

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Cu-KATKILI SPİN KAPLAMA YÖNTEMİYLE
ÜRETİLMİŞ ZnO İNCE FİMLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut NALBANT

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İbrahim OKUR

Haziran 2012

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Cu-KATKILI SPİN KAPLAMA YÖNTEMİYLE
ÜRETİLMİŞ ZnO İNCE FİLMLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut NALBANT

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Bu tez 05/06/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



**Prof.Dr. Mehmet
KANDAZ
Jüri Başkanı**



**Prof.Dr. İbrahim
OKUR
Üye**



**Doç.Dr. Sılla
DUMAN
Üye**

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen, çalıőmamı yöneten, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım saygıdeğer hocam Prof. Dr. İbrahim OKUR'a teőekkürlerimi sunarım.

SEM, XRD ve soğurma spektrumlarının alınmasında yardımlarını esirgemeyen Prof.Dr. Mehmet KANDAZ, Uzm. Fuat KAYIŐ, Arő.Gör. Armağan GÜNSEL ve Arő.Gör. Ahmet Turgut BİLGIÇLİ' ye teőekkürü bir borç bilirim.

Çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen ve her türlü yardımını gördüğüm çalışma arkadaşlarıma ve beni manevi olarak destekleyen aileme teşekkür ederim.

Aykut NALBANT

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xx
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KATILAR	3
2.1. Amorf Yapı.....	3
2.1.1. Amorf yarı iletkenler.....	4
2.2. Kristal Yapı.....	4
2.2.1. Kristal örgü.....	5
2.2.2. Temel örgü türleri.....	6
2.2.2.a. İki boyutlu örgü türleri	6
2.2.2.b. Üç boyutlu örgü türleri	7
2.2.3. Basit kübik yapı	9
2.2.4. Hacim merkezli kübik yapı	10
2.2.5. Yüzey merkezli kübik yapı	10
2.2.6. Gerçek kristal yapılar	11
2.2.6.1. Sodyum klorür yapısı	11
2.2.6.2. Sezyum klorür yapısı	11

2.2.6.3. Elmas kristal yapı	11
2.2.6.4. Kübik çinko sülfid yapısı	12

BÖLÜM 3.

İNCE FİLM, KAPLAMA ve ÖLÇÜM TEKNİKLERİ.....	13
3.1. İnce Film.....	13
3.2. İnce Filmlerin Teknolojik Uygulamaları.....	13
3.3. İnce Film Kaplama Teknikleri.....	13
3.3.1. Fiziksel buhar biriktirme	14
3.3.1.1. Lazer biriktirme	14
3.3.1.2. Saçtırtma biriktirme	15
3.3.1.3. Magnetron sıçratma	15
3.3.2. Kimyasal buhar biriktirme	16
3.3.3. Spin kaplama yöntemi.....	16
3.4. İnce Filmlerde Kalınlık Ölçüm Teknikleri.....	18
3.4.1. Film kalınlığı.....	18
3.4.2. Kalınlık ölçümündeki teknikler.....	18
3.4.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	19
3.4.2.2. Geçirmeli elektron mikroskopisi (TEM)	20

BÖLÜM 4.

FARKLI MOLARİTELİ ZnO İNCE FİMLERİN OPTİK ve MEKANİK ÖZELLİKLERİ	21
4.1. Giriş.....	21
4.2. Sol-jel ve Numune Hazırlığı	21
4.3. XRD Sonuçları	22
4.4. SEM Sonuçları	26
4.5. Soğurma Spektrumları	34
4.6. İnce Filmlerin Mekanik Görüntüleri	38

BÖLÜM 5.

Cu KATKILI ZnO İNCE FİMLERİN OPTİK ve MEKANİK ÖZELLİKLERİ	44
--	----

5.1. Giriş.....	44
5.2. XRD Sonuçları	44
5.3. SEM Sonuçları	57
5.4. Soğurma Spektrumları	84
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR	98
EK 1	
Cu KATKILI ZnO İNCE FİMLERİN XRD SPEKTRUMLARI	101
EK 2	
Cu KATKILI ZnO İNCE FİMLERİN SEM GÖRÜNTÜLERİ ve EDS SPEKTRUMLARI.....	110
EK 3	
Cu KATKILI ZnO İNCE FİMLERİN UV-Vis SPEKTRUMLARI.....	160
ÖZGEÇMİŞ.....	169

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a, b, c	: Temel öteleme vektörleri
Å	: 10^{-10} metre
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme yöntemi
M	: Molarite
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme yöntemi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TEM	: Geçirmeli elektron mikroskobu
t	: Filmin kalınlığı
UV-Vis	: Moraltı-görünür bölge
XRD	: X-ışını kırınımı
α, β, γ	: Üç boyutlu örgü vektörleri arasındaki açılar
λ	: Dalgaboyu
θ	: Bragg yansıma açısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Amorf yapıdaki SiO ₂ (Cam)	3
Şekil 2.2.	Kristal yapıdaki SiO ₂ (Kuartz).....	5
Şekil 2.3.	Üç boyutlu bir kristal örgüde birim hücre ve eksenler.....	6
Şekil 2.4.	İki boyutlu uzayda beş örgü türü.....	7
Şekil 2.5.	Üç boyutlu uzayda temel öteleme vektörleri aralarındaki açılar ..	7
Şekil 2.6	Üç boyutlu uzayda 14 farklı örgü türü	8
Şekil 2.7.	Basit kübik yapı	9
Şekil 2.8.	Hacim merkezli kübik yapı (bcc).....	10
Şekil 2.9.	Yüzey merkezli kübik yapı.....	10
Şekil 2.10.	Elmas kristal yapı	12
Şekil 2.11.	Kübik çinko sülfür yapısı.....	12
Şekil 3.1.	Lazer buhar biriktirme.....	14
Şekil 3.2.	Saçtırma biriktirme yöntemiyle kaplama eldesi.....	15
Şekil 3.3.	CVD mekanizması	16
Şekil 3.4.	Spin kaplama cihazı.....	17
Şekil 3.5.	Spin kaplama yönteminin temel adımları	17
Şekil 3.6.	Döndürme hızı ve süresinin film kalınlığı üzerindeki etkisi	18
Şekil 3.7.	SEM'in şeması.....	19
Şekil 3.8.	Geçirmeli elektron mikroskopisi (TEM) şeması ve bir örnek TEM görüntüsü	20
Şekil 4.1.	ZnO ince film üretimi akış diyagramı	22
Şekil 4.2.	0,3 molar ZnO ince filmin XRD spektrumu.....	23
Şekil 4.3.	0,5 molar ZnO ince filmin XRD spektrumu.....	23
Şekil 4.4.	0,7 molar ZnO ince filmin XRD spektrumu.....	24
Şekil 4.5.	1 molar ZnO ince filmin XRD spektrumu.....	24
Şekil 4.6.	1,5 molar ZnO ince filmin XRD spektrumu.....	25

Şekil 4.7.	2 molar ZnO ince filmin XRD spektrumu.....	25
Şekil 4.8.	0,3 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camının SEM görüntüleri	27
Şekil 4.9.	0,5 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camının SEM görüntüleri	27
Şekil 4.10.	0,7 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camının SEM görüntüleri	28
Şekil 4.11.	1 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camının SEM görüntüleri	28
Şekil 4.12.	1,5 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camının SEM görüntüleri	29
Şekil 4.13.	2 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camının SEM görüntüleri	29
Şekil 4.14.	Farklı molaritelerdeki (sırasıyla 0.3, 0.5, 0.7, 1, 1.5, 2) ZnO ince filmlerin yandan SEM görüntüleri	30
Şekil 4.15.	0,5 molar ZnO ince filmlerin SEM analizlerinden elde edilen element içerik dağılımı	31
Şekil 4.16.	1 molar ZnO ince filmlerin SEM analizlerinden elde edilen element içerik dağılımı	31
Şekil 4.17.	2 molar ZnO ince filmlerin SEM analizlerinden elde edilen element içerik dağılımı	32
Şekil 4.18a.	Film kalınlığı molarite ilişkisi	33
Şekil 4.18b.	<i>ln</i> t-molarite doğrusu	34
Şekil 4.19.	0,3 molar ZnO ince filmin soğurma spektrumu	35
Şekil 4.20.	0,5 molar ZnO ince filmin soğurma spektrumu	35
Şekil 4.21.	0,7 molar ZnO ince filmin soğurma spektrumu	36
Şekil 4.22.	1 molar ZnO ince filmin soğurma spektrumu	36
Şekil 4.23.	1,5 molar ZnO ince filmin soğurma spektrumu	37
Şekil 4.24.	2 molar ZnO ince filmin soğurma spektrumu	37
Şekil 4.25.	0,3 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camı	38
Şekil 4.26.	0,5 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camı	39
Şekil 4.27.	0,7 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camı	39

Şekil 4.28.	1 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camı	40
Şekil 4.29.	1,5 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camı	40
Şekil 4.30.	2 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camı.....	41
Şekil 4.31.	Film kalınlığı-bükülme açısı ilişkisi.....	42
Şekil 5.1.	600 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin XRD spektrumu ...	45
Şekil 5.2.	850 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin XRD spektrumu ..	45
Şekil 5.3.	600 °C’de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	46
Şekil 5.4.	700 °C’de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	46
Şekil 5.5.	850 °C’de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	47
Şekil 5.6.	600 °C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	47
Şekil 5.7.	600 °C’de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	48
Şekil 5.8.	600 °C’de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	48
Şekil 5.9.	700 °C’de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	49
Şekil 5.10.	850 °C’de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	49
Şekil 5.11.	600 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	50
Şekil 5.12.	600 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	50
Şekil 5.13.	600 °C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	51
Şekil 5.14.	600 °C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	51
Şekil 5.15.	600 °C’de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	52

Şekil 5.16.	600 °C’de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	52
Şekil 5.17.	600 °C’de tavllanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	53
Şekil 5.18.	600°C’de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	53
Şekil 5.19.	600 °C’de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	54
Şekil 5.20.	600 °C’de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	54
Şekil 5.21.	600 °C’de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	55
Şekil 5.22.	600 °C’de tavllanmış katkısız CuO (%100 Cu katkılı) ince filmin XRD spektrumu.....	55
Şekil 5.23.	700 °C’de tavllanmış katkısız CuO (%100 Cu katkılı) ince filmin XRD spektrumu	56
Şekil 5.24.	600 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	57
Şekil 5.25.	850°C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	58
Şekil 5.26.	600 °C’de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	58
Şekil 5.27.	600 °C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	59
Şekil 5.28.	700 °C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	59
Şekil 5.29.	600 °C’de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	60
Şekil 5.30.	700 °C’de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	60
Şekil 5.31.	600 °C’de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	61

Şekil 5.32.	600 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	61
Şekil 5.33.	600 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	62
Şekil 5.34.	800 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	63
Şekil 5.35.	600 °C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	63
Şekil 5.36.	700 °C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	64
Şekil 5.37.	800 °C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	64
Şekil 5.38.	600 °C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	65
Şekil 5.39.	700 °C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	66
Şekil 5.40.	800 °C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	66
Şekil 5.41.	600 °C’de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	67
Şekil 5.42	700 °C’de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	67
Şekil 5.43.	600 °C’de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	68
Şekil 5.44.	700 °C’de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	68
Şekil 5.45.	600 °C’de tavllanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	69
Şekil 5.46.	700 °C’de tavllanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	69
Şekil 5.47.	600 °C’de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroyorsimleri	70

Şekil 5.48.	700 °C’de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	71
Şekil 5.49.	600 °C’de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	71
Şekil 5.50.	700 °C’de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	72
Şekil 5.51.	600 °C’de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	72
Şekil 5.52.	700 °C’de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	73
Şekil 5.53.	600 °C’de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	73
Şekil 5.54.	700 °C’de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	74
Şekil 5.55.	600 °C’de tavllanmış katkısız CuO (%100 Cu katkılı) ince filmin SEM mikrosesimleri	74
Şekil 5.56.	600 °C’de tavllanmış katkısız CuO (%100 Cu katkılı) ince filmin SEM mikrosesimleri.....	75
Şekil 5.57.	700 °C’de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	76
Şekil 5.58.	600 °C’de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	77
Şekil 5.59.	600 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	78
Şekil 5.60.	600 °C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	79
Şekil 5.61.	600 °C’de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	80
Şekil 5.62.	600 °C’de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	81
Şekil 5.63.	700 °C’de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	82

Şekil 5.64.	600 °C’de tavllanmış katkısız CuO (%100 Cu katkılı) ince filmin elementel analiz spektrumu	83
Şekil 5.65.	600 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin soğurma spektrumu	84
Şekil 5.66.	700 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin soğurma spektrumu	85
Şekil 5.67.	800 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin soğurma spektrumu	85
Şekil 5.68.	600 °C’de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	86
Şekil 5.69.	600 °C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	86
Şekil 5.70.	600 °C’de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	87
Şekil 5.71.	600 °C’de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	87
Şekil 5.72.	600 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	88
Şekil 5.73.	600 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	88
Şekil 5.74.	600 °C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	89
Şekil 5.75.	600 °C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	89
Şekil 5.76.	600 °C’de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	90
Şekil 5.77.	600 °C’de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	90
Şekil 5.78.	600 °C’de tavllanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	91
Şekil 5.79.	600 °C’de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	91

Şekil 5.80.	600 °C’de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	92
Şekil 5.81.	600 °C’de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	92
Şekil 5.82.	600 °C’de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	93
Şekil 5.83.	700 °C’de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	93
Şekil 5.84.	600 °C’de tavllanmış %100 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	94
Şekil 5.85.	700 °C’de tavllanmış %100 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	94
Şekil E1.1.	700 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin XRD spektrumu ...	101
Şekil E1.2.	800 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin XRD spektrumu ...	102
Şekil E1.3.	700 °C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	102
Şekil E1.4.	850 °C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	103
Şekil E1.5.	700 °C’de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	103
Şekil E1.6.	850 °C’de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	104
Şekil E1.7.	700 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	104
Şekil E1.8.	800 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	105
Şekil E1.9.	850 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	105
Şekil E1.10.	700 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	106
Şekil E1.11.	800 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	106

Şekil E1.12. 850 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	107
Şekil E1.13. 700 °C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	107
Şekil E1.14. 700 °C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	108
Şekil E1.15. 700 °C’de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	108
Şekil E1.16. 700 °C’de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	109
Şekil E1.17. 700 °C’de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu	109
Şekil E2.1. 700 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	110
Şekil E2.2. 800 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	111
Şekil E2.3. 700 °C’de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	112
Şekil E2.4. 850 °C’de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	113
Şekil E2.5. 850 °C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	114
Şekil E2.6. 850 °C’de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	115
Şekil E2.7. 700 °C’de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	115
Şekil E2.8. 850 °C’de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	116
Şekil E2.9. 700 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	117
Şekil E2.10. 800 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikrosesimleri	118

Şekil E2.11. 850 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri	119
Şekil E2.12. 700 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri	119
Şekil E2.13. 850 °C’de tavllanmış %11 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri	120
Şekil E2.14. 700 °C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri	121
Şekil E2.15. 600 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	122
Şekil E2.16. 700 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	123
Şekil E2.17. 800 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	124
Şekil E2.18. 850 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	125
Şekil E2.19. 600 °C’de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	126
Şekil E2.20. 850 °C’de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	127
Şekil E2.21. 600 °C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	128
Şekil E2.22. 700 °C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	129
Şekil E2.23. 850 °C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	130
Şekil E2.24. 600 °C’de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	131
Şekil E2.25. 700 °C’de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	132
Şekil E2.26. 850 °C’de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	133

Şekil E2.27. 700 °C’de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	134
Şekil E2.28. 850 °C’de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	135
Şekil E2.29. 600 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	136
Şekil E2.30. 700 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	137
Şekil E2.31. 800 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	138
Şekil E2.32. 850 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	139
Şekil E2.33. 700 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	140
Şekil E2.34. 800 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	141
Şekil E2.35. 850 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	142
Şekil E2.36. 600 °C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	143
Şekil E2.37. 700 °C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	144
Şekil E2.38. 800 °C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	145
Şekil E2.39. 700 °C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	146
Şekil E2.40. 800 °C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	147
Şekil E2.41. 600 °C’de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	148
Şekil E2.42. 700 °C’de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	149

Şekil E2.43. 700 °C’de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	150
Şekil E2.44. 600 °C’de tavllanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	151
Şekil E2.45. 700 °C’de tavllanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	152
Şekil E2.46. 700 °C’de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	153
Şekil E2.47. 600 °C’de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	154
Şekil E2.48. 700 °C’de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	155
Şekil E2.49. 600 °C’de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	156
Şekil E2.50. 600 °C’de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	157
Şekil E2.51. 700 °C’de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu	158
Şekil E2.52. 700 °C’de tavllanmış katkısız CuO (%100 Cu katkılı) ince filmin elementel analiz spektrumu.....	159
Şekil E3.1. 700 °C’de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	160
Şekil E3.2. 700 °C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	161
Şekil E3.3. 700 °C’de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	161
Şekil E3.4. 700 °C’de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	162
Şekil E3.5. 700 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	162
Şekil E3.6. 800 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	163

Şekil E3.7. 700 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	163
Şekil E3.8. 700 °C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	164
Şekil E3.9. 800 °C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	164
Şekil E3.10. 700 °C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	165
Şekil E3.11. 800 °C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	165
Şekil E3.12. 700 °C’de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	166
Şekil E3.13. 700 °C’de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	166
Şekil E3.14. 700 °C’de tavllanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	167
Şekil E3.15. 700 °C’de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	167
Şekil E3.16. 700 °C’de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	168
Şekil E3.17. 700 °C’de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu	168

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Geçmiş yillarda ZnO ile ilgili yapılan alışmalar	2
Tablo 2.1. Kristal sistemleri	9
Tablo 4.1. Bükölme açıları	42

ÖZET

Anahtar kelimeler: İnce film, ZnO ince film kaplama, Molarite, Cu katkılama, Amorf yapı, Kristal yapı, Optik spektrum, XRD, SEM.

Bu çalışmada, farklı molaritelerde ZnO ince filmler mikroskop altlıklar üzerine spin kaplama yöntemiyle kaplanmış ve bu filmlerin mekanik ve optik özellikleri incelenmiştir. Farklı yüzdelerde Cu katkılanmış ZnO ince filmler belli sıcaklıklarda tavlandıktan sonra, elde edilen filmlere ait fiziksel özellikler belirlenmeye çalışılmıştır.

Giriş bölümünden sonraki ikinci bölümde amorf ve kristal yapılar hakkında kısa bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde ince film kaplama teknikleri kısaca ifade edilmiş ve çalışmanın deneysel olan ilk bölümünde (Bölüm 4) farklı molaritelerde ZnO ince filmlere ait sonuçlar ifade edilmiştir. 5. bölümde Cu katkılı ZnO ince filmlerin XRD, SEM, UV-Vis sonuçları verilmiş ve yorumlanmışlardır. Son bölümde ileri çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Cu DOPED ZnO THIN FILMS PRODUCED BY SPIN COATING METHOD

SUMMARY

Keywords: Thin films, ZnO thin film coatings, Molarity, Cu doping, Amorphous structure, Crystal structure, Optical spectra, XRD, SEM.

In this thesis pure ZnO thin films in various molarity are produced using spin coater on microscope glass and their optical and mechanical properties have been investigated. In addition to these series of experiments Cu doped ZnO thin films were fabricated and characterized using XRD, SEM and UV-Vis spectrometers.

After the introductory chapter, we have briefly introduced the crystal and amorphous structures in the Chapter 2. Chapter three is dedicated to the methods that are being used in the production of the thin films. In the chapter four experimental results related to the ZnO films produces at various molarities have been summarised and interpreted.

Chapter five gives the experimental results for the Cu doped ZnO films in different doping ratios. It has been found that the both crystal structures, i.e. ZnO and CuO, can be put into the same matrix without effecting each other. In this chapter XRD, SEM and optical absorption spectra for these samples are also included and explained. In the Chapter 6 a brief summary and a proposal are given for future works.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu çalışmada değişik molaritede saf ZnO ince filmler üretilip, bunların mekanik, optik ve yapısal özellikleri, XRD, SEM ve UV-Vis spektroskopileri kullanılarak aydınlatılmaya çalışılmıştır. Bu deneylerin sonuçları dikkate alınarak, optik ve mekanik özellikleri belli bir aralıkta tutabilecek tek bir molarite (0.5 M) üzerinde odaklanılıp, farklı yüzdelerde Cu katkılı ZnO ince filmler üretilmiş ve bunların farklı tavlama sıcaklıklarındaki davranışları yine XRD, SEM ve UV-Vis spektrumları aracılığıyla incelenmeye çalışılmıştır.

Günümüze kadar ZnO ile ilgili yapılan çalışmalar temel olarak 4 ana grupta toplanabilir. Bunlar; ZnO ince film üretimi, katkılı ZnO çalışmaları, ZnO ince filmin altlık olarak kullanıldığı çalışmalar ve diğer farklı ZnO çalışmaları olarak birbirlerinden ayrılabilir. Bu bağlamda ZnO ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında yıllar geçtikçe bu malzeme ile ilgili bilimsel çalışma sayısının yaygın bir şekilde giderek arttığı gözlenmiştir [1]. ZnO çalışmaları üzerine yapılan inceleme sonucu bu artış belirgin bir şekilde gözlenmiş ve Tablo 1.1'de belirtilmiştir.

ZnO ile yapılan bu çalışmalarda her grupta farklı geometrik şekillere sahip (nanotop, nanoçivi, nanoörümcek vs gibi) yapılar elde edilebilmekle birlikte bir, iki ve üç boyutta (nanometreden mikrometre boyuta kadar) elde edilen bu yapıların genelde nanometre ölçeğinde yapılar olduğu gözlenmiştir [2-5].

Çalışmamızın ilk bölümünde saf ZnO ince film üretimi ele alınmış olmakla birlikte saf ZnO ince film yapım çalışmaları incelendiğinde farklı geometrik yapıda filmlerin, kimyasal buhar biriktirme (CVD), atma lazer biriktirme (Pulsed Laser Deposition, PLD), RF magnetron plazma aktif püskürtme (RFMPRS), spin kaplama (spin-coating) gibi farklı yöntemler kullanılarak amorf veya kristal SiO₂ (silika ve kuartz), alüminyum veya bakır ince plaka, GaAs, silisyum gibi malzemelerden oluşan taban

madde üzerine farklı kimyasallar kullanılarak üretildiği görülmüştür [6,7]. Kimyasal olarak heksametilen tetramin, çinko asetat, $ZnCl_2$ çözeltileri, monoetanolamin, metoksietanol, anhidriyus çinko asetat ($Zn(C_2H_3O_2)_2$) gibi bileşiklerden bahsedilebilir.

Tablo 1.1 Geçmiş yıllarda ZnO ile ilgili yapılan çalışmalar.

<u>Yıl</u>	<u>Çalışma sayısı</u>
1991 ve öncesi	9592
1992	690
1993	732
1994	791
1995	757
1996	927
1997	908
1998	888
1999	776
2000	975
2001	1228
2002	1210
2003	1639
2004	1895
2005	2220
2006	3070
2007	3160
2008	3800
2009	4383
2010	5419
2011	8000

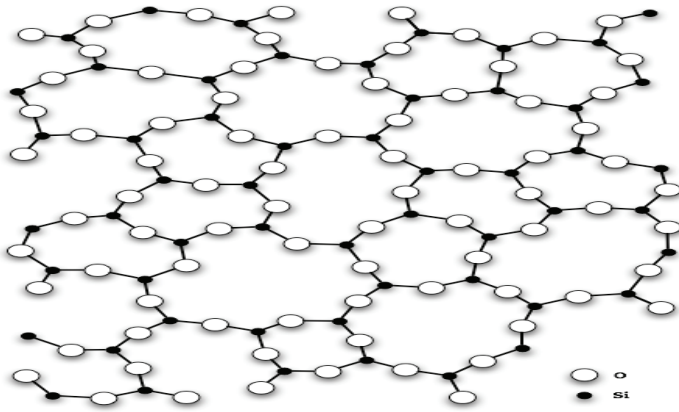
ZnO ince filmlerin eldesinden oluşan yapılar incelendiğinde, bu yapıların genelde nano boyutlu oldukları, bir, iki ve üç boyutlu yapılar için 25 ile 30 nanometre çap, 100-150 nanometre uzunlukta geometrilerin açığa çıktığı; ZnO ince filmin 370 nm (3,35 eV-yakın UV), 520 nm (~2,38 eV- yeşil), 610-640 nm (~2 eV- pembe, kırmızı) dalga boyları civarında salma yaptıkları gözlenmiştir [8].

BÖLÜM 2. KATILAR

Maddeler, oluştukları atomların arasındaki mesafelere göre farklı fiziksel durumlarda bulunabilir. Bu durumları; katı, sıvı, gaz ve plazma olarak sıralayabiliriz. Katı maddeler, atomlar arası mesafesi en az boşluğa sahip olan maddelerdir. Altın, demir, cam gibi maddeler oda koşullarında katılara örnek verilebilir. Bir maddenin katı hali, atomlar arası düzenliliğin en yüksek olduğu halidir. Bu düzenliliğin sınırlarını belirlemek amacıyla katılara genel olarak bakıldığında amorf ya da kristal yapıda bulduklarını görebiliriz.

2.1. Amorf Yapı

Atomların kararlı bir düzende dizilime sahip olmadığı katılar genel olarak amorf yapılar olarak adlandırılır. Amorf yapılarda atomlar rastgele dizildiğinden dolayı katıların belli bir periyodik dağılımı yoktur. Amorf yapılara bir örnek camdır. Camın yapısındaki ana madde SiO_2 düzensiz bir biçimde dağıldığında amorf yapıda olan camı oluşturur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Amorf yapıdaki SiO_2 (Cam)

Cam dışındaki amorf yapılara örnek olarak polistiren gibi polimerler, günlük hayatta da kullandığımız plastik maddeler, ruj gibi makyaj malzemeleri verilebilir. Amorf yapılara genel manada bakıldığında belirli bir erime sıcaklığına sahip olmadıkları görülür [9]. Ancak bir sıcaklık aralığından bahsedilebilir. Amorf madde bu sıcaklık aralığındayken sıcaklık arttıkça giderek yumuşar ve belirsiz bir sıcaklıkta sıvı hale geçmeye başlar.

2.1.1. Amorf yarıiletkenler

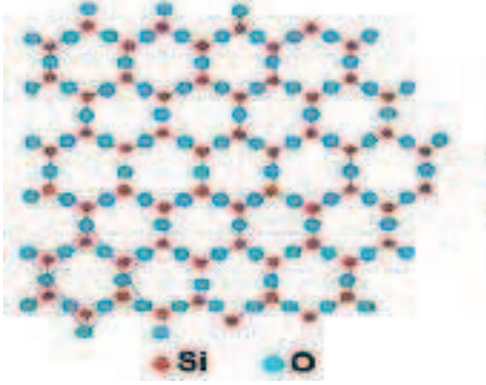
Amorf maddeler, Fermi düzeyi enerji aralığının orta bölgesinde oluşuyla, özgün yarı iletkenlere benzerler. Amorf yarıiletkenler atomları arasında kısa mesafelerde bir düzenlilik gösterip, uzun mesafelerde düzensiz dağılımla karşımıza çıkan yapılardır. Bu nedenle iyi bilinen birçok model amorf yarı iletkenlerin elektronik yapısını açıklamakta yetersiz kalır. Amorf yarıiletkenlerde, hem elektronlar hem boşluklar akım taşıyabilir. Yapı içindeki düzensizlik taşıma sırasında daha çok saçılmaya sebep olur ve dolayısıyla ortalama serbest yol düzensizlikle orantılı olarak azalır. Amorf yarıiletkenler plazma biriktirme ya da buharlaştırma yoluyla ince filmler halinde elde edilebilirler. Bu bağlamda en çok incelenmiş iki amorf yarıiletken türü vardır: Silisyum, germanyum gibi dört yüzlü yapıda amorf katılar ve bileşiminde kükürt, selenyum veya tellür gibi kireçleyici bir element bulunan kireçli camlar [10].

2.2. Kristal Yapı

Bir maddenin yapısını oluşturan atomlar, moleküller veya iyonlar belirli bir periyodiklik içerisinde düzenli bir biçimde dizilmişse bu yapı kristal yapı olarak adlandırılır. Kristal yapılar birim hücre adı verilen küçük, düzenli yapılardan oluşurlar. Bu birim hücreler bir kristalden diğerine farklılık gösterebilmekle birlikte, oluşturdukları kristal yapının özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynarlar[11]. Birim hücrenin tanınması halinde kristal yapı da tanınabilir. Bir kristal yapı genel olarak, belirli bir noktaya karşılık gelen ve baz adı verilen atom veya atom gruplarının uzayda tekrarlanmasıyla oluşur.

Örgü+Baz = Kristal Yapı.

Metallerin tümü, seramiklerin önemli bir kısmı ve bazı polimerler kısmen kristal yapıdadırlar. Kristal yapıya bir diğer örnek olarak düzenli dizilmiş SiO_2 'den oluşan kuartz cam verilebilir (Şekil 2.2).

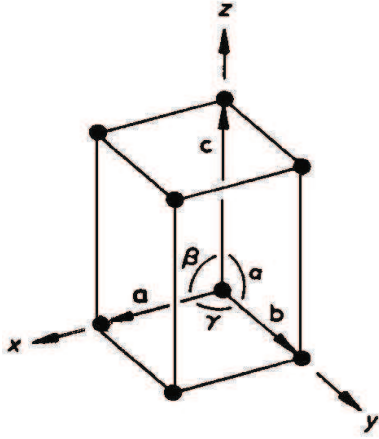


Şekil 2.2. Kristal yapıdaki SiO_2 (Kuartz).

Amorf yapıdan farklı olarak kristal yapıdaki maddelerin erime sıcaklıkları bellidir. Sıcaklık bu değere ulaştığında maddeler faz değiştirirler.

2.2.1. Kristal örgü

Kristal örgü, kristal yapıları açıklamak için ortaya konan tamamen geometrik bir yapıdır. Periyodik bir biçimde geometrik olarak düzenli şekilde üç boyutlu olarak dizilen tanecikler kristal örgüyü oluşturur. Örgü yapısı bir kristalin özellikleri hakkında bilgi verir. Bu nedenle kristalografi, kristali oluşturan atomlardan kaynaklanan olaylardan çok kristalin geometrik özellikleriyle ilgilenir. Bu sayede geometrik örgü yapısı elde edilen bir kristal hakkında birçok bilgiye sahip olunabilir. Kristalografide bu geometrik düzeni belirleyebilmek için x, y ve z eksenleri boyunca olan en yakın örgü noktalarının mesafeleri ve doğrultuları a, b ve c örgü vektörleri ile belirlenir. Örgü vektörleri birim hücreyi oluşturan vektörlerdir. a, b ve c'nin uzunlukları ile bunların arasındaki α , β ve γ açıları verilerek bir örgünün yapısı tümüyle belirlenir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Üç boyutlu bir kristal örgüde birim hücre ve eksenler.

Kristali oluşturan tüm örgü noktalarının konumlarına, periyodiklikten yararlanılarak belirli katsayılar yardımıyla ulaşılabilir. Bu katsayılar birim hücrenin boyutuna göre belirlenir. Birim hücreyi oluşturan vektörler bir birim kabul edilir ve örgü temel vektörü

$$\mathbf{r} = \mathbf{a} + \mathbf{b} + \mathbf{c}$$

şeklinde verilebilir. Herhangi bir örgü noktasının konumu ise n_1 , n_2 ve n_3 tamsayılar olmak üzere aşağıdaki gibi verilebilir:

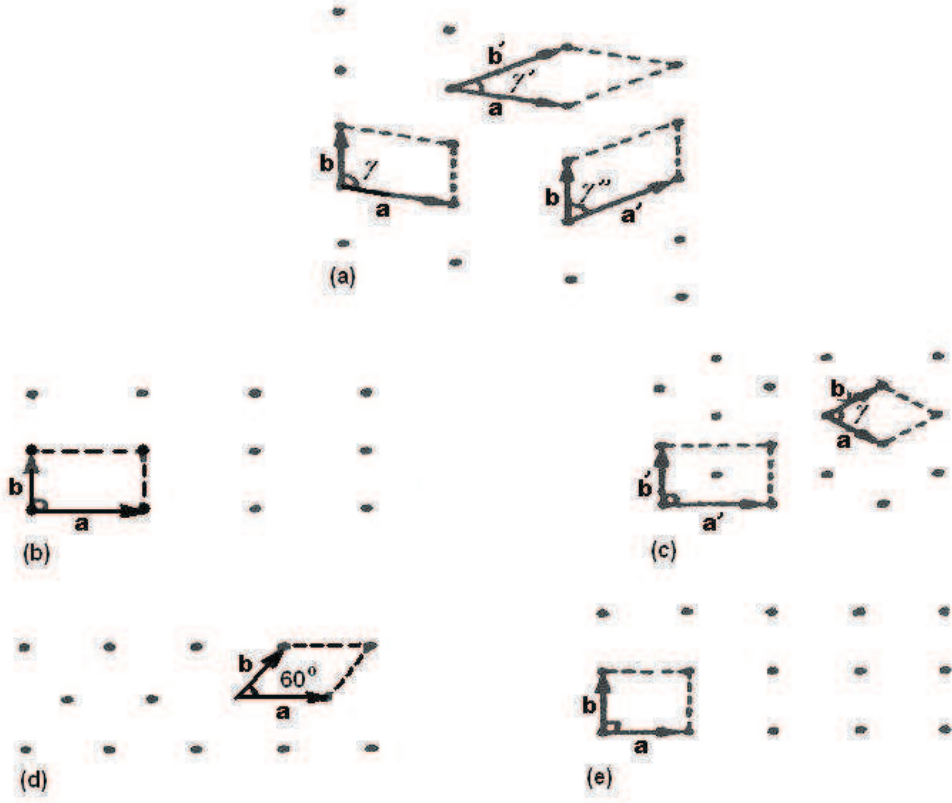
$$\mathbf{t} = n_1 \cdot \mathbf{a} + n_2 \cdot \mathbf{b} + n_3 \cdot \mathbf{c}$$

2.2.2. Temel örgü türleri

2.2.2.a. İki boyutlu örgü türleri

Örgü öteleme vektörlerinin boyları veya aralarındaki açılarının değerinde bir kısıtlama olmadığı için olabilecek örgü türü sayısı sınırsızdır. Bu örgü türleri üzerinde kısıtlama yaparsak iki boyutta beş temel örgü türü elde edilir. Genel olarak iki boyutlu bir örgü için birim hücre öteleme vektörleri \mathbf{a} , \mathbf{b} ve \mathbf{a} ile \mathbf{b} arasındaki γ açısıyla belirlenir. Bu örgüler genel anlamda eğik örgü olarak adlandırılır (Şekil 2.4.a). Aradaki açının veya örgü vektörlerinin uzunluklarının değişmesiyle diğer dört

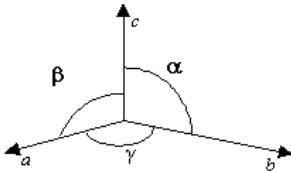
örgü türü elde edilebilir. $\gamma = 90^\circ$ ve $a \neq b$ iken dikdörtgen örgü (Şekil 2.4.b), değişken bir γ açısında $a = b$ iken rombik örgü (Şekil 2.4.c), $\gamma = 60^\circ$ ve $a = b$ iken üçgen örgü (Şekil 2.4.d), $\gamma = 90^\circ$ ve $a = b$ iken kare örgü (Şekil 2.4.e) elde edilir [12].



Şekil 2.4. İki boyutlu uzayda beş örgü türü.

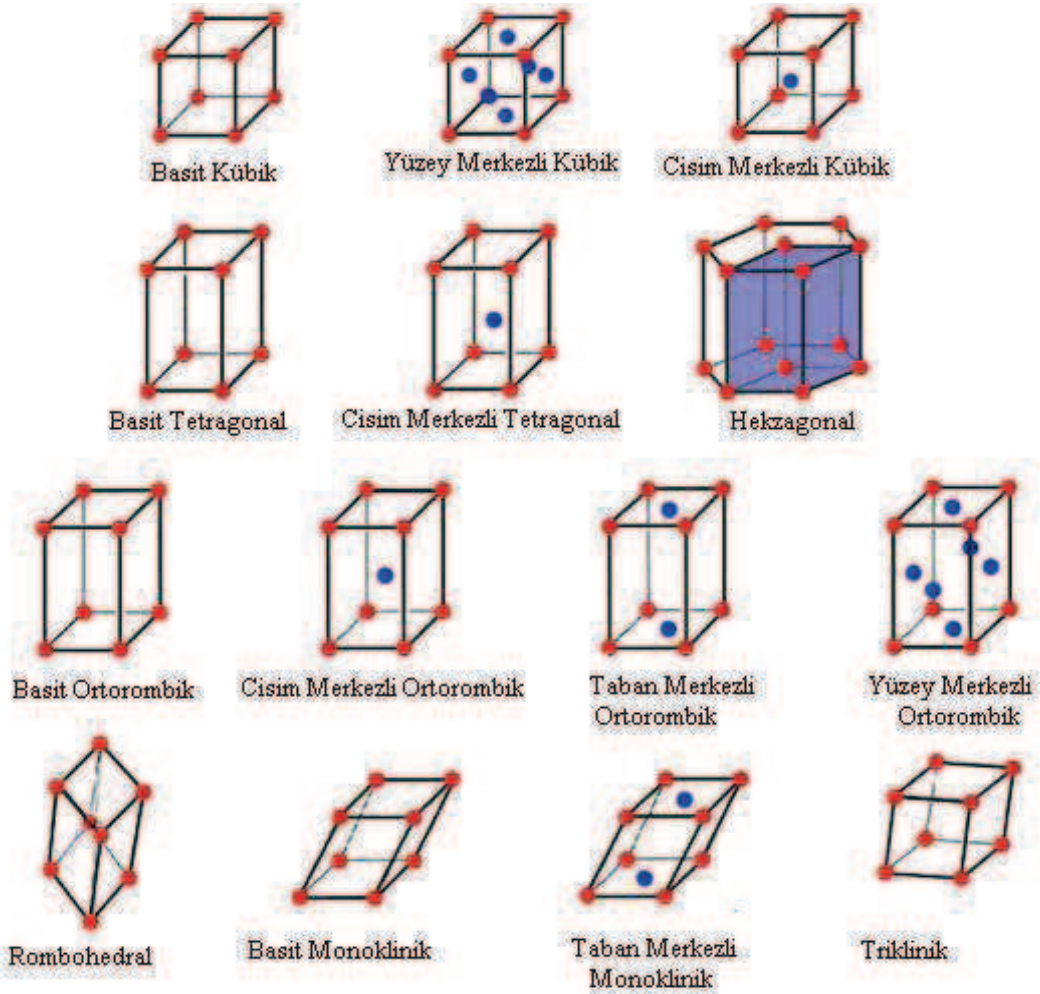
2.2.2.b Üç boyutlu örgü türleri

Üç boyutlu uzayda genel olarak bir birim hücre, aralarındaki açılar α , β ve γ olan a , b ve c temel öteleme vektörlerinden oluşur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Üç boyutlu uzayda temel öteleme vektörleri aralarındaki açılar.

Üç boyutlu uzayda 14 farklı örgü türü bulunmaktadır. Bu örgü türlerinin kullanılmasıyla oluşan kristallerin Şekil 2.6'da gösterilen birim hücreleri Bravais hücreleri olarak adlandırılır. Bu örgülerden 7 tanesi ilkel, diğer 7 tanesi ilkel olmayan hücreleri içerir. a , b , c ile α , β , γ 'lara birim hücre parametreleri denir. Bu 14 çeşit Bravais örgüden 7'si kristal sistemin isimlerini içerir.



Şekil 2.6. Üç boyutlu uzayda 14 farklı örgü türü.

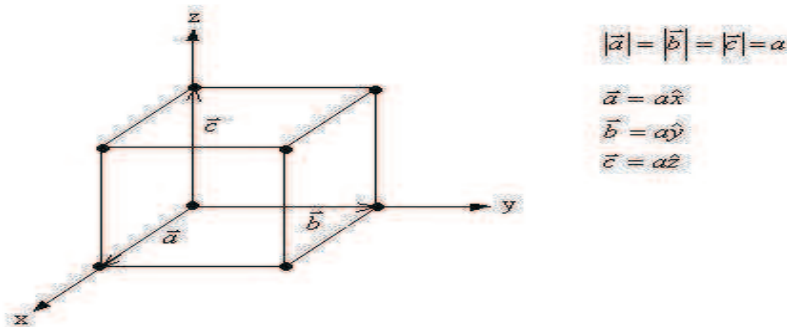
Bu açılara ve boyutlara farklı değerler vererek 7 kristal türü elde edilir. Bu kristal sistemler triklinik, monoklinik, ortorombik, tetragonal, kübik, trigonal ve altıgen yapılarıdır. Bu kristal sistemlerin Bravais örgü türleri ve birim hücre özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Kristal sistemleri.

Kristal sistemi	Bravais örgüsü	Birim hücre özellikleri
Triklinik	Basit	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
Monoklinik	Basit Taban merkezli	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$
Ortorombik	Basit Taban merkezli Cisim merkezli Yüzey merkezli	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Tetragonal	Basit Cisim merkezli	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Kübik	Basit Cisim merkezli Yüzey merkezli	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Trigonal	Basit	$a = b = c,$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
Hekzagonal	Basit	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$

2.2.3. Basit kübik yapı

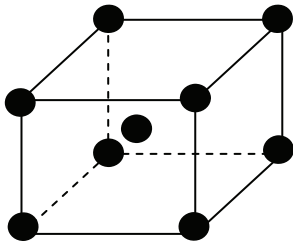
Basit kübik yapı (sc), Bravais örgüsü en basit yapıya sahip olan örgüdür (Şekil 2.7). Yanyana ve üstüste küpler düşünelim; küplerin ucundaki her atom diğer küplerin ucuna gelmektedir. Böylece küplerin uç noktalarında (1/8) atom olur (Yani bir atom 8 tane küp tarafından ortaklaşa kullanılıyor). Sekiz köşeden gelen katkı $8 \cdot (1/8) = 1$ ifadesinden hareketle 1 atom olmaktadır.



Şekil 2.7. Basit kübik yapı.

2.2.4. Hacim merkezli kübik yapı

Basit kübün 8 kenarı yanı sıra kübün merkezine de bir atom yerleştirilmiştir. Hacim merkezli kübik yapıda (bcc) kübün köşelerindeki atomlar komşu 8 tane farklı örgü tarafından ortaklaşa kullanılır. Bu durumda küplerin uç noktalarında $1/8$ atom ve sekiz köşe bulunduğundan dolayı gelen katkı 1 atom olur. Hacim merkezinde de bir atom bulunduğundan bu yapının birim hücrelerinde 2 atom vardır (Şekil 2.8).

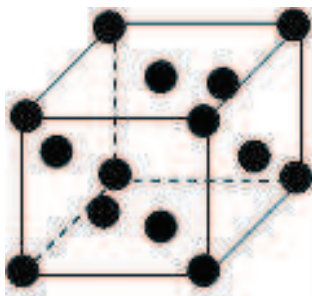


Şekil 2.8. Hacim merkezli kübik yapı(bcc).

Li(lityum), Na(sodyum), Ba(baryum), Cr(krom) ve tungsten metalleri bcc yapıda kristalleşirler.

2.2.5. Yüzey merkezli kübik yapı

Yüzey merkezli kübik yapıda(fcc) atomlar birim hücrenin köşelerine ve yüzlerin merkezine yerleşmişlerdir. Birim hücre için köşelerden gelen atom katkısı 1, yüzeylerden gelen katkı ise 3 atomdur. Bu durumda yüzey merkezli bir kübik yapının birim hücresi 4 atom içerir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Yüzey merkezli kübik yapı.

Ag(Gümüş), Al(Alüminyum), Au(Altın), Pb(Kurşun), Ni(Nikel) yüzey merkezli kübik yapıda kristalleşen elementlerdir.

2.2.6. Gerçek kristal yapılar

2.2.6.1. Sodyum klorür yapısı

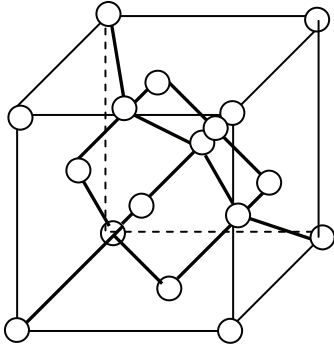
Sodyum klorür (NaCl) yapısı yüzey merkezli kübik yapıdadır. Bravais örgü noktalarına yerleşen Na atomları kendi başlarına bir fcc yapı oluştururlar. Cl atomları ise bir başka fcc yapı oluştururlar. Na ve Cl atomları ardışık bir düzen içinde dizilecek şekilde bu iki fcc yapıdan biri ötekinin içine yerleşerek NaCl kristalini oluşturur. İki fcc yapıdan birinin başlangıç noktası (0,0,0) konumunda ise ötekinin başlangıcı $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ noktasındadır (veya tersi). NaCl'nin birim hücresinde 4 molekül 8 de atom vardır.

2.2.6.2. Sezyum klorür yapısı

Sezyum klorür(CsCl) cisim merkezli yapı ile karıştırılmamalıdır. CsCl'de Cl tesadüfi olarak merkezde bulunmaktadır. CsCl yapı Cs ve Cl atomlarının ayrı ayrı oluşturdukları iki basit kübik yapının iç içe girmesiyle oluşur. Bu iki yapıdan birinin başlangıcı diğerinin merkezine yerleşir. CsCl yapı (0,0,0) noktasındaki Cs ve $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ noktasındaki Cl atomunun oluşturduğu basit kübik yapıdır. İlkel hücre başına bir CsCl molekülü düşer.

2.2.6.3. Elmas kristal yapı

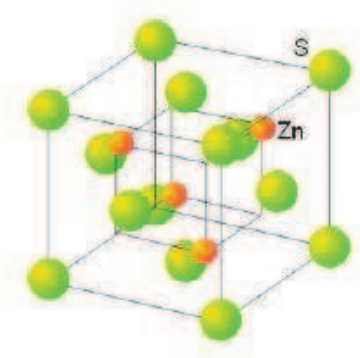
Karbon atomlarının oluşturduğu elmas yapıda birisi (0,0,0) konumunda, diğerinin başlangıcı $(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$ konumunda olan iç içe geçmiş iki fcc örgü vardır (Şekil 2.10). Karbon(C), silisyum(Si), germanyum(Ge) elmas yapıda kristalleşir. Bu tip elementlerin atomları kendi aralarında ortaklaşa bağ (kovalent bağ) oluşturarak kararlı bir bileşik yapı oluştururlar.



Şekil 2.10. Elmas kristal yapısı.

2.2.6.4. Kübik çinko sülfür yapısı

Elmas yapısına bir diğer bakış açısı da, birbirinden çeyrek cisim köşegeni uzunluğu kadar ötelenmiş iki yüzey merkezli kübik örgü yapısı olarak görülmesidir. Bu, yüzey merkezli kübik örgü yapısının birine çinko (Zn) atomları, diğerinde ise sülfür (S) atomlarının yerleşmesinden ibarettir. Örgü yapısı yüzey merkezli kübik örgüdür. Geleneksel birim hücrede dört ZnS molekülü bulunur. CuF, SiC, CuCl, ZnSe, GaAs bu yapıda bulunan kristallerden bazılarıdır. Bu çalışmada ince film olarak üreteceğimiz ZnO da bu tipte kristalleşebilen yarıiletken malzemeler arasındadır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Kübik çinko sülfür yapısı.

BÖLÜM 3. İNCE FİLM, KAPLAMA ve ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

3.1. İnce Film

Genel olarak bir yüzey üzerine kaplanmış ve kalınlığı mikron mertebesinde olan tabakalara ince film adı verilebilir. İnce filmlerin kullanılış amaçları farklı olabilmekle beraber genel olarak kaplanan yüzeyin dayanıklılığını ve ömrünü artırmak, yüzeye parlaklık kazandırmak, ışın geçişini sağlamak veya engellemek gibi amaçları vardır. Bu bağlamda ince filmlerin birçok kullanım alanı bulunur. Gıda, otomotiv, beyaz eşya, cam, elektronik ve telekomünikasyon sanayisinde kullanılır. Bunların dışında optik, elektrik mühendisliği, ofis elemanları ve taşıtlarda ince filmlerin uygulamalarına rastlanır. Koruyucu tabakalar, girişim filtresi, devre elemanları, kamera lensleri, tek geçişli aynalar, optik filtreler vb. ince filmlerin üretimi sonucu elde edilen yapılardan bazılarıdır. Günlük hayatta da birçok kullanım alanına sahip olan ince filmler otomobil ve gözlük camlarına uygulanarak ışın geçmesini engelleyici etki yaparlar [13,14].

3.2. İnce Filmlerin Teknolojik Uygulamaları

Birçok teknolojik uygulaması bulunan ince filmlerin günümüzdeki en yaygın uygulama alanı güneş pilleri eldesinde olmuştur. Güneş enerjisinin daha verimli kullanılmasını sağlamak amacıyla bu teknoloji içinde oldukça fazla uygulanmaktadır. Bunun dışında lazer aynaları, kutuplayıcılar, optik disk bellekleri, koruyucu filmler eldesinde ve elektronik teknolojisinde de ince filmler sıklıkla kullanılmaktadır [15].

3.3. İnce Film Kaplama Teknikleri

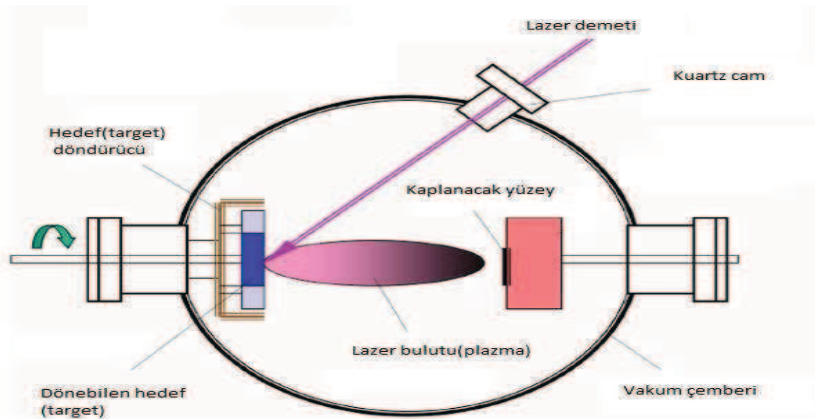
İnce filmlerin birçok elde edilmiş yolu olmakla birlikte bunlar iki ana yöntem altında toplanabilir: Fiziksel Buhar Biriktirme (Physical Vapor Deposition) ve Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapor Deposition).

3.3.1. Fiziksel buhar biriktirme

Fiziksel buhar biriktirme (PVD) ile kaplama teknolojisi 1800'lü yıllardan beri bilinmekte, ancak son 50 senedir kendisine endüstride bir yer bulabilmiş, ince film kaplama tekniğidir. Günümüze kadar geliştirilen farklı kaplama işlemleri ile uygulanan bu tekniğin mekanizması basitçe şöyledir. Vakumlu ortamda buharlaştırılan kaplayıcı malzeme, kaplanacak olan malzeme üzerinde ince bir film katmanı halinde biriktirilir. PVD kaplamaları genellikle 1-5 mikron tabaka kalınlıklarında üretilir. Kaplamalar 200-500 °C arasında gerçekleştirilir. Bu şekilde ince film elde edilir. Fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden bazıları; sıçratma biriktirme, lazer biriktirme, iyon kaplama, elektron demeti, daldırma, magnetron sıçratma biriktirme yöntemleridir.

3.3.1.1. Lazer biriktirme

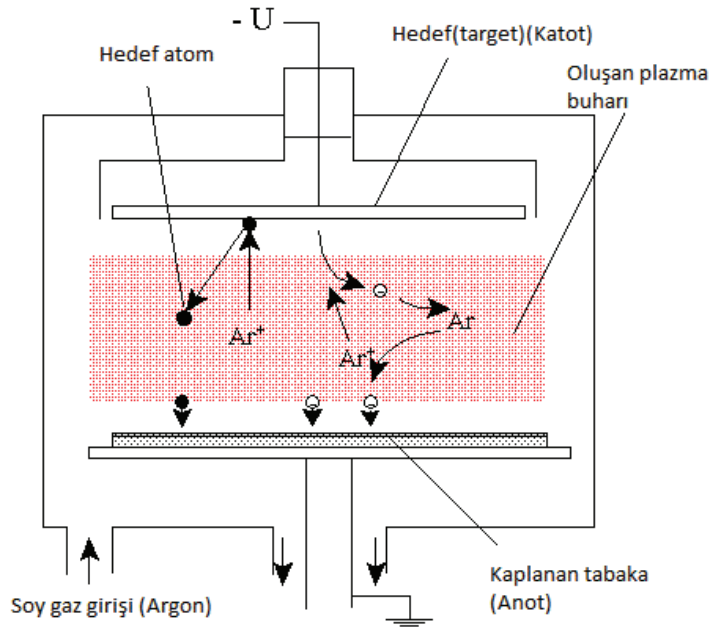
Lazer biriktirme işlemi, vakum çemberi içerisindeki hedefe yüksek güçte lazer tutulması ile gerçekleştirilir (Şekil 3.1). Lazer tutulması, hedefteki malzemenin buharlaşarak, altlık üzerine kaplama yapılabilmesini sağlar. Bu işlem çok yüksek basınçlı vakum ortamlarında veya bir alt gazın bulunduğu ortamda yapılabilir. Lazer demeti hedefe ulaştığında, enerji hedef tarafından absorblanarak termal enerjiye çevrilir. Buharlaşma oluşur ve plazma ortaya çıkar. Plazmanın içerisinde çok yüksek enerjili parçacıklar vardır. Bu parçacıklar, sıcak altlık üzerinde birikerek film tabakasını oluşturur [16-18].



Şekil 3.1. Lazer buhar biriktirme.

3.3.1.2. Saçtırma biriktirme

Katı hedef malzeme pozitif iyonlarla bombardıman edilerek atomlar yüzeyden kopartılır. Kaplanacak olan malzeme, hızlandırılmış iyonlar gibi enerjik parçacıklarla bombardıman edilirse, saçılan atomlar substrat yüzeyinde film tabakası oluştururlar (Şekil 3.2).



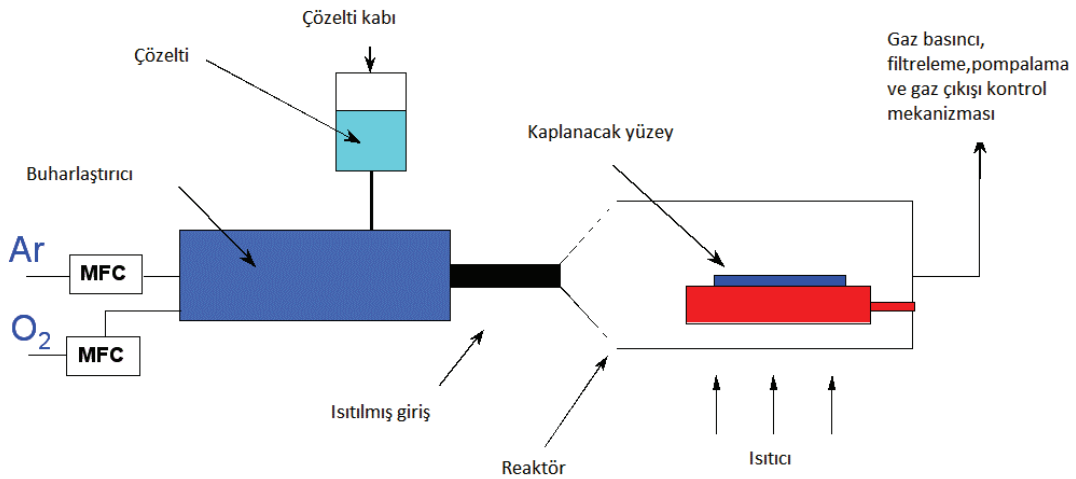
Şekil 3.2. Saçtırma biriktirme yöntemiyle kaplama eldesi.

3.3.1.3. Magnetron sızratma yöntemi

Magnetron sızratma işleminde saçtırma yöntemine ek olarak manyetik bir alan, katotla üst üste bindirilir ve katot yüzeyine paralel bir ışıldama boşalması oluşturulur. Dairesel bir hareket gösteren ışıldama boşalması içerisindeki elektronlar, manyetik alanla birlikte katotta plazma yoğunluğunu artırır. Elde edilen iyonlar yüksek hızlarda, kaplayıcı malzeme yüzeyine çarptırılarak buhar oluşumuna sebep olurlar. Oluşan bu buhar kaplama yüzeyine ulaşarak kaplama yapılır [19-21].

3.3.2. Kimyasal buhar biriktirme

Kimyasal buhar biriktirme (CVD), kaplama yüzeyini kimyasal buhar tepkimeleriyle ince bir film tabakasıyla kaplayan biriktirme sürecidir. CVD reaksiyonları ısı, RF enerji ya da ışık ile harekete geçirilebilir. CVD süreci çoğunlukla düşük basınçta reaktör içine tanımlanan bir ya da daha fazla gazı içerir. Sıcak altlık yüzeyindeki gazların tepkimesiyle oluşan bileşik gazlar altlık yüzeyine yapışarak filmi oluşturur [22]. PVD'ye göre daha homojen bir film eldesi mümkündür. Kaplamalar 850-1000 °C arasında gerçekleştirilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. CVD mekanizması.

3.3.3. Spin kaplama yöntemi

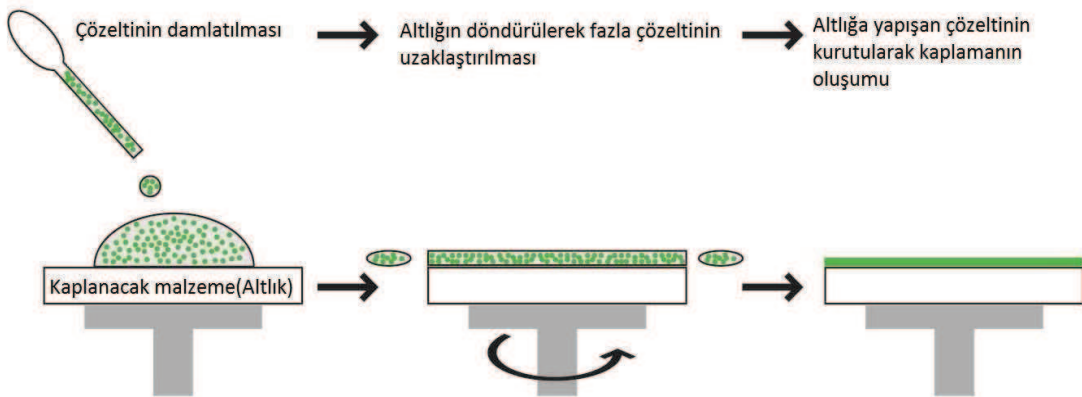
Spin kaplama yöntemi son on yıldır katı yüzeyler üzerine çözeltilerden oluşan bileşiklerin kaplanmasında, polimer kaplamada ve özellikle de mikro elektroniklerin üretiminde fotodirenç depolamada en çok kullanılan tekniktir. Fikir oldukça basittir. Dakikada binlerce kez dönen bir alt tabaka üzerine kaplama yapılmak istenen maddenin çözeltisi dökülür. Merkezci kuvvetin etkisi altında çözelti tüm altlık üzerine düzgün şekilde yayılır. Dönme esnasında çözücünün uzaklaşmasıyla yüzey kurur [23]. Sistemde kaplamanın yapılacağı bölüm bir kapakla ortamdandır.

Bu, filmlerin tozdan arındırılmış bir alanda kaplanmasına sağlar. Sistem üzerinde bulunan kontrol paneli yardımıyla dönüş hızı veya süresini ayarlamak için komutlar verilebilir (Şekil 3.4).



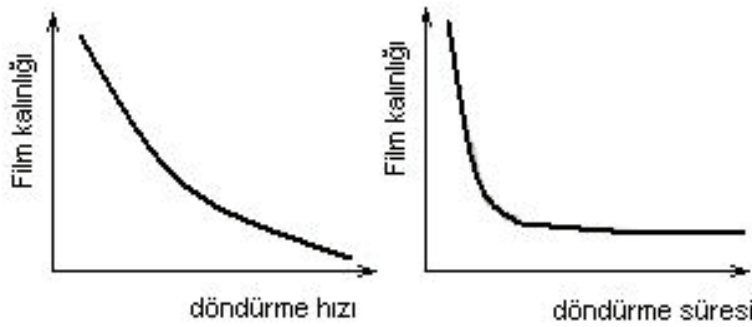
Şekil 3.4. Spin kaplama cihazı.

Şimdi bu çalışmada kullanılan spin kaplama cihazının çalışma sistemini ele alalım. Genel süreç hazırlanan çözeltinin bir damlasının altlığın merkezine damlatılması ve sonra altlığın yüksek dönme hızlarında (tipik olarak 3000 dev/dak) döndürülmesi esasına dayanır. Bu dönme hızları ve dönme süreleri cihazın elektronik sistemindeki bir yazılım sayesinde ayarlanabilir. Merkezi hızlandırma fazla çözeltinin uzaklaştırılmasını ve kalan çözeltinin ise altlık yüzeyine ince film şeklinde yayılmasını sağlar (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Spin kaplama yönteminin temel adımları.

Spin kaplama yöntemiyle genel olarak 1-10 mikron arasında değişen kaplama kalınlığına sahip ince filmler elde edilir. Oluşan kaplamanın kalınlığında altlığın dönme hızı, damlatılan çözelti miktarı, çözeltinin damlatılma süresi etkili olur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Döndürme hızı ve süresinin film kalınlığı üzerindeki etkisi.

3.4. İnce Filmlerde Kalınlık Ölçüm Teknikleri

3.4.1. Film kalınlığı

Bir kaplamanın kalınlığı üç farklı şekilde ele alınabilir. Bunlar; geometrik, kütle ve yapı kalınlığıdır. Geometrik kalınlık; kaplama tabakasının kalınlığını verir. Kaplamanın üst yüzeyi ve alt yüzeyi arasındaki mesafeyi veren bu kalınlık iki yüzeyin ayrılmasıyla elde edilir. Bu yöntemle mikroinç, nanometre, angstrom, mikron mertebelerindeki kalınlıklar ölçülebilir. Kütle kalınlığı; numuneler, elementel analizden geçirilerek hesaplanabilir. Elde edilen ölçüm mikrogram/cm³ mertebesindedir. Yapı kalınlığı ise X-ışını kırınımıyla bulunabilir ve filmin yoğunluğuna, mikro yapısına, karışımına, kristalografik yönelimine bağlıdır. Elde edilen veriler kaplamada oluşan kristal düzlemlerini verir.

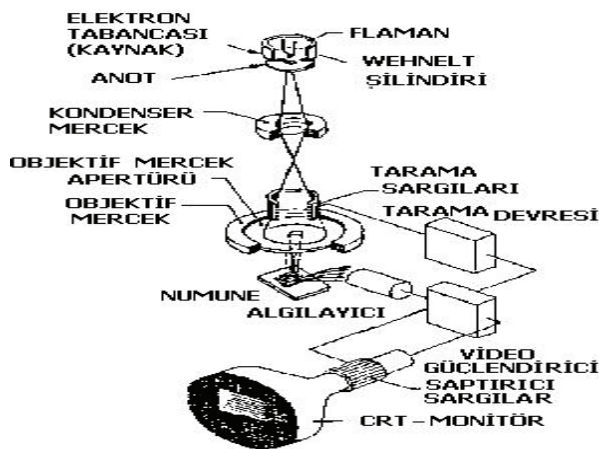
3.4.2. Kalınlık ölçümündeki teknikler

Bir ince filmin kalınlığını ölçmek için farklı teknikler bulunmaktadır. Optik ölçme teknikleri ile bir ince filmin lineer optiksel sabitleri olan kırılma indisi, soğurma

katsayısı ile ince filmin kalınlığı ölçülebilir. Optik ölçme teknikleri; fotometri, polarimetri ve elipsometri olarak sıralanabilir. Fotometri; bir çözelti veya yapı içindeki madde miktarını çözülden geçen veya çözeltinin tuttuğu ışık miktarından faydalanarak ölçme işlemidir. Polarimetri; ışığın polarizasyon sistemindeki etkin maddelerden geçerken oluşan dönmelerin ölçülmesi işlemidir. Elipsometri; kutuplanmış ışığın ölçümü ve analizine dayalı deneysel bir tekniktir. Bu teknikler dışında SEM ve TEM gibi teknikler yaygın olarak ince film kalınlığı ölçümü için kullanılır.

3.4.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

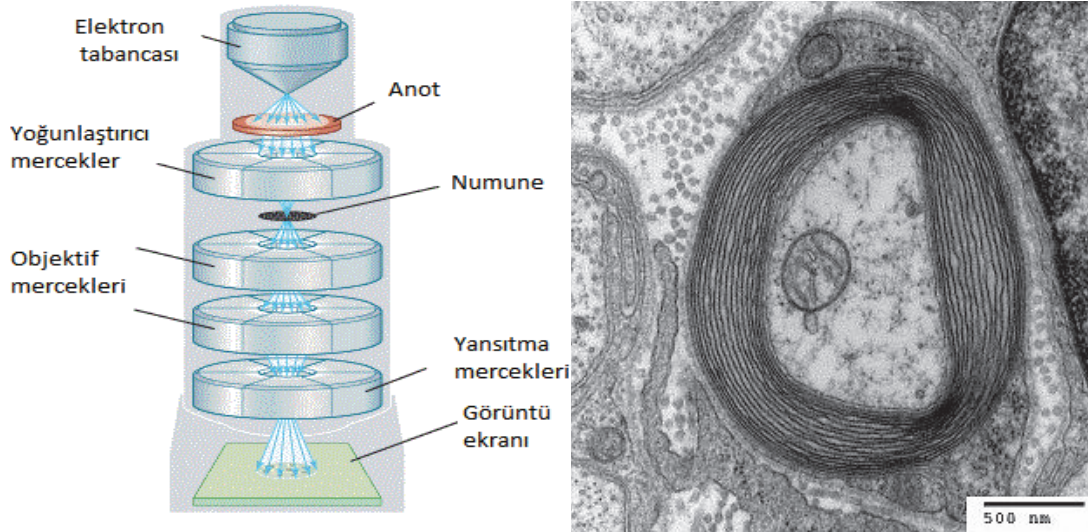
SEM (Scanning Electron Microscope), çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taraması prensibiyle çalışır. Elektron ışını örnek yüzeyine odaklanır ve örnek yüzeyini taramaya başlar. Işının örnek yüzeyini taramaya başlamasıyla yüzeyden yansıyan elektronlar, örneğe göre birkaç yüz volt pozitif voltajda tutulan anot ile toplanır. Toplayıcı anottaki akım yükseltilir ve katot ışın tüpündeki mikroskop ışını ile eş zamanlı olarak tarama elektron ışınlarını değiştirmek için kullanılır. Katot ışın tüpü, örneğin oldukça büyütülmüş olan görüntüsünü alır. Nesneden ne kadar çok elektron koparsa, katot ışın tüpünde bu noktaya karşılık olan ışık benliği o kadar parlak olur. Büyütme oranı, katot tüpünün büyüklüğü ile tarama alanının büyüklüğü arasındaki ilişkiye bağlıdır. SEM'in ayırma gücü 10 nm mertebesinde (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. SEM'in şeması.

3.4.2.2. Geçirmeli elektron mikroskobu (TEM)

TEM (Transmission Electron Microscope) cismin içinden geçirilen yüksek enerjili elektronların görüntülenmesi prensibine dayanır. Yüksek voltaj altında hızlandırılmış elektronlar ince numune üzerine gönderilir ve elektronların bir kısmı etkileşmeden diğer kısmı da Bragg şartları sonucu kırınımına uğrayarak numunenin alt yüzünden dışarı çıkar. Bu tür elektronları kullanarak numunenin iç yapısının incelenmesi geçirmeli elektron mikroskobunda yapılır (bkz. Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Geçirmeli elektron mikroskopisi (TEM) şeması ve bir örnek TEM görüntüsü.

BÖLÜM 4. FARKLI MOLARİTELİ ZnO İNCE FİMLERİN OPTİK ve MEKANİK ÖZELLİKLERİ

4.1. Giriş

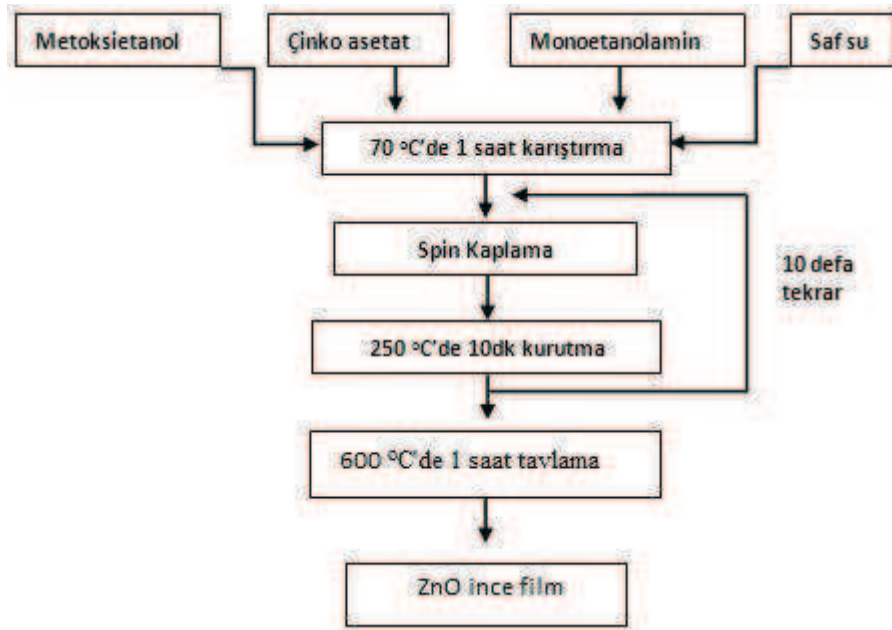
Tez çalışmamızın bu bölümünde, amorf özellik taşıyan mikroskop camı üzerine farklı molaritelerde saf ZnO ince film kaplanması ve bu filmlerin optik ve mekanik özelliklerinin incelenmesi hedef alınmıştır. Bu bölümde mikroskop camı taban maddesi üzerine farklı molaritelerde (0,3 – 2 M) kaplanan ZnO ince filmlerin aynı süreyle (1 saat) aynı sıcaklıkta (600 °C) tavlama yapılmış, optik ve mekanik özelliklerine ait deneysel hazırlık ve uygulama süreçleriyle, bunlardan elde edilen spektrum sonuçları sunulmuştur.

4.2. Sol-jel ve Numune Hazırlığı

Öncelikle yapılması planlanan ZnO ince filmler için hacmi 30 ml olan çözeltiler hazırlanmasına karar verilmiştir. Tartma işlemleri Ohaus Pioneer TM marka hassas terazide gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede, manyetik karıştırıcıda (Wisestir, MSH-20A), 0,3 molarlık çözelti için; 1,975 gr, 0,5 molar için; 3,292 gr, 0,7 molar için; 4,609 gr, 1 molar için; 6,585 gr, 1,5 molar için; 9,877 gr, 2 molar için; 13,170 gr çinkoasetatın ($C_4H_{10}O_6Zn$), her bir molarite için, 9,930 gr metoksietanol ($C_3H_8O_2$) içerisinde çözünmesi sağlanmıştır. Ardından içine çözünürlüğü artırmak için 9,930 gr monoetanolamin ve 9,930 gr saf su ilavesi yapılmış ve homojenliğin sağlanması için 70 °C'de 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra çözeltinin oda sıcaklığına gelmesi beklenmiştir.

Sonica Mod.1200M markalı ultrasonik temizleyicide aseton içerisinde 12 dk süre ile temizliği sağlanmış olan mikroskop camı spin kaplama cihazına yerleştirilmiştir. Altlık üzerine belli kalınlıkta film oluşturmak üzere 500 mikrolitre hacimlerde

çözelti damlatılarak 500 tur/s'de (rpm) çalışan spin kaplama cihazının (1.aşama 30s, 2.aşama 10s, 3. aşama 10s alınarak) kullanılmasıyla süreç tamamlanmıştır. Her bir katmanın ardından bu katmanın kurutulması ve kimyasal atıkların yüzeyden uzaklaştırılması amacıyla fırında 250 °C'de 10 dk tutulmuşlardır. 10 kat film tamamlandıktan sonra hazırlanan ince film, 600 °C' de 1 saat süreyle Nabertherm marka fırında tavlanmıştır. İşlemin basamakları Şekil 4.1'deki akış diyagramında gösterilmiştir. Bu işlemler her bir molarite için tekrarlanmıştır.

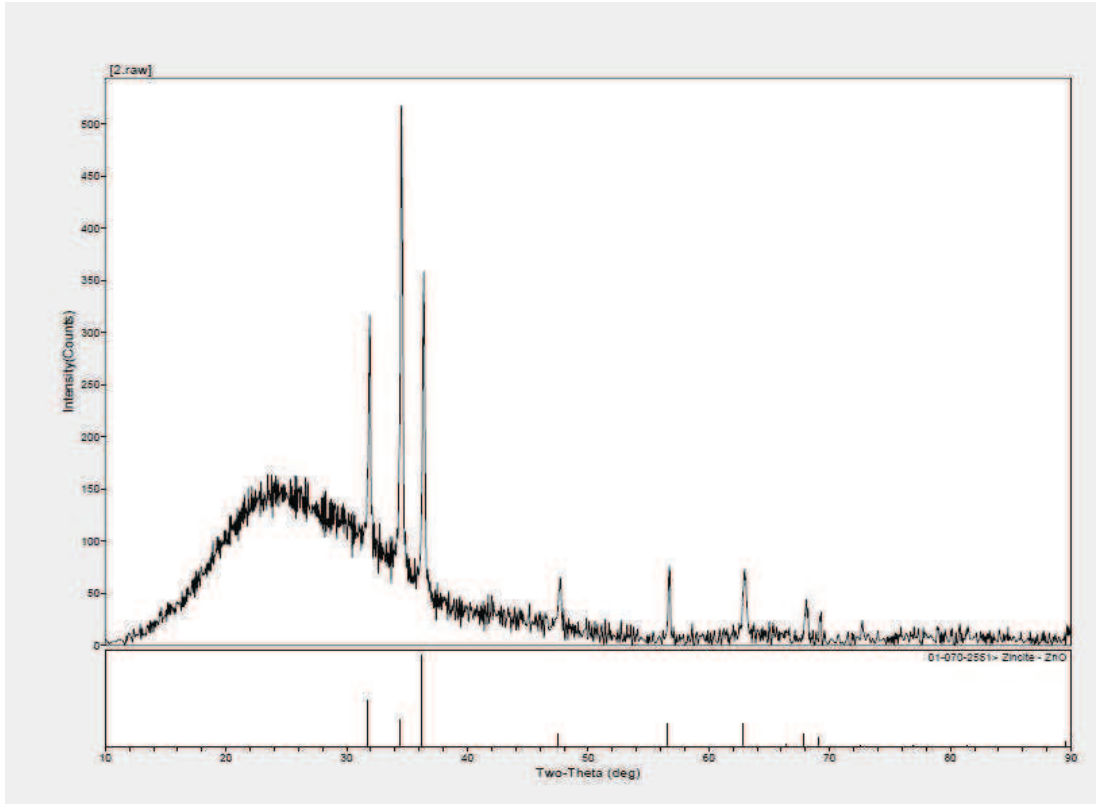


Şekil 4.1. ZnO ince film üretimi akış diyagramı.

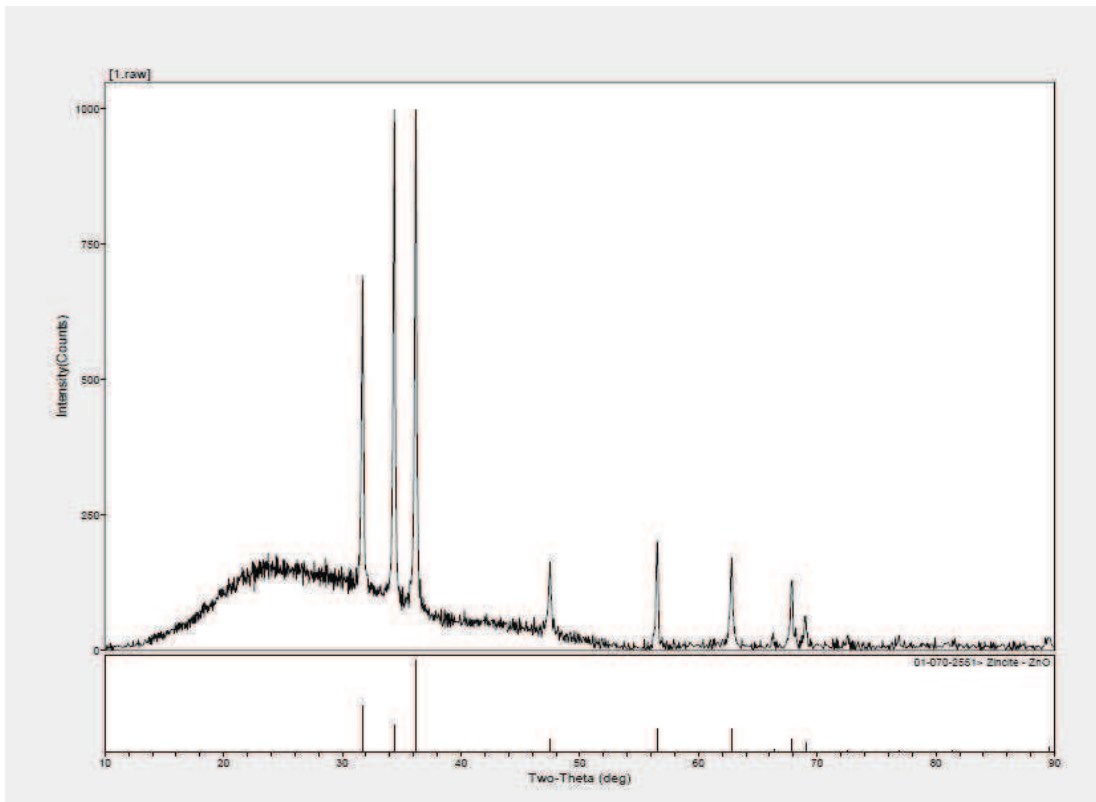
Film kaplama aşamalarından sonra hazırlanan ZnO ince filmler, UV soğurma, XRD ve EDS spektrumları ile SEM görüntüleri alınacak hale getirilmişlerdir.

4.3. XRD Sonuçları

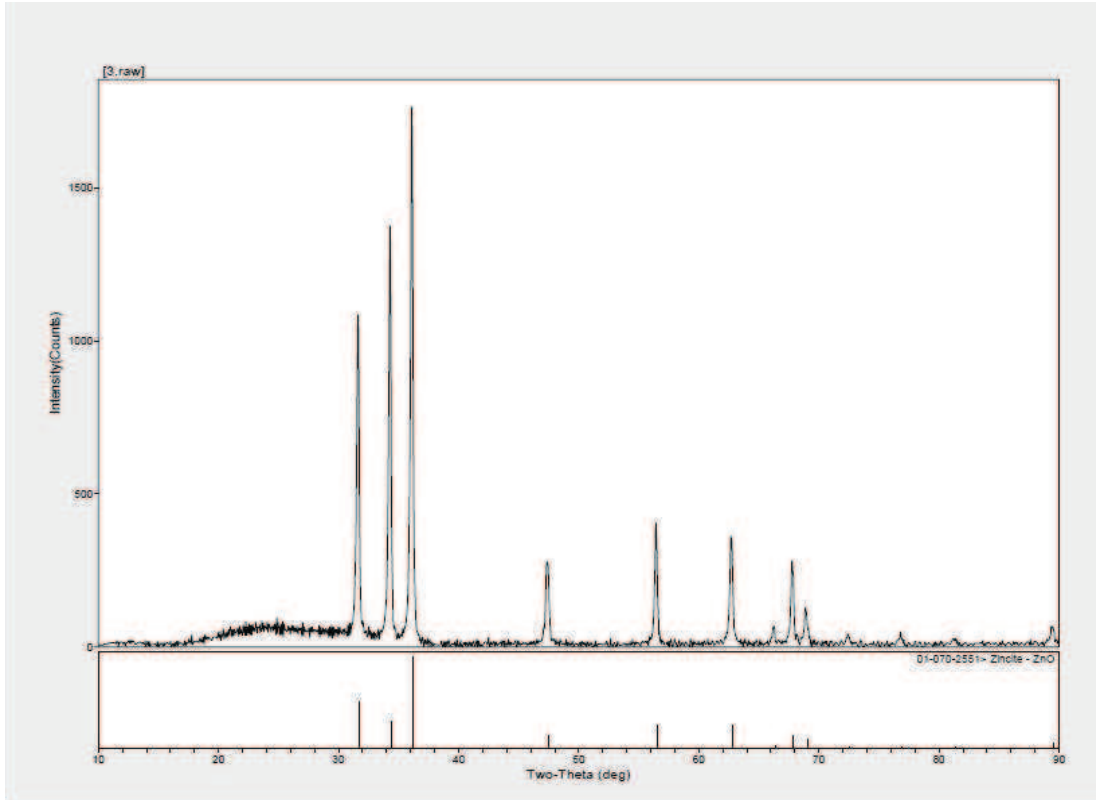
Numunelerin (ince filmlerin) kristalleşip kristalleşmedikleri ilk olarak XRD sonuçları gözlenerek değerlendirilmiştir. Bu çerçevede Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji-Malzeme Mühendisliği Bölümündeki araştırma laboratuvarında RIGAKU D/Max 2200 PC markalı XRD spektrometrede Cu K_α bandı kullanılarak ince filmlerin XRD spektrumuna bakılmıştır (Şekil 4.2-7).



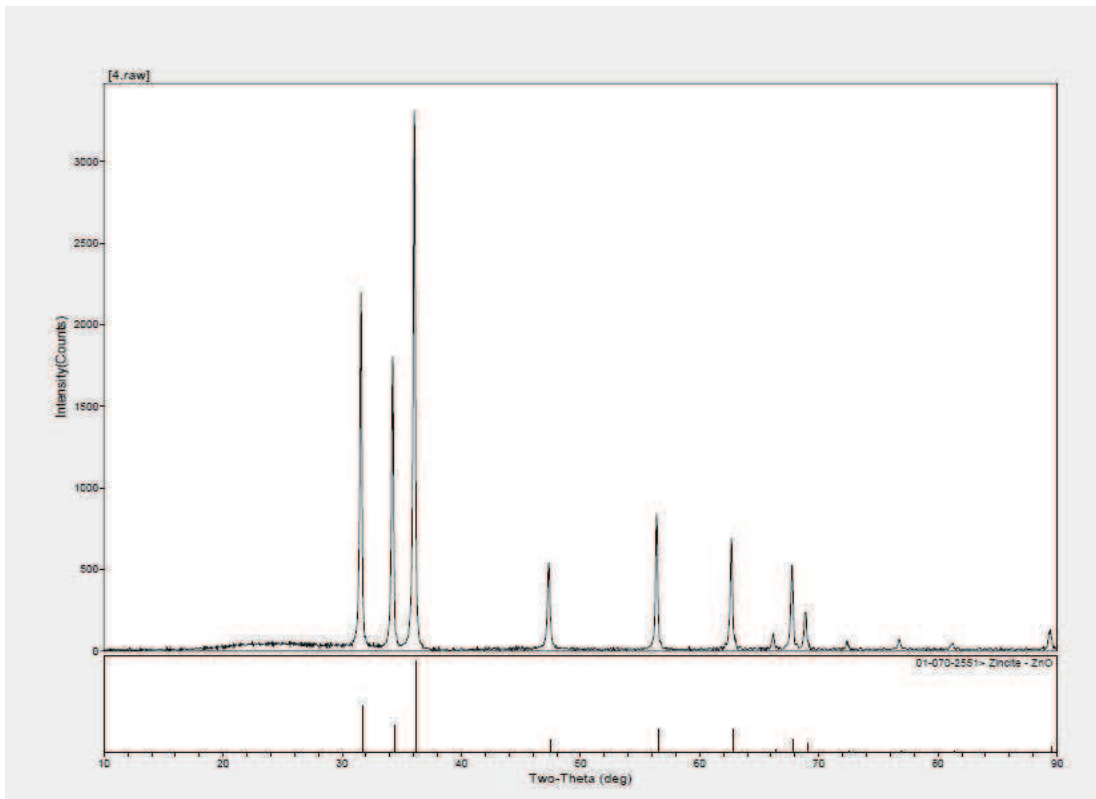
Şekil 4.2. 0,3 molar ZnO ince filmin XRD spektrumu.



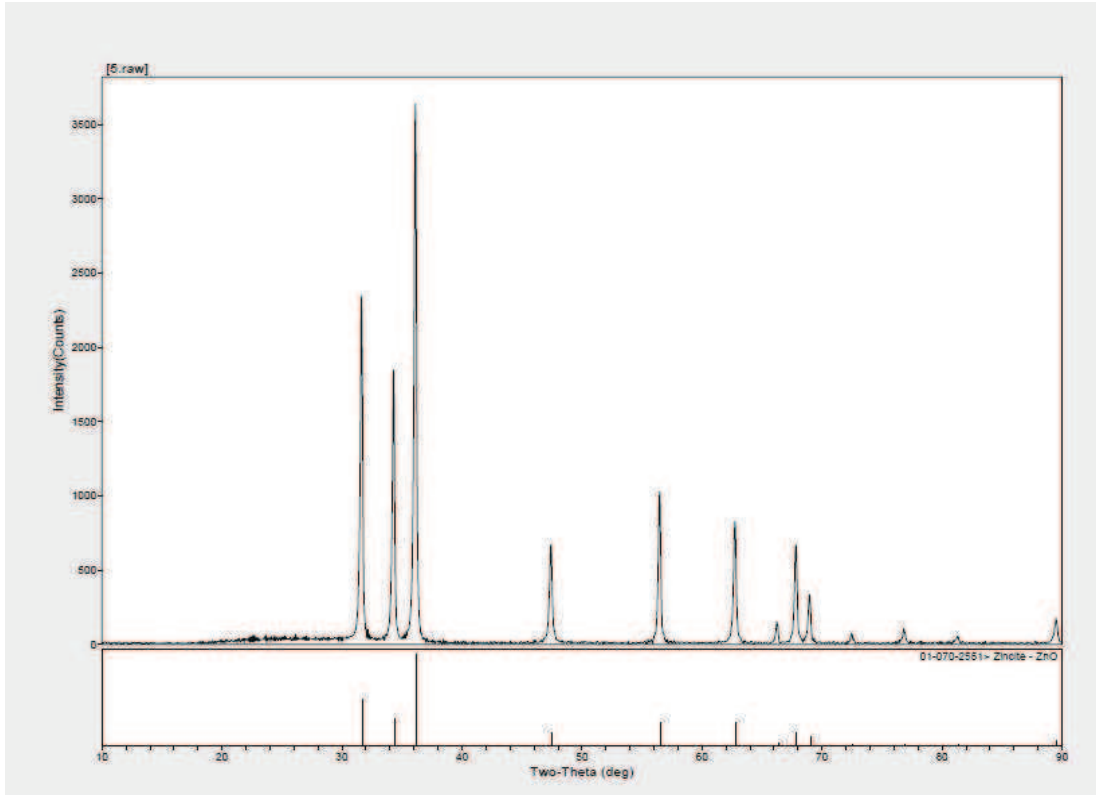
Şekil 4.3. 0,5 molar ZnO ince filmin XRD spektrumu.



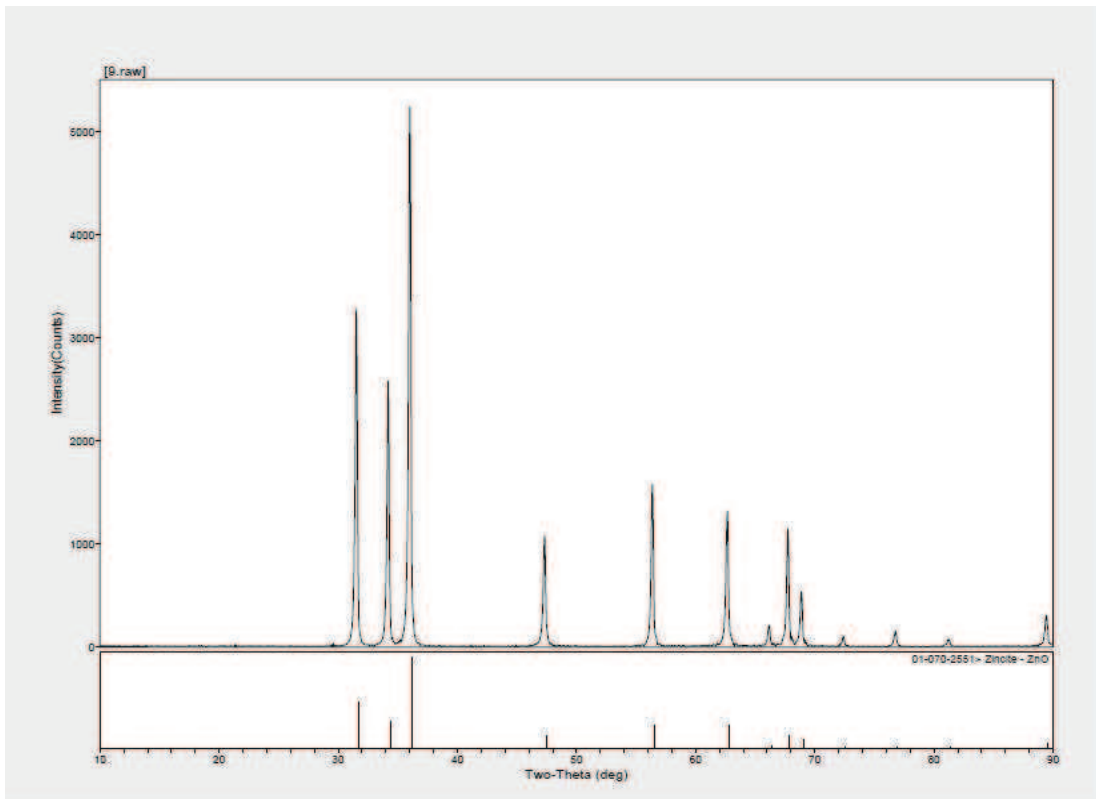
Şekil 4.4. 0,7 molar ZnO ince filmin XRD spektrumu.



Şekil 4.5. 1 molar ZnO ince filmin XRD spektrumu.



Şekil 4.6. 1,5 molar ZnO ince filmin XRD spektrumu.



Şekil 4.7. 2 molar ZnO ince filmin XRD spektrumu.

XRD spektrumları incelendiğinde, farklı molaritelere sahip çözeltilerden yola çıkılarak hazırlanmış ZnO ince filmlerin tamamının kristalleştikleri ve klasik ZnO piklerini sergiledikleri gözlenmiştir. Molaritenin 2 gibi yüksek bir değere ulaşması durumunda bile bu varlığını korumuştur. Bu çerçevede

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (4.1)$$

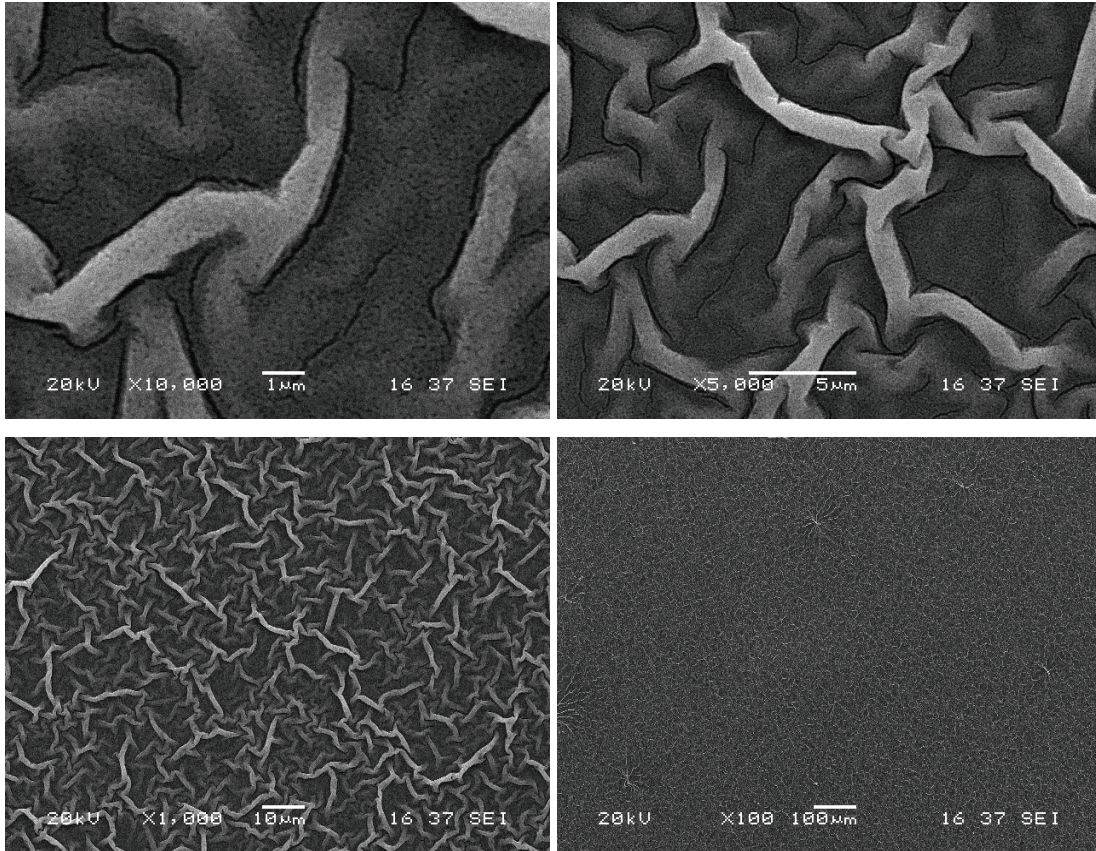
Scherrer formülü istihdam edilmiştir. Bu ifadede λ kullanılan X-ışınının dalga boyu, β kırınım pikinin yarı yüksekliğindeki tam genişliği (FWHM, rad cinsinden), θ kırınım açısını göstermektedir. K ise değeri 0.9 ile 0.92 arasında alınan katsayıdır.

Spektrumlar bakırın $K_{\alpha 1}$ X-ışını çizgisi ($\lambda = 1.54059 \text{ \AA}$) ile alınmıştır. 0.3 M'lık numunede X-ışını piklerinin (002) yarı yüksekliğindeki tam genişlik değeri (FWHM) 0.340° yada 0.00593 rad olduğundan, 2θ değeri (34.298°) de istihdam edildiğinde ZnO öbeklerinin çapları yaklaşık olarak 25 nm (250 \AA) ve 2 M'lık numune için aynı pik değerine ait $\beta = 0.212^\circ$ (0.003698 rad) ve $2\theta = 34.20^\circ$ değerlerinden hareketle 40 nm (400 \AA) olarak elde edilmişlerdir.

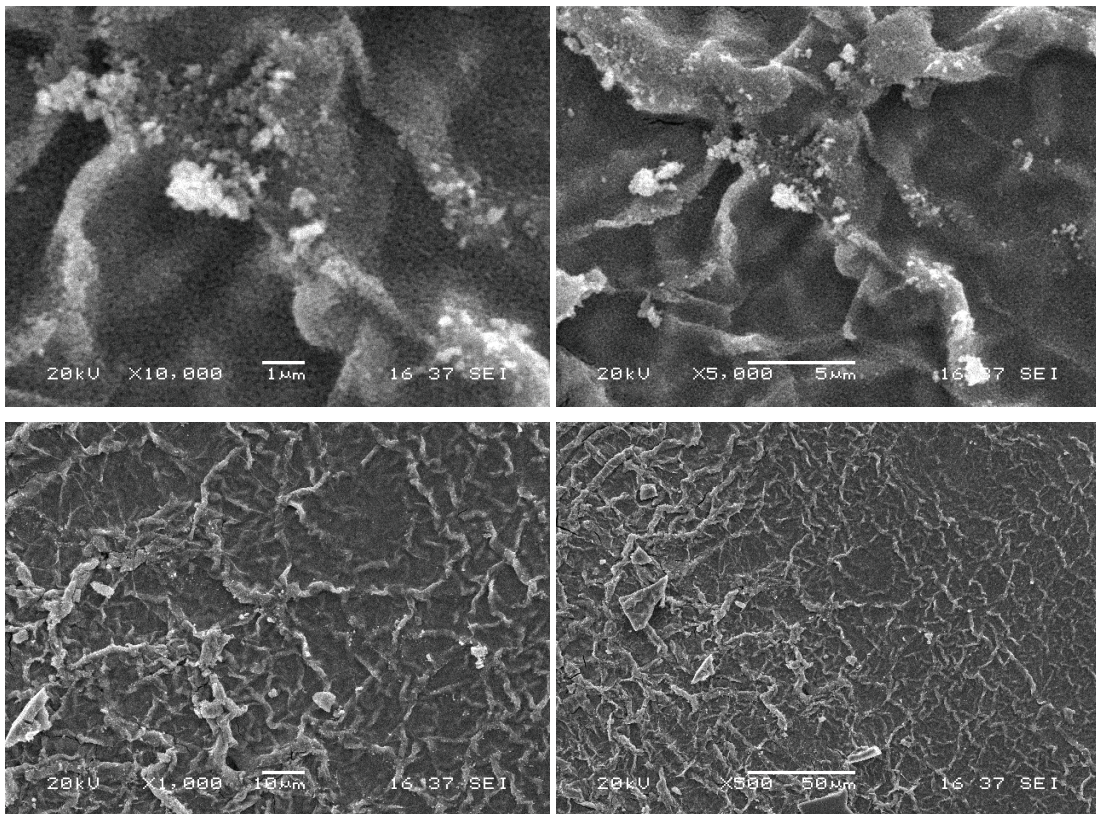
Molarite artışıyla XRD spektrumlarından da doğrulandığı gibi film kalınlığı artmış ve bunun genel manada ZnO nanokristal tane boyutlarını artırdığı sonucuna varılmıştır.

4.4. SEM Sonuçları

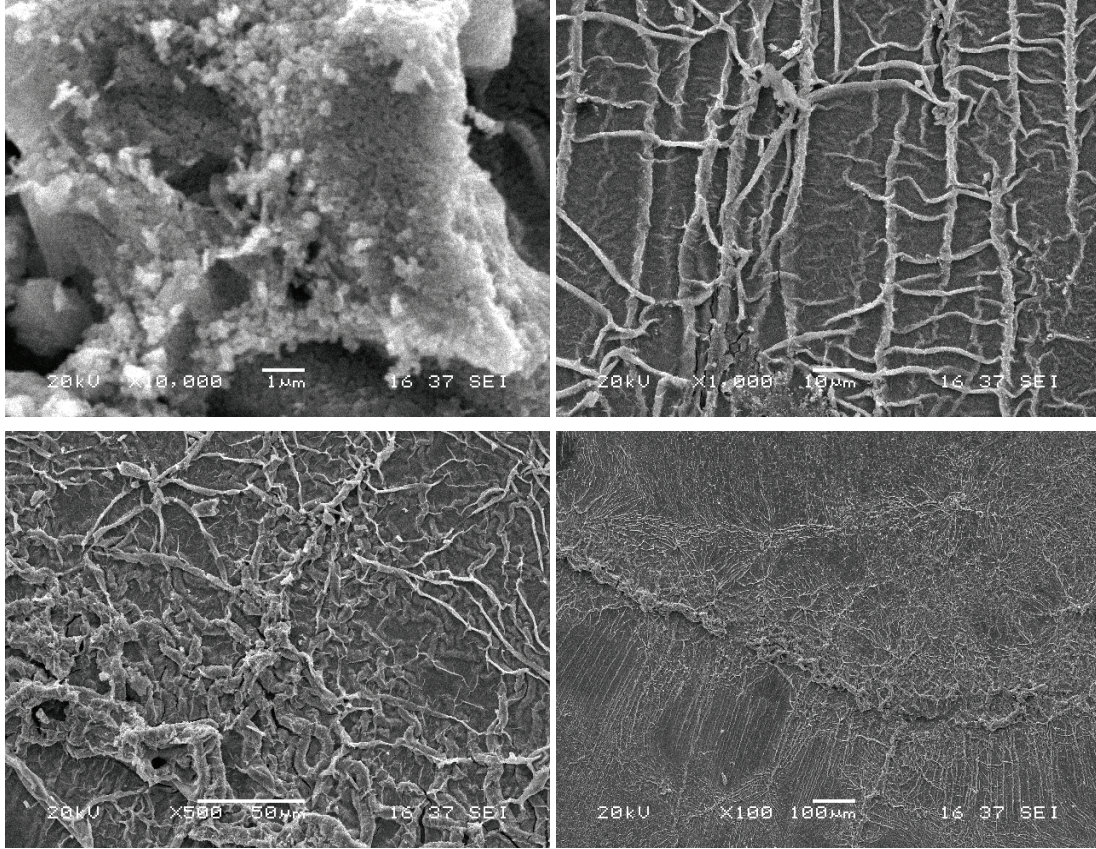
Elde edilen numunelere ait SEM mikroresimleri Şekil 4.8-14 ve EDS spektrumları ise Şekil 4.15-17'de verilmişlerdir.



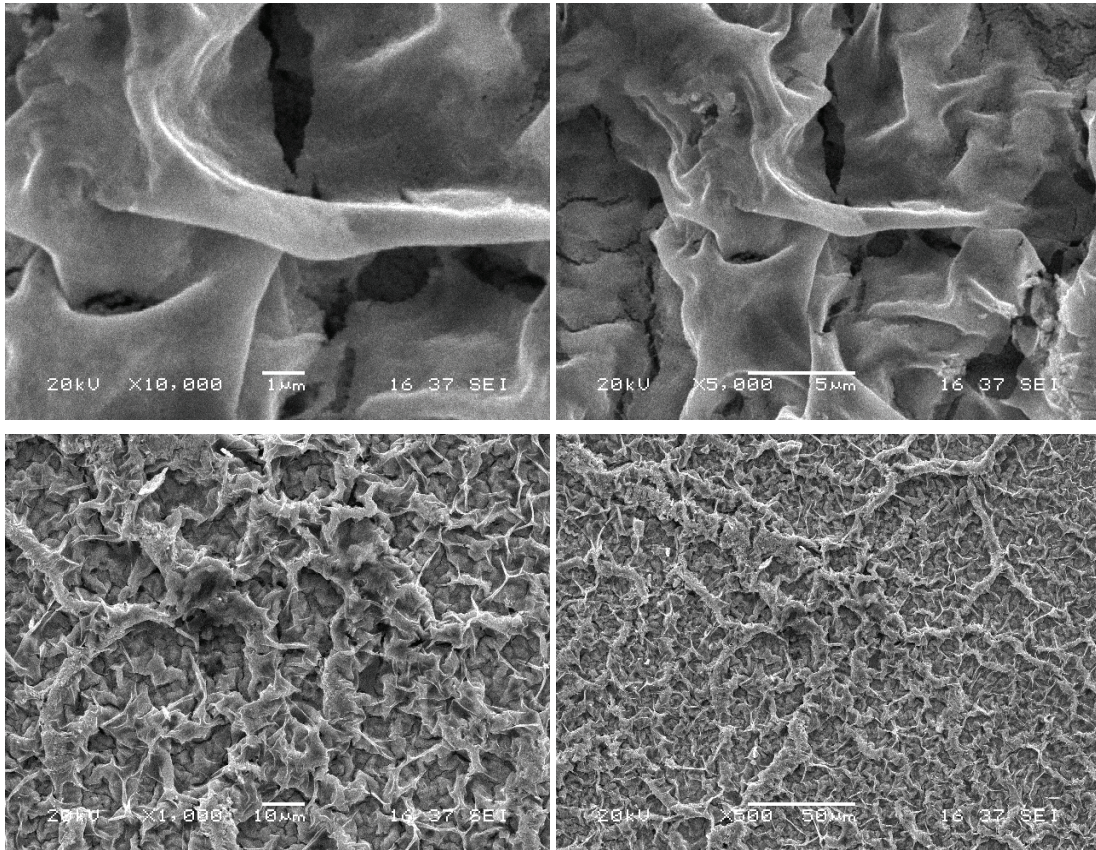
Şekil 4.8. 0,3 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camının SEM görüntüleri.



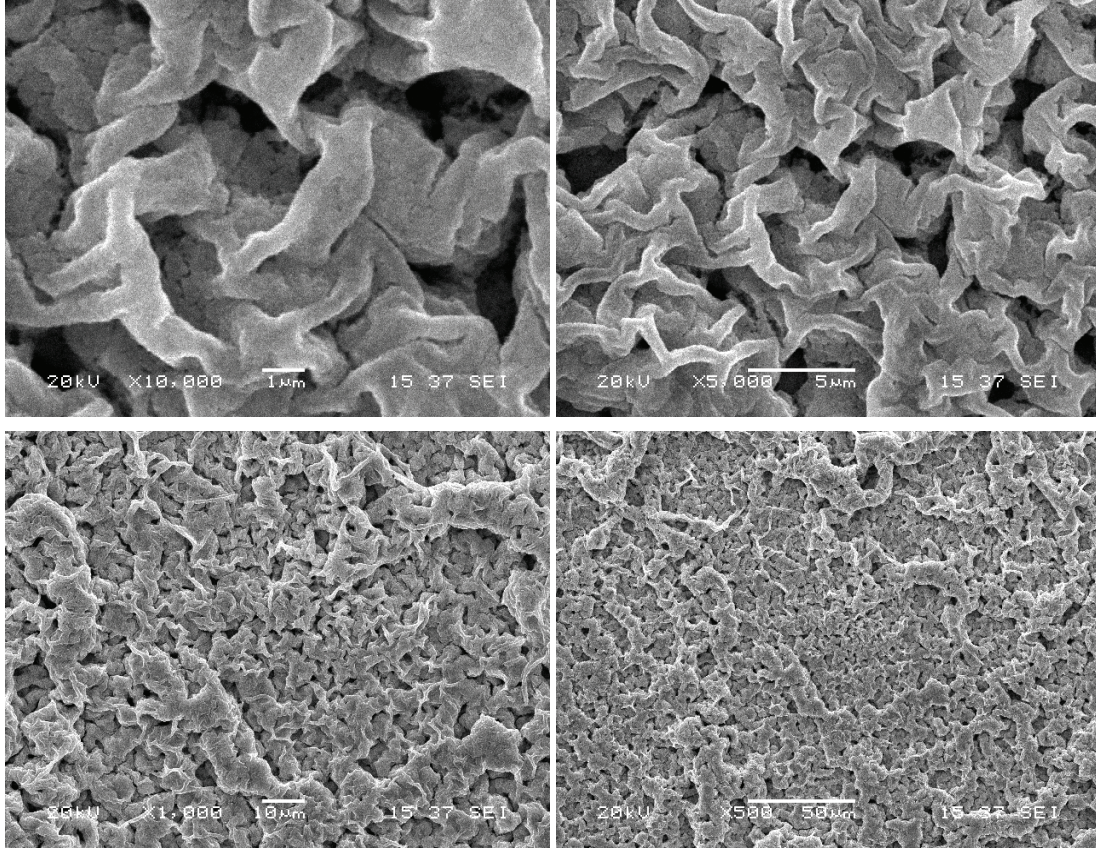
Şekil 4.9. 0,5 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camının SEM görüntüleri.



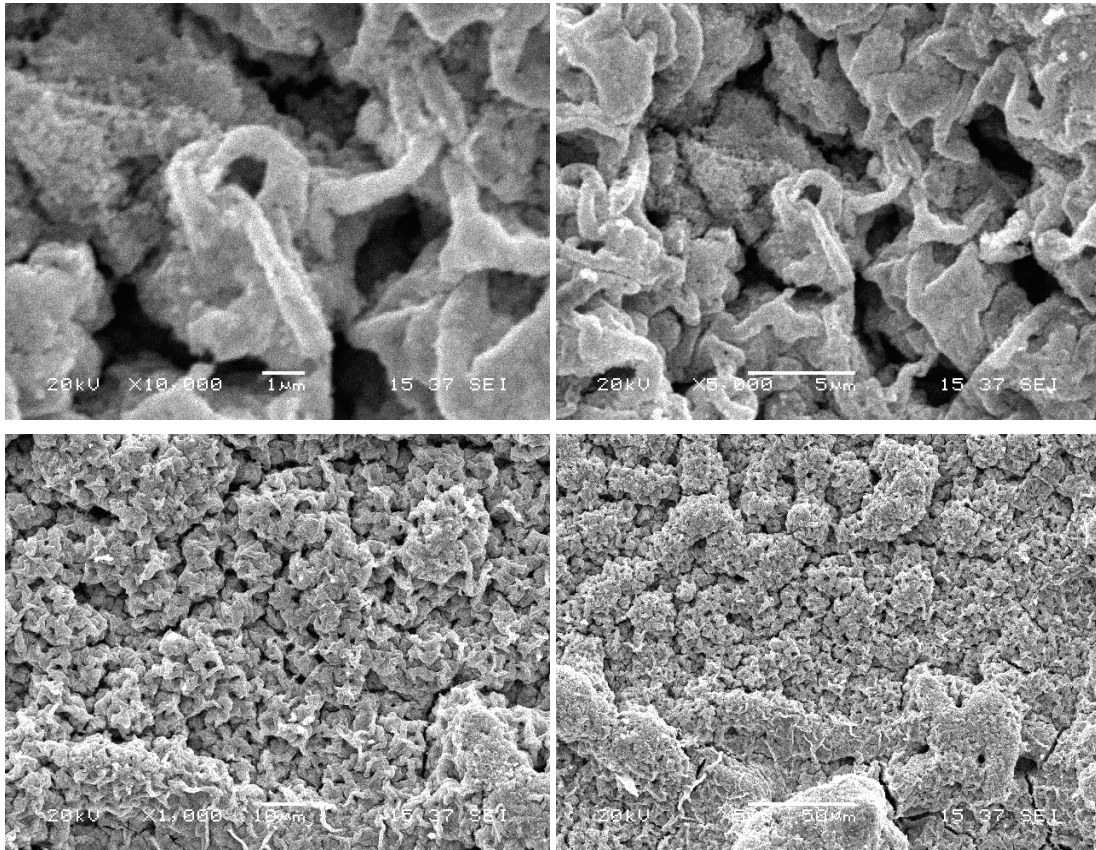
Şekil 4.10. 0,7 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camının SEM görüntüleri.



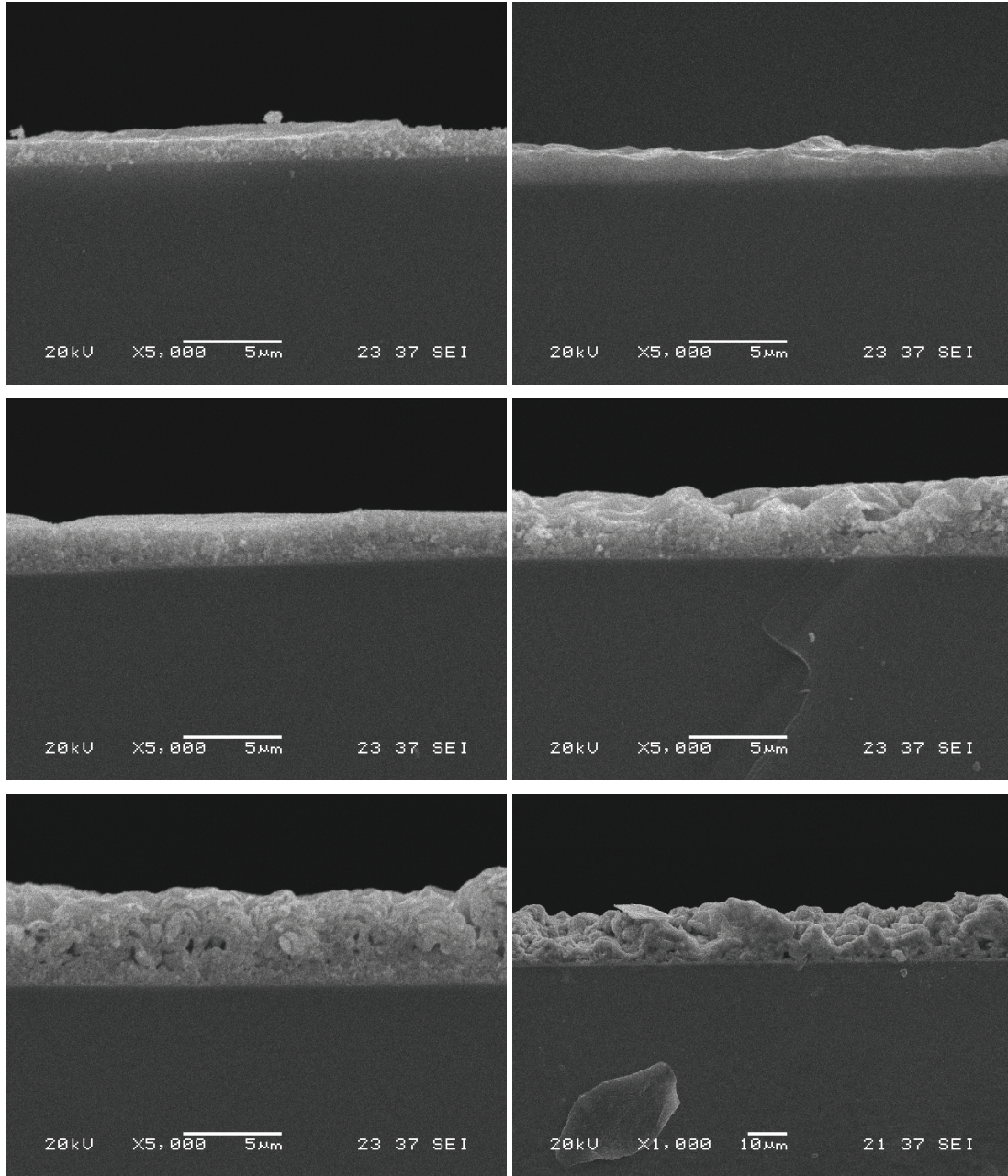
Şekil 4.11. 1 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camının SEM görüntüleri.



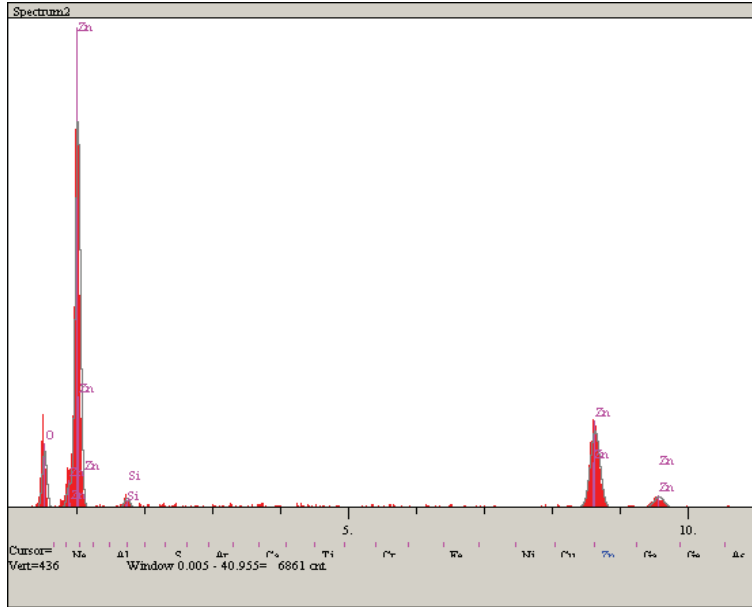
Şekil 4.12. 1,5 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camının SEM görüntüleri.



Şekil 4.13. 2 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camının SEM görüntüleri

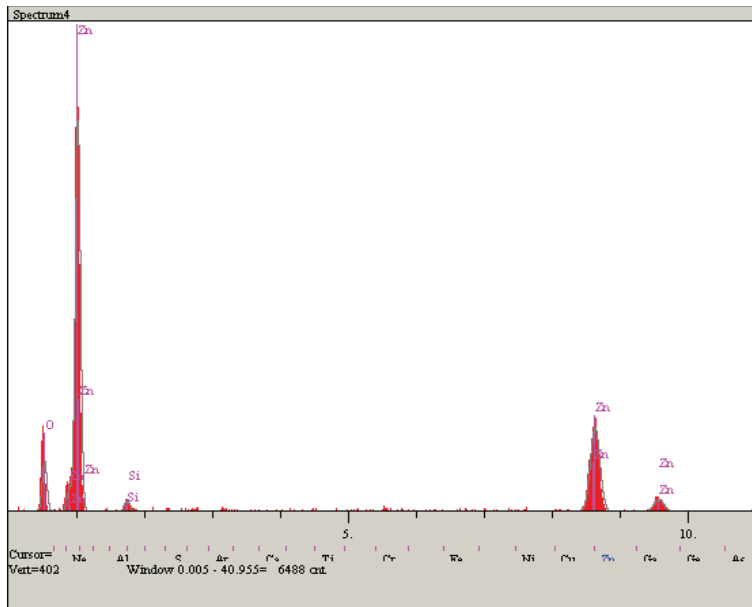


Şekil 4.14. Farklı molaritelerdeki (sırasıyla 0.3, 0.5, 0.7, 1, 1.5, 2) ZnO ince filmlerin yandan SEM görüntüleri.



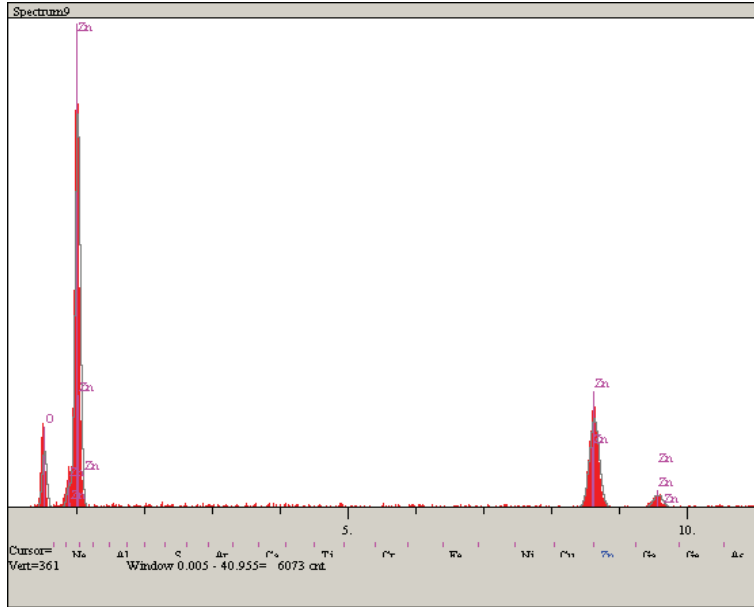
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	43.20	4.156	21.560	wt.%	
Si	Ka	8.67	1.862	2.300	wt.%	
Zn	Ka	122.35	6.993	76.141	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 4.15. 0,5 molar ZnO ince filmlerin SEM analizlerinden elde edilen element içerik dağılımı.



	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	35.46	3.765	18.908	wt.%	
Si	Ka	8.91	1.888	2.506	wt.%	
Zn	Ka	120.80	6.950	78.586	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 4.16. 1 molar ZnO ince filmlerin SEM analizlerinden elde edilen element içerik dağılımı.



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	35.82	3.784	19.761	wt. %	
Zn	Ka	117.18	6.845	80.239	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil 4.17. 2 molar ZnO ince filmlerin SEM analizinden elde edilen element içerik dağılımı.

Genel olarak SEM sonuçları incelendiğinde, düz ova biçimli yapılarla birlikte nanoçubuk ya da nanoörümcek diye nitelendirilebilecek ZnO yapıların oluştuğu, molarite artışıyla birlikte film kalınlığının arttığı ve tanelerin film kalınlığı artışıyla birlikte birbirine yapışıp daha büyük boyutlu ve homojen yapıları meydana getirdikleri gözlenmiştir. Örneğin 0.3 M'lık filmde homojen, net bir çubuklu yapı gözlenirken molarite artışıyla bu çubuklu yapıların birbirlerine yapıştıkları ve daha homojen olmayan bir morfoloji sergiledikleri açık bir biçimde görülmektedir (bkz. Şekil 4.8, 12-13) .

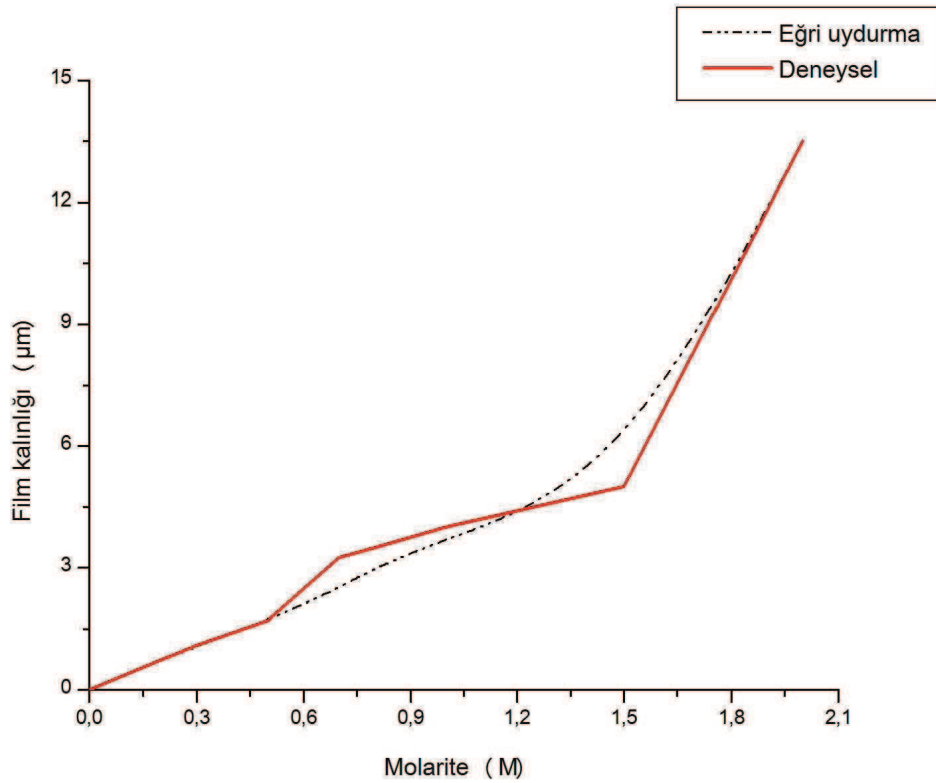
Film kalınlıkları ortalama, 0.3 M film için 1.1 μm , 0.5 M için 1.7 μm , 0.7 M için 3.25 μm , 1 M için 4 μm , 1.5 M için 5 μm , 2 M için 13.5 μm olarak belirlenmişlerdir (bkz Şekil 4.14). XRD sonuçlarından elde edilen ZnO nanokristal yapıların oluştuğu ve Zn yoğunluğundaki artış bilgisi EDS (Elementel analiz) ile de doğrulanmıştır (Şekil 4.15-17).

Spin kaplama cihazlarında film kalınlığının döndürme hızı, süresi ve sol miktarı vs'ye bakıldığında genelde üstel biçimde değişim gösterdiğinden (bkz Şekil 3.6),

deneysel olarak elde edilen film kalınlığı-molarite ilişkisi dikkatle incelendiğinde, film kalınlığının molarite ile ilişkisi

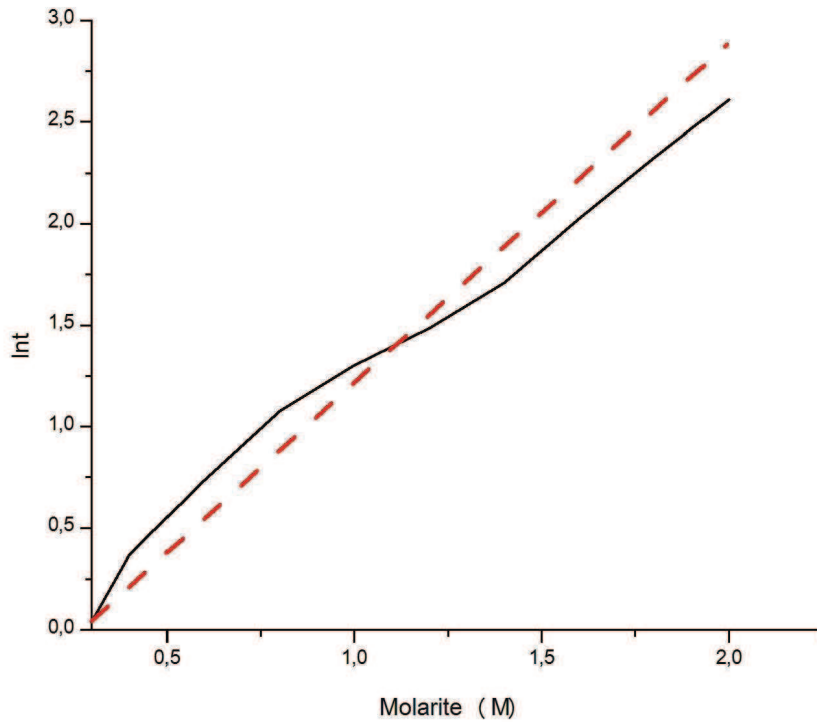
$$t = e^{cM} \quad (4.2)$$

formülüyle ifade edilebilecek gibi gözükmemektedir. Burada t film kalınlığını ve M molariteyi göstermektedir ve c ise üretilen filmin özelliklerine bağlı bir sabittir. Elde edilen verilerden bu değişim grafik edildiğinde ve bu eğriye uydurma yapıldığında Şekil 4.18a'daki gibi bir resimle karşılaşılacaktır.



Şekil 4.18a. Film kalınlığı molarite ilişkisi.

Bu eğriden hareketle e^{cM} fonksiyonundaki c katsayısını belirleme adına lineerleştirme yapılmış ve Şekil 4.18b'deki gibi bir doğru elde edilmiştir.

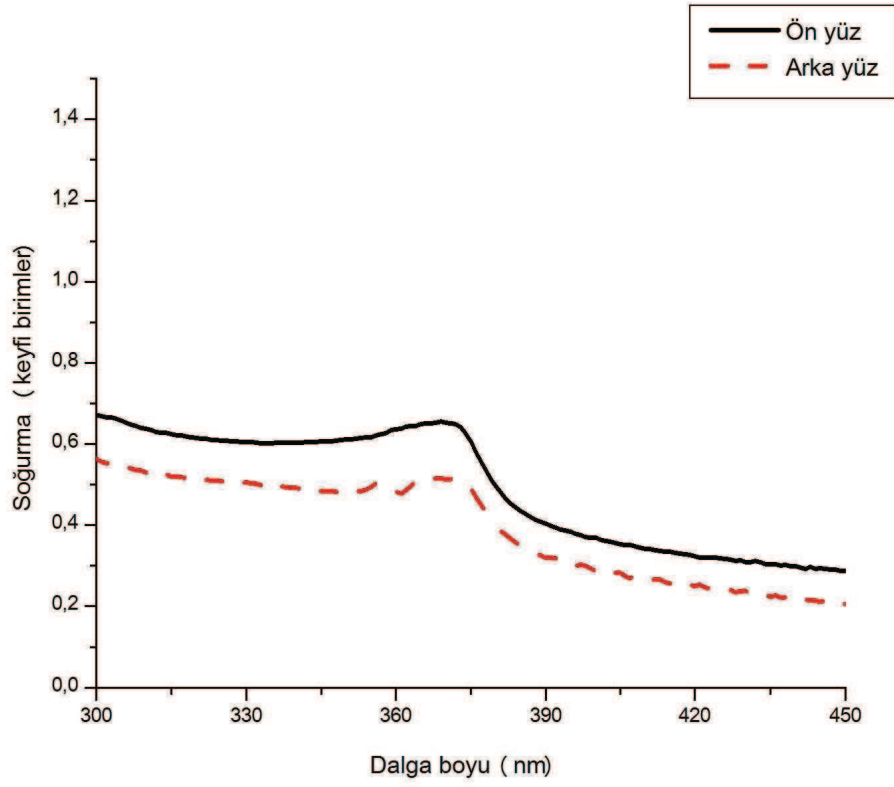


Şekil 4.18b. *Int*-molarite doğrusu.

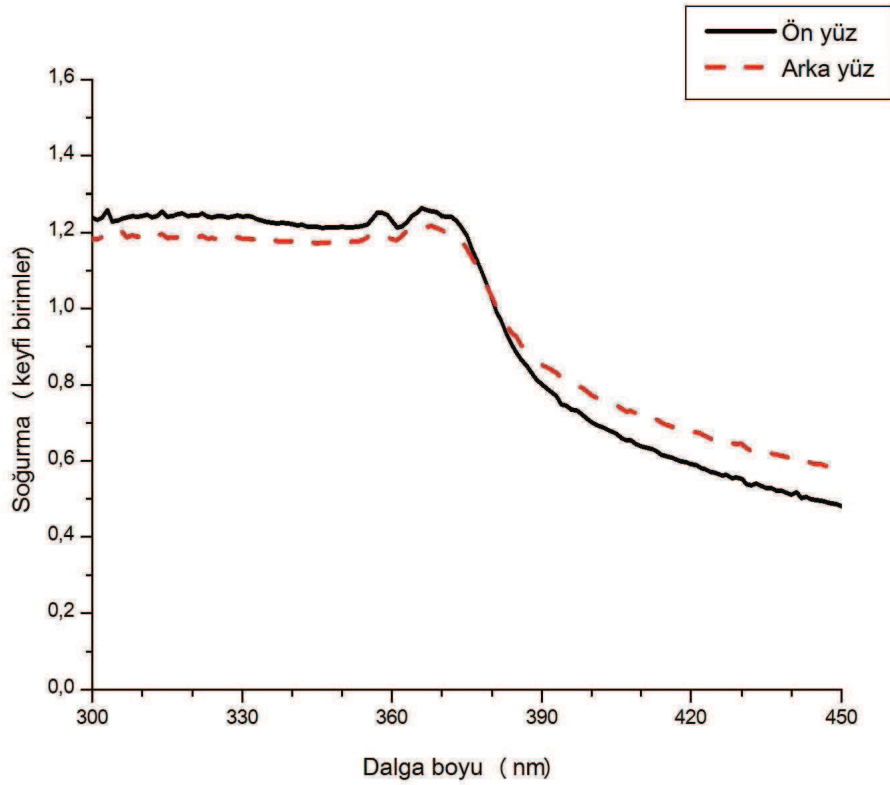
Bu doğrunun eğimi alınarak c sabiti belirlenmiş ve 1.5 değerine ulaşılmıştır. Bu değer üretilen ZnO ince filme ve altlığa bağlı bir sabit olduğu düşünülmektedir ve başka film ve altlıklar için bu sabitin fiziksel olarak başka değerlere doğru kayacağı ifade edilebilmektedir. Bu tipte bir hesaplama (bilgimiz dahilinde) literatürde rastlanmamıştır.

4.5. Soğurma Spektrumları

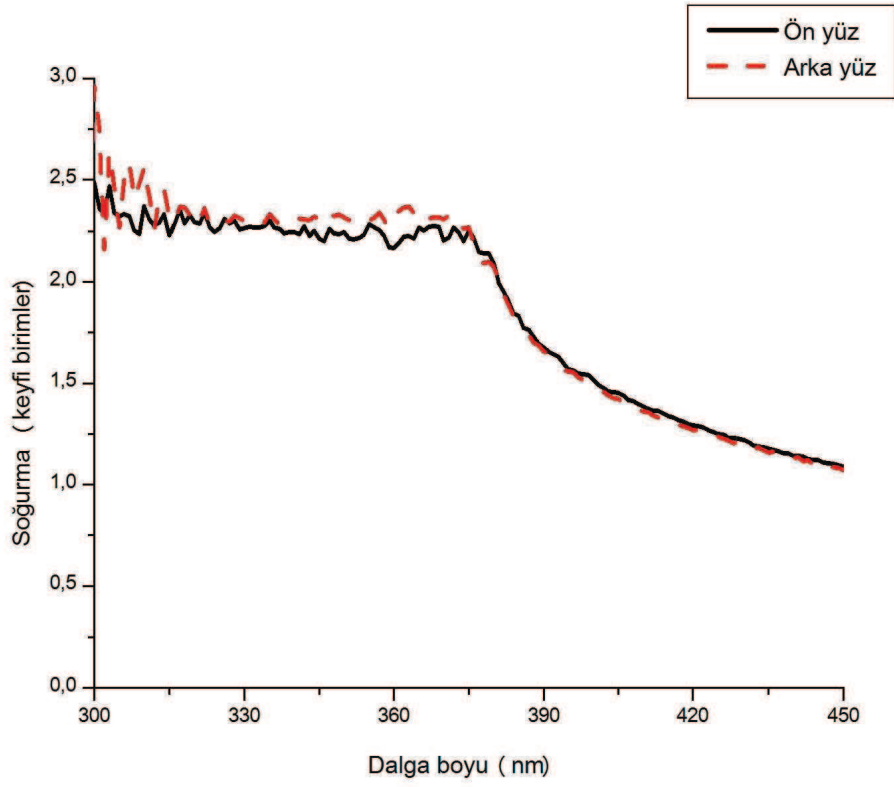
Numunelerin ön ve arka yüzlerinden beyaz ışık gönderilerek elde edilen soğurma spektrumları Şekil 4.19-24'te verilmişlerdir.



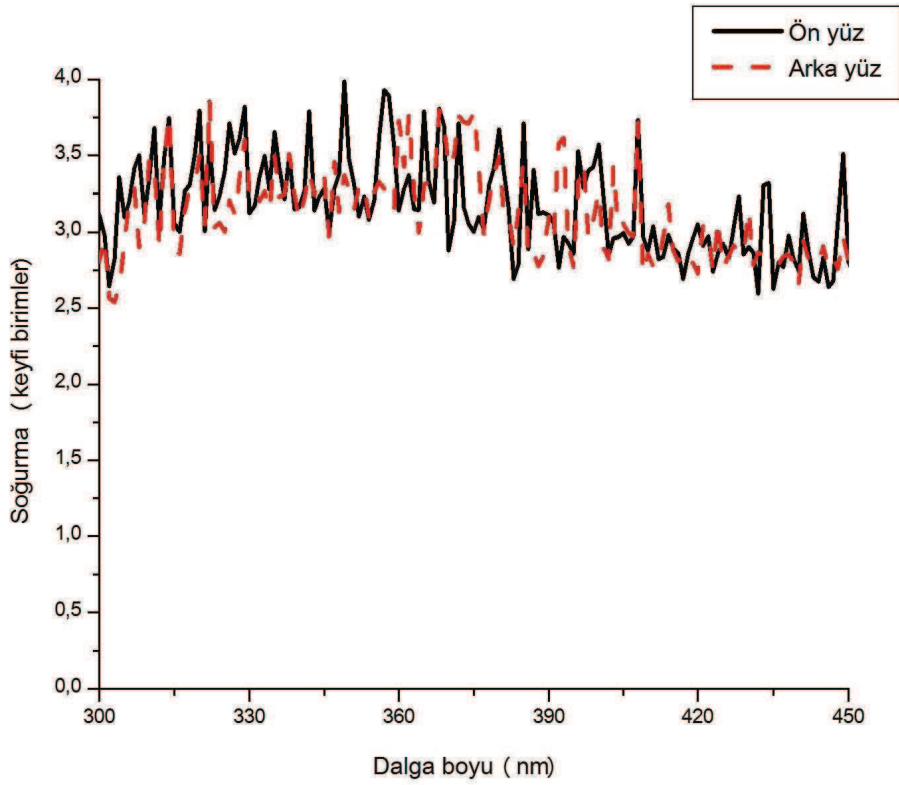
Şekil 4.19. 0,3 molar ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



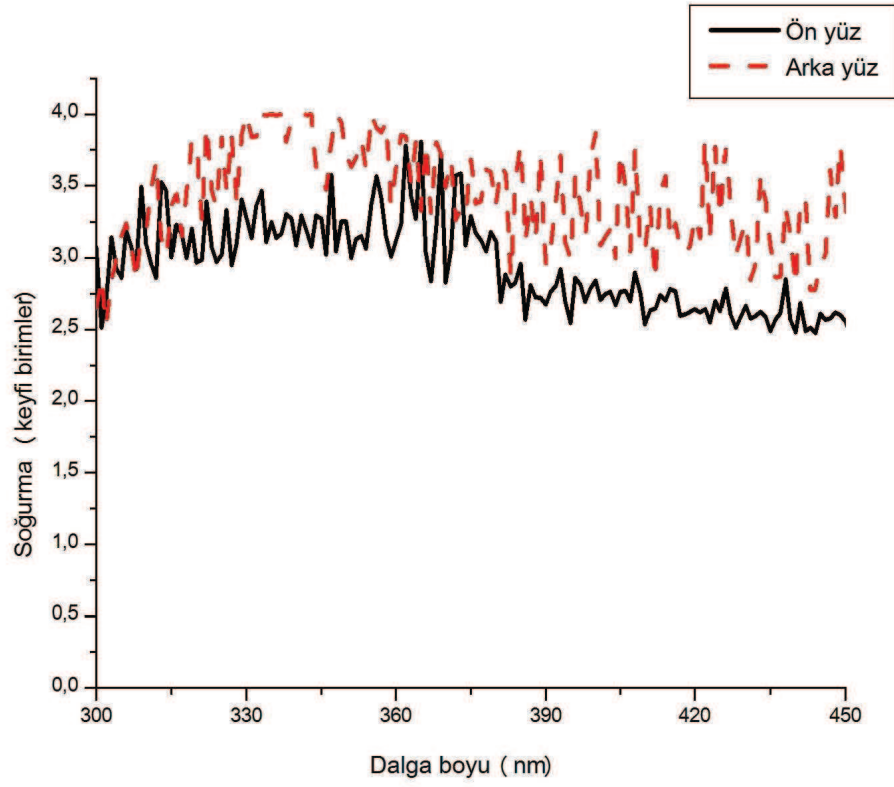
Şekil 4.20. 0,5 molar ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



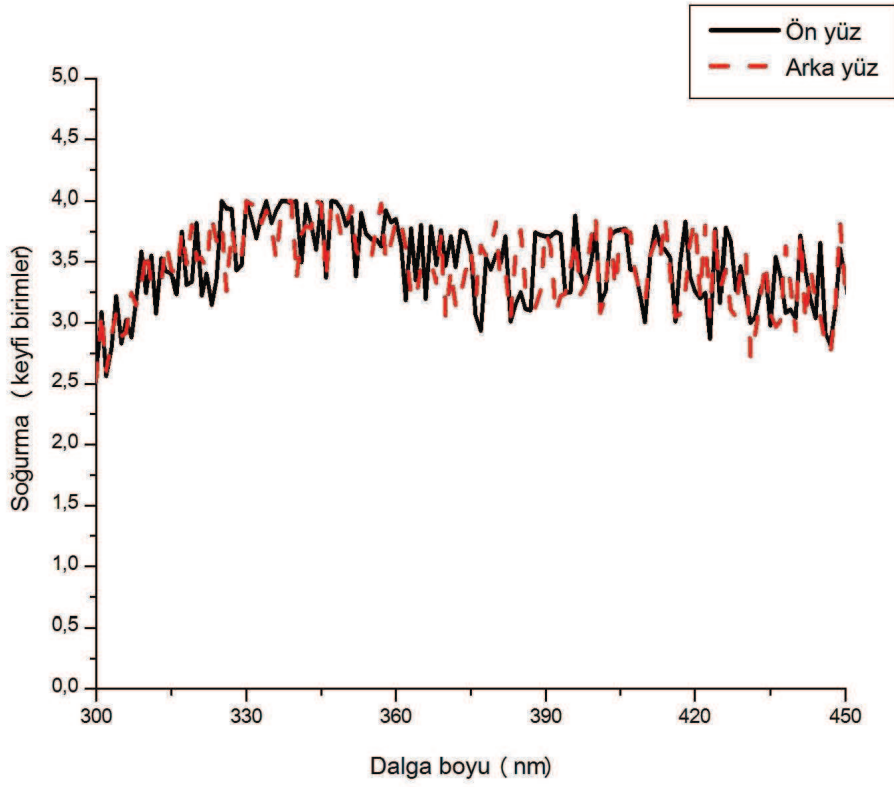
Şekil 4.21. 0,7 molar ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



Şekil 4.22. 1 molar ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



Şekil 4.23. 1,5 molar ZnO ince filmin soğurma spektrumu.

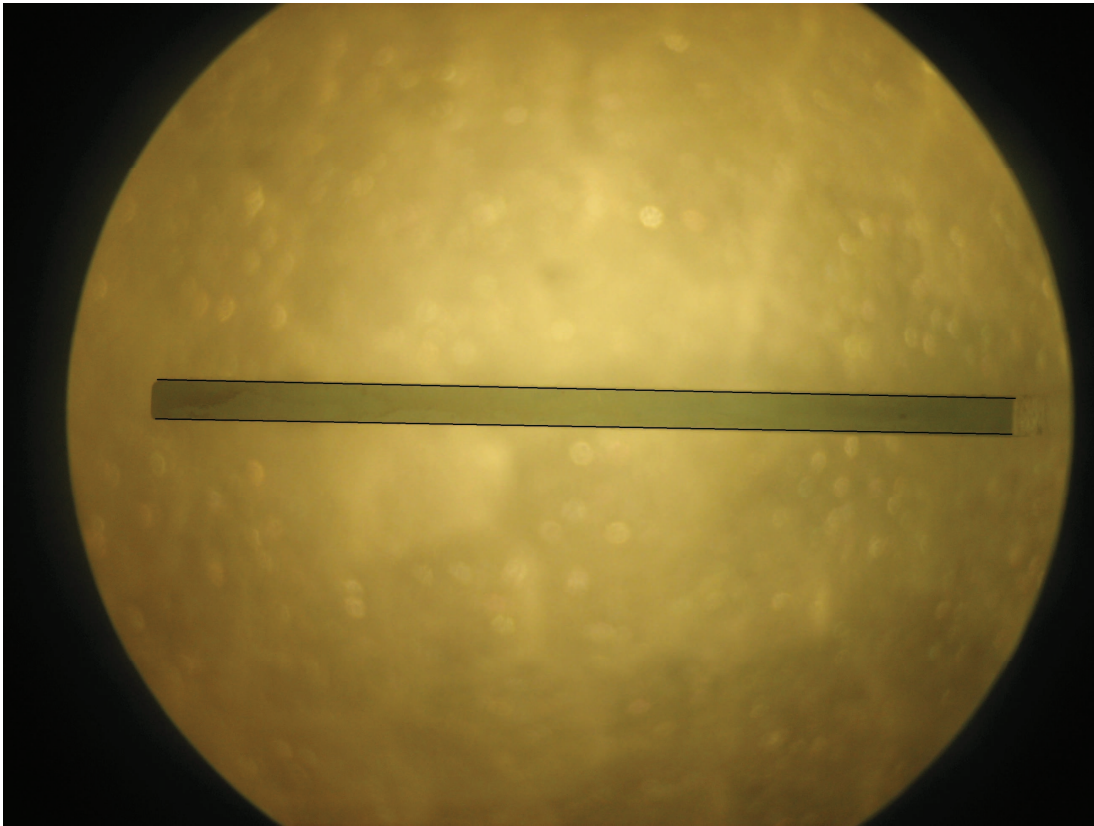


Şekil 4.24. 2 molar ZnO ince filmin soğurma spektrumu.

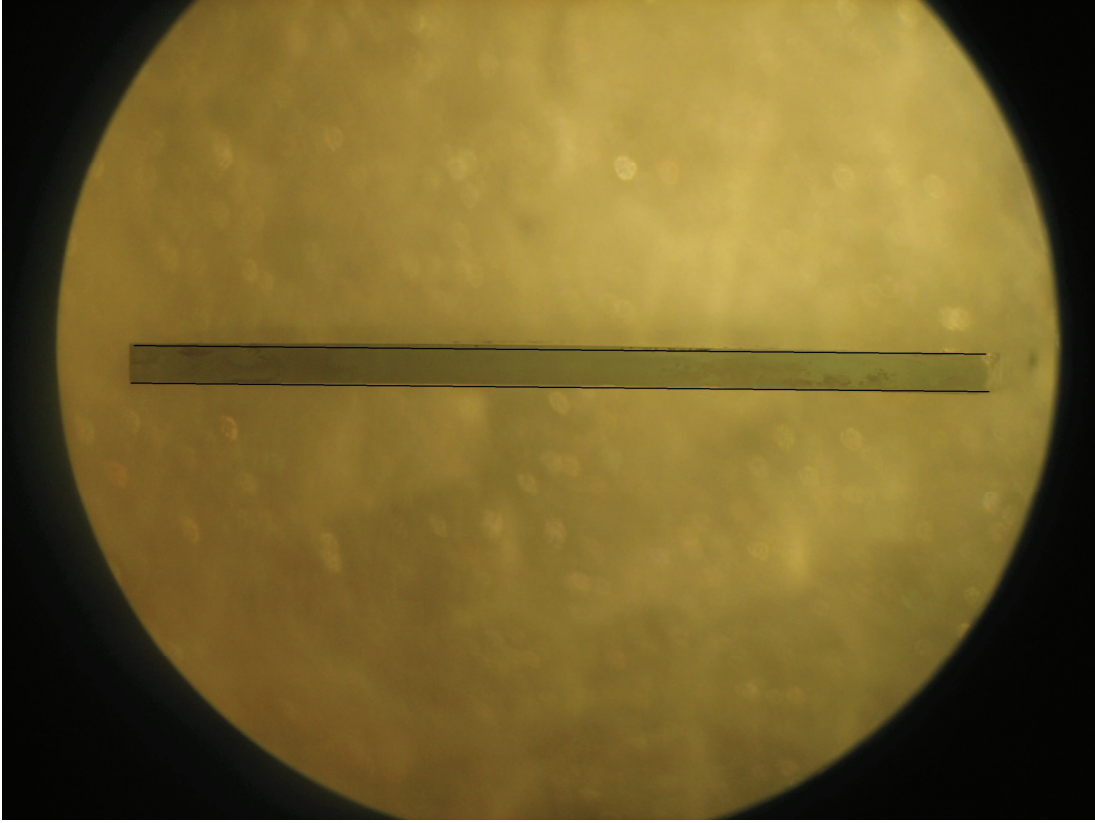
Numunelerin ön ve arka yüzlerinden beyaz ışık gönderilerek alınan UV-VIS soğurma spektrumlarında ZnO'ya ait klasik 370 nm'deki (3.36 eV) piki kendini göstermektedir. Molarite artırıldığında bu soğurma bandının 0.7 M'a kadarlık numunelerde varlığını sürdürdüğü ve bundan sonraki molarite değerlerinde, kalınlıktaki artış sebebiyle yok olduğu (ya da gürültülü hale geldiği) gözlenmiştir. Bu çalışmalardan hareketle optik süreçlerde kullanılabilir ZnO ince filmlere ait ideal molarite değerinin 0.5 M civarında (film kalınlığı 1.7 mikrometre) olduğu sonucuna varılmıştır.

4.6. İnce Filmlerin Mekanik Görüntüleri

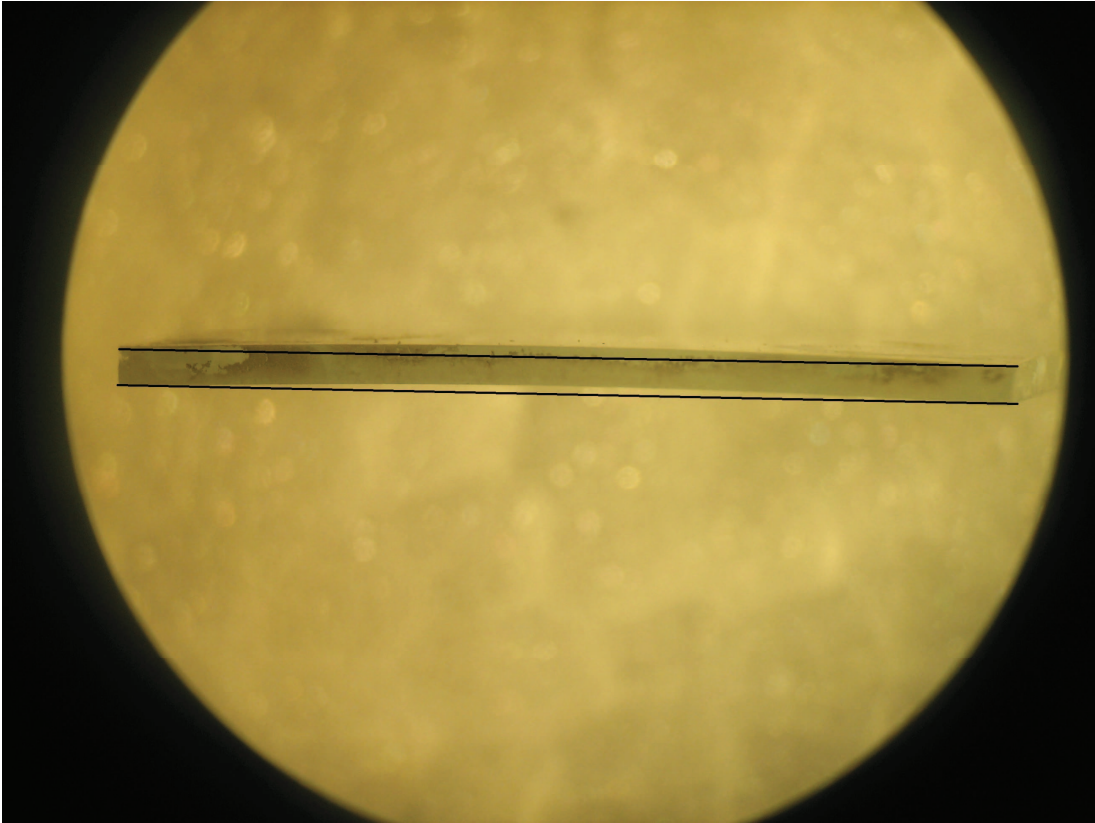
Farklı molaritede hazırlanmış ve 600 derecede 1 saat süreyle tavlanmış numunelerin yandan çekilmiş resimleri Şekil 4.25-30'da verilmiştir. Resimler dikkatli bir şekilde incelendiklerinde molarite artırıldığında artan kalınlıkla birlikte numunelerde bariz bir bükülme gerçekleştiği gözlenmektedir.



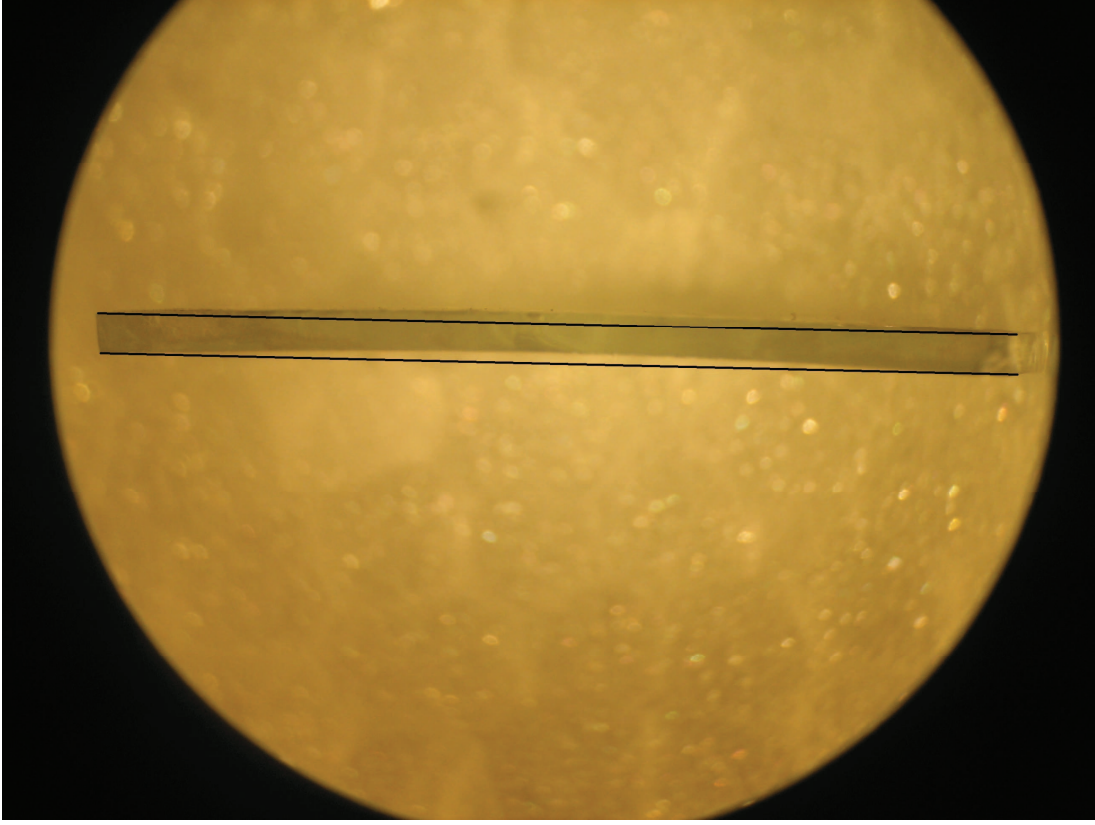
Şekil 4.25 0,3 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camı.



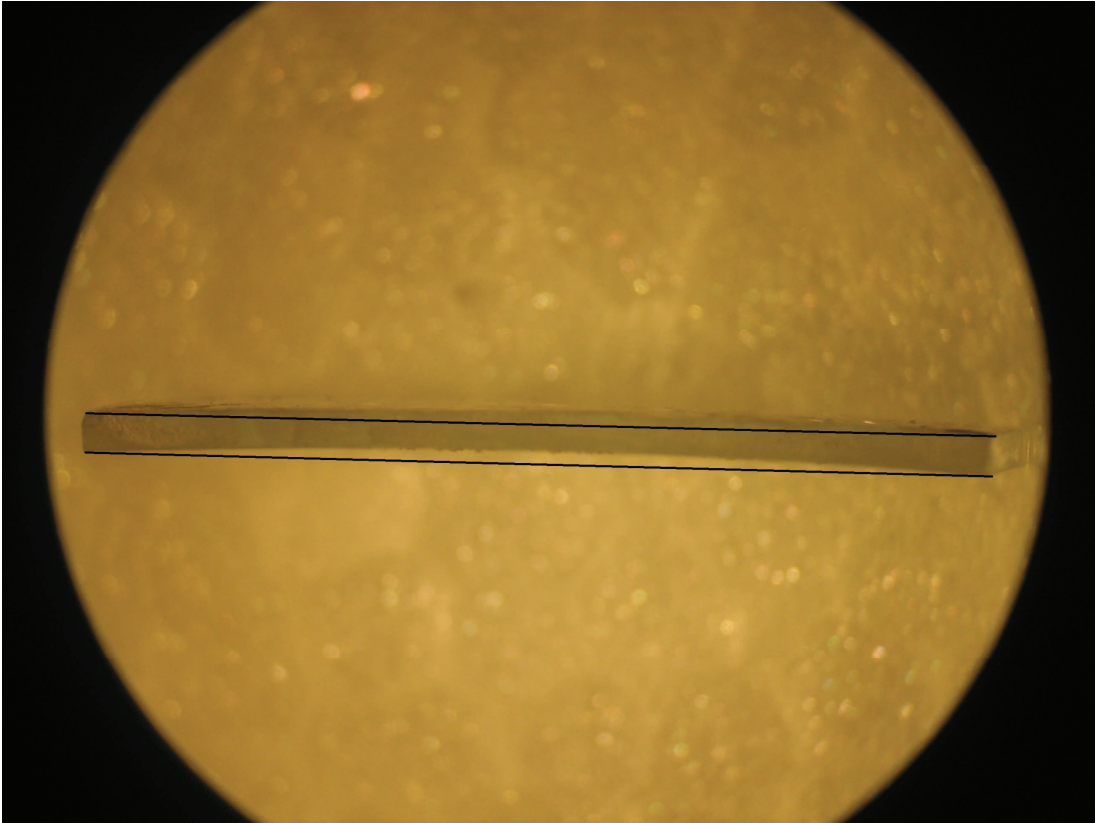
Şekil 4.26. 0,5 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camı.



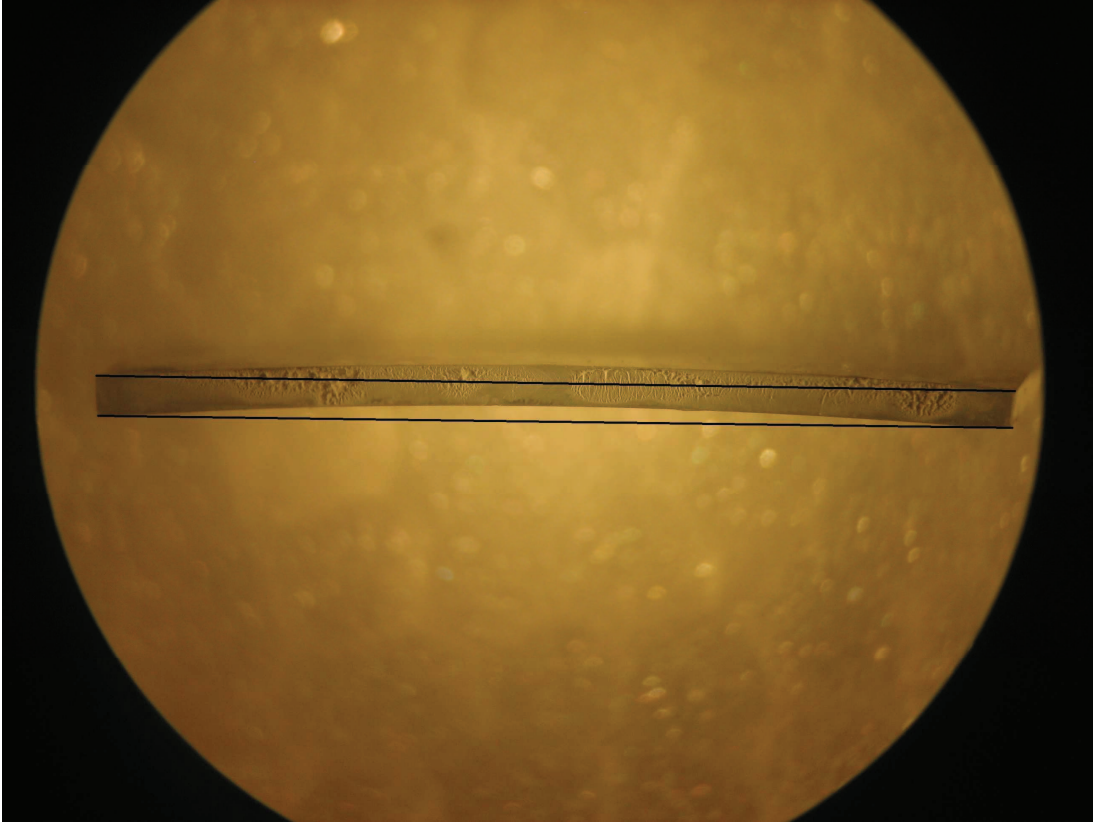
Şekil 4.27. 0,7 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camı.



Şekil. 4.28. 1 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camı.



Şekil 4.29. 1,5 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camı.



Şekil 4.30. 2 molar ZnO ince film kaplanmış mikroskop camı.

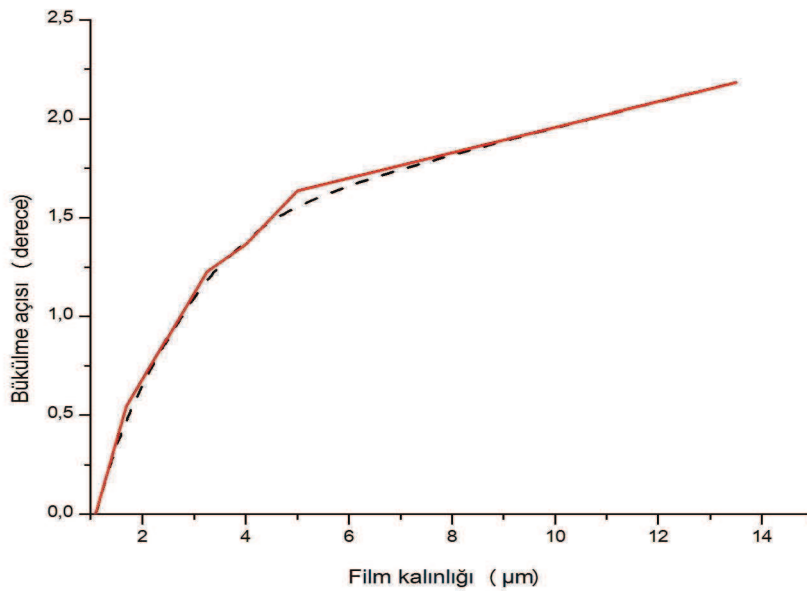
Yapılan değerlendirmeler sonucunda 0.3 molarlık numunede kayda değer bir mekanik zorlanma ve sonuç olarak da bir bükülme olmadığı; ancak 0.5 M'lık numunede bu bükülme miktarının oldukça küçük (yaklaşık 0.1 mm gibi) olmakla birlikte artan molariteler için bükülmenin gitgide arttığı (20 mm en ve boylu numunede 0.43 mm kadarlık bir bükülme) gözlenmiştir. Altlıkların (mikroskop camı) kalınlıkları 1 mm olduğu için bu miktarda bükülmeler oldukça kayda değer bulunmuşlardır. Artan molarite ile birlikte kalınlıktaki artışın bükülmeyi artırdığı ve bu bükülmenin daha da artan molariteyle birlikte daha da artabileceği sonucuna varılmıştır. Bu gözlemlerin ilginç tarafı mikron kalınlıklı filmlerin mm kalınlıklı numuneleri bükebilmeleridir. Young modülü düşünülerek yapılabilecek bir değerlendirmede, elde edilen kristal formlu filmlerin kalınlıkları da göz önüne alındığında (mikron mertebeli film kalınlıkları), kristal filmlerin Young modülünün amorf fazdaki altlıklara göre yaklaşık 500 katı kadar büyük olabilecekleri sonucuna varılmıştır.

Bükülme miktarının film kalınlıklarına göre değişimi incelendiğinde artan film kalınlıklarının bükülmeyi artırdığı ancak burada lineer bir ilişkinin olmadığı gözlemlenmiştir. Numunenin orta noktasındaki (10. mm) bükülme miktarları dikkate alınarak yapılan değerlendirmede (bükülme açısı = $\tan\alpha = \text{bükülme miktarı} / 10 \text{ mm}$) aşağıdaki tabloya ulaşılmıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Bükülme açıları.

Molarite (M)	t (μm)	Bükülme miktarı (mm)	$\tan\alpha$ ($\times 10^{-3}$)	α ($^\circ$)
0.3	1.1	0	0	0
0.5	1.7	0.100	9.523	0.545
0.7	3.25	0.225	21.430	1.227
1.0	4.00	0.250	23.800	1.363
1.5	5.00	0.300	28.570	1.636
2.0	13.50	0.400	38.100	2.182

Bükülme açıları kalınlığa göre resmedildiğinde Şekil 4.31'deki gibi bir grafikte karşılaşılmıştır.



Şekil 4.31. Film kalınlığı-bükülme açısı ilişkisi.

4.31 eklinden de anlaşılabileceği üzere film kalınlığı arttıka bükülme miktarı artmakla birlikte bir doyum noktasına doğru ulaşıldığı ve kabaca bu doyum noktasının 3 derece civarında olduğu fark edilebilmektedir.

Bu sonuç aynı zamanda ince filmlerin numune yüzeyine oldukça iyi yapıştıkları anlamını da taşımaktadır. Düzenli yapıdaki (kristal) ZnO filminin bu düzenli yapıya geçişte (250 derecede kurutma sonrası ince filmler amorfken, 600 derecede tavlama sonrası bu filmlerin kristal forma geçmesi) yumuşama sıcaklığına erişmiş mikroskop camlarını kolaylıkla bkebildiği ve bu bükülmüş yapının kararlılığını korudukları önemli bir sonuçtur. Bu deneysel sonuçtan hareketle otomatik lazer aynası gibi belli odak mesafesine sahip konkav ya da konveks ayna yapılabilcek bir yöntem elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM 5. Cu KATKILI ZnO İNCE FİMLERİN OPTİK ve MEKANİK ÖZELLİKLERİ

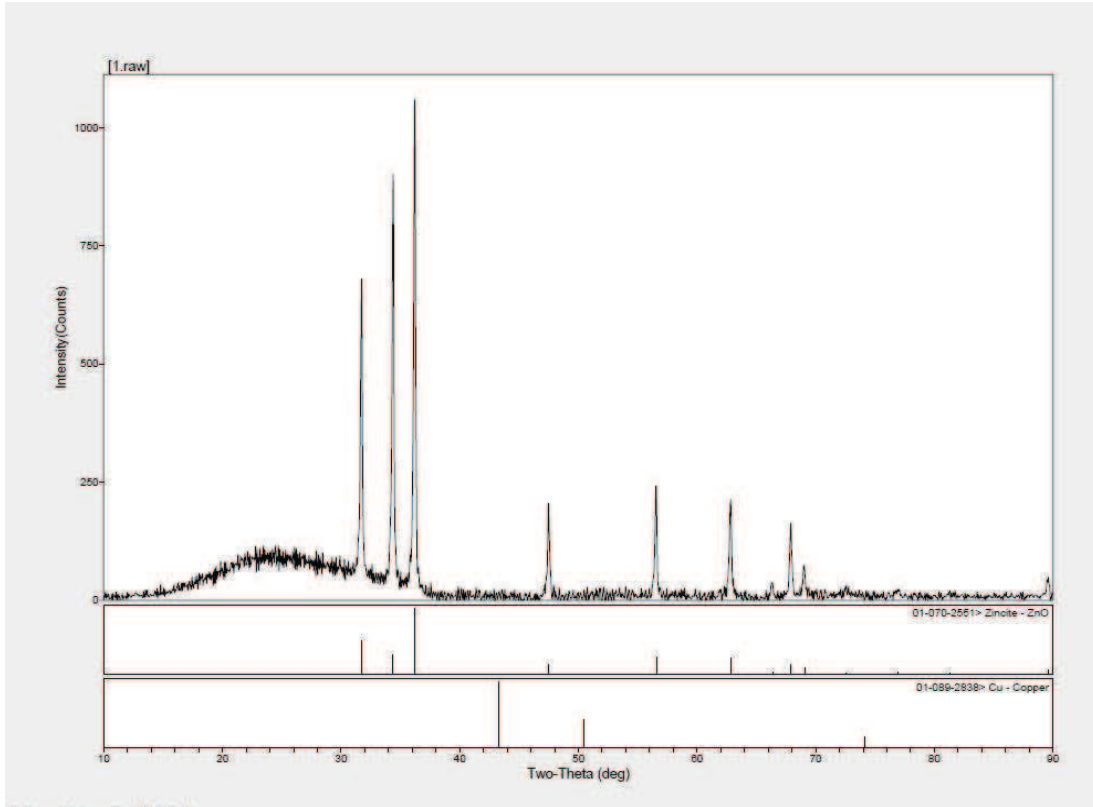
5.1. Giriş

Bir önceki bölümde değişik molaritelere sahip saf ZnO ince filmlere ait deneysel sonuçlar verilmiş ve bu sonuçlar yorumlanmışlardır. Elde edilen bilgiler çerçevesinde 0.5 M sabit molariteli, yüzde 1'den başlayarak %2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 Cu katkılı ZnO ince filmler üretilmiş ve bu katkıyla ile elde edilen ince filmler farklı sıcaklıklarda (600, 700, 800 ve 850 °C) tavlandıktan sonra bu filmlerin mekanik ve optik özellikleri detaylı bir şekilde incelenip yorumlanmışlardır. Film üretme tekniği bir önceki bölümde anlatıldığı gibi gerçekleştirilmiş ve karakteristik ölçümler yine aynı bölümde bahsedilen cihazlar kullanılarak yapılmıştır.

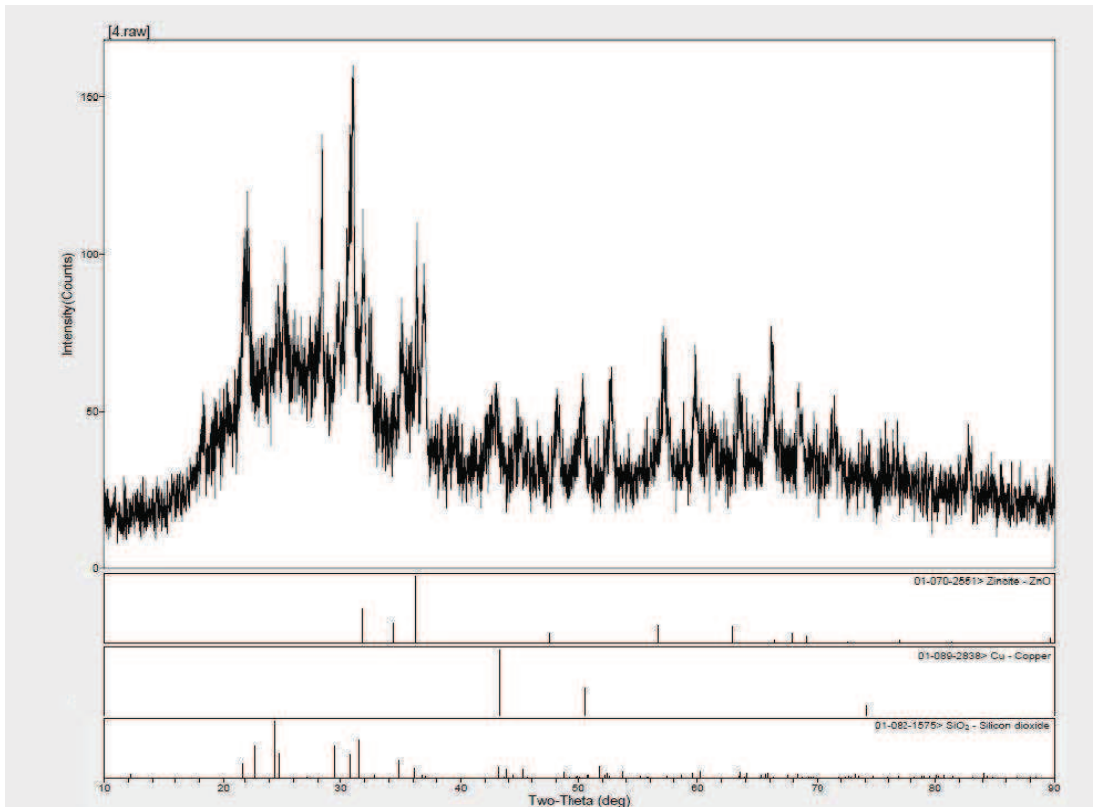
Üretilen numunelerin ve dolayısıyla elde edilen görüntü ve spektrumların (XRD, SEM ve UV-Vis) fazla sayıda olması sebebiyle bu bölümde elden geldiğince can alıcı bazı görüntü ve spektrumlara yer verilecek, kalanları tezin son kısmında (EK1: XRD spektrumları, EK2: SEM mikroresimleri ve EDS spektrumları, EK3: UV-Vis spektrumları) verileceklerdir.

5.2. XRD Sonuçları

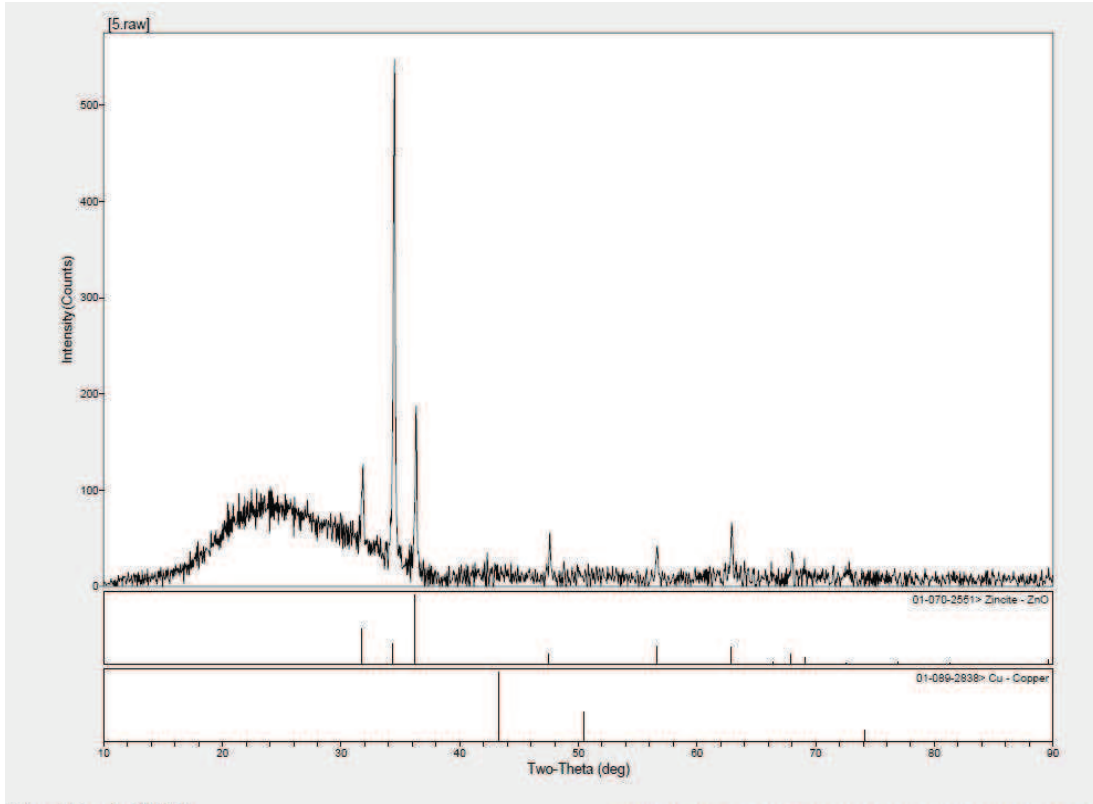
Numunelerin (ince filmlerin) kristalleşip kristalleşmedikleri RIGAKU D/Max 2200 PC markalı XRD spektrometrede Cu K α bandı kullanılarak tespit edilmiştir. Saf ZnO ince film XRD sonuçlarından başlayarak %100 Cu katkılı ZnO ince filmlere ait spektrumlar Şekil 5.1-23'te verilmiştir.



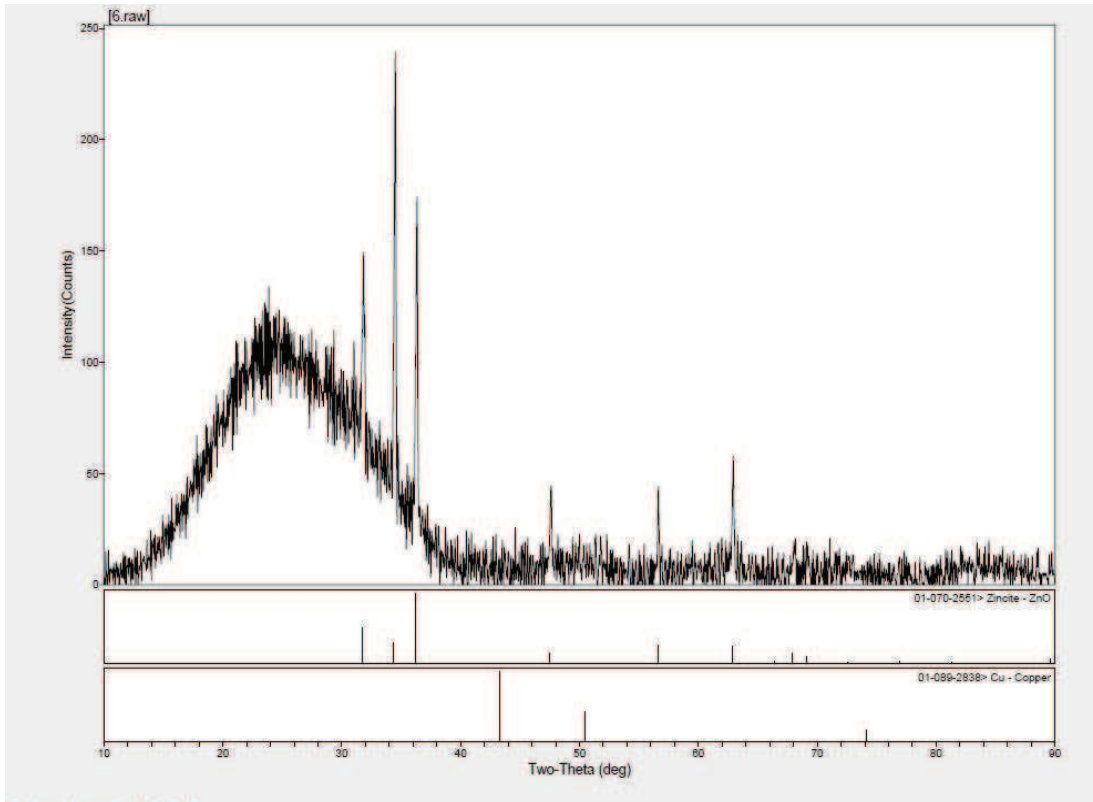
Şekil 5.1. 600 °C' tavlannmış katkısız ZnO ince filmin XRD spektrumu.



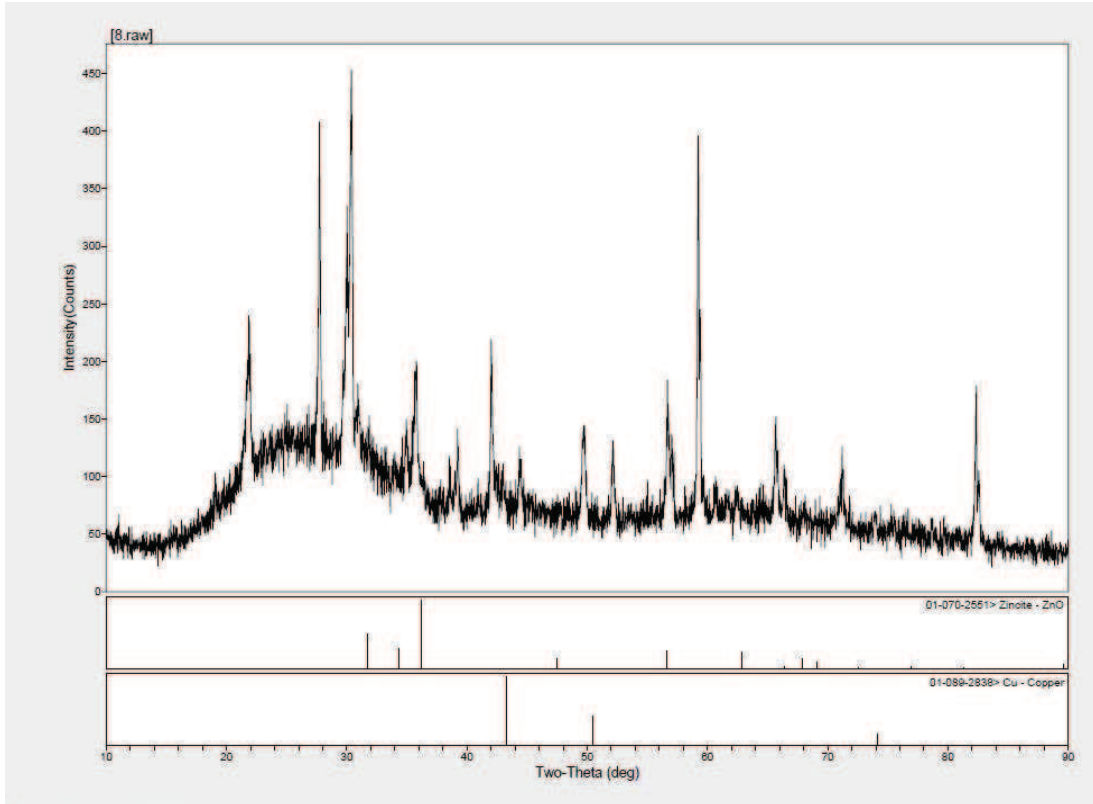
Şekil 5.2. 850°C'de tavlannmış katkısız ZnO ince filmin XRD spektrumu.



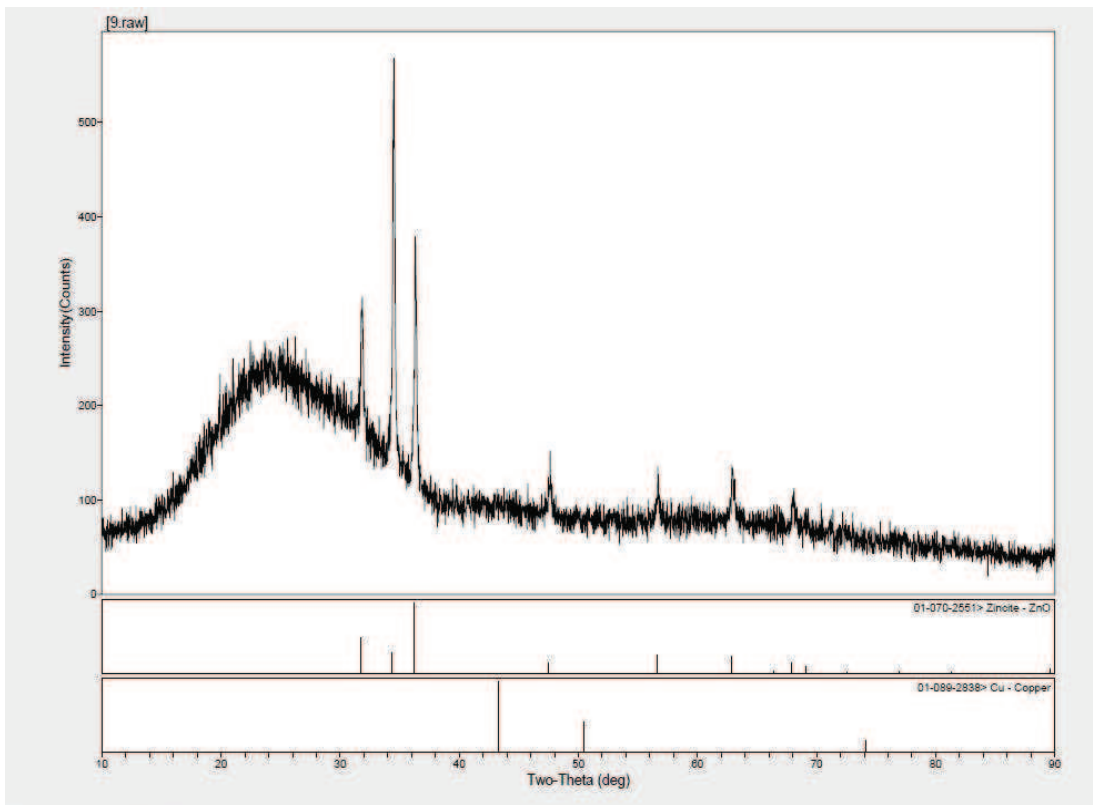
Şekil 5.3. 600°C'de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



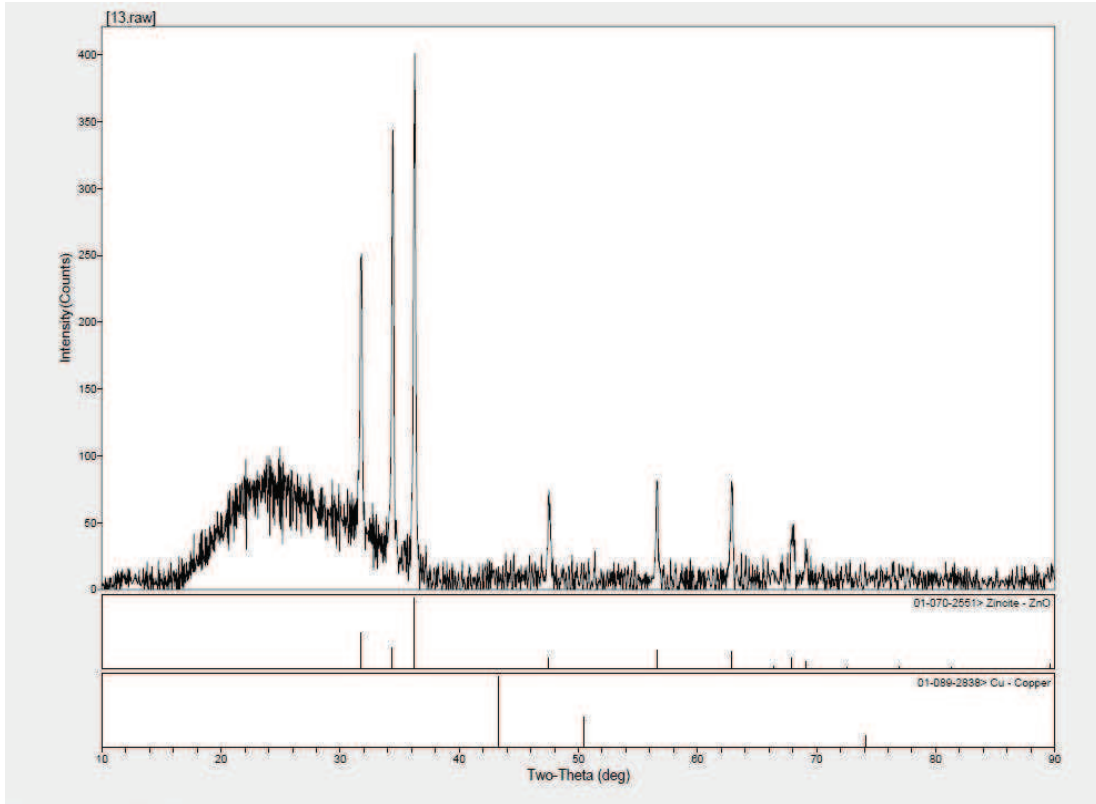
Şekil 5.4. 700°C'de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



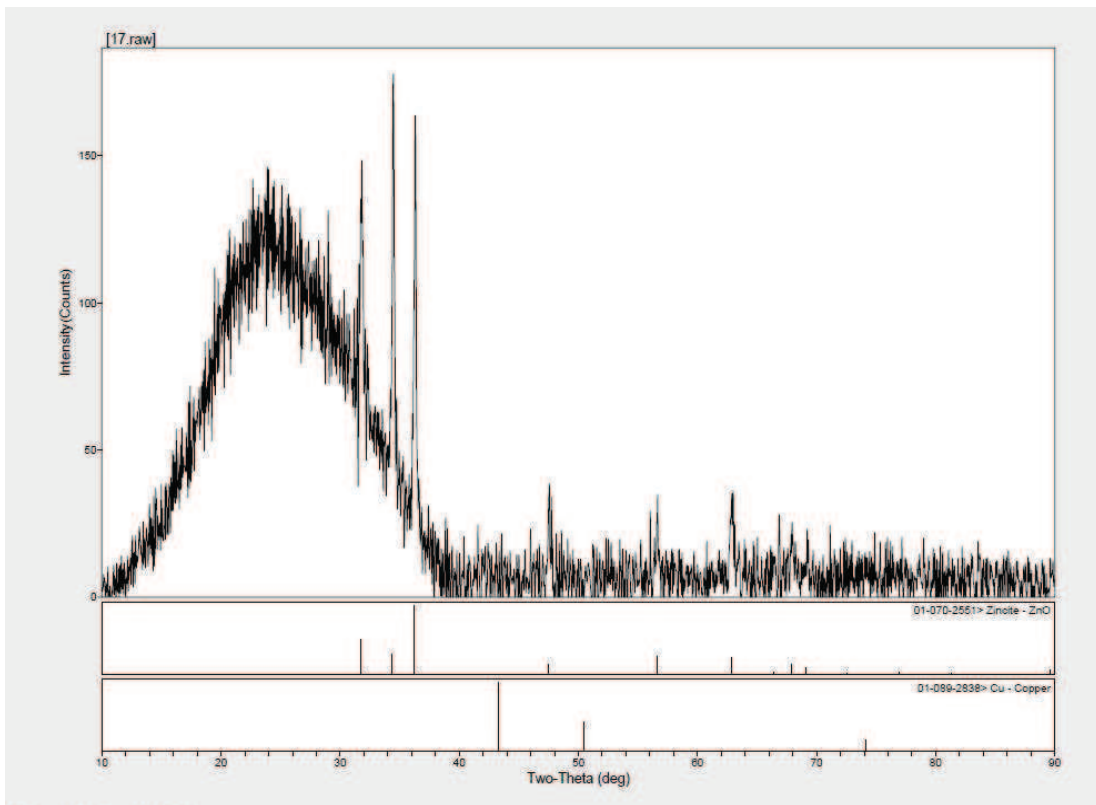
Şekil 5.5. 850°C'de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



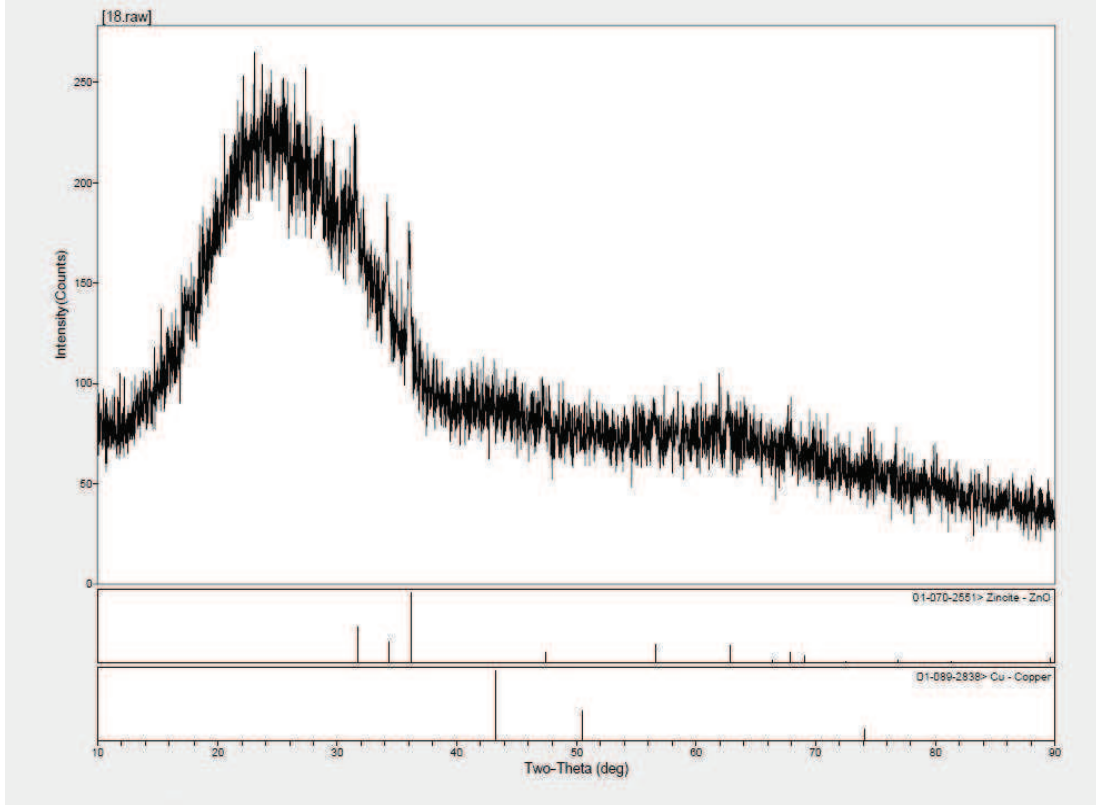
Şekil 5.6. 600°C'de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



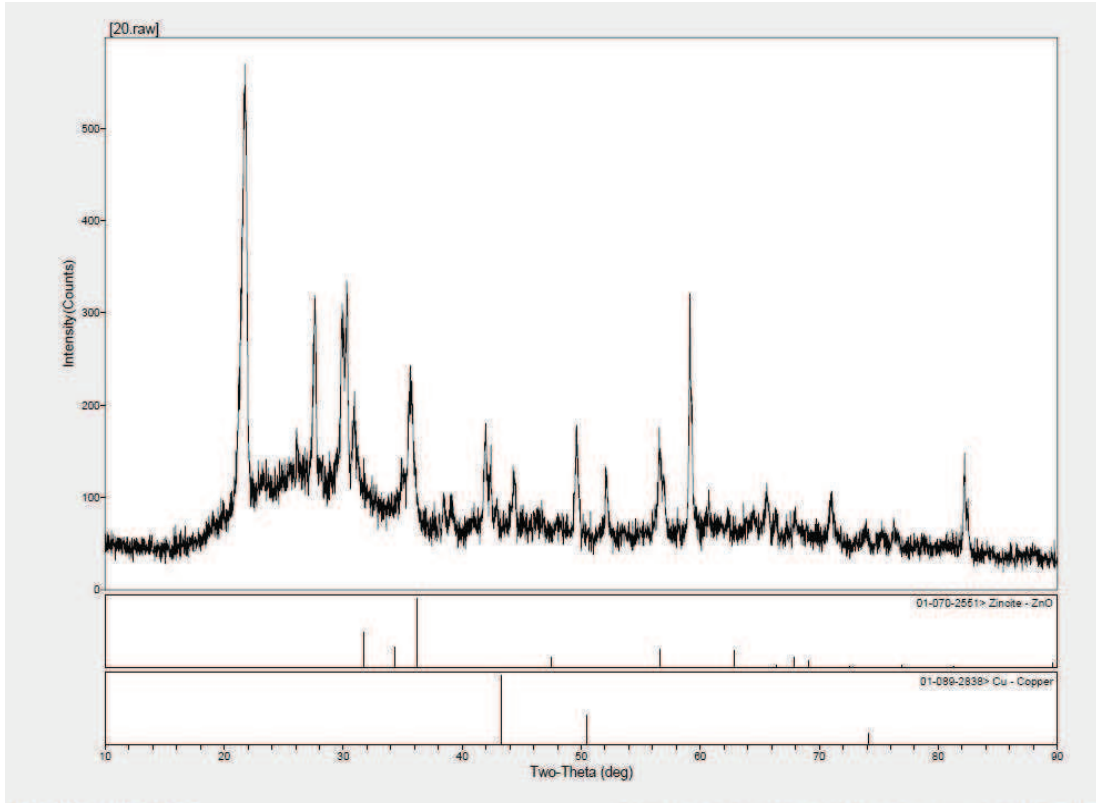
Şekil 5.7. 600°C'de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



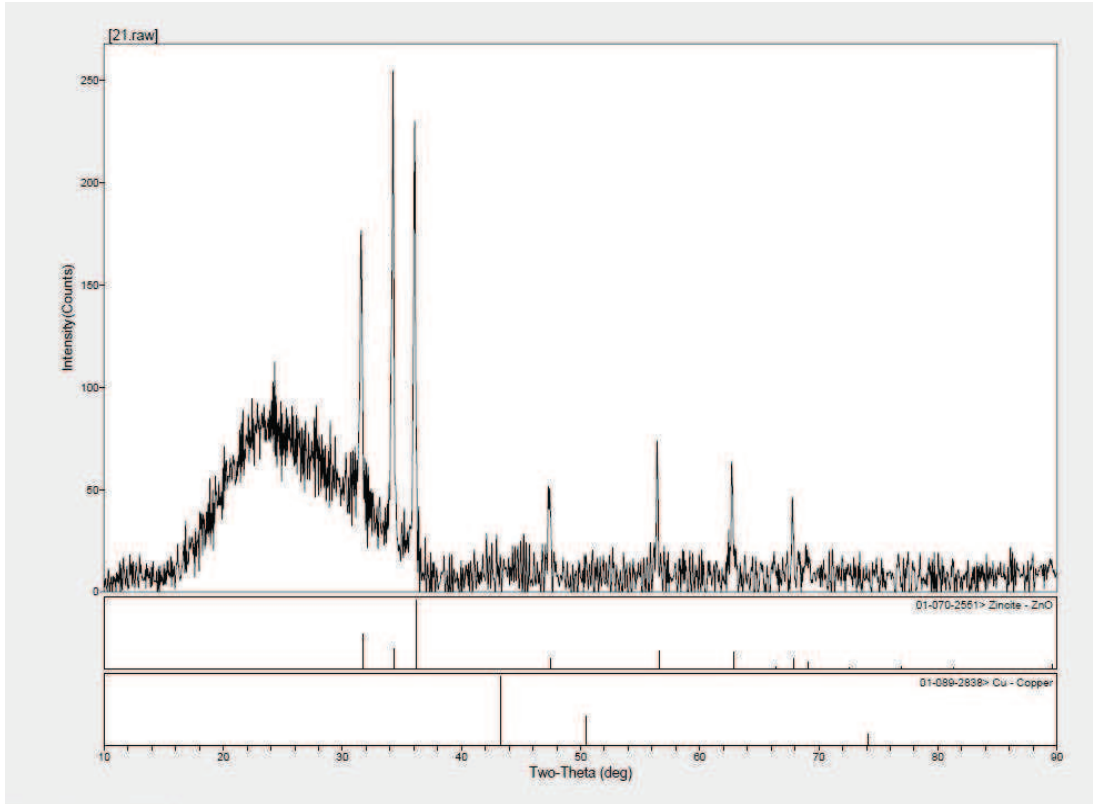
Şekil 5.8. 600°C'de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



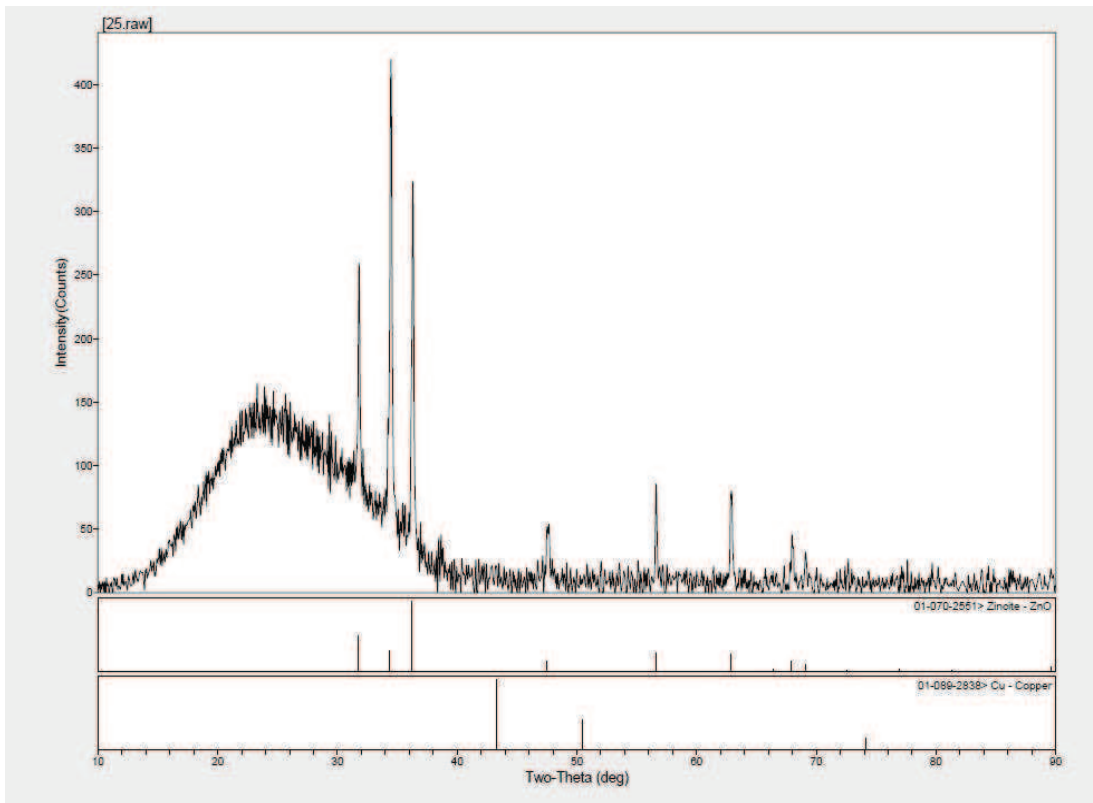
Şekil 5.9. 700°C'de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



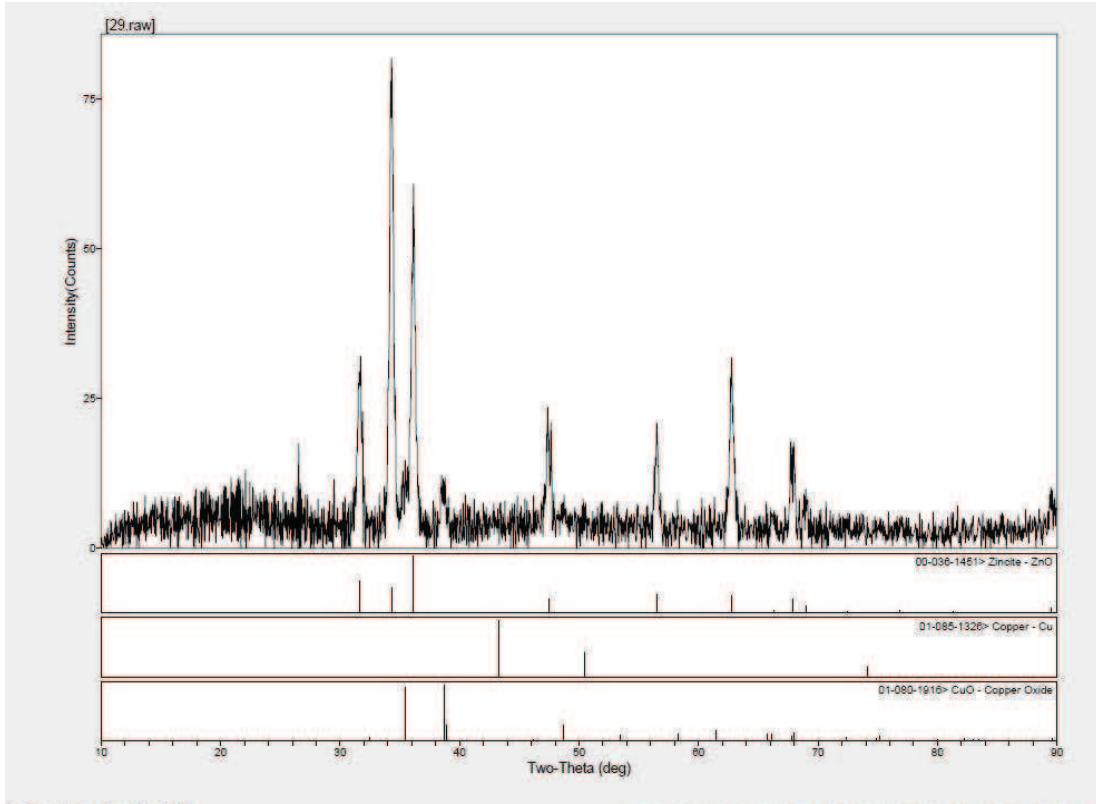
Şekil 5.10. 850°C'de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



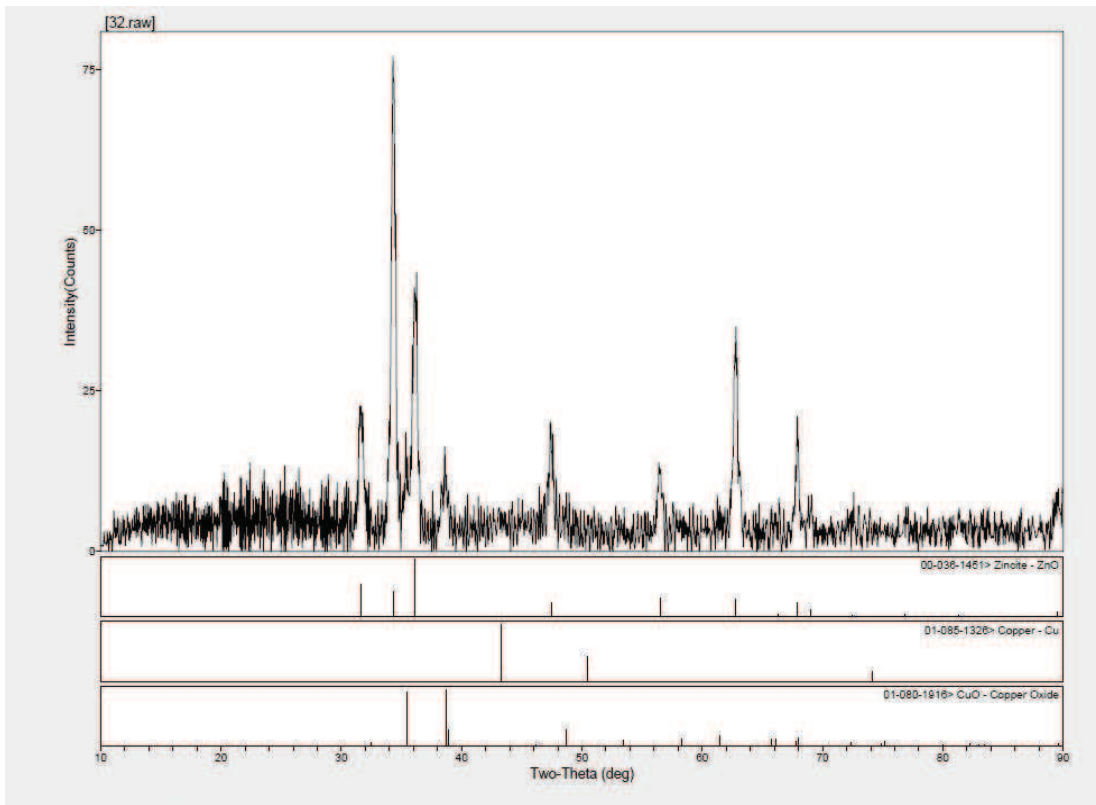
Şekil 5.11. 600°C'de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



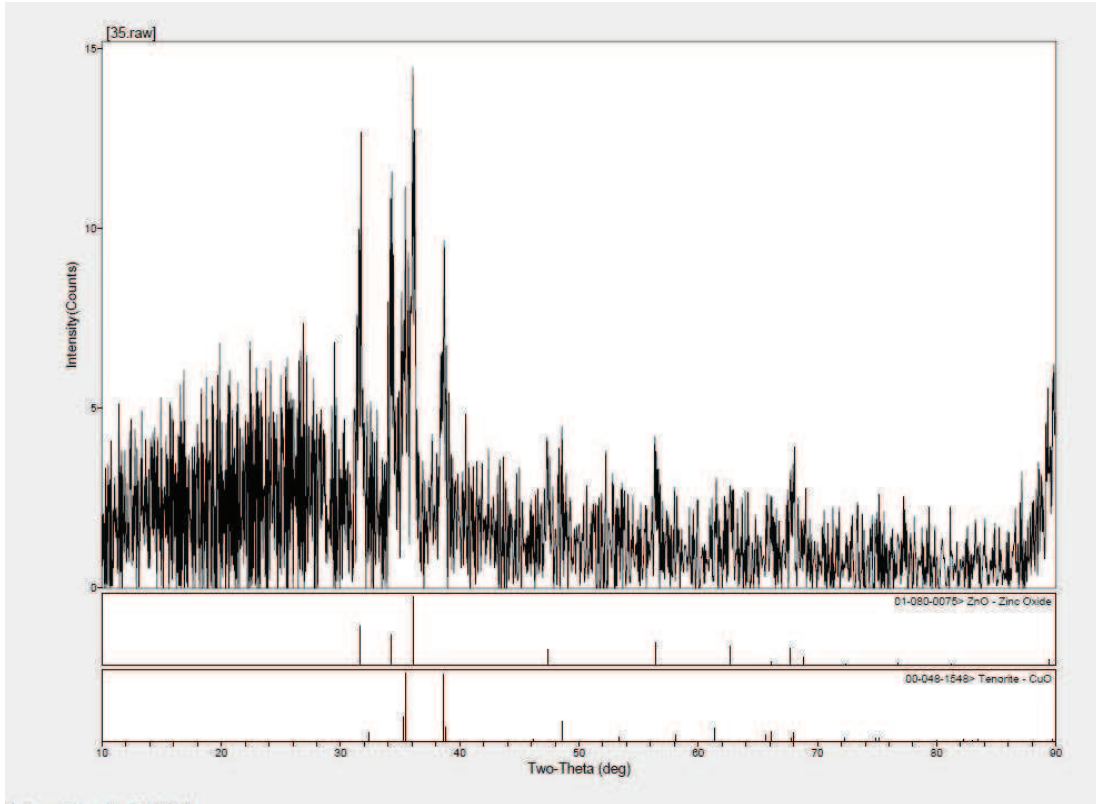
Şekil 5.12. 600°C'de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



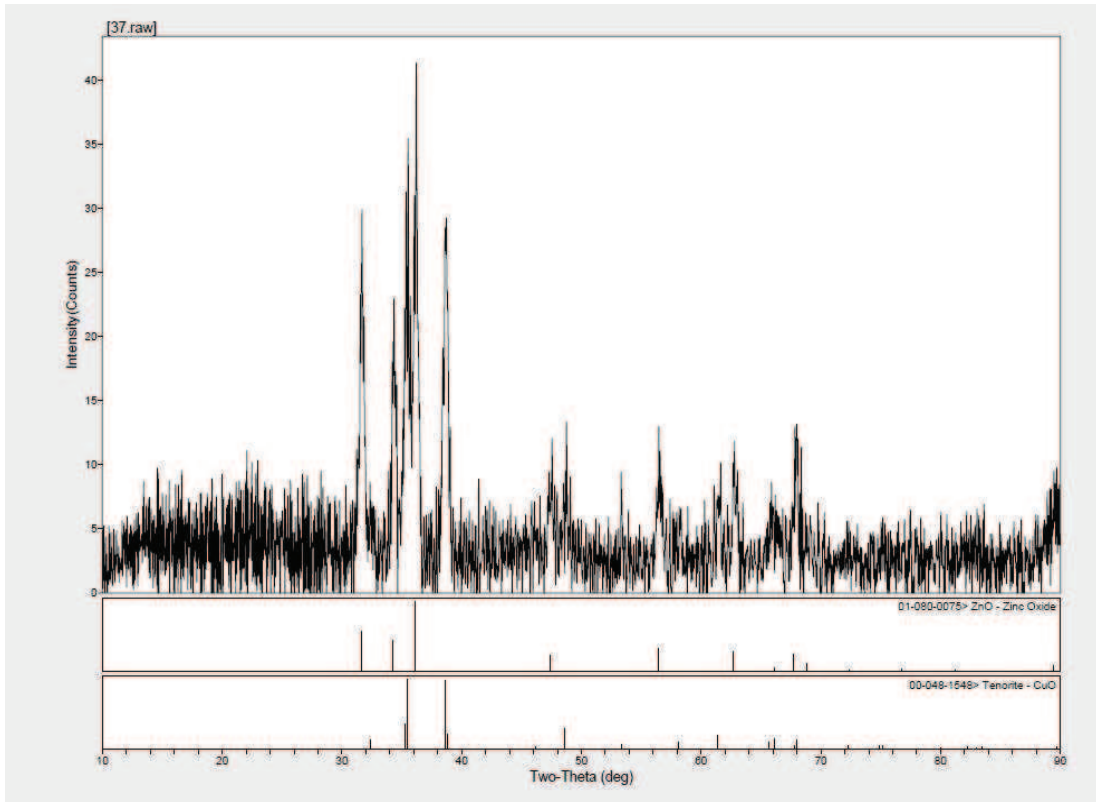
Şekil 5.13. 600°C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



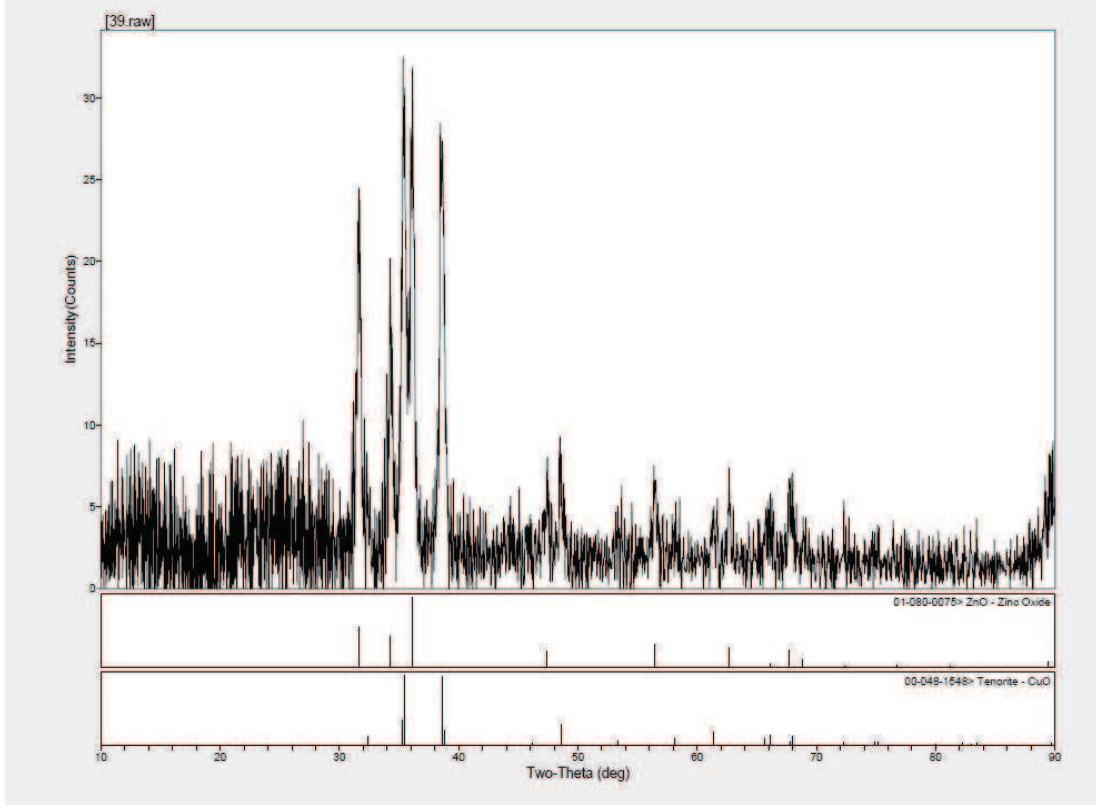
Şekil 5.14. 600°C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



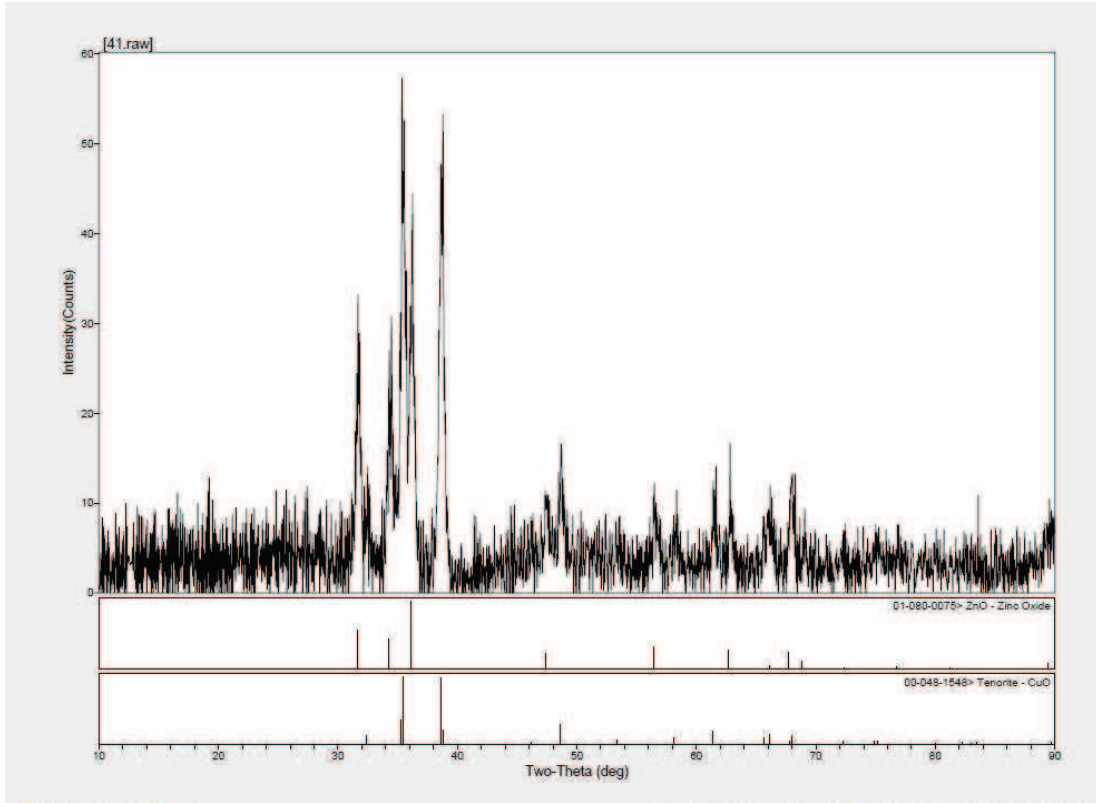
Şekil 5.15. 600°C'de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



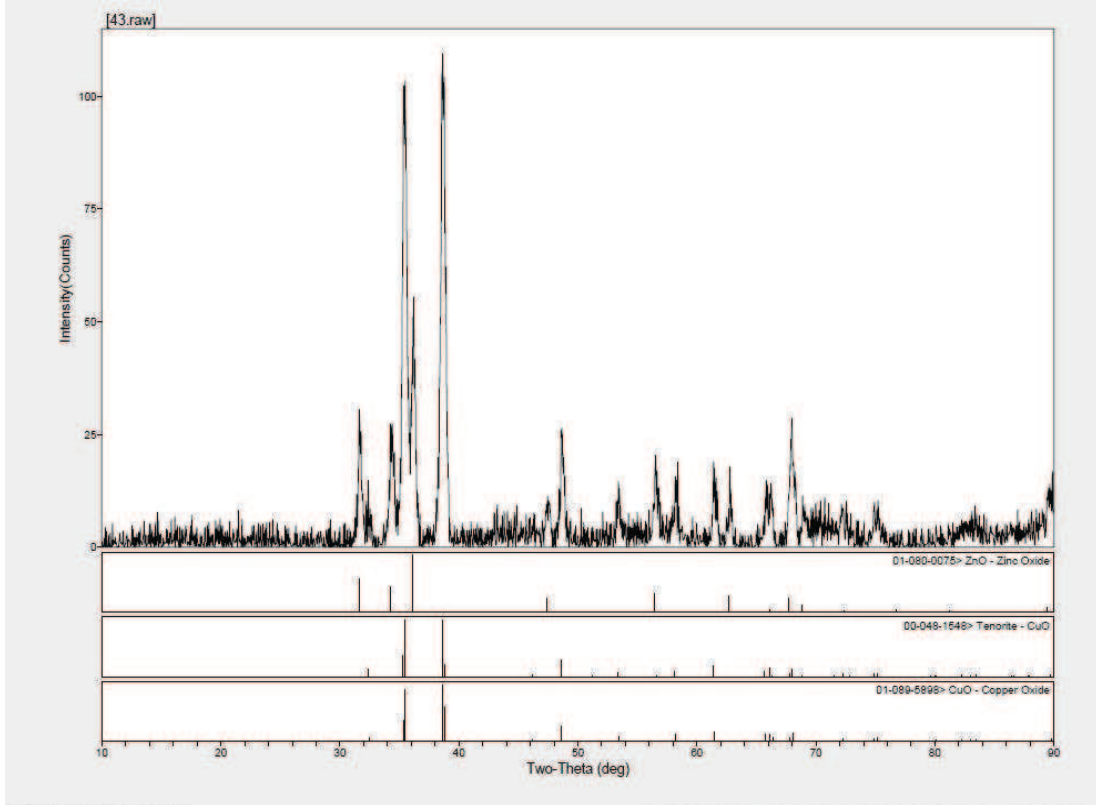
Şekil 5.16. 600°C'de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



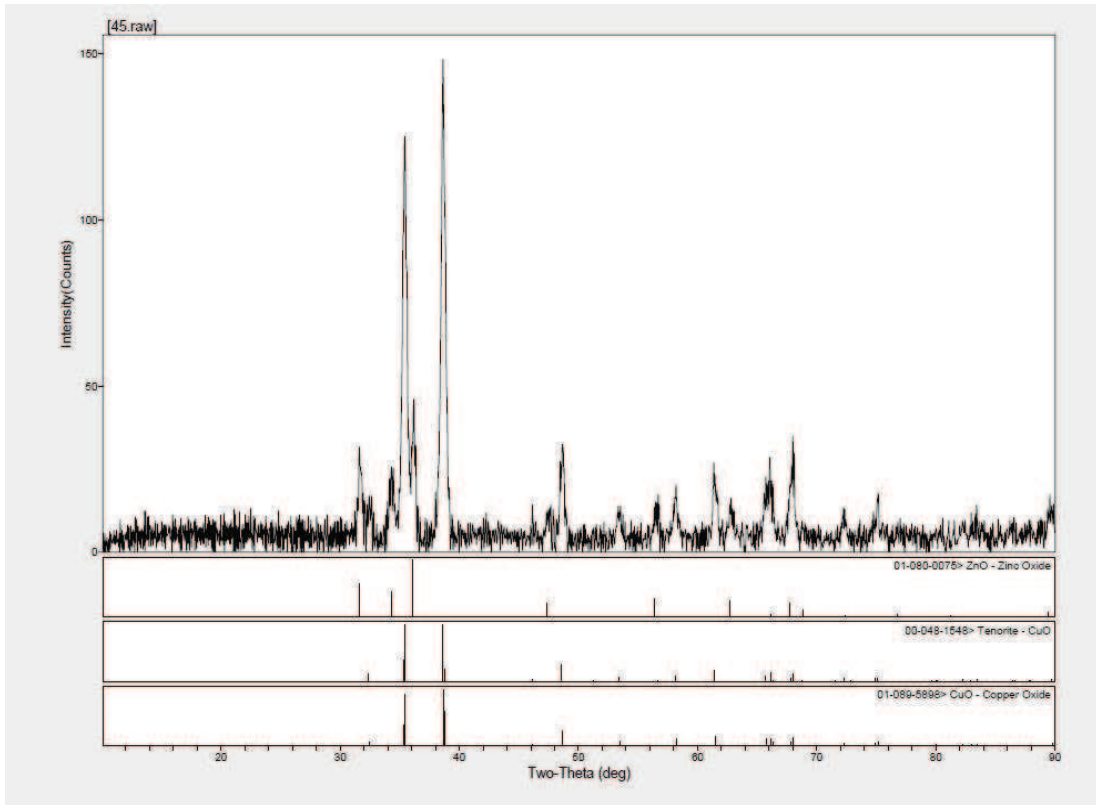
Şekil 5.17. 600°C'de tavllanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



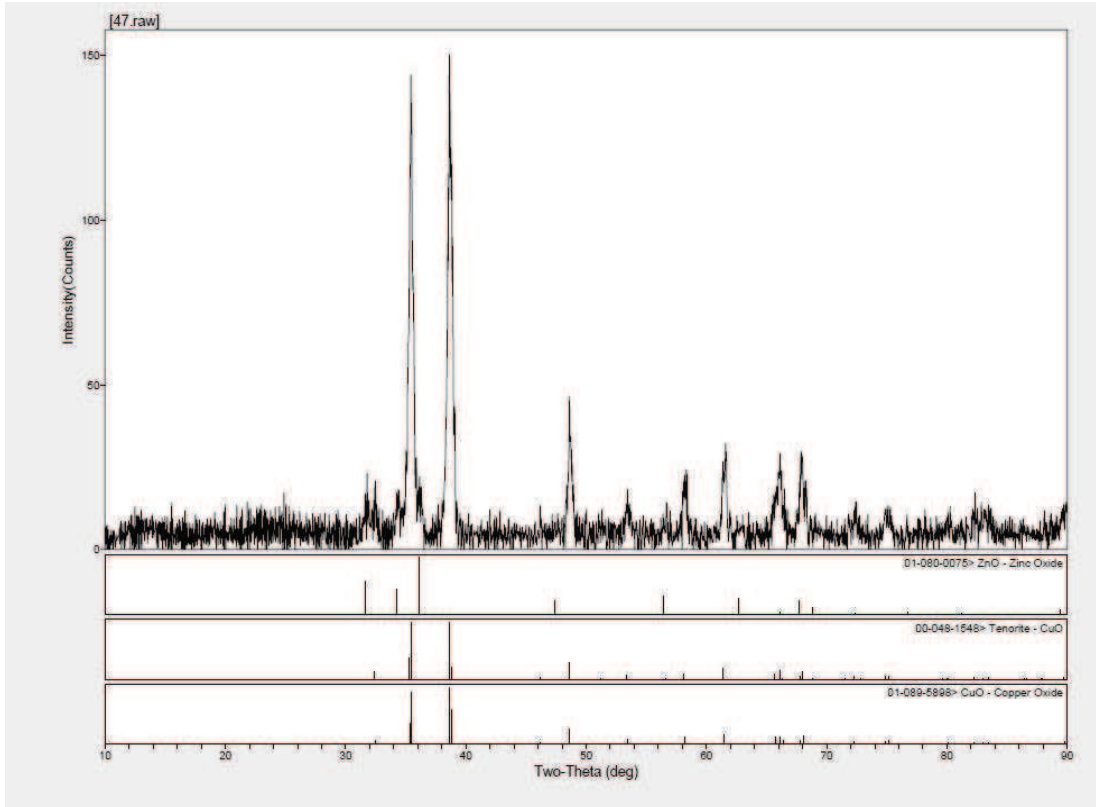
Şekil 5.18. 600°C'de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



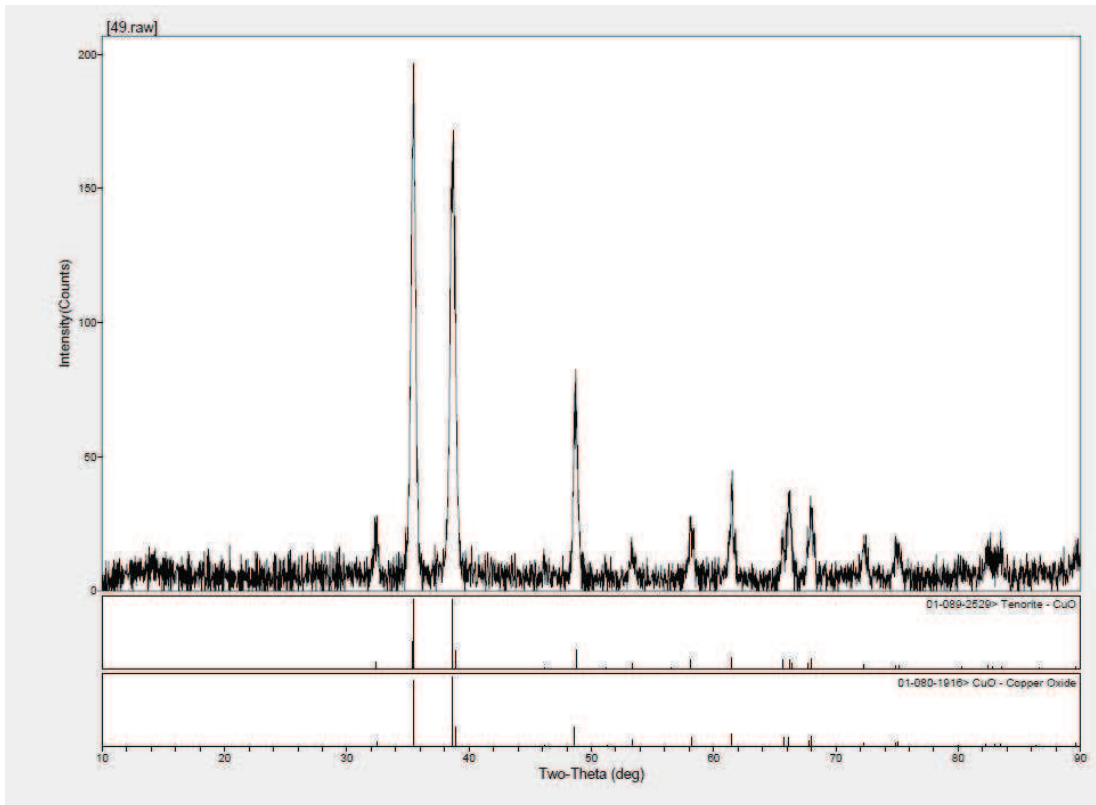
Şekil 5.19. 600°C'de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



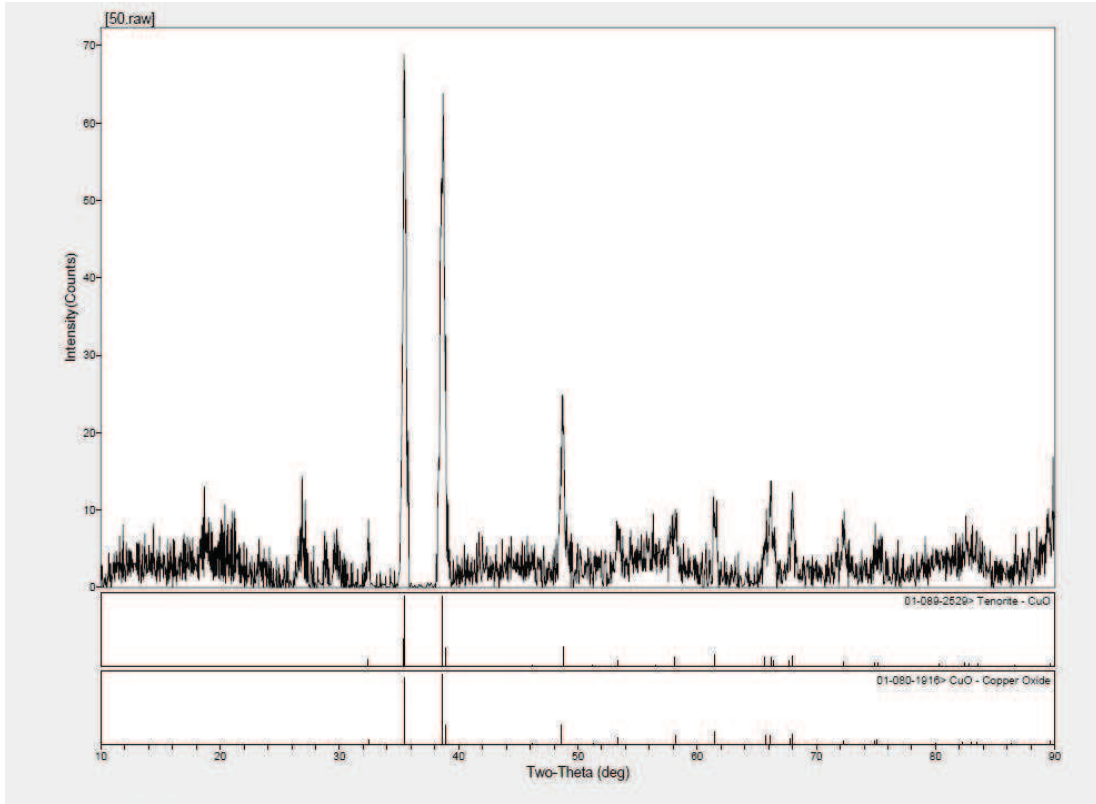
Şekil 5.20. 600°C'de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



Şekil 5.21. 600°C’de tavlannmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



Şekil 5.22. 600°C’de tavlannmış katkısız CuO (%100 Cu katkılı) ince filmin XRD spektrumu.



Şekil 5.23. 700°C'de tavllanmış katkısız CuO (%100 Cu katkılı) ince filmin XRD spektrumu.

XRD spektrumları dikkatle incelendiğinde artan katkı yüzdesiyle birlikte numunelerde CuO piklerinin yavaş yavaş kendini göstermeye başladıkları, %50'lere varıldığında klasik ZnO piklerinin yanında kırınım pik şiddeti bu piklere hemen hemen eşit CuO'ya ait kırınım piklerinin net bir şekilde kendilerini gösterdikleri ve daha da artan Cu (%60-100) katkı durumunda CuO kırınım pikinin bu artan oranla orantılı olacak şekilde baskın hale geldikleri ve sonuçta %100 Cu katkılı durumda saf CuO filmi elde edildiğini gösteren saf CuO XRD kırınım deseninin oluştuğu gözlenmiştir.

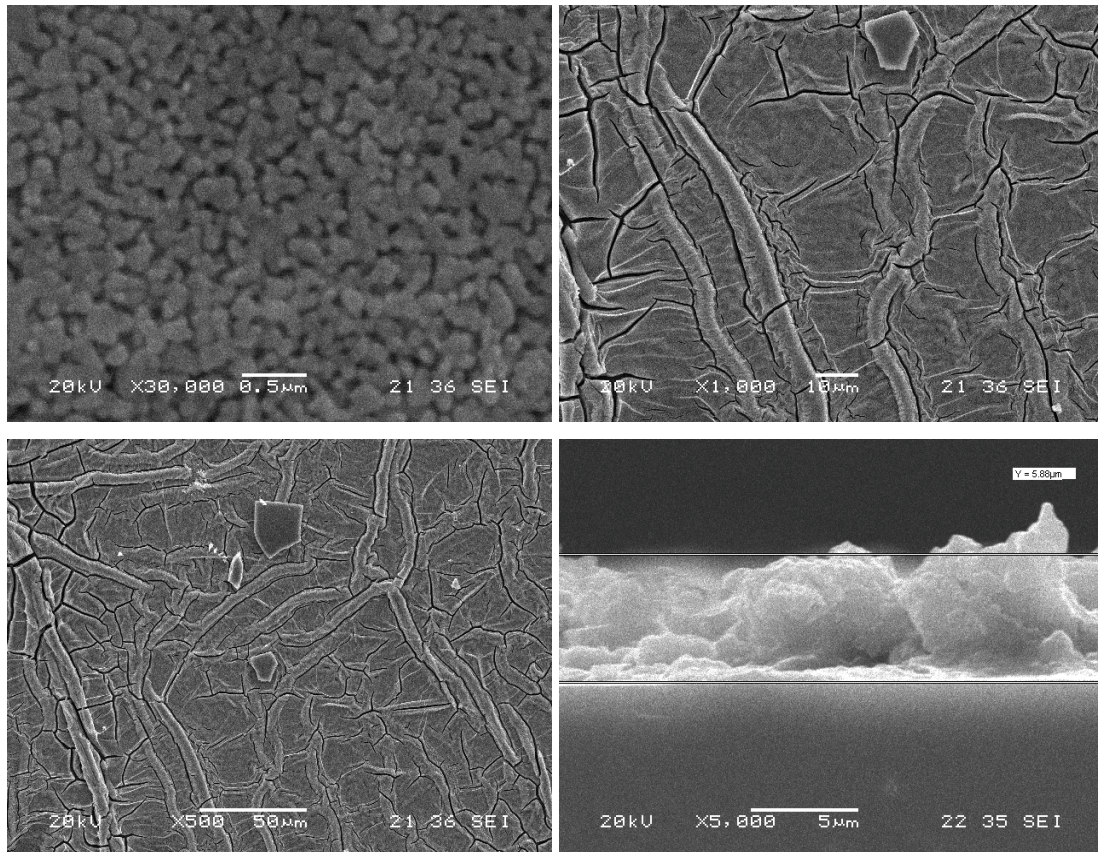
(4.1) formülü istihdam edilerek yapılan incelemede saf ve Cu katkılı ZnO ince filmlerdeki ZnO kristallerinin tane boyutlarının 22 nm ile 30 nm arasında değiştikleri ve anlamlı bir değişim göstermedikleri sonucuna varılmıştır. Katkılı filmlerdeki CuO kristal öbeklerinin tane çapları ise 20-45 nm aralığında hesaplanmışlardır. Sıcaklık artışıyla birlikte bu tane boyutlarında bir değişim görülmemekle beraber SEM sonuçlarındaki yayılma, tane boyutları değişmeden ara

bölgelerdeki uzaysal boşlukların ortadan kalkmış olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

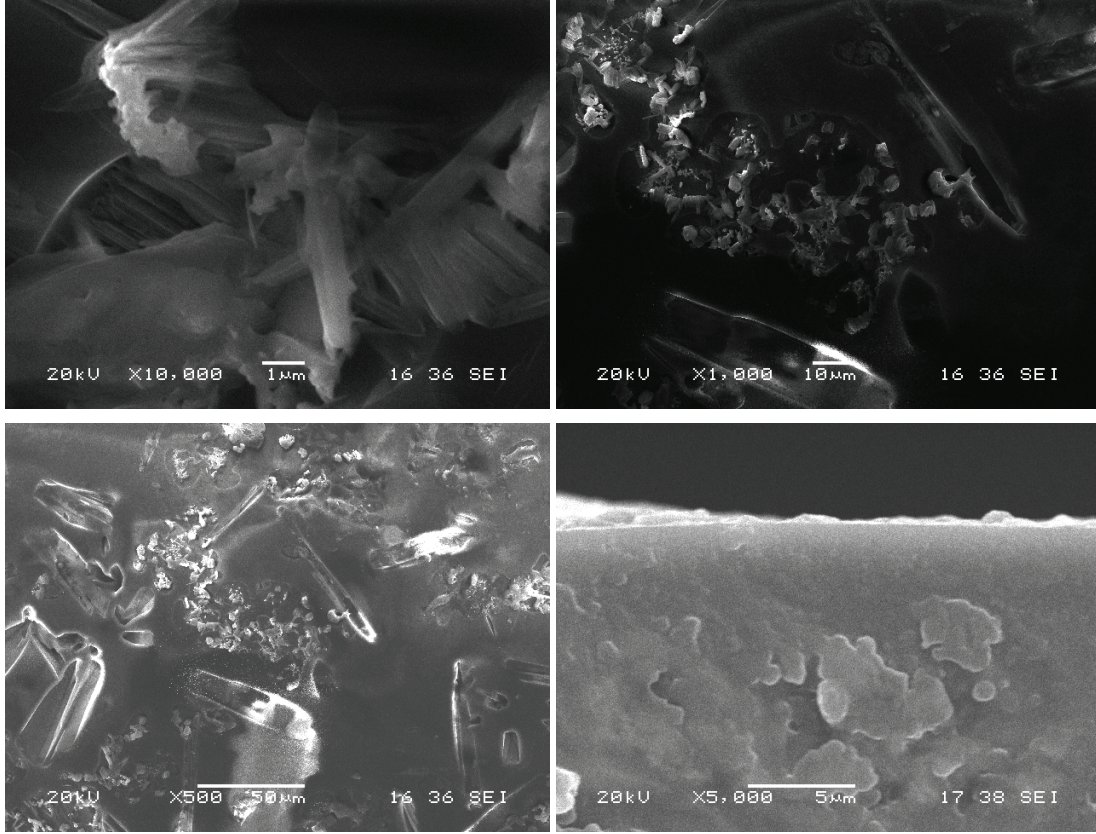
Yapılan bu seri deneylerle ZnO ve CuO'nun aynı matris yapı içinde kristal fazda bir arada yaşabilecekleri gösterilmiştir. Bu deneyler bize her iki yapının aynı kristal yapıya sahip oldukları için tek bir altlık üzerinde varlıklarını sürdürebildiklerini de ispatlamıştır. Bu iki yapının bağımsız olarak sistemde var oldukları düşünülmele beraber bazı lokal ara fazların da oluşmuş olabilecekleri gözden ırak tutulmamalıdır.

5.3. SEM Sonuçları

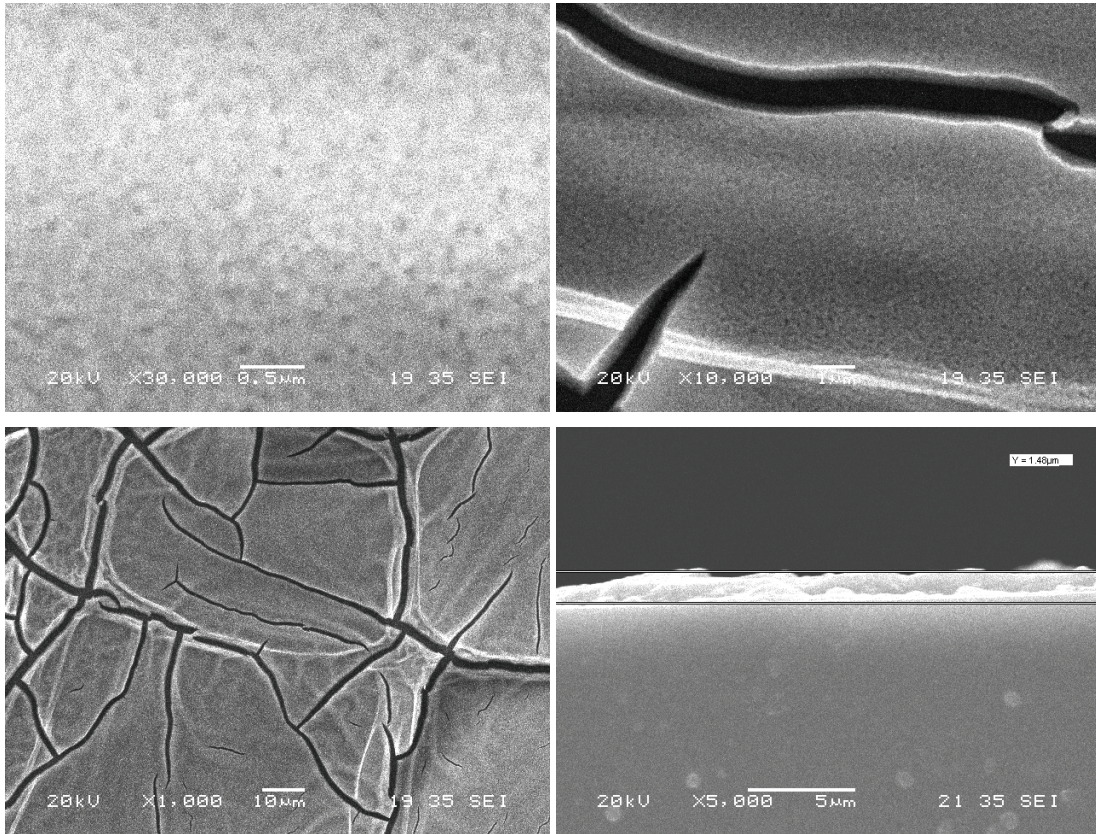
Elde edilen numunelere ait SEM mikroresimleri Şekil 5.24-56'da ve EDS spektrumları ise Şekil 5.57-64'de verilmişlerdir.



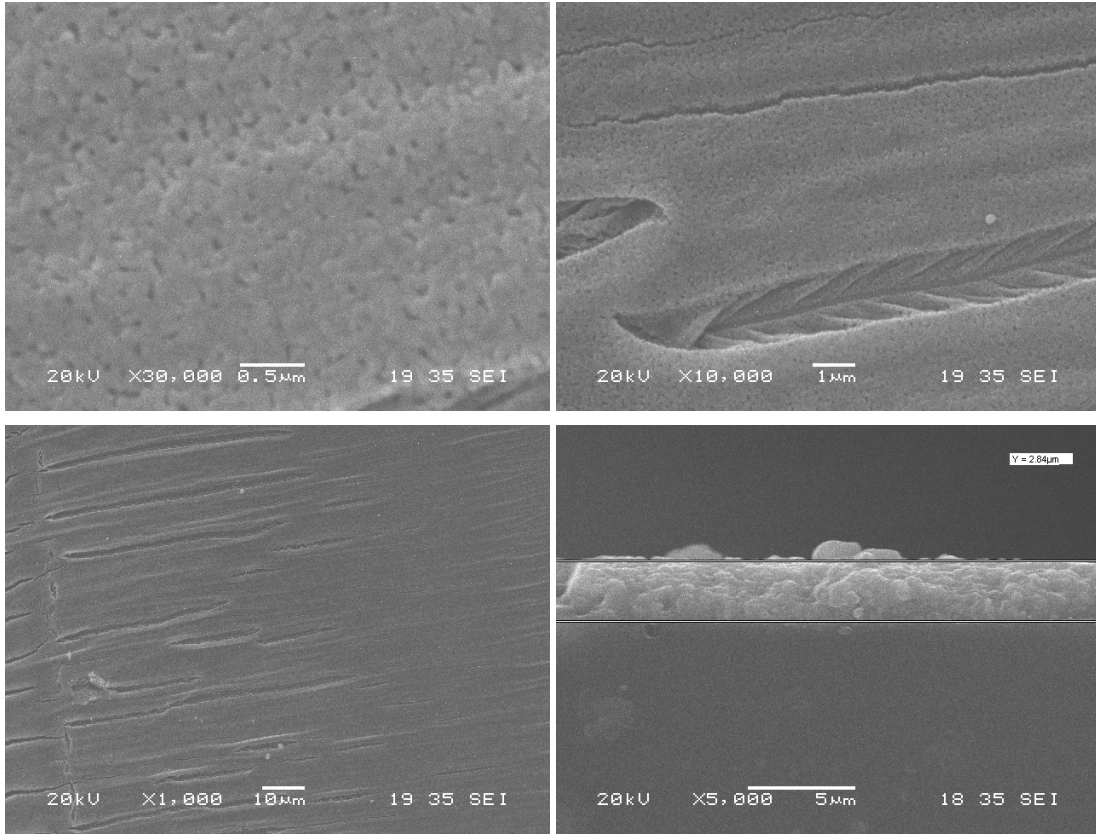
Şekil 5.24. 600°C'de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



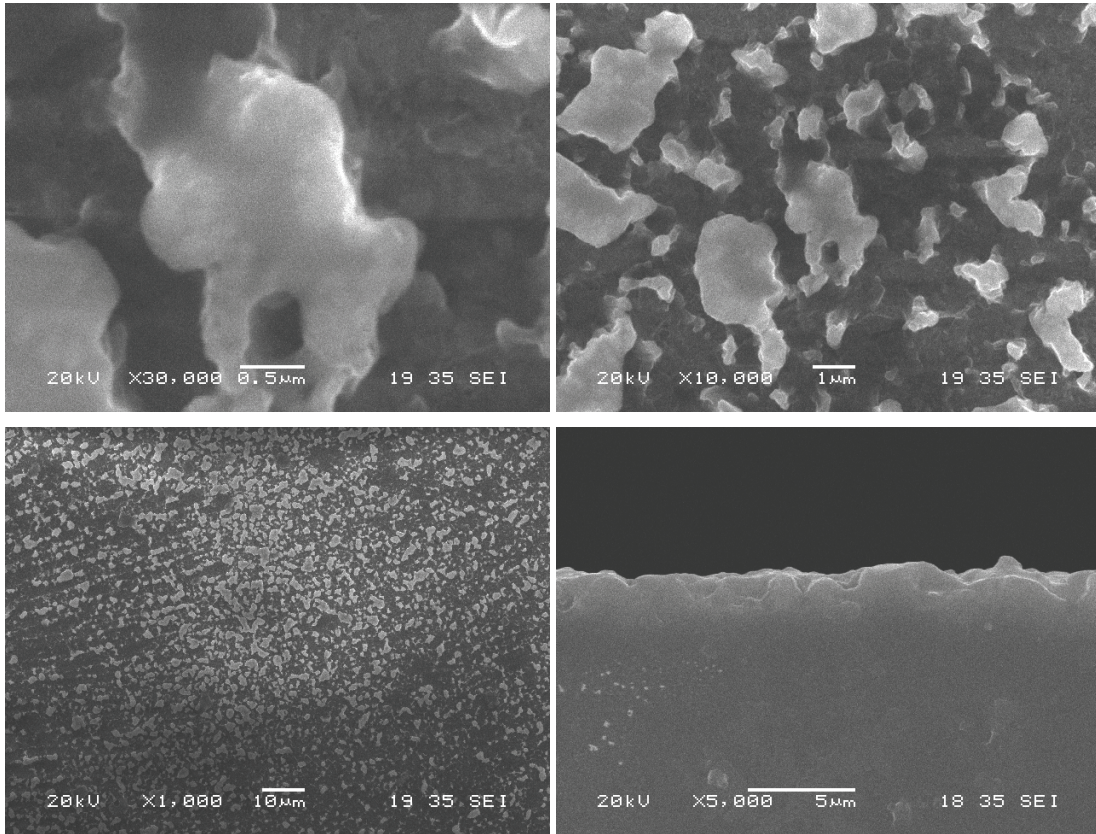
Şekil 5.25. 850 °C'de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



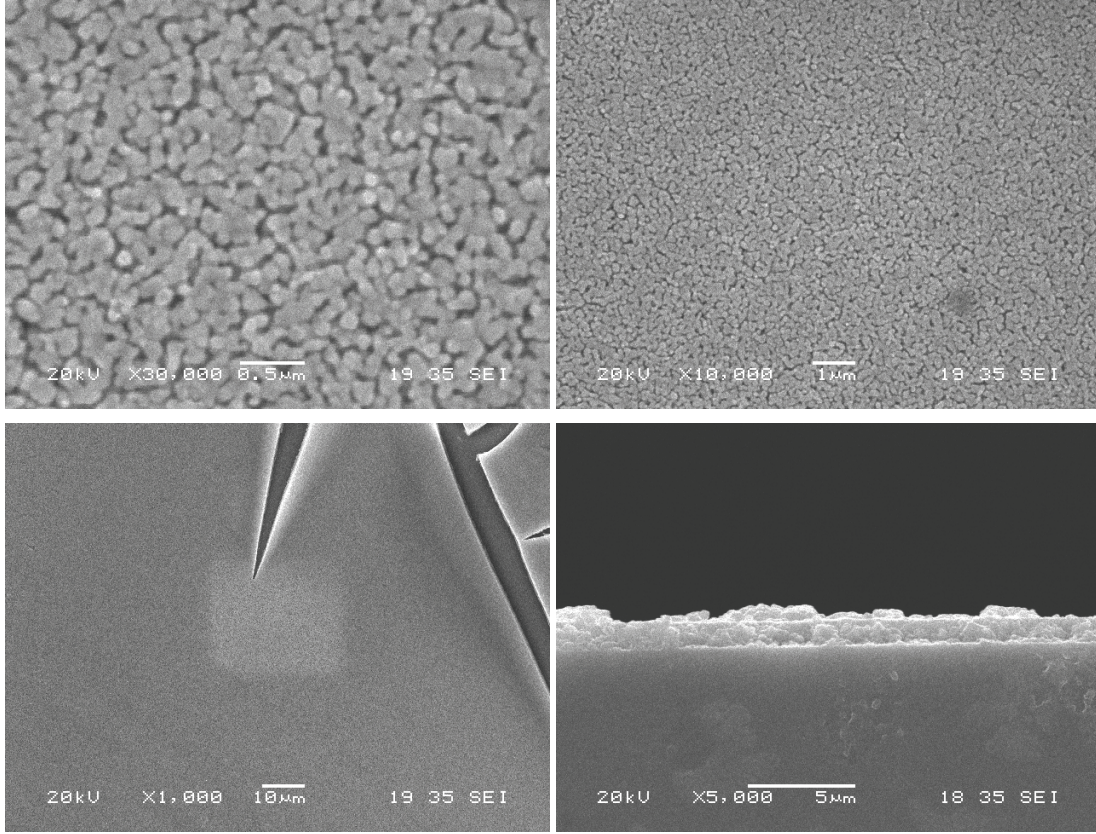
Şekil 5.26. 600 °C'de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



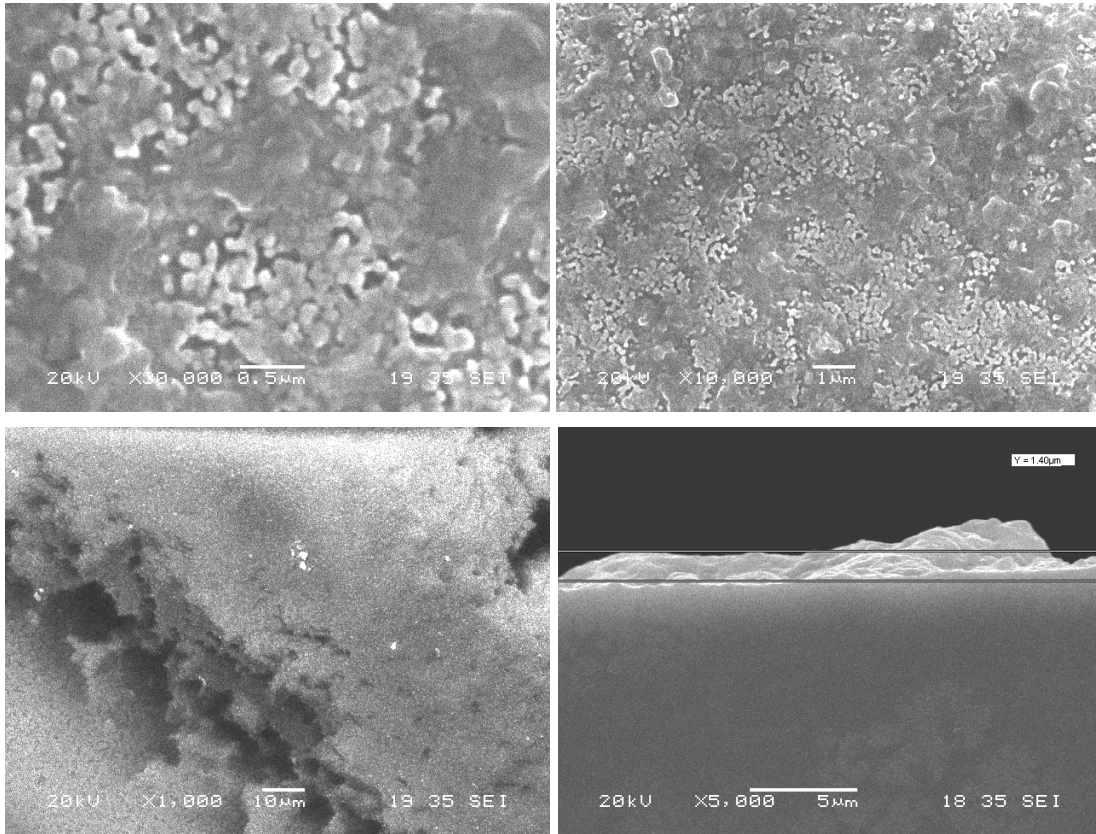
Şekil 5.27. 600 °C'de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



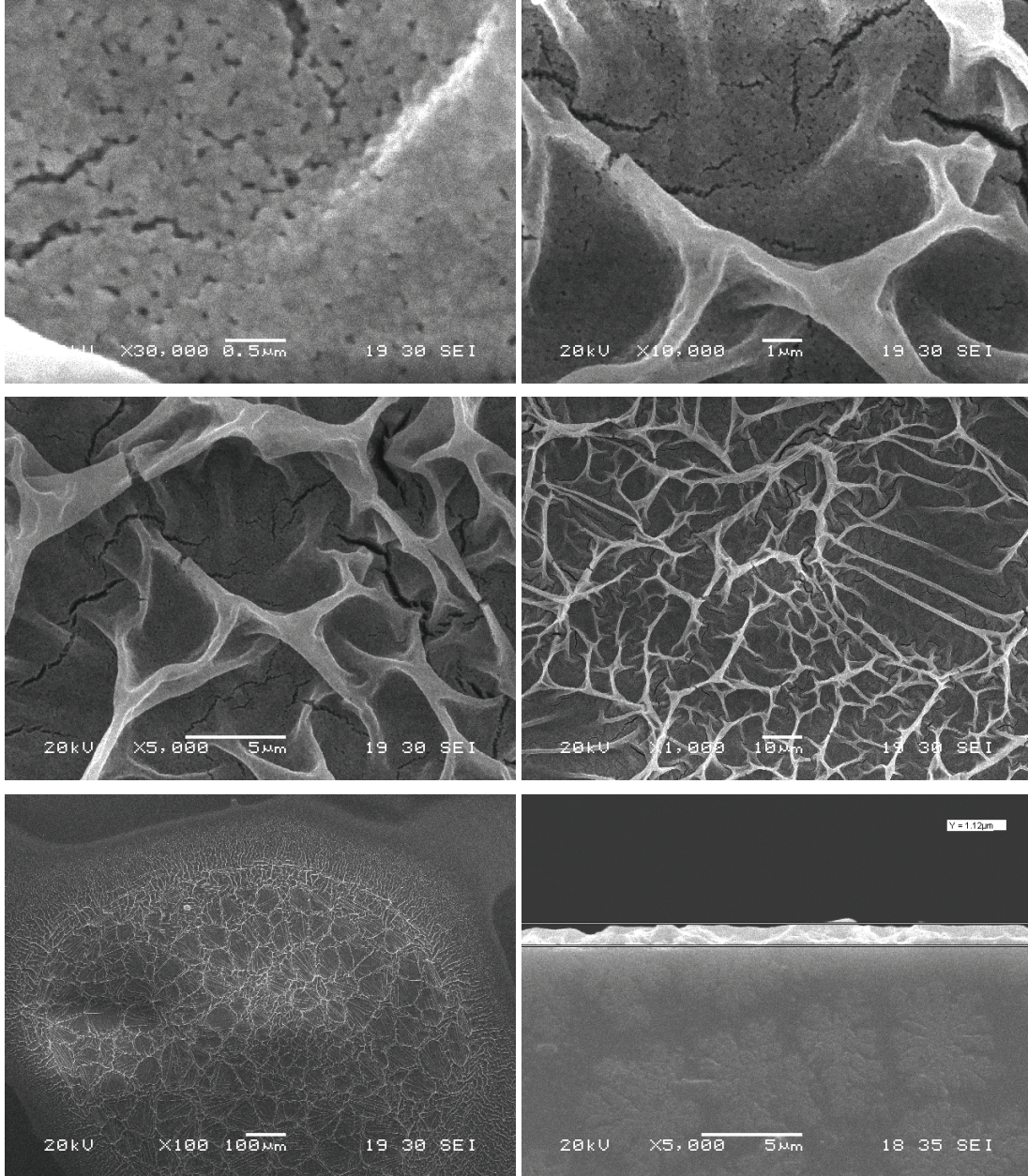
Şekil 5.28. 700 °C'de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



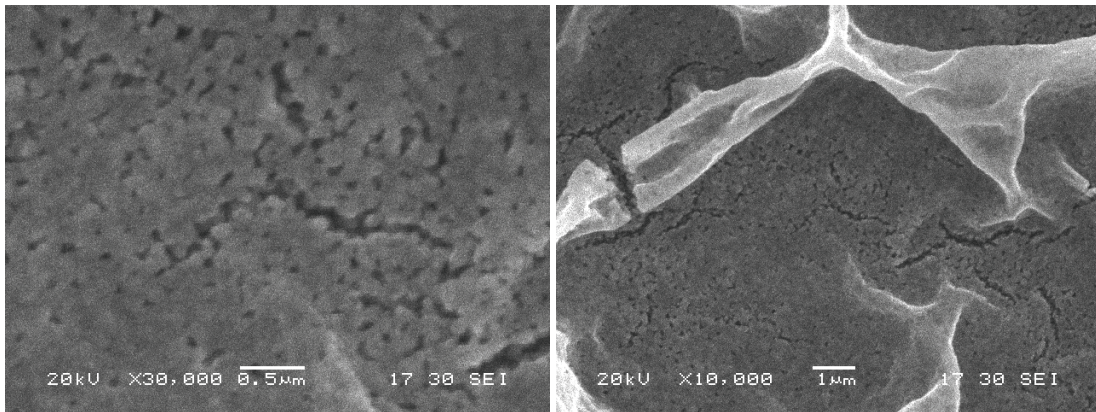
Şekil 5.29. 600 °C'de %3 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



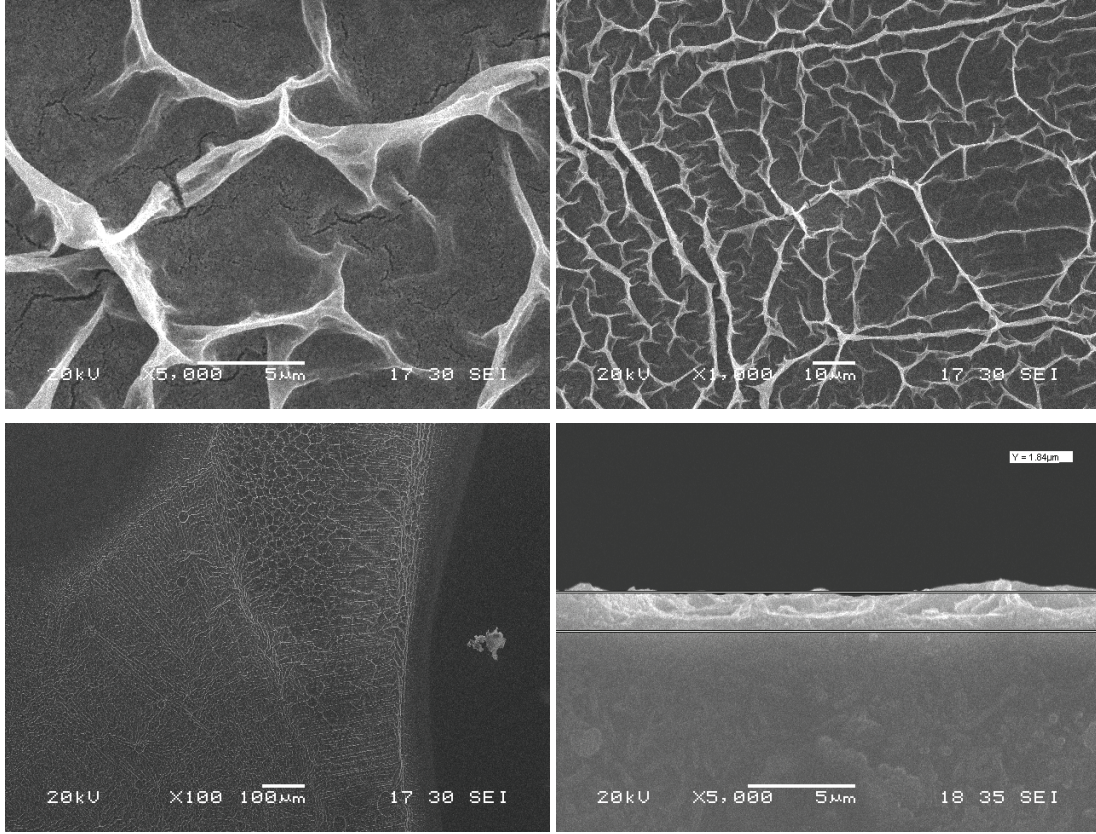
Şekil 5.30. 700 °C'de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



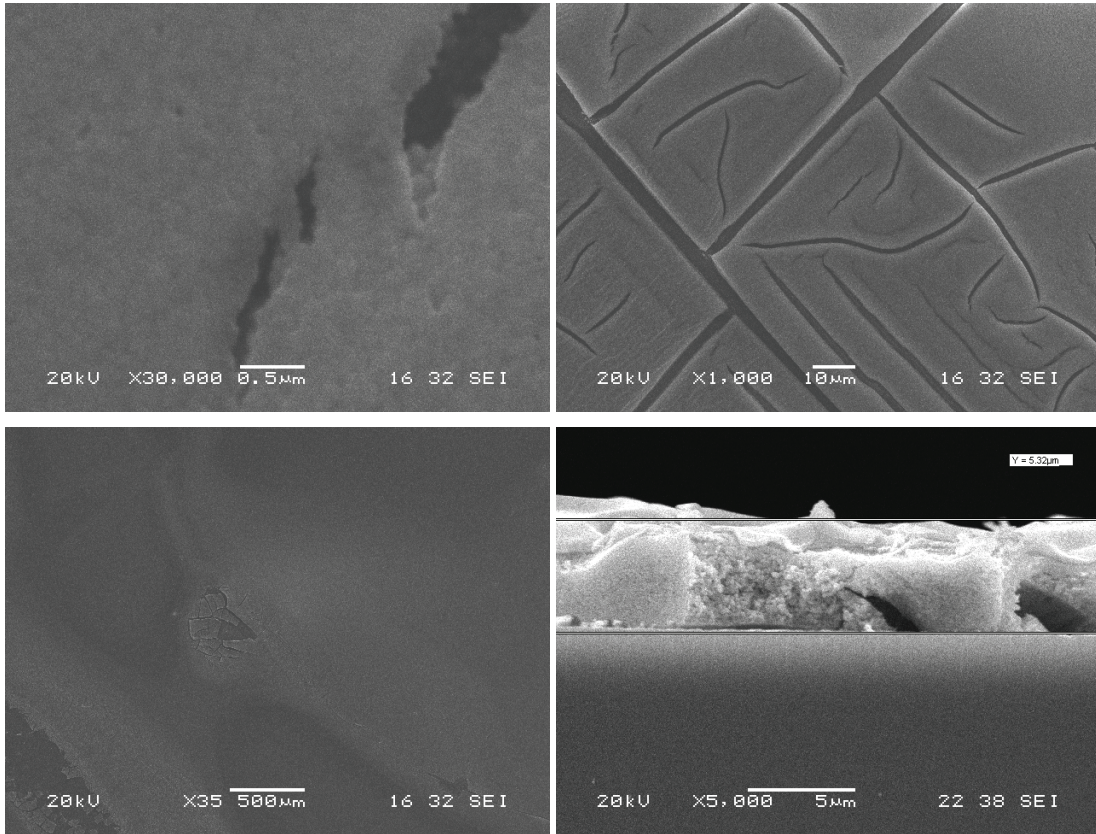
Şekil 5.31. 600 °C’de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



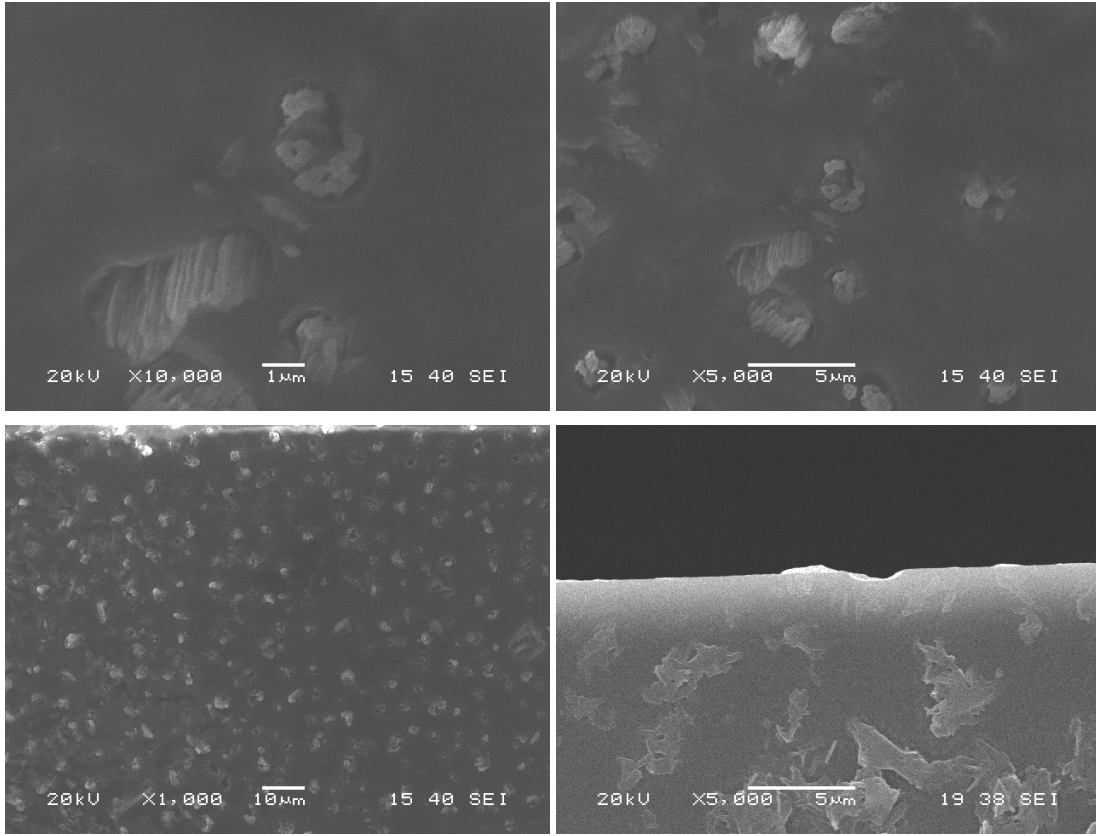
Şekil 5.32. 600 °C’de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



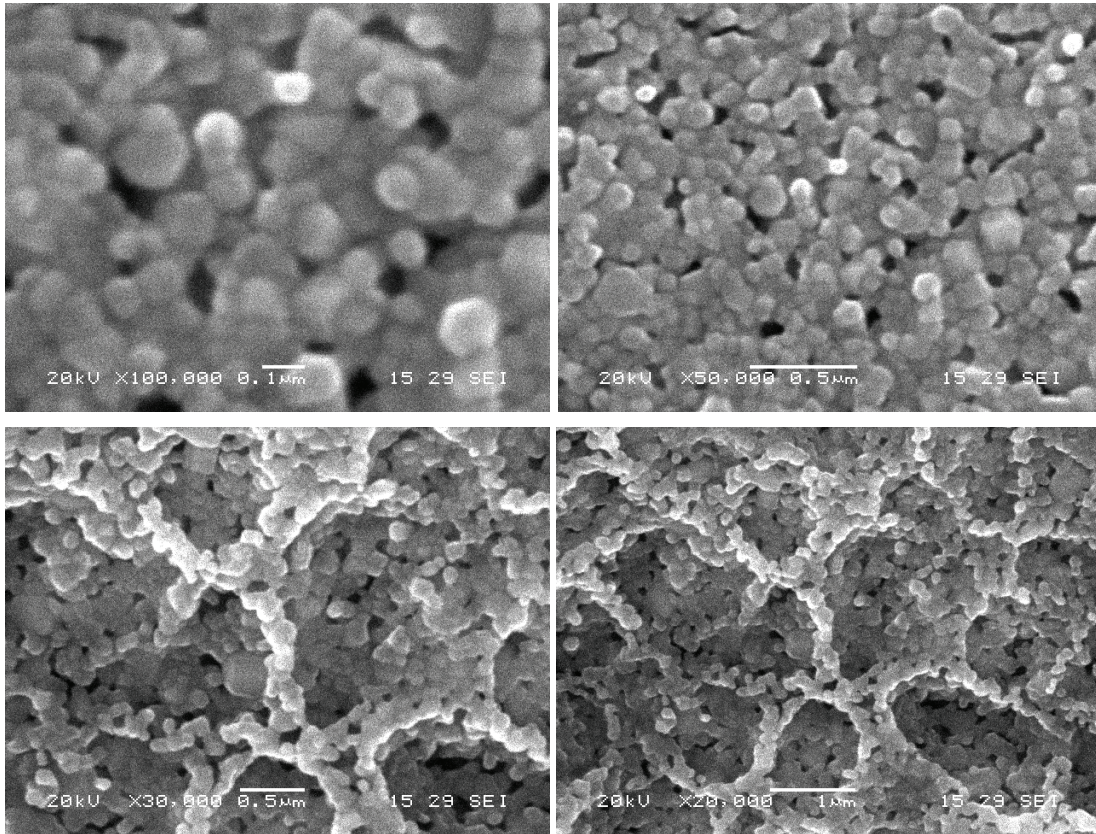
Şekil 5.32. (devam)



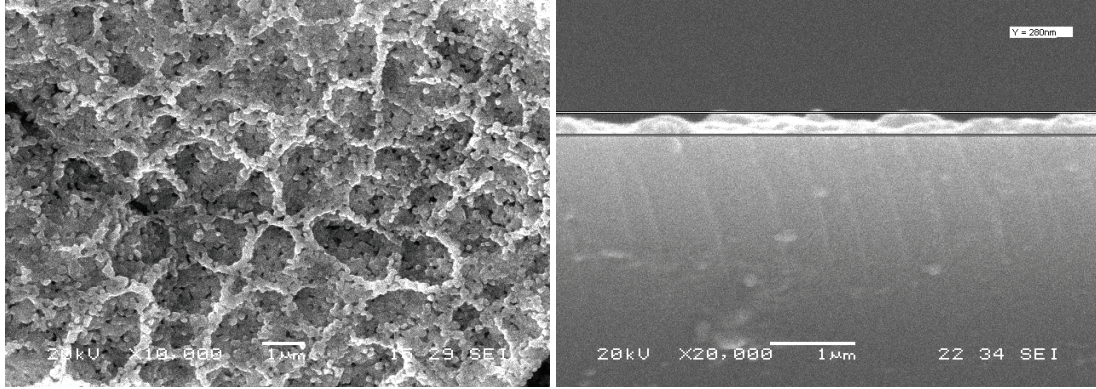
Şekil 5.33. 600 °C'de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



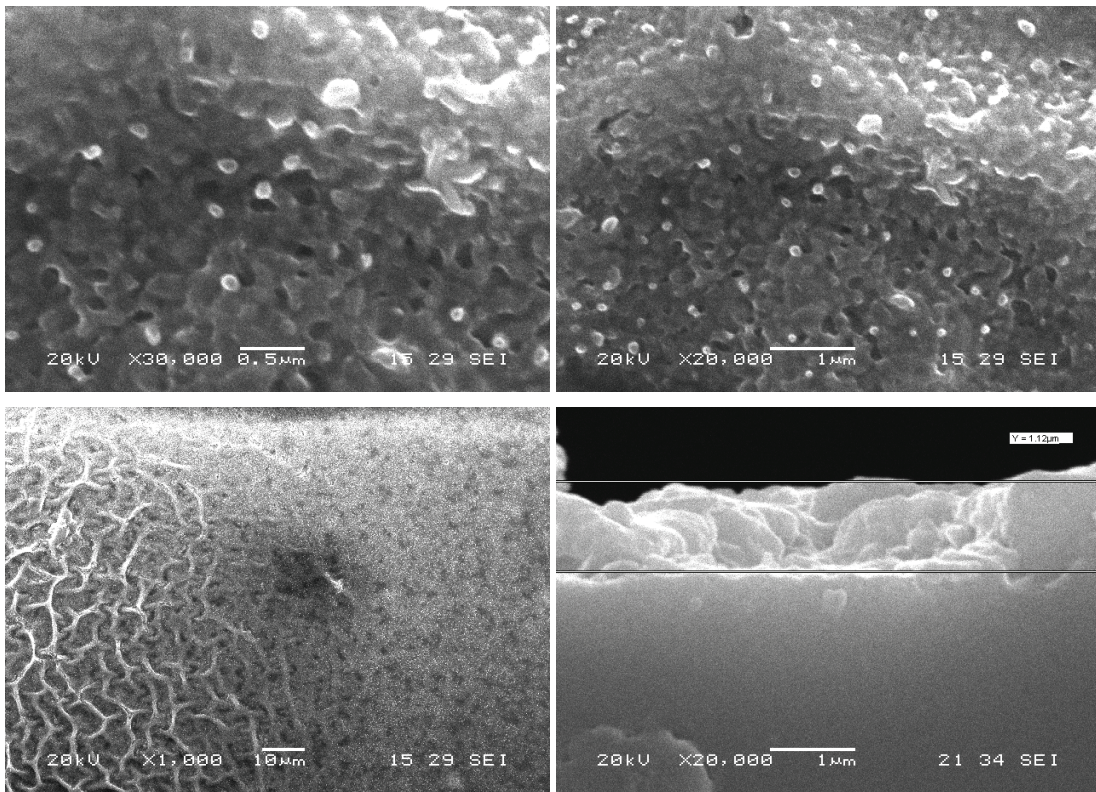
Şekil 5.34. 800 °C'de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



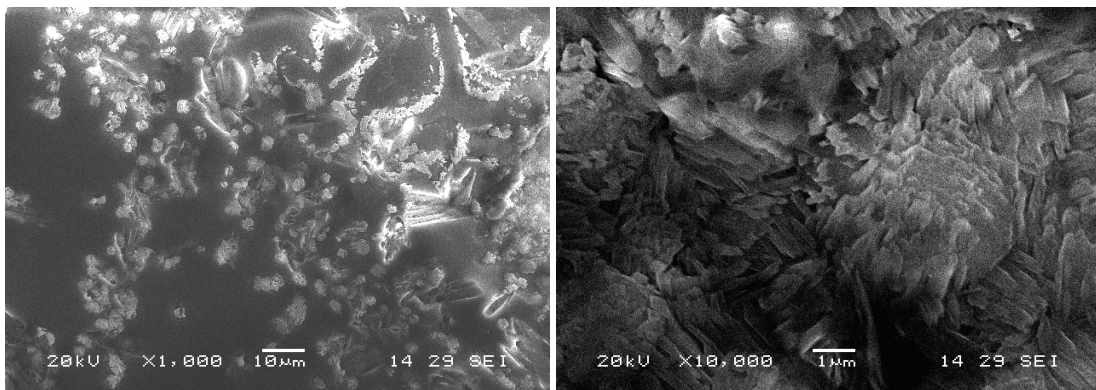
Şekil 5.35. 600 °C'de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



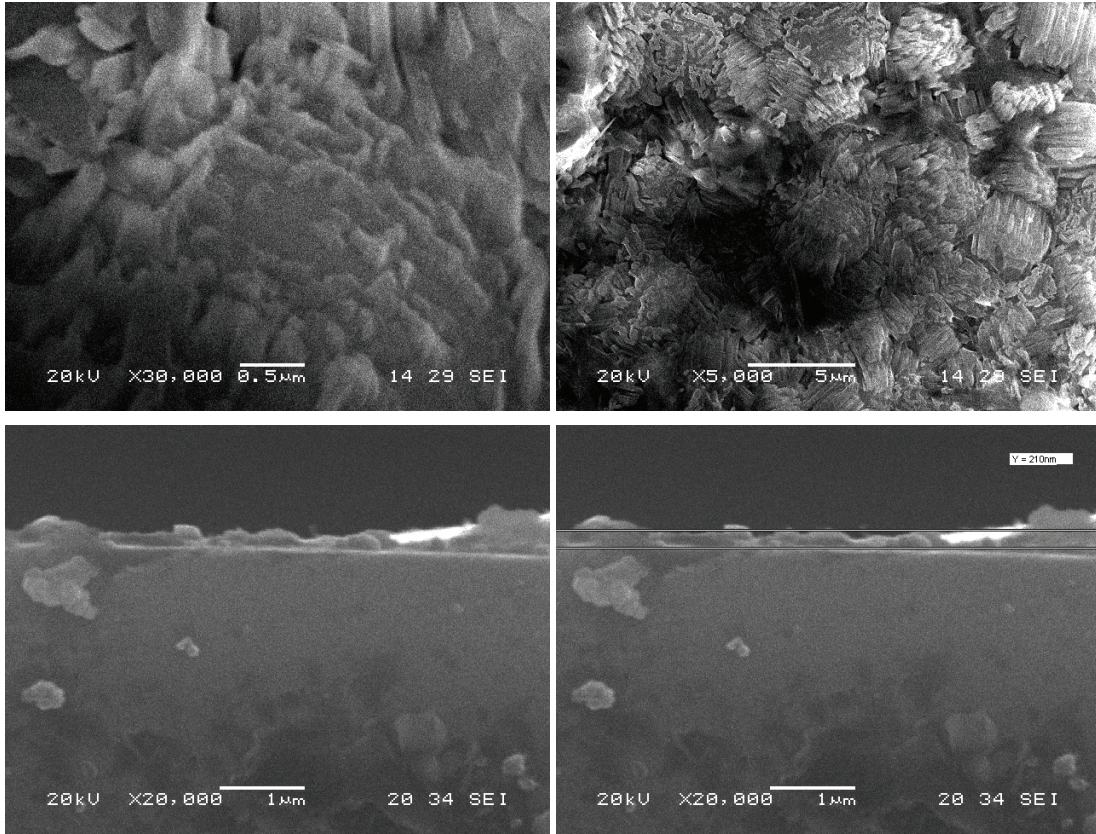
Şekil 5.35. (devam)



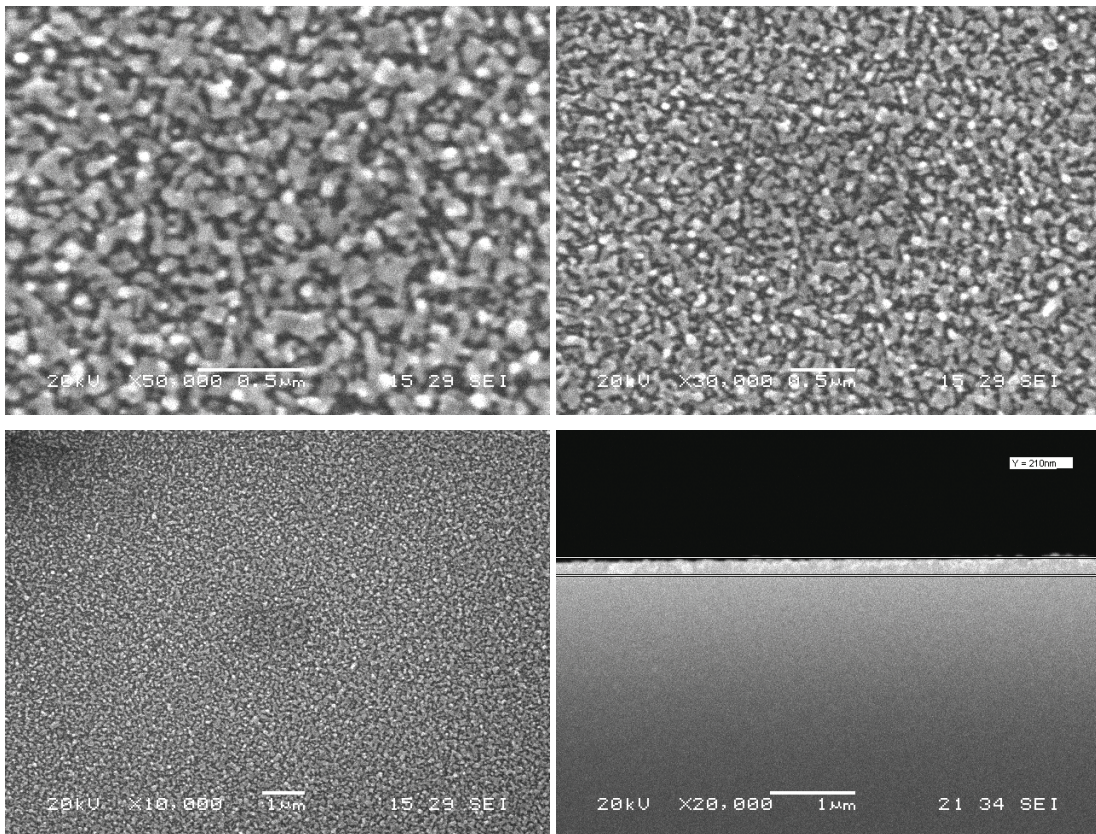
Şekil 5.36. 700 °C'de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



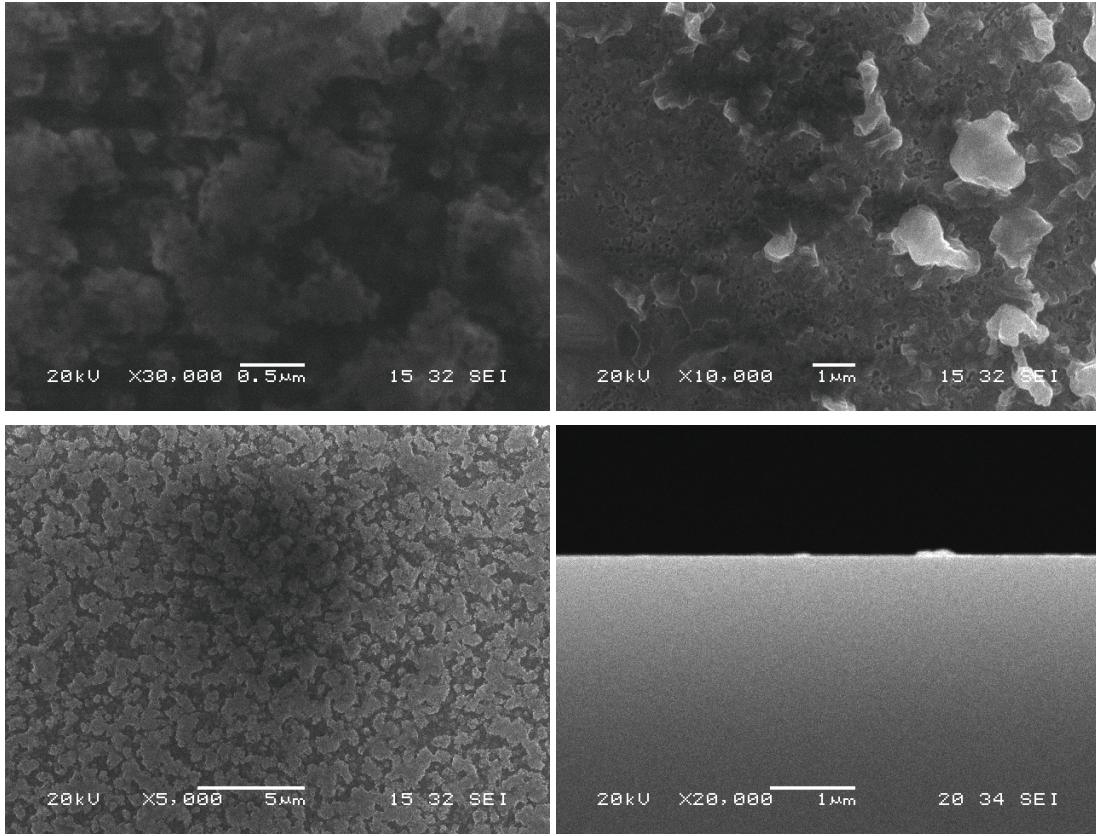
Şekil 5.37. 800 °C'de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



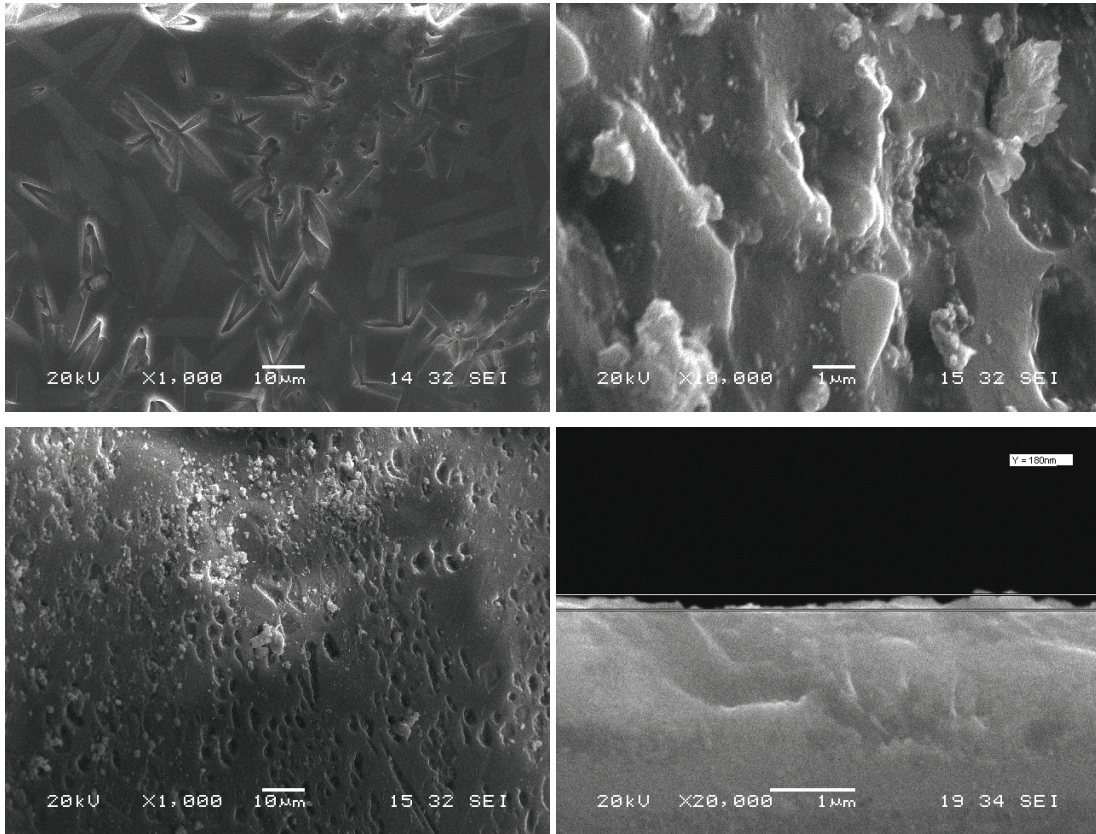
Şekil 5.37. (devam)



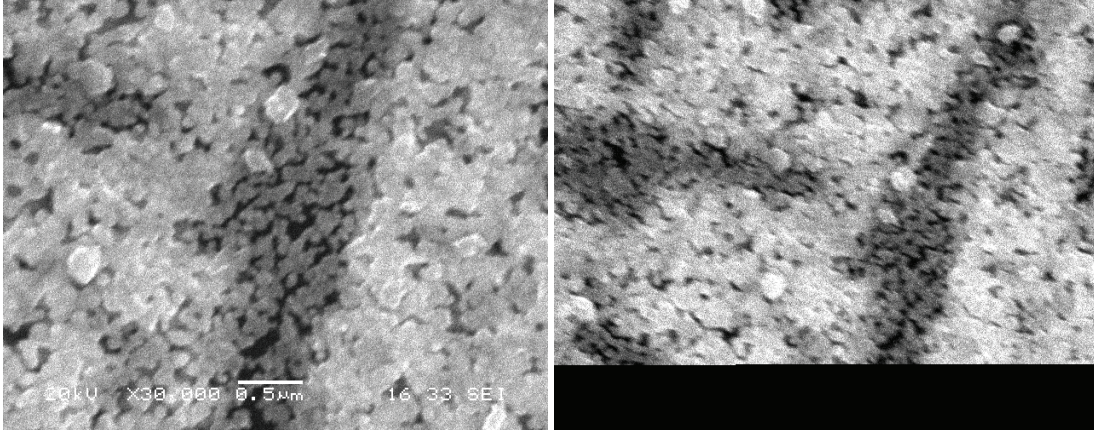
Şekil 5.38. 600 °C'de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



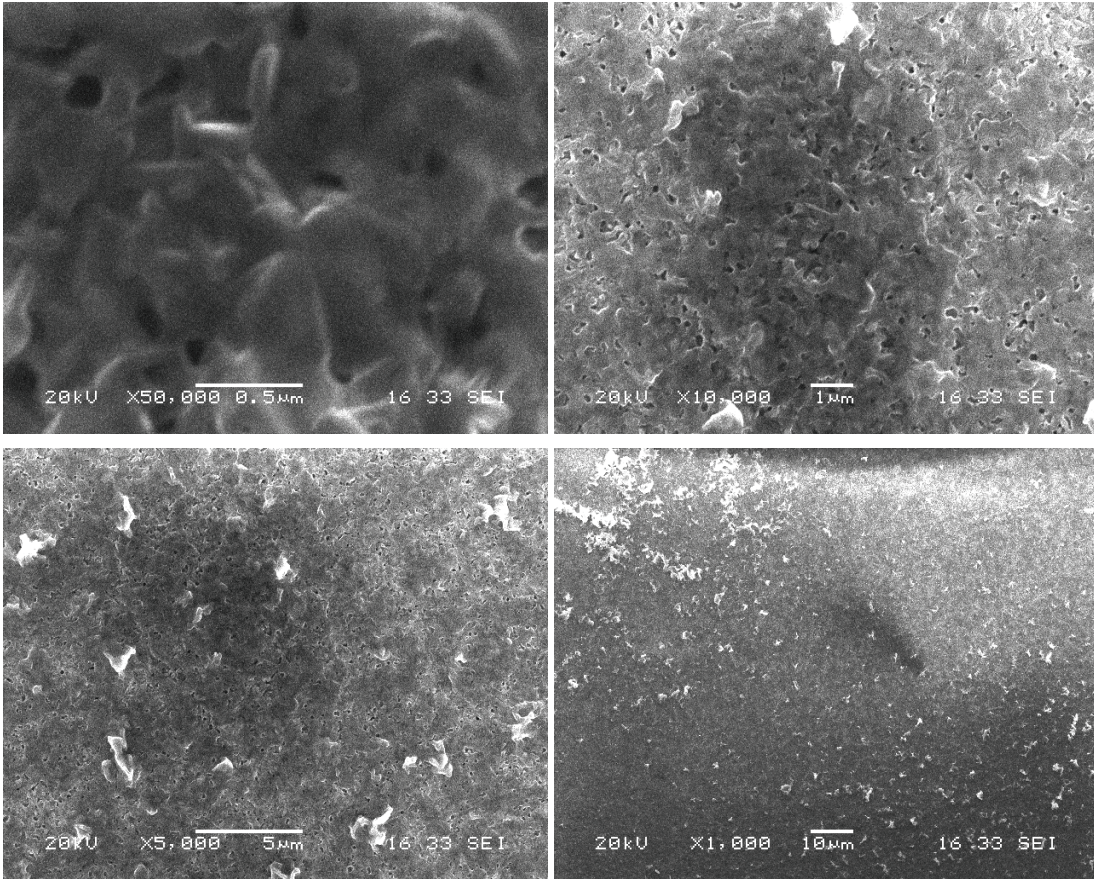
Şekil 5.39. 700 °C'de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



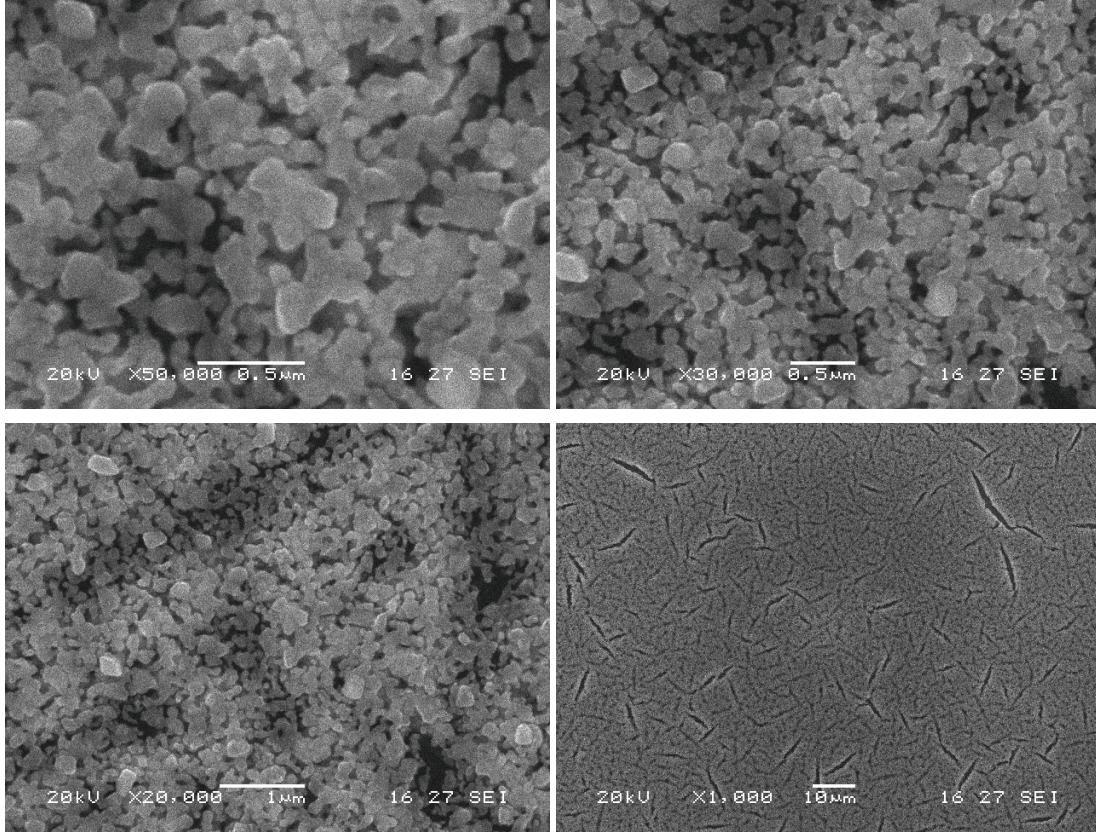
Şekil 5.40. 800 °C'de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri



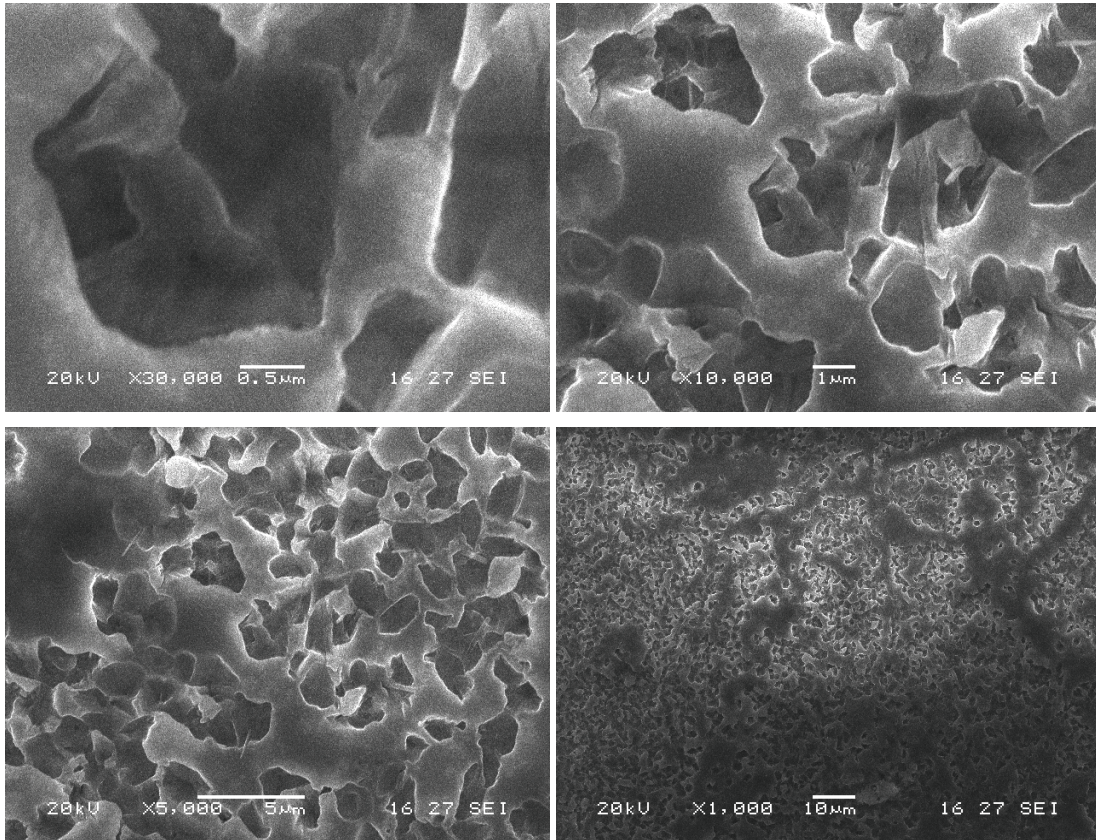
Şekil 5.41. 600 °C'de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



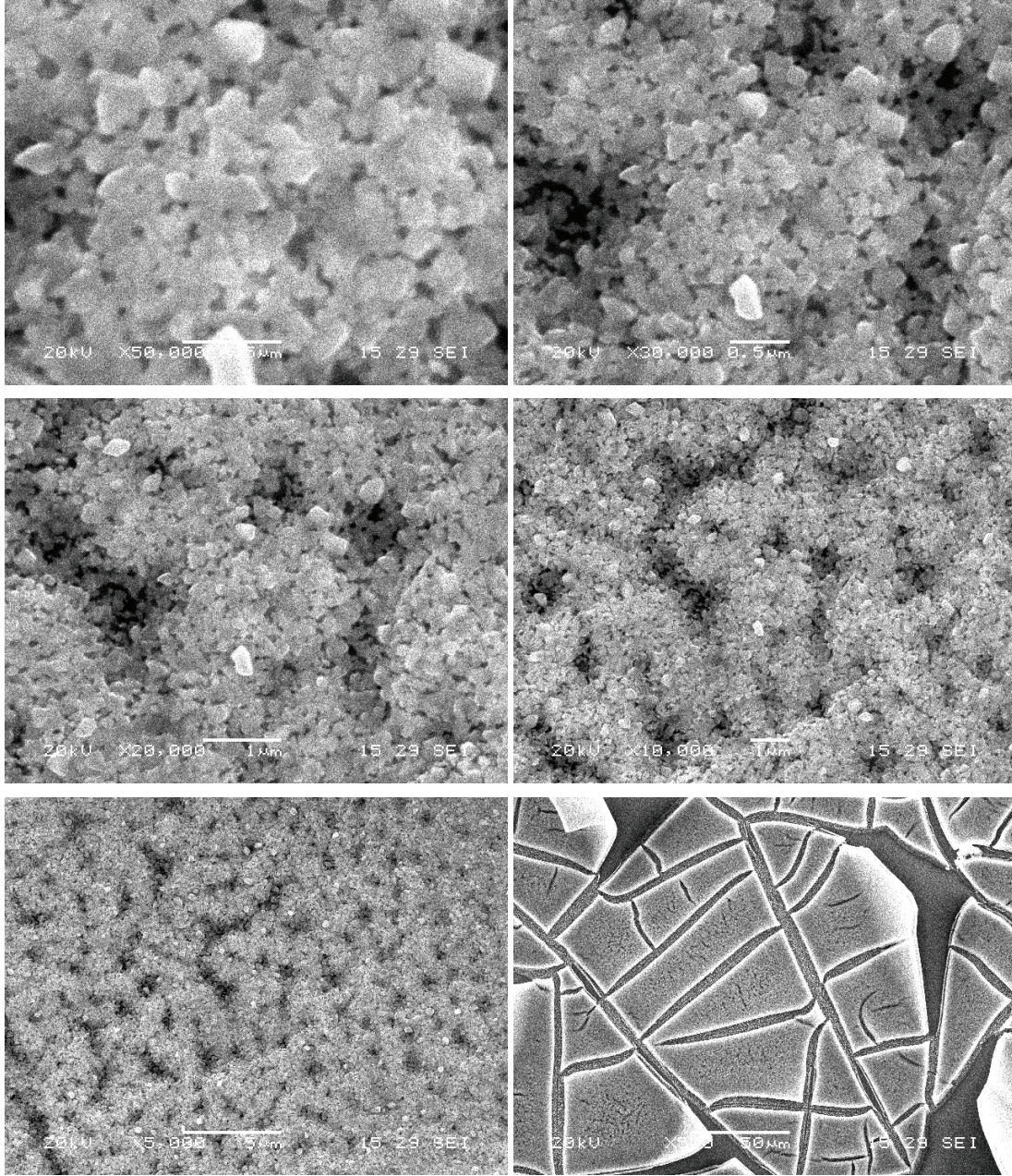
Şekil 5.42. 700 °C'de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



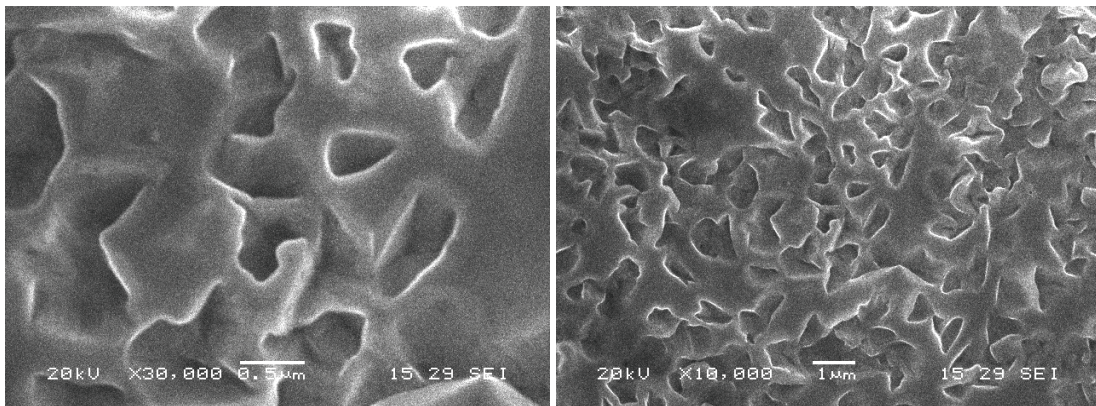
Şekil 5.43. 600 °C'de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



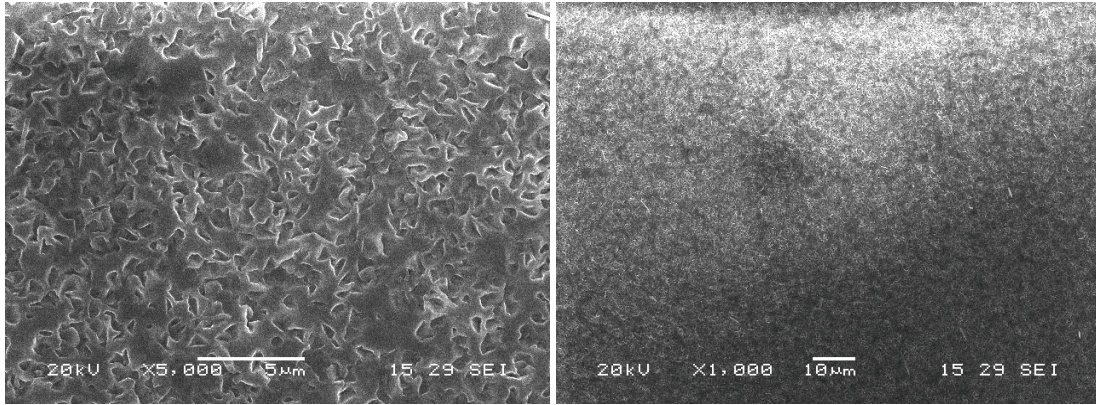
Şekil 5.44. 700 °C'de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



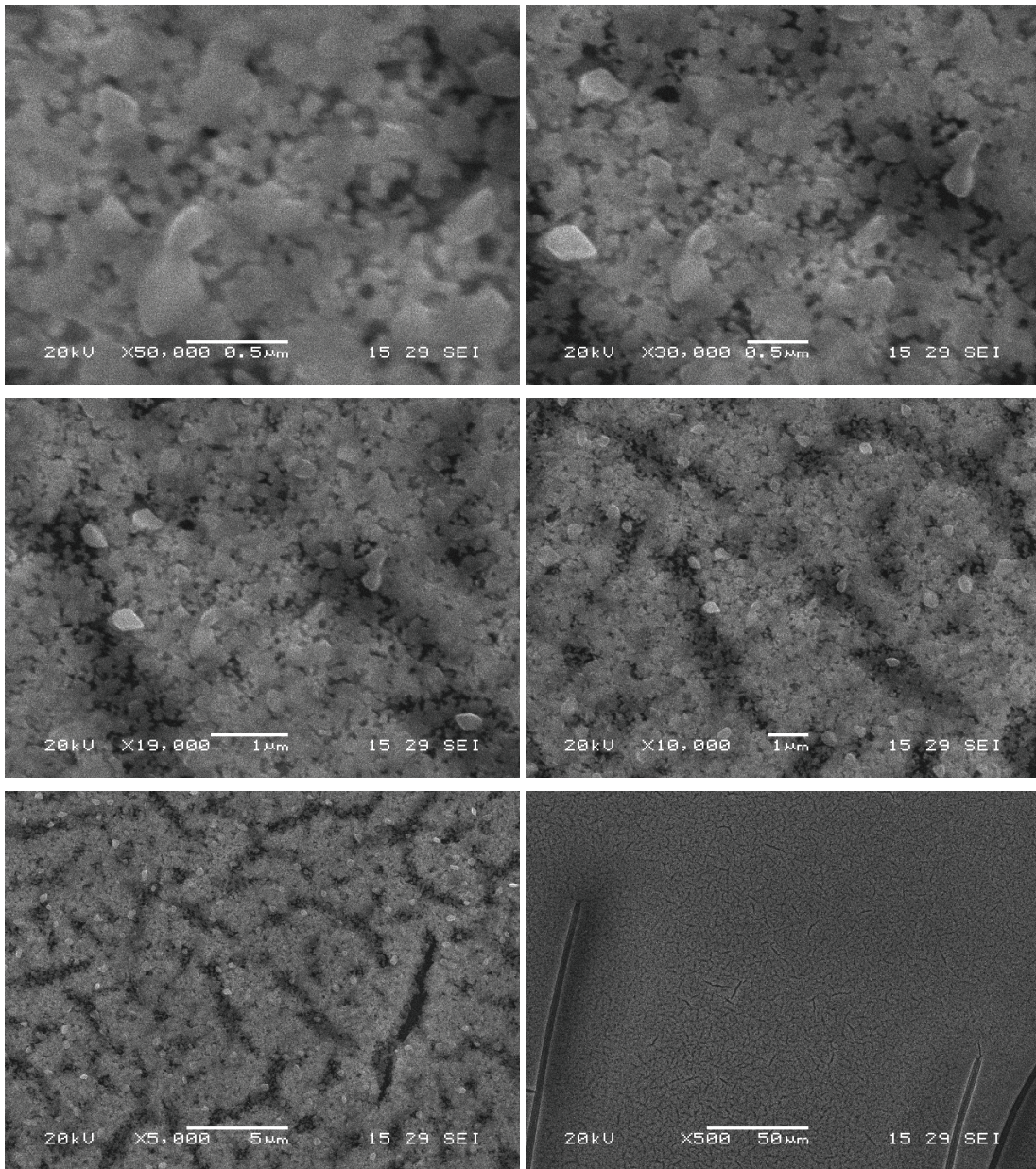
Şekil 5.45. 600 °C'de tavllanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



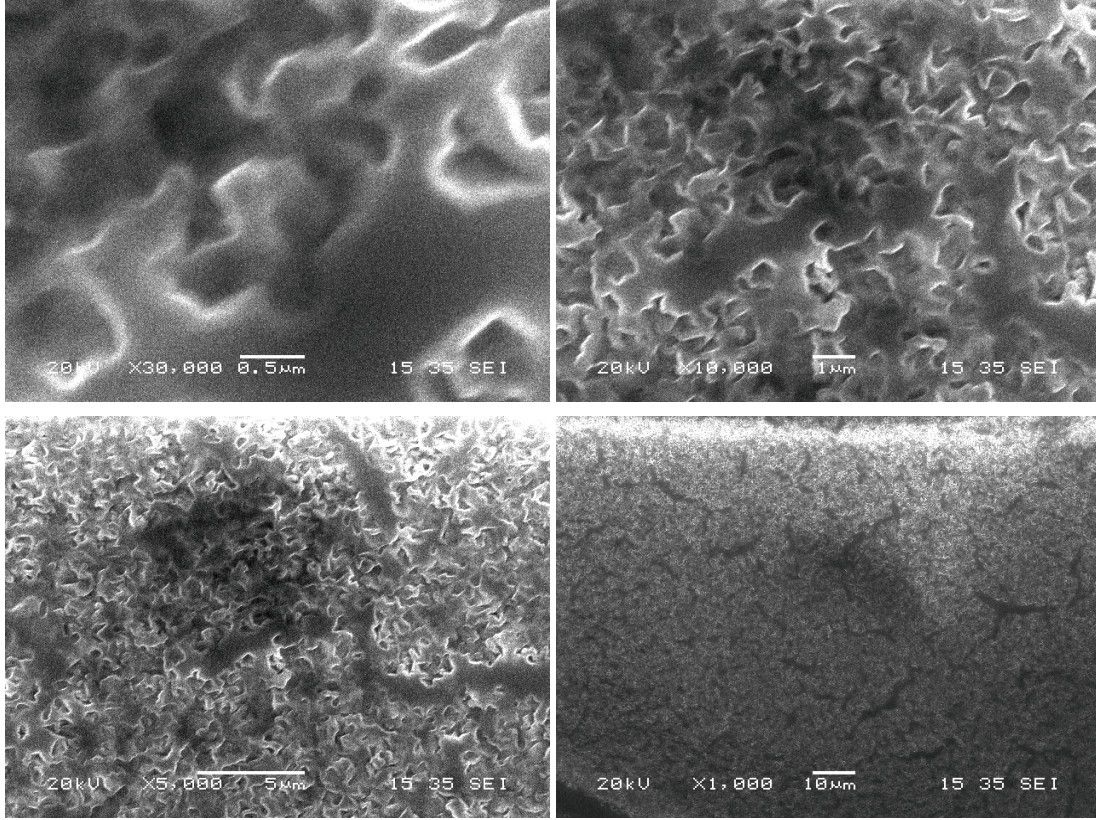
Şekil 5.46. 700 °C'de tavllanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



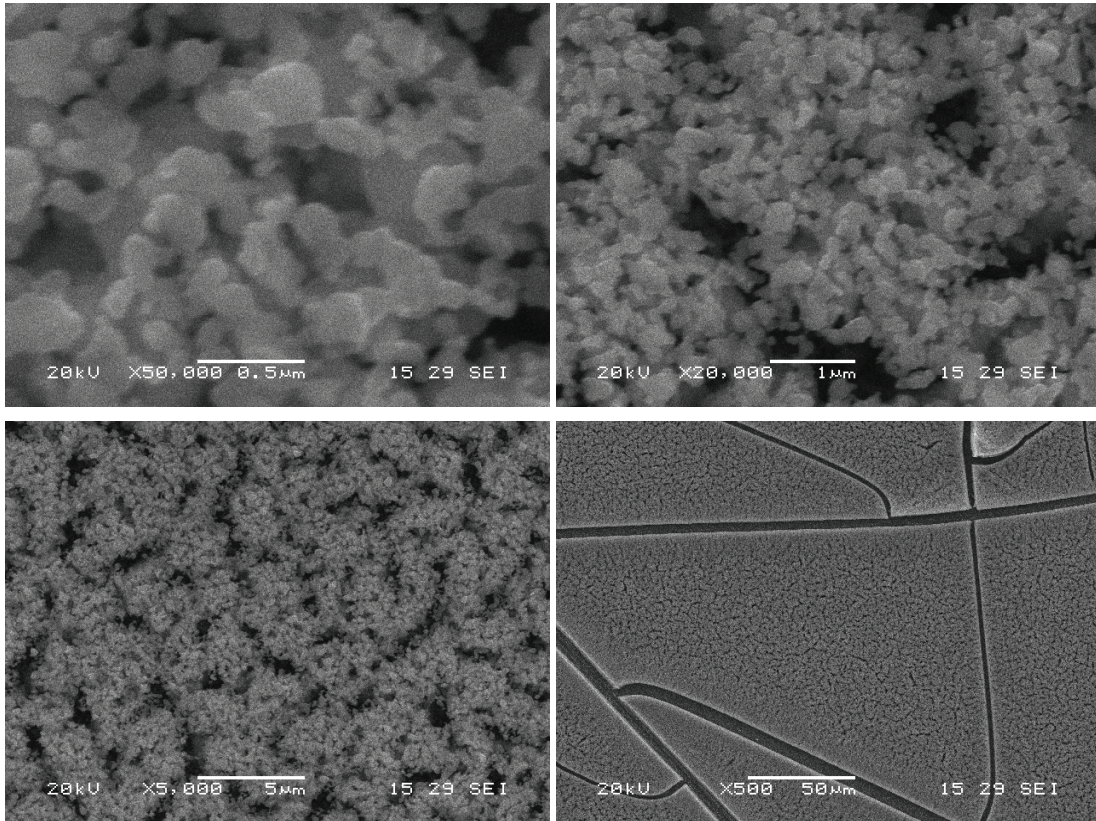
Şekil 5.46. (devam)



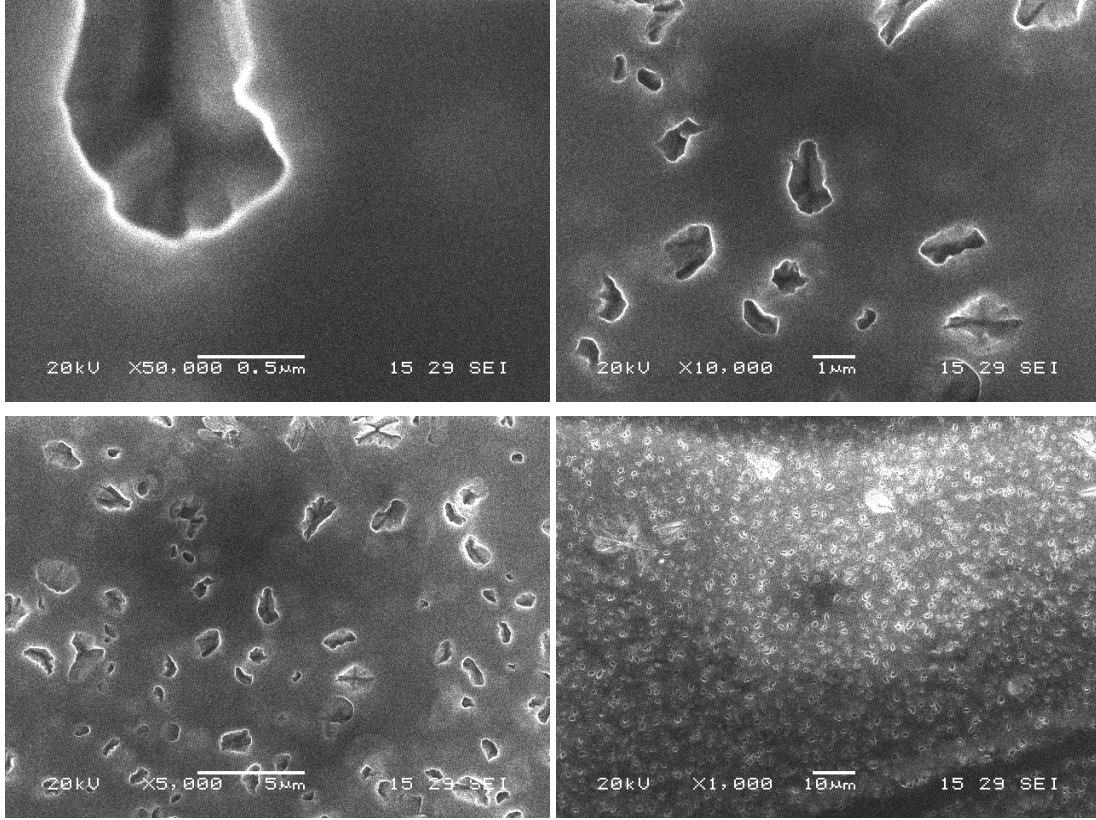
Şekil 5.47. 600 °C'de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



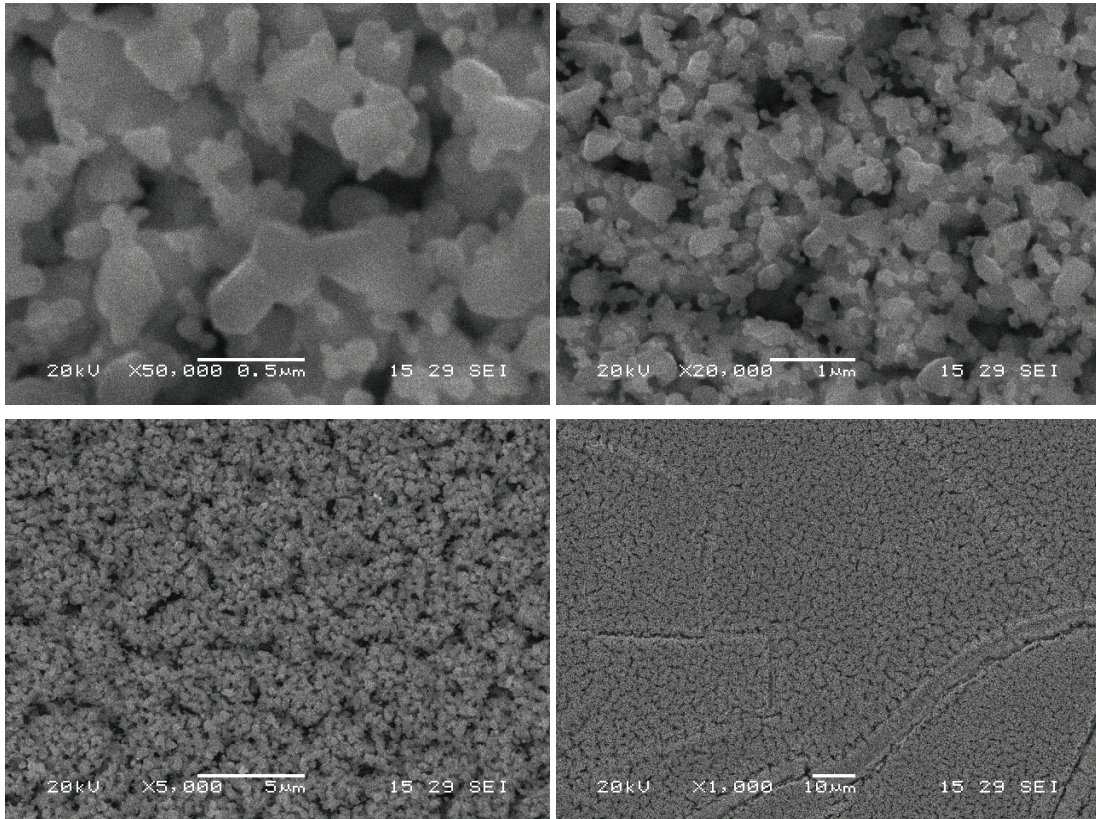
Şekil 5.48. 700 °C’de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



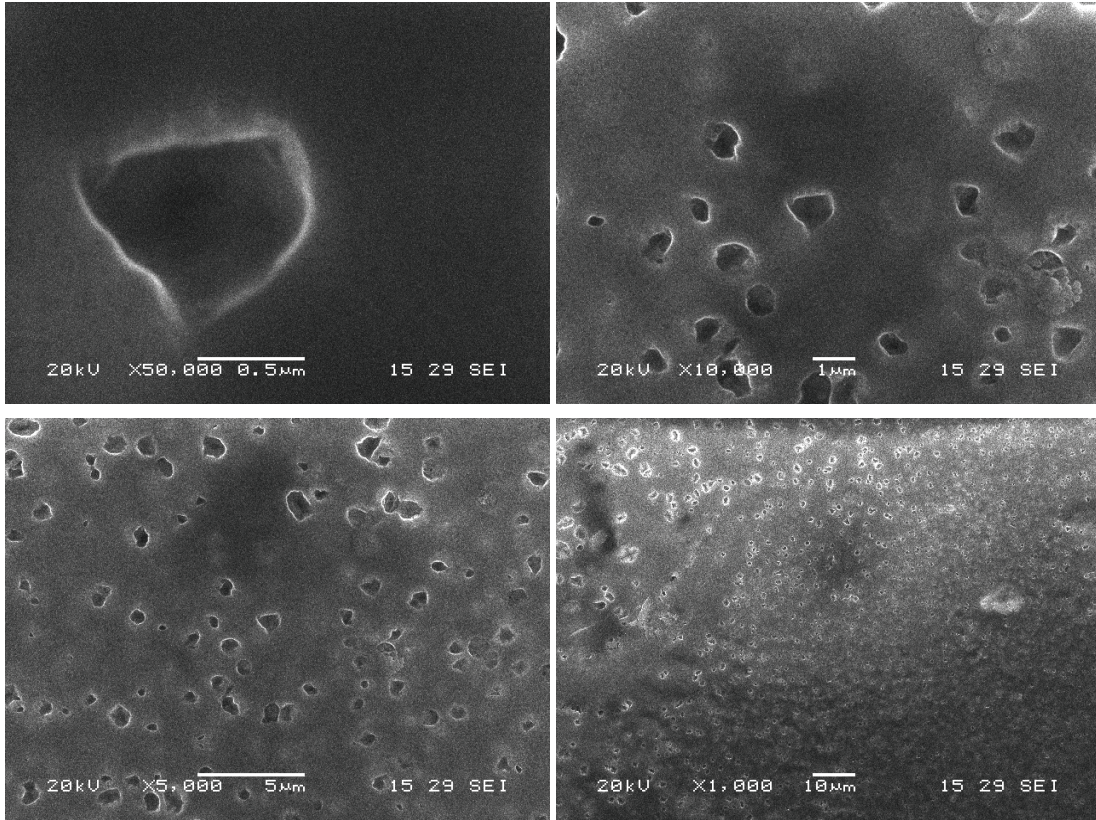
Şekil 5.49. 600°C’de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



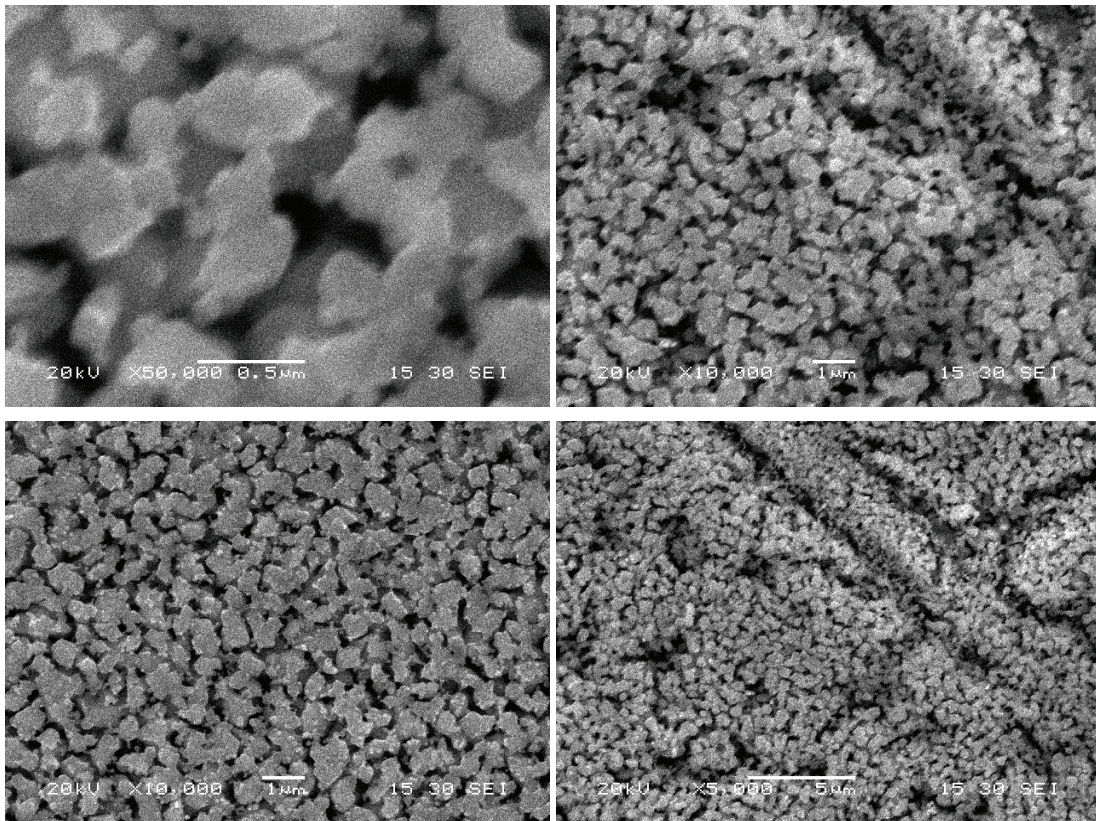
Şekil 5.50. 700°C'de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



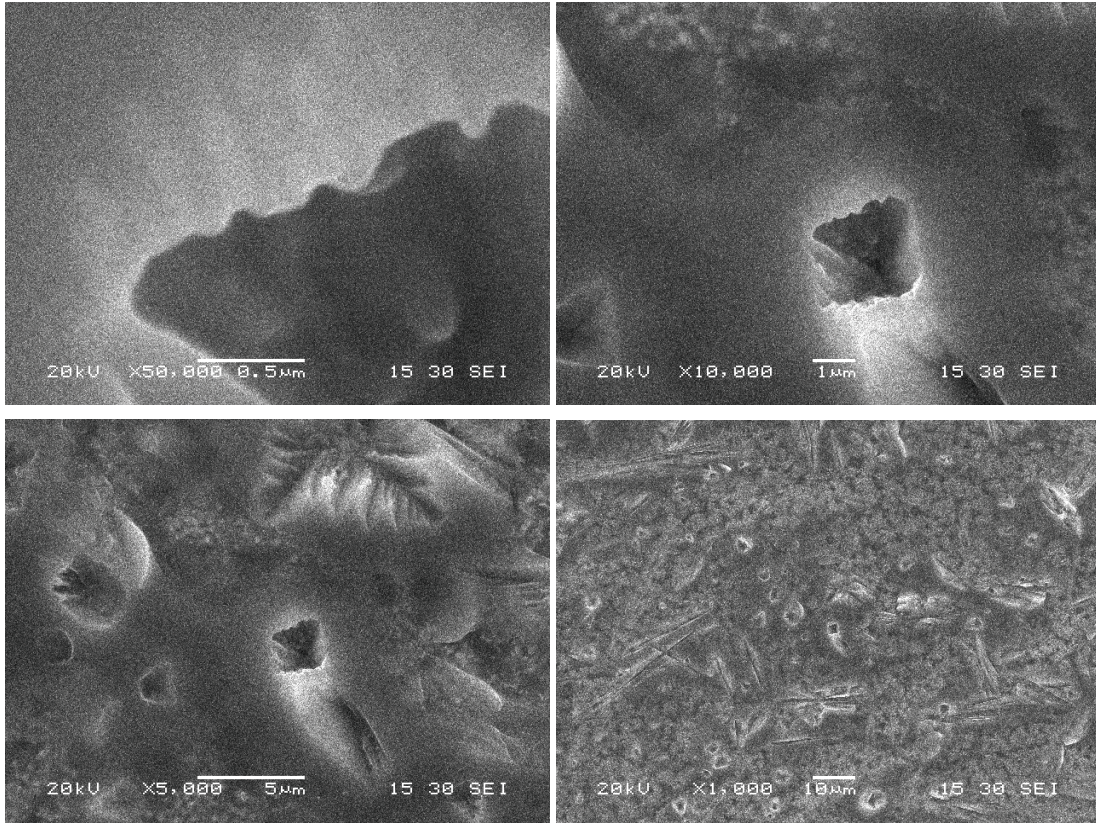
Şekil 5.51. 600°C'de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



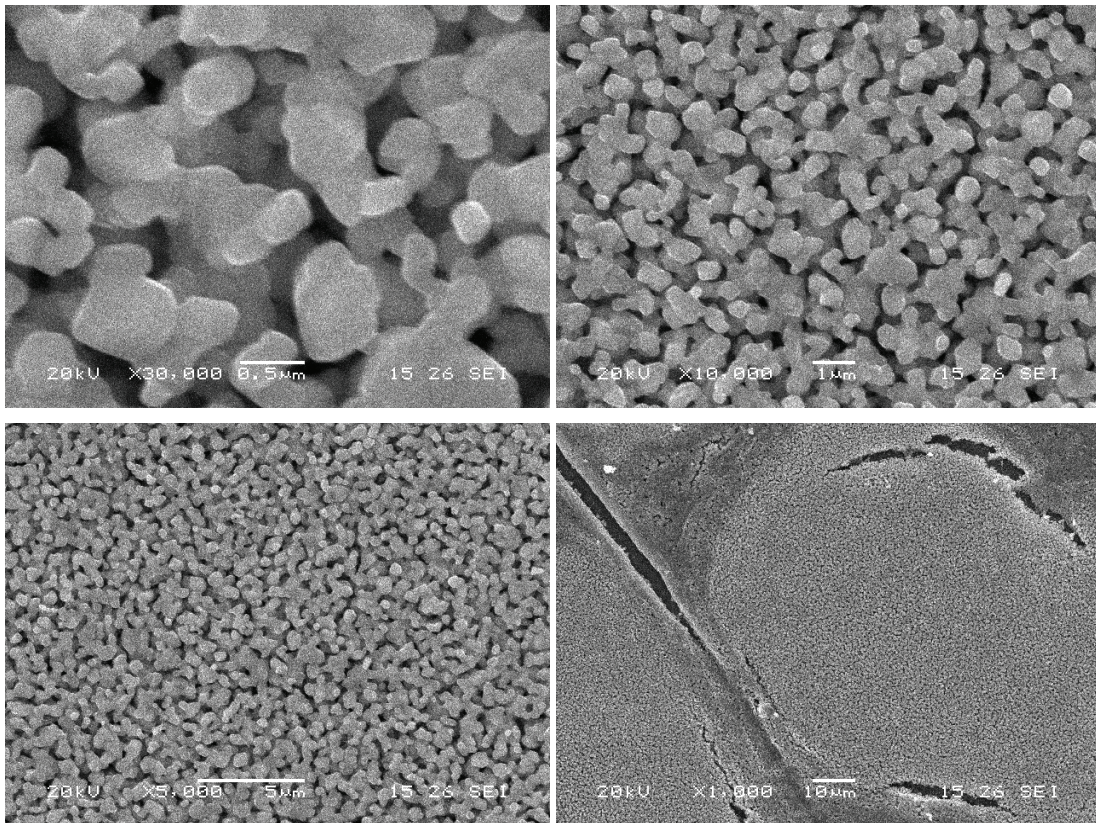
Şekil 5.52. 700°C'de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



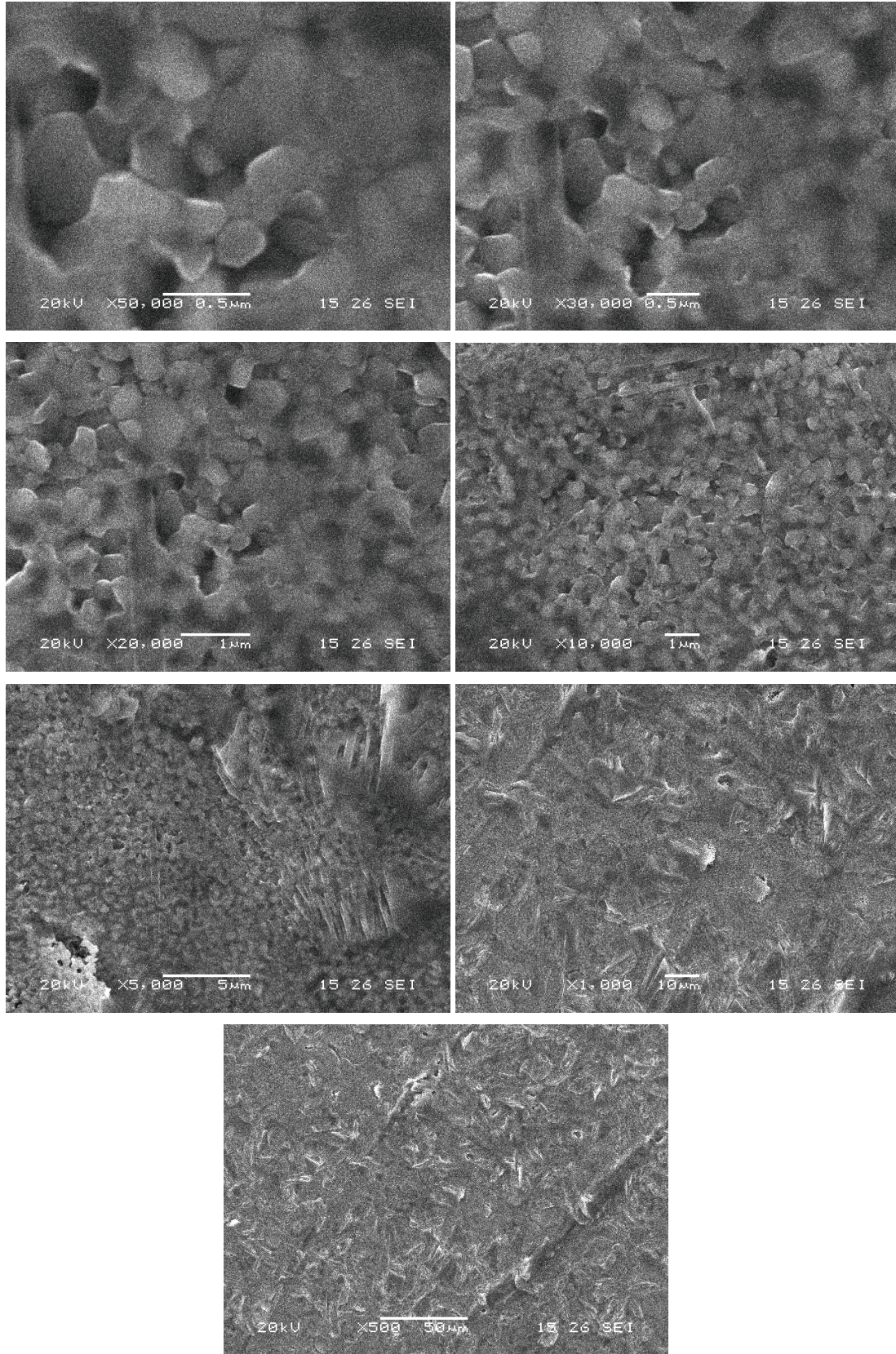
Şekil 5.53. 600°C'de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



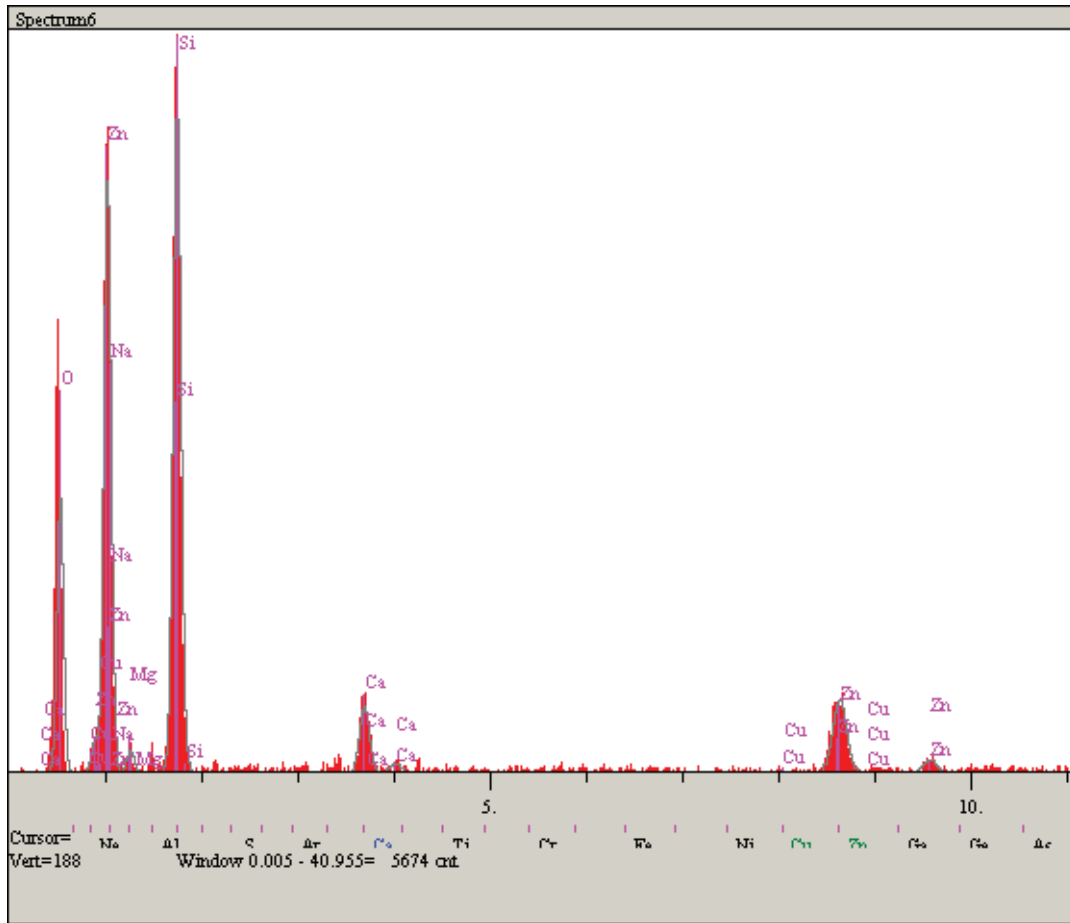
Şekil 5.54. 700°C'de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



Şekil 5.55. 600°C'de tavllanmış katkısız CuO (%100 Cu katkılı) ince filmin SEM mikroresimleri.

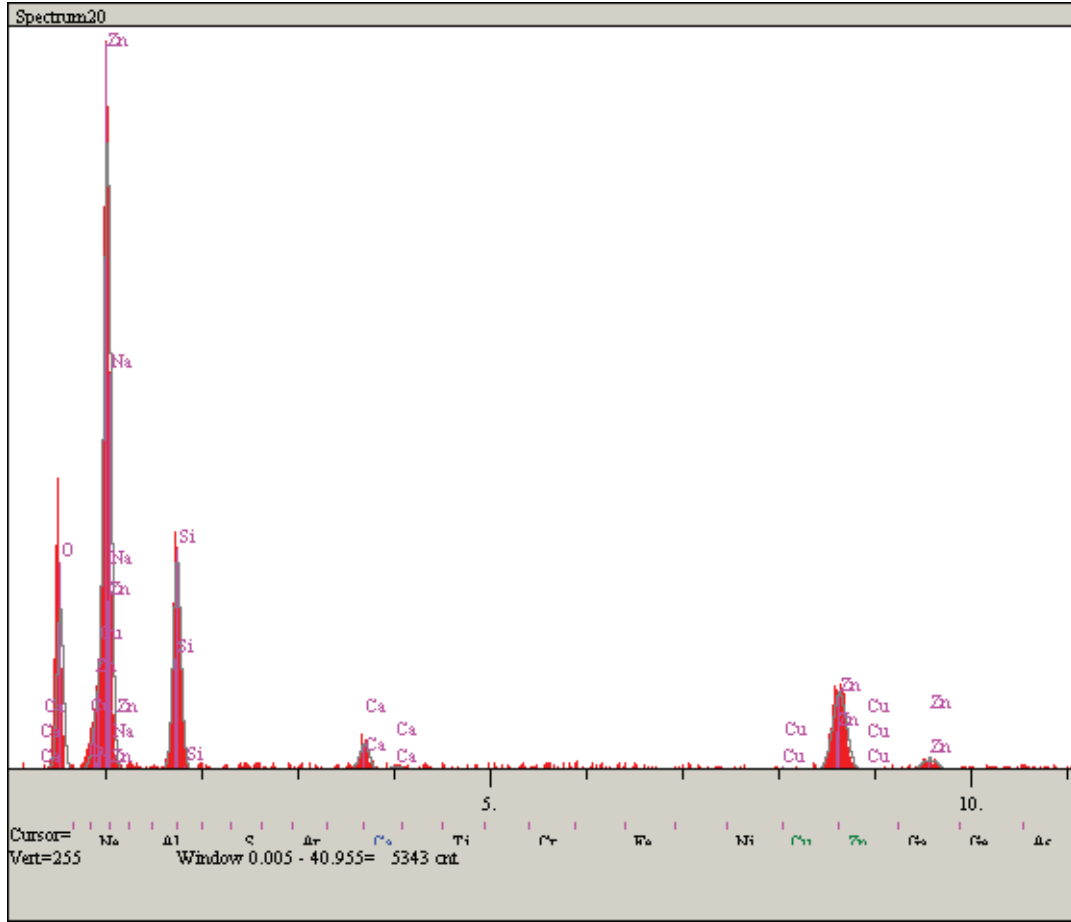


Şekil 5.56. 700°C’de tavllanmış katkısız CuO (%100 Cu katkılı) ince filmin SEM mikroresimleri.



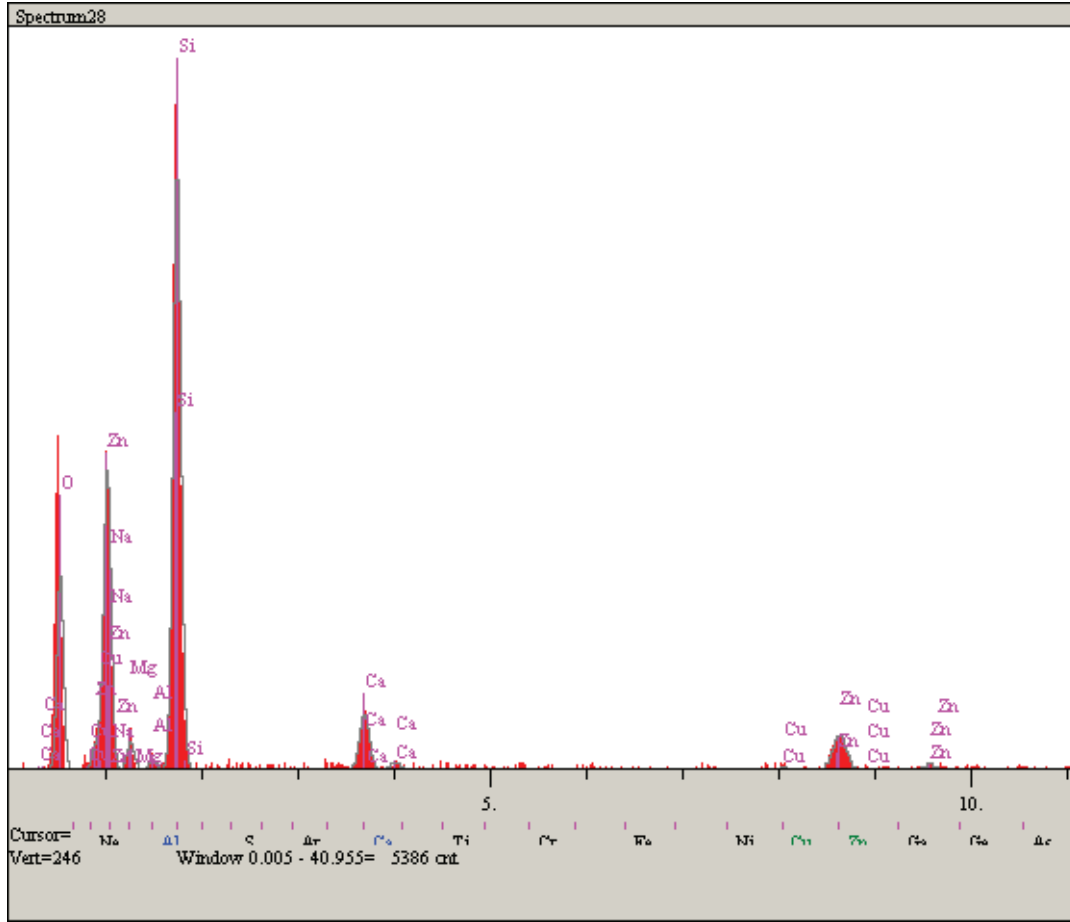
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	59.38	4.872	37.099	wt.%	
Na	Ka	6.89	1.659	2.334	wt.%	
Mg	Ka	5.06	1.422	1.363	wt.%	
Si	Ka	175.47	8.375	32.347	wt.%	
Ca	Ka	21.48	2.930	3.934	wt.%	
Cu	Ka	0.66	0.512	0.357	wt.%	
Zn	Ka	33.40	3.654	22.566	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 5.57. 700°C'de tavllanmış %1Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



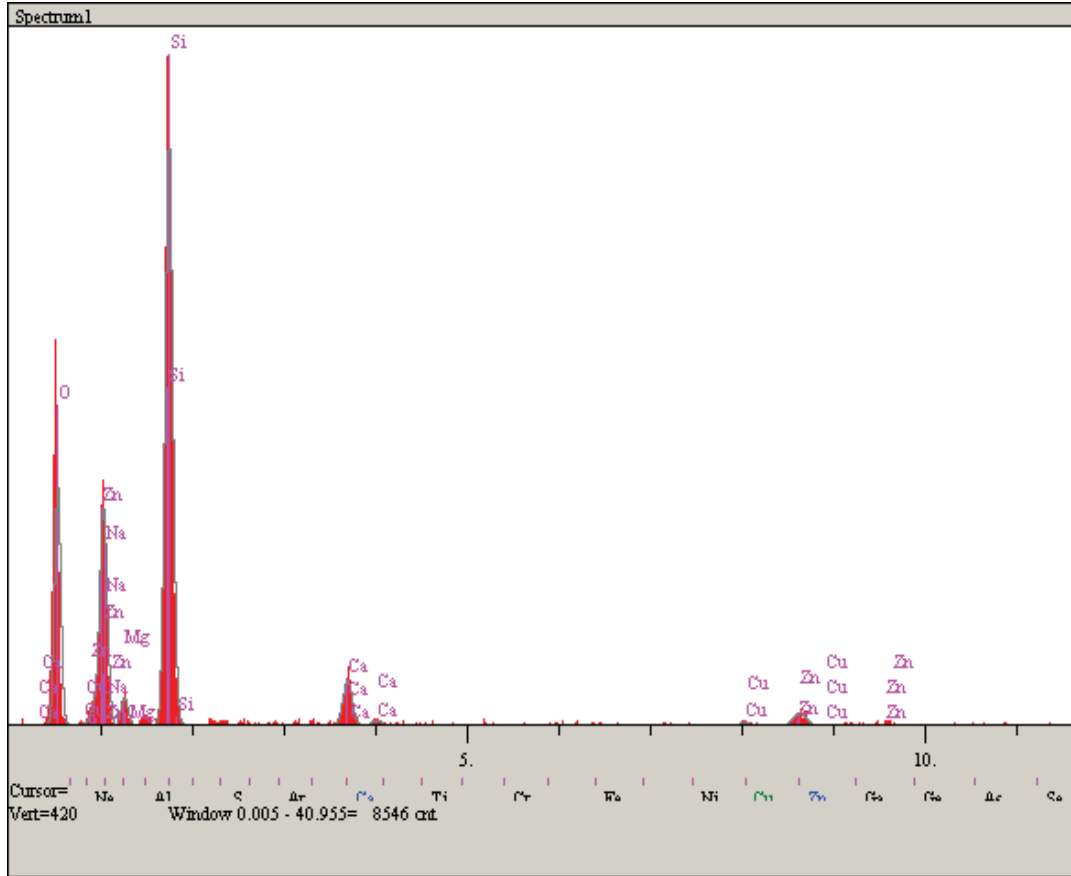
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	47.47	4.358	35.215	wt.%	
Na	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Si	Ka	74.91	5.474	20.994	wt.%	
Ca	Ka	11.10	2.107	2.625	wt.%	
Cu	Ka	0.85	0.584	0.580	wt.%	
Zn	Ka	46.61	4.318	40.585	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 5.58. 600°C'de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



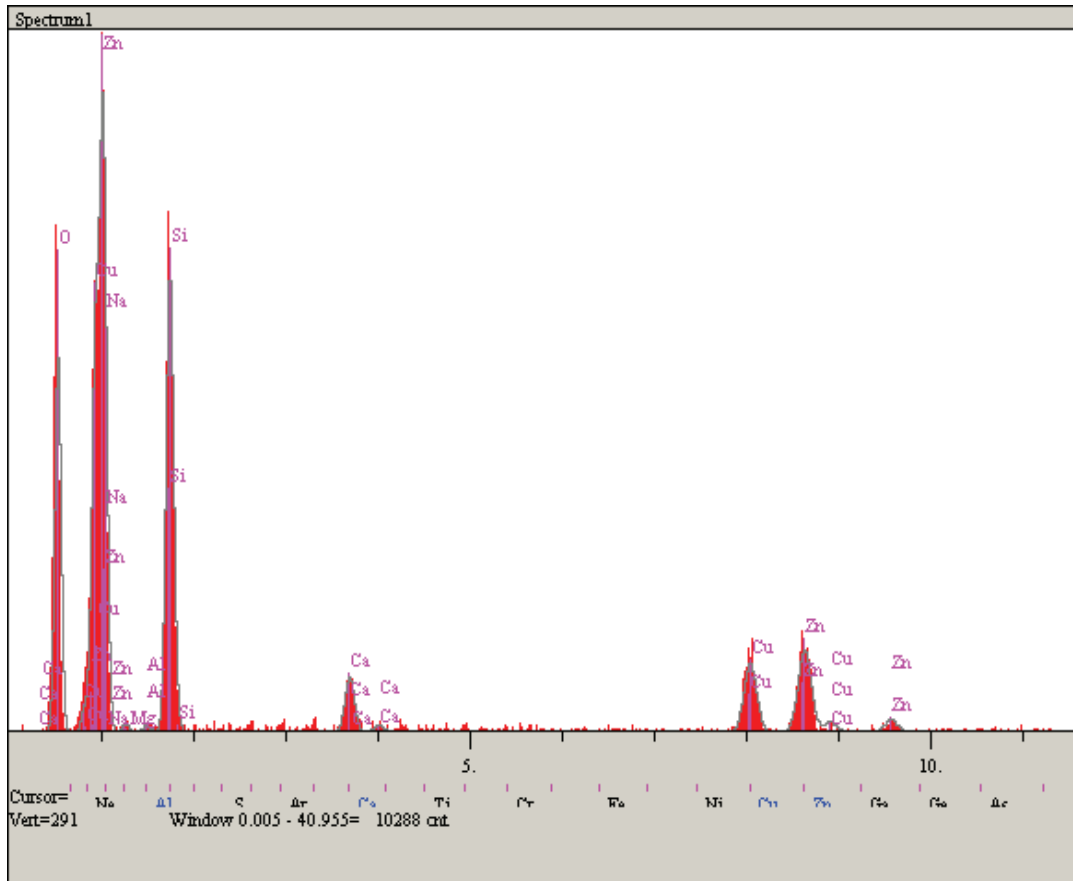
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	55.51	4.711	39.182	wt.%	
Na	Ka	0.30	0.348	0.101	wt.%	
Mg	Ka	8.70	1.865	2.169	wt.%	
Al	Ka	3.26	1.142	0.681	wt.%	
Si	Ka	207.99	9.119	37.862	wt.%	
Ca	Ka	23.64	3.075	4.663	wt.%	
Cu	Ka	1.42	0.755	0.842	wt.%	
Zn	Ka	19.92	2.822	14.500	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 5.59. 600°C'de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



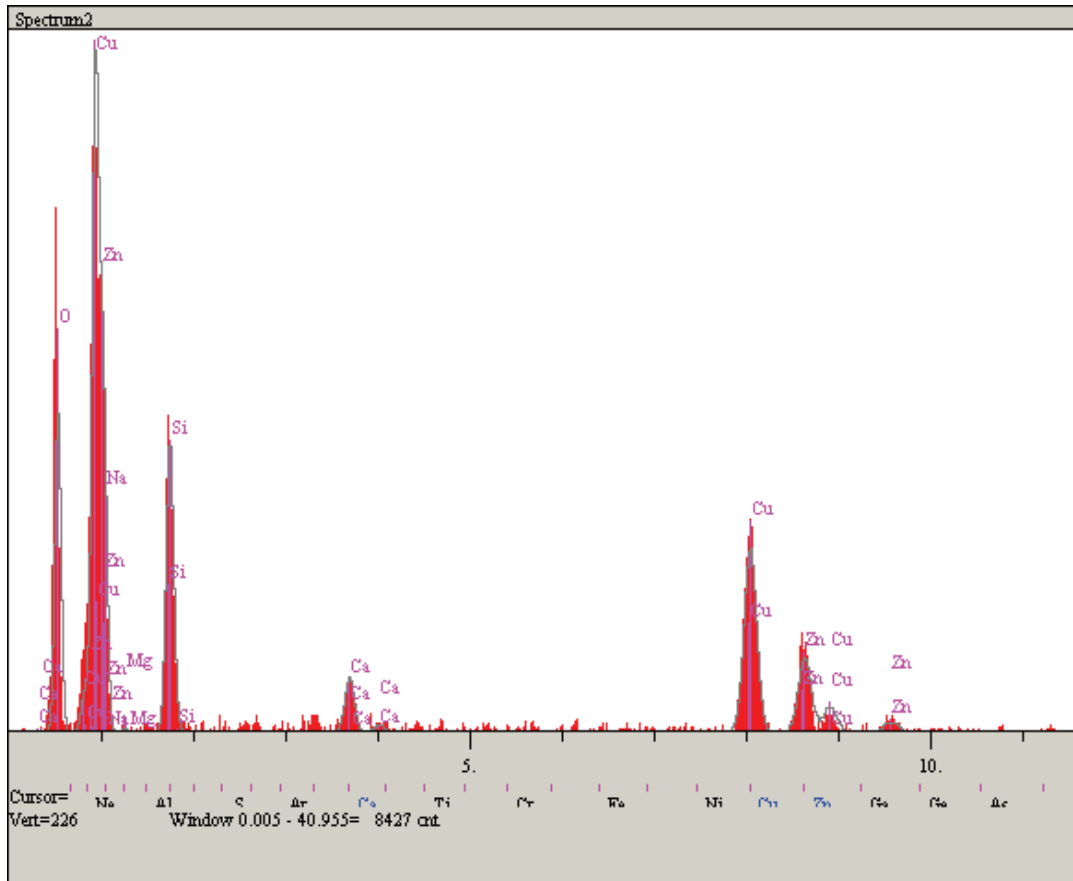
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	122.81	7.008	44.563	wt.%	
Na	Ka	43.96	4.193	7.336	wt.%	
Mg	Ka	16.38	2.559	2.189	wt.%	
Si	Ka	367.71	12.126	35.766	wt.%	
Ca	Ka	34.68	3.724	3.812	wt.%	
Cu	Ka	2.93	1.082	0.985	wt.%	
Zn	Ka	13.01	2.281	5.349	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 5.60. 600°C'de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



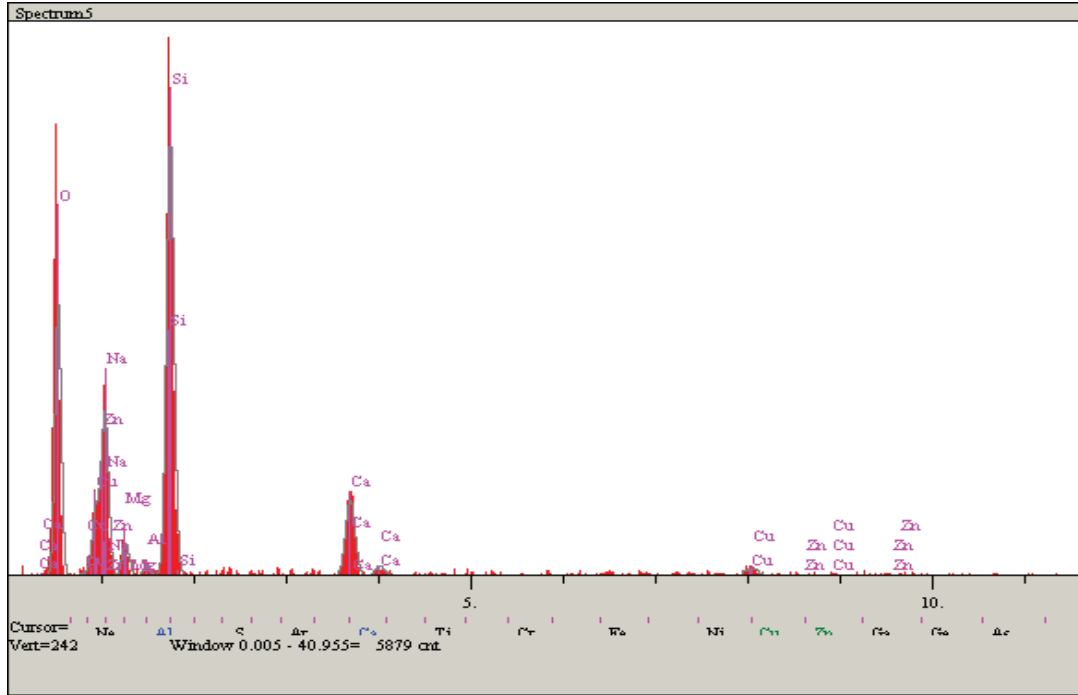
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	133.74	7.312	39.145	wt.%	
Na	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Mg	Ka	3.37	1.160	0.563	wt.%	
Al	Ka	2.59	1.017	0.339	wt.%	
Si	Ka	198.79	8.915	21.645	wt.%	
Ca	Ka	29.05	3.408	2.795	wt.%	
Cu	Ka	48.27	4.393	13.988	wt.%	
Zn	Ka	60.22	4.907	21.524	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 5.61. 600°C'de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



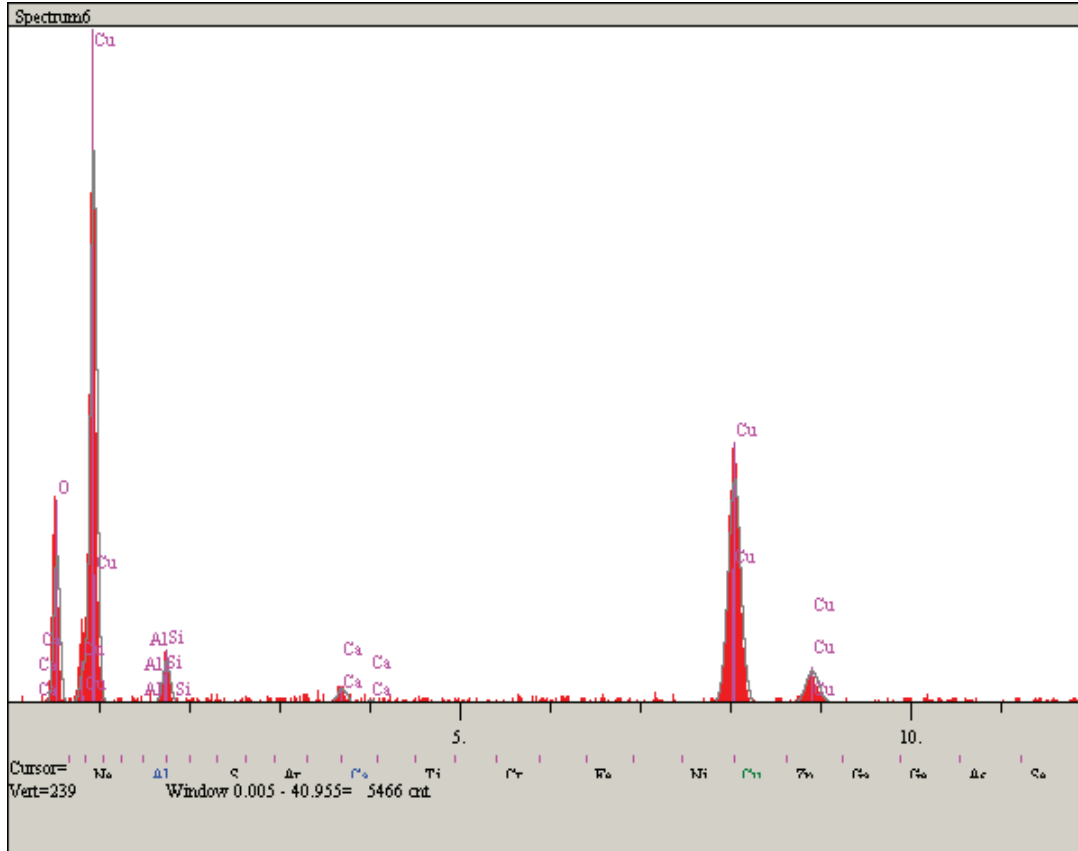
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	87.93	5.930	30.178	wt.%	
Na	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Mg	Ka	1.28	0.716	0.299	wt.%	
Si	Ka	98.27	6.269	14.269	wt.%	
Ca	Ka	22.42	2.994	2.553	wt.%	
Cu	Ka	101.65	6.376	34.960	wt.%	
Zn	Ka	42.18	4.107	17.742	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 5.62. 600°C'de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



El.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	101.94	6.383	50.433	wt.%	
Na	Ka	41.16	4.056	9.620	wt.%	
Mg	Ka	13.90	2.357	2.602	wt.%	
Al	Ka	4.21	1.297	0.668	wt.%	
Si	Ka	198.75	8.913	27.032	wt.%	
Ca	Ka	43.09	4.150	6.395	wt.%	
Cu	Ka	5.74	1.515	2.674	wt.%	
Zn	Ka	1.02	0.638	0.577	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 5.63. 700°C'de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	44.91	4.238	21.875	wt.%	
Al	Ka	0.36	0.379	0.115	wt.%	
Si	Ka	15.36	2.478	3.888	wt.%	
Ca	Ka	6.34	1.592	1.099	wt.%	
Cu	Ka	137.09	7.404	73.023	wt.%	
Zn	Ka	0	0	0	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

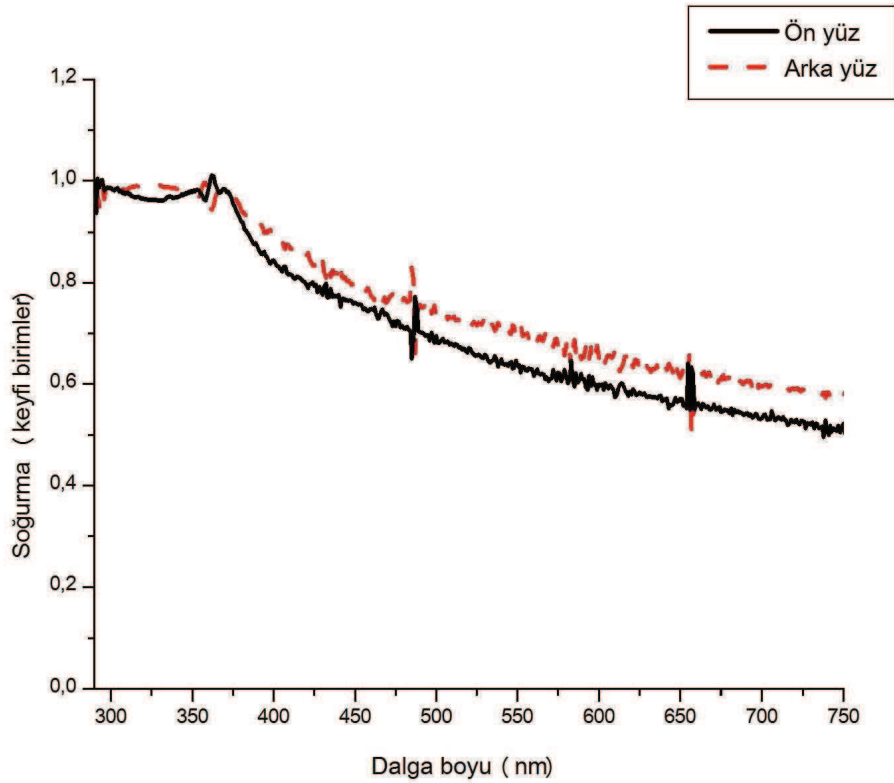
Şekil 5.64. 600°C'de tavllanmış katkısız CuO (%100 Cu katkılı) ince filmin elementel analiz spektrumu.

Genel olarak SEM mikro resimleri incelendiğinde, katkısız filmlerde 50 nm'ye varan tane boyutlu yapıların elde edildiği ve Cu katkılamanın bu tane boyutlarını küresele yakın bir yapıdan düzensiz çakıl taşı yada çubuklu yapıya doğru taşıdıkları (bkz. Şekil 5.40), bazı sıcaklıklarda homojen bal peteği biçimli yapılar açığa çıkabildiği gözlenmiştir (bkz. Şekil 5.35). Düşük sıcaklıklardan yüksek sıcaklıklara doğru gidildiğinde çubuk biçimli ZnO nanoyapıların katkılama arttıkça homojen taneli yapıya doğru kaydıkları, her iki yapının beraberce bir arada bulunabildikleri, bazı durumlarda CuO tanelerinin üzerinde ZnO öbeklerinin varolabildiği özel durumların

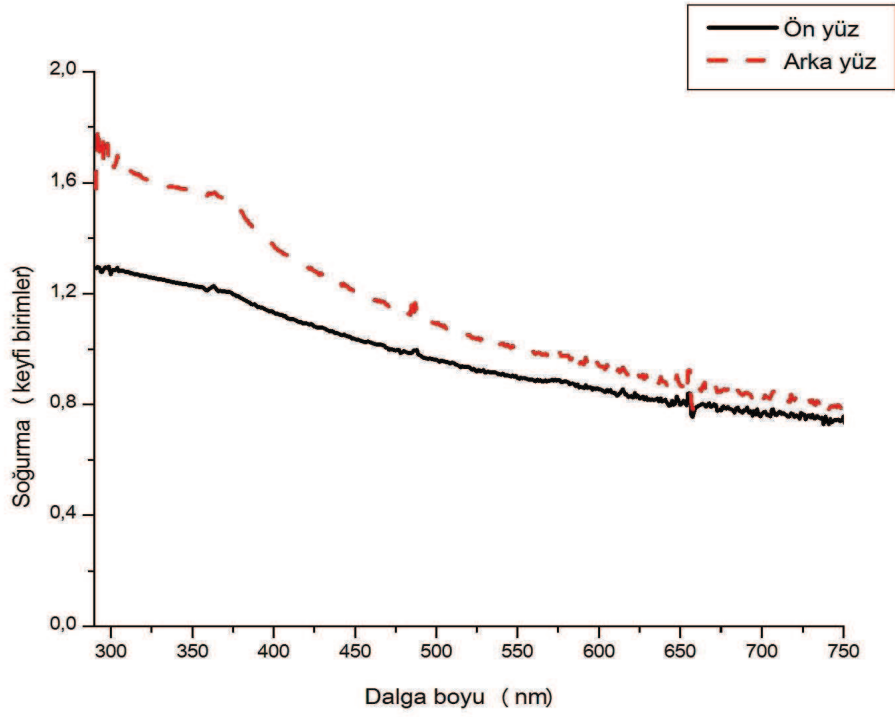
da açığa çıkabildiği (bkz. Şekil 5.42) görülmüştür. Katkılama %0'dan başlatılıp %100'lere kadar çıkarılmış ve EDS analizlerinden hareketle de katkılamanın bu oranlarda yaptıkları doğrulanmıştır (bkz. Şekil 5.57-64). Spektrumların oldukça fazla sayıda olması sebebiyle numunelere ait SEM mikro resimleri ve EDS spektrumlarının kalanları EK2'de verilmişlerdir.

5.4. Soğurma Spektrumları

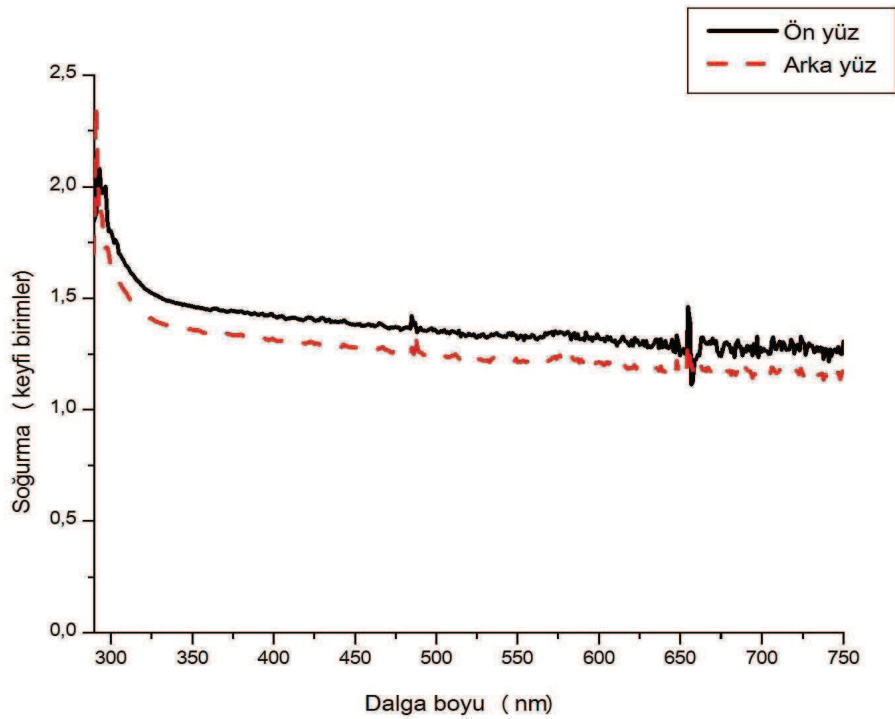
Cu katkılı ZnO ince filmlerin 600-850 derece aralığında tavllanmış numunelerinin soğurma spektrumları numunelerin ön ve arka yüzlerinden beyaz ışık gönderilip, diğer yüzünden spektrum analizi yapılarak elde edilmişlerdir. Bu numunelere ait soğurma spektrumlarının bazıları bu alt başlıkta verilmişler (bkz Şekil 5.65-85) ve diğer spektrumlar (spektrumların fazla olması sebebiyle) EK3'e ilave edilmişlerdir.



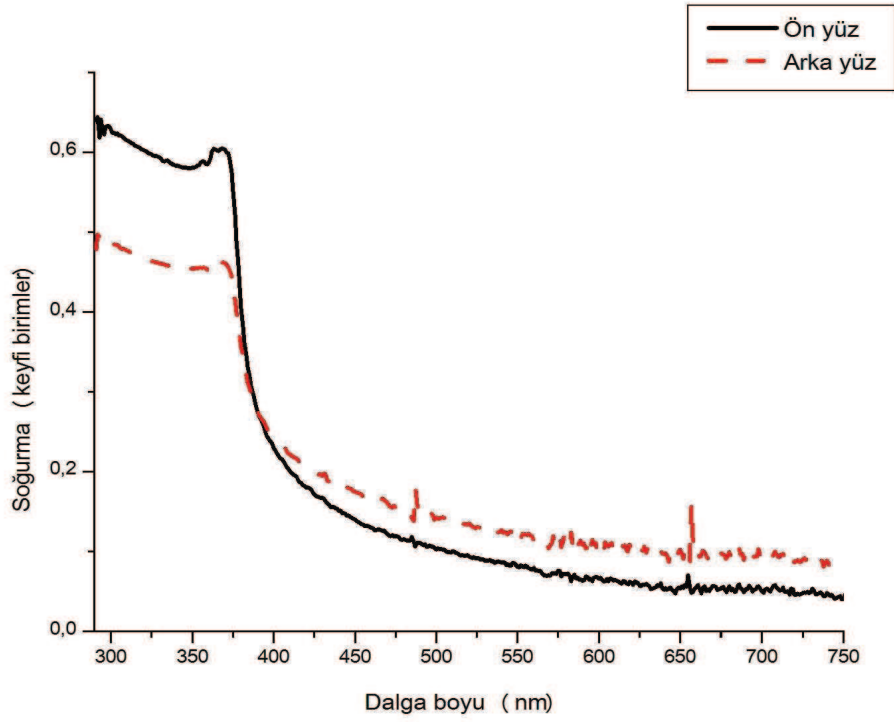
Şekil 5.65. 600°C'de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



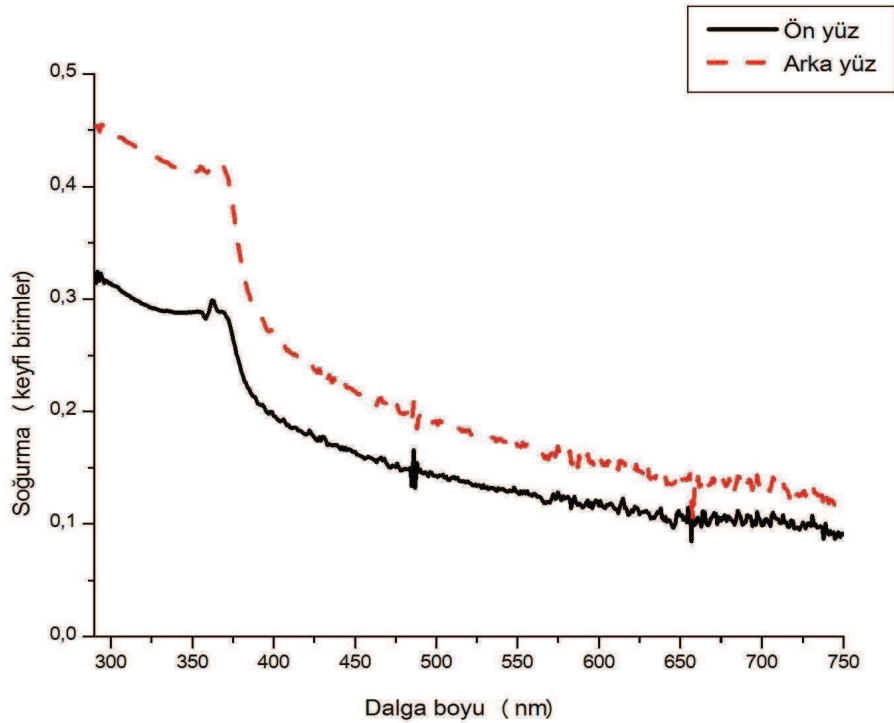
Şekil 5.66. 700°C'de tavlanmış katkısız ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



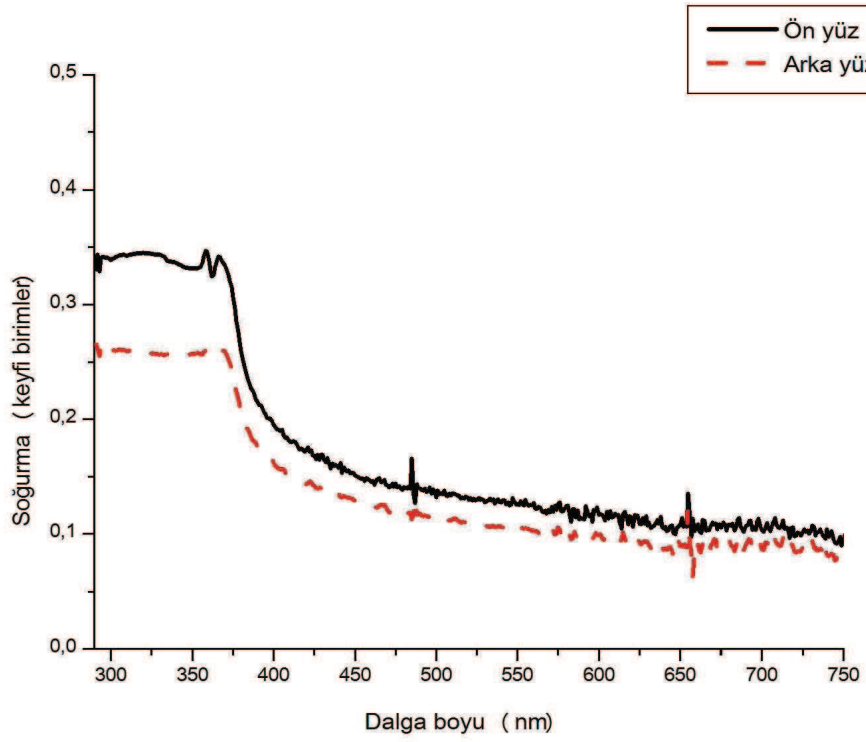
Şekil 5.67. 800°C'de tavlanmış katkısız ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



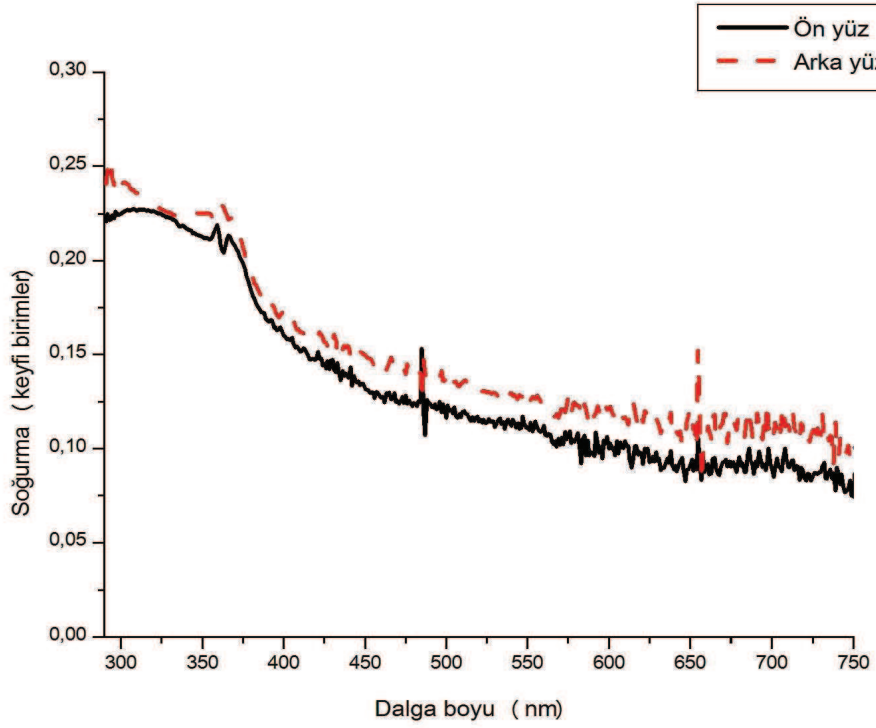
Şekil 5.68. 600°C'de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



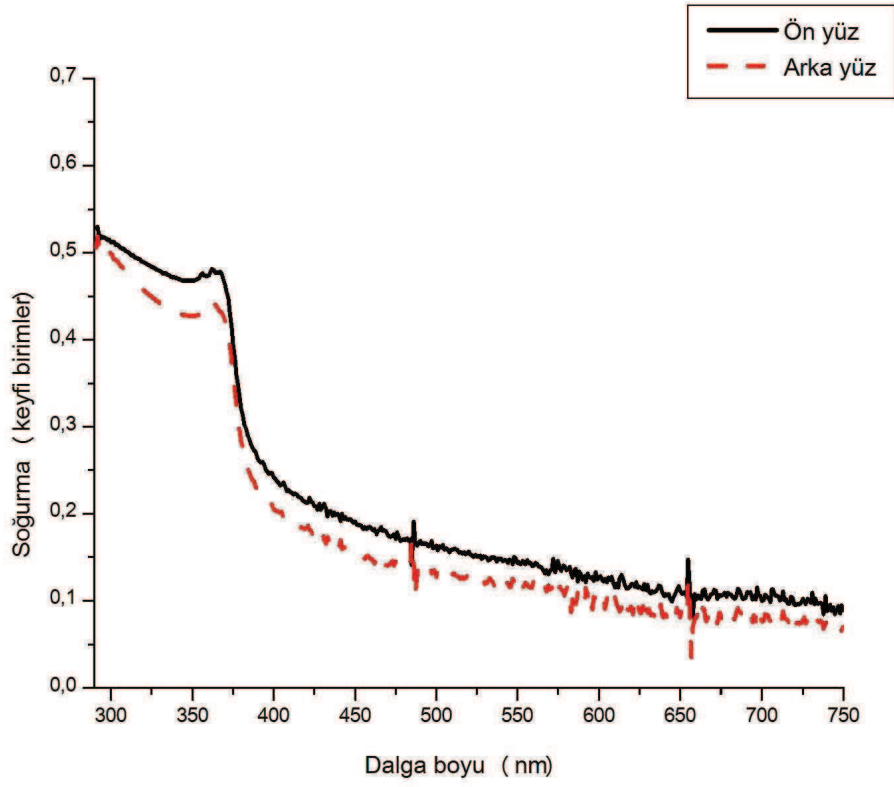
Şekil 5.69. 600°C'de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



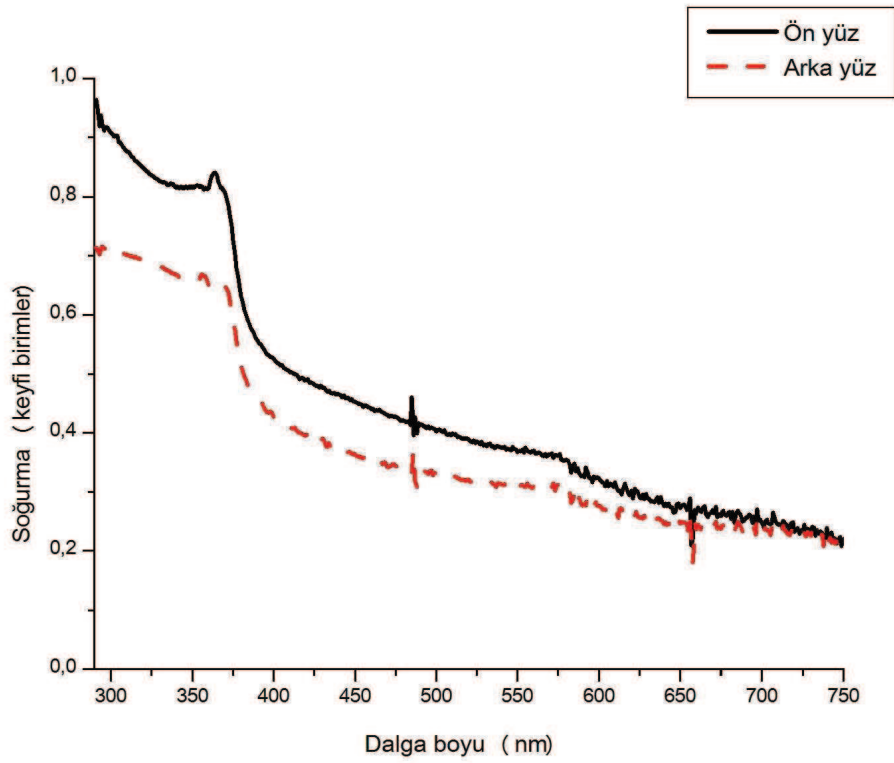
Şekil 5.70. 600°C'de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



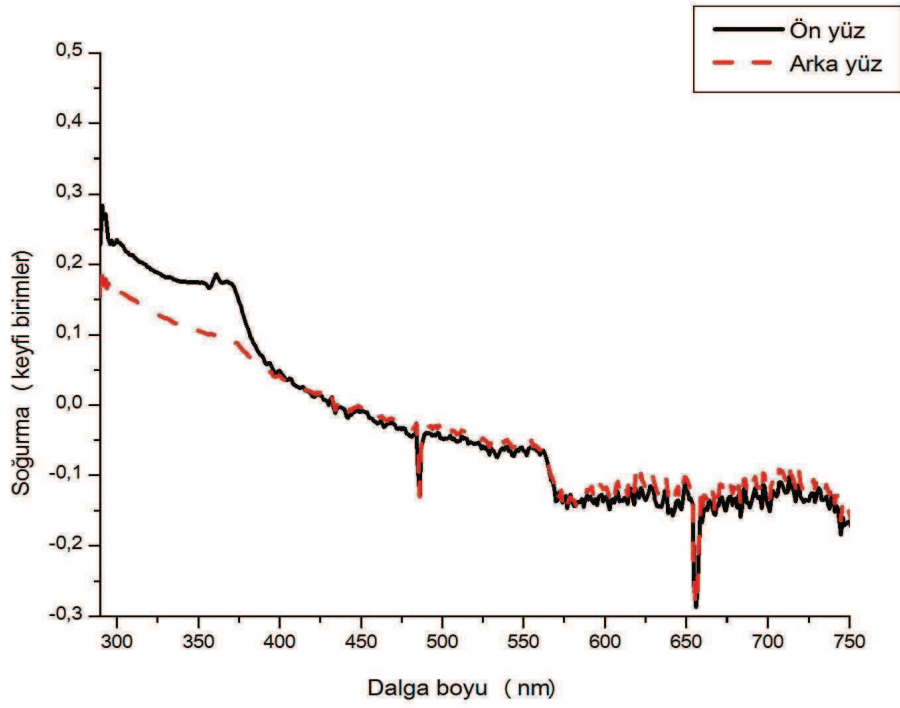
Şekil 5.71. 600°C'de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



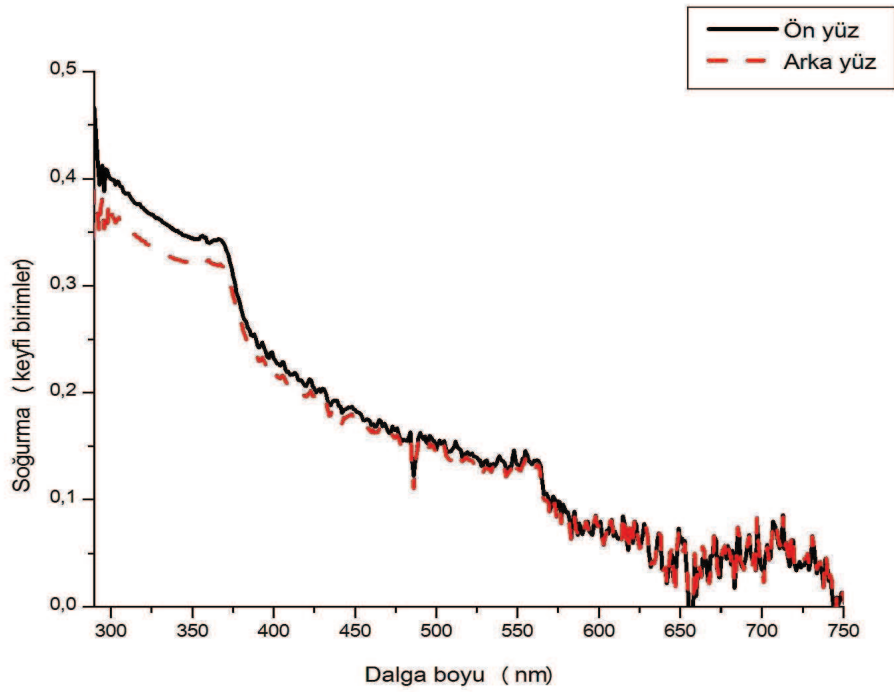
Şekil 5.72. 600°C'de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



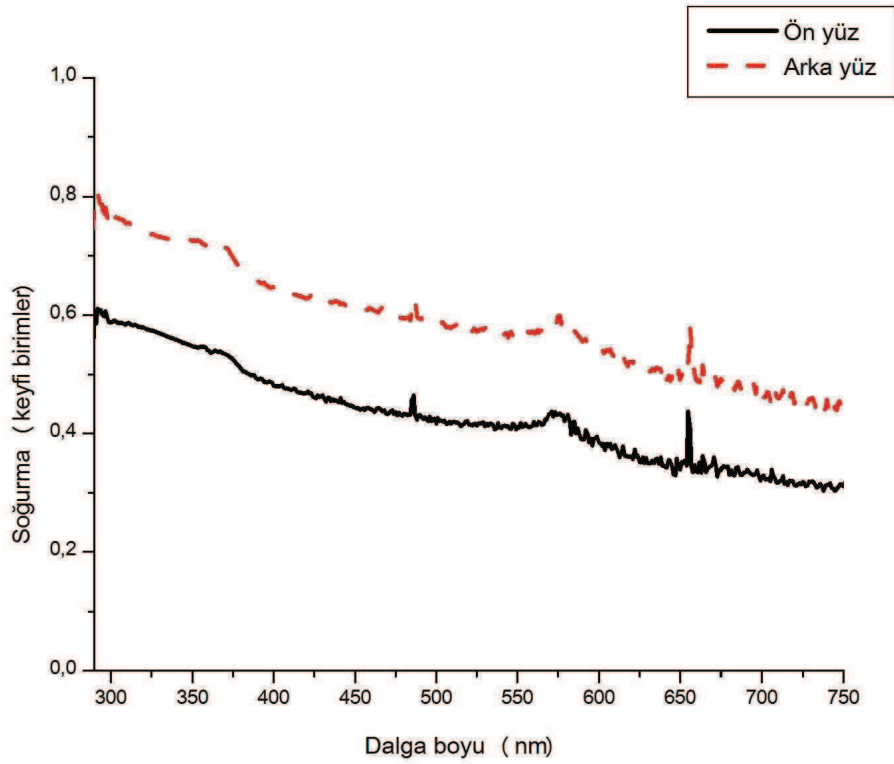
Şekil 5.73. 600°C'de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



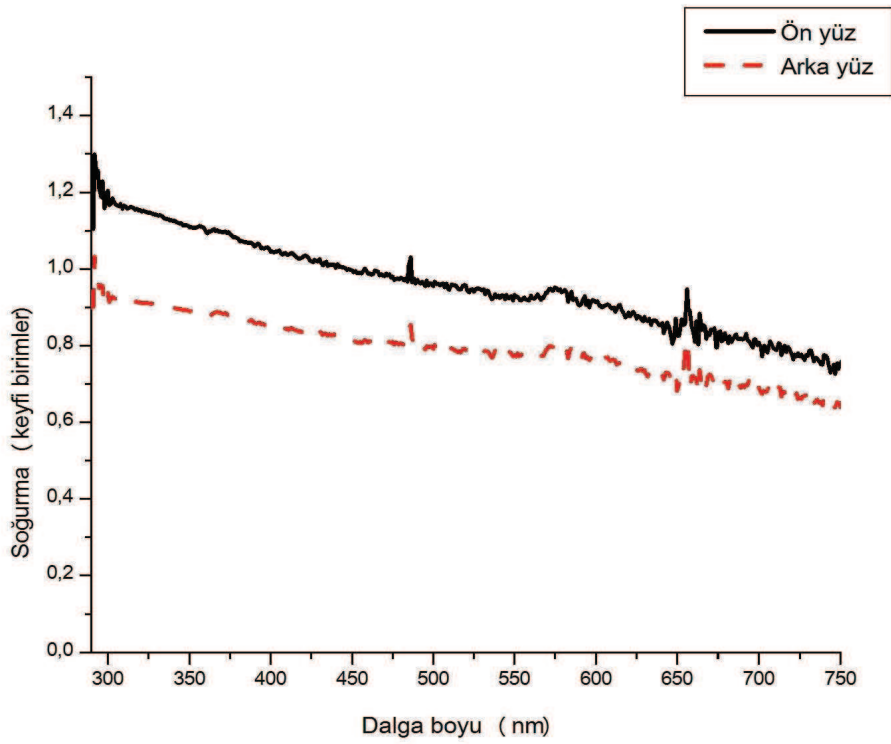
Şekil 5.74. 600°C'de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



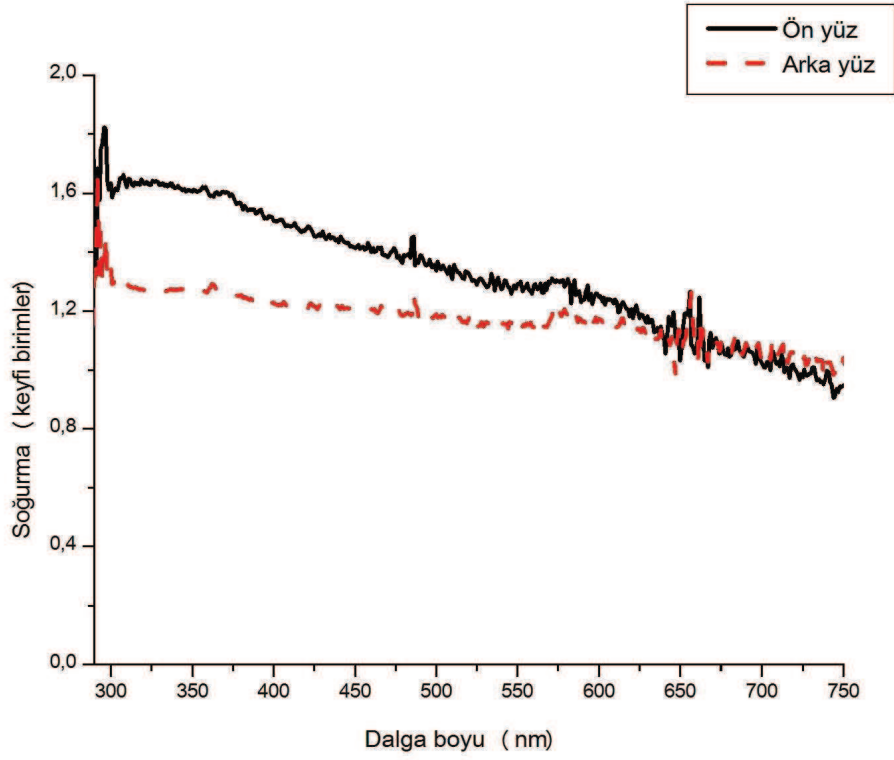
Şekil 5.75. 600°C'de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



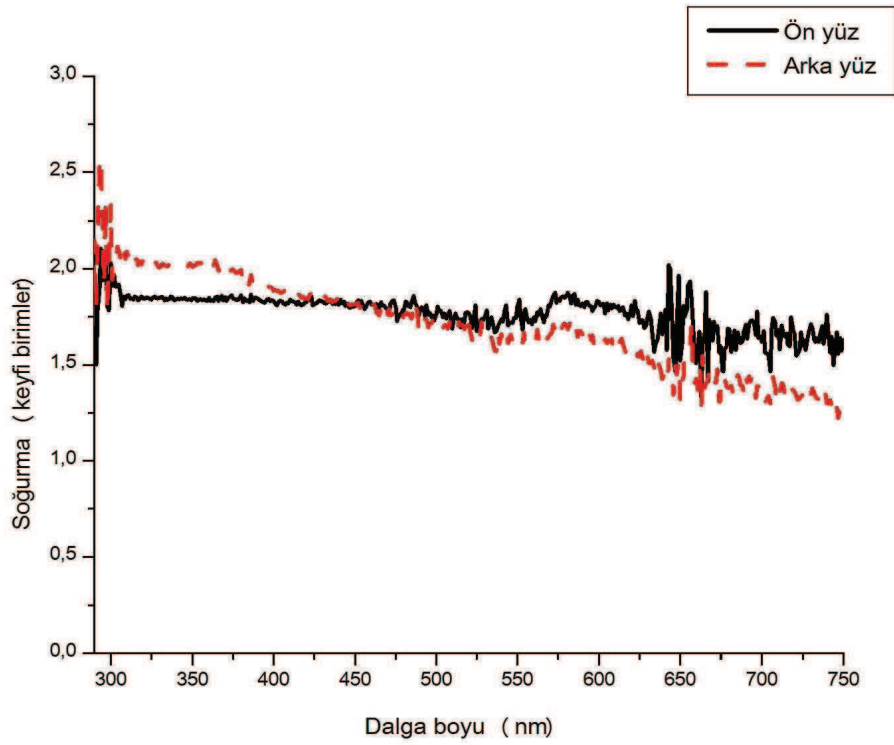
Şekil 5.76. 600°C'de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



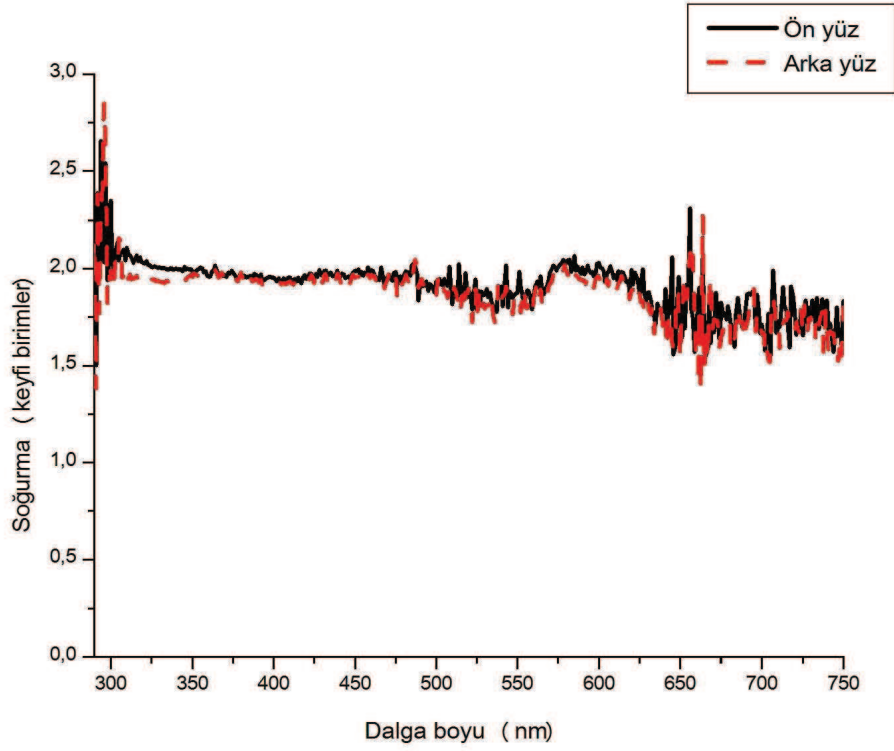
Şekil 5.77. 600°C'de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



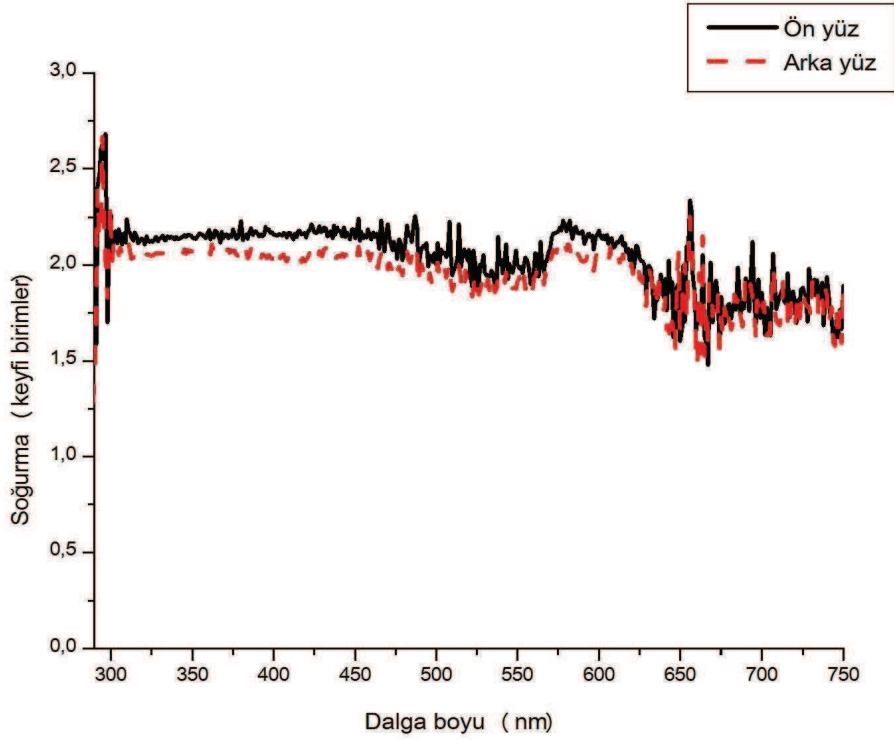
Şekil 5.78. 600°C'de tavllanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



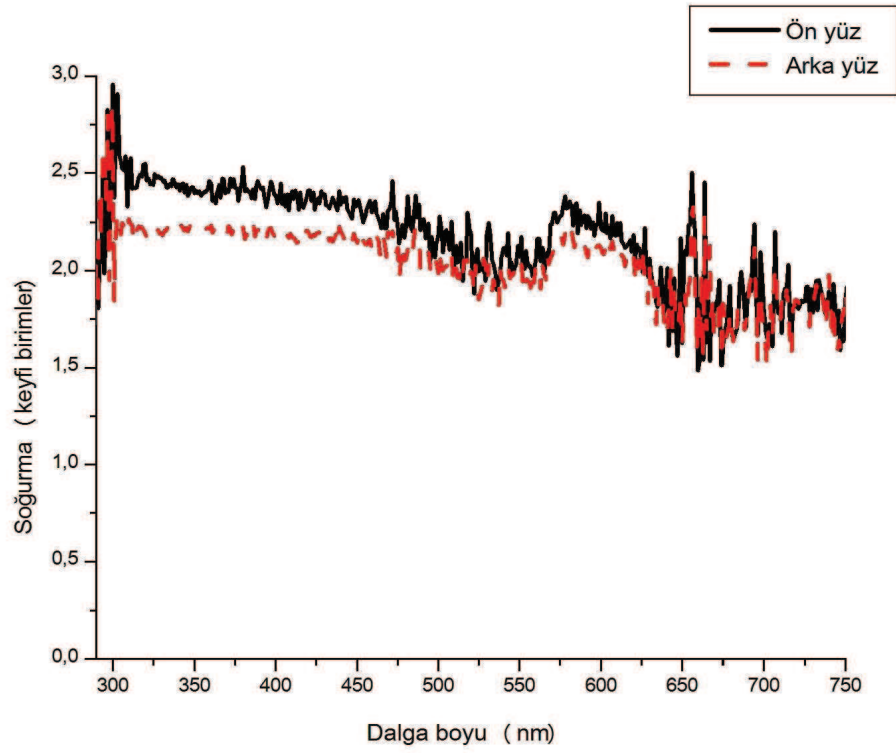
Şekil 5.79. 600°C'de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



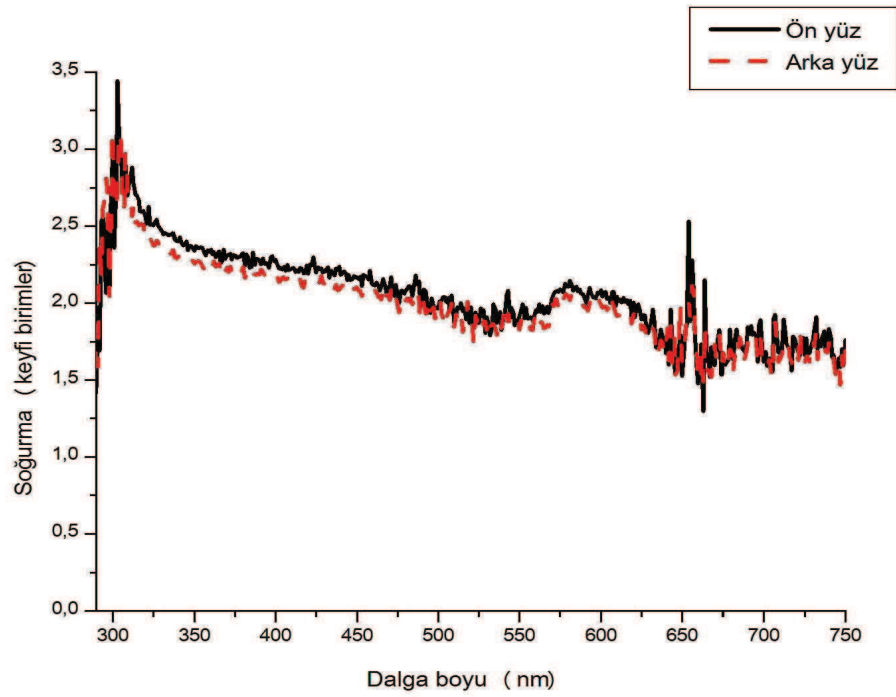
Şekil 5.80. 600°C'de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



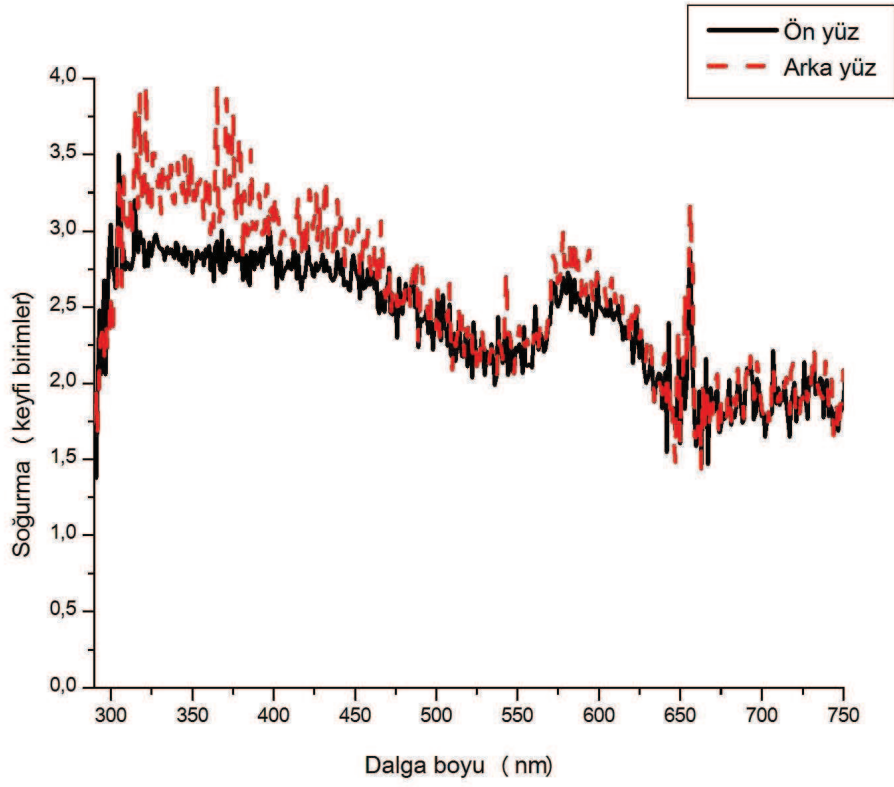
Şekil 5.81. 600°C'de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



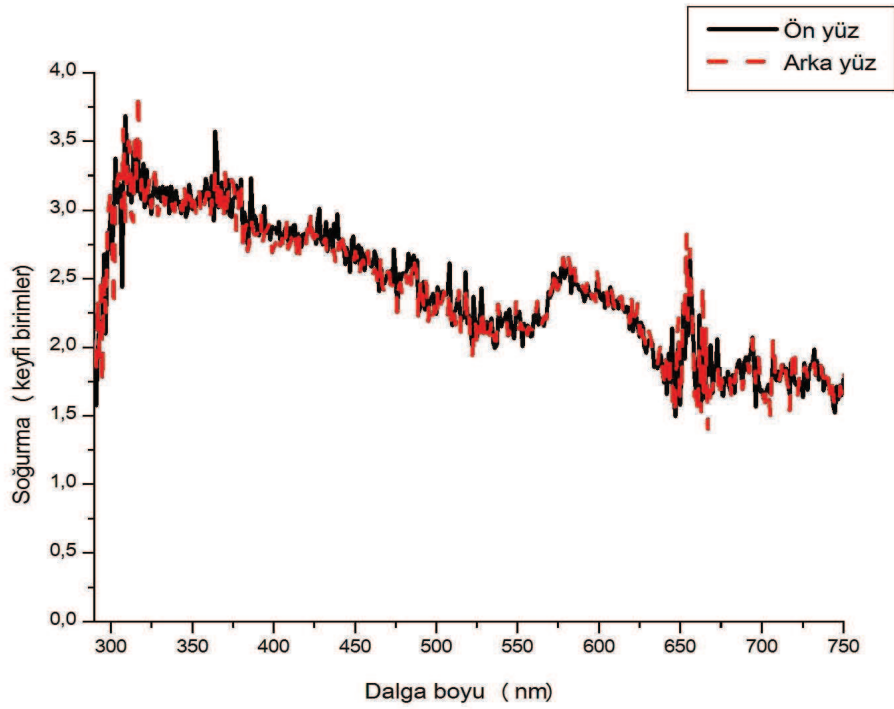
Şekil 5.82. 600°C'de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



Şekil 5.83. 700°C'de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



Şekil 5.84. 600°C'de tavllanmış %100 Cu katkılı ince filmin soğurma spektrumu.



Şekil 5.85. 700°C'de tavllanmış %100 Cu katkılı ince filmin soğurma spektrumu.

Soğurma spektrumları (UV-Vis) yakından incelendiğinde numunelerin arka ve ön yüzünden alınan spektrumlarda göze çarpan önemli bir değişikliğin olmadığı gözlenmiştir. Saf ZnO ince filmlerdeki 370 nm civarında konuşlanan ana ZnO soğurma piki varlığını yaklaşık %30 katkılamaya kadar korumakla birlikte bu katkılama değerinden sonra bu soğurma pikinin zayıflayıp yok olduğu görülmüştür. Bu yokoluş, XRD piklerinde ZnO'ya ait piklerin varolması ve ZnO kristallerinin filmlerde varlığını sürdürdükleri gerçeğinden hareketle yorumlanmaya çalışılmış ve bu yok oluşun ZnO öbeklerinin CuO kristalleriyle fiziksel temas kurmuş olabilecekleri ve bu dalga boyundaki soğurmanın bu temas sebebiyle engellenmiş olabileceği yorumunda bulunulmuştur.

Artan bakır katkılama ile birlikte 570 nm civarında bir Cu soğurma pikinin açığa çıktığı ve artan katkı yüzdesi ve tavlama sıcaklığı ile birlikte bu pikin yayvan hale geldiği (FWHM'nin büyüdüğü) gözlenmiştir. Bu gözlem yüksek sıcaklıklardaki Cu katkılama durumundaki SEM resimleriyle uyum içinde bulunmuştur (bkz Şekil 5.48). Ayrıca 290-300 nm bandında Cu katkıdan geldiği düşünülen başka bir soğurma piki daha tespit edilmekle beraber, bu bölgedeki gürültünün yüksek olması bu pikin net bir şekilde yorumlanmasını bir miktar engellemektedir.

Saf ZnO ince filmi değişik tavlama sıcaklıklarında üretip, buna %0'dan başlayarak %100'e varan oranlarda Cu katkılamaya ilgili yapılmış bu çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Genelde %3 gibi oranlarda katkılama durdurularak optimum optik özellikler elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmayla son derece yüksek oranlarda Cu katkılama yapılabileceği, bu katkılamaya rağmen kristal fazın korunabileceği ve en önemlisi ZnO kristal yapıyla başlayıp CuO kristal yapıyla sonuçlanan bir sürecin hayata geçirilebileceği ispatlanmış olmaktadır.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada öncelikle farklı molaritelere sahip ZnO ince filmler mikroskop camlar üzerinde üretilmiş ve 600 derecede 1 saat süreyle tavlanan filmlerin ZnO kristal yapıya geçtikleri gözlenmiştir. ZnO ince filmlerin molarite farklılığından dolayı artan molariteyle birlikte artan film kalınlıklarına ulaştıkları gözlenmiştir. Bu filmlerin artan molariteyle birlikte amorf yapıdaki altlıkları kenarlardan artan oranda büküldükleri bulunmuştur. Bu bükmenin filmin altlığına çok iyi yapışmasının bir göstergesi olduğu yorumunda bulunulmuştur. Altlığına iyi yapışan kristal film taban maddenin amorf olması sebebiyle kristal forma geçerken yumuşamış amorf sistemi, kendi yönelimine uydurmaktadır ki bu Young modülü açısından bakıldığında, nm boyutlu/kalınlıklı filmin mm kalınlıklı altlığı bükülmesinden hareketle yaklaşık 500 katı büyük Young modülüne sahip ince filmlerin üretildiği anlamını taşımaktadır. Elde edilen bükülmüş yapının fiziki şekli düşünüldüğünde otomatik olarak eğrilik yarıçapı ayarlanabilecek kaplama yapılarının (örneğin lazer aynası) üretilebileceği yeni bir süreçle karşı karşıya olduğumuz düşünülebilmektedir. Bu çalışmanın farklı kristal ince filmlerle tekrarlanıp, bükülme miktarlarının nasıl değiştikleri kayıt altına alınabilir ve teknolojik olarak ilginç bazı uygulamalara böylece ulaşılabilir. Bu çerçevede MgO, CuO, ZnS, ZnSe gibi farklı ince film üretim süreçlerinin düşünülebileceği de açık olarak gözükmektedir.

Çalışmanın ikinci parçasında ZnO ince filmlere %1'den %100'e varan oranlarda Cu katkılama yapılmış ve bu filmlere ait XRD, SEM ve UV-Vis spektrumları analiz edilmişlerdir. Bu çalışmayla istenilen oranlarda bakır katkılamasının yapılabileceği ve bu katkılamının kristal yapıyı bozmadan ve ZnO ile beraber varlıklarını sürdürecektir şekilde üretilebileceği görülmüştür. Hem ZnO ve hem de CuO'ya ait soğurma bantlarının birlikte varlıklarının istendiği özel optoelektronik uygulamalar için yapılan bu çalışma son derece önemlidir. Örneğin %30'lar civarındaki Cu katkılı ZnO ince filmlerde bu iki soğurma bandı da kendilerini gösterebilmektedirler. Bir

ileri çalışma olarak gerek 4. ve gerekse 5. bölümde elde edilen bütün ince filmlerin fosforesans, termoluminesans, elektriksel iletkenlik özellikleri tespit edilebilir; yada bu yapılara Cu yerine Al, Pt gibi metallere, Ge, Si gibi yarıiletken malzemeler katılarak çalışma tekrar edilebilir. Ayrıca katkılama çift yada üçlü formda da gerçekleştirilebilir. Bir başka deney takımı olarak elde edilen yapıların üstüne ikincil yada üçüncül katmanlar (yeni kristal formu ince film tabakaları) konularak bu yapıların özellikleri optik, elektriksel yada mekanik anlamda incelenebilirler.

KAYNAKLAR

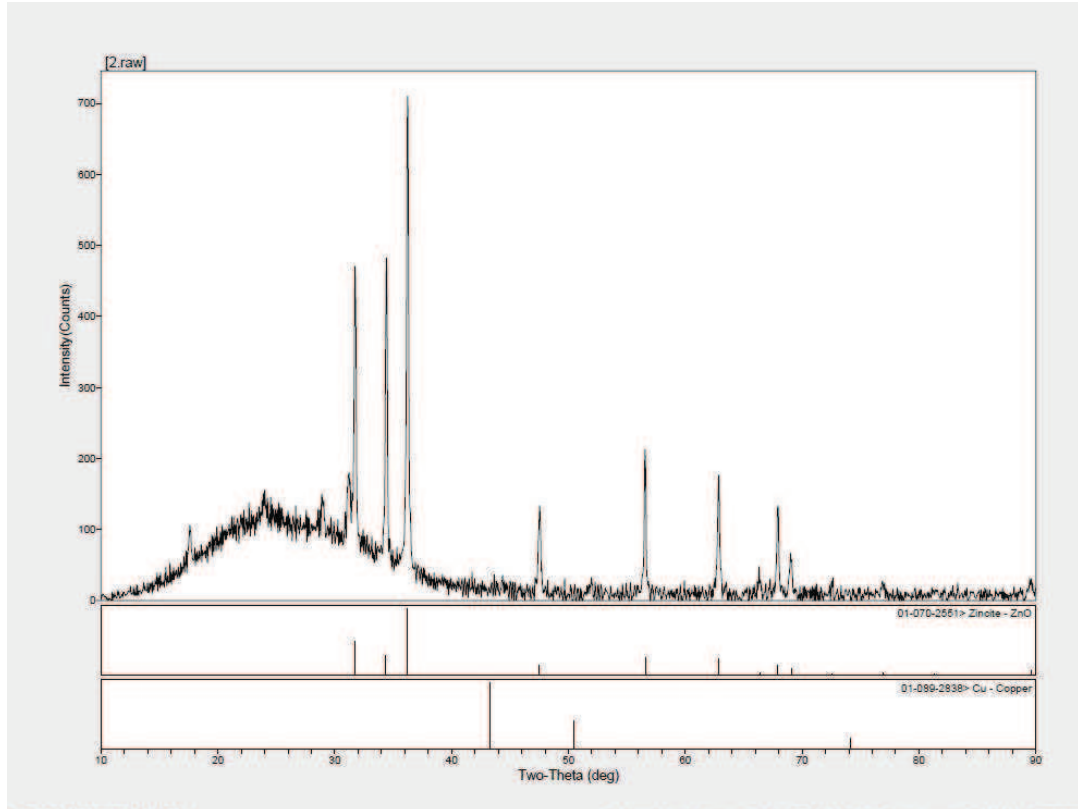
- [1] GÖKKAYA, Z., Spin Kaplama Yöntemiyle Üretilmiş Farklı Kalınlıklardaki ZnO İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [2] GHAMSARÍ, S., VAFAEE, M., Sol-gel derived zinc oxide buffer layer for use in random laser media, *Materials Letters*, V: 62, Is.no:12-13, pp. 1754-1756, 2008.
- [3] LEE, Y.J., PARK, N.K., HAN, G.B., RYU, S.O., LEE, T., CHANG, C.H., The preparation and desulfurization of nano-size ZnO by a matrix-assisted method for the removal of low concentration of sulfur compounds, *Current Applied Physics*, V: 8, Is.6, pp: 746–751, 2008.
- [4] TAM, K.H. et.al, Antibacterial activity of ZnO nanorods prepared by a hydrothermal method, *Thin Solid Films*, V: 516, Is. 18, pp: 6167-74, 2008.
- [5] OTA, Y., KİMURA, Y., MİCHİKAMİ, O., Initial stages of $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ thin film deposited on a ZnO semiconductor, *Physica C: Superconductivity*, V: 463-465, pp: 918-21, 2007.
- [6] ÇAĞLAR, M., ILICAN, S., ÇAĞLAR, Y., YAKUPHANOĞLU, F., Electrical conductivity and optical properties of ZnO nanostructured thin film, *Applied Surface Science*, V: 255, Is. 8, pp: 4491-6, 2009.
- [7] Dİ, Y. et.al, Field emission from carbon nanotube and tetrapod-like ZnO compound cathode fabricated by spin-coating method, *Applied Surface Science*, V: 255, Is. 8, pp: 4636-9, 2009.
- [8] ERTEK, Ö., Spin Kaplama Yöntemiyle Üretilmiş ZnO İnce Filmlerin Sıcaklığa Bağlı Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [9] ELİOT, R.S., *Physics of Amorphous Materials*, Longman, 1990.
- [10] BRODSKY, H.M., *Amorphous Semiconductors*, Berlin, 1985.

- [11] DURLU, T.N., *Katıhal Fiziğine Giriş*, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Ankara 1996.
- [12] KARAOĞLU, B., *Katıhal Fiziğine Giriş*, Güven Yayınları, İstanbul, 1996.
- [13] MİYATA T. et al., High sensitivity chlorine gas sensors using Cu-phthalocyanine thin films, *Thin Solid Films*, 425, pp: 255-259, 2003.
- [14] ZHU, H., HÜPKENS, J., BUNTE, E., GERBER, A., HUANGS, M., Influence of working pressure on ZnO:Al films from tube targets for silicon thin film solar cells, *Thin Solid Films*, V: 518, pp: 4997-5002, 2010.
- [15] DİNG, L. et al., Highly transparent ZnO bilayers by LP-MOCVD as front electrodes for thin-film micromorph silicon solar cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, V.98, p: 331-336, 2012.
- [16] BAO, Q. et al., Pulsed laser deposition and its current research status in preparing hydroxyapatite thin films *Applied Surface Science*, V.252, Is.5, pp: 1538-1544, 2005.
- [17] LACKNER, J.M., WALDHAUSER, W., EBNER, R., LENZ, W., SUESS, C., JAKOPIĆ, G., LEISING, G., HUNTER, H., Pulsed laser deposition: a new technique for deposition of amorphous SiO_x thin films, *Surface and Coatings Technology*, V:163 –164, pp: 300–305, 2003.
- [18] LAUBE, S.J.P., STARK, E.F., Artificial intelligence in process control of pulsed laser deposition, *Annual Review in Automatic Programming*, V: 19, pp: 129–134, 1994.
- [19] PRASANNA, S. et al., Dielectric properties of DC reactive magnetron sputtered Al₂O₃ thin films, *Thin Solid Films*, V:520, Is. 7, p:2689-2694, 2012.
- [20] KARTHIKEYAN, S., HİLL, A.E., COWPE, J.S., PİLKİNGTON, R.D., The influence of operating parameters on pulsed D.C. magnetron sputtering plasma, *Vacuum*, V:85, pp:634-638, 2010.
- [21] ARNELLA, R.D., KELLY, P.J., BRADLEY, J.W., Recent developments in pulsed magnetron sputtering, *Surface & Coatings Technology* V: 188–189, pp: 158-163, 2004.

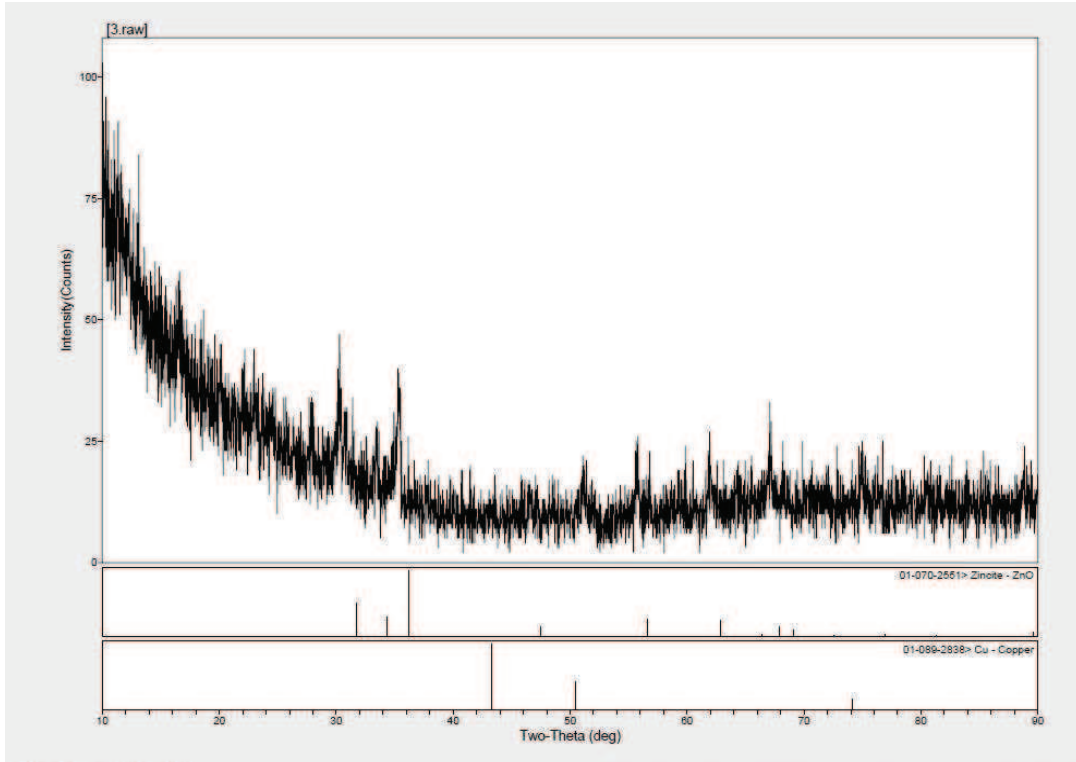
- [22] GARCÍA J.R.V., GOTO, T., Thermal barrier coatings produced by chemical vapor deposition, *Science and Technology of Advanced Materials*, V: 4, Is: 4, pp: 397–402, 2003.
- [23] NEERU, K., RAVINDER, K., MEHRA, R.M., Photoluminescence studies in sol-gel derived ZnO films, *Journal of Luminescence*, Vol. 126, Iss. 2, pp. 784-8, 2007.

EK 1

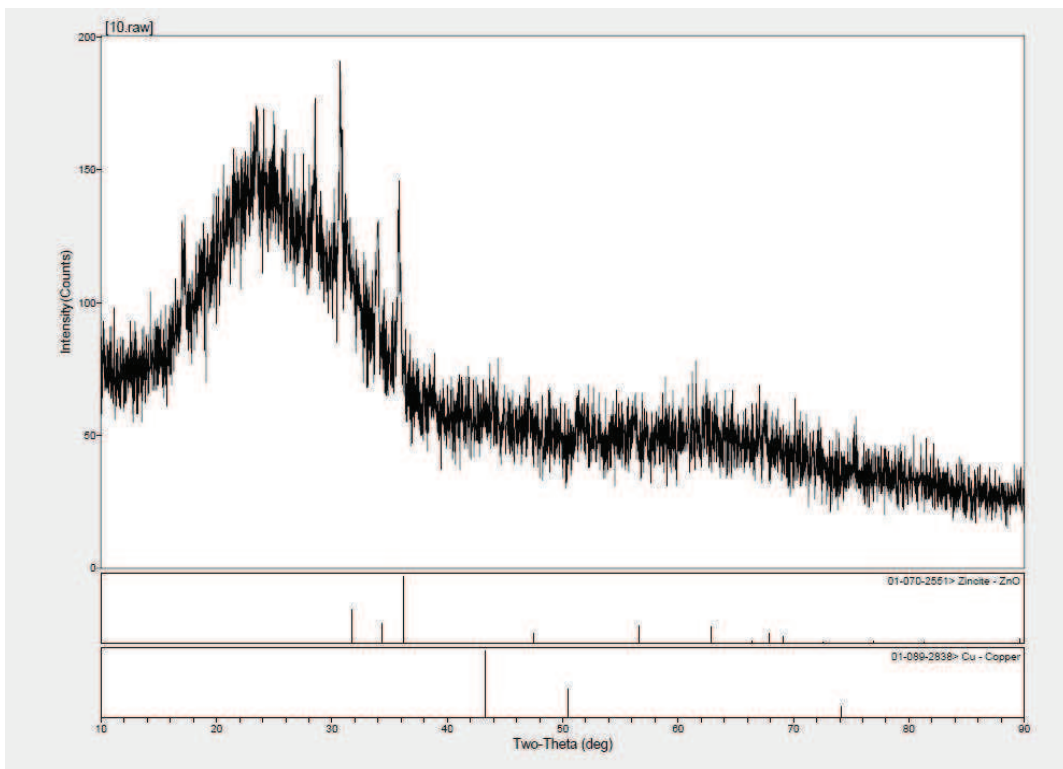
Cu KATKILI ZnO İNCE FİLMLERİN XRD SPEKTRUMLARI



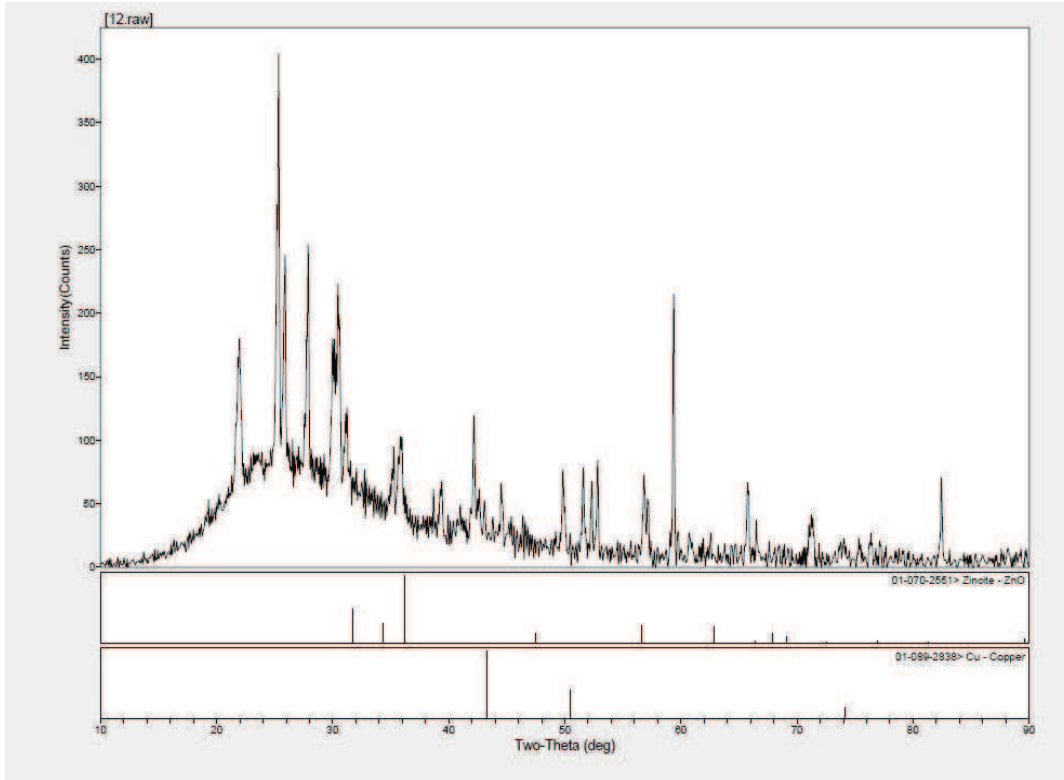
Şekil E1.1. 700 °C’de tavlanmış katkısız ZnO ince filmin XRD spektrumu.



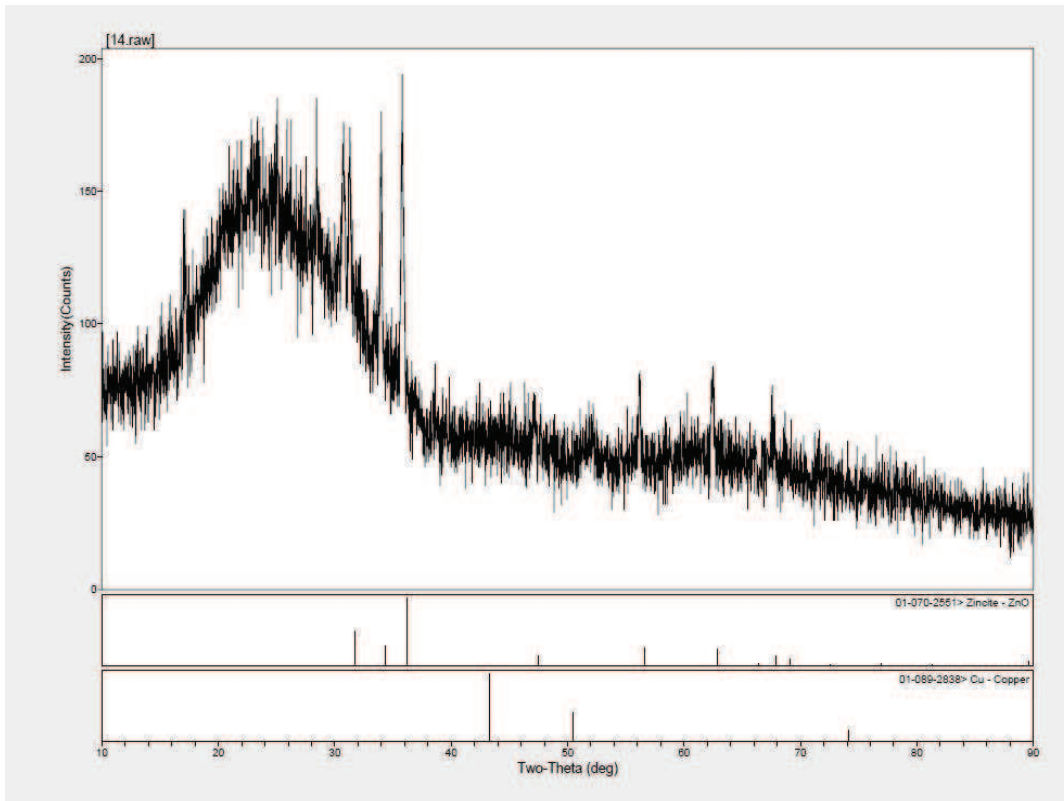
Şekil E1.2. 800°C'de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin XRD spektrumu.



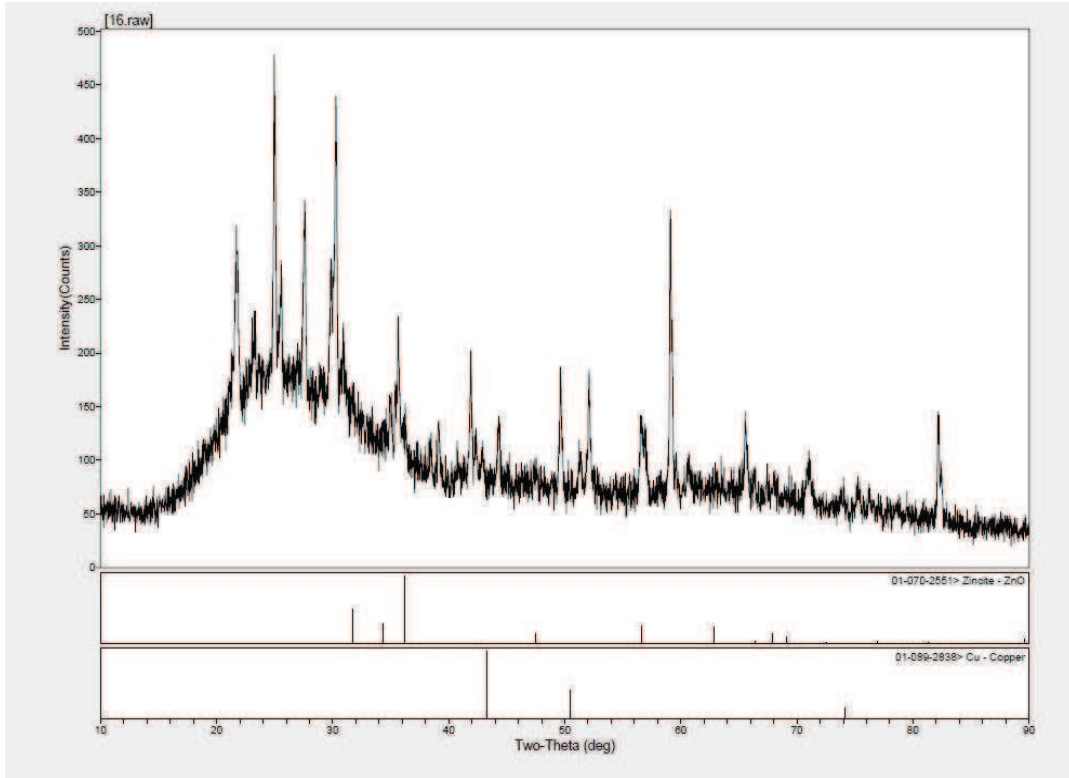
Şekil E1.3. 700°C'de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



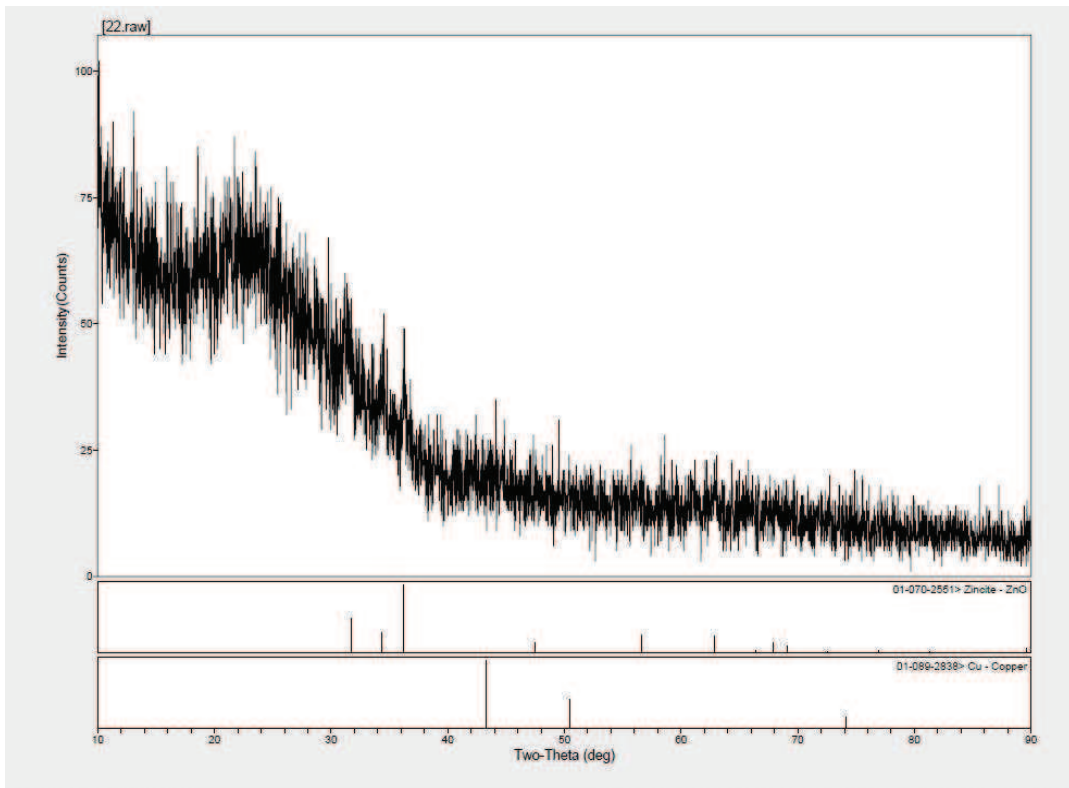
Şekil E1.4. 850°C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



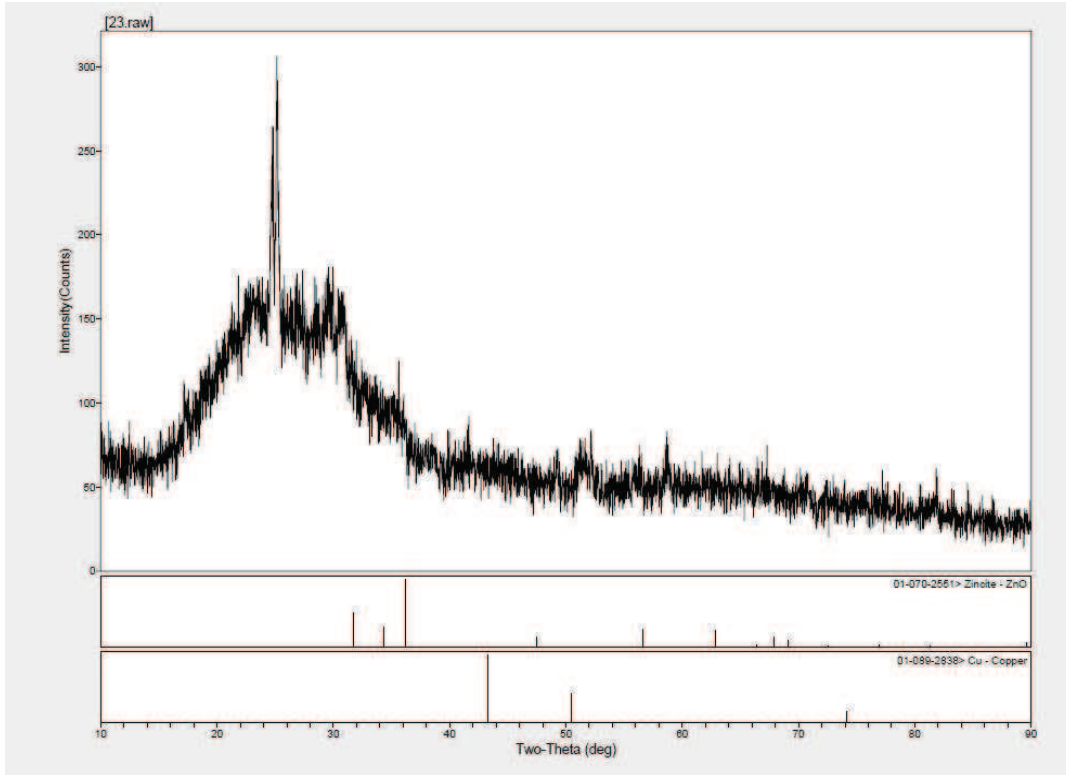
Şekil E1.5. 700°C’de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



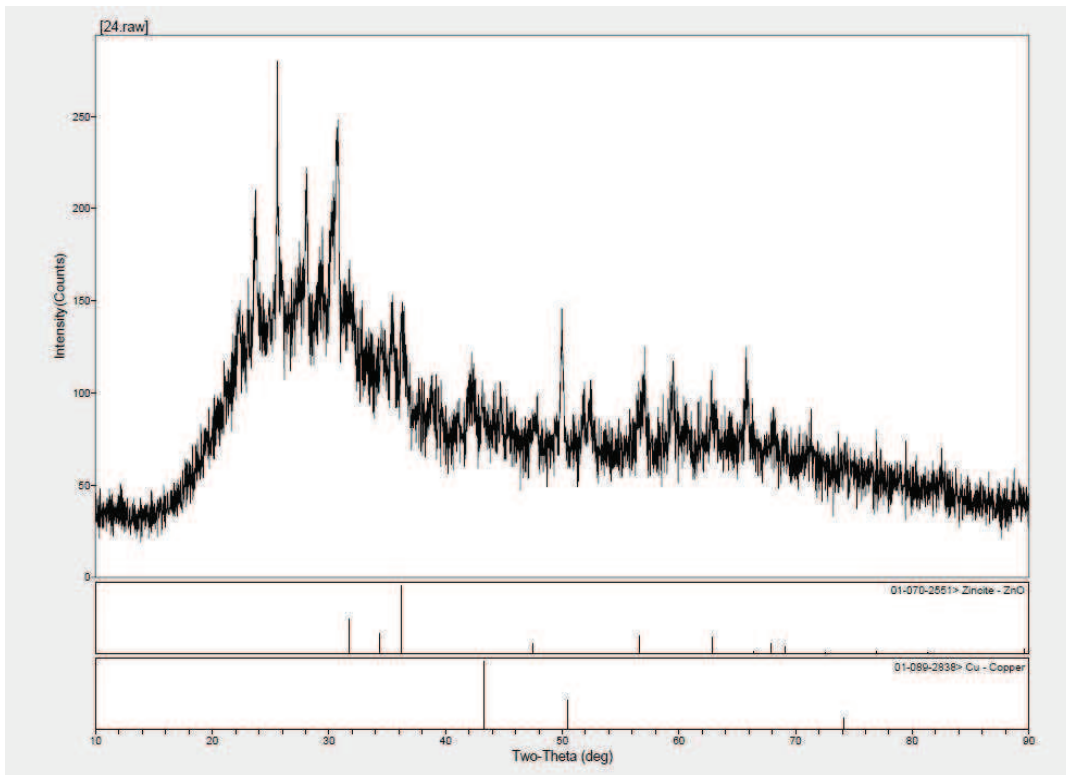
Şekil E1.6. 850°C'de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



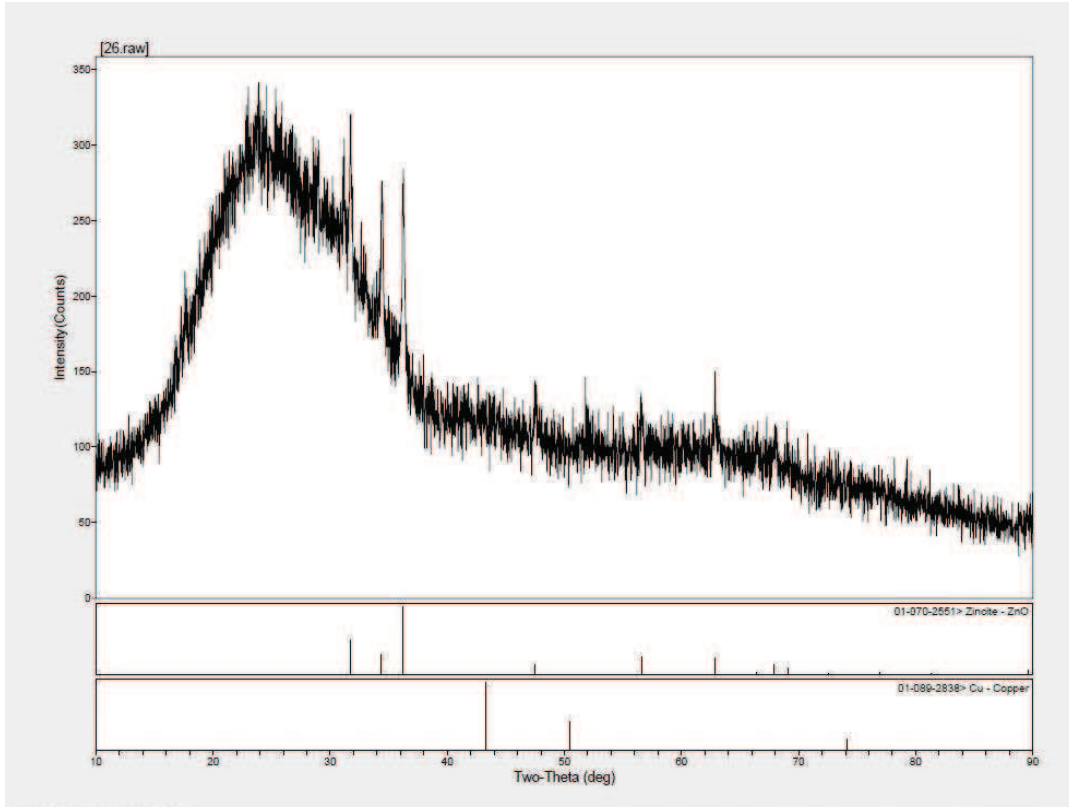
Şekil E1.7. 700°C'de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



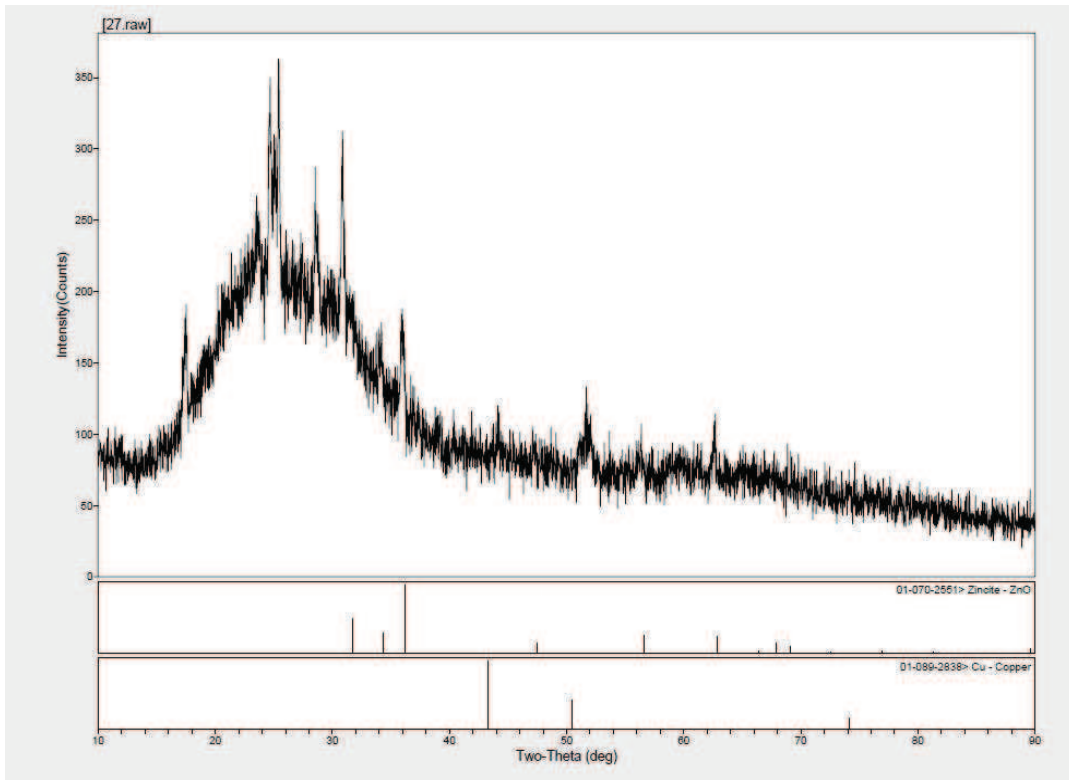
Şekil E1.8. 800°C'de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



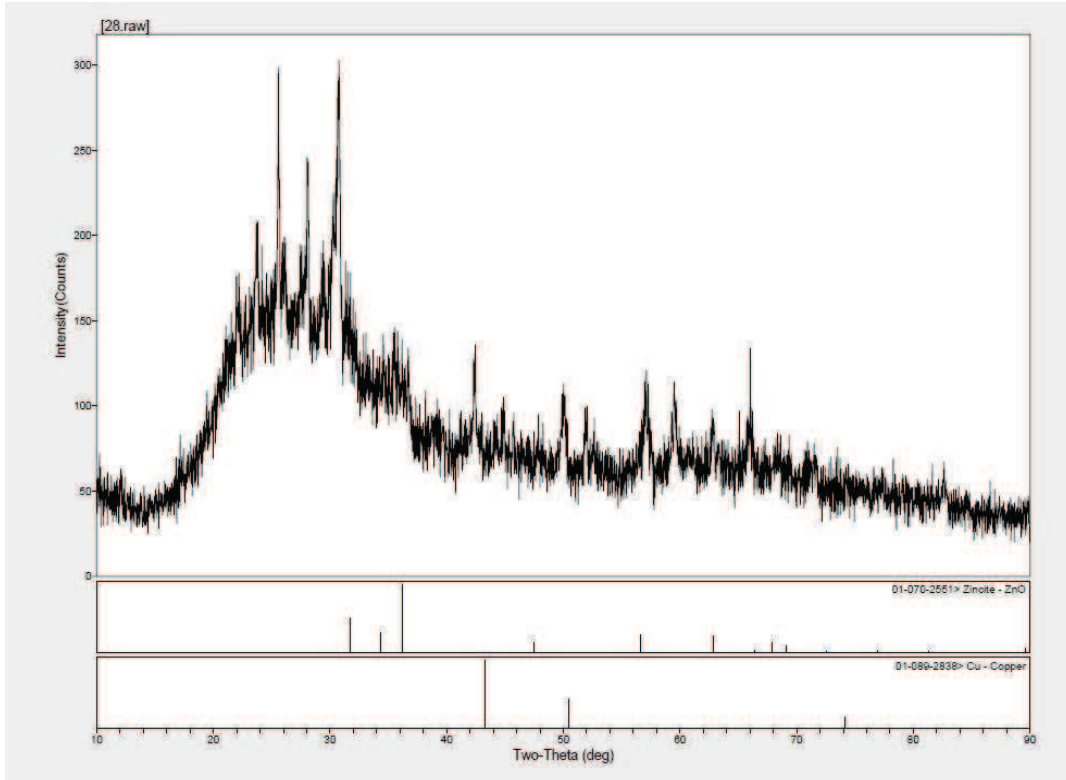
Şekil E1.9. 850°C'de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



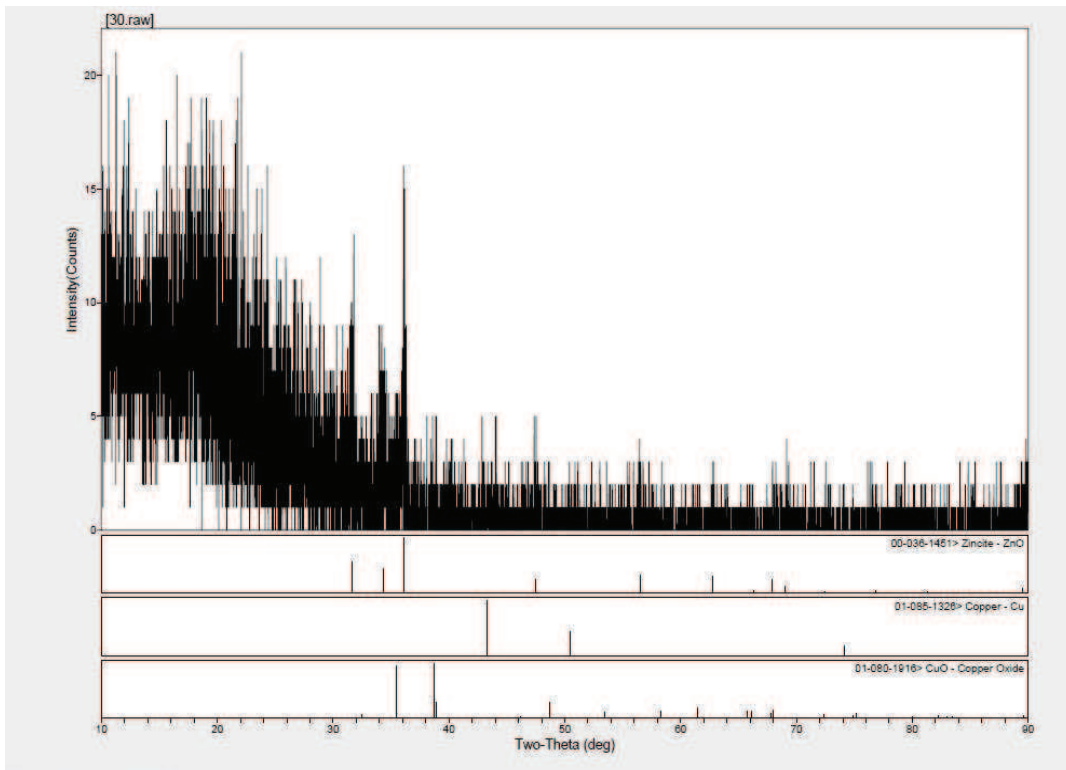
Şekil E1.10. 700°C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



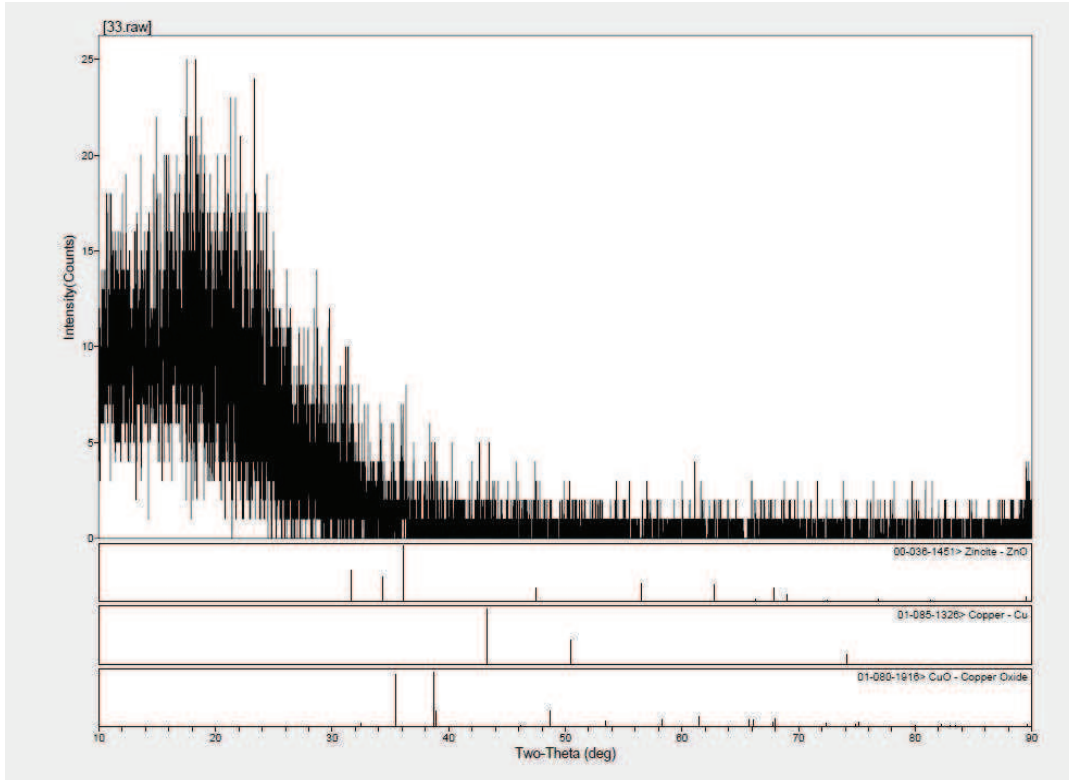
Şekil E1.11. 800°C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



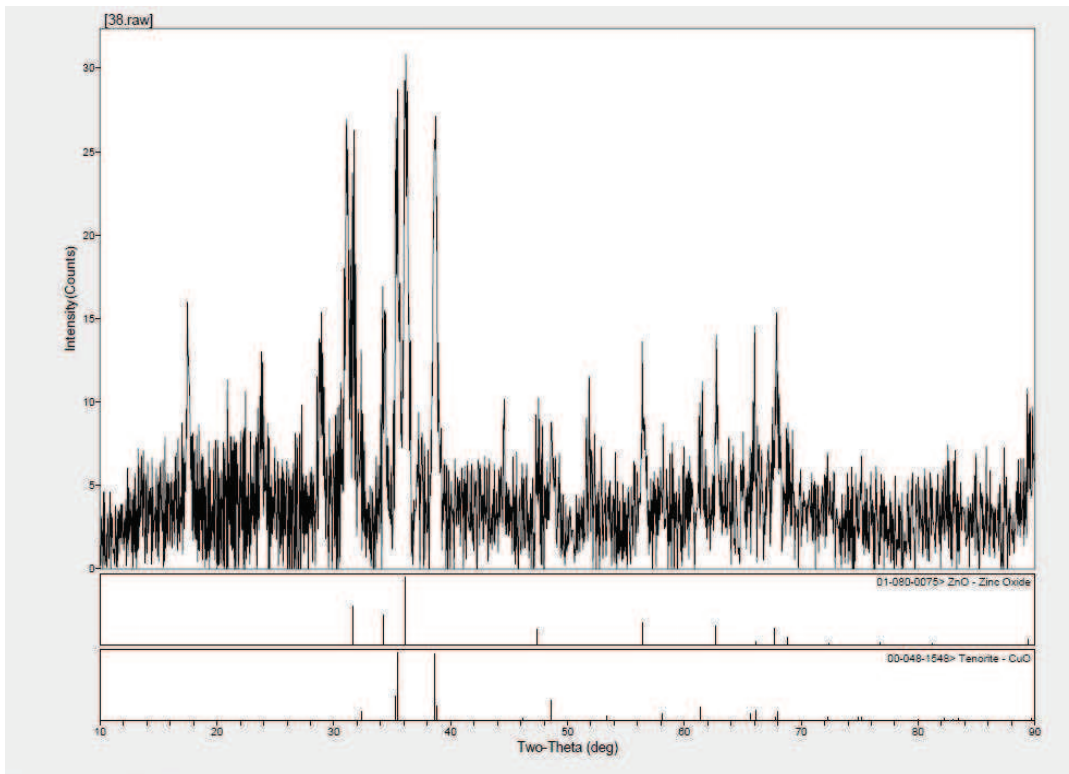
Şekil E1.12. 850°C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



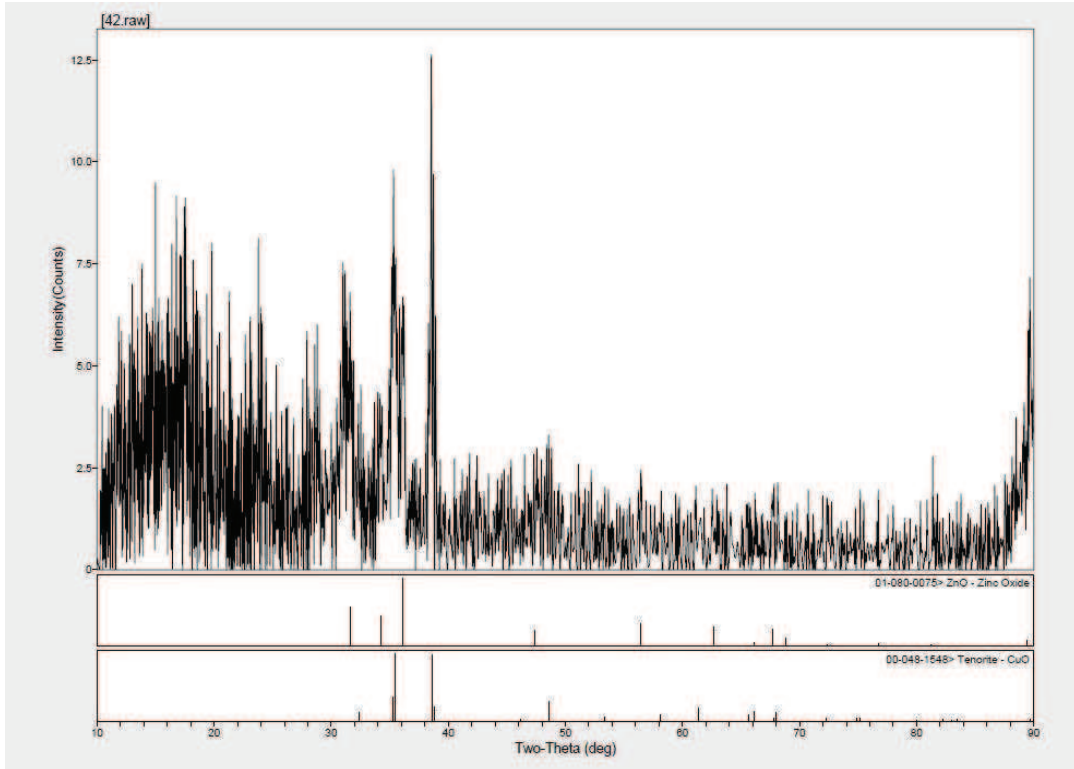
Şekil E1.13. 700°C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



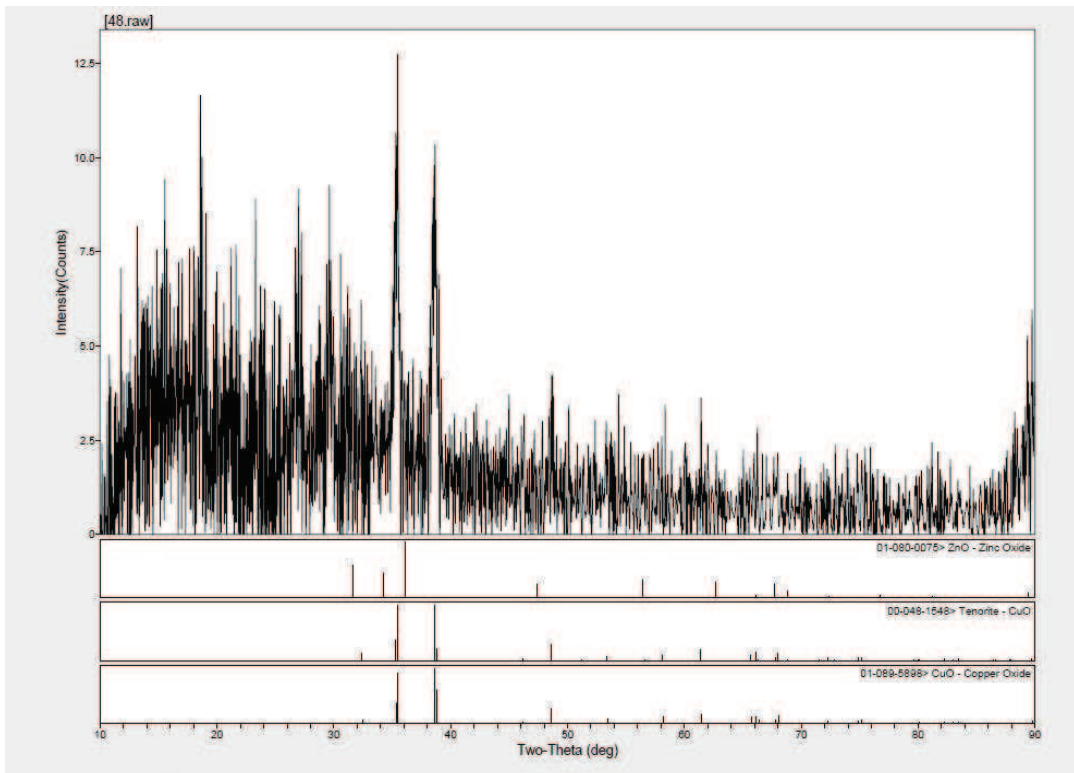
Şekil E1.14. 700°C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



Şekil E1.15. 700°C’de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.



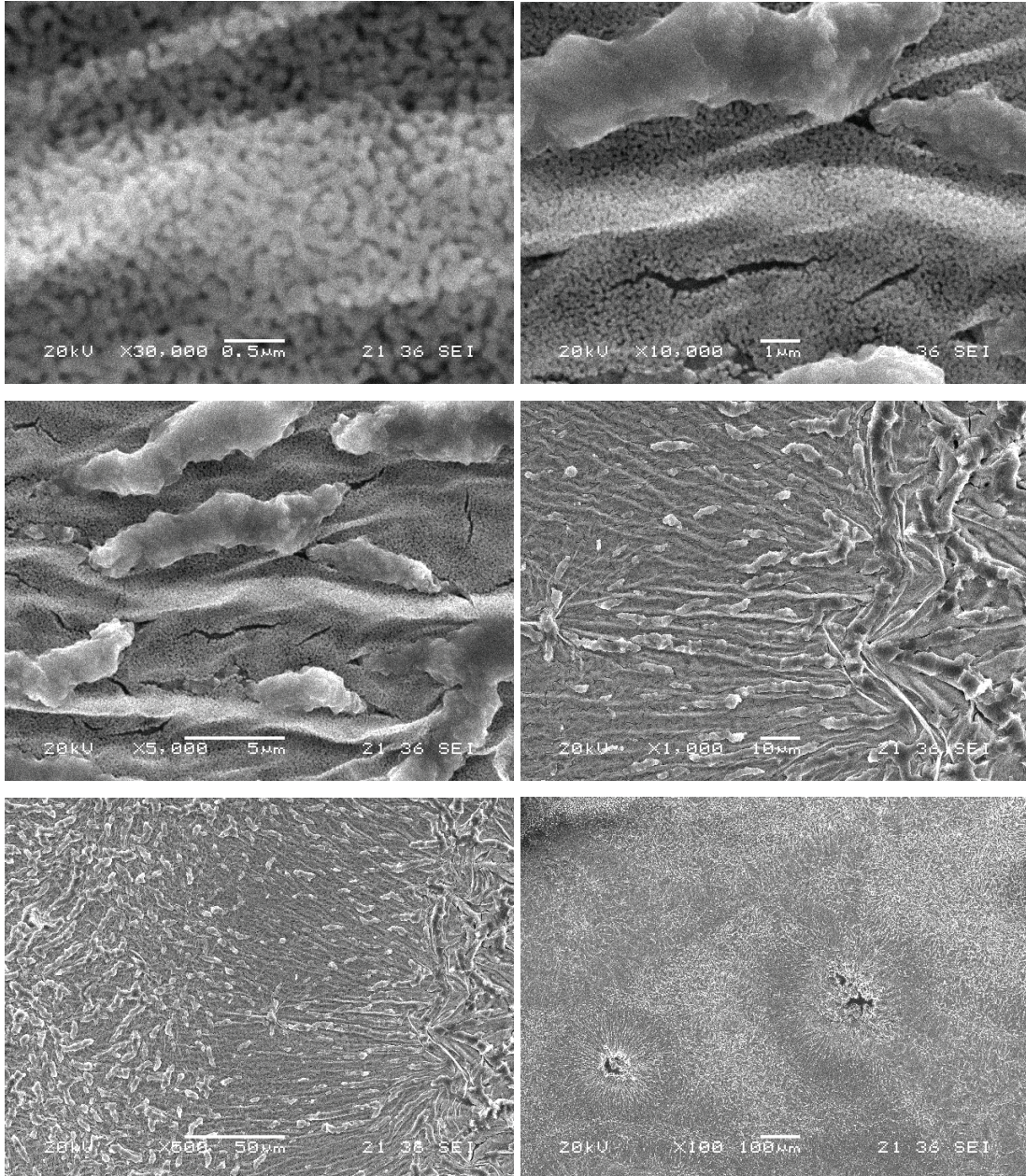
Şekil E1.16. 700°C’de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.

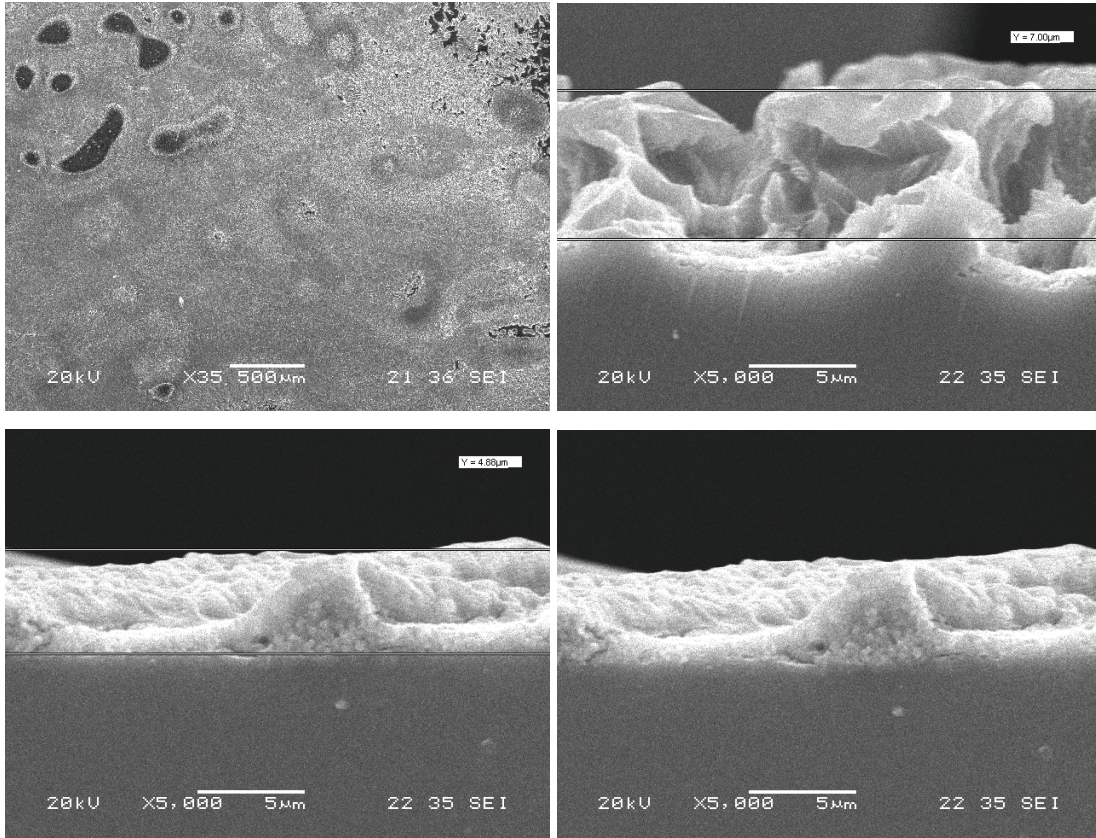


Şekil E1.17. 700°C’de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin XRD spektrumu.

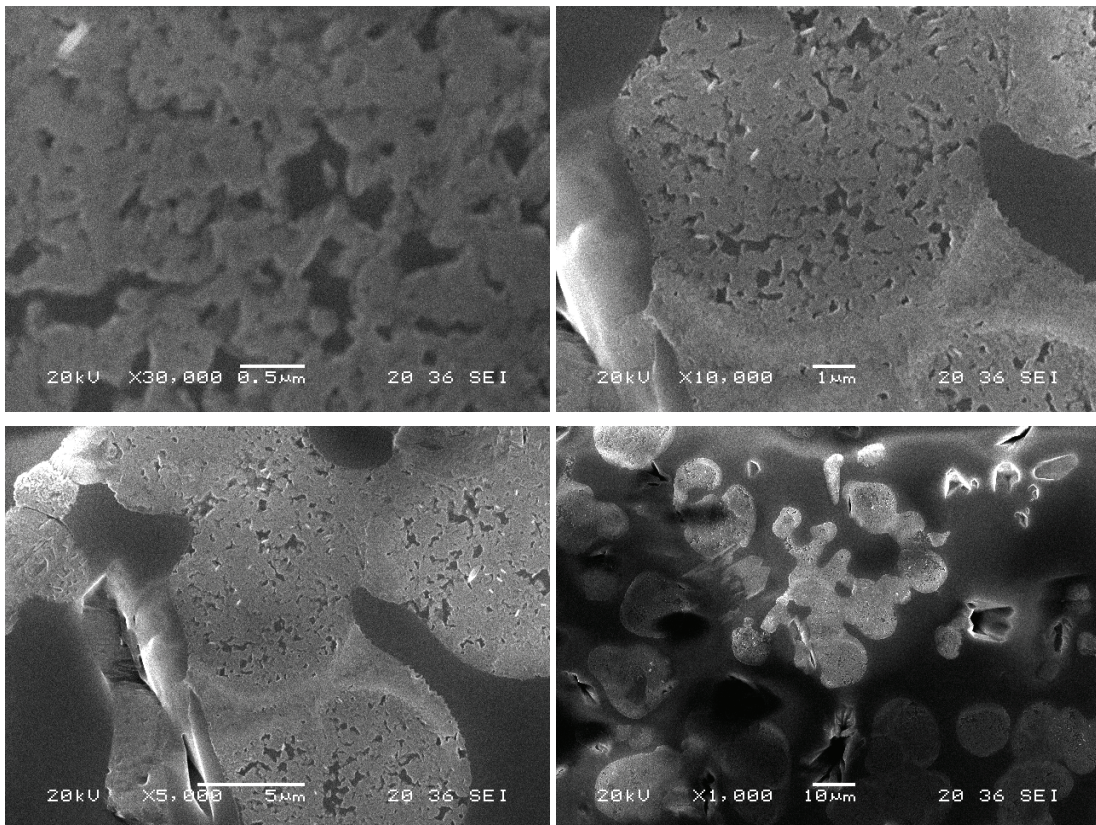
EK 2

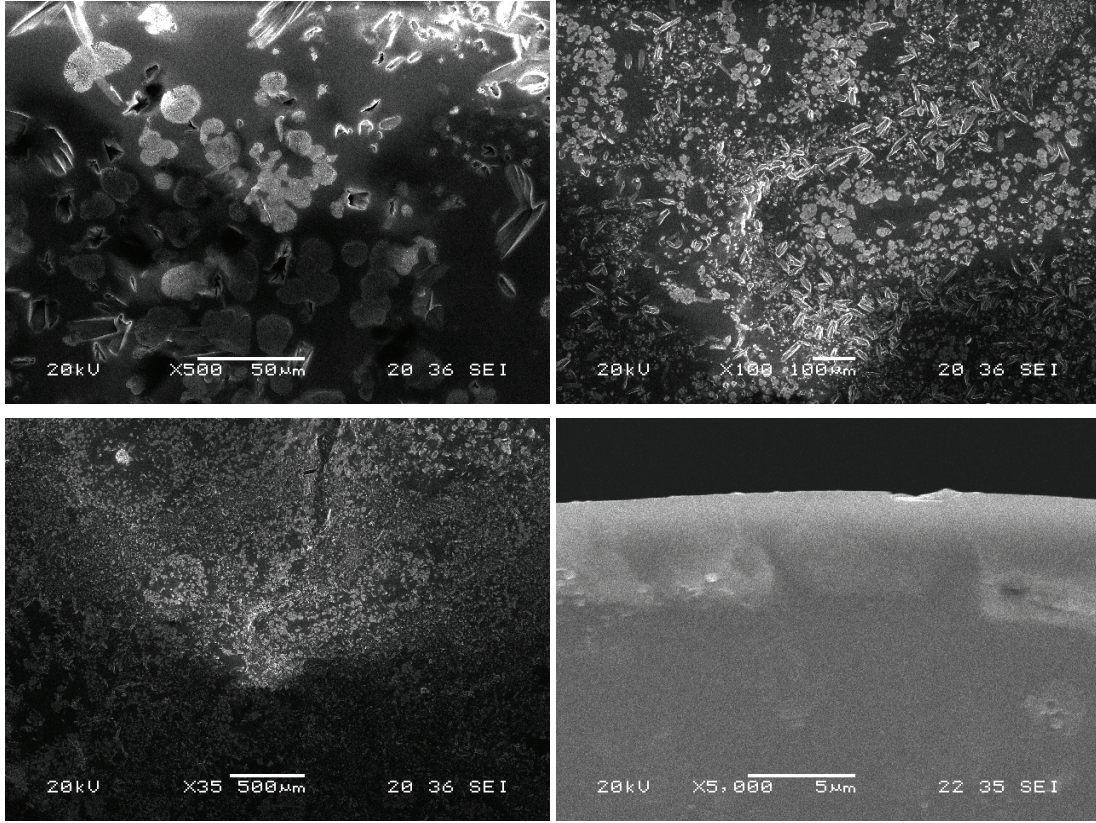
Cu KATKILI ZnO İNCE FİMLERİN SEM GÖRÜNTÜLERİ ve EDS SPEKTRUMLARI



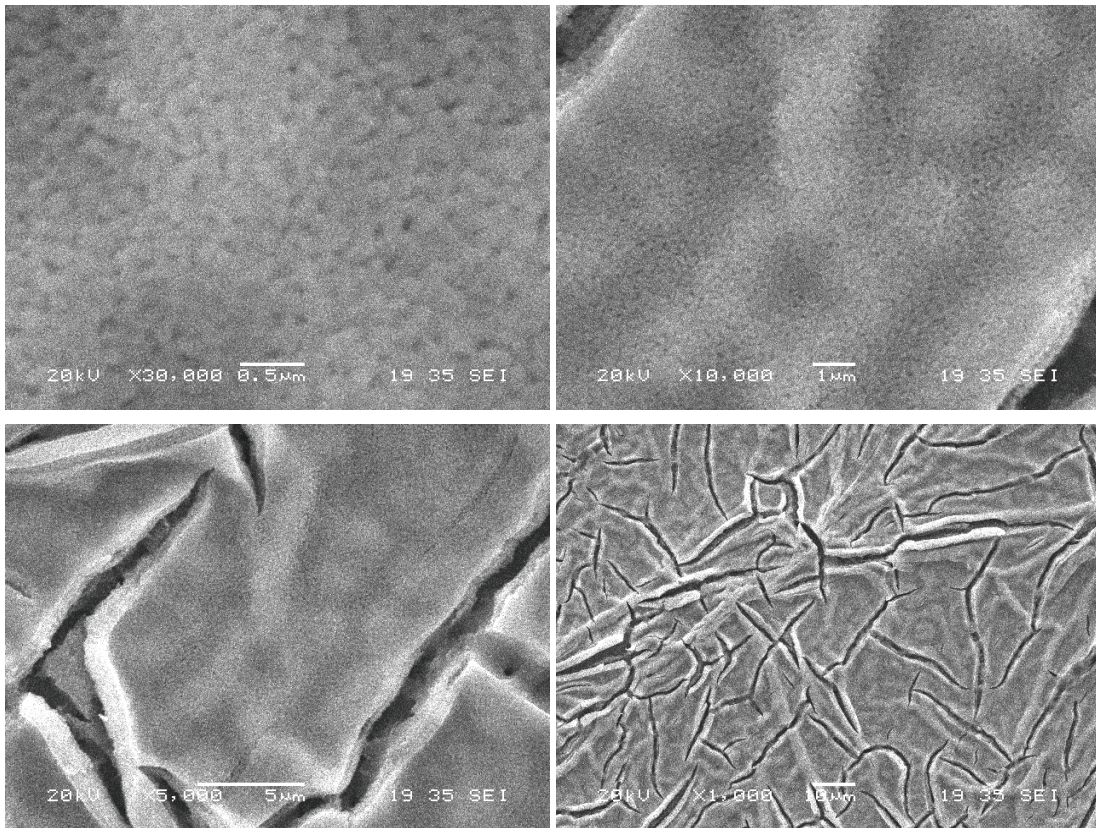


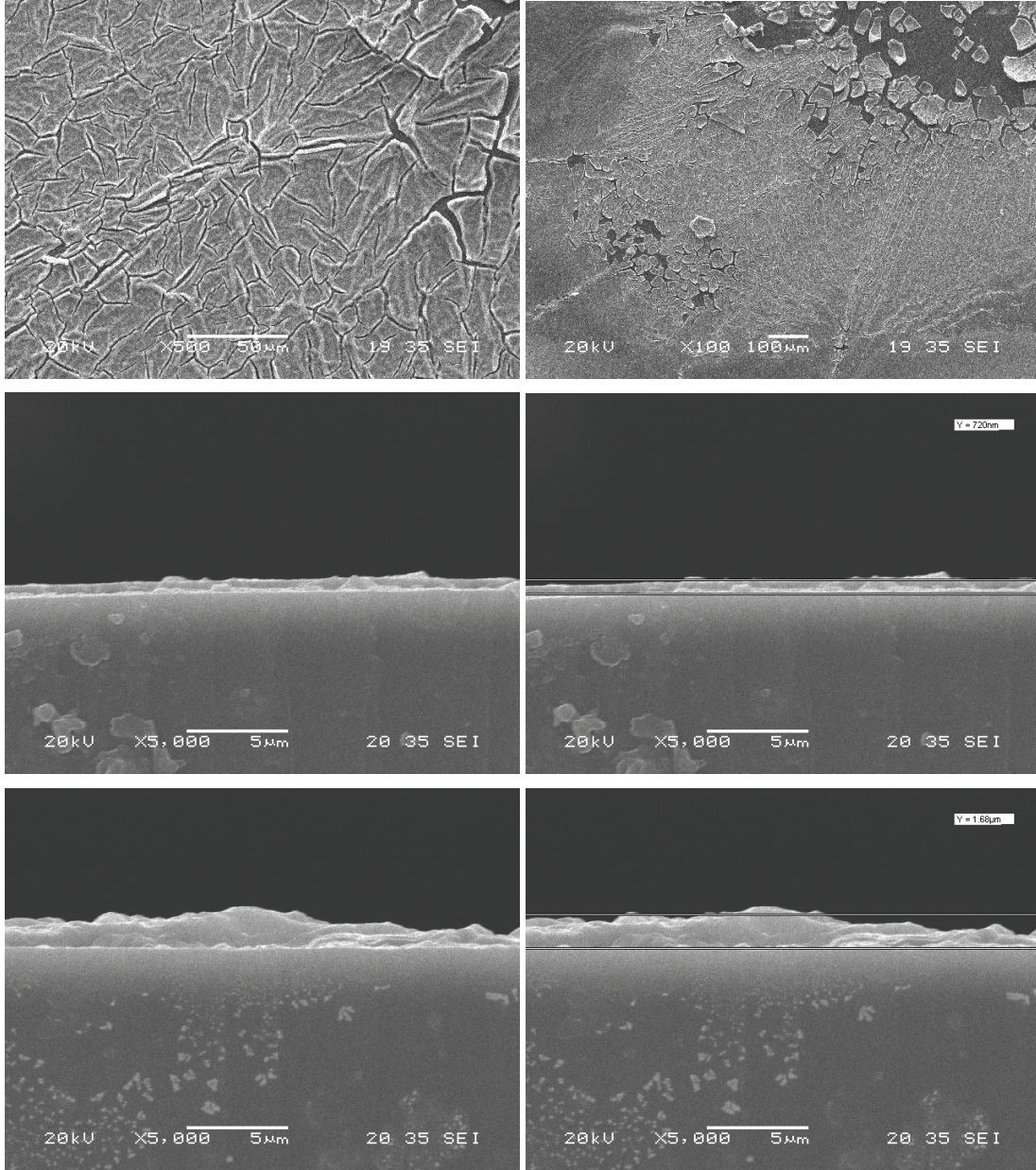
Şekil E2.1. 700 °C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



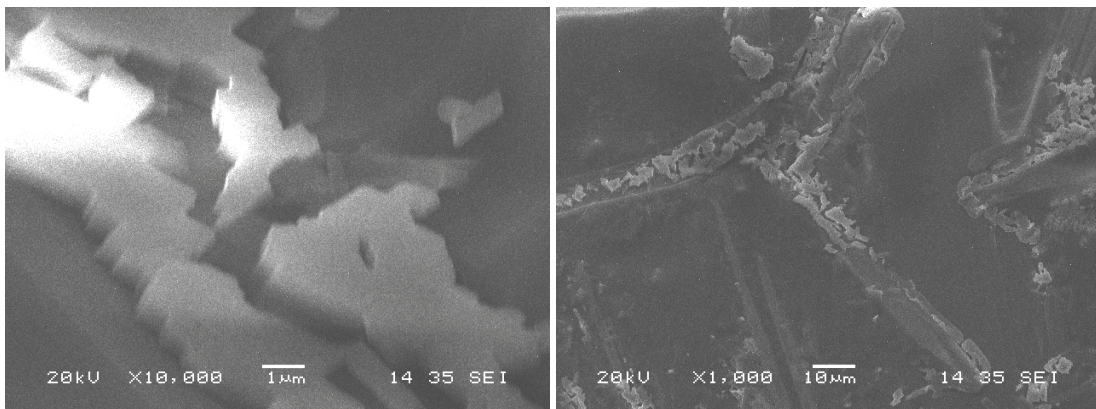


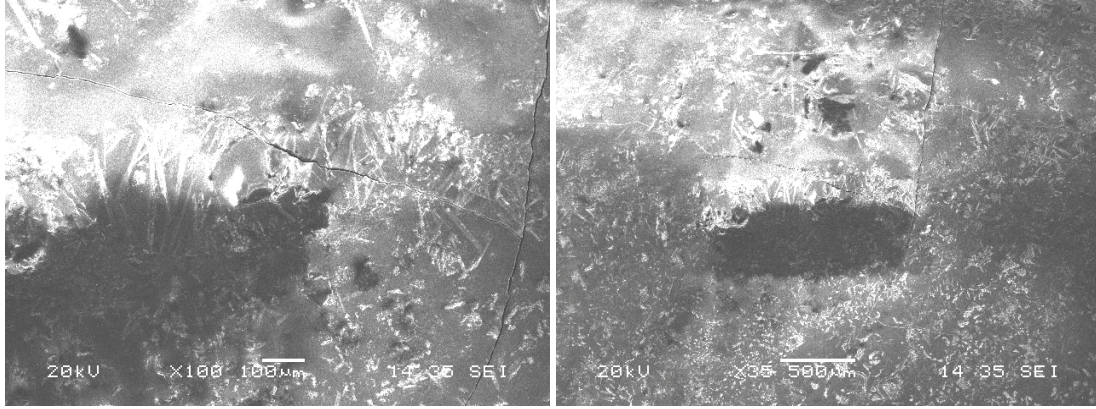
Şekil E2.2. 800°C'de tanlanmış katkısız ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



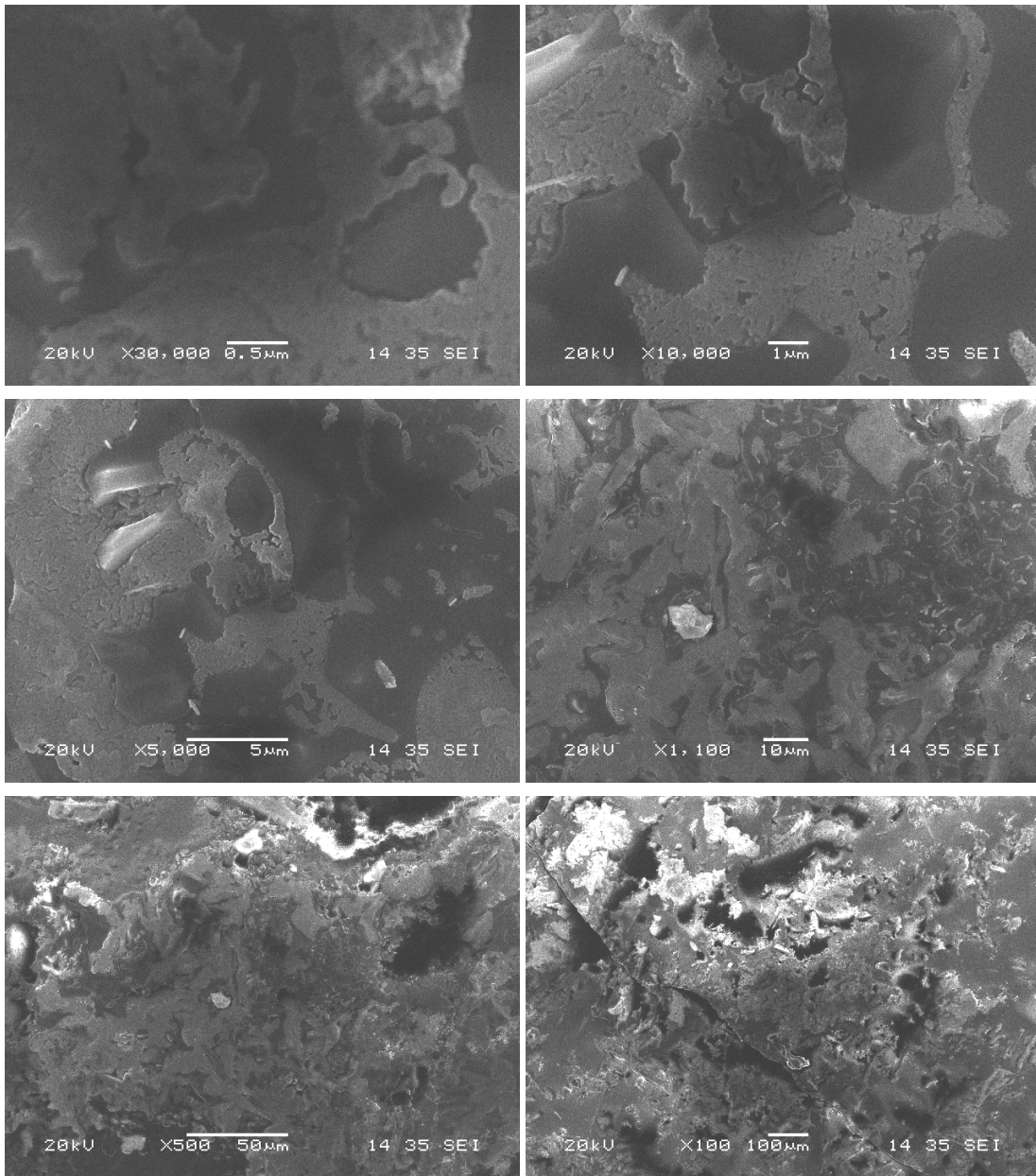


Şekil E2.3. 700 °C'de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.

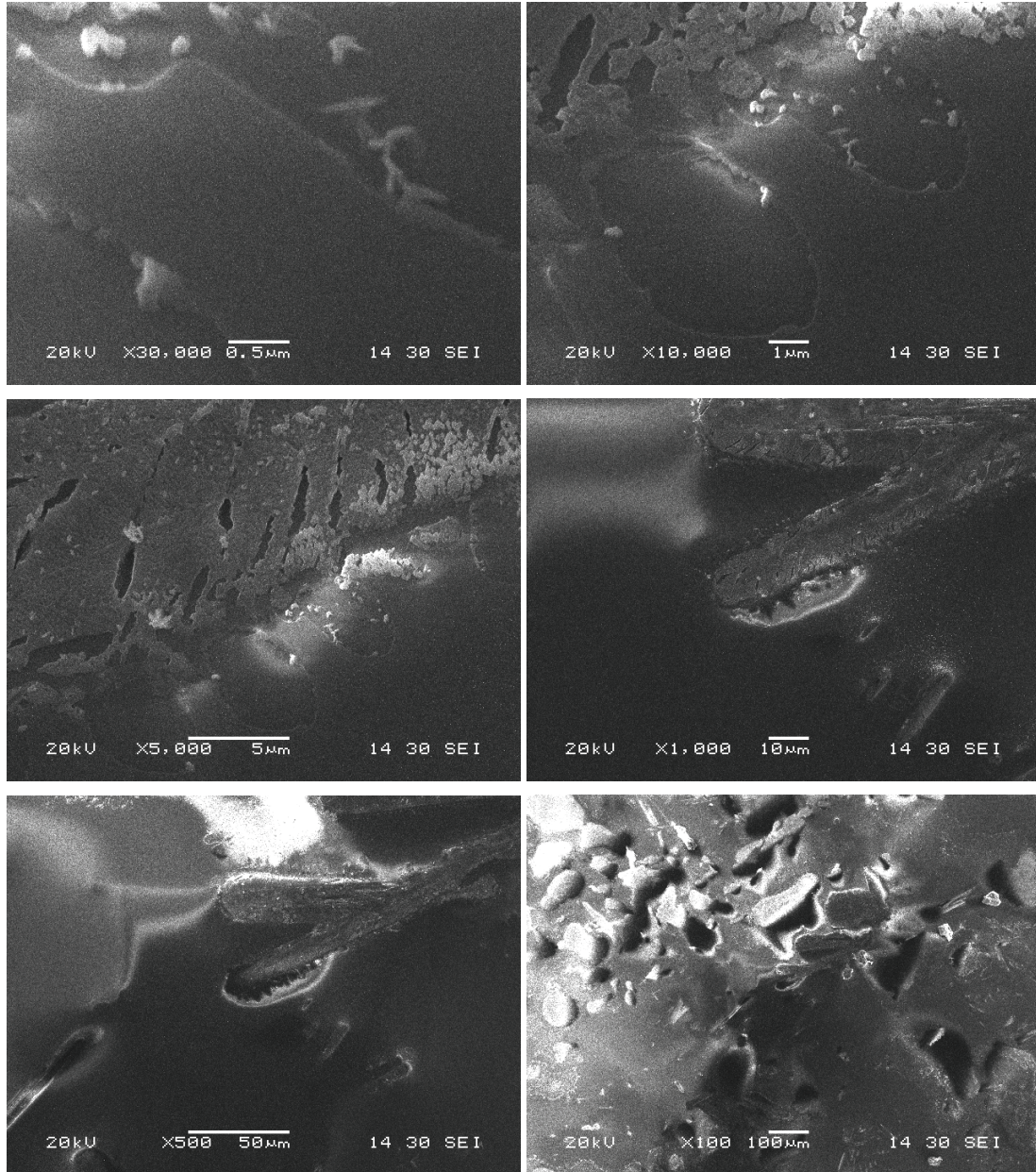




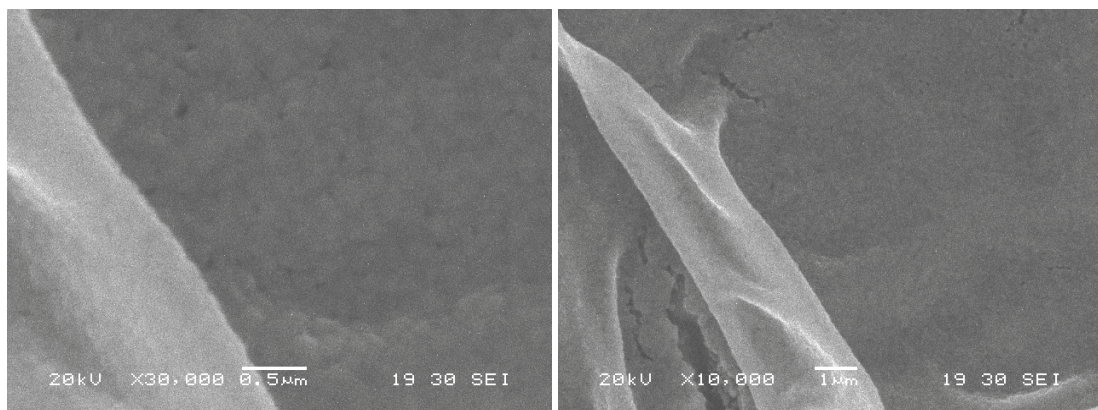
Şekil E2.4. 850 °C’de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.

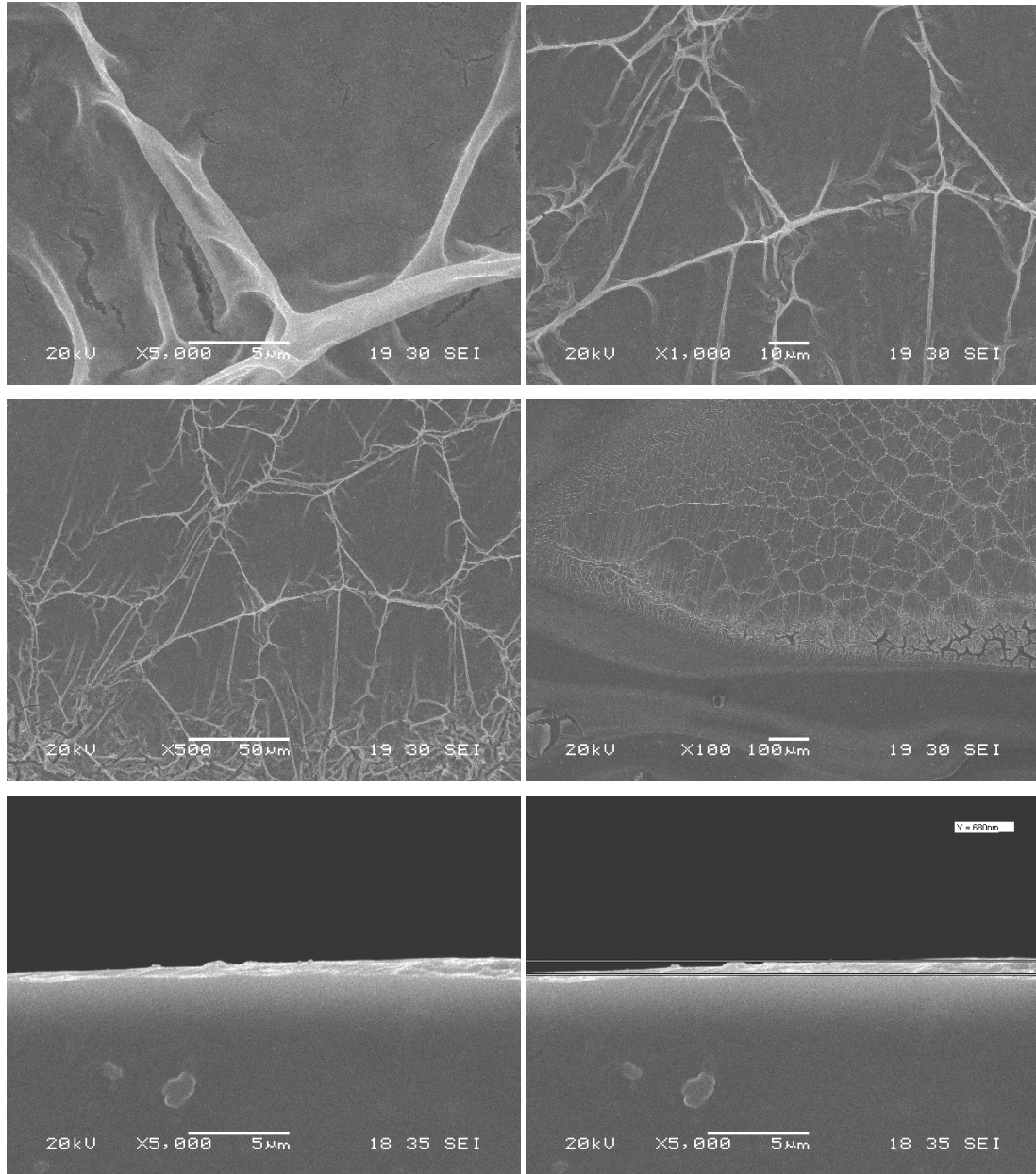


Şekil E2.5. 850°C’de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.

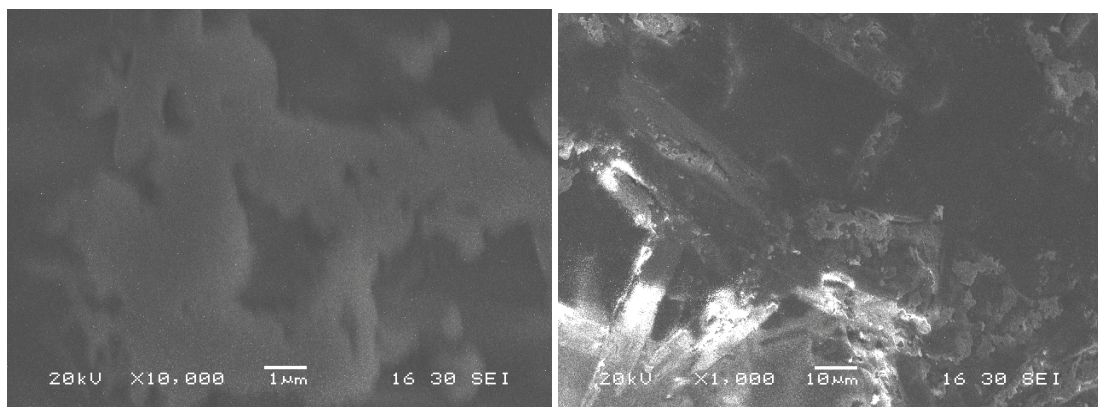


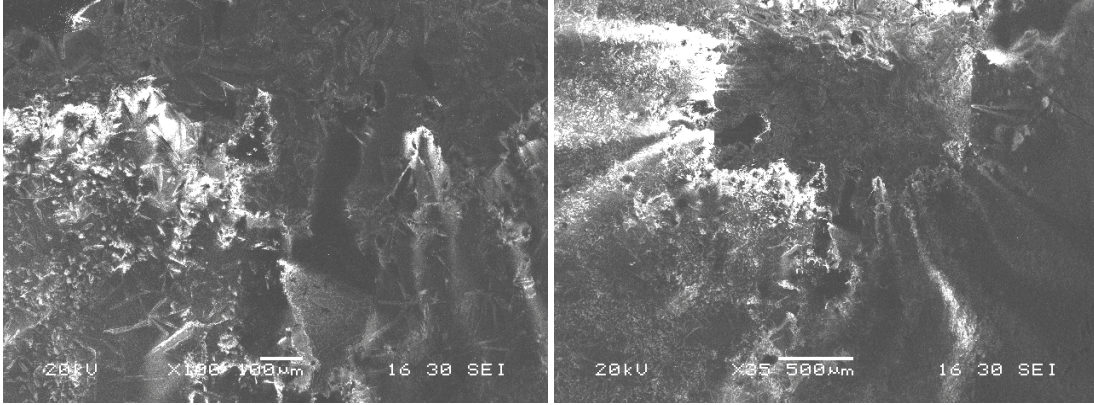
Şekil E2.6. 850 °C'de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



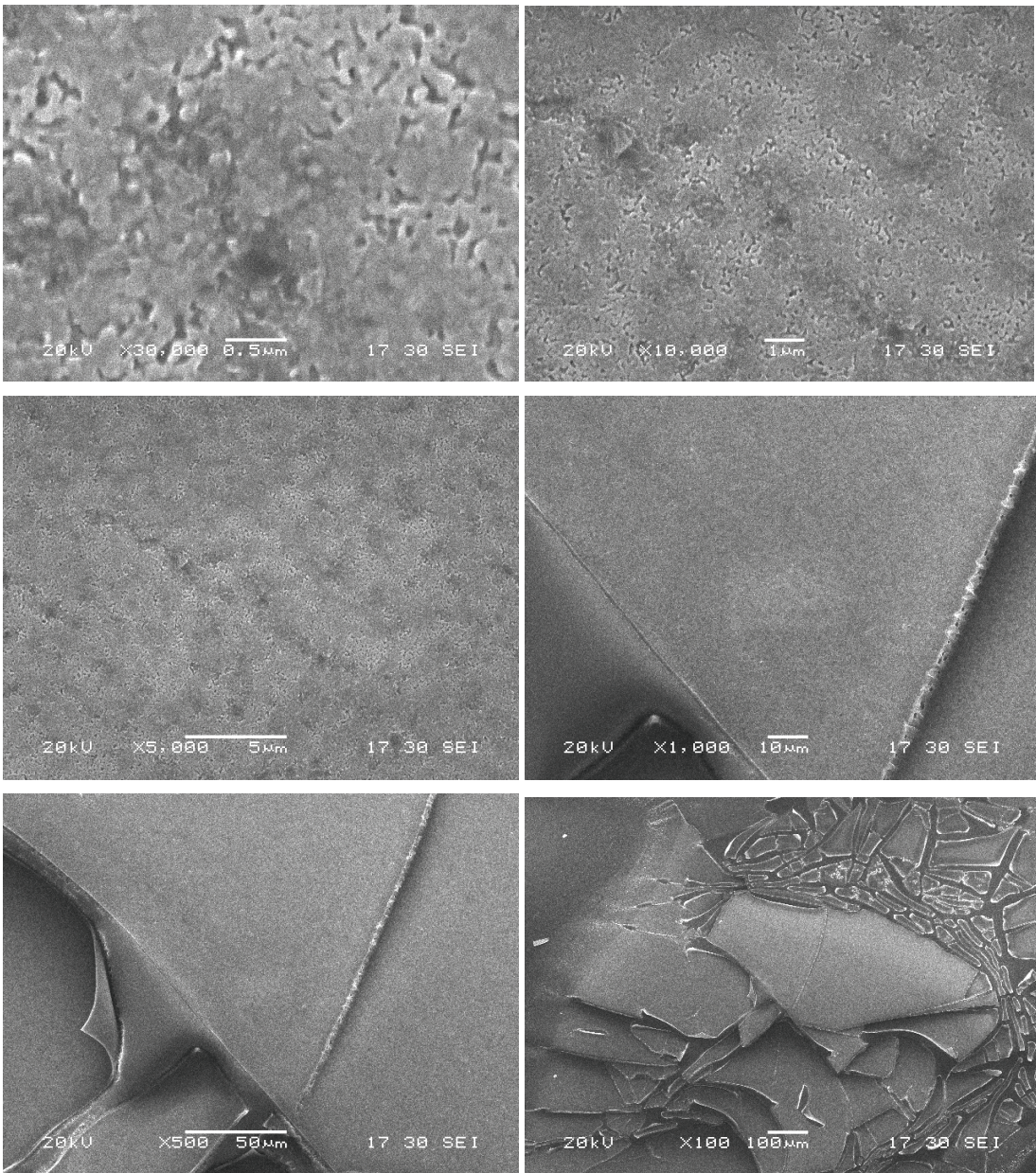


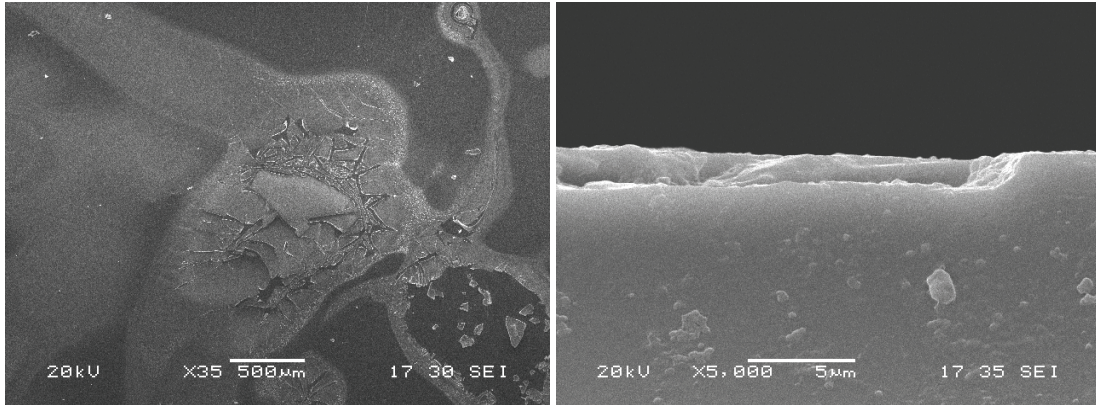
Şekil E2.7. 700 °C'de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



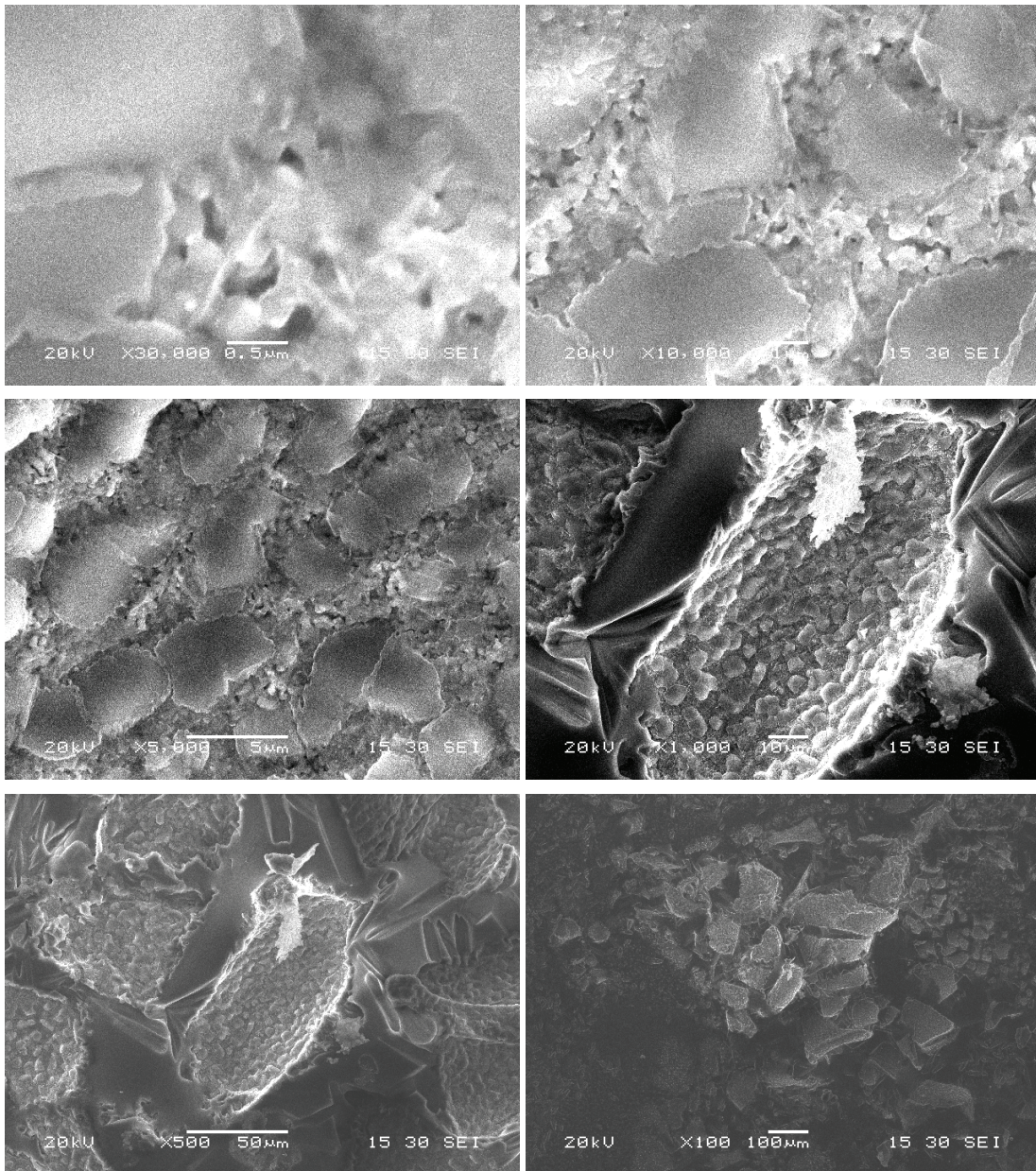


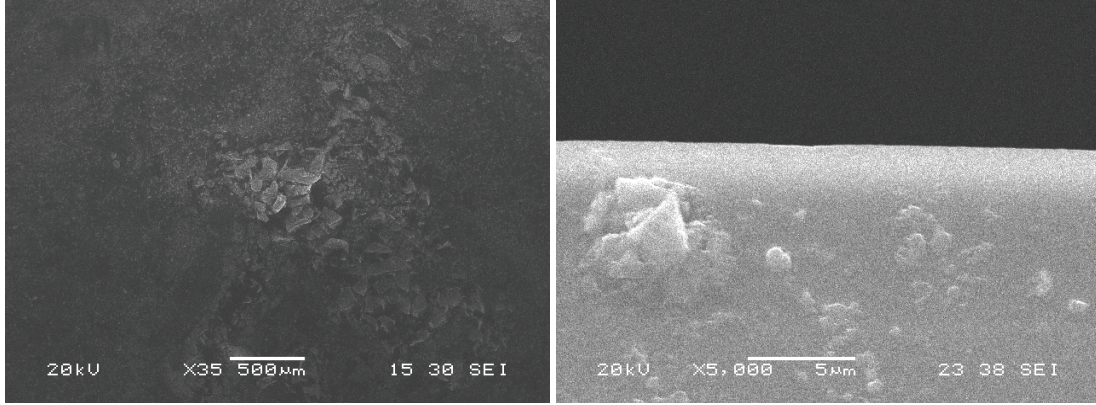
Şekil E2.8. 850 °C’de tavlanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



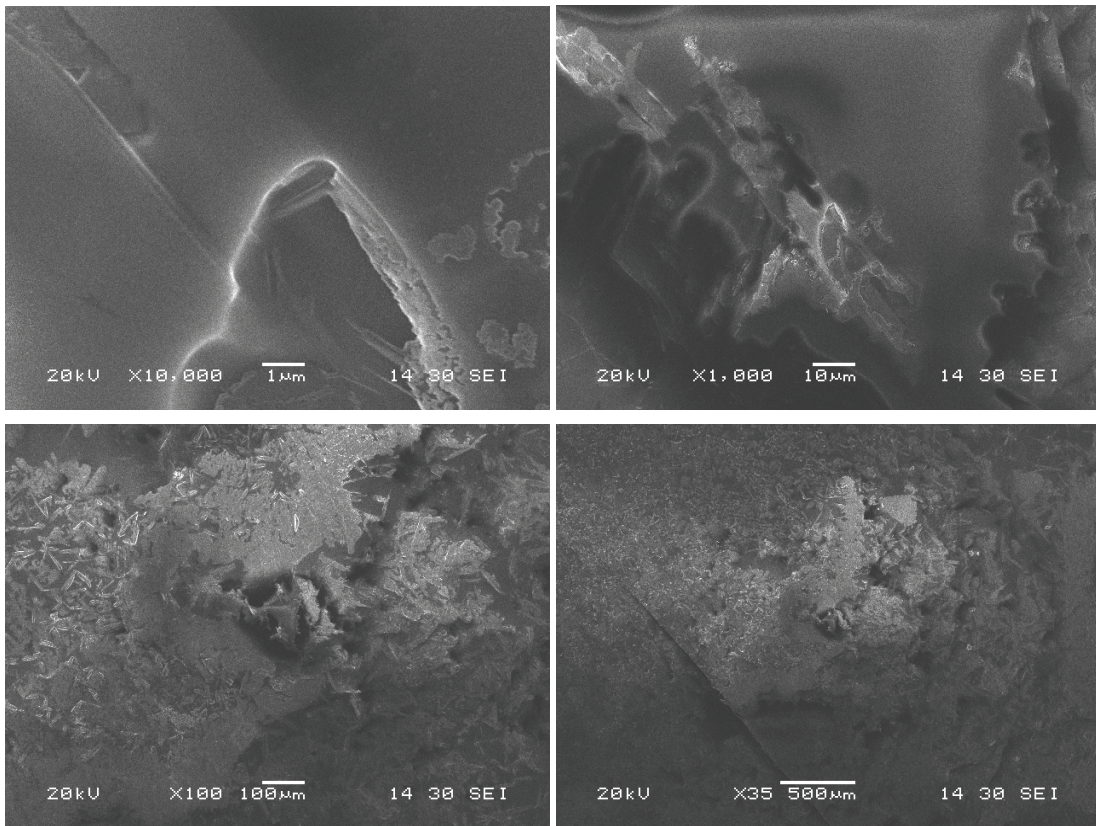


Şekil E2.9. 700 °C’de tavlannmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.

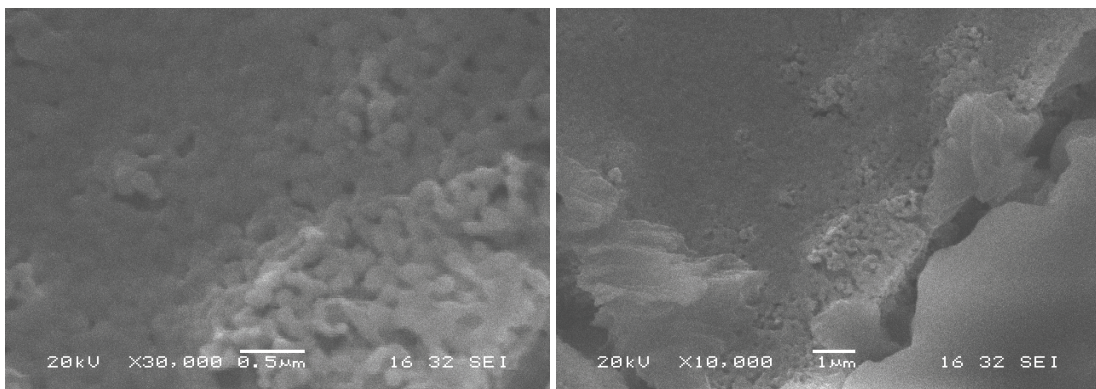


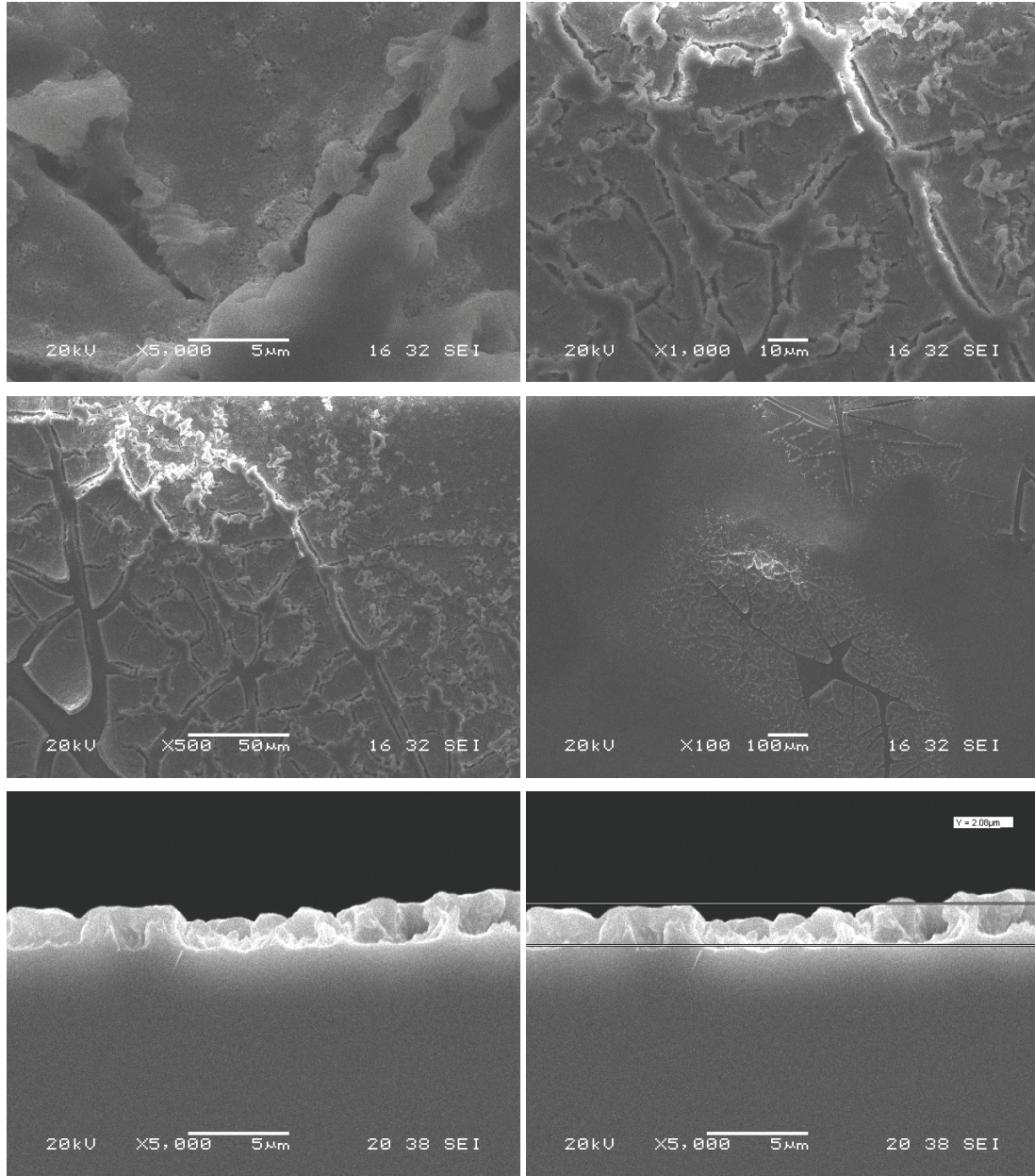


Şekil E2.10. 800 °C'de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.

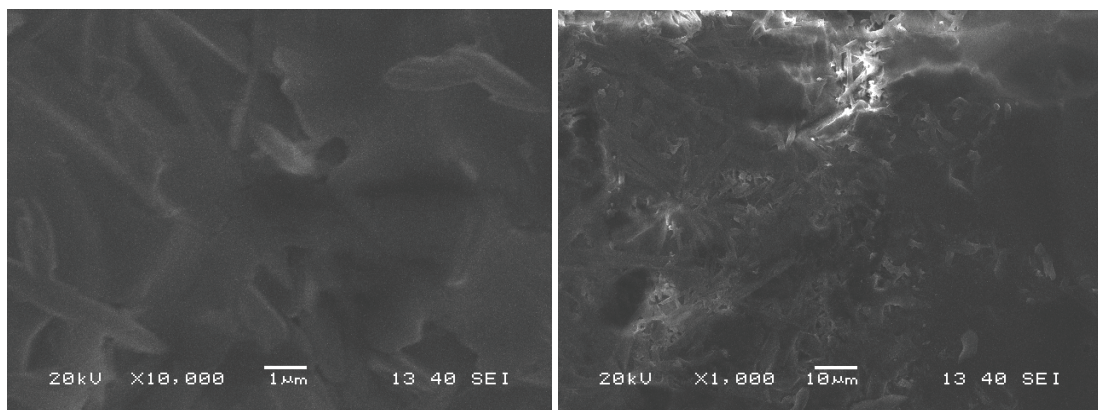


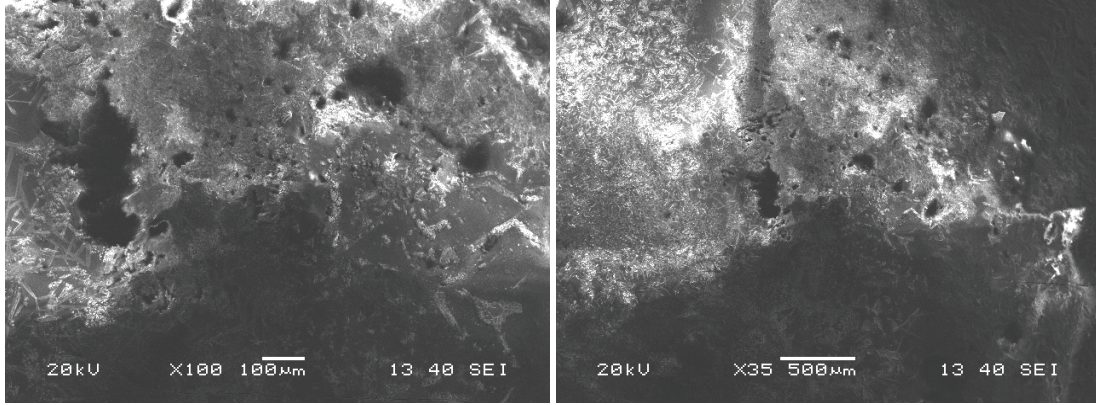
Şekil E2.11. 850 °C'de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



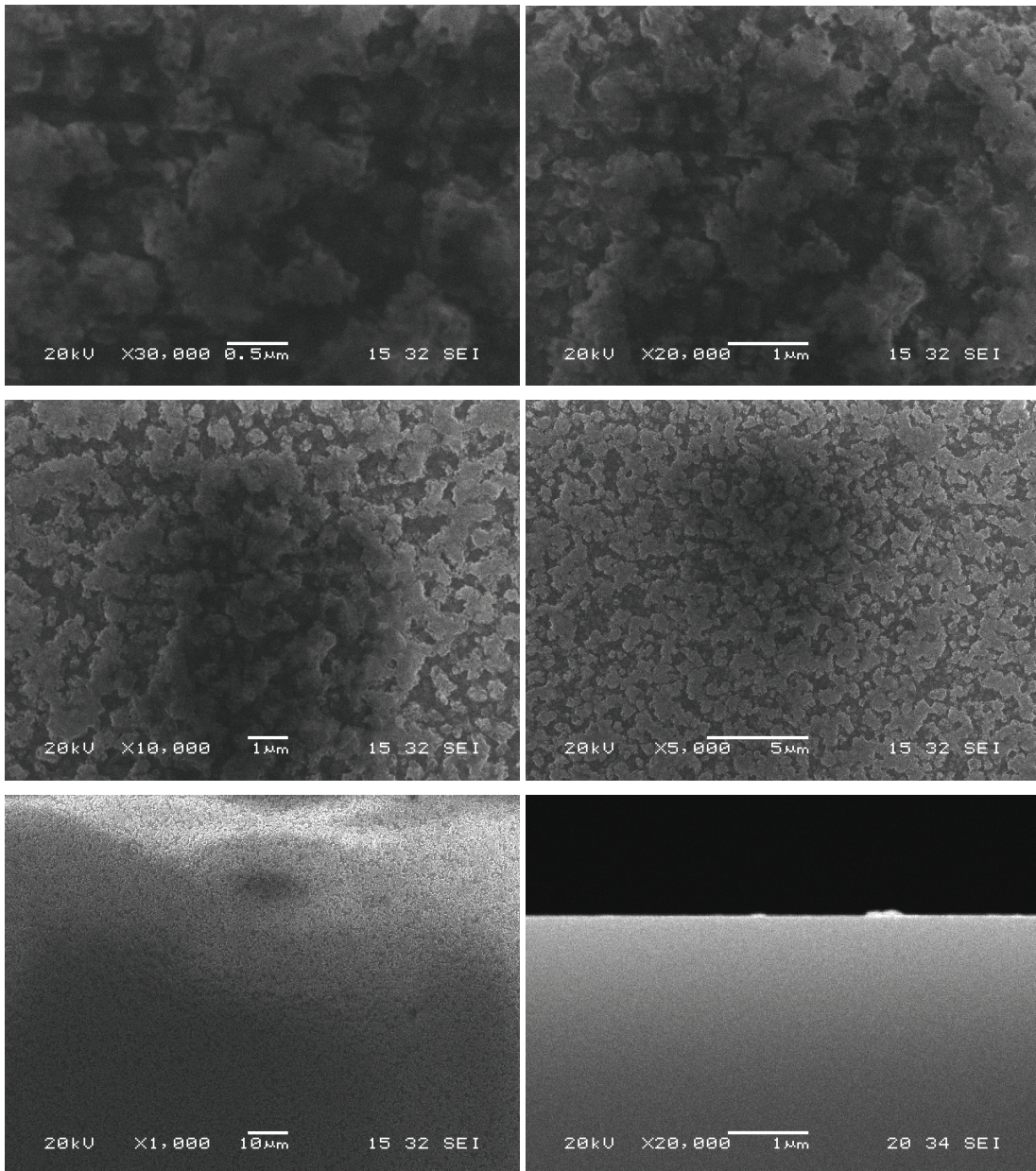


Şekil E2.12. 700 °C’de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.

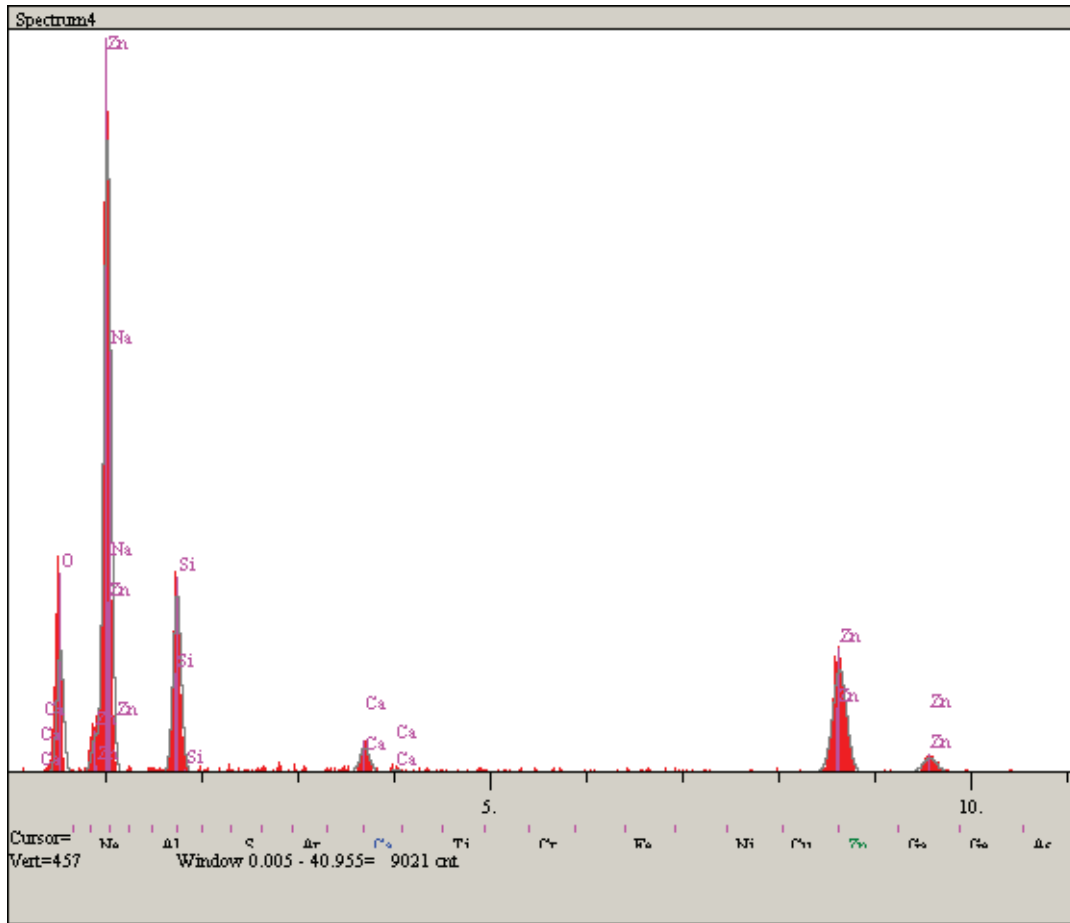




Şekil E2.13. 850 °C'de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.

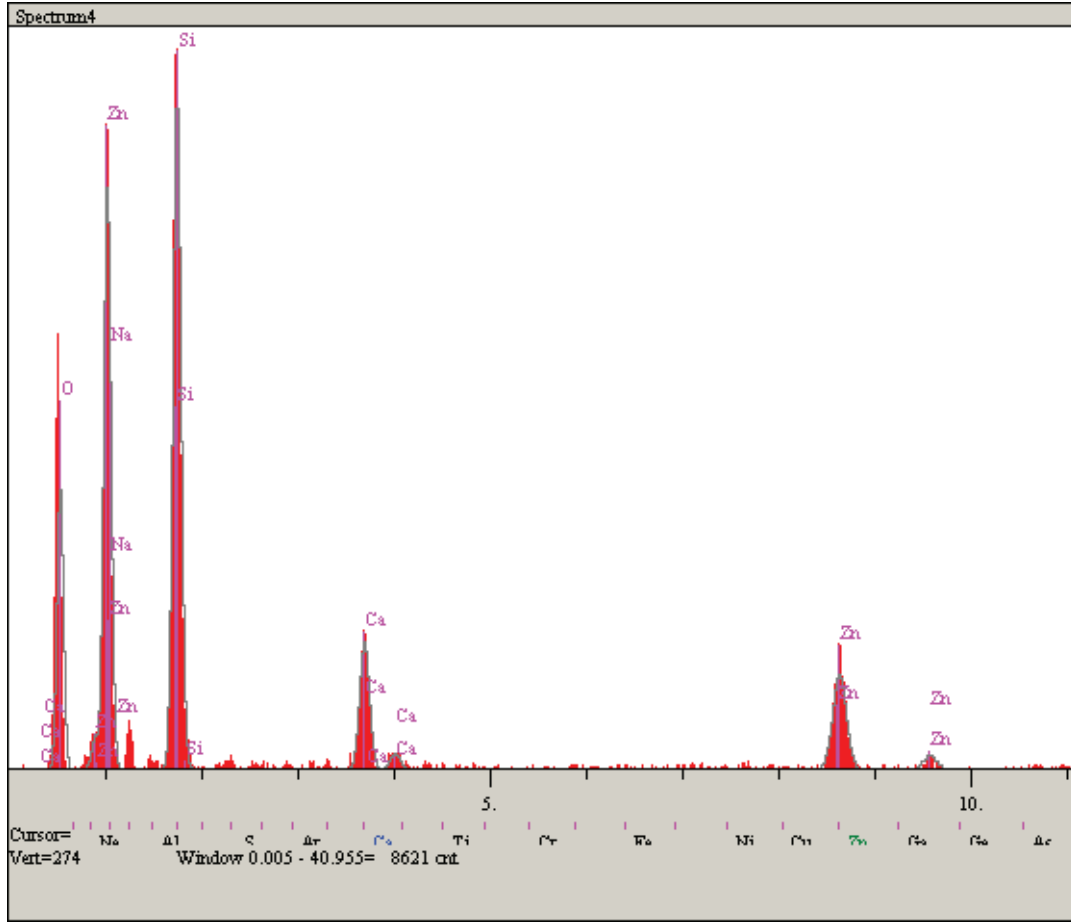


Şekil E2.14. 700 °C'de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin SEM mikroresimleri.



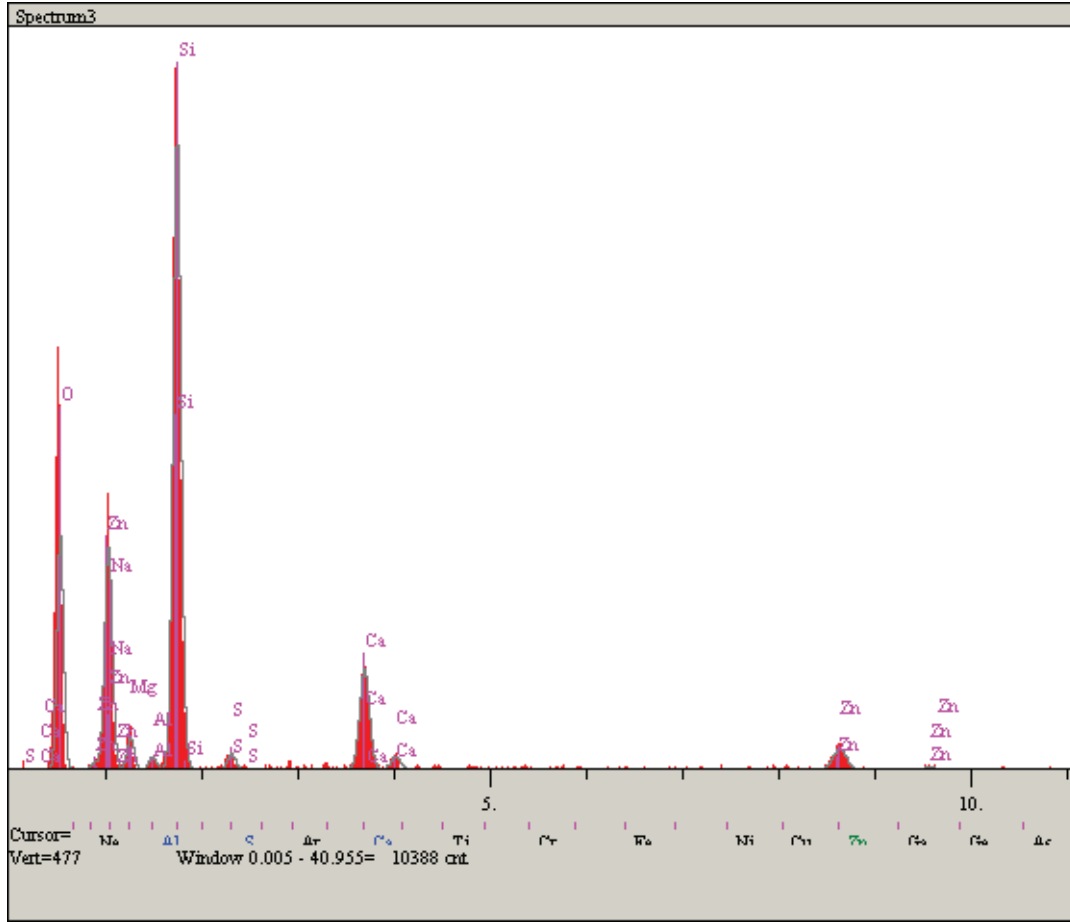
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	64.85	5.092	26.724	wt.%	
Na	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Si	Ka	115.66	6.800	18.720	wt.%	
Ca	Ka	19.67	2.805	2.494	wt.%	
Zn	Ka	112.96	6.720	52.062	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.15. 600°C’de tavllanmış katkısız ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



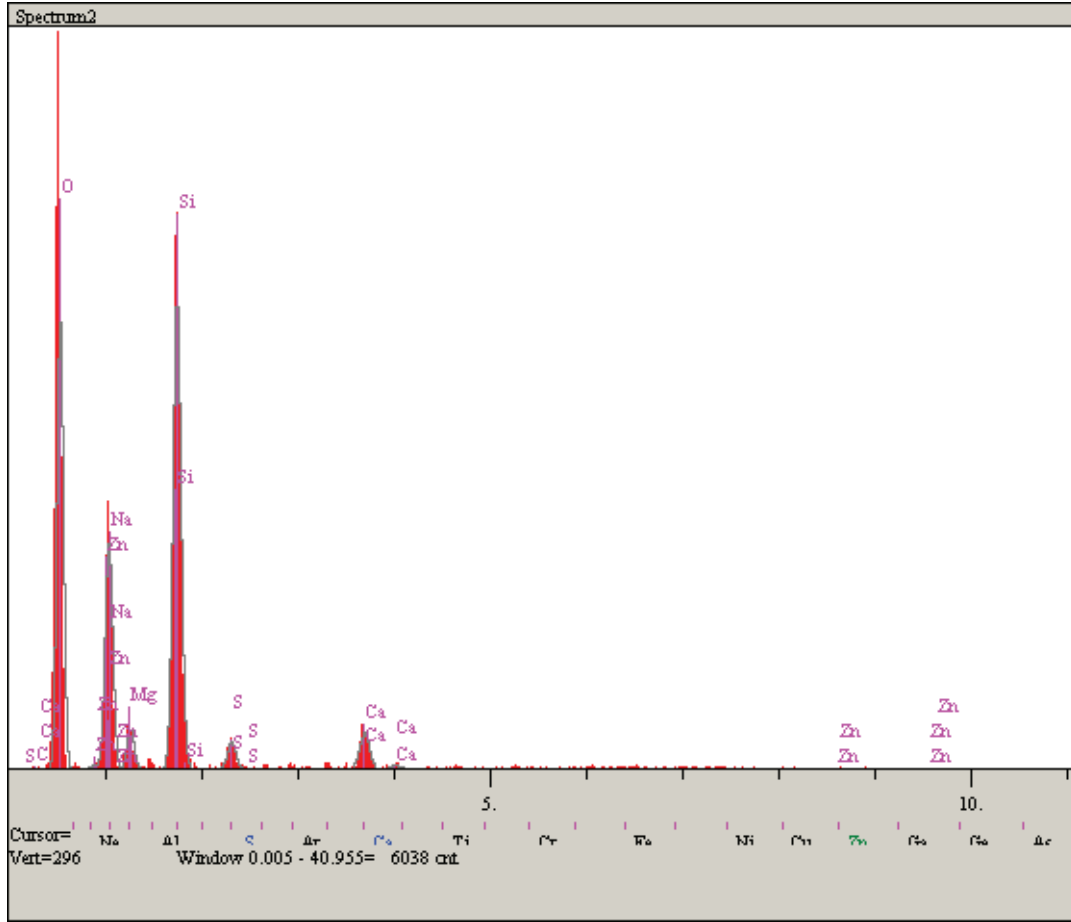
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	88.95	5.964	37.234	wt.%	
Na	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Si	Ka	259.07	10.178	29.948	wt.%	
Ca	Ka	60.37	4.914	6.807	wt.%	
Zn	Ka	62.28	4.991	26.011	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.16. 700°C’de tavlanmış katkısız ZnO ince filmin elemental analiz spektrumu.



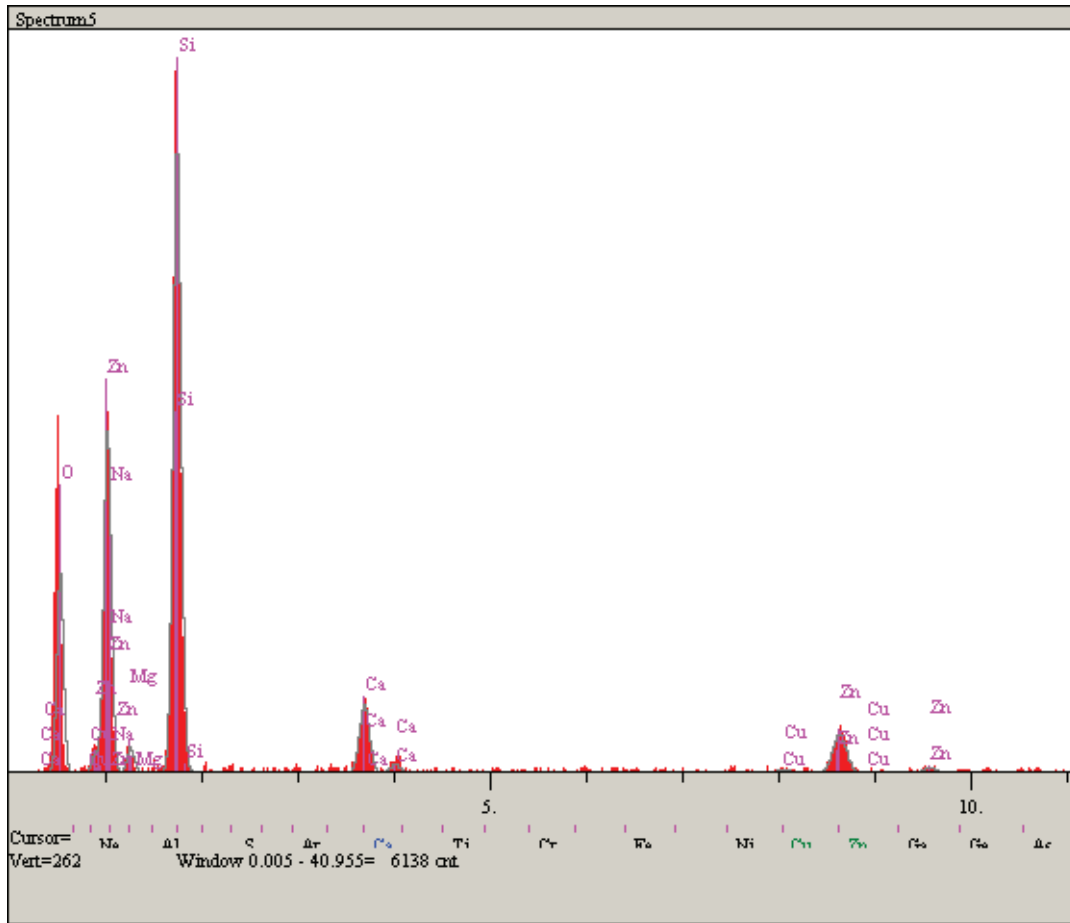
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	129.20	7.188	41.465	wt.%	
Na	Ka	55.96	4.731	7.371	wt.%	
Mg	Ka	19.54	2.795	2.078	wt.%	
Al	Ka	7.74	1.759	0.691	wt.%	
Si	Ka	425.12	13.039	32.898	wt.%	
S	Ka	10.82	2.080	0.971	wt.%	
Ca	Ka	83.10	5.765	7.092	wt.%	
Zn	Ka	23.27	3.050	7.434	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.17. 800°C’de tavlanmış katkısız ZnO ince filmin elemental analiz spektrumu.



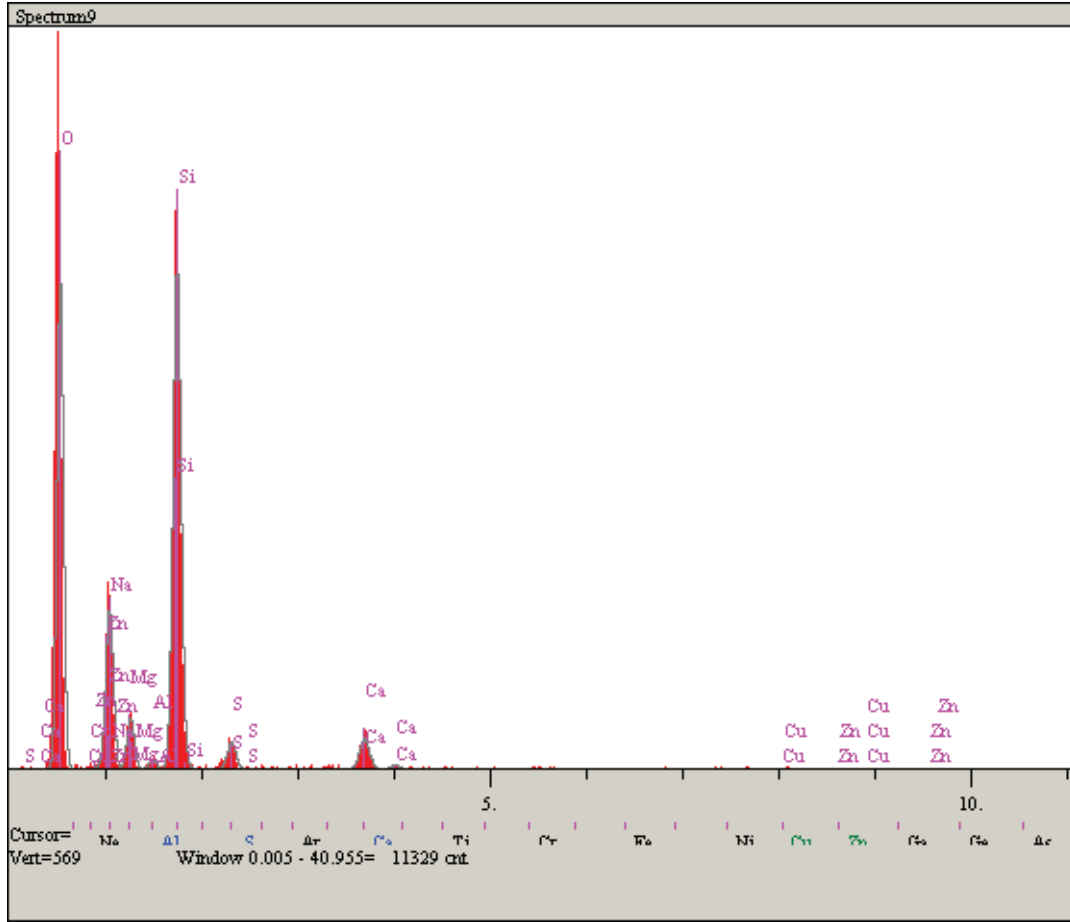
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
O	Ka	154.00	7.848	58.101	wt.%	
Na	Ka	49.83	4.465	10.616	wt.%	
Mg	Ka	15.83	2.517	2.727	wt.%	
Si	Ka	196.20	8.859	24.338	wt.%	
S	Ka	12.05	2.196	1.666	wt.%	
Ca	Ka	18.47	2.718	2.552	wt.%	
Zn	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.18. 850°C’de tavlanmış katkısız ZnO ince filmin elemental analiz spektrumu.



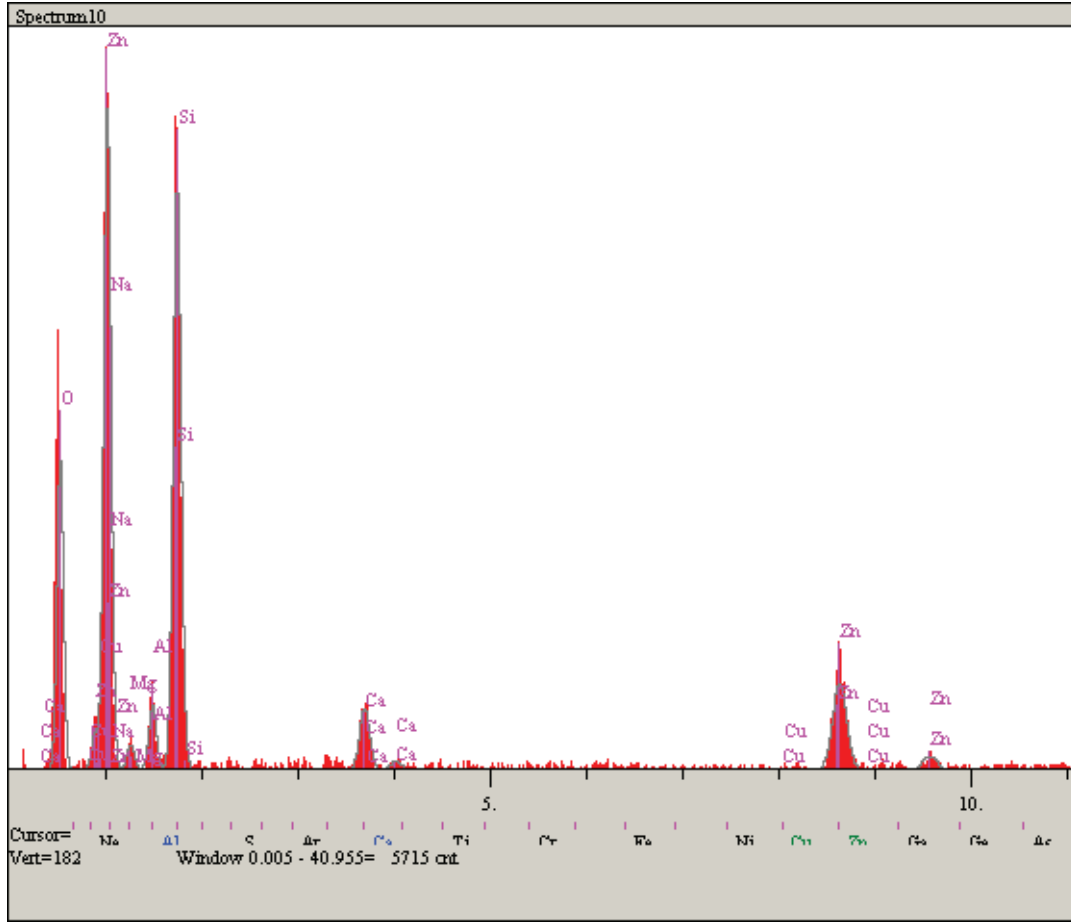
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	60.62	4.922	37.970	wt. %	
Na	Ka	5.19	1.440	1.522	wt. %	
Mg	Ka	8.16	1.805	1.832	wt. %	
Si	Ka	231.79	9.624	37.126	wt. %	
Ca	Ka	30.62	3.498	5.264	wt. %	
Cu	Ka	2.32	0.962	1.194	wt. %	
Zn	Ka	23.77	3.082	15.093	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil E2.19. 600°C’de tavlannmış %1Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



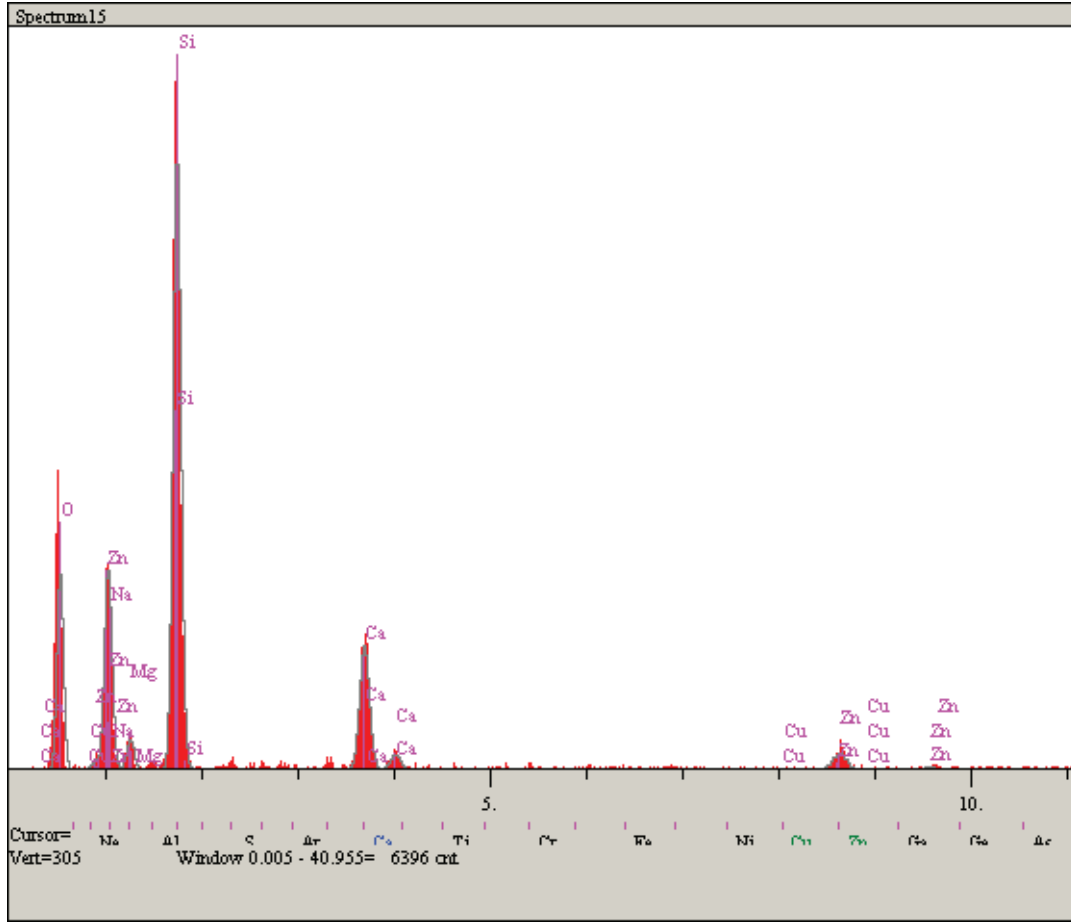
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	320.50	11.319	57.996	wt.%	
Na	Ka	92.97	6.096	9.689	wt.%	
Mg	Ka	38.66	3.931	3.213	wt.%	
Al	Ka	8.16	1.806	0.582	wt.%	
Si	Ka	402.08	12.678	24.518	wt.%	
S	Ka	23.28	3.051	1.578	wt.%	
Ca	Ka	30.42	3.487	2.052	wt.%	
Cu	Ka	1.75	0.837	0.372	wt.%	
Zn	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.20. 850°C'de tavlanmış %1Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



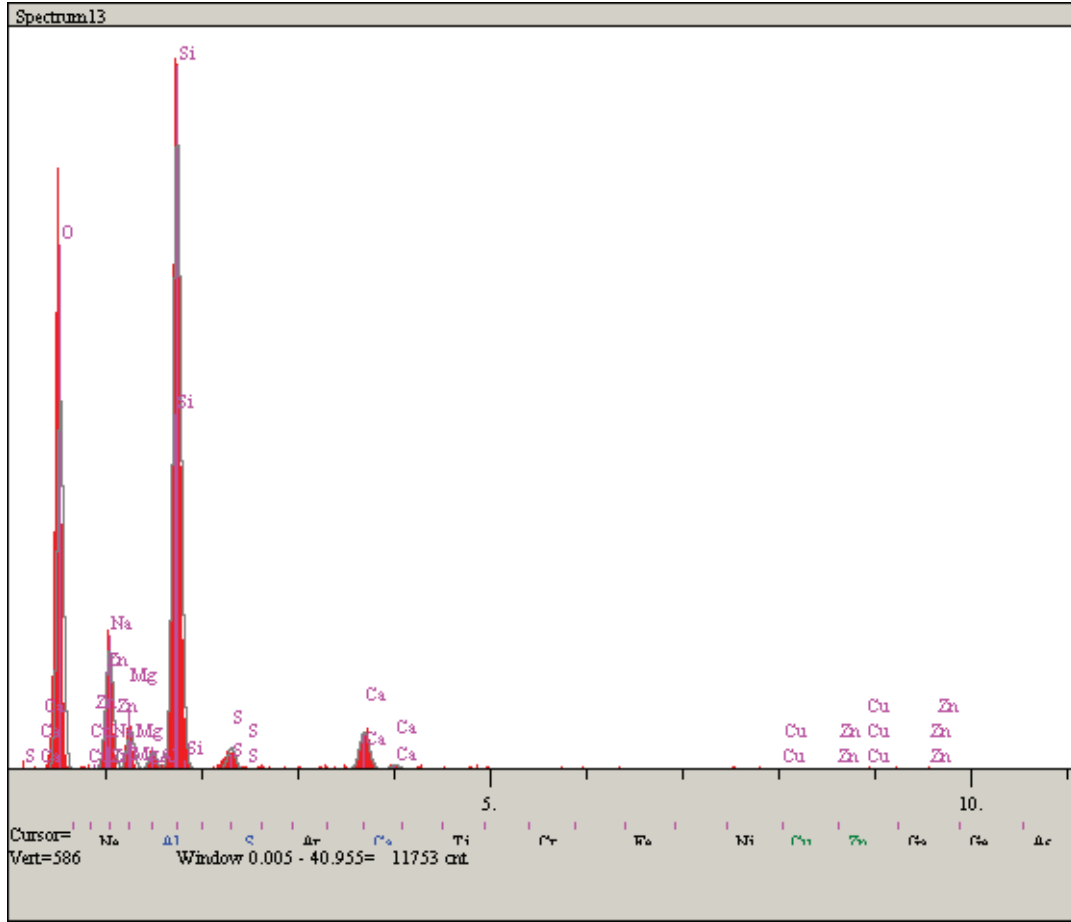
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	65.11	5.102	38.143	wt.%	
Na	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Mg	Ka	6.40	1.600	1.689	wt.%	
Al	Ka	15.62	2.499	3.353	wt.%	
Si	Ka	149.91	7.741	28.151	wt.%	
Ca	Ka	19.94	2.823	3.525	wt.%	
Cu	Ka	0.48	0.439	0.252	wt.%	
Zn	Ka	38.10	3.903	24.886	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.21. 600°C’de tavlannmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



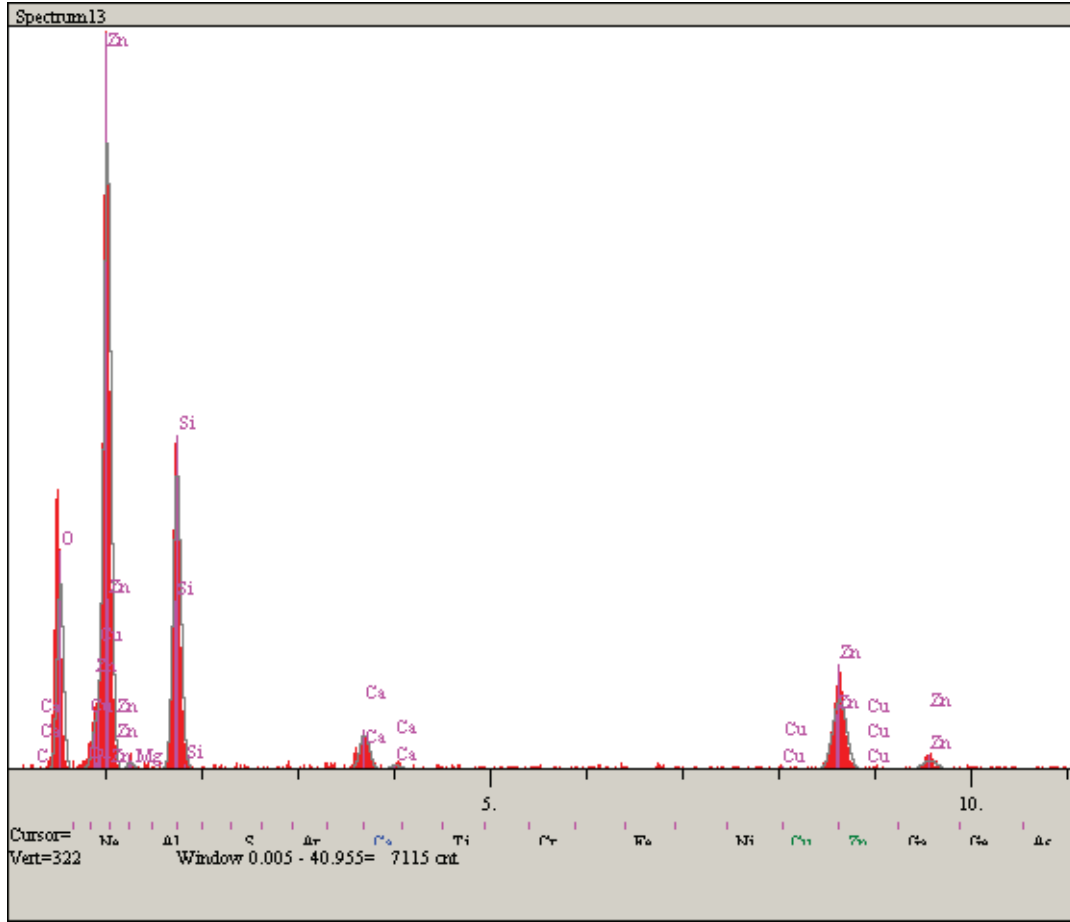
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	69.26	5.263	41.379	wt.%	
Na	Ka	23.88	3.090	5.476	wt.%	
Mg	Ka	12.29	2.216	2.194	wt.%	
Si	Ka	264.73	10.289	34.458	wt.%	
Ca	Ka	65.38	5.113	9.582	wt.%	
Cu	Ka	0.61	0.496	0.277	wt.%	
Zn	Ka	12.04	2.195	6.634	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.22. 700°C'de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



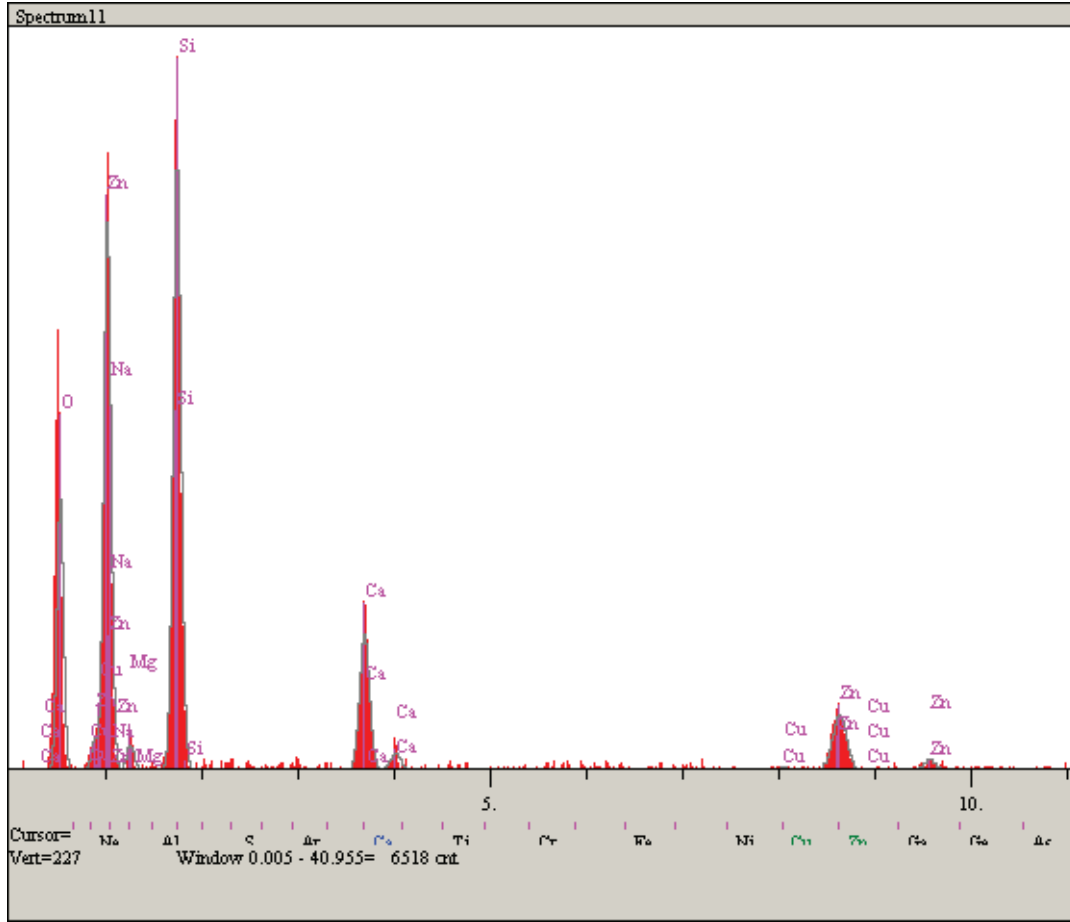
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	250.59	10.009	53.076	wt.%	
Na	Ka	69.60	5.275	7.241	wt.%	
Mg	Ka	29.62	3.441	2.385	wt.%	
Al	Ka	14.72	2.426	1.018	wt.%	
Si	Ka	522.83	14.457	31.690	wt.%	
S	Ka	18.41	2.713	1.336	wt.%	
Ca	Ka	39.02	3.950	2.749	wt.%	
Cu	Ka	1.25	0.706	0.273	wt.%	
Zn	Ka	0.87	0.590	0.232	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.23. 850°C'de tavlannış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



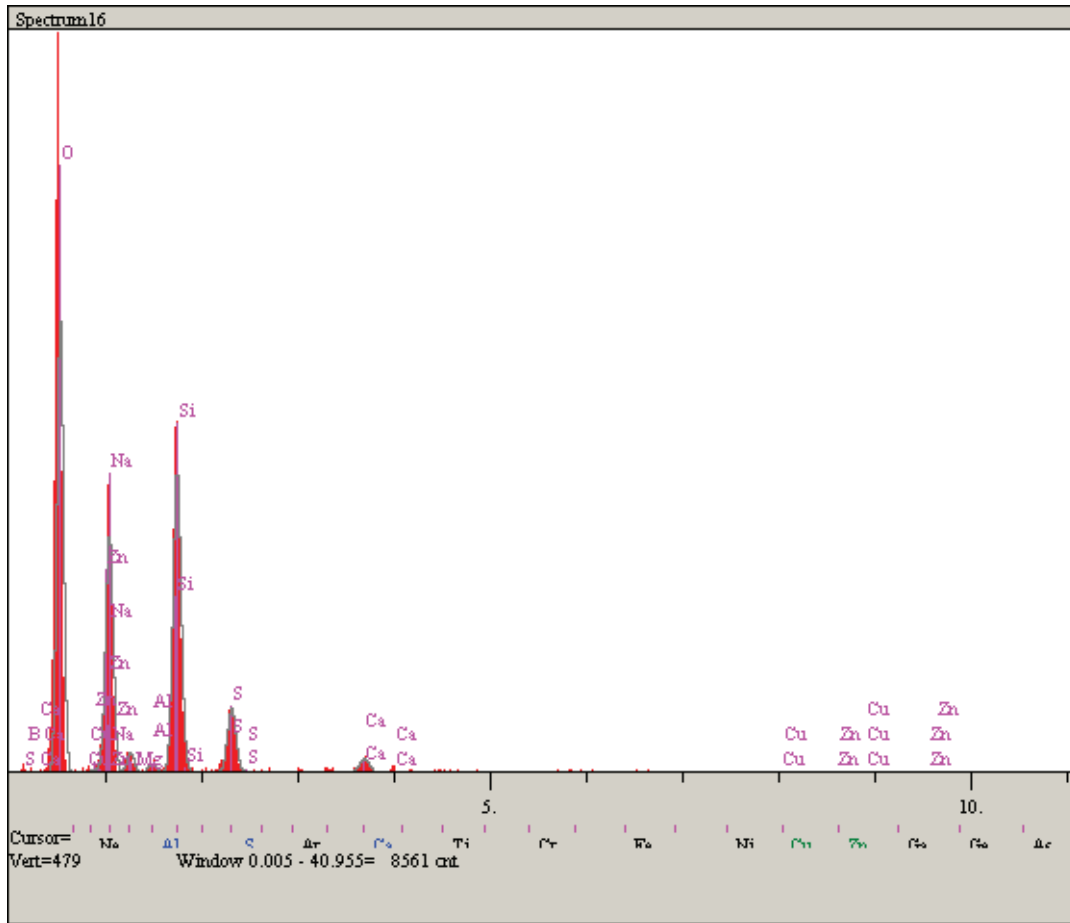
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
O	Ka	69.56	5.273	37.159	wt.%	
Mg	Ka	3.38	1.162	0.949	wt.%	
Si	Ka	134.98	7.346	24.868	wt.%	
Ca	Ka	20.06	2.832	3.317	wt.%	
Cu	Ka	1.06	0.652	0.514	wt.%	
Zn	Ka	54.39	4.663	33.194	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.24. 600°C'de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



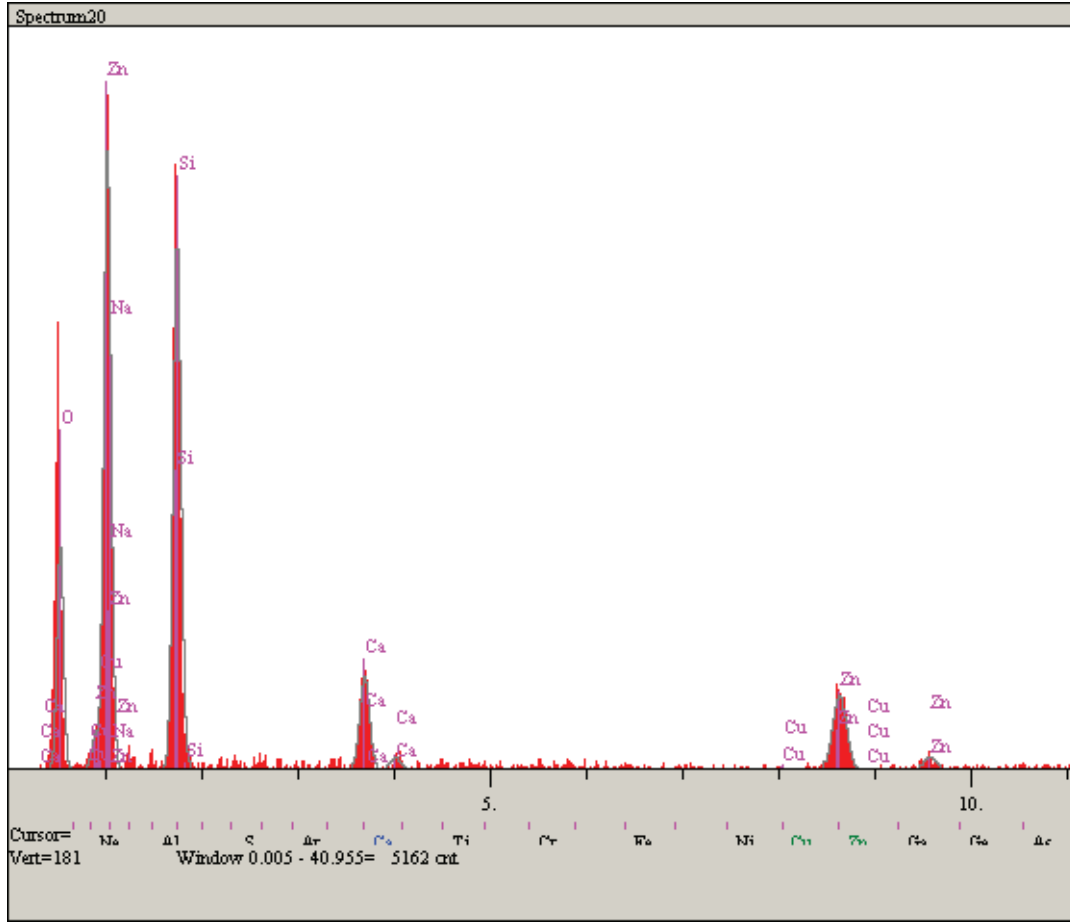
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	71.02	5.328	42.172	wt.%	
Na	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Mg	Ka	7.37	1.716	1.614	wt.%	
Si	Ka	194.68	8.822	29.666	wt.%	
Ca	Ka	52.88	4.598	8.259	wt.%	
Cu	Ka	1.46	0.765	0.694	wt.%	
Zn	Ka	30.06	3.467	17.594	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.25. 700°C'de tavlannmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



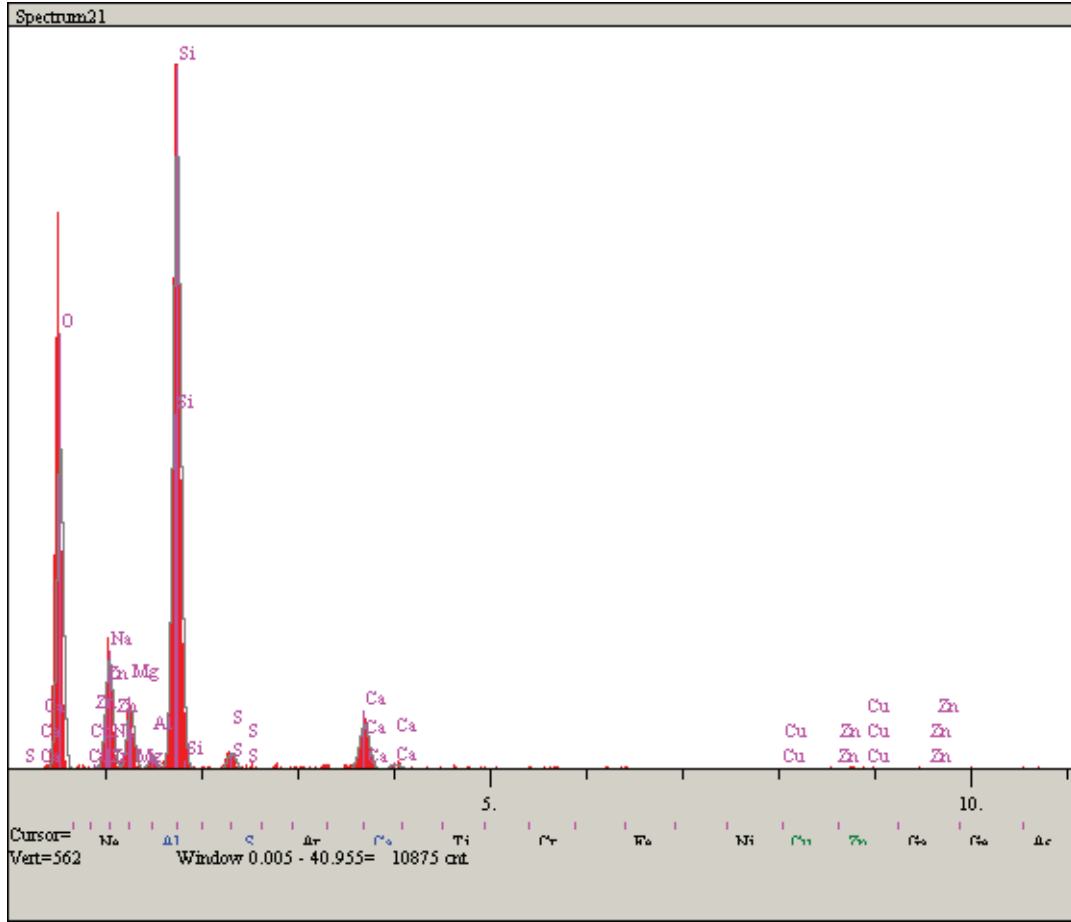
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
O	Ka	250.76	10.011	58.814	wt.%	
Na	Ka	109.77	6.624	15.801	wt.%	
Mg	Ka	12.42	2.228	1.568	wt.%	
Al	Ka	6.17	1.571	0.642	wt.%	
Si	Ka	204.01	9.030	17.913	wt.%	
S	Ka	45.78	4.278	4.174	wt.%	
Ca	Ka	11.59	2.152	1.088	wt.%	
Cu	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Zn	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.26. 850°C'de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



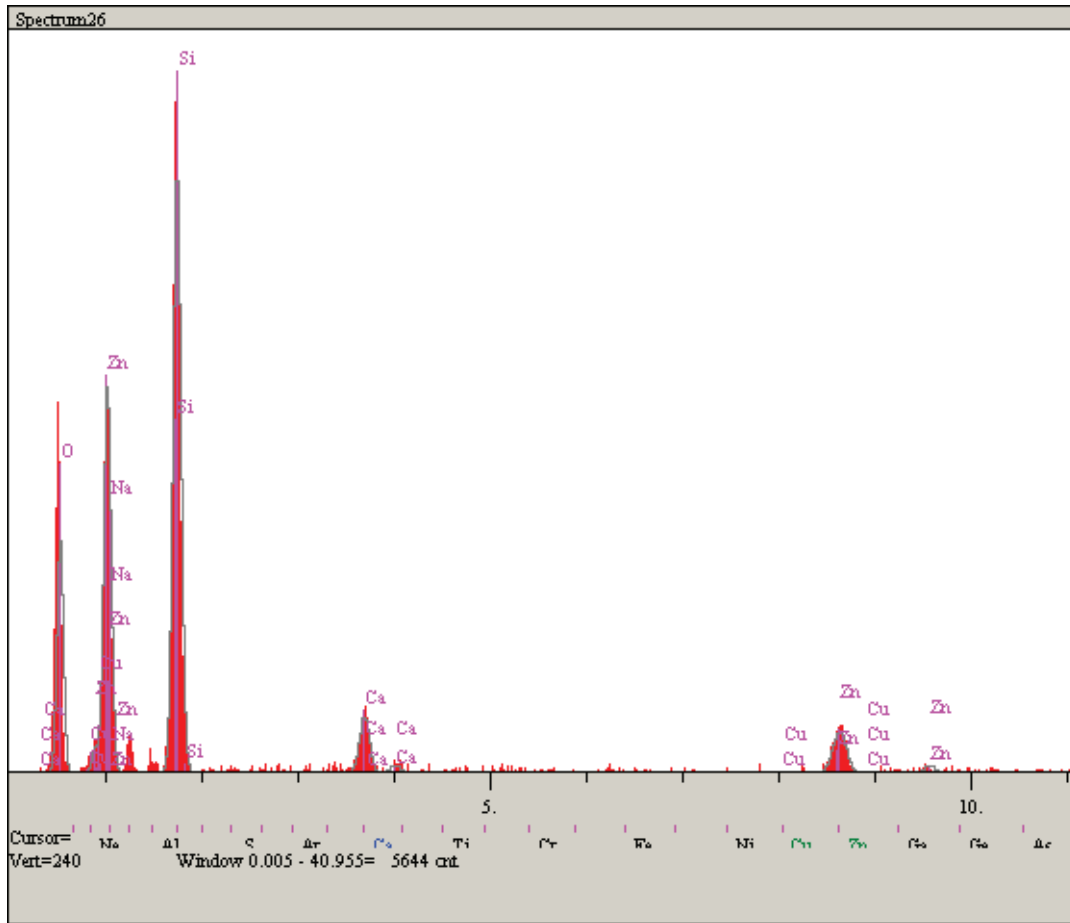
El.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	46.78	4.324	37.603	wt.%	
Na	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Si	Ka	134.94	7.344	30.270	wt.%	
Ca	Ka	29.05	3.408	6.377	wt.%	
Cu	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Zn	Ka	31.68	3.558	25.750	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.27. 700°C'de tavllanmış %5 Cu katkı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



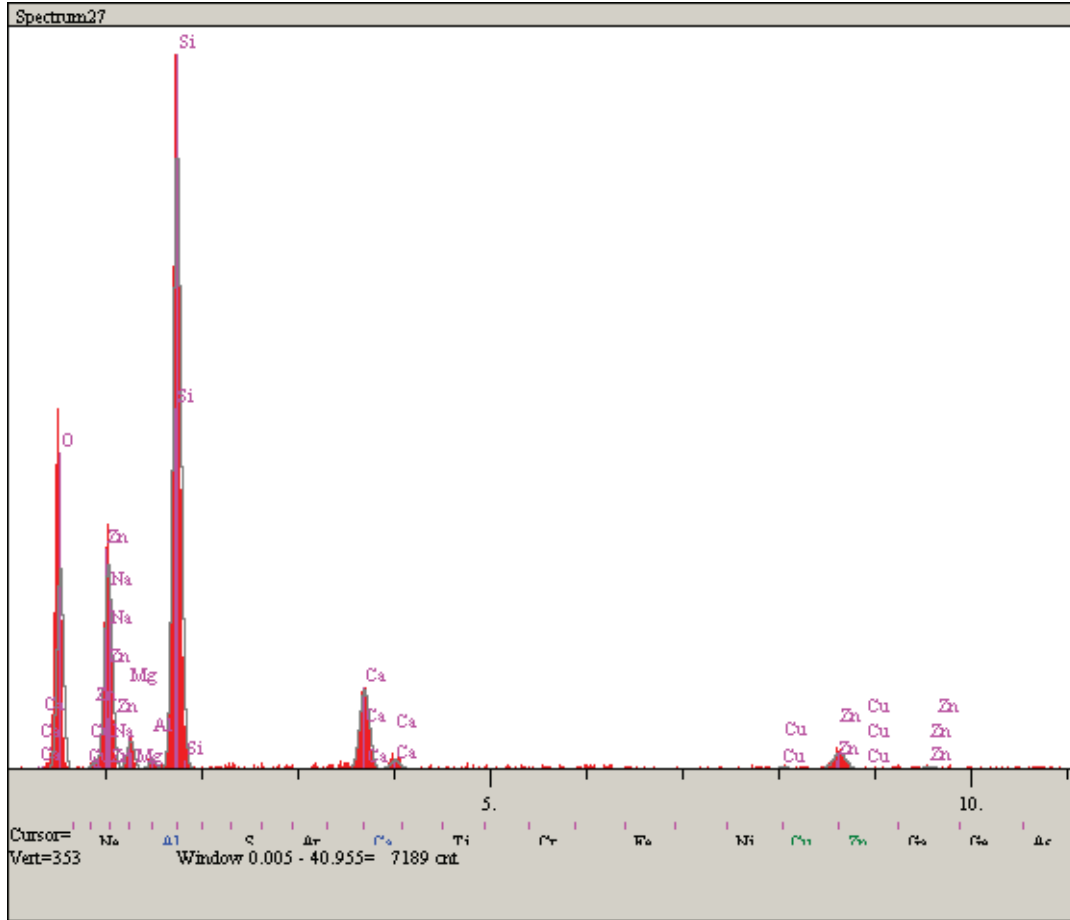
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	209.09	9.142	50.856	wt.%	
Na	Ka	60.64	4.923	6.771	wt.%	
Mg	Ka	45.61	4.270	3.933	wt.%	
Al	Ka	10.26	2.025	0.781	wt.%	
Si	Ka	493.23	14.041	32.805	wt.%	
S	Ka	14.18	2.381	1.137	wt.%	
Ca	Ka	43.82	4.185	3.389	wt.%	
Cu	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Zn	Ka	1.12	0.669	0.326	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.28. 850°C'de tavlannış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



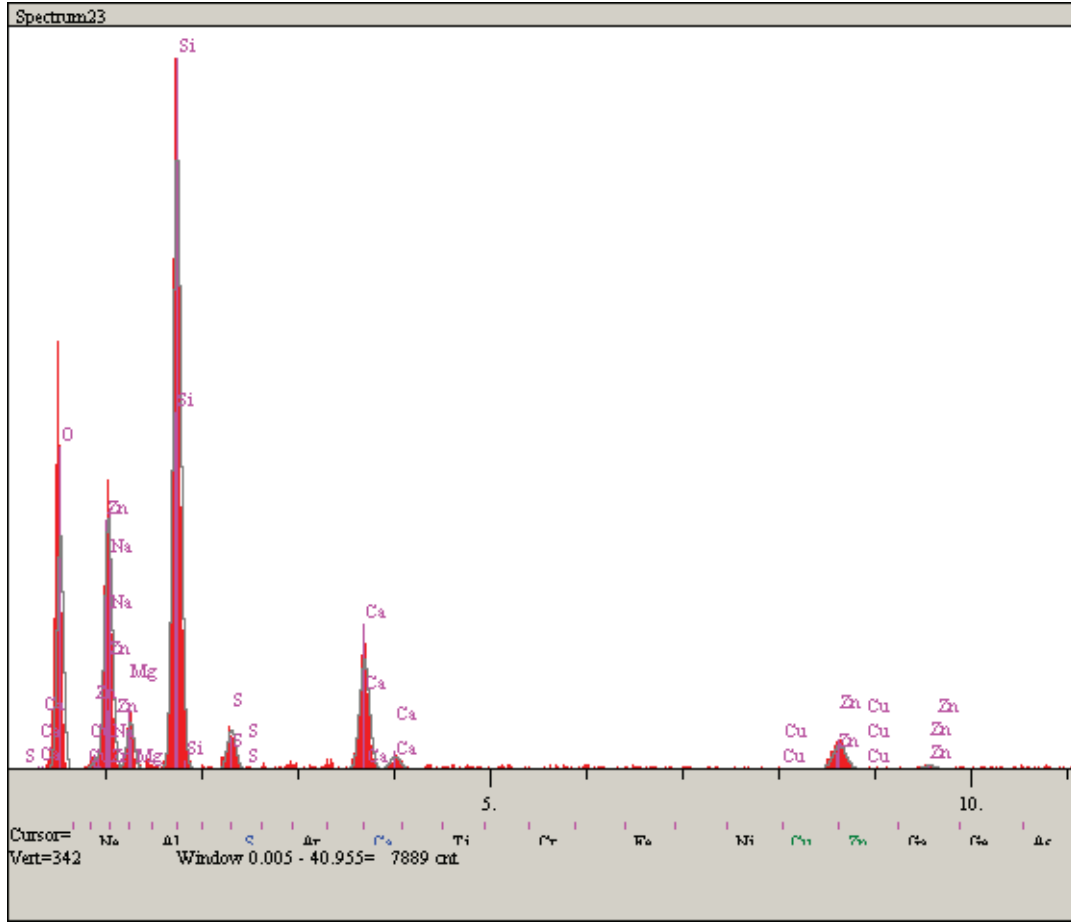
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	64.38	5.073	42.214	wt.%	
Na	Ka	3.15	1.121	1.054	wt.%	
Si	Ka	203.04	9.010	35.826	wt.%	
Ca	Ka	23.47	3.063	4.458	wt.%	
Cu	Ka	0.11	0.213	0.065	wt.%	
Zn	Ka	23.24	3.048	16.385	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.29. 600°C'de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



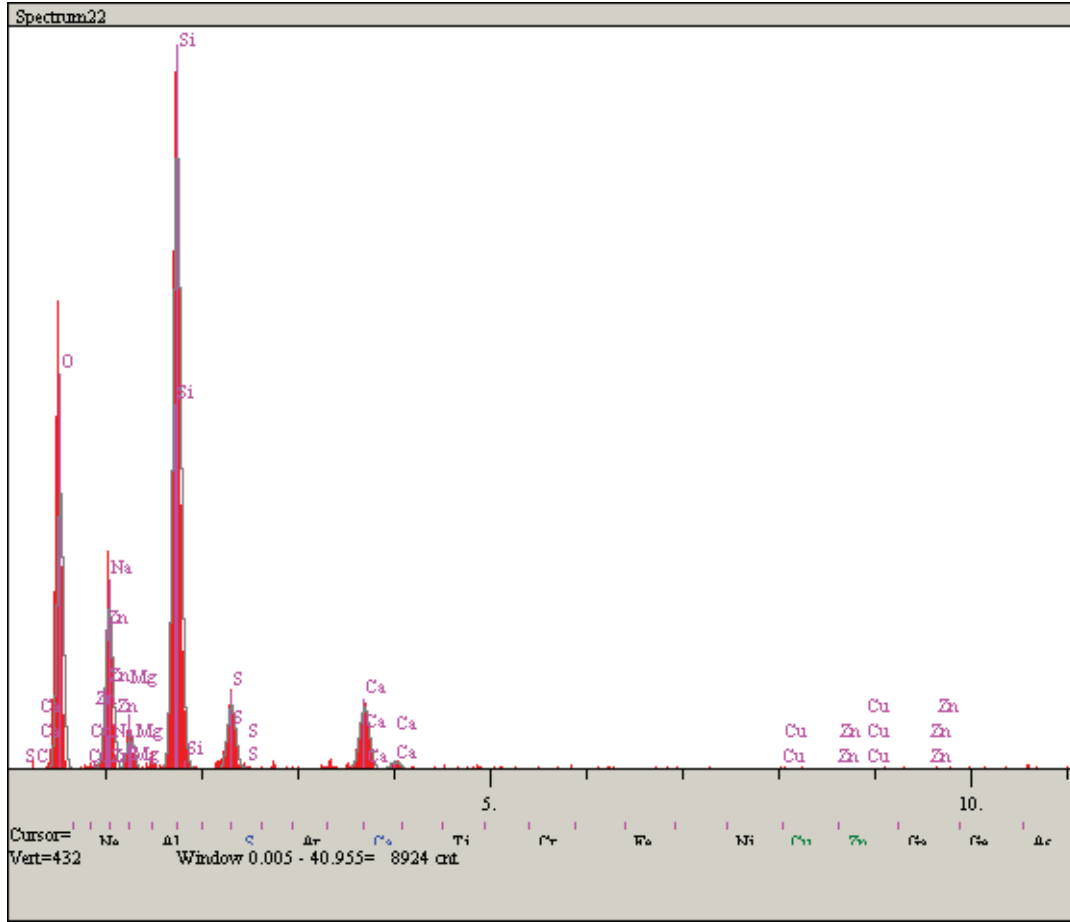
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	82.66	5.749	40.269	wt.%	
Na	Ka	33.22	3.645	6.629	wt.%	
Mg	Ka	13.24	2.301	2.112	wt.%	
Al	Ka	5.00	1.414	0.672	wt.%	
Si	Ka	309.04	11.115	36.211	wt.%	
Ca	Ka	49.05	4.428	6.421	wt.%	
Cu	Ka	1.91	0.874	0.763	wt.%	
Zn	Ka	14.18	2.381	6.923	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.30. 700°C'de tavlannmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



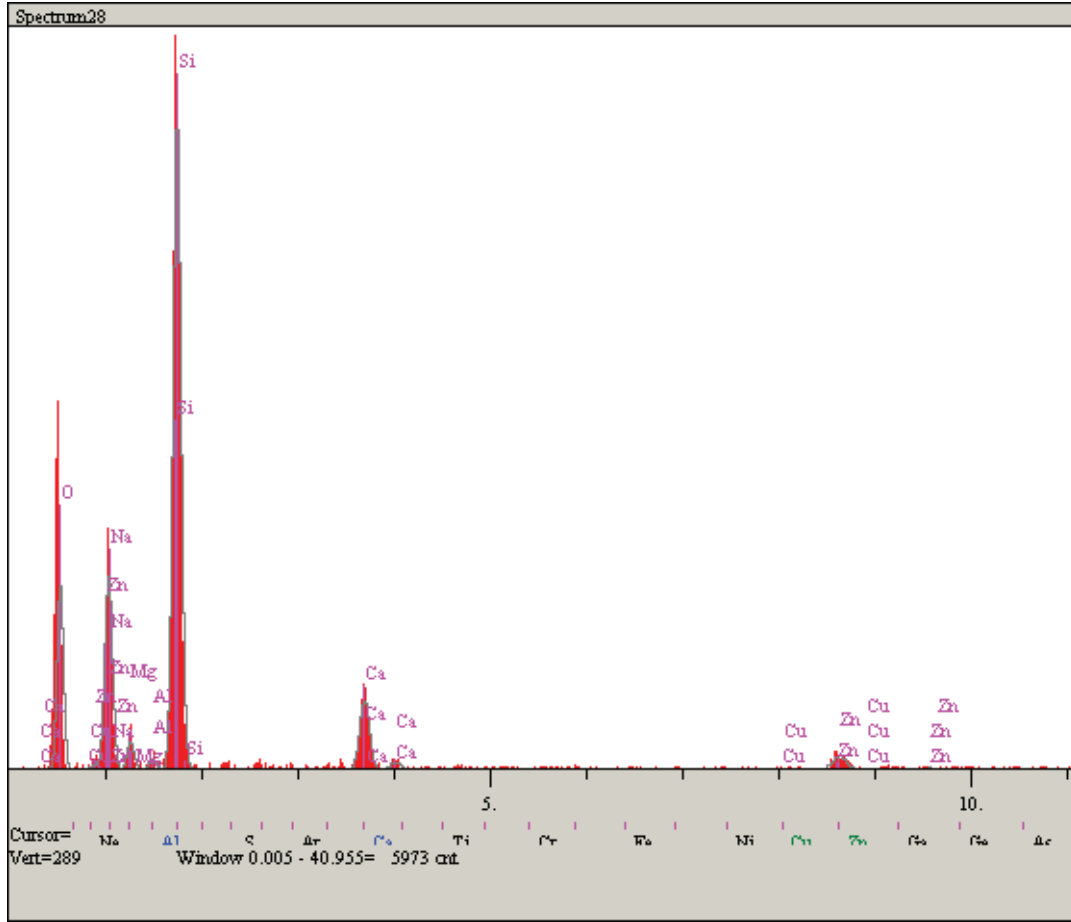
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	92.03	6.065	40.287	wt. %	
Na	Ka	40.59	4.028	7.220	wt. %	
Mg	Ka	21.47	2.929	3.089	wt. %	
Si	Ka	298.39	10.921	31.135	wt. %	
S	Ka	20.12	2.836	2.387	wt. %	
Ca	Ka	64.78	5.089	7.386	wt. %	
Cu	Ka	0.27	0.326	0.092	wt. %	
Zn	Ka	19.73	2.808	8.402	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil E2.31. 800°C'de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



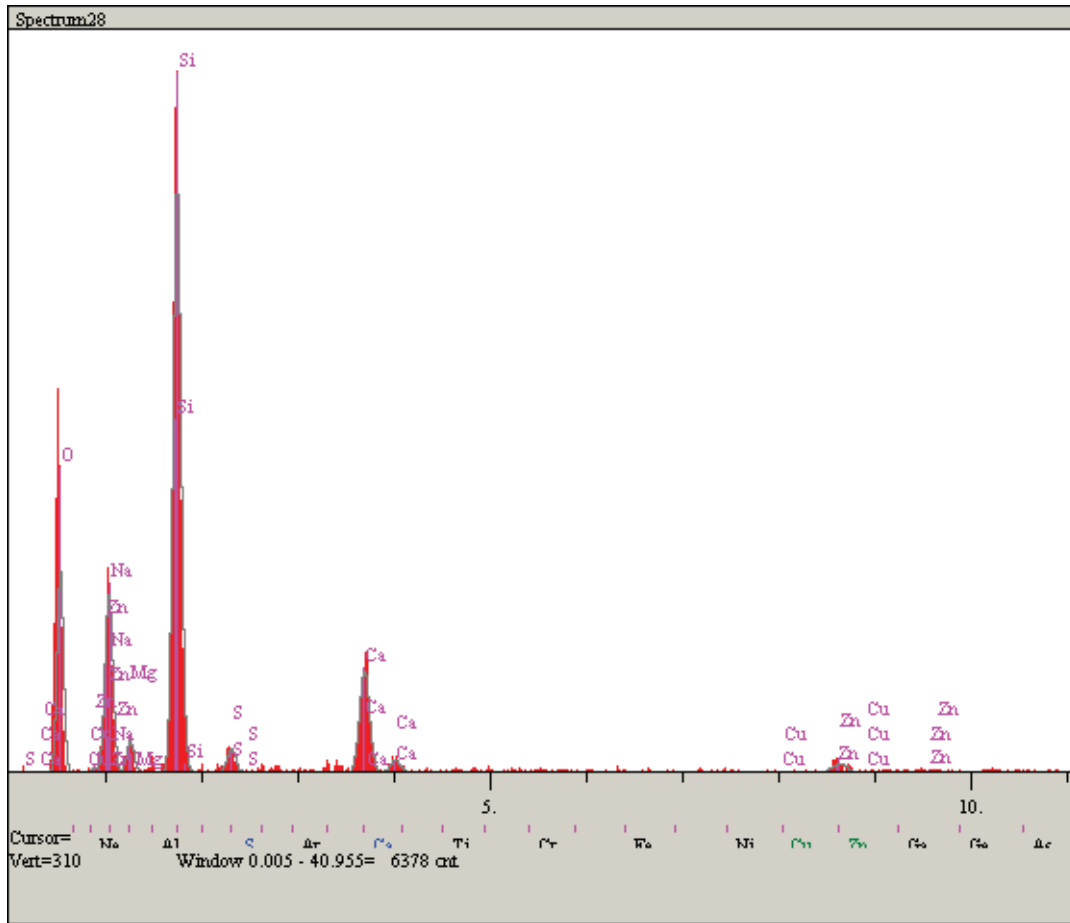
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
O	Ka	138.26	7.435	47.264	wt. %	
Na	Ka	64.91	5.094	9.166	wt. %	
Mg	Ka	19.88	2.819	2.258	wt. %	
Si	Ka	377.20	12.280	31.596	wt. %	
S	Ka	41.90	4.093	4.209	wt. %	
Ca	Ka	46.98	4.334	4.650	wt. %	
Cu	Ka	2.15	0.926	0.655	wt. %	
Zn	Ka	0.55	0.467	0.203	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil E2.32. 850°C'de tavlannış %7 Cu katkı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



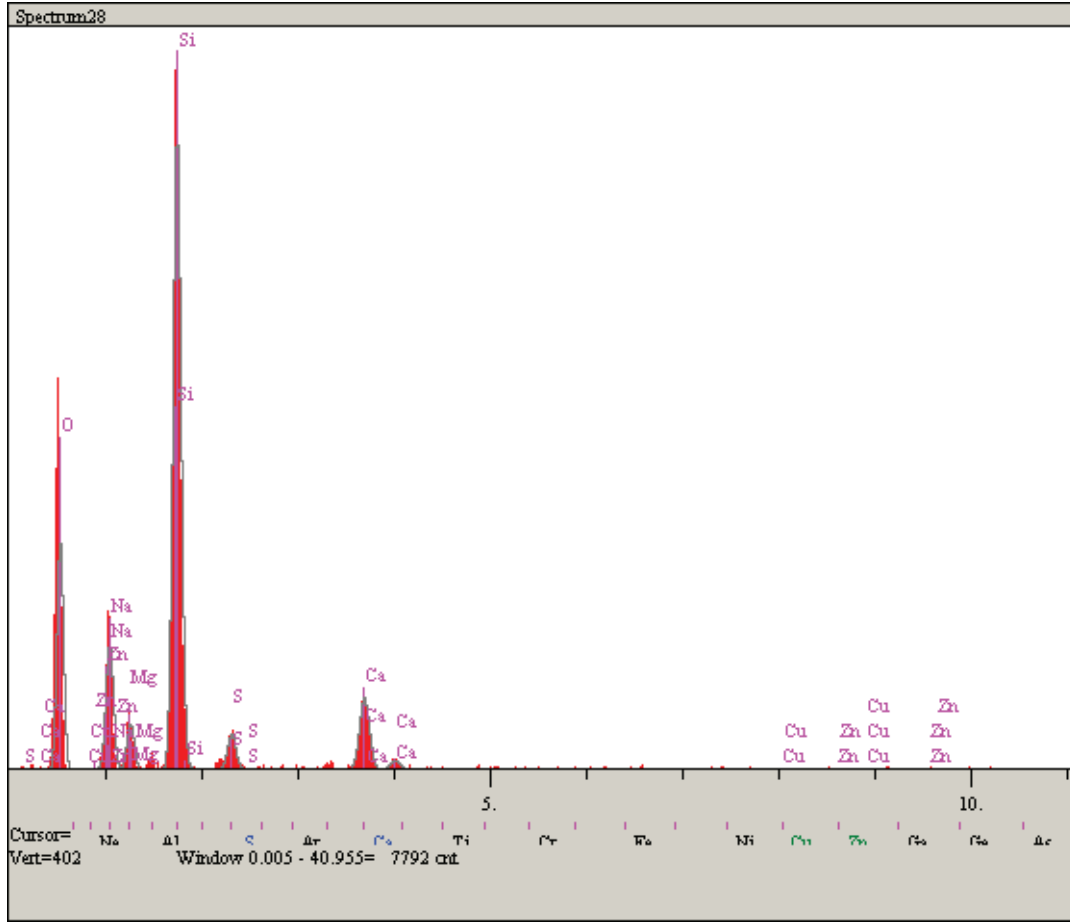
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	61.32	4.952	38.398	wt. %	
Na	Ka	32.25	3.591	7.814	wt. %	
Mg	Ka	10.78	2.076	2.133	wt. %	
Al	Ka	4.13	1.284	0.691	wt. %	
Si	Ka	264.14	10.278	38.789	wt. %	
Ca	Ka	35.34	3.759	5.916	wt. %	
Cu	Ka	0.74	0.545	0.378	wt. %	
Zn	Ka	9.46	1.945	5.882	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil E2.33. 700°C'de tavlannmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



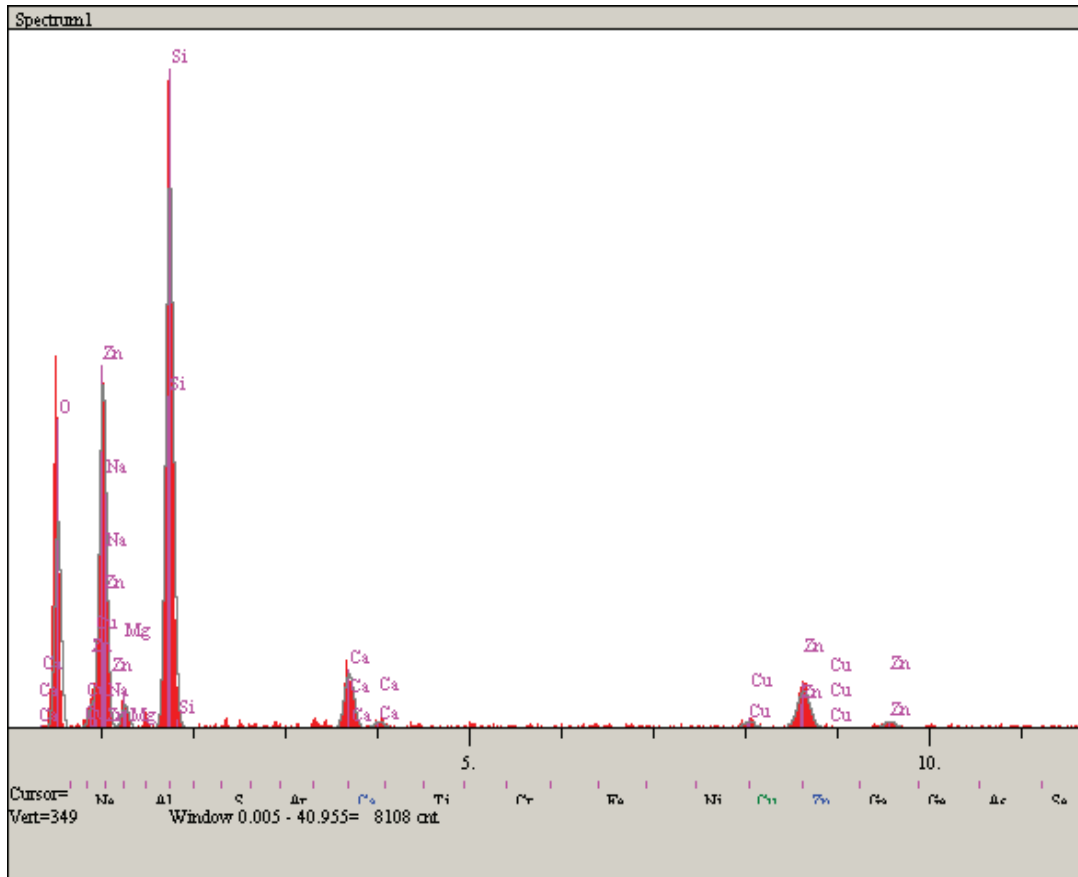
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	72.14	5.369	41.559	wt.%	
Na	Ka	40.05	4.000	8.741	wt.%	
Mg	Ka	12.48	2.233	2.218	wt.%	
Si	Ka	256.35	10.121	33.179	wt.%	
S	Ka	11.14	2.110	1.706	wt.%	
Ca	Ka	54.68	4.674	8.051	wt.%	
Cu	Ka	0.77	0.556	0.350	wt.%	
Zn	Ka	7.60	1.743	4.196	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.34. 800°C'de tavlannmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



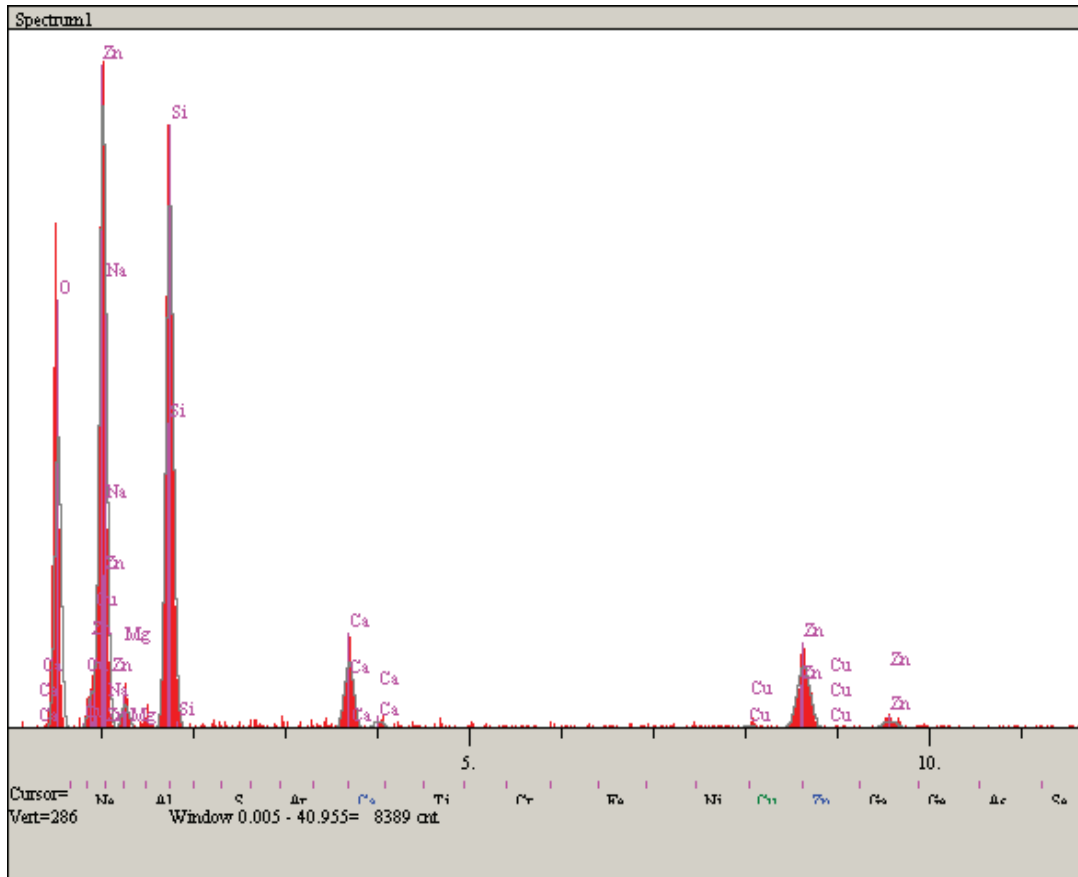
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	105.88	6.505	44.407	wt.%	
Na	Ka	53.04	4.604	8.526	wt.%	
Mg	Ka	24.19	3.109	3.120	wt.%	
Si	Ka	357.88	11.960	34.781	wt.%	
S	Ka	21.21	2.912	2.531	wt.%	
Ca	Ka	49.61	4.453	5.716	wt.%	
Cu	Ka	0.64	0.504	0.225	wt.%	
Zn	Ka	1.61	0.803	0.696	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.35. 850°C'de tavlannmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



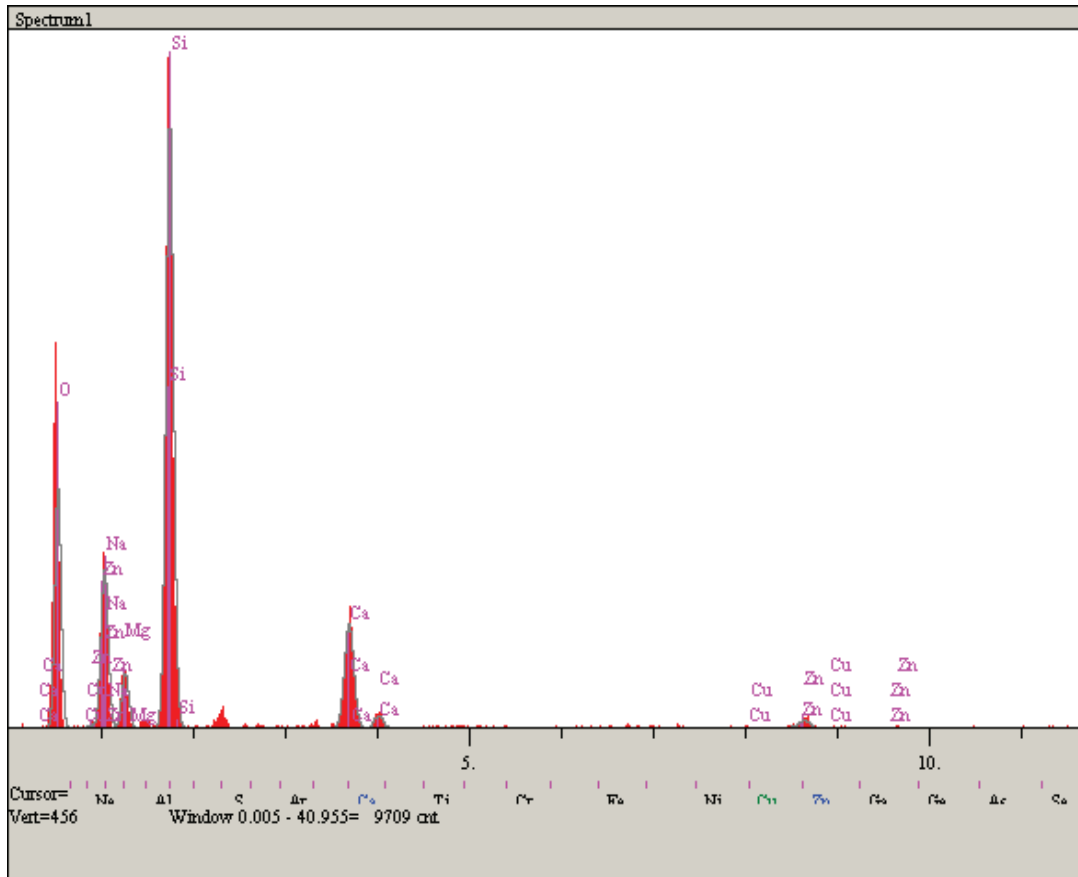
El.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
O	Ka	88.90	5.961	39.814	wt.%
Na	Ka	3.01	1.097	0.686	wt.%
Mg	Ka	11.75	2.167	2.027	wt.%
Si	Ka	286.16	10.695	34.962	wt.%
Ca	Ka	35.63	3.774	4.573	wt.%
Cu	Ka	5.03	1.418	1.937	wt.%
Zn	Ka	33.67	3.669	16.001	wt.%
				100.000	wt.% Total

Şekil E2.36. 600°C’de tavlanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



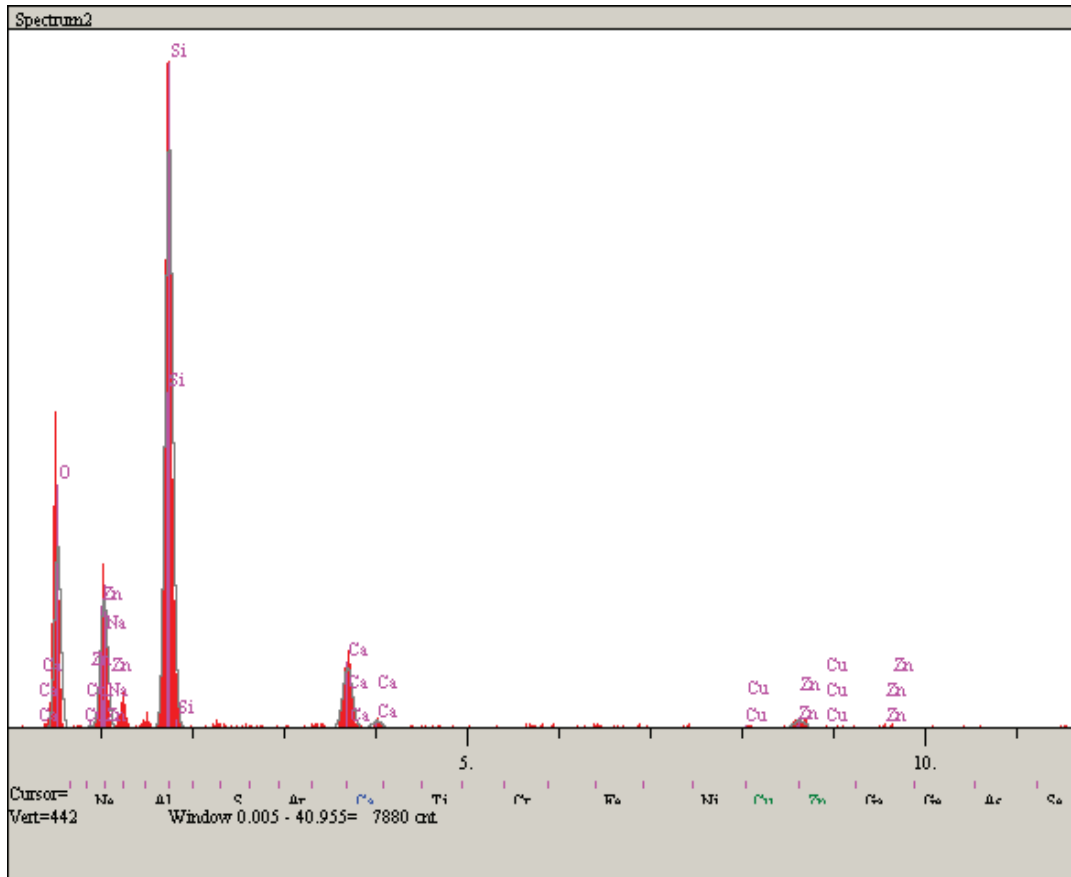
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	102.58	6.405	42.888	wt.%	
Na	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Mg	Ka	9.63	1.962	1.785	wt.%	
Si	Ka	227.24	9.532	28.944	wt.%	
Ca	Ka	34.83	3.732	4.394	wt.%	
Cu	Ka	1.99	0.892	0.752	wt.%	
Zn	Ka	45.16	4.250	21.237	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.37. 700°C'de tavlanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



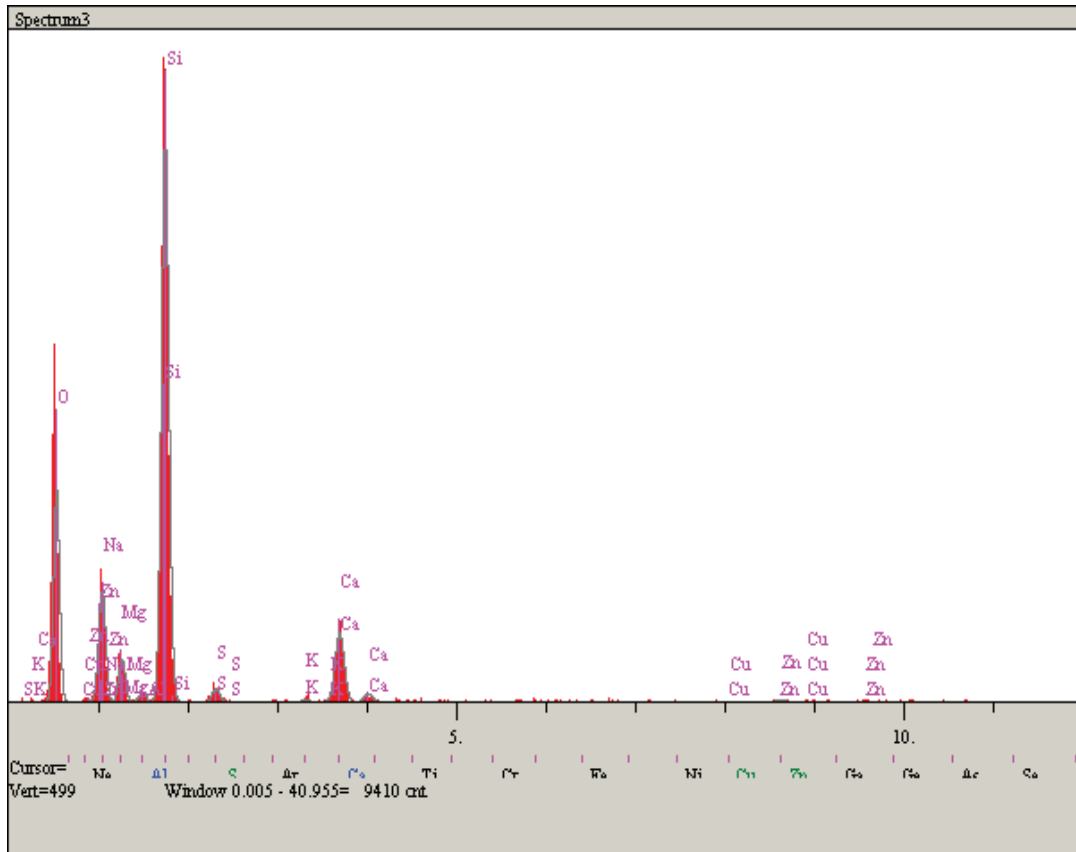
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	134.80	7.339	44.687	wt.%	
Na	Ka	59.02	4.857	7.814	wt.%	
Mg	Ka	35.15	3.748	3.706	wt.%	
Si	Ka	415.09	12.879	32.611	wt.%	
Ca	Ka	87.59	5.916	7.759	wt.%	
Cu	Ka	1.06	0.652	0.292	wt.%	
Zn	Ka	9.36	1.934	3.130	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.38. 800°C’de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



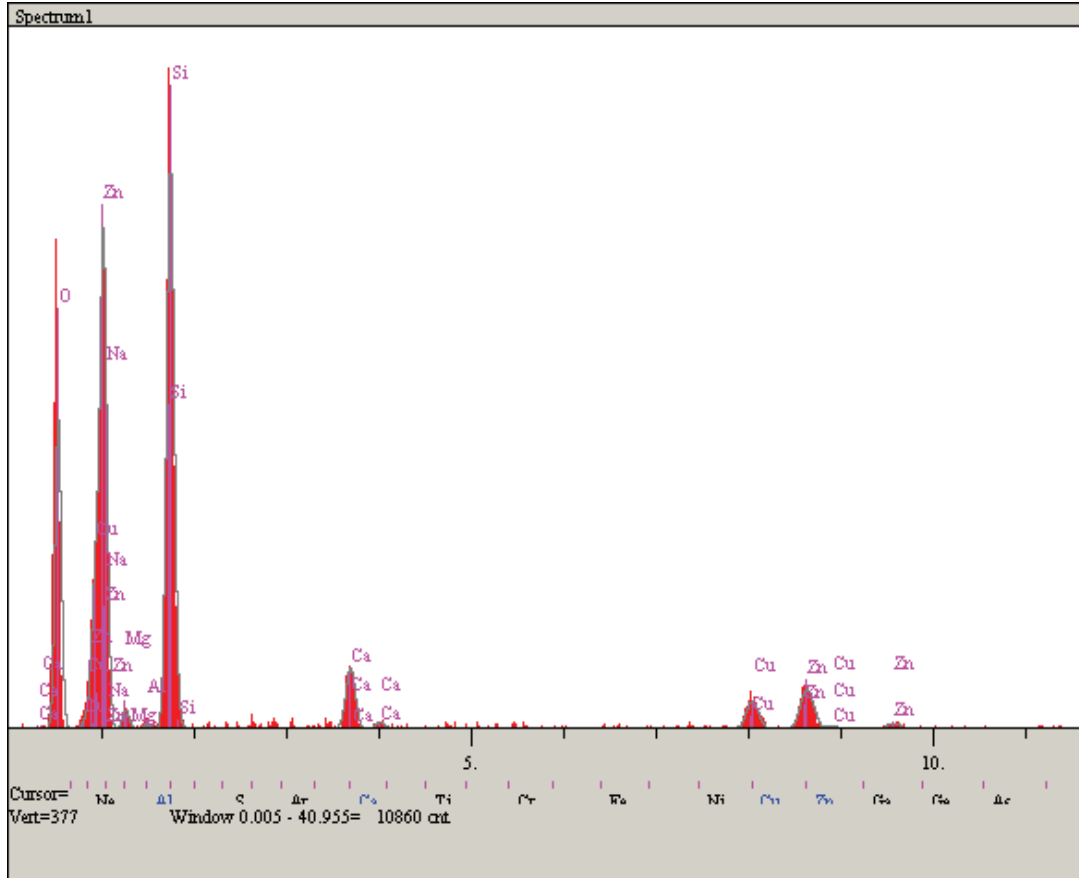
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	99.39	6.303	43.192	wt.%	
Na	Ka	44.14	4.201	7.708	wt.%	
Si	Ka	387.73	12.450	38.879	wt.%	
Ca	Ka	50.27	4.483	5.975	wt.%	
Cu	Ka	1.61	0.803	0.588	wt.%	
Zn	Ka	8.23	1.814	3.658	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.39. 700°C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



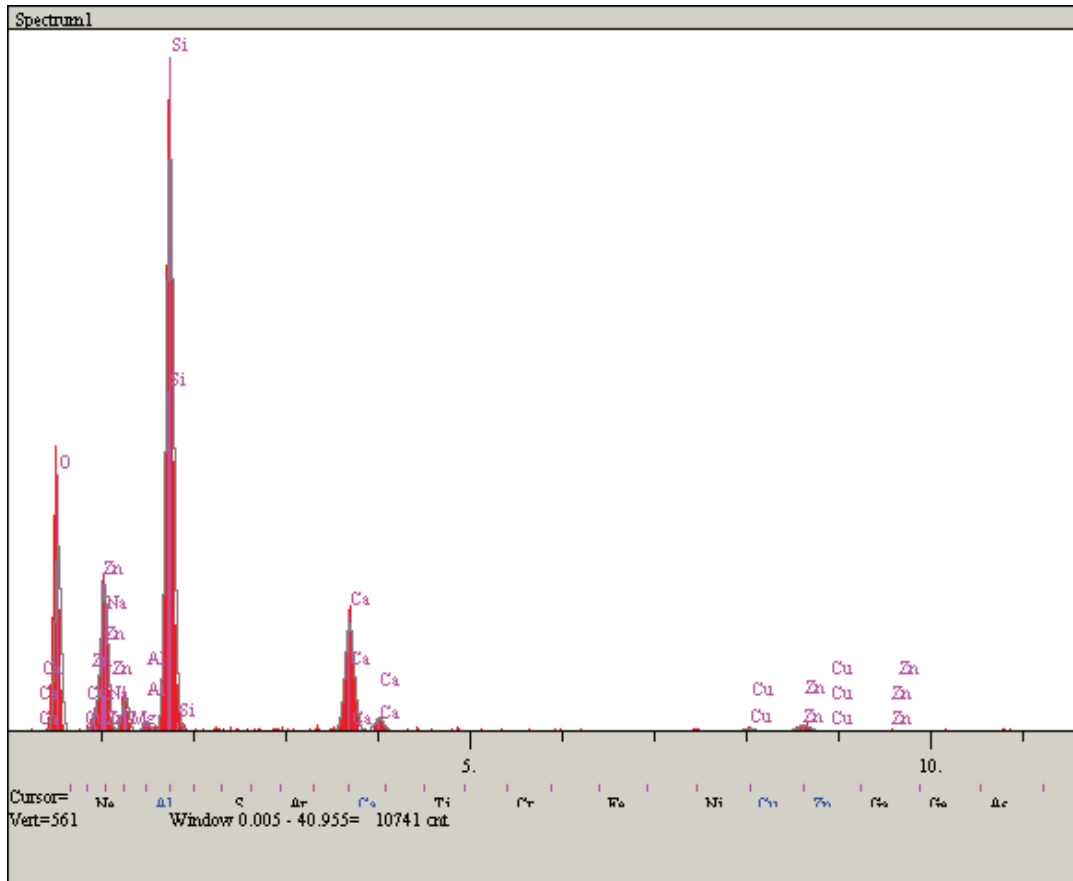
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	135.07	7.348	45.437	wt.%	
Na	Ka	54.44	4.665	7.185	wt.%	
Mg	Ka	31.72	3.561	3.285	wt.%	
Al	Ka	8.35	1.827	0.754	wt.%	
Si	Ka	435.23	13.191	34.439	wt.%	
S	Ka	11.70	2.163	1.125	wt.%	
K	Ka	2.72	1.042	0.248	wt.%	
Ca	Ka	66.35	5.150	6.130	wt.%	
Cu	Ka	0.32	0.358	0.091	wt.%	
Zn	Ka	3.76	1.226	1.305	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.40. 800°C'de tavlanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



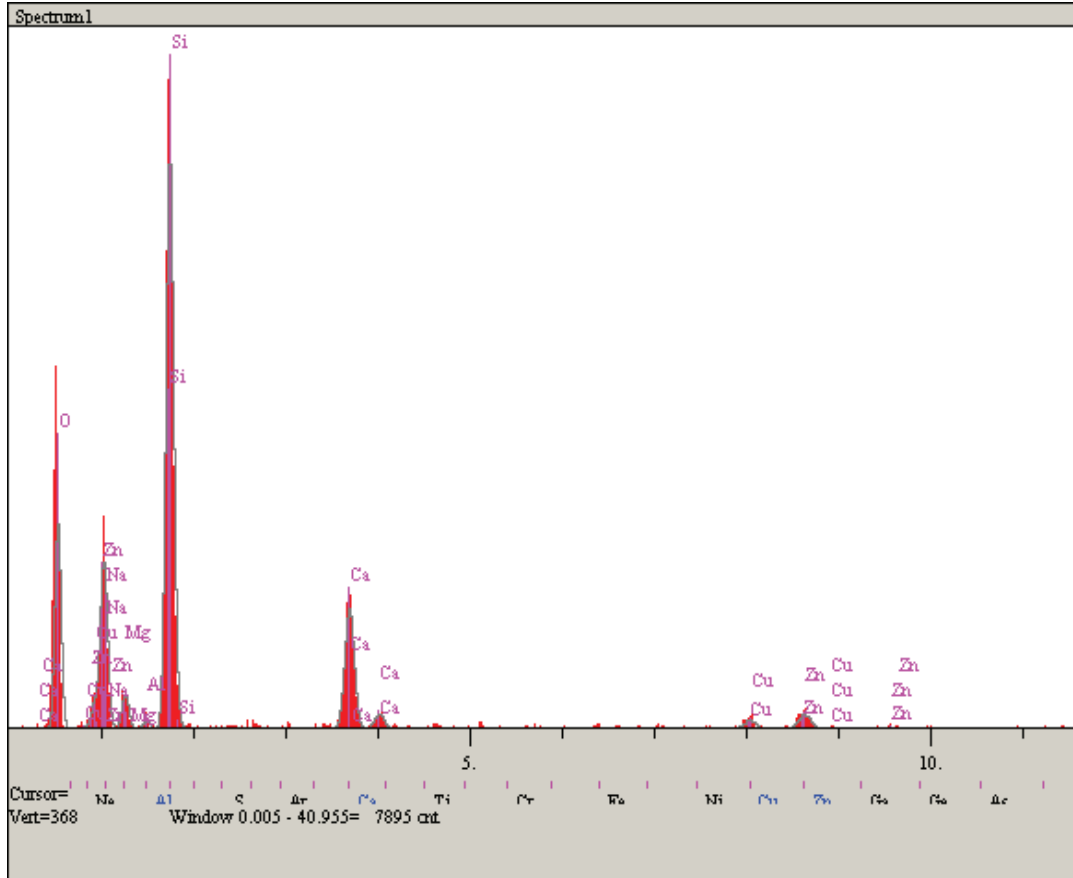
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	142.50	7.547	43.830	wt. %	
Na	Ka	0.00	0.000	0.000	wt. %	
Mg	Ka	9.99	1.998	1.358	wt. %	
Al	Ka	2.72	1.043	0.301	wt. %	
Si	Ka	316.39	11.246	29.760	wt. %	
Ca	Ka	41.60	4.078	3.952	wt. %	
Cu	Ka	24.97	3.159	7.205	wt. %	
Zn	Ka	38.34	3.915	13.595	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil E2.41. 600°C’de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



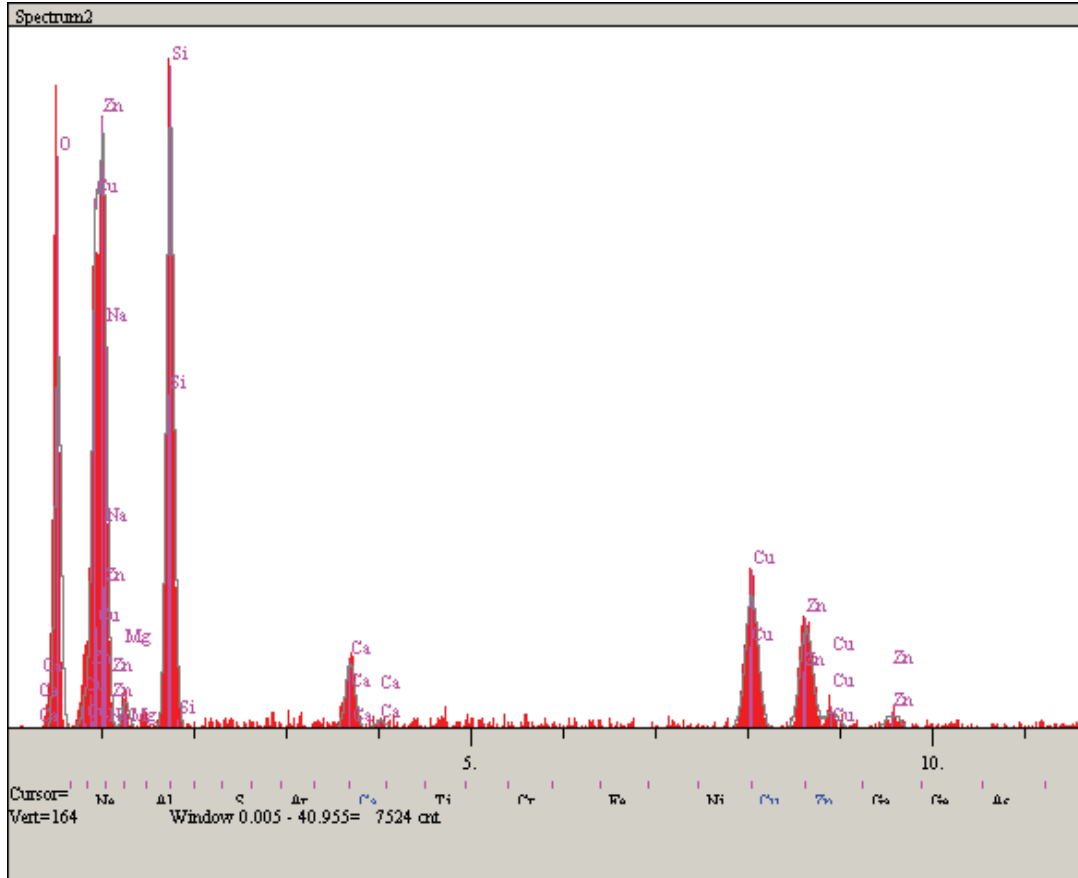
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	127.85	7.150	42.065	wt. %	
Na	Ka	55.38	4.706	6.777	wt. %	
Mg	Ka	26.38	3.248	2.531	wt. %	
Al	Ka	7.97	1.785	0.654	wt. %	
Si	Ka	485.46	13.932	34.783	wt. %	
Ca	Ka	111.55	6.678	9.133	wt. %	
Cu	Ka	4.30	1.312	1.089	wt. %	
Zn	Ka	9.64	1.963	2.969	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil E2.42. 700°C’de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



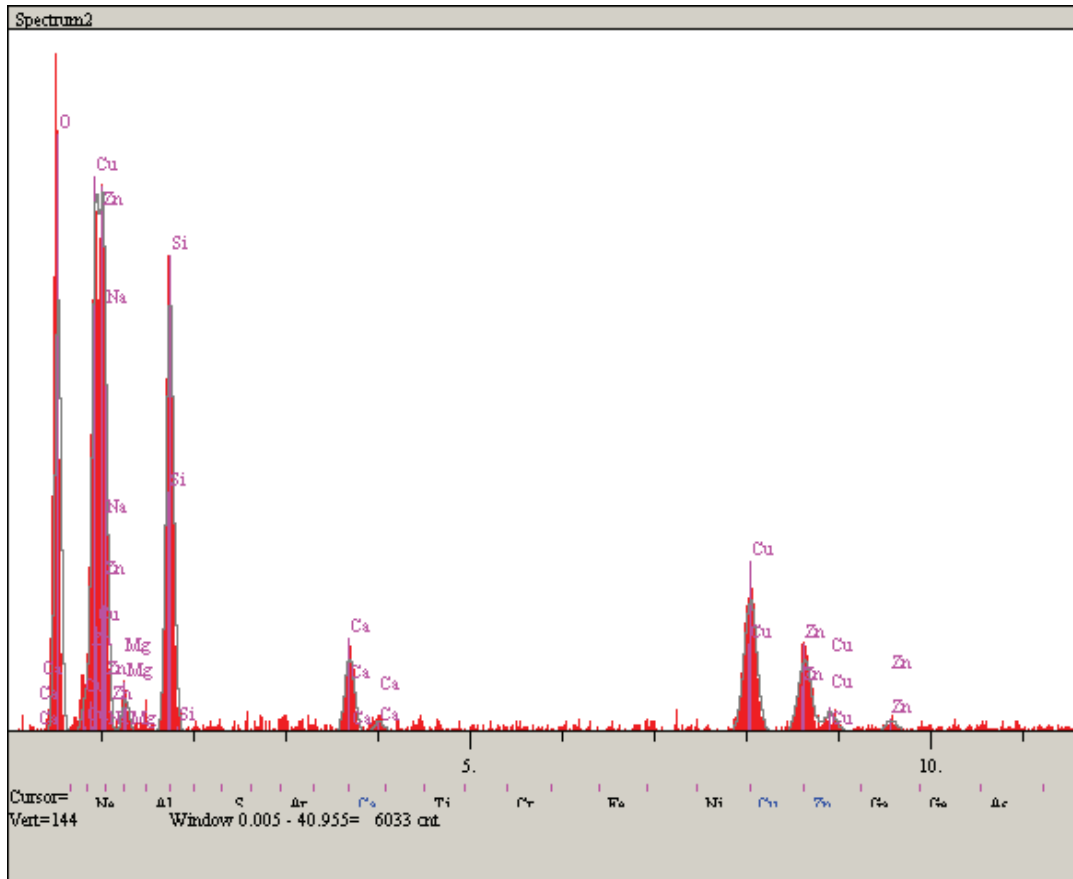
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	92.64	6.087	41.676	wt.%	
Na	Ka	28.14	3.355	5.167	wt.%	
Mg	Ka	17.42	2.640	2.465	wt.%	
Al	Ka	4.21	1.298	0.504	wt.%	
Si	Ka	314.76	11.221	32.511	wt.%	
Ca	Ka	80.84	5.686	9.162	wt.%	
Cu	Ka	8.11	1.801	2.835	wt.%	
Zn	Ka	13.33	2.309	5.682	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.43. 700°C’de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



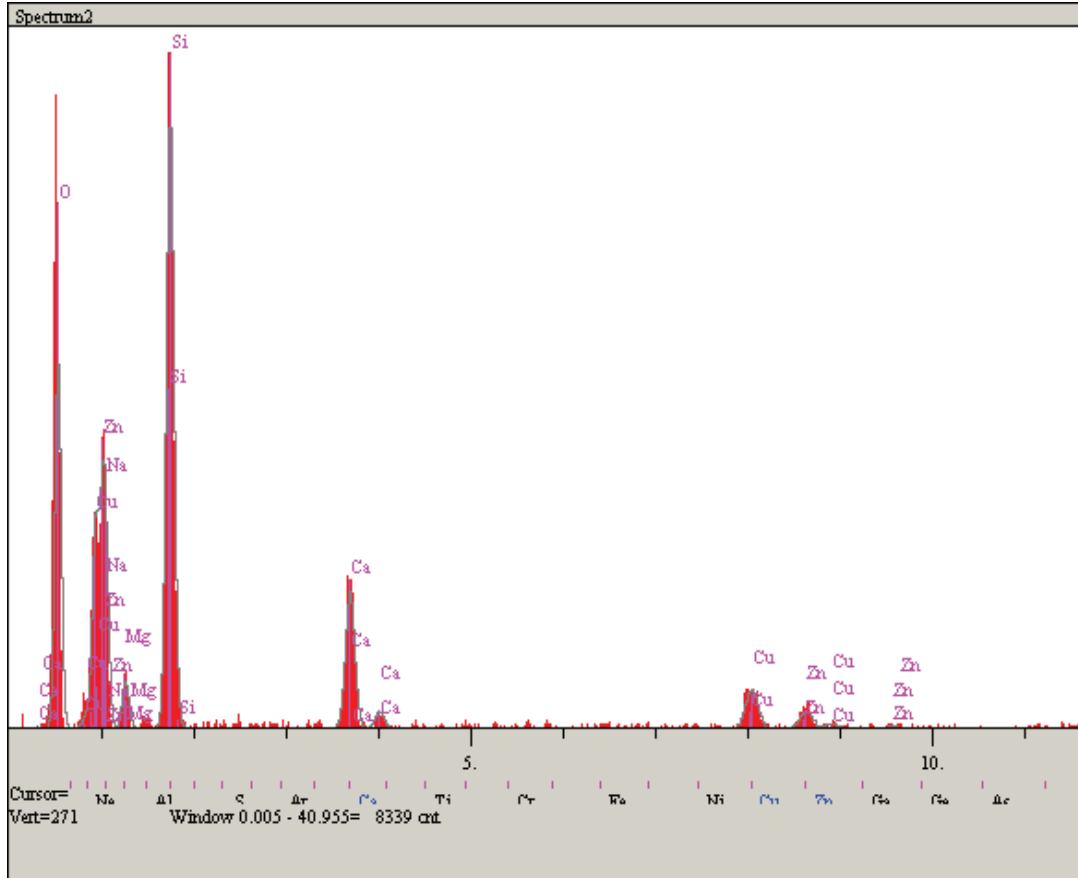
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	74.73	5.465	30.580	wt.%	
Na	Ka	6.56	1.619	1.974	wt.%	
Mg	Ka	6.26	1.582	1.462	wt.%	
Si	Ka	149.38	7.727	22.628	wt.%	
Ca	Ka	19.93	2.823	2.586	wt.%	
Cu	Ka	54.20	4.655	21.043	wt.%	
Zn	Ka	41.39	4.067	19.727	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.44. 600°C’de tavlanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



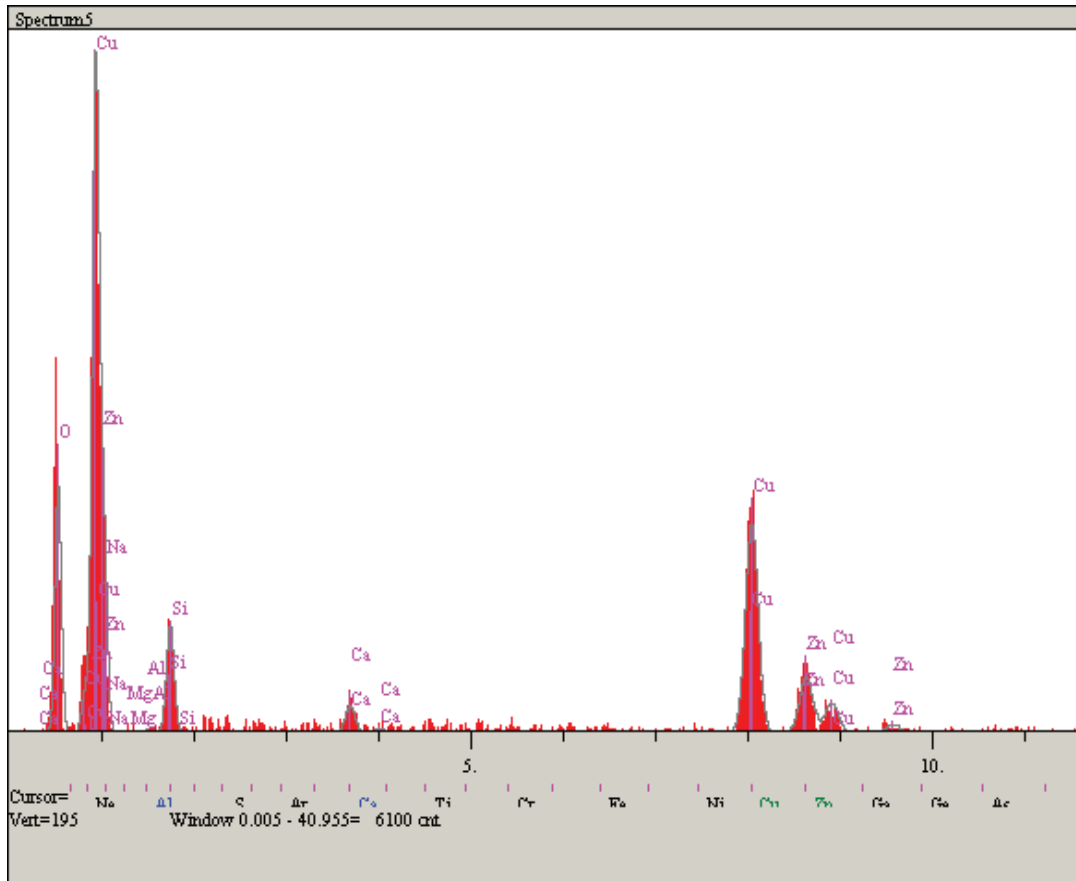
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	76.61	5.532	36.710	wt.%	
Na	Ka	7.56	1.738	2.860	wt.%	
Mg	Ka	6.57	1.620	1.906	wt.%	
Si	Ka	92.36	6.075	17.339	wt.%	
Ca	Ka	19.96	2.824	3.175	wt.%	
Cu	Ka	46.60	4.315	22.562	wt.%	
Zn	Ka	26.04	3.225	15.447	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.45. 700°C’de tavlanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



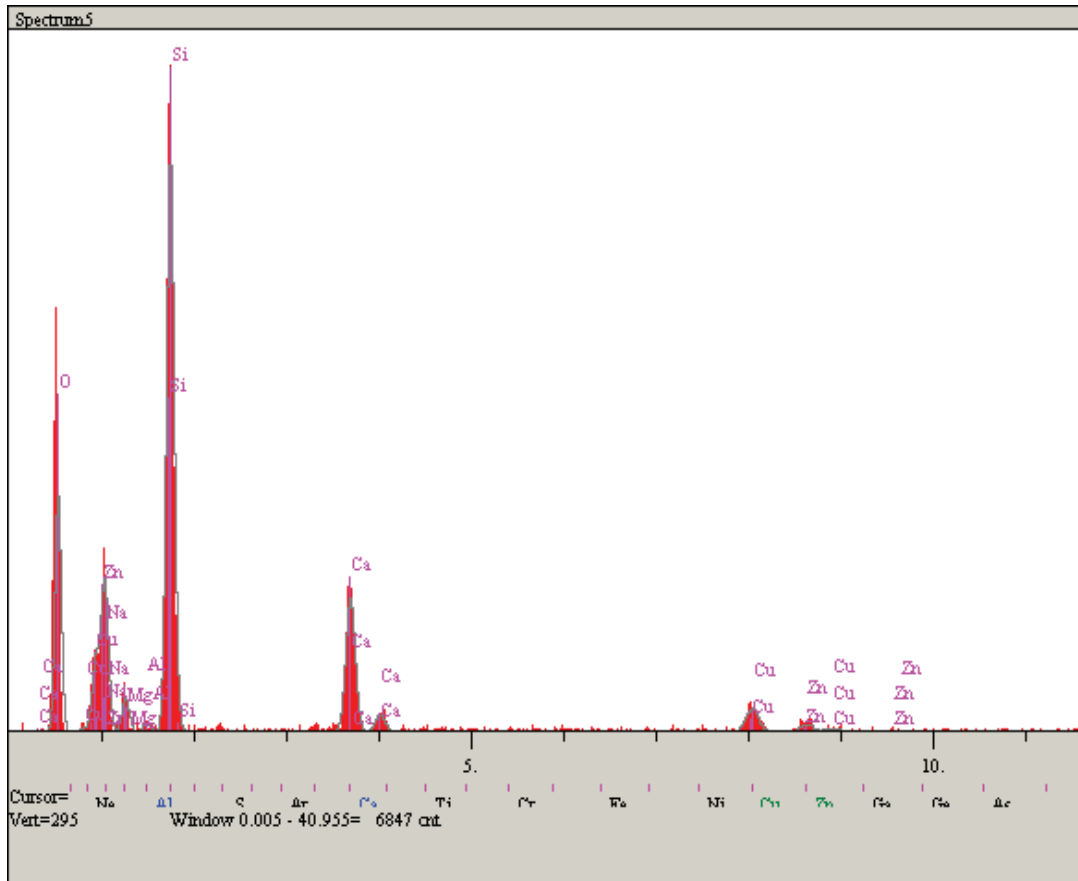
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	121.05	6.957	45.369	wt.%	
Na	Ka	28.76	3.391	5.617	wt.%	
Mg	Ka	17.57	2.651	2.626	wt.%	
Si	Ka	247.39	9.945	25.921	wt.%	
Ca	Ka	66.65	5.162	7.165	wt.%	
Cu	Ka	25.51	3.194	8.525	wt.%	
Zn	Ka	11.72	2.165	4.777	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.46. 700°C'de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



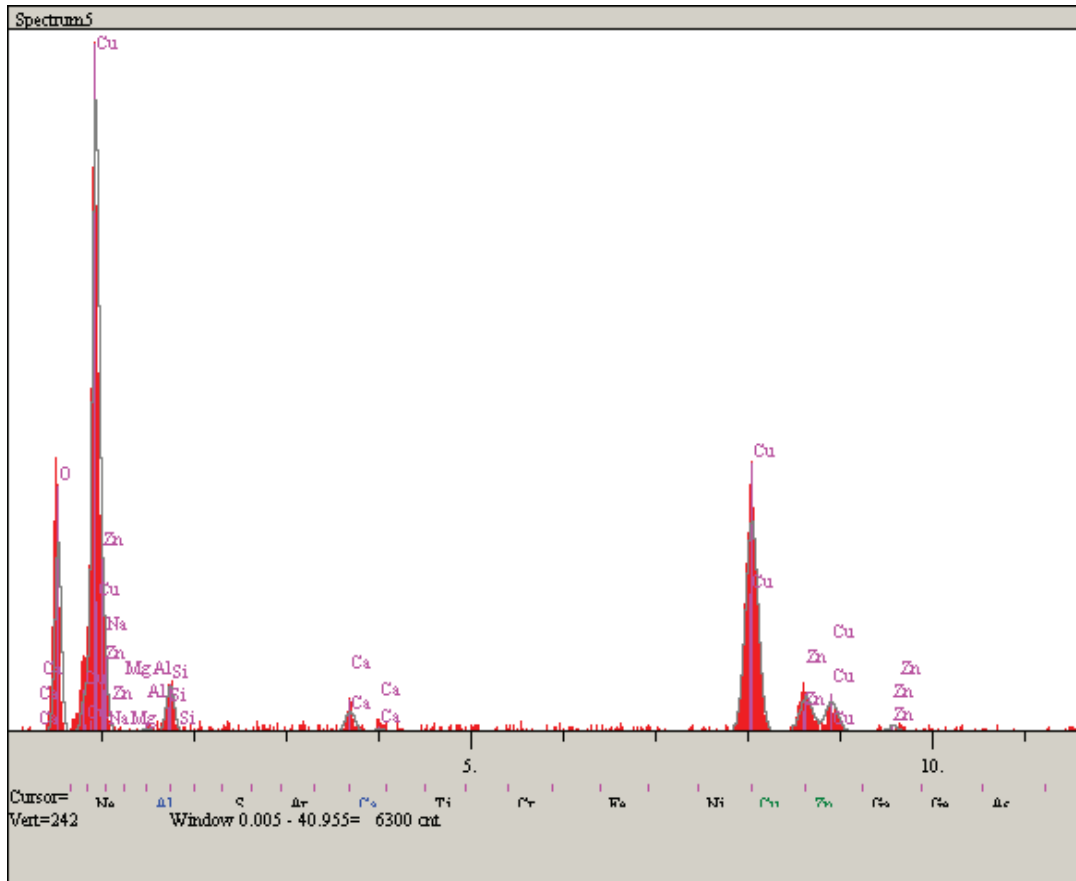
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	58.55	4.839	26.716	wt.%	
Na	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Mg	Ka	0.08	0.183	0.031	wt.%	
Al	Ka	0.53	0.461	0.149	wt.%	
Si	Ka	30.95	3.518	6.922	wt.%	
Ca	Ka	9.19	1.917	1.474	wt.%	
Cu	Ka	99.97	6.323	48.627	wt.%	
Zn	Ka	27.09	3.292	16.081	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.47. 600°C’de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



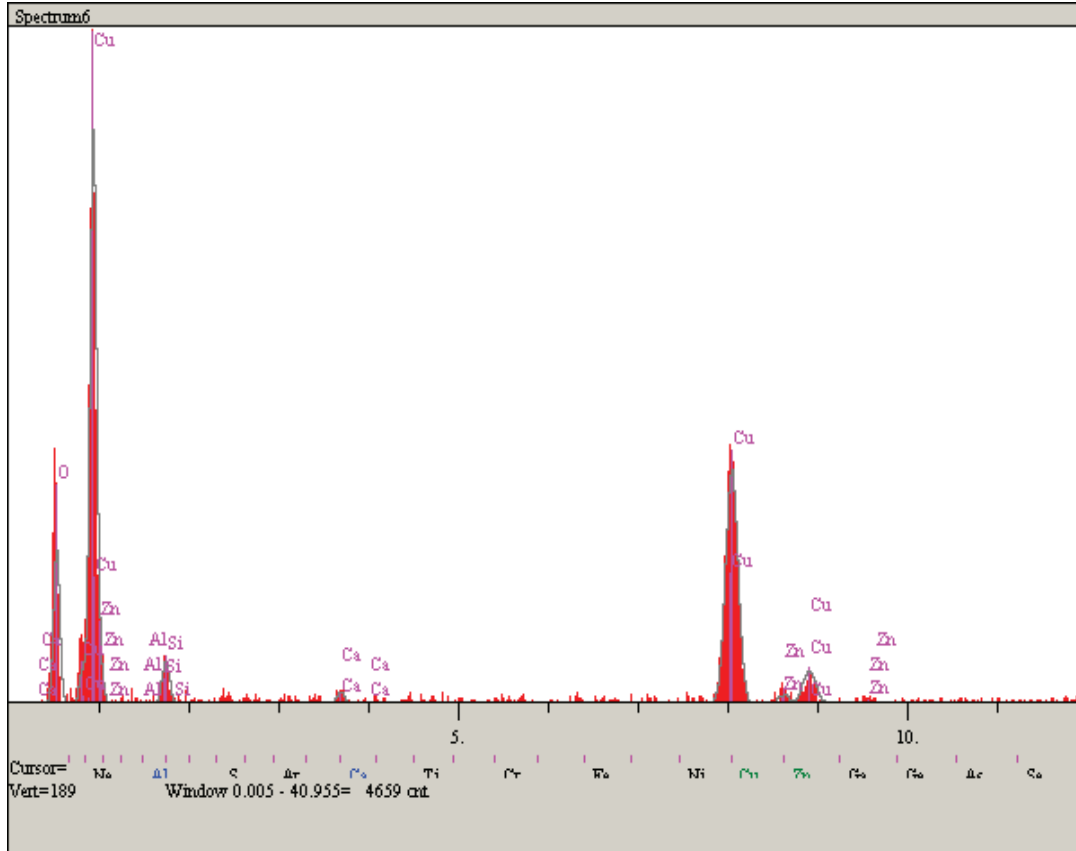
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	85.29	5.839	42.129	wt.%	
Na	Ka	31.26	3.535	6.644	wt.%	
Mg	Ka	13.76	2.345	2.266	wt.%	
Al	Ka	3.71	1.218	0.512	wt.%	
Si	Ka	252.69	10.050	29.920	wt.%	
Ca	Ka	71.99	5.364	9.155	wt.%	
Cu	Ka	17.15	2.618	6.770	wt.%	
Zn	Ka	5.42	1.472	2.604	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.48. 700°C’de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



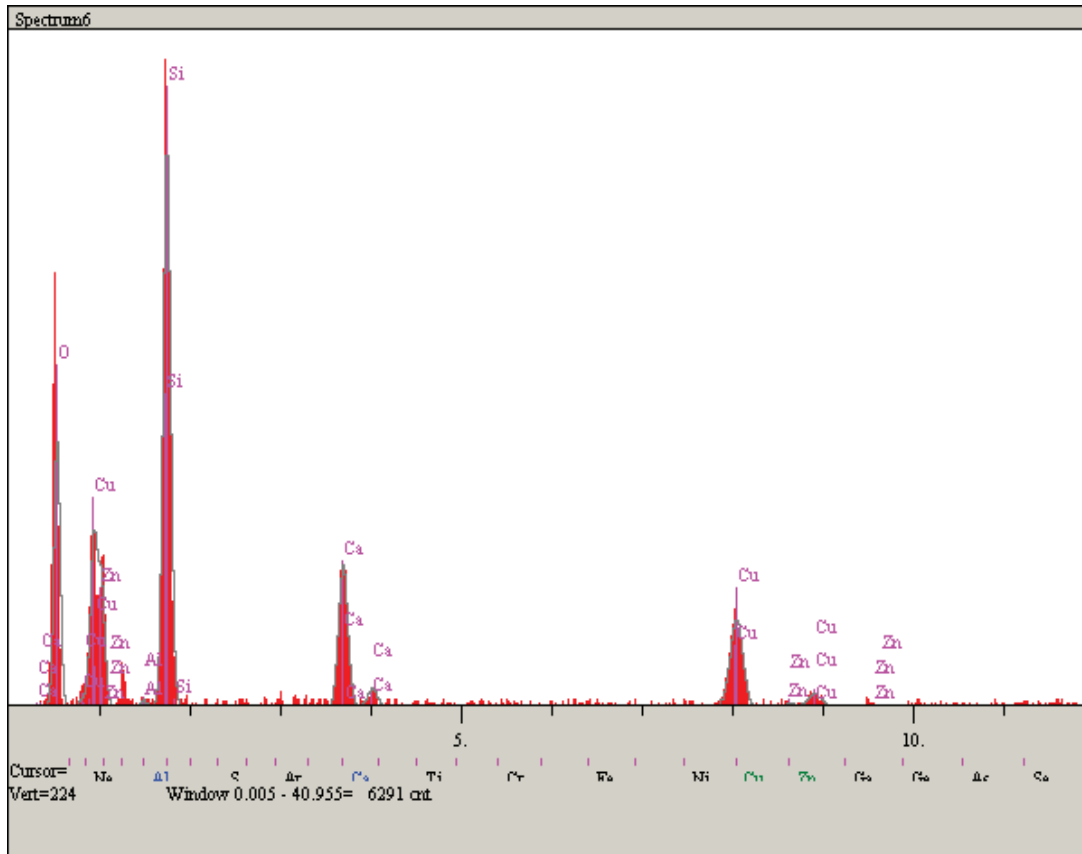
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	56.18	4.740	24.279	wt.%	
Na	Ka	0.16	0.255	0.081	wt.%	
Mg	Ka	0.41	0.407	0.153	wt.%	
Al	Ka	1.11	0.666	0.310	wt.%	
Si	Ka	16.67	2.582	3.696	wt.%	
Ca	Ka	9.30	1.928	1.423	wt.%	
Cu	Ka	125.32	7.078	58.448	wt.%	
Zn	Ka	20.45	2.859	11.610	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.49. 600°C’de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



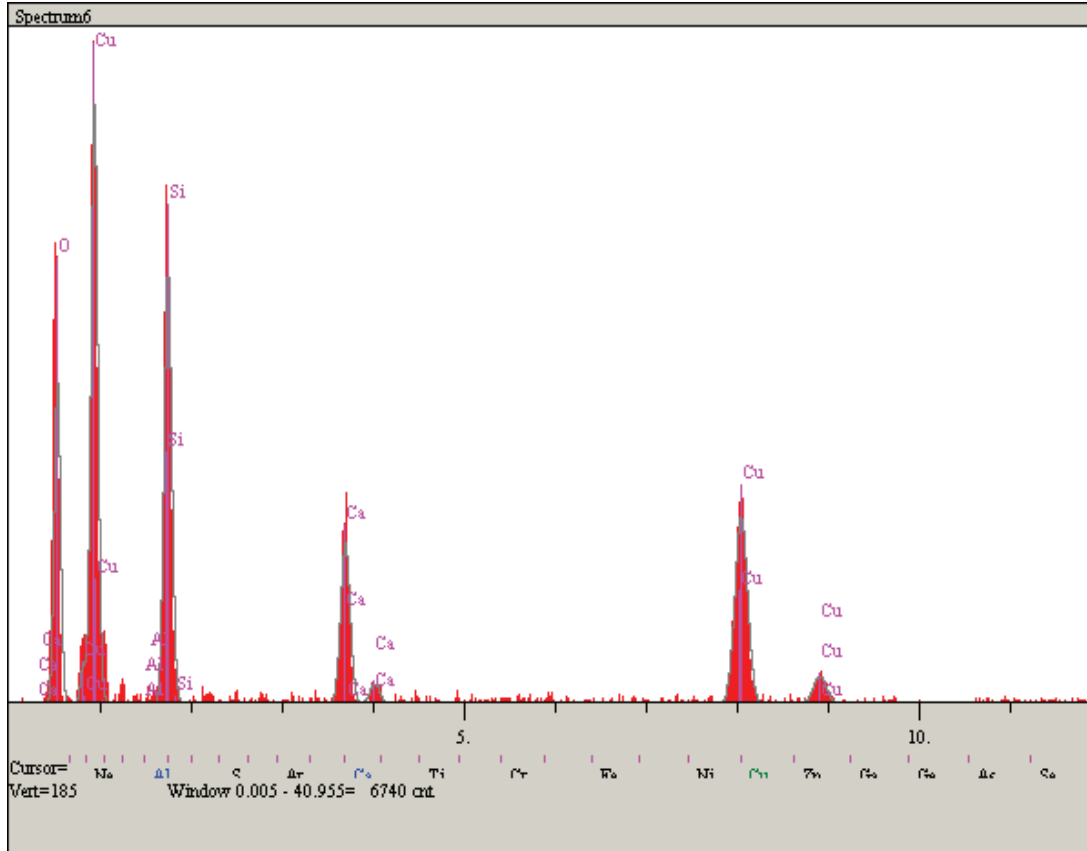
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	37.01	3.848	21.320	wt.%	
Al	Ka	0.25	0.314	0.095	wt.%	
Si	Ka	12.29	2.217	3.732	wt.%	
Ca	Ka	3.52	1.187	0.727	wt.%	
Cu	Ka	112.33	6.703	71.055	wt.%	
Zn	Ka	4.00	1.265	3.070	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil E2.50. 600°C’de tavllanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	75.96	5.512	40.562	wt.%	
Al	Ka	1.62	0.805	0.271	wt.%	
Si	Ka	194.01	8.808	27.595	wt.%	
Ca	Ka	59.28	4.869	8.470	wt.%	
Cu	Ka	50.04	4.474	22.150	wt.%	
Zn	Ka	1.77	0.842	0.953	wt.%	
				100.000	wt.%	
						Total

Şekil E2.51. 700°C'de tavlanmış %90 Cu katkılı ZnO ince filmin elementel analiz spektrumu.

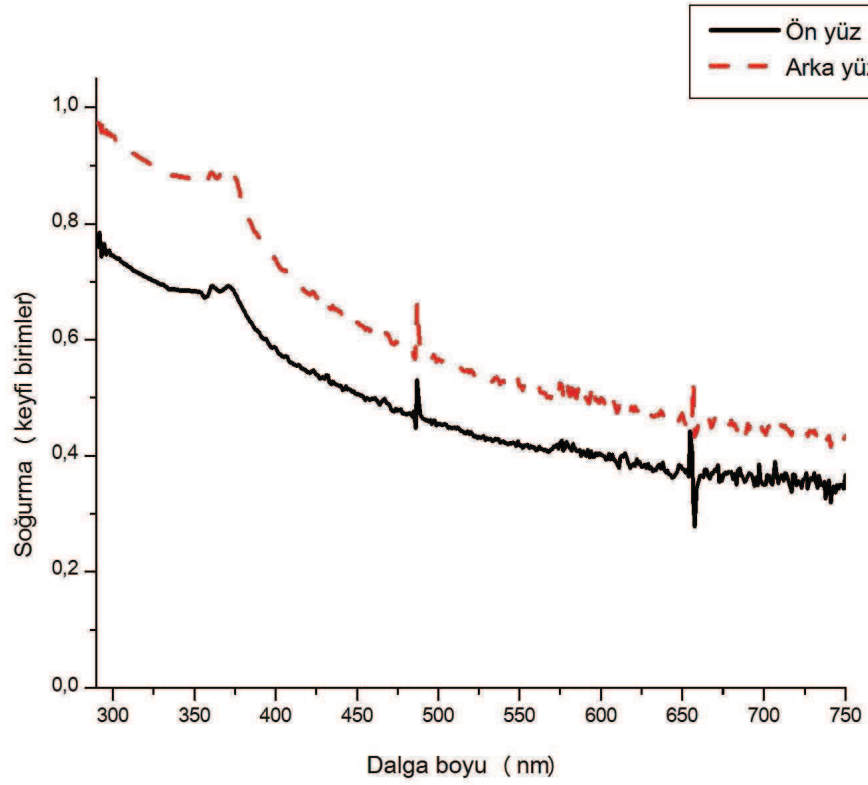


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	75.84	5.507	36.184	wt.%	
Al	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%	
Si	Ka	123.82	7.037	19.007	wt.%	
Ca	Ka	56.32	4.746	7.648	wt.%	
Cu	Ka	88.25	5.941	37.161	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

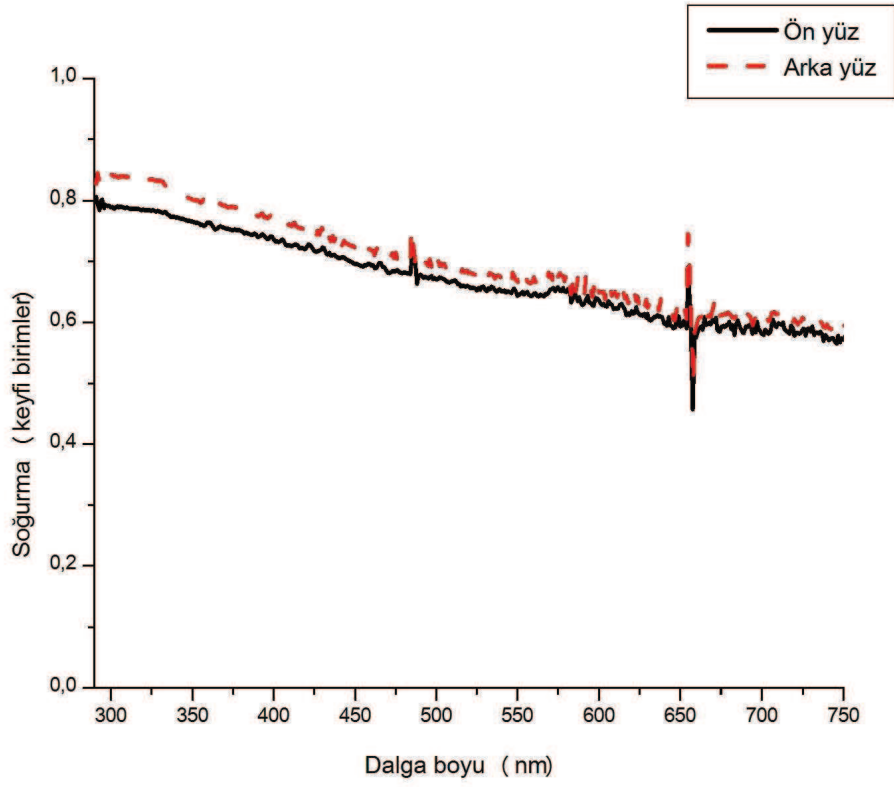
Şekil E2.52. 700°C'de tavllanmış katkısız CuO (%100 Cu katkılı) ince filmin elementel analiz spektrumu.

EK 3

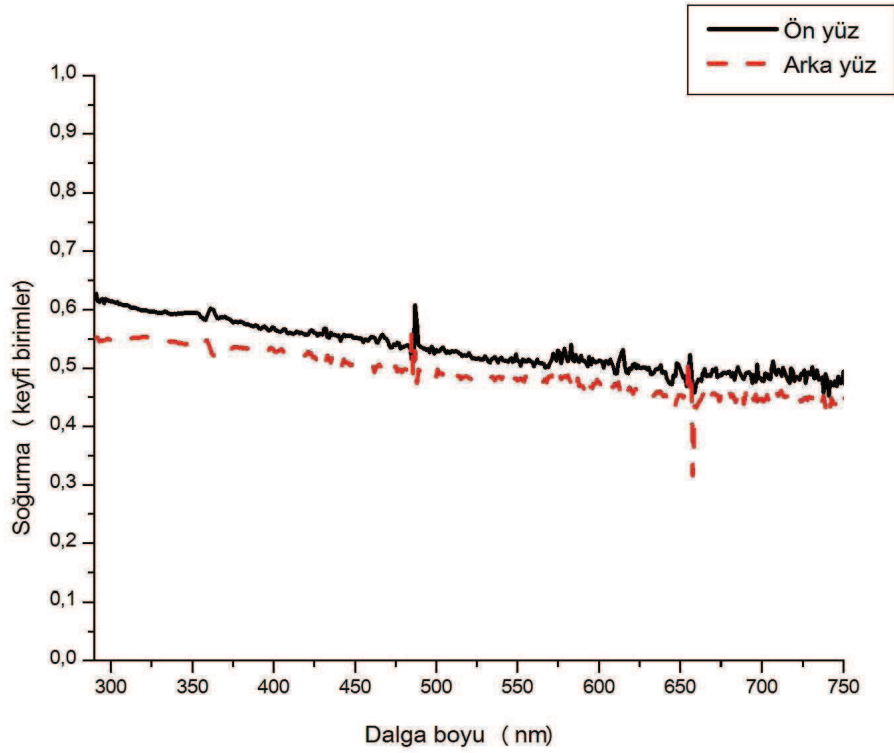
Cu KATKILI ZnO İNCE FİMLERİN UV-Vis SPEKTRUMLARI



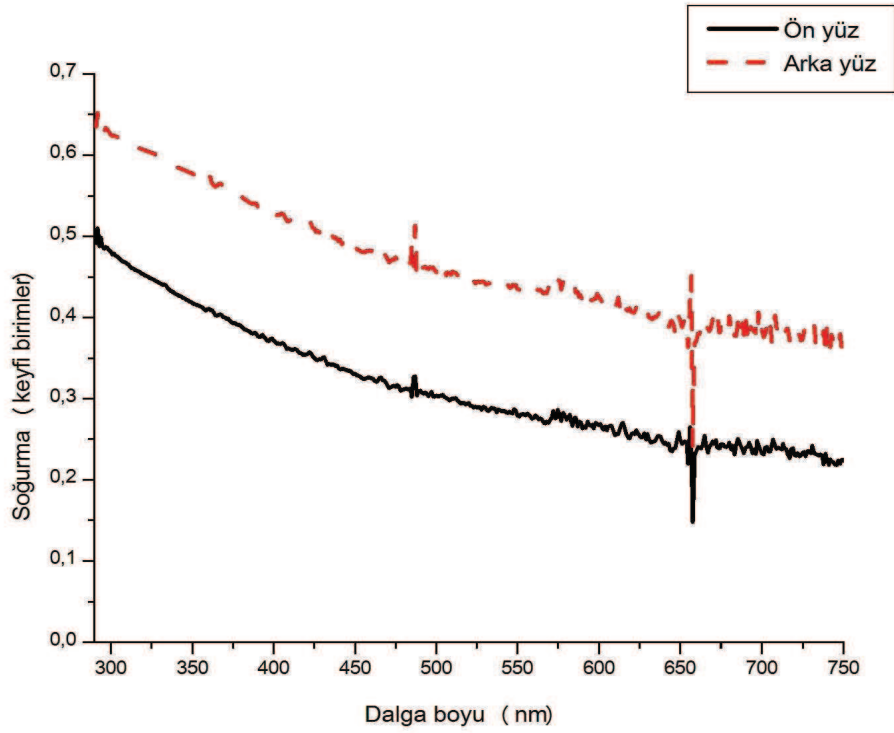
Şekil E3.1. 700°C'de tavllanmış %1 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



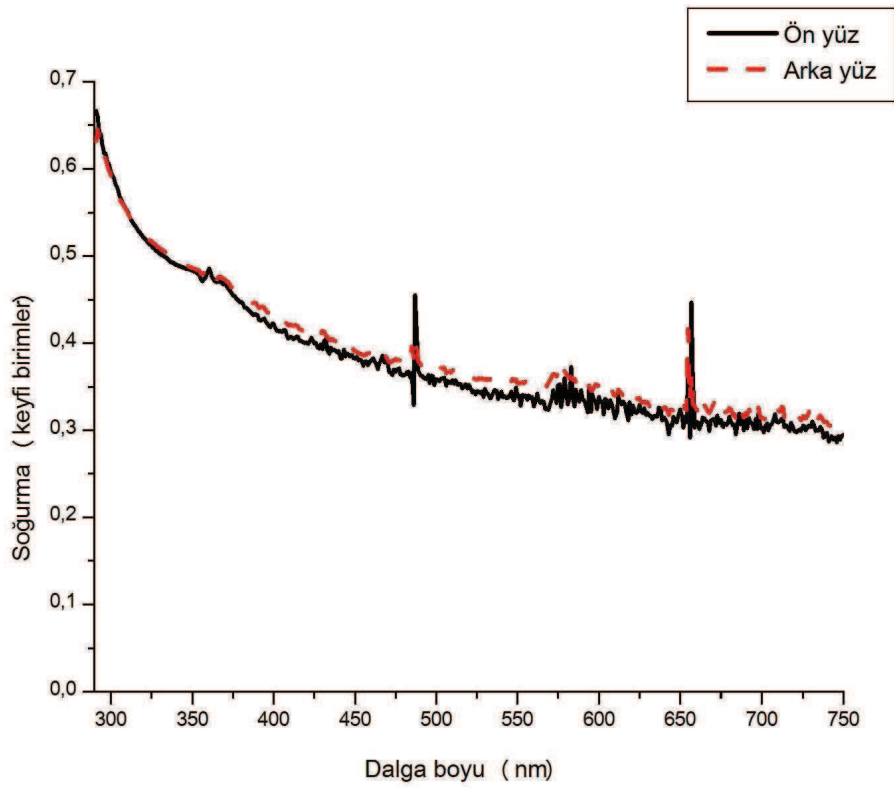
Şekil E3.2. 700°C'de tavllanmış %2 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



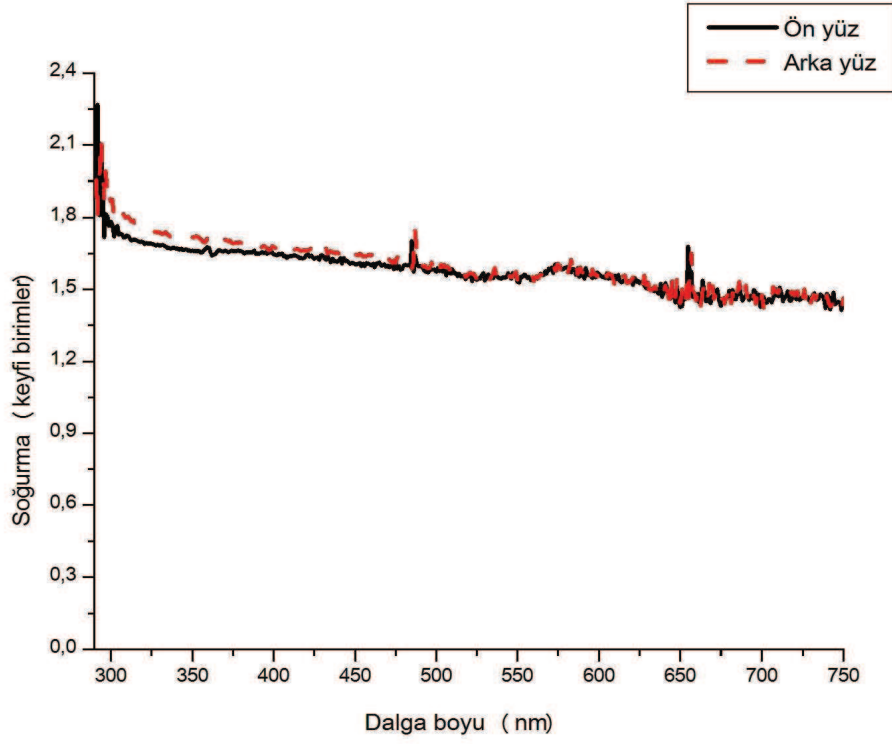
Şekil E3.3. 700°C'de tavllanmış %3 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



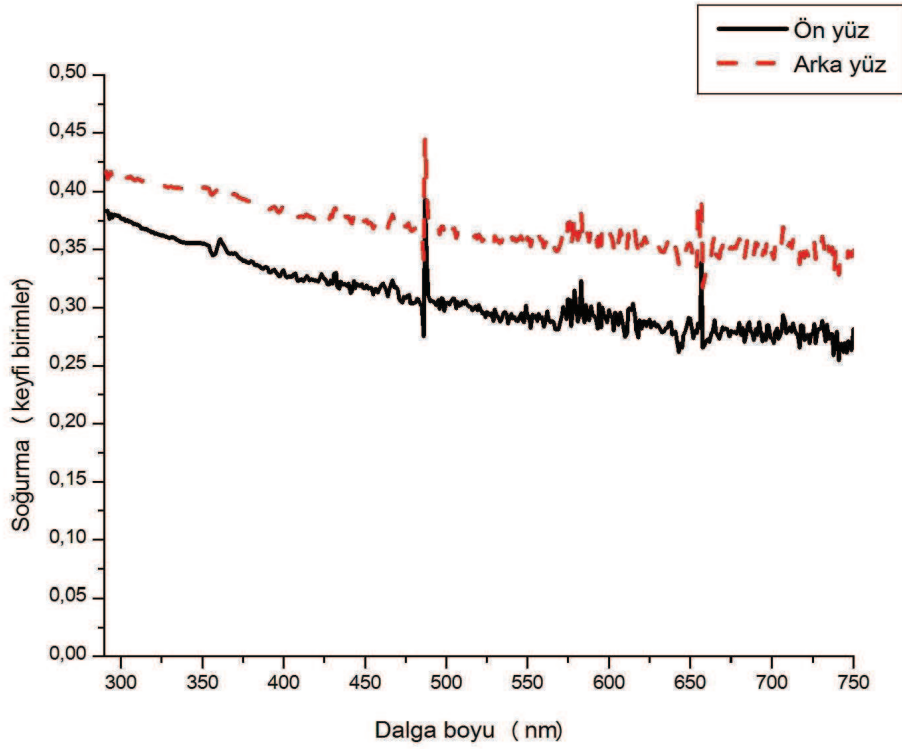
Şekil E3.4. 700°C'de tavllanmış %5 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



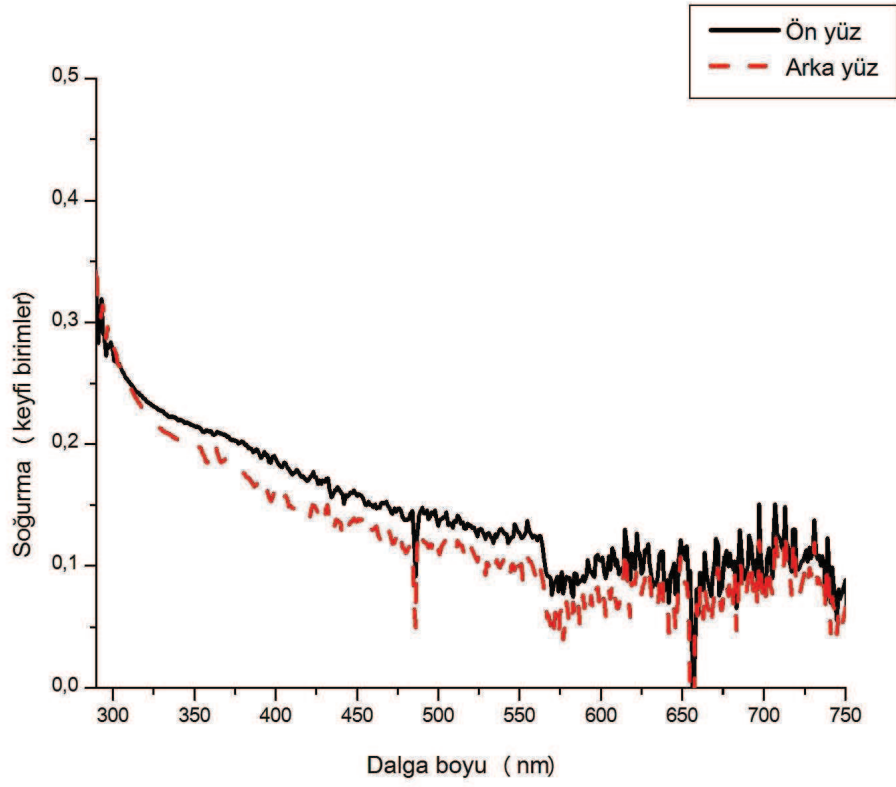
Şekil E3.5. 700°C'de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



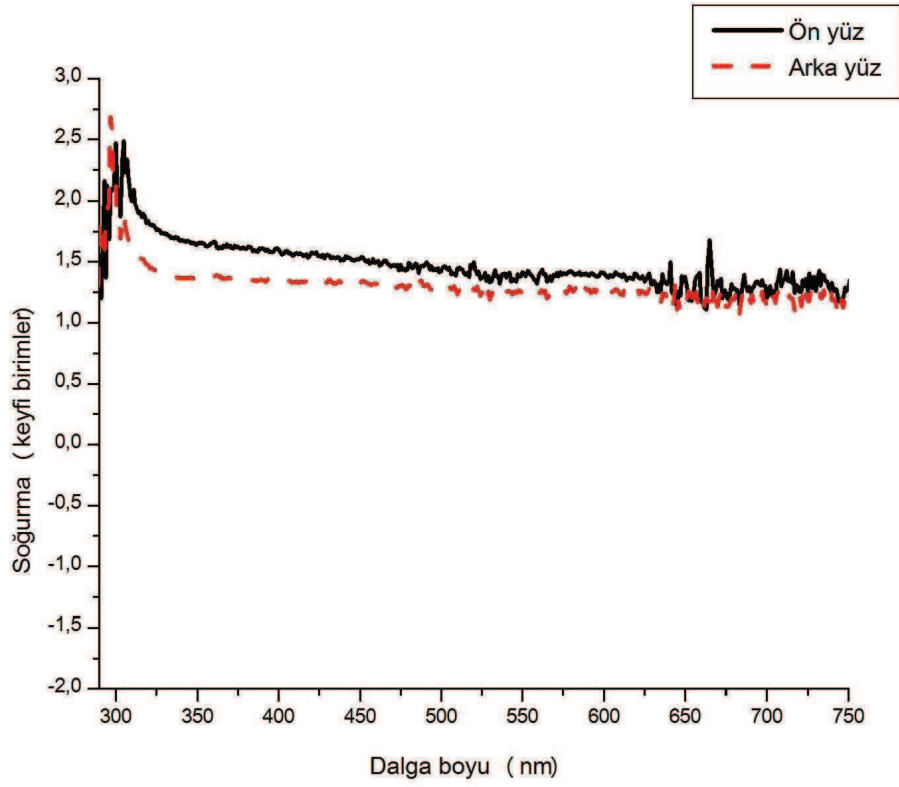
Şekil E3.6. 800°C'de tavllanmış %7 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



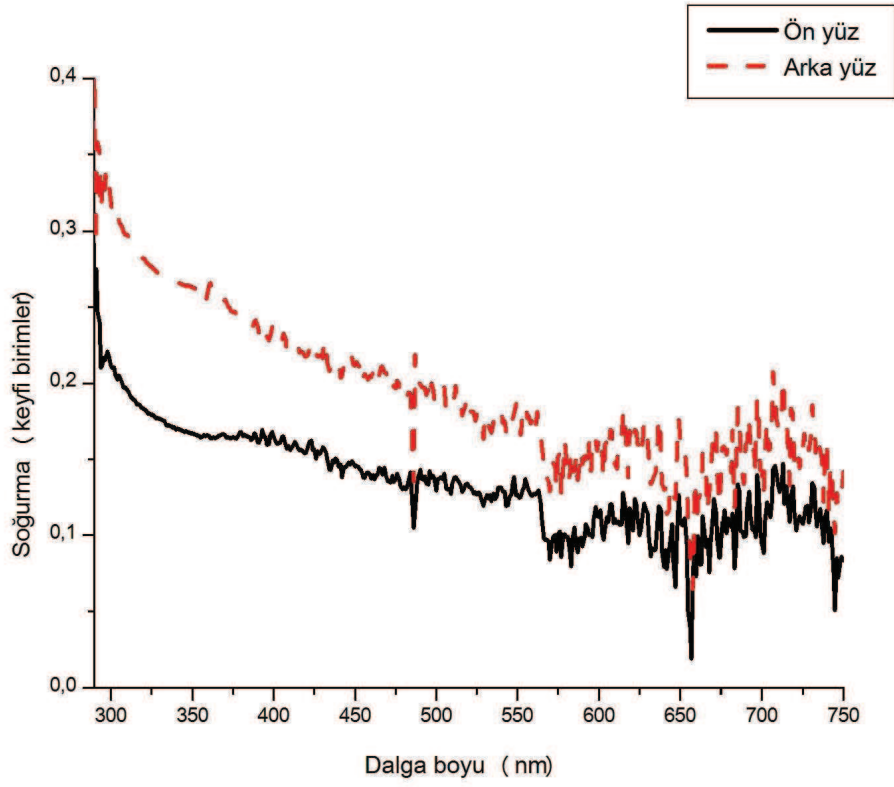
Şekil E3.7. 700°C'de tavllanmış %10 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



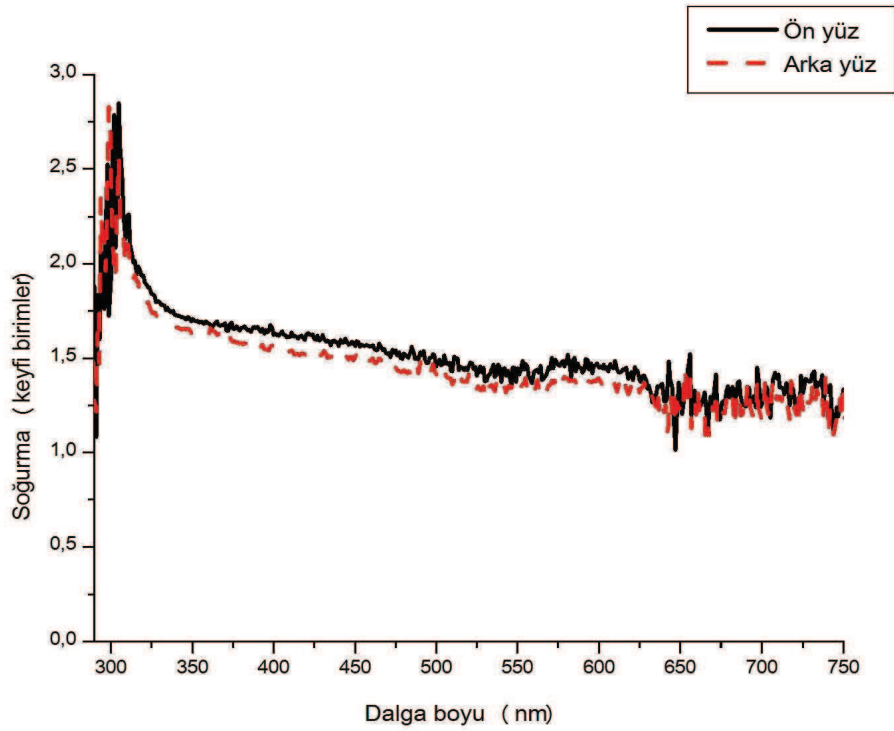
Şekil E3.8. 700°C'de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



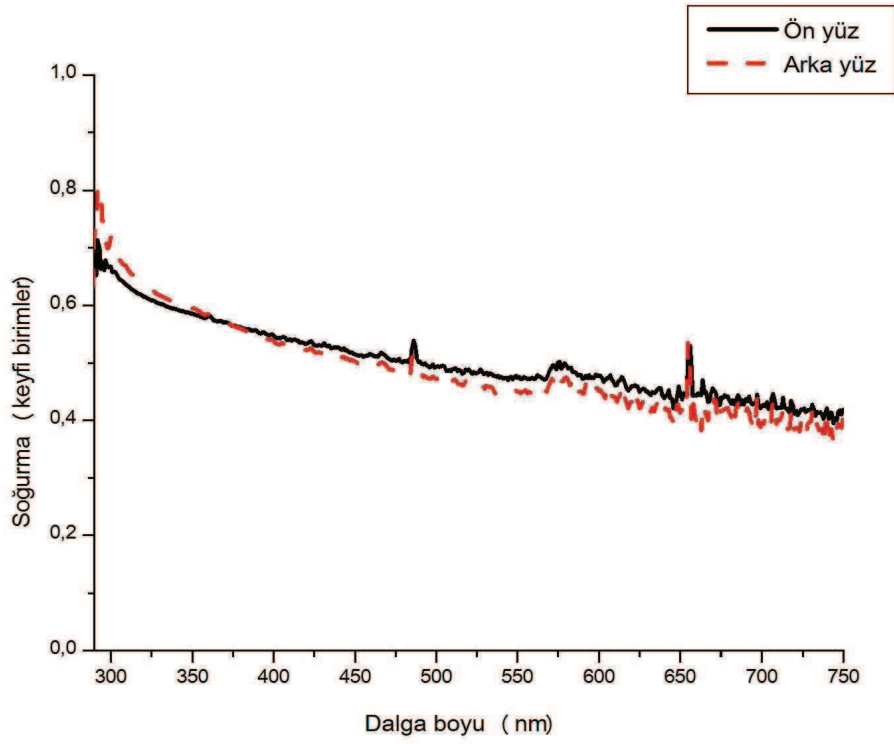
Şekil E3.9. 800°C'de tavllanmış %15 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



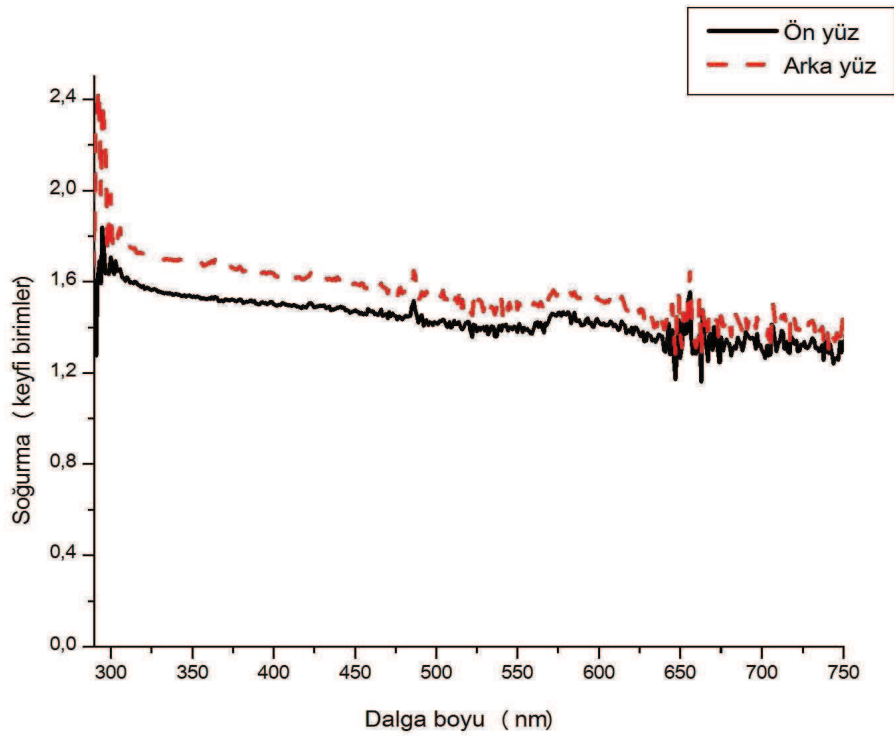
Şekil E3.10. 700°C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



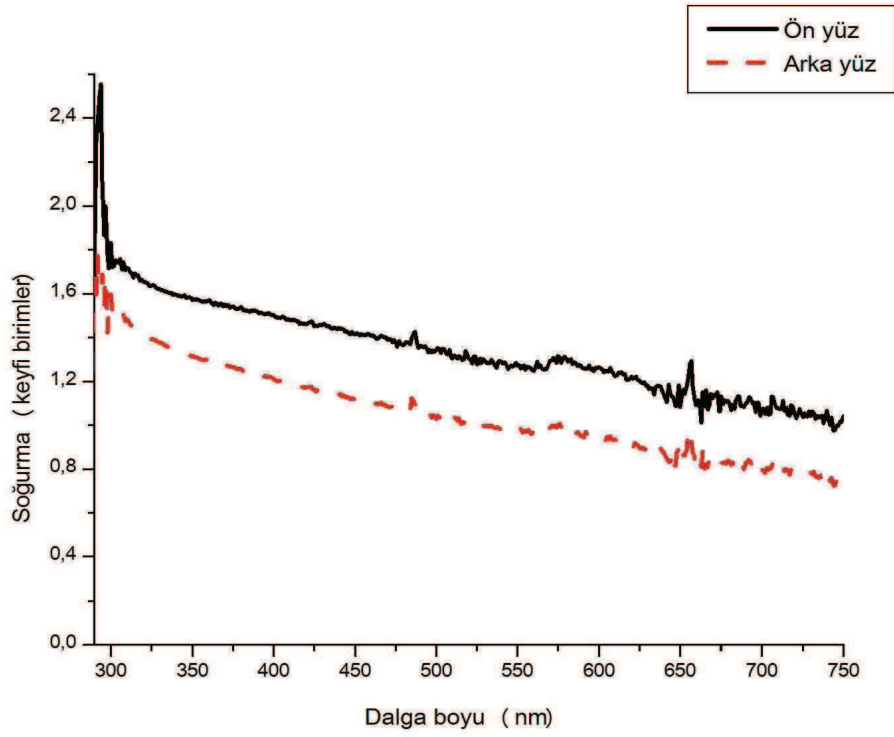
Şekil E3.11. 800°C’de tavllanmış %20 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



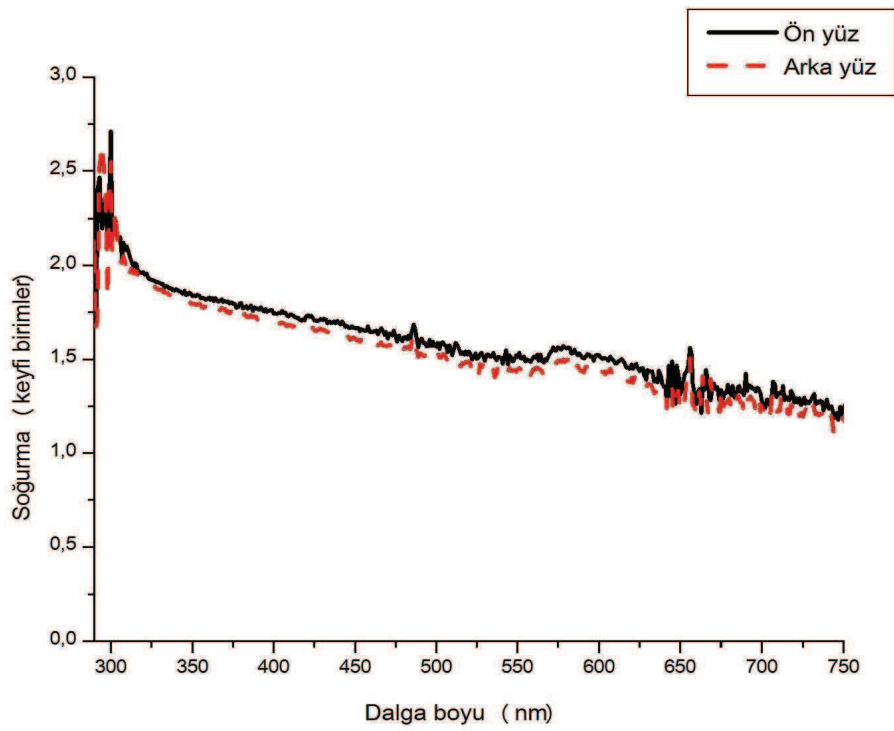
Şekil E3.12. 700°C’de tavllanmış %30 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



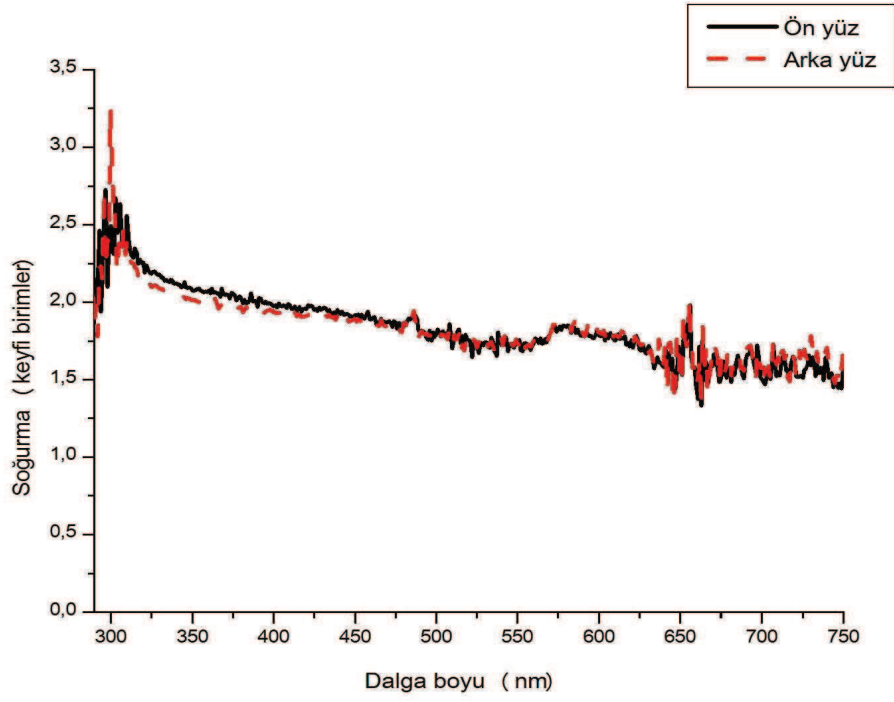
Şekil E3.13. 700°C’de tavllanmış %40 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



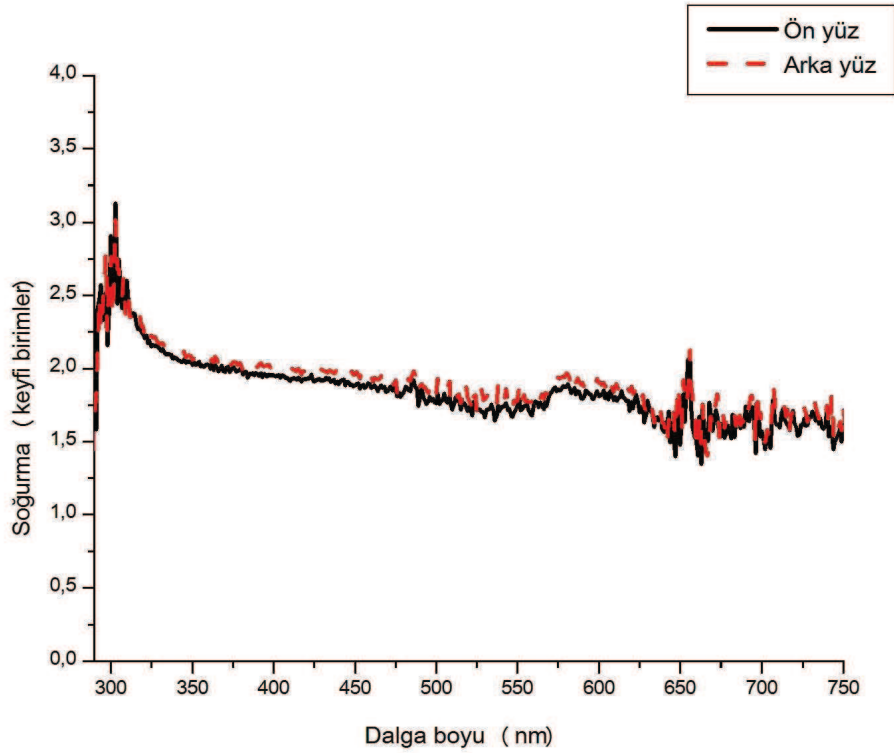
Şekil E3.14. 700°C’de tavllanmış %50 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



Şekil E3.15. 700°C’de tavllanmış %60 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



Şekil E3.16. 700°C’de tavllanmış %70 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.



Şekil E3.17. 700°C’de tavllanmış %80 Cu katkılı ZnO ince filmin soğurma spektrumu.

ÖZGEÇMİŞ

Aykut NALBANT, 11.10.1988 tarihinde İstanbul'un Üsküdar ilçesinde doğdu. İlköğrenimine Uzun Mehmet İlköğretim Okulu'nda başlayıp Ağva Kanan İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Lise öğrenimini Ağva Lisesinde 2005 yılında tamamlayan Aykut NALBANT aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde okumaya başladı. 2009 yılında bu bölümden mezun olduktan sonra Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik EABD'de Yüksek Lisans eğitimine başladı.