

**Nadir Toprak Elementi Ce Katkılı ZnO/CuO Kompozit İnce Filminin Yapısal, Morfolojik ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi**Nurdan Selin KIRIK<sup>id</sup>, Bünyamin ŞAHİN<sup>id</sup>

Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 31034, Hatay, Turkey

**Öne Çıkanlar**

- SILAR Yöntemi ile ZnO/CuO kompozit ince filmlerinin sentezi.
- Katkılamanın başlıca fiziksel özelliklere etkilerinin araştırılması.
- Ce:ZnO/CuO filmlerin optik özelliklerinin belirlenmesi.

**Makale Bilgileri**Geliş: 19/01/2022  
Kabul: 28/03/2022**Anahtar Kelimeler**Kompozit Film,  
Katkılama,  
Nadir Element,  
Band Aralığı**Öz**

*Bu çalışmada; ZnO/CuO kompozit ince film yapılarının nadir toprak elementlerinden Ce ile farklı oranlarda katılanmasına bağlı olarak filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. SILAR yöntemi ile üretilen Ce katkıli kompozit ince filmlerin; X-ışını kırınımı (XRD) yöntemiyle kristal yapı ve yönelimleri, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) analizleri ile yüzey morfolojileri, araştırılmıştır. Numunelerin optik özelliklerinin belirlenmesi için UV-Vis. spektroskopisi kullanılmıştır. SEM ve AFM görüntüleri altlığın üzerinin tamamen kaplandığını, herhangi bir çatlak ve boşluk benzeri kusurların bulunmadığını ortaya koymuştur. Ce konsantrasyonunun % 1,0 dan % 2,0'a artmasına bağlı olarak optik bant aralığı değeride 2,19 eV'dan 2,25 eV değerine yükselmiştir.*

**Assesment of the Structural, Morphological and Optical Properties of Rare-Earth Element Ce-doped ZnO/CuO Composite Films****Highlights**

- SILAR fabricated ZnO/CuO composite nanostructures.
- Influence of Ce-doping on the main physical properties of ZnO/CuO.
- Determination of optical properties of Ce: ZnO/CuO.

**Article Info**Received: 19/01/2022  
Accepted: 28/03/2022**Keywords**Composite Film,  
Doping,  
Rare-Earth Element,  
Bandgap**Abstract**

*In this study, we report on our research of the influence of Rare-Earth element Ce-doping on the structural, morphological and optical properties of SILAR fabricated ZnO/CuO composite nanostructures. The structural, surface morphological and optical characterizations of the Ce: ZnO/CuO samples have been examined utilizing X-ray diffraction (XRD) analysis, Scanning Electron Microscopy (SEM), Atomic Force Microscopy (AFM) and Ultraviolet-visible (UV-Vis) spectrophotometry measurements. The SEM and AFM images of the Ce: ZnO/CuO films presented that the surface morphology of the samples did not contain cracks and voids. The optical bandgap values of Ce: ZnO/ CuO nanostructured composite samples increased from 2.19 to 2.25 eV as Ce concentrations increased from 1,0 to 2,0 %.*



## 1. GİRİŞ

Kimyasal ve fiziksel özellikleri aynı olmayan, farklı özelliklere sahip olan iki ya da daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle kompozit yapılar elde edilir. Nanokompozit malzemeler nanomalzeme üretiminde ve kullanımında önemli yere sahiptirler. Nanokompozit yapılar kendisini oluşturan malzemelerle aynı özelliklere sahip değildirler. Karışım ve alaşımlardan farklı olarak kompozit yapılar birbiri içerisinde makro anlamda çözülmezler. Bu durum farklı özellikte yapılara ulaşmanın önünü açar [1,2].

İki veya daha fazla farklı yapıdan oluşan nanokompozit malzeme hem nanoyapıdan kaynaklanan özelliklerinin hem de kompozit malzeme olmanın getirdiği farklı özelliklerin birleşimiyle optik, fiziksel, mekanik ve elektriksel analizlerde farklı davranışlar sergileyebilmektedir. Bu durum malzeme çeşitliliğinde artış sağlamaktadır [3,4]. Nanokompozit malzemelerin avantajları; hafif, maliyetsiz, uzun ömürlü, yüksek kimyasal ve fiziksel dayanıklılık ve en önemlisi farklı kombinasyonlarda üretilebilmeleri olarak özetlenebilir.

Literatüre bakıldığında nano yapıları metal oksitler arasında çinko oksit (ZnO) ve bakır oksit (CuO) yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu iki malzeme gerek bol miktarda bulunmaları ve gerekse sıklıkla birçok teknolojik alanda kullanım imkânına sahip olmaları nedeni ile bunlardan oluşan kompozit formun özellikleride araştırmacıların dikkatini çekmiştir. ZnO/CuO kompozit ince film yapıları sahip oldukları üstün özellikler nedeni ile araştırmacılar tarafından gaz algılama [5], glukoz sensörü, [6], güneş paneli [7], ve terleme düzeyi takibi [8,9] gibi birçok alanda uygulamalara tabi tutulmuşlardır. Fakat ucuz ve geniş kullanım alanına sahip bu iki yapının kompozit formuna ilişkin yapılan çalışmalar hala çok kısıtlıdır.

Öte yandan ince film yapılarının fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi için metal katkıları da araştırmacıların tercih ettiği bir diğer husustur. İnce filmlerin morfolojik, optik ve elektriksel özellikleri eklenen katkı malzemesinin farklı yüzdelikteki değişimleri ile değiştirilebilmektedir [10,11].

Nadir toprak elementleri olarak da adlandırılan lantanitler periyodik cetvelde atom numaraları 57'den (Lantan- La) 71'e (Lutesyum- Lu) kadar olan ve kimyasal olarak birbirine yakın özellikler gösteren 15 elementi kapsamaktadır [11]. Son yıllarda ince filmler içerisinde La, Dy, Nd, Ce, Sm, Gd gibi lantanitlerin katkılanması ile lüminesans, fotokatalizör ve diğer üstün elektriksel özelliklere sahip olmaları nedeniyle önemlilikleri artmıştır. Bu nedenle de bu çalışmada nadir toprak elementlerinden olan Seryum'un (Ce) ilk defa ZnO/CuO kompozit ince film yapıya katkılanması gerçekleştirilmiştir. SILAR yöntemiyle cam altlıklar üzerine %1,0 ve %2,0 oranlarında Ce katkıları yapılarak büyütülen bu nano yapıları ZnO/CuO kompozit ince filmlerde meydana gelen yapısal, morfolojik ve optik değişimler incelenip raporlaştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction) tekniği, ince filmlerin üretiminde kullanılan çözelti bazlı üretim tekniklerinden biridir. SILAR yöntemi karmaşık olmayan, çevre dostu, güvenli, düşük sıcaklık uyumlu ve maliyeti yüksek olmadığı için tercih edilen bir tekniktir [12,13]. İnce filmlerin, içinde farklı çeşit iyonları barındıran sulu çözeltiler içerisinde taban malzemenin belli bir sıra ile daldırılarak, taban malzemenin üstünde büyütülmesi esasına dayanır.

Bu çalışmada mikroskop camı (lam), altlık malzeme olarak kullanılmıştır. Yarıiletkenlik özelliği olan ince filmleri altlık malzeme üzerinde büyütmeden önce altlık malzemenin üstünde tutunmuş bir yabancı madde ve organik bir kalıntı olmaması için sülfirik asit, saf su ve asetonla temizlik işlemleri yapılmıştır. Kompozit ince film üretimi için, suya molekül ağırlığı 170,48 g/mol, %99 saflıktaki  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$  bileşiğinden ve %98 saflıktaki  $ZnCl_2 \cdot 6H_2O$  bileşiğinden oluşan 0,15 M çözeltiler hazırlanmıştır. Daha sonra bu çözeltiler homojen hale gelene dek manyetik karıştırıcıda karıştırma işlemi uygulanarak, elde edilen homojen  $CuCl_2$  ve  $ZnCl_2$  çözeltilerinin pH değerini dengelemek için içerisinde derişik amonyum hidroksit eklenmiştir. Manyetik karıştırıcı 550 rpm'ye, ısıtıcıyı da 85 °C' ye ayarlanmıştır. Bu değerler deney süresince sabit tutulmuştur. Bu deney sisteminde yapılan işlem basamakları sırasıyla şunlardır;

- Hazırlanan çözeltinin içine cam altlıklar 20 s boyunca daldırıldı
- Çözeltiden çıkarılan cam altlıkları 20 s boyunca saf suya daldırıldı
- Saf sudan çıkarılan cam altlıklara 20 s boyunca kurutma işlemi uygulandı
- Bu işlem basamakları 1 tur olarak kabul edildi ve her deney 25 tur olacak şekilde gerçekleştirildi.

Katkı yapılacak malzemenin aynı çözelti içerisine belirli oranda eklenmesi ile farklı katkı oranı içeriğinde ancak aynı molaritede çözeltiler hazırlanarak soda-lime glass altlıklar üzerine film büyütme işlemi gerçekleştirildi. 0,15 M, molekül ağırlığı 434,23 g/mol olan  $Ce(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$  tuzu çözelti içerisine % 1,0 ve % 2,0 oranlarında katlandı. Üretilen Ce katkılı ince filmler tavlama fırınında 250°C' de 45 dakika tavlandı.

Ce: ZnO/CuO ince film yapılarının kristallenme kaliteleri ve faz yapısı Bruker D8 advance high-resolution marka X-ışını difraktometresi (XRD) ile belirlendi. Kalınlık değerleri ise Nanomap- 500LS 3D Surface Profilometer aracılığıyla ölçüldü. Yüzey morfolojisi ve elementel kompozisyon değerleri (Thermo Fisher Scientific Apreo S) Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM)ve Enerji Dağılımlı X-ışını Floresan Spektrometresi (EDX) ile belirlenmiştir. Atomik Kuvvet Mikroskobu (Solaris AFM) ile de yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yürütülmüştür. Örneklerin soğurma ve geçirgenlik ölçümleride Thermo Scientific Genesis 10 s UV-Vis. Spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. X-Işını Kırınımı (XRD) Analizi

X-ışını kırınımı, bir kristaldeki atomların 3 boyutlu uzayda dizilişini belirlemek için yaygın bir biçimde kullanılan bilimsel bir yöntemdir. Bu yöntem aracılığı ile yapı içerisindeki atomların dizilişlerinin yanı sıra kristallenme kalitesi, kafes parametreleri ve kristalite boyutları belirlenebilmektedir [14]. Bu çalışmada da bu yöntem kullanılarak üretilen numunelerin bazı kristal yapı kusur özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 1'de %1,0 ve %2,0 oranlarında Ce katkılı nano yapı ZnO/CuO kompozit ince film yapıların elde edilen XRD analizleri gösterilmiştir. Farklı düzlemlerden yansıma gözlenmesi polikristal yapıyı desteklemektedir [15]. Şekil 1'e bakıldığında yapıda hem ZnO'ya hemde CuO'ya ait düzlemlerin varlığı rahatlıkla görülmektedir. Bu durum bize oluşturulan filmlerin kompozit formda olduğunu açıkça göstermektedir. Ayrıca Ce katkısına bağlı olarak ZnO'ya ait (100), (101) ve CuO'ya ait (111) düzlem piklerinin şiddetlerinde az miktarda azalmanın varlığından bahsedilebilir (Tablo 1). Bu durum literatürdeki benzer çalışmalarda uyumludur [16, 17].

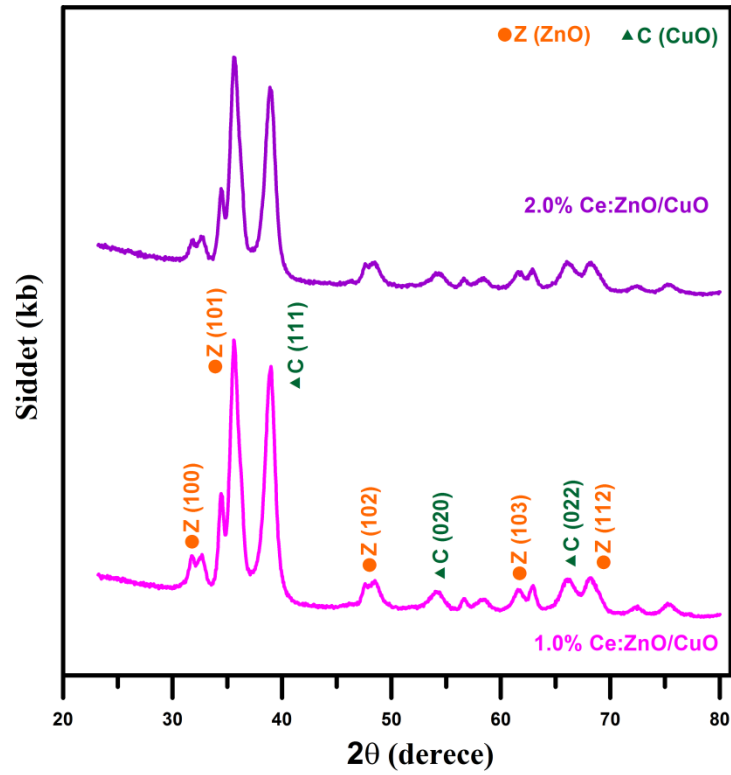
Büyütülen filmlerin ortalama kristalite boyutları (D) aşağıda tanımlanan Scherrer denklemi kullanılarak hesaplandı [9]

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Burada  $\lambda$ ,  $\beta$  ve  $\theta$  sırasıyla X-ışını dalga boyu, pik yarı yükseklik genişliği ve Bragg kırınım açısıdır. Elde edilen ortalama kristalite boyutları, Z (101) ile C (111) düzlemleri için pik yarı yükseklik genişliği ve şiddet değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Ce: ZnO/CuO kompozit ince film yapılarının kristalite boyutu, bazı pik yarı yükseklik genişlik ve şiddet değerleri

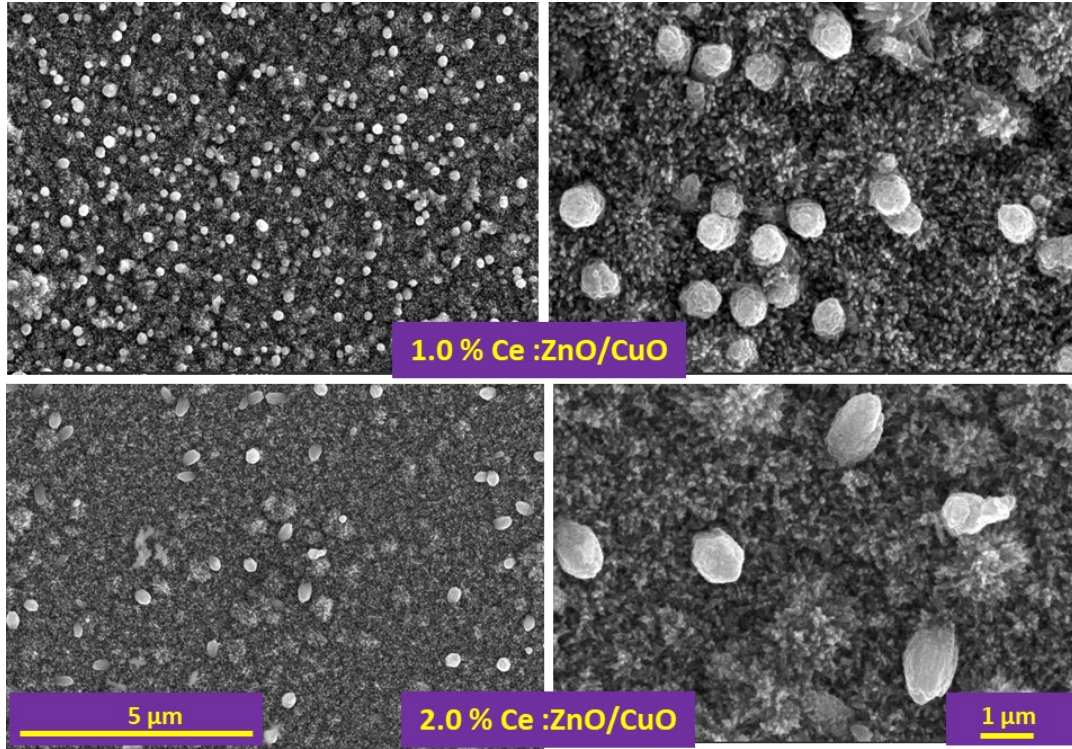
Numune Adı	Kristalite Boyutu (nm)	Pik Yarı Yükseklik Genişliği (FWHM)		Kaydedilmiş Pik Şiddeti Değerleri	
		Z (101)	C (111)	Z (101)	C (111)
1,0 % Ce: ZnO/CuO	8,60	0,989	1,102	6628	6172
2,0 % Ce: ZnO/CuO	8,10	1,001	1,156	5489	4953



**Şekil 1.** %1,0 ve %2,0 oranlarında Ce katkılı nano yapı ZnO/CuO kompozit ince film yapıların XRD analizleri

### 3.2. SEM Görüntüleri

Taramalı elektron mikroskobu ile malzeme yüzeyinin taranması, küçük bir alana odaklanan yüksek voltajla hızlandırılmış elektronların malzeme yüzeyinden saçılması ile gerçekleşir. Saçılan elektronların algılanması sonucu numunenin yapısı görüntülenir. Hazırladığımız numunelerin 25.000 (5  $\mu\text{m}$ ) ve 100.000 (1  $\mu\text{m}$ ) büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.



**Şekil 2.** %1,0 ve %2,0 oranlarında Ce katkı nano yapı ZnO/CuO kompozit ince film yapılarının 25 KX ile 100 KX büyütmedeki karşılaştırmalı SEM görüntüleri

Şekil 2 incelendiğinde genel itibariyle homojen bir dağılımın varlığı ve altlığın yüzeyinin yoğun bir biçimde tamamen kaplandığı gözlenebilmektedir. Yapının hegzagonal yapıdaki ZnO ve CuO nun iç içe geçtiği artan katkı oranına bağlı olarakta değiştiği görülmektedir. Bu durumun, yapıya katılan malzeme (Ce) ile ev sahibi malzemelerin (Zn ve Cu) elektron alışveriş isteklerinin yanı sıra malzemelerin iyonik yarıçaplarının farklı olmasının yapıda oluşturduğu stres sebebiyle olduğu düşünülmektedir [18-20]. Ce katkı nano yapı ZnO/CuO kompozit ince film yapılarının SEM görüntülerindeki katkılamaya bağlı bu değişim önceki çalışmalarda benzer şekilde raporlaştırılmıştır [17,21].

Nanoyapılı Ce: ZnO/CuO kompozit ince film yapılarının elementel bileşenleri Enerji-Dağılımlı X-ışını Floresan Spektrometresi ile ölçülmüş ve Tablo 2’de sunulmuştur. Çözelti içerisindeki Cu, Zn ve Ce elementlerinin elektron alma ve verme eğilimlerinin yanı sıra reaksiyona girme hız ve istekliliklerin deki farklılığa bağlı olarak yapıda kendilerine farklı oranlarda yer bulabilmişlerdir.

**Tablo 2.** Ce: ZnO/CuO kompozit ince film yapılarının elementel bileşenleri tablosu

Numune Adı	Cu (at%)	Zn (at%)	O (at%)	Ce (at%)
1,0 % Ce: ZnO/CuO	21,81	32,35	45,75	0,09
2,0 % Ce: ZnO/CuO	22,31	31,96	45,59	0,14

### 3.3. AFM Analizi

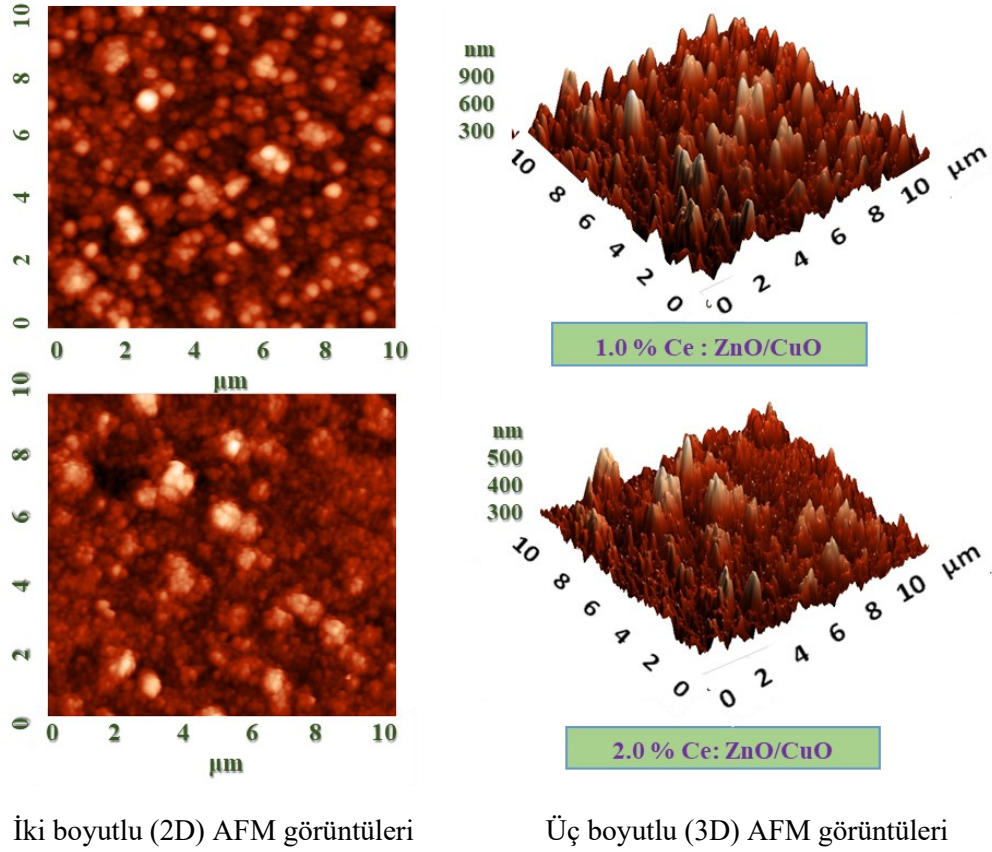
İnce filmlerin yüzey yapısının tespitinde bir diğer bilinen yöntem Atomik Kuvvet Mikroskopundan faydalanmaktadır. Oluşturulan ince filmde tanelerin varlığı ve boyutları, taneler arası boşluklar, filmlerin poli kristal yapıda olup olmadığı, numune yüksekliği baz alınarak hangi tip büyüme gerçekleştiği ve yüzey homojenliği AFM sayesinde gözlenebilmektedir [22].

Şekil 3'te %1,0 ve %2,0 Ce katkılı nano yapıları ZnO/CuO kompozit ince film yapılarına ait iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri verilmiştir. AFM bulguları incelendiğinde, yapıda çatlak ya da göze çarpan büyük çukurlar gözlenmemiştir. Katkı oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı belirgin bir biçimde görülmektedir.

**Tablo 3.** Ce:ZnO/CuO kompozit ince film yapılarının ortalama pürüzlülük değerleri ve film kalınlıkları

Numune Adı	Yüzey Pürüzlülüğü (Sa) (nm)	Film Kalınlığı ( $\mu$ m)
1,0 % Ce: ZnO/CuO	59,16	0,81
2,0 % Ce: ZnO/CuO	57,79	0,73

Katkı oranının artmasıyla numunelerin ortalama pürüzlülük değerlerindeki bu azalma Tablo 3' de gösterilmiştir. Bu durum bazı sensör uygulamaları (sıvı örneklerin kullanımına dayalı biyolojik sensörler) için istendik bir durumdur. Acar ve ark. (2021) ile Asfuroğlu ve Şahin (2021) yaptıkları ZnO/CuO kompozit ince film bazlı terleme düzeyini algılayan sensör sistemlerinin geliştirilmesi içerikli çalışmalarında azalan pürüzlülük değerleri ile numune üzerine damlatılan yapay ter örnekleri arasındaki etkileşimin arttığını buna bağlı olarak da sensör tepkilerinin geliştiğini raporlaştırmışlardır [8, 9]. Öte yandan ortalama pürüzlülük değerlerindeki bu azalma, azalan kristalite boyutunun bir sonucu olarak ortaya çıkabilmektedir.



İki boyutlu (2D) AFM görüntüleri

Üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri

**Şekil 3.** %1,0 ve %2,0 oranlarında Ce katkı nano yapı ZnO/CuO kompozit ince film yapılarına ait iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) AFM görüntüleri

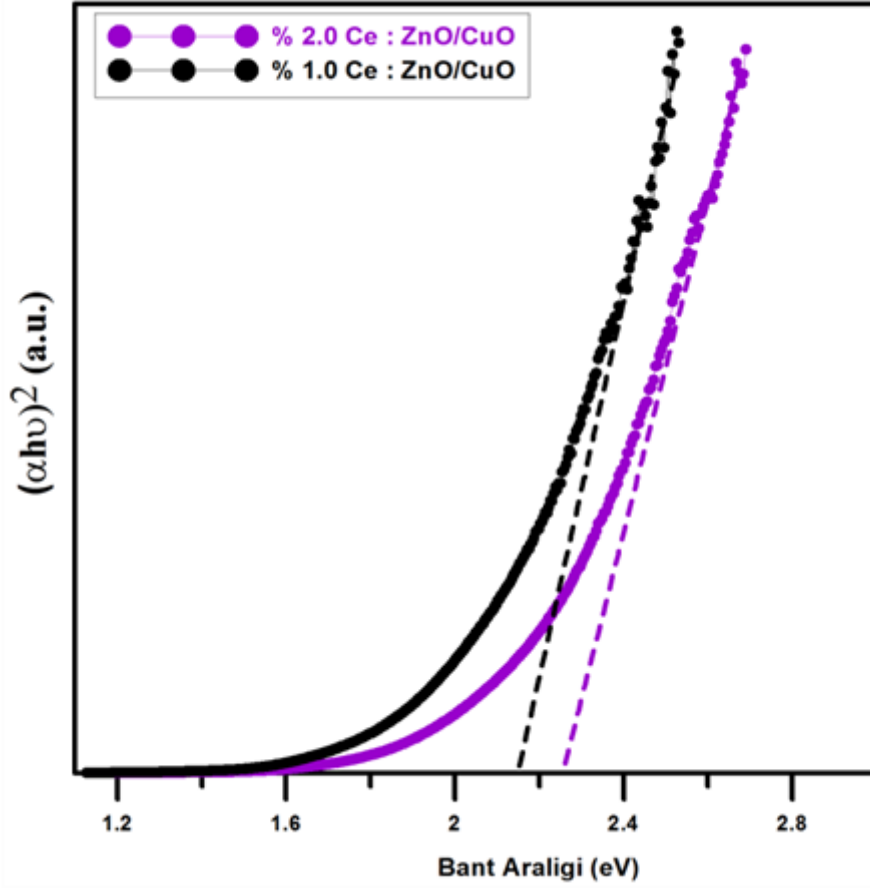
### 3.4. Optik Özelliklerin İncelenmesi

SILAR yöntemi kullanılarak üretilmiş olan %1,0 ve %2,0 Ce katkı nano yapı ZnO/CuO kompozit ince film yapılarının optik özelliklerinin incelenmesi UV-Vis. Spektrometresi aracılığı ile gerçekleştirildi. Büyütülen Ce: ZnO/CuO ince film yapılarının optik bant aralığı değerlerini hesaplamak için aşağıda gösterilen Tauch denkleminde yararlanılmıştır [8]

$$(\alpha hv) = C(hv - E_g)^{1/2}. \quad (2)$$

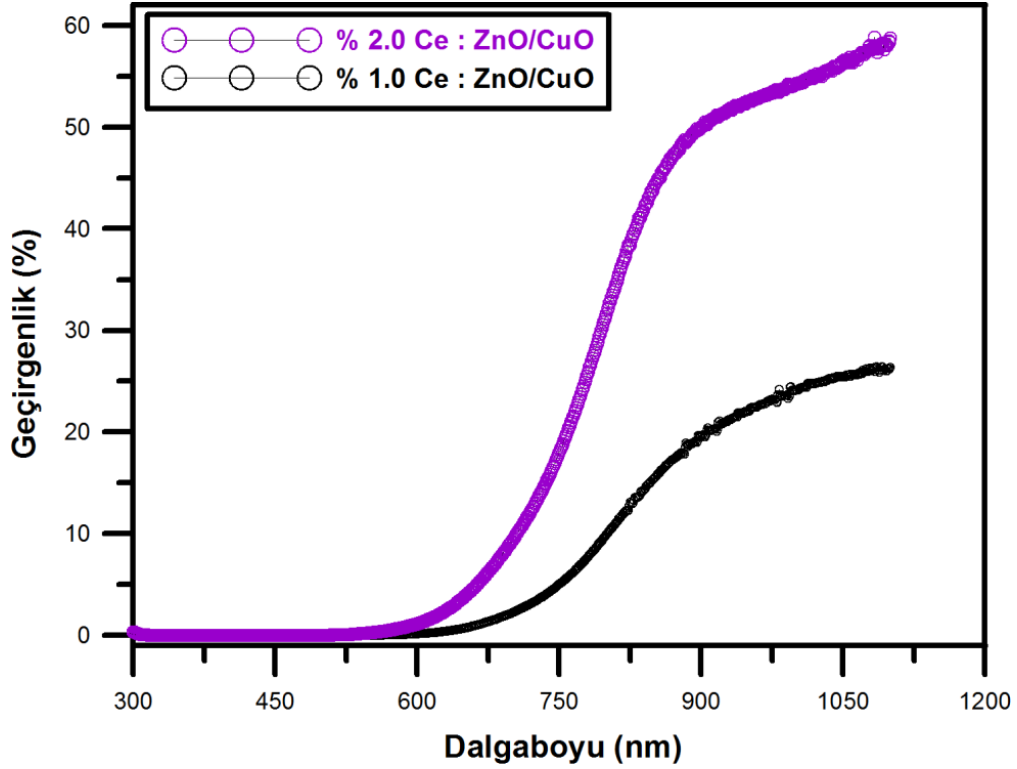
Burada  $\alpha$  soğurma katsayısı,  $hv$  gelen foton enerjisi ve C bir sabittir.  $(\alpha hv)^2$  nin foton enerjisi ( $hv$ ) ye bağlı değişim grafikleri herbir numune için Şekil 4’de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde %1,0 Ce katkı filmlerin bant aralığı yaklaşık 2,19 eV, %2,0 Ce katkı filmlerin bant aralığı ise 2,25 eV olarak tespit edilmiştir. Yalın haldeki (herhangi bir katkı malzemesi içermeyen) benzer yöntemle ürettiğimiz ZnO/CuO kompozit ince film yapı için bant aralığı değeri bir başka çalışmamızda 2,13 eV olarak tespit edilmiş ve yayına dönüştürülmüştür [8]. Yani yapıya Ce katkılanması bant aralığını artırdığı gibi artan Ce miktarına bağlı olarakta bant aralığının artmaya devam ettiği söylenebilir. Benzer durum literatürdeki Ce katkı farklı ince film yapıları için elde edilen çalışmalarda mevcuttur. Katkılamaya bağlı olarak kristallenme kalitesi ve yüzey morfolojisindeki farklılaşma doğrudan bant aralığını değiştirmiştir [17, 23-25].

Ayrıca bant aralığındaki bu değişim, elde edilen filmlerin kristalografik yapısındaki değişimin bir sonucudur. Literatürde azalan kristallit boyutuna bağlı olarak enerji bant aralığının azaldığı rapor edilmiş ve bu durum kuantum boyut etkisi (quantum size effect) ile açıklanmıştır. Buna bağlı olarak XRD verilerinden elde edilen kristalite boyutundaki değişimle optik bant aralığı sonuçlarının birbiri ile uyum içerisinde olduğunu söyleyebiliriz. Literatürde katkılama içerikli çalışmalarda benzer bir değişim ortaya konup rapor edilmiştir [26, 27].



**Şekil 4.** % 1,0 ve % 2,0 Ce katkılı nano yapı ZnO/CuO kompozit ince film yapılarına ait optik bant aralığı grafiği





**Şekil 5.** % 1,0 ve % 2,0 Ce katkılı nano yapılı ZnO/CuO kompozit ince film yapılarına ait dalgaboyuna bağlı optik geçirgenlik grafiği

Şekil 5'te %1,0 ve %2,0 Ce katkılı nano yapılı ZnO/CuO kompozit ince film yapılarına ait dalgaboyuna bağlı optik geçirgenlik grafiği verilmiştir. Grafiğe göre; %1,0 Ce katkılı numunenin geçirgenliği yaklaşık %25 ve %2,0 Ce katkılı numunenin geçirgenliği yaklaşık %55 olarak belirlenmiştir. Bu durum film kalınlığı ile ilişkilendirilebilir. Numunelerin kalınlık değerlerine bakıldığında %1,0 Ce katkılı numune için 0,81  $\mu\text{m}$  iken %2,0 Ce katkılı numunede bu değerin 0,73  $\mu\text{m}$ 'ye azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla azalan kalınlığa bağlı olarak filmlerin geçirgenlik değerlerinde artışın olması beklenen bir durumdur. Artan katkılama oranına bağlı olarak Ce: ZnO/CuO filmlerinin geçirgenliğinin arttığı Şekil 5'te net bir şekilde görülmektedir. Bu durum optik bant aralığı verileri ile de uyum göstermektedir. Zira artan geçirgenlik (Transmittance) artan bant aralığı anlamına gelmektedir.

#### 4. TARTIŞMA

Bu çalışmada; ZnO/CuO kompozit ince film yapılarının nadir toprak elementlerinden Ce ile farklı oranlarda katkılanmasına bağlı olarak filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. SILAR yöntemi ile üretilen Ce katkılı kompozit ince filmlerin; AFM ve SEM analizleri sonucu morfolojik yapıları, X-ışını kırınımı yöntemiyle de kristal yapı ve yönelimleri belirlenmiştir. Numunelerin optik özellikleri UV-Vis spektroskopisi ile ortaya konulmuştur.

Ce katkılı nano yapılı ZnO/CuO kompozit ince film yapıların XRD analizlerine göre; Ce katkısına bağlı olarak ZnO'ya ait (100), (101) ve CuO'ya ait (111) düzlem piklerinin şiddetlerinde kısmi bir azalma gözlenmiştir. %1,0 ve %2,0 Ce katkılı nano yapılı ZnO/CuO kompozit ince film yapıların 25 KX ile 100 KX büyütmedeki karşılaştırmalı SEM görüntüleri incelendiğinde homojen bir dağılım gözlenmiştir. AFM sonuçlarına bakıldığında ise yapıda çatlak ya da göze çarpan büyük çukurların olmadığı ve katkılama oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir. Katkı oranının artmasıyla numunedeki ortalama pürüzlülük değerlerinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

%1,0 ve %2,0 Ce katkılı nano yapılı ZnO/CuO kompozit ince film yapılarının optik özelliklerinin incelenmesi UV-vis. Spektroskopisi ile gerçekleştirilmiştir. %1,0 Ce katkılı filmlerin bant aralığı yaklaşık olarak 2,19 eV, %2,0 Ce katkılı filmlerin bant aralığının yaklaşık olarak 2,25 eV olarak belirlenmiştir. Ce katkılama oranı arttıkça bant aralığında artış olmuştur. Ayrıca %1,0 Ce katkılı numunenin geçirgenliği

yaklaşık %25 ve %2,0 Ce katkılı numunenin geçirgenliği ise %55 olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada; nadir toprak elementlerinden Ce katkılı ZnO/CuO kompozit ince film yapılarının katkılama oranlarına bağlı olarak filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özelliklerindeki değişimler ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu ve elde edilen bu yapının, geliştirilmesi düşünülen yeni nesil optoelektronik aygıtların üretimi için potansiyel bir aday olacağı düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi BAP Birimince Desteklenmiştir (Proje No: 21.D.015)

## ÇIKAR ÇATIŞMASI/ÇAKIŞMASI BİLDİRİMİ

Yazarlar arasında çıkar çatışması/çakışması bulunmamaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Asfuroğlu, C. (2021). Mg katkısının nanoyapılı ZnO/CuO kompozit ince film yapılarının oda sıcaklığında terleme düzeyini algılama özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Hatay. 77.
- [2] Akkaya, A., Şahin, B., Aydın, R., Çetin, H., Ayyıldız, E. (2020). Solution-processed nanostructured ZnO/CuO composite films and improvement its physical properties by lustrous transition metal silver doping. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 31, 14400–14410.
- [3] Khalili, E., Hassanzadeh-Tabrizi, S. (2017). ZnO–CdO nanocomposite: microemulsion synthesis and dye removal ability. *J Sol-Gel Sci Technol.*, 81, 475–482.
- [4] Bassey, E. E. , Sallis, P., Prasad, K. (2016). Analysis of Methanol Sensitivity on SnO<sub>2</sub>- ZnO Nanocomposite, Characterization of Minerals. *Metals, and Materials*, 1, 287-291.
- [5] Poloju, M., Jayababu, N., Reddy, M.V.R. (2018). Improved gas sensing performance of Al doped ZnO/CuO nanocomposite based ammonia gas sensor. *Mater. Sci. Eng. B.*, 227, 61–67.
- [6] Soejima, T., Takada, K., Ito, S. (2013). Alkaline vapor oxidation synthesis and electrocatalytic activity toward glucose oxidation of CuO/ZnO composite nanoarrays. *Appl. Surf. Sci.*, 277, 192–200.
- [7] Kidowaki, H., Oku, T., Akiyama, T. (2012). Fabrication and characterization of CuO/ZnO solar cells. *J. Phys. Conf.*, 352, 012022.
- [8] Asfuroğlu, C. E., Şahin, B. (2021). Mg-substituted ZnO/CuO composite films: A potential candidate for highly efficient human hydration level monitoring. *Sensors and Actuators A: Physical*, 328, 112770.
- [9] Şahin, B., Acar A., Kaya T. (2021). Simple and low-cost synthesis of Al-doped ZnO/CuO composite nanowires for highly efficient hydration level sensing. *Ceramics International*, 47, 11405-11414.
- [10] Güldalı, Ö. (2017). Lantanit katkılı yarı iletken ince filmlerin optik özelliklerinin incelenmesi. Doktora tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya. 179.
- [11] Güldalı Ertek, Ö., Okur, İ. (2016). Optical and structural effects of Dy doping in ZnO thin films on quartz glasses using the spi coaing method. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*, 54, 99-104.
- [12] Şahin, B., Soylu, S., Kara, M., Türkmen, M., Aydın, R., Çetin, H. (2021). Superior antibacterial activity against seed-borne plant bacterial disease agents and enhanced physical properties of novel green synthesized nanostructured ZnO using *Thymbra spicata* plant extract. *Ceramics International*, 47, 341-350.
- [13] Akaltun, Y., Çayır, T. (2015). Fabrication and characterization of NiO thin films prepared by SILAR method. *Journal of Alloys and Compounds*, 625, 144–148.
- [14] Yünel, T., Y., Ersoy, A., Ehsani, A. (2019). X-ışını difraksiyonu yöntemi ile kantitatif mineral içeriği tayini ve çalışma şartlarının etkisi. *Adana Alparslan Türkiye Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 16-28.
- [15] Şahin, B., Kaya T. (2021). Facile preparation and characterization of nanostructured ZnO/CuO composite thin film for sweat concentration sensing applications. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 121, 105428.
- [16] Sharma, D. K., Sharma, K. K., Kumar, V., & Sharma, A. (2016). Effect of Ce doping on the structural, optical and magnetic properties of ZnO nanoparticles. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27(10), 10330-10335.

- [17] García-Méndez, M., Segura, R. R., Coello, V., Guerra, E. M., & Bedoya-Calle, A. (2015). The influence of Ce doping on the structural and optoelectronic properties of RF-sputtered ZnO films. *Optical and Quantum Electronics*, 47(8), 2637-2648.
- [18] Gürbüz, E., Şahin, B. (2018). Zn-doping to improve the hydration level sensing performance of CuO films. *Applied Physics A*, 124, 795.
- [19] Şahin, B. (2019). Dual doping (Cu with rare-earth element Ce) : An effective method to enhance the main physical properties of CdO films. *Superlattices and Microstructures*, 136, 106296.
- [20] Dinç, S. (2020). Krom Katkısının Bakır Oksit İnce Filmlerin Terleme Düzeyini Algılama Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Hatay. 71.
- [21] Gea, C., Xie, C., Cai, S. (2007). Preparation and gas-sensing properties of Ce-doped ZnO thin-film sensors by dip-coating. *Materials Science and Engineering B*, 137, 53–58.
- [22] Ketenci, E. (2010). CdO: F Filmlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir. 114.
- [23] Mohammed, A. S., Kafi, D. K., Ramizy, A., Abdulhadi, O. O., & Hasan, S. F. (2019). Nanocrystalline Ce-doped CdO thin films synthesis by spray pyrolysis method for solar cells applications. *Journal of Ovonic Research*, 15(1), 37-42.
- [24] Arif, M., Shkir, M., Ganesh, V., Singh, A., Algarni, H., & AlFaify, S. (2019). A significant effect of Ce-doping on key characteristics of NiO thin films for optoelectronics facilely fabricated by spin coater. *Superlattices and Microstructures*, 129, 230-239.
- [25] Şahin, B., Kaya T. (2016). Enhanced hydration detection properties of nanostructured CuO films by annealing. *Microelectrical Engineering*, 164, 88–92.
- [26] Sorar,I., Saygin-Hinczewski, D., Hinczewski, M., Tepehan, F.Z. (2011). Optical and structural properties of Si-doped ZnO thin films. *Applied Surface Science*, 257, 7343–7349.
- [27] Şahin, B., Aydın, R., Çetin, H. (2019). Variation of the key morphological, structural, optical and electrical properties of SILAR CdO with alkaline earth  $Ca^{2+}$  ions doping. *Ceramics International*, 45, 16748-16758.