

$(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ İnce Filmlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu

Sinan Temel

DOKTORA TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Mayıs 2015

Deposition and Characterization of $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ Thin Films

Sinan Temel

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Physics

Mayıs 2015

$(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ İnce Filmlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu

Sinan Temel

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Fizik Anabilim Dalı

Katıhal Fiziği Bilim Dalında

DOKTORA TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Derya PEKER

Mayıs 2015

ONAY

Fizik Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Sinan Temel'in DOKTORA tezi olarak hazırladığı “(MgO)_x(ZnO)_{1-x} İnce Filmlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek “oyçokluğu” ile kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Derya PEKER

İkinci Danışman : -

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Derya PEKER

Üye : Doç. Dr. Metin KUL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Salih KÖSE

Üye : Doç. Dr. M. Zafer BALBAĞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Yrd. Doç. Dr. Derya PEKER danışmanlığında hazırlamış olduğum “(MgO)_x(ZnO)_{1-x} İnce Filmlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 12/05/2015

Sinan TEMEL

ÖZET

Sürekli gelişen optoelektronik teknolojisi alternatif saydam iletken oksit malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Bu amaçla, yaptığımız çalışmada magnezyum oksit (MgO) ile katkılanan çinko oksit (ZnO) filmlerin katkılanma sonrası sahip olacağı karakteristikler incelenmiştir. ZnO filmler, saydam iletken oksit malzemelerin en önemlilerinden biri olup optoelektronik teknolojisinde sıklıkla kullanılır. ZnO tabanlı optoelektronik malzemelerin uygulama alanlarını genişletmenin önemli bir adımı yasak enerji aralığı mühendisliğinin gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla ZnO, bir başka geniş yasak enerji aralığı değerine sahip olan MgO gibi bir bileşik ile yasak enerji aralığının genişletilmesi için alaşım oluşturabilir. ZnO, MgO ile katkıldığında oluşan MgZnO yapısının yasak enerji aralığı değeri, katkılanan MgO'nun konsantrasyonunun artması ile artırılabilir. Bu çalışmada, $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmler (x değeri 0'dan 1'e değişir) sol-gel döndürerek kaplama tekniği ile farklı MgO katkı konsantrasyonlarında cam taban üzerine üretilmiştir. Döndürerek kaplamanın her bir parametresini değiştirerek her seri için en iyi filmin oluşacağı şartlar belirlenmiştir. Oluşan filmlerin yapısal, yüzeysel, optiksel ve elektriksel özellikleri sırasıyla, X-Işını Kırınımı (XRD), Alan Emisyonu Taramalı Elektron Mikroskopu (FESEM), UV-Visible Spektroskopisi ve Dört Uç Metodu kullanılarak karakterize edilmiş ve bu özellikler üzerine katkılamanın etkileri incelenmiştir. Hangi filmin en iyi kristalleşmeyi gösterdiği XRD desenlerinden belirlenmiştir. MgZnO filmlerinin yüzey morfolojisinin MgO katkılması ile değiştiği gözlemlenmiştir. Elde edilen filmlerin optik özellikleri incelenerek direkt bant geçişli malzemeler oldukları tespit edilmiştir. Optik metod yardımı ile yasak enerji aralıkları 3.33-4.34 eV aralığında bulunmuştur. $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerin yasak enerji aralığının x değerini 0'dan 1'e doğru yükselterek ayarlanabileceği gözlenmiştir. Dört uç metodu kullanılarak filmlerin elektriksel özdirenç değerleri belirlenmiş ve MgO katkısı ile bu değerlerin arttığı görülmüştür. Yapılan bu incelemeler sonucunda, elde edilen filmlerin yapısal, yüzeysel, optiksel ve elektriksel özelliklerinin, katkılama konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Saydam iletken oksitler, ZnO, MgO, Filmler, Sol-Gel, Döndürerek kaplama.

SUMMARY

Continuously developing optoelectronic technology needs alternative transparent conductive oxide (TCO) materials. For this purpose, the effects of magnesium oxide (MgO) doping on the characteristics of zinc oxide (ZnO) films have been investigated in this study. ZnO films are one of the most important members of TCO materials and they are widely used in optoelectronic technology. An important step to extend the applications of ZnO-based optoelectronic materials is the realization of band gap engineering. To this end, ZnO can be alloyed with another high optical band gap compound like MgO to increase its band gap. By doping ZnO with MgO, the band gap of MgZnO alloys can be increased by increasing the concentration of MgO. In this study, $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ films (x varies from 0 to 1) have been produced by sol-gel spin coating technique with different MgO concentrations on a glass substrate. By changing each parameters of spin coating technique, the conditions of the best film that produced were determined for each series. The structural, surface, optical and electrical properties of the films have been characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM), UV-Visible Spectroscopy and Four-Probe Method respectively and the effects of doping on these properties have been investigated. Which film showed the best crystallization has been determined from the XRD patterns. It has been observed that the surface morphology of the MgZnO films was changed by MgO incorporation. Optical properties of the films have been examined and it has been determined that all films have direct band structure. Optical band gap values have been found to be between 3.33 and 4.34 eV by optical method. It was observed that the band gap of the $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ films can be adjusted by increasing the x values from 0 to 1. Four-probe method has been used to determine the electrical resistivity values of the films and it has been seen that these values increased by MgO doping. Finally, structural, surface, optical and electrical properties of the films have been determined to vary according to the dopant concentration.

Keywords: Transparent conductive oxides (TCO), ZnO, MgO, Films, Sol-Gel, Spin coating.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bana danışmanlık ederek beni yönlendiren, bilimsel katkılarını, tecrübelerini ve ilgisini esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Derya PEKER' e en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel ve teorik çalışmalarım esnasında her türlü yardım, ilgi ve bilgilerini esirgemeyen çok değerli hocalarım Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyelerinden Sayın Yrd. Doç. Dr. Salih KÖSE ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet PEKER' e teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olan, destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen, iyi ve kötü günleri birlikte paylaştığımız çok değerli dostum Sayın Murat NEBİ' ye teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında yanımda olan, zor günlerimde beni destekleyen, yardım eden, moral veren, benim için çok değerli ve çok sevdiğim hayat arkadaşım Sayın Özlem BULUŞ TEMEL' e teşekkür ederim.

Beni büyütüp yetiştiren ve bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, bu değerli mesleğe sahip olmamı sağlayan, her zaman bana destek olan, çok değer verdiğim, canımdan çok sevdiğim Sevgili ANNEM ve Sevgili BABAMA; bana her zaman destek ve yardımcı olan, moral veren, hayatta hep ona örnek bir insan olmaya çalıştığım, canımdan çok sevdiğim Sevgili KARDEŞİME sonsuz teşekkür ederim.

SİNAN TEMEL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. MATERYAL ve YÖNTEM	3
2.1. Yarıiletkenler	3
2.1.1. Has yarıiletkenler	4
2.1.2. Katkılı yarıiletkenler	6
2.1.2.1. n - tipi yarıiletkenler	6
2.1.2.2. p - tipi yarıiletkenler	8
2.2. Literatür Araştırması	9
2.2.1. Saydam iletken oksitler	9
2.2.2. ZnO ve MgO filmler	9
2.3. Sol Gel Yöntemi	12
2.3.1. Döndürerek kaplama yöntemi	12
2.4. Filmlerin Hazırlanması	14
2.4.1. Filmlerin kaplanacağı alttaşların temizlenmesi	14
2.4.2. Çözeltilerin hazırlanması	15
2.4.3. (MgO) _x (ZnO) _{1-x} yapısının oluşturulması	16
2.4.4. Deney parametrelerinin belirlenmesi	16
2.4.5. Deneyin yapılışı	18

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3. (MgO)_x(ZnO)_{1-x} FİMLERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ve BULGULARIN TARTIŞILMASI	22
3.1. A Serisi Filmlerin XRD Analizleri	29
3.2. E Serisi Filmlerin XRD Analizleri	44
3.3. B Serisi İnce Filmlerin XRD Analizleri	57
3.4. C Serisi İnce Filmlerin XRD Analizleri	63
3.5. D Serisi İnce Filmlerin XRD Analizleri	70
3.6. Elde Edilen Filmlerinin Kalınlık Değerleri	78
4. (MgO)_x(ZnO)_{1-x} FİMLERİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ve BULGULARIN TARTIŞILMASI	79
4.1. A Serisi Filmlerin Yüzey Özellikleri	82
4.2. B Serisi Filmlerin Yüzey Özellikleri	83
4.3. C Serisi Filmlerin Yüzey Özellikleri	86
4.4. D Serisi Filmlerin Yüzey Özellikleri	88
4.5. E Serisi Filmlerin Yüzey Özellikleri	90
5. (MgO)_x(ZnO)_{1-x} FİMLERİNİN OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ve BULGULARIN TARTIŞILMASI	93
5.1. Temel Absorbsiyon Olayı.....	94
5.2. (MgO) _x (ZnO) _{1-x} Filmlerinin Absorbsiyon Spektrumları ve Yasak Enerji Aralıkları.....	97
5.3. (MgO) _x (ZnO) _{1-x} Filmlerinin Optik Geçirgenlik Spektrumları.....	104
6. (MgO)_x(ZnO)_{1-x} FİMLERİNİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ve BULGULARIN TARTIŞILMASI	106
6.1. Özdirenç Ölçümleri.....	106
6.1.1. Dört Nokta Kontak Metodu.....	107
6.2. (MgO) _x (ZnO) _{1-x} Filmlerin Özdirenç Ölçümleri.....	108
6.3. (MgO) _x (ZnO) _{1-x} Filmlerin Sıcak-Uç Metodu ile İletkenlik Tiplerinin Belirlenmesi.....	110
SONUÇ ve ÖNERİLER	111
KAYNAKLAR DİZİNİ	116

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Mutlak sıfır sıcaklığında iletim ve valans bantları.....	3
2.2 Has yarıiletkenlerin T=0 K sıcaklığında enerji band yapısı.....	4
2.3 Has yarıiletkenlerin T=0 K'den itibaren ısıtılırken enerji band yapısı.....	5
2.4 Has Germanyum yapısı.....	7
2.5 Germanyum kristali içine Arsenik katkılanması.....	7
2.6 Germanyum kristali içine Galyum katkılanması.....	8
2.7 Hekzagonal ZnO kristal yapısı.....	10
2.8 Döndürerek kaplama cihazı.....	13
2.9 Döndürerek kaplama yönteminin şematik gösterimi.....	13
2.10 Döndürerek kaplama yöntemiyle üretilen filmlerinin üretim şeması.....	19
2.11 Filmlerin üretimi esnasında gerçekleşen kimyasal süreçler.....	20
3.1 X-ışınlarının kristal tarafından kırınımı.....	23
3.2 X-Işını Kırınımı (XRD) cihazı.....	26
3.3 ZnO-ICDD'ye ait XRD spektrumu.....	27
3.4 MgO-ICDD'ye ait XRD spektrumu.....	28
3.5 A serisi (1000 rpm – 400°C) XRD sonuçları.....	29
3.6 A serisi (1000 rpm – 500°C) XRD sonuçları.....	31
3.7 A serisi (1000 rpm – 600°C) XRD sonuçları.....	32
3.8 A serisi (2000 rpm – 400°C) XRD sonuçları.....	34
3.9 A serisi (2000 rpm – 500°C) XRD sonuçları.....	35
3.10 A serisi (2000 rpm – 600°C) XRD sonuçları.....	37
3.11 A serisi (3000 rpm – 400°C) XRD sonuçları.....	38
3.12 A serisi (3000 rpm – 500°C) XRD sonuçları.....	40
3.13 A serisi (3000 rpm – 600°C) XRD sonuçları.....	41
3.14 A serisinde en iyi kristalleşmeyi gösteren filmler (3000 rpm-500°C-9 kat)....	43
3.15 E serisi (3000 rpm – 400°C) XRD sonuçları.....	44
3.16 E serisi (3000 rpm – 500°C) XRD sonuçları.....	45

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.17 E serisi (3000 rpm – 600°C) XRD sonuçları.....	47
3.18 E serisi (3500 rpm – 400°C) XRD sonuçları.....	48
3.19 E serisi (3500 rpm – 500°C) XRD sonuçları.....	49
3.20 E serisi (3500 rpm – 600°C) XRD sonuçları.....	51
3.21 E serisi (4000 rpm – 400°C) XRD sonuçları.....	52
3.22 E serisi (4000 rpm – 500°C) XRD sonuçları.....	53
3.23 E serisi (4000 rpm – 600°C) XRD sonuçları.....	55
3.24 E serisinde en iyi kristalleşmeyi gösteren filmler (4000 rpm-600°C-9 kat).....	56
3.25 B serisi (3500 rpm – 400°C) XRD sonuçları.....	57
3.26 B serisi (3500 rpm – 500°C) XRD sonuçları.....	59
3.27 B serisi (3500 rpm – 600°C) XRD sonuçları.....	61
3.28 B serisine ait 9 katmanlı filmlerin XRD spektrumlarının karşılaştırılması.....	62
3.29 C serisi (3500 rpm – 400°C) XRD sonuçları.....	64
3.30 C serisi (3500 rpm – 500°C) XRD sonuçları.....	65
3.31 C serisi (3500 rpm – 600°C) XRD sonuçları.....	67
3.32 C serisine ait 9 katmanlı filmlerin XRD spektrumlarının karşılaştırılması.....	69
3.33 D serisi (3500 rpm – 400°C) XRD sonuçları.....	70
3.34 D serisi (3500 rpm – 500°C) XRD sonuçları.....	72
3.35 D serisi (3500 rpm – 600°C) XRD sonuçları.....	73
3.36 D serisine ait 9 katmanlı filmlerin XRD spektrumlarının karşılaştırılması.....	75
3.37 Tüm serilerde en iyi kristalleşmeyi gösteren ince filmlerin karşılaştırmalı XRD spektrumları.....	77
4.1 SEM cihazının şematik gösterimi.....	79
4.2 Alan Emisyonu Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM).....	81
4.3 A serisine ait 50.000 büyütme FESEM görüntüsü.....	82
4.4 A serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsü.....	82
4.5 B serisine ait 50.000 büyütme FESEM görüntüsü.....	83
4.6 B serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsü.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7 B serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsünden elde edilen MgO yapısı ve EDX sonuçları.....	84
4.8 C serisine ait 50.000 büyütme FESEM görüntüsü.....	86
4.9 C serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsü.....	86
4.10 C serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsünden elde edilen MgO yapısı ve EDX sonuçları.....	87
4.11 D serisine ait 50.000 büyütme FESEM görüntüsü.....	88
4.12 D serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsü.....	88
4.13 D serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsünden elde edilen MgO yapısı ve EDX sonuçları.....	89
4.14 E serisine ait 50.000 büyütme FESEM görüntüsü.....	90
4.15 E serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsü.....	91
5.1 Yarıiletkenlerde temel absorpsiyon spektrumu.....	94
5.2 Bir yarıiletkenlerde direkt bant geçişi.....	95
5.3 Bir yarıiletkenlerde indirekt bant geçişi.....	96
5.4 UV-Vis. Spektrofotometresi.....	97
5.5 A serisine ait filmin oda sıcaklığındaki absorpsiyon spektrumu.....	98
5.6 A serisine ait filmin $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ değişimi.....	99
5.7 B serisine ait filmin oda sıcaklığındaki absorpsiyon spektrumu.....	99
5.8 B serisine ait filmin $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ değişimi.....	100
5.9 C serisine ait filmin oda sıcaklığındaki absorpsiyon spektrumu.....	100
5.10 C serisine ait filmin $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ değişimi.....	101
5.11 D serisine ait filmin oda sıcaklığındaki absorpsiyon spektrumu.....	101
5.12 D serisine ait filmin $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ değişimi.....	102
5.13 E serisine ait filmin oda sıcaklığındaki absorpsiyon spektrumu.....	102
5.14 E serisine ait filmin $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ değişimi.....	103
5.15 Tüm serilerin optik geçirgenlik spektrumları.....	105
6.1 Dört nokta kontak metodu ölçme sistemi.....	107
6.2 Filmlerin özdirenç ve iletkenlik değerlerinin katkılama konsantrasyonuna göre değişimi grafiği.....	109

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Seçilen x değerlerine göre oluşan yapılar ve seri adları.....	16
2.2 A serisi için ince filmlerin kaplama parametreleri.....	17
2.3 E serisi için ince filmlerin kaplama parametreleri.....	17
2.4 B, C ve D serileri için ince filmlerin kaplama parametreleri.....	18
3.1 ZnO-ICDD'ye ait piklerin bazı özellikleri.....	27
3.2 MgO-ICDD'ye ait piklerin bazı özellikleri.....	28
3.3 A serisi (1000 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.....	29
3.4 A serisi (1000 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.....	30
3.5 A serisi (1000 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.....	31
3.6 A serisi (1000 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.....	31
3.7 A serisi (1000 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.....	32
3.8 A serisi (1000 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.....	33
3.9 A serisi (2000 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.....	33
3.10 A serisi (2000 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.....	34
3.11 A serisi (2000 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.....	35
3.12 A serisi (2000 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.....	36
3.13 A serisi (2000 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.....	36
3.14 A serisi (2000 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.....	37
3.15 A serisi (3000 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.....	38
3.16 A serisi (3000 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.....	39
3.17 A serisi (3000 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.....	39
3.18 A serisi (3000 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.....	40
3.19 A serisi (3000 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.....	41
3.20 A serisi (3000 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.....	42
3.21 A serisi 9 katmanlı filmlerin piklerine ait bilgiler.....	43
3.22 E serisi (3000 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.....	44
3.23 E serisi (3000 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.....	44

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.24 E serisi (3000 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.....	45
3.25 E serisi (3000 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.....	46
3.26 E serisi (3000 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.....	46
3.27 E serisi (3000 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.....	47
3.28 E serisi (3500 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.....	48
3.29 E serisi (3500 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.....	48
3.30 E serisi (3500 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.....	49
3.31 E serisi (3500 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.....	50
3.32 E serisi (3500 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.....	50
3.33 E serisi (3500 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.....	51
3.34 E serisi (4000 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.....	52
3.35 E serisi (4000 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.....	52
3.36 E serisi (4000 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.....	53
3.37 E serisi (4000 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.....	54
3.38 E serisi (4000 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.....	54
3.39 E serisi (4000 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.....	55
3.40 E serisi 9 katmanlı filmlerin piklerine ait bilgiler.....	57
3.41 B serisi (3500 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.....	57
3.42 B serisi (3500 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.....	58
3.43 B serisi (3500 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.....	59
3.44 B serisi (3500 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.....	59
3.45 B serisi (3500 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.....	60
3.46 B serisi (3500 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.....	61
3.47 B serisi 9 katmanlı filmlerin piklerine ait bilgiler.....	63
3.48 C serisi (3500 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.....	63
3.49 C serisi (3500 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.....	64
3.50 C serisi (3500 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.....	65
3.51 C serisi (3500 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.52 C serisi (3500 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.....	67
3.53 C serisi (3500 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.....	67
3.54 C serisi 9 katmanlı filmlerin piklerine ait bilgiler.....	69
3.55 D serisi (3500 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.....	70
3.56 D serisi (3500 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.....	70
3.57 D serisi (3500 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.....	71
3.58 D serisi (3500 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.....	72
3.59 D serisi (3500 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.....	73
3.60 D serisi (3500 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.....	74
3.61 D serisi 9 katmanlı filmlerin piklerine ait bilgiler.....	75
3.62 XRD sonuçlarına göre en iyi kristalleşmeyi gösteren filmler.....	76
3.63 Her bir seriye ait kalınlık değerleri.....	78
4.1 Yüzey özellikleri incelenen filmler.....	81
4.2 A serisine ait EDX sonuçları.....	83
4.3 B serisine ait EDX sonuçları.....	85
4.4 C serisine ait EDX sonuçları.....	87
4.5 D serisine ait EDX sonuçları.....	90
4.6 E serisine ait EDX sonuçları.....	91
5.1 Optik özellikleri incelenen filmler.....	97
5.2 Her bir seriye ait yasak enerji aralığı değerleri.....	103
6.1 Elektriksel özellikleri incelenen filmler.....	108
6.2 Filmlerin özdirenç ve iletkenlik değerleri.....	109

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
a, c	Örgü sabiti
A	Absorpsiyon
Å	Angstrom
c	Işığın boşluktaki hızı
cm	Santimetre
°C	Santigrat derece
D	Tane boyutu
d	Düzlemler arası mesafe
E_c	İletim bandının enerjisi
E_g	Yasak enerji aralığı
E_v	Valans bandının enerjisi
eV	Elektron volt
g	Gram
h	Planck sabiti
I	Akım, malzemeden geçen elektromanyetik dalganın şiddeti
I_0	Malzemeye gelen elektromanyetik dalganın şiddeti
K	Kelvin
M	Molar
mm	Milimetre
n	İletim bandındaki elektron yoğunluğu
nm	Nanometre
p	Valans bandındaki hol yoğunluğu
rpm	Dakikadaki devir sayısı
R	Yansıma katsayısı
s	Saniye
T	Sıcaklık, geçirgenlik
t	Malzeme kalınlığı
V	Voltaj
α	Lineer absorpsiyon katsayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler

Açıklama

δ	Dislokasyon yoğunluğu
λ	Dalga boyu
μl	Mikrolitre
μm	Mikrometre
ν	Frekans
ρ	Özdirenç
σ	Elektriksel iletkenlik
Ωcm	Ohm santimetre
θ	Gelen ışık ile yansıtıcı düzlem arasındaki açı
θ_B	Bragg açısı
2θ	Kırınım açısı

Kısaltmalar

Açıklama

CVD	(Chemical Vapor Deposition) Kimyasal Buhar Depolama
EDX	Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi
FESEM	(Field Emission Scanning Electron Microscope) Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu
FWHM	(Full Width Half Maximum) Yarı pik genişliği
ICDD	(International Center for Diffraction Data) Uluslar arası Kırınım Veri Merkezi
LED	(Light Emitting Diode) Işık yayan diyot
MEA	Monoetanolamin
UV	Ultraviyole
RF	Radyo frekansı
SEM	(Scanning Electron Microscope) Taramalı Elektron Mikroskobu
TC	Texture Coefficient (Yapılanma katsayısı)
TCO	Transparent Conductive Oxide (Saydam İletken Oksit)
XRD	(X-Ray Diffraction) X-ışını Kırınımı

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Katılar, birçok özelliklerinden dolayı günlük yaşantımızda önemli bir yere sahiptir. Özellikle iyi iletken olmaları, kolay şekil alabilmeleri ve fiziksel dayanıklılıklarıyla bilinen metallerin kullanımı uygarlık tarihi kadar eskidir. Katıların en ilginç ve önemli sınıfını oluşturan yarıiletkenler ise ancak 1940'lı yıllarda yarıiletken transistörün ortaya çıkmasıyla önem kazanmıştır. Yarıiletken transistörler elektronik endüstrisinde devrim niteliğinde değişikliklere neden olmuştur.

Günümüzde teknolojik gelişmelerin temel ve belirleyici unsurlarından birini hala yarıiletken teknolojisi oluşturmaktadır. Artık yarıiletkenlerden oluşmuş elektronik malzemeler, insanlığın kullandığı kişisel bilgisayar ve donanımlardan, haberleşme sistemlerine kadar çoğu elektronik aracın içinde bulunmaktadır. Farklı amaçlara hizmet eden (güneş pili, lazer ışık kaynağı, farklı dalga boyu bölgelerinde çalışan algılayıcılar ve elektronik devrelerde kullanılan entegre devreler gibi) yarıiletken malzemeler her geçen gün gelişmektedir.

Günlük yaşantımızda hemen her alanda kullandığımız yarıiletken aygıtlar içerisinde ince filmler çok önemli bir yere sahiptir. Yarıiletken filmler, farklı üretim yöntemleri kullanılarak kaplanacak malzemenin atomlarının ya da moleküllerinin, filmin oluşumuna yardımcı olan bir taban üzerine dizilmesi ile ince bir tabaka halinde oluşturulan malzemelerdir (Peker, 1999).

Son yıllarda ince film kaplamalar, çeşitli özellikleriyle teknolojiye büyük önem kazanmıştır ve teknolojinin gelişmesiyle beraber kullanım alanları da çeşitlenmiştir. Bu tür kaplamalar, optik özellikleriyle hafıza disklerinde, elektriksel özellikleriyle yarıiletken ve piezoelektrik cihazlarda, mekanik özellikleriyle mikro mekanik cihazlar ve sert kaplamalarda, kimyasal özellikleriyle sensör teknolojilerinde kullanılmaktadır ve bu alanda ulaşılan sınırlar gün geçtikçe daha da ileri gitmektedir (Smith, 1995).

Yarıiletken ince film teknolojisinde; çinko oksit (ZnO) ince filmler önemli bir çalışma alanına sahiptir. Günümüze kadar ZnO ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında

yıllar geçtikçe bu malzeme ile ilgili bilimsel çalışma sayısının yaygın bir şekilde giderek arttığı gözlenmiştir. En iyi bilinen saydam iletken oksitlerden olan ZnO, iyi transparan, yüksek elektron mobiliteli, yüksek yasak enerji aralıklı, şiddetli lüminesansa sahip olmasından dolayı, bu özellikleri ile sıvı kristal ekranlarda, ısı geçirmeyen pencerelerde, ince film transistörlerde, ışık yayan diyotlarda sıklıkla tercih edilmektedir.

Günümüzün gelişen teknolojisi ile birlikte ZnO, SnO, ITO gibi saydam iletken oksit malzemelerin kendi başlarına yeterli olduğu düşüncesi değişmeye başlamıştır. Bunun nedeni, mevcut malzemelerin performans sınırlarının artık daha iyi anlaşılması ve üretilebilecek yeni ve düşük maliyetli malzemelerle performans sınırlarının genişletilebileceği umududur. Bu malzemelere çeşitli katkılar yaparak malzemenin özelliklerini değiştirmek ve geliştirmek en yaygın kullanılan yöntemlerden bir tanesidir.

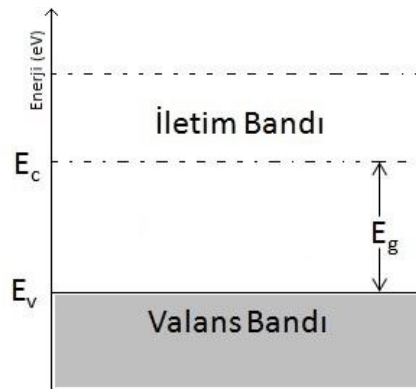
Bu tez çalışmasında da pratik ve ekonomik bir yöntem olan sol-gel döndürerek kaplama (spin coating) yöntemi ile ZnO yapısına farklı konsantrasyonlarda MgO katkılayarak hazırlanan filmlerin; yapısal, yüzeysel, optiksel ve elektriksel özelliklerindeki değişiminin incelenmesi ve katkı konsantrasyonunun değiştirilmesi ile yasak enerji aralığı değerinin değişiminin kontrol edilmesi amaçlanmıştır. ZnO'ya istenilen konsantrasyonda MgO katkılama yasak enerji aralığı değerini kolayca değiştirmeyi mümkün kılmaktadır. Artan konsantrasyonlarda MgO katkısı yasak enerji aralığını arttırmaktadır. Büyüyen yasak enerji aralığı değeri, malzemenin yakın kızıl ötesi bölgeden maviye uzanan bölgeye şiddetli bir lüminesans vermesine yol açar. Bu özelliği ile UV bölgesinde çalışan fotonik cihazlarda yaygınca kullanılır. MgO katkılı ZnO filmler, LED gibi optoelektronik aygıt uygulamalarında ve ince film güneş pillerinde saydam iletken oksit tabaka olarak kullanılabilir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Yarıiletkenler

Malzemeler elektriksel özelliklerine (özdirençlerine) göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar elektriksel özdirençleri 10^{-6} Ωcm civarında olan iletkenler, 10^{-2} ile 10^9 Ωcm arasında olan yarıiletkenler ve yaklaşık 10^{14} ile 10^{22} Ωcm olan yalıtkanlardır (Kittel, 1996). İletkenlik ise özdirenç değeri ile ters orantılı olarak değişir. Özdirenç artarken iletkenlik azalır. İletkenler elektrik akımını iyi iletirken, yalıtkanlar elektrik akımını iletmezler. Yarıiletkenler ise, mutlak sıfırda ($T=0$ K) iyi bir yalıtkan iken, oda sıcaklığındaki ($T=300$ K) elektriksel iletkenlikleri, iletkenlere göre daha zayıf, yalıtkanlara göre ise daha iyi olan maddelerdir.

Katıyı oluşturan atomların elektronları belirli enerji düzeylerine sahiptir. Bu enerji düzeyleri katıların bant yapılarını oluşturmaktadır. Kararlı durumda elektronların bulunduğu enerji bandına valans bandı, uyarıldıklarında bulunabilecekleri enerji bandına ise iletim bandı adı verilir. Mutlak sıfır sıcaklığında valans bandı elektronlarla tamamen dolu, iletim bandı ise boş durumdadır. Valans bandının üst sınırı ile iletim bandının alt sınırı arasında kalan bölgeye (enerji değerine) burada serbest yük bulunamadığından dolayı yasak enerji aralığı (E_g) adı verilir. Şekil 2.1.'de mutlak sıfır sıcaklığında iletim ve valans bantları gösterilmektedir.



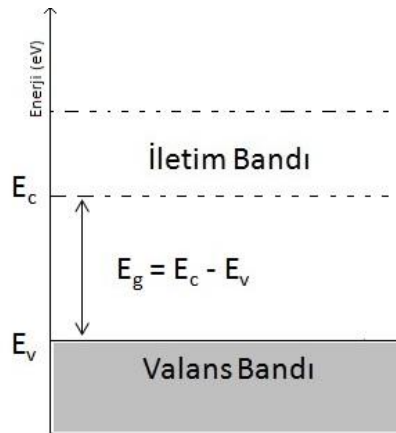
Şekil 2.1. Mutlak sıfır sıcaklığında iletim ve valans bantları.

Yasak enerji aralığı değerlerine göre malzemeler üç grupta sınıflandırılmaktadır. İletkenlerde valans bandı ile iletim bandı içi içe geçmiş durumdadır ve yasak enerji aralığı bulunmamaktadır. Yarıiletkenlerde ise yasak enerji aralığı 4 eV değerinin altındadır ($E_g \leq 4 \text{ eV}$). Yalıtkanlarda bu aralık oldukça büyük olmaktadır ($E_g \geq 4 \text{ eV}$). Bu nedenle yalıtkanlarda elektronların valans bandından iletim bandına geçmeleri olanaksızdır (Kittel, 1996).

2.1.1. Has yarıiletkenler

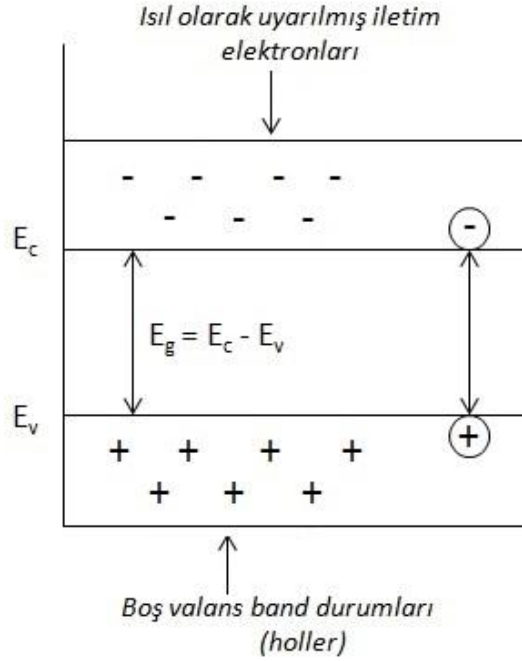
Has yarıiletkenler, içerisinde yabancı bir katkı atomu bulunmayan yarıiletkenlerdir. Has yarıiletkenlerde iletim bandındaki her elektrona karşı valans bandında bir boşluk bulunmaktadır. Dolayısıyla bu yarıiletken türünde iletim bandındaki elektron sayısı (n), valans bandındaki boşluk sayısına (p) eşittir.

Bir has yarıiletkende, Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi mutlak sıfır sıcaklığında ($T=0 \text{ K}$), elektronik durumları tamamen dolu olan bir valans bandı ile bu banttandır yasak enerji aralığı kadar yukarıda tamamen boş olan bir iletim bandı vardır. $T=0 \text{ K}$ 'de yarıiletkenin bütün elektronları valans bandında bulunduğu için elektriksel iletim gözlenmez ve bu sıcaklıkta yarıiletken mükemmel bir yalıtkan gibi davranır.



Şekil 2.2. Has yarıiletkenlerin $T=0 \text{ K}$ sıcaklığında enerji band yapısı.

Burada E_c iletim bandının minimum enerjisini, E_v valans bandının maksimum enerjisini, E_g ise yasak enerji aralığını göstermektedir ve $E_g = E_c - E_v$ değerindedir.



Şekil 2.3. Has yarıiletkenlerin $T=0$ K'den itibaren ısıtılırken enerji band yapısı.

Şekil 2.3.'te gösterildiği gibi sıcaklık $T=0$ K'den itibaren yükseltirse, en az yasak enerji aralığına karşılık gelen kadar ısı enerji kazanan elektronlar valans bandından iletim bandına geçerler. Valans bandından iletim bandına geçen elektronlar, geride boşluklar (holler) bırakırlar. Bu boşluklar, valans bandındaki diğer elektronlar tarafından doldurulurlar. Dolayısıyla, boşluk ile elektron yer değiştirmiş olur. Böylece valans bandı içinde boşluklar hareket etmiş olurlar. Bu durum devam ettikçe valans bandındaki boşluklar ve iletim bandındaki elektronlar serbest taşıyıcı gibi hareket ederek iletme katkıda bulunurlar. Böylece elektriksel iletkenliğe hem elektronlar hem de boşluklar katkıda bulunmuş olurlar (Neamen, 2003).

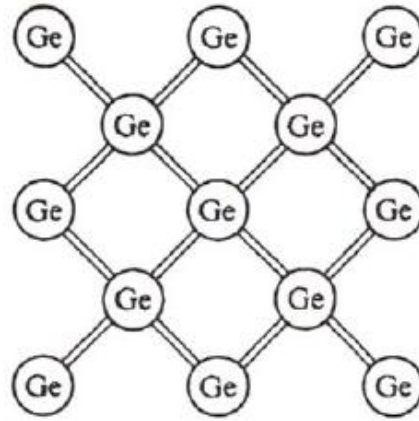
2.1.2. Katkılı yarıiletkenler

Has bir yarıiletkende elektron ve boşluk (hol) konsantrasyonları birbirine eşittir. Çünkü bir elektron valans bandından iletim bandına ısıl veya optik uyarılma ile çıkarılırken geride daima bir hole bırakır. Has yarıiletkenlere katkılama işlemi, uygun atomların yarıiletken içine çeşitli tekniklerle katkılanmasıyla yapılır. İstenilen özellikte yarıiletken elde etmek için, yarıiletken içerisinde belirli oranda safsızlık atomları kullanılır. Buna göre yarıiletken içine giren atom ortama elektron vererek (donör) iyonlaşır ve iletkenliğe katkıda bulunursa “n-tipi yarıiletken”; yarıiletken içine giren atom, içinde bulunduğu ortamdan elektron alarak (akseptör) iyonlaşır ve iletkenliğe bu şekilde katkıda bulunursa “p-tipi yarıiletken” olarak adlandırılır. Katkılı yarıiletken oluşturulması hem taşıyıcı konsantrasyonunu artırmak için gerekli olurken hem de diyot transistör gibi elektronik devre elemanı yapımına imkan vermektedir (Omar, 1975).

2.1.2.1. n – tipi yarıiletkenler

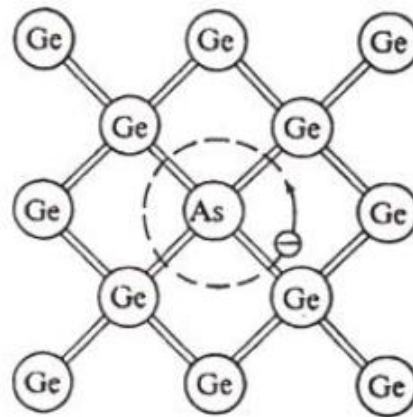
n-tipi katkılamada yarıiletken, donör atomlarıyla katkılanmıştır. Örneğin IV. grup elementlerinden Germanyum (Ge) kristaline V. grup elementlerinden biri (P, As, Sb, ...) katkılanarak n-tipi Ge yarıiletkeni elde edilir (Tyagi, 1991).

Katkılama atomu olarak kullanılan V. grup elementlerinin son yörüngelerinde beş değerlik elektronu vardır. Ge kristalinin V. grup elementlerinden Arsenik (As) ile katkılındığını göz önüne alalım. Şekil 2.4.’te görüldüğü gibi saf Ge atomları komşusu olan dört Ge atomu ile kovalent bağ yapar. Bağlar iki elektron içerdiğinden çift çizgiyle gösterilmiştir. Tüm elektronlar bağa katıldıkları için bir elektronun iletim bandına çıkabilmesi için E_g ’ye eşit veya büyük bir enerjiye ihtiyaç vardır.



Şekil 2.4. Has Germanyum yapısı (Taylor ve Zafaritos, 1996).

Şekil 2.5.'te görüldüğü gibi, Ge kristali içerisine periyodik tablonun V. grup elementlerinden olan As katkılanırsa, As'nin beş valans elektronundan dört tanesi Ge atomları ile kovalent bağ yapar. Beşinci elektron çok zayıf elektrostatik kuvvetlerle As atomuna bağlıdır. Küçük bir enerji ile bu elektron As atomundan kopabilir. Dolayısıyla yasak enerji değeri E_g 'den çok daha küçük bir enerji (0,01 eV) ile iletim bandında bir elektron oluşturulabilir. İletim bandında oluşan bu elektrona karşı valans bandında bir boşluk oluşmaz. Burada As atomu elektron verdiği için donör atomu olarak isimlendirilir (Taylor ve Zafaritos, 1996). n-tipi yarıiletkenin çoğunluk taşıyıcıları elektronlar, azınlık taşıyıcıları boşluklardır.

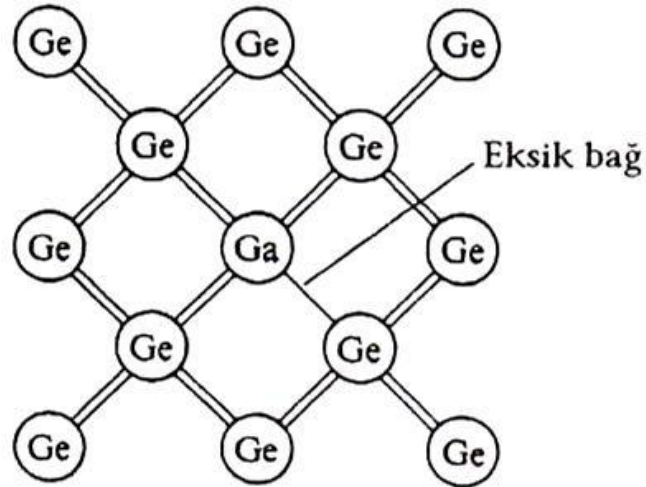


Şekil 2.5. Germanyum kristali içine Arsenik katkılanması (Taylor ve Zafaritos, 1996).

2.1.2.2. p – tipi yarıiletkenler

p-tipi katkılamada yarıiletken, akseptör atomları ile katkılanmıştır. Örneğin; Germanyum (Ge) elementinin akseptör olarak periyodik tablonun III. grup elementlerinden (B, Ga, Al, In, ...) biri ile katkılanması sonucu p-tipi yarıiletken oluşur (Tyagi, 1991).

Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi, Ge kristali içerisine periyodik tablonun III. grup elementlerinden olan Galyum (Ga) katkılanırsa, Galyumun üç valans elektronu Germanyum atomları ile kovalent bağ yapar. Kristalde bir örgü boş kalır. Komşu atomlardan bir elektron az bir enerji ile buraya gelebilir. Dolayısıyla yasak enerji aralığından daha küçük bir enerji ile valans bandında boşluk oluşur. Valans bandında oluşan bu boşluğa karşılık iletim bandında bir elektron oluşmaz. Burada, Ga atomu, elektron aldığı için akseptör atomu olarak isimlendirilir (Taylor ve Zafaritos, 1996). p-tipi yarıiletkenlerde çoğunluk taşıyıcıları boşluklar, azınlık taşıyıcıları ise elektronlardır.



Şekil 2.6. Germanyum kristali içine Galyum katkılaması (Taylor ve Zafaritos, 1996).

2.2. Literatür Araştırması

2.2.1. Saydam iletken oksitler

Saydam iletken oksitler, doğalarında bulunan elektriksel iletkenlik ve optik geçirgenlik karakteristikleri ile dikkat çekerler. ZnO, ITO, SnO ve CdO bu uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır (Akyüz, 2005).

Saydam iletken oksitler, sahip oldukları özellikler sebebiyle birçok alanda uygulama bulmaktadırlar. Saydam iletken oksit ince filmler; düz ekran göstergelerde, diz üstü bilgisayarların ekranlarında (Ginley, 2010), gaz sensörlerinde (Shim, 2011), güneş pillerinde (Shimizu, 2014), fırın pencerelerinde ve kışın soğuğa yazın sıcağa karşı koruyan pencerelerde (Kang, 2015) yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek elektriksel iletkenlik ve optik geçirgenlik birçok uygulamada hayati önem taşımakla beraber, çevresel etkenlere karşı dayanıklılık, düşük maliyet ve elektronik devre elemanı olarak uygunluğu da saydam iletken oksit malzemenin kullanışlı olmasını belirleyen etmenlerdir (Alexander, 2015).

Çinko oksit (ZnO) de saydam iletken oksitlerin içerisinde çok popüler bir malzemedir. Zn'nin doğada bol bulunabilir ve zehirsiz bir element olması, ZnO'nun saydam iletken oksit malzeme olarak kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır (Addonizio, 2014).

2.2.2. ZnO ve MgO filmler

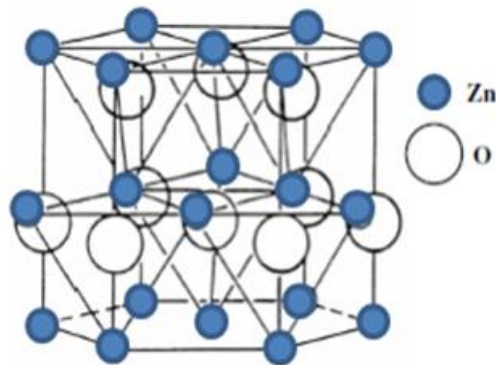
Yarıiletken teknolojisinin gelişmesi ile birlikte Si ve Ge gibi yarıiletkenlerin, indirekt bant geçişli yapıya, düşük mobilité ve iletkenliğe sahip olması sebebiyle yüksek hız, yüksek güç ve yüksek frekans gerektiren uygulamalarda yeterli olmadığı görülmüştür. Çünkü optoelektronik cihazlar için direkt bant geçişli yapıda yarıiletkenler gereklidir. Direkt bant geçişli yapıdaki yarıiletkenler genellikle III-V veya II-VI grubu bileşikleridir. III-V grubu yarıiletkenler yasak enerji aralıkları sebebiyle optoelektronik uygulamalarda 500 nm ve üzeri dalgalılarıyla sınırlıdır (Singh, 1994). Dolayısıyla, mavi ve morötesi

bölgede çalışan aygıtların yarıiletkenlerden üretilebilmesi için, farklı malzeme arayışı II-VI grubuna ait bileşik yarıiletkenlerin üretilmesine neden olmuştur.

II-VI grubu bileşiklerinin 1,7 - 4 eV arasında değişen bir enerji bant aralığı vardır. Periyodik cetvelin II. grup elementlerinden olan Zn, Hg, Cd elementlerinden biri ile VI. grup elementlerinden olan O, S, Te ve Se'den birinin aralarında oluşturdukları ikili bileşiklerdir. Geniş bant aralığına sahip olan II-VI bileşikleri, optoelektronik cihazlarda, özellikle ışık yayan cihazlarda görünür ışığın kısa dalga boylu olduğu bölgede, uygun direkt bant aralık enerjisine sahip olması yüzünden kullanılırlar (Yuonesi, 2010).

Çinko oksit (ZnO) de, çinkonun periyodik tablonun II. grubunda, oksijenin VI. grubunda yer alması yüzünden II-VI grup bileşikleri içerisinde yer almaktadır. ZnO, wurtzite (hekzagonal), kübik ZnS ve nadiren gözlemlenen kübik NaCl yapıda bulunabilir. Wurtzite kristal yapısı, bu yapılar içerisinde en kararlı olan yapıdır ve bu yüzden daha genel rastlanır. Kübik ZnS yapı, ZnO' in kübik alttaşılar üzerine büyütülmesi ile kararlı hale getirilebilir (Fierro, 2006). NaCl yapıdaki ZnO' ya ise sadece çok yüksek basınçlar altında ulaşılabilir (Steiner, 2004).

Şekil 2.7.'de hekzagonal (wurtzite) ZnO'ya ait kristal yapısı gösterilmektedir. Wurtzite yapısı, a ve c olan iki örgü parametresi ile hekzagonal birim hücreye sahiptir. Bu yapının örgü parametreleri $a=0,3249$ nm, $c=0,5205$ nm şeklinde verilmektedir (Berger, 1997). c/a oranına bakıldığında çinko oksit 1,602'lik oranı ile ideal sıkı paket hekzagonal yapısına (1,633) yakındır (Steiner, 2004).



Şekil 2.7. Hekzagonal ZnO kristal yapısı (Hartnagel, 1995).

ZnO direkt bant yapılıdır ve oldukça geniş yasak enerji aralığı değerine (~3,3 eV) sahip bir yarıiletkenidir (Salam, 2013). Geniş bant aralığından dolayı elektromanyetik dalga spektrumunun mavi ve morötesi bölgesinde LED yapımı için uygun malzeme olarak kabul edilmektedir.

ZnO yarıiletkeninin fotoelektrik, piezoelektrik ve termoelektrik özellikleri oldukça iyidir ve bu özelliklerinden dolayı birçok uygulamada kullanılır. Bu uygulamalar; gaz sensörleri, ince film transistörler, fotoelektrik cihazlar, optoelektronik cihazlar, güneş hücreleri, UV dedektörler, piezoelektrik güç çeviriciler, yüzey akustik devreleri, termoelektrik aygıtlar, pH sensörleri, biosensörler gibi uygulamalardır (Tsay, 2010). Ayrıca ZnO, UV ışınını absorbe ederek bant geçişlerini gerçekleştirir. Bu özelliğinden dolayı saydam iletken oksit ince film olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Ashour, 2005).

ZnO'nun özellikleri ısı ile veya uygun katkı ile değiştirilebilmektedir. Katkı atomu olarak Al, In, Ga, Li, Cu, Sn ve Mg kullanıldığı pek çok uygulama alanı vardır. Al, In, Ga gibi iyonların katkısı ile çinko oksit'in iletkenliği artırılabilir (Lee, 2014; Qian, 2013). Sn katkılı ZnO ince filmlerin geçirgenliklerinde artış, öz dirençlerinde azalma gözlemlenmiştir ki, bu son zamanlarda üzerinde pek çok araştırma çalışmaları yapılan güneş pilleri yapımı için çok avantajlı bir durumdur (Pan, 2013). Ayrıca Mg katkısı ile yasak enerji aralığı değeri kolayca değiştirilebilmektedir (Peker, 2015).

Basit kaya tuzu yapısına sahip olan MgO ise, yüksek elektriksel yalıtkanlığa sahip bir malzemedir. Bu özelliğinden dolayı ısı çiftlerin ve enerji dönüştürücülerin seramiklerinin yapımında sıklıkla kullanılır (Tsang, 1983). MgO filmler termal şok dönüştürücülerde elektriksel yalıtım için, AC plazma görüntü panellerinde koruyucu katman olarak tercih edilmektedir (Charles, 1984). Öte yandan MgO tek kristal tabanlar, üzerine ferroelektrik ince film hazırlamak için sıklıkla kullanılırlar (Ho, 1997). Son yıllarda MgO ince filmler yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı olmalarından ötürü de süper iletken uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır (Fork, 1993). Ayrıca MgO yasak enerji aralığı yaklaşık 7 eV olan geniş bant aralıklı bir malzemedir (Bondoux, 2005). Bu çalışmada, filmleri kaplamak için Sol Gel Döndürerek Kaplama Yöntemi kullanılmıştır. Diğer ince film tekniklerine kıyasla döndürerek kaplama yöntemi; az maliyetle

uygulanabilmesi, kolaylığı, homojen ve saf kaplama yapılabilmesi gibi avantajları sayesinde, ince film kaplama teknolojileri içinde yaygınca kullanılan bir yöntemdir.

2.3. Sol Gel Yöntemi

Bu kimyasal yöntem, başlangıç malzemesi olarak bir solüsyon içerdiği ve bu solüsyon kullanarak jel gibi bir yapı elde edildiği için Sol Gel yöntemi adı altında toplanmıştır. Sol Gel yöntemi, özellikle organik olmayan ince film kaplamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca Sol Gel yönteminin teknolojik olarak en önemli noktası; katılaşmadan önce çözeltinin, daldırma, döndürme ve püskürtme yaygın yöntemleri ile ince film hazırlanmasında ideal olmasıdır.

Etkili ince film oluşturma tekniklerinden Sol Gel yöntemi, geniş alanların kolayca kaplanabilmesi ve de çok katlı filmlerin homojen şekilde oluşturulabilmesi bakımından geniş kullanım alanına sahiptir. Sol Gel yöntemi neredeyse her türlü tek bileşenli ya da çok bileşenli oksit filmlerin üretiminde kullanılabilir (Uhlmann, 1997).

Sol Gel yönteminde; çözelti konsantrasyonu, kaplama katman sayısı, tavlama sıcaklığı ve süresi, değişik materyallerle katkılama gibi parametreler değiştirilerek farklı kalınlık ve fiziksel özelliklerde ince film elde etmek mümkün olmaktadır.

Sol Gel yöntemi kendi içinde daldırarak kaplama, döndürerek kaplama, akış kaplama, spreycaplama gibi kaplama tekniklerine ayrılır. Bu çalışmada da döndürerek kaplama yöntemi kullanılmıştır.

2.3.1. Döndürerek kaplama yöntemi

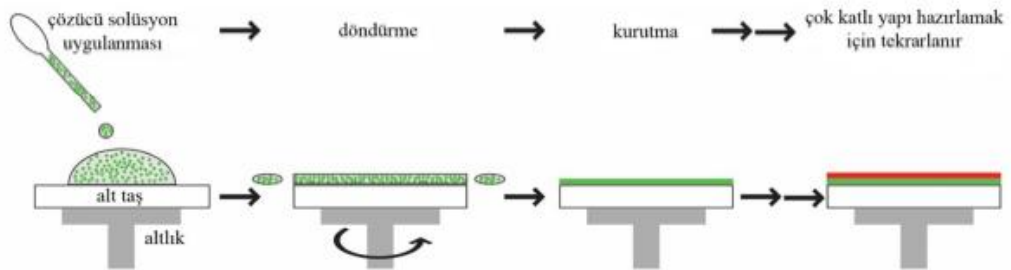
Döndürerek kaplama yöntemi, elde edilecek filmler için hazırlanan çözeltilerin bir taban üzerine aktarıldıktan sonra bu tabanı çeşitli hızlarda ve sürelerde döndürerek çözeltinin bu taban üzerine yayılması ile film oluşturmaktır. Şekil 2.8.'de filmlerimizi kaplamak için kullandığımız WS-400-6NPP-Lite Laurell markalı döndürerek kaplama cihazı gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Döndürerek kaplama cihazı.

Döndürerek kaplama olayı Şekil 2.9.'da da gösterildiği gibi temelde dört aşamadan meydana gelmektedir. Bu aşamalar;

- 1- Hazırlanan çözeltinin altlık üzerine damlatılması,
- 2- Altlığın farklı hızlarda ve sürelerde döndürülmesi,
- 3- Döndürülerek elde edilen ince filmin kurutulması,
- 4- Çok katlı yapı hazırlamak için sürecin tekrarlanması.



Şekil 2.9. Döndürerek kaplama yönteminin şematik gösterimi.

İlk aşamada filmi kaplayabilecek kadar çözelti duran veya yavaşça dönen altlık üzerine damlatılır. Daha sonra altlık yüksek bir devirle (1000-4000 devir/dakika) döndürülür. Sıvının fazlası film üzerinde merkezci kuvveti yenerek dışarı doğru ilerler ve altlığı damlalar halinde terk eder. Geriye kalan ıslak film, altlık üzerine homojen olarak dağılır. Döndürme işlemi bittikten sonra filmlerin kurutulması işlemine geçilir. Kurutma aşamasından sonra kaplama işlemi tamamlanır ve film oluşumu gerçekleşir. Bu adımlar sırasıyla aynı filmler için tekrarlanarak çok katlı filmler elde edilebilir.

Döndürerek kaplama yönteminde; film kalınlığı, dönüş hızı, dönüş zamanı, kaplama sayısı, çözelti hacmi ve tavlama sıcaklığı gibi parametreler değiştirilerek üretilmek istenen filmler kolayca çeşitlendirilebilir (Huang, 2012). Bu yöntem düşük maliyetli ve hızlı üretime olanak sağladığı için yaygın olarak tercih edilmektedir (Wang, 2008).

2.4. Filmlerin Hazırlanması

2.4.1. Filmlerin kaplanacağı alttaşların temizlenmesi

Filmleri kaplamak için alttaş olarak mikroskop camı kullanılmıştır. Mikroskop camları yaklaşık 10mm x 10mm boyutlarında kesilmiştir. Kesilen camların temizliği için sırasıyla aşağıdaki prosedür uygulanmıştır.

- Camlar saf suda kaynatılır, içine pirinç tanesi büyüklüğünde deterjan konup 5 dk. daha kaynatılır.
- Deterjandan çıkarılan camlar saf sudan geçirilir.
- Kromik asitte ıslatılır.
- Saf sudan geçirilir.
- 70°C'de 1 saat etüvde kurutulur.
- İzopropil alkolden geçirilir.
- 70°C'de 1 saat etüvde kurutulur.

Bu işlemlerden sonra filmlerimizi üzerine kaplayacağımız alttaşların temizlenme aşaması tamamlanmış olur.

2.4.2. Çözeltilerin hazırlanması

Bu çalışmada ZnO ve MgO çözeltileri ayrı ayrı hazırlanmış ve $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ yapısını oluşturmak için çeşitli hacimlerde karıştırılmıştır.

ZnO çözeltisinin (0,5 M) hazırlanması için $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (çinko asetat dihidrat), çözücü olarak 2-metoksietanol ve stabilizör olarak monoetanolamin (MEA) kullanılmıştır.

Çözelti hazırlanırken önce çözeltinin hazırlanacağı kaba 30 ml 2-metoksietanol konulmuştur. İçerisine 3,3005 gr çinko asetat dihidrat ilave edilmiştir. 10 dk. 70 °C'de karıştırılmıştır. Daha sonra çözeltiye 0,3 ml monoetanolamin (MEA) damla damla eklenmiştir. 150 dk. 70 °C'de karıştırılmış ve son olarak hazırlanan çözelti iki gün bekletilmiştir.

MgO çözeltisinin (0,5 M) hazırlanması için $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (magnezyum klorür heksahidrat), çözücü olarak 2-metoksietanol ve stabilizör olarak monoetanolamin (MEA) kullanılmıştır.

Çözelti hazırlanırken önce çözeltinin hazırlanacağı kaba 30 ml 2-metoksietanol konulmuştur. İçerisine 3,0582 gr magnezyum klorür heksahidrat ilave edilmiştir. 10 dk. 60 °C'de karıştırılmıştır. Daha sonra çözeltiye 0,3 ml monoetanolamin (MEA) damla damla eklenmiştir. 90 dk. 60 °C'de karıştırılmış ve son olarak hazırlanan çözelti bir gün bekletilmiştir.

2.4.3. (MgO)_x(ZnO)_{1-x} yapısının oluşturulması

(MgO)_x(ZnO)_{1-x} ($0 \leq x \leq 1$) yapısını farklı konsantrasyonlarda elde edebilmek için çözeltiler x değerlerine göre karıştırılmıştır. Burada x değerleri hacim (ml) olarak ifade edilmektedir. x değerleri sırasıyla 0 - 0,25 - 0,5 - 0,75 - 1 olarak seçilmiştir. 0,5 M olarak hazırlanan iki çözelti x değerlerine göre karıştırılarak 5 adet yapı elde edilmiştir. Ayrıca Çizelge 2.1.'de görüldüğü gibi her bir seri bir harfle kısaltılarak isimlendirilmiştir.

Çizelge 2.1. Seçilen x değerlerine göre oluşan yapılar ve seri adları.

x	Oluşan Yapı	Seri Adı
x= 0	ZnO	A
x= 0,25	(MgO) _{0,25} (ZnO) _{0,75}	B
x= 0,50	(MgO) _{0,50} (ZnO) _{0,50}	C
x= 0,75	(MgO) _{0,75} (ZnO) _{0,25}	D
x= 1	MgO	E

2.4.4. Deney parametrelerinin belirlenmesi

Kaplanan filmlerden en iyi sonucu elde edebilmek için her bir seride damlatma çözeltisi, döndürme süresi, döndürme hızı, kaplama katman sayısı ve tavlama sıcaklıkları parametreleri değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir.

A serisi için yapılan denemeler sonucunda; damlatma çözeltisi miktarının 15 µl, döndürme süresinin de 30 s olması kararlaştırılmıştır. Döndürme hızları 1000, 2000 ve 3000 rpm (round per minute-dakikadaki devir sayısı) olarak belirlenen filmlerin 3-6-9 katman olarak kaplanması ve hava ortamında 400, 500 ve 600°C'de tavlmasına karar verilmiştir. A serisi için seçilen bu parametreler Çizelge 2.2.'de listelenmiştir. Bu parametreler kullanılarak A serisi için 27 adet film üretilmiştir. Bu filmler de Bölüm 3'de X-Işını Kırınımı (XRD) sonuçlarına göre kendi aralarında karşılaştırılarak, A serisi için en iyi kristalleşmeyi gösteren film belirlenmiştir.

Çizelge 2.2. A serisi için filmlerin kaplama parametreleri.

Damlatma çözeltisi (μ l)	Döndürme Süresi (s)	Döndürme Hızı (rpm)	Katman Sayısı	Tavlama Sıcaklığı ($^{\circ}$ C)
15	30	1000	3 – 6 - 9	400
		1000	3 – 6 - 9	500
		1000	3 – 6 - 9	600
		2000	3 – 6 - 9	400
		2000	3 – 6 - 9	500
		2000	3 – 6 - 9	600
		3000	3 – 6 - 9	400
		3000	3 – 6 - 9	500
		3000	3 – 6 - 9	600

E serisi için yapılan denemeler sonucunda; damlatma çözeltisi miktarının 20 μ l, döndürme süresinin de 30 s olması kararlaştırılmıştır. Döndürme hızları 3000, 3500 ve 4000 rpm olarak belirlenen filmlerin 3-6-9 katman olarak kaplanması ve hava ortamında 400, 500 ve 600 $^{\circ}$ C’de tavlmasına karar verilmiştir. E serisi için seçilen bu parametreler Çizelge 2.3.’te listelenmiştir. Bu parametreler kullanılarak E serisi için 27 adet film üretilmiştir. Bu filmler de Bölüm 3’de XRD sonuçlarına göre kendi aralarında karşılaştırılarak, E serisi için en iyi kristalleşmeyi gösteren film belirlenmiştir.

Çizelge 2.3. E serisi için filmlerin kaplama parametreleri.

Damlatma çözeltisi (μ l)	Döndürme Süresi (s)	Döndürme Hızı (rpm)	Katman Sayısı	Tavlama Sıcaklığı ($^{\circ}$ C)
20	30	3000	3 – 6 - 9	400
		3000	3 – 6 - 9	500
		3000	3 – 6 - 9	600
		3500	3 – 6 - 9	400
		3500	3 – 6 - 9	500
		3500	3 – 6 - 9	600
		4000	3 – 6 - 9	400
		4000	3 – 6 - 9	500
		4000	3 – 6 - 9	600

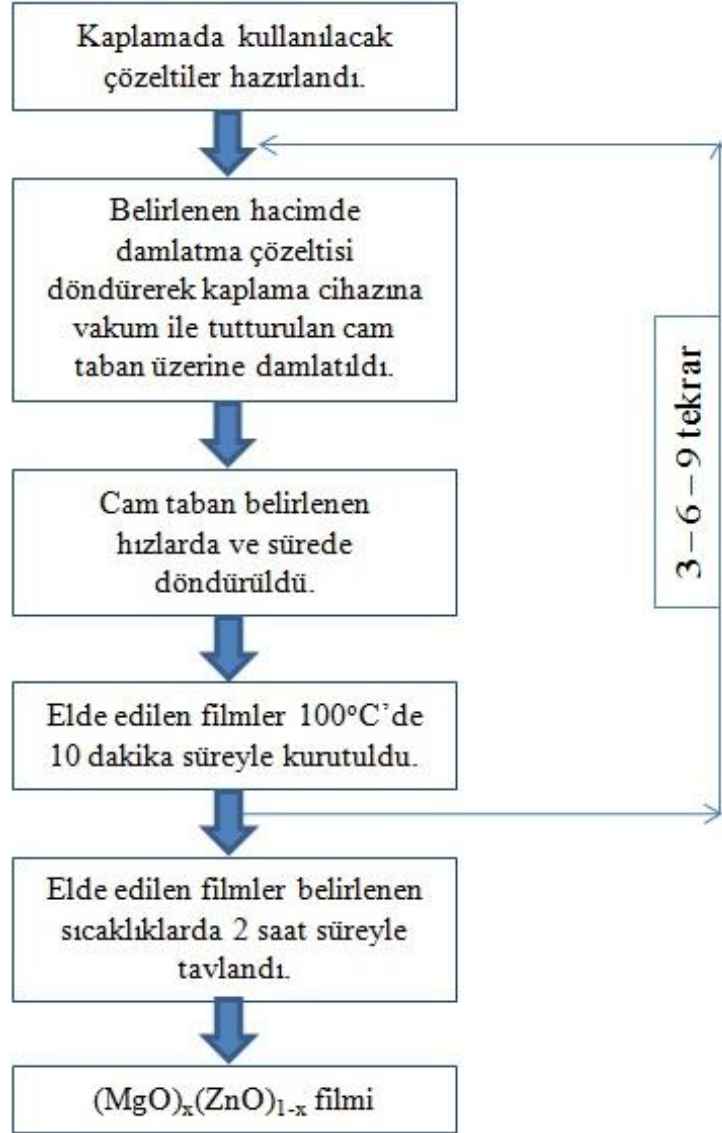
B, C ve D serilerinin kaplamaları yapılmadan önce A ve E serileri tamamlanarak, film yüzeyindeki makro homojenliğin ve üretilen filmlerin içinde en iyi kristalleşmenin hangi döndürme hızlarında olduğu belirlenmiştir. Buna göre; A serisi için 3000 rpm, E serisi için de 4000 rpm uygun görülmüştür. B, C ve D serileri de A ve E serilerinin ara serileri olduğundan dolayı döndürme hızı denemelerinde 3000, 3500 ve 4000 rpm hızlar denenmiş ve 3500 rpm döndürme hızına karar verilmiştir. Ayrıca denemeler sonucunda ara seriler için damlatma çözeltisi 20 µl, döndürme süresi de 30 s olarak belirlenmiştir. Kaplama katman sayısı da yine 3, 6 ve 9 olarak seçilmiştir. Tavlama sıcaklıkları 400, 500 ve 600°C'dir. B, C ve D serileri için seçilen bu parametreler Çizelge 2.4.'te listelenmiştir. Bu parametreler kullanılarak B serisi için 9, C serisi için 9, D serisi için 9 adet film üretilmiştir. Bu filmler de Bölüm 3'de XRD sonuçlarına göre kendi aralarında karşılaştırılarak, B, C ve D serileri için en iyi kristalleşmeyi gösteren filmler belirlenmiştir.

Çizelge 2.4. B, C ve D serileri için filmlerin kaplama parametreleri.

Damlatma çözeltisi (µl)	Döndürme Süresi (s)	Döndürme Hızı (rpm)	Katman Sayısı	Tavlama Sıcaklığı (°C)
20	30	3500	3 - 6 - 9	400
		3500	3 - 6 - 9	500
		3500	3 - 6 - 9	600

2.4.5. Deneyin yapılışı

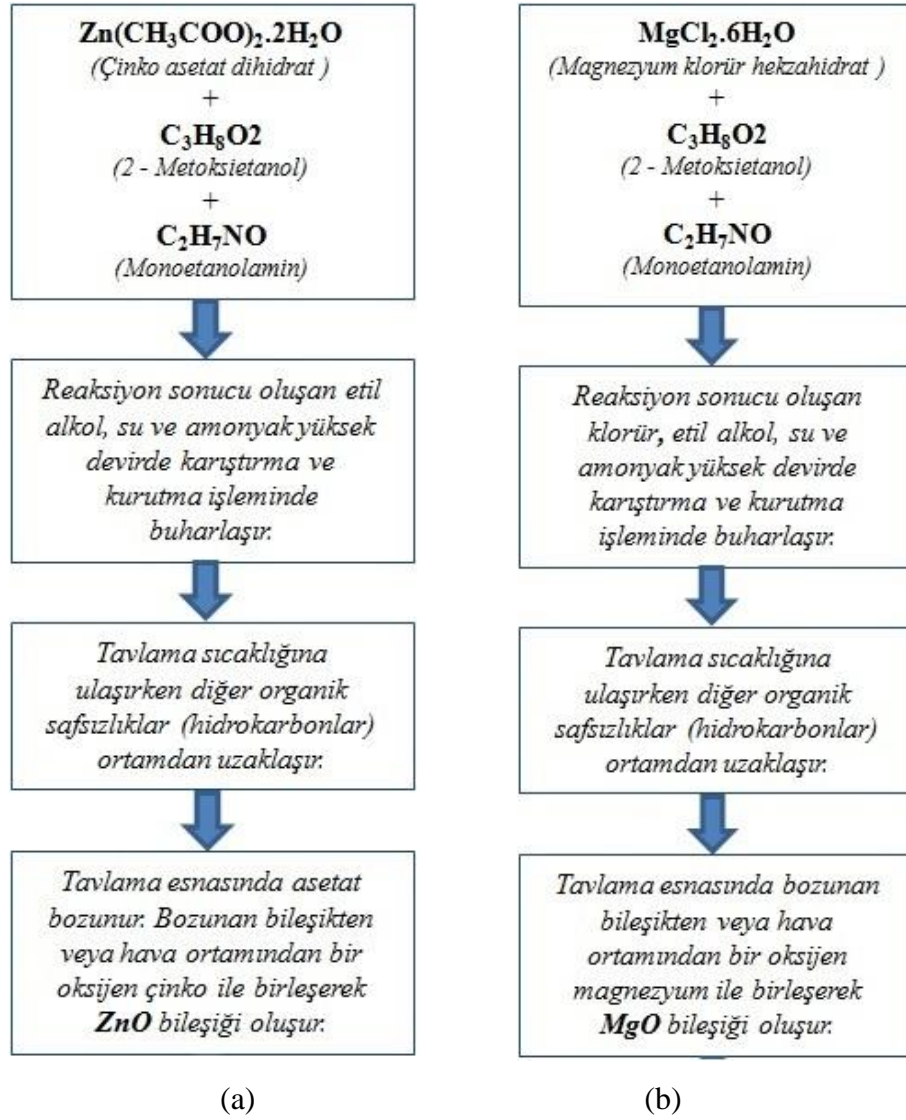
Çözelti hazırlama aşaması bittikten sonra, temizlenen cam tabanlar üzerine, WS-400-6NPP-Lite Laurell markalı cihaz ile döndürerek kaplama aşamasına geçilmiştir. Deney parametreleri daha önceden belirlenen, $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmler için sırasıyla önce A ve E serilerinin deneyleri tamamlanmış olup daha sonra B, C ve D serileri kaplanmıştır. Kaplama aşamasında, tüm seriler için belirlenen parametreler kullanılmak koşuluyla Şekil 2.10.'da gösterilen aynı süreç uygulanmıştır.



Şekil 2.10. Döndürerek kaplama yöntemiyle üretilen filmlerinin üretim şeması.

Kaplanacak cam taban yüksek hızlarda dönebilen platform üzerine uygun bir şekilde yerleştirildi. Belirlenen miktarda çözelti mikro pipet yardımıyla cam tabanın her yerine eşit dağılmasını sağlamak için tam merkeze gelecek şekilde damlatıldı. Yüksek dönüş hızlarında cam tabanın savrulmadan dönebilmesini sağlamak için tabana yüksek vakum uygulandı ve sonra döndürme işlemi başlatıldı. Dönüş bitince, vakum kapatılarak cam tabanlar alındı ve kurumaları için bir fırının içerisinde 100°C 'de 10 dakika boyunca ısıya tabi tutuldu. Kurutma işlemi yüzeyde tutunan çözeltiyi buharlaştırmak ve içerisindeki organik bileşiklerin yüzeyden uzaklaşmasını sağlamak için gerekli bir işlemdir. Bir kat kaplama için yapılan bu işlemler daha sonra tekrarlanarak, 3-6-9 katlı

filmler elde edildi. Daha sonra filmler, belirlenen sıcaklıklarda 2 saat süreyle tavlandı. Tavlama sonrası oluşan filmler oda sıcaklığına kadar soğutularak karakterizasyonlarının yapılabilmesi için hazır hale getirildi. Şekil 2.11. (a) ve (b)'de ise sırasıyla, ZnO ve MgO için üretim sırasında gerçekleşen kimyasal süreçler gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Filmlerin üretimi esnasında gerçekleşen kimyasal süreçler.

Elde edilen filmlerin yapısal karakterizasyonu için X-ışını toz kırınımı metodu kullanılmıştır. Tüm seriler için denemeleri yapılan parametrelerin her birinin X-ışını kırınım desenleri kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda, her seri için en

iyi kristalleşmeyi gösteren film belirlenerek optik, yüzeysel ve elektriksel ölçümler bu filmlerden alınmıştır. Optiksel özellikleri UV-Vis, yüzey özellikleri Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM), elementel analizleri Enerji Dağılımlı X-ışınları Spektroskopisi (EDS), elektriksel özellikleri ise dört uç metodu ve sıcak uç metodu kullanılarak incelenmiştir.

3. $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ FİLMLERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ve BULGULARIN TARTIŞILMASI

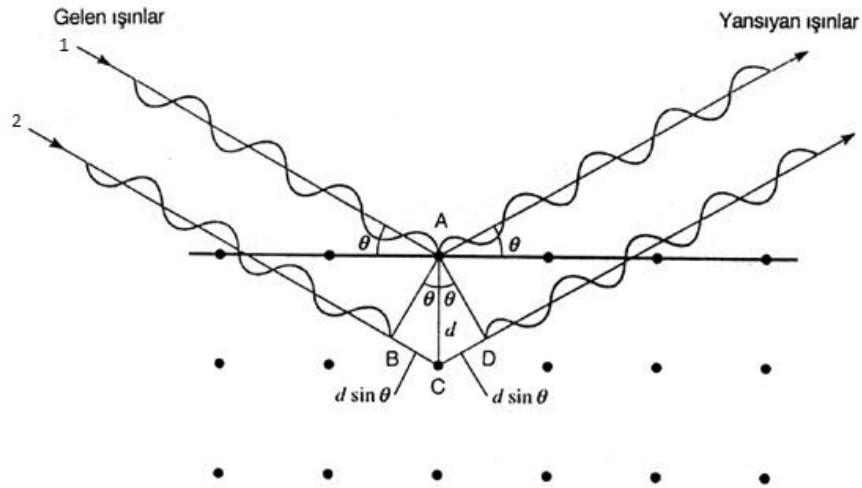
Katılar, atomlarının dizilişine göre amorf veya kristal şeklinde ayrılırlar. Amorf yapı materyaldeki atomların rastgele dizilmeleriyle oluşturdukları yapıdır. Kristal yapı ise atom veya atom gruplarının üç boyutlu bir uzayda belirli bir düzen içerisinde kendini periyodik olarak tekrar etmesi ile oluşur.

Bir kristalin yapısını inceleyebilmek için dalga boyları görünür ışığa göre çok daha küçük olan elektromanyetik dalgalara ihtiyaç vardır (Blakemore, 1985). Bu yüzden kristal yapının incelenmesinde, dalga boyları atomlar arası mertebede (0,1-100 Å) olan yüksek enerjili x-ışınları kullanılmaktadır (Callister, 2007). X-ışınları 1895 yılında Alman fizikçi Wilhelm Röntgen tarafından keşfedilmiş ve o yıllarda yapısı bilinmediği için x-ışınları olarak isimlendirilmiştir. Görünür bölge dışında dalga boyuna sahip olan bu ışınlar gözle görülmezler.

Kristal yapıdaki katılar, atomların düzenli dizilişlerini periyodik olarak tekrarlaması sonucu olduğundan, üzerine atomlar arası mesafe mertebesinde dalga boyuna sahip x-ışınları geldiğinde, kristal yapıdaki katı, sanki düzenli dizilmiş yarıklarmış gibi davranır. Böylece kristal yapıdaki katıdan çıkan kırınıma uğramış x-ışınlarının incelenmesiyle (kırınım deseni), kristal yapının belirlenmesi mümkün olmaktadır (Cullity, 2001). X-ışınları kristal yapının geometrik şartlarına bağlı olarak kırınıma uğramaktadır. Bu kırınım Bragg Yasası temel alınarak incelenir.

Bragg, kırınım olayı üzerinde, ışınların dalga boylarının ve kristaldeki simetri düzenlerinin rol oynadıklarını ortaya koymuştur. Bragg'ın kullandığı yöntemde ışınların birbirlerine paralel ardışık ağ düzlemleri üzerinde yansımaları esas alınır (Cullity, 2001).

Bragg Yasası'na göre, paralel örgü düzlemlerinin d aralıklarıyla sıralandığını ve bir x-ışını demetinin düzlemlerden birisi ile θ açısı yapacak biçimde geldiği varsayılır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. X-ışınlarının kristal tarafından kırınımı.

X-ışınları demeti kristal yüzeyine θ açısıyla gönderildiğinde ışımının bir kısmı yüzey atomlarıyla etkileşerek saçılır. Aynı zamanda ardışık düzlemlerden de aynı fazda saçılma gerçekleşir. Dolayısıyla, demet hem üstteki hem de alttaki atomların düzleminde yansıyacaktır. Fakat alt düzlemden yansıyan demet üst düzlemden yansıyan demetten daha fazla yol kat etmektedir. İki demet arasındaki yol farkı;

$$|BC| + |CD| = d \sin \theta + d \sin \theta = 2d \sin \theta \quad (3.1)$$

olur. Bragg Yasası'na göre bu yol farkı, gelen ışının dalga boyunun (λ) tam katları olduğu zaman yansıma gerçekleşir (Kittel, 1996).

$$n\lambda = 2d \sin \theta_B \quad (3.2)$$

Burada θ_B ; Bragg açısıdır. n ise yansıma mertebesini göstermektedir. Kristal incelemelerinde genelde $n=1$ alınmaktadır.

Gelen ışının doğrultusu ile yansıyan ışının arasında kalan açı 2θ 'dir. Bu açı difraksiyon açısı olarak adlandırılır.

Bragg Yasası, numuneye bilinen dalga boyunda ışın gönderilerek 2θ açısının ölçülmesiyle kristal düzlemleri arası d uzaklığının bulunmasında kullanılır. Farklı 2θ açıları için bu ölçümler yapılarak numune için x-ışını kırınım deseni elde edilir.

Bragg Yasası'nın koşulları sağlanarak üç farklı yöntemle x-ışınları kırınımından veri elde edilebilir. Bunlar Laue Metodu, Döner Kristal Metodu ve Toz Yöntemidir. X-ışınları ile kırınım olayında kullanılan ilk kırınım metodu Laue Metodudur. Bu metotta; λ dalga boyu değişkendir ve Bragg açısı θ_B sabit tutulur. Döner Kristal Metodunda ise dalga boyu sabit olan ışınlar tek kristal üzerine değişen açılarda düşürülür. Silindirik bir film kristalin etrafına eksenleri çakışacak şekilde konur ve kristal sabit bir eksen etrafında ve sabit dalga boylu ışın altında döndürülür. Toz Metodunda da döner kristal yönteminde olduğu gibi λ dalga boyu sabit ve θ_B açısı değişkendir. Toz kırınım metodu kristal yapı hakkında bilgi edinmek amacıyla en yaygın olarak kullanılan metodlardan bir tanesidir.

X-ışını kırınım desenlerinden, filmlerin kristalleşmeleri hakkında bilgi elde edilebilir. Numuneye ait kristal düzlemleri, bu düzlemlerin pik şiddetleri ve yarı pik genişlikleri (FWHM) kristalleşme hakkında bilgiler verir. Düzleme ait pikin şiddetinin büyük ve yarı pik genişliğinin küçük olması kristalleşmenin iyi olduğunu gösterir (Cullity, 2001).

Kristalleşme seviyesine ait diğer bir parametre de ortalama tane boyutudur (D) ve Scherrer Formülü ile hesaplanır;

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos\theta_B} \quad (3.3)$$

Burada λ ; x-ışınlarının dalga boyu, β ; radyan cinsinden yarı pik genişliğidir. Tane boyutu değerlerinin artması, tane sınırlarının azalması anlamına gelir. Bu yüzden tane boyutu arttıkça kristalleşme iyileşir (Cullity, 2001).

Kristal yapıdaki çizgisel kusurlara dislokasyon denir. Bir malzemenin belli bir kısmında bulunan dislokasyonların miktarı, dislokasyon yoğunluğu ifadesiyle tanımlanır.

$$\delta = n \frac{1}{D^2} \quad (3.4)$$

Dislokasyon yoğunluğu (δ) kristalin birim hacmindeki dislokasyon çizgilerinin uzunluğunu temsil eder ve minimum değeri için $n=1$ alınır. Küçük değerleri numunenin kristalleşme seviyesinin iyi olduğu anlamına gelir (Ivanova, 2010).

Ayrıca numuneye ait x-ışını kırınım deseninden tercihli yönelim olup olmadığını tespit ederek, numunelerin örgü sabitlerini hesaplayarak da kristalleşme hakkında bilgiler elde edilebilir. Numunenin tercihli yönelimi yapılanma katsayısı (texture coefficient) formülden hesaplanır (Manoj, 2006);

$$TC(h_i k_i l_i) = \frac{I(h_i k_i l_i)}{I_0(h_i k_i l_i)} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{I(h_i k_i l_i)}{I_0(h_i k_i l_i)} \right]^{-1} \quad (3.5)$$

Burada $I_0(hkl)$ düzleminin standart şiddetini, $I(hkl)$ ise aynı düzlemin gözlenen şiddetini, n ise kırınım deseni üzerindeki piklerin toplam sayısını ifade eder. Yapılanma katsayısı eğer 1'den büyük ise o düzlemin tercihli yönelime sahip olduğu söylenir. Tercihli bir yönelme için $TC(h k l)$ değeri birden büyük olmalıdır (Nair, 1998; Köse, 2008).

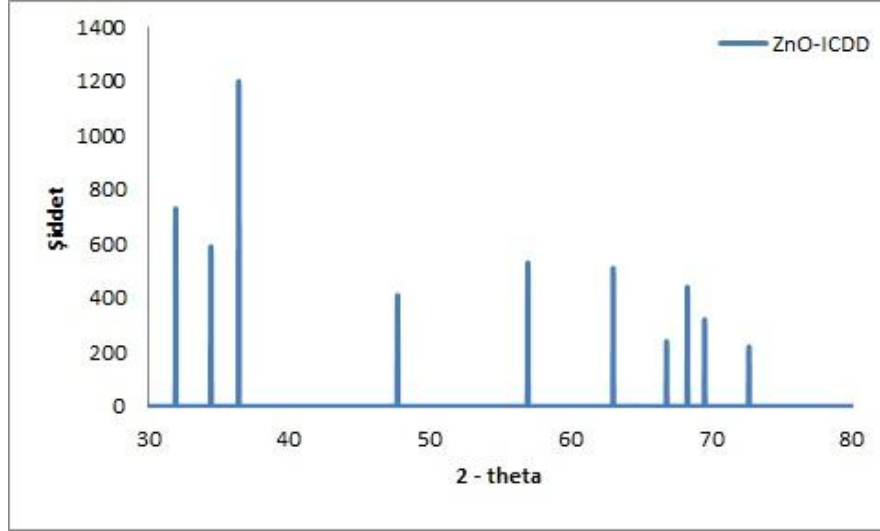
Bu tez çalışmasında farklı parametrelerde kaplanan filmlerin yapısal özelliklerinin incelenmesi için Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan PANALYTICAL Empeyan X-Işını Kırınımı (XRD) cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. X-Işını Kırınımı (XRD) cihazı.

Cihazın çalışma şartları olarak 45 kV voltaj ve 40 mA akım uygulanmıştır. Tarama hızı 2 derece/dakika seçilmiş, dalgaboyu 1,5406 Å olan CuK_α ışını kullanılmış ve numuneler $30^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ sınır değerlerinde incelenmiştir.

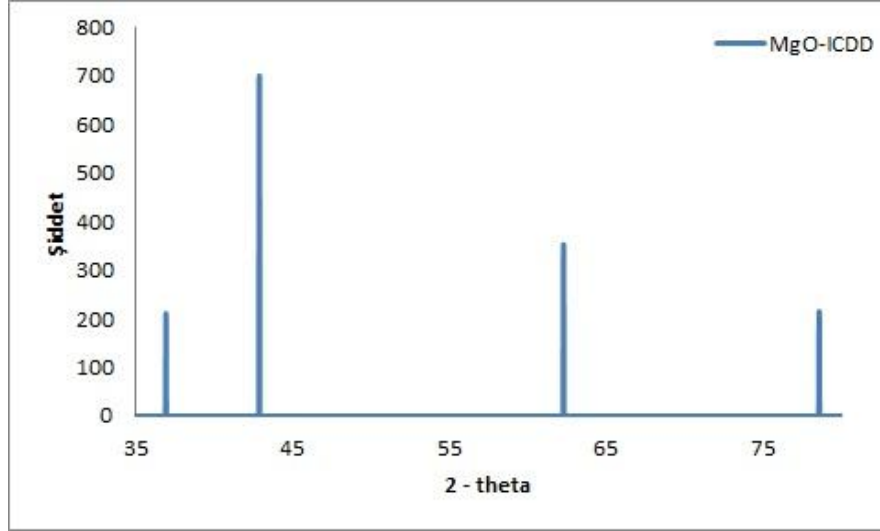
Bulunan yapılar; hegzagonal yapıda ZnO için ICDD (International Centre for Diffraction Data): 98-003-1052 ve kübik yapıda MgO için ICDD: 98-064-2712 ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3.3.'te ZnO-ICDD'ye, Şekil 3.4.'te de MgO-ICDD'ye ait XRD spektrumları verilmiştir. Ayrıca Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de spektrumda yer alan piklerin bazı özellikleri listelenmiştir.



Şekil 3.3. ZnO-ICDD'ye ait XRD spektrumu.

Çizelge 3.1. ZnO-ICDD'ye ait piklerin bazı özellikleri.

No	2 - theta	(hkl)	I (%)
1	31,96	(010)	53
2	34,46	(002)	39
3	36,44	(011)	100
4	47,71	(012)	21
5	56,97	(110)	33
6	63,04	(013)	31
7	66,83	(020)	4
8	68,31	(112)	24
9	69,54	(021)	12
10	72,67	(004)	2



Şekil 3.4. MgO-ICDD'ye ait XRD spektrumu.

Çizelge 3.2. MgO-ICDD'ye ait piklerin bazı özellikleri.

No	2 - theta	(hkl)	I (%)
1	36,92	(111)	15
2	42,89	(002)	100
3	62,28	(022)	53
4	78,59	(222)	11

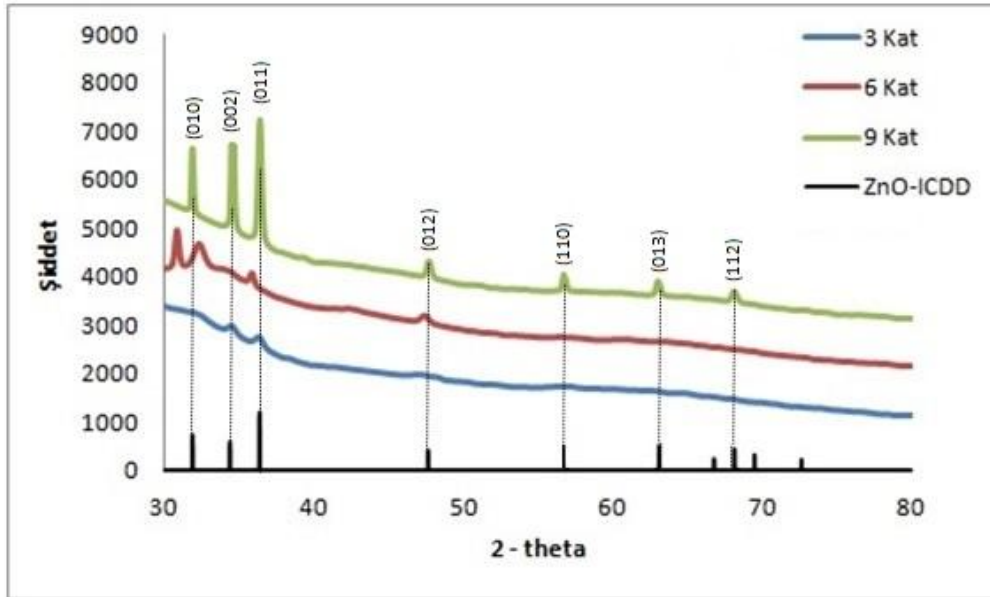
Elde edilen tüm filmler bu iki ICDD kartıyla karşılaştırılmış olup özellikleri bu şekilde incelenmiştir. Ayrıca her bir filmin incelemesinde karşılaştırmalı grafikler çizilirken o yapıya ait ICDD spektrumu da birlikte çizdirilerek daha iyi kıyaslanması amaçlanmıştır.

3.1. A Serisi Filmlerin XRD Analizleri

A serisi filmlerin sırasıyla, Çizelge 3.3.–3.20. arasında kaplama parametreleri ve bu parametrelerde elde edilen yapıların, Şekil 3.5.–3.13. arasında XRD analiz sonuçları ZnO-ICDD kartıyla karşılaştırılmaları olarak verilmektedir.

Çizelge 3.3. A serisi (1000 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
1000	3 – 6 – 9	400



Şekil 3.5. A serisi (1000 rpm – 400°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.4. A serisi (1000 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm)⁻²
3	0,61	18	(011)	42,16
6	0,30	33	-	10,47
9	0,25	39	-	6,91

Şekil 3.5.'te görüldüğü gibi, A serisinde 1000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 400 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri 3 ve 6 katman olarak kaplanan filmlerden daha büyüktür. 9 katman olarak hazırlanan filmin en şiddetli piki hekzagonal ZnO yapısına ait (011) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde sırasıyla (010), (002), (012), (110), (013) ve (112) pikleri gözlenmektedir. Buna karşılık 3 katmanlı filmlerde (002) ve (011) olmak üzere 2 adet, 6 katmanlı filmlerde de (010), (002), (011) ve (012) olmak üzere 4 adet pike rastlanmıştır.

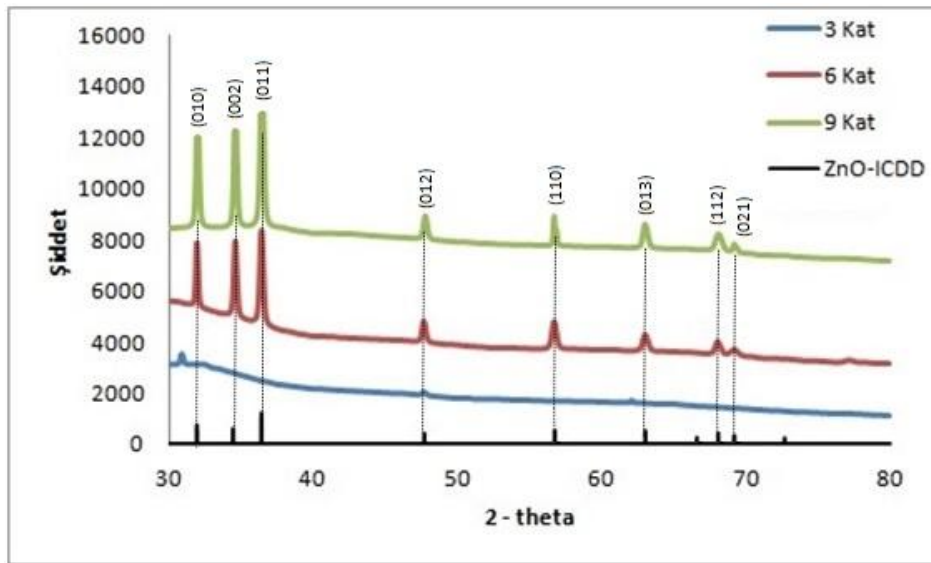
Çizelge 3.4.'te 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için Denklem (3.5)'den elde edilen yapılanma katsayısı (texture coefficient) değerleri kullanılmış, her bir pik için ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Bir düzlemin tercihli yöneline sahip olması için yapılanma katsayısının 1'den büyük olması gerekir. 3 katmanlı filmlerde yapılanma katsayısı (011) piki için 1'den büyük olarak hesaplanmıştır. Yapılanma katsayısı 1'den büyük başka pike sahip olmadığı için 3 katmanlı filmlerin tercihli yöneliminin (011) düzlemi olduğu anlaşılmıştır. 6 ve 9 katmanlı filmlerin her bir piki için ayrı ayrı hesaplanan yapılanma katsayısı değerleri incelendiğinde 1'den büyük bir den fazla yansıma düzlemi mevcuttur, bu nedenle tercihli yönelme 6 ve 9 katmanlı filmler için rastgeledir.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) Denklem (3.3)'den yararlanarak hesaplanmıştır. 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Tane boyutları büyüdükçe kristalleşme iyileşmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) ise Denklem (3.4) ile elde edilmiştir. Burada da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. δ 'nın küçük değerleri numunenin kristalleşme seviyesinin iyi olduğu anlamına gelir. Ayrıca yarı pik genişliği (FWHM) de azaldıkça

kristalleşme iyileşir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.5. A serisi (1000 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
1000	3 – 6 – 9	500



Şekil 3.6. A serisi (1000 rpm – 500°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.6. A serisi (1000 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻²
3	0,3047	33	-	9,41
6	0,2558	40	-	6,40
9	0,2303	44	-	5,57

Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi, A serisinde 1000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 500 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (011) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde sırasıyla (010), (002), (012), (110),

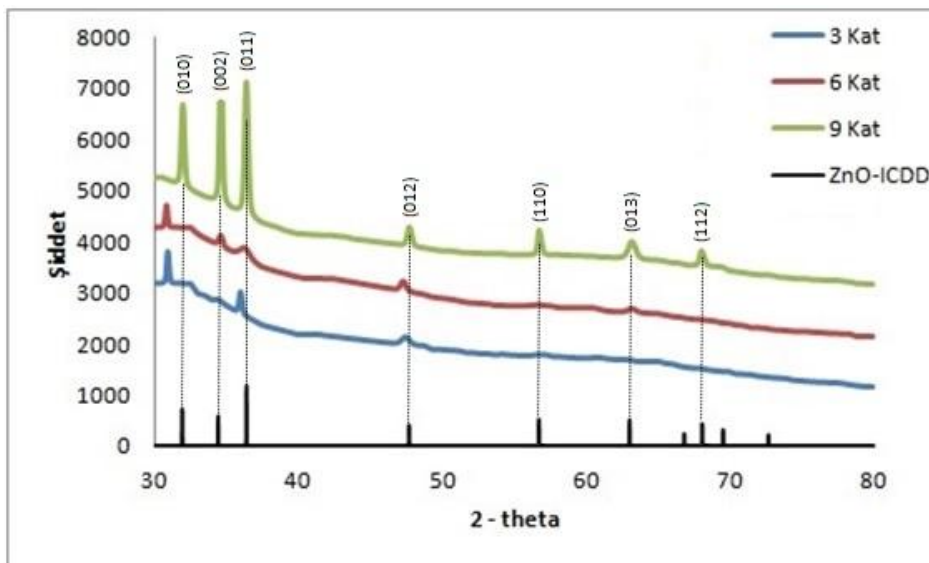
(013), (112) ve (021) pikleri gözlenmektedir. 6 katmanlı filmlerde de (010), (002), (011), (012), (110), (013), (112) ve (021) olmak üzere 8 adet pike rastlanmıştır. Buna karşılık 3 katmanlı filmlerde (010) ve (012) olmak üzere 2 adet pik bulunmaktadır.

Çizelge 3.6.'da 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.7. A serisi (1000 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
1000	3 – 6 – 9	600



Şekil 3.7. A serisi (1000 rpm – 600°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.8. A serisi (1000 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm)⁻²
3	0,60	18	-	39,01
6	0,30	32	-	10,25
9	0,25	39	-	6,91

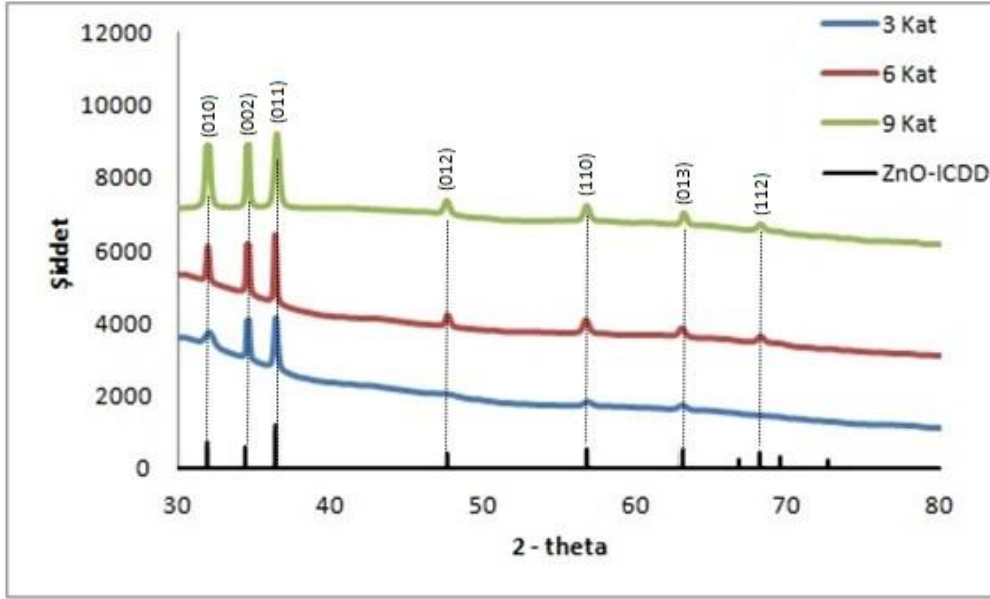
Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi, A serisinde 1000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 600 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (011) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde sırasıyla (010), (002), (012), (110), (013) ve (112) pikleri gözlenmektedir. 6 katmanlı filmlerde de (010), (002), (011), (012) ve (013) olmak üzere 5 adet pike rastlanmıştır. Buna karşılık 3 katmanlı filmlerde (010), (011) ve (012) olmak üzere 3 adet pik bulunmaktadır.

Çizelge 3.8.'de 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.9. A serisi (2000 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
2000	3 – 6 – 9	400



Şekil 3.8. A serisi (2000 rpm – 400°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.10. A serisi (2000 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻²
3	0,51	22	-	21,37
6	0,30	34	-	9,41
9	0,28	36	-	8,13

Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi, A serisinde 2000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 400 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (011) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde sırasıyla (010), (002), (012), (110), (013) ve (112) pikleri gözlenmektedir. 6 katmanlı filmlerde de yine aynı şekilde (010), (002), (011), (012), (110), (013) ve (112) olmak üzere 7 adet pike rastlanmıştır. Buna karşılık 3 katmanlı filmlerde (010), (002), (110) ve (013) olmak üzere 4 adet pik bulunmaktadır.

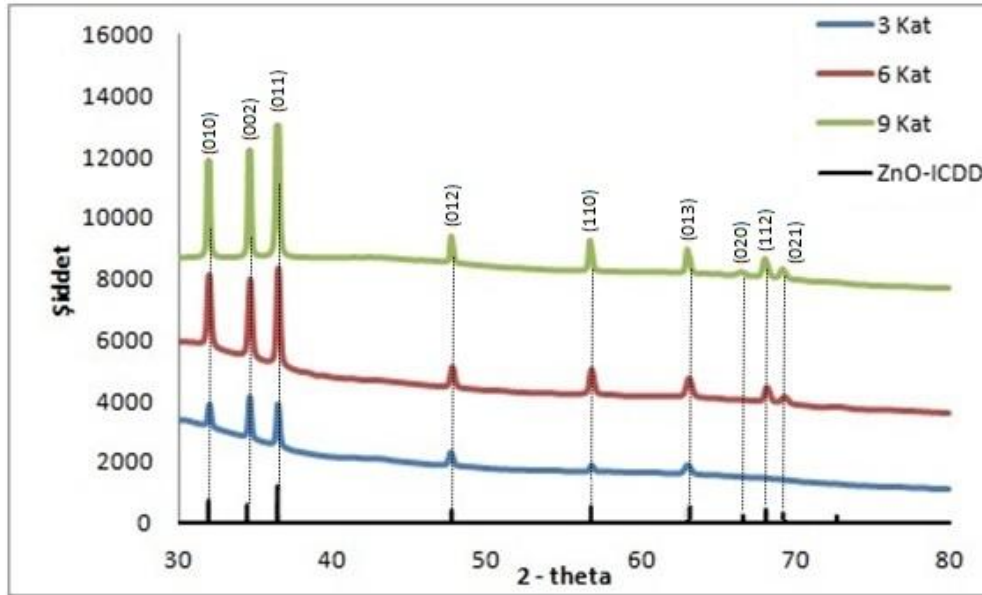
Çizelge 3.10.'da 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir.

Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.11. A serisi (2000 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
2000	3 – 6 – 9	500



Şekil 3.9. A serisi (2000 rpm – 500°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.12. A serisi (2000 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm)⁻²
3	0,41	26	-	14,80
6	0,23	42	-	5,51
9	0,18	54	-	3,40

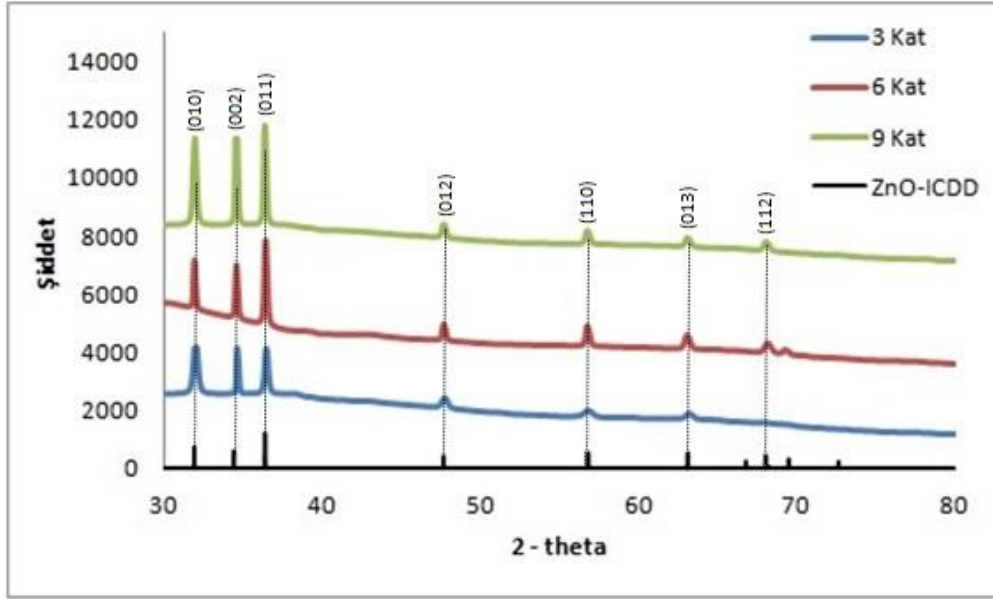
Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi, A serisinde 2000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 500 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (011) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde sırasıyla (010), (002), (012), (110), (013), (020), (112) ve (021) pikleri gözlenmektedir. 6 katmanlı filmlerde de (010), (002), (011), (012), (110), (013), (112) ve (021) olmak üzere 8 adet pike rastlanmıştır. Buna karşılık 3 katmanlı filmlerde (010), (002), (011), (012), (110) ve (013) olmak üzere 6 adet pik bulunmaktadır.

Çizelge 3.12.'de 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.13. A serisi (2000 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
2000	3 – 6 – 9	600



Şekil 3.10. A serisi (2000 rpm – 600°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.14. A serisi (2000 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻²
3	0,40	25	-	17,06
6	0,24	42	-	5,90
9	0,20	50	-	3,94

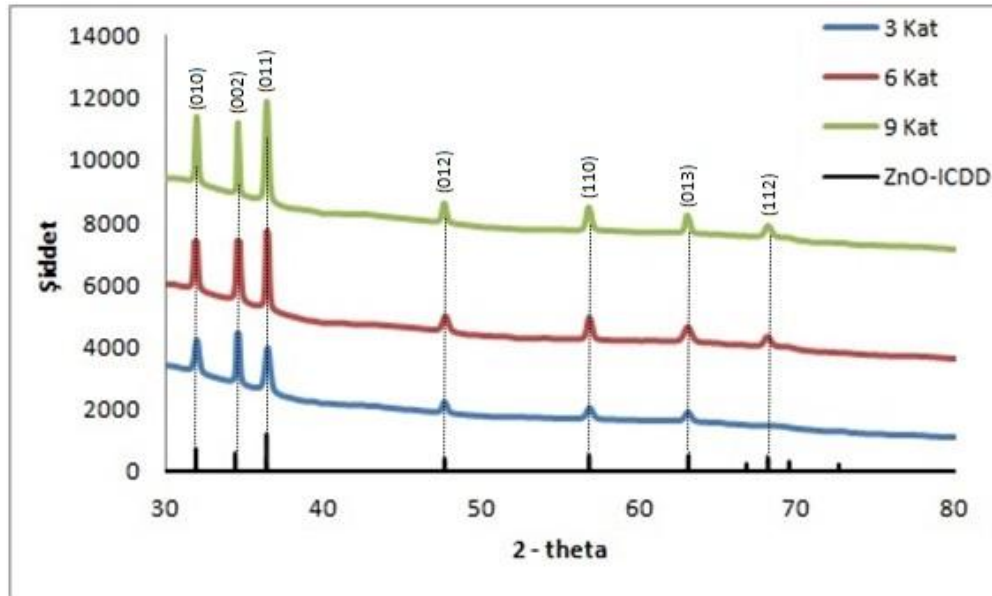
Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi, A serisinde 2000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 600 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (011) pikedir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde sırasıyla (010), (002), (012), (110), (013), (112) ve (021) pikleri gözlenmektedir. 6 katmanlı filmlerde de (010), (002), (011), (012), (110), (013) ve (112) olmak üzere 7 adet pike rastlanmıştır. Buna karşılık 3 katmanlı filmlerde (010), (002), (011), (012), (110) ve (013) olmak üzere 6 adet pik bulunmaktadır.

Çizelge 3.14.'te 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelmenin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.15. A serisi (3000 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3000	3 – 6 – 9	400



Şekil 3.11. A serisi (3000 rpm – 400°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.16. A serisi (3000 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm)⁻²
3	0,40	26	-	15,77
6	0,29	34	-	8,69
9	0,23	43	-	5,51

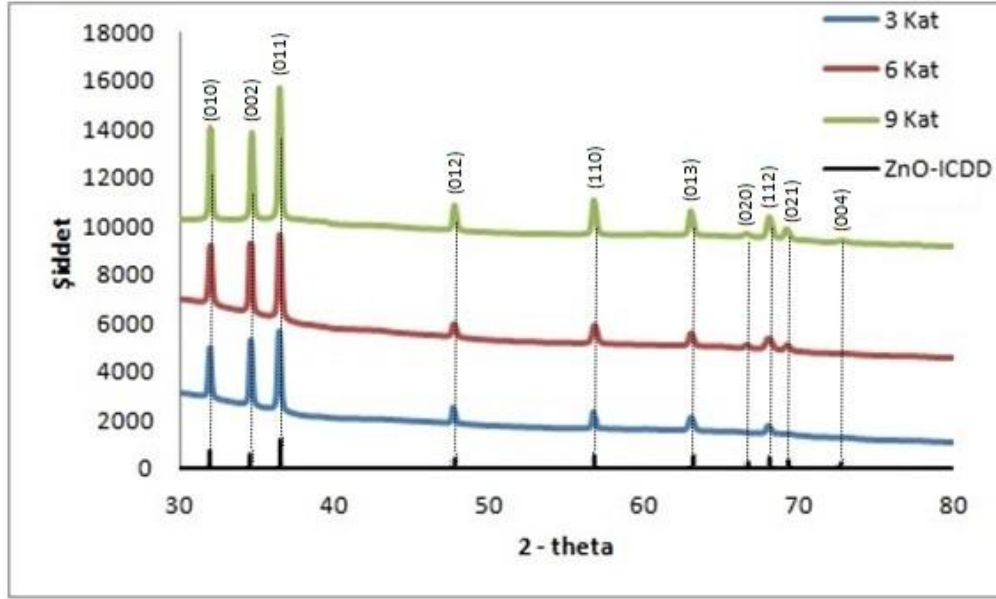
Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi, A serisinde 3000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 400 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (011) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde sırasıyla (010), (002), (012), (110), (013) ve (112) pikleri gözlenmektedir. 6 katmanlı filmlerde de aynı şekilde (010), (002), (011), (012), (110), (013) ve (112) olmak üzere 7 adet pike rastlanmıştır. Buna karşılık 3 katmanlı filmlerde (010), (002), (011), (012), (110) ve (013) olmak üzere 6 adet pik bulunmaktadır.

Çizelge 3.16.'da 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.17. A serisi (3000 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3000	3 – 6 – 9	500



Şekil 3.12. A serisi (3000 rpm – 500°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.18. A serisi (3000 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻²
3	0,28	35	-	8,14
6	0,23	43	-	5,54
9	0,17	56	-	3,15

Şekil 3.12.'de görüldüğü gibi, A serisinde 3000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 500 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (011) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde sırasıyla (010), (002), (012), (110), (013), (020), (112), (021) ve (004) pikleri gözlenmektedir. 6 katmanlı filmlerde de (010), (002), (011), (012), (110), (013), (020), (112) ve (021) olmak üzere 9 adet pike rastlanmıştır. Buna karşılık 3 katmanlı filmlerde (010), (002), (011), (012), (110), (013) ve (112) olmak üzere 7 adet pik bulunmaktadır.

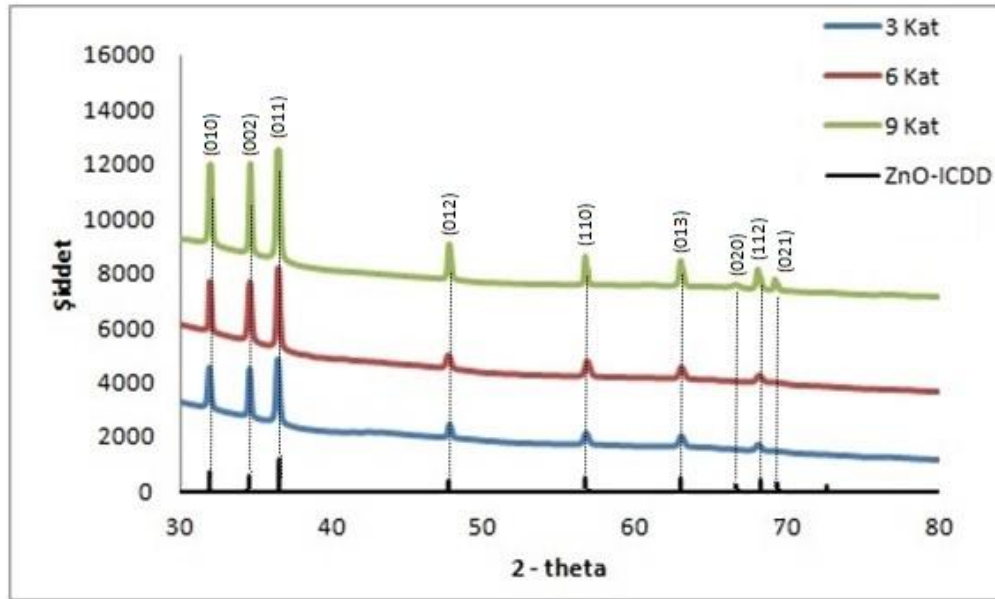
Çizelge 3.18.'de 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir.

Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelmenin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.19. A serisi (3000 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3000	3 – 6 – 9	600



Şekil 3.13. A serisi (3000 rpm – 600°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.20. A serisi (3000 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm)⁻²
3	0,29	34	-	8,70
6	0,22	42	-	5,57
9	0,18	54	-	3,40

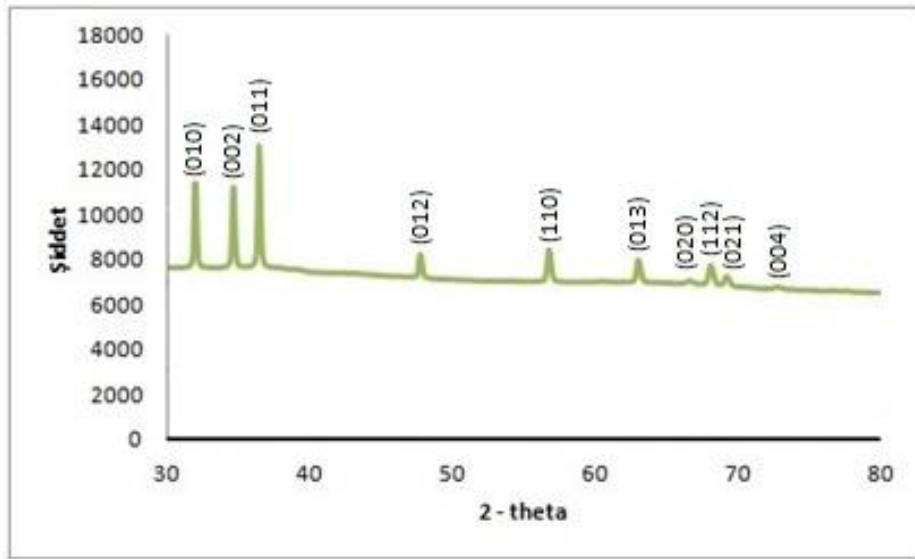
Şekil 3.13.'te görüldüğü gibi, A serisinde 3000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 600 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (011) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde sırasıyla (010), (002), (012), (110), (013), (020), (112) ve (021) pikleri gözlenmektedir. 6 katmanlı filmlerde de (010), (002), (011), (012), (110), (013) ve (112) olmak üzere 7 adet pike rastlanmıştır. 3 katmanlı filmlerde de aynı şekilde (010), (002), (011), (012), (110), (013) ve (112) olmak üzere 7 adet pik bulunmaktadır.

Çizelge 3.20.'de 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

A serisi için XRD analiz sonuçları incelendiğinde tüm döndürme hızı (1000, 2000, 3000 rpm) ve tavlama sıcaklığı (400, 500, 600°C) denemelerinde 9 katmanlı filmler diğer 3 ve 6 katmanlı filmlerden daha iyi kristalleşme göstermişlerdir. Bu 9 katmanlı filmler arasından da hangi döndürme hızı ve tavlama sıcaklığındaki filmin en iyi kristalleşmeyi gösterdiğini görebilmek için çıkan sonuçlar birbiri ile karşılaştırılarak incelendiğinde Şekil 3.14.'te de gösterilen 3000 rpm döndürme hızında kaplanan ve 500°C'de tavlanan filmlerin

şiddetinin diğer filmlerden daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca Çizelge 3.21. incelendiğinde de en küçük dislokasyon yoğunluğu değerine ve yarı pik genişliğine sahip olan filmler 3000 rpm döndürme hızında kaplanan ve 500°C’de tavlanan filmlerdir. Bu filmlerin ortalama tane boyutu da 56 nm ile serideki en büyük değerdir. Bu özellikleri ile A serisinde en iyi kristalleşmeyi gösteren filmlerin, 3000 rpm döndürme hızında kaplanan ve 500°C’de tavlanan filmler olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 3.14. A serisinde en iyi kristalleşmeyi gösteren filmler (3000 rpm – 500°C – 9 kat).

Çizelge 3.21. A serisi 9 katmanlı filmlerin piklerine ait bilgiler.

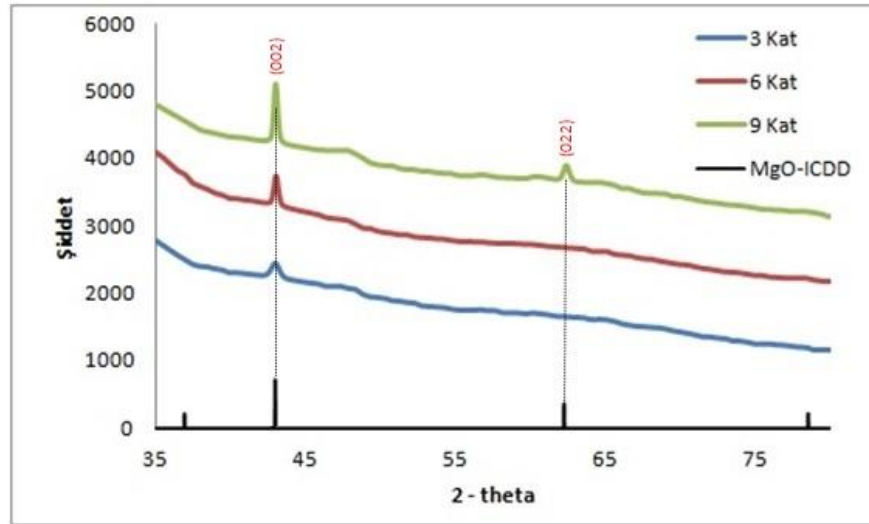
Döndürme Hızı (rpm)	Katman Sayısı	Tavlama Sıcaklığı (°C)	FWHM	D (nm)	δ (nm) ⁻²
1000	9	400	0,25	39	6,91
1000	9	500	0,23	44	5,57
1000	9	600	0,25	39	6,91
2000	9	400	0,28	36	8,13
2000	9	500	0,18	54	3,40
2000	9	600	0,20	50	3,94
3000	9	400	0,23	43	5,51
3000	9	500	0,17	56	3,15
3000	9	600	0,18	54	3,40

3.2. E Serisi Filmlerin XRD Analizleri

E serisi filmlerin sırasıyla, Çizelge 3.22.–3.39. arasında kaplama parametreleri ve bu parametrelerde elde edilen yapıların, Şekil 3.15.–3.23. arasında XRD analiz sonuçları MgO-ICDD kartıyla karşılaştırılmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 3.22. E serisi (3000 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3000	3 – 6 – 9	400



Şekil 3.15. E serisi (3000 rpm – 400°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.23. E serisi (3000 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻²
3	0,61	15	(002)	5,17
6	0,40	23	(002)	2,29
9	0,30	32	(002)	1,29

Şekil 3.15.'te görüldüğü gibi, E serisinde 3000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 400 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer

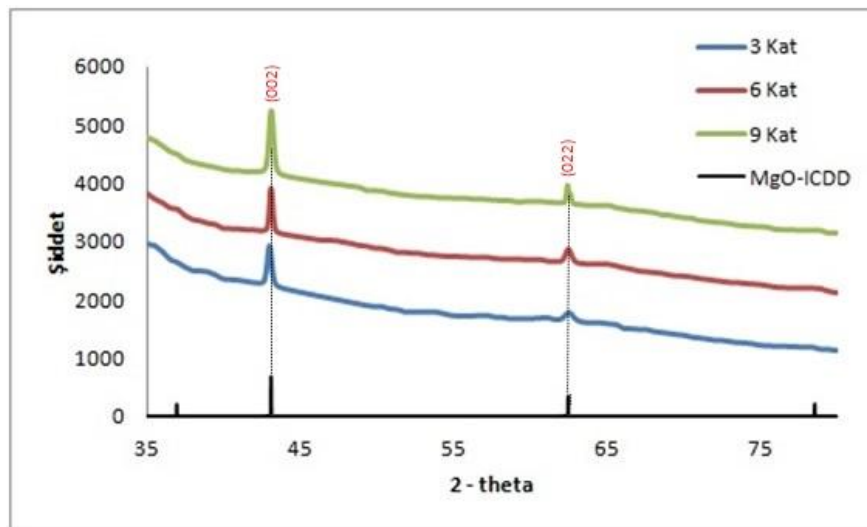
filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki kübik MgO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde (002) pikinin yanında (022) piki de gözlenmektedir. 3 ve 6 katmanlı filmlerde ise sadece (002) pikine rastlanmıştır.

Çizelge 3.23.'te 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için (002) düzlemi olduğu anlaşılmıştır.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.24. E serisi (3000 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3000	3 – 6 – 9	500



Şekil 3.16. E serisi (3000 rpm – 500°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.25. E serisi (3000 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm)⁻²
3	0,35	27	(002)	1,75
6	0,35	27	(002)	1,75
9	0,30	31	(002)	1,29

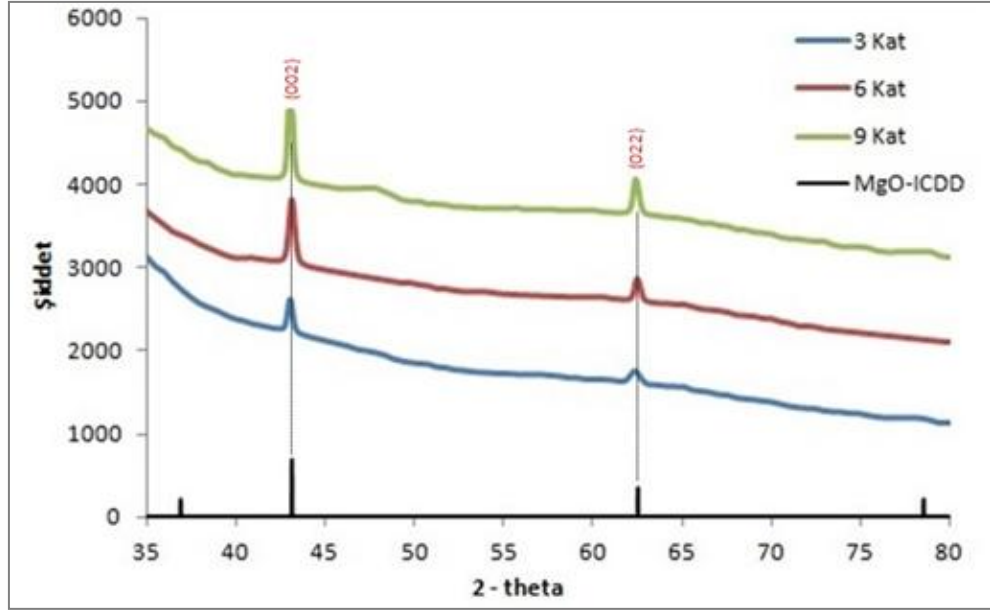
Şekil 3.16.'da görüldüğü gibi, E serisinde 3000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 500 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri, 6 katmanlı filmlerin şiddetleri ile birbirine çok yakındır. 9 katman olarak hazırlanan filmin en şiddetli piki kübik MgO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde (002) pikinin yanında (022) piki de gözlenmektedir. 3 ve 6 katmanlı filmlerde de (002) ve (022) piklerine rastlanmıştır.

Çizelge 3.25.'te 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için (002) düzlemi olduğu anlaşılmıştır.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.26. E serisi (3000 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3000	3 – 6 – 9	600



Şekil 3.17. E serisi (3000 rpm – 600°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.27. E serisi (3000 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻²
3	0,30	32	(002)	1,29
6	0,30	32	(002)	1,29
9	0,21	46	(002)	0,65

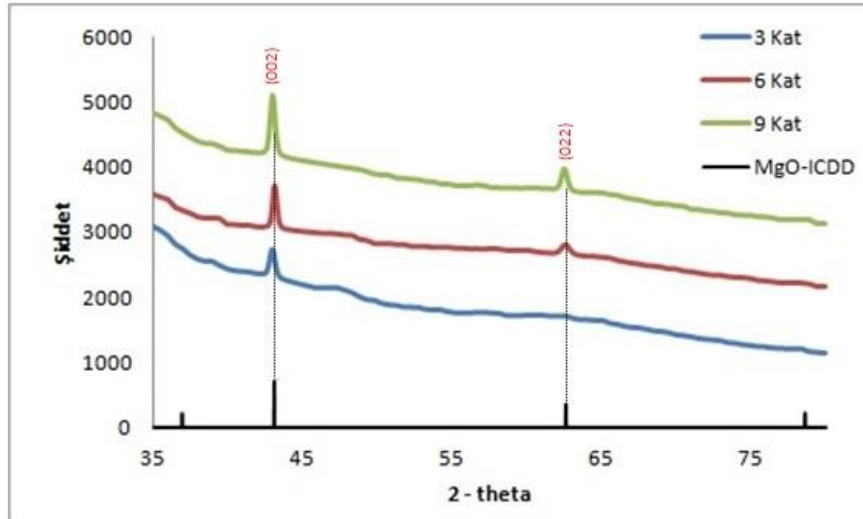
Şekil 3.17.'de görüldüğü gibi, E serisinde 3000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 600 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki kübik MgO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde (002) pikinin yanında (022) piki de gözlenmektedir. 3 ve 6 katmanlı filmlerde de (002) ve (022) piklerine rastlanmıştır.

Çizelge 3.27.'de 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için (002) düzlemi olduğu anlaşılmıştır.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.28. E serisi (3500 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3500	3 – 6 – 9	400



Şekil 3.18. E serisi (3500 rpm – 400°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.29. E serisi (3500 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻²
3	0,40	23	(002)	2,29
6	0,35	27	(002)	1,75
9	0,30	32	(002)	1,29

Şekil 3.18.'de görüldüğü gibi, E serisinde 3500 rpm döndürme hızında hazırlanıp 400 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer

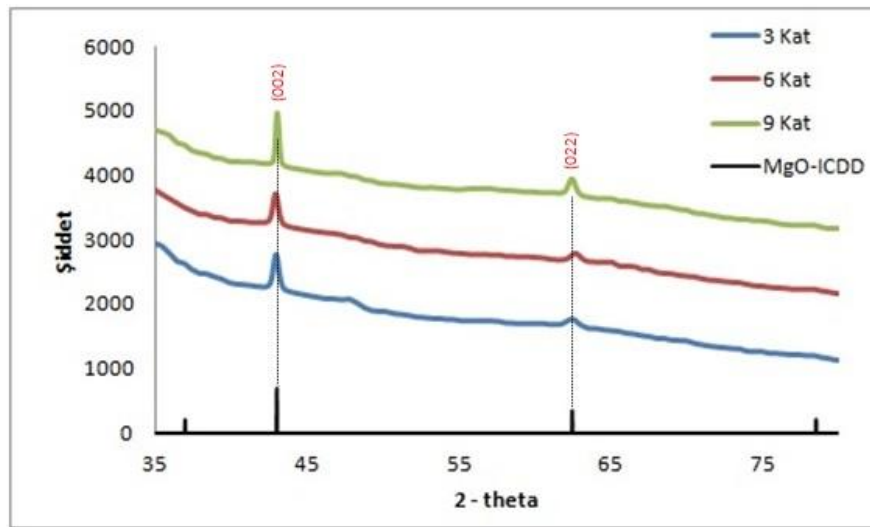
filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki kübik MgO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde (002) pikinin yanında (022) piki de gözlenmektedir. 3 ve 6 katmanlı filmlerde de (002) ve (022) piklerine rastlanmıştır.

Çizelge 3.29.'da 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için (002) düzlemi olduğu anlaşılmıştır.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.30. E serisi (3500 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3500	3 – 6 – 9	500



Şekil 3.19. E serisi (3500 rpm – 500°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.31. E serisi (3500 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm)⁻²
3	0,35	27	(002)	1,75
6	0,35	27	(002)	1,75
9	0,25	38	(002)	0,89

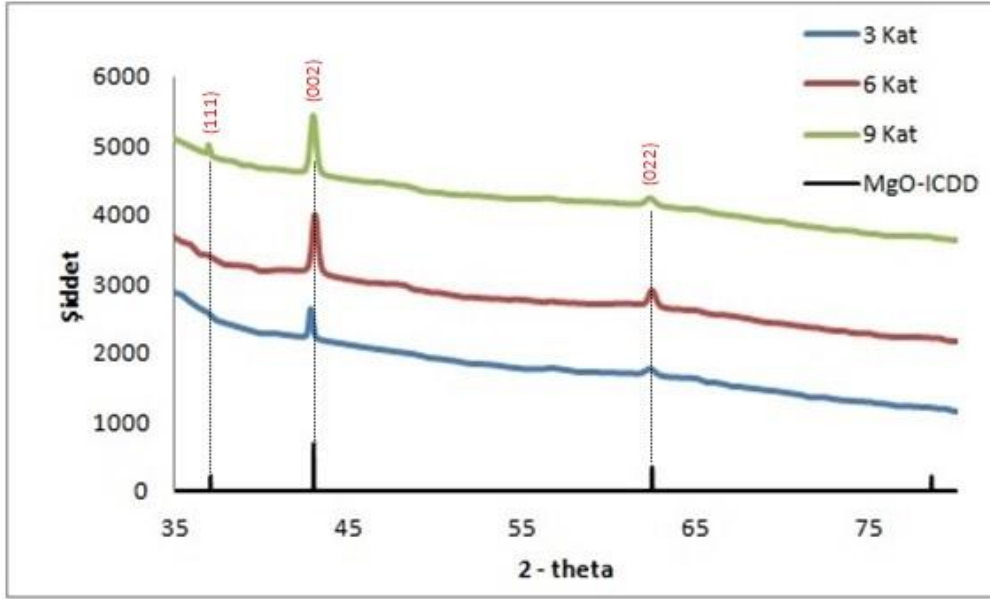
Şekil 3.19.'da görüldüğü gibi, E serisinde 3500 rpm döndürme hızında hazırlanıp 500 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki kübik MgO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde (002) pikinin yanında (022) piki de gözlenmektedir. 3 ve 6 katmanlı filmlerde de (002) ve (022) piklerine rastlanmıştır.

Çizelge 3.31.'de 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için (002) düzlemi olduğu anlaşılmıştır.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.32. E serisi (3500 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3500	3 – 6 – 9	600



Şekil 3.20. E serisi (3500 rpm – 600°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.33. E serisi (3500 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻²
3	0,35	27	(002)	1,75
6	0,25	38	(002)	0,89
9	0,24	42	(002)	0,75

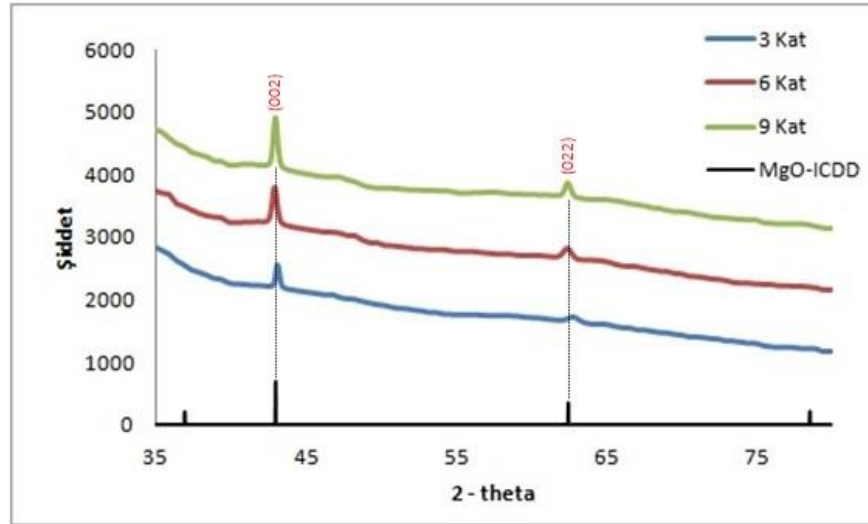
Şekil 3.20.'de görüldüğü gibi, E serisinde 3500 rpm döndürme hızında hazırlanıp 600 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri ile 6 katmanlı filmlerin şiddetleri birbirine çok yakındır. 9 katman olarak hazırlanan ince filmin en şiddetli piki kübik MgO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde (002) pikinin yanında sırasıyla (111) ve (022) pikleri de gözlenmektedir. 3 ve 6 katmanlı filmlerde de (002) ve (022) piklerine rastlanmıştır.

Çizelge 3.33.'te 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için (002) düzlemi olduğu anlaşılmıştır.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.34. E serisi (4000 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
4000	3 – 6 – 9	400



Şekil 3.21. E serisi (4000 rpm – 400°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.35. E serisi (4000 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻²
3	0,35	27	(002)	1,75
6	0,30	32	(002)	1,29
9	0,25	38	(002)	0,89

Şekil 3.21.'de görüldüğü gibi, E serisinde 4000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 400 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer

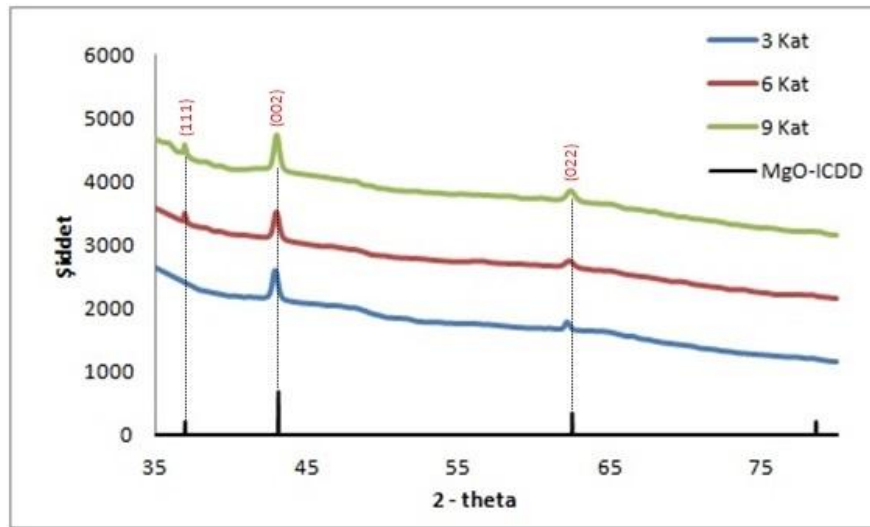
filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki kübik MgO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde (002) pikinin yanında (022) piki de gözlenmektedir. 3 ve 6 katmanlı filmlerde de (002) ve (022) piklerine rastlanmıştır.

Çizelge 3.35.'te 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için (002) düzlemi olduğu anlaşılmıştır.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.36. E serisi (4000 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
4000	3 – 6 – 9	500



Şekil 3.22. E serisi (4000 rpm – 500°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.37. E serisi (4000 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm)⁻²
3	0,35	27	(002)	1,75
6	0,25	38	(002)	0,89
9	0,24	42	(002)	0,75

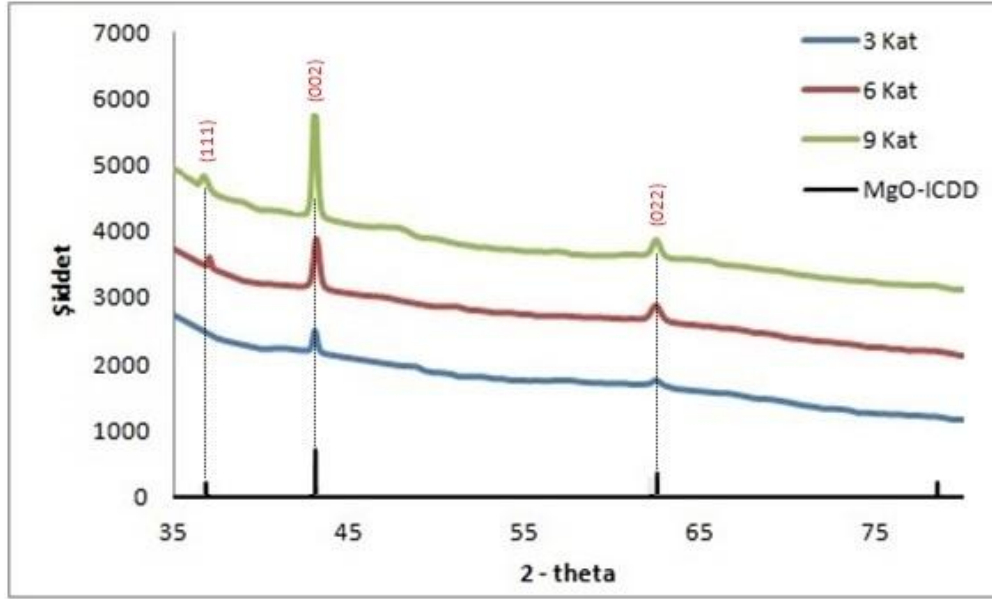
Şekil 3.22.'de görüldüğü gibi, E serisinde 4000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 500 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri ile 6 katmanlı filmlerin şiddetleri birbirine çok yakındır. 9 katman olarak hazırlanan filmin en şiddetli piki kübik MgO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde (002) pikinin yanında sırasıyla (111) ve (022) pikleri de gözlenmektedir. 6 katmanlı filmlerde de (111), (002) ve (022) piklerine rastlanmıştır. 3 katmanlı filmlerde ise (002) ve (022) pikleri görülmektedir.

Çizelge 3.37.'de 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelmenin tüm filmler için (002) düzlemi olduğu anlaşılmıştır.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.38. E serisi (4000 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
4000	3 – 6 – 9	600



Şekil 3.23. E serisi (4000 rpm – 600°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.39. E serisi (4000 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.

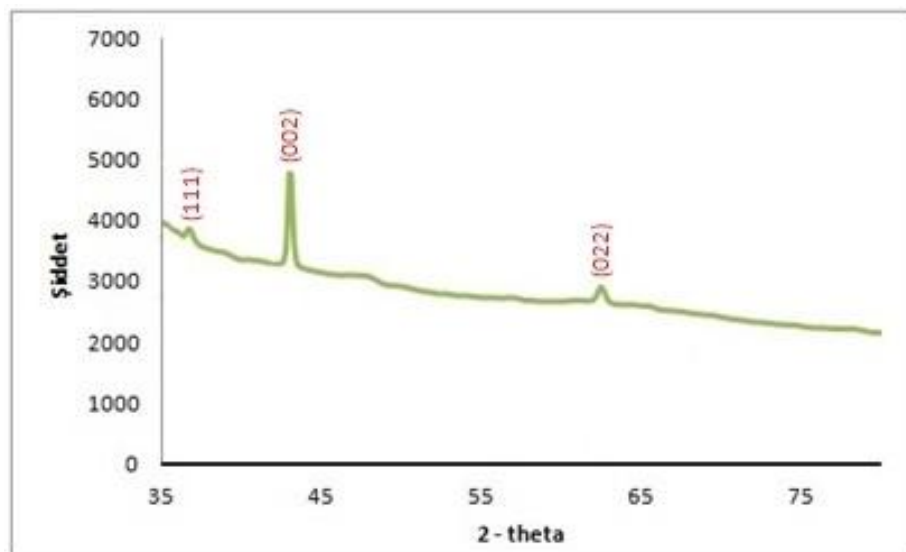
Katman Sayısı	FWHM	D (nm)	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻²
3	0,30	32	(002)	1,29
6	0,25	39	(002)	0,88
9	0,20	49	(002)	0,57

Şekil 3.23.'te görüldüğü gibi, E serisinde 4000 rpm döndürme hızında hazırlanıp 600 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür ve bu filmin en şiddetli piki kübik MgO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde (002) pikinin yanında sırasıyla (111) ve (022) pikleri de gözlenmektedir. 6 katmanlı filmlerde de (111), (002) ve (022) piklerine rastlanmıştır. 3 katmanlı filmlerde ise (002) ve (022) pikleri görülmektedir.

Çizelge 3.39.'da 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için (002) düzlemi olduğu anlaşılmıştır.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutlarının diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

E serisi için XRD analiz sonuçları incelendiğinde tüm döndürme hızı (3000, 3500, 4000 rpm) ve tavlama sıcaklığı (400, 500, 600°C) denemelerinde 9 katmanlı filmler diğer 3 ve 6 katmanlı filmlerden daha iyi kristalleşme göstermişlerdir. Bu 9 katmanlı filmler arasından da hangi döndürme hızı ve tavlama sıcaklığındaki filmin en iyi kristalleşmeyi gösterdiğini görebilmek için çıkan sonuçlar birbiri ile karşılaştırılarak incelendiğinde Şekil 3.24.'te de gösterilen 4000 rpm döndürme hızında kaplanan ve 600°C'de tavlanan filmlerin şiddeti diğer filmlerden daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca Çizelge 3.40. incelendiğinde de en küçük dislokasyon yoğunluğu değerine ve yarı pik genişliğine sahip olan filmler 4000 rpm döndürme hızında kaplanan ve 600°C'de tavlanan filmlerdir. Ayrıca bu filmlerin ortalama tane boyutu da 49 nm ile serideki en büyük değerdir. Bu özellikleri ile E serisinde en iyi kristalleşmeyi gösteren filmlerin, 4000 rpm döndürme hızında kaplanan ve 600°C'de tavlanan filmler olduğunu söyleyebiliriz. E serisine ait filmlerde hesaplanan örgü sabiti değerleri de bütün filmlerde yaklaşık olarak aynı bulunmuştur. Kübik yapıdaki MgO için $a=4,20 \text{ \AA}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.24. E serisinde en iyi kristalleşmeyi gösteren filmler (4000 rpm – 600°C – 9 kat).

Çizelge 3.40. E serisi 9 katmanlı filmlerin piklerine ait bilgiler.

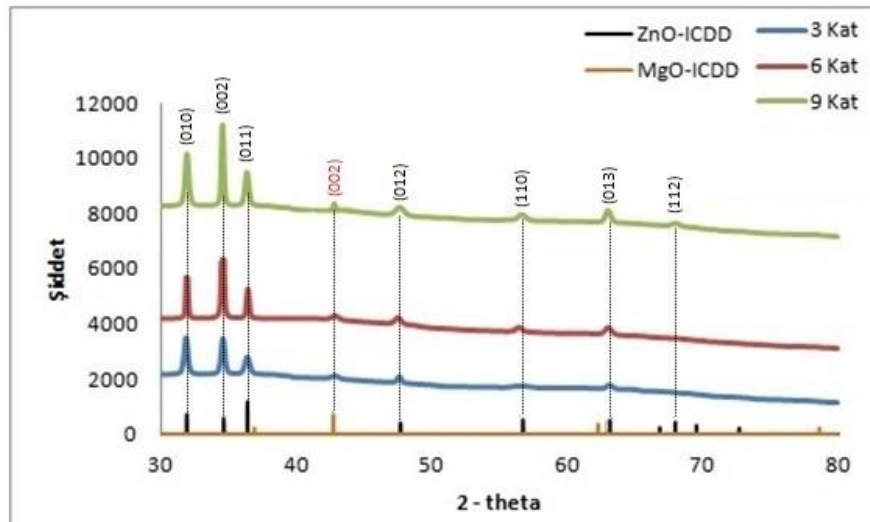
Döndürme Hızı (rpm)	Katman Sayısı	Tavlama Sıcaklığı (°C)	FWHM	D (nm)	δ (nm) ⁻²
3000	9	400	0,30	32	1,29
3000	9	500	0,30	31	1,29
3000	9	600	0,21	46	0,65
3500	9	400	0,30	32	1,29
3500	9	500	0,25	38	0,89
3500	9	600	0,24	42	0,75
4000	9	400	0,25	38	0,89
4000	9	500	0,24	42	0,75
4000	9	600	0,20	49	0,57

3.3. B Serisi Filmlerin XRD Analizleri

B serisi filmlerin sırasıyla, Çizelge 3.41.–3.46. arasında kaplama parametreleri ve bu parametrelerde elde edilen yapıların, Şekil 3.25.–3.27. arasında XRD analiz sonuçları ZnO-ICDD ve MgO-ICDD kartlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 3.41. B serisi (3500 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3500	3 – 6 – 9	400



Şekil 3.25. B serisi (3500 rpm – 400°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.42. B serisi (3500 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM -ZnO-	FWHM -MgO-	D (nm) ZnO	D (nm) MgO	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻² -ZnO-	δ (nm) ⁻² -MgO-
3	0,30	0,61	31	15	-	8,72	5,17
6	0,20	0,61	48	15	-	5,32	5,17
9	0,19	0,40	50	23	-	3,67	2,29

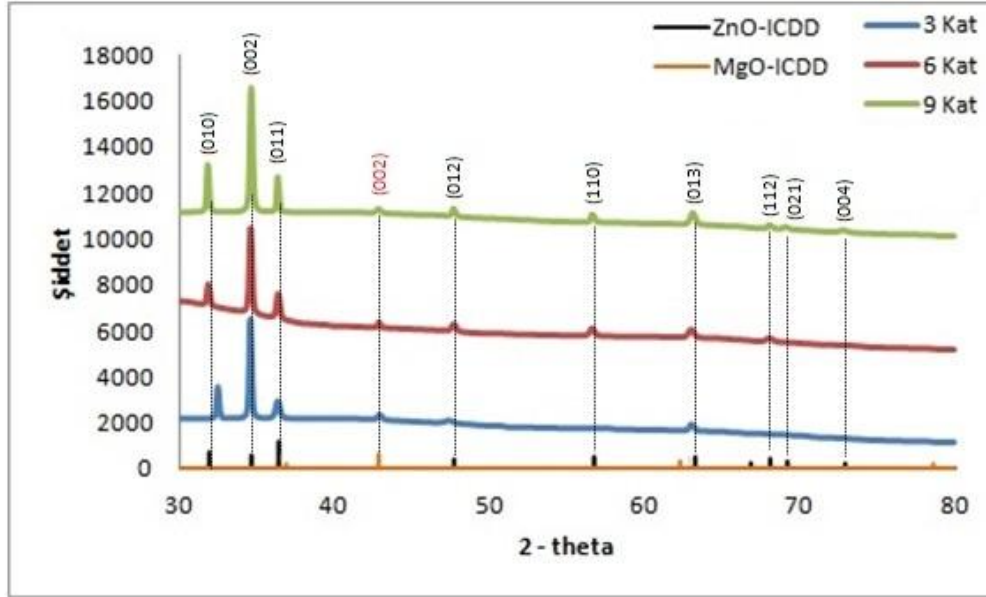
Şekil 3.25.'te görüldüğü gibi, B serisinde 3500 rpm döndürme hızında hazırlanıp 400 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür. 9 katman olarak hazırlanan filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde ZnO yapısına ait sırasıyla (010), (011), (012), (110), (013) ve (112) pikleri gözlenmektedir. Ayrıca kübik MgO yapısına ait (002) piki de spektrumda yer almaktadır. 6 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (011), (012), (110), (013) ve MgO yapısına ait (002) piklerine rastlanmıştır. 3 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (011), (012), (013) ve MgO yapısına ait (002) pikleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.42.'de 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri ZnO ve MgO için ayrı ayrı tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutu değerlerinin hem ZnO için hem de MgO için diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.43. B serisi (3500 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3500	3 – 6 – 9	500



Şekil 3.26. B serisi (3500 rpm – 500°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.44. B serisi (3500 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM -ZnO-	FWHM -MgO-	D (nm) ZnO	D (nm) MgO	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻² -ZnO-	δ (nm) ⁻² -MgO-
3	0,19	0,38	51	25	-	3,67	2,12
6	0,17	0,33	56	30	-	3,22	1,56
9	0,15	0,30	66	32	-	2,84	1,28

Şekil 3.26.'da görüldüğü gibi, B serisinde 3500 rpm döndürme hızında hazırlanıp 500 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür. 9 katman olarak hazırlanan filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde ZnO yapısına

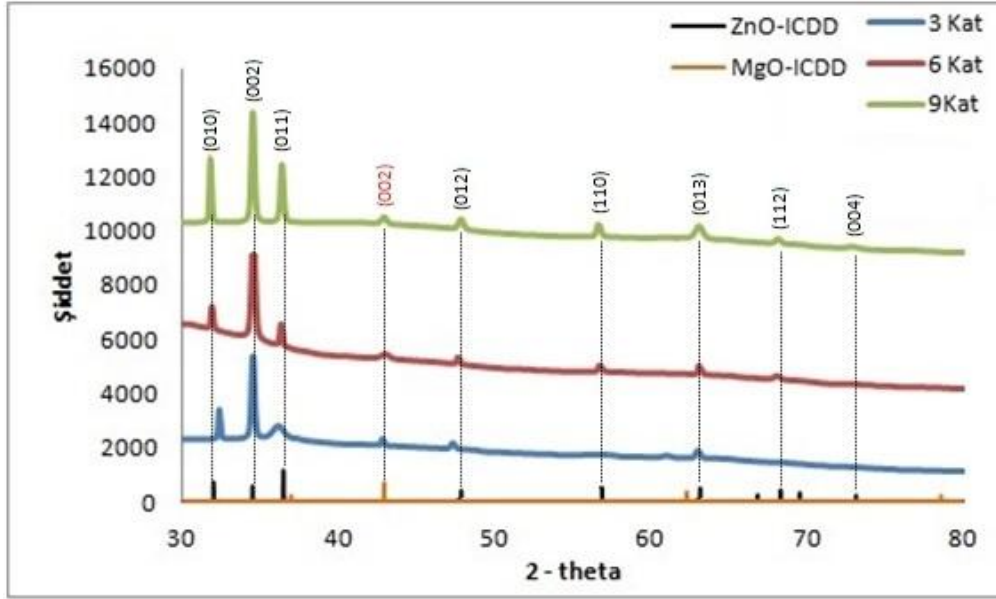
ait sırasıyla (010), (011), (012), (110), (013), (112), (021) ve (004) pikleri gözlenmektedir. Ayrıca kübik MgO yapısına ait (002) piki de spektrumda yer almaktadır. 6 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (011), (012), (110), (013), (112) ve MgO yapısına ait (002) piklerine rastlanmıştır. 3 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (011), (012), (013) ve MgO yapısına ait (002) pikleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.44.'te 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri ZnO ve MgO için ayrı ayrı tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutu değerlerinin hem ZnO için hem de MgO için diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.45. B serisi (3500 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3500	3 – 6 – 9	600



Şekil 3.27. B serisi (3500 rpm – 600°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.46. B serisi (3500 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.

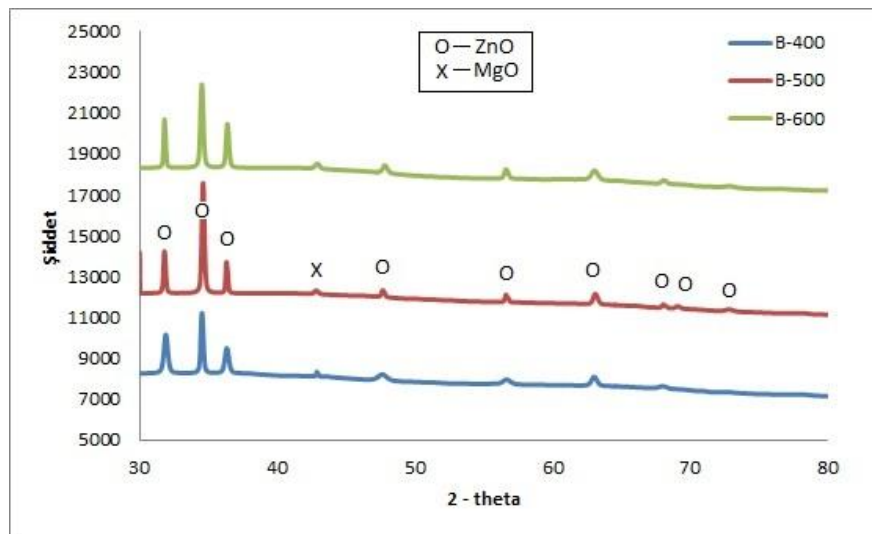
Katman Sayısı	FWHM -ZnO-	FWHM -MgO-	D (nm) ZnO	D (nm) MgO	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻² -ZnO-	δ (nm) ⁻² -MgO-
3	0,25	0,35	37	27	-	6,82	1,98
6	0,23	0,33	39	30	-	6,13	1,56
9	0,20	0,32	48	31	-	5,32	1,43

Şekil 3.27.'de görüldüğü gibi, B serisinde 3500 rpm döndürme hızında hazırlanıp 600 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür. 9 katman olarak hazırlanan filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde ZnO yapısına ait sırasıyla (010), (011), (012), (110), (013), (112) ve (004) pikleri gözlenmektedir. Ayrıca kübik MgO yapısına ait (002) piki de spektrumda yer almaktadır. 6 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (011), (012), (110), (013), (112) ve MgO yapısına ait (002) piklerine rastlanmıştır. 3 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (011), (012), (013) ve MgO yapısına ait (002) pikleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.46.'da 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri ZnO ve MgO için ayrı ayrı tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutu değerlerinin hem ZnO için hem de MgO için diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

B serisi için XRD analiz sonuçları incelendiğinde döndürme hızı (3500 rpm) ve tavlama sıcaklığı (400, 500, 600°C) denemelerinde 9 katmanlı filmler diğer 3 ve 6 katmanlı filmlerden daha iyi kristalleşme göstermişlerdir. Bu 9 katmanlı filmler arasından da hangi döndürme hızı ve tavlama sıcaklığındaki filmin en iyi kristalleşmeyi gösterdiğini görebilmek için çıkan sonuçları birbiri ile karşılaştırdık. Şekil 3.28.'de kendi döndürme hızı ve tavlama sıcaklığı değerlerinde en iyi kristalleşmeyi gösteren 9 katmanlı filmler diğerleri ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.28. B serisine ait 9 katmanlı filmlerin XRD spektrumlarının karşılaştırılması.

Çizelge 3.47. B serisi 9 katmanlı filmlerin piklerine ait bilgiler.

Döndürme Hızı (rpm)	Katman Sayısı	Tavlama Sıcaklığı (°C)	FWHM -ZnO-	FWHM -MgO-	D (nm) -ZnO-	D (nm) -MgO-	$\delta(\text{nm})^{-2}$ -ZnO-	$\delta(\text{nm})^{-2}$ -MgO-
3500	9	400	0,19	0,40	50	23	3,67	2,29
3500	9	500	0,15	0,30	66	32	2,84	1,28
3500	9	600	0,20	0,32	48	31	5,32	1,43

Farklı parametrelerde kaplanan B serisine ait tüm XRD spektrumları incelendiğinde Şekil 3.28.'de de görüldüğü gibi şiddeti en büyük olan spektrum 3500 rpm döndürme hızında kaplanan ve 500°C'de tavlanan filmlerdir.

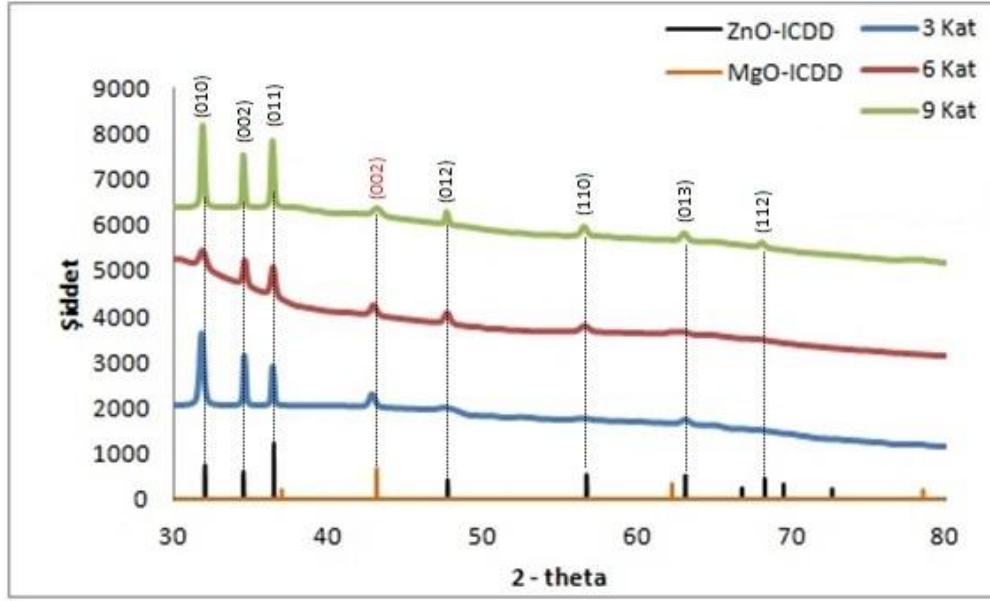
Çizelge 3.47. incelendiğinde de en küçük dislokasyon yoğunluğu değerine ve yarı pik genişliğine sahip olan filmler 3500 rpm döndürme hızında kaplanan ve 500°C'de tavlanan filmlerdir. Ayrıca bu filmlerin ortalama tane boyutu da ZnO için 66 nm ve MgO için 32 nm ile serideki en büyük değerlerdir. Bu özellikleri ile B serisinde en iyi kristalleşmeyi gösteren filmlerin, 3500 rpm döndürme hızında kaplanan ve 500°C'de tavlanan filmler olduğunu söyleyebiliriz.

3.4. C Serisi Filmlerin XRD Analizleri

C serisi filmlerin sırasıyla, Çizelge 3.48.–3.53. arasında kaplama parametreleri ve bu parametrelerde elde edilen yapıların, Şekil 3.29.–3.31. arasında XRD analiz sonuçları ZnO-ICDD ve MgO-ICDD kartlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 3.48. C serisi (3500 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3500	3 – 6 – 9	400



Şekil 3.29. C serisi (3500 rpm – 400°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.49. C serisi (3500 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM -ZnO-	FWHM -MgO-	D (nm) ZnO	D (nm) MgO	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻² -ZnO-	δ (nm) ⁻² -MgO-
3	0,25	0,40	37	23	-	6,79	2,21
6	0,30	0,40	31	23	-	8,80	2,21
9	0,23	0,38	40	24	-	6,12	2,10

Şekil 3.29.'da görüldüğü gibi, C serisinde 3500 rpm döndürme hızında hazırlanıp 400 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür. 9 katman olarak hazırlanan filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (010) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde ZnO yapısına ait sırasıyla (002), (011), (012), (110), (013) ve (112) pikleri gözlenmektedir. Ayrıca kübik MgO yapısına ait (002) piki de spektrumda yer almaktadır. 6 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (011), (012), (110) ve MgO yapısına ait (002) piklerine rastlanmıştır. 3 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (011), (012), (013) ve MgO yapısına ait (002) pikleri bulunmaktadır.

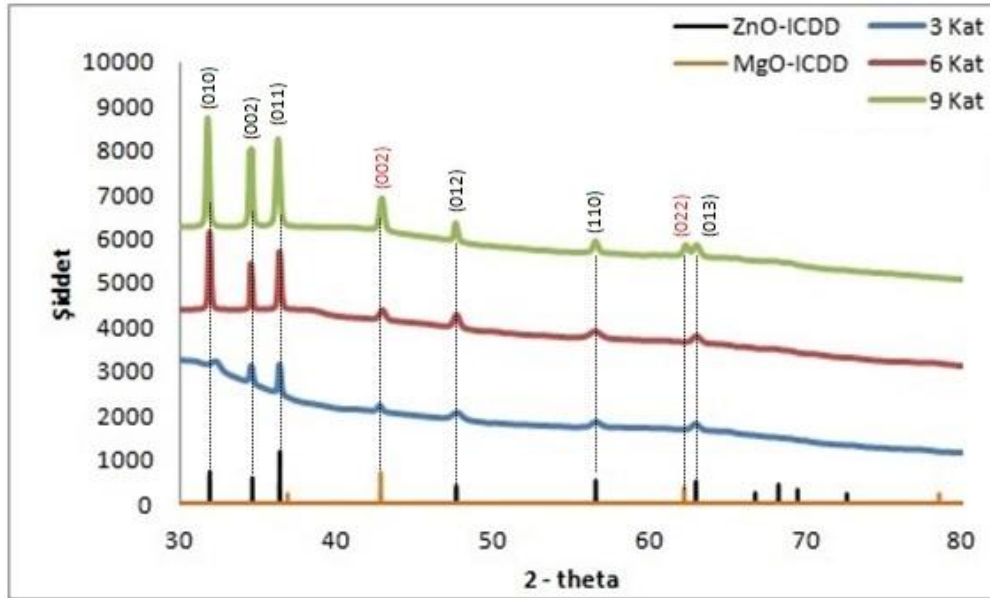
Çizelge 3.49.'da 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri ZnO ve MgO için ayrı ayrı

tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelmenin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutu değerlerinin hem ZnO için hem de MgO için diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.50. C serisi (3500 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3500	3 – 6 – 9	500



Şekil 3.30. C serisi (3500 rpm – 500°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.51. C serisi (3500 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM -ZnO-	FWHM -MgO-	D (nm) ZnO	D (nm) MgO	Tercihli Yönelim	δ (nm)⁻² -ZnO-	δ (nm)⁻² -MgO-
3	0,30	0,36	31	26	-	8,68	2,11
6	0,20	0,35	47	27	-	5,30	1,98
9	0,18	0,30	54	32	-	3,45	1,28

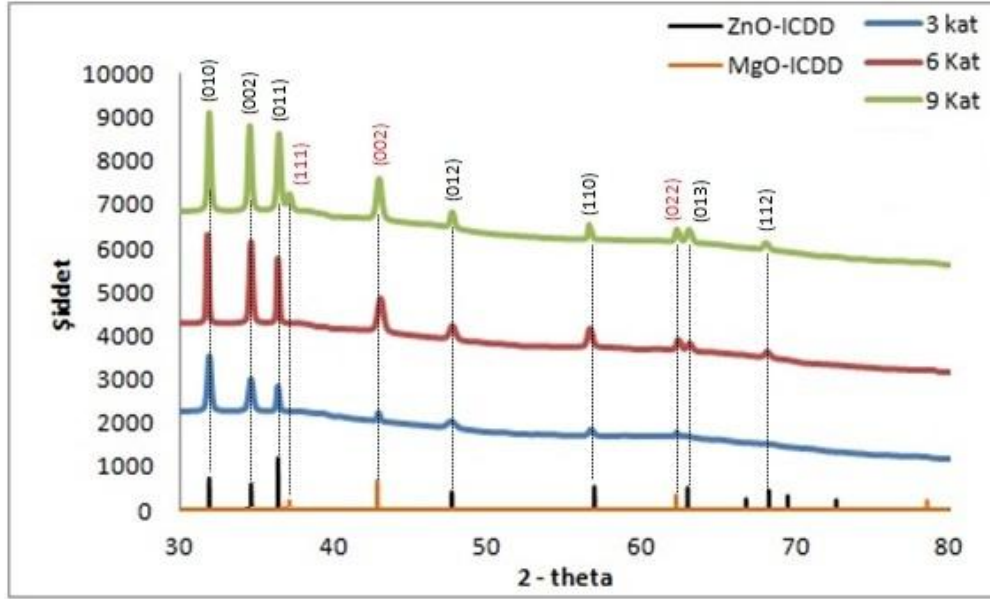
Şekil 3.30.'da görüldüğü gibi, C serisinde 3500 rpm döndürme hızında hazırlanıp 500 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür. 9 katman olarak hazırlanan filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (010) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde ZnO yapısına ait sırasıyla (002), (011), (012), (110) ve (013) pikleri gözlenmektedir. Ayrıca kübik MgO yapısına ait (002) ve (022) pikleri de spektrumda yer almaktadır. 6 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (011), (012), (110), (013) ve MgO yapısına ait (002) piklerine rastlanmıştır. 3 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (011), (012), (110), (013) ve MgO yapısına ait (002) pikleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.51.'de 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri ZnO ve MgO için ayrı ayrı tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutu değerlerinin hem ZnO için hem de MgO için diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.52. C serisi (3500 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3500	3 – 6 – 9	600



Şekil 3.31. C serisi (3500 rpm – 600°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.53. C serisi (3500 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM -ZnO-	FWHM -MgO-	D (nm) ZnO	D (nm) MgO	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻² -ZnO-	δ (nm) ⁻² -MgO-
3	0,30	0,35	31	27	-	8,81	1,95
6	0,22	0,30	43	32	-	5,61	1,29
9	0,20	0,24	47	42	-	5,12	0,82

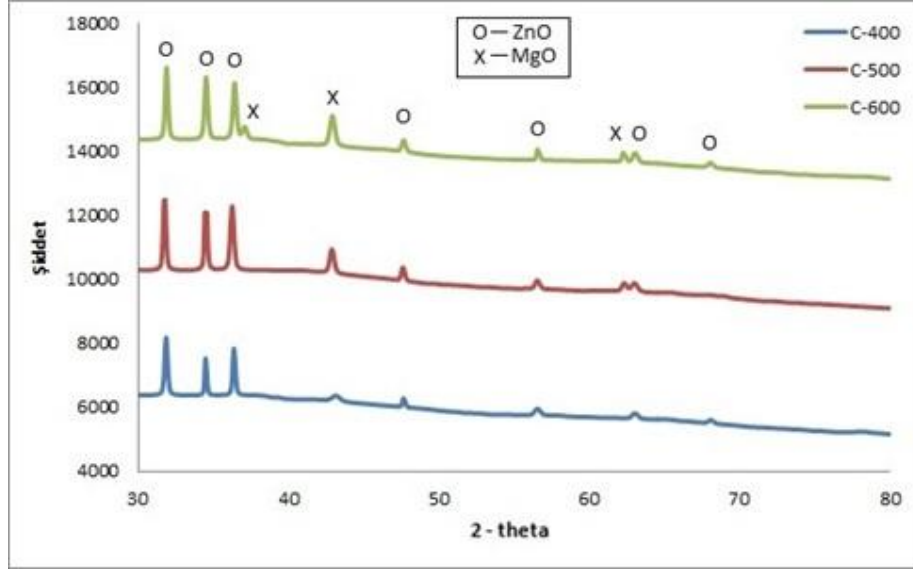
Şekil 3.31.'de görüldüğü gibi, C serisinde 3500 rpm döndürme hızında hazırlanıp 600 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür. 9 katman olarak hazırlanan filmin en şiddetli piki hegzagonal ZnO yapısına ait (010) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde ZnO yapısına ait sırasıyla (002), (011), (012), (110), (013) ve (112) pikleri gözlenmektedir. Ayrıca kübik

MgO yapısına ait sırasıyla (111), (002) ve (022) pikleri olmak üzere 3 adet pik spektrumda yer almaktadır. 6 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (011), (012), (110), (013), (112) ve MgO yapısına ait (002), (022) piklerine rastlanmıştır. 3 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (011), (012), (110), (013) ve MgO yapısına ait (002) pikleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.53.'te 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri ZnO ve MgO için ayrı ayrı tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için rastgele olduğu bulunmuştur.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutu değerlerinin hem ZnO için hem de MgO için diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

C serisi için XRD analiz sonuçları incelendiğinde döndürme hızı (3500 rpm) ve tavlama sıcaklığı (400, 500, 600°C) denemelerinde 9 katmanlı filmler diğer 3 ve 6 katmanlı filmlerden daha iyi kristalleşme göstermişlerdir. Bu 9 katmanlı filmler arasından da hangi döndürme hızı ve tavlama sıcaklığındaki filmin en iyi kristalleşmeyi gösterdiğini görebilmek için çıkan sonuçları birbiri ile karşılaştırdık. Şekil 3.32.'de kendi döndürme hızı ve tavlama sıcaklığı değerlerinde en iyi kristalleşmeyi gösteren 9 katmanlı filmler diğerleri ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.32. C serisine ait 9 katmanlı filmlerin XRD spektrumlarının karşılaştırılması.

Çizelge 3.54. C serisi 9 katmanlı filmlerin piklerine ait bilgiler.

Döndürme Hızı (rpm)	Katman Sayısı	Tavlama Sıcaklığı (°C)	FWHM -ZnO-	FWHM -MgO-	D (nm) -ZnO-	D (nm) -MgO-	$\delta(\text{nm})^{-2}$ -ZnO-	$\delta(\text{nm})^{-2}$ -MgO-
3500	9	400	0,23	0,38	40	24	6,12	2,10
3500	9	500	0,18	0,30	54	32	3,45	1,28
3500	9	600	0,20	0,24	47	42	5,12	0,82

Farklı parametrelerde kaplanan C serisine ait tüm XRD spektrumları incelendiğinde Şekil 3.32.'de de görüldüğü gibi şiddeti en büyük olan spektrum 3500 rpm döndürme hızında kaplanan ve 600°C'de tavlanan filmlerdir.

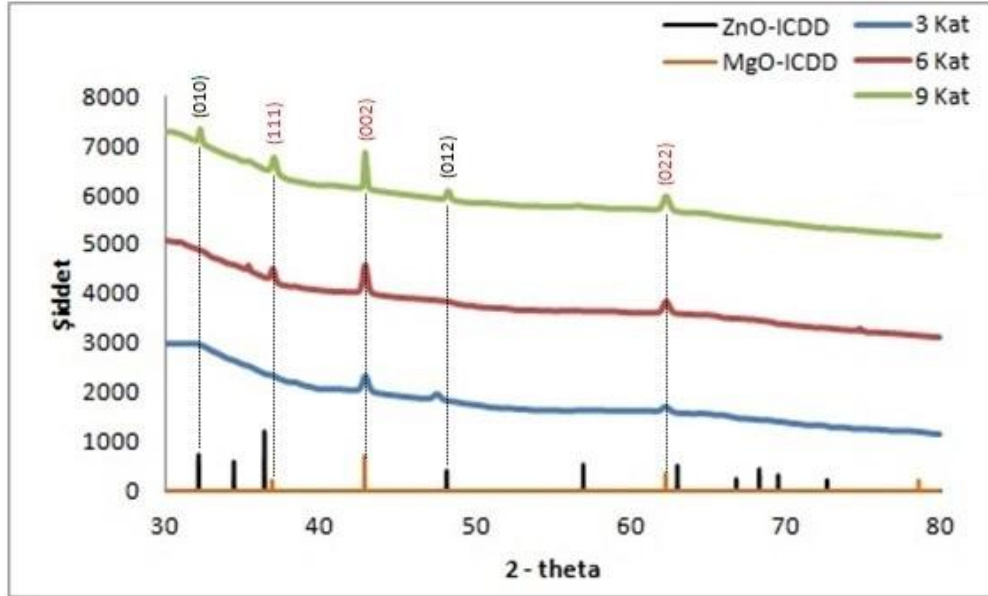
Çizelge 3.54. incelendiğinde de MgO yapısı için en küçük dislokasyon yoğunluğu değerine ve yarı pik genişliğine sahip olan filmler 3500 rpm döndürme hızında kaplanan ve 600°C'de tavlanan filmlerdir. Ayrıca bu filmlerin ortalama tane boyutu da 42 nm ile serideki en büyük değerlerdir. ZnO yapısı için 500°C'de tavlanan filmler de iyi özellik göstermesine rağmen yapının MgO (%50) – ZnO (%50) karışımı olduğu göz önünde bulundurulduğunda C serisinde en iyi kristalleşmeyi gösteren filmlerin, 3500 rpm döndürme hızında kaplanan ve 600°C'de tavlanan filmler olduğunu söyleyebiliriz.

3.5. D Serisi Filmlerin XRD Analizleri

D serisi filmlerin sırasıyla, Çizelge 3.55.–3.60. arasında kaplama parametreleri ve bu parametrelerde elde edilen yapıların, Şekil 3.33.–3.35. arasında XRD analiz sonuçları ZnO-ICDD ve MgO-ICDD kartlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 3.55. D serisi (3500 rpm – 400°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3500	3 – 6 – 9	400



Şekil 3.33. D serisi (3500 rpm – 400°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.56. D serisi (3500 rpm – 400°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM -ZnO-	FWHM -MgO-	D (nm) -ZnO-	D (nm) -MgO-	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻² -ZnO-	δ (nm) ⁻² -MgO-
3	0,51	0,40	19	23	(002)	20,95	2,28
6	0,32	0,30	28	32	(002)	7,11	1,29
9	0,30	0,25	31	38	(002)	6,83	0,89

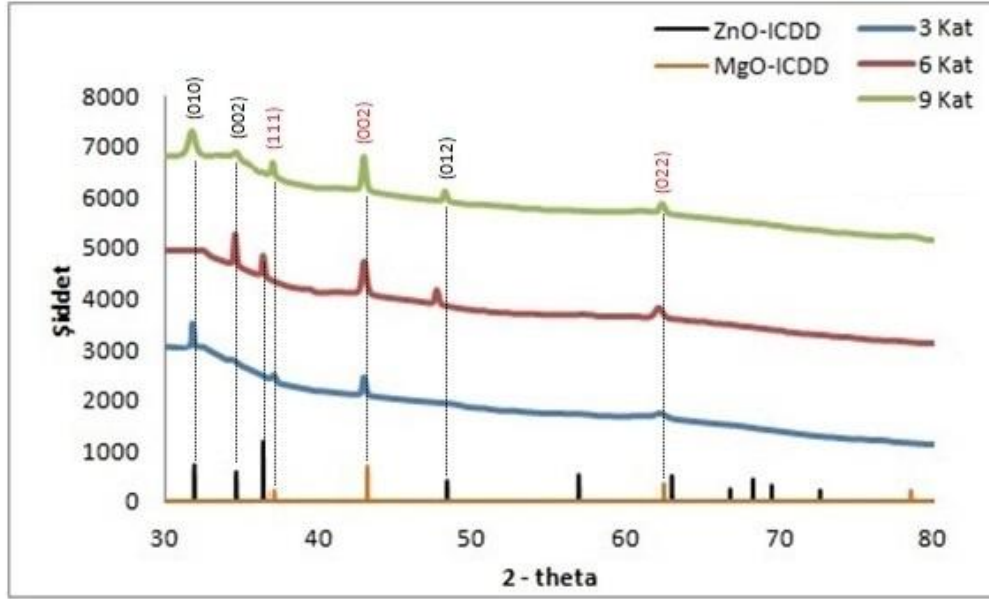
Şekil 3.33.'te görüldüğü gibi, D serisinde 3500 rpm döndürme hızında hazırlanıp 400 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür. 9 katman olarak hazırlanan filmin en şiddetli piki kübik MgO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde ZnO yapısına ait sırasıyla (010) ve (012) pikleri gözlenmektedir. Ayrıca kübik MgO yapısına ait sırasıyla (111), (002) ve (022) pikleri spektrumda yer almaktadır. 6 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (002) ve MgO yapısına ait (111), (002) ve (022) piklerine rastlanmıştır. 3 katmanlı filmlerde ise ZnO yapısına ait (012) ve MgO yapısına ait (002), (022) pikleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.56.'da 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için (002) düzlemi olduğu anlaşılmıştır.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutu değerlerinin hem ZnO için hem de MgO için diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.57. D serisi (3500 rpm – 500°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3500	3 – 6 – 9	500



Şekil 3.34. D serisi (3500 rpm – 500°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.58. D serisi (3500 rpm – 500°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM -ZnO-	FWHM -MgO-	D (nm) ZnO	D (nm) MgO	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻² -ZnO-	δ (nm) ⁻² -MgO-
3	0,30	0,30	31	32	(002)	9,43	1,28
6	0,28	0,25	35	38	(002)	8,07	0,91
9	0,25	0,23	37	42	(002)	6,89	0,76

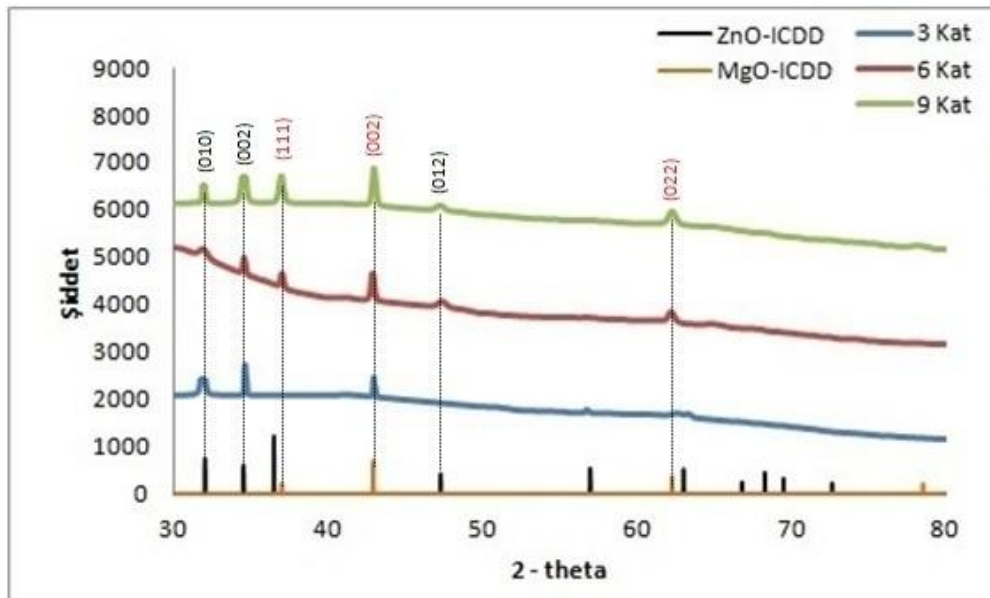
Şekil 3.34.'te görüldüğü gibi, D serisinde 3500 rpm döndürme hızında hazırlanıp 500 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür. 9 katman olarak hazırlanan filmin en şiddetli piki kübik MgO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde ZnO yapısına ait sırasıyla (010), (002) ve (012) pikleri gözlenmektedir. Ayrıca kübik MgO yapısına ait sırasıyla (111), (002) ve (022) pikleri spektrumda yer almaktadır. 6 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (002), (011), (012) ve MgO yapısına ait (002), (022) piklerine rastlanmıştır. 3 katmanlı filmlerde ise ZnO yapısına ait (010) ve MgO yapısına ait (111), (002), (022) pikleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.58.'de 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelmenin tüm filmler için (002) düzlemi olduğu anlaşılmıştır.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutu değerlerinin hem ZnO için hem de MgO için diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.59. D serisi (3500 rpm – 600°C) kaplama parametreleri.

Döndürme Hızı (rpm)	Kaplanan Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
3500	3 – 6 – 9	600



Şekil 3.35. D serisi (3500 rpm – 600°C) XRD sonuçları.

Çizelge 3.60. D serisi (3500 rpm – 600°C) piklerine ait bilgiler.

Katman Sayısı	FWHM -ZnO-	FWHM -MgO-	D (nm) ZnO	D (nm) MgO	Tercihli Yönelim	δ (nm) ⁻² -ZnO-	δ (nm) ⁻² -MgO-
3	0,24	0,30	40	32	(002)	5,98	1,27
6	0,28	0,23	35	43	(002)	8,14	0,77
9	0,23	0,20	42	49	(002)	5,52	0,60

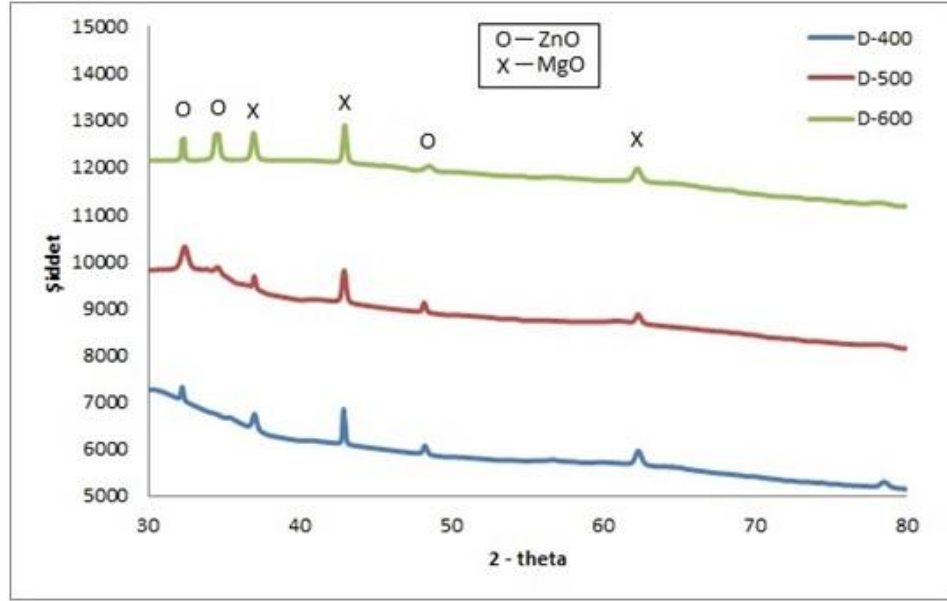
Şekil 3.35.'te görüldüğü gibi, D serisinde 3500 rpm döndürme hızında hazırlanıp 600 °C'de tavlanan filmlerde, 9 katman olarak kaplanan filmlerin pik şiddetleri diğer filmlerden daha büyüktür. 9 katman olarak hazırlanan filmin en şiddetli piki kübik MgO yapısına ait (002) pikidir. Ayrıca 9 katman olarak hazırlanan filmlerde ZnO yapısına ait sırasıyla (010), (002) ve (012) pikleri gözlenmektedir. Ayrıca kübik MgO yapısına ait sırasıyla (111), (002) ve (022) pikleri spektrumda yer almaktadır. 6 katmanlı filmlerde de ZnO yapısına ait (010), (002), (012) ve MgO yapısına ait (111), (002), (022) piklerine rastlanmıştır. 3 katmanlı filmlerde ise ZnO yapısına ait (010), (002), (110) ve MgO yapısına ait (002) piki bulunmaktadır.

Çizelge 3.60.'da 3, 6 ve 9 katmanlı filmlerin yarı pik genişliği, ortalama tane boyutu, tercihli yönelim ve dislokasyon yoğunluğu değerleri tablo halinde verilmiştir. Tercihli yönelimi belirlemek için, her bir pikin ayrı ayrı yapılanma katsayısı değerleri hesaplanmış ve tercihli yönelimin tüm filmler için (002) düzlemi olduğu anlaşılmıştır.

Filmlerin ortalama tane boyutları (D) hesaplandığında 9 katmanlı filmlerin tane boyutu değerlerinin hem ZnO için hem de MgO için diğerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) hesaplandığında da en düşük dislokasyon yoğunluğuna sahip filmler 9 katlı olanlardır. Ayrıca en küçük yarı pik genişliği (FWHM) değeri de bu filmlere aittir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında en iyi kristalleşmenin 9 katlı filmlerde görüldüğü anlaşılmaktadır.

D serisi için XRD analiz sonuçları incelendiğinde döndürme hızı (3500 rpm) ve tavlama sıcaklığı (400, 500, 600°C) denemelerinde 9 katmanlı filmler diğer 3 ve 6 katmanlı filmlerden daha iyi kristalleşme göstermişlerdir. Bu 9 katmanlı filmler arasında

da hangi döndürme hızı ve tavlama sıcaklığındaki filmin en iyi kristalleşmeyi gösterdiğini görebilmek için çıkan sonuçları birbiri ile karşılaştırdık. Şekil 3.36.'da kendi döndürme hızı ve tavlama sıcaklığı değerlerinde en iyi kristalleşmeyi gösteren 9 katmanlı filmler diğerleri ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.36. D serisine ait 9 katmanlı filmlerin XRD spektrumlarının karşılaştırılması.

Çizelge 3.61. D serisi 9 katmanlı filmlerin piklerine ait bilgiler.

Döndürme Hızı (rpm)	Katman Sayısı	Tavlama Sıcaklığı (°C)	FWHM -ZnO-	FWHM -MgO-	D (nm) -ZnO-	D (nm) -MgO-	$\delta(\text{nm})^{-2}$ -ZnO-	$\delta(\text{nm})^{-2}$ -MgO-
3500	9	400	0,30	0,25	31	38	6,83	0,89
3500	9	500	0,25	0,23	37	42	6,89	0,76
3500	9	600	0,23	0,20	42	49	5,52	0,60

Farklı parametrelerde kaplanan D serisine ait tüm XRD spektrumları incelendiğinde Şekil 3.36.'da da görüldüğü gibi şiddeti en büyük olan spektrum 3500 rpm döndürme hızında kaplanan ve 600°C'de tavlanan filmlerdir.

Çizelge 3.61. incelendiğinde de en küçük dislokasyon yoğunluğu değerine ve yarı pik genişliğine sahip olan filmler 3500 rpm döndürme hızında kaplanan ve 500°C'de tavlanan filmlerdir. Ayrıca bu filmlerin ortalama tane boyutu da ZnO için 42 nm ve MgO için 49 nm ile serideki en büyük değerlerdir. Bu özellikleri ile D serisinde en iyi kristalleşmeyi gösteren filmlerin, 3500 rpm döndürme hızında kaplanan ve 600°C'de tavlanan filmler olduğunu söyleyebiliriz.

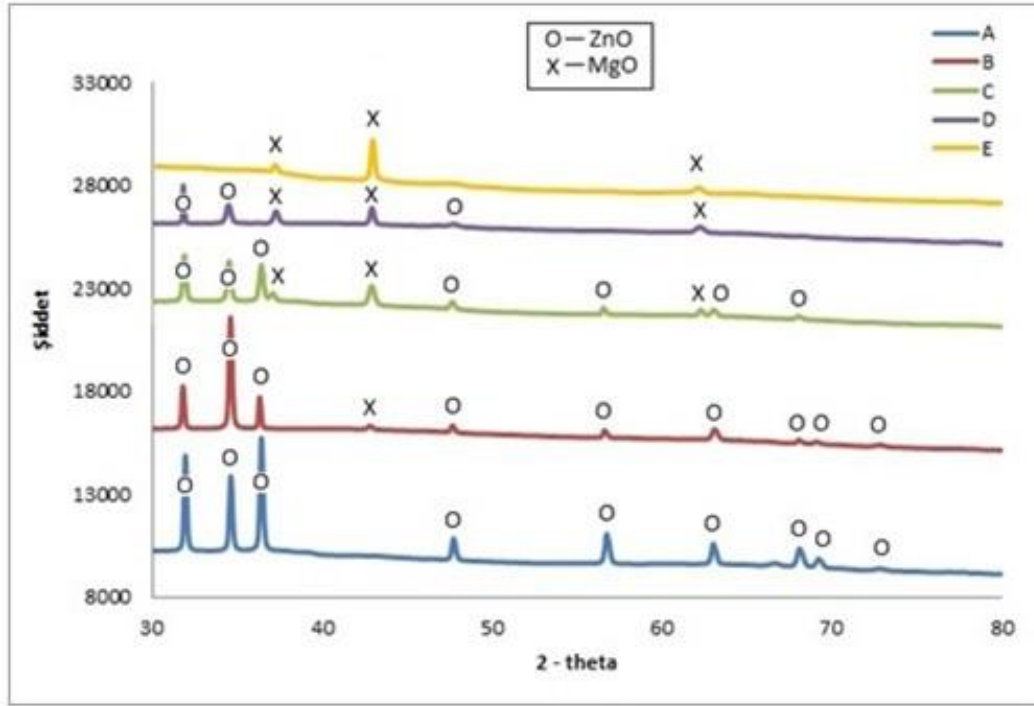
Çizelge 3.62.'de tüm serilerde XRD sonuçlarına göre en iyi kristalleşmeyi gösteren filmler tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 3.62. XRD sonuçlarına göre en iyi kristalleşmeyi gösteren filmler.

Seri	Katman	Döndürme Hızı (rpm)	Tavlama Sıcaklığı (°C)
A	9	3000	500
B	9	3500	500
C	9	3500	600
D	9	3500	600
E	9	4000	600

Tüm seriler incelendiğinde çok katmanlı olarak hazırlanan filmlerde en iyi kristalleşmeyi gösterenler her seri için de 9 katmanlı filmler olmuştur. 3 ve 6 katmanlı filmlerde istenen kristalleşme yakalanamamıştır. A serisinde 400 °C ile başlanan tavlama denemelerinde 500 °C'de en iyi kristalleşme elde edilmiş 600 °C'ye çıkıldığında kristalleşmenin kötüleştiği gözlemlenmiştir. E serisinde ise 400 °C ve 500 °C'de tavlanan filmlere göre 600 °C'de tavlanan filmlerin daha iyi kristal özellikleri gösterdiği gözlemlenmiştir. B serisinde A serisinde olduğu gibi en iyi kristalleşme 500 °C'de elde edilmiştir. Bu durumun B serisinde katkılama oranının %75 ZnO - %25 MgO olmasından yani yapının ZnO yapısına daha yakın olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz. C ve D serilerinde ise en iyi kristalleşme 600 °C'de elde edilmiştir. Bu serilerde MgO katkı oranı sırasıyla %50 (C serisi) ve %75 (D serisi) olmasından dolayı yapının E serisindeki katkısız MgO yapısı gibi 600 °C'de en iyi kristalleşmeyi gösterdiğini düşünmekteyiz.

Şekil 3.37.'de de tüm serilerde en iyi kristalleşmeyi gösteren filmlerin XRD spektrumları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.37. Tüm serilerde en iyi kristalleşmeyi gösteren filmlerin karşılaştırmalı XRD spektrumları.

A serisinde katkısız ZnO'nun XRD kırınım deseni hekzagonal yapıdaki ZnO (ICDD: 98-003-1052) ile tamamıyla eşleşmektedir. B serisinde, %25 MgO katkısı ile XRD deseninde çok küçük şiddette kübik MgO yapısına ait (002) piki gözlenmeye başlamıştır. C ve D serilerinde de MgO yapısına ait (002) pikinin şiddetinin artmasının yanında aynı yapıya ait sırasıyla (111) ve (022) pikleri oluşmuştur. E serisinde ise katkısız MgO'nun XRD kırınım deseni tamamen kübik yapıdaki MgO (ICDD: 98-064-2712) yapısına dönüşmüştür. Özetle şekil 3.37.'de de görüleceği gibi $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerde "x" değeri arttıkça yani MgO katkısı arttıkça XRD spektrumundaki MgO piklerinin sayıları ve piklerin şiddetleri artmaktadır. Bununla beraber ZnO yapısına ait piklerin sayısı ve şiddetleri düşüşe geçmektedir. Ayrıca katkısız ZnO (A serisi) yapısında en şiddetli pik olan (011) pikinin şiddetinin, MgO katkılanmaya başladıktan sonra düşüşe geçtiği ve D serisinde bu pikin tamamen kaybolduğu görülmektedir. Bunun sebebinin yapıya katkılanan

MgO olduğunu düşünmekteyiz. Buradan yapının değiştiği ve ZnO yapısının kendi özelliğini kaybederek MgO yapısına kaydığı anlaşılmaktadır.

$(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerin XRD kırınım desenlerinden elde edilen sonuçların literatürdeki benzer çalışmaların sonuçları ile uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir (Çağlar, 2010; Adhlakha, 2012; Wang, 2008; Raj, 2010; Geng, 2008; Shi, 2012).

3.6. Elde Edilen Filmlerinin Kalınlık Değerleri

Elde edilen $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerde her bir seri için XRD analizlerinden yararlanılarak en iyi kristalleşmeyi gösteren filmler yukarıda belirlenmiştir. Bu belirlenen filmlerin kalınlıkları ölçülmüştür. Filmlerin kalınlıklarını belirlemek için Stokes Ellipsometer LSE-2A2W cihazı kullanılmıştır. Her seri için belirlenen kalınlık değerleri Çizelge 3.63.'te verilmiştir. Diğer yüzeysel, optiksel ve elektriksel ölçümlerde de bu belirlenen filmlerin özellikleri incelenecektir.

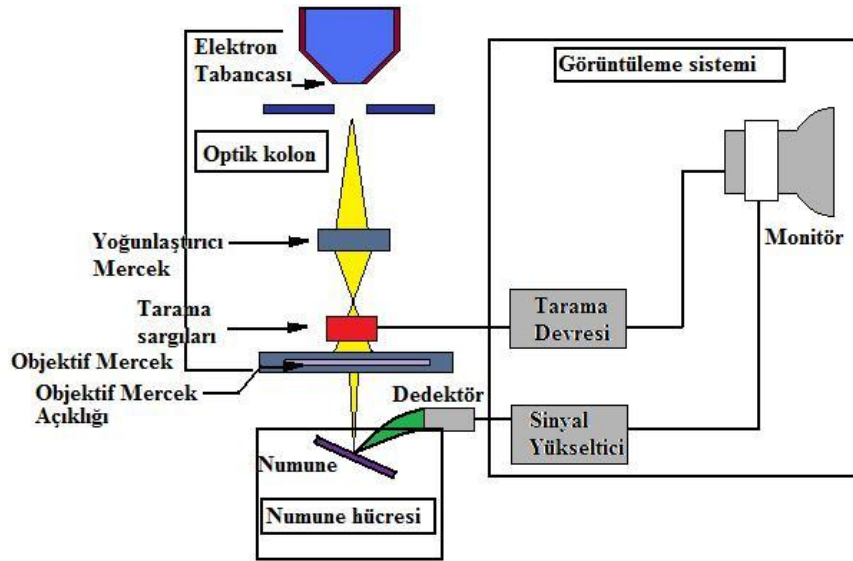
Çizelge 3.63. Her bir seriye ait kalınlık değerleri.

Seri	Döndürme Hızı (rpm)	Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)	Kalınlık (nm)
A	3000	9	500	618
B	3500	9	500	679
C	3500	9	600	742
D	3500	9	600	821
E	4000	9	600	910

4. (MgO)_x(ZnO)_{1-x} FİLMLERİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ve BULGULARIN TARTIŞILMASI

Malzemelerin faz dağılımı, tane boyutu ve şekli, homojenlik, malzeme içeriği, gözenekli yapı gibi makro ve mikro yüzey özellikleri incelenirken, yüksek ayırt etme gücüne sahip Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDX) kullanılabilir.

Taramalı elektron mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bilgisayar monitörüne verilmesi ile oluşturulmaktadır (Özkan, 2010).



Şekil 4.1. SEM cihazının şematik gösterimi (Özkan, 2010).

Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi taramalı elektron mikroskobu Optik Kolon, Numune Hücresi ve Görüntüleme Sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır. Optik kolon kısmında elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru

hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası ve ince elektron demeti elde etmek için yoğunlaştırıcı mercekler bulunur.

Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. Tüm optik kolon ve numune hücresi yüksek vakumda tutulmaktadır. Görüntü sisteminde ise elektron demeti ile numune girişimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışınları toplayan dedektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır (Brundle, 1992).

Taramalı elektron mikroskobunda gönderilen elektron demeti numuneye çarptıktan sonra ortama geri saçılan elektronlar, ikincil elektronlar ve karakteristik x-ışınları farklı dedektörler tarafından toplanarak voltaj sinyaline çevrilir. Bu sinyaller de bilgisayar ekranında görüntü olarak kaydedilir. Birçok inceleme ikincil elektron sinyalleri kullanılarak numune yüzeyinin büyütülmesi ile yapılır. Geri saçılan sinyal ölçümlerinde ise malzemenin içeriğinde bulunan farklı yapılar atom ağırlıklarına göre farklı kontrastta görüntüler vererek malzeme içeriğindeki dağılım daha iyi anlaşılabilir. Numunenin elementel bileşimi ise numune yüzeyinden saçılan karakteristik x-ışınlarını toplayan EDX dedektörü ile belirlenebilir. Bu dedektör taramalı elektron mikroskobu ile birleştirilmiş haldedir. Elektron bombardımanına maruz bırakılan numunenin verdiği x-ışını emisyonunu ölçerek yüzeydeki bileşiklerin yada elementlerin kalitatif ve kantitatif analizi yapılabilir.

Taramalı elektron mikroskobunda elektron kaynağı olarak kullanılan elektron tabancalarında iki adet yayıcı kaynağı vardır. Bunlar termioyonik yayıcı ve alan yayıcılarıdır. Elektron tabancasında bulunan filamentin üzerinden elektrik akımı geçirilip ısıtılması ve bu yolla da filamentten elektron koparılması prensibine dayanan yayıcı termioyonik yayıcıdır. Genellikle filament olarak tungsten (W) kullanılır. Alan emisyon tabancasında ise filament ısıtılmadan elektron üretilir. Üretilen elektronlar ise elektrik alan ile hızlandırılarak numune üzerine gönderilir. Bu nedenle alan emisyon tabancası kullanan taramalı elektron mikroskoplarına Alan Emisyonu Taramalı Elektron Mikroskobu (Field Emission Scanning Electron Microscope –FESEM–) denir.

Bu çalışmada, farklı parametrelerde kaplanan filmlerin yüzey özelliklerinin incelenmesi için Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan şekil 4.2.'de gösterilen ZEISS Supra 40VP Alan Emisyonu Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) kullanılmıştır.



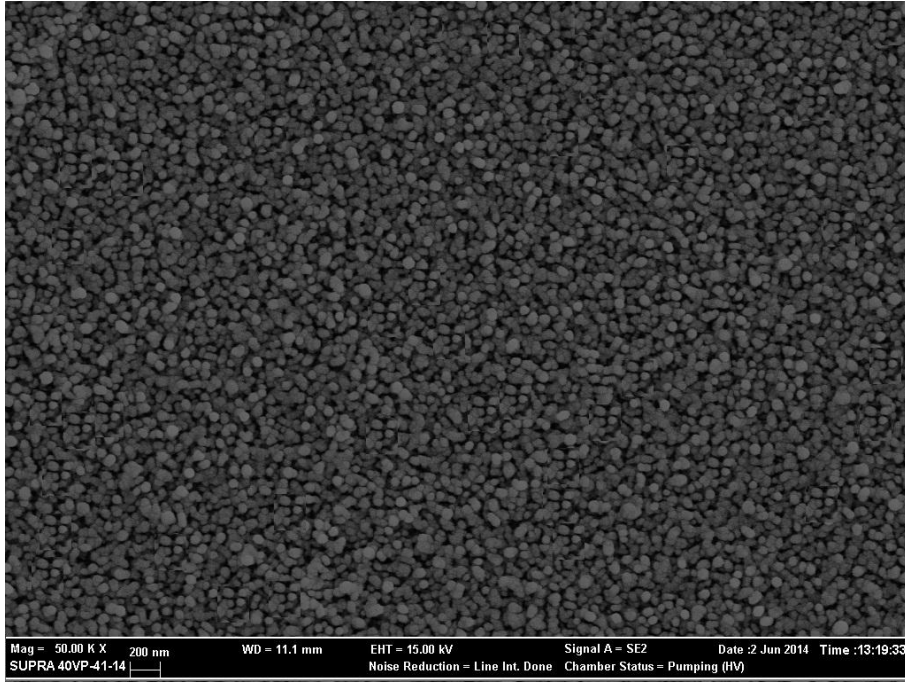
Şekil 4.2. Alan Emisyonu Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM).

Elde edilen $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerin her bir serisi için XRD analizlerinden yararlanılarak en iyi kristalleşmeyi gösteren filmler belirlenmiş (çizelge 4.1.) ve yüzey özellikleri incelenmiştir. Yüzey özellikleri incelenirken cihazın İkincil Elektron (SE) dedektörü kullanılmış ve çeşitli büyütme değerlerinde görüntüler elde edilmiştir. Yüzey özellikleri incelenen filmlerin aynı zamanda taramalı elektron mikroskobuna bağlı BRUKER marka EDX dedektörü kullanılarak kimyasal bileşimleri de elde edilmiştir.

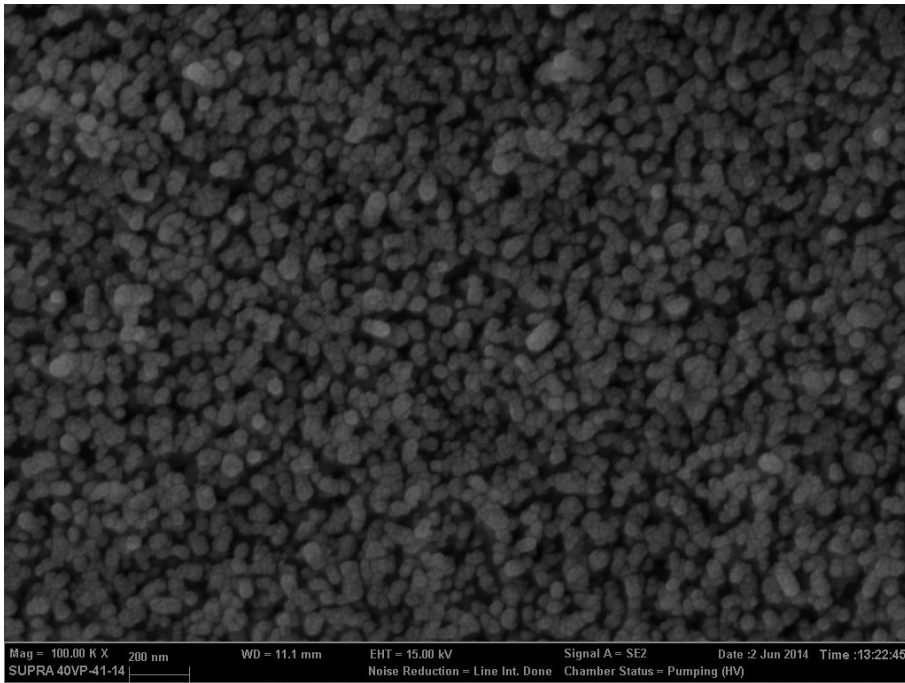
Çizelge 4.1. Yüzey özellikleri incelenen filmler.

Seri	Döndürme Hızı (rpm)	Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
A	3000	9	500
B	3500	9	500
C	3500	9	600
D	3500	9	600
E	4000	9	600

4.1. A Serisi Filmlerin Yüzey Özellikleri



Şekil 4.3. A serisine ait 50.000 büyütme FESEM görüntüsü.



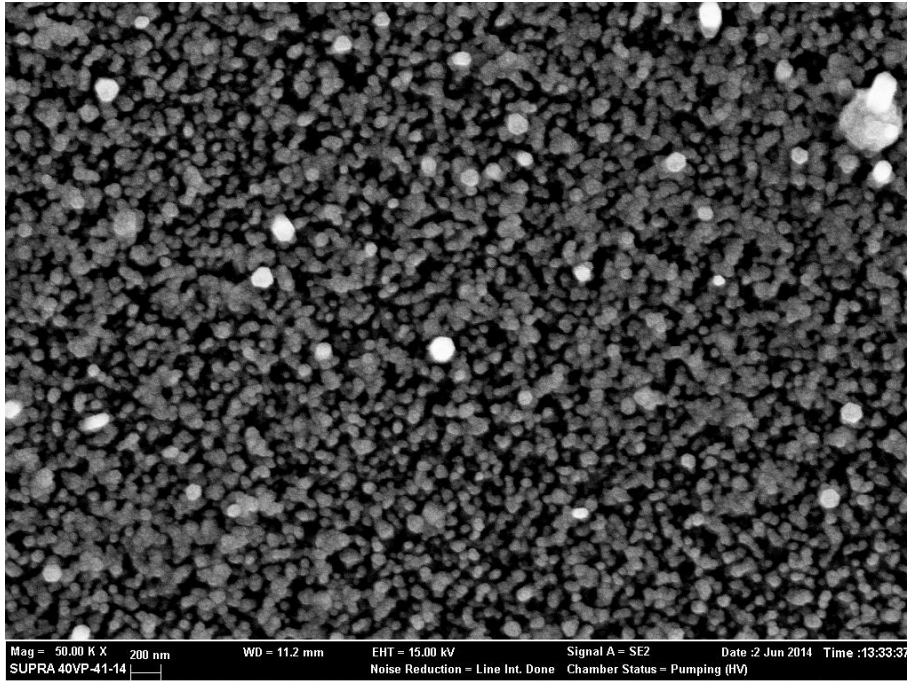
Şekil 4.4. A serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsü.

Şekil 4.3. ve şekil 4.4.'te gösterilen A serisine ait FESEM görüntülerinde; ZnO yapısının tabana homojen bir şekilde kaplandığı, yığılma şeklinde oluşumların bulunmadığı ve yüzeyde boşluklar olmadığı, böylece tanelerin birbirine daha iyi tutunduğu görülmektedir. Ayrıca görüntülerden tane boyutlarının ortalama 40 – 45 nm civarında olduğu ölçülmüştür. Ölçülen tane boyutu değerleri XRD spektrumundan belirlenen değerler ile benzerdir. Ayrıca alttaş üzerinde ZnO yapısı olduğu Çizelge 4.2.'deki A serisine ait EDX sonuçlarında da belirlenmiştir.

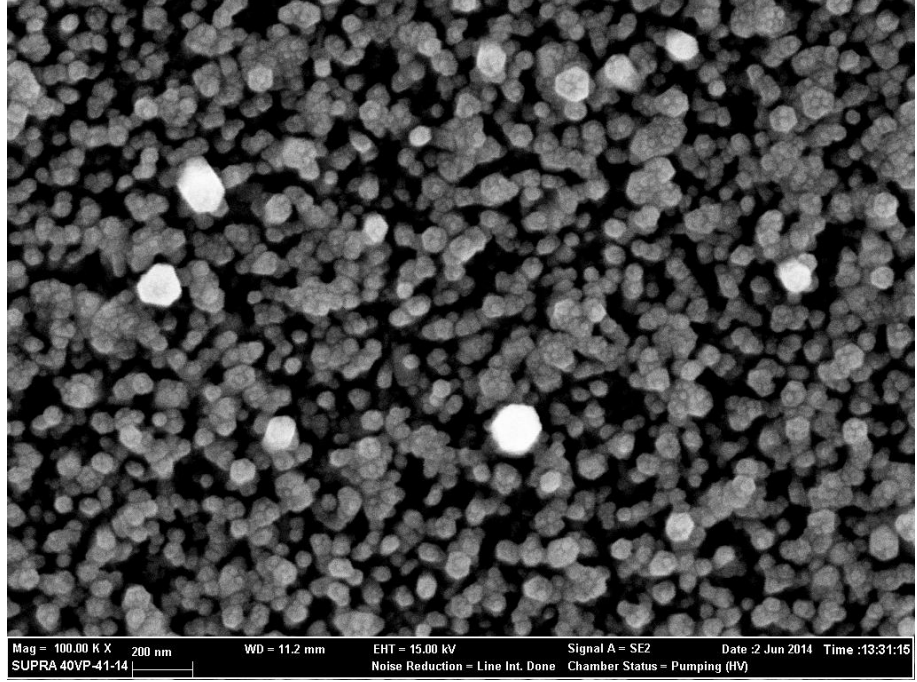
Çizelge 4.2. A serisine ait EDX sonuçları.

Element	Atomik Yüzde (%)
Çinko (Zn)	22
Oksijen (O)	78

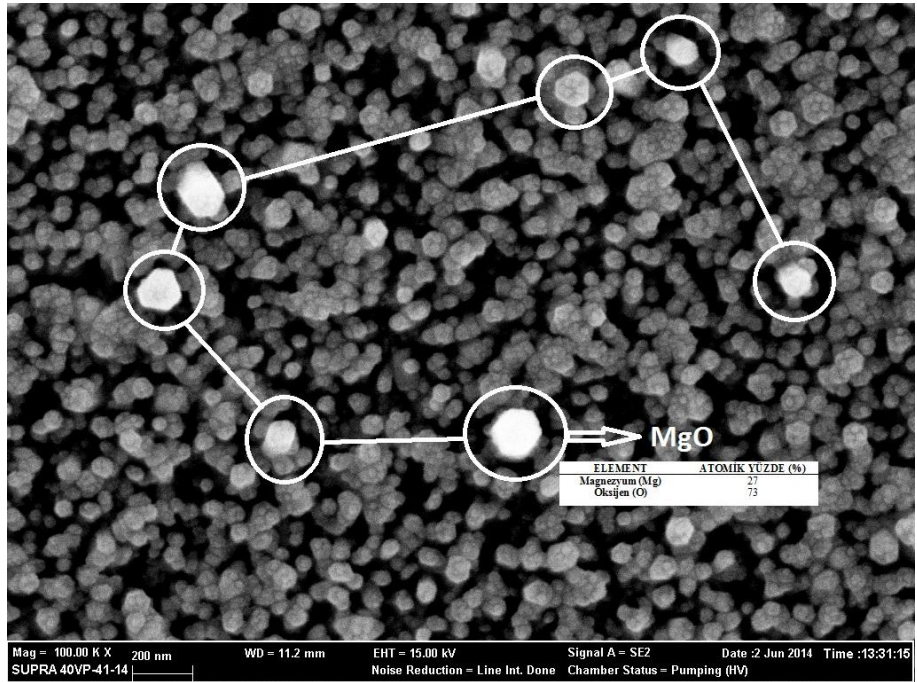
4.2. B Serisi Filmlerin Yüzey Özellikleri



Şekil 4.5. B serisine ait 50.000 büyütme FESEM görüntüsü.



Şekil 4.6. B serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsü.



Şekil 4.7. B serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsünden elde edilen MgO yapısı ve EDX sonuçları.

Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da gösterilen B serisine ait FESEM görüntülerine bakıldığında, ZnO yapısının tabana homojen bir şekilde kaplandığı ve katkılanan MgO yapılarının yüzeyde ara ara yer aldığı görülmektedir.

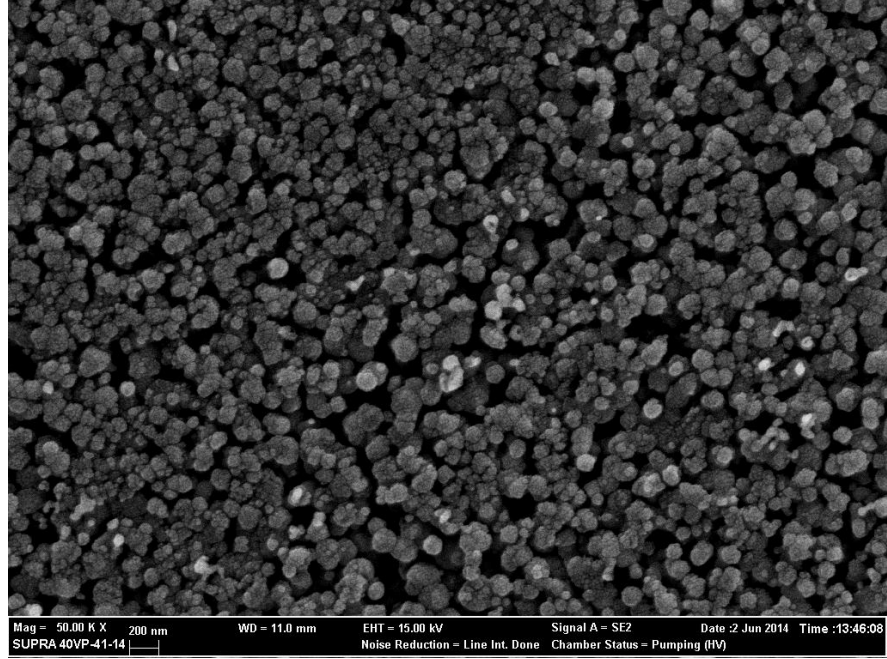
Şekil 4.7.'de gösterilen B serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsünde, yuvarlakla işaretlenmiş yapıların B serisinde % 25 olarak katkılanan MgO yapısına ait olduğu, bu yüzeyler üzerinde noktasal olarak yapılan EDX analizinden (%27 Magnezyum - %73 Oksijen) anlaşılmıştır. Yapılan noktasal EDX analizinin sonucu resim üzerinde de verilmektedir. Bu yapıların renklerinin daha açık renkte ve beyaz oluşu da MgO'nun elektrik iletkenliğinin düşük olmasından ve ikincil elektronların tanelerde yüklemeye yaparak parlak görünmesinden kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz.

Yüzeyin tamamından alınan B serisine ait EDX analizi sonuçları ise Çizelge 4.3.'te verilmiştir. EDX sonuçlarında da, ZnO yapısının yanında küçük miktarda MgO katkısı görülmektedir.

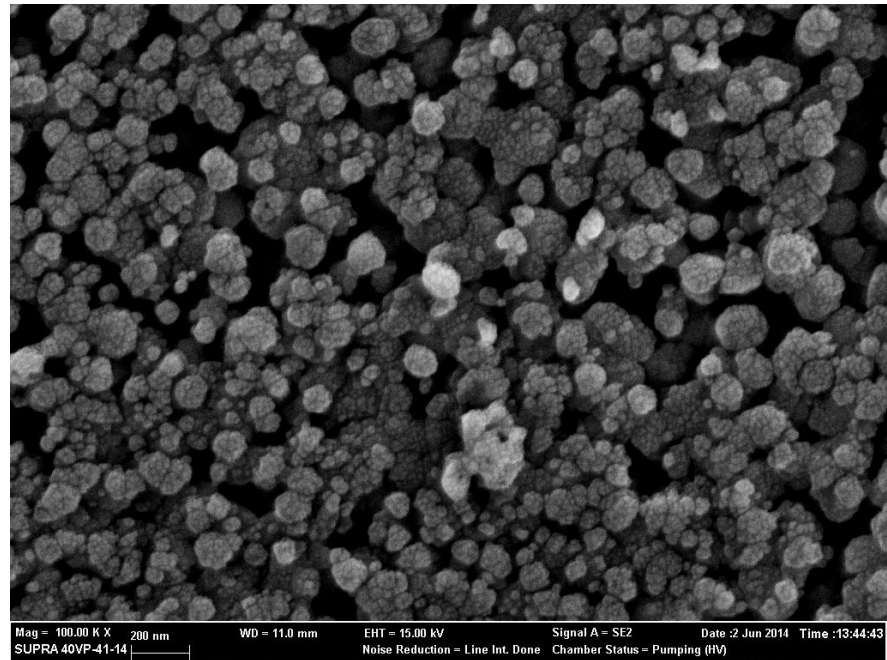
Çizelge 4.3. B serisine ait EDX sonuçları.

Element	Atomik Yüzde (%)
Çinko (Zn)	20
Oksijen (O)	72
Magnezyum (Mg)	8

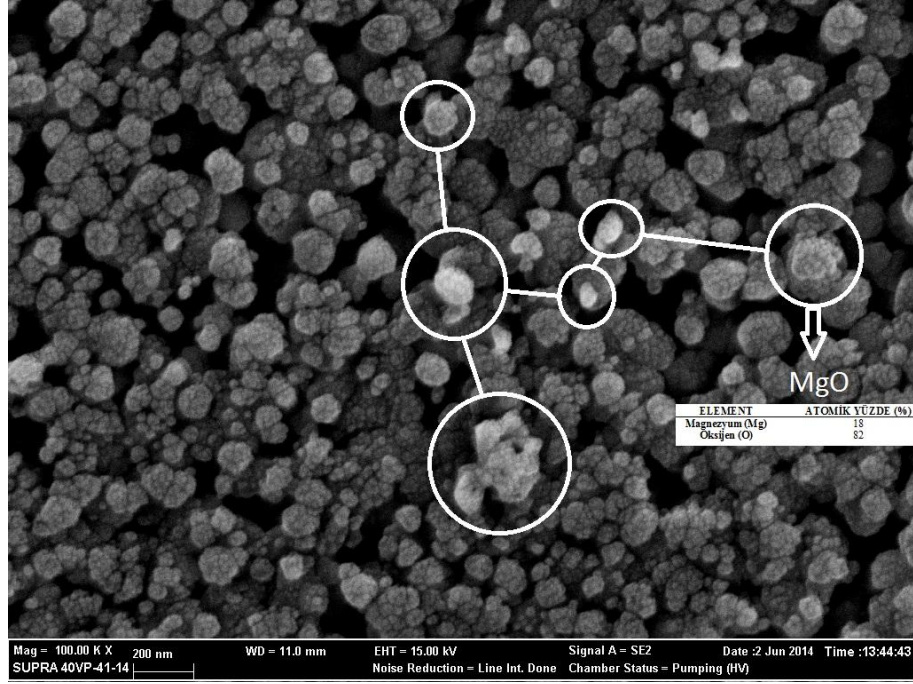
4.3. C Serisi Filmlerin Yüzey Özellikleri



Şekil 4.8. C serisine ait 50.000 büyütme FESEM görüntüsü.



Şekil 4.9. C serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsü.



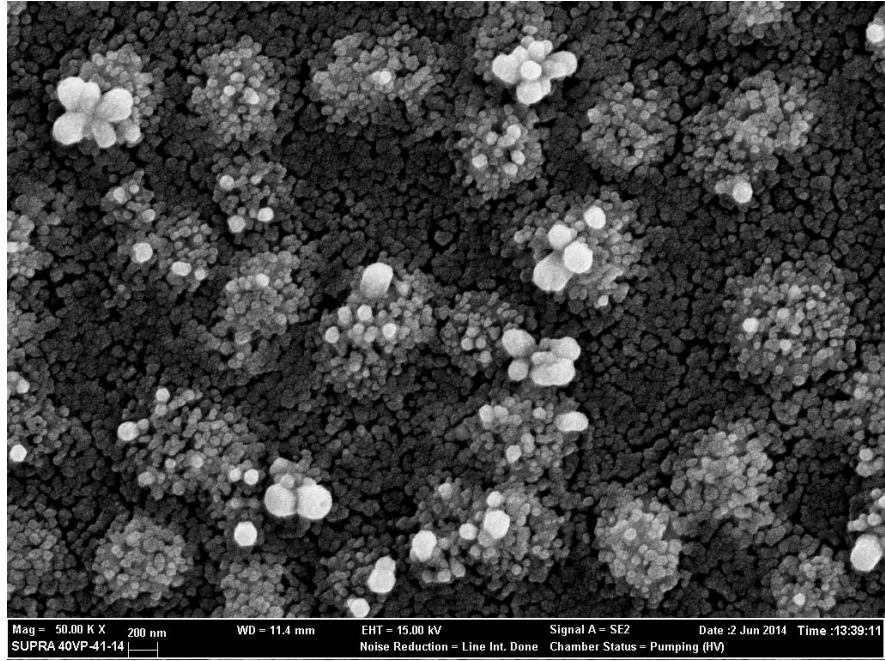
Şekil 4.10. C serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsünden elde edilen MgO yapısı ve EDX sonuçları.

C serisinde katkılama % 50 ZnO ve % 50 MgO şeklindedir. Şekil 4.8. ve şekil 4.9.'da gösterilen C serisine ait FESEM görüntülerinde; Zn ve Mg tanelerinin oksijeni paylaşarak kendi aralarında kümeleşip A ve B serisine göre daha iri taneli bir yapı meydana getirdikleri, ayrıca ZnO ve MgO tanelerinin tabana homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Şekil 4.10.'da gösterilen C serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsünde, yuvarlakla işaretlenmiş yapıların % 50 olarak katkılanan MgO yapısına ait olduğu, bu yapılar üzerinde noktasal olarak yapılan EDX analizinden (%18 Magnezyum - %82 Oksijen) anlaşılmıştır. Yapılan noktasal EDX analizinin sonucu resim üzerinde de verilmektedir. Yüzeyin tamamından alınan C serisine ait EDX analizi sonuçları ise Çizelge 4.4.'te verilmiştir. EDX sonuçlarında da, Mg ve Zn değerleri birbirine yakındır.

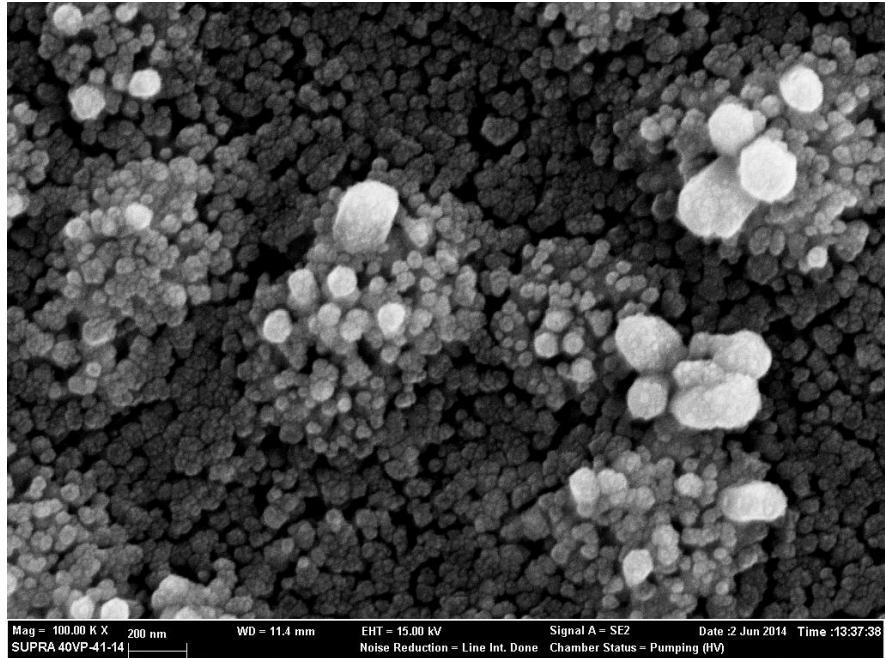
Çizelge 4.4. C serisine ait EDX sonuçları.

Element	Atomik Yüzde (%)
Çinko (Zn)	11
Oksijen (O)	74
Magnezyum (Mg)	15

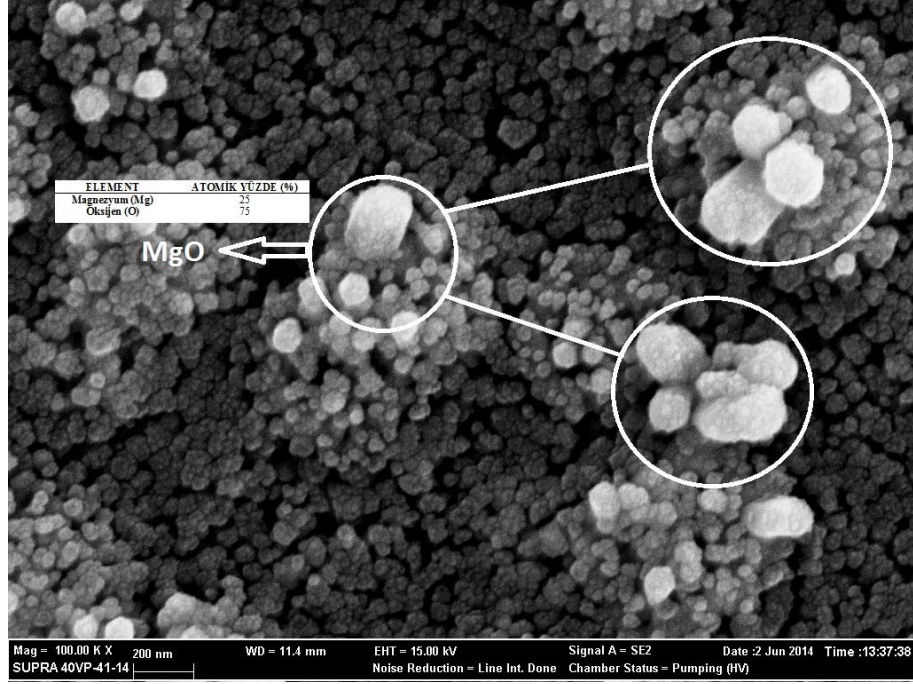
4.4. D Serisi Filmlerin Yüzey Özellikleri



Şekil 4.11. D serisine ait 50.000 büyütme FESEM görüntüsü.



Şekil 4.12. D serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsü.



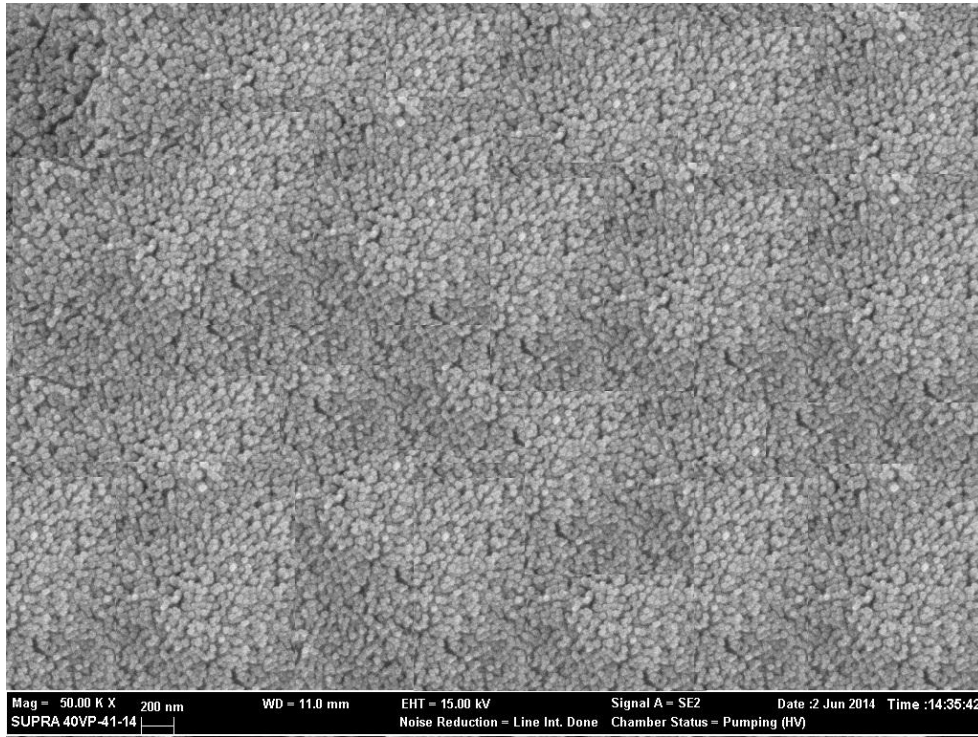
Şekil 4.13. D serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsünden elde edilen MgO yapısı ve EDX sonuçları.

Şekil 4.11. ve şekil 4.12.'deki D serisine ait FESEM görüntülerine bakıldığında, ZnO yapısının tabana homojen bir şekilde kaplandığı, katkılanan MgO yapılarının da yüzeyde çokça ve çiçek şeklinde yer aldığı görülmektedir. Şekil 4.13.'te gösterilen D serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsünde; yuvarlakla işaretlenmiş yapıların D serisinde % 75 olarak katkılanan MgO yapısına ait olduğu, bu yapılar üzerinde noktasal olarak yapılan EDX analizinden (%25 Magnezyum - %75 Oksijen) anlaşılmıştır. Yapılan noktasal EDX analizinin sonucu resim üzerinde de verilmektedir. Bu yapıların renklerinin daha açık renkte ve beyaz oluşu da MgO'nun elektrik iletkenliğinin düşük olmasından ve ikincil elektronların tanelerde yüklem yaparak parlak görünmesinden kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz. Yüzeyin tamamından alınan D serisine ait EDX analizi sonuçları ise Çizelge 4.5.'te verilmiştir. EDX sonuçlarında da, MgO yapısının yüzeydeki fazlalığı görülmektedir.

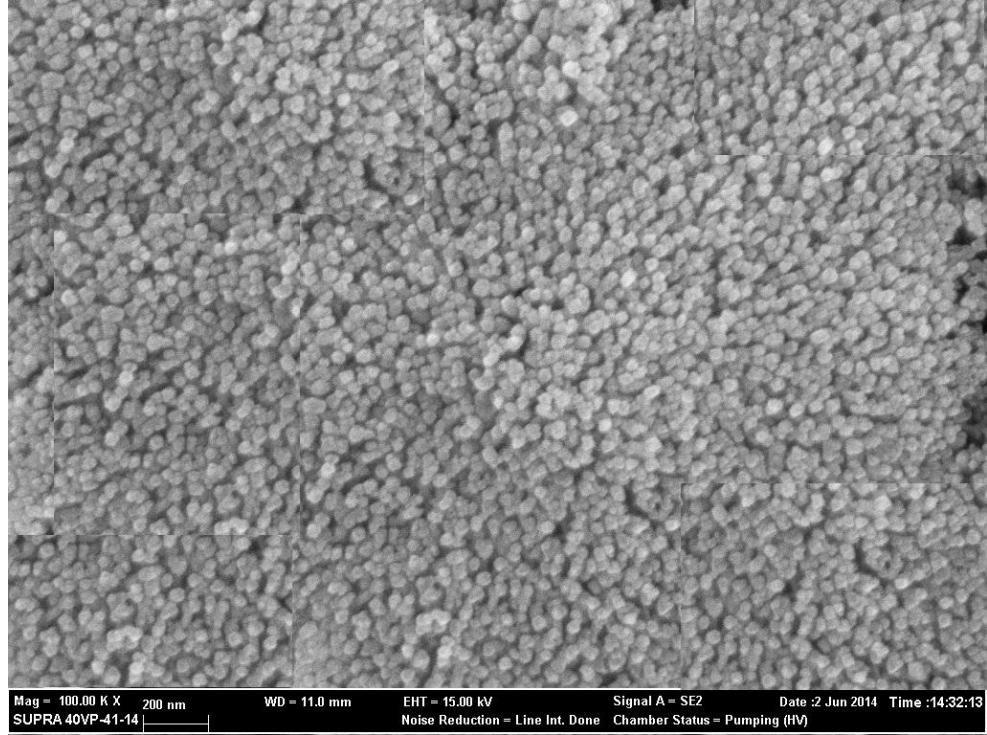
Çizelge 4.5. D serisine ait EDX sonuçları.

Element	Atomik Yüzde (%)
Çinko (Zn)	10
Oksijen (O)	65
Magnezyum (Mg)	25

4.5. E Serisi Filmlerin Yüzey Özellikleri



Şekil 4.14. E serisine ait 50.000 büyütme FESEM görüntüsü.



Şekil 4.15. E serisine ait 100.000 büyütme FESEM görüntüsü.

Şekil 4.14. ve şekil 4.15.'te gösterilen E serisine ait FESEM görüntülerinde; MgO yapısının tabana homojen bir şekilde kaplandığı, yığılma şeklinde oluşumların bulunmadığı ve yüzeyde boşluklar olmadığı böylece tanelerin birbirine daha iyi tutunduğu görülmektedir. FESEM görüntülerinden tane boyutlarının ortalama 50 nm civarında olduğu ölçülmüştür. Ölçülen tane boyutu değerleri XRD spektrumundan belirlenen değerler ile benzerdir. Ayrıca alttaş üzerinde MgO yapısı olduğu Çizelge 4.6.'daki E serisine ait EDX sonuçlarında da belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. E serisine ait EDX sonuçları.

Element	Atomik Yüzde (%)
Magnezyum (Mg)	29
Oksijen (O)	71

Tüm serilerin FESEM görüntüleri incelendiğinde filmlerin tabana homojen bir şekilde kaplandığı görülmektedir. A ve E serilerinin FESEM görüntülerine bakıldığında yığılma şeklinde oluşumların bulunmadığı ve yüzeyde boşluklar olmadığı, böylece tanelerin birbirine daha iyi tutunduğu anlaşılmaktadır. B serisinden itibaren katkılamamanın başlaması ile birlikte C ve D serisine doğru tanelerin giderek kümeleştiği ve atomik yığılmaların arttığı görülmektedir. Bu durumun XRD sonuçlarından elde ettiğimiz dislokasyon yoğunluğu değerlerinin katkılamamanın artması ile birlikte yükselmesinden kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz. Görüntülerden ölçülen tane boyutu değerleri XRD spektrumundan belirlenen değerler ile benzer çıkmıştır (40-50 nm). A serisinden E serisine kadar FESEM görüntülerinde; ZnO filmlere katkılanan MgO, katkı oranına bağlı şekilde artış göstermektedir. Bu FESEM görüntülerinde gözlemlenen ZnO yapısı ve katkılanan MgO'nun katkı oranına bağlı şekilde ZnO yapısı içerisindeki varlığı literatürde yapılan çalışmalar ile benzerdir (Huang, 2012; Lien, 2014; Kaushal, 2009; Bondoux, 2005).

EDX sonuçları incelendiğinde ise, Zn ve Mg değerlerinin katkı miktarına bağlı olarak değiştiği, fakat oksijen oranının bütün serilerde yüksek çıktığı görülmektedir. Bu oksijen fazlalığının, filmleri üzerine kapladığımız cam tabandan ya da çözeltimizden gelmiş olabileceğini düşünmekteyiz.

5. (MgO)_x(ZnO)_{1-x} FİMLERİNİN OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ve BULGULARIN TARTIŞILMASI

Malzemelerin optiksel özelliklerinin incelenmesi sonucu numunenin ışık geçirgenliğinin (%T) yanında absorpsiyon ölçümlerinden de bant yapıları hakkında bilgiler elde edilebilir.

Absorpsiyon ölçümleri geniş bir dalgaboyu aralığında yapılırsa, ortamdan geçen ışınların bağıl şiddetleri ile dalgaboyları arasındaki bağıntı absorpsiyon spektrumunu verir. Her bir malzemenin yayınladığı dalgaboyları birbirinden farklıdır ve kendine özgüdür. Aynı şekilde her malzemenin absorblayacağı dalgaboyları da diğer malzemelerinkinden farklı olacaktır. Bu nedenle absorpsiyon spektrumları kullanılarak bir yarıiletkenin bant yapısı incelenip, yasak enerji aralığı hesaplanabilir. Bu metot optik metot olarak bilinir (Akyüz, 2005).

Bir malzemenin soğurma özelliğini belirlemek için, malzemeye gelen ışın (I_0), malzemeyi geçen ışın (I) ve malzeme kalınlığı (t) arasında;

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \quad (5.1)$$

bağıntısı vardır. Burada α lineer absorpsiyon katsayısını ifade etmektedir (Sahu, 2009). Lineer absorpsiyon katsayısı büyüdükçe materyali geçen ışının şiddeti de azalır. Lineer absorpsiyon katsayısı, materyalin cinsine, kalınlığına ve elektromagnetik dalganın dalga boyuna bağlıdır (Cullity, 1966).

Yarıiletkenlerde, gelen ışının absorblanması farklı şekillerde gerçekleşebilir. Bunlardan, banttan banda geçişi temsil eden temel absorpsiyondan bahsedilecektir.

5.1. Temel Absorbsiyon Olayı

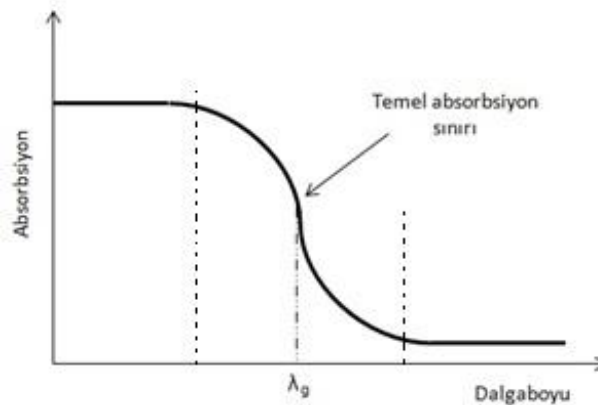
Temel absorpsiyon olayı bir elektronun valans bandından iletim bandına uyarılması halindeki geçişi ifade eder. Bu absorpsiyon olayı kendisini absorblamada hızlı bir artış ile gösterir ve bu bölge temel absorpsiyon bölgesi olarak bilinir. Bu durumda temel absorpsiyon bölgesi yarıiletken bir malzemenin enerji aralığını belirlemek için kullanılabilir (Pankove, 1971).

Temel absorpsiyon olayında foton tarafından uyarılan bir elektron valans bandında bir hol bırakarak iletim bandına geçer. Elektronların valans bandından iletim bandına geçebilmeleri için yarıiletken üzerine düşen fotonun enerjisinin en az yasak enerji aralığına eşit veya yasak enerji aralığından büyük olması gerekir.

Yasak enerji aralığı ifadesi;

$$E_g = \frac{hc}{\lambda_g} \quad (5.2)$$

ile tanımlanır. Burada λ_g ifadesi yasak enerji aralığına eşit olan fotonun dalgaboyu, h Planck sabiti ve c ışık hızıdır. Bu dalgaboyu değerinden daha büyük dalga boylu fotonlar soğurulmadan geçerken daha küçük dalga boylu fotonlar soğurulur. Şekil 5.1.'de bir yarıiletken malzeme için temel absorpsiyon spektrumu gösterilmektedir.



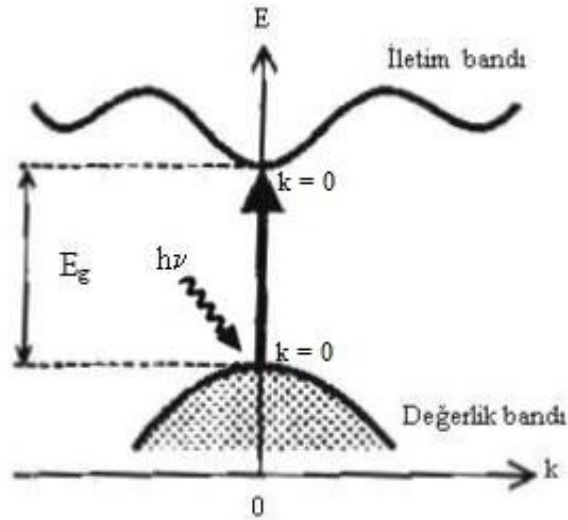
Şekil 5.1. Yarıiletkente temel absorpsiyon spektrumu.

Yarıiletken materyal λ_g dalgaboyundan küçük dalga boylarında kuvvetli absorplayıcı, λ_g değerinden büyük dalga boylarında ise hemen hemen geçirgen özellik gösterir. Bu da materyalin bu sınır dalga değerine kadar iyi bir absorblayıcı olduğu anlamına gelir.

Yarıiletkenlerde temel absorpsiyon sınırında direkt ve indirekt geçiş olmak üzere iki geçiş meydana gelir. İki geçişte de kullanılan yollar farklı olmakla birlikte elektronlar valans bandından iletim bandına geçerler.

Direkt bant yapılı yarıiletkenlerde iletim bant kenarının en alt noktası ile valans bandının üst kenarı enerji-momentum uzayında $k=0$ değerinde bulunmaktadır. Direkt bant geçişi, elektronun valans bandından iletim bandına, dalga vektöründe veya momentumunda değişiklik olmaksızın geçmesiyle meydana gelir. Yani, geçişten önceki momentum, geçişten sonraki momentuma eşittir. Bu geçişte, elektron valans bandından iletim bandına geçerken, valans bandında hol meydana gelir (Kittel, 1996). Optik etkiyle elektron hol çiftinin oluşma şartı $h\nu \geq E_g$ dir.

Şekil 5.2.'de iletim bandından valans bandına direkt bant geçişi gösterilmektedir.



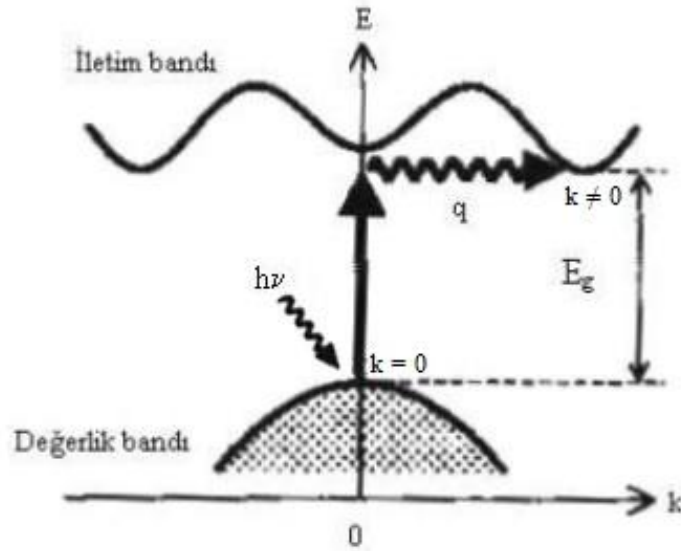
Şekil 5.2. Bir yarıiletkende direkt bant geçişi (Fox, 2001).

Direkt bant geçişlerinde absorpsiyon katsayısı ile gelen fotonun enerjisi $h\nu$ arasındaki bağıntı,

$$\alpha h\nu \approx (h\nu - E_g)^n \quad (5.3)$$

ile verilir (Omar, 1975). Burada, n direkt bant geçişli bir yarıiletken için 1/2 (izinli geçiş) veya 3/2 (yasaklı geçiş) değerlerini alabilen bir sabiti ifade etmektedir.

İndirekt bant geçişlerinde ise iletim bandının minimumu ile valans bandının maksimumu enerji-momentum uzayında aynı k değerine sahip olmadığından, elektron, valans bandının üst sınırından iletim bandının alt sınırına doğrudan (direkt) geçiş yapamaz (Kul, 1996). Bu geçişlerde elektronun hem enerjisinde hem de momentumunda bir değişim gereklidir. Foton, momentumda bir değişim sağlayamayacağı için iki adımlı bir işleme ihtiyaç duyulur. Momentum korunumu bir fonon etkileşmesi ile sağlanır. Geçişin tamamlanabilmesi için bir fonon salınır veya soğurulur (Akyüz, 2005). Şekil 5.3.'te bir yarıiletkenin indirekt bant geçişi gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Bir yarıiletkende indirekt bant geçişi (Fox, 2001).

İndirekt bant geçişli bir yarıiletken için Denklem (5.3)'deki n değeri 2 (izinli geçiş) veya 3 (yasak geçiş) değerlerine sahiptir.

5.2.(MgO)_x(ZnO)_{1-x} Filmlerinin Absorbsiyon Spektrumları ve Yasak Enerji Aralıkları

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen filmlerin optik özelliklerinin incelenmesi için UV-Vis Spektroskopisi ölçümleri, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan PERKIN ELMER LAMBDA 25 cihazında 1100–300 nm dalgaboyu aralığında alınmıştır. Şekil 5.4.'te ölçüm alınan UV-Vis. Spektrofotometresi gösterilmektedir.



Şekil 5.4. UV-Vis. Spektrofotometresi.

Elde edilen (MgO)_x(ZnO)_{1-x} filmlerin, her bir serisi için XRD analizlerinden yararlanılarak en iyi kristalleşmeyi gösteren seriler belirlenmiş ve optik özellikleri incelenmiştir. Çizelge 5.1.'de optik özellikleri incelenen filmler gösterilmiştir.

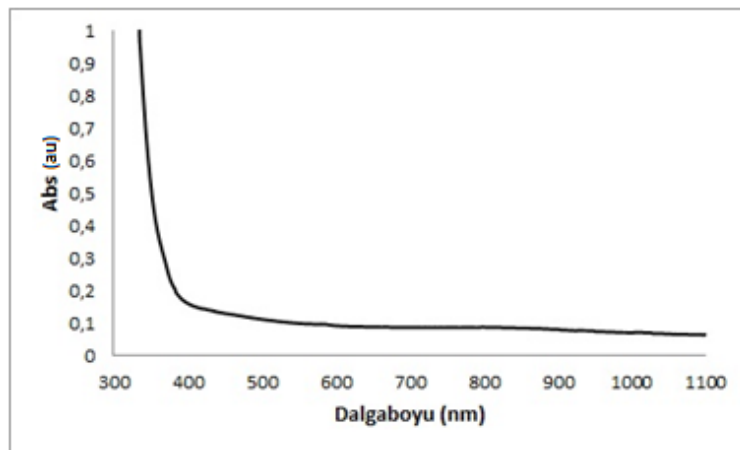
Çizelge 5.1. Optik özellikleri incelenen filmler.

Seri	Döndürme Hızı (rpm)	Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
A	3000	9	500
B	3500	9	500
C	3500	9	600
D	3500	9	600
E	4000	9	600

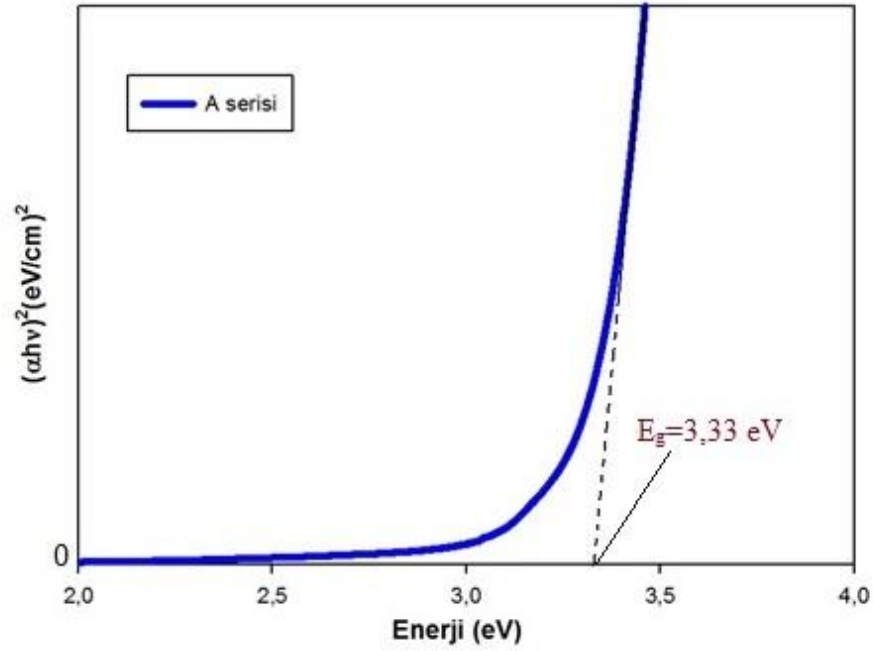
UV-Vis Spektroskopisi ölçümlerinden elde edilen temel absorpsiyon spektrumu verilerinden yararlanarak öncelikle filmlerin direkt bant yapılı mı, indirekt bant yapılı mı olduğu belirlenmiştir. Bunun için, $n=1/2$ (direkt-izinli), $3/2$ (direkt-izinsiz), 2 (indirekt-izinli) ve 3 (indirekt-izinsiz) değerleri kullanılarak tüm filmlerde ayrı ayrı $(\alpha h\nu)^{1/n} - h\nu$ grafikleri çizilmiş ve grafiklerde doğrusal bölgelere bakılmıştır. En iyi doğrusallığın $n=1/2$ değeri için elde edildiği görülmüştür. $n=1/2$ olması, yarıiletken filmlerin direkt ve izinli bant geçişine sahip olduğunu göstermektedir.

Elde edilen filmlerin direkt ve izinli bant geçişine sahip olduğunu belirledikten sonra $(\alpha h\nu)^{1/n}$ ifadesi $n=1/2$ için $(\alpha h\nu)^2$ olur. Filmlerin yasak enerji aralıklarının belirlenebilmesi için her bir filmin ayrı ayrı $(\alpha h\nu)^2$ 'nin $h\nu$ 'ye göre değişim grafikleri çizilir. Bu grafiklerin lineer kısımlarının doğrultusunun $h\nu$ eksenini, $(\alpha h\nu)^2 = 0$ ' da kestiği noktanın enerji değerleri, filmlerin yasak enerji aralıkları olarak belirlenir. Bu metot Tauc Metodu olarak bilinir (Tauc, 1974).

Şekil 5.5.'te A serisine ait filmin oda sıcaklığındaki temel absorpsiyon spektrumu verilmiştir. Absorbans 403 nm dalga boyundan başlayarak 364 nm dalga boyuna doğru keskin bir artış göstermiştir. Şekil 5.6.'da de $(\alpha h\nu)^2$ 'nin $h\nu$ 'ye göre değişimi görülmektedir. Grafiğin lineer kısmının $h\nu$ eksenini kestiği nokta materyalin yasak enerji aralığı değerini verir. Buradan yasak enerji aralığı $E_g=3,33$ eV olarak bulunmuştur.

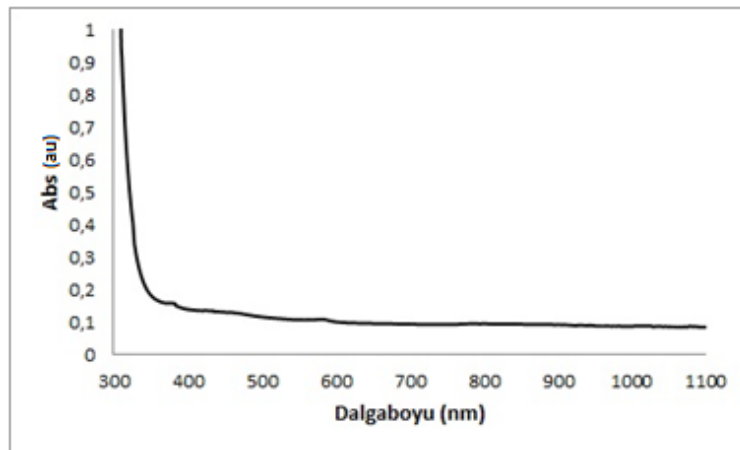


Şekil 5.5. A serisine ait filmin oda sıcaklığındaki absorpsiyon spektrumu.

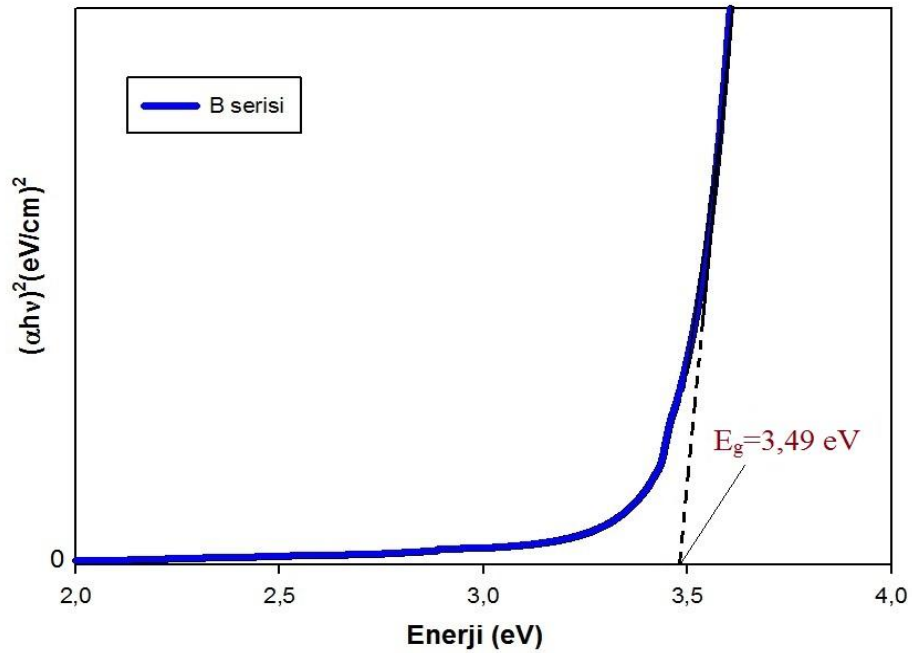


Şekil 5.6. A serisine ait filmin $(\alpha hv)^2 - hv$ değişimi.

Şekil 5.7.'de B serisine ait filmin oda sıcaklığındaki temel absorpsiyon spektrumu verilmiştir. Absorbans 368 nm dalga boyundan başlayarak 342 nm dalga boyuna doğru keskin bir artış göstermiştir. Şekil 5.8.'de de $(\alpha hv)^2$ 'nin hv 'ye göre değişimi görülmektedir. Grafiğin lineer kısmınının hv eksenini kestiği nokta materyalin yasak enerji aralığı değerini verir. Buradan yasak enerji aralığı $E_g=3,49$ eV olarak bulunmuştur.

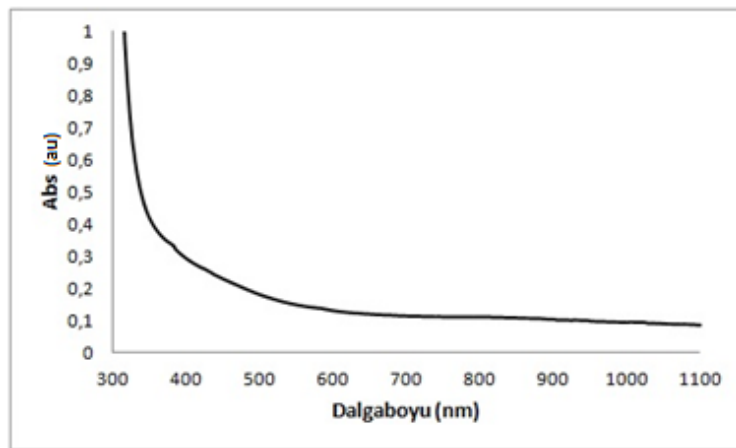


Şekil 5.7. B serisine ait filmin oda sıcaklığındaki absorpsiyon spektrumu.

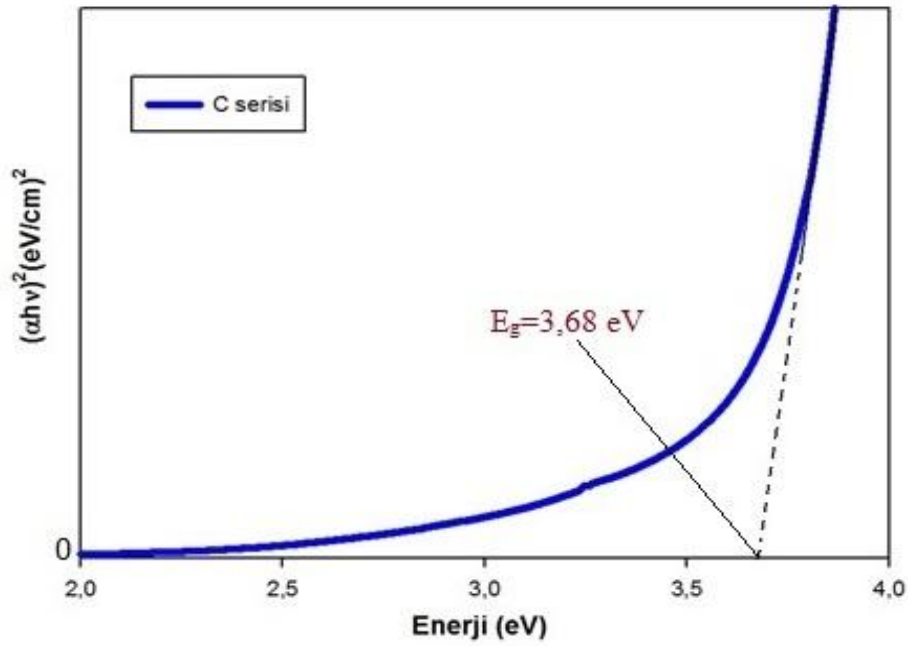


Şekil 5.8. B serisine ait filmin $(\alpha hv)^2 - hv$ değişimi.

Şekil 5.9.'da C serisine ait filmin oda sıcaklığındaki temel absorpsiyon spektrumu verilmiştir. Absorbans 390 nm dalga boyundan başlayarak 335 nm dalga boyuna doğru keskin bir artış göstermiştir. Şekil 5.10.'da da $(\alpha hv)^2$ 'nin hv 'ye göre değişimi görülmektedir. Grafiğin lineer kısmının hv eksenini kestiği nokta materyalin yasak enerji aralığı değerini verir. Buradan yasak enerji aralığı $E_g=3,68$ eV olarak bulunmuştur.

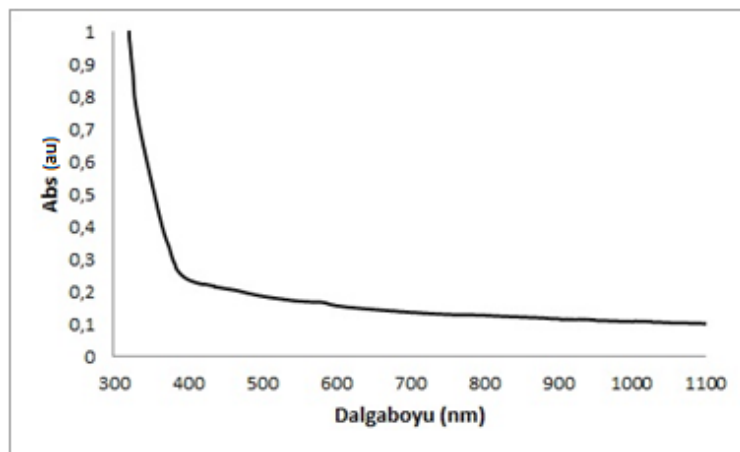


Şekil 5.9. C serisine ait filmin oda sıcaklığındaki absorpsiyon spektrumu.

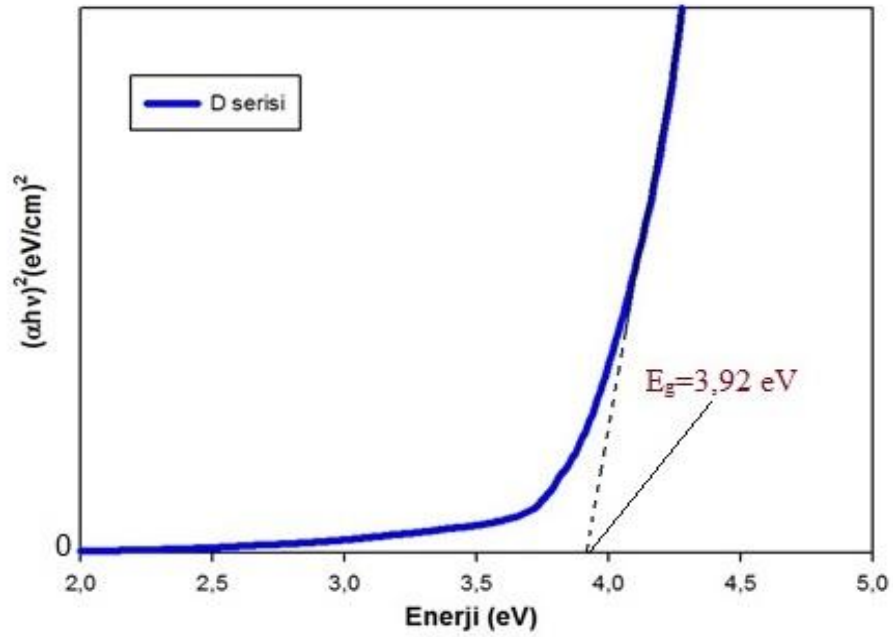


Şekil 5.10. C serisine ait filmin $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ değişimi.

Şekil 5.11.'de D serisine ait filmin oda sıcaklığındaki temel absorpsiyon spektrumu verilmiştir. Absorbans 386 nm dalga boyundan başlayarak 329 nm dalga boyuna doğru keskin bir artış göstermiştir. Şekil 5.12.'de de $(\alpha h\nu)^2$ 'nin $h\nu$ 'ye göre değişimi görülmektedir. Grafiğin lineer kısmının $h\nu$ eksenini kestiği nokta materyalin yasak enerji aralığı değerini verir. Buradan yasak enerji aralığı $E_g = 3,92$ eV olarak bulunmuştur.

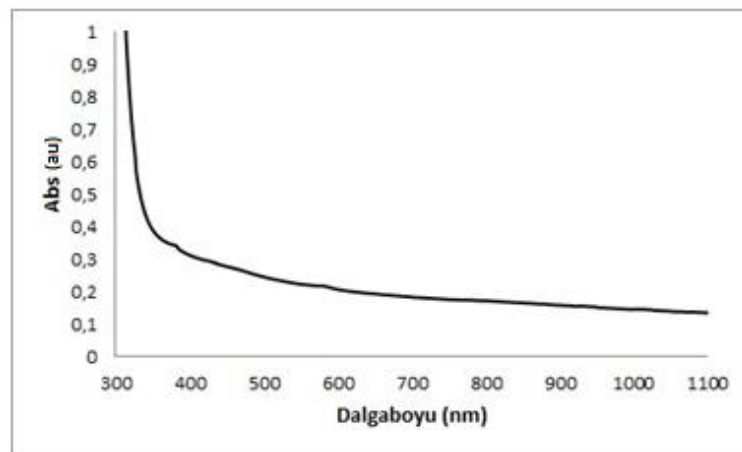


Şekil 5.11. D serisine ait filmin oda sıcaklığındaki absorpsiyon spektrumu.

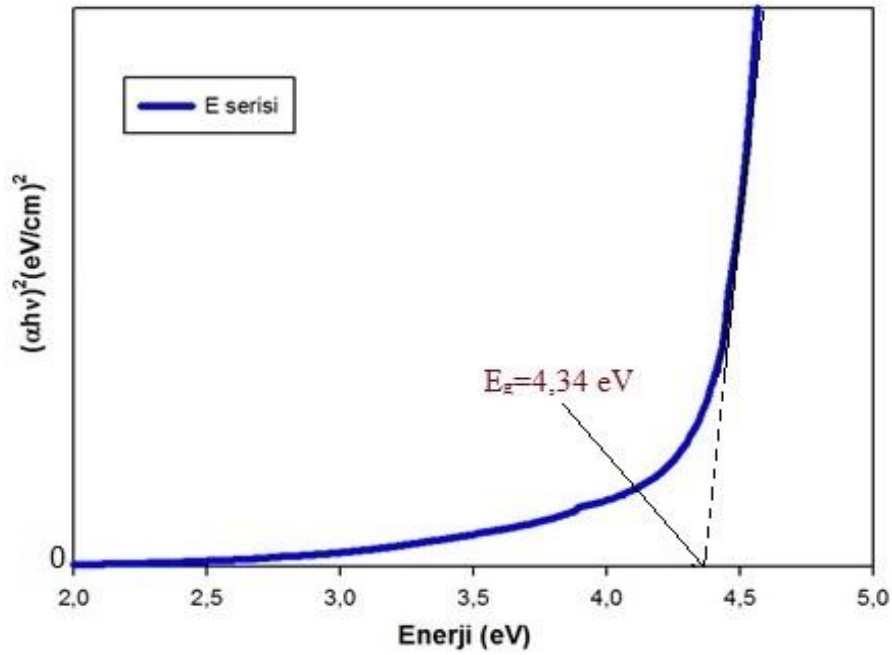


Şekil 5.12. D serisine ait filmin $(\alpha hv)^2 - hv$ değişimi.

Şekil 5.13.'te E serisine ait filmin oda sıcaklığındaki temel absorpsiyon spektrumu verilmiştir. Absorbans 364 nm dalga boyundan başlayarak 326 nm dalga boyuna doğru keskin bir artış göstermiştir. Şekil 5.14.'te de $(\alpha hv)^2$ 'nin hv 'ye göre değişimi görülmektedir. Grafiğin lineer kısmının hv eksenini kestiği nokta materyalin yasak enerji aralığı değerini verir. Buradan yasak enerji aralığı $E_g=4,34$ eV olarak bulunmuştur.



Şekil 5.13. E serisine ait filmin oda sıcaklığındaki absorpsiyon spektrumu.



Şekil 5.14. E serisine ait filmin $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ değişimi.

Çizelge 5.2. Her bir seriye ait yasak enerji aralığı değerleri.

Seri	Yasak Enerji aralığı (eV)
A	3,33
B	3,49
C	3,68
D	3,92
E	4,34

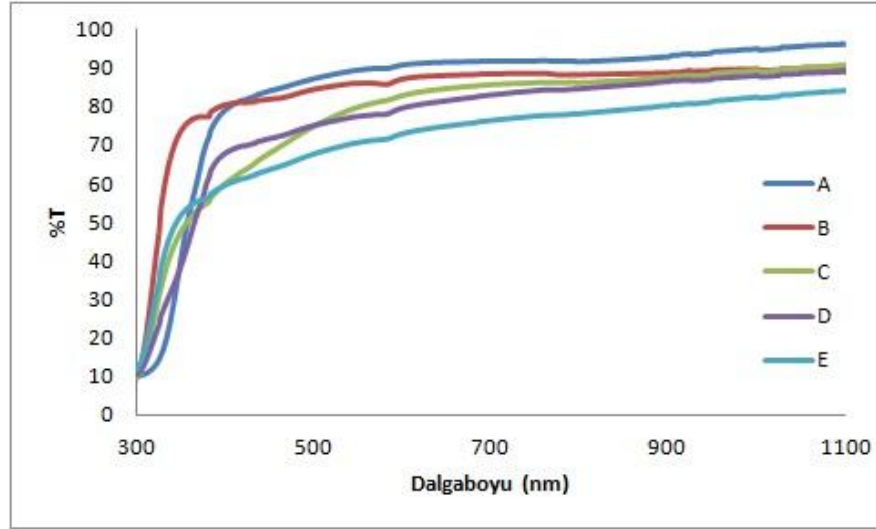
Çizelge 5.2.'de her bir seriye ait yasak enerji aralığı değerleri tablo halinde verilmiştir. $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerde katılanan "x" değeri arttıkça yani MgO katkısı artıkça yasak enerji aralığının genişlediği görülmektedir. MgO katkısının yasak enerji aralığı değerlerini arttırdığı sonucu literatürdeki benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile desteklenmektedir (Shin, 2013; Shin, 2014; Cho, 2011; Gowrishankar, 2014; Ashraf, 2012; Minemoto, 2000; Vettumperumal, 2014).

ZnO gibi dejenere yarıiletkenlerde yasak enerji aralığındaki artışın sebebi Burstein–Moss kayması ile açıklanabilir (Sengupta, 2013; Devi, 2015). Burstein–Moss kaymasında, materyal dejenere bir yarıiletken özelliği gösterdiği için, uygun katkılama yapıldığında iletim bandının alt kısmının kısmen dolu olması buraya olan geçişleri bloke edecek ve dolayısıyla daha yüksek enerjili geçişler gözlenecektir (Sanchez-Juarez, 1998; Major, 1983; Ambia, 1994; Silver, 1994). Böyle bir durumda katkı miktarı arttıkça yasak enerji aralığı değerinde de artış meydana gelmektedir. Ancak Burstein–Moss kaymasından söz edebilmek için katkılanan elementlerin, taşıyıcı konsantrasyonunda da bir artışa ya da azalmaya sebep olmaları gerekmektedir (Gowrishankar, 2014). Bu çalışmada katkılama ile Zn^{+2} ve Mg^{+2} atomlarının yer değiştirmesi sonucu taşıyıcı konsantrasyonunda bir değişiklik meydana gelmemektedir (Gowrishankar, 2014; Huang, 2012). Dolayısıyla bu çalışma için yasak enerji aralığı artışının sebebi olarak Burstein–Moss kayması gösterilemez (Gowrishankar, 2014).

Yasak enerji aralığı değerindeki artışın, yapıya katkılanan MgO'nun yasak enerji aralığının ZnO'nun yasak enerji aralığı değerinden büyük olmasından dolayı olduğunu düşünmekteyiz. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda da yasak enerji aralığı değerinin artması bu şekilde yorumlanmaktadır (Kaushal, 2009; Gowrishankar, 2014, Shin, 2014).

5.3. (MgO)_x(ZnO)_{1-x} Filmlerinin Optik Geçirgenlik Spektrumları

Elde edilen filmlerin optik geçirgenlik spektrumları 1100–300 nm dalgaboyu aralığında alınmıştır. Şekil 5.15.'te tüm serilerin optik geçirgenlik spektrumları karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



Şekil 5.15. Tüm serilerin optik geçirgenlik spektrumları.

Şekil 5.15'ten de görüldüğü gibi farklı özelliklerde elde edilen filmlerde “x” değerinin yükselmesi ile yani MgO katkısının artması ile birlikte optik geçirgenlik spektrumlarında düşüş gözlenmektedir. A serisinde, görünür bölgede (400 – 700 nm) % 85–90 civarında olan optik geçirgenlik E serisinde % 70 civarlarına kadar düşmüştür. Literatürdeki benzer çalışmalarda da benzer sonuçlar gözlenmektedir. (Shan, 2006; Wu, 2011). Çizelge 3.63.'te verilen kalınlık değerlerinin MgO konsantrasyonu arttıkça artması da filmlerin optik geçirgenliklerinin düşmesine sebep olmaktadır (Wu, 2011).

6. (MgO)_x(ZnO)_{1-x} FİLMLERİNİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ve BULGULARIN TARTIŞILMASI

6.1. Özdirenç Ölçümleri

Özdirenç birim uzunluk ve kesit alana sahip bir iletkenin elektrik akımına karşı ne ölçüde direnç gösterdiğinin bir ölçüsüdür.

$$V = I \cdot R \text{ (Ohm Yasası)} \quad (6.1)$$

$$\rho = \frac{V \cdot S}{I \cdot l} \quad (6.2)$$

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l} \quad (6.3)$$

Burada ρ ; özdirenç, R ; direnç, V ; voltaj, I ; akım, S ; akımın geçtiği yüzeyin alanı, l ise akımın aldığı yoldur.

İletkenlik ise özdirençin tersidir. Yani başka bir deyişle özdirenç arttıkça iletkenlik (δ) azalır.

$$\delta = \frac{1}{\rho} \quad (6.4)$$

Oda sıcaklığında yarıiletkenlerin elektriksel özdirençleri 10^{-2} ile 10^9 $\Omega \cdot \text{cm}$ aralığında değişen değerler alır. İletkenlerin özdirençleri 10^{-6} $\Omega \cdot \text{cm}$ civarında iken bu değer yalıtkanlar için 10^{14} - 10^{22} arasındadır (Kittel, 1996).

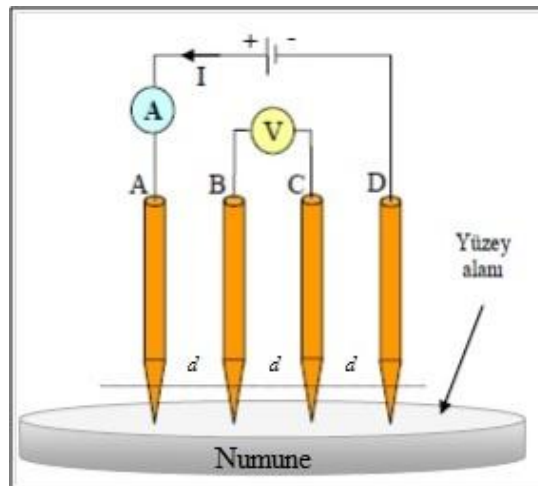
Malzemelerin elektriksel özdirençlerinin ölçülmesinde; genellikle iki nokta kontak ve dört nokta kontak metotları kullanılmaktadır. İki nokta yöntemi kullanılan numuneler,

düzgün dikdörtgen şekle ve sabit kesit alana sahip olmalıdırlar. Numunenin karşılıklı kenar yüzeylerinde, akım için kullanılan iki kontak bulunmalıdır.

Dört nokta yöntemi ise yarıiletkenlerin özdirenç ölçümlerinde yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Ölçülecek örnek üzerinden akım geçerken, belirli bir bölgesinde elektrik potansiyel farkı ölçümü bu yöntemlerin temelini oluşturur.

6.1.1. Dört nokta kontak metodu

Dört nokta kontak metodu, genellikle ince film malzemelerin veya yarıiletken maddelerin iletkenlik ve özdirençlerinin ölçülmesinde kullanılır. En az bir yüzeyi düzlemsel olmalı ve bu yüzeyin geometrik boyutları, kontak boyutlarından daha büyük olmalıdır. Dört nokta kontak metodu ile özdirenç ölçme de ölçmenin doğruluğu, numunenin şekline ve boyutuna bağlıdır. Ölçümü yapılacak malzemenin boyutları mümkün olduğu kadar düzgün geometrik şekiller (kare, dikdörtgen ve daire) halinde hazırlanmalıdır. Böylece yapılacak ölçmenin doğruluğu artırılır.



Şekil 6.1. Dört nokta kontak metodu ölçme sistemi.

Dört nokta kontak metodunda, Şekil 6.1.'de görülen ölçme sisteminde olduğu gibi dıştaki iki proba (A ve D) akım kaynağı bağlanır. İçteki iki uçtan (B ve C) potansiyel fark

ölçülür. Ölçülen akım, gerilim (I, V) değerleri ile Denklem (6.5)'deki formül yardımıyla elektriksel özdirenç değeri hesaplanarak bulunmaya çalışılır. Kontaklar aynı düzlem üzerinde ve eşit aralıklarda olmalıdır (Schroder, 1990). Birbirinden eşit uzaklıkta (d) yerleşen dört kontak sistemi kullanıldığında, örneğin özdirenci,

$$\rho = G \cdot \frac{V}{I} (\Omega \cdot cm) \quad (6.5)$$

Burada I; A ve D isimli kontaklardan geçen akımı, V; B ve C isimli kontaklar (problar) arasında oluşan gerilimi verir. G ise düzeltme faktörüdür. Düzeltme faktörü numunenin boyutlarını ve kontakların durumunu içeren bir denklemler topluluğudur ve geometrik özdirenç düzeltme katsayısı olarak tanımlanır. Bu düzeltme faktörü numunenin kalınlığına ve geometrik yapısına, yüzey büyüklüğüne, numune kenar sınırlarının yapısına, bağlantı uçlarının numune üzerinde bulunduğu konuma ve diziliş düzenine bağlı olarak değişir (Vadbaek, 1966).

6.2. (MgO)_x(ZnO)_{1-x} Filmlerin Özdirenç Ölçümleri

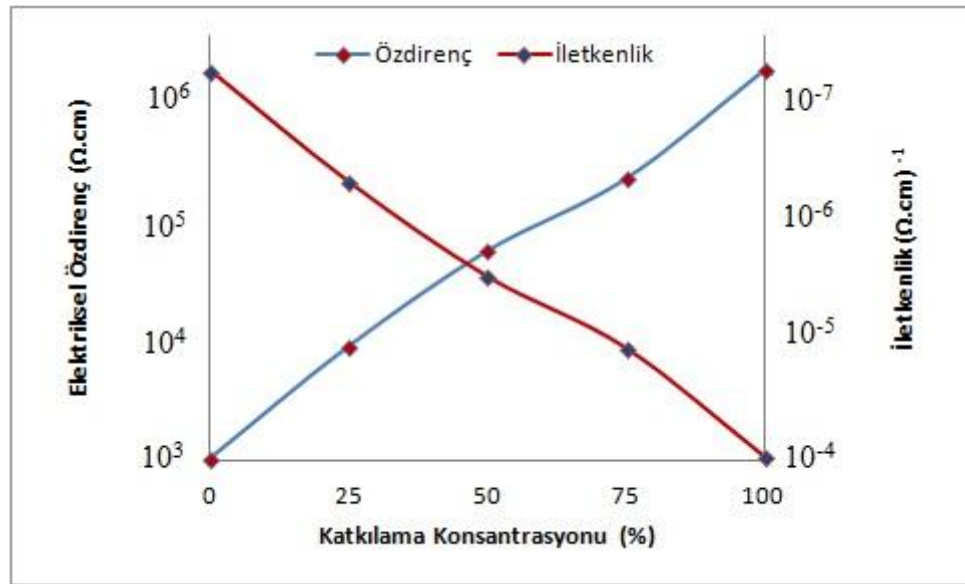
Bu çalışmada elde edilen (MgO)_x(ZnO)_{1-x} filmlerin özdirenç ölçümleri dört nokta kontak metodunu kullanarak yapılmıştır. Bu metotta özdirenç değerlerin Denklem (6.5) yardımıyla elde edilir. Elektriksel özellikler incelenirken, optik ve yüzey özelliklerini incelerken olduğu gibi, her bir seri için XRD analizlerinden yararlanılarak en iyi kristalleşmeyi gösteren filmler seçilmiştir. Bu seriler çizelge 6.1.'de verilmektedir.

Çizelge 6.1. Elektriksel özellikleri incelenen filmler.

Seri	Döndürme Hızı (rpm)	Katman	Tavlama Sıcaklığı (°C)
A	3000	9	500
B	3500	9	500
C	3500	9	600
D	3500	9	600
E	4000	9	600

Çizelge 6.2. Filmlerin özdirenç ve iletkenlik değerleri.

Seri	Elektriksel Özdirenç ($\Omega.cm$)	İletkenlik ($\Omega.cm$) ⁻¹
A	$9,32 \times 10^3$	$1,07 \times 10^{-4}$
B	$6,82 \times 10^4$	$1,46 \times 10^{-5}$
C	$3,71 \times 10^5$	$2,69 \times 10^{-6}$
D	$1,33 \times 10^6$	$7,51 \times 10^{-7}$
E	$9,19 \times 10^6$	$1,08 \times 10^{-7}$



Şekil 6.2. Filmlerin özdirenç ve iletkenlik değerlerinin katkılama konsantrasyonuna göre değişimi grafiği.

Çizelge 6.2. ve Şekil 6.2.'den görüldüğü gibi ZnO filmlerin elektriksel özdirenç ve iletkenlik değerleri MgO katkısı ile değişmektedir. İletkenlik, özdirençin tersidir ve Denklem (6.4) yardımıyla elde edilir. MgO katkısının artması ile filmlerin elektriksel özdirenç değerleri artmakta, iletkenlik değerleri azalmaktadır. ZnO yarıiletkenine MgO katkılanmasında, Mg^{+2} atomları Zn^{+2} atomları ile yer değiştireceğinden taşıyıcı konsantrasyonunda herhangi bir değişiklik meydana gelmeyecektir. Ancak, MgO katkısının artması ile filmlerin elektriksel özdirenç değerleri de artmaktadır. Bu durumun, A serisinde katkılanmamış ZnO filminin yüzeyinde bulunan Zn ($0,60 \text{ \AA}$) atomlarının yerini, diğer serilerde artan oranda MgO katkısı ile birlikte küçük iyonik yarıçapa sahip

Mg (0,57 Å) atomlarının alması ve buna bağlı olarak tane boyutu değerlerinin azalmasının etkili olduğunu düşünmekteyiz. Literatürde yapılan benzer çalışmalarda da özdirenç değerindeki artış bu şekilde açıklanmaktadır (Gowrishankar, 2014; Huang, 2012). Bununla birlikte tüm serilerin XRD spektrumları incelendiğinde, B serisinden itibaren gözlenmeye başlanan ve katkı miktarı arttıkça çoğalan MgO piklerinden de A serisinde hegzagonal ZnO olan yapının E serisine doğru kübik MgO yapısına kaydığı anlaşılmaktadır. Bu yapıdaki değişim de özdirenç değerinin artmasına sebep olmaktadır (Ashraf, 2012). XRD sonuçlarından elde ettiğimiz dislokasyon yoğunluğu değerlerinin katkılama arttıkça yükselmesi, kristal içerisindeki elektronlar saçılmalara uğrayacağından özdirenç artmasına ve iletkenliğin azalmasına sebep olabilir (Joshi, 2003). Ayrıca 5. Bölümde incelenen yasak enerji aralığı değerinin katkı konsantrasyonuna bağlı olarak artması da özdirenç değerinin artmasına neden olabilir (Kim, 2010; Tsai, 2012).

6.3. (MgO)_x(ZnO)_{1-x} Filmlerin Sıcak-Uç Metodu ile İletkenlik Tiplerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada elde edilen filmlerinin iletkenlik tiplerini belirlemek için pratik bir yöntem olan sıcak-uç (hot-probe) metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde iletim tipi belirlenecek yarıiletkenin yüzeyine aralarında belli bir uzaklık olacak şekilde iki metal uç dokundurulur. Uçlardan birisi ısıtılır, diğeri ise oda sıcaklığında bırakılır. Böylece yarıiletkenin ısınan bölgesindeki serbest yükler kazandıkları termal hızla soğuk uca doğru hareket ederler. Uçlara bir voltmetre bağlanıp pozitif uç ısıtılırsa voltmetrenin pozitif yönde sapması, yarıiletken materyalin n-tipi olduğunu ya da voltmetrenin negatif yönde sapması yarıiletken materyalin p-tipi olduğunu gösterir (Seeger, 1982). Bu yöntem kullanılarak, elde edilen (MgO)_x(ZnO)_{1-x} filmlerin n-tipi iletkenlik özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Literatürde çalışılan benzer MgZnO filmlerin de n-tipi çıktığı görülmüştür (Shin, 2014; Gowrishankar, 2014).

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmler kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem olan Sol-Gel Döndürerek Kaplama yöntemi ile farklı MgO katkı konsantrasyonlarında cam tabanlar üzerine üretilmiştir. $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ yapısını farklı konsantrasyonlarda elde edebilmek için çözeltiler x değerlerine göre karıştırılmıştır. Burada x değerleri hacim olarak ifade edilmektedir. x değerleri sırasıyla 0 - 0,25 - 0,50 - 0,75 - 1 olarak seçilmiş ve 5 adet farklı seri elde edilmiştir. Ayrıca her bir seri A(x=0), B(x=0,25), C(x=0,50), D(x=0,75) ve E(x=1) şeklinde adlandırılmıştır. Her bir seri için döndürerek kaplamanın; döndürme hızı, döndürme süresi, damlatılacak çözelti hacmi, kaplama katman sayısı ve elde edilen filmlerin tavlama sıcaklıkları gibi parametreleri değiştirerek en iyi filmin oluşacağı şartlar belirlenmiştir. Deney parametreleri belirlenirken önce A ve E serilerinin deneyleri tamamlanarak en iyi filmin oluşacağı şartlar belirlenmiştir. Daha sonra ara seri olan B, C ve D serilerinin parametreleri, A ve E serilerinin şartları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir ve kaplamaları yapılmıştır. Elde edilen filmlerin yapısal, yüzeysel, optiksel ve elektriksel özellikleri karakterize edilmiş ve bu özellikler üzerine katkılamanın etkileri incelenmiştir.

Tüm seriler için denemeleri yapılan parametrelerin her birinin X-ışını kırınım desenleri kendi aralarında karşılaştırılarak, her seri için en iyi kristalleşmeyi gösteren film XRD sonuçlarına göre belirlenmiştir. Daha sonra yüzeysel, optiksel ve elektriksel ölçümler bu belirlenen filmlerden alınmıştır.

$(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerin kristal yapılarını belirlemek için, filmlerin x-ışını kırınım desenlerinden yararlanılmıştır. X-ışını kırınım desenlerinden elde edilen filmlere ait; pik şiddeti, kırınım açısı (2θ) ve düzlemler arası mesafe (d) değerleri kullanılarak; yarı pik genişlikleri (FWHM), tane boyutları (D), dislokasyon yoğunlukları (δ), tercihli yönelim yapılanma katsayıları (TC) ve örgü sabitleri hesaplanmış ve bunlara göre her bir seri için en iyi kristalleşmeyi gösteren film belirlenmiştir.

A serisi için XRD analiz sonuçları ICDD kartları yardımıyla incelendiğinde, 3000 rpm döndürme hızında 9 katman olarak kaplanan ve 500°C 'de tavlanan filmlerin pik

şiddetlerinin, diğer filmlerden daha büyük olduğu ayrıca en küçük dislokasyon yoğunluğu değerine ve yarı pik genişliğine sahip olduğu görülmüştür. Bu filmlerin ortalama tane boyutu da serideki en büyük değerdir. Bu özellikleri göz önünde bulundurularak A serisi için, 3000 rpm döndürme hızında 9 katman olarak kaplanan ve 500°C’de tavlanan filmlerin en iyi kristalleşmeyi gösterdiği belirlenmiştir. Aynı özellikler diğer seriler için de incelendiğinde; B serisi için; 3500 rpm döndürme hızında 9 katman olarak kaplanan ve 500°C’de tavlanan, C serisi için; 3500 rpm döndürme hızında 9 katman olarak kaplanan ve 600°C’de tavlanan, D serisi için; 3500 rpm döndürme hızında 9 katman olarak kaplanan ve 600°C’de tavlanan ve E serisi için; 4000 rpm döndürme hızında 9 katman olarak kaplanan ve 600°C’de tavlanan filmlerin en iyi kristalleşmeyi gösterdiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen tüm $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerde 9 katmanlı filmlerin kristalleşmesinin iyi olması sebebiyle benzer çalışmalar için kaplama katmanı olarak 9 kat tercih edilebilir diye düşünmekteyiz.

Oluşan filmlerin tamamı polikristal yapıdadır. A serisinde katkısız ZnO’nun XRD kırınım deseni hekzagonal yapıdaki ZnO (ICDD: 98-003-1052) ile tamamıyla eşleşmektedir. B serisinde, %25 MgO katkısı ile XRD deseninde çok küçük şiddette kübik MgO yapısına ait (002) piki gözlenmeye başlamıştır. C ve D serilerinde de MgO yapısına ait (002) pikinin şiddetinin artmasının yanında aynı yapıya ait sırasıyla (111) ve (022) pikleri oluşmuştur. E serisinde ise katkısız MgO’nun XRD kırınım deseni tamamen kübik yapıdaki MgO (ICDD: 98-064-2712) yapısına dönüşmüştür. $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerde “x” değeri arttıkça yani MgO katkısı arttıkça XRD spektrumundaki MgO piklerinin sayıları ve piklerin şiddetleri artmaktadır. Bununla beraber ZnO yapısına ait piklerin sayısı ve şiddetleri düşüşe geçmektedir. Buradan yapının değiştiği ve ZnO yapısının kendi özelliğini kaybederek MgO yapısına kaydığı anlaşılmaktadır. Ayrıca elde edilen filmlerin kalınlıklarının A serisinden E serisine gidildikçe arttığı, yani MgO katkısı arttıkça filmlerin kalınlıklarının arttığı belirlenmiştir.

Elde edilen filmlerin yüzey özelliklerinin incelenmesinde Alan Emisyonu Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) kullanılırken kimyasal bileşimleri de EDX dedektörü ile belirlenmiştir.

A serisine ait FESEM görüntülerinde; ZnO yapısının tabana homojen bir şekilde kaplandığı, yığılma şeklinde oluşumların bulunmadığı ve yüzeyde boşluklar olmadığı, böylece tanelerin birbirine daha iyi tutunduğu görülmektedir. Ayrıca görüntülerden tane boyutlarının XRD spektrumundan belirlenen değerler ile benzer olduğu anlaşılmaktadır. Alttaş üzerinde ZnO yapısı olduğu A serisine ait EDX sonuçlarında da belirlenmiştir.

B serisine ait FESEM görüntülerine bakıldığında, ZnO yapısının tabana homojen bir şekilde kaplandığı ve katkılanan MgO yapılarının yüzeyde ara ara yer aldığı görülmektedir. Yüzeyde ara ara yer alan yapıların MgO olduğu, yapılan noktasal EDX analizinden anlaşılmıştır. Yüzeyin tamamından alınan B serisine ait EDX analizi sonuçlarında da, ZnO yapısının yanında küçük miktarda MgO katkısı görülmektedir.

C serisine ait FESEM görüntülerinde; Zn ve Mg tanelerinin oksijeni paylaşarak kendi aralarında kümeleşip A ve B serisine göre daha iri taneli bir yapı meydana getirdikleri, ayrıca ZnO ve MgO tanelerinin tabana homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Yüzeydeki MgO yapısının varlığı, üzerinde noktasal olarak yapılan EDX analizinden anlaşılmıştır. Yüzeyin tamamından alınan C serisine ait EDX sonuçlarında da, Mg ve Zn değerleri birbirine yakın olduğu görülmektedir.

D serisine ait FESEM görüntülerine bakıldığında, ZnO yapısının tabana homojen bir şekilde kaplandığı, katkılanan MgO yapılarının da yüzeyde çokça ve çiçek şeklinde yer aldığı görülmektedir. Bu tanelerin MgO yapısına ait olduğu, üzerinde noktasal olarak yapılan EDX analizinden anlaşılmıştır. Yüzeyin tamamından alınan D serisine ait EDX sonuçlarında da, MgO yapısının yüzeydeki fazlalığı görülmektedir.

E serisine ait FESEM görüntülerinde; MgO yapısının tabana homojen bir şekilde kaplandığı, yığılma şeklinde oluşumların bulunmadığı ve yüzeyde boşluklar olmadığı böylece tanelerin birbirine daha iyi tutunduğu görülmektedir. FESEM görüntülerinden ölçülen tane boyutu değerleri XRD spektrumundan belirlenen değerler ile benzerdir. Ayrıca alttaş üzerinde MgO yapısı olduğu E serisine ait EDX sonuçlarında da belirlenmiştir.

Tüm serilerin FESEM görüntüleri incelendiğinde filmlerin tabana homojen bir şekilde kaplandığı görülmektedir. A ve E serilerinin FESEM görüntülerine bakıldığında yığılma şeklinde oluşumların bulunmadığı ve yüzeyde boşluklar olmadığı, böylece tanelerin birbirine daha iyi tutunduğu anlaşılmaktadır. B serisinden itibaren katkılamanın başlaması ile birlikte C ve D serisine doğru tanelerin giderek kümeleştiği ve atomik yığılmaların arttığı görülmektedir. Bu durumun XRD sonuçlarından elde ettiğimiz dislokasyon yoğunluğu değerlerinin katkılamanın artması ile birlikte yükselmesinden kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz. Görüntülerden ölçülen tane boyutu değerleri XRD spektrumundan belirlenen değerler ile benzer çıkmıştır. A serisinden E serisine kadar FESEM görüntülerinde; ZnO filmlere katkılanan MgO, katkı oranına bağlı şekilde artış göstermektedir.

Filmlerin optik özelliklerini belirlemek için, geçirgenlik ve absorpsiyon spektrumları alınmış ve oda sıcaklığında elde edilen temel absorpsiyon spektrumlarından yararlanılarak öncelikle filmlerin direkt bant yapılı mı, indirekt bant yapılı mı olduğu belirlenmiştir. Tüm filmlerde ayrı ayrı $(\alpha h\nu)^{1/n} - h\nu$ grafikleri çizilmiş ve grafiklerde doğrusal bölgelere bakılmıştır. En iyi doğrusallığın $n=1/2$ değeri için elde edildiği görülmüştür. Böylece filmlerin direkt ve izinli bant geçişine sahip olduğu anlaşılmıştır.

Elde edilen filmlerin direkt ve izinli bant geçişine sahip olduğunu belirledikten sonra yasak enerji aralıklarının belirlenebilmesi için her bir filmin ayrı ayrı $(\alpha h\nu)^2$ nin $h\nu$ 'ye göre değişim grafikleri çizilmiştir. Bu grafiklerden yararlanılarak elde edilen filmlerin yasak enerji aralıkları hesaplanmıştır. $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerin yasak enerji aralığının 3,33 eV ile 4,34 eV arasında değiştiği belirlenmiştir. Katkılanan "x" değeri arttıkça yani MgO katkısı arttıkça yasak enerji aralıklarının değerleri artmıştır. Yasak enerji aralığı değerindeki artışın, yapıya katkılanan MgO'nun yasak enerji aralığının ZnO'nun yasak enerji aralığı değerinden büyük olmasından dolayı olduğunu düşünmekteyiz.

Filmlerin optik geçirgenlik spektrumları incelendiğinde, MgO katkısının artması ile birlikte geçirgenlik spektrumlarında düşüş olduğu gözlenmiştir. Bu durumun MgO katkısı arttıkça filmlerin kalınlığının artmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz.

$(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerin özdirenç ölçümleri dört nokta kontak metodunu kullanarak yapılmıştır. ZnO filmlerin elektriksel özdirenç değerlerinin MgO katkısı ile değiştiği, MgO katkısının artması ile filmlerin elektriksel özdirenç değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Bu durumun, A serisinde katkılanmamış ZnO filminin yüzeyinde bulunan metalik Zn atomlarının yerini, diğer serilerde artan oranda MgO katkısı ile birlikte küçük iyonik yarıçapa sahip Mg atomlarının alması ve buna bağlı olarak tane boyutu değerlerinin azalmasının etkili olduğunu düşünmekteyiz. Bununla birlikte tüm serilerin XRD spektrumları incelendiğinde, B serisinden itibaren gözlenmeye başlanan ve katkı miktarı arttıkça çoğalan MgO piklerinden de A serisinde hekzagonal ZnO olan yapının E serisine doğru kübik MgO yapısına kaydığı anlaşılmaktadır. Bu yapıdaki değişim de özdirenç değerinin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca yasak enerji aralığı değerinin katkı konsantrasyonuna bağlı olarak artması da özdirenç değerinin artmasına neden olabilir.

Son olarak, elde edilen filmlerinin iletkenlik tiplerini belirlemek için pratik bir yöntem olan sıcak-uç (hot-probe) metodu kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak, elde edilen $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerin n-tipi iletkenlik özelliği gösterdiği belirlenmiştir.

Yapılan bu incelemeler sonucunda, elde edilen MgO katkılı ZnO filmlerin yapısal, yüzeysel, optiksel ve elektriksel özelliklerinin, katkılama konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ filmlerin yasak enerji aralığının, kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem olan Sol-Gel Döndürerek Kaplama yöntemi kullanılarak, katkı konsantrasyonunu arttırdıkça kolayca arttırılabileceği anlaşılmıştır. Bu özelliği ile günümüzde optoelektronik teknolojisinde sıklıkla kullanılan saydam iletken oksitlerden olan ZnO'nun MgO ile katkılanması, optik filtre uygulamalarında, UV bölgesinde çalışan fotonik cihazlarda ve LED gibi optoelektronik aygıt uygulamalarında ZnO'nun kullanım alanlarını genişletmeye yardımcı olabilecektir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Addonizio, M.L., 2014, Sol-gel synthesis of ZnO transparent conductive films: the role of pH, *Applied Surface Science*, 305, 194–202.
- Adhlakha N., 2012, Structural, optical and magnetic study of $\text{ZnO}_{(1-x)}\text{-MgO}_x$ composites prepared through solid state reaction method, *Physica B*, 407 3427–3433.
- Akyüz, İ., 2005, CdO Filmlerinin bazı fiziksel özellikleri üzerine Al katkılama ve tavlama işlemlerinin etkileri, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Alexander, J.N., 2015, Development and characterization of transparent and conductive InZnO films by magnetron sputtering at room temperature, *Journal of Alloys and Compounds*, 633, 157–164.
- Ambia, M.G., Islam, M.N., Obaidulhakim, M., 1994, The effects of deposition variables on the spray pyrolysis of ZnO thin film, *Journal of Materials Science*, 29, 6575–6580.
- Ashour, M.A., Kaid, N.Z., El-Sayed, Ibrahim, A.A., 2005, Physical properties of ZnO thin films deposited by spray pyrolysis technique, *Applied Surface Science*. 252, 7844–7848.
- Ashraf M., 2012, Characterization of ternary $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ thin films deposited by electron beam evaporation, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 15, 251–257.
- Berger, L.I. , 1997, *Semiconductor materials*, CRC Press, 1st edition.
- Blakemore, J.S., 1985, *Solid state physics*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Bondoux C., 2005, MgO insulating films prepared by sol-gel route for SiC substrate, *Journal of the European Ceramic Society*, 25, 2795–2798.
- Brundle, C.R. Evans, C.A. Wilson, Jr., S., 1992, *Encyclopedia of materials characterization*, Butterworth-Heinemann.
- Callister, W.D., 2007, *Materials science and engineering-an introduction*, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Charles, E., 1984, A fast-response high-temperature high-pressure surface thermocouple, *Sensors and Actuators*, 6, 135–142.
- Cho, J., 2011, The effect of $Mg_{0.1}Zn_{0.9}O$ layer thickness on optical band gap of $ZnO/Mg_{0.1}Zn_{0.9}O$ nano-scale multilayer thin films prepared by pulsed laser deposition method, *Thin Solid Films*, 519, 4282–4285.
- Cullity, B.D., Stock S.R., 2001, *Elements of x-ray diffraction*, Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Çağlar M., 2010, $Mg_xZn_{1-x}O$ ($x=0-1$) films fabricated by sol-gel spin coating, *Materials Research Bulletin*, 45, 284-287.
- Devi, V., Kumar, M., Kumar, R., Joshi, B.C., 2015, Effect of substrate temperature and oxygen partial pressure on structural and optical properties of Mg doped ZnO thin films, *Ceramics International* 41, 6269–6273.
- Fierro, J. L. G., 2006, *Metal oxides: chemistry & applications*. CRC Press. p. 182.
- Fork, D.K., Anderson, G.B., 1993, Epitaxial MgO on GaAs (111) as a buffer layer for z-cut epitaxial lithium niobate, *Appl. Phys. Lett.* 63, 1029.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Fox M., 2001, Optical properties of solids, Oxford University Press, Newyork, 305 s.

Geng W., 2008, Synthesis and photoluminescent properties of mesoporous $(\text{MgO})_x(\text{ZnO})_{1-x}$ materials, Materials Research Bulletin, 43, 601–610.

Gowrishankar S., 2014, Band gap engineering in $\text{Zn}_{(1-x)}\text{Cd}_x\text{O}$ and $\text{Zn}_{(1-x)}\text{Mg}_x\text{O}$ thin films by RF sputtering, Ceramics International, 40, 2135–2142.

Ginley, D.S., 2010, Handbook of transparent conductors, Springer, New York.

Hartnagel, H.L., Dawar, A.L., Jain, A.K., Jagadish, C., 1995. Semiconducting transparent thin films, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia.

Ho, I.C., 1997, Electrical and optical properties of MgO thin film prepared by sol-gel technique, Journal of Sol-Gel Science and Technology, 9, 295-301.

Huang K., 2012, Preparation and characterization of Mg-doped ZnO thin films by sol-gel method, Applied Surface Science, 258, 3710– 3713.

Ivanova, T., Harizanova, A., Koutzarova, T., Vertruyen, B., 2010, Study of ZnO sol-gel films: Effect of annealing, Materials Letters, 64, 1147–1149.

Joshi, R. P., Sridhara, V., Jogai, B., Shah, P., Del Rosario, R. D., 2003, "Analysis of dislocation scattering on electron mobility in GaN high electron mobility transistors." Journal of Applied Physics 93, (12): 10046-10052.

Kang, D.W., 2015, Highly transparent $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}/\text{ITO}$ multilayer for window of thin film solar cells, Current Applied Physics, doi: 10.1016/j.cap.2015.05.017.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Kaushal A., 2009, Effect of Mg content on structural, electrical and optical properties of $Zn_{1-x}Mg_xO$ nanocomposite thin films, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 93, 193–198.
- Kim, G.H., 2010, Investigation of the effects of Mg incorporation into InZnO for high-performance and high-stability solution-processed thin film transistors, *Appl.Phys.Lett.*, 96(16), 163506.
- Kittel, C., 1996, *Katıhal fiziğine giriş*, (Çev. B. Karaoğlu), Bilgi Tek Yayınları, İstanbul, 434 s.
- Köse, S., 2008, Ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği ile üretilen $SnO_2:Li$ filmlerinin yapısal ve yüzeysel özelliklerinin incelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12-2, 85-90.
- Kul, M., 1996, $Cd(In_2S_3)_S$ yarıiletken filmlerinin bazı fiziksel özellikleri, Doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 125 s.
- Lee M., 2014, Structure and characterization of Sn, Al co-doped zinc oxide thin films prepared by sol–gel dip-coating process, *Thin Solid Films*, Volume 570, Part B, 516-526.
- Lien S., 2014, Sol–gel derived amorphous/nanocrystalline MgZnO thin films annealed by atmospheric pressure plasma jets, *Ceramics International*, 40, 2707–2715.
- Major, S., 1983, Banerjee, A., Chopra, K.L., Highly transparent and conducting indium-doped zinc oxide films by spray pyrolysis, *Thin Solid Films*, 108, 333-340.
- Manoj, P.K., 2006, Growth and characterization of indium oxide thin films prepared by spray pyrolysis., *Optical Materials*, 28, 1405-1411.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Minemoto T., 2000, Preparation of $Zn_{1-x}Mg_xO$ films by radio frequency magnetron sputtering, *Thin Solid Films*, 372, 173-176.
- Nair, J.P., 1998, In situ Sb-doped CdTe films., *Semiconductor Science and Technology*, 13, 0268-1242.
- Neamen D. A., 2003, *Semiconductor physics and devices*, Mc. Graw Hill Company.
- Omar, M.A., 1975, *Elementary solid state physics*, Addison-Wesley Publishing, California, ABD.
- Özkan, M., 2010, Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği ile II-VI Grubu Bazı Yarıiletken Bileşiklerin İnce Filmlerinin Üretilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Pan Z., 2013, Highly transparent and conductive Sn/F and Al co-doped ZnO thin films prepared by sol-gel method, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 583, 32-38.
- Peker, D., 1999, $CuAl_xIn_{1-x}S_2$ yarıiletken filmlerinin bazı fiziksel özellikleri, Doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Peker, D., Temel, S., Nebi, M., 2015, Mg-doped ZnO films by sol-gel spin coating method, *International Journal of Scientific and Technological Research* 1 (1), 263-269.
- Qian Li, 2013, Microstructure, optical and electrical properties of gallium-doped ZnO films prepared by sol-gel method, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 572, 175-179.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Raj A., 2010, Fabrication techniques and material properties of dielectric MgO thin films—A status review, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2, 92–113.
- Sanchez-Juarez, A., Tiburcio-Silver, A., Ortiz, A., Zironi, E.P., Rickards, J., 1998, Electrical and optical properties of flourine-doped ZnO thin films prepared by spray pyrolysis, *Thin Solid Films*, 333, 196-202.
- Sahu, N., 2009, Fundametal understanding and modeling of spin coating process: A review., *Indian J. Phy.*, 83, 0974-9845.
- Salam S., 2013, Sol–gel synthesis of intrinsic and aluminum-doped zinc oxide thin films as transparent conducting oxides for thin film solar cells, *thin Solid Films*, 529, 242-247.
- Schroder D.K., 1990, *Semiconductor Material and Device Characterization* Wiley, New York.
- Seeger K., 1982, *Semiconductor Physics An Introduction*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Sengupta, J., Ahmed, A., Labar, R., 2013, Structural and optical properties of post annealed Mg doped ZnO thin films deposited by the sol–gel method, *Materials Letters* 109, 265–268.
- Shan, F.K., 2006, Stokes shift, blue shift and red shift of ZnO-based thin films deposited by pulsed-laser deposition, *Journal of Crystal Growth* 291, 328–333.
- Shi Q., 2012, Red luminescent and structural properties of Mg-doped ZnO phosphors prepared by sol-gel method, *Materials Science and Engineering B*, 177, 689-693.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Shim, Y.S., 2011, Transparent conducting oxide electrodes for novel metal oxide gas sensors, *Sensors and Actuators B*, 160, 357–363.

Shimizu, M., 2014, High-temperature solar selective absorbers using transparent conductive oxide coated metal, *Energy Procedia*, 57, 418 – 426.

Shin S., 2013, Wide band gap characteristic of quaternary and flexible Mg and Ga co-doped ZnO transparent conductive thin films, *Journal of Asian Ceramic Societies*, 1, 262–266.

Shin S., 2014, Development of flexible Mg and Ga co-doped ZnO thin films with wide band gap energy and transparent conductive characteristics, *Journal of Alloys and Compounds*, 585, 608–613.

Silver, A.T., Joubert, J.C., Labeau, M., 1994, Optical band-gap shrinkage in highly transparent and conducting ZnO thin films deposited by the pyrosol process, *Journal of Applied Physics*, 76, 1992-1994.

Singh J, 1994, *Semiconductor devices an introduction* Mcgraw- Hill Inc. p87, 88.

Smith, D.L., 1995, *Thin-film deposition: principles and practice*, McGraw-Hill Professional, 616 s.

Steiner, T., 2004, *Nanostructures for optoelectronic applications*, Artech House Inc., London.

Tauc J., 1974, *Amorphous and liquid semiconductors*, Plenum.

Taylor, J.R., Zafaritos, C.D., 1996, *Fizik ve mühendislikte modern fizik*, (Çev. B. Karaoğlu), Arte Güven yayıncılık, 434s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Tsai, Y.S., Chen, J.Z., 2012, Positive gate-bias temperature stability of RF- sputtered $Mg_xZn_{1-x}O$ active-layer thin-film transistors, *IEEE Trans. Electron Devices*, 59(1), 151–158.
- Tsang, K.L., Chen, Y., 1983, Suppression of dielectric breakdown in MgO crystals at high temperatures by impurity doping, *J. Appl. Phys.* 54, 4531.
- Tsay, C., Fan, K., Chen, S., Tsai, C., 2010, Preparation and characterization of ZnO transparent semiconductor thin films by sol–gel method, *Journal of Alloys and Compounds*, 495, 126–130.
- Tyagi M.S., 1991, *Introduction to the semiconductor materials and devices*, John Willey and Sons.
- Uhlmann, D.R., Suratwala, T., Davidson, K., Boulton, J.M., Teowee, G., 1997, Sol-gel derived coatings on glass, *Journal of Non- Crystalline Solids*, 218, 113-122.
- Vadbaek, 1966. Geometric factors in four point resistivity measurement, Haldor topsoe, Semiconductor division.
- Vettumperumal, R., Kalyanaraman, S., Thangavel, R., 2014, A comparative study of structural, surface morphology and optical properties of Na and Mg codoped ZnO nanocrystalline thin films prepared using sol–gel spin coating technique, *Journal of Molecular Structure*, 1059, 61–67.
- Wang M., 2008, Optical and structural properties of sol-gel prepared MgZnO alloy thin films, *Thin Solid Films*, 516, 1124–1129.
- Wu, C.C., 2011, Characterization of $Mg_xZn_{1-x}O$ thin films grown on sapphire substrates by metalorganic chemical vapor deposition, *Thin Solid Films*, 519, 1966–1970.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Yuonesi, M., Pakdel, A., 2010, Effect of low concentration of nickel on structural and optical properties of ZnO nanofilms, *Physica B*, 405, 2083–2087.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Eskişehir’ de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Eskişehir’de tamamladı. Ortaokul ve liseyi 1996-2003 yılları arasında Eskişehir Kılıçoğlu Anadolu Lisesi’nde okudu. 2003’de başladığı Lisans eğitimini 2007 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fizik Bölümü’nde tamamladıktan sonra Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fizik Anabilimdalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2010 yılında Yüksek Lisans öğrenimini tamamladıktan sonra Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fizik Anabilimdalı’nda Doktora öğrenimine başladı. 2011 yılından itibaren Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı’nda Akademik Uzman olarak çalışmasına devam etmektedir. 6 adedi SCI kapsamında olmak üzere toplam 9 adet uluslararası bilimsel yayını, 18 adet uluslararası ve 5 adet ulusal olmak üzere kongrelerde sunulmuş toplam 23 adet bildirisi, 1 adet uluslararası fizik projeleri yarışmasında üçüncülük derecesi ve 3 adet tamamlanmış (2 adet TÜBİTAK, 1 adet BAP) proje görevi bulunmaktadır.