T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Co/KONJUGE NN LİGANTLI Co-ZNO FİLMLERİN YAPISAL, ELEKTRİKSEL İLETKENLİK VE RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Elif BAYAT BUZOK

FİZİK ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
1. GİRİŞ 1
1.1. Metal Oksit Bileşikleri ve Özellikleri 3
1.1.1. Çinko oksit bileşiğinin özelliği 4
1.1.2. Çinko oksit bileşiğinin kullanım alanları 6
1.2. Yarı İletkenler 6
1.2.1. Yarı iletkenlerin genel özellikleri 7
1.2.2. N-tipi yarı iletken 9
1.2.3. P-Tipi yarı iletken 11
1.2.4. Yarı iletkenlerin elektriksel özellikleri 12
1.2.5. Yarı iletkenlerin optik özellikleri 13
1.3. İnce Film Teknolojisi 14
1.3.1. İnce film üretim teknikleri 15
1.3.1.1. Sol-Jel kaplama tekniği 16
1.3.1.2. Döndürerek kaplama (spin coating) 17
1.3.1.3. Daldırarak kaplama (dip coating) 18
1.3.1.4. Püskürterek kaplama (spray pyrosis) 19
1.4. Konjuge NN Ligantlı Kompleks Bileşikler ve Özellikleri 20
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 21
3. MATERYAL ve YÖNTEM 25
3.1. Deneylerde Kullanılan Kimyasal Malzemeler 25
3.2. Kobalt Katkılı ZnO İnce Filmlerin Üretilmesi 26
3.2.1. Konjuge NN ligantlı kobalt kompleklerinin sentezi 26
3.2.2. ZnO-Co ince filmlerin hazırlanması 27
3.3. Kobalt Katkılı ZnO İnce Filmlerin Yapısal Karakterizasyonu 32
3.3.1. XRD 32
3.3.2. SEM 32
3.3.3. UV-Vis 33
3.3.4. Elektriksel iletkenlik 34
3.4. Radyasyon Zırhlama parametreleri 35
3.4.1. Kütle ve lineer ve soğurma katsayıları (MAC, LAC) 36
3.4.2. Yarı değer kalınlığı (HVL) 37
3.4.3. Ortalama serbest yol (MFP) 37
3.4.4. Etkin atom numarası (Zet) 37
3.4.5. Maruz kalma buildup faktörü (EBF) 37
3.4.6. Hızlı nötronlar için etkin soğurma tesir kesiti 38
3.4.7. Kütle durdurma gücü (MSP) ve menzil (PR) 38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 39
4.1. XRD 39
4.2. SEM Görüntüleri ve EDX Analizi 41
4.3. Filmlerin FT-IR ile Yapısal Analizi 45
4.4. Filmlerin UV-Vis Analizi 48
4.5. Filmlerin Elektriksel İletkenlikleri 54
4.6. Radyasyon Zırhlama Parametreleri Sonuçları 55
4.6.1. Kütle ve lineer soğurma katsayıları (MAC, LAC) 57
4.6.2. Otalama serbest yol (MFP) ve yarım değer kalınlığı (HVL) 62
4.6.3. Etkin atom numarası (Zet) 62

4.6.4. Maruz kalma buildup faktörü (EBF) 63
4.6.5. Hızlı nötronlar için etkin soğurma tesir kesiti 69
4.6.6. Kütle durdurma gücü ve menzil 69
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 71
5.1. Sonuçlar 71
5.2. Öneriler 74
KAYNAKLAR 76

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Co/KONJUGE NN LİGANTLI Co-ZNO FİLMLERİN YAPISAL, ELEKTRİKSEL İLETKENLİK VE RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Elif BAYAT BUZOK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şerife YALÇIN
Yıl: 2023 Sayfa: 79

Bu tez çalışmasında katkısız, kobalt (CoO), $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve $C_{16}H_{11}N_3Cl_2Co$ katkılı (0, 0.02, 0.04 ve 0.06) çinko oksit (ZnO) ince filmler Sol-Jel spin kaplama tekniği ile üretilmiştir. Üretilen ince filmler 500 °C' de 1 saat tavlanmıştır. Üretilen filmlerin yapısal ve optik özellikleri SEM, XRD, UV-Vis ve FT-IR spektroskopisi kullanılarak belirlendi. Ayrıca, kobalt ve konjuge cobalt katkılı filmlerin ZnO'in elektriksel iletkenlikleri ve radyasyon zırhlama özellikleri araştırılmıştır. İnce filmlerin radyasyon zırhlama parametreleri (MAC, LAC, MFP, HVL ve Zet) 186,1-1764,5 keV enerji aralığında ULEGe dedektörlü gama spektrometresinde belirlenmiştir. XRD sonuçları üretilen tüm ZnO filmlerin altıgen wurtzite kristal yapıya sahip olduğunu ve kobalt ve konjuge Co katkısına bağlı ikincil bir kristal fazın bulunmadığını ortaya çıkarmıştır. Artan Co oranına bağlı olarak (110) kristal düzleminde bir artış gözlemlenmiştir. Üretilen tüm filmlerin yüzey görüntüleri kararlı yapıların oluştuğu tespit edilmiştir. UV-Vis incelemeleri filmlerin bant boşluklarının 2.79 ile 3.13 eV arasında değiştiğini ve kırılma indisinin 2.39 eV civarında olduğunu göstermiştir. ZnO ince filmin elektriksel iletkenliği 1.5 10-7 (S/cm) olarak elde edilmiştir. Kobalt katkı miktarı %0'dan %6 arttıkça iletkenlik 1,5 ± 10-7'den 2,26 ± 10-10'a (S/cm) a düşmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Konjuge NN ligant, İnce Film, Sol-Jel, Kobalt, Çinko Oksit, Radyasyon zırhlama

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL, ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF Co-CONJUGE NN LIGANTED Co-ZnO FILMS

Elif BAYAT BUZOK

Harran University
Graduate School of Natural And Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Şerife YALÇIN
Year: 2023 Page: 79

In this thesis study, cobalt (CoO), $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ and $C_{16}H_{11}N_3Cl_2Co$ doped (0, 0.02, 0.04 and 0.06) zinc oxide (ZnO) thin films were produced by Sol-Gel spin coating technique. The thin films produced were annealed at 500 °C for 1 hour. The structural and optical properties of the produced films were determined using SEM, XRD, UV-Vis and FT-IR spectroscopy. In addition, the electrical conductivity and radiation shielding properties of cobalt and conjugated cobalt-doped films of ZNO have been investigated. The radiation shielding parameters of the thin films (MAC, LAC, MFP, HVL and Zet) were determined by gamma spectrometry with ULEGe detector in the energy December of 186.1-1764.5 keV. The XRD results revealed that all ZnO films produced have a hexagonal wurtzite crystal structure and there is no secondary crystal phase due to cobalt and conjugated Co contribution. An increase in the crystal plane has been observed due to the increased Co ratio (110). It has been determined that stable structures are formed on the surface images of all films produced. UV-Vis Decrees have shown that the band gaps of the films range between 2.79 and 3.13 eV and the refractive index is around 2.39 eV. The electrical conductivity of the ZnO thin film was obtained as 1.5 10-7 (S/cm). As the amount of cobalt additive increased from 0% to 6%, the conductivity decreased from 1.5 ± 10-7 to 2.26 ± 10-10 (S/cm).

KEY WORDS: Conjugated NN ligand, Thin Film, Sol-Gel, Cobalt, Zinc Oxide, Radiation shielding

TEŞEKKÜR

Çalışma sürecinde desteğini ve ilgisini esirgemeyen sınırsız sabır ve anlayış gösteren değerli danışman hocam Prof. Dr. Şerife YALÇIN' a sonsuz teşekkürlerimi ifade ederek başlamak istiyorum. Yüksek Lisans eğitimim sürecinde ders aldığım tüm değerli hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvarını bize tahsis eden ve tez çalışmalarımda değerli katkılarını esirgemeyen kıymetli hocam Prof. Dr. Bülent AKTAŞ' a, Konjuge bileşiklerin sentezlenmesindeki katkıları için Dr. Öğr. Üyesi Emine AYTAR'a, radyasyon kalkanlama özelliklerinin araştırılması Prof. Dr. Demet Yılmaz'a, UV-Vis, FT-IR XRD analizi için HÜBTAM' a, Laboratuvar ve tez çalışmalarımda bana destek olan değerli hocam Arş. Gör. Gökhan DEMİRCAN' a, maddi ve manevi desteklerinden dolayı değerli aileme ve kızım Beyza BUZOK' a teşekkürlerimi sunuyorum.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Wurtzite ZnO kristal yapısının şematik gösterimi 5
Şekil 1.2. ZnO'nun kristal yapısı (a) Hexagonal wurtzite, (b) Kübik çinko-blend (c) NaCl 5
Şekil 1.3. Yarı iletken bileşiklerin periyodik cetveldeki gösterimi 7
Şekil 1.4. 0 K derecede katılarda çeşitli olası elektron bant yapıları a) Bakır gibi metallerde bulunan elektron bant yapısı, b) Magnezyum gibi metallerin elektron yapısı, dolu ve dış bantlar üst üste, c) Yalıtkanların elektron bant yapısı, dolu ve boş bantlar birbirlerinde ayrıdır, d) Yarı iletkenlerde bulunan yapı 8
Şekil 1.5. a) Elektron uyarımından önce, b) Elektron uyarımından sonra 8
Şekil 1.6. a) elektron uyarılmasından önce b) elektron uyarılmasından sonra elektron durumlar 9
Şekil 1.7. Katkılı n tipi yarı iletken modeli (elektronik bağ) 9
Şekil 1.8. a) Bant boşluğu içinde ve iletim bandının hemen altında bulunan bir donör katkı seviyesi için elektron enerji bandı şeması. b) İletim bandında serbest bir elektronun üretildiği bir donör durumdan uyarılma 10
Şekil 1.9. N-tipi yarıiletkenlerdeki enerji band seviyeleri. N-tipi yarıiletkenin oluşum şeması 10
Şekil 1.10. P tipi katkılı yarı iletken modeli (elektron bağı). (a) Üç değerli elektrona sahip olan bor gibi bir katkı atomu, bir silisyum atomunun yerini alabilir. Bu, bir değerlik elektronunun eksikliği veya katkı atomuyla ilişkili bir deşik ile sonuçlanır. (b) Bir elektrik alana cevaben bu deliğin hareketi 11
Şekil 1.11. p tipi yarı iletken bant şeması 11
Şekil 1.12. P-tipi yarıiletkenlerdeki enerji band seviyeleri. P-tipi yarıiletkenin oluşum şeması 12
Şekil 1.13. a. Fotonun enerjisi, hv, yarıiletkenin enerjisinden büyük olmak koşulu ile tek bir fotonun bir elektronu valans bandına uyarması b. Bir boşluk ile bir elektron birleşerek enerjisi hv olan bir foton üretmesi 14
Şekil 1.14. İnce film üretim teknikleri 16
Şekil 1.15. Sol-jel üretim süreci 17
Şekil 1.16. Döndürerek kaplama yöntemi 18
Şekil 1.17. Daldırarak kaplama yönteminin aşamaları 19
Şekil 1.18. Spray pyrolysis yöntemi cihazı ve bölümleri 19
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan kobalt kompleksleri 27
Şekil 3.2. Sollerin hazırlanması ve spin kaplama cihazı 29
Şekil 3.3. İnce filmlerin tavlama ve soğutulması 30
Şekil 3.4. Yukarıdan aşağıya doğru %2,4,6 oranında üretilen filmlerin görünüşü a) Saf ZnO ince film b)Ticari Co katkılı ZnO ince film c) EAS-4-Co katkılı ZnO ince film d) EAS-6-Co katkılı ZnO ince film 31
Şekil 3.5. Fırınlama işleminden sonra ince filmler 31
Şekil 3.6. XRD Cihaz resmi 32
Şekil 3.7. SEM cihaz resmi 33
Şekil 3.8. UV-Vis spektrofotometre 33
Şekil 3.9. FTIR spektrometre 34
Şekil 3.10. Elektriksel iletkenlik ölçüm sistemi 34
Şekil 3.11. Gama ışını soğurma deney sistemi. 35
Şekil 3.12. Radyum ile bombardıman edilen Z0 ve B6 numunesinin tipik gama ışını soğurma spektrumu 36
Şekil 4.1. Co: ZnO filmlerin (Z0,Tve S) XRD kırınım desenleri 40
Şekil 4.2. Co: ZnO filmlerin XRD(Z0,Tve B) kırınım desenleri 40
Şekil 4.3. Kaplamaların SEM görüntüleri 42
Şekil 4.4. T kaplamalarının elemental haritası 44
Şekil 4.5. S kaplamalarının elemental haritası 44
Şekil 4.6. B kaplamalarının elemental haritası 45
Şekil 4.7. Co: ZnO ince filmlerin (Z0,T ve S) FT-IR spektrumları 46
Şekil 4.8. Co: ZnO ince filmlerin (Z0,T ve B) FT-IR spektrumları 47
Şekil 4.9. ZnO, Co: ZnO ince filmlerin (Z0,T ve S) UV-Vis absorpsiyon spektrumları 49

Şekil 4.10. ZnO, Co: ZnO ince filmlerin (Z0,T ve B) UV-Vis absorpsiyon spektrumları..... 50
Şekil 4.11. Hazırlanan ince filmlerin (Z0, T ve S) optik bant aralığı 52
Şekil 4.12. Hazırlanan ince filmlerin (Z0,T ve B) optik bant aralığı..... 53
Şekil 4.13. Katkısız ve Co katkılı ZnO ince filmlerin elektriksel iletkenlikleri..... 55
Şekil 4.14. Üretilen ince filmlerin MAC (cm^2/g) değerlerinin foton enerjisi ile değişimi..... 58
Şekil 4.15. Üretilen ince filmlerin LAC (1/cm) değerlerinin foton enerjisi ile değişimi 59
Şekil 4.16. Üretilen ince filmlerin MFP ve HVL (cm) değerlerinin foton enerjisi ile değişimi..... 62
Şekil 4.17. Üretilen ince filmlerin Zet değerlerinin foton enerjisi ile değişimi..... 63
Şekil 4.18. Z0 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi 65
Şekil 4.19. T2 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi 66
Şekil 4.19. T4 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi 66
Şekil 4.21. T6 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi 67
Şekil 4.22. B2 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi 67
Şekil 4.23. B4 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi 68
Şekil 4.24. B6 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi 68
Şekil 4.25. Üretilen ince filmlerin hızlı nötronlar için etkin soğurma tesir kesiti değerleri..... 69
Şekil 4.26. Üretilen ince filmlerin protonlar için kütle durdurma gücü ve menzilin kinetik enerji le değişimi..... 70
Şekil 4.27. Üretilen ince filmlerin alfa parçacıkları için kütle durdurma gücü ve menzilin le değişimi 70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Çinko oksitin özellikleri 4
Çizelge 3.1. Kullanılan kimyasallar listesi 25
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan cihazlar 26
Çizelge 3.3. Film konsantrasyonları 28
Çizelge 4.1. Co: ZnO filmlerin birim hücre parametreleri, tane büyüklük değerleri ve hazırlanan filmlerin kalınlık değerleri 41
Çizelge 4.2. Kaplamaların EDX analiz sonuçları 43
Çizelge 4.3. Co: ZnO ince filmlerin bant aralığı ve kırılma indisi değerleri 54
Çizelge 4.4. Kobalt katkılı ZnO ince filmlerin elektriksel iletkenlikleri 55
Çizelge 4.5. Üretilen ince filmlerin özellikleri 57
Çizelge 4.6. İnce film numunelerindeki herbir elementin kesri (%) 57
Çizelge 4.7. İnce film numunlerin 186,1- 1764,5 keV foton enerji bölgesindeki MAC (cm^2/g) değerleri 61

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ρ	: Yoğunluk (g/cm^3)
γ:	: Gama ışını
Co	: Kobalt
Eg	: Enerji boşluğu veya enerji aralığı
keV	: kilo elektron volt
LED	: Işık Yayan Diyot
MeV	: Mega elektron volt
rmp:	Dakikalardaki devir sayısı (dev/dak)
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
UV	: Ultraviyole bölgesinde elektromanyetik dalgası
VB	: Değerlik bandı
Vis	: Görünür bölgesinde elektromanyetik dalgası
XRD	:X- ışını kırınımı
ZnO	: Çinko oksit
λ	: Dalgaboyu

1. GİRİŞ

Enerjinin kaynağından uzaklaşarak dalga ve parçacıklar halinde yayılmasına radyasyon denir. Günümüzde radyasyon kaynakları nükleer enerji üretim merkezlerinde, araştırma merkezlerinde ve hastanelerde tanı ve tedavi amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Tüm canlılar doğal ve yapay radyasyondan etkilenir. Bu merkezlerde çalışanlar radyasyondan korunma kurallarına (mesafe, süre ve koruma) uymak zorundadır. Kütle soğurma katsayısı, kantitatif analizde büyük önem taşıyan ve soğurma miktarının soğurucuların doğasına bağlılığını gösteren Beer-Lambert yasası kullanılarak, birim alan başına birim kütle başına enerji soğurma fraksiyonu olarak tanımlanabilir. Diğer radyasyon koruma parametreleri, kütle absorpsiyon katsayısından elde edilebilir (Aktaş ve ark., 2019; Yılmaz ve ark., 2019).

İnce film kaplamalar nanobilimin gelişmesiyle, malzeme boyutunun küçülmesiyle her geçen gün daha fazla ilgi görmekte ve ihtiyaç haline gelmektedir. Bunun üzerine farklı metal katkılar ile üretilen ince filmler teknolojinin vazgeçilmezi bilimin ilgi odağı haline gelmiştir.

İnce filmler günümüzde sol-jel, kimyasal buhar biriktirme, döndürmeli kaplama, daldırarak kaplama, sprey piroliz, e-ışınlı buharlaştırma ve magnetron püskürtme gibi çeşitli yöntemler ile üretilmektedir (Demircan ve ark., 2022) ve optiksel özelliklerinden dolayı, yansıtıcı, yansıtıcı olmayan yüzeylerde, ışık fitrelerinde dekorasyonda, kompakt disklerde, güneş pili uygulamalarında, elektriksel özelliklerinden dolayı, iletken ve yalıtkan, yarı iletkenler ve dielektrik malzemelerde, manyetik özelliğinden dolayı, hafıza disklerinde, kimyasal özelliğinden dolayı, oksidasyon veya korozyona karşı korumada, alaşımlarda, sensörlerde, boya, plastik, kauçuk, kozmetik ve yazıcı mürekkebinde, ilaç üretiminde, antiseptik malzemelerde, mekanik özelliğinden dolayı lastik sanayide, çatı kaplama malzemelerinde kullanılmaktadır (Yılmaz, 2018).

Saydam iletken oksitler görünür bölgede yüksek optik geçirgenliğine sahip ve iyi elektrik iletkenliğinden dolayı son yıllarda yoğun çalışılmakta ve oldukça ilgi çekmektedir. Şeffaf iletim oksitlere sınıfında yer alan çinko oksit (ZnO) ince film uygulamalarında yüksek iletkenliği ve optik geçirgenliğinden dolayı tercih edilmektedir. ZnO periyodik Çizelgede II – IV grubuna ait, oda sıcaklığında bant aralığı 3,37 eV ve 60 meV'lik yüksek bağlanma enerjisine sahiptir (Alıvı, 2021).

Görünür bölgedeki optik geçirgenliği %80-90' dır. Ayrıca, ZnO oda sıcaklığında manyetik özellik göstermesinden dolayı ilgi duyulan ve araştırılan filmlerdendir. N tipi iletkendir, toksit değildir ve doğada bol miktarda bulunur. ZnO bileşiği Co ile katkılanmasının bileşiğe üstün fiziksel ve kimyasal özellik kazandırmasından dolayı en çok araştırılan filmler arasındadır.

Gaz sensörü, kimyasal sensör, biyosensör, optik ve elektrikli cihazlar, ekranlar, piezoelektrik güneş pili, lazer cihazlar ve ilaç dağılımı gibi çeşitli ürünlerde bulunan çok yönlü bir malzemedir (Khontoul ve ark., 2018).

Düşük sıcaklıklarda iletken özellik göstermesi, görünür bölgede şeffaf özelliğinden dolayı farklı alanlarda ZnO ince filmleri ilgi odağı yapar. Bunlardan bazıları ise esnek cihazlar, nano malzemeler, biyosensörler, LED'ler, LCD'ler, dokunmatik panellerdir (Bayram ve ark., 2021).

Periyodik cetvelde IIA ve IIIA grupları arasında kalan B grubu elementlerine, geçiş elementleri (Geçiş metalleri) denir. ZnO filmlerin katkılanmasında Mn, Co, Ni ve Fe gibi geçiş elementleri katkı elementi olarak kullanılmaktadır. Katkılanan iletkenin şeffaf özellik sergilemesi ve düşük dirençli olması güneş pili uygulamalarında kullanılmasını sağlar (Guermat ve ark., 2020). Katkı maddeleri arasında Co, kobalt (Co) (rCo^{2+} = 0,058 nm) ve ZnO (rZn^{2+} = 0,060 nm) benzer iyonik yarıçapları nedeniyle önemli bir rol oynar ve Co: ZnO filmleri, bağlı olarak spintronik ve optoelektroniklerin belirli bileşenlerinin entegrasyonuna izin verir (Sharma ve ark., 2017). Ayrıca, Co: ZnO ince filmleri yüksek elektron hareketliliği, iyi optik şeffaflık,

taşıyıcı aracılı ferromanyetizma ve yüksek elektriksel iletkenlik sergiler (Rani ve ark., 2021).

Çinko oksit (ZnO), ayrıca dozimetri, endüstriyel ve biyomedikal uygulamalar için kullanılan malzemelerden biridir. ZnO'nun seçilmiş bazı elementlerle doplanması, optik, lüminesans ve ekranlama özelliklerini iyileştirmek ve kontrol etmek için önemli bir uygulamadır. Literatürde saf ve boron (Eskalen ve ark. 2020; Ngom ve ark., 2011), W ve dual metal benzeri (Al ve Cr) (Manikandan ve ark., 2014), Ag (Thabit ve ark., 2022), Kurşun Asetat, Kurşun Nitrat ve Bizmut Nitrat'ın yapısal, optik, elektronik ve radyasyon koruyucu özellikleri (Al-Balushi ve ark., 2022) katkılı ZnO ince filmleri incelenmiştir.

Bu çalışmadaki amacımız, ince film üretim tekniklerinden Sol-Jel spin kaplama tekniği ile katkısız kobalt ve konjuge NN ligantlı kobalt katkılı (%2, 4, 6) ZnO filimlerini düşük maliyetle üretmektir. ZnO ve konjuge NN ligantlı kobalt filmlerin uygun parametrelerini belirlemek ve elde edilen filmlerin yapısal, optiksel ve yüzey özelliklerini inceleyerek, ZnO filmlerin fiziksel özellikleri üzerinde konjuge NN ligandın katkısını araştırmaktır. Bu çalışmamızda hedefimiz ZnO filmlerin geniş bant aralığını konjuge NN ligantlı kobalt ile katkılayarak düşürmek ve bu şekilde katkılı ZnO filmlerinin gün ışığında fotoaktif hale gelmesini sağlamaktır. Ayrıca, bu çalışma, Ko-katkılı ZnO bazlı ince filmlerin gama ışını koruma özelliklerine ilişkin bir araştırmayı amaçlamaktadır.

1.1. Metal Oksit Bileşikleri ve Özellikleri

Bazı metallerin oksijen ile birleşerek oluşturdukları bileşiklere metal oksit denir. Nano yapılı malzemelerden olan CdO, CuO, Sn_2O ve ZnO gibi şeffaf iletken oksitler bulunmaktadır. Bunlardan en önemli olanı, geniş bant aralığı, yüksek bağlanma enerjisi ve termal özelliğinden dolayı en çok ilgi çeken çinko oksittir. Katkısız çinko oksit ideal bir kırılma indisine sahiptir. Doğada bol bulunması ve toksit olmaması gibi özelliklerinden dolayı ilgi odağındadır (Saha ve ark., 2015).

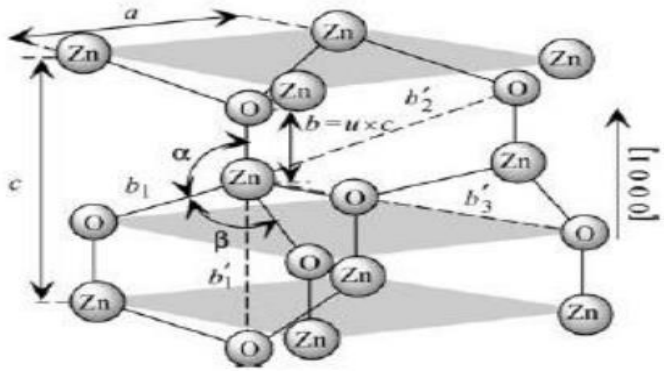
1.1.1. Çinko oksit bileşiğinin özelliği

Çinko oksit çiçek beyazı olarak adlandırılan beyaz toz veya kristal şeklinde olup, kokusuz ve tatsızdır. Asit ve alkalide çözünen fakat su ve alkolde çözünmeyen bir metal oksit bileşiğidir (Alıvı, 2021).

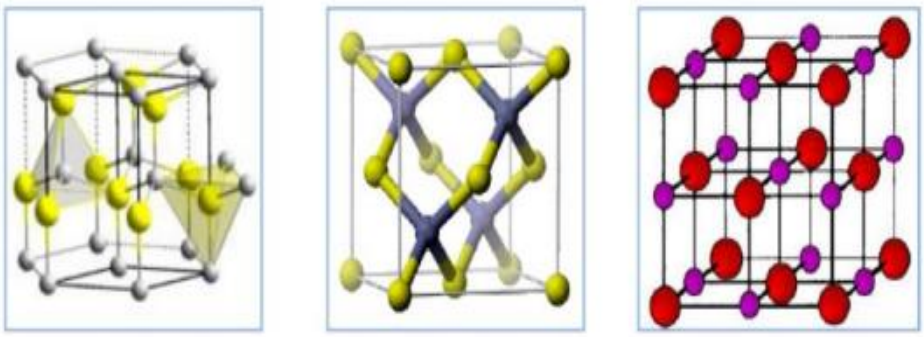
Çizelge 1.1. Çinko oksitin özellikleri

Özellik	Değer
Örgü yapısı	Hegzagonal Wurtzite
Örgü parametreleri a c u (c/a)	 0.32495 nm 0.52069 nm 1,602 (ideal hcp yapıda 1.633)
Yoğunluk	5.606 g/cm^3
Erime noktası	1975 °C
Statik dielektrık sabiti	8.656
Yasak enerji band aralığı	3,436 eV (0 K°), 3,20 eV (300 K°)
Molekül ağırlığı	Zu=65,38 gr , 0=16 gr , ZnO=81,38 gr
Eksiton bağlanma enerjisi	60 meV
Taşıyıcı konsantrasyonu Katkısız n-tipi p-tipi	 <10^{6}cm^3 maksimum>10^{20} cm^{-3} elektron maksimum<10^{20} cm^{-3} boşluk
e$^-$hall mobilitesi n-Tipi yarıiletkenlerde p-tipi yarıiletkenlerde	 200 cm^2/Vs 5-50 cm^2/Vs
Isıl iletkenlik	25,2 W m^{-1} K^{-1}
Optik geçirgenlik	Yaklaşık %80-%90 optik geçirgenlik
Elektriksel direnç	Yaklaşık 10^{-3}-10^{-5}Ωcm

Çinko oksit doğada hexagonal wurtzite, kübik çinko-blend, NaCl olmak üzere üç farklı kristal yapı biçiminde bulunmaktadır (Şekil 1.1. ve Şekil 1.2.).



Şekil 1.1. Wurtzite ZnO kristal yapısının şematik gösterimi (Bulduk, 2018)



Şekil 1.2. ZnO'nun kristal yapısı (a) Hexagonal wurtzite, (b) Kübik çinko-blend (c) NaCl (Yılmaz, 2018)

Çinko oksitin (ZnO) hekzagonal birim hücre örgü sabitleri a=3,25 A° ve c=5,21A° dır. Çinko oksit yumuşak bir malzemedir yaklaşık 4,5 sertliktedir ve yüksek ısı kapasitesi, düşük ısısal genleşme ve yüksek erime sıcaklığına sahip olduğu için seramikte fazla kullanılır. Ayrıca, Çinko oksit oda sıcaklığındaki yasak enerji aralığı 3,3 eV iken farklı metaller ile alaşım yapılarak istenilen bant aralığına çekilebilir ve yapılan katkılama ile iletkenliği artırılır. Çinko oksit iyi bir şeffaf yarı iletken malzemedir ve keskin UV soğurma bölgesine sahiptir. Üretilen katkılı ZnO filmlerin geçirgenliği %85 civarındadır (Yılmaz, 2018). Bu özelliklerinden dolayı sıvı kristal ekranlarda, ince film transistörlerde, ışık yayan diyotlarda kullanılmaktadır (Yurdugüzel, 2011).

1.1.2. Çinko oksit bileşiğinin kullanım alanları

Çinko oksit nano yapılarının mekanik, elektriksel, optik ve manyetik özelliklerini katkılama yaparak değiştirmek kolay olduğu için pek çok alanda kullanılmaktadır.

Yüksek ısı kapasitesi, termal iletkenlik ve yüksek erime sıcaklığı gibi özelliklerinden dolayı seramik ve beton sanayide, ısıya dayanıklılığı ve mekanik özelliğinden dolayı fiber optik kablolarda, anti bakteriyel özelliğinden dolayı kozmetik ve sağlık alanında kullanımı yaygındır. Çinko oksit kükürt ile (S) sertleştiği ve daha fazla dayanıklı hale geldiği için lastik sanayide kullanılır (Akyüz, 2017).

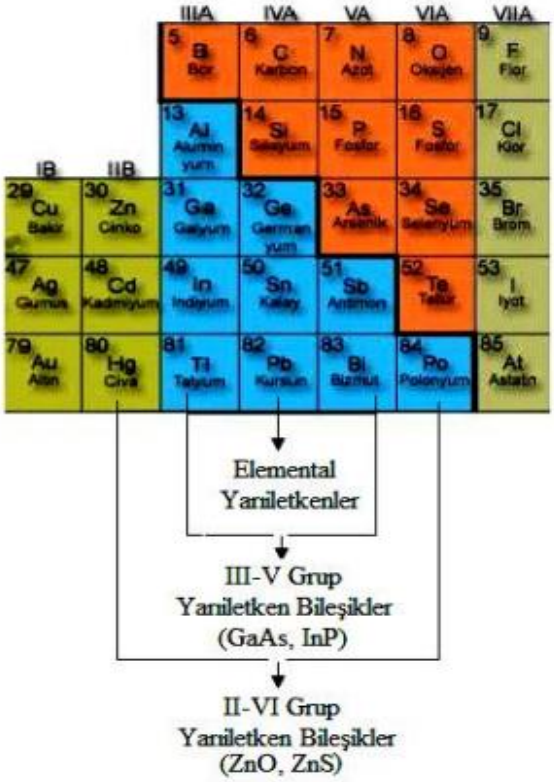
Çinko oksitin üstün özelliklerinden dolayı kullanım alanı yaygındır. Bu özelliklerini geliştirmek için farklı katkı maddeleri ile katkılanabilir. Örneğin Al, Mn, Na, Mg, Ni, Ru, Ag ve Ca gibi farklı elementlerle katkılanan pek çok çalışma vardır (Benromachea ve ark., 2012).

Geçiş metalleri içerisinde Co elementi ile katkılanan ZnO ince filmlerde elektron hareketliliği ve buna bağlı olarak mükemmel elektrik iletkenliği ve şeffaf optikliğe sahiptir (Demircan ve ark., 2022).

Çinko oksit (ZnO)' in şeffaf yapıda olması, yüksek yasak enerji aralığına sahip olması iyi ışıldama yapabilmesi gibi özelliklerinden dolayı sıvı kristal ekranlarda, ince film transistörlerde ve ışık yayan diyotlarda kullanılır. ZnO iyonik bağlı olduğu için piezoelektrik özellik sergiler (Yurdugüzel, 2011).

1.2. Yarı İletkenler

18. yüzyılın ilk başlarında katılar, iletken ve yalıtkanlar olarak sınıflandırılırken daha sonra Michael Faraday yeni bir malzeme sınıflaması yapmış ve günümüzde elektronik sanayisinin temel malzemesini oluşturan yarı iletken malzeme adını vermiştir. Yarı iletken malzemeler kullanılarak diyotlar, transistörler ve entegre devreler üretilmektedir (Şekil 1.3.) (Gençyılmaz, 2019).

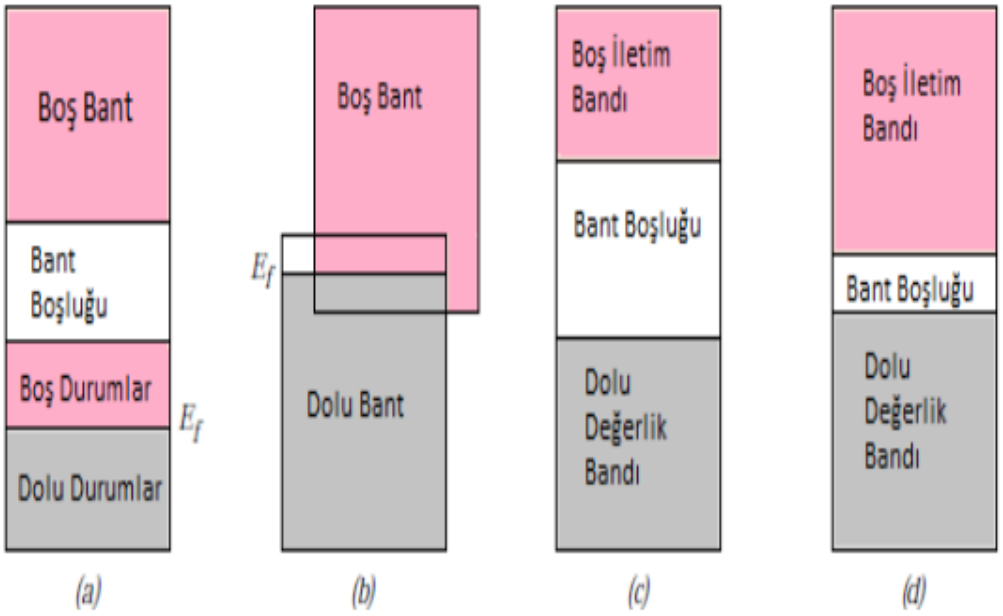


Şekil 1.3. Yarı iletken bileşiklerin periyodik cetveldeki gösterimi (Gençyılmaz, 2019)

1.2.1. Yarı iletkenlerin genel özellikleri

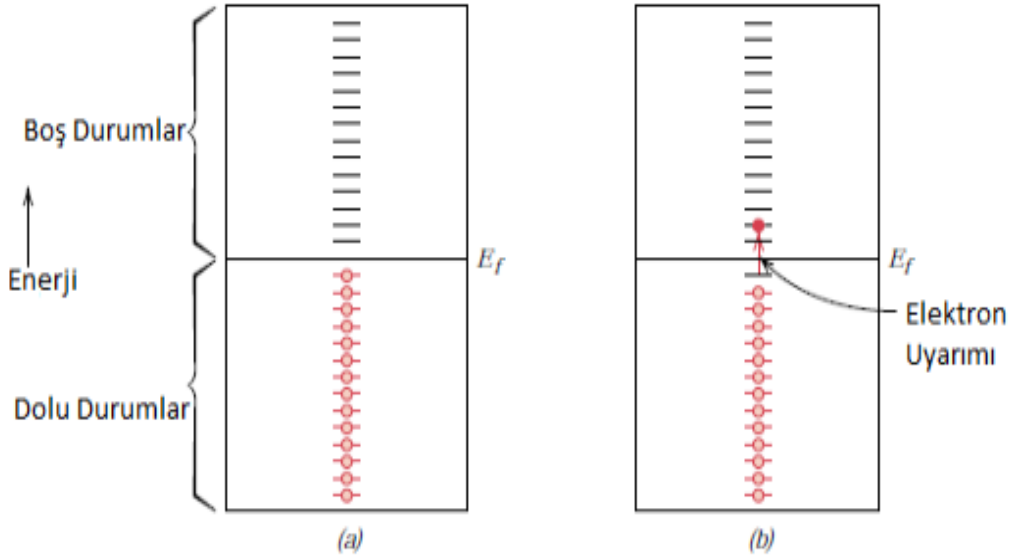
Yarı iletken; iletkenliği, yalıtkan ve iletken arasında olan $(10^4)(ohm{\cdot}m)^{-1}$ ile $(10^6)(ohm{\cdot}m)^{-1}$ malzemelerdir. Yasak enerji aralığı 4 eV 'tan küçüktür. Elektriksel özellikleri farklı metaller ile katkılanma, optiksel uyarılma, ısıl işleme maruz kalma gibi yöntemler ile değiştirilebilir. Yarı iletkenler farklı metaller ile katkılanarak n-tipi veya p-tipi yarı iletken elde edilir (Yılmaz, 2018).

Serbest elektronlar bir elektrik alan altında hareket ettirilir ve hızlandırılarak iletime katılırlar bunların enerjisi fermi enerjisinden büyüktür. Deşikler ise yarı iletken ve yalıtkanlarda bulunur, enerjileri fermi enerjisinden küçüktür ve elektriksel iletime katılırlar. Elektrik iletkenliği serbest elektron ve deşikler ile doğrudan ilişkilidir. İletken, yalıtkan ve yarıiletkenlikteki ayrım serbest elektron ve deşik sayısı ile orantılıdır. Metal, yalıtkan ve yarı iletken bant durumlarına örnek durumlar şekil 1.4.' te gösterilmiştir (Bulduk, 2018).

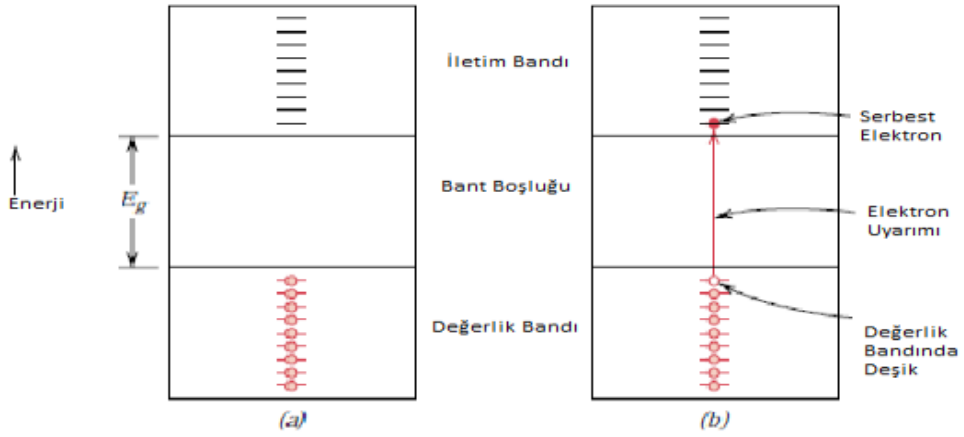


Şekil 1.4. 0 K derecede katılarda çeşitli olası elektron bant yapıları a) Bakır gibi metallerde bulunan elektron bant yapısı, b) Magnezyum gibi metallerin elektron yapısı, dolu ve dış bantlar üst üste, c) Yalıtkanların elektron bant yapısı, dolu ve boş bantlar birbirlerinde ayrıdır, d) Yarı iletkenlerde bulunan yapı

Bir metal için elektron durumlarının doluluğu Şekil 1.5.'te, bir yalıtkan ya da yarı iletken için, değerlik bandından iletim bandına elektron uyarılmasından önce, ısıl işlem veya optiksel uyarım ile elektron uyarılmasından sonra elektron durumları Şekil 1.6.' da şematik gösterimi verilmiştir (Bulduk, 2018).



Şekil 1.5. a) Elektron uyarımından önce, b) Elektron uyarımından sonra



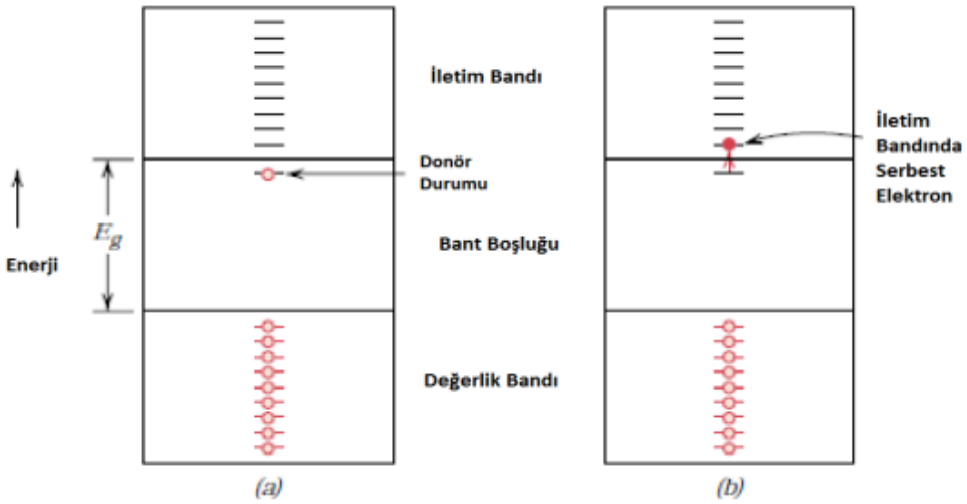
Şekil 1.6. a) elektron uyarılmasından önce b) elektron uyarılmasından sonra elektron durumlar

1.2.2. N-tipi yarı iletken

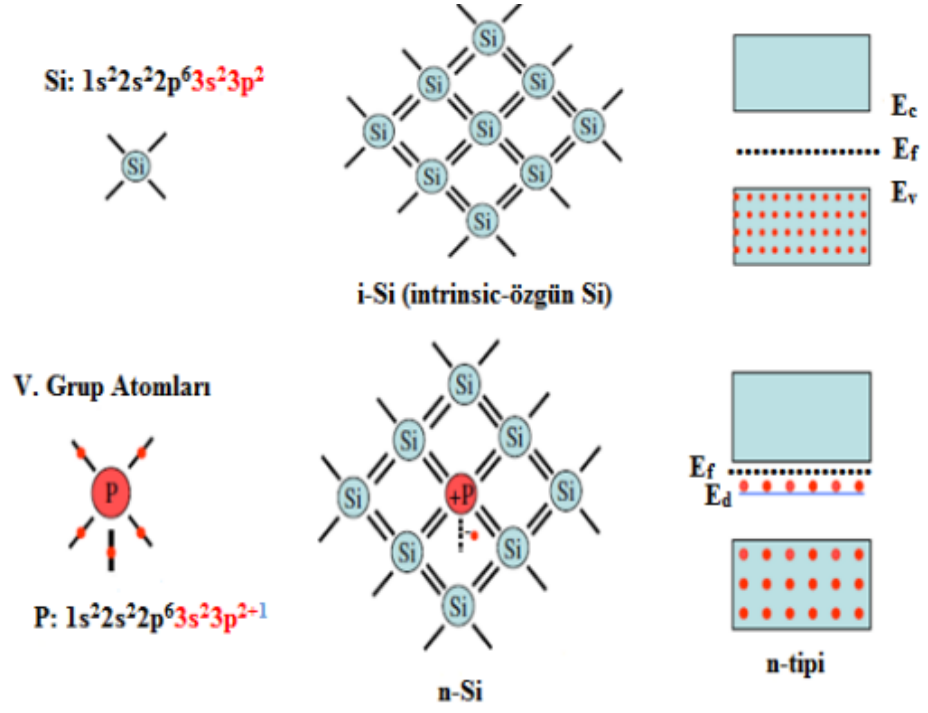
Periyodik çizelgenin 4A grubunda bulunan Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) 4 elektrona sahip yarı iletkenlerdir. Bu yarı iletkenler Periyodik çizelgenin 5A grubunda bulunan (N, P, As, Sb, Bi) 5 elektrona sahip atomlardan fosfat(P) ile katılması atomun 4 elektronu kovalent bağ yapar. Bağ yapmayan elektronun bağlanma enerjisi yaklaşık olarak 0,01 eV kadardır ve bu çok düşük bir enerjidir. Zayıf bir bağ ile bağlı olan bu elektronu kristale verir bundan dolayı verici (donör) atom adını alır. Fazla olan 1 elektron kristale verildiği ve kristalde eksi (-) yük fazlalığı olduğu için bu yarı iletken n tipi yarı iletken adını alır. Bu tip iletkenlerin iletimi elektronlar ile olur. Burada fermi enerji seviyesi iletim bandına daha yakındır (Yurdugüzel, 2011).



Şekil 1.7. Katkılı n tipi yarı iletken modeli (elektronik bağ) (Bulduk, 2018)



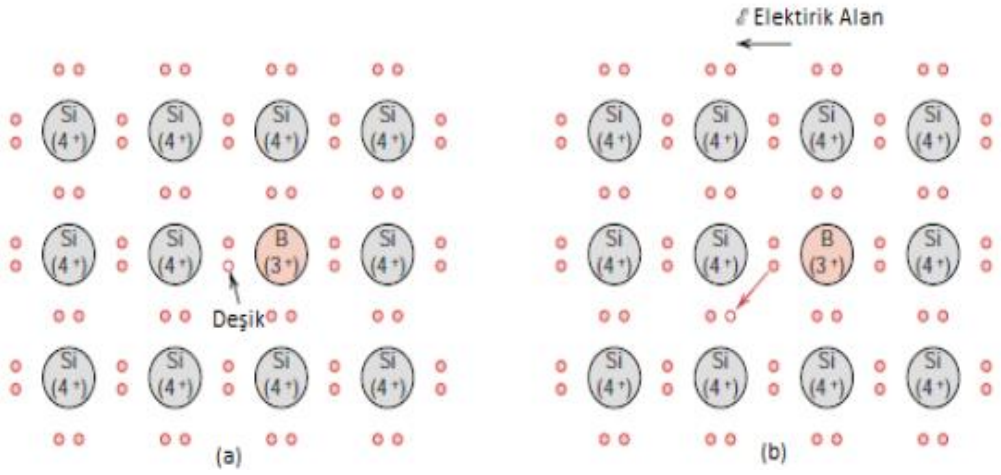
Şekil 1.8. a) Bant boşluğu içinde ve iletim bandının hemen altında bulunan bir donör katkı seviyesi için elektron enerji bandı şeması. b) İletim bandında serbest bir elektronun üretildiği bir donör durumdan uyarılma (Bulduk,2018)



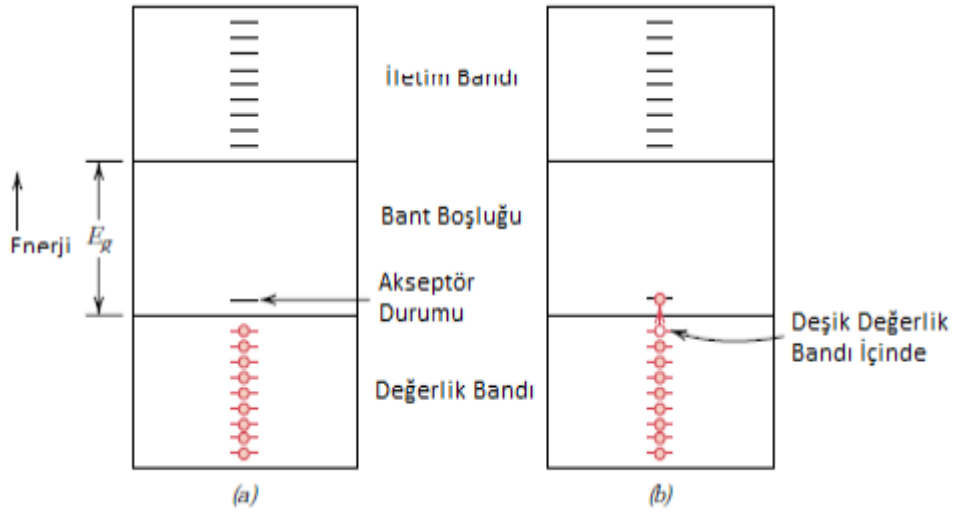
Şekil 1.9. N-tipi yarıiletkenlerdeki enerji band seviyeleri. N-tipi yarıiletkenin oluşum şeması (Şahin, 2012)

1.2.3. P-Tipi yarı iletken

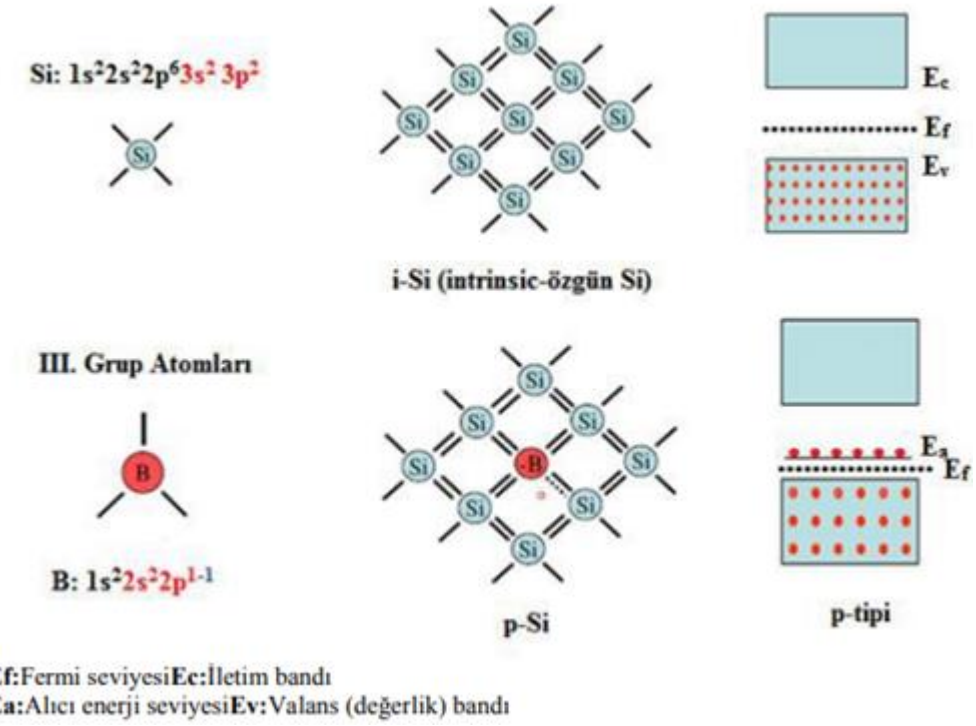
Periyodik çizelgenin 4A grubundan Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) 4 elektrona sahip yarı iletkenler 3A grubundan (B, Al, Ga, In) atomlarından biri olan Bor (B) ile katkılandığında oluşan kovalent bağda 1 elektron eksik kalır ve Si veya Ge atomları kristalden elektron alındığı için bu tür atomlara alıcı (acceptör) atomlar adı verilmektedir. Bu durumda (+) yüklü taşıyıcı yoğunluğu artar ve bu tip malzemelere p-tipi yarı iletken denir (Şahin, 2012).



Şekil 1.10. P tipi katkılı yarı iletken modeli (elektron bağı). (a) Üç değerli elektrona sahip olan bor gibi bir katkı atomu, bir silisyum atomunun yerini alabilir. Bu, bir değerlik elektronunun eksikliği veya katkı atomuyla ilişkili bir deşik ile sonuçlanır. (b) Bir elektrik alana cevaben bu deliğin hareketi (Bulduk, 2018)



Şekil 1.11. p tipi yarı iletken bant şeması



Şekil 1.12. P-tipi yarıiletkenlerdeki enerji band seviyeleri. P-tipi yarıiletkenin oluşum şeması (Şahin, 2012)

1.2.4. Yarı iletkenlerin elektriksel özellikleri

Elektronlar madde içinde serbestçe hareket edebiliyorsa o zaman elektriksel iletkenlik sağlanır. Bir maddenin iletkenliği büyüklüğü örgüsündeki yük taşıyıcıların sayısı (n) ve elektronların hareket yetenekleri μ ifade edilirken e ise elektron yükünü gösterir (Denklem 1.1).

$$\sigma = n|e|\mu_e \qquad (1.1)$$

Elektriksel iletkenlik için bir alanda elektronlar enerji kazanmaktadır. Yasak enerji aralığı 3eV'tan küçük olan maddeler (Eg<3eV) yarı iletken olarak kabul edilir. OK'de dolu olan en yüksek enerji düzeyinde Fermi enerji düzeyi denir. Elektronlar fermi enerjisini üzerindeki iletim seviyelerini yarı iletkenlik bandı içerisinde yasak enerji aralığını geçerek uyarılmaları gerekir. Uyarma sıcaklık veya ışıma ile olur. Valans bandından iletkenlik bandına uyarılan bir elektron, geride valans bandında bir deşik bırakır. Uygulanan elektriksel olan altınında elektronlar ve deşikler zıt yönde

hareket ederler ve elektriksel iletkenliğe katkı sağlar. Hem elektronlar hem de deşikler iletkenliğe katkı sağladığında, n ve p elektrik iletkenliğine katkıda bulunur (Denklem 1.2).

$$\sigma = n|e|\mu_e + \rho|e|\mu_h \quad (1.2)$$

Burada,

n: elektron konsantrasyonu
ρ: deşik konsantrasyonu
e: elektronun yükü
µe: elektron mobilitesi
μ_h: deşik mobilitesi

bu durumda n=p olması gerekir (Yurdakul, 2011).

1.2.5. Yarı iletkenlerin optik özellikleri

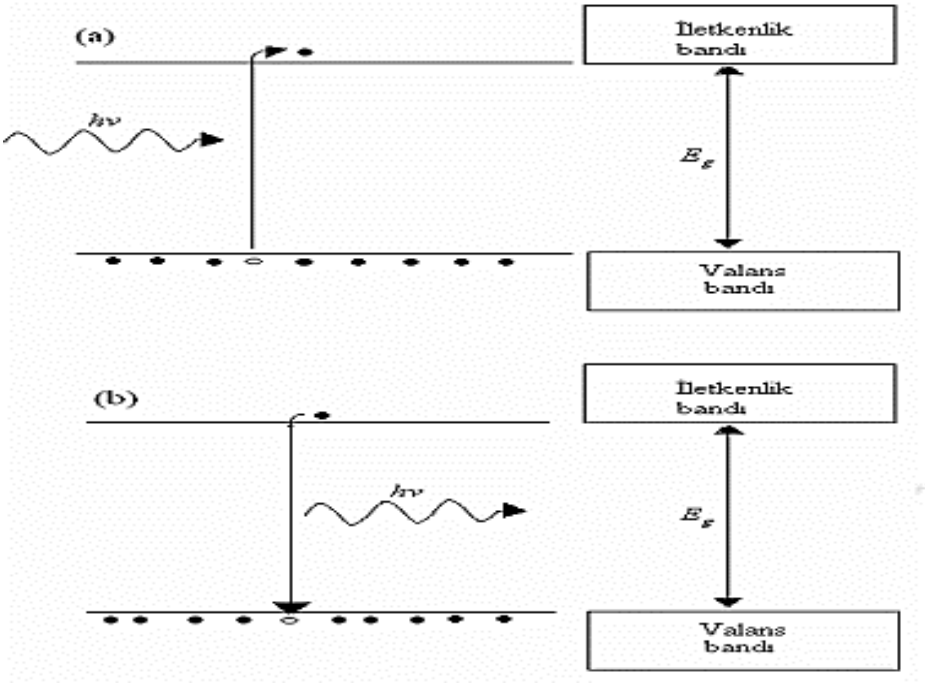
Yarı iletken bir malzemenin üzerine foton ile elektronların etkileşmesi sonucunda yansıma, kırılma ve soğrulma (absorpsiyon) gibi optik olaylar oluşur. Elektronların etkilenmesi termal yollarla veya optik yollarla ile mümkündür. Gönderilen fotonun enerjisi yarı iletken malzemenin yasak enerjisine eşit veya büyük olduğunda foton enerjisini tamamen elektrona aktarır ve elektron valans bandından iletim bandına geçer (Denklem 1.3) (Şekil 1.13a).

Fotonun enerjisi,

$$E=h\upsilon=\frac{hc}{\lambda} \quad (1.3)$$

ile ifade edilir. Burada, h: Planc sabiti, υ : frekans, c: ışık hızı ve λ : dalgaboyudur.

Valans bandındaki boşluk ile iletişim bandındaki elektron birleştiğinde sahip olduğu enerjiyi foton olarak yayılar. Bu olay diyotların (LED) ve yarı iletken lazerlerin temelini oluşturur (Şekil 1.13b) (Yılmaz, 2018).



Şekil 1.13. a. Fotonun enerjisi, hv, yarıiletkenin enerjisinden büyük olmak koşulu ile tek bir fotonun bir elektronu valans bandına uyarması b. Bir boşluk ile bir elektron birleşerek enerjisi hv olan bir foton üretmesi

1.3. İnce Film Teknolojisi

İnce film kavramı 1 µm (mikrometre) kalınlığından daha az katmanı tanımlamak için kullanılmaktadır (Abbas, 2009) ve genellikle cam, silikon veya polimerlerden yapılmış alttaşlar üzerinde biriktirilerek oluşturulur (Al-Nuami ve ark., 2009; Alıvı, 2021). Kendisini oluşturan maddelerin özelliklerinden farklı ve katı haldedir. Ayrıca, hazırlama yöntemine, eklenen malzemenin cinsine, oranına, ortam sıcaklığına bağlı olarak değişerek farklı elektriksel ve optik özelliklerde ince film üretmek mümkündür (Alıvı, 2021).

İnce film üretiminde, buharlaştırma, püskürtme, darbeli lazer biriktirme, sol- jel, kimyasal biriktirme gibi birçok yöntem kullanılır. Bu yöntemlerden sol-jel yöntemi, kimyasal bileşenlerin istenilen oranda kontrol edilebilmesi, oda sıcaklığında işlem

yapılabilmesi, maliyetin az olmasından dolayı en çok tercih edilen yöntemlerden biridir (Açıkgöz, 2022).

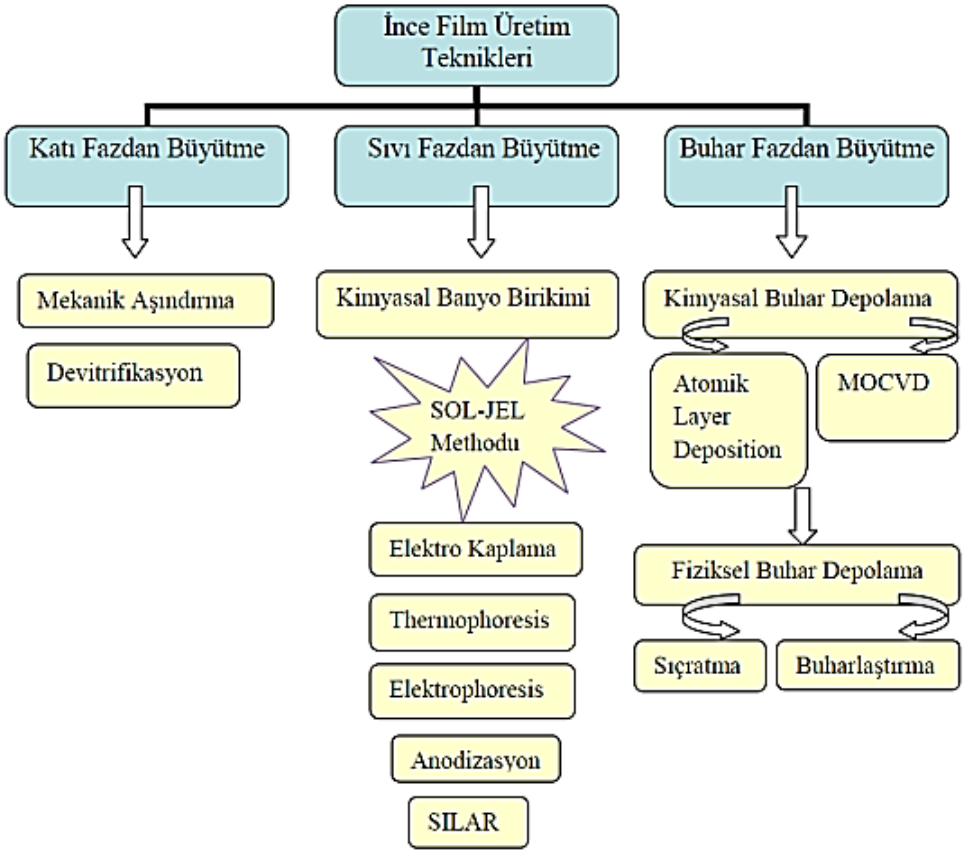
Seçilen uygun substrat üzerine üretilecek malzemenin ince bir tabaka veya çok katmanlı olarak biriktirilmesi ile üretilirler. Çeşitli yöntemler ile elde edilen filmlerin kalınlığı 1 mikrometreden küçük ise "ince film" bu ölçüden büyük ise "kalın film" olarak adlandırılır (Tosun, 2008). İnce filmler ilk olarak cam ve seramikte dekorasyon olarak kullanılmış 19. yüzyıldan itibaren bilimsel çalışmaların artmasıyla ince film elde etme yöntemleri gelişerek ilerlemiştir. İlk ince film 1938 yılında "elektroliz" yöntemiyle elde edilmiştir. Daha sonra "Bunsen "kimyasal reaksiyon "Grove "akkar boşalması sıçratma,"Faraday "asal gaz içerisinde buharlaştırma " Nahrwolde ve Kundt "Joule ısıtması" gibi farklı yöntemler kullanarak ince filmler üretilmiştir." Bu çalışmalar vakum cihazı geliştirilene kadar birer laboratuvar çalışması olarak kalmıştır. Vakum cihazı geliştirildikten sonra ince filmlerin kristal yapıları, elektriksel ve optik özelliklerinin araştırılması hız kazanmıştır (Gençyılmaz, 2013).

İnce film şeklindeki birikmiş materyallerin boyutu nano boyutta olduğu için malzemenin kuantum mekaniksel ve termodinamik özelikleri baskın hale gelir. İnce film kaplamaları optikte, mikro elektronikte, biyomedikal uygulamalarında, uydularda, elektromanyetik ışın dedektörlerinde, güneş pili üretiminde ve paketleme uygulamaları gibi pek çok olanda kullanılmaktadır (Yılmaz, 2018).

Biyosensör uygulamaları için biyotanıma katmanı olarak çinko oksit bazlı ince filmlerin iyi biyouyumluluk özelliğine sahip olduğu bilinmektedir (Sekicek, 2022).

1.3.1. İnce film üretim teknikleri

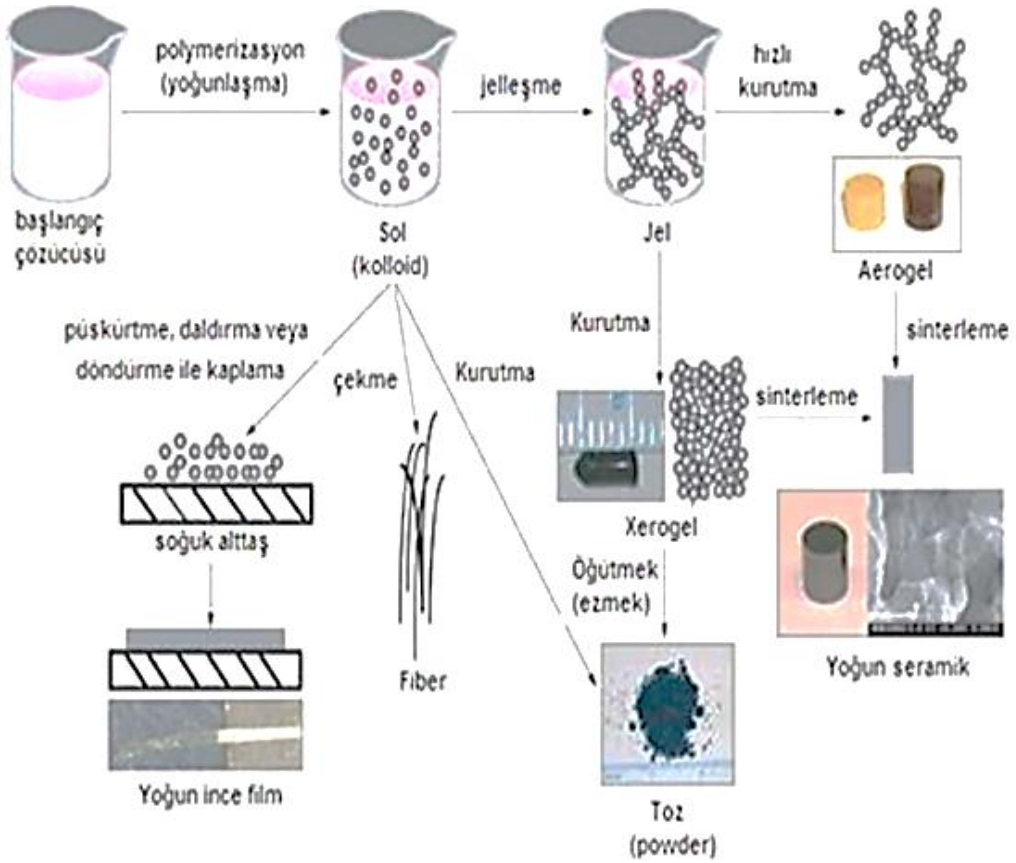
İnce filmler; radyoaktif (RF) püskürtme, sprey piroliz, sol- jel döndürmeli kaplama, darbeli lazer biriktirme (PLD), kimyasal buhar biriktirme (CVD), moleküler ışın epitaksisi (MBE) gibi yöntemler ile üretilmektedir (Rani ve ark., 2021). Bu yöntemlerden bazıları şekil 1.14.'te gösterilmiştir (Yılmaz, 2018).



Şekil 1.14. İnce film üretim teknikleri (Şahin, 2012)

1.3.1.1. Sol-Jel kaplama tekniği

Sol-jel yöntemi, ince film hazırlamak için oldukça yaygın bir şekilde kullanılan kimyasal bir tekniktir. Bu yöntemde alkol bazlı çözeltiler içerisinde metal organik bileşiklerin çözünmesi ile öncü çözeltinin hidroliz edilmesidir. Yani sol-jel çözeltileri bir metal alkaloit ve bir alkolden oluşur. Belli bir süre sonra çözelti de hidrolize edilir. Jelleşme gerçekleştikten sonra elde edilen çözelti, daldırma, döndürme veya sprey tekniklerinden uygun olan yöntem ile cam veya farklı bir alttaş üzerine kaplanarak ince filmler üretilir. Üretilen filmlerden homojen film elde etmek için ve kaliteli bir kristalleşme elde etmek için filmler 500-800 °C arasında tavlanır. Kimyasal bileşenler üzerinde kontrol edilebilirlik, istenilen oranda birleşim yapabilme olanağı en etkili avantajlarından biridir. Diğer avantajlarından bazıları ise düşük ısılarda işlem yapılabilmesi, enerji tasarrufu sağlaması, kaplanacak malzemenin her yerine aynı kalınlıkta, saf ve homojen kaplama özelliğidir.



Şekil 1.15. Sol-jel üretim süreci (Meyerhofer, 1978)

Sol-Jel Kaplama Yöntemi 3'e ayrılır.

1-Döndürerek Kaplama (Spin Coating)

2-Daldırarak Kaplama (Dip Coating)

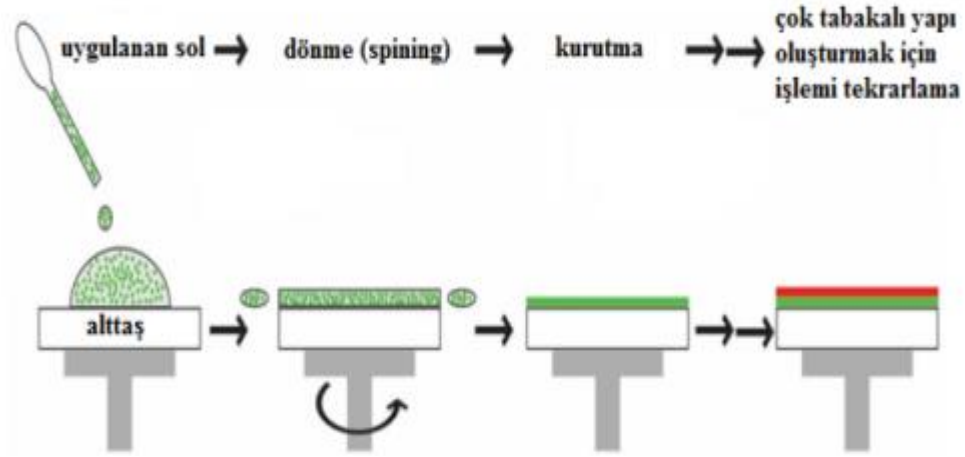
3-Püskürterek Kaplama (Spray Pyrosis) (Yılmaz, 2018)

1.3.1.2. Döndürerek kaplama (spin coating)

Spin kaplama yöntemi üç adımdan oluşur. Birinci adım; hazırlanan Solüsyon kaplanacak alttaş üzerine damlatılır. İkinci adım alttaş üzerine damlatılan sıvının fazlasının merkezkaç kuvveti ile yüzeyden ayrılması için yüksek hızlı döndürme yapılır. Böylece hem homojen bir kaplama sağlanmış hem de ince bir kaplama için kalınlık azaltılmış olur. Üçüncü adım; buharlaştırma yapılarak fazla çözelti yüzeyden uzaklaştırılır. Bu üç adım bittiğinde tek tabakalı bir kaplama sağlanmış olur. Çok

tabakalı bir kaplama istenir ise bu aşamalar baştan sona istenen katman sayısınca tekrarlanır. Homojen ve iyi kristalleşmiş film için üretilen çok katlı filmler 500-800 °C sıcaklığında bir saat fırında tavlanmalıdır (Yılmaz, 2018).

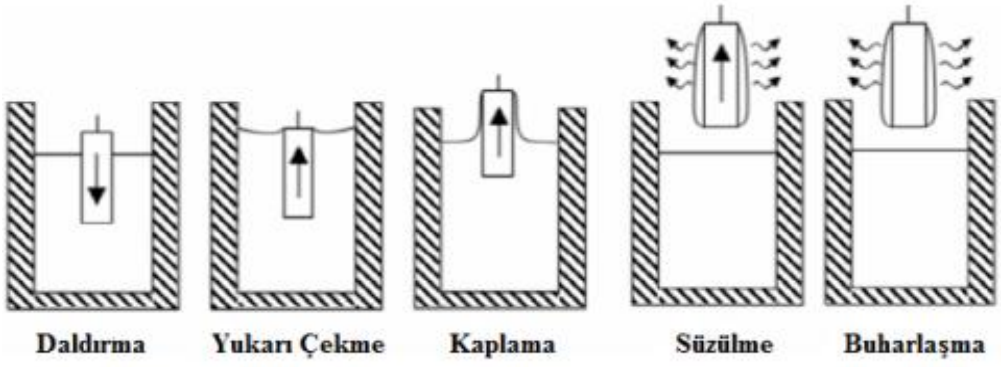
Bu yöntem ilk olarak Meyerhofer ve arkadaşları tarafından tanımlanmıştır (Meyerhofer, 1978). Büyük altlıkların az bir solüsyon ile kaplanabilmesi, çok katmanlı uygulamalarda çok hızlı gerçekleşebilmesi avantajlarından dolayı tezimde bu yöntemi kullandım.



Şekil 1.16. Döndürerek kaplama yöntemi (Babür, 2012)

1.3.1.3. Daldırarak kaplama (dip coating)

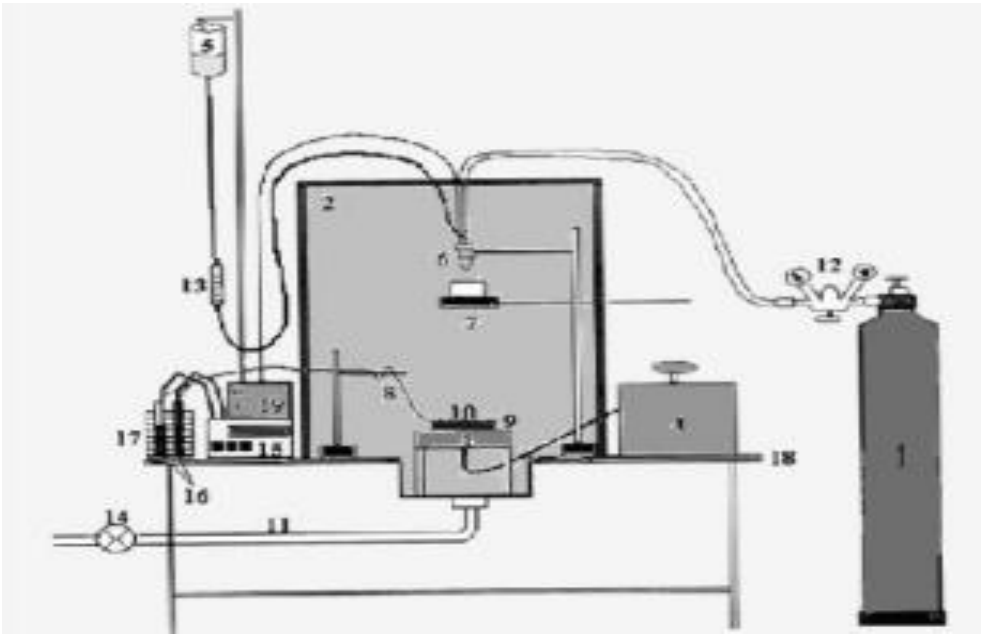
Bu yöntemde kaplanacak substrat bir taşıyıcı yardımıyla uygun bir hız ile daldırıp ve aynı hız ile geri çekilmesiyle oluşur. Çift yönlü kaplanacak malzemenin veya tüm yüzey kaplamalarında kullanılacak ideal bir yöntemdir. Beş aşamadan oluşur. Bunlar; daldırma, yukarı çekme, kaplama, süzülme ve buharlaşmadır.



Şekil 1.17. Daldırarak kaplama yönteminin aşamaları (Şahin, 2012)

1.3.1.4. Püskürterek kaplama (spray pyrosis)

Büyük ölçekli kaplamalar için yıllarca endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Hazırlanan solüsyon kaplanacak madde üzerine püskürterek kaplama gerçekleşir.



Şekil 1.18. Spray pyrolysis yöntemi cihazı ve bölümleri (Şahin, 2012)

1.4. Konjuge NN Ligantlı Kompleks Bileşikler ve Özellikleri

Molekül tasarımının en önemli yöntemlerinden biri konjugasyondur. "Konjugasyon molekül tasarımında birinci önem sırasındadır. Konjuge sistem genel olarak molekülün toplam enerjisini azaltan ve kararlılığını artıran, birbirini izleyen ∝ - π- ∝ - π-- bağları ile molekülde elektronların delokalize olduğu sistemdir. Bu sistemler elektron yönünden oldukça zengindir ve π elektron sistemi genişletilerek molekül üzerindeki elektron yoğunluğunun tüm sistem üzerinde olmasından dolayı molekülün kararlılık kazanmasını sağlamaktadır" (Aytar, 2019).

Co II atomu, iki Cl atomu ve iki N atomu tarafından koordine edilen, bozulmuş bir tetrahedral geometriye sahiptir. Molekül çift dönüş ekseni üzerinde yer almaktadır (Akkurt ve ark., 2007). Ayrıca, metal komplekslerindeki oksijen boşluğu ve kusurların elektriksel iletkenliği ve bant yapılarını iyileştirebilmektedir (Yan ve ark., 2020). Geçiş metali komplekslerinin elektriksel iletkenliğinin, doğrudan bağlı olmayan moleküler türler arasında tünelleme veya yük aktarımı yerine, yük taşıyıcıların kimyasal bağlar yoluyla iletilmesi için uygun bir yol sağlayabileceği belirtilmiştir (Teuerstein ve ark., 1974).

Konjuge kompleks yapılı Rutenyum (Ru) katkılı ZnO ince film üretilmiş ve görünür bölgede, üretilen katkılı ince filmin saf, ZnO katkılı ince filme göre %70 geçirgenlik sağladığı, kristal kalitesinin arttığı, artık gerilme değerinin düştüğü, optik bant aralığı 2,67 ile 3,18 eV arasında olduğu tespit edilip nano-optoelektronik cihazlar için geleceğe ışık tutan çalışmalar elde edilmiştir (Açıkgöz ve ark., 2022).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Benramoche ve ark. (2012), Co katkılı ZnO ince filmleri ultrasonik sprey yöntemi kullanarak ve alttaş sıcaklığını (300,350 ve 400°C) değiştirerek üretilen ince filmlerin optik, yapısal ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Üretilen tüm filmlerin wurtzite (002) yapıda olduğunu geçirgenliğin görünür bölgede %62-90 arasında olduğunu, bant aralığının 3.351-3.362 eV' a yükseldiği ve üretilen filmlerin yarı iletken davranış sergilediğini bulmuşlardır.

Yıldız ve Iacomi (2012), Co katkılı ZnO ince filmler üretilmiş ve elektronik iletkenlikleri karşılaştırılmıştır. Elektrik iletimi 300-425 K sıcaklık aralığında incelenmiştir. İnce filmlerin XRD analizleri yapıldığında tüm filmlerin polikristal şeklinde olduğu bulunmuştur. Co miktarının %3 iken iletkenliğin arttığı fakat Co miktarı %11'e çıkarıldığında iletkenliğin azaldığı görülmüştür. Bu durumu dalgalanma olarak ifade etmişlerdir.

Çağlar (2013), tarafından yapılan çalışmada Sol-Jel tekniği ile Co katkılı ZnO ince filmler (%1,3,5) üretilmiştir. Yapısal özellikleri incelendiğinde filmlerin hegzagonel wurtzite yapıda olduğu ve katkı maddesi Co'a ait herhangi bir faz görülmemiştir. Yüzey özellikleri incelendiğinde Co katkısı arttıkça taneli yapı azalmış, optik özellik incelendiğinde geçirgenliğin %80 olduğu bulunmuştur.

Benromochea ve ark.(2013), tarafından yapılan çalışmada Co katkılı çinko oksit ince filmler üretilmiş yapısal ve optik özellikleri incelenmiştir. Co katkılı çinko oksit filmler ultrasonik püskürtme tekniğiyle cam yüzeyler üzerinde biriktirilmiştir. Tüm filmlerim altıgen wurtzite yapıya sahip polikristal olduğunu ve tüm filmlerin UV ile ölçülen geçirgenliklerinin %65-95 arasında olduğunu belirlenmiştir. Film kalıntılarının artması ile enerji bant aralığı 3,08 eV'den 3,32eV yükseldiği ve elektriksel iletkenliğin arttığını tesbit etmişlerdir. Film kalınlığını yarı iletkenlerin kristalliği, bant aralığı, enerjisi ve elektriksel iletkenlik artmasını, filmlerin elektronlarının yer değişmesi ve taşıyıcı konsantrasyondaki artışla açıklanabilir. Co

katkısı ZnO'nun bant aralığı enerjisinin kristalit boyutundan ve ortalama gerilmeden etkilendiğini göstermektedir.

Gençyılmaz, (2013), tarafından yapılan çalışmada ultrasonik kimyasal püskürme tekniği kullanılarak katkısız ve farklı oranlarda (%6,9,12) Co katkılı ZnO filmler üretilmiş, yapısal, optiksel, yüzeysel ve elektriksel özellikleri araştırılmıştır. Co katkı maddesinin etkisi ile ZnO filminin kalınlık değerindeki artışın Zn elementinin Co elementine göre düşük buharlaşma sıcaklığından dolayı Co elementinin Filmlerin büyüme hızının arttırmasından kaynaklanabileceği saptanmıştır. XRD desenleri incelendiğinde tüm filmlerin polikristal yapıda olduğu ve hegzagonal wurtzite ZnO kristal yapıya sahip oldukları belirlenmiştir. %6 Co katkısının ZnO filmlerinin kristalleşme seviyesi üzerinde en önemli etkiyi gösterdiği, Co elementinin yapıya eklenmesi ile kırılma indisinin azaldığı ve tüm filmlerin bant aralıklarından yarı iletken oldukları bu özelliğinden dolayı teknolojik uygulamalarda avantajlı olacağını belirtmiştir.

Benromochea ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada %0 ile %3 arasında Co katkılanarak ZnO ince filmleri ultrasonik püskürtme tekniğini kullanarak cam üzerinde üretilmiştir. Tüm filmlerin altıgen wurtzite yapıda olduğu (002) yönelim gösteren nanokristal filmler elde etmişlerdir. Co konsantrasyonu arttıkça filmlerin elektriksel iletkenliği 7,71'den 8,33 $(cm)^{-1}$ değerine yükseldiğini ve enerji bant aralığının ise 3.367'den 3.319 eV'a düştüğünü ifade etmişlerdir.

Saha ve ark. (2015), sprey piroliz tekniği ile cam altlık üzerinde Co katkılı ZnO ince filmler üretmiştir. Üretilen filmlerin kristal tane boyutları 11-36 nm arasında ve kristal altıgen wurtzite yapısındadır. Görünür bölgedeki geçirgenlik %75'ten fazla olarak bulunmuştur.

Khantoula ve ark. (2017), daldırma kaplama tekniği kullanarak sol-jel yöntemi ile cam altlıklar üzerinde Co katkılı ZnO ince filmler üretmişlerdir (%0, 0,5,1). Araştırma sonucunda, Co katkılı ZnO ince filmlerin hepsi altıgen wurtzite kristal yapısında olduğunu ve optik geçirgenliklerinin %90'a yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Ayrıca üretilen filmlerin enerji bant aralığı 3,27 eV'tan 3,23 eV' a düşmüştür ve Co konsantrasyondaki artış ile iletkenlik artmıştır. Bu artış elektronların artışına bağlanmıştır. ZnO numunelerinin optik aralığı Co konsantrasyondaki artış ile azalmış ve en yüksek geçirgenliğe, en güçlü ultraviyole emisyona sahip olduğu belirlenmiştir.

Saha ve ark. (2015), 350 °C' de cam alttaş üzerine sprey piroliz yöntemi ile kaplama yaparak Co katkılı ZnO ince filmler üretmiştir. Bu ince filmlerin optik, elektriksel ve termal özelliklerini incelemişlerdir. XRD desenleri incelendiğinde altıgen wurtzite yapıda olduğu belirlenmiş ve, SEM görüntülerinde ise ip benzeri nanoyapıların, nano duvarların oluştuğu gözlemlenmiş, ayrıca yakın kızılötesi bölgede %80 geçirgenlik ve 550-700 nm arasında absorpsiyon kenarları görüntülendiği ifade edilmiştir. Artan sıcaklık ile elektriksel iletkenlikte doğrusal olmayan bir artış gözlemlendiği ve Co katkılı çinko oksit filmlerin yarı iletken özellik gösterdiği kanıtlamıştır.

Akcan, (2017) Sol-Jel daldırmalı kaplama yöntemini kullanarak ZnO ince filmler üretmiş ve XRD analizlerde üretilen filmlerin tek fazlı wurtzite kristal yapıda olduğunu ve c (002) yönelim gösterdiğini belirtmiştir. Ayrıca filmlerin optik geçirgenliklerinin %80 olduğunu ve farklı kalınlıklardaki filmlerin aseton, etanol, H2 ve NO2 gazlarına karşı duyarlı olduğunu ve gaz sensörü olarak kullanılabileceğini bildirmiştir.

Guermat ve ark. (2020), cam altlıklar üzerinde sprey piroliz tekniği kullanarak Ni: Co katlılı ZnO ince filmler üretmiştir. Üretilen filmlerin XRD analizlerinden tüm filmlerin altıgen wurtzite yapıda olduğu ve (002) tercihli yönelim gösterdiği, SEM görüntülerinden tüm filmlerde pürüzsüzlüğünün arttığı, UV analizlerinden tüm filmlerin şeffaf (%85) ve bant aralığının 3,26-3,30 eV aralığında olduğu tespit edilmiş ve filmlerin elektriksel iletkenliğinde bir artış gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda, üretilen bu filmlerin şeffaf iletken elektronik devrelerde ve güneş pillerinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Rani ve ark. (2021)'nin yaptığı çalışmada Co katkılı çinko oksit (ZnO) ince filmler sol-jel, spin kaplama tekniği kullanılarak üretilmiş, ve üretilen bu filmlerin yapısal ve optik özellikleri incelenmiştir. Yüzey özellikleri SEM ile incelenmiş ve filmlerin polikristallerden oluştuğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, tüm filmlerin altıgen wurtzite kristal yapıda olduğu ve c (002) yönelimi tercih ettiğini; %3 katkılı ince filmlerin enerji bant aralığı değeri Eg=3,68 eV iken %8 katkılı film için ise 3,77eV olarak bulunduğunu ve bant aralığı değerlerinde önemli bir artış gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Filmlerin görünür aralıkta %75 geçirgen özellik sergilendiği SEM görüntülerinin XRD ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Demircan ve ark. (2022), yaptığı çalışmada sol-jel spin kaplama yöntemi ile çok katmanlı ZnO ince filmler üretilmiş ve döndürme hızı (3000,4000,5000 rpm) ve zamanın (30,40,50s) yapısal, elektriksel ve optik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Kaplama hızı arttıkça film kalınlığının azaldığı, en yüksek geçirgenliğin %88 ile 2000 rpm gerçekleştiğini ve optik bant aralığını ve Urbach enerjisinin dönüş hızıyla değiştiğini bulmuşlardır.

Açıkgöz ve ark. (2023), tarafından konjuge NN ligantlı Rutenyum (Ru) kompleksleri sentezlenmiş ve sentezlenen bu kompleksler ZnO' ya %2,4,6 aralığında ilave edilerek sol-jel döndürme kaplama yöntemi ile ince filmler üretmiştir. Bu filmler XRD, SEM, FT-IR, UV-Vis ve fotolüminesans (PL) spektrumları kullanılarak karakterize edilmiştir. Çalışmaları sonucunda, artan Ru miktarı ile kristal kalitesinin arttığı ve kalıntı geriliminin azaldığı, ayrıca tüm filmlerin %70 oranında optiksel geçirgenliğe sahip olduğu ve bant aralıklarının 2,76 ile 3,18 eV arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmaları ile konjuge NN ligant yapıların ZnO ince filmlerde katkı elemanı olarak kullanılabileceğini açıkça ortaya koymuşlardır. Bu çalışmayı baz alarak konjuge NN ligantlı Co katkılı ZnO ince filmler üretilip literatür araştırmaları yapılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deneylerde Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Tez çalışmasında kullanılan kimyasal malzemeler ve kullanıldıkları yerler Çizelge 3.1.' de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Kullanılan kimyasallar listesi

ZnO (Çinko asetat dihidrat) $Zn(CH_3CO_2)_2$	Sol-jel üretimimizin sabit ana malzemesi olarak kullanıldı.
Monoethanolamin	Her solde damla damla katılmak şartı ile çözücü olarak kullanıldı.
izopropanol	Her sole çözücü olarak katıldı. Aynı zamanda ultrasonik banyoda cam altlıkların temizlenmesinde kullanıldı.
H2O (Saf su)	Ultrasonik banyoda cam altlıkların temizlenmesinde kullanıldı.
Aseton	Ultrasonik banyoda cam altlıkların temizlenmesinde kullanıldı
$C_{16}H_{11}N_3$ konjuge NN ligandı	Kobalt bileşiğinin sentezi için kullanıldı
$C_{20}H_{13}N_3$ konjuge NN ligandı	Kobalt bileşiğinin sentezi için kullanıldı
THF	Kobalt bileşiğinin sentezi için kullanıldı
n-hekzan	Kobalt bileşiğinin sentezi için kullanıldı

Çizelge 3.2. İnce film kaplamaların hazırlanmasında ve hazırlanan kaplamaların yapısal, elektriksel ve optik analizlerinde kullanılan cihazları, cihazların modellerini ve kullanım amaçlarını göstermektedir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan cihazlar

CİHAZIN ADI	CİHAZIN MARKASI	KULLANIM AMACI
Manyetik karıştırıcı	ISOLAB	Sol ve jel hazırlamak
Ultrasonik banyo	ISOLAB	Cam alttaşların temizlenmesi için
Spin kaplama cihazı	POLOS spin coater	İnce filmlerin üretilmesi
Fırın	MSE Furnace	Üretilen filmlerin tavlanması
Hassas terazi	RADWAG	Tartım
SEM	Zeiss Evo 50	Yapısal inceleme
UV-Vis	PG Instruments Ltd	Optik özelliklerin belirlenmesi
XRD	Rigaku Ultima III	Yapısal inceleme ve faz belirleme
FTIR	Perkin Elmer Marka 400 FTIR spektrofotometresi	Yapısal inceleme
Kaplama cihazı	EMS-550	Sem inceleme öncesi altın kaplama
Elektriksel iletkenlik	Fyntronix	Filmlerin iletkenlik özelliklerini belirleme
Radyasyon zırhlama	ULEGe detektör (Mirion Tech.).	Radyasyon zırhlama özelliklerinin belirlenmesi

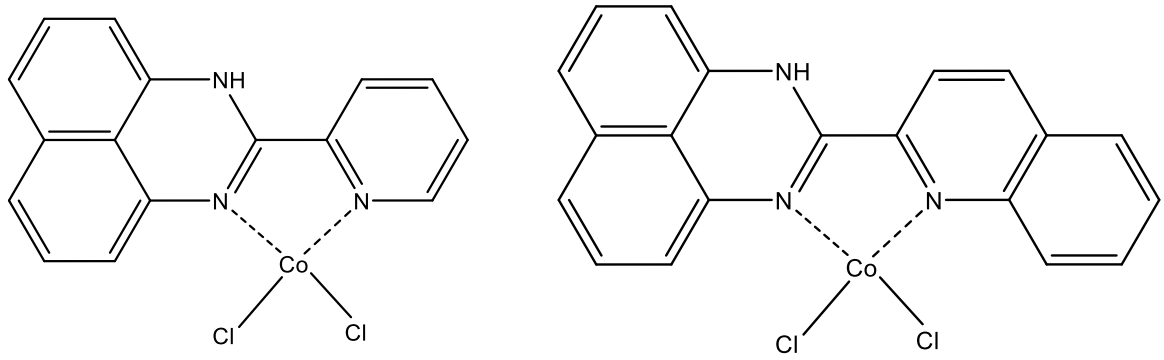
3.2. Kobalt Katkılı ZnO İnce Filmlerin Üretilmesi

3.2.1. Konjuge NN ligantlı kobalt kompleklerinin sentezi

EAS-4-Co ($C_{16}H_{11}N_3Cl_2Co$) ve EAS-6-Co ($C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$) kompleksleri Aytar (2019)' un çalışmasındaki metot kullanılarak hazırlandı. EAS-4-Co kompleksini elde etmek için $C_{16}H_{11}N_3$ konjuge NN ligandının (245 mg, 1mmol) THF (20mL) içerisindeki çözeltisine $CoCl_2.6H_2O$ (237 mg, 1mmol) eklendi. Reaksiyon 60˚C' de ısıtıldı. Reaksiyon ortamına n-hekzan (25 mL) ilavesi yapıldı.

EAS-6-Co kompleksini elde etmek için $C_{20}H_{13}N_3$ konjuge NN ligandının (295 mg, 1mmol) THF (20mL) içerisindeki çözeltisine $CoCl_2.6H_2O$ (237 mg, 1mmol) eklendi. Reaksiyon 60˚C' de ısıtıldı. Reaksiyon ortamına n-hekzan (25 mL) ilavesi yapıldı.

EAS-4-Co ($C_{16}H_{11}N_3Cl_2Co$) **EAS-6-Co**($C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$)



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan kobalt kompleksleri

3.2.2. ZnO-Co ince filmlerin hazırlanması

Kobalt ve Kobalt kompleksi ile katkılanmış ZnO ince filmler, sol-jel döndürme kaplama yöntemi kullanılarak cam alttaşlar üzerinde biriktirilmiştir. Kullanılan oranlar Çizelge 3.3.'de verilmektedir. Başlangıç materyali ve stabilizatör olarak çinko asetat dihidrat (Zn $(CH_3COO)_2.2H_2O$) ve monoetanolamin ($C_3H_9NO_3$) (MEA), çözücü olarak izopropanol (C_3H_8O) kullanılmıştır. İlk olarak çinko asetat dihidrat oda sıcaklığında MEA ve izopropanol karışımı içerisinde çözüldü. Bu karışım bir manyetik karıştırıcı kullanılarak 400 rpm 65°C'de 30 dakika karıştırıldı ve homojen bir çözelti elde edildi. Bu aşamada çinko asetat çözeltisine belirtilen oranlarda kobalt eklenerek karıştırma işlemine 1 saat daha devam edildi.

Çizelge 3.3. Film konsantrasyonları

Film kodu	Kobalt (%)	Kobalt (gr)
00ZnO	0	0
T2	2	0.00439
T4	4	0.00878
T6	6	0.01317
B2	2	0.00439
B4	4	0.00878
B6	6	0.01317
S2	2	0.00439
S4	4	0.00878
S6	6	0.01317

Cam altlıklar elmas uç ile 25x25 mm ölçülerinde kesildi. Elde edilen cam altlıklar ultrasonik banyo için sabun ve su ile ön temizliği yapılıp, daha sonra sırasıyla aseton, izopropanol alkol ve saf su ile 10'ar dakika ultrasonik banyoda temizlendi. Son olarak normal gözlük bezi ile kurulanıp biriktirme (kaplama) işlemine hazır hale getirildi. Oluşan jeller spin kaplama cihazı kullanılarak 3000 rpm de alttaşlar üzerinde biriktirildi (Şekil 3.2.).



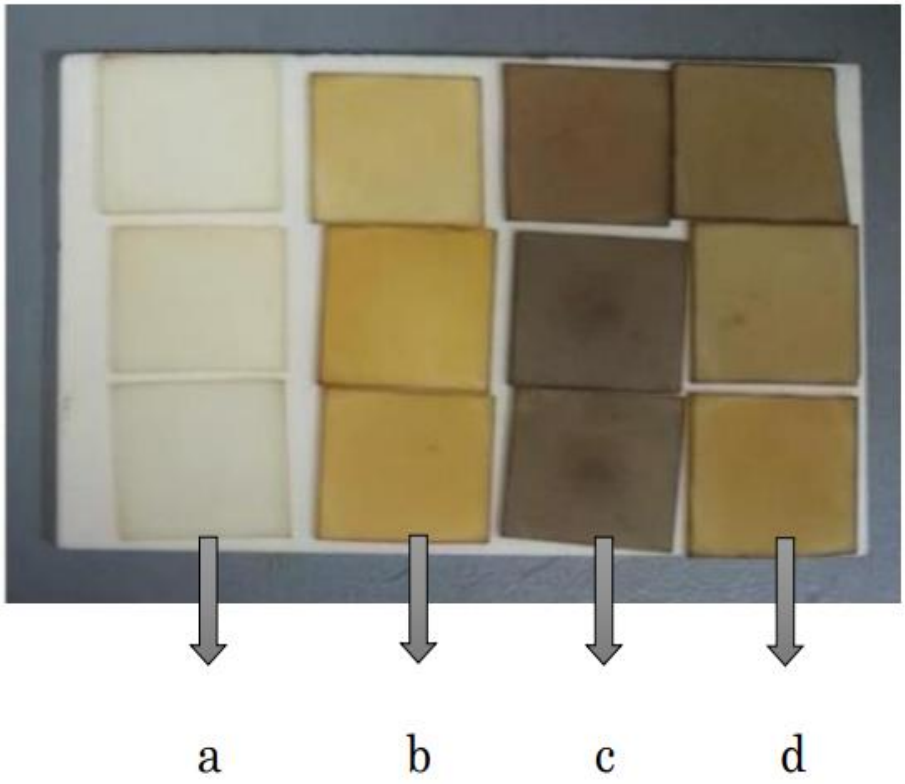
Şekil 3.2. Sollerin hazırlanması ve spin kaplama cihazı

Spin kaplama ile biriktirilen filmler daha sonra 200 °C de ısıtılarak tavlandı ve daha sonra soğutuldu (Şekil 3.3.).

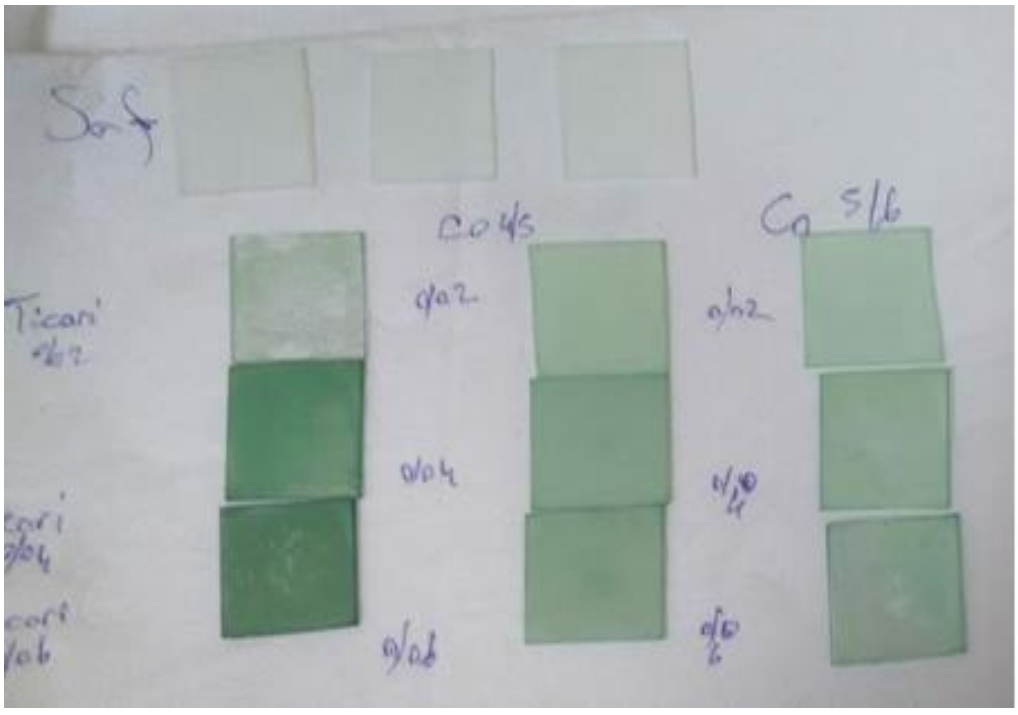


Şekil 3.3. İnce filmlerin tavlama ve soğutulması

Bu işlemler 10 kez tekrarlandı ve 10 kat kaplanan filmler 500 °C 'lik fırında 1 saat sinterlendi. Üretilen filmler fırınlama işleminden önce Şekil 3.4 ve fırınlama işleminden sonra Şekil 3.5.' de görülmektedir.



Şekil 3.4. Yukarıdan aşağıya doğru %2,4,6 oranında üretilen filmlerin görünüşü a) Saf ZnO ince film b)Ticari Co katkılı ZnO ince film c) EAS-4-Co katkılı ZnO ince film d) EAS-6-Co katkılı ZnO ince film



Şekil 3.5. Fırınlama işleminden sonra ince filmler

3.3. Kobalt Katkılı ZnO İnce Filmlerin Yapısal Karakterizasyonu

3.3.1. XRD

Hazırlanan ince filmlerin X-ışını kırınım desenleri Harran Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde (HÜBTAM) da bulunan Rigaku (Rigaku Dmax 2000) marka X-ışını toz difraktometresinde 0.01 tarama modunda 5-90° açı aralığında alındı (Şekil 3.6.). Kırınım desenleri Jade 6.0 programı ile veri tabanları karşılaştırılarak indislendi.



Şekil 3.6. XRD Cihaz resmi

3.3.2. SEM

Hazırlanan filmlerin yüzey özelliklerini ve film kalınlığını belirlemek için Harran Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde (HÜBTAM) bulunan Zeiss Evo marka Taramalı elektron mikroskopisi SEM cihazı kullanılarak 10.00 kV EHT ile 10.00 K büyütmede alınmıştır (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. SEM cihaz resmi

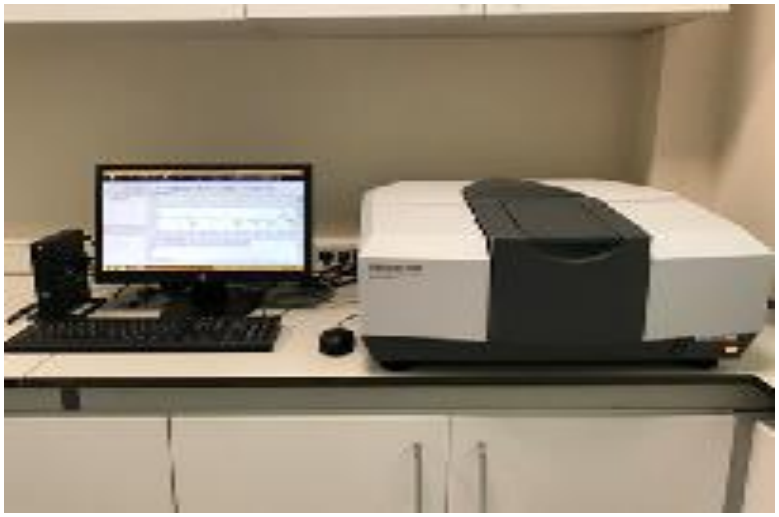
3.3.3. UV-Vis

Filmlerin absorpsiyon spektrumları, 200-900 nm aralığındaki bir T80+ UV-Vis spektrofotometre (PG Instruments Ltd) kullanılarak (Harran Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde (HÜBTAM) alınmıştır (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. UV-Vis spektrofotometre

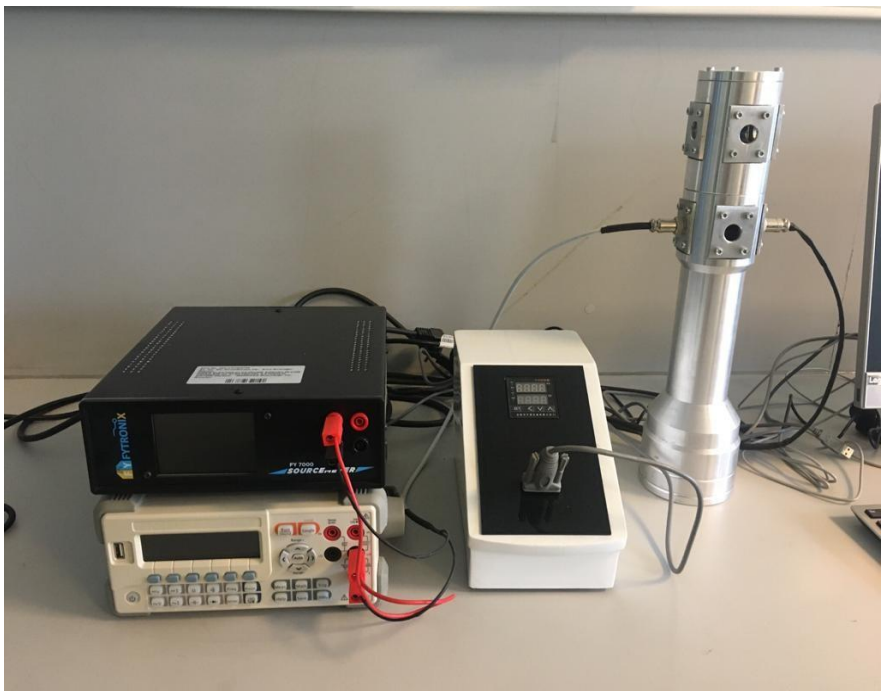
Filmlerin yapısındaki fonksiyonel grupları ve bağların durumunu belirlemek için FTIR spektrumları, Harran Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde (HÜBTAM) bulunan bir Perkin Ermer FTIR spektrofotometre yardımıyla 400-4000 cm-1 aralığında alınmıştır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. FTIR spektrometre

3.3.4. Elektriksel iletkenlik

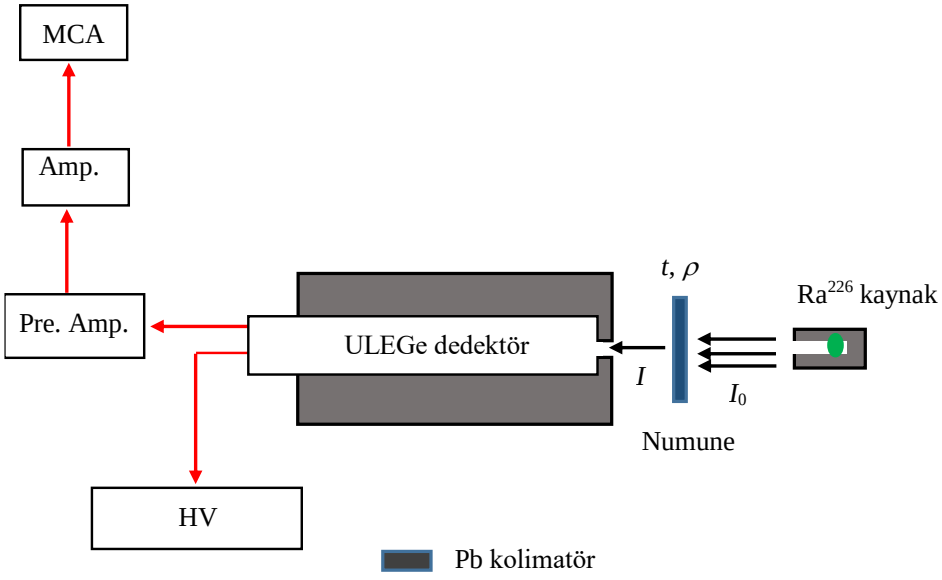
Üretilen filmlerin elektriksel iletkenlikleri FYTRONIX Marka FY-7000 2 nokta DC elektriksel iletkenlik ölçüm sistemi kullanılarak Oda Sıcaklığında (20ºC) ölçülmüştür (Şekil 3.10.).



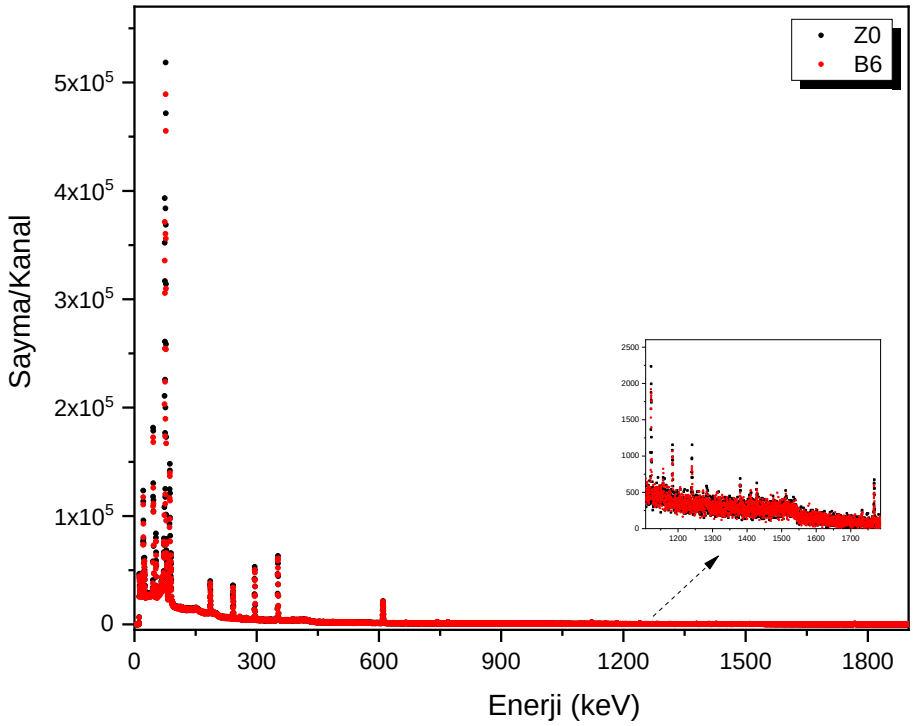
Şekil 3.10. Elektriksel iletkenlik ölçüm sistemi

3.4. Radyasyon Zırhlama parametreleri

İnce filmlerin radyasyon zırhlama parametreleri Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Prof. Dr. Wolf Weyrich Yüksek Enerji Spektroskopisi Araştırma Laboratuarında ölçülmüştür. Bu çalışmada Radyum (Ra226) kaynağından yayılan 186,1; 242.0; 294; 351,93; 609,31; 768,9; 934,06; 1120,3; 1238,1; 1377,7 ve 1764,5 keV enerji fotonlar kullanılmıştır. ZnAc (Z0), Co $(CH_3CO_2)_2{\cdot}4H_2O$ katkılı (T2,T4 ve T6) ve $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ komplex katkılı (B2, B4 ve B6) ince film numunelerin gama ışını soğurma parametreleri (MAC, LAC, MFP, HVL ve Zet) deneysel olarak belirlenmiştir. Şekil 3.11'de bir ULEGe dedektörü (Mirion Tech.) içeren gama spektroskopisi deney düzeneğinin şematik gösterimini verilmiştir. Spektrumların elde edilme süresi 1200 s olarak ayarlanmıştır. Fast ComTec. ile spektrumların analizi yapılmıştır. Ra226 ile bombardıman edilen Z0 ve B6 numunelerinin tipik soğurma spektrumları, Şekil 3.12.'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Gama ışını soğurma deney sistemi



Şekil 3.12. Radyum ile bombardıman edilen Z0 ve B6 numunesinin tipik gama ışını soğurma spektrumu

3.4.1. Kütle ve lineer ve soğurma katsayıları (MAC, LAC)

Bir malzemenin kütle soğurma katsayısı (MAC,μ_m, cm2/g) Lambert-Beer kanunundan istifadeyle belirlenir ve birim alanda birim kütle başına düşen soğurmayı verir. Bu çalışmada üretilen ince filmlerin teorik kütle soğurma katsayısı değerleri EpiXS programı kullanılarak hesaplanmıştır (Hila ve ark., 2021).

$$\mu_m = \left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I}\right)}{\rho t} \qquad (3.1)$$

Burada I_o gelen foton şiddeti, I geçen foton şiddeti, μ (cm^{-1}) lineer soğurma katsayısı (LAC), ρ (gr/cm^3) yoğunluk ve t (cm) malzemenin kalınlığıdır. Görüldüğü üzere MAC lineer soğurma katsayısı ve numunenin yoğunluğu ile belirlenir.

3.4.2. Yarı değer kalınlığı (HVL)

Yarı değer kalınlığı (HVL, cm), malzemenin içine giren radyasyon şiddetinin yarıya düştüğü kalınlıkdır ve aşağıdaki ifade ile verilir (Denklem 3.2).

$$HVL=\frac{\ln 2}{\mu}=\frac{0,693}{\mu} \quad (3.2)$$

3.4.3. Ortalama serbest yol (MFP)

Ortalama serbest yol iki etkileşim arasında bir fotonun kat ettiği ortalama fiziksel mesafedir Ortalama serbest yol aşağıdaki ifade ile verilir (Denklem 3.3).

$$MFP=\frac{1}{\mu} \quad (3.3)$$

3.4.4. Etkin atom numarası (Zet)

Zet kompozit bir malzeme içerisindeki ortalama atom numarasını temsil eder (Denklem 3.4).

$$Z_{et}=\frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,e}} \quad (3.4)$$

ifadesi ile verilir. Burada σ_(t,a) toplam atomik tesir kesiti ve σ_(t,e) toplam elektronik tesir kesitidir.

3.4.5. Maruz kalma buildup faktörü (EBF)

Buildup faktörü iyi bilinen Lambert-Beer yasasına getirilen bir düzeltme faktörüdür ve aşağıdaki ifade ile verilir.

$$I = BI_0e^{-\mu t} \quad (3.5)$$

Maruz kalma buildup faktörü, foton enerjisine ve fotonun numune içerisine nüfuz etme derinliğine bağlıdır. Bu çalışmada üreilen ince filmlerin EBF değerleri 0.015-15MeV enerji bölgesinde 40 mfp'ye kadar GP uyum parametrelerini kullanarak hesaplanmıştır (Şakar ve ark., 2020).

3.4.6. Hızlı nötronlar için etkin soğurma tesir kesiti

Hızlı nötronların maddeye nüfuz etme yetenekleri yüksektir. Hızlı nötronlar için etkin soğurma tesir kesitleri bir nötronun N adet atomla reaksiyon yapma ihtimali dikkate alınarak ifadesinin hesaplanması ile bulunabilir.

$$\sum R = \sum_i W_i \left(\sum_{R/\rho}\right)_i \tag{3.6}$$

Burada W_i ve $\left(\sum_{R/\rho}\right)_i$ sırasıyla kısmi yoğunluk (gr/cm^3) ve i. elementin soğurma tesir kesitidir.

3.4.7. Kütle durdurma gücü (MSP) ve menzil (PR)

Yüklü parçacıklar tarafından bir ortam içinde harcanan ortalama enerji kütle durdurma gücü (MSP) olarak tanımlanır. Enerjiye sahip yüklü parçacıkların madde içindeki ortalama yol uzunluğu olan menzil ve kütle durdurma gücü (Denklem 3.7)

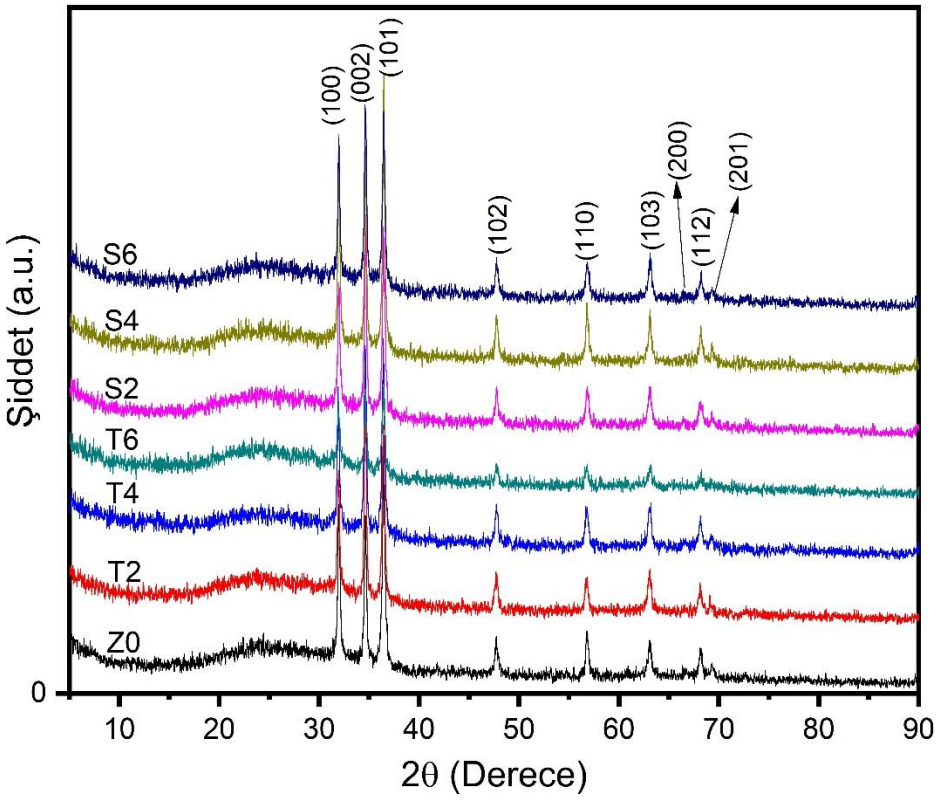
$$R = \int_0^R dx = \int_E^0 \frac{dx}{dE} dE = \int_0^E \frac{dE}{S(E)} \tag{3.7}$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Bu çalışmada üretilen cam numunelerin MSP ve PR değerleri proton ve alfa parçacıkları için SRIM bilgisayar programı kullanılarak hesaplandı (Ziegler ve Biersack, 198).

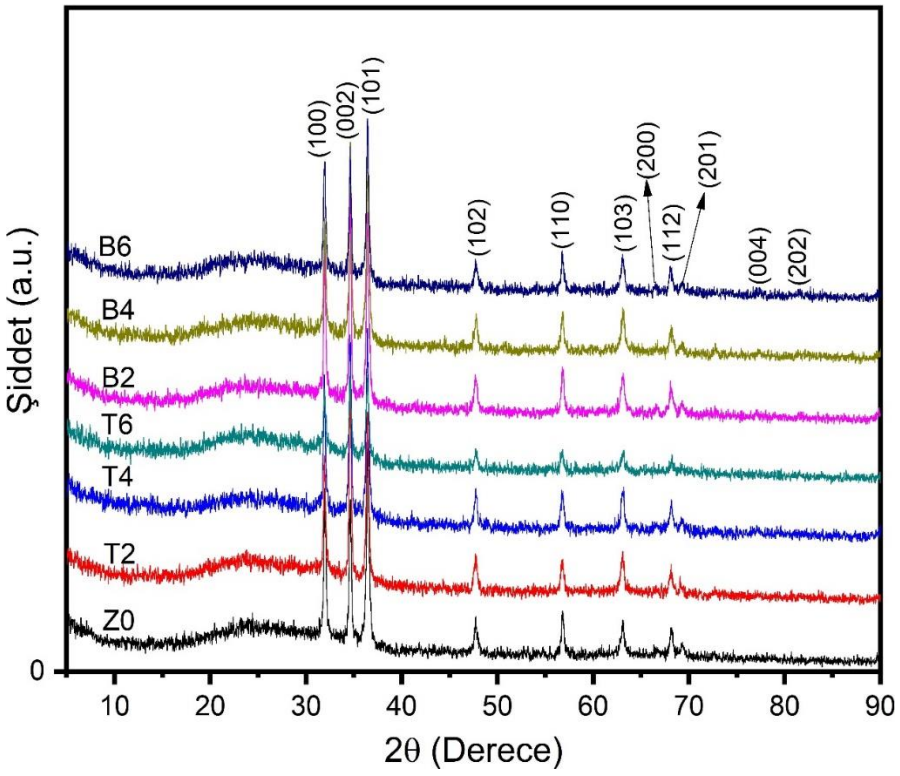
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. XRD

500 °C'de tavlanmış Zn1-xCoxO (x görülebilir). XRD desenleri, numunelerin yüksek oranda kristal faza sahip olduğunu göstermiştir. (0.00, 0.02, 0.04 ve 0.06) ince filmlerinin XRD spektrumları Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de 'te Ayrıca, hazırlanan tüm ZnO filmler altıgen wurtzite (Pholnak ve ark.,2012) kristal yapısına sahip olup (100), (002), (101), (102), (103), (110) (112) ve (201) düzlemlerinden oluşmaktadır. Bu desenlerde kobalt içeriğini gösteren herhangi bir ikincil kristal faz görülmemiştir. XRD sonuçları, kobaltın, wurtzite kristal yapısını değiştirmeden ZnO' da ikame edici bir katkı maddesi olarak davrandığını göstermektedir. Kırınım deseninde (002) düzleminde tercih edilen tercihli yönelme piki görülmüştür. Ayrıca, (100), (002) ve (101) düzlemlerinde daha düşük açıya doğru bir kayma gözlemlendi. Sahzad ve arkadaşlarına göre, bu kaymalar filmlerde ZnO ve dış/iç gerilim bileşeninin iyonlaşmasından dolayı meydana gelir (Şahzad ve ark., 2013). ZnO'ya 4 ve 6 oranlarında kobalt ilave edildiğinde artan kobalt içeriğine bağlı olarak (110) kristal düzleminde bir artış elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Co: ZnO filmlerin (Z0,Tve S) XRD kırınım desenleri



Şekil 4.2. Co: ZnO filmlerin XRD(Z0,Tve B) kırınım desenleri

Çizelge 4.1. Co: ZnO filmlerin birim hücre parametreleri, tane büyüklük değerleri ve hazırlanan filmlerin kalınlık değerleri

	a (Å)	**c (Å)**	**Tane büyüklüğü (nm)**	**Mikrogerilme (ε) x10-3**	**Film kalınlıkları (µm)**
saf	**3.231**	**5.175**	**26.82**	**0.99**	**2.725**
T2	**3.235**	**5.181**	**51.91**	**2.02**	**2.542**
T4	**3.237**	**5.183**	**39.68**	**1.38**	**2.321**
T6	**3.233**	**5.177**	**25.41**	**1.77**	**2.157**
S2	**3.235**	**5.178**	**39.35**	**1.36**	**3.194**
S4	**3.233**	**5.175**	**45.54**	**1.41**	**3.018**
S6	**3.233**	**5.181**	**64.65**	**0.33**	**2.854**
B2	**3.235**	**5.178**	**44.15**	**1.56**	**2.578**
B4	**3.233**	**5.175**	**32.18**	**0.96**	**2.344**
B6	**3.239**	**5.181**	**31.48**	**0.97**	**2.169**

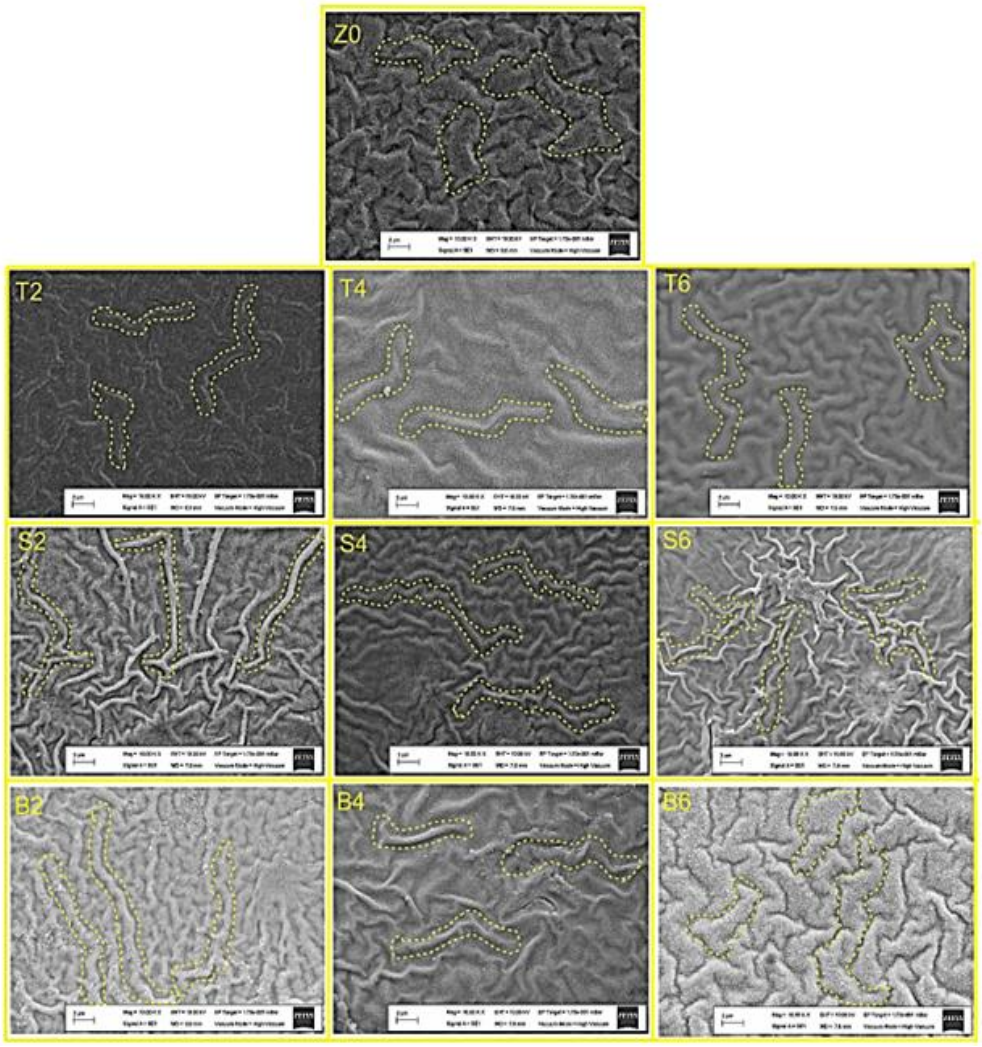
Birim hücre parametreleri (100) ve (002) düzlemlerinden denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3}\left(\frac{h^2+hk+k^2}{a^2}\right) + \frac{l^2}{c^2} \qquad (4.1)$$

Tüm filmler için birim hücre parametreleri a= 3.23 Å ve c = 5.18 Å civarında bulunmuştur. Bu değerler hekzagonal wurtzite yapısına oldukça yakındır (Gürses, 2020). Filmler için tane büyüklüğü 25.41-64.65 nm seviyesinde elde edilmiştir.

4.2. SEM Görüntüleri ve EDX Analizi

Co katkılı ZnO ince filmlerin SEM ile incelenmiş mikroyapı görüntüleri Şekil 4.3.'te görülmektedir.



Şekil 4.3. Kaplamaların SEM görüntüleri

Kaplamaların yüzey morfolojisini incelemek için alınan SEM görüntüleri verilmiştir. Bütün yüzey görüntülerinde kaplamaların kararlı oldukları gözlemlenmektedir. Ayrıca yüzeylerin nanofiber benzeri görüntülere sahip olduğu görülmektedir. Bu tür yapılar genelde çözücülerin uçtuğu aşamada meydana gelir. (Demircan ve ark., 2022). Bu çalışmada stabilizatör olarak kullanılan monoetanolamin'in tavlama sırasında uçması nanofiber benzeri görüntülerin elde edilmesine sebep olmuştur. ZnO nanoyapılarının c-ekseni boyunca oluştuğu ve monoetanolamin uçtuğu sırada bu eksen boyunca bu yapıyı meydana getirdiği bilinmektedir (Maity ve ark., 2005; Çolak ve ark., 2020). ZnO ince filmlerde bu yapıların oluşma sebebi stabilizatörlerin alkoksi veya hidroksi gruplarını kaplama işlemi sırasında kaybetmesidir (Scherer, 1997).

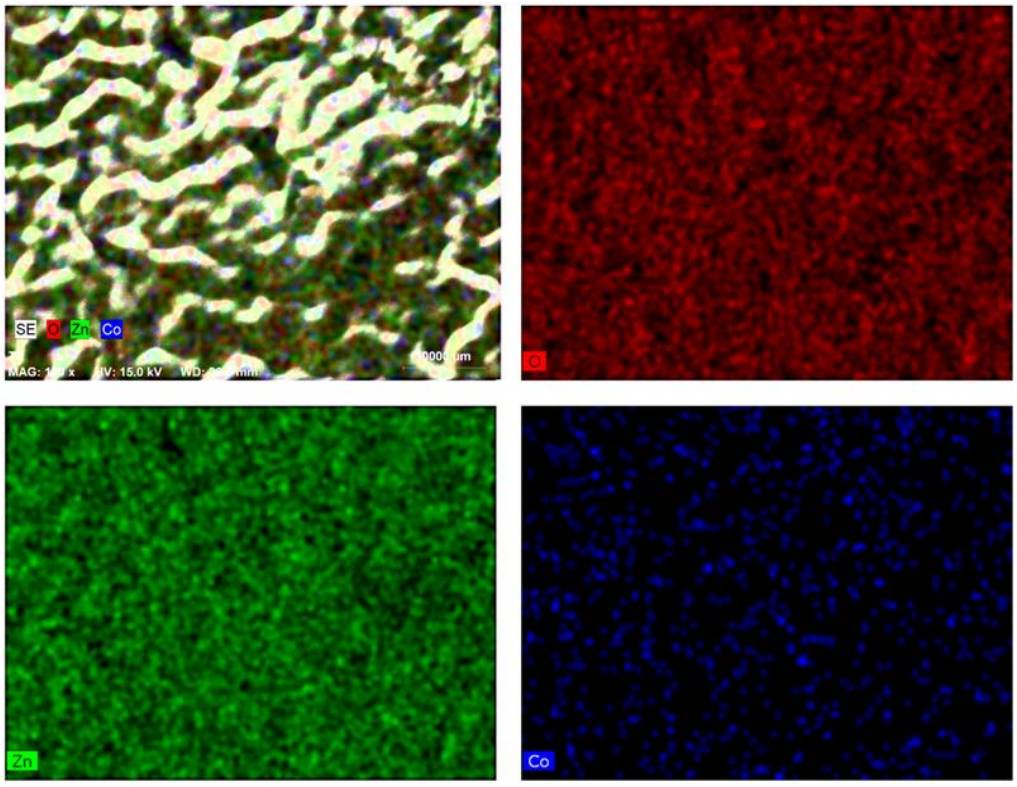
Komaraiah ve ark. (2016), sprey piroliz tekniği ile ürettikleri Zno ince filmlerde lifsi yapılar elde etmişlerdir. Benzer şekilde Ilıcan ve ark., (2006) indiyum katkılı ZnO ince filmler üretmiş ve SEM görüntülerinde aynı yapıyı gözlemlemişlerdir. İnce filmlerdeki bu yapıyı ağaca benzeyen (dendroidal) yapı olarak adlandıran çalışmalar da mevcuttur (Vasylyev ve ark., 2008).

Çizelge 4.2. Kaplamaların EDX analiz sonuçları

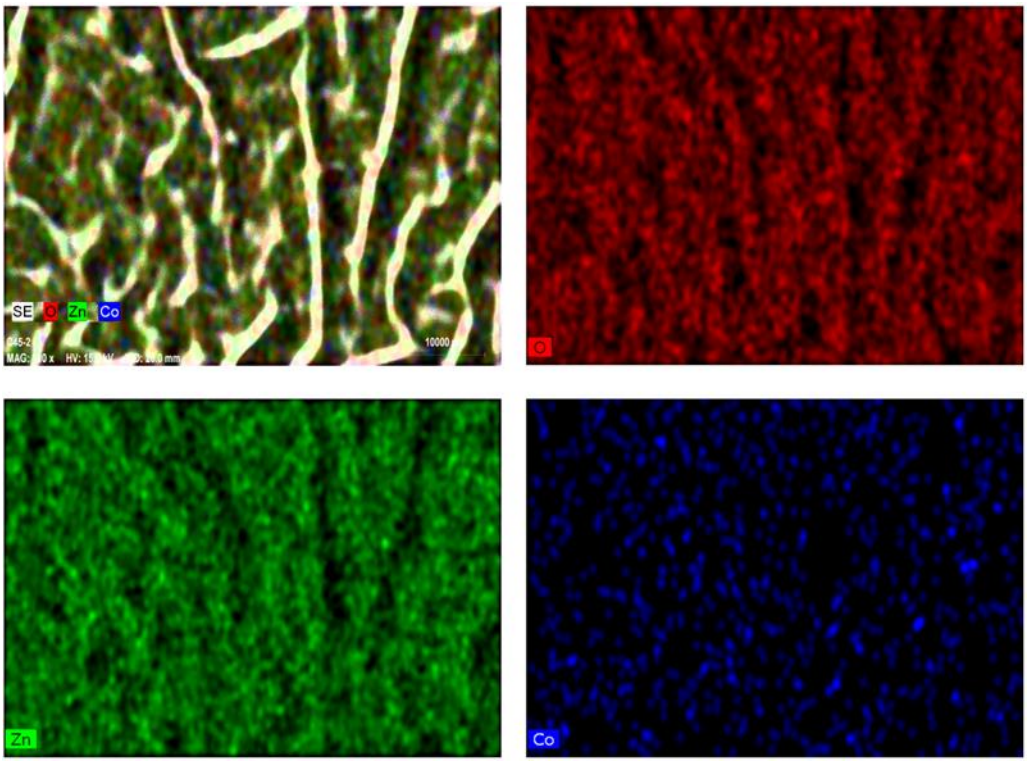
	Z0	T2	T4	T6	S2	S4	S6	B2	B4	B6
Element X-ışını hattı	Ağırlık (%)									
Zn 30- (K)	80.28	79.15	78.32	77.41	79.26	78.17	77.21	79.55	78.26	77.36
O 8-(K)	19.71	18.73	17.73	16.42	18.79	17.68	16.56	18.38	17.66	16.69
Co 27 -(K)	0	2.12	3.95	6.17	1.95	4.15	6.23	2.07	4.08	5.95
Toplam	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

EDX analizi ile yapılan Element tespitlerinin sonuçları Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda hesaplamada kullanılan yüzde (%) katkı oranları ile deneysel olarak elde edilen yüzde (%) katkı oranlarının birbirlerine çok yakın oldukları tespit edilmişdir. %2 katkı oranı olarak hesap edilen numunelerde sırası ile %2.12, %1,95 ve %2,07 oranları, %4 katkı oranı olarak hesap edilen numunelerde sırası ile %3.95, %4.15 ve %4.08 oranları, %6 katkı oranı olarak hesap edilen numunelerde sırası ile %6.17, %6,23 ve %5,95 oranları elde edilmiştir.

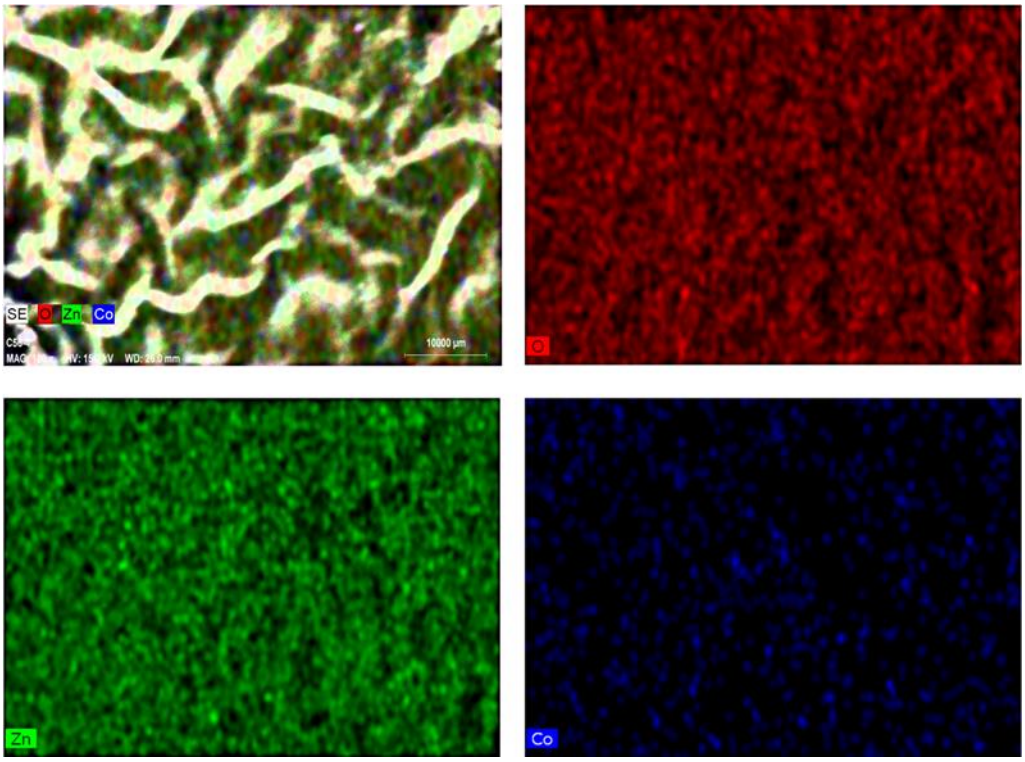
T, S, B kaplamalarının elemental haritaları sırası ile Şekil 4.4., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da verilmiştir. Elemantal haritalarda kırmızı renk oksijeni, yeşil renk çinkoyu, mavi renk ise kobaltı göstermektedir. Renklerin dağılımına bakıldığında elementlerin uniform bir şekilde eşit dağıldığı ve kaplamaların homojen bir şekilde üretildiği gözlemlenebilir.



Şekil 4.4. T kaplamalarının elemental haritası



Şekil 4.5. S kaplamalarının elemental haritası

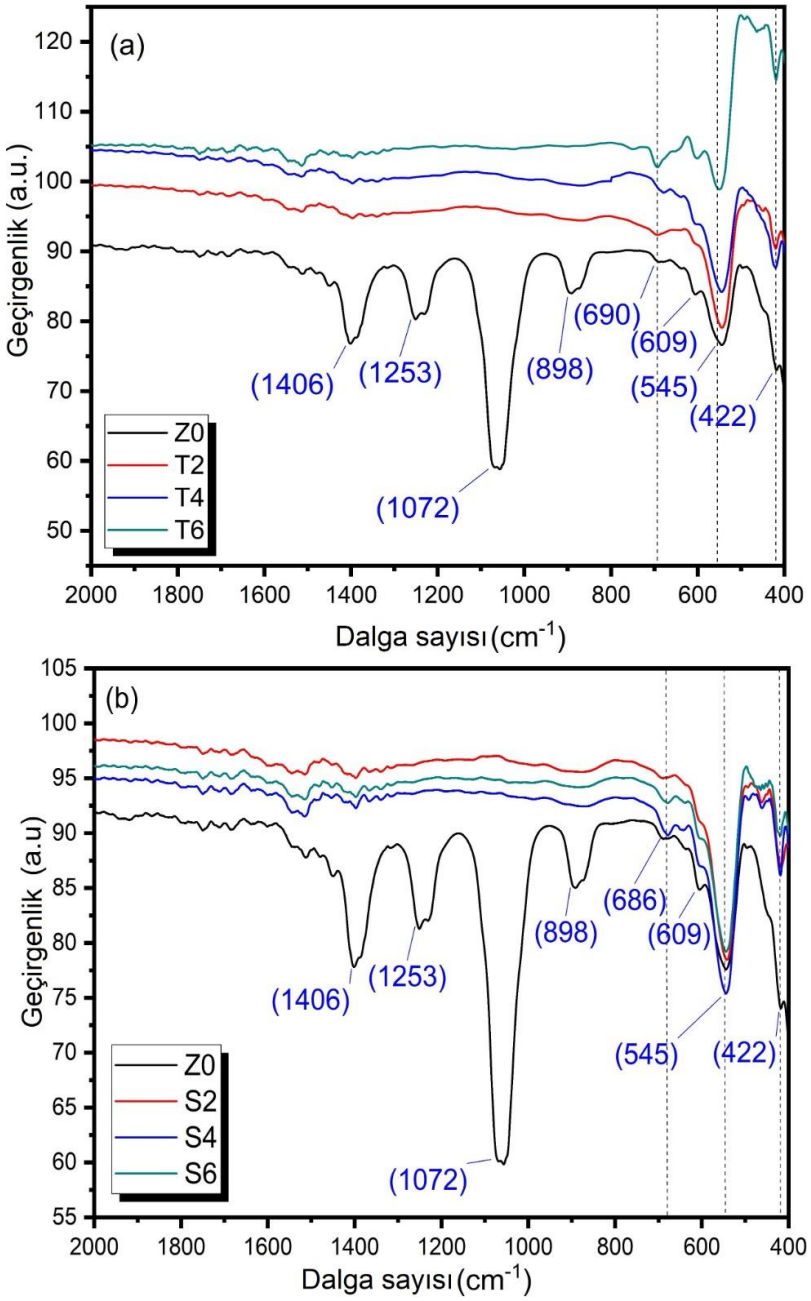


Şekil 4.6. B kaplamalarının elemental haritası

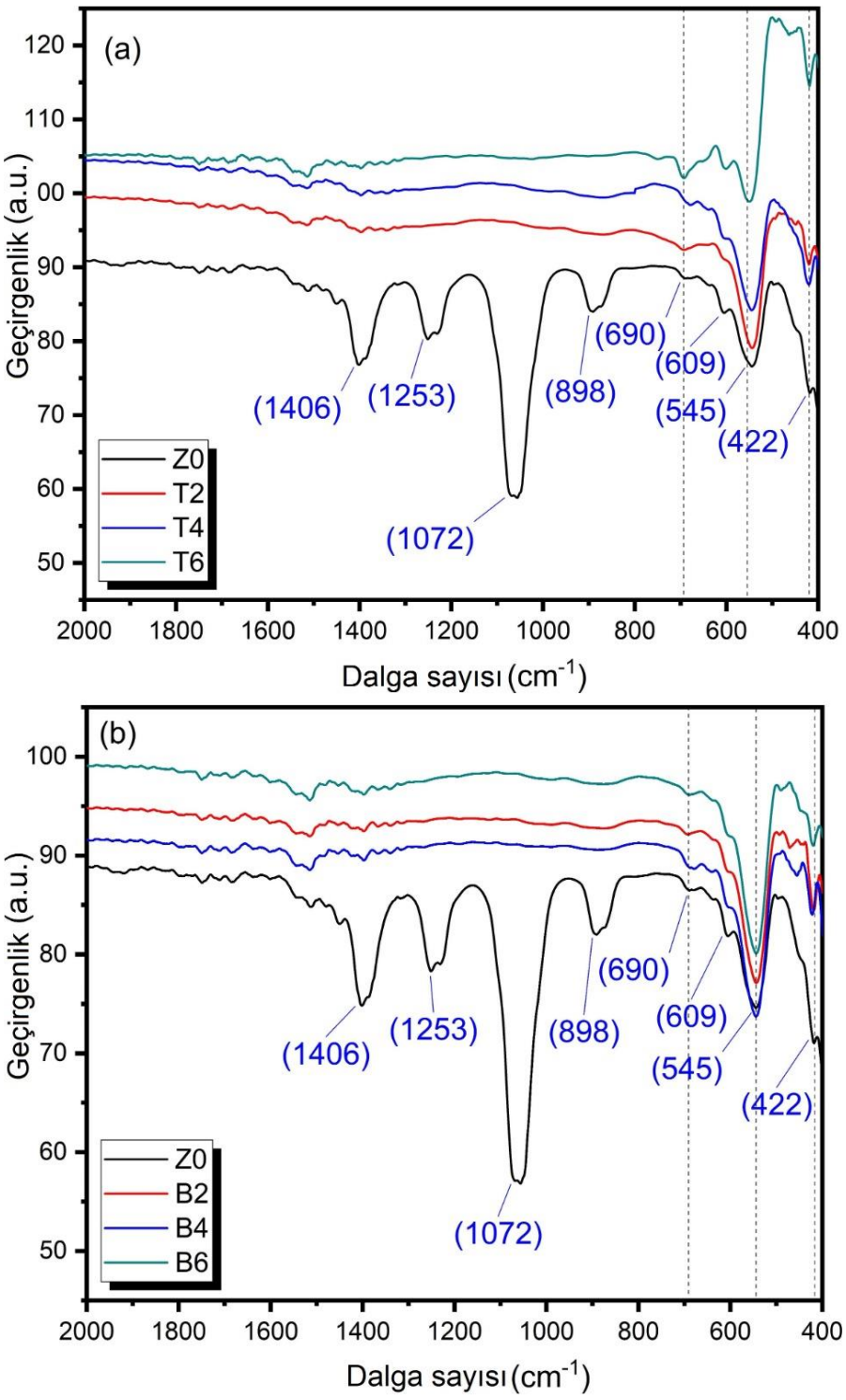
4.3. Filmlerin FT-IR ile Yapısal Analizi

FT-IR analizi, numunelerde bulunan fonksiyonel grubu, Zn-O bağlarından kaynaklanan titreşim bandını ve ZnO'ya Co dahil edilmesinden kaynaklanan değişimi incelemek için yapılmıştır. Şekil 4.7. ve Şekil 4.8., saf ve kobalt katkılanarak üretilen ZnO ince filmlerin 400-4000 cm^{-1} aralığında alınmış FT-IR spektrumlarını göstermektedir. 400-700 cm-1 aralığındaki tüm numunelerin absorpsiyon zirveleri, Zn—O germe modlarına bağlanabilir. ZnO'nun zayıf titreşimi, 869-861cm^{-1} dalgaboyu civarında orta ila zayıf bant olarak gözlemlenmektedir (Kumar ve Pandey, 2016). Ayrıca, 869-861cm^{-1}'de görülen bu bant, Co' ın Zn—O kafesine eklenmesiyle mikroyapısal özelliklerdeki meydana gelen değişiklikler nedeniyle metal-oksijen titreşim frekansına atanır (Gandi ve ark., 2014). ∼1056 cm−1 civarındaki bantlar, Zn(1-x)CoxO yapısındaki oksit iyonlarının titreşim modları arasındaki rezonans etkileşiminin asimetrik gerilmesine sahip omuzlar olarak bilinmektedir (Gandi ve ark., 2014). T numunesi için ZnO'nun tepe konumunda bir kayma görülmüştür. Pushpa ve Kokila, ZnO bantlarının tepe konumundaki kaymanın, ortamında kobaltın varlığından

rahatsız olan Zn–O–Zn ağını yansıttığını ifade etmişlerdir (Danesh ve ark., 2020). Bu kayma B ve S örneklerinde görülmemiştir.



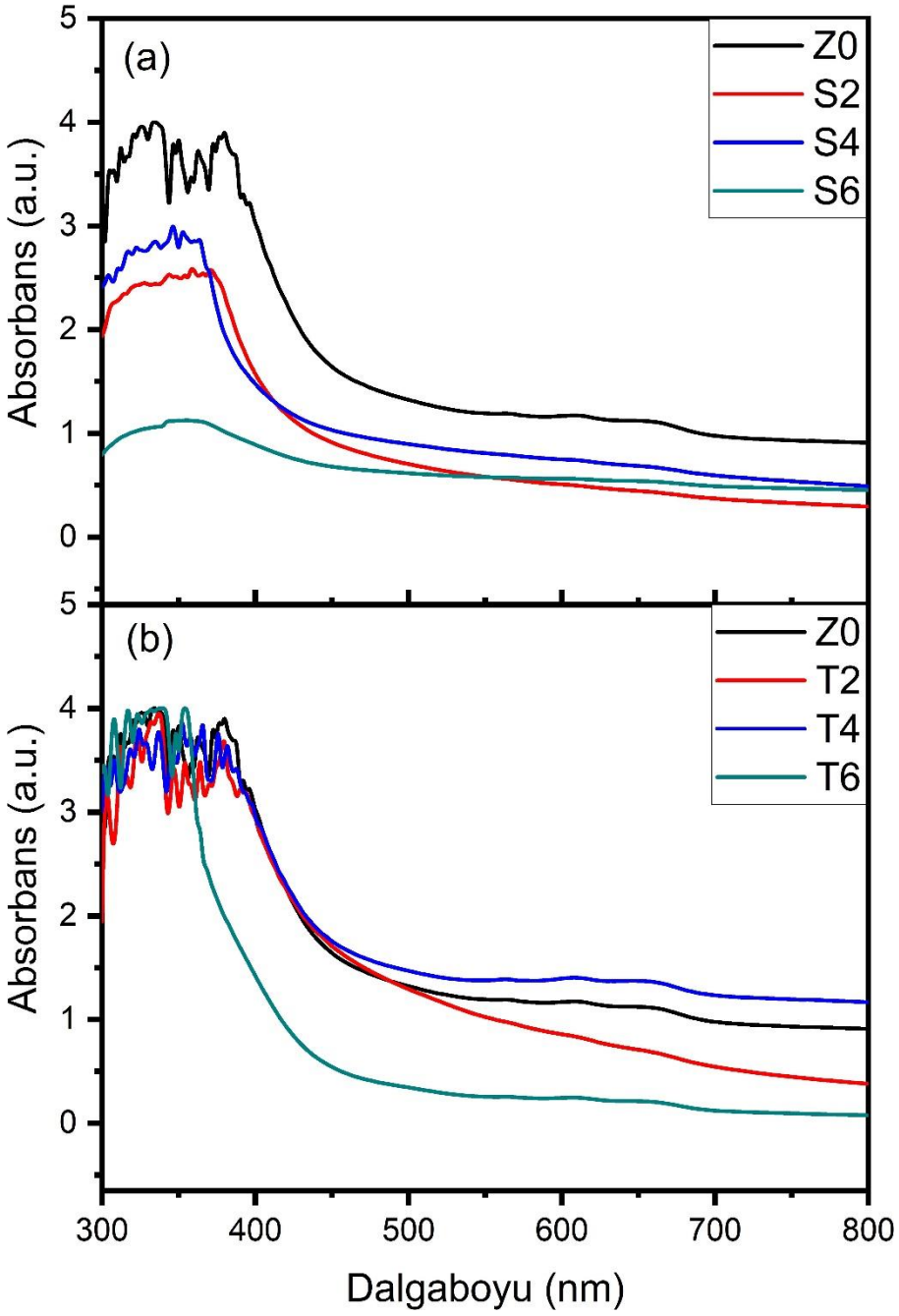
Şekil 4.7. Co: ZnO ince filmlerin (Z0,T ve S) FT-IR spektrumları



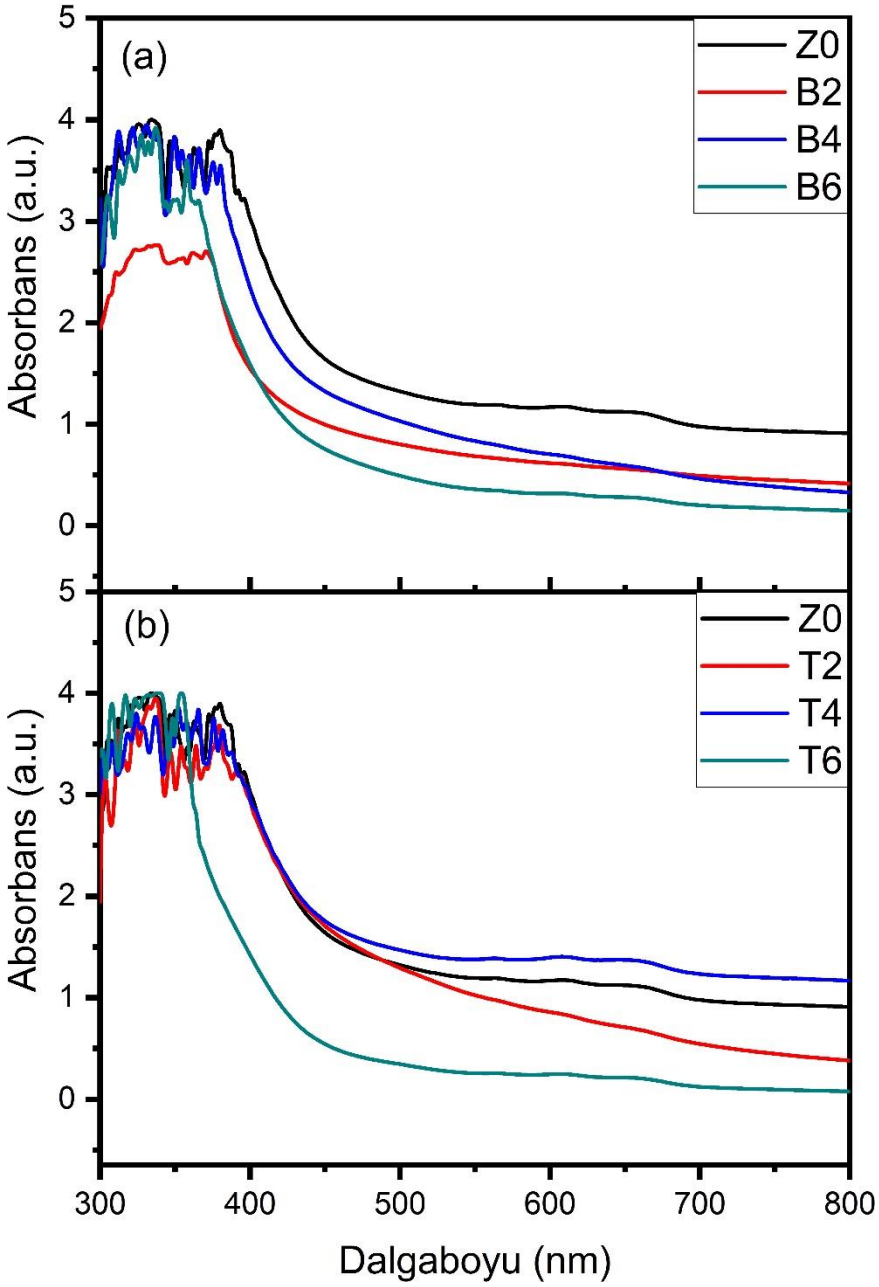
Şekil 4.8. Co: ZnO ince filmlerin (Z0,T ve B) FT-IR spektrumları

4.4. Filmlerin UV-Vis Analizi

Co:ZnO ince filmlerin UV-Vis absorpsiyon spektrumu 300-900 nm aralığında elde edilmiştir. Bu spektrumlar Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.'de görülebilir. Katkısız ZnO filmi 477 nm'de bant kenarı gösterirken, kobalt katkılı filmler 422 ve 528 nm arasında bant kenarı gösterdi. Co katkılı ZnO durumunda, dört yüzlü Co(II) (Elilarassi ve Chandrasekaran, 2013) için 4A2 temel durumundan 4T1(P) durumuna elektronik geçişler nedeniyle absorpsiyon tepe noktalarının ortaya çıkması beklenir. Optik absorpsiyon kenarı, artan kobalt içeriğine bağlı olarak bir kayma sergiler. Saf ZnO ince film ile karşılaştırıldığında, kobalt katkılı ince filmlerin S6 numunesi dışında UV-Vis spektrumundan hafif maviye kayma gösterdiği görülebilir. Soğurma kenarındaki mavi kayma, uygun miktarda katkı maddesinin ardından azalan ZnO tane boyutuna ve artan taşıyıcı konsantrasyonuna sahip bir yarı iletkende meydana gelen bir dejenerasyona bağlanabilir (Mohan, 2012).



Şekil 4.9. ZnO, Co: ZnO ince filmlerin (Z0,T ve S) UV-Vis absorpsiyon spektrumları



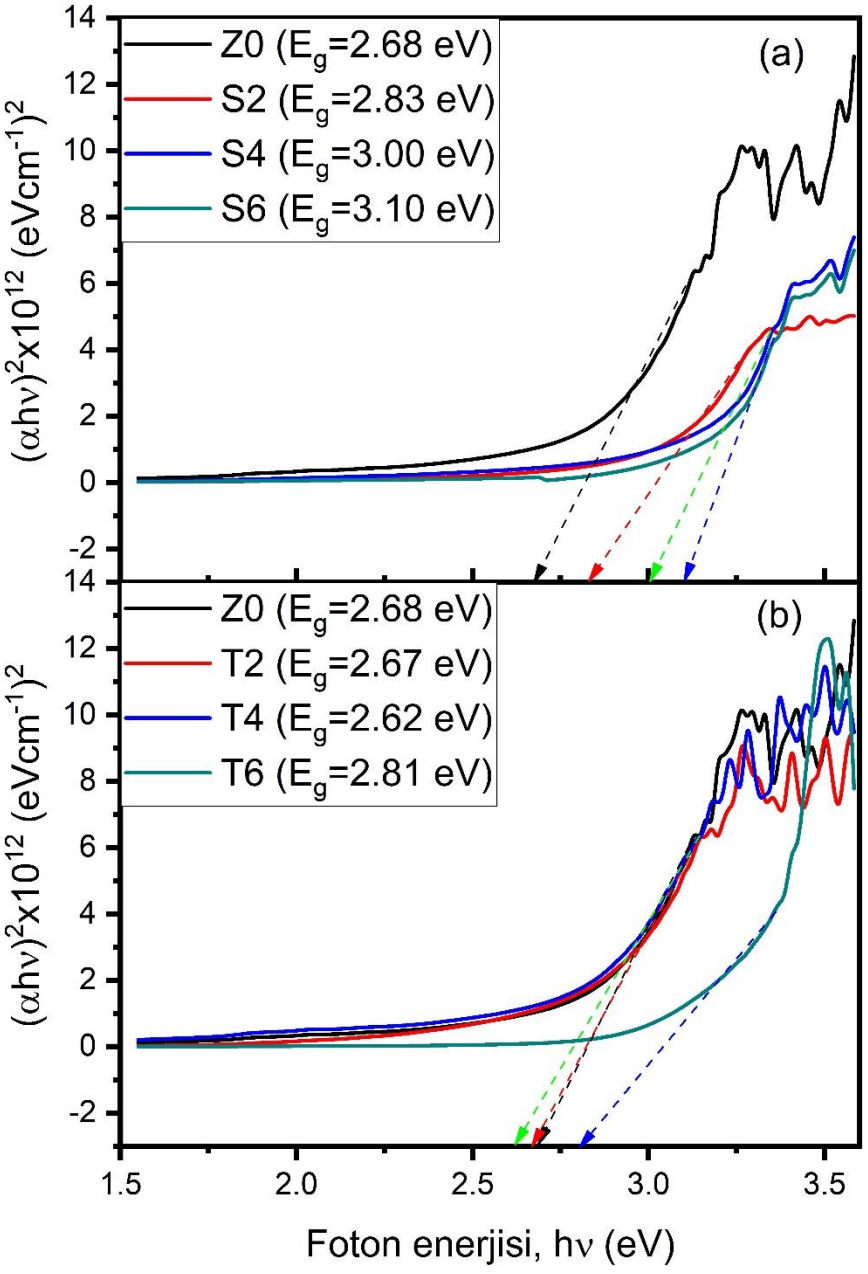
Şekil 4.10. ZnO, Co: ZnO ince filmlerin (Z0,T ve B) UV-Vis absorpsiyon spektrumları

Ayrıca, ZnO, Co:ZnO filmlerinin optik bant aralığı, denklem 4.2' ye göre Tauc modeli kullanılarak hesaplandı (Denkelem 4.2).

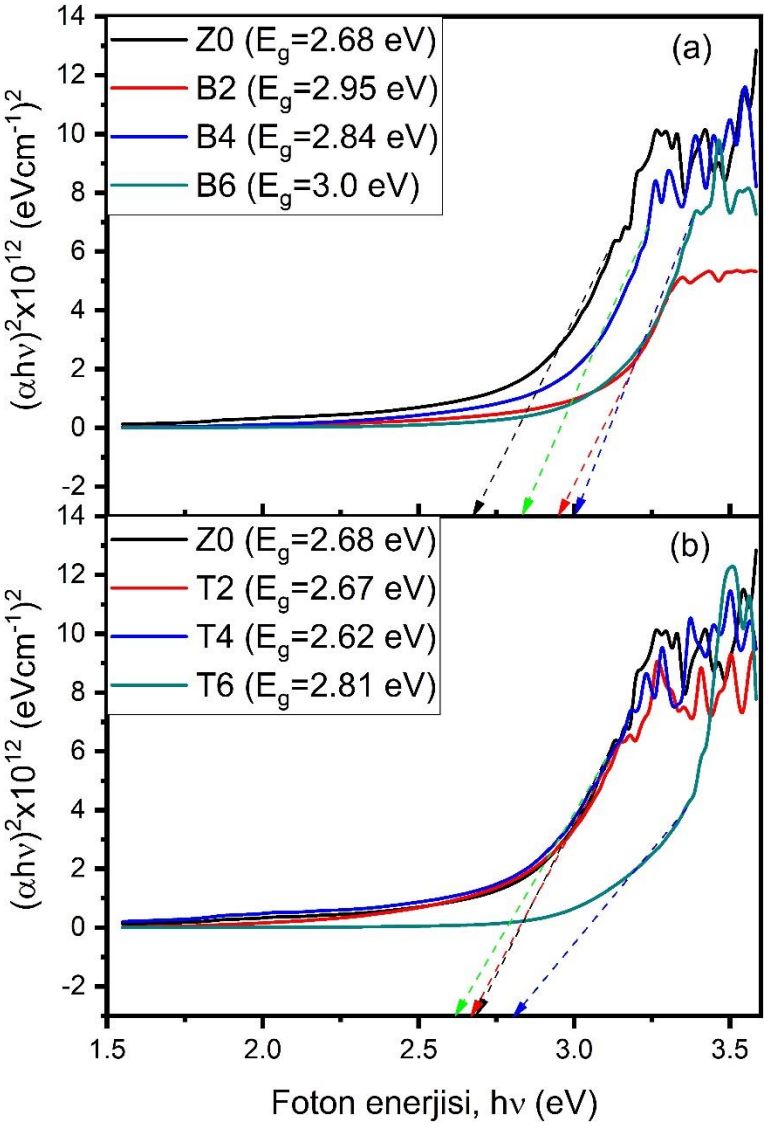
$$(Ah\upsilon)^2 = A\,(h\upsilon - Eg) \qquad (4.2)$$

Burada A bir orantı sabitidir, hν gelen ışığın foton enerjisidir ve Eg optik bant aralığıdır. Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de gösterildiği gibi, filmler için bant boşlukları

2.79 ile 3.13 eV arasında bulundu. Bant aralığı enerji değişimi, morfolojik, atomik uzaklık, biriken filmlerdeki tane boyutu değişikliklerinden ve kristallerdeki gelişmelerden kaynaklanabilir (Saravanakumar ve ark., 2012). S ve B örnekleri için hesaplanan optik bant aralığı değeri kobalt içeriğine bağlı olarak biraz artar ve Co:ZnO ince filmler için elde edilen bant aralıkları saf ZnO'dan daha büyüktür. Bu değerler, Deepa Rani ve arkadaşlarının (2021), Co'nun katkısı ile bant aralığının arttığını gösteren çalışmasıyla uyumludur. Ayrıca, Burstein Moss etkisi ile uyumlu olarak bant aralığında bir artış görülmektedir. T2 ve T4 örneklerinin bant aralığı, Co ile ilişkili yük transfer geçişi ve ZnO'nun bant elektronları ile Co^{2+} katyonlarının delokalize elektronları arasındaki etkileşimleri nedeniyle Co katkılama ile azalmaktadır (Sakamoto ve ark., 2013).



Şekil 4.11. Hazırlanan ince filmlerin (Z0, T ve S) optik bant aralığı



Şekil 4.12. Hazırlanan ince filmlerin (Z0,T ve B) optik bant aralığı

Kırılma indisi, Denklem 4.3' te verilen Hervé ve Vandamme formülü kullanılarak hesaplandı (P. Herve ve Vandamme,1994). Co: ZnO ince filmlerin kırılma indisi değerleri Çizelge 4.3. 'de verilmiştir (Denklem 4.3).

$$n = \sqrt{1 + \left(\frac{13.6}{Eg + 3.47}\right)^2} \qquad (4.3)$$

Burada n ve Eg sırasıyla kırılma indisi ve bant aralığı enerjisi olarak adlandırılır. ZnO'nun kırılma indisinin 2.39 eV civarında olduğu bulunmuştur. Bu değer kobalt içeriğine bağlı olarak azalmıştır. Demircan ve ark. (2021), malzemelerin kırılma

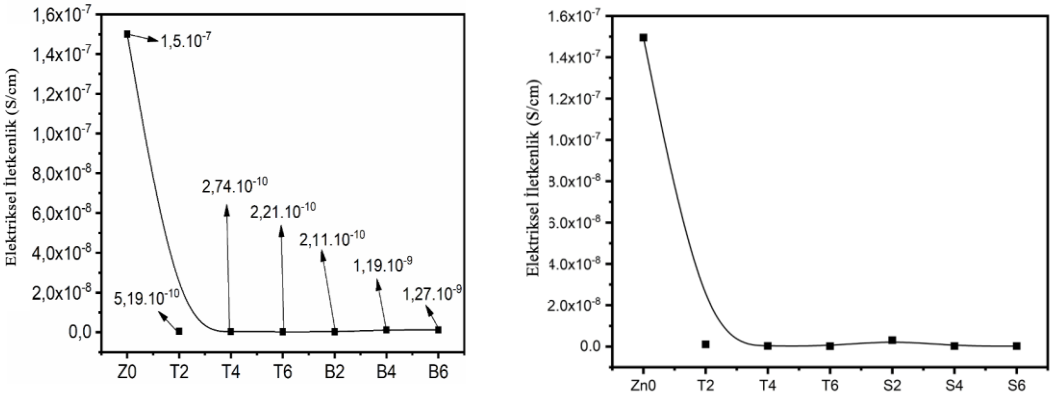
indisleri düşükse görünür bölgede saydam olduklarını ifade etmişlerdir (Demircan ve ark., 2021). Sonuçlarımız, filmlerin kırılma indisinin 2.299-2.447 eV civarında elde edildiğini göstermektedir. ZnO ile Co' a yapılan katkıya bağlı olarak kırılma indisi değerleri biraz azalmıştır.

Çizelge 4.3. Co: ZnO ince filmlerin bant aralığı ve kırılma indisi değerleri

Örnek kodları	Eg (eV)	n
Saf	2.68	2.427
T2	2.67	2.430
T4	2.62	2.447
T6	2.81	2.385
S2	2.83	2.379
S4	3.00	2.328
S6	3.10	2.299
B2	2.95	2.379
B4	2.84	2.328
B6	3.00	2.299

4.5. Filmlerin Elektriksel İletkenlikleri

Katkısız ve Co katkılı ZnO ince filmlerin elektriksel iletkenlikleri Fytronix 9000 Two Probe Elektriksel iletkenlik ölçüm sistemi ile ölçülüp grafik Şekil 4.13.'de gösterilmiştir. Elektriksel iletkenlik T ve S filmlerinde azalırken B filmlerinde artış göstermiştir. ZnO ince filmin elektriksel iletkenliği 1.5 10^{-7} (S/cm) olarak elde edilmiştir. Kobalt katkı miktarı %0'dan %6 arttıkça iletkenlik 1,5 ± 10^{-7}'den 2,26 ± 10^{-10}' a (S/cm) a düşmüştür. Shane O'Brien ve arkadaşlarına göre ZnO'nun tükenmiş elektronlarındaki moleküler oksijenin O^{2-}, O^{-} ve O^{2-}'ye dönüştüğü ifade edilmiştir. Ayrıca, filmin yüzey kusurlarına ve tane sınırlarına dahil olan iyonlar, iletim sürecini önleyen bir bariyer potansiyeli oluşturur ve film yüzeyinin altında bir boşluk yükü tabakası oluşturulur. Bu katman, pozitif donör iyonlar ve negatif yüklü iyonik oksijen tarafından oluşturulur. Sonuç olarak numunenin direnci artar ve buna bağlı olarak numunenin elektriksel iletkenliği azalır (O'Brien ve ark., 2010). Doping seviyesinin artmasıyla elektriksel iletkenliğin azalması, kobalt atomlarının potansiyel bariyerlerin artmasında rol oynayan tane sınırlarına ayrılmış bir parçası ile açıklanabilir, bu yorum literatürden elde edilen benzer sonuçlarla tutarlıdır (Benramache ve ark., 2014).



Şekil 4.13. Katkısız ve Co katkılı ZnO ince filmlerin elektriksel iletkenlikleri

Çizelge 4.4. Kobalt katkılı ZnO ince filmlerin elektriksel iletkenlikleri

Film kodları	Elektriksel İletkenlik (S/cm)
Z0	$1.5\ 10^{-7}$
T2	$5.19\ 10^{-10}$
T4	$2.74\ 10^{-10}$
T6	$2.21\ 10^{-10}$
B2	$2.11\ 10^{-10}$
B4	$1.19\ 10^{-9}$
B6	$1.27\ 10^{-9}$
S2	$3.07\ 10^{-9}$
S4	$2.23\ 10^{-10}$
S6	$2.26\ 10^{-10}$

4.6. Radyasyon Zırhlama Parametreleri Sonuçları

Bu tez çalışmasında üretilen konjuge NN ligantlı kobalt katkılı ZnO filmlerin (Z0, T2, T4, T6, B2, B4 ve B6) ayrıca radyasyon zırhlama özellikleri de incelenmiştir. Üretilen ince filmlerin özellikleri çizelge 4.5.'de verilmiştir. İnce film numunelerindeki her bir elementin kesri (%) çizelge 4.6.'da verilmiştir. Hazırlanan ince filmlerin kütle soğurma katsayısı (MAC), lineer soğurma katsayısı (LAC) ortalama serbest yol (MFP), yarı değer kalınlık (HVL) ve etkin atom numaraları (Zet) 186,1-1764,5 keV enerji aralığında deneysel olarak ölçülmüş ve bu parametrelerden kütle soğurma katsayısının teorik sonuçları da tezde verilmiştir. Numunelerin hızlı

nötronlara karşı koruma potansiyeli makroskopik tesir kesiti değerleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. Ayrıca 15-15000 keV enerji aralığında maruz kalma buildup faktörleri (EBF) 1-40 ortalama serbest yola (mfp) kadar hesaplanmıştır. Üretilen filmlerin nükleer güvenlik uygulamaları için kütle durdurma gücü (MSP) ve menzil değerleri (PR), SRIM kodu kullanılarak proton ve alfa parçacıkları için hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. Üretilen ince filmlerin özellikleri

Numune kodu	Dopants (wt.%), Theo.			Yoğunluk (gr/cm3)	Zort.
	ZnAc	$Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$	$C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ Komplex		
Z0	100	0	0	3.2471	5.3333
T2	98	2	-	3.2477	5.3207
T4	96	4	-	3.2483	5.3082
T6	92	6	-	3.2488	5.2958
B2	98	-	2	3.2406	5.3367
B4	96	-	4	3.2342	5.3402
B6	92	-	6	3.2278	5.3436

Çizelge 4.6. İnce film numunelerindeki herbir elementin kesri (%)

Numune kodu	Zn	O	C	H	N	Cl	Co
Z0	0.8034	0.1966	-	-	-	-	-
T2	0.7874	0.1969	-	-	-	-	0.0157
T4	0.7713	0.1973	-	-	-	-	0.0315
T6	0.7552	0.1976	-	-	-	-	0.0472
B2	0.7874	0.1927	0.0113	0.0006	0.0019	0.0033	0.0028
B4	0.7713	0.1887	0.0226	0.0012	0.0039	0.0067	0.0055
B6	0.7552	0.1848	0.0339	0.0019	0.0059	0.0100	0.0083

4.6.1. Kütle ve lineer soğurma katsayıları (MAC, LAC)

Kütle soğurma katsayılarının ölçümündeki maksimum deneysel hata aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 4.4).

$$\Delta\left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \frac{1}{\rho t}\left\{\left(\frac{\Delta I_0}{I_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left[ln\left(\frac{I_0}{I}\right)^2\right]\left[\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2\right]\right. \quad (4.4)$$

Burada ΔI_0, ΔI, ve Δt sırasıyla I_0 ve I şiddetlerindeki, t kalınlığı ve r yoğunluğundaki hatalardır. Bu çalışmada gelen (Io) ve geçen (I) foton şiddetleri aynı deney şartları ve ölçüm sürelerinde belirlenmiştir. Kütle soğurma katsayısının ölçümündeki deneysel hatanın $\Delta\left(\frac{\mu}{\rho}\right) \leq 4.47$ olduğu bulunmuştur.

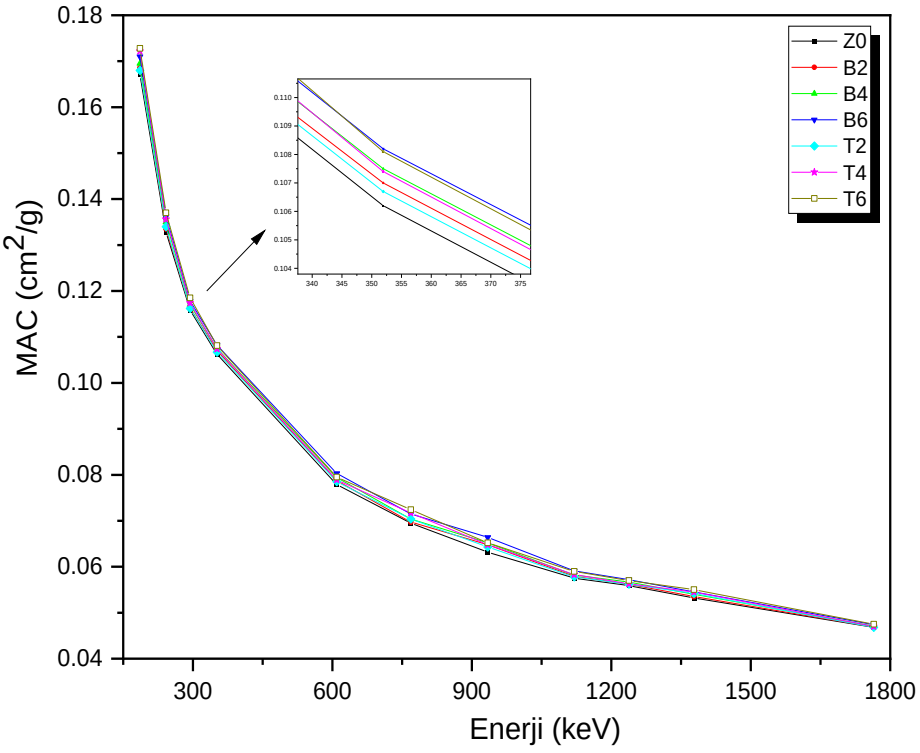
Deneysel ve teorik sonuçlar arasındaki rölatif standart sapma değerleri (RD, %) (4.5) ifadesiyle hesaplanarak deneysel ve teorik kütle soğurma katsayılarının sonuçları arasındaki rölatif standart sapmanın %0.185-5.828 aralığında olduğu sonucuna

ulaşılmıştır. Bu sonuç deneysel ve teorik kütle soğurma katsayısı sonuçları arasındaki uyumun anlamlı olduğunu göstermektedir.

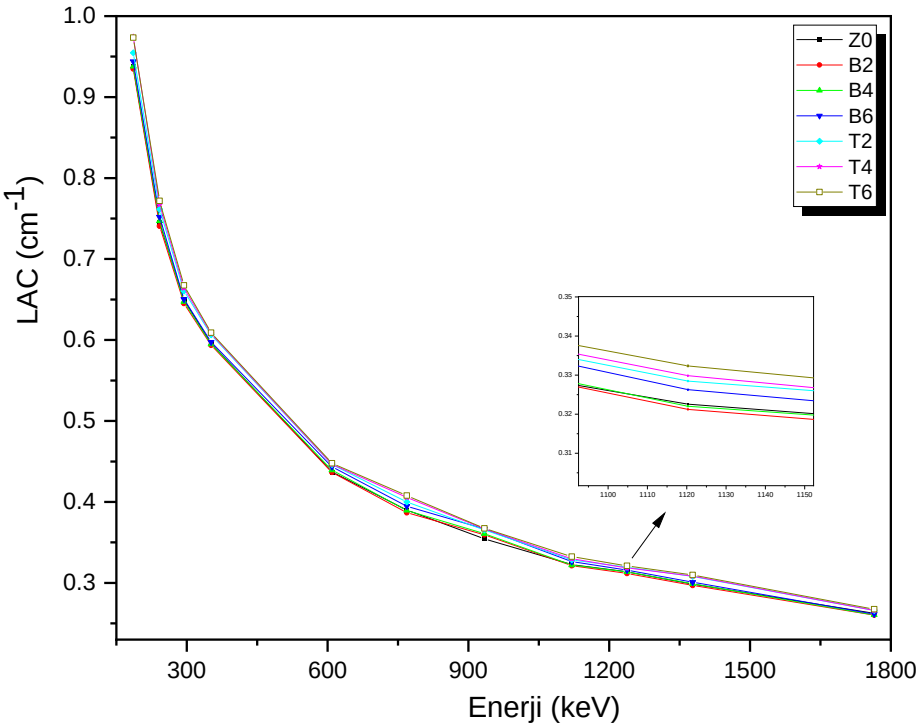
$$RD = \left| \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Deneysel.} - \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Teorik}}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Teorik}} \right| \times 100 \qquad (4.5)$$

186,1; 242.0; 294; 351,93; 609,31; 768,9; 934,06; 1120,3; 1238,1; 1377,7; 1764,5 keV enerji fotonlar kullanılarak Z0, T2, T4, T6, B2, B4 ve B6 ince filmlerinin gama ışını soğurma parametreleri (MAC, LAC, MFP, HVL ve Zet) (4.4.) eşitliği kullanılarak deneysel olarak belirlenmiş ve çizelge 4.7.' de verilmiştir.

Üretilen ince filmlerin MAC (cm2 /g) ve LAC (1/cm) değerlerinin foton enerjisi ile değişimi Şekil 4.14.ve Şekil 4.15.'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Üretilen ince filmlerin MAC (cm^2/g) değerlerinin foton enerjisi ile değişimi



Şekil 4.15. Üretilen ince filmlerin LAC (1/cm) değerlerinin foton enerjisi ile değişimi

Hazırlanan ince film numunelerin deneysel kütle (MAC) ve lineer (LAC) soğurma katsayıları sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4.15.'de verilmiştir. Şekil 4.14., Şekil 4.15. ve Çizelge 4.7.'den görüldüğü üzere MAC ve LAC değerleri foton enerjisine bağlıdır ve artan foton enerjisi ile azalma eğilimindedir. Bununla birlikte MAC ve LAC değerlerinin ince film numunelerin kimyasal kompozisyonuna da bağlı olduğu görülmektedir. Z0, B2, B4 ve B6 numunelerinde $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ konsantrasyonun artmasıyla ile deneysel MAC ve LAC değerlerinin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte Z0 ve T2, T4 ve T6 numuneleri kıyaslandığında $Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$ konsantrasyonunun artmasıyla MAC ve LAC değerlerinde artışın olduğu görülmektedir. ZnAc yapıya $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve $Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$ katkılandırılması ile Zn (Z=30) ve Co (Z=27) elementlerinin yakın atom numarasına sahip olmasından dolayı MAC ve LAC değerlerinde farklılıklar oluşturduğu gözlemlenmektedir. Çalışılan numunelerin bulk numunelerden ziyade ince film yapısında olması x- ve gama ışını spektroskopik analizlerde çoklu saçılma ve matris etkileri gibi istenmeyen parametrelerin bertaraf edilmesi açısından oldukça önemlidir. MAC için teorik hesaplama yapan XCOM ve verilerin XCOM'dan çekilmesiyle hazırlanmış mevcut bilgisayar programları numunenin kristal yapısını dikkate almamaktadırlar. Bu

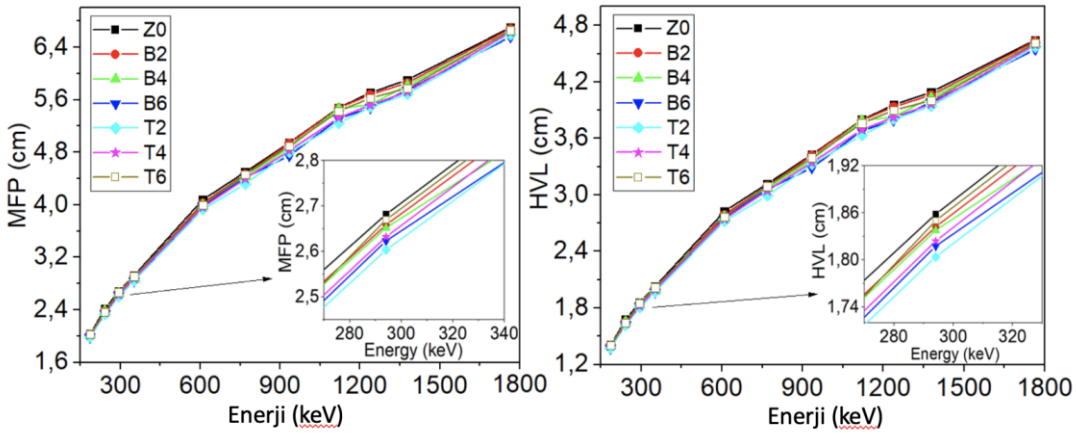
bağlamda ince film numunelerin radyasyonla etkileşimlerinin sunulduğun bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar oldukça önemlidir. İncelenen enerji aralığında ZnAc filmine farklı kimyasal yapılı Co katkısının yapılmasının numunelerin foton soğurma kabiliyetinde artışa sebep olduğu sonucunu çıkarabiliriz.

Çizelge 4.7. İnce film numunlerin 186,1- 1764,5 keV foton enerji bölgesindeki MAC (cm^2/g) değerleri

Enerji (keV)	**Z0** $(\mu_m)_{Dny.}$	$(\mu_m)_{Teo.}$	**T2** $(\mu_m)_{Dny.}$	$(\mu_m)_{Teo.}$	**T4** $(\mu_m)_{Dny.}$	$(\mu_m)_{Teo.}$	**T6** $(\mu_m)_{Dny.}$	$(\mu_m)_{Teo.}$	**B2** $(\mu_m)_{Dny.}$	$(\mu_m)_{Teo.}$	**B4** $(\mu_m)_{Dny.}$	$(\mu_m)_{Teo.}$	**B6** $(\mu_m)_{Dny.}$	$(\mu_m)_{Teo.}$
186.1	0.1671± 0.0127	0.1661	0.1680± 0.0134	0.1658	0.1712± 0.0057	0.1655	0.1728± 0.0090	0.1652	0.1685± 0.0139	0.1655	0.1695± 0.0093	0.1648	0.1710± 0.0056	0.1642
242.0	0.1328± 0.0102	0.1310	0.1340± 0.0106	0.1309	0.1356± 0.0045	0.1308	0.1370± 0.0071	0.1306	0.1335± 0.0113	0.1308	0.1350± 0.0075	0.1306	0.1362± 0.0046	0.1304
294.1	0.1158± 0.0086	0.1142	0.1162± 0.0094	0.1141	0.1174± 0.0040	0.1140	0.1185± 0.0062	0.1139	0.1163± 0.0096	0.1141	0.1170± 0.0064	0.1140	0.1178± 0.0039	0.1140
351.93	0.1062± 0.0079	0.1024	0.1067± 0.0085	0.1023	0.1074± 0.0036	0.1023	0.1081± 0.0055	0.1022	0.1070± 0.0088	0.1024	0.1075± 0.0059	0.1024	0.1082± 0.0036	0.1024
609.31	0.0779± 0.0058	0.0771	0.0785± 0.0063	0.0771	0.0789± 0.0027	0.0770	0.0795± 0.0042	0.0770	0.0787± 0.0064	0.0772	0.0794± 0.0043	0.0772	0.0803± 0.0026	0.0773
768.9	0.0695± 0.0052	0.0687	0.0704± 0.0056	0.0687	0.0717± 0.0024	0.0687	0.0724± 0.0037	0.0686	0.0697± 0.0057	0.0688	0.0704± 0.0038	0.0688	0.0715± 0.0023	0.0689
934.06	0.0632± 0.0047	0.0623	0.0643± 0.0051	0.0623	0.0648± 0.0022	0.0623	0.0652± 0.0033	0.0623	0.0648± 0.0053	0.0624	0.0652± 0.0035	0.0625	0.0664± 0.0022	0.0625
1120.3	0.0575± 0.0043	0.0568	0.0578± 0.0047	0.0568	0.0583± 0.0020	0.0567	0.0590± 0.0031	0.0567	0.0579± 0.0047	0.0568	0.0582± 0.0031	0.0569	0.0591± 0.0019	0.0570
1238.1	0.0559± 0.0042	0.0539	0.0562± 0.0044	0.0539	0.0563± 0.0019	0.0539	0.0570± 0.0029	0.0539	0.0562± 0.0046	0.0540	0.0567± 0.0031	0.0541	0.0572± 0.0019	0.0542
1377.7	0.0532± 0.0040	0.0511	0.0542± 0.0043	0.0511	0.0545± 0.0018	0.0511	0.0550± 0.0028	0.0511	0.0535± 0.0045	0.0512	0.0540± 0.0030	0.0512	0.0545± 0.0018	0.0513
1764.5	0.0468± 0.0035	0.0452	0.0468± 0.0037	0.0452	0.0470± 0.0016	0.0452	0.0475± 0.0024	0.0452	0.0469± 0.0038	0.0453	0.0471± 0.0025	0.0454	0.0474± 0.0016	0.0454

4.6.2. Otalama serbest yol (MFP) ve yarım değer kalınlığı (HVL)

MFP ve HVL parametreleri, malzemenin radyasyon zırhlama etkinliğini belirler. Üretilen ince filmlerin MAC değerlerinden ve yoğunluklarından yararlanılarak 186,1-1764,5 keV enerji aralığında MFP ve HVL değerleri elde edilmiştir. İnce film numunelerin MFP ve HVL değerlerinin enerji ile değişimi sırasıyla Şekil 4.16.'da verilmiştir. Şekil 4.16.'da görülebileceği gibi, MFP ve HVL değerleri, %6 $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve %6 CoO katkılı B6 ve T6 ince film numuneler için çalışılan foton enerjileri aralığında en düşüktür. B ve T serisinde konsantrasyonunun azalmasıyla MFP ve HVL değerlerinin azalmaktadır. Daha düşük MFP ve HVL değerleri üstün radyasyon kalkanı sağlar. MFP ve HVL değerlerinin bilinmesi radyasyon şiddetini azaltmak için gerekli malzeme kalınlığının belirlenmesinde çok önemlidir. Literatürde ince film kalınlıklarının hassas bir şekilde belirlenmesinde soğurma deneylerinden (Lambert-Beer kanunu) faydalanılan çalışmaların olduğu da görülmektedir.

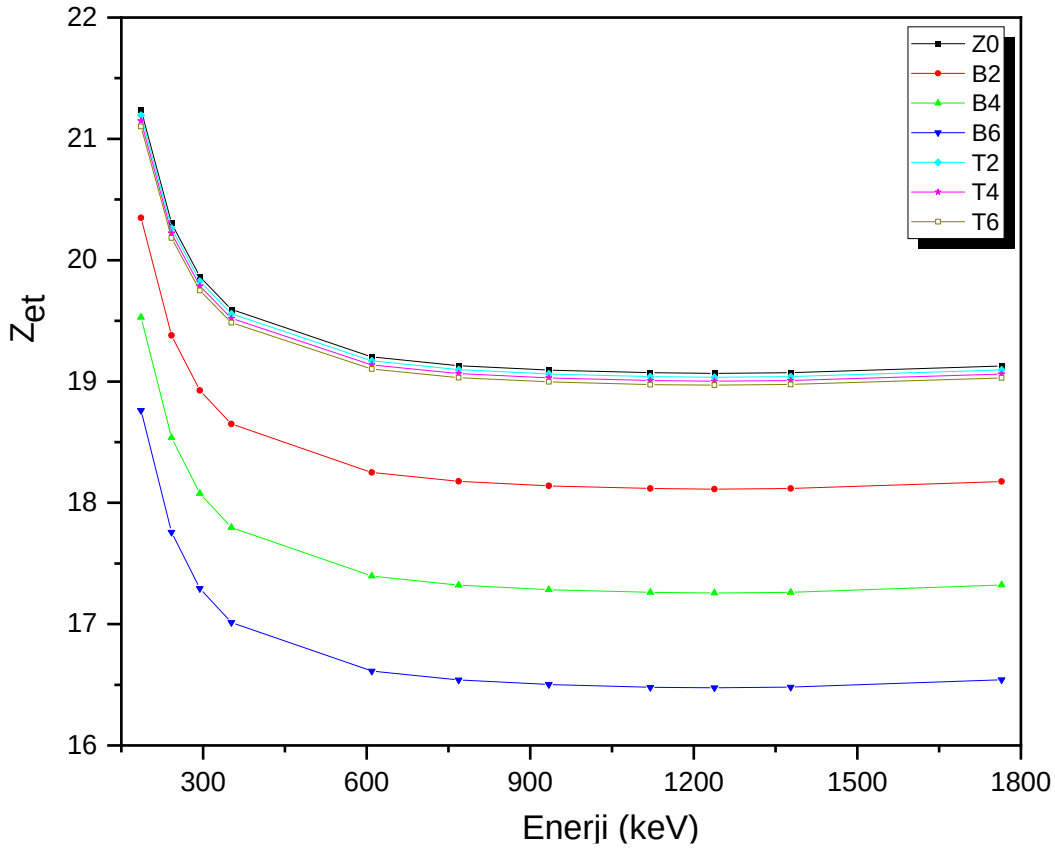


Şekil 4.16. Üretilen ince filmlerin MFP ve HVL (cm) değerlerinin foton enerjisi ile değişimi

4.6.3. Etkin atom numarası (Zet)

Üretilen filmlerin etkin atom numarasının (Zet) foton enerjisi ile değişimi Şekil 4.17.'de verilmiştir. Etkin atom numarasının deneysel değerlerinin çalışılan enerji bölgesinin düşük olan enerji değerlerinde en yüksek olduğu ve genel olarak ince filmlerin Zet değerlerinin artan foton enerjisi ile azaldığı Şekil 4.17.'den görülmektedir. Ayrıca Zet değerleri cam numunelerdeki katkı konsantrasyonuna da bağlıdır. B serisinde $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve T serisinde Co $(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$

konsantrasyonunun artmasıyla Zet değerleri azalmaktadır. Zet, T serisindeki numunelerde birbirine yakın değerler almıştır. T serisinde numunelerin yoğunluk değerlerinin birbirine daha yakın olduğu da çizelge 4.5.'den görülmektedir.



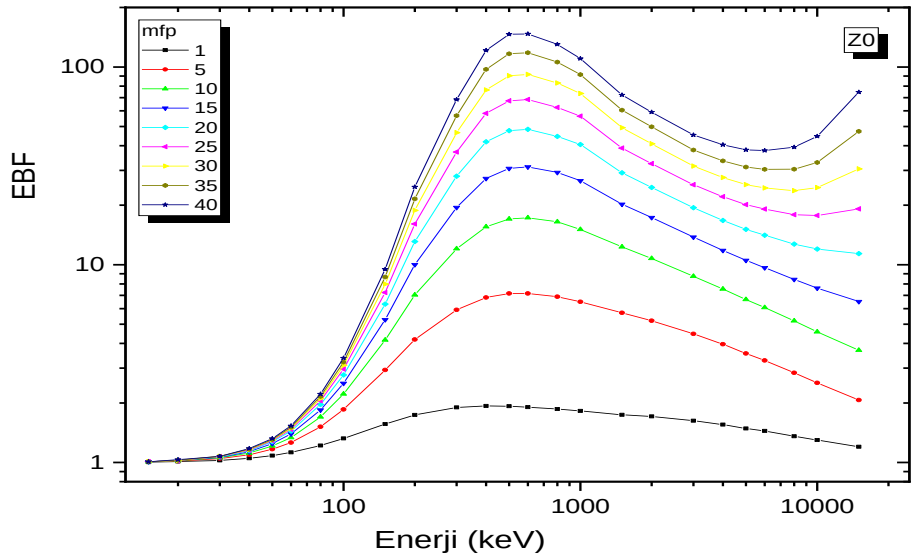
Şekil 4.17. Üretilen ince filmlerin Zet değerlerinin foton enerjisi ile değişimi

4.6.4. Maruz kalma buildup faktörü (EBF)

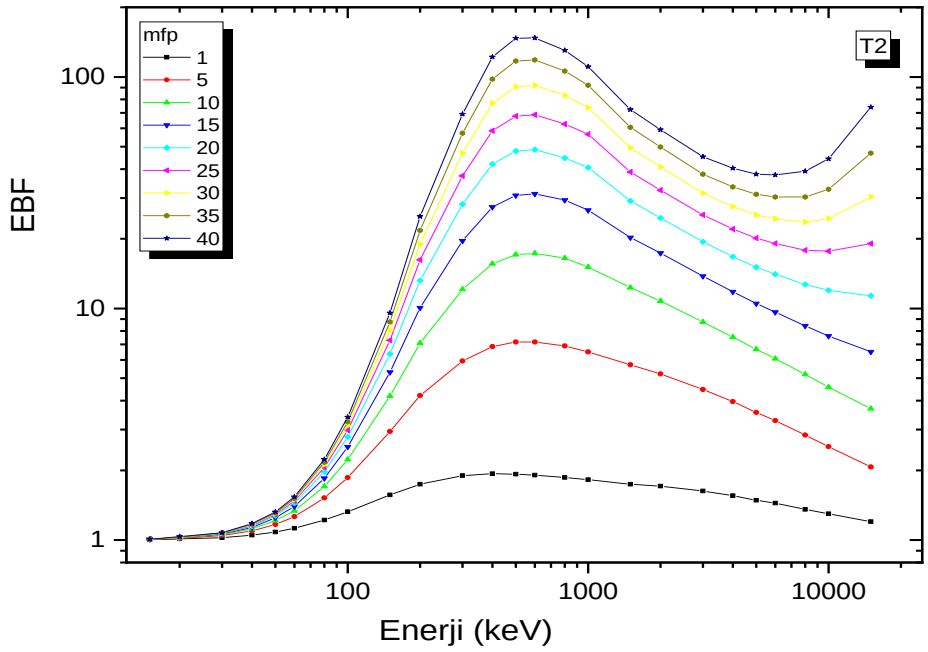
Üretilen filmler için buildup faktörleri (EBF) 15-15000 keV enerji aralığında ve 1-40 ortalama serbest yol (mfp) için hesaplanmış ve Şekil 4.18-4.24.'de verilmiştir. Şekil 4.18-4.24'den görüldüğü gibi düşük enerji bölgesinde EBF değerleri en küçüktür. Bu durum, fotoelektrik etkinin hüküm sürdüğü düşük enerjilerde fotonların ya tamamen yok olması ya da enerjilerinin çoğunu kaybetmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu bölgede çoğu foton numune içinde soğrulur ve bu EBF değerlerinin küçük olmasına neden olur. Foton enerjisi ve nüfuz etme derinliğinin artmasıyla EBF artmaktadır. Bu artışların şiddetinin ince filme katkılandırılan $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve Co $(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$ bileşiklerinin numune içindeki konsantrasyonunun artmasıyla arttığı

dikkat çekmektedir. EBF'nin foton enerjisi ve nüfuz etme derinliğine karşın çizilen grafiklerden görüldüğü üzere EBF maksimumu yüksek enerjili bölgeye doğru kaymaktadır. 0,1 MeV'den sonra Compton saçılmasının baskın olması nedeniyle ikincil saçılmalar artmaya başlar. Fotonlar enerjisini çok az kaybeder ya da ikincil saçılmalardan dolayı numune içinden kuvvetlenerek çıkar. Bu durum EBF değerlerinin bu çalışmada üretilen ince filmlerdeki en yüksek değerleri almasına sebep olur. Yaklaşık olarak 1 MeV'in ötesinde EBF değerleri azalmaya başlamaktadır. Bu enerji bölgesinde çift oluşum süreci etkili olmaktadır. Tıpkı fotoelektrik etkide olduğu gibi bu süreçte de fotonlar enerjilerini büyük oranda kaybederler veya yok olurlar. Numune içeriğine bağlı olarak ikincil saçılmalar meydana gelerek fotonların kuvvetlendirilme durumu da söz konusudur. Şekil 4.18-4.24.'ten görüldüğü gibi nüfuz etme derinliği arttıkça EBF değerlerinin arttığı görülmektedir. Enerji ile birlikte EBF değerlerinin numunenin kimyasal kompozisyonuna da bağlı olduğu görülmektedir. Şekil 4.18-4.24 incelendiğinde üretilen ince film numunelerde %6 $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve %6 $Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$ içeren B6 ve T6 numunelerinin en düşük EBF değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Zırhlama çalışmalarında EBF değerlerinin düşük olması istenen bir durumdur. Nüfuz etme derinliğinin yüksek olduğu değerlerde 10 MeV'den sonra EBF değerlerinin yeniden arttığı da gözlemlenmektedir. Cam numunelerin nötron soğurma kabiliyetlerini belirlemek için etkin soğurma tesir kesiti (ΣR) hesaplanmıştır ve sütun grafiği olarak Şekil 4.25.'te verilmiştir. Z0, B2, B4,B6, T2, T4 ve T6 numunlerinde $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve $Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$ konsantrasyonları arttıkça ΣR değerleri artmıştır. Bu artmanın sebebi $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve $Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$ konsantrasyonunun artmasıyla numune yoğunluğunun azalmasıdır. Z0 numunesine %6 $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$' nun eklenmesiyle ∑R değerlerindeki artış, %6 $Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$'nun eklenmesinden elde edilen ΣR'den daha fazladır. Ayrıca hazırlanan ince filmlerin etkin soğurma tesir kesiti suyun etkin soğurma tesir kesitinden daha yüksektir (∑R=0,1023 cm-1). Elde edilen sonuçlar, hazırlanan ince filmlerin gama ışınlarını soğurmasının yanı sıra hızlı nötronları soğurmada da oldukça etkili olduğunu göstermektedir. $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve $Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$ katkılı ince filmler için SRIM yazılımı kullanılarak MSP ve PR değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.26. ve Şekil 4.27.'den proton (H1) ve alpha (He^{+2}) parçacıkları için 0.01-20 MeV enerjileri aralığında MSP ve PR değerlerinin değişimi verilmiştir. MSP değerleri H1

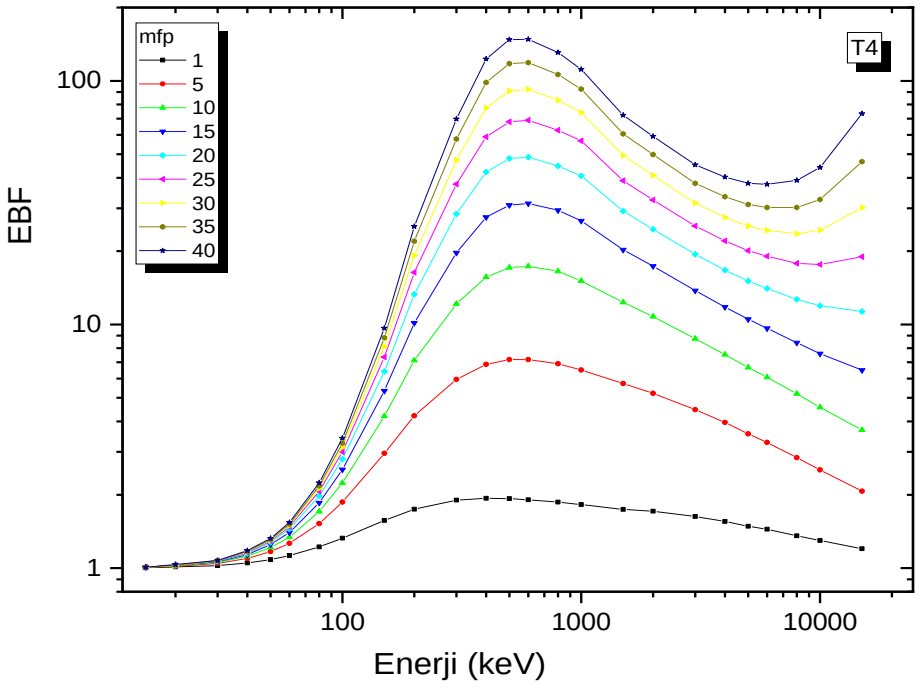
için 0,9 MeV ve He+2 için 1 MeV civarında maksimum olur Şekil 4.26. ve Şekil 4.27.'den görüldüğü gibi bu enerjilerden sonra keskin bir şekilde azalmaya başlar. Bununla birlikte H1 ve He+2 için en düşük MSP değerleri B serisinde B6 ve T serisinde T6 ya aittir. Ayrıca MSP değerinin yüksek enerji bölgesinde, cam numunelerin kimyasal içeriklerine bağlı olarak H1 ve He+2 parçacıkları için neredeyse sabit olarak değiştiği görülmüştür. Diğer önemli parametrelerden biri de PR değeridir. PR değerleri parçacığın durmak için girdiği alandan soğurulduğu nokta arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Durdurma gücü (PR) H1 ve He+2 için kinetik enerjinin değişiminden etkilenir. Şekil 4.26. ve Şekil 4.27.'de görüldüğü üzere B6 ve T6 numuneleri en düşük PR değerlerine sahiptir.



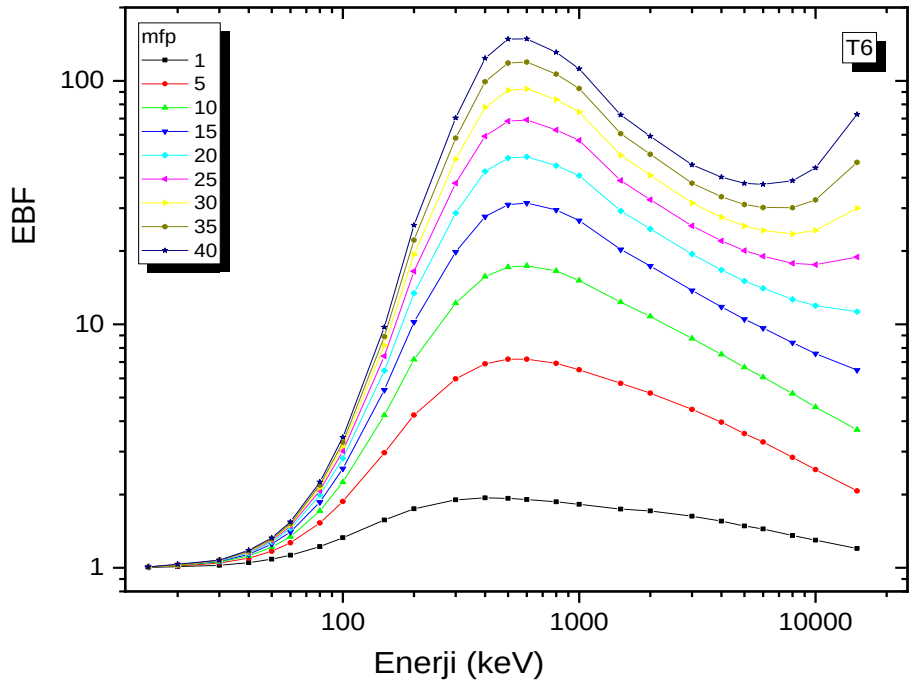
Şekil 4.18. Z0 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi



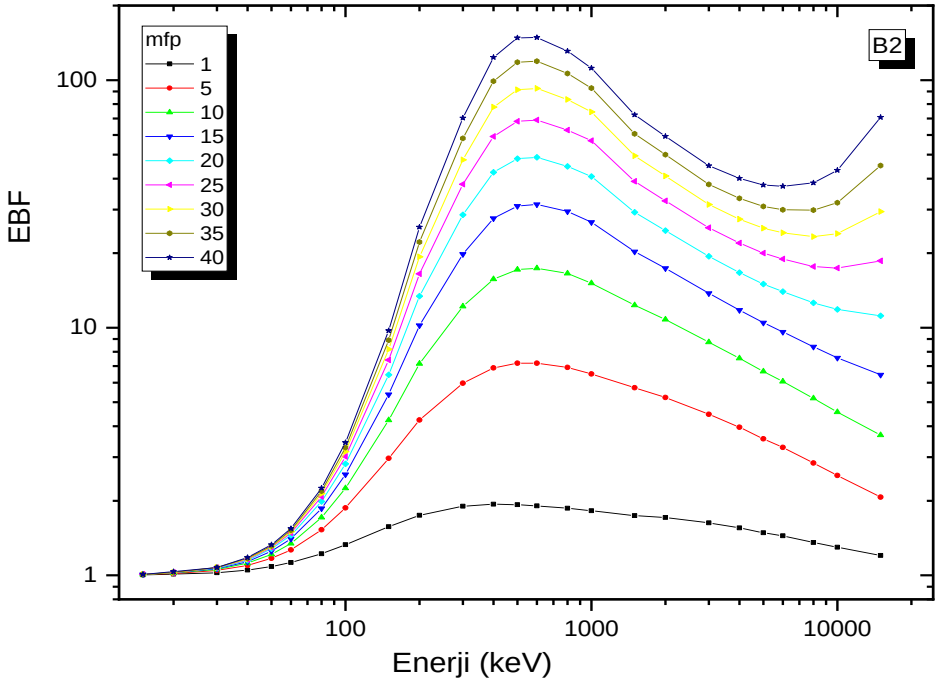
Şekil 4.19. T2 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi



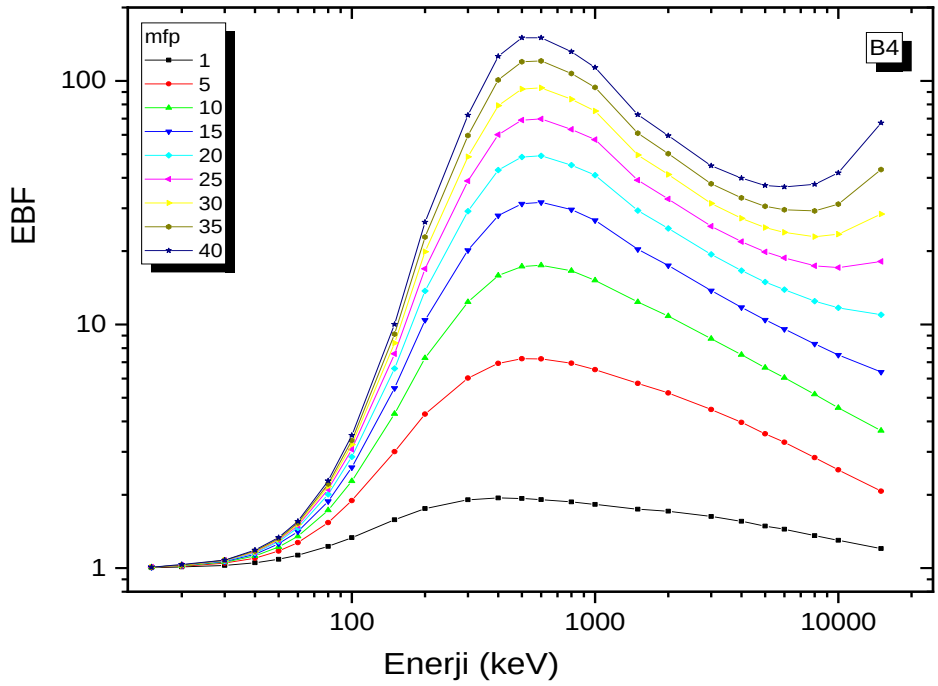
Şekil 4.20. T4 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi



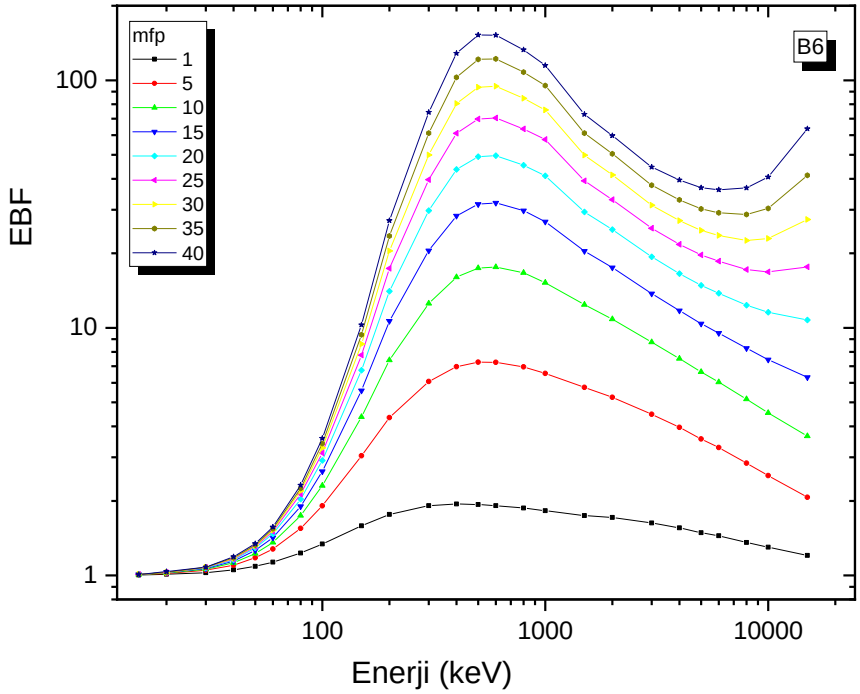
Şekil 4.21. T6 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi



Şekil 4.22. B2 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi



Şekil 4.23. B4 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi



Şekil 4.24. B6 numunesi için EBF değerlerinin 1-40 mfp nüfuz etme derinliklerinde 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi

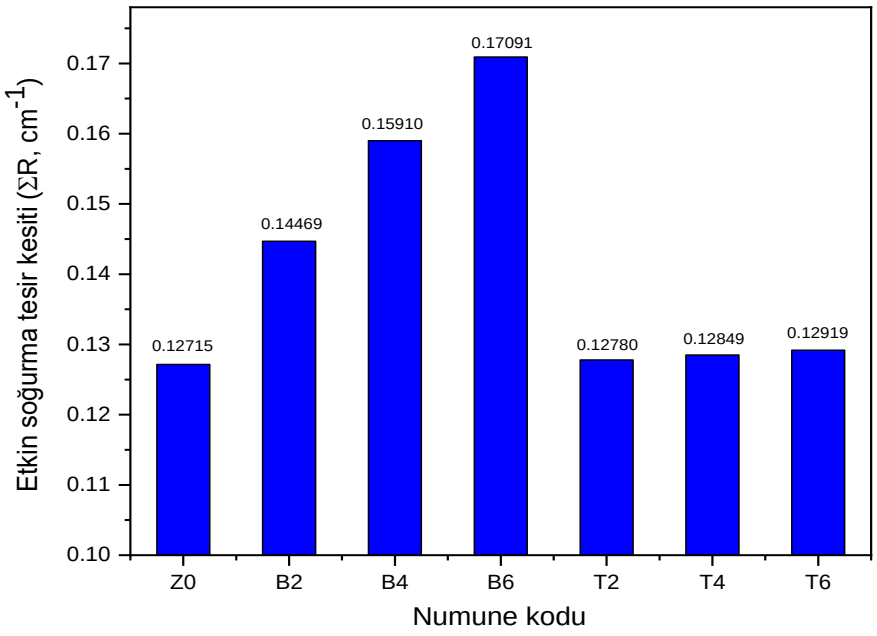
4.6.5. Hızlı nötronlar için etkin soğurma tesir kesiti

Hızlı nötronların maddeye nüfuz etme yetenekleri yüksektir. Hızlı nötronlar için etkin soğurma tesir kesitleri bir nötronun N adet atomla reaksiyon yapma ihtimali dikkate alınarak $\sum R$ ifadesinin hesaplanması ile bulunnabilir.

$$\sum R = \sum_i W_i \left(\sum_{R/\rho}\right)_i \tag{4.6}$$

Burada W_i ve $\left(\sum_{R/\rho}\right)_i$ sırasıyla kısmi yoğunluk (gr/cm^3) ve i. elementin soğurma tesir kesitidir.

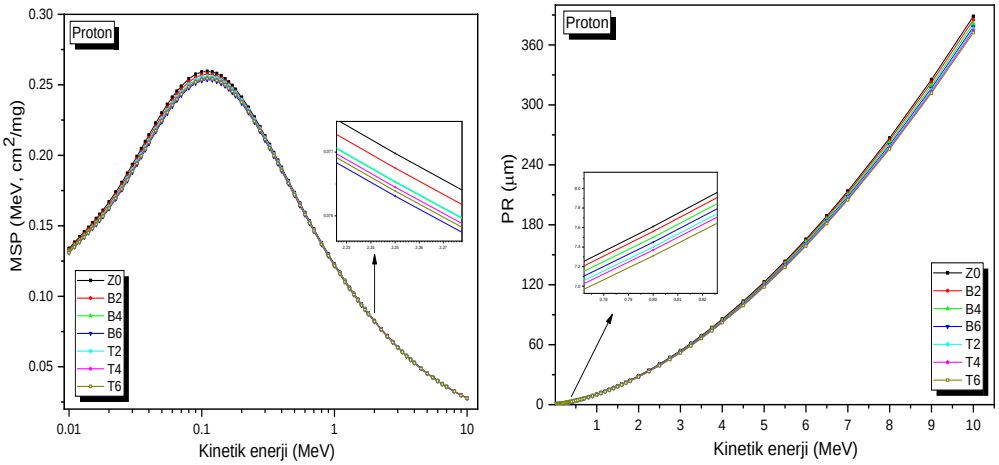
Şekil 4.25.'de verilmiştir.



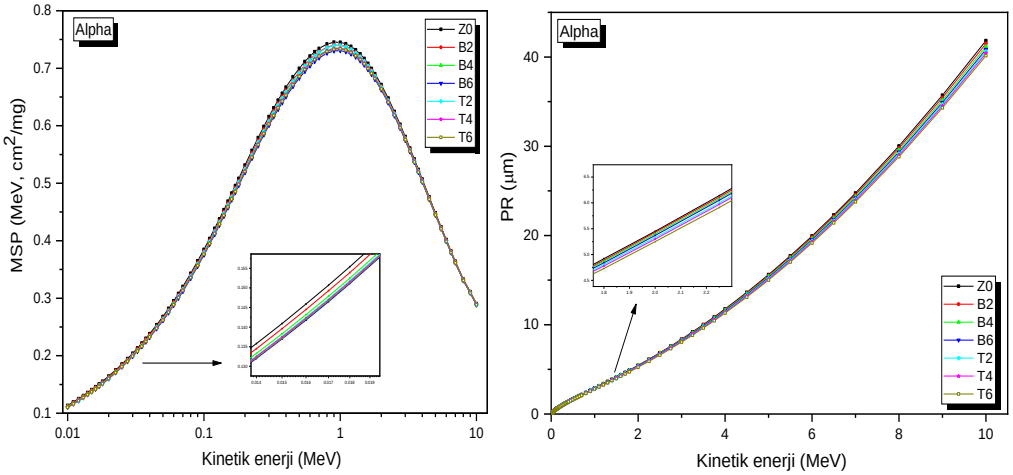
Şekil 4.25. Üretilen ince filmlerin hızlı nötronlar için etkin soğurma tesir kesiti değerleri

4.6.6. Kütle durdurma gücü ve menzil

Üretilen ince film numunelerin kütle durdurma gücü ve menzilleri protonlar için Şekil 4.26. ve alfa parçacıkları için Şekil 4.27.'de verilmiştir.



Şekil 4.26. Üretilen ince filmlerin protonlar için kütle durdurma gücü ve menzilin kinetik enerji ile değişimi



Şekil 4.27. Üretilen ince filmlerin alfa parçacıkları için kütle durdurma gücü ve menzilin kinetik enerji ile değişimi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada sol-jel spin kaplama tekniği kullanılarak saf, kobalt oksit ve konjuge NN ligantlı kobalt katkılı ince filmler üretilmiştir. Üretilen filmlerin yapısal ve optik özellikleri SEM, XRD, UV-Vis ve FT-IR spektroskopisi kullanılarak araştırılmıştır. XRD analizi tüm filmlerin yüksek oranda kristal faza ve altıgen kristal wurtzite yapıya sahip olduğunu, ayrıca kobalt katkısının ZnO wurtzite kristal yapısını değiştirmeden ZnO' de ikame edici bir katkı maddesi olarak davrandığını göstermiştir. Kırınım deseninde (002) tercihli yönelim piki oluşmuştur. Ayrıca (100), (002) ve (101) düzlemlerinde ZnO daha düşük açıya doğru kayma görülmüştür. Bu kaymalar filmlerde ZnO ve dış/iç gerilim bileşenlerinin iyonlaşmasından dolayı meydana gelmiştir (Şahzad ve ark.,2013).Tercihli yönelimlerin literatürde ZnO ile ilgili çalışmalarda mevcuttur (Aydın,2013). ZnO %4 ve %6 oranında Co katkısı (110) düzleminde bir artışa neden olmuştur.

Kaplamaların yüzey morfolojisi için SEM analizleri yapılıp bütün yüzey kaplamalarının kararlı olduğu tespit edilmiş ve ayrıca yüzeylerde nanofiber benzeri görüntülerin olduğu görülmüştür. Bu tür yapıların genellikle çözücünün (Monoethanolamin) yüzeyden uzaklaştığında meydana geldiği düşünülmektedir (Demircan ve ark.,2022). Monoethanolamin yüzeyden uzaklaştığı sırada c ekseni boyunca yapıyı meydana getirmektedir.

EDX analizi ile elementlerin dalga boyları kullanılarak kantitatif kimyasal analiz yapılarak hesaplamada kullanılan yüzde katkı oranları ile deneysel olarak elde edilen yüzde katkı oranlarının birbirlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Üretilen filmlerin FT-IR spektrumlarında 400-700 cm^{-1} aralığındaki tüm numunelerin absorpsiyon zirveleri bulunduğu görülmüştür. T numunesi için ZnO' nun tepe konumunda bir kayma görülmüştür. ZnO bantlarının tepe konumundaki

kaymanın, ortamında kobaltın varlığından rahatsız olan Zn–O–Zn kaynaklanır. Bu kayma B ve S örneklerinde görülmemiştir.

Co:ZnO ince filmlerin UV-Vis absorpsiyon spektrumu 300-900 nm aralığında elde edilmiştir. Katkısız ZnO filmi 477 nm'de bant kenarı gösterirken, kobalt katkılı filmler 422 ve 528 nm arasında bant kenarı göstermiştir.

Optik absorpsiyon kenarı, artan kobalt içeriğine bağlı olarak bir kayma sergiler. Saf ZnO ince film ile karşılaştırıldığında, kobalt katkılı ince filmlerin S6 numunesi dışında UV-Vis spektrumunda hafif maviye kayma görülmüş ve maviye kayma, uygun miktarda katkı maddesinin ardından azalan ZnO tane boyutuna ve artan taşıyıcı konsantrasyonuna sahip bir yarı iletkende meydana gelen bir dejenerasyona bağlanmıştır.

ZnO, Co:ZnO filmlerinin optik bant aralığı, Tauc modeli kullanılıp hesaplanarak 2.74 ile 3.13 eV arasında bulunmuş olup, S ve B örnekleri için bant aralığı kobalt içeriğine bağlı olarak biraz artış göstermiş, T2 ve T4 örneklerinin bant aralığı, kobalt ile ilişkili yük transfer geçişi ve ZnO' nun bant elektronları ile Co^{2+} katyonlarının delokalize elektronları arasındaki etkileşimleri nedeniyle kobalt katkısı ile azalmıştır. Katkısız ve kobalt katkılı ZnO ince filmlerin elektriksel iletkenlikleri ölçülüp ZnO ince filmin elektriksel iletkenliği $1.5\ 10^{-7}$ (S/cm) olarak elde edilmiştir. Kobalt katkı miktarı arttıkça, elektriksel iletkenlik T ve S filmlerinde azalırken B filmlerinde artış göstermiştir.

Konjuge NN ligantlı kobalt katkılı ZnO filmlerin (Z0, T2, T4, T6, B2, B4 ve B6) radyasyon zırhlama özellikleri incelenmiş hazırlanan ince filmlerin kütle soğurma katsayısı (MAC), lineer soğurma katsayısı (LAC) foton enerjisine bağlıdır ve artan foton enerjisi ile azalma eğilimindedir. Bununla birlikte MAC ve LAC değerlerinin ince film numunelerin kimyasal kompozisyonuna da bağlı olduğu görülmektedir. Z0, B2, B4 ve B6 numunelerinde $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ konsantrasyonun artmasıyla ile deneysel MAC ve LAC değerlerinin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte Z0 ve T2, T4 ve T6 numuneleri kıyaslandığında $Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$ konsantrasyonunun artmasıyla MAC

ve LAC değerlerinde artışın olduğu görülmektedir. ZnAc yapıya $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve $Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$ katkılandırılması ile Zn (Z=30) ve Co (Z=27) elementlerinin yakın atom numarasına sahip olmasından dolayı MAC ve LAC değerlerinde farklılıklar oluşturduğu gözlemlenmektedir.

İncelenen enerji aralığında ZnAc filmine farklı kimyasal yapılı Co katkısının yapılmasının numunelerin foton soğurma kabiliyetinde artışa sebep olduğu sonucunu çıkarabiliriz.

MFP ve HVL parametreleri, malzemenin radyasyon zırhlama etkinliğini belirler. B6 ve T6 ince film numuneler için çalışılan foton enerjileri aralığında en düşüktür. B ve T serisinde konsantrasyonunun azalmasıyla MFP ve HVL değerlerinin azaldığını söyleyebiliriz. Daha düşük MFP ve HVL değerleri üstün radyasyon kalkanı sağlar.

Üretilen ince filmlerin MAC değerlerinden ve yoğunluklarından yararlanılarak 186,1- 1764,5 keV enerji aralığında MFP ve HVL değerleri elde edilmiştir. İnce film numunelerin MFP ve HVL değerlerinin enerji ile değişimi %6 $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve %6 CoO katkılı B6 ve T6 ince film numuneler için çalışılan foton enerjileri aralığında en düşüktür. B ve T serisinde konsantrasyonunun azalmasıyla MFP ve HVL değerlerinin azaldığını söyleyebiliriz. Daha düşük MFP ve HVL değerleri üstün radyasyon kalkanı sağlar. MFP ve HVL değerlerinin bilinmesi radyasyon şiddetini azaltmak için gerekli malzeme kalınlığının belirlenmesinde çok önemlidir. Literatürde ince film kalınlıklarının hassas bir şekilde belirlenmesinde soğurma deneylerinden (Lambert-Beer kanunu) faydalanılan çalışmaların olduğu da görülmektedir.

Zet değerleri cam numunelerdeki katkı konsantrasyonuna da bağlıdır. B serisinde $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve T serisinde Co $(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$ konsantrasyonunun artmasıyla Zet değerleri azalmaktadır. Zet, T serisindeki numunelerde birbirine yakın değerler almıştır. T serisinde numunelerin yoğunluk değerlerinin birbirine daha yakın olduğu görülmektedir. Üretilen cam numuneler için buildup faktörleri (EBF) 15-15000 keV foton enerji aralığında değişimi incelenmiştir. Üretilen ince film numunelerde %6 $C_{20}H_{13}N_3Cl_2Co$ ve %6 $Co(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$ içeren B6 ve T6 numunelerinin en düşük

EBF değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Zırhlama çalışmalarında EBF değerlerinin düşük olması istenen bir durumdur. Nüfuz etme derinliğinin yüksek olduğu değerlerde 10 MeV'den sonra EBF değerlerinin yeniden arttığı da gözlemlenmektedir.

Ayrıca hazırlanan ince filmlerin etkin soğurma tesir kesiti suyun etkin soğurma tesir kesitinden daha yüksektir (∑R=0,1023 cm-1). Elde edilen sonuçlar, hazırlanan ince filmlerin gama ışınlarını soğurmasının yanı sıra hızlı nötronları soğurmada da oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte H1 ve He+2 için en düşük MSP değerleri B serisinde B6 ve T serisinde T6 ya aittir. Ayrıca MSP değerinin yüksek enerji bölgesinde, cam numunelerin kimyasal içeriklerine bağlı olarak H1 ve He+2 parçacıkları için neredeyse sabit olarak değiştiği görülmüştür. Diğer önemli parametrelerden biri de PR değeridir. PR değerleri parçacığın durmak için girdiği alandan soğurulduğu nokta arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Durdurma gücü (PR) H1 ve He+2 için kinetik enerjinin değişiminden etkilenir. Şekil 4.26. ve Şekil 4.27.'den görüldüğü üzere B6 ve T6 numuneleri en düşük PR değerlerine sahiptir.

5.2. Öneriler

Sol-jel yöntemi ile jel hazırlama aşamalarında süre, sıcaklık, film kalınlığı, kaplamadaki döndürme hızı ve ısıl işlem sıcaklığı gibi birçok parametre değiştirilerek farklı özellikteki numuneler elde edilebilir, elde edilen farklı numunelerin yapısal, optik, elektrik ölçümleri alınıp kıyaslama ile daha fazla teorik uygulama yapılarak literatüre katkıda bulunulabilir.

Hazırlanan numuneler için katkı oranları değiştirilip farklı katkı oranlarının vereceği tepkiler ölçülüp kıyaslanabilir.

Altlık olarak mikroskop camı dışında farklı altlıklar kullanılarak filmin altlık üzerinde büyüme şeklinin ve yapısının göstereceği değişiklikler araştırılabilir.

Hazırlanan numuneler için farklı maddeler katkılandırılarak ölçümler alınıp kıyaslama yapılabilir.

İnce film oluşturmanın yanı sıra toz şeklindeki numuneler hazırlanıp bu numunelerin vereceği tepkiler ölçülüp kıyaslama yapılabilir.

KAYNAKLAR

ABDULLAH, M.H., ISMAİL, L.N., MAMAT, M.H., MUSA, M.Z. and RUSOP, M., 2013. Novel encapsulated ITO/arc-ZnO: TiO2 antireflective passivating layer for TCO conducting substrate prepared by simultaneous radio frequency-magnetron sputtering. Microelectronic engineering, 108, 138-144.

AKKURT, M.; PİNAR, S.; YİLMAZ, U.; KUCUKBAY, H.; SAHİN, E.: Crystal structure of dichlorobis(1-pentyl-1H-benzimidazole-κN3) cobalt(II). Anal. Sci. 23 (2007) x157–x158.

AKTAS, B., YALCİN, S., DOGRU, K. UZUNOGLU, Z. ve YİLMAZ. D. 2019. Structural and radiation shielding properties of chromium oxide doped borosilicate glass Radiation Physics and Chemistry, 156 144-149.

AKYÜZ, T., 2017. Çinko Oksitin Antibakteriyel Etkisi (Yüksek Lisans Tezi). Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.

AL-BALUSHİ, M.A., AHMED, N.M., ZYOUD, S.H., ALİ, M.K.M., AKHDAR, H., ALDAGHRİ, O.A. and IBNAOUF, K.H., 2022. Ionization Radiation Shielding Effectiveness of Lead Acetate, Lead Nitrate, and Bismuth Nitrate-Doped Zinc Oxide Nanorods Thin Films: A Comparative Evaluation. Materials, 15, 3. https://doi.org/10.3390/ma15010003

AL-BALUSHİ, M.A., AHMED, N.M., ZYOUD, S.H., ALİ, M.K.M., AKHDAR, H., ALDAGHRİ, O .A., IBNAOUF, K.H., 2022. Ionization Radiation Shielding Effectiveness of Lead Acetate, Lead Nitrate, and Bismuth Nitrate-Doped Zinc Oxide Nanorods Thin Films: A Comparative Evaluation. Materials 2022, 15, 3.

ALIVI, K., 2021. (Co , Mn) katkılı ZnO filmlerin hazırlanması ve karakterizasyonu (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

AYDIN, H., 2013. ZnO Esaslı Nanoyapılı Yarıiletken İnce Filmlerin Büyütülmesi ve Gaz Sensörlerinin Üretilmesi, Doktora Tezi, Fırat Ünv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

AYTAR, E., 2019. Konjuge nn kompleks bileşikleri ve katalitik uygulamaları/Conjugated nn complex compounds and catalytic applications (Doktora Tezi). Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

BABÜR, G., 2012. Sol-Jel Yöntemiyle Elde Edilen Bor Katkılı ZnO İnce Filmlerin Yapısal, Optiksel ve Elektriksel Özellerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Ünv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

BAİRAM, C., YALÇIN, Y., EFKERE, H. İ., ÇOKDUYGULULAR, E., ÇETİNKAYA, Ç., KINACI, B. ve ÖZÇELİK, S., 2021. Structural, morphological, optical and electrical properties of the Ti doped-ZnO (TZO) thin film prepared by RF sputter technique. Physica B: Condensed Matter, 616, 413126.

BENRAMACHE, S., BELAHSSEN, O. and TEMAM, H.B., 2014. Effect of band gap energy on the electrical conductivity in doped ZnO thin film. Journal of Semiconductors, 35 (7), 073001.

BENRAMACHE, S., BENHAOUA, B. and CHABANE, F. 2012. Effect of substrate temperature on the stability of transparent conducting cobalt doped ZnO thin films. Journal of Semiconductors, 33 (9), 093001.

BENRAMACHE, S., BENHAOUA, B., and BELAHSSEN, O., 2014. The crystalline structure, conductivity and optical properties of Co-doped ZnO thin films. Optik, 125(19), 5864-5868.

BENRAMACHE, S., TEMAM, H. B., ARİF, A., GUETTAF, A. and BELAHSSEN, O., 2014. Correlation between the structural and optical properties of Co doped ZnO thin films prepared at different film thickness. Optik, 125(7), 1816-1820.

BULDUK, E., (2019). In, Al, Ga, Sn ve Sb katkılı ince film özelliklerinin incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

ÇOLAK, H., KARAKÖSE, E., DERİN, Y. ve DERTLİ, R. 2020. Comprehensive experimental study on production of vertically aligned ZnO nanorod thin films and their electrical, optical and antimicrobial properties, J. Mater. Sci. Mater. Electron. 31 (2020) 9753–9772. https://doi.org/10.1007/s10854-020-03521-5. MEYERHOFER, D., 1978. J. Appl. Phys., 49(7): 3993s.

DEMİRCAN, G., ACİKGOZ, A., YALCİN, S., AYTAR, E., BALAK, M. V. and AKTAS, B. (2023). The Influence of Doping Perimidine Ruthenium Complexes on Structural, Optic, and Residual Stress Properties of ZnO Thin Films. Brazilian Journal of Physics, 53(1), 20.

DEMİRCAN, G., GURSES, E. F., ACİKGOZ, A., YALCİN, S. and AKTAS, B., 2020. Effects of spin coating parameters on stress, electrical and optical properties of multilayer ZnO thin film prepared by sol–gel. Molecular Crystals and Liquid Crystals, 709(1), 61-69.

DEMİRCAN, G., GURSES, E. F., AKTAS, B., YALCİN, S., ACİKGOZ, A., CEYHAN, G., and BALAK, M. V. (2023). Sol–gel synthesis of Si-ZnO, Ti-ZnO and Si-Ti-ZnO thin films: Impact of Si and Ti content on structural and optical properties. Materials Today Communications, 34, 105234.

DEMİRCAN, S. YALCİN, K. ALİVİ, G. CEYHAN, A. ACİKGOZ, M.V. BALAK, B. and AKTAS, R., 2022. Das, The effect of Co and Mn Co-Doping on structural and optical properties of ZnO thin films, Opt. Mater. (Amst). 126 (2022) 112163. https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112163.

EKER, N., 2014. Co-katkılı ZnO ince filmlerin optik özellikleri (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

ELLEUCH, R., SALHİ, R., AL-QURAİSHİ, S. I., DESCHANVRES, J. L. and MAÂLEJ, R., 2014. Efficient antireflective downconversion Er3+ doped ZnO/Si thin film. Physics Letters A, 378(24-25), 1733-1738.

ESKALEN, H., KAVUN, Y., KERLİ, S. and EKEN, S., 2020. An investigation of radiation shielding properties of boron doped ZnO thin films. Optical Materials 105, 109871.

ESKALEN, H., KAVUN, Y., KERLİ, S., EKEN, S., 2020. An investigation of radiation shielding properties of boron doped ZnO thin films. Optical Materials 105, 109871.

GENÇYILMAZ, O., 2013. ZnO filmlerinin bazı fiziksel özellikleri üzerine Co katkısının etkisi.

GENÇYILMAZ, O., 2013. ZnO filmlerinin bazı fiziksel özellikleri üzerine Co katkısının etkisi (Doktora Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

GUERMAT, N., DARANFED, W., BOUCHAMA, I. and BOUARİSSA, N., 2021. Investigation of structural, morphological, optical and electrical properties of Co/Ni co-doped ZnO thin films. Journal of Molecular Structure, 1225, 129134.

HİLA, F.C. ASTRONOMO, A.A. DİNGLE, C.A.M. JECONG, J.F.M. JAVİER-HİLA, A.M.V. ET AL., 2021. EpiXS: A windows-based program for photon attenuation, dosimetry and shielding based on EPICS2017 (ENDF/B-VIII) and EPDL97 (ENDF/B-VI8), Radiat. Phys. Chem., 182: 109331.

ILİCAN, S., CAGLAR, Y., CAGLAR, M. and YAKUPHANOGLU, F., 2006. Electrical conductivity, optical and structural properties of indium-doped ZnO nanofiber thin film deposited by spray pyrolysis method. Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, 35(1), 131-138.

JOSHİ, S. and LEELA.S., 2021. Studies on structural and optical properties of Cobalt doped ZnO thin films prepared by Sol-gel spin coating technique. Materials Today: Proceedings, 43, 3166-3168.

KHANTOUL, A., SEBAİS, M., RAHAL, B., BOUDİNE, B. ve HALİMİ, O., 2018. Structural and optical properties of ZnO and Co doped ZnO thin films prepared by sol-gel. Acta Physica Polonica A, 133(1), 114-117.

KOMARAİAH, D., RADHA, E., VİJAYAKUMAR, Y., SİVAKUMAR, J., REDDY, M. R. and SAYANNA, R., 2016. Optical, structural and morphological properties of photocatalytic ZnO thin films deposited by pray pyrolysis technique. Modern Research in Catalysis, 5(4), 130-146.

M. AKKURT, S.P. YALÇİN, N. SİRECİ, H. KÜÇÜKBAY and M. N. Tahir Dichloridobis(5-nitro-1-trimethyl-silyl-methyl-1H-benzimidazole-(kappa)N3) cobalt(II)N,N-dimethyl-formamide solvate, Acta Cryst. 2010. E66, pp253-254,

MAİTY, R.S. DAS, M.K and MİTRA, K.K., 2005. Chattopadhyay, Synthesis and characterization of ZnO nano/microfibers thin films by catalyst free solution route, Phys. E Low-Dimensional Syst. Nanostructures. 25: 605–612. https://doi.org/10.1016/j.physe.2004.09.002.

MANİKANDAN, E., MURUGAN, V., KAVİTHA, G., BABU, P. and MAAZA, M., 2014. Nanoflower rod wire-like structures of dual metal (Al and Cr) doped ZnO thin films: Structural, optical and electronic properties. Mater. Lett., 131, 225-228. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.06.008

MANİKANDAN, E., MURUGAN, V., KAVİTHA, G., BABU, P., MAAZA M. 2014. Nanoflower rod wire-like structures of dual metal (Al and Cr) doped ZnO thin films: Structural, optical and electronic properties. Mater. Lett., 131, 225-228.

NGOM, B.D., CHAKER, M., MANYALA, N., LO, B., MAAZA, M. and BEYE A.C., 2011. Temperature-dependent growth mode of W-doped ZnO nanostructures. Appl. Surf. Sci., 257, 6226-6232.

NGOM, B.D., CHAKER, M., MANYALA, N., LO, B., MAAZA, M., AND BEYE A.C. 2011. Temperature-dependent growth mode of W-doped ZnO nanostructures. Appl. Surf. Sci., 257, 6226-6232.

PINAR, Ş., AKKURT, M., KÜÇÜKBAY, H., ORHAN, E., and BÜYÜKGÜNGÖR, O. (2006). Bis (1-(but-2-enyl)-5-nitro-1H-benzimidazole-κN3) dichlorocobalt (II). Acta Crystallographica Section E: Structure Reports Online, 62(7), m1663-m1665.

PREVO, B. G., HWANG, Y. and VELEV, O.D., 2005. Convective assembly of antireflective silica coatings with controlled thickness and refractive index. Chemistry of materials, 17(14), 3642-3651.

SAHA, S. K., RAHMAN, M. A., SARKAR, M. R. H., SHAHJAHAN, M. and KHAN, M.K.R. 2015. Effect of Co doping on structural, optical, electrical and thermal

properties of nanostructured ZnO thin films. Journal of Semiconductors, 36(3), 033004.
SCHERER, G.W., 1997. Sintering of sol-gel films. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 8(1), 353-363.
SEKİCEK, G., 2022. Development Of Ca Doped ZnO Thin Films For Optical Biosensors Used In Biomedical Applications (Thesis Supervisor) Gebze Teknik Üniversitesi Biyoteknoloji Enstitüsü, Gebze.
ŞAHİN, D., 2012.Sol-Jel Yöntemiyle Elde Edilen Na Katkılı ZnO İnce Filmlerin Yapısal, Elektriksel ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Ünv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
ŞAKAR, E. ÖZPOLAT, Ö.F. ALIM, B. SAYYED, M. KURUDİREK, M., 2019. Phy-X/PSD: Development of a user friendly online software for calculation of parameters relevant to radiation shielding and dosimetry, Radiat. Phys. Chem., 166: 108496.
THABİT, H.A., KABİR, N.A., ISMAİL, A.K., ALRADDADİ, S., BAFAQEER, A. and SALEH, M.A., 2022. Development of Ag-doped ZnO thin films and thermoluminescence (TLD) characteristics for radiation technology. Nanomaterials 12, 3068. https://doi.org/10.3390/nano12173068
THABİT, H.A., KABİR, N.A., ISMAİL, A.K., ALRADDADİ, S., BAFAQEER, A., SALEH, M.A., 2022. Development of Ag-doped ZnO thin films and thermoluminescence (TLD) characteristics for radiation technology. Nanomaterials 12, 3068.
VASYLYEV, M. A., NİSCHENKO, M.M., TİNKOV, V. A., SİDORENKO, S. I., AND VOLOSHKO, S.M., 2008. Formation of surface periodic microstructure at laser irradiation of the multilayer Ni/Cu/Cr system. Applied Surface Science, 255 (5), 1712-1718.
YILMAZ, A., 2018. Çinko oksit-grafen oksit nanokompozit ince filmlerin üretimi ve optiksel özelliklerinin araştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
YILMAZ, D., AKTAŞ, B., YALÇIN, Ş., and ALBAŞKARA, M. 2019. Erbium oxide and Cerium oxide-doped borosilicate glasses as radiation shielding material, Radiation Effects and Defects in Solids,
YİLDİZ, A. and IACOMİ, F., 2012. On the mechanism of electrical conduction in cobalt-doped zinc oxide nanocrystalline thin films. Journal of the Physical Society of Japan, 81(5), 054602.
YURDUGÜZEL, B., Co-katkılı ZnO ince filmlerinin elektriksel ve yapısal özellikleri (Yüksek Lisans Tezi). Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir.
ZHANG, W., HU, H., ZHANG, C., Lİ, J., Lİ, Y., LİNG, L. and HAN, P. 2017. The structural and optical properties of Y (Y= Al, B, Si and Ti)-doped ZnO nano thin films from the first principles calculations. Materials Research Express, 4(12), 125004.
ZİEGLER, J.F., 2008. SRIM-the stopping and range of ions in matter, (2008), http://www.srim.org.