye kadar çıkarılabilmektedir [35]. Ayrıca, görünür spektrumda saydamdır ve absorpsiyon % 10'dan daha azdır [36]. Buna karşın PEDOT kararlı değildir ve işlenmesi zor ve pahalıdır.
- 2) Karbon nanotüpler (KNT) film kırılgenliğini çözmede mekanik özellikleri nedeniyle güzel bir malzemedir. Ayrıca geleneksel malzemelere kıyasla elektriksel iletkenliği de iyidir [37]. Ama KNT'ler oldukça pahalıdır ve KNT ince filmlerin tek düze dağılımını elde etmek zordur.

- 3) Alüminyum katkılı çinko oksit, galyum katkılı çinko oksit gibi saydam iletken oksitler.

Yukarıda bahsedilen üç alternatif yöntem bilim adamları tarafından çalışılmaktadır. Bu tez için üretilen numuneler de bunlardan birisi olan AZO ince filmlerdir. Şimdi de bu ince filmlere değinelim.

### 2.3.5. Alüminyum Çinko Oksit (AZO) İnce Filmler

Saydam iletken oksit ince filmler ve ekonomik şartların karşılaştırılabilir özellikleri ITO alternatifleri için önerilebilmektedir. ITO yerine alternatif bir saydam iletken oksitin gereken karakteristikleri çizelge 2.1’de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** ITO’nun bazı parametreleri ve alternatif örnek bir saydam iletken oksitin minimum gereksinimleri.

Nicelik	ITO	Saydam iletken oksitler
Saydamlık	% 90	> % 80
İş fonksiyonu	$1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$	$< 1 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$
Kalınlık	100 nm	< 300 nm
Katman direnci	12 $\Omega/\square$	< 100 $\Omega/\square$
Fiyat	Pahalı	Ucuz
Zehirlilik	Evet	Hayır
Rezerv Durumu	Az bulunur.	Çok bulunur.

Saydam iletken metal oksitlerle ilgili daha önce pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların pek çoğunda anot ve deşik taşıma katmanı arasındaki tampon katman olarak görev yapan p-tipi metal oksitler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalarda yaygın olarak çalışılan oksitler  $\text{NiO}_x$  [38],  $\text{CuAlO}_2$  [39],  $\text{CuGaO}_2$  [40] ve  $\text{MoO}_3$  [41] gibi bileşiklerdir.

Günümüzde ise saydam iletken oksitler endüstriyel olarak üretilmeye başlanmıştır. Bazı vericiler yardımıyla, geniş band aralıklı bir oksit seçilmesiyle ve uygun bir elektriksel iletkenlik ile birlikte yüksek saydamlık elde edilebilir. Günümüzde çinko oksit tabanlı filmler, güzel özellikleri ve potansiyel uygulamalar için bilim adamlarının ilgi odağı haline gelmeyi başarmıştır. Organik fotovoltailer, lazer diyotlar ve OLED görüntü teknolojisi, saydam ince film transistörler, biosensörler vb. pek çok uygulamada çinko oksit tabanlı bileşiklerden yararlanılmaya başlanmıştır.

Çinko oksitlerin yüksek oranda iletken saydam malzemeler olarak keşfedilmesi ilk olarak 1982 yılında Minami tarafından olmuştur [42]. Daha sonra 1984 yılında saf çinko oksit ince filmin iletken olduğunu bulmasına rağmen termal kararlılığın yeterli olmadığını ve 150 °C'den daha büyük sıcaklıklarda direncin kararlı olmadığını bulmuştur [43]. Ga, In, Ti gibi bazı elementler de çinko oksit içerisine katılabilir ve böylelikle ince filmlerin özellikleri değiştirilebilir.

**Çizelge 2.2.** Çeşitli katkı elementleri ile katılanmış ZnO filmler için özdirenç değerleri ve katkı oranları.

Katkı elementi	Katkılama yüzdesi (%)	Özdirenç ( $10^{-4} \Omega\text{cm}$ )
Al	1.6 – 3.2	1.3
Ga	1.7 – 6.1	1.2
B	4.6	2.0
Y	2.2	7.9
In	1.2	8.1
Sc	2.5	3.1
Si	8.0	4.8

Çizelge 2.2'de çeşitli katkı malzemeleri ile katılanmış ZnO ince filmlerin özdirençleri ve katkı oranları verilmiştir. Çizelgede verilen değerler incelendiğinde Al, Ga ve B katkılı çinko oksit yapıların diğerlerine kıyasla oldukça yüksek iletkenliğe sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, farklı tekniklerle üretilmiş Al-katkılı ZnO (AZO)



ince filmlerin karakteristik özelliklerine değinilmiştir. İletkenlik özelliklerinin yanı sıra, Al ve Zn elementlerinin ucuz olması, rezervlerinin oldukça fazla olması ve zehirli olmayan elementler olmaları da dikkate değer nicelikleridir.

## 2.4. Ölçüm Yöntemleri

Bu bölümde tez çalışmasındaki numunelerin karakterizasyonu için kullanılan ölçüm yöntemleri ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Ölçüm sonuçları ise 3. bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

### 2.4.1. X-Işını Kırınımı Spektroskopisi (XRD)

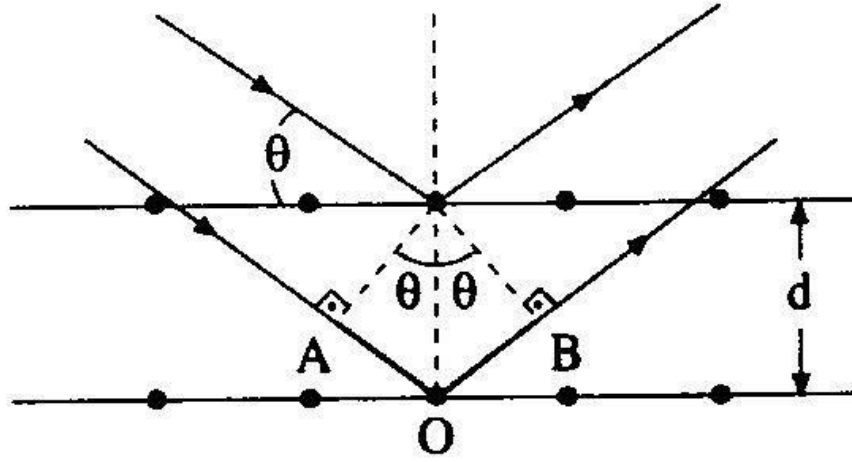
Kristal yapılar üç boyutlu uzayda düzgün olarak tekrarlanan bir deseni temel alırlar. Bu desen her bir yapıya göre farklılık sergilemektedir. Kristal yapının belirlenmesinde kullanılan popüler tekniklerden birisi de x-ışını kırınımı spektroskopisidir. Kristal yapıdaki atomların dizilişleri X-ışını kırınım desenleri kullanılarak ilk kez Max van Laue tarafından incelenmiştir.

Bu teknik özellikle ince filmlerin spektral analizinde çok geçerli bir tekniktir. Çünkü analizde kullanılan X-ışınlarının dalga boyları atomik boyuttadır. Yaklaşık olarak 0.5 Å ile 2.5 Å arasındadır. Bu nedenle de atomların yapısal analizlerini belirlemede etkilidir. Diğer bir avantajı ise X-ışınları numunede herhangi bir tahribata yol açmaz.

X-ışınları kristal yapısı üzerine gönderildiğinde ışınlar katının yüzeyinden küçük geliş açılı ile tam yansımaya uğrarlar ve kristalin paralel düzlemlerinden de saçılmaya uğrarlar. Bu saçılmalara kırınım denilmektedir. X-ışınlarının bu şekilde kristal yapıda kırınımı Bragg yasası ile açıklanmaktadır. Bragg yasası aşağıdaki ifade ile verilmektedir:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.5)$$

Bu ifadeye  $d$ , paralel düzlemler arasındaki mesafeye karşılık gelmektedir. Şekil 2.11’de de bu kırınımın şematik hali görülmektedir. Günümüzde kullanılan x-ışını kırınımı cihazlarında kırınım açısı ve şiddet ölçülür. Şiddet ölçüsünde kırınımın deseni çıkarılır. Çıkarılan desen yardımıyla malzemedeki atomik yapı hakkında bilgi edinilebilir.



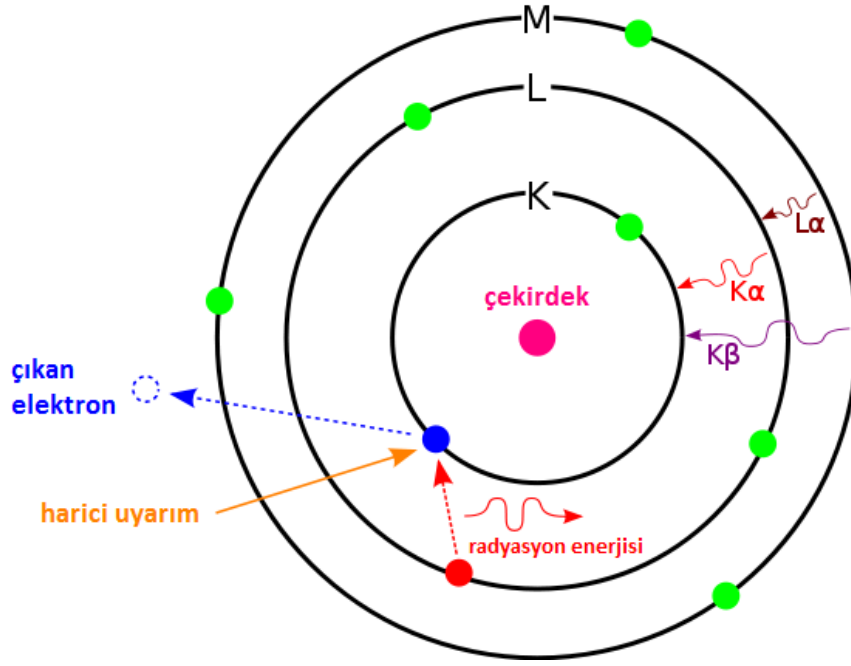
Şekil 2.11. Bir kristal düzleminde x-ışınının kırınımı.

X-ışınları sıcak bir filamandan yayımlanan elektron huzmeleri ile bir metal hedefin bombardıman edilmesiyle üretilir. Burada kullanılan filaman genellikle tungstendir.

#### 2.4.2. Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi

Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX), bir numunenin elemental analizini veya kimyasal karakterizasyonu için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile birlikte kullanılan kimyasal mikro-analiz tekniklerinden bir tanesidir. EDX’in mantığı, analiz edilmiş hacmin elemental bileşimini karakterize etmek için bir elektron ışını ile yapılan bombardıman sırasında numuneden yayımlanan X-ışınlarını algılamaya dayanır.

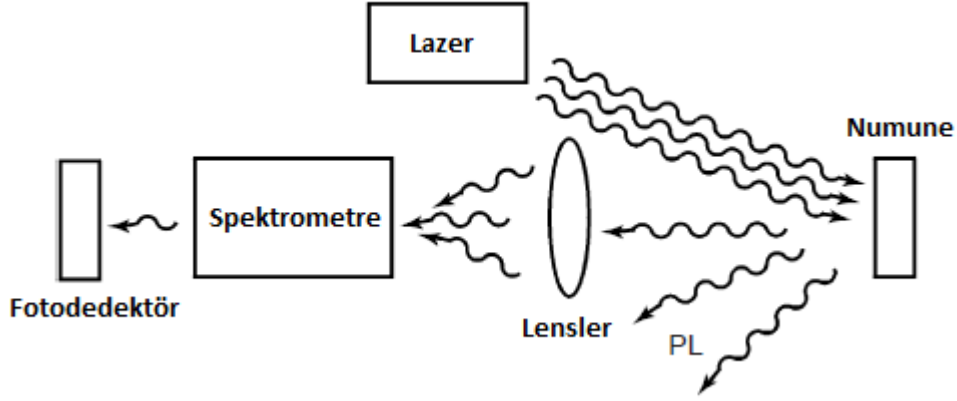
Numune SEM'in elektron ışını ile bombardıman edildiği zaman, elektronlar numunenin yüzeyini kapsayan atomlardan ayrılırlar. Oluşan elektron boşlukları daha yüksek bir durumdan elektron ile doldurulur ve iki elektron durumu arasındaki enerji farklılığını dengelemek için bir x-ışını yayınlanır. Yayınlanan x-ışınının enerjisi elementin karakteristiğini yansıtır.



Şekil 2.12. EDX analiz yönteminin temeli.

### 2.4.3. Fotolüminesans (PL) Spektroskopisi

Fotolüminesans (PL), optik uyarım altındaki bir malzemedeki yayımlanan ışığın doğal salınımıdır. Uyarım enerjisi ve şiddeti, numunedeki farklı bölgeleri ve uyarım yoğunluklarını araştırmak için seçilir. PL araştırmaları malzeme parametrelerinin çeşidini karakterize etmek için kullanılabilir. PL sinyalinin şiddeti, yüzeyler ve ara yüzeylerin kalitesi hakkında bilgiler verir.



**Şekil 2.13.** PL ölçümleri için tipik deneysel bir düzenek.

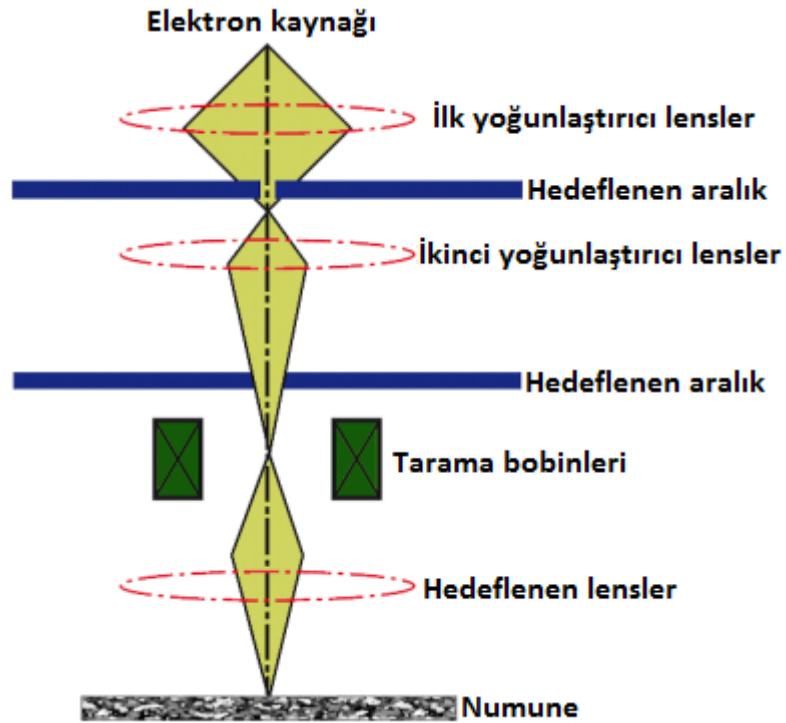
#### 2.4.4. Raman Spektroskopisi

Raman spektroskopisinin temeli, bir numunenin görülebilir bölge veya yakın kızıl ötesinde monokromatik ışıktan oluşan güçlü bir lazer kaynağıyla aydınlatılmasıyla saçılan ışını belli bir açıdan ölçülmesine dayanır. Numunedeki moleküllerin şiddetli bir ışık demeti ile etkileşmesi sırasında eğer soğurma olayı gerçekleşmiyorsa ışığın saçılması olayı meydana gelir. Burada 2 tür saçılma mevcuttur. Işığın saçılması sırasında saçılan ışığın büyük bir kısmının sahip olduğu enerji, madde ile etkileşen ışığın enerjisine eşittir. Bu tür saçılma olayına Rayleigh saçılması denir. Elastik saçılma olayıyla birlikte ışığın çok az bir kısmı da elastik olmayan saçılmaya uğrar. Buna da Raman saçılması adı verilir.

Bu saçılmalardan Rayleigh saçılmasında, Raman saçılmasına kıyasla yaklaşık  $10^4 - 10^5$  kat daha fazla şiddetli bir ışık saçılır. Buna karşın Rayleigh saçılması bir tek pik verir ve titreşim geçişleri hakkında bilgi vermez. Işıkla etkileşen molekülün titreşim enerji düzeyleri arasındaki enerji farkı, saçılan ışığın enerjisi ile molekül ile etkileşen ışığın enerjisi arasındaki enerji azlığı veya çokluğudur. Bu nedenle Raman saçılmasının spektroskopik olarak incelenmesi ile de moleküllerin titreşim enerji düzeyleri hakkında bilgi edinilebilir. İşte bu spektroskopik yöntem Raman spektroskopisi adı verilir.

## 2.4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), elektronların odaklanmış ışınları ile numunenin taranması sonucu görüntülerini çıkarır. Elektronlar numunedeki atomlarla etkileşirler, bu etkileşme sonucunda algılanan çeşitli sinyaller üretirler. Bu sinyaller yüzey topografisi ve bileşim hakkında bilgiler vermektedir. Elektron ışını genellikle hücresel tarama deseninde taranır ve ışının konumu algılanan sinyal ile görüntü oluşturmak için birleştirilir. SEM, 1 nm'den daha iyi çözünürlüğe ulaşabilmektedir. Numuneler, yüksek vakumda, düşük vakumda ve ıslak koşullarda gözlemlenebilirler. SEM'in temel kısımları şekil 2.14'te görüldüğü gibidir.



Şekil 2.14. SEM'in temel kısımlarının basit şekilsel gösterimi.

En yaygın SEM modu, elektron ışını ile uyarılmış atomlarla soğurulan ikincil elektronların algılanmasıdır. Numunenin taranması ve özel bir dedektör ile ikincil

elektronların toplanmasıyla yüzeyin topografisi çıkarılır. Geleneksel bir SEM cihazı aşağıdaki kısımları içermektedir;

- 1) Elektron kaynağı
- 2) Elektromanyetik lenslerle elektronların gezdiği sütun
- 3) Elektron dedektörü
- 4) Numune haznesi
- 5) Görüntüleri gözlemek için bilgisayar sistemi

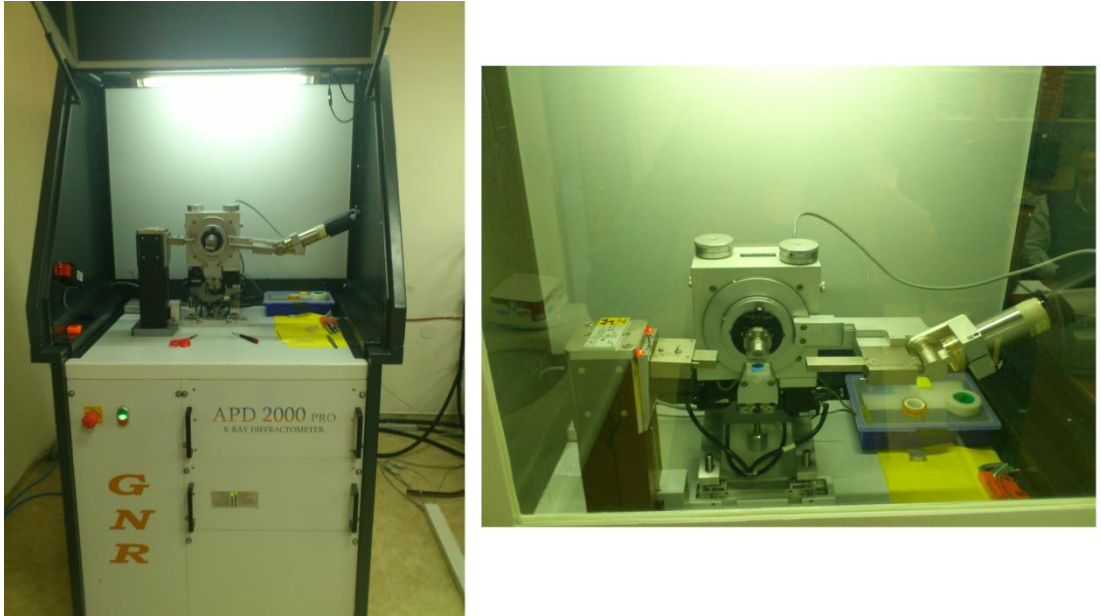
Elektronlar sütunun üstünde üretilir, numunenin yüzeyini vuran elektronların yoğunlaştırılmış ışınını üretmek için lensler ve aralıkların kombinasyonu vasıtasıyla aşağı hızlandırılır. Numune, hazne odasındaki bir kısma yerleştirilir ve mikroskop düşük vakumlarda çalışmak için tasarlanmadığı sürece sütun ve hazne odasının her ikisi de pompaların kombinasyonu ile boşaltılır. Vakum seviyesi mikroskobun tasarımına bağlıdır.

Numune üzerindeki elektron ışınının konumu hedeflenen lensler üzerinde bulunan tarama bobinleri ile kontrol edilir. Bu bobinler, numune yüzeyi üzerinde taramayı sağlar. Elektron – numune etkileşiminin sonucu olarak sinyaller üretilir. Daha sonra bu sinyaller uygun dedektörlerle algılanır.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3.1. XRD Analiz Sonuçları

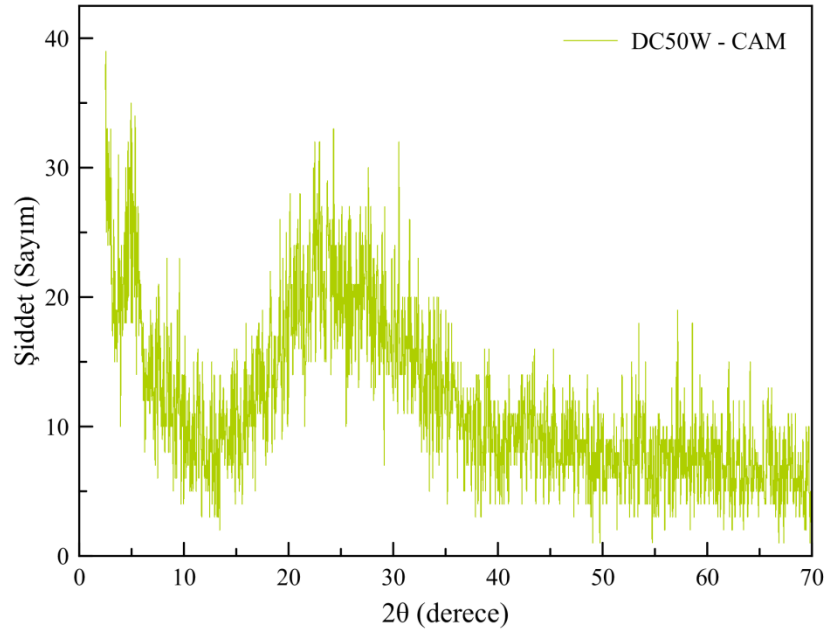
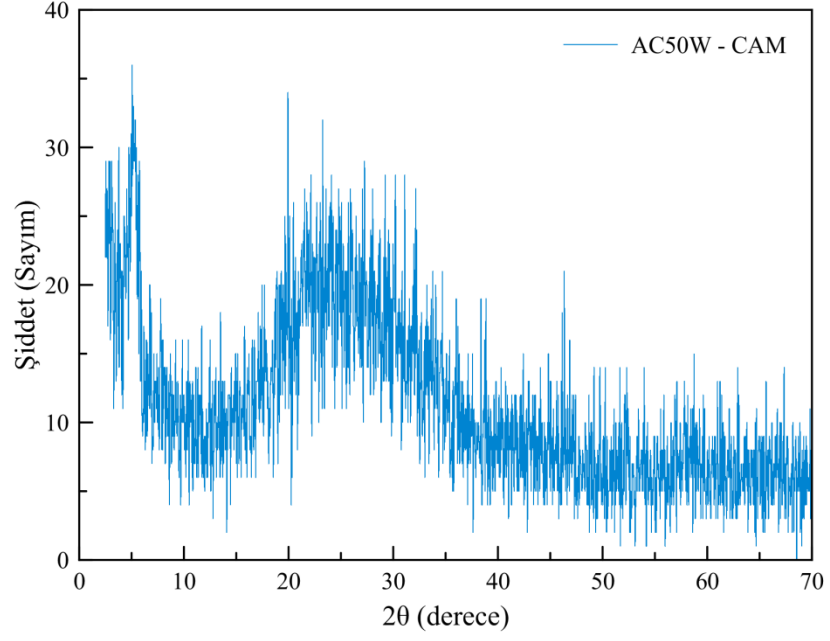
Öncelikli olarak bu tez çalışması için hazırlanmış 4 farklı numunenin XRD analizi gerçekleştirilmiştir. Deneysel inceleme, Gazi Üniversitesi bünyesinde bulunan Fotonik Araştırma ve Uygulama Merkezi'ndeki GNR APD 2000 Pro X-ışını kırınım ölçerinde (Şekil 3.1) gerçekleştirilmiştir. Cihazın anot tipi bakır (Cu)'dır.



**Şekil 3.1.** Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesindeki GNR APD 2000 Pro X-Işını kırınım ölçeri.

Dört farklı numune için de ölçüm gerçekleştirilmiştir. Öncelikle kıyaslama aynı alttaş üzerinde büyütülen filmlerin AC ve DC püskürtme yöntemlerine göre yapılacaktır. Sonrasında ise aynı püskürtme yöntemi ile cam üzerinde ve Si üzerinde büyütülmüş ince filmlerin kıyaslaması yapılacaktır. Ölçümler  $2\theta = 2.5$  dereceden başlayarak  $0.04$  derecelik adımlarla yaklaşık olarak  $2\theta = 70$  dereceye kadar gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.2’de 50 W’lık AC ve DC güç ile cam üzerinde büyütülen AZO ince filmlerin XRD analiz sonuçları görülmektedir.

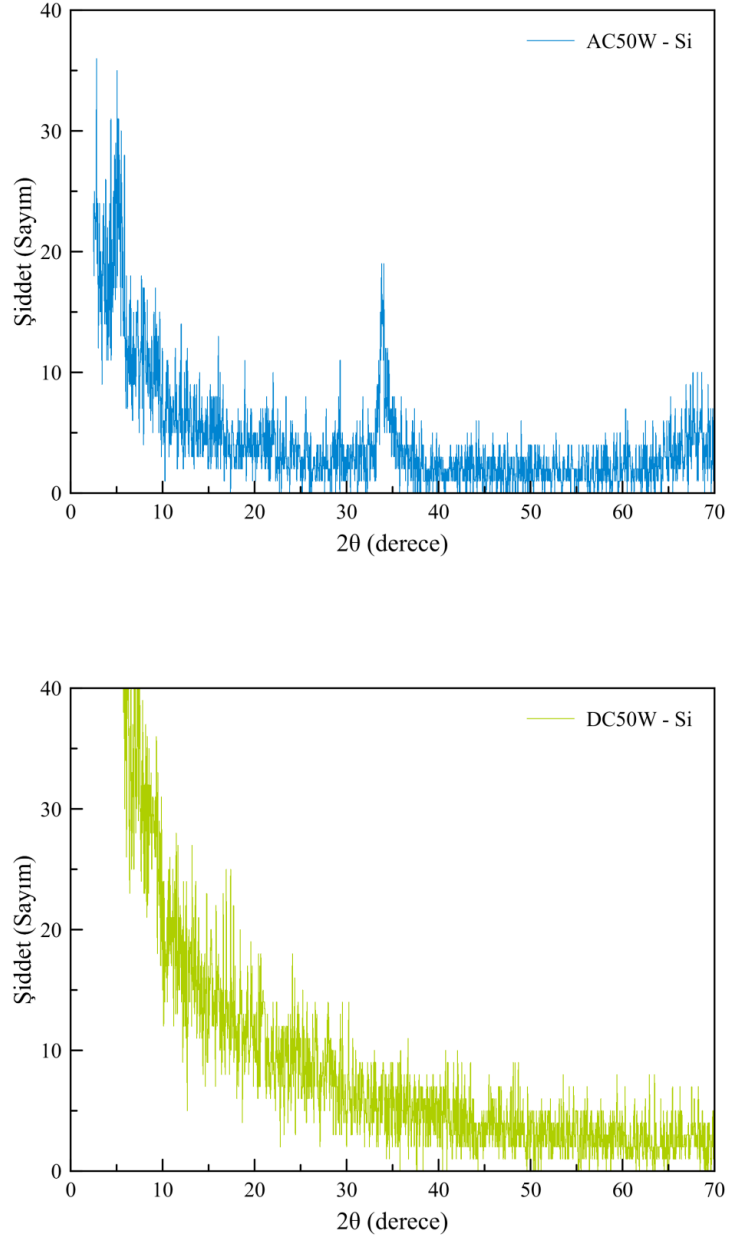


**Şekil 3.2.** Cam üzerinde AC 50 W ve DC 50 W güç ile büyütülmüş AZO ince filmlerin XRD analiz sonuçları.



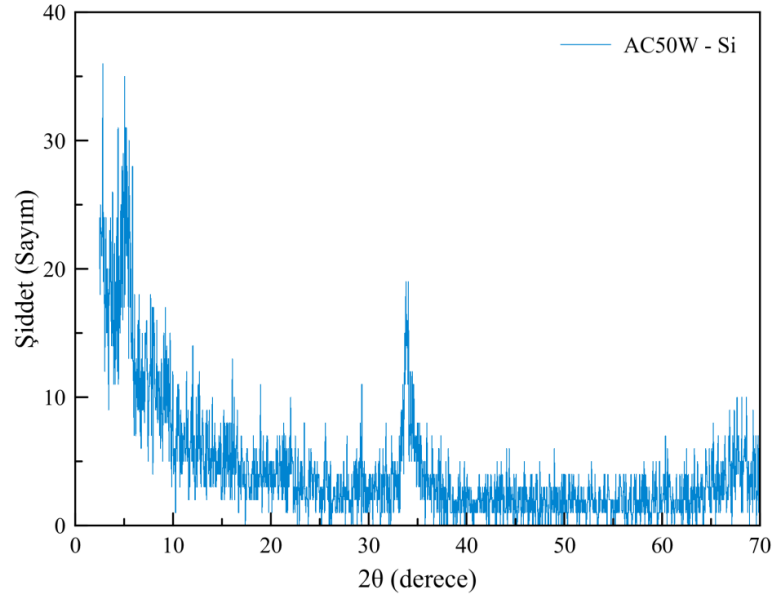
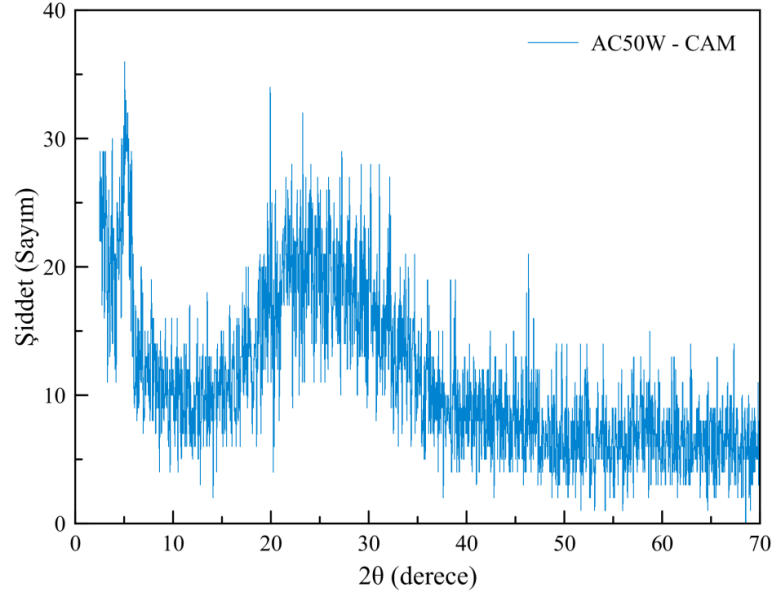
Şekil 3.2 incelendiğinde her iki yöntemle büyütülen AZO ince filmlerin XRD analizlerinin birbirine yakın karakterler sergilediği görülmektedir.

Şekil 3.3'te ise 50 W'lık AC ve DC güç ile Si üzerinde büyütülen AZO ince filmlerin XRD analiz sonuçları görülmektedir.

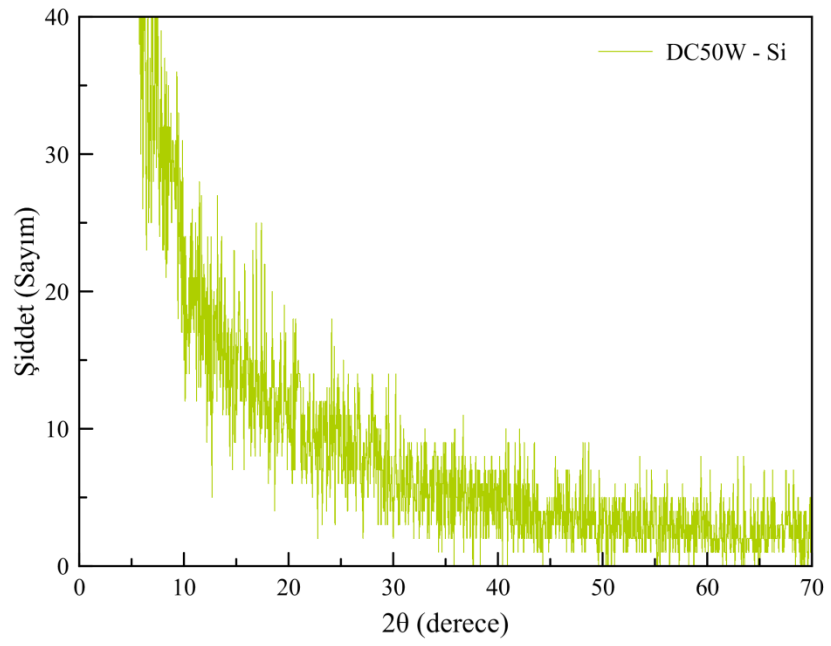
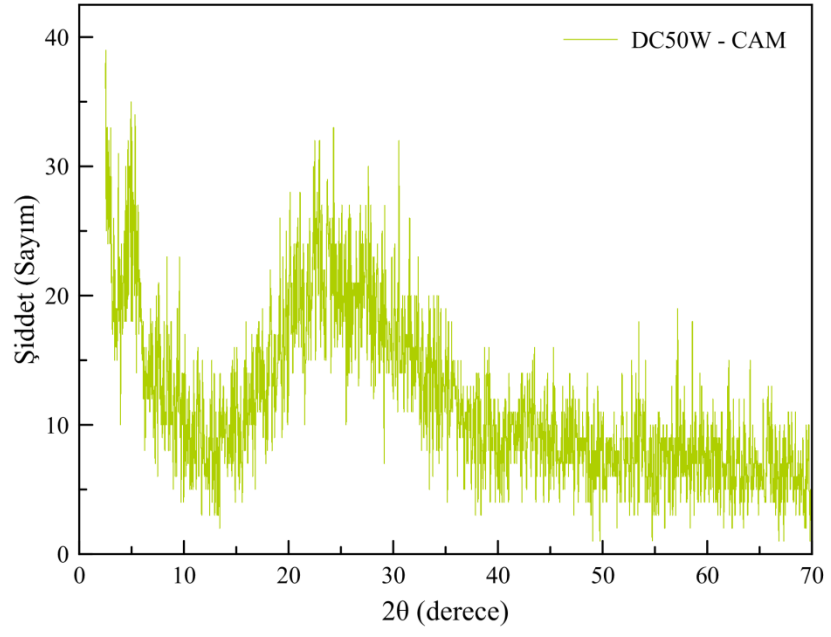


**Şekil 3.3.** Si üzerinde AC 50 W ve DC 50 W güç ile büyütülmüş AZO ince filmlerin XRD analiz sonuçları.

Şekil 3.3 incelendiğinde elde edilen sonuçlarda bazı farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu farklılıklardan bir tanesi AC 50 W – Si grafiğinde yaklaşık  $2\theta = 34$  derecede görülen piktir. Diğer bir farklılık ise DC 50 W – Si grafiğindeki yaklaşık  $2\theta = 10$  dereceye kadar olan noktalarındaki şiddet pikleridir.



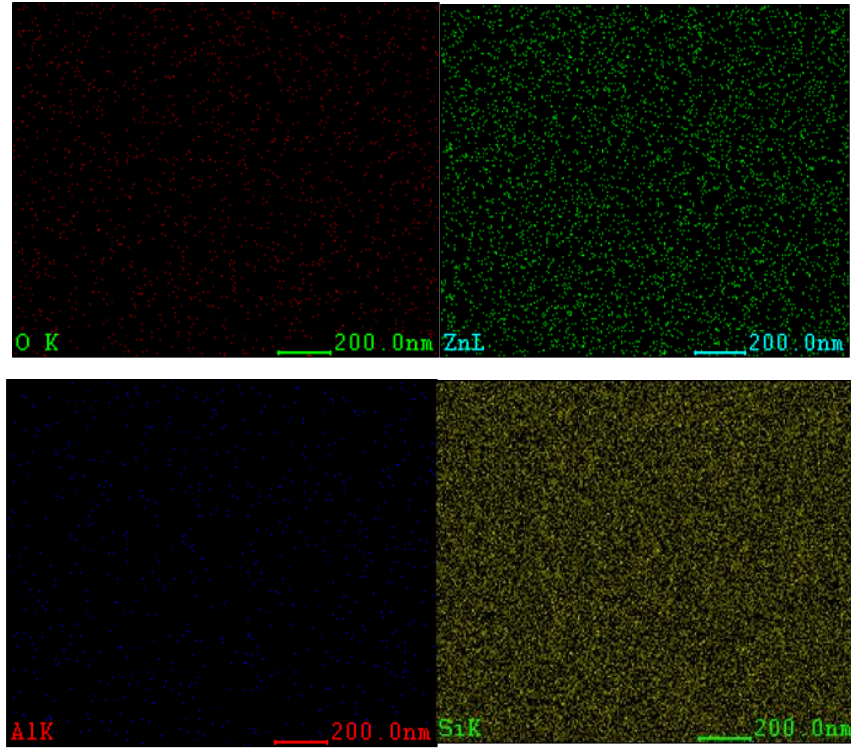
**Şekil 3.4.** AC 50 W ile cam ve Si üzerinde büyütülmüş AZO ince filmlerin XRD analiz sonuçları.



**Şekil 3.5.** DC 50 W ile cam ve Si üzerinde büyütülmüş AZO ince filmlerin XRD analiz sonuçları.

### 3.2. EDX Analiz Sonuçları

Bu çalışmadaki EDX analizleri UALR SEM görüntüleme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar şekil 3.6’da ve çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.6. AC ve DC güçleri uygulanarak üretilen örneklerin EDX görüntüleri.

Çizelge 3.1. DC 50 W güç uygulanarak üretilen örneklerdeki elementlerin yüzde oranları.

50 W DC		
	Wt % (ağırlık yüzdesi)	At %
OK	6.94	12.54
ZnL	14.17	6.26
AlK	0.71	0.76
SiK	78.18	80.44

**Çizelge 3.2.** AC 50 W güç uygulanarak üretilen örneklerdeki elementlerin yüzde oranları.

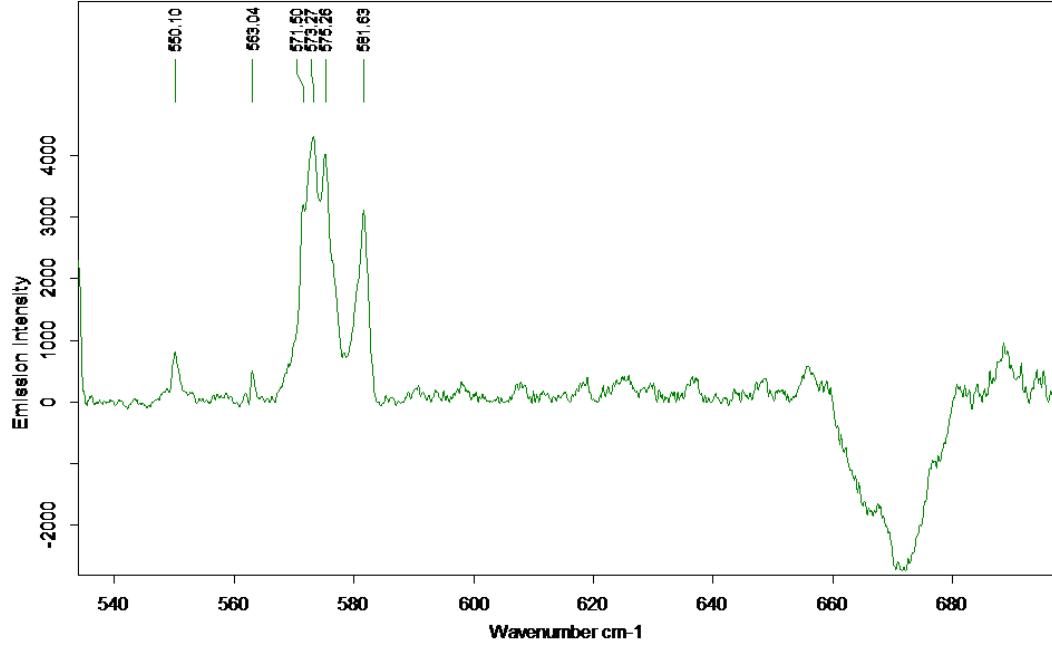
<b>50 W AC</b>		
	Wt % (ağırlık yüzdesi)	At %
OK	7.62	13.96
ZnL	14.53	7.11
AlK	0.84	0.91
SiK	77.06	78.02

Çizelge 3.1 ve 3.2'deki örneklerde bulunan oksijen yüzdelerine bakıldığında, genel bir oksijen artışı gözlenmektedir. Bu durumun malzemelerin iletkenliklerini olumsuz yönde etkileyen yegâne temel olduğu düşünülmektedir. Al miktarı ise genel olarak korunmuş gibi görünmektedir. Zn yüzdesi de hemen hemen Al ile bağımlı olarak değişiklikler sergilemektedir. Al ve Zn'nin bağımlı olarak değişmesi zaten beklenen bir sonuçtur. Sebebi ise numunelerin piyasadan temin edilmiş olması ve içerisindeki Al ve Zn miktarlarının belirli olmasıdır. Oranlardaki dalgalanmalar ise şehir gerilimindeki dalgalanmalara bağlı olarak güç kaynağındaki dalgalanmalara bağlanabilir.

50 W AC ve DC için yapmış olduğumuz üretimlerimizde malzemenin kimyasal kompozisyonu bizim için önemlidir. Üretim aşamasında çok az düzeyde alüminyum katkısı yaptık, bu malzemede % 1'in altında alüminyum katkısı yapılmıştı. Bunun doğruluğunu yukarıdaki EDX sonucunda 0.71 değeri ile görmekteyiz. Aynı zamanda alt malzememiz silisyumdur. Bunun da yoğun bir yüzdede olduğu EDX sonucunda görülmektedir.

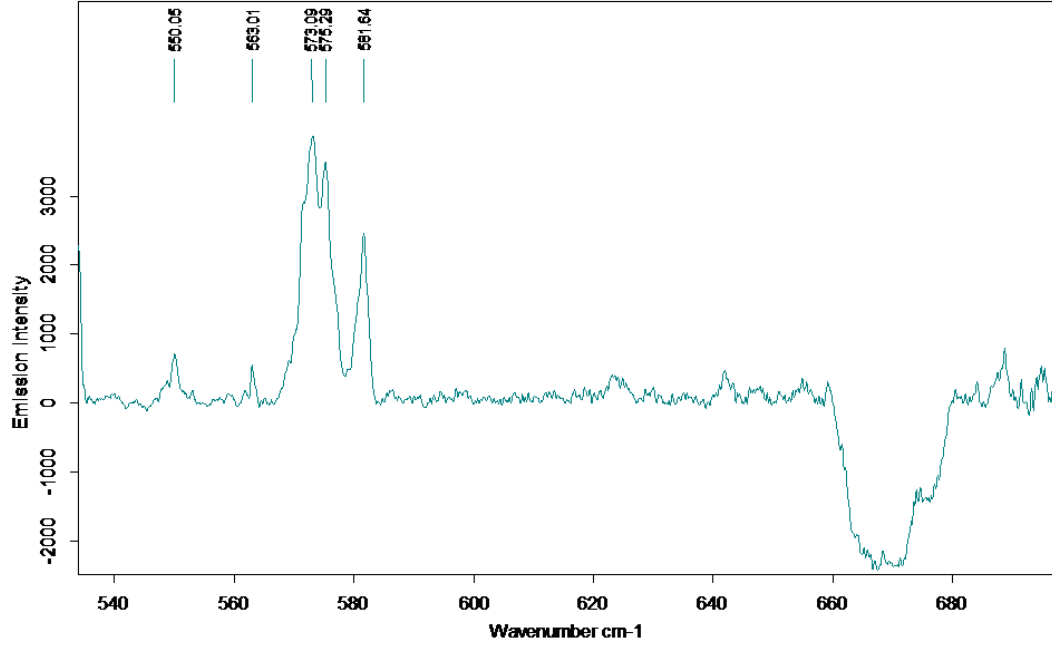
### **3.3. Fotolüminesans (PL) Analiz Sonuçları**

Bu çalışmadaki AC 50 W güç tekniği ile üretilmiş, cam üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin PL grafiği şekil 3.7'de verilmiştir.



**Şekil 3.7.** AC 50 W güç ile üretilmiş numunenin PL grafiği.

AC 50 W ile DC 50 W güçlerde üretilen örneklerin PL sonuçlarına bakılırsa, örneklerin 550–700 nm dalga boyu aralığında saydamlıklarının yaklaşık aynı olduğu söylenebilir. Bu nedenle bu örneğin üretimi için AC veya DC güç kullanılmasına PL sonuçlarına bakılarak karar verilmesi zordur. Bu nedenle EDX sonuçlarına bakılmıştır. AC 50 W güçte üretilen örneğin yüzde olarak oksijen miktarı fazla olduğu için bu yöntemle üretilen örneklerin DC güç uygulanarak üretilen örneklerden daha yüksek öz dirence sahip olacağı düşünülmektedir. Buradan yola çıkılarak örnekler DC güç uygulanarak üretilmiştir.

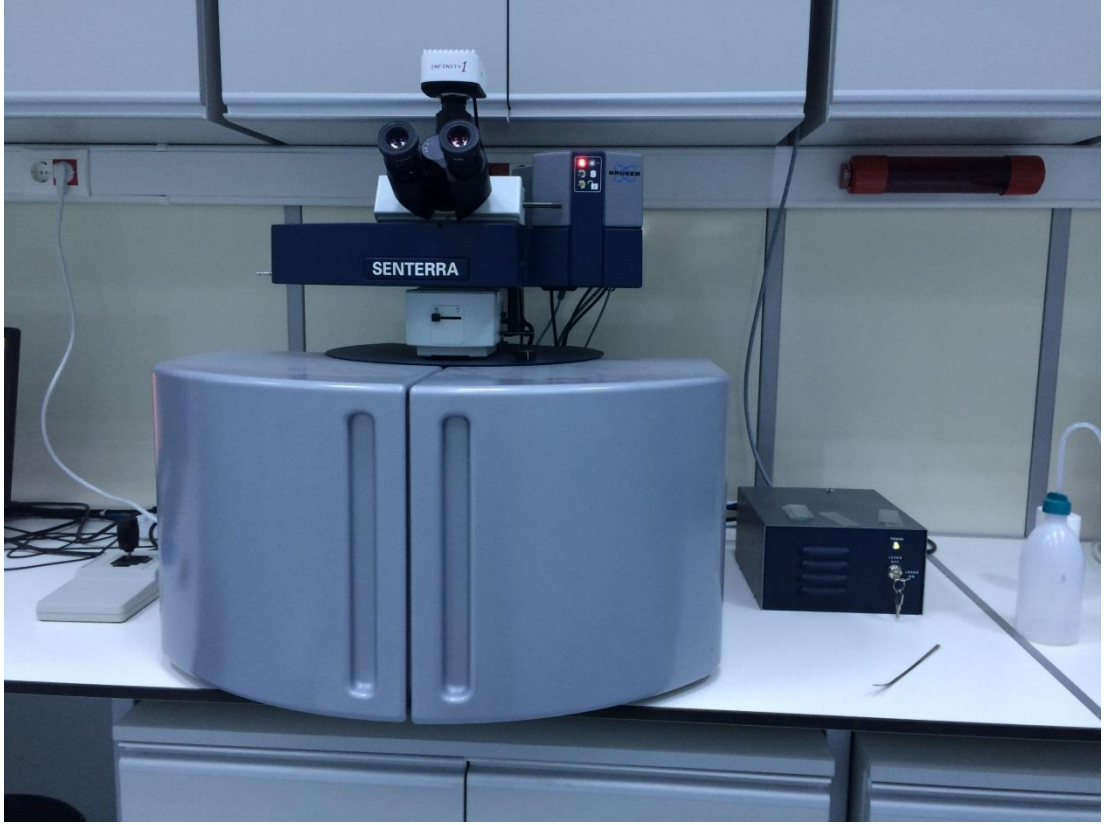


**Şekil 3.8.** DC 50 W ile üretilmiş numunenin PL grafiği.

Şekil 3.8’de ise DC 50 W güç tekniği ile üretilmiş cam üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin PL grafiği verilmiştir. Yukarıda da ifade edildiği üzere DC 50 W için PL grafiği AC 50 W için elde edilmiş PL grafiği ile neredeyse aynı gözükmektedir.

### **3.4. Raman Spektroskopisi Analiz Sonuçları**

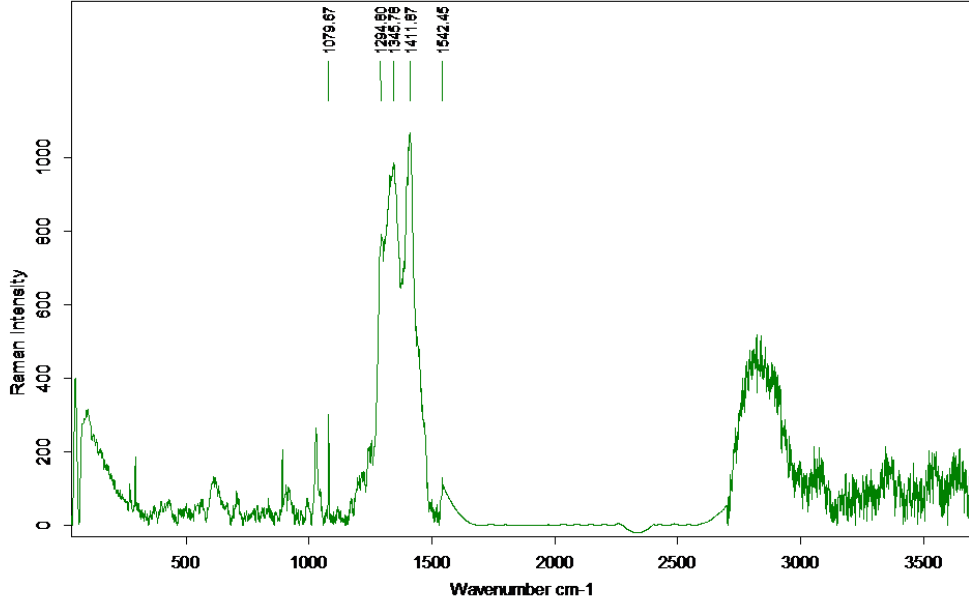
Bu tez çalışması için AC ve DC güç tekniği ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunelerin Raman spektroskopisi ölçümleri Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Merkezi Laboratuvarları (KÜBTAL) bünyesinde bulunan Bruker firmasının ürettiği olduğu şekil 3.9’da gösterilen SENTERRA raman mikroskobu cihazında gerçekleştirilmiştir.



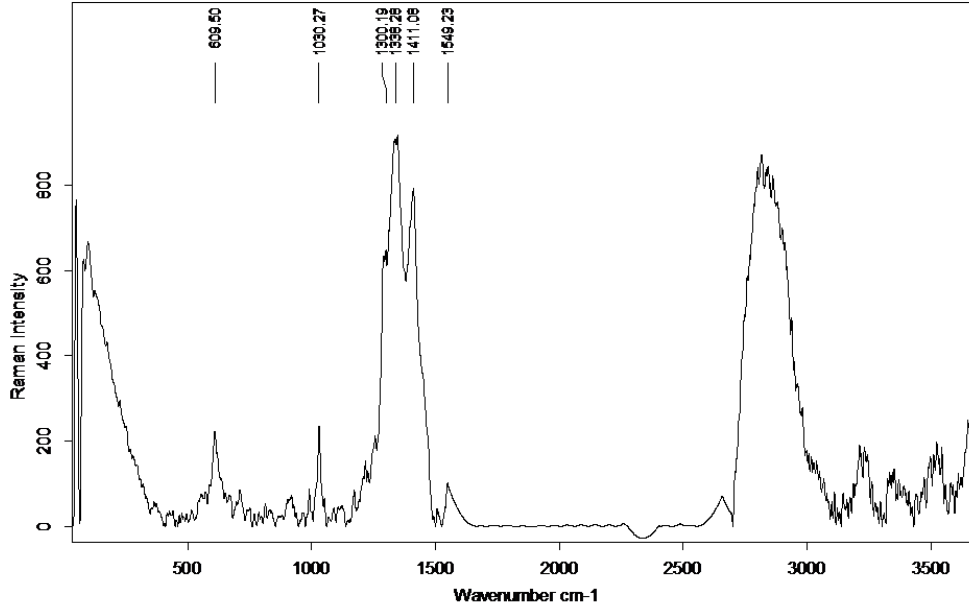
**Şekil 3.9.** KÜBTAL bünyesinde bulunan SENTERRA Raman mikroskobu.

Burada elde edilen numuneler cam alttaş üzerinde büyütülmüştür. AC 50 W güç ile üretilmiş numunenin Raman spektrumu şekil 3.10'da ve DC 50 W güç ile üretilmiş numunenin Raman spektrumu şekil 3.11'de verilmiştir.





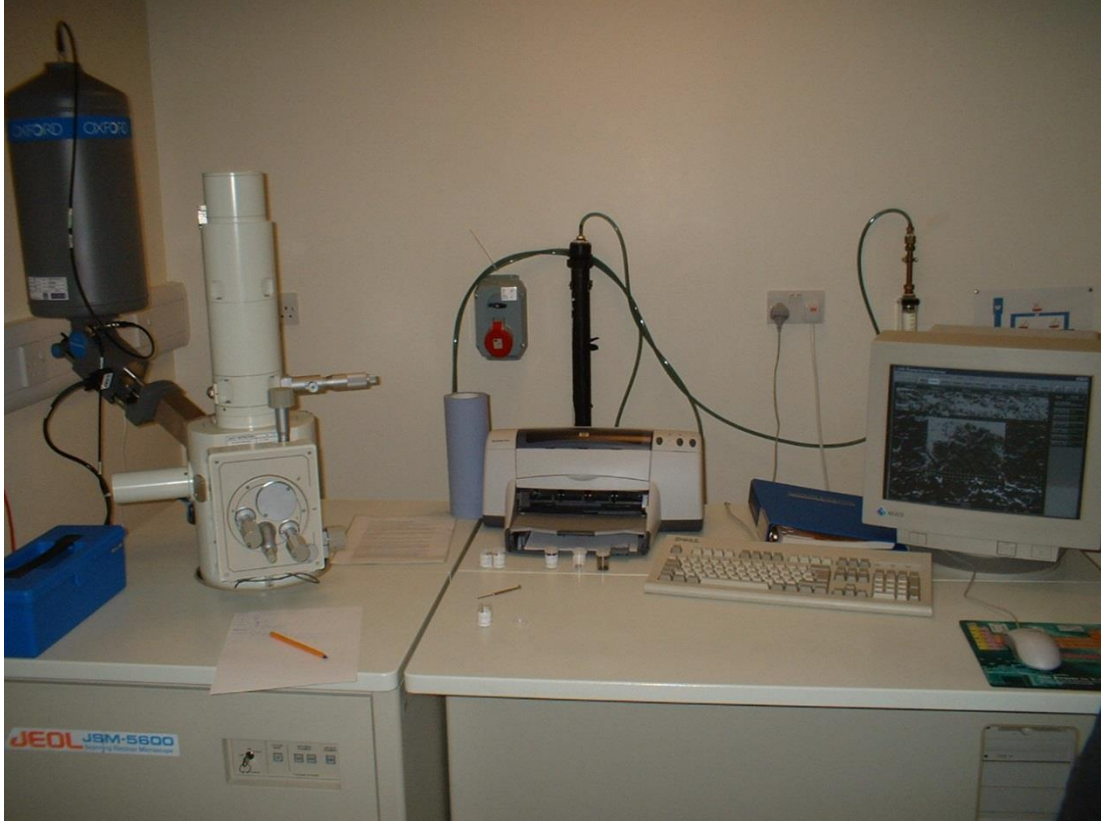
**Şekil 3.10.** AC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin Raman spektrumu.



**Şekil 3.11.** DC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin Raman spektrumu.

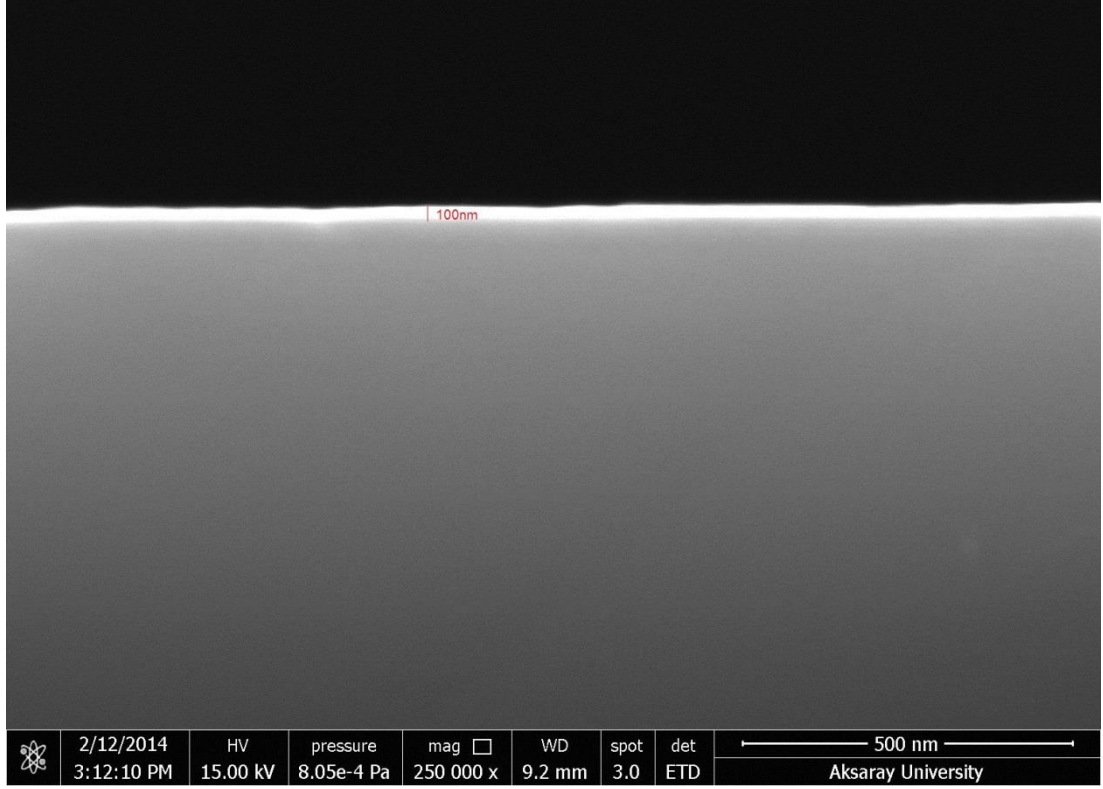
### 3.5. SEM Analiz Sonuçları

Bu çalışmadaki numunelerin SEM görüntüleri KÜBTAL bünyesinde bulunan JEOL firmasının üretmiş olduğu JSM 5600 modeli cihazda elde edilmiştir. Bu cihazın görüntüsü şekil 3.12’de görülmektedir.



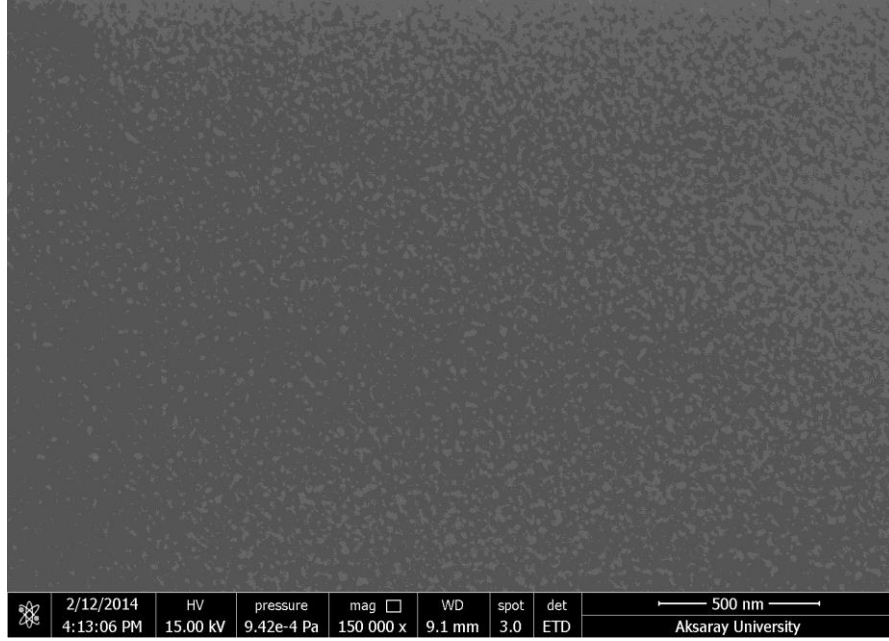
**Şekil 3.12.** JEOL JSM 5600 SEM cihazı.

Şimdi SEM cihazında elde edilmiş görüntülere detaylı olarak yer verilecektir. Üstten görüntüleri ve kesit alanının görüntüleri detaylı olarak gösterilecek ve bunların birbiri ile kıyaslaması yapılacaktır.

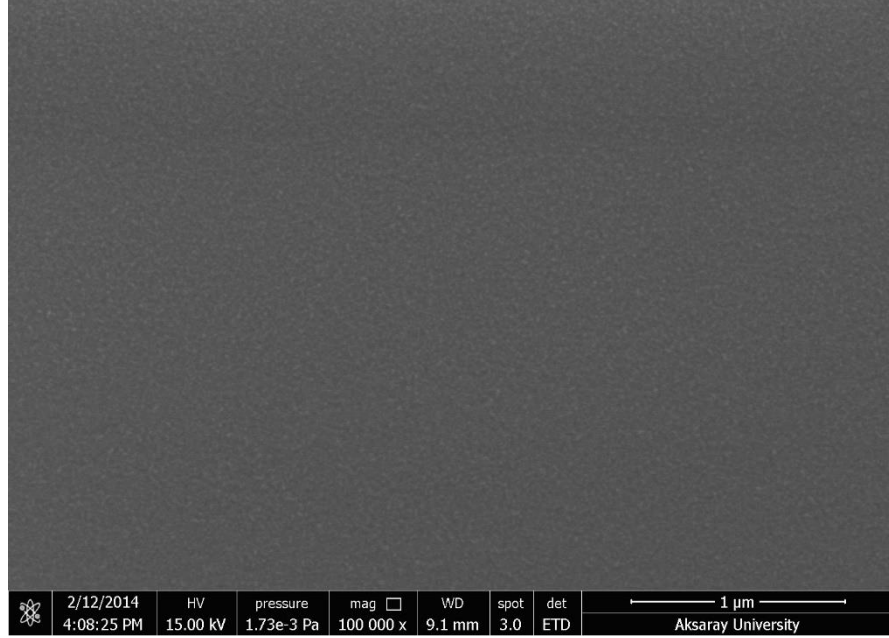


**Şekil 3.13.** AC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin kesit alanının SEM görüntüsü.

AC 50 W güç altında üretilen örneğin, 250.000 büyütmedeki SEM görüntüsünden anlaşılacağı üzere, yandan çekilen kesit alanı kalınlığı 100 nm olarak görülmektedir. Örneğin üstten görüntüsüne bakıldığında ise yüzeyin gayet homojen bir şekilde kaplandığı anlaşılmaktadır. Buradan da örneğin her yerindeki özelliklerinin aynı olduğu söylenebilir.

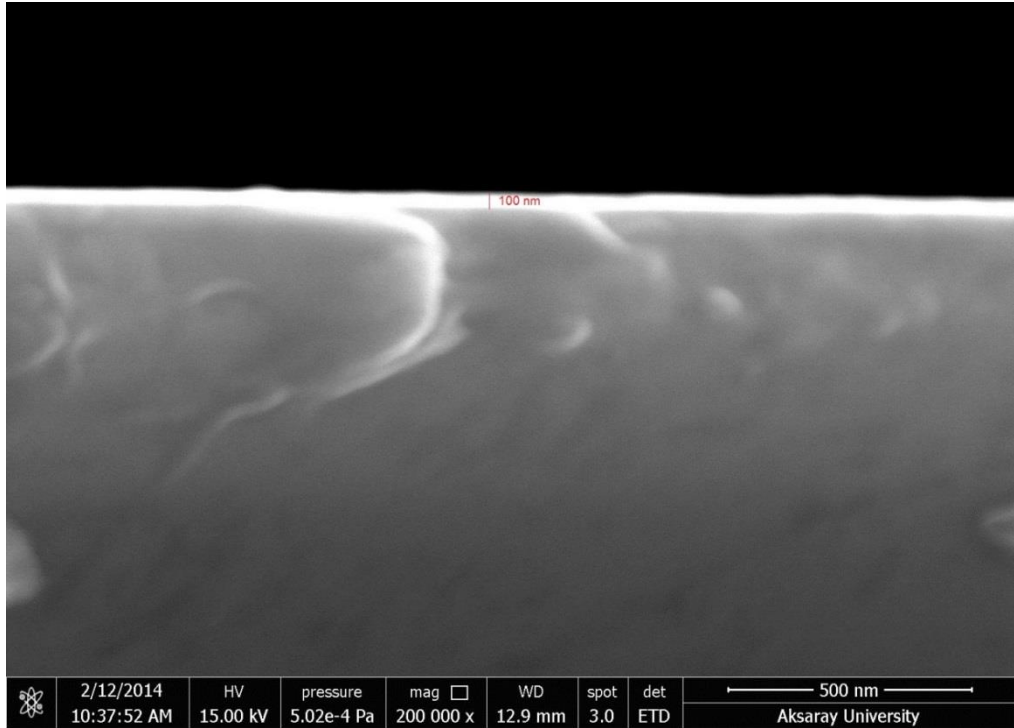


**Şekil 3.14.** AC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin yüzey alanının 500 nm’lik SEM görüntüsü.



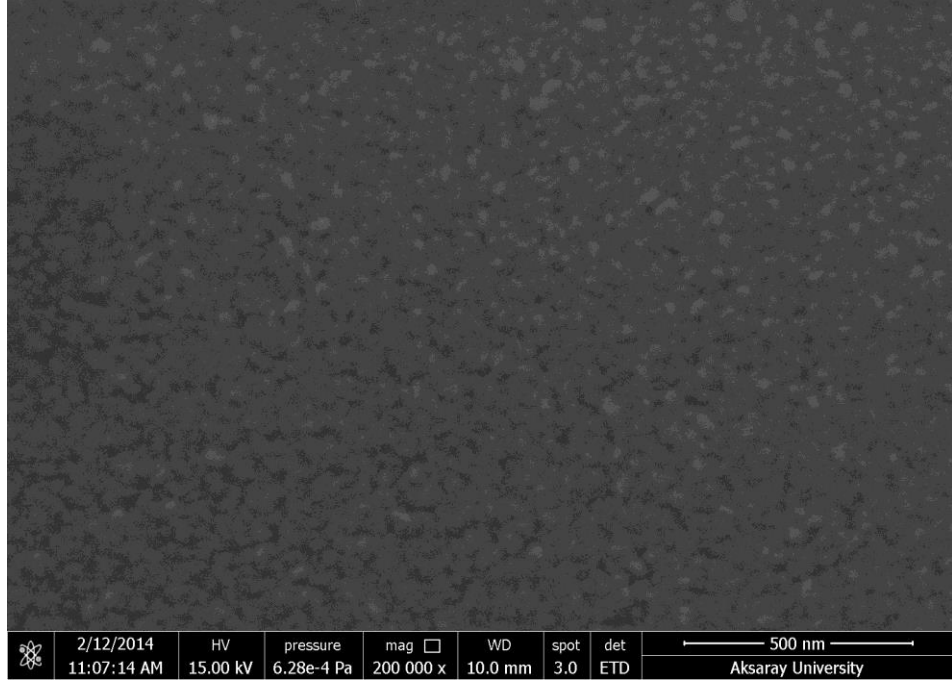
**Şekil 3.15.** AC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin yüzey alanının 1 µm’lik SEM görüntüsü.

AC 50 W'lık güçle ürettiğimiz AZO ince film kaplama işleminde kaplamanın kalınlığı önem arz etmektedir. Yapmış olduğumuz analizde öncelikli olarak malzemenin kaplama kalınlığını belirlemeye çalıştık. Bu işlem için malzememizin kesitinden görüntüleme sağladık. 500 nm ölçekte 15 kV hızlandırma değerinde ikincil elektronlar kullanılarak elde edilen görüntülerden kaplama kalınlığımızın yaklaşık 100 nm olduğu görülmüştür.

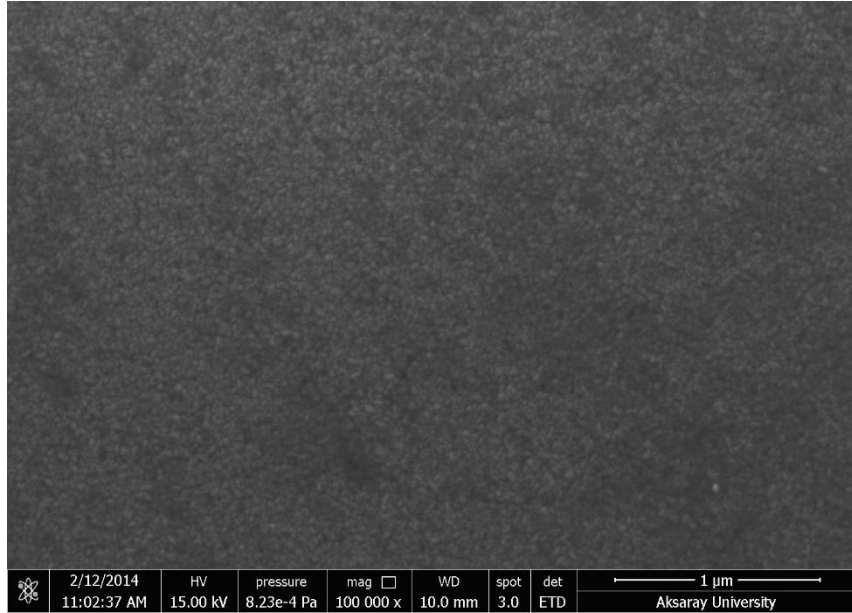


**Şekil 3.16.** DC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin kesit alanının SEM görüntüsü.

DC 50 W'lık güçle ürettiğimiz AZO ince film kaplama işleminde kaplamanın kalınlığı önem arz etmektedir. Yapmış olduğumuz analizde öncelikli olarak malzemenin kaplama kalınlığını belirlemeye çalıştık. Bu işlem için malzememizin kesitinden görüntüleme sağladık. 500 nm ölçekte 15 kV hızlandırma değerinde ikincil elektronlar kullanılarak elde edilen görüntüler kaplama kalınlığımızın yaklaşık 100 nm olduğu görülmüştür.



**Şekil 3.17.** DC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin yüzey alanının 500 nm’lik SEM görüntüsü.



**Şekil 3.18.** DC 50 W güç ile üretilmiş cam alttaş üzerinde büyütülmüş AZO numunesinin yüzey alanının 1 µm’lik SEM görüntüsü.

AZO incefilm kaplama işleminde, kaplama yüzeyinin pürüzlülüğü kullanım amacına göre önem arz etmektedir. Yüzey pürüzlülüğündeki pozitif etki ince filmin çalışma mekanizmasına katkı sağlamaktadır. Yapmış olduğumuz analizde şekil 3.18’de 1  $\mu\text{m}$  ve şekil 3.17’de 500 nm ölçekte 15 kV hızlandırma değerinde ikincil elektronlar kullanılarak görüntüleme işlemi yapılmıştır. Burada 1 mikrometrelilik ölçek değerinin yüzey pürüzlülüğünü belirlemede yeterli olmadığı görüldüğünden 500 nm’lik ölçek daha uygun bulunmuştur.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması için hazırlanmış 4 farklı numunenin XRD analizi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle kıyaslama aynı alttaş üzerinde büyütülen filmlerin AC ve DC püskürtme yöntemlerine göre yapılmıştır. Oksijen yüzdelere bakıldığında, genel bir oksijen artışı gözlenmektedir. Bu durumun malzemelerin iletkenliklerini olumsuz yönde etkileyen yegâne temel olduğu düşünülmektedir. Al miktarı ise genel olarak korunmuş gibi görünmektedir. Zn yüzdesi de hemen hemen Al ile bağımlı olarak değişiklikler sergilemektedir. Al ve Zn'nin bağımlı olarak değişmesi zaten beklenen bir sonuçtur. Sebebi ise numunelerin piyasadan temin edilmiş olması ve içerisindeki Al ve Zn miktarlarının belirli olmasıdır. Oranlardaki dalgalanmalar ise şehir gerilimindeki dalgalanmalara bağlı olarak güç kaynağındaki dalgalanmalara bağlanabilir.

50 W AC ve DC için yapmış olduğumuz üretimlerimizde malzemenin kimyasal kompozisyonu bizim için önemlidir. Üretim aşamasında çok az düzeyde alüminyum katkısı yaptık, bu malzemede % 1'in altında alüminyum katkısı yapılmıştı. Bunun doğruluğunu yukarıdaki EDX sonucunda 0.71 değeri ile görmekteyiz. Aynı zamanda alt malzememiz silisyumdur.

AC 50 W ile DC 50 W güçlerde üretilen örneklerin PL sonuçlarına bakılırsa, örneklerin 550-700 nm dalga boyu aralığında saydamlıklarının yaklaşık aynı olduğu söylenebilir. Bu nedenle bu örneğin üretimi için AC veya DC güç kullanılmasına PL sonuçlarına bakılarak karar verilmesi zordur. Bu nedenle EDX sonuçlarına bakılmıştır. AC 50 W güçte üretilen örneğin yüzde olarak oksijen miktarı fazla olduğu için bu yöntemle üretilen örneklerin DC güç uygulanarak üretilen örneklerden daha yüksek öz dirence sahip olacağı düşünülmektedir. Buradan yola çıkılarak örnekler DC güç uygulanarak üretilmiştir.

AC 50 W güç altında üretilen örneğin, 250000 büyütmedeki SEM görüntüsünden anlaşılabilceği üzere, yandan çekilen kesit alanı kalınlığı 100 nm olarak görülmektedir. Örneğin üstten görüntüsüne bakıldığında ise yüzeyin gayet homojen



bir şekilde kaplandığı anlaşılmaktadır. Buradanda örneğin her yerindeki özelliklerinin aynı olduğu söylenebilir.

AC 50 W'lık güçle ürettiğimiz AZO ince film kaplama işleminde kaplamanın kalınlığı önem arz etmektedir. Yapmış olduğumuz analizde öncelikli olarak malzemenin kaplama kalınlığını belirlemeye çalıştık. Bu işlem için malzememizin kesitinden görüntüleme sağladık. 500 nm ölçekte 15 kV hızlandırma değerinde ikincil elektronlar kullanılarak elde edilen görüntüler kaplama kalınlığımızın yaklaşık 100 nm olduğu görülmüştür.

DC 50 W'lık güçle ürettiğimiz AZO incefilm kaplama işleminde kaplamanın kalınlığı önem arz etmektedir. Yapmış olduğumuz analizde öncelikli olarak malzemenin kaplama kalınlığını belirlemeye çalıştık. Bu işlem için malzememizin kesitinden görüntüleme sağladık. 500 nm ölçekte 15 kV hızlandırma değerinde ikincil elektronlar kullanılarak elde edilen görüntüler kaplama kalınlığımızın yaklaşık 100 nm olduğu görülmüştür.

AZO ince film kaplama işleminde kaplama işleminde kaplama yüzeyinin pürüzlülüğü kullanım amacına göre önem arz etmektedir. Yüzey pürüzlülüğündeki pozitif etki ince filmin çalışma mekanizmasına katkı sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Finley, M., Energy Consumption and Energy Prices, BP Statistical Review of World Energy, s. 2-5, 2008.
- [2] Yengel, E., Doctorate Thesis, Fabrication and Characterization of Organic Solar Cells, University of California Riverside, 2010.
- [3] Würfel, P., Physics of Solar Cells: From Principles to New Concepts. , Weinheim: Wiley-VCH, 2008.
- [4] World Energy Assesment Report: Energy and Challenge of Sustainability, United Nations, New York, 2003.
- [5] Chapin, DM., Fuller, CS., Pearson, GL., A new silicon p-n junction photo cell for converting solar radiation into electrical power, J. App. Phys., vol. 25(5), 676-677, 1954.
- [6] Green, MA., Third generation photovoltaics: Solar cells for 2020 and beyond, Physica E, vol. 14(1-2), 65-70, 2002.
- [7] Keavney, CJ., Spitzer, MB., Indium-phospide solar-cells made by ion implantation, App. Phys. Letter, vol. 52(17), 1439-1440, 1988.
- [8] Ohtake, Y., Kushiya, K., Ichikawa, M., Yamada, A., Konagai, M., Polycrystalline Cu(InGa)Se<sub>2</sub> thin film solar cells with ZnSe buffer layers, Jpn. J. App. Phys., vol. 34, 5949, 1995.
- [9] Dobson, KD., Visoly-Fisher, I., Hodes, G., Cahen, D., Stability of CdTe/CdS thin-film solar cells, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 62, 295, 2000.

- [10] Li, G., Shrotriya, V., Huang, JS., Yao, Y., Moriarty, T., Emery, K., High-efficiency solution processable polymer photovoltaic cells by self-organization of polymer blends, *Nat. Mater.*, vol. 4, 864-868, 2005.
- [11] Green, MA., Emery, K., King, DL., Hisikawa, Y., Warta, W., Solar cell efficiency tables (Version 27), *Progress in Photovoltaics*, vol. 14, 45-51, 2006.
- [12] Streetman, B., G., Banerjee, S., *Solid State Electronic Devices.* , PrenticeHall, 2000.
- [13] Potscavage, W., J., Doctorate Thesis, Physics and Engineering of Organic Solar Cells, Georgia Institute of Technology, 2011.
- [14] Green, M., A., Zhao, J., Wang, A., Wenham, S., R., Progress and outlook for high-efficiency crystalline silicon solar cells, *Solar Energy Mat. and Solar Cells*, vol. 65, 9-16, 2001.
- [15] Kietzke, T., Shin, R., Y., C., Egbe, D., A., M., Chen, Z-K., Sellinger, A., Effect of annealing on the characteristics of organic solar cells: Polymer blends with a 2-Vinyl-4,5-dicyanoimidazole derivative, *Macromolecules*, vol. 40, 4424-4428, 2007.
- [16] Sun., Y., Welch., G., C., Leong., W., L., Takacs, C., J., Bazan., G., C., Heeger, A., J., Solution-processed small-molecule solar cells with 6.7 % efficiency, *Nature Mat.*, vol. 11, 44-48, 2012.
- [17] Peumans, P., Bulovic, V., Forrest, S., R., Efficient photon harvesting at high optical intensities in ultra thin organic double-heterostructure photovoltaic diodes, *Applied Physics Letters*, vol. 76, 2650-2652, 2000.
- [18] Peumans, P., Forrest, S., R., Very-high-efficiency double-heterostructure copper phthalocyanine/C60 photovoltaic cells, *Applied Physics Letters*, vol. 79, 126-128, 2001.

- [19] Xue, J., Uchida, S., Rand, B., P., Forrest, S., R., 4.2% efficient organic photovoltaic cells with low series resistances, *Applied Physics Letters*, vol. 84, 3013-3015, 2004.
- [20] Yoo, S., Domercq, B., Kippelen, B., Efficient thin-film organic solar cells based on pentacene/C60 heterojunctions, *Applied Physics Letters*, vol. 85, 5427-5429, 2004.
- [21] Yoo, S., Potscavage, W., J., Jr., Domercq, B., Han, S., H., Li, T., D., Jones, S., C., Szoszkiewicz, R., Levi, D., Riedo, E., Marder, S., R., Kippelen, B., Analysis of improved photovoltaic properties of pentacene/C60 organic solar cells: Effects of exciton blocking layer thickness and thermal annealing, *Solid-State Electronics*, vol. 51, 1367-1375, 2007.
- [22] Chu, C., W., Shao, Y., Shrotriya, V., Yang, Y., Efficient photovoltaic energy conversion in tetracene-C60 based heterojunctions, *Applied Physics Letters*, vol. 86, 243506, 2005.
- [23] Schulze, K., Uhrich, C., Schüppel, R., Leo, K., Pfeiffer, M., Brier, E., Reinold, E., Bäuerle, P., Efficient vacuum-deposited organic solar cells based on a new low-band gap oligothiophene and fullerene C60, *Advanced Materials*, vol. 18, 2872-2875, 2006.
- [24] Cheyns, D., Rand, B., P., Heremans, P., Organic tandem solar cells with complementary absorbing layers and a high open-circuit voltage, *Applied Physics Letters*, vol. 97, 033301, 2010.
- [25] Wei, G., Wang, S., Renshaw, K., Thompson, M., E., Forrest, S., R., Solution-processed squaraine bulk heterojunction photovoltaic cells, *ACS Nano*, vol. 4, 1927-1934, 2010.

- [26] Hiramoto, M., Fujiwara, H., Yokoyama, M., Three-layered organic solar cell with a photo active interlayer of codeposited pigments. *Applied Physics Letters*, vol. 58, 1062-1064, 1991.
- [27] Halls, J., J., M., Walsh, C., A., Greenham, N., C., Marseglia, E., A., Friend, R., H., Moratti, S., C., Holmes, A., B., Efficient photo diodes from inter penetrating polymer networks. *Nature*, vol. 376, 498-500, 1995.
- [28] Yu, G., Heeger, A., J., Charge separation and photovoltaic conversion in polymer composites with internal donor/acceptor heterojunctions, *Journal of Applied Physics*, vol. 78, 4510-4515, 1995.
- [29] Hiramoto, M., Suezaki, M., Yokoyama, M., Effect of thin gold interstitial-layer on the photovoltaic properties of tandem organic solar cell, *Chemistry Letters*, vol. 3, 327-330, 1990.
- [30] Gordon., R., G., Criteria for choosing transparent conductors, *MRS. Bull.*, vol. 25, 52-57, 2000.
- [31] Fan, J., C., C., Goodenough, J., B., X-ray photo emission spectroscopy studies of Sn-doped indium-oxide films, *Journal of App. Phys.*, vol. 48, 3524-3531, 1977.
- [32] Jansseune, T., Indium price soars as demand for displays continues to grow., *Comp. Semicond.*, vol. 11, 34-35, 2005.
- [33] Di Francesco, C., A., George, M., W., Carlin J., F., Jr., Tolcin, A., C., *USGS Indium Report*, 2007.
- [34] Namovicz, C., *Renewable Energy, Annual Energy Outlook 2006*, vol. 0383, s. 20-24, 2006.
- [35] Hu., L., Hecht, D., S., Grüner, G., Infrared transparent carbon nanotube thin films, *App. Phys. Lett.*, vol. 94, 081103, 2009.

- [36] Groenendaal, L., B., Jonas, F., Freitag, D., Pielartzik, H., Reynolds, J., R., Poly (3-4ethylenedioxythiophene) and its derivatives: past, present and future, *Advanced Materials*, vol. 12, 481-494, 2000.
- [37] Seunghun, H., Myung, S., Nanotube electronics: A flexible approach to mobility, *Nature Nanotechnology*, vol. 2, 207-208, 2007.
- [38] Yun, D., J., R., Woo, S., *Journal of Vac. Sci. Technology B*, vol. 26, 1783, 2008.
- [39] Kawazoe, H., Yasukawa, M., Hyodo, H., Kurita, M., Yanagi, H., Hosono, H., P-type electrical conduction in transparent thin films of  $\text{CuAlO}_2$ , *Nature*, vol. 389, 939-942, 1997.
- [40] Mine, T., Yanagi, H., Nomura, K., Kamiya, T., Hirano, M., Hosono, H., Nickel-based phosphide superconductor with infinite-layer structure  $\text{BaNi}_2\text{P}_2$ , *Solid State Comm.*, vol. 147, 111-113, 2008.
- [41] Ma, J., W., Liang, Z., Jin, C., Jiang, X., Y., Zhang, Z., L., Enhanced power efficiency for white OLED with  $\text{MoO}_3$  as hole injection layer and optimized charge balance, *Solid State Comm.*, vol. 149, 214-217, 2009.
- [42] Minami, T., Nanto, H., Takata, S., Highly conductive and transparent zinc oxide films prepared by RF magnetron sputtering under an applied external magnetic field, *App. Phys. Lett.*, vol. 41, 958, 1982.
- [43] Minami, T., Nanto, H., Takata, S., High, Highly conductive and transparent aluminum doped zinc oxide films prepared by RF magnetron sputtering, *Jpn. J. App. Phys.*, vol. 23, 280, 1984.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KULOĞLU, Buse  
Uyruğu : T. C.  
Doğum tarihi ve yeri : 05 Temmuz 1989, Kırıkkale  
Medeni Hali : Evli  
Telefon : 0 (534) 6323545  
E-posta : busealsancak@gmail.com

Eğitim Derecesi	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi / Fizik Bölümü	2012
Lise	Gülbeyaz Sümer Yabancı Dil Ağırlıklı Lise	2007

### Yabancı Dil

İngilizce

### Bildiriler

A. F. Kuloğlu, B. Alsancak, C. Güneş, S. B. Lişesivdin, E. Özbay, “Kenarları Paladyum Atomları ile Sonlandırılmış Farklı Genişliklerdeki Armchair Grafen Nanoşeritlerin Elektronik Özelliklerinin Yoğunluk Fonksiyonu Teorisi Kullanılarak İncelenmesi”, I. Solid State Matter Physics Izmir Meeting, P01 (2012).

### Hobiler

Kitap okumak, müzik dinlemek, resim yapmak.