

**T.C.  
SİİRT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAF VE KATKILI ÇİNKO MAGNEZYUM OKSİT NANO PARTİKÜLLERİN  
KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet Sait ÇEVİK  
(173115003)**

**Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Arzu EKİNCİ**

**Eylül-2020  
SİİRT**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Sait Çevik tarafından hazırlanan “Saf ve Katkılı Çinko Magnezyum Oksit Nanopartiküllerin Karakterizasyonu” adlı tez çalışması 11/09/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. İsa SIDIR

.....

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Arzu EKİNCİ

.....

#### Üye

Doç. Dr. Sabit HOROZ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Fevzi HANSU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Siirt Üniversitesi BAP tarafından 2019-SİÜ FEB-019 nolu proje ile desteklenmiştir.

## ÖN SÖZ

Yaptığım çalışmanın gerçekleşmesi için bana danışmanlık yapan, beni yönlendiren, gerek bilimsel katkılarını gerekse tecrübesini ve ilgisini benden esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Arzu EKİNCİ' ye teşekkürlerimi sunarım.

Yaptığım deneylerde gerek malzeme temininde gerekse deneylerin yapılış aşamasında ve değerlendirilmesinde desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Ömer ŞAHİN' e, Doç. Dr. Orhan BAYTAR' a ve Doç. Dr. Sabit HOROZ' a teşekkür ederim.

Gösterdikleri sabır ve verdikleri destekten ötürü de aileme şükranlarımı sunuyorum.

Mehmet Sait ÇEVİK  
SİİRT-2020



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖN SÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	v
TABLolar LİSTESİ .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT.....	xii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Temel ve Teorik Bilgiler.....	3
2.1.1. Yarı iletkenler.....	3
2.1.2. Katkısız (Has) Yarı İletkenler.....	5
2.1.3. Katkılı yarı iletkenler.....	5
2.1.3.1. n tipi yarı iletkenler.....	5
2.1.3.2. p tipi yarı iletkenler.....	6
2.1.4. Saydam iletken oksitler.....	7
2.1.5. ZnO ve MgO filmler.....	8
2.1.6. Kullanılan Araç Gereçler.....	10
2.1.6.1. X-Işınları kırınımı (XRD).....	10
2.1.6.2. Uv-Visible cihazı.....	11
2.1.7. Metilen Mavisi.....	12
2.1.8. Yarı iletken sentez yöntemleri.....	12
2.1.8.1. Sol-jel tekniği.....	12
2.1.8.2. Kimyasal buhar biriktirme (CVD).....	14
2.1.8.3. Hidrotermal yöntemler.....	14
2.1.9. Fotokatalitik Etki.....	15
2.1.9.1. Fotokataliz ve fotokatalizörler.....	15
2.1.9.2. Fotokatalitik aktiviteyi etkileyen faktörler.....	16
2.1.10. ZnO ve MgO ile ilgili kaynak özetleri.....	17
<b>3. MATERYAL VE METOT.....</b>	<b>20</b>
3.1. Malzemeler.....	20
3.2. Yöntem.....	20
3.2.1. Aktif karbon destekli nano parçacıkların sentezi.....	20

3.2.1.1. Nano parçacıkların sentezi.....	20
3.2.1.2. Fotokatalitik deneyleri.....	21
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>22</b>
4.1. Metilen Mavisi Fotokatalitik Bozunması.....	22
4.1.1. Aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörü.....	22
4.1.1.1. Aktif karbon /ZnO oranı.....	22
4.1.1.2. Mg katkı oranının belirlenmesi.....	23
4.1.1.3. Metilen mavisi konsantrasyonunun etkisi.....	24
4.1.1.4. Katalizör miktarı etkisi.....	25
4.1.1.5. Metilen mavisinin pH etkisi.....	25
4.1.1.6. Kinetik Çalışmalar.....	26
4.1.2. Aktif karbon destekli Ni katkılı ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörü.....	28
4.1.2.1. Aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacığına katkılanmış Ni miktar etkisi.....	28
4.1.2.2. Katalizör miktarının etkisi.....	30
4.1.2.3. Metilen mavisi konsantrasyonu etkisi.....	30
4.1.2.4. Metilen mavisinin pH etkisi.....	31
4.1.2.5. Metilen mavisi bozunma kinetiği.....	32
4.1.3. Aktif karbon destekli Fe katkılı ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörü.....	34
4.1.3.1. Aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacığına katkılanmış Fe miktar etkisi.....	34
4.1.3.2. Katalizör miktarının etkisi.....	35
4.1.3.3. Metilen mavisi konsantrasyonu etkisi.....	36
4.1.3.4. Metilen mavisinin PH etkisi.....	37
4.1.3.5. Metilen mavisi bozunma kinetiği.....	38
4.2. Karakterizasyon ile ilgili ölçümler.....	40
4.2.1. XRD ölçümleri.....	40
4.2.2. UV-Vis ölçümleri.....	42
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>44</b>
6. KAYNAKLAR.....	46
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>51</b>

## TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 2.1.</b> Metilen mavisinin fiziksel özellikleri.....	12
<b>Tablo 4.1.</b> Birinci ve ikinci derece kinetik model sabitleri.....	28
<b>Tablo 4.2.</b> Birinci ve ikinci derece kinetik model sabitleri.....	34
<b>Tablo 4.3.</b> Birinci ve ikinci derece kinetik model sabitleri.....	40



## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Mutlak sıfır sıcaklığında valans bandı, iletim bandı ve yasak enerji aralığı.....	4
Şekil 2.2. İletkenlik derecesine göre değişen bant enerjileri (a) İletken, .....(b)Yarıiletken,(c)Yalıtkan.....	4
Şekil 2.3. N-tipi yarı iletken.....	6
Şekil 2.4. P-tipi yarı iletken.....	7
Şekil 2.5. Hekzagonal ZnO kristal yapısı.....	9
Şekil 2.6. XRD cihazı.....	10
Şekil 2.7. Uv-Visible cihazı.....	11
Şekil 2.8. Metilen Mavisinin molekül yapısı.....	12
Şekil 2.9. Kimyasal buhar biriktirme sistemi.....	14
Şekil 2.10. Fotokataliz yöntemiyle organik kirliliklerin giderimi.....	16
Şekil 4.1. Farklı aktif karbon/ZnO oranları için metilen mavisinin bozunma oranının zaman ile değişimi.....	22
Şekil 4.2. Farklı Mg miktarı için metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi.....	23
Şekil 4.3. Farklı çözelti başlangıç konsantrasyonların metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi.....	24
Şekil 4.4. Farklı katalizör miktarlarının metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi .....	25
Şekil 4.5. Farklı pH değerlerinde metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişim.....	26
Şekil 4.6. Kinetik grafikleri A-) birinci derece kinetik model, B-) ikinci derece kinetik model.....	28
Şekil 4.7. Ni katkılı AC/ZnOMg fotokatalizörü varlığında metilen mavisinin zamanla bozunma yüzdesi.....	29
Şekil 4.8. Ni katkılı AC/ZnOMg fotokatalizörü miktarının metilen mavisinin fotokatalitik bozundurma etkisi grafiği.....	30
Şekil 4.9. Ni katkılı AC/ZnOMg fotokatalizörünün metilen mavisinin konsantrasyonunun metilen mavisinin fotokatalitik bozundurma etkisi grafiği.....	31
Şekil 4.10. Farklı pH değerlerinde metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi.....	32
Şekil 4.11. Ni katkılı aktif karbon destekli ZnOMg nanoparçacık foto katalizörünün kinetik grafikleri a) birinci derece kinetik model, b) ikinci derece kinetik model.....	33
Şekil 4.12. Fe katkılı AC/ZnOMg fotokatalizörü varlığında metilen mavisinin zamanla bozunma yüzdesi.....	34
Şekil 4.13. Fe katkılı AC/ZnOMg fotokatalizörünün metilen mavisinin konsantrasyonunun metilen mavisinin fotokatalitik bozundurma etkisi grafiği.....	36
Şekil 4.14. Fe katkılı AC/ZnOMg fotokatalizörünün metilen mavisinin konsantrasyonunun metilen mavisinin fotokatalitik bozundurma etkisi grafiği.....	37
Şekil 4.15. Farklı pH değerlerinde metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi.....	38
Şekil 4.16. Fe katkılı AC/ ZnOMg nanoparçacık foto katalizörünün kinetik grafikleri a) birinci derece kinetik model, c) ikinci derece kinetik model.....	39
Şekil 4.17. Saf ve katkılı (Ni, Fe) AC/ZnMgO fotokatalizörlere ait XRD kırınım desenleri.....	41

<b>Şekil 4.18.</b> Saf ve katkılı (Ni, Fe) ZnMgO/AC fotokatalizörlere ait UV-Vis spekterumları.....	42
<b>Şekil 4.19.</b> Saf ve katkılı (Ni, Fe) ZnMgO/AC fotokatalizörlere ait $(\alpha h\nu)^{1/2}$ değerlerine karşı $h\nu$ değerlerinin grafiği.....	43



## KISALTMALAR VE SİMGELERLİSTESİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
AC	: Aktif karbon
CBD	: Kimyasal Buhar Depolama
EDX	: Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
eV	: Elektron Volt
FESEM	: Alan Emisyon Taramalı aelektron Mikroskobu
Ge	: Germanyum
HRTEM	: Elektron Mikroskobu
HT	: Hidro Termal
°K	: Kelvin
LED	: Işık yayan diyot
MB	: Metilen Mavisi
Mg	: Magnezyum
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Si	: Silisyum
St	: Station
UV	: Ultra Viyole
VB	: Valans Bandı
ZnO	: Çinko Oksit
ZnO:Fe	: Demir Katkılı Çinko Oksit
ZnO:Ni	: Nikel Katkılı Çinko Oksit
XRD	: X – Işını Difraktometrisi
ZnMgO	: Çinko Magnezyum oksit
MB	: Metilen mavisi

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
$\Omega\text{cm}$	: Ohm Santimetre
°C	: Santigrat Derece
D	: Debye-Scherrer eşitliği
eV	: Elektron volt
K	: Kelvin
Eg	: Yasak enerji bant aralığı
mg	: Miligram
$\alpha$	: Alfa soğurma katsayısı
Ct	: Belli bir zamandaki konsantrasyon
h	: Planck sabiti
k	: Reaksiyon hızı
s	: Saniye
sa	: Saat
dak	: Dakika
$\theta$	: Bragg yansıma açısı

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## SAF VE KATKILI ÇİNKO MAGNEZYUM OKSİT NANO PARTİKÜLLERİN KARAKTERİZASYONU

Mehmet Sait ÇEVİK

Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Arzu EKİNCİ

2020, 51+X Sayfa

Dünya nüfusu ve sanayi sayısındaki hızlı artış nedeniyle, temiz su talebi birçok yerde su ihtiyacını aşmıştır. Ek olarak, farklı endüstrilerde ana ürün yanında atıklardan oluşan çeşitli kirleticiler de su kirliliği kaynaklarıdır. Bu nedenle, bu kirleticilerin atık sulardan uzaklaştırılması büyük önem taşımaktadır. Çünkü kirletici maddeler ve bunların bozunma ürünleri genellikle toksik ve kanserojendir. Bu da, suda yaşayan organizmalar için ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Geleneksel adsorpsiyon işlemleri, sınırlı adsorpsiyon kapasiteleri nedeniyle toksik boyaları tamamen gideremez. Bu nedenle fotokatalitik bozunma, bu sorunu çözmede etkili ve çevre dostu bir araç olarak kullanılmıştır. Fotokatalitik işlemler, bozunma işlemlerini gerçekleştiren hidroksil radikalleri gibi yüksek oranda reaktif oksijen türlerinin üretilmesini içeren çevre dostu katalitik yaklaşımdır.

Bu çalışmada, metilen mavisini fotokatalitik bozundurulmasında kullanılmak üzere aktif karbon (AC) destekli ZnOMg, aktif karbon destekli nikel ve demir ile doplanmış ZnOMg nanopartikül fotokatalizörleri hidrotermal yöntemle sentezlendi. Nanoparçacık fotokatalizörlerin fotokatalitik aktiviteleri metilen mavisinin (MB) oda sıcaklığında görünür ışık altında fotokatalitik bozundurmaları incelendi. Sentezlenen nanopartikül fotokatalizörlerin karakterizasyonu; X ışınları kırınımı (XRD), enerji dağılımlı X-ışını, EDX ve UV-Vis absorpsiyon ölçümleri kullanılarak karakterize edildi. Fotokatalitik bozundurma reaksiyonları farklı katalizör miktarları, çeşitli pH ve boyanın başlangıç derişimleri ultraviyole ışık altında bir foto kabin içerisinde yürütüldü. Kinetik çalışma için bozunmalar UV-Vis spektrofotometre ile ölçüldü. Katalizör miktarının reaksiyon kinetiği parametreleri ve bozunma hız sabiti üzerindeki etkileri belirlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Fotokatalizör, Metilen mavisi, çinko magnezyum oksit, kinetik

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **CHARACTERIZATION OF PURE AND ADDED ZINC MAGNESIUM OXIDE NANO PARTICLES**

**Mehmet Sait ÇEVİK**

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Siirt University  
The Degree of Master of Science  
Department of Physics**

**Supervisor : Dr. Öğr. Üyesi Arzu EKİNCİ**

**2020, 51+X Pages**

Due to the rapid increase in the world population and the number of industries, the demand for clean water has exceeded the water demand in many places. In addition, various pollutants from wastes are sources of water pollution in addition to the main product in different industries. Therefore, it is of great importance to remove these pollutants from waste water. Because pollutants and their degradation products are generally toxic and carcinogenic. This poses a serious danger to aquatic organisms. Traditional adsorption processes cannot completely remove toxic dyes due to their limited adsorption capacity. This is why photocatalytic degradation has been used as an effective and environmentally friendly tool in solving this problem. Photocatalytic processes are an environmentally friendly catalytic approach that involves the generation of highly reactive oxygen species such as hydroxyl radicals that perform the degradation processes. In this study, activated carbon (AC) supported ZnOMg, activated carbon supported nickel and iron doped ZnOMg nanoparticle photocatalysts were synthesized by hydrothermal method to be used in photocatalytic degradation of methylene blue. Photocatalytic activities of nanoparticle photocatalysts were investigated for photocatalytic degradation of methylene blue (MB) under visible light at room temperature. Characterization of synthesized nanoparticle photocatalysts; X-ray diffraction (XRD) was characterized using energy dispersive X-ray, EDX and UV-Vis absorption measurements. Photocatalytic degradation reactions were carried out in a photo cabinet under ultraviolet light with different catalyst amounts, various pH and initial concentrations of the dye. For kinetic study, decays were measured with a UV-Vis spectrophotometer. The effects of catalyst amount on reaction kinetics parameters and degradation rate constant were determined.

**Keywords:** Photocatalyst, Methylene blue, zinc magnesium oxide, kinetics

## 1. GİRİŞ

İnsan toplumunun sürdürülebilir gelişimi sürecinde, çevresel iyileştirme için hem kirlilik içermeyen teknolojilerin geliştirilmesi hem de alternatif temiz enerji kaynaklarının geliştirilmesi önemli bir görevdir. Çevresel kirliliğin en büyük nedenleri arasında, endüstriyel atık suları ve bu atık sularının arıtma yöntemlerinin verimli olmaması, nüfusun ve sanayinin kontrolsüz bir şekilde belli bölgelerde yoğunlaşması gelmektedir. Dünyadaki sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin hızlı bir şekilde artmasıyla beraber deri, gıda, kozmetik, kimya, kağıt, otomotiv ve tekstil gibi endüstriyel kuruluşlarında kontrolsüz bir şekilde atık su üreten sektörler olduğu bilinmektedir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de en çok gelişme gösteren sektörlerin başında tekstil endüstrisi gelmektedir. Türkiye ihracat pazarında tekstil endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Aynı zaman da tekstil endüstrisi, fazla kimyasal/boya kullanımından ve çok yüksek su tüketiminden dolayı atık suları çevre açısından önemli sorunlar oluşturmaktadır (Özyonar ve Karagözoğlu, 2012; Sarayu ve Sandhya, 2012). Genellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma sistemler kullanılarak, tekstil endüstrisi atık sularının organik madde giderimi sağlanmaktadır. Bu yöntemlerin, hem maliyetinin yüksek olması hem de ikincil bir kirlilik oluşturması ve biyolojik arıtımın ise tek başına yetersiz kalmasından dolayı yeni alternatif yöntemlerin araştırılması zorunlu hale gelmiştir.

Tekstil endüstrisi atık sularındaki kirliliğin renk giderimi için kimyasal indirgeme-oksidasyon, koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında en yaygın kullanılan yöntem adsorpsiyondur ve absorban olarak ta aktif karbon kullanılmaktadır. Ancak, bu yöntemde bir takım dezavantajları mevcuttur. Bu yüzden ileri oksidasyon prosesleri, toksik ve kalıcı özellikteki organik maddeleri zararsız son ürünlere dönüştürdüğünden dolayı son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Ertugay ve Acar, 2013).

Çok çeşitli temiz ve yenilenebilir enerji projeleri arasında, yarıiletken fotokatalik, doğal güneş enerjisinin kullanımı için en ön plana sahip teknolojilerden biri olduğu düşünülmektedir (Tong ve ark., 2012). ZnO bazlı fotokatalizörler sudaki organik kirleticileri UV ışığı veya simülasyon güneş ışığı yoluyla kirleticisi olmayan malzemelere dönüştürmek için başarıyla kullanılmıştır (Hoffmann ve ark., 1995). Son yıllarda çinko oksit (ZnO), geniş çapta incelenen toksik olmayan, çevre dostu ve düşük maliyetli ikili

malzemelerden biri olarak ortaya çıkmıştır (Iqbal ve ark., 2012).

II-VI grubunun tipik bir doğrudan bant aralığı yarı iletken malzemesi (Janotti ve Van de Walle, 2009) olarak, geniş bant aralığı (Örn = 3.37 eV) büyük eksiton bağlama enerjisi (60 meV) ve farklı özellikler çinko oksidi çok çeşitli endüstriyel ve ticari uygulamalar için önemli bir yarı iletken malzeme haline getirmiştir. Örneğin, biyokimya alanında kimyasal işlemlerin sentezi veya bozulması için ve ayrıca katalitik, büzücü, antiseptik ve biyo uyumlu özellikleri nedeniyle tıbbi uygulamalarda kullanılmaktadır (Thi ve Lee, 2017).

Fizik ve mühendislik alanında, ZnO mükemmel ferroelektrik, piezoelektrik ve termoelektrik özellikleri (Du, 2017), önde gelen optik, fotokatalitik (Huang ve ark., 2015) ve optoelektronik (Xia ve ark., 2016), çevresel algılama ve fotovoltaj cihazlar (Chen ve ark., 2012) için cazip yarı iletken özellikleri nedeniyle geniş ilgi görmüştür. Son yıllarda, birçok araştırmacı, fotojenere elektron deliği çiftlerinin ayrılmasını ve transferini teşvik etmek ve daha sonra ZnO' nun fotokatalitik özelliklerini geliştirmek için ZnO'yu geçiş metal iyonlarıyla katkılandırmaya çalışmışlardır.

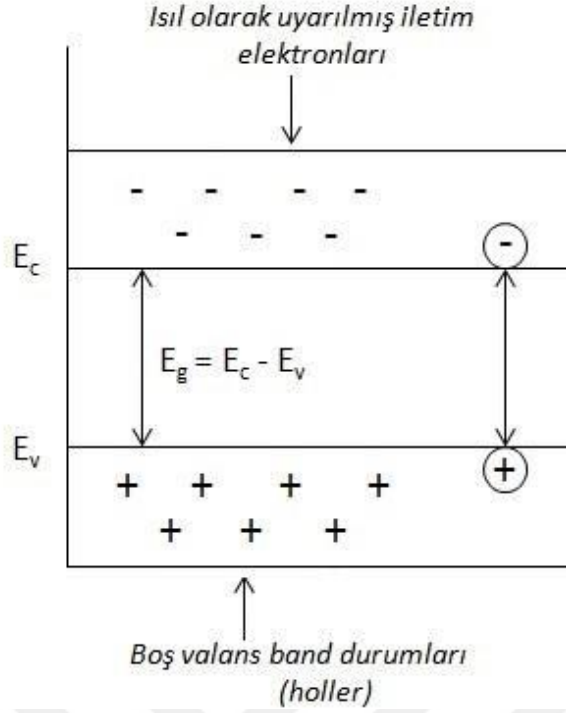
## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1. Temel Ve Teorik Bilgiler

#### 2.1.1. Yarı iletkenler

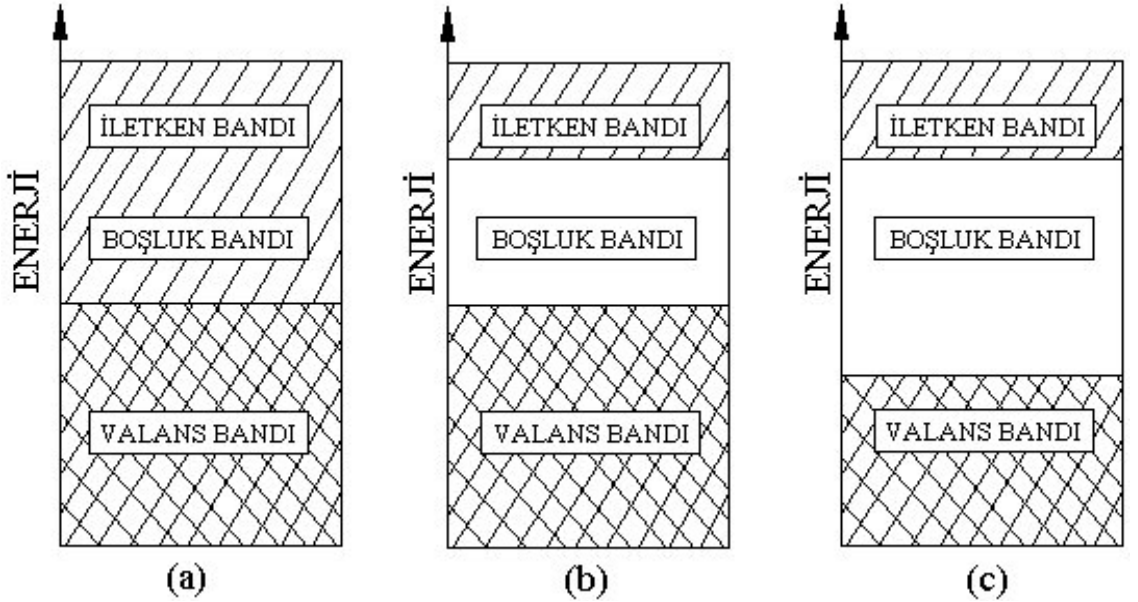
Malzemeler, özdirençlerine veya elektriksel özelliklerine göre üç kısımda incelenebilir. Özdirençleri  $10^{14}$  ile  $10^{22}$   $\Omega\text{cm}$  arasında olan malzeme yalıtkan, Özdirençleri  $10^{-6}$   $\Omega\text{cm}$  civarında olanlar iletken ve  $10^{-2}$  ile  $10^9$   $\Omega\text{cm}$  arasında olanlar da yarıiletken olarak adlandırılır (Kittel, 1996). Özdirenç arttıkça iletkenlik azalır, yani ters orantılıdır. Yalıtkan malzemeler elektriği iletmez iken, iletken malzemeler elektriği iletir. Yarı iletkenler ise şartlara göre iletken ya da yalıtkan gibi davranabilir. Eğer ortam mutlak sıfırda (  $T=0$  °K ) ise yarıiletkenler iyi bir yalıtkana dönüşürken, ortam ( $T=300$  °K) ise elektriksel iletkenlikleri; iletken malzemeye göre zayıf, yalıtkan malzemeye göre ise daha iyi bir madde haline dönüşür. Yarı iletkenler, elektronik endüstrisinde ve birçok çalışmada önemli bir yere sahip olduğu halde ancak 1940' larda transistörün keşfedilmesi ile birlikte artık dikkat çekmeye başlamıştır (Temel, 2015).

Günümüz teknolojisinde çok önemli bir yeri olan yarı iletkenler, serbest elektronların bulunduğu iletim (conduction) bandı ile, bağlı elektronların (valans elektronlarının) bulunduğu valans bandı arasındaki enerji bant aralığının, yapılacak katkılama ile elektriksel özelliklerine büyük ölçüde etki etmesi, yarı iletkenlerin en önemli özelliğidir. Kararlı durumda elektronların bulunduğu bölgeye (enerji bandı) valans bandı adı verilirken, herhangi bir uyarılma sonucu bulunabilecekleri banda da iletim bandı denilmektedir. Sıcaklık mutlak sıfır değerinde iken valans ta bulunan elektronlar tamamen dolu iken, iletim bandı tamamen boştur. Valans bandı ve iletim bandı arasında kalan bölgeye de yasak enerji aralığı ( $E_g$ ) adı verilir. Aşağıda gösterilen şekil mutlak sıfır sıcaklığında valans bandı, iletim bandı ve yasak enerji aralığını göstermektedir. İletkenlerde iletim bandı ve valans bandı içi içe girdiklerinden dolayı yasak enerji bant aralığı bulunmamaktadır. Yalıtkanlarda da yasak enerji bant aralığı 4 eV değerinden büyük olduğundan dolayı ( $E_g \geq 4$  eV) elektronların valans bandından iletim bandına geçmeleri mümkün değildir. Yarı iletkenlerde de yasak enerji aralığı 4 eV altında ( $E_g \leq 4$  eV) bir değerdir (Kittel, 1996).



Şekil 2.1. Mutlak sıfır sıcaklığında valans bandı, iletim bandı ve yasak enerji aralığı (Temel, 2015)

Ayrıca aşağıdaki şekillerde; iletken, yalıtkan ve yarı iletkenlerde valans bandı, iletim bandı ve yasak bölge şekillerle gösterilmiştir.



Şekil – 2.2. İletkenlik derecesine göre değişen bant enerjileri  
(a) İletken, (b) Yarı iletken, (c) Yalıtkan

### **2.1.2. Katkısız (Has) Yarı İletkenler**

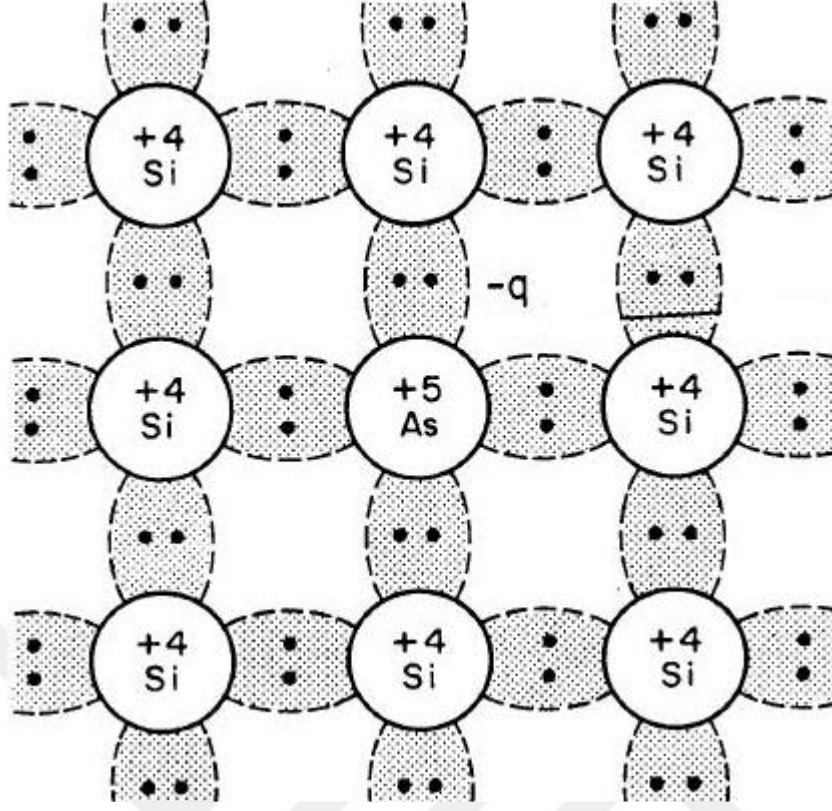
İçerisinde katkı olarak hiçbir yabancı madde bulunmayan, yani hiçbir kusur ve safsızlık bulundurmeyen maddelere katkısız yarı iletken denir. Katkısız yarı iletkenlerde iletim bandında, her elektrona karşı valans bandında bir boşluk bulunmaktadır. İletim bandındaki elektron sayısı ( $n$ ), valans da bulunan boşlukların sayısı da ( $p$ ) olup bunlar eşittir. Termal bir uyarılma ile valans bandından iletim bandına geçen elektronlar daima geride bir boşluk bırakarak geçişlerini tamamlarlar. Aradaki yasak bant aralığı küçük olduğundan bu yasak bant aralığını atlayarak iletim bandına geçerler ve böylece iletim sağlanır. Bunlara örnek olarak saf silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) verilebilir (Akbaş, 2005).

### **2.1.3. Katkılı yarı iletkenler**

Saf olan bir yarıiletken, çeşitli tekniklerle safsızlık atomlarıyla katkılılandırıldığında, mevcut yarı iletkenin özelliğinde ve elektronik durumunda ciddi değişiklikler oluşur. İstenilen özellikte bir yarıiletken elde edilebilmesi için yarı iletkene yapılan katkılama da yabancı atomlar ortama elektron vererek (dönör) iyonlaşırsa ve bu şekilde iletkenliğe katkı sağlarsa, bu tip yarıiletkenler “n” tipi yarı iletken olarak isimlendirilir. Eğer yarıiletkene yapılan katkılama da yabancı atom elektron alarak (akseptör) iyonlaşır ve iletkenliğe böyle bir katkısı olursa bu da “p” tipi yarıiletken olarak isimlendirilir. Bu tür işlemler gerek diyot gerekse transistör gibi elektronik devre elemanlarının yapımına olanak sağlamaktadır (Omar, 1975).

#### **2.1.3.1. n-tipi yarı iletkenler**

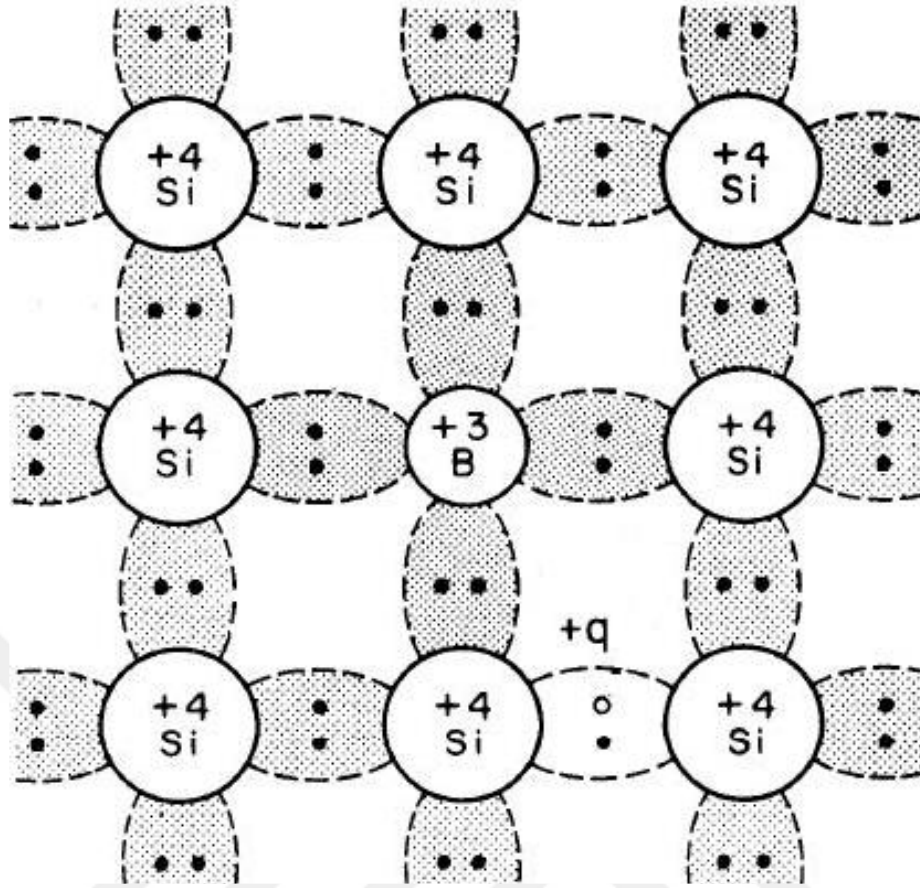
Bu tip iletkenlere eksi tip yarı iletkenler de denir. Mesela IVA gurubunda bulunan Ge ve Si gibi saf yarı iletkenlere VA gurubu elementlerinden herhangi biri ile katkılama yapıldığında, katkılama yapılan elementin bir atomu Si atomunun yerini işgal eder ve bir elektron açıkta kalır. Açıkta kalan bu elektron herhangi bir elektrik alanın etkisine girdiğinde fazla olan bu elektron serbest olduğundan dolayı katkı atomu iyonlaşarak artı yük ile yüklenir. Germanyum ve silisyum gibi elementler bu durumda yük taşıyıcı elektronlar içerdiklerinden dolayı n-tipi katkılı yarı iletken olarak isimlendirilir (Pişkin, 2006).



Şekil 2.3. N-tipi yarı iletken (Pişkin, 2006).

### 2.1.3.2. P-tipi yarı iletkenler

Bu tip yarı iletkenlerde (+) tip yarı iletkenler olarak da adlandırılır. Mesela IIIA gurubunda bulunan bor elementini silisyum veya germanyum gibi yarı iletkenlere katkılıandırıldıklarında, bor elementinin bir atomu silisyum veya germanyum atomlarından birinin yerini işgal eder. Katkı yapılan bor elementi 3 valans elektrona sahip olduğundan dolayı elektronlardan biri eksik kalır ki, bu da katkı yapılan madde ile silisyum arasında bir boşluk meydana getirir. Bu boşluk sebebiyle yani, elektron eksikliği sebebiyle madde pozitif bir hal alır. Bu da p-tipi katkılı yarı iletken olarak adlandırılırken, bor elementi de bor alıcı atom olarak isimlendirilir (Pişkin, 2006).



Şekil 2.4. P-tipi yarı iletken (Pişkin, 2006).

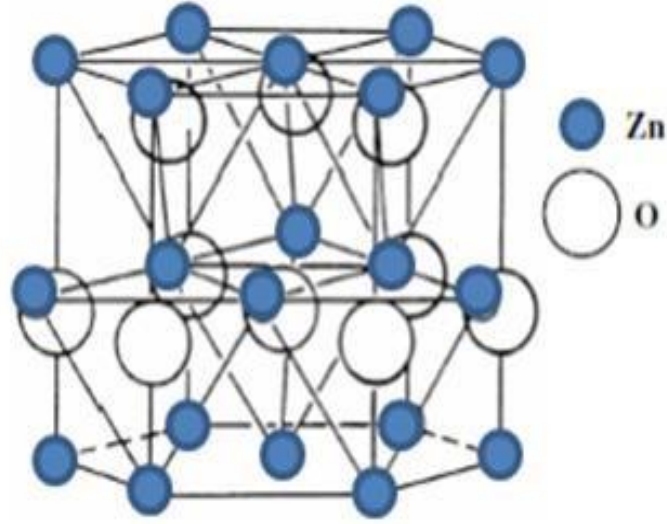
#### 2.1.4. Saydam İletken Oksitler

Bu oksitler, doğaları gereği optik geçirgenlik ve elektriksel iletkenlik özellikleri ile ön plana çıkarlar. ZnO, ITO, SnO ve CdO bu uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Akyüz, 2005). Bu saydam iletken oksitler, sahip oldukları özellikler nedeniyle birçok yerde uygulama alanı bulmaktadırlar. Saydam iletken oksit aince filmler; laptop (diz üstü bilgisayarların) ekranlarında (Ginley ve ark., 2010) gaz sensörlerinde (Shim, 2011), güneş enerjisi panellerinde (Shimizu, 2014), fırın pencerelerinde ve soğuk havalarda soğuğa, sıcak havalarda da sıcağa karşı koruyan pencerelerde (Kang ve ark., 2015) çokça tercih edilmektedir. Gerek optik geçirgenlik, gerekse yüksek elektriksel iletkenlik ve birçok yapıda büyük önem arz etmekle beraber, dışarıdan gelecek etkilere karşı dayanıklılık, ucuz olması ve elektronik devrelere uygunluğu da saydam iletken oksit malzemenin tercih edilmesini belirleyen faktörlerdir (Alexander ve ark., 2015). Çinko oksit (ZnO) de saydam iletken oksitlerde tercih edilen

bir malzemedir. Çinkonun zehirsiz bir element ve doğada bol bulunabilir olması, ZnO'nun kullanımının yaygınlaşmasına değer katmıştır (Addonizio, 2014).

### 2.1.5. ZnO ve MgO filmler

Yarıiletken ile ilgili çalışmaların hız kazanması ve teknolojisinin hızla gelişmesi vesilesiyle Ge ve Si gibi yarıiletkenlerin, indirekt bant geçişli bir yapıya, düşük mobilite ve ayrıca düşük iletkenliğe sahip olmaları nedeniyle yüksek hız, büyük güç ve yüksek frekans gerektiren çalışmalarda ihtiyaca cevap veremez oldukları gözlemlenmiştir. Çünkü optoelektronik araçlar için direkt bant geçişli yapıya sahip yarıiletkenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Direkt bant geçişli yapıdaki yarıiletkenler çoğunlukla II-VI veya III-V grubu bileşikleridir. III-V grubu yarıiletkenler yasak enerji aralıkları sebebiyle optoelektronik çalışmalarda 500 nm ve üzeri dalga boylarıyla sınırlıdır (Singh, 1994). Bu sebeple, morötesi ve mavi bölgede işlevsellik gösteren yarıiletkenlerden üretim yapılabilmesi için, farklı malzeme arayışı II-VI grubuna ait bileşik yarıiletkenlerin üretilmesine sebep olmuştur. Bu grup (II-VI grubu) bileşiklerinin enerji bant aralığı 1,7 - 4 eV arasında değişkenlik gösteren bir enerji bant aralığı vardır. Periyodik cetvelde II. grup elementlerinden olan Cd, Hg, Zn elementlerinden herhangi biri ile VI. grup elementlerinden olan Te, S, O ve Se'den herhangi birinin kendi içinde oluşturdukları ikili bileşiklerdir. Geniş bant aralığına sahip olan II-VI bileşikleri, optoelektronik aletlerde, özellikle ışık yayan elektronik aletlerde, görünür ışığın kısa dalga boylu olduğu, uygun bölgede olan direkt bant aralık enerji seviyesine sahip olması hasebiyle tercih edilir (Yuonesi, 2010). Çinko elementinin periyodik tabloda II. grupta yer alması, oksijenin de VI. grupta yer alması sebebiyle II-VI grup bileşikleri arasında yer almaktadır (Fierro, 2006).



Şekil 2.5. Hekzagonal ZnO kristal yapısı (Hartnagel ve ark., 1995).

ZnO direkt bant yapılı olduğu ve geniş yasak enerji aralığı değerine ( $\sim 3,3$  eV) sahip bir yarıiletken olduğu bilinmektedir (Salam, 2013). Bu geniş bant aralığına bağlı olarak elektromanyetik dalga spektrumunun mavi ve morötesi bölgesinde LED elde etmek için kullanılacak uygun bir malzeme olarak değer görmektedir. ZnO yarıiletkeninin piezoelektrik, fotoelektrik, ve termoelektrik özellikleri yeteri kadar iyi olduğundan ve bu özelliklerinden dolayı birçok yerde tercih edilir. Bu uygulamalar; ince film transistörler, gaz sensörleri, optoelektronik cihazlar, fotoelektrik cihazlar, UV dedektörler, güneş hücreleri, pH sensörleri, yüzey akustik devreleri, piezoelektrik güç çeviriciler, biosensörler, termoelektrik aygıtlar, gibi uygulamalardır (Tsay ve ark., 2010). Isıl işlem ile ya da uygun katkı kullanılarak ZnO'nun özellikleri değiştirilebilir. Al, Sn, In, Ga, Cu, Li ve Mg katkı atomu olarak kullanılan pek çok uygulama yeri vardır. ZnO'nun iletkenliğini; Al, In, Ga gibi iyonların katkısı ile arttırılabilir (Lee, 2014; Qian, 2013). Bu uygulamalarda ayrıca Mg katkısı ile yasak enerji aralığı değeri çok kolay değiştirilebilmektedir (Peker ve ark., 2015). MgO ise basit kaya tuzu (NaCl) yapısına sahip olan, elektriksel yalıtkanlığı yüksek olan bir malzemedir. Bundan dolayı ısı çiftlerin ve enerji dönüştürücülerin seramiklerinin üretilmesinde sıkça kullanılır (Tsang ve Chen, 1983). MgO filmler termal şok dönüştürücülerde elektriksel yalıtım için, AC plazma görüntü panellerinde koruyucu malzeme olarak tercih edilir (Charles ve ark., 1984). Son yıllarda MgO, yüksek sıcaklığa karşı çok dayanıklı olan ince filmler de süper iletken uygulama çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır (Fork ve Anderson, 1993).

## 2.1.6. Kullanılan Araç Gereçler

### 2.1.6.1. X-ışınları kırınımı (XRD)

Malzemelerin kristal yapılarını tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir. Malzemenin örneklerinden saçılan mikro düzeydeki partiküllerin, x-ışını kırınım açısından ve şiddetinden yararlanarak yapılan ölçümün bir göstergesidir. Bu işlemde, malzemeyi meydana getiren atomların sahip olduğu elektronlar, gelen x-ışınları ile birlikte titreşmeye başlar ve böylece x-ışını saçılmaya (esnek saçılma) uğrar ve desenler ortaya çıkar. Mesela elmas ve grafitin her ikisini de oluşturan atomlar karbon atomlarıdır. Ancak XRD de her ikisinin oluşturdukları kırınım desenleri birbirinden çok farklıdır. X-ışını toz kırınımı metodundan yararlanarak malzemenin hem nicel hem de nitel faz analizleri incelenebilir.



Şekil 2.6. XRD cihazı

Kristal yapıyı belirlemek için kullanılan en etkili tekniklerden biri X-ışını kırınımı yöntemi aşağıda belirtilen nicelikleri tespit etmek için kullanılır.

- Malzemenin içeriğinde bulunan fazları tespit etmede,
- Hem nicel hem de nitel faz analizi çalışmasında,
- Bazı parametrelere bağlı olarak (sıcaklık, basınç gibi) elde edilen faz değişimlerinde,
- Malzemenin tanecik boyutlarını belirleme çalışmalarında,

- Numunenin örgü sabitlerini tespit etmek için kullanılır.

### 2.1.6.2. UV-Visible cihazı :



Şekil 2.7. Uv-Visible cihazı

Görünür ve ultraviyole ışık absorpsiyon spektroskopisinde, ışının bir örnek içerisinden veya bir örneğin yüzeyinden geçtikten yani yansıdıktan sonra şiddetteki azalma tespit edilir. Bu şiddet azalması malzeme tarafından emilmenin gerçekleştiği anlamı taşımaktadır (Temel, 2015). Bu spektroskopi yönteminde fotomultipler (Foto çoğaltıcı ) dedektör, 200' mm den 800' mm e kadar ışık kaynağı dalga boyunu algılama seviyesine sahiptir. Işığın kaynağı olarak tungsten ve deteryum lambalar kullanılır. Bu teknik kullanılarak kuart küvetinin içerisinde bulunan derişimi bilinmeyen numune üzerinde ışık kaynağı tarafından ışık düşürülür ve numunenin emme değeri tespit edilir. Bu şekilde belli aralılarla emilen şiddetler okunur ve derişimdeki azalma miktarı ve oranları tespit edilmiş olurnur.

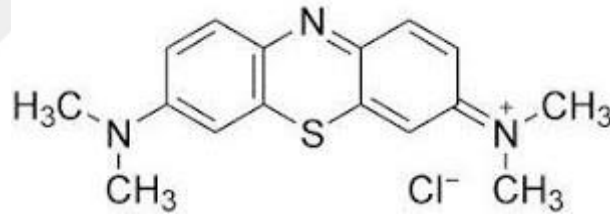
### 2.1.7. Metilen Mavisi

Metilen mavisi ( $C_{16}H_{18}ClN_3S$ ) suda (4g/l), etanol ve kloroformda kolay çözünen ve suyu kuvvetle tutma özelliği olan koyu mavi renkte boyar bir maddedir.

Metilen mavisi molekülünün açık formülü Şekil 2.8' de verilmiştir. Metilen mavisinin fiziksel özellikleri Tablo 2.1. Metilen mavisinin fiziksel özellikleri görülmektedir.

**Tablo 2.1.** Metilen mavisinin fiziksel özellikleri

Sınıflandırma numarası	52015
Molekül Ağırlığı	319,9 g/mol
Suda Çözünürlük	% 3,55
Alkolde çözünürlük	% 1,48
Boya Gurubu	Tiyazin
İyonizasyon	



**Şekil 2.8.** Metilen mavisinin molekül yapısı

### 2.1.8. Yarıiletken Sentez Yöntemleri

Gerek nano parçacıkların gerekse metal oksit nano parçacıklarının sentezi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Burada güncel olup en çok kullanılan sentez yöntemlerden bahsedeceğiz.

#### 2.1.8.1. Sol-jel tekniği

Bu teknoloji, genel olarak cam, seramik ve kompozit gibi malzemelerin üretim metoduna denmektedir. Metal tozları veya metal alkoksit çözeltileri, hidroksitler, nitratlar, ve oksitler gibi inorganik bileşiklerin belirli bir oranda asit ve su ile tepkimeye girdirerek bir çözelti oluşturulması ve bu çözeltinin belirli sıcaklık oranında karıştırılması ile çözelti içerisinde birkaç kimyasal tepkime ve parçacıkların sahip

olduğu yüzey yüklerinin elektrokimyasal etkileşimleri ile bir solüsyon oluşması ve bu solüsyonun sürekli büyümesi ve sistem içinde tüm kısımlara ulaşarak toplam bir yapı yani jel meydana gelmesi olayıdır. Sol ise sıvının içindeki kolloidal katı parçacıkların kararlı bir karışımıdır. Bu tanecikler, yeterince küçük olmalıdır. Bu sebeple bu tanecikler ne kadar küçük ise, çözeltideki moleküllerden bahsetmek daha gerçekçi olacaktır. Kolloid; kolloid olarak ifade edilen tanecikler yaklaşık 500 nm ve daha altındaki boyutlara sahip küçüklükte taneciklerdir. Bu küçük tanecikler bilinen optik mikroskopla gözlenemezler. Bu sebeple maksimum büyüklükleri ışığın dalga boyuna eşittir. Jel, çok küçük olarak tanımladığımız kolloidal parçacıkların çöktürülmesi ile elde ettiğimiz ve yeterince su içeren çökeleklere denir. Jel; katı-sıvı arasında bir ara haldir.

Sol-jel tekniğinin aşamaları aşağıda belirtildiği gibidir.

- Alkoksit malzemenin hidrolizi
- Polimerizasyon veya peptitleşme
- Jel eldesi
- Sinterleşme veya kalsinasyon

Sol-jel yönteminin bir üretim için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç yoktur.

### **Üstünlükleri**

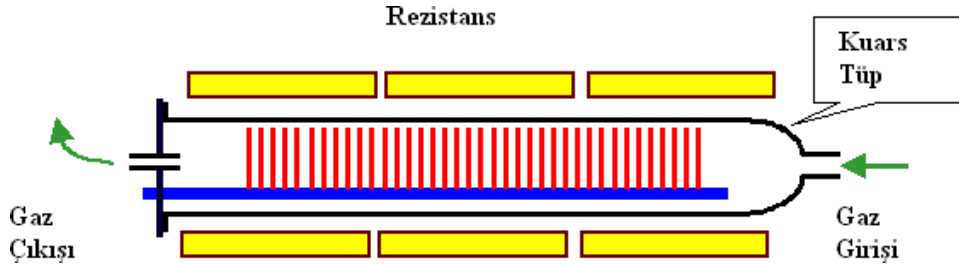
- Bu yöntemin kimyasal yönünün kontrol edilebiliyor olması.
- Çok küçük boyutlara inilebilir.
- Yeni materyaller ve yeni özelliklere ulaşmak mümkündür.

### **Sol-jel yönteminin dezavantajları**

- Bu teknikle elde edilen tozların maddi külfeti yüksektir.
- Büzülme miktarı, proses esnasına oldukça büyüktür.
- Bu yapılarda ince gözenekler meydana gelebilir.
- Bu tekniğin İşlem zamanı oldukça uzun sürer.

### 2.1.8.2. Kimyasal buhar biriktirme (CVD)

Buhar halinde bulunan taşıyıcı bir gazın, kapalı bir ortamda ısıtılmış malzeme yüzeyinin yapmış olduğu kimyasal reaksiyonu sonucunda meydana gelen katı nano düzeyde bir malzeme ile kaplanması olayına kimyasal buhar biriktirme tekniği denir.



Şekil 2.9. Kimyasal buhar biriktirme sistemi (Esen, 2011)

Bu teknik genelde buhar fazından ve basıncını istediğimiz seviyede ve belirlenmiş bir ortamda kimyasal yöntemler kullanılarak katı olan kaplama malzemesi üretmeye dayanır.

Bu yönteminin yani CVD (kimyasal buhar biriktirme) yönteminin en önemli avantajları aşağıda gösterildiği gibidir.

\*Kaplama yapılmayan yerin kalmaması ve kaplama yaptığımız malzemenin homojen bir şekilde her tarafta bulunmasıdır.

\*Kaplamanın birçok parametresinin (morfolojisi, kristal yapısı, stokiyo metrisi,) değiştirilerek kontrol altına alınabilmesi.

\*Bu yöntemle çöktürülen tabakanın kalınlığı, genel anlamda 10 ile 30  $\mu\text{m}$  kadar olmaktadır.

\*Kaplamanın türüne bağlı olarak genelde sıcaklık 900  $^{\circ}\text{C}$  ile 1100  $^{\circ}\text{C}$  arasındadır.

\*Genel anlamada oluşturulmaya çalışılan kalınlığa bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği gibi, çoğu zaman 2 ilâ 4 saat arasında işlem değişir.

### 2.1.8.3. Hidrotermal yöntemler

Bu yöntemde, çalışılacak ve çözücü olarak kullanılacak olan malzemelerin kapalı bir kap içerisine konarak belirlenen sıcaklıklara kadar ısıtılması ve karıştırılmasıdır. Eğer Çözücü madde saf su ise hidrotermal, su dışında başka bir çözücü olursa solvo termal yöntem denir (Esen, 2011).

Bu yönteminin (hidrotermal) avantajları aşağıdaki gibidir.

- Kimyasal yönü kolayca kontrol edilebilir.
- Ham maddelere kıyasla daha iyi homojenlik sağlanır.
- Bir üretim yapmak için çok yüksek sıcaklıklara gerek duyulmaz.
- Yeni özelliklere sahip yeni malzemeler elde edilebilir.

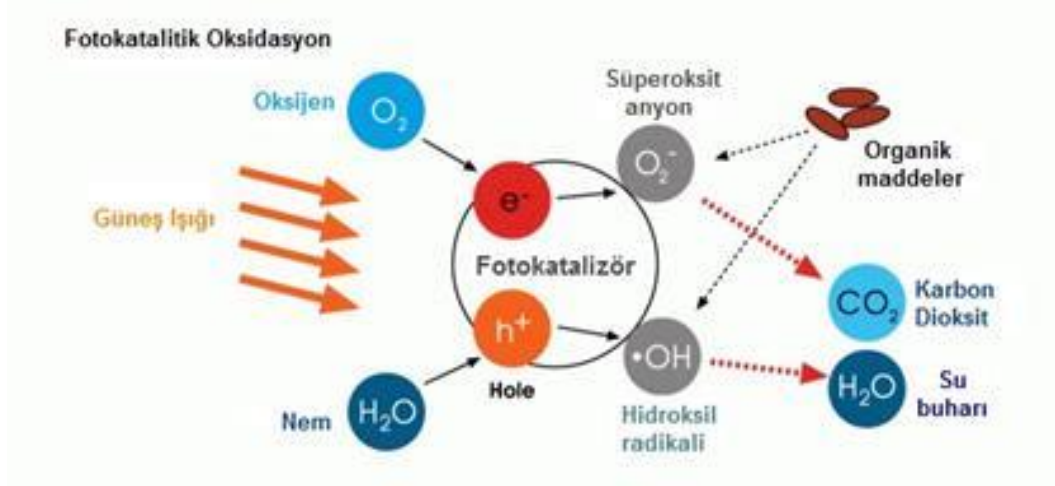
Bu yöntem mekanik öğütme ve kalsinasyon tarzında işlemlere gerek duyulmadığı için son zamanlarda birçok araştırmacının bu yöntemi kullanmasına imkan sağlanmıştır. Sentezlerin yapılabilmesi için hidrotermal yöntemde pahalı bir maliyeti olan otoklav sistemi kullanılmakta ve bu da sol-jel yöntemini daha avantajlı duruma getirmektedir. Hidrotermal yöntemin en büyük avantajı ise, sentezlenen nano boyuta sahip taneciklerin amfifilik özelliğe sahip olmasıdır. Çok küçük boyuta (nano boyut) sahip parçacıkların sentezi kapalı bir kapta gerçekleştiğinden dolayı kullanılan organik çözücülerde herhangi bir azalma olmasını engellemektedir. Bu özelliğe, çözücülerin sentez aşamasında tekrar kullanılabilmesini göstermektedir. Bu tepkime belirli bir basınç altında ve 150–250 °C sıcaklıklarda gerçekleştirildiğinden, elde edilen çok küçük boyuttaki parçacıklar, bir miktar alkil ve hidrosil grupları yüzeylerinde barındırmaktadır. Bu nano tanecikler, amaca göre, istenirse polar istenirse apolar çözen sistemlerinde kolayca şeffaf soler oluşturabilmektedir. Bu da, son zamanlarda üzerinde en çok çalışılan biri olan fotokatalitik yani şeffaf ince film lerin üretilmesine destek olmaktadır (Esen, 2011).

## **2.1.9. Fotokatalitik Etki**

### **2.1.9.1 Fotokataliz ve Fotokatalizörler**

Fujishima ve Honda isimli iki bilim adamı 1972 yılında, TiO<sub>2</sub> kaplanmış elektrotlar ile suyun fotokatalitik parçalanmasını gerçekleştirerek fotokataliz alanındaki ilk çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmanın akabinde bilim insanları, temelde enerji depolama, heterojen katalizleme ve yenilenebilir enerji konuları olmak üzere birçok yenilikçi çalışmalara imza atmışlardır. Fotokatalizin çıkış noktası olan TiO<sub>2</sub> nanopartikülleri; kimyasal ve biyolojik reaksiyonlara karşı inert olması, insan ve çevre sağlık açısından toksik olmaması, üretiminin kolay ve ucuz olması, fotokatalitik reaksiyonlarda kararlı olması ve görünür ışık altında etkin bir şekilde aktifleşmesi gibi sebeplerden dolayı ideal fotokatalizör olarak görülmektedir. Bu alandaki çalışmalarda fotokatalizör olarak genellikle; TiO<sub>2</sub> (Nakata ve Fujishima, 2012), ZrO<sub>2</sub> (Renuka ve

ark., 2016), SiO<sub>2</sub> (Shalom ve ark., 2014), Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Hu ve Liu, 2015), CdS (Zhang ve ark., 2015), SnO<sub>2</sub> (Abdelkader ve ark., 2016), Politiyofen/MnO<sub>2</sub> (Shang ve ark., 2011) gibi çeşitli metal oksitler, sülfürler ve polimer kompozitleri kullanılmaktadır.



Şekil 2.10. Fotokataliz yöntemiyle organik kirliliklerin giderimi (Örün, 2018).

Şekil 2.10' da gösterildiği gibi fotokataliz yöntemi, yarı iletken bir katalizör malzeme kullanılarak katalizör yüzeyinde ışık etkisiyle redoks reaksiyonları gerçekleştirilir ve bu redoks tepkimeleri sonucunda değerlik bandındaki elektron boşlukları (h<sup>+</sup>DB) su moleküllerini yükseltgeyerek hidroksil radikallerini ve iletkenlik bandındaki elektronlarda (e<sup>-</sup>İB) oksijeni indirgeyerek süperoksit anyonlarını oluştururlar. Ortamda bulunan organik kirlilikler karbondioksit, su ve mineral tuzlarına parçalanmasında aktif bir şekilde görev alırlar. Ayrıca, fotokataliz yöntemi arıtım ortamdaki zararlı mantarlar, virüsler ve bakteriler gibi biyolojik türlerinde zararsız inorganik maddelere parçalayarak ortamdan giderimini sağlamakta da kullanılmaktadır. Fotokataliz ortamında oksijen olmaması durumunda fotokatalitik aktivite neredeyse tamamen duracağı için oksijen derişimi çok önemlidir. Ayrıca, süperoksit anyonları ortamdaki organik kirlilikleri aktifliği sayesinde yükseltgeyerek parçalarlar ve ortamdaki hidrojen iyonları (H<sup>+</sup>) ile reaksiyona girerek hidroksil anyonlarını oluşturmakta görev alırlar.

### 2.1.9.2. Fotokatalitik aktiviteyi etkileyen faktörler

\* Işının şiddeti ve ışınlanma süresi

\* Sentez esnasında kullanılan metal iyon konsantrasyonu ve bunun türü

- \* Kristalin türü ve boyutu
- \* Ortamın pH değeri ve bu ortamın sıcaklığı
- \* Ortamdaki katyon ve anyonlar
- \* Ortamdaki kirlilik derişimi
- \* Sonuçta oluşan boşluk çiftleri ile elektronların birleşme işlemi gibi bazı faktörler fotokatalitik aktiviteyi etkilemektedir.

Bu faktörlerin tamamı katalizör yüzeyindeki aktif kısımların azlığı veya çokluğu, elektron ve boşlukların tekrar birleşmesi, katalizör yüzeyine gönderilen ışığın emilen miktarı ile bağlantılı olduğu gözlemlenmektedir. Reaksiyonu üzerindeki etkisi araştırıldı.

### **2.1.10. Zn ve MgO ile ilgili kaynak Özetleri**

Lai ve ark. (2011) Hidrotermal yöntemini kullanarak, ZnO nanopartikülünü sentezlenmiştir. Nanopartikülün sentezi için çinko asetat dihidrat, sitrik asit ve sodyum hidroksit kimyasallarını kullanmışlar. Ürettikleri ZnO nanopartikülünün karakterizasyon çalışmalarını FT-IR spektroskopisi, SEM, TEM, XRD, TG, DRS spektroskopisi yöntemleri ile yapmışlardır. ZnO nanopartikülünün fotokatalitik bozunma verimini rodamin B boyası kullanılarak UV ışık altında incelemiştirler. ZnO nanopartikülünün deneysel sonuçları, fotokatalitik çalışmalar için ümit vaat etmektedir.

Wang ve ark. (2013) ZnO katalizörünü hidrotermal yöntemini kullanılarak sentezlemişlerdir. Sentezlemiş oldukları ZnO katalizörünü 150 °C’de 10 saat bekleterek kalsine etmişlerdir. Katalizörün karakterizasyon çalışmalarını XRD, FTIR, SEM ve TEM spektroskopisi yöntemleri ile yapmışlar ve katalizörün yapısının hegzogonal olduğunu tespit etmişlerdir.

He ve ark. (2014) ZnO nanoparçacığını solvotermal yöntemini kullanarak sentezlemişlerdir. Sentez sırasında farklı çözücüler kullanarak ZnO nanoparçacığının farklı karakteristik yapıya ve boyutlara sahip olarak üretmişlerdir. 20 mg/L konsantrasyona sahip metil oranj boyar maddesinin fotokatalitik bozunması için, ZnO nanoparçacık fotokatalizörünü kullanmışlardır. Deneysel verilerin sonuçlarından ZnO nanoparçacık katalizörünün karakteristik yapısının fotokatalitik aktiviteyi değiştirdiği sonucuna varmışlardır.

Chen ve ark. (2015) Solvotermal yöntemini kullanarak ZnO katalizörünü, n-bütülamın ve

tetrahidrofuran ile çinko asetat maddelerini kullanarak sentezlemişlerdir. Metil oranj boyasının bozunmasında, sentezledikleri ZnO katalizörünün fotokatalitik aktivitesini belirlemişlerdir. ZnO katalizörünün, metilen oranj boyasını 180 dakikada %85 bozundurduğunu belirtmişlerdir.

Chain ve ark. (2014) Hidrotermal sentez yöntemi kullanılarak Ag katkılı ZnO fotokatalizörünü sentezlemişlerdir. Ag/ZnO fotokatalizörünün karakterizasyon analizlerini XRD, FESEM, XPS, DRS, PL cihazlarını kullanarak yapmışlardır

Pudukudy ve Yaakob (2014) ZnO fotokatalizörünü, metilen mavisi maddesinin fotokatalitik bozunmasını belirlemek için kullanmışlardır. ZnO fotokatalizörünü, çinko asetat ve sitrik asit malzemelerini kullanarak 400 °C ve 600 °C kalsinasyon sıcaklıklarında sentezlemişlerdir. ZnO fotokatalizörünün 400 °C sıcaklığında sentelenen halinin diğerine göre daha iyi aktivite gösterdiğini ve bunun muhtemel nedeninin yüzey alanından kaynaklandığını belirtmişlerdir. 5 mg/L, 10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L, 25 mg/L, 30 mg/L farklı boya maddesi konsantrasyonlarında metilen mavisi boyar maddesinin fotokatalitik bozunumu incelemişlerdir.

Saravanan ve ark. (2014) ZnO/Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacığını termal dekompozisyon yöntemini kullanarak sentezlemişlerdir. Sentezlemiş oldukları nanoparçacığının SEM, XRD karakterizasyon analizlerinden boyut, şekil ve yüzey alanları hakkında bilgi edinmişlerdir. Üretmiş oldukları ZnO/Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacık fotokatalizörünü, metilen mavisi ve metil oranj boyaları ortamında UV ışık altında fotokatalitik aktivitesini incelenmiştir. Deneysel verilerin sonucunda görünür ışık altında; metilen mavisi 210 dakikada %95, metil oranj 210 dakikada %90 fotokatalitik bozunma göstermiştir.

Zhao ve ark. (2011) Tek boyutlu (1D) Zn<sub>1-x</sub>Ni<sub>x</sub>O (x = 0, 0.02, 0.05, 0.10) nanorodlarını basit bir hidrotermal yöntemle sentezlenmişlerdir. Ni katkılı ZnO nanorodlarının yeni band aralıklarını raman spektrumunda yaklaşık 130 cm<sup>-1</sup>'de görünür ve nispeten yoğunlukları nikelin katkı konsantrasyonuna bağlıdır. Yeni bantların, Ni katkılı ZnO nanorodlarının Raman spektrumunda yaklaşık 130 cm<sup>-1</sup>'de görünür ve nispeten yoğunlukları da nikelin katkı konsantrasyonuna bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. ZnO nanorodlarının optik bant aralığı, absorpsiyon spektrumları ile ortaya çıkan Ni- katkı maddesi ile ayarlanmıştır. Zn<sub>1-x</sub>Ni<sub>x</sub>O'nun fotokatalitik aktivitesi, rhodamin B'nin (RB) UV-ışını altında ışınlanma hızı karşılaştırılarak incelenmişlerdir. Zn<sub>0.95</sub>Ni<sub>0.05</sub>O nanorodunun numuneler arasında en yüksek fotokatalitik bozunma verimini sergilediği bulunmuşlardır.

Sobana ve Swaminathan (2007) ZnO-ZnMgO-MgO nanokompozitlerini sol-jel yöntemi kullanılarak başarıyla sentezlenmişlerdir. Nanokompozitlerin karakterizasyon analizinde; XRD bandının Mg içeriğine sahip (002) kırınımına göre genişlemesi, ZnMgO fazının oluşumunu ortaya çıkardığını ve HRTEM görüntülerinden ZnO ve MgO nanokristallerinin oluşumunu belirtmişlerdir. UV-vis ölçümleri, ZnO ve ZnMgO fazlarına çift bant boşluk ilişkisinin görünümünü ve PL analizi ile de UV emisyon bandının Mg içeriğine yüksek duyarlılığını tespit etmişlerdir. Numunelerin fotokatalitik aktivitesi, güneş ışınması altında sulu Rhodamine B çözeltisi açısından değerlendirmişler ve ZnO-ZnMgO Mg içeriği % 20 olan MgO nanokompozitleri, 80 dakikalık ışınlamadan sonra tam bir bozunma ile en iyi aktiviteyi gösterdiğinin tespit etmişlerdir. Aktif karbon destekli AC-ZnO kompozit fotokatalizörünün bozunma etkinliğini, oda sıcaklığında bir azo boya Direct blue 53 (DB53) kullanılarak güneş ışığı ile değerlendirmişler. Güneş ışığı altında gerçekleştirilen aktivite ölçümleri, DB53'ün fotodegradasyonu için iyi sonuçlar gösterdiğini belirtmişler. Gözlenen sinerjistik etkiyi, DB53'ün aktif karbon üzerinde uzatılmış adsorpsiyonuna ve ardından fotokatalitik olarak bozulduğu ZnO fotokatalizörüne aktarılmasına atfetmişler. AC-ZnO'nun ZnO ile karşılaştırıldığında artmış fotokatalitik aktivitesinin bu sinerjistik etkiye bağlı olduğunu bulunmuşlardır.

### **3. MATERYAL VE METOT**

#### **3.1. Malzemeler**

Bu tez çalışması kapsamında, Aktif karbon (AC), Çinko asetat ( $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ), magnezyum nitrat ( $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ), demir demir (III) nitrat ( $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ), nikel(II) nitrat hegzahidrat ( $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ), sodyum hidroksit (NaOH), glukoz, metilen mavisi (MB) kullanıldı.

#### **3.2.Yöntem**

Bu tez çalışmasındaki deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birincisi aktif karbon destekli ZnMgO ve yine aktif karbon destekli ZnMgO' in nikel ve demir ile katkılandırılmasından sonra (AC/ZnMgO:Ni ve AC/ZnMgO:Fe) nanoparçacık fotokatalizörleri sentezlenmiştir. İkinci aşamada ise sentezlenen bu fotokatalizörlerin metilen mavisinde fotokatalitik bozundurulması sonucu fotokatalitik etkilerinin incelenmesi sağlanmıştır.

##### **3.2.1. Aktif karbon destekli Nanoparçacıkların sentezlenmesi**

###### **3.2.1.1. Nanoparçacıkların Sentezi**

Aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacıkları hidrotermal yöntem kullanılarak sentezlenmiştir. Tez çalışması kapsamında aktif karbon destekli ZnMgO, aktif karbon destekli Fe ile katkılandırılmış ZnMgO ve Ni ile katkılandırılmış ZnMgO nanoparçacıkları sentezlenmiştir.

1.1 gr çinko asetat, 0.008 gr magnezyum nitrat ve ağırlıkça %95, %90 ve %80 Aktif karbon 50 mL saf su eklenerek oda sıcaklığında karıştırılarak çözdürüldü. Daha sonra, sulu NaOH çözeltisi (0.3 M), çözeltinin pH'ı 11 olana kadar oda sıcaklığında karıştırılarak çözeltiliye damla damla ilave edildi. Elde edilen çözelti yarım saat boyunca karıştırıldı. Daha sonra 100 mL'lik otoklav içerisine aktarıldı. Otoklav etüv içerisinde 200 C de 6 saat boyunca bekletildi. otoklav içerisindeki çözelti oda sıcaklığında soğutulunca, süzgeç kağıdı ile süzülerek, reaksiyona girmemiş reaktifleri çıkarmak için üç kez saf su ile yıkandı ve sonra 6 saat 60 °C'de kurutuldu. Nikel ve demir katkılı nanoparçacıklar %0.4, %0.8, %1.2, %1.6 ve %2 konsantrasyonlarında da aynı yöntem ile sentezlendi.

### 3.2.1.2. Fotokatalitik deneyleri

Aktif karbon destekli ZnMgO, Aktif karbon destekli Fe katkılı ZnMgO ve aktif karbon destekli Ni katkılı ZnMgO nanoparçacıklarının yüzey morfolojisi, alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) ve yapısal karakterizasyonlar, Cu Ka radyasyonu olan bir X-ışını difraktometresi (XRD) ile analiz edildi. AC/ZnMgO, AC/ZnMgO:Fe ve AC/ZnMgO:Ni ürünlerinin fotokatalitik performansları, model kirlenici olarak metilen mavisi kullanılarak değerlendirildi.

Metilen mavisinin fotokatalitik bozundurma deneyleri UV-C (235-315 nm ) lambası ortamında kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir. Her AC/ZnMgO ve AC/ZnMgO:Fe ve AC/ZnMgO:Ni numunesi (10 mg) sırasıyla 22 mL metilen mavisi (50 ppm) çözeltisine yerleştirildi.

Süspansiyon yarım saat karanlık ortamda karıştırıldı. Her 5 dakikada bir numune alındı ve boyanın maksimum emme dalga boyunda (dalga boyu = 664 nm) absorbansı bir Shimadzu UV-3150 UV-spektrometresi ile ölçüldü. Metilen mavisi fotokatalitik bozundurulmasında;

\*Aktif karbon/fotokatalizör oranı

\*Boyar madde başlangıç konsantrasyonu

\*Fotokatalizör miktarı

\*pH

\*Parametrelerinin etkisi incelenmiştir.

Bozunma ( $\eta$ ),% 100'e göre hesaplandı,  $\eta = [(A_0 - A)/A_0] \times 100$ , burada  $A_0$ , reaksiyondan önceki absorbans ve A, reaksiyondan sonraki absorbansdır.

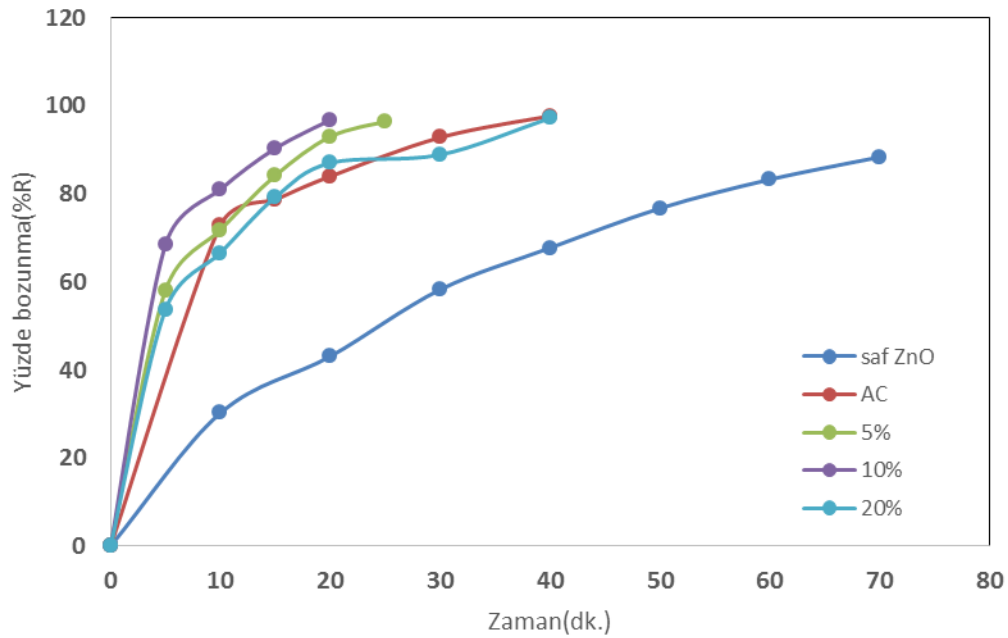
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Metilen Mavisini Fotokatalitik Bozunması

#### 4.1.1. Aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörü

##### 4.1.1.1. Aktif karbon /ZnO oranı

Metilen mavisinin foto katalitik bozunmasında kullanılmak üzere aktif karbon destekli ZnMgO katalizörü sentezlenmiştir. Metilen mavisinin foto katalitik bozunmasında aktif karbon/ZnO oranı etkisi; 22 mL çözelti hacmi, 20 ppm çözelti başlangıç konsantrasyonu ve 10 mg katalizör şartlarında gerçekleştirilmiştir. Farklı aktif karbon/ZnO oranları için metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir.



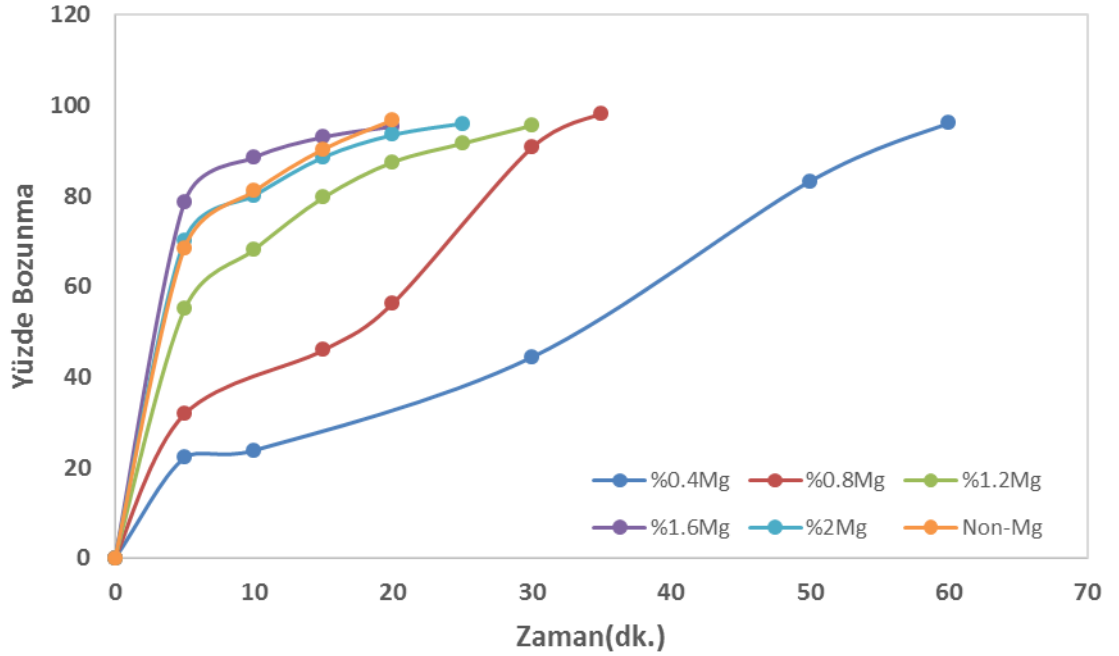
Şekil 4.1. Farklı aktif karbon/ZnO oranları için metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 20 ppm metilen mavisinin foto katalitik bozundurması saf ZnO katalizörü varlığında 70 dk. da tamamlanır iken aktif karbon destekli ZnO katalizör varlığında ise 20 dk. tamamlanmaktadır. Bu durumun muhtemel nedeni, ZnO aktif karbon gibi geniş yüzey alanına sahip bir destek malzemeye tutturularak aktif yüzey alanının arttırıldığı düşünülmektedir. Bir diğer neden de; aktif karbonun iletkenlik yapısından dolayı ortamdaki elektron dolaşımını hızlandırdığı düşünülmektedir. Şekil 4.1’den görüldüğü gibi aktif karbon/ZnO oranı %5’ten %10 arttığında arttığı daha sonra ise azalmaktadır. Bu durumun muhtemel nedeni aktif

karbon/ZnO oranı %20 olduğunda ZnO aktif karbon yüzeyinde ZnO tabakaların üst üste geldiği düşünülmektedir.

#### 4.1.1.2. Mg katkı oranının belirlenmesi

Metilen mavisinin foto katalitik bozundurmasında en iyi aktif karbon/ZnO oranı belirlendikten sonra katalizörün aktivitesini artırmak için katalizörün yapısına Mg metali ile katkılandırılmıştır. Mg miktarının etkisi; 22 mL çözelti hacmi, 20 ppm çözelti başlangıç konsantrasyonu ve 10 mg katalizör şartlarında incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.2’de verilmiştir.

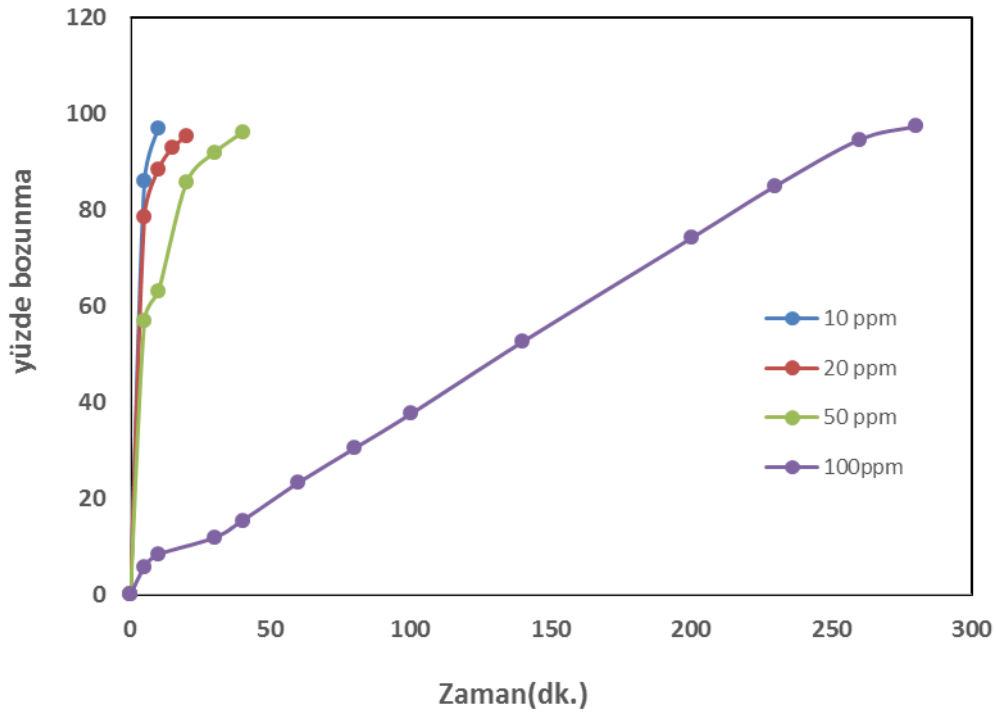


Şekil 4.2. Farklı Mg miktarı için metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi

Şekil 4.2’den görüldüğü gibi Mg doplanmış aktif karbon destekli ZnO katalizörlerin etkisi aktif karbon destekli ZnO daha fazladır. Bu durumun muhtemel nedeni; Mg katalizörün katalizör yüzeyin aktif bölge sayısının arttırdığı düşünülmektedir. Şekil 4.2’den görüldüğü gibi Mg miktarının %0,4 ‘den %1,6 arttığında aktivitesinin arttığı daha sonra ise azaldığı görülmektedir. Bu durumun muhtemel nedeni yüksek Mg miktarlarında katalizörün aktif bölge sayısının azaldığı düşünülmektedir.

#### 4.1.1.3. Metilen mavisi konsantrasyonunun etkisi

Boyar madde konsantrasyonu, fotokatalitik çalışmaları etkileyen önemli bir parametredir. Aktif karbon destekli ZnMgO katalizörü varlığında metilen mavisinin farklı çözelti başlangıç konsantrasyonlarının etkisi; 22 mL çözelti hacmi ve 10 mg katalizör şartlarında incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.3’de verilmiştir.

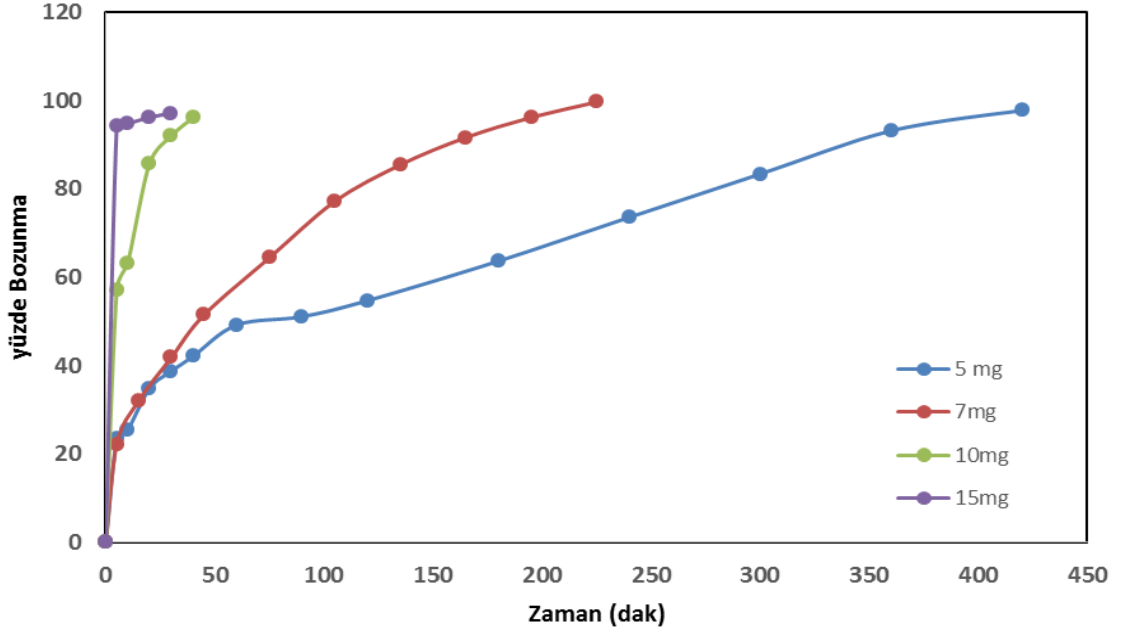


Şekil 4.3. Farklı çözelti başlangıç konsantrasyonlarının metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi

Şekil 4.3’den görüldüğü gibi metilen mavisinin konsantrasyonunun artmasıyla metilen mavisinin foto katalitik yüzde bozunmanın azaldığı görülmektedir. Bu durumun muhtemel nedeni; artan metilen mavisi konsantrasyonu, katalizör yüzeyi üzerine adsorpsiyon kapasitesini arttırmakta ve bu yüzden katalizör yüzeyinde oluşan  $\text{OH}^-$  adsorpsiyonunu engelleyerek foto katalitik aktivasyonunu azaltmakta ve bunun sonucunda  $\text{OH}^-$  oluşumundaki azalış renk giderim veriminde düşüşe yol açmaktadır. Bu durumun bir diğer nedeni ise; Lambert – Beer kanunu temel alınarak başlangıç boya konsantrasyonunun artmasıyla çözeltiye foton girişi azaltmakta ve katalizör yüzeyinde daha az foton adsorpsiyonu gerçekleşmektedir. Sonuç olarak daha düşük reaksiyon hızı olmaktadır (Yatmaz ve ark., 2004).

#### 4.1.1.4. Katalizör miktarı etkisi

Metilen mavisinin foto katalitik bozundurmasını etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesi de katalizör miktarıdır. 20 ppm başlangıç konsantrasyonunda 22 mL boyar madde hacminde yapılan deneysel çalışmalarda farklı katalizör miktarlarının yüzde bozunmanın zaman ile değişimi Şekil 4.4’de verilmiştir.



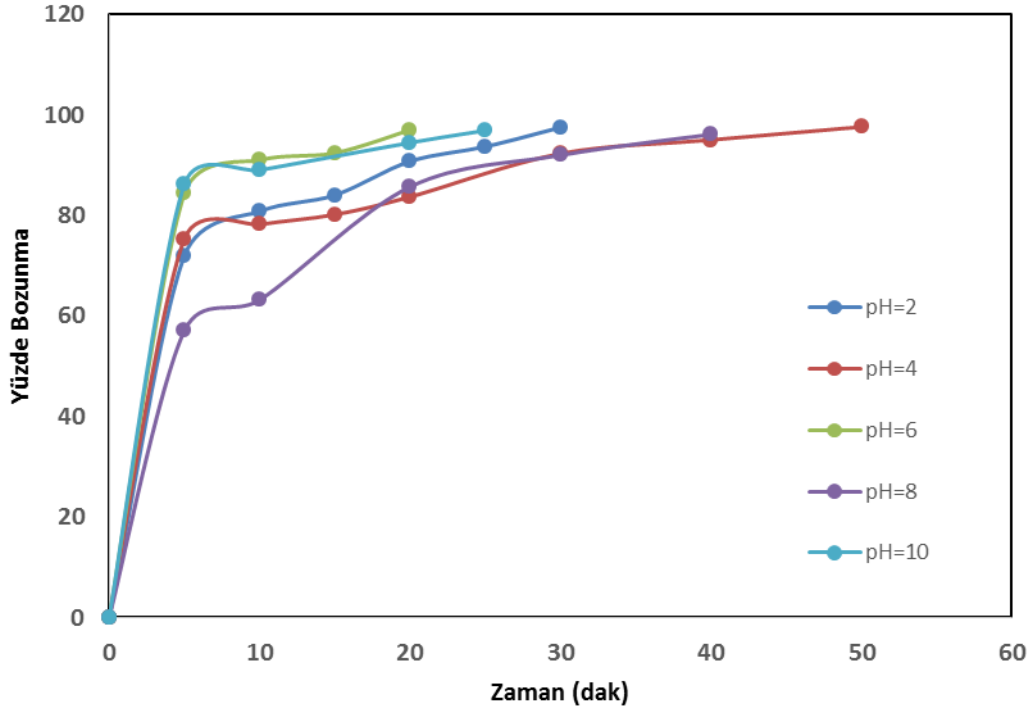
Şekil 4.4. Farklı katalizör miktarlarının metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi

Şekil 4.4 de görüldüğü gibi katalizör miktarının 5 mg den 15 mg artmasıyla yüzde bozunma artmaktadır. Örneğin 5 mg katalizörün 20 ppm konsantrasyonundaki metilen mavisini 420 dk da %97,7 bozundururken 15 mg ise 30 dk’da %97,1 bozundurmuştur. Bu durumun muhtemel nedeni artan katalizör miktarıyla birlikte aktif bölgelerin artması sonucu katalizör yüzeyinde ışık adsorpsiyonu ve OH<sup>-</sup> radikallerinin oluşması artacağından dolayı boyar madde giderim yüzdesi de artacaktır.

#### 4.1.1.5. Metilen mavisinin pH etkisi

Boya maddelerin fotokatalitik bozunmalarında OH<sup>-</sup> iyonları önemli bir faktör olduğundan dolayı pH etkisi önem arz etmektedir. pH’ının bazik, asidik, ve nötral olmasına göre katalizör yüzey yükü sırasıyla negatif, pozitif ve hafif negatif olarak değişmektedir. Bu çalışmada pH etkisi; 22 mL çözelti hacmi, 20 ppm çözelti başlangıç

konsantrasyonu ve 10 mg katalizör şartlarında boyaların bozundurma verimliliğinde çeşitli pH değerlerinde etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Farklı pH değerlerinde metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi

Boyaların bozunması nanoparçacık fotokatalizör yüzeyine adsorbe olan boya molekülleri ve fotokatalizör yüzeyinde bulunan  $\text{OH}^-$  iyonlarından oluşan radikaller arasında gerçekleşmektedir. Başlangıç konsantrasyonu 20 ppm metilen mavisinin 2–10 pH değerlerindeki AC/ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörünün zamanla yüzde bozunması şekil 4.5 de gösterilmektedir. Şekil 4.5 de görüldüğü gibi pH değeri arttıkça boyanın bozunma verimliliğinde önemli bir farklılık görülmektedir. Artan pH değeriyle birlikte metilen mavisinin fotokatalitik bozunması artmaktadır. Bu durumun muhtemel nedeninin; artan pH değeriyle birlikte ortamda  $\text{OH}^-$  iyonlarının sayısının artması sonucu fotokatalitik bozunmada artmaktadır.

#### 4.1.1.6. Kinetik Çalışmalar

Metilen mavisinin aktif karbon destekli ZnMgO katalizörü ile fotokatalitik bozundurma kinetiği birinci ve ikinci derece kinetik model ile incelenmiştir. Birinci ve ikinci derece kinetik model denklemleri aşağıda denklem 1 ve 2 olarak verilmiştir.

$$-\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = k_1 \cdot t \quad (1)$$

$$\frac{1}{C_t} - \frac{1}{C_0} = k_2 \cdot t \quad (2)$$

$C_t$ : t anındaki çözelti derişimi (mg/l)

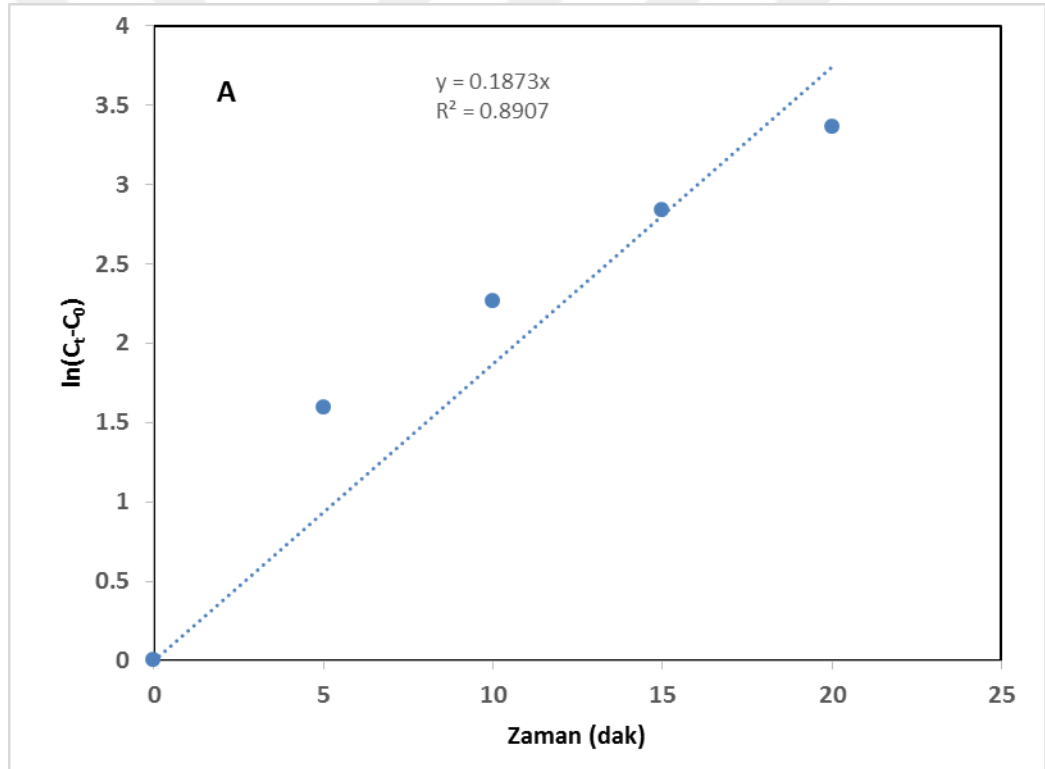
$C_0$ : Başlangıç çözelti derişimi (mg/l)

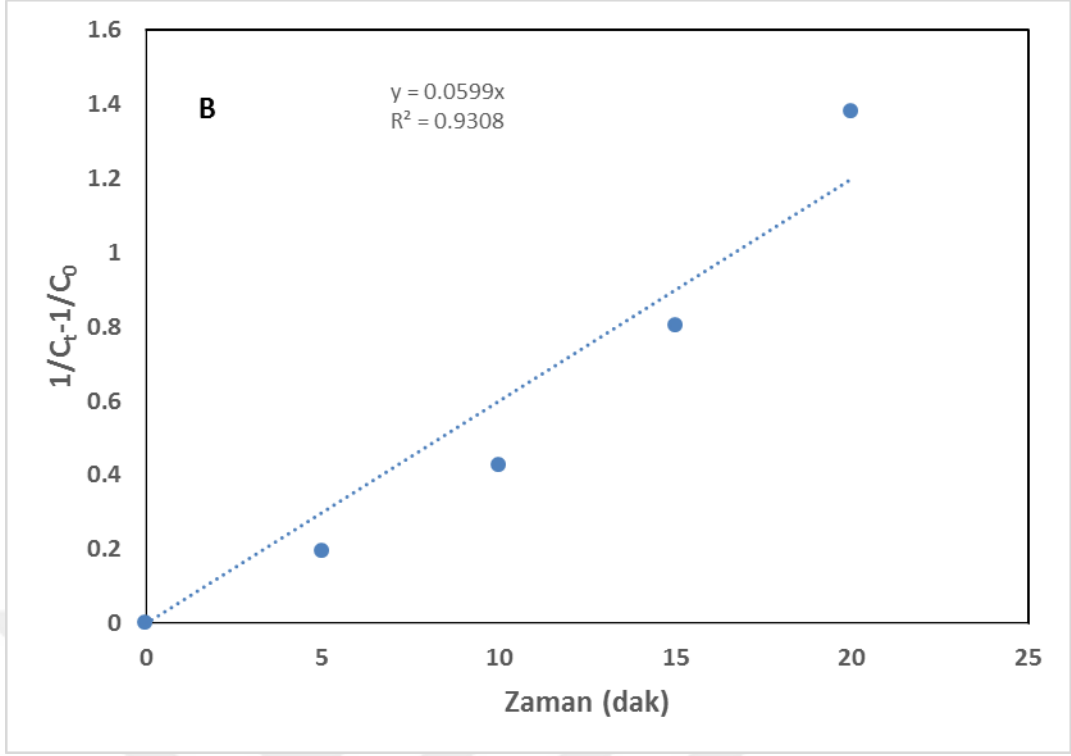
$k_1$ : Birinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (dk.<sup>-1</sup>)

$k_2$ : İkinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (l/(mg dk.))

t : Adsorpsiyon süresi (dk.)

Yukarıdaki eşitliklerden elde edilen grafikler Şekil 4. 6'da verilmiştir.





Şekil 4.6. Kinetik grafikleri A-) birinci derece kinetik model, B-) ikinci derece kinetik model

Şekil 4.6 deki grafiklerdeki denklemler yardımıyla AC/ZnMgO destekli nanoparçacığın birinci ve ikinci derece kinetik modellerin sabitleri belirlenmiş ve Tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 4.1. AC/ZnMgO destekli nanoparçacığın birinci ve ikinci derece kinetik model sabitleri

Birinci derece kinetik Model		İkinci derece kinetik model	
k <sub>1</sub> (dk.)	R <sup>2</sup>	k <sub>2</sub> (l/(mg dk.))	R <sup>2</sup>
0,1873	0,8907	0,0599	0,9308

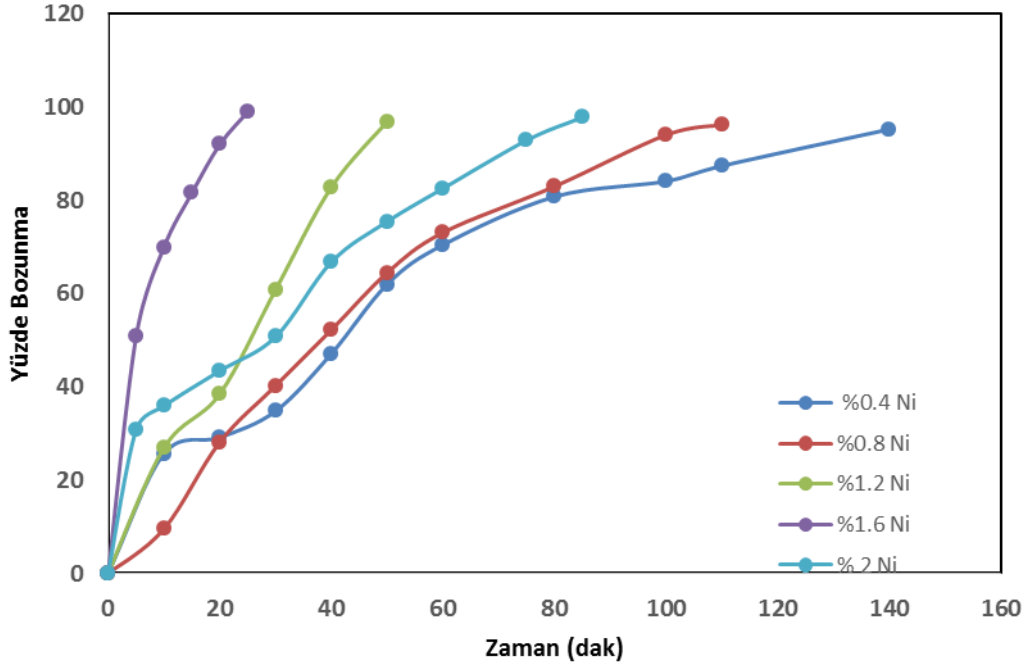
Tablo 4.1.'de görüldüğü gibi regresyon katsayısına göre metilen mavisinin fotokatalitik bozundurma kinetiğinin birinci derece kinetik modele daha iyi uyduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.2. Aktif karbon destekli Ni katkılı ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörü

##### 4.1.2.1. Aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacığına katkılanmış Ni miktarı etkisi

Aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörüne farklı konsantrasyonlarda Ni miktarının etkisi; 22 mL çözelti hacmi 50 ppm metilen mavisi başlangıç konsantrasyonunda ve 10 mg aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık

fotokatalizör şartlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçları doğrultusunda metilen mavisinin zaman ile bozunma yüzdesi şekil 4.7’ de gösterilmiştir.

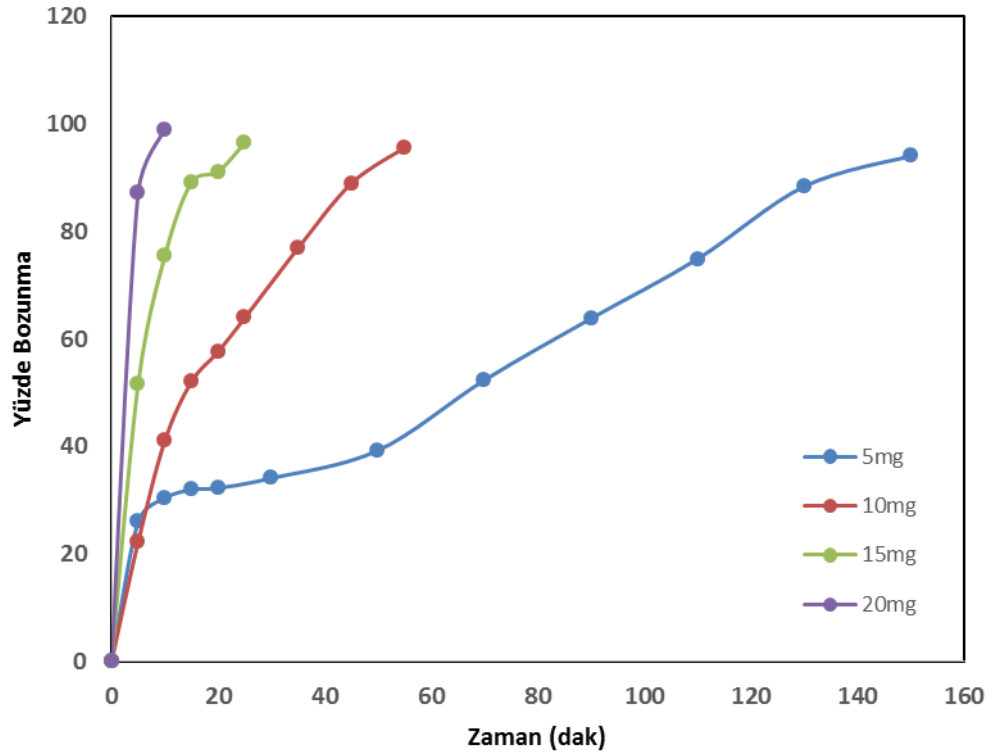


Şekil 4.7. Ni katkılı AC/ZnMgO fotokatalizörü varlığında metilen mavisinin zamanlabozunma yüzdesi

Şekil 4.7’ de görüldüğü gibi aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörü Ni maddesi ile katkılandırılmıştır. Ni katkı maddesinin konsantrasyon etkisi %0.4, %0.8 %1.2, %1.6 ve %2 olarak değiştirilmiştir. Şekli incelediğimiz zaman Ni katkı maddesinin konsantrasyonu arttığında fotokatalizör aktivitesinin arttığı, daha sonra ise azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak; Ni düşük miktarlarda ZnMgO nanoparçacığının fotokatalitik aktivitesini artırmak için yeterli olmadığını, yüksek konsantrasyonda ise ZnMgO katalizörünün aktivite bölgelerini deaktive ettiği düşünülmektedir. Ayrıca,  $Zn^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  ve  $Ni^{+2}$  değerlikli olduğundan, düşük miktarlarda Ni metali ZnMgO katalizörünün aktif yüzey bölgesinin aktivitesini artırmak için yetersiz olabilir. Ni katkılı aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacığının fotokatalizör aktivitesi saf aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizöründen daha iyi sonuçlar verdiği şekil 4.7’ de gösterilmiştir. Ni katkılı aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörünün en iyi Ni miktarı %1.6 olduğu tespit edilmiş olup, bundan sonraki çalışmalarda bu değer üzerinden üretilen Ni katkılı aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacığının fotokatalizör parametreleri incelenmiştir.

#### 4.1.2.2. Katalizör miktarının etkisi

En iyi %1.6 Ni katkıli aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacığı 22 mL hacminde çözeltili ve 100 ppm konsantrasyonunda metilen mavisi içerisinde farklı miktarlarda (5 mg, 10mg, 15 mg ve 20 mg) kullanılarak metilen mavisinin yüzde bozunmasının zamanla değişimi Şekil 4.8’ de gösterilmiştir.



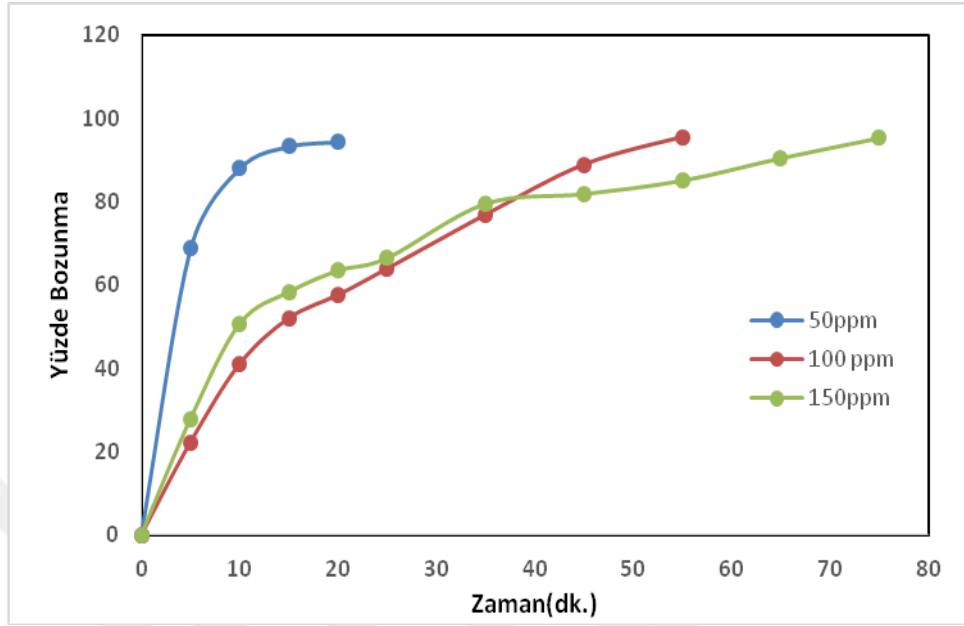
Şekil 4.8. Ni katkıli AC/ZnMgO fotokatalizörü miktarının metilen mavisinin fotokatalitik bozundurma etkisi grafiği.

Şekilde de görüldüğü gibi, katalizör miktarı 5 mg dan 20 mg arttıkça metilen mavisi yüzde bozunması artmaktadır. Bunun nedeni ise, katalizör miktarı arttıkça Ni katkıli aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık foto katalizörünün yüzey alanının aktif bölgesinin artması ve sonuç olarak katalizör yüzeyinde OH<sup>-</sup> radikallerinin oluşması ve ışık absorpsiyonu artacağından boyar madde (metilen mavisi) giderim yüzdesi de artacaktır.

#### 4.1.2.3. Metilen mavisi konsantrasyonu etkisi

22 mL çözeltili hacmi ve 10 mg Ni katkıli aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizör miktarı çözeltili başlangıç konsantrasyonu için belirlenmiş ve

farklı konsantrasyonlarda metilen mavisi başlangıç konsantrasyonu için metilen mavisinin yüzde bozunmanın zaman ile değişimi şekil 4.9' da gösterilmiştir.

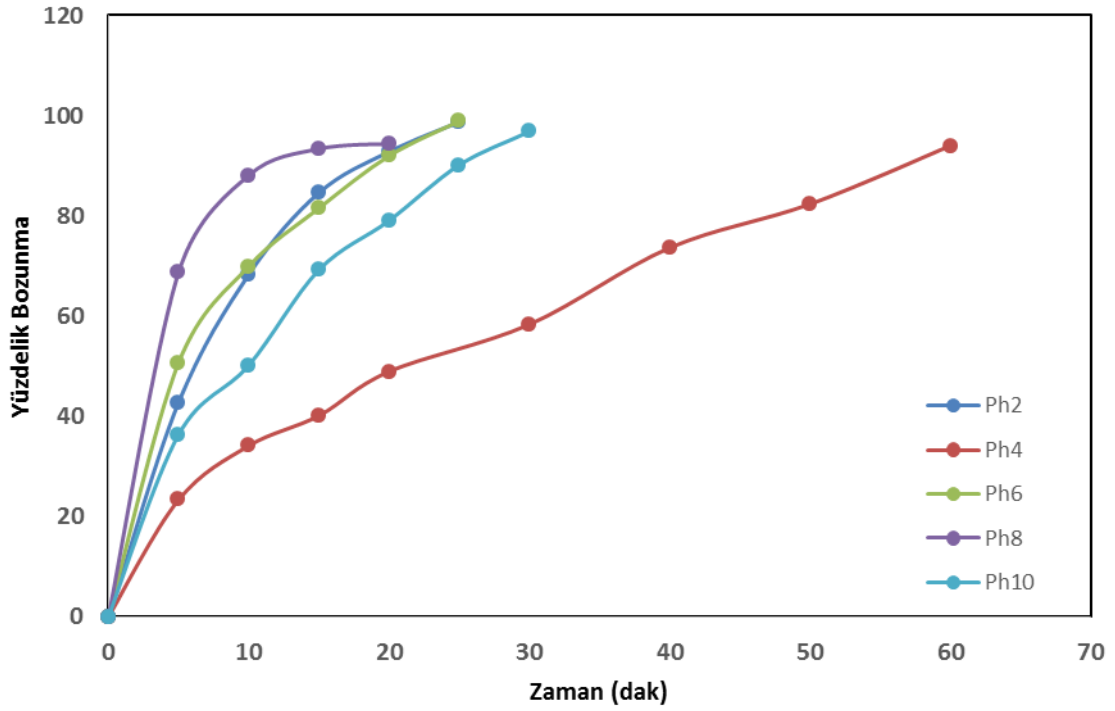


Şekil 4.9. Ni katkılı Ac/ZnMgO fotokatalizörünün metilen mavisi konsantrasyonunun metilen mavisinin fotokatalitik bozundurma etkisi grafiği.

Şekil incelendiği zaman, metilen mavisinin konsantrasyonunun 50 ppm den 150 ppm' e kadar artmasıyla metilen mavisi yüzde bozunması azalmaktadır. Bunun muhtemel nedeni olarak; katalizör yüzeyi üzerinde metilen mavisi konsantrasyonu adsorpsiyon kapasitesini artırmaktadır. Dolayısıyla, artan adsorpsiyon kapasitesi de katalizör yüzeyinde oluşan OH<sup>-</sup> radikalleri adsorpsiyonu engelleyerek fotokatalitik aktivasyonunu azaltmaktadır. Bunun sonucunda da OH<sup>-</sup> radikallerinin oluşumundaki azalış renk giderim veriminde düşüşe neden olmaktadır.

#### 4.1.2.4. Metilen mavisinin pH etkisi

Boya maddelerin fotokatalitik bozunmalarında pH etkisinin incelenmesi önemlidir. Çünkü, OH<sup>-</sup> iyonları pH etkisinde önemli bir faktördür. Bu çalışmada pH etkisi; 22 mL çözelti hacmi, 50 ppm çözelti başlangıç konsantrasyonu ve 10 mg katalizör şartlarında boyaların bozundurma verimliliğinde çeşitli pH değerlerinde etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.10'da verilmiştir.



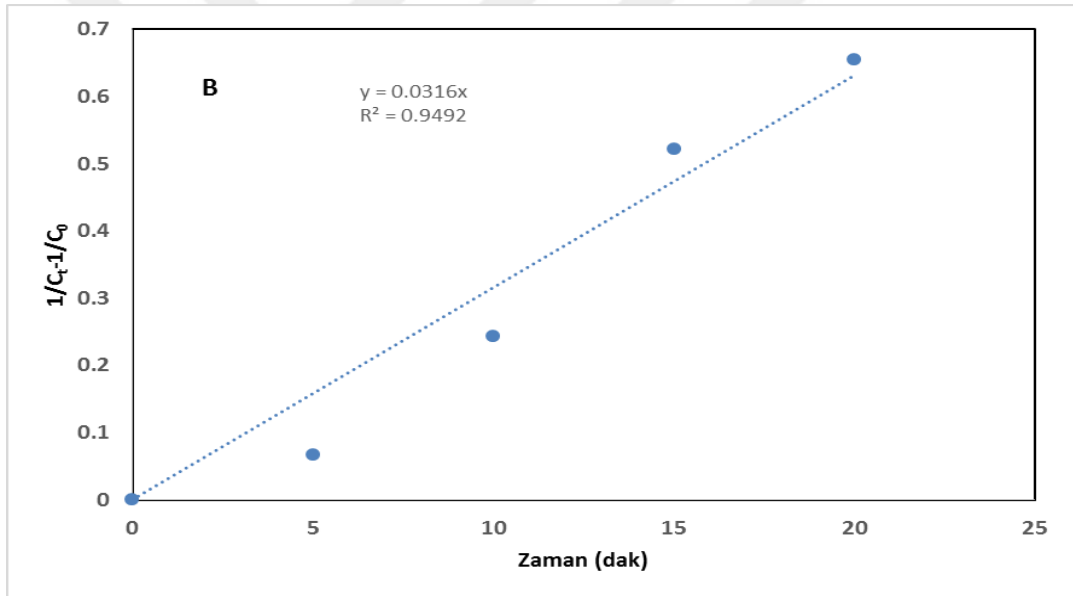
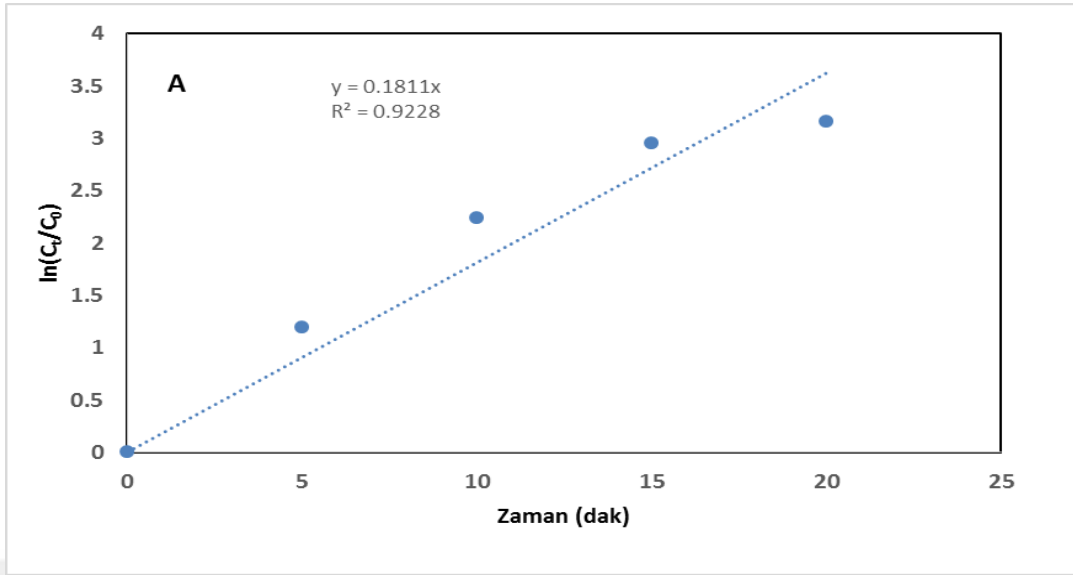
Şekil 4.10. Farklı pH değerlerinde metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi

Boyaların bozunması nanoparçacık fotokatalizör yüzeyine adsorbe olan boya molekülleri ve fotokatalizör yüzeyinde bulunan  $\text{OH}^-$  iyonlarından oluşan radikaller arasında gerçekleşmektedir.

Başlangıç konsantrasyonu 50 ppm metilen mavisinin 2–10 pH değerlerindeki Ni katkılı AC/ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörünün zamanla yüzde bozunması şekil 4.10 da gösterilmektedir. Şekil 4.10 da görüldüğü gibi pH değeri arttıkça boyanın bozunma verimliliğinde önemli bir farklılık görülmektedir. Artan pH değeriyle birlikte metilen mavisinin fotokatalitik bozunmasının artmasının muhtemel nedeni; artan pH değeriyle birlikte ortamda  $\text{OH}^-$  iyonlarının sayısının artması sonucu fotokatalitik bozunmada artmaktadır.

#### 4.1.2.5. Metilen mavisi bozunma kinetiği

Metilen mavisinin Ni katkılı aktif karbon destekli ZnMgO katalizörü ile fotokatalitik bozundurma kinetiği birinci ve ikinci derece kinetik model ile incelenmiştir. Denklem 1 ve 2 de ki kinetik eşitliklerden elde edilen grafikler şekil 4.11’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.11.** Ni katkılı aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık foto katalizörünün kinetik grafikleri a-) birinci derece kinetik model, b-) ikinci derece kinetik model

Şekil de görüldüğü gibi, metilen mavisinin Ni katkılı aktif karbon destekli ZnMgO katalizörü varlığında fotokatalitik bozundurma kinetiği birinci dereceden kinetik modele daha uygundur. Metilen mavisinin fotokatalitik bozundurmasının zaman kontrollü olduğunu ifade edebiliriz.

Şekil 4.11 deki grafiklerdeki denklemler yardımıyla aktif karbon destekli Ni katkılı ZnMgO nanoparçacığın birinci ve ikinci derece kinetik modellerin sabitleri belirlenmiş ve Tablo 2 'de verilmiştir.

**Tablo 4.2.** Aktif karbon destekli Ni katkılı ZnMgO nanoparçacık birinci ve ikinci derece kinetik model sabitleri

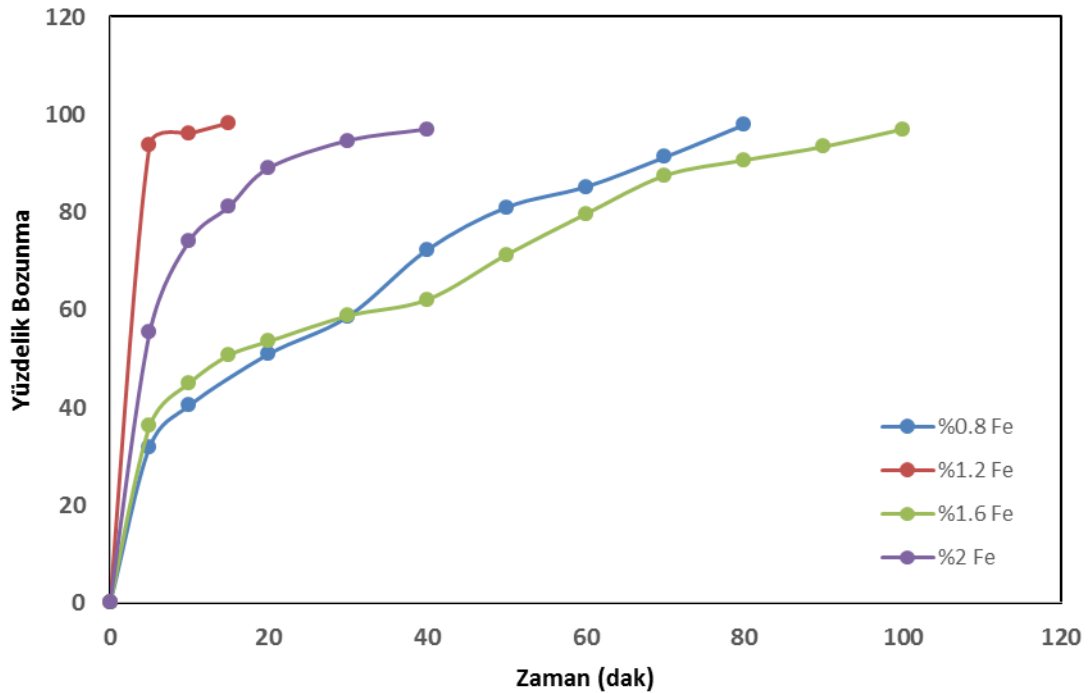
Birinci derece kinetik Model		İkinci derece kinetik model	
$k_1$ (dk.)	$R^2$	$k_2$ (l/(mg dk.))	$R^2$
0,1811	0,9228	0,0316	0,9492

Tablo 4.2.'de görüldüğü gibi regresyon katsayısına göre metilen mavisinin fotokatalitik bozunma kinetiğinin birinci derece kinetik modele daha iyi uyduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.3. Aktif karbon destekli Fe katkılı ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörü

##### 4.1.3.1. Aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacığına katkılanmış Fe miktarı etkisi

Aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörüne farklı konsantrasyonlarda (%0.8 %1.2, %1.6 ve %2) Fe miktarının etkisi; 22 mL çözelti hacmi 50 ppm metilen mavisini başlangıç konsantrasyonunda ve 10 mg aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizör kullanımı şartlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçları doğrultusunda metilen mavisinin zaman ile bozunma yüzdesi Şekil 4.12' de gösterilmiştir.



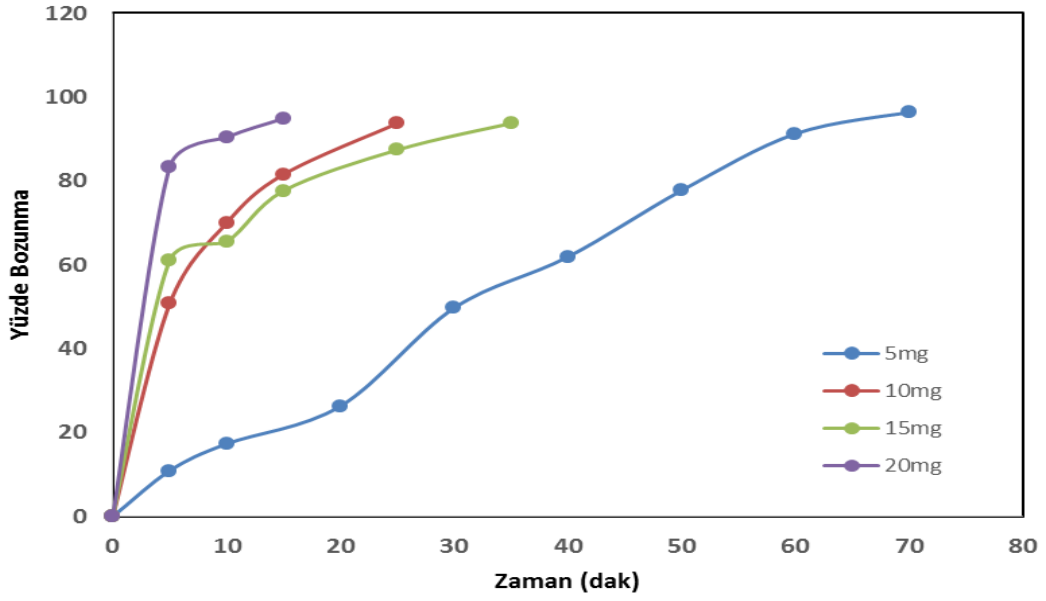
**Şekil 4.12.** Fe katkılı AC/ZnMgO fotokatalizörü varlığında metilen mavisinin zamanla bozunma yüzdesi.

Şekil 4.12' de görüldüğü gibi aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörü Fe maddesi ile katkılandırılmıştır. Fe katkı maddesinin konsantrasyon etkisi %0.8 %1.2, %1.6 ve %2 olarak değiştirilmiştir. Şekli incelediğimizde Fe katkı maddesinin konsantrasyonu arttığında fotokatalizör aktivitesinin arttığı, daha sonra ise azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak; Fe maddesinin atom çapının ZnMgO atom çapından daha büyük olması nedeniyle düşük miktarlarda Fe maddesinin ZnMgO nanoparçacığının fotokatalitik aktivitesini artırmak için yeterli olmadığını, yüksek konsantrasyonda ise ZnMgO katalizörünün aktivite bölgelerini deaktive ettiği düşünülmektedir.

Çeşitli geçiş metali iyonları arasında Fe iki nedenden dolayı daha kullanışlıdır. Birincisi,  $Fe^{3+}$  iyonunun (0.064 nm) iyonik yarıçapı  $Mg^{2+}$  (0.066 nm) 'ye çok yakındır, böylece  $Fe^{3+}$  iyonları MgO'nun yapısına kolayca yerleşebilir ve böylece  $Mg^{2+}$  bölgelerini işgal eder. İkincisi,  $Fe^{3+}$  iyonları elektron deliği tuzakları olarak hareket edebilmeleri ve rekombinasyonlarını önleyebilmeleridir. Fe katkılı aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacığının fotokatalizör aktivitesi saf aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizöründen daha iyi sonuçlar verdiği şekil 4.12'de gösterilmiştir. Fe katkılı aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörünün en iyi Fe miktarı %1.2 olduğu tespit edilmiş olup, bundan sonraki çalışmalarda bu değer üzerinden üretilen Fe katkılı aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacığının fotokatalizör parametreleri incelenmiştir.

#### **4.1.3.2. Katalizör miktarının etkisi**

En iyi %1.2 Fe katkılı aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacığı 22 mL hacminde çözelti ve 50 ppm konsantrasyonunda metilen mavisi içerisinde farklı miktarlarda (5 mg, 10 mg, 15 mg ve 20 mg) kullanılarak metilen mavisinin yüzde bozunmasının zamanla değişimi Şekil 4.13' de gösterilmiştir.

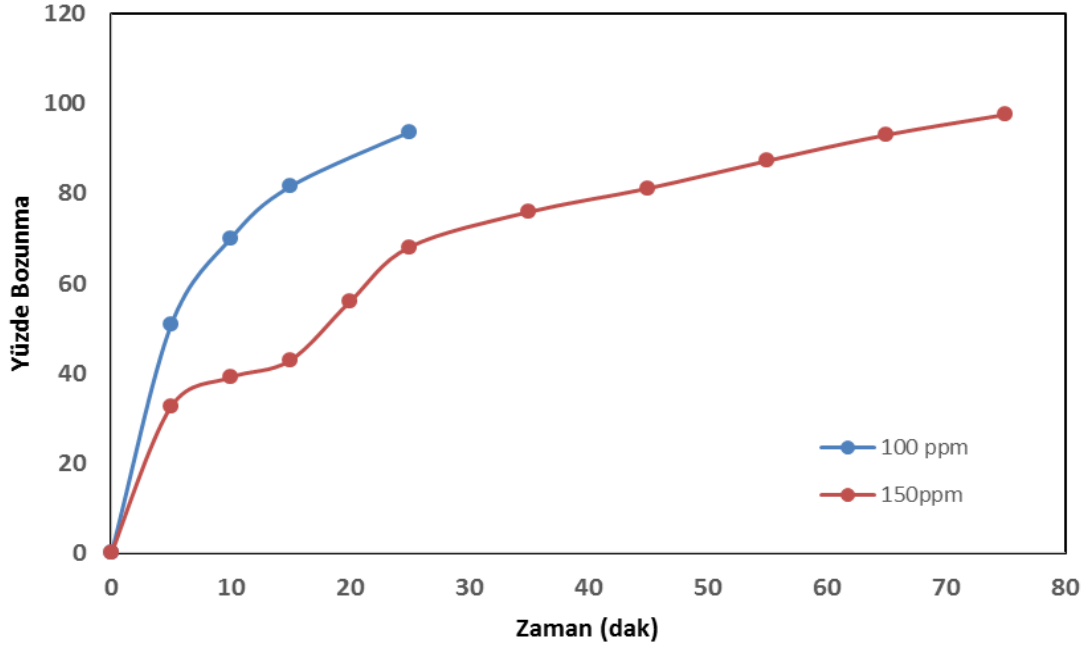


Şekil 4.13. Fe katkılı AC/ZnMgO fotokatalizörünün metilen mavisi konsantrasyonunun metilen mavisinin fotokatalitik bozundurma etkisi grafiği.

Şekilde de görüldüğü gibi, katalizör miktarı 5 mg dan 20 mg arttıkça metilen mavisi yüzde bozunması artmaktadır. Bunun nedeni ise, katalizör miktarı arttıkça Fe katkılı aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık foto katalizörünün yüzey alanının aktif bölgesinin artmasıdır. sonuç olarak da fotokatalizör yüzeyinde hem OH<sup>-</sup> radikallerinin oluşması hem de ışık absorpsiyonu artacağından dolayı boyar madde (metilen mavisi) giderim yüzdesi de artacaktır.

#### 4.1.3.3. Metilen mavisi konsantrasyonu etkisi

22 mL çözelti hacmi ve 10 mg Fe katkılı aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizör miktarı çözelti başlangıç konsantrasyonu için belirlenmiş ve farklı konsantrasyonlarda metilen mavisi başlangıç konsantrasyonu için metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi Şekil 4.14' de gösterilmiştir.

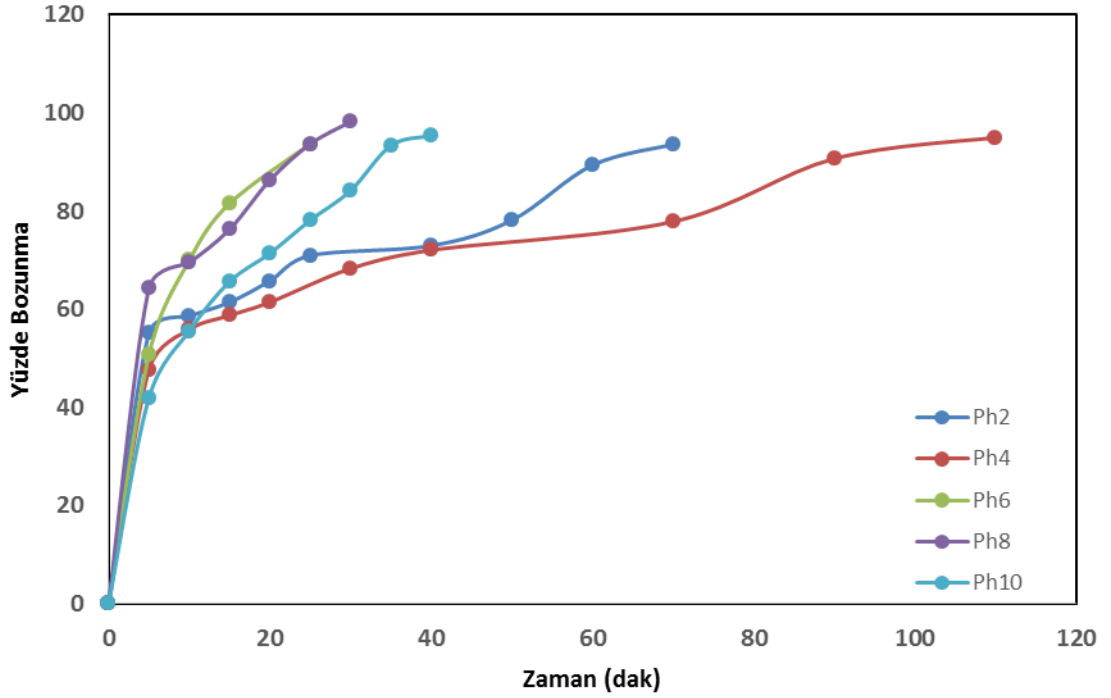


Şekil 4.14. Fe katkılı AC/ZnMgO fotokatalizörünün metilen mavisi konsantrasyonunun metilen mavisinin fotokatalitik bozundurma etkisi grafiği.

Şekil incelendiği zaman, metilen mavisinin konsantrasyonunun 100 ppm den 150 ppm e kadar artmasıyla metilen mavisi yüzde bozunması azalmaktadır. Bunun muhtemel nedeni olarak; katalizör yüzeyi üzerinde metilen mavisi konsantrasyonu adsorpsiyon kapasitesini artırmaktadır. Dolayısıyla, artan adsorpsiyon kapasitesi de katalizör yüzeyinde oluşan  $\text{OH}^-$  radikalleri adsorpsiyonunu engelleyerek foto katalitik aktivasyonunu azaltmaktadır. Bunun sonucunda da  $\text{OH}^-$  radikallerinin oluşumundaki azalış renk giderim veriminde düşüşe neden olacaktır.

#### 4.1.3.4. Metilen mavisinin PH etkisi

Boya maddelerin fotokatalitik bozunmalarında pH etkisinin incelenmesi önemlidir. Çünkü,  $\text{OH}^-$  iyonları pH etkisinde önemli bir faktördür. Bu çalışmada pH etkisi; 22 ml çözelti hacmi, 50 ppm çözelti başlangıç konsantrasyonu ve 10 mg katalizör şartlarında boyaların bozundurma verimliliğinde çeşitli pH değerlerinde etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.15'de verilmiştir.

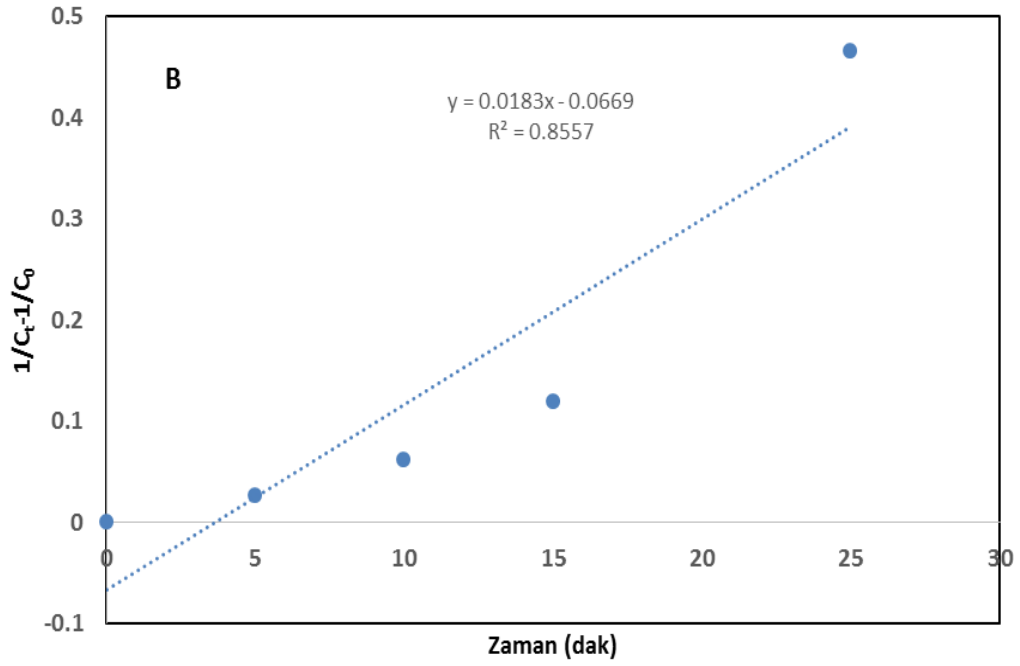
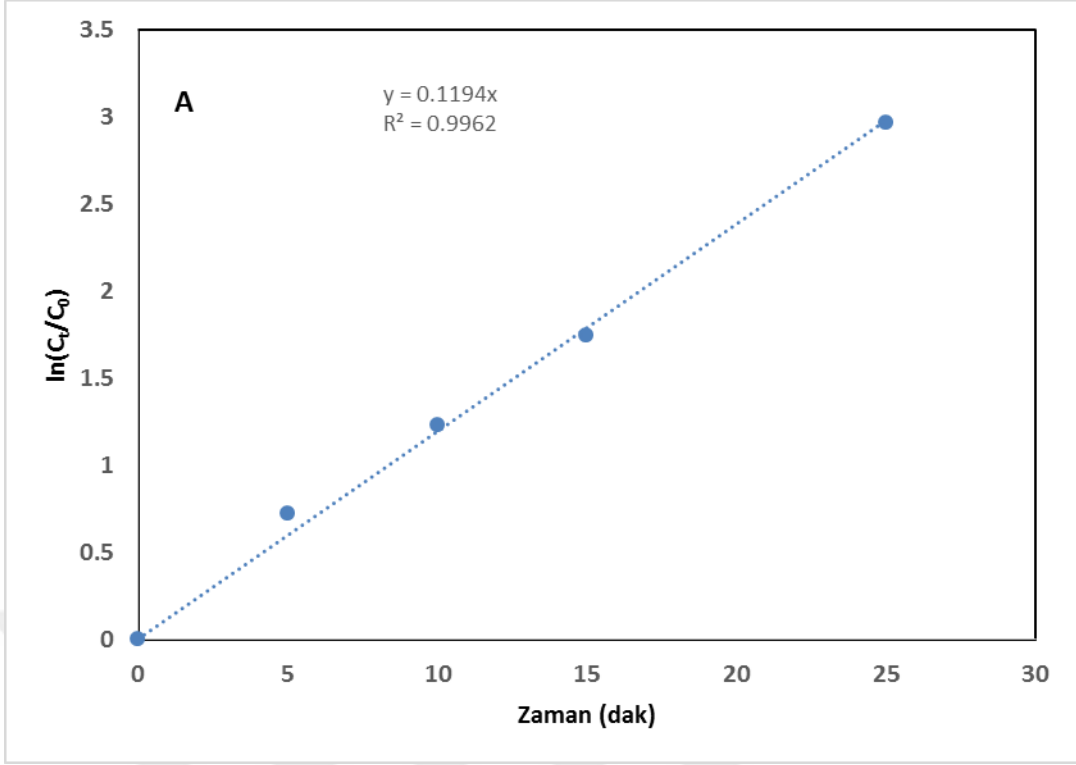


Şekil 4.15. Farklı pH değerlerinde metilen mavisinin yüzde bozunmasının zaman ile değişimi

Boyaların bozunması nanoparçacık fotokatalizör yüzeyine adsorbe olan boya molekülleri ve fotokatalizör yüzeyinde bulunan  $\text{OH}^-$  iyonlarından oluşan radikaller arasında gerçekleşmektedir. Başlangıç konsantrasyonu 50 ppm metilen mavisinin 2–10 pH değerlerindeki Fe katkılı AC/ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörünün zamanla yüzde bozunması Şekil 4.15’de gösterilmektedir. Şekil 4.15’de görüldüğü gibi pH değeri arttıkça boyanın bozunma verimliliğinde önemli bir farklılık görülmektedir. Artan pH değeriyle birlikte metilen mavisinin fotokatalitik bozunmasının artmasının muhtemel nedeni; artan pH değeriyle birlikte ortamda  $\text{OH}^-$  iyonlarının sayısının artması sonucu fotokatalitik bozunmada artmaktadır.

#### 4.1.3.4. Metilen mavisi bozunma kinetiği

Metilen mavisinin Fe katkılı aktif karbon destekli ZnMgO katalizörü ile fotokatalitik bozundurma kinetiği birinci ve ikinci derece kinetik model ile incelenmiştir. Denklem 1 ve 2 de ki kinetik eşitliklerden elde edilen grafikler Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



**Şekil 4.16.** Fe katkılı aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık foto katalizörünün kinetik grafikleri  
A-) birinci derece kinetik model, B-) ikinci derece kinetik model

Şekil de görüldüğü gibi, metilen mavisinin Fe katkılı aktif karbon destekli ZnMgO katalizörü varlığında fotokatalitik bozundurma kinetiği birinci dereceden

kinetik modele daha uygundur. Metilen mavisinin fotokatalitik bozundurmasının zaman kontrollü olduğunu ifade edebiliriz. Şekil 4.16’da ki grafiklerdeki denklemler yardımıyla aktif karbon destekli Fe katkılı ZnMgO nanoparçacığın birinci ve ikinci derece kinetik modellerin sabitleri belirlenmiş ve Tablo 3 ‘de verilmiştir.

**Tablo 4.3.** Aktif karbon destekli Fe katkılı ZnMgO nanoparçacığın birinci ve ikinci derece kinetik model sabitleri

Birinci derece kinetik Model		İkinci derece kinetik model	
$k_1$ (dk.)	$R^2$	$k_2$ (l/(mg dk.))	$R^2$
0,1194	0,9962	0,0183	0,8557

Tablo 4.3’te görüldüğü gibi regrasyon katsayına göre metilen mavisinin fotokatalitik bozundurma kinetiğinin birinci derece kinetik modele daha iyi uyduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.16 da gösterildiği gibi, metilen mavisinin Fe katkılı aktif karbon destekli ZnMgO katalizörü varlığında fotokatalitik bozundurma kinetiği birinci dereceden kinetik modele daha uygundur. Metilen mavisinin fotokatalitik bozundurmasının zaman kontrollü olduğunu belirtebiliriz.

## 4.2. Karakterizasyon İle İlgili Ölçümleri

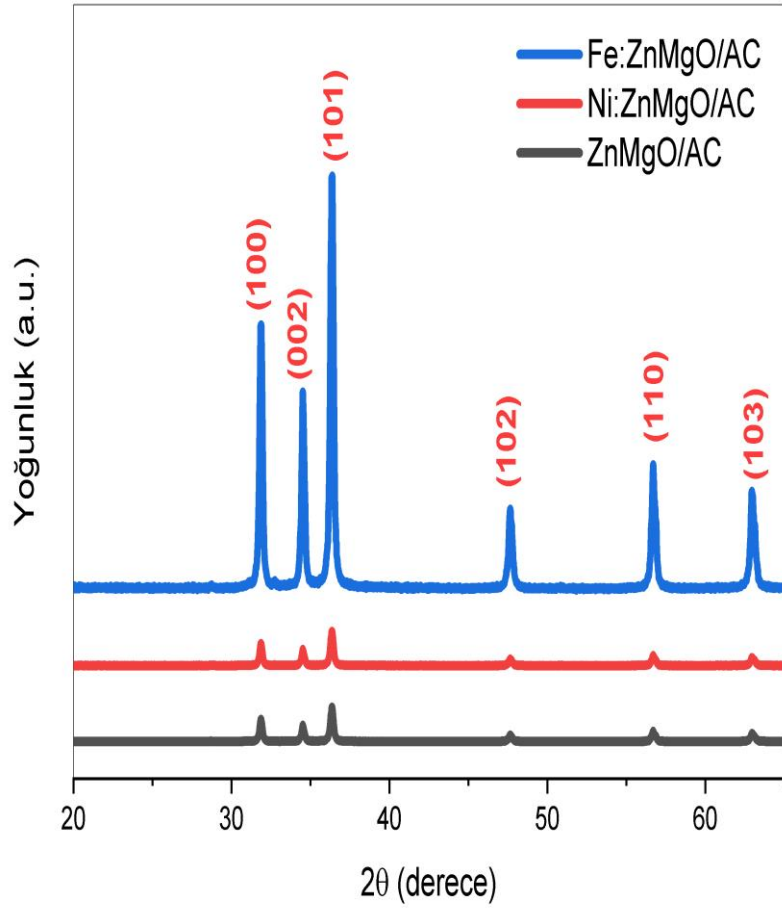
### 4.2.1. XRD Ölçümleri

En iyi fotokatalitik aktivite gösteren katalizörlerin yapısal özelliklerinin incelenmesi ve her bir numunenin ortalama kristalit boyutunun hesaplanması için XRD ölçümleri bu tez kapsamında gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneyi içeren XRD grafiği verilmeden önce kristalit boyutunun hesaplanması için gerekli olan bağıntı (Debye–Scherrer eşitliği, (4.1)) aşağıda verilmektedir.

$$D=(0,89*\lambda)/(\beta*\cos\theta) \quad (4.1)$$

Burada, D= Numunenin kristalit boyutu,  $\lambda$ = Kırınımında kullanılan x-ışının dalga boyu,  $\beta$ =Kırınım deseninde gözlenen maksimum piklerin yarı maksimumdaki genişliklerin radyan cinsinden değeri,  $\theta$ = Dikkate alınan pikin Bragg yansıma açısıdır.

Her bir numuneye ait elde edilen XRD kırınım desenleri Şekil 4.17’de gösterilmektedir.



**Şekil 4.17.** Saf ve katkılı (Ni, Fe) AC/ZnMgO fotokatalizörlere ait XRD kırınım desenleri.

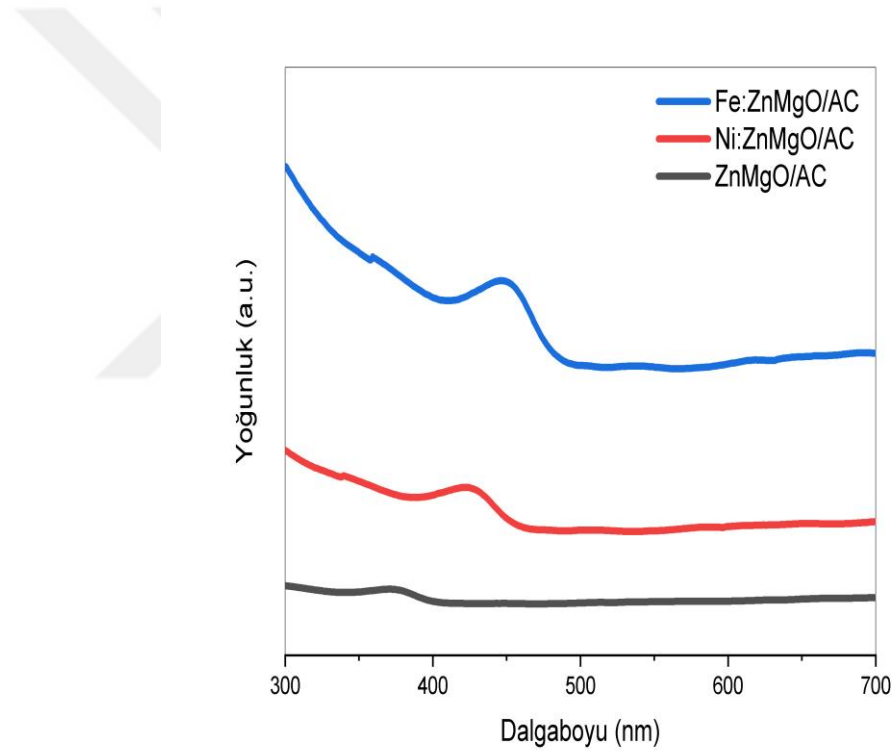
Elde edilen desenler, ZnO altıgen yapısının düzlemlerine (100), (002), (101), (102), (110) ve (103) karşılık gelmektedir. Saf ve katkılı (Ni, Fe) AC/ZnMgO fotokatalizörler için elde edilen kırınım verileri, XRD cihazı tarafından sağlanan verilerle iyi bir şekilde uyduğu gözlemlenmiştir (JCPDS 36-1451). Tüm fotokatalizörler aynı XRD modellerine sahiptir, bu da Fe, Ni Mg ve AC'nin eklenmesinin ZnO'nun faz yapısını etkilemediği anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, katkılı (Ni, Fe) AC/ZnMgO fotokatalizörlere ait XRD kırınım desenleri, düşük katkı seviyesinden kaynaklanabilecek herhangi bir görünür karakteristik kırınım tepe noktası göstermemiştir. Ayrıca, AC'nin nispeten düşük kırınım gücü nedeniyle, katkılı (Ni, Fe) AC/ZnMgO fotokatalizörlerinde AC'nin karakteristik kırınım zirvesi gözlemlenmedi.

ZnMgO/AC, ZnMgO/AC:Ni ve ZnMgO/AC:Fe fotokatalizörlerinin ortalama kristalit boyutları, Debye-Scherrer formülü kullanılarak ((101) pik baz alınmıştır)

sırasıyla 16,8, 14,3 ve 11,6 nm olarak hesaplandı. Katkılı (Ni, Fe) ZnMgO/AC katalizörlerin, saf ZnMgO/AC'dan daha küçük kristalit boyutlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun temel nedeni Ni (83 pm) ve Fe (69 pm) atomlarının iyonik yarıçapının Mg atomuna (86 pm) kıyasla daha düşük olması olarak düşünülmektedir.

#### 4.2.2. UV-Vis Ölçümleri

Saf ve katkılı (Ni, Fe) ZnMgO/AC fotokatalizörlere ait optik özellikleri incelemek ve her bir numunenin enerji band aralığını tespit edebilmek için UV-Vis ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir fotokatalizörlere ait soğurum bantları Şekil 4.1.8'de gösterilmektedir.



Şekil 4.18. Saf ve katkılı (Ni, Fe) ZnMgO/AC fotokatalizörlere ait UV-Vis spektrumları.

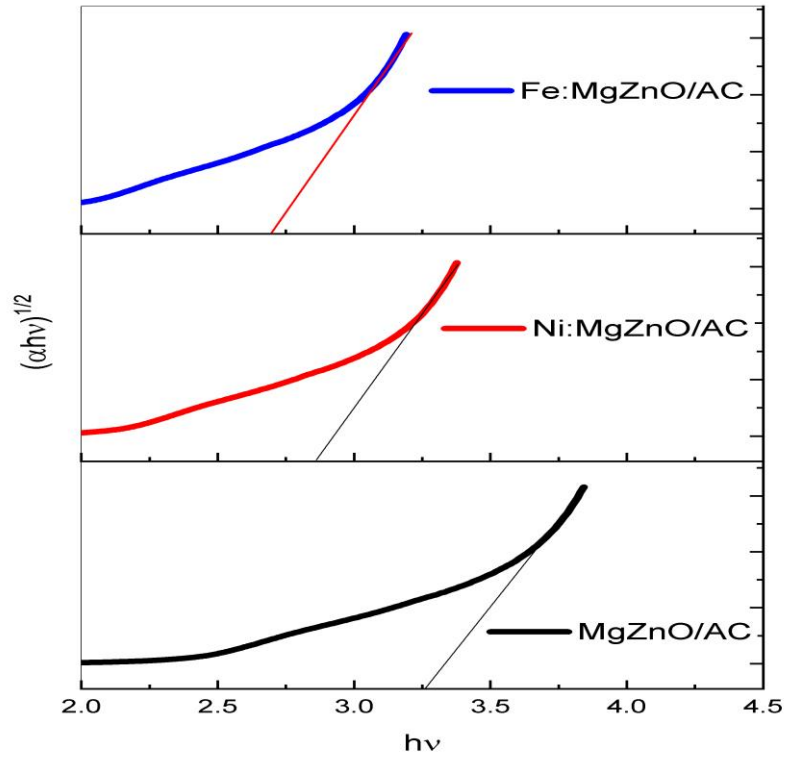
Katkı metallere dolayısıyla katkılı (Ni, Fe) ZnMgO/AC fotokatalizörlere ait soğurum spektrumlarının daha yüksek dalga boyuna doğru (kırmızı kayma) kaydığı gözlemlenmiştir. Bu kaymanın kuantum sınırlandırma etkisinden dolayı kaynaklanmadığı açıkça görülmektedir. Çünkü kuantum sınırlandırma etkisinde daha düşük kristalit boyutlara sahip olan fotokatalizörlere ait soğurum spektrumunun büyük kristalit boyutlara kıyasla daha kısa dalga boylarına doğru kaydığı bilinmektedir. O halde boyut etkisi başka bir deyişle kuantum sınırlandırma etkisi elendiğinden geriye

tek bir sebep kalmaktadır bu da katkı metalinin varlığıdır. Katkı metalinin varlığında katkılı fotokatalizörlerin daha geniş spektrumları soğurduğu söylenebilir. Elde edilen soğurum spektrumları baz alınarak Tauc eşitliği kullanılarak Saf ve katkılı (Ni, Fe) ZnMgO/AC fotokatalizörlere ait enerji bant aralık değerleri tespit edilmiştir.

Eşitlik 4.2’de verilen Tauc eşitliği oldukça pratiktir.

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^m \quad (4.2)$$

Eşitlikte A: sabit,  $\alpha$ :soğurma sabiti,  $h\nu$ : gelen ışığın enerjisi,  $E_g$ : enerji bant aralığı ve m: izinli direk olmayan geçişler, yasak direk olmayan geçişler, izinli direk geçişler ve yasak direk geçişler için sırasıyla 2, 3, 1/2 ve 1/3 değerlerini alır. . Eğer Şekil 4.19’daki gibi  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  değerlerine karşı  $h\nu$  değerlerinin grafiği çizildiğinde MgZnO/AC, ZnMgO/AC:Ni ve ZnMgO/AC:Fe fotokatalizörlerinin enerji bant aralık değerleri sırasıyla 3.32, 2.92, and 2.76 eV olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 4.19.** Saf ve katkılı (Ni, Fe) ZnMgO/AC fotokatalizörlere ait  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  değerlerine karşı  $h\nu$  değerlerinin grafiği.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hidrotermal yöntem kullanılarak, öncelikle aktif karbon destekli ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörü sentezlenmiş olup, en iyi yüzde karbon konsantrasyon oranı belirlendikten sonra Ni ve Fe maddesi ile katkılı AC/ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörleride aynı yöntemle sentezlenmiştir. Üretilen fotokatalizörler kullanılarak UV ışığı altında metilen mavisi yüzde bozunmaları incelenmiştir. Deneysel veriler sonucunda;

- 1- %10 aktif karbon oranı kullanılarak sentezlenen AC/ZnMgO fotokatalizörünün aktivitesinin diğer oranlara göre daha iyi olduğu belirlendi.
- 2- En iyi Mg katkı oranı %1.6 olarak belirlendi.
- 3- Katkılamanın fotokatalizör yüzeyi üzerinde lokal elektrik alanının bozulmasına neden olduğunu ve foto-indüklenen elektronların ve deliklerin katkı maddesinin etrafına sıkışabileceğini ve bu da fotokatalizörün rekombinasyon şansını etkili bir şekilde azaltır. Dolayısıyla, Fe metalinin elektronegatifliğinin ve iyonlaşma enerjisinin diğerlerinden daha az olmasından AC/ZnMgO:Fe > AC/ZnMgO:Ni > AC/ZnMgO olduğu tespit edildi.
- 4- Hem saf hem de katkılı AC/ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörün de metilen mavisinin konsantrasyonunun artmasıyla bozunma yüzdesinin azaldığı görüldü.
- 5- Fotokatalizörlerin metilen mavisinin konsantrasyonunun artmasıyla bozunma yüzdeleri AC/ZnMgO:Fe > AC/ZnMgO:Ni > AC/ZnMgO
- 5- Saf ve katkılı AC/ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörlerinin karakterizasyon analizleri yapıldı.
- 6- AC/ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörüne en iyi Fe katkı oranının %1.2 ve en iyi Ni katkı oranının %1.6 olduğu belirlendi.
- 7- Metilen mavisinin her üç katalizörde de fotokatalitik bozunma kinetiğinin birinci dereceden olduğu tespit edildi.
- 8- Saf ve katkılı AC/ZnMgO nanoparçacık fotokatalizörlerin de katalizör miktarı arttıkça, yüzde bozunmanın arttığı gözlemlendi.

### Öneriler

1. Yarı iletken nanoparçacıklar bir çok uygulama alanına sahip oldukları için bu tür çalışmalar genişletilebilir.
2. Sentezlenen katalizörler diğer boyarmaddelerin fotokatalitik bozundurulmasında kullanılabilir.
3. Sentezlenen katalizörlere farklı metaller doplanabilir.

4. Üretilen malzemelerin ekonomik ve daha kısa sürede daha kolay bir şekilde üretilmesi, bu tür çalışmaların devamı için önerilebilir.



## 6. KAYNAKLAR

- Abdelkader, E., Nadjia, L., Naceur, B. ve Nouredine, B., 2016. SnO<sub>2</sub> foam grain-shaped nanoparticles: Synthesis, characterization and UVA light induced photocatalysis, *Journal of Alloys and Compounds*, 679, 408-419.
- Addonizio, M.L., 2014. Sol-gel synthesis of ZnO transparent conductive films: the role of pH, *Applied Surface Science*, 305, 194-202.
- Akyüz, İ., 2005. CdO Filmlerinin bazı fiziksel özellikleri üzerine Al katkılama ve tavlama işlemlerinin etkileri, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Alexander, J.N., Sun, N., Sun, R., Efstathiadis, H., Haldar, P., 2015. Development and characterization of transparent and conductive InZnO films by magnetron sputtering at room temperature. *Journal of Alloys and Compounds*, 633, 157-164.
- Cansu Akbay, C., 2005. Kompozit Yarı iletkenlerin Termal Elektrik ve Optik özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 2.
- Chain, B., Wang, X., Cheng, S., Zhou, H., Zhang, F., 2014. One-pot triethanolamine-Assisted hydrothermal synthesis of Ag/ZnO heterostructure microspheres with enhanced photocatalytic activity, *Ceramics International*, 40 (1), 429-435.
- Charles, E., Lorival, R., Boyer, A., Malbrunot, P., 1984. A fast-response high-temperature high-pressure surface thermocouple. *Sensors and Actuators*, 6(2), 135-142.
- Chen, Zhu L., Liu, H., Li, W., 2012. Growth of ZnO nanowires on fibers for one-dimensional flexible quantum dot-sensitized solar cells, *Nanotechnology* 23075402, <https://doi.org/10.1088/0957-4484/23/7/075402>
- Chen, Y., Zha, H., Liu, B., Yang, H., 2015. Charge separation between wurtzite ZnO Polar {001} surfaces and their enhanced photocatalytic activity, *Applied Catalysis B: Environmental*, 163, 189-197.
- Du, Y.Z., Fu, C.K., Gao, Y.Z., Liu, L., Liu, Y.W., Xing, L.X., Zhao, F., 2017. Carbon fibers/ZnO nanowires hybrid nanogenerator based on an insulating interface barrier, *RSC Advances*, 7 21452-21458.
- Ertugay, N. ve Acar, F.N., 2013. Sonokatalitik oksidasyon ile direct blue 71 azo boyasının renk giderimi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 55-60
- Esen, B., 2011. Hidrotermal yöntemle sentezlenen nano metal oksitlerin fotokatalitik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11-14.

- Fierro, J.L.G., 2006. Metal oxides chemistry and applications, *CRC press*, New Yoork, p.182.
- Fork, D.K. and Anderson, G.B., 1993. Epitaxial MgO on GaAs (111) as a buffer layer forz-cutepitaxial lithium niobate, *Applied Physics Letters*, 63, 1029
- Ginley, D.S., Hosono, H., Paine, D.C., 2010. Handbook of transparent conductors. *Springer Science & Business Media*.
- Hartnagel, H.L., Dawar, A.L., Jain, A.K., Jagadish, C., 1995. *Semiconducting transparent thin films Institute of Physics*, Publishing Bristol and Philadelphia.
- He, W., Zhao, H., Jia, H., Yin, J.J., Zheng, Z., 2014. Determination of reactive oxygen species from ZnO micro-nano structures with shape-dependent photocatalytic activity, 53, 246–250.
- Hoffmann, M.R., Martin, S.T., Choi, W., 1995. Bahnemann, D.W., 1995. Environmental applications of semiconductor photocatalysis, *Chemical Reviews*, 95, 69-96.
- Hu, B. and Liu, Y.H., 2015. Nitrogen-doped Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nanobelt quasi-arrays for visible light photocatalysis, *Journal of Alloys and Compounds*, 635, 1-4.
- Huang, M., Weng, S., Wang, B., Hu, J., Fu, X.Z., Liu, P., 2015. Various facet tunable ZnO crystals by a scalable solvothermal synthesis and their facet-dependent photocatalytic activities, *The Journal of Physical Chemistry C*. 118 25434–25440.
- Iqbal, J., Liu, X., Majid, A., Yu, R., 2011. Synthesis and physical properties of Mn doped ZnO dilute magnetic semiconductor nanostructures, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 24 699–704.
- Janotti, A. and Van de Walle, C.G., 2009. Fundamental of zinc oxide as a semiconductor, *Reports on Progress in Physics*, <https://doi.org/10.1088/0034-4885/72/12/126501>.
- Kang, D.W., Chowdhury, A., Sichanugrist, P., Abe, Y., Konishi, H., Tsuda, Y. and Konagai, M., 2015. Highly transparent Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O/ITO multilayer for window of thin film solar cells. *Current Applied Physics*, 15(9), 1022-1026.
- Kittel, C., 1996. Katıhal fiziğine giriş, B. Karaoğlu, *Bilgi Tek Yayınları*, İstanbul, 434 s.
- Lai, Y., Meng, M., Yu, Y., Wang, X., Ding, T., 2011. Photoluminescence and photocatalysis of the flower-like nano-ZnO photocatalysts prepared by a facile hydrothermal method with or without ultrasonic assistance, *Applied Catalysis B: Environmental*, 105, 335–345.
- Lee, M., 2014. Structure and characterization of Sn, Al co-doped zinc oxide thin films prepared by sol–gel dip-coating process, *Thin Solid Films*, 570, Part B, 516-526.

- Nakata, K. and Fujishima, A., 2012. TiO<sub>2</sub> photocatalysis: Design and applications, *Journal of Photochemistry and Photobiology C-Photochemistry Reviews*, 13 (3), 169-189.
- Omar, M.A., 1975. Elementary solid state physics, *Addison-Wesley Publishing*, California, ABD.
- Örün, H., 2018. MnO Nanopartiküllerinin Sentezi Karakterizasyonu ve Fotokatalitik Proseste Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 14.
- Özyonar, F. ve Karagözoğlu, B., 2012. Elektrokoagülasyon prosesi ile tekstil sanayi atık suyunun arıtım. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(1), 29-37.
- Peker, D., Temel, S., Nebi, M., 2015. Mg-doped ZnO films by sol-gel spin coating method, *International Journal of Scientific and Technological Research* 1 (1), 263-269.
- Pişkin, M.B., 2006. Yarı İletken Alaşımlarının Elektrik, Termoelektrik, Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi ve Sanayii Uygulamaları, Doktora Tezi, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Pudukudy, M. and Yaakob, Z., 2014. Facile solid state synthesis of ZnO hexagonal Nanogranules with excellent photocatalytic activity, *Applied Surface Science*, 292, 520530.
- Renuka, L., Anantharaju, K.S., Sharma, S.C., Nagaswarupa, H.P., Prashantha, S.C., Nagabhushana, H. and Vidya, Y.S., 2016. Hollow microspheres Mg-doped ZrO<sub>2</sub> nanoparticles: Green assisted synthesis and applications in photocatalysis and photoluminescence, *Journal of Alloys and Compounds*, 672, 609-622.
- Qian, L., 2013. Microstructure, optical and electrical properties of gallium-doped ZnO films prepared by sol-gel method, *Journal of Alloys and Compounds*, 572, 175-179.
- Salam, S., 2013. Sol-gel synthesis of intrinsic and aluminum-doped zinc oxide thin films as transparent conducting oxides for thin film solar cells, *Thin Solid Films*, 529, 242-247.
- Saravanan, R., Gupta, V.K., Narayanan, V., Stephen, A., 2014. Visible light degradation of textile effluent using novel catalyst ZnO/gamma-Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45 (4), 1910-1917.
- Sarayu, K. and Sandhya, S., 2012. Current technologies for biological treatment of textile wastewater-a review. *Applied Biochemical Biotechnology*, 167(3), 645-661.

- Shalom, M., Inal, S., Neher, D. ve Antonietta, M., 2014. SiO<sub>2</sub>/carbon nitride composite materials: The role of surfaces for enhanced photocatalysis, *Catalysis Today*, 225, 185-190.
- Shang, K., Ai, S.Y., Ma, Q., Tang, T.T., Yin, H.S., Han, H.X., 2011. Effective photocatalytic disinfection of E. coli and S. aureus using polythiophene/MnO<sub>2</sub> nanocomposite photocatalyst under solar light irradiation, *Desalination*, 278 (1-3), 173-178.
- Shim, Y.S., 2011. Transparent conducting oxide electrodes for novel metal oxide gas sensors, *Sensors and Actuators B*, 160, 357–363.
- Shimizu, M., 2014. High-temperature solar selective absorbers using transparent conductive oxide coated metal, *Energy Procedia*, 57, 418 – 426.
- Singh, J., 1994. Semiconductor devices an introduction, *Mcgraw- Hill Inc.* p87, 88.
- Sobana, N. and Swaminathan, M., 2007. Combination effect of ZnO and activated carbon for solar assisted photocatalytic degradation of Direct Blue 53, *Solar Energy Materials & amp; Solar Cells*, 91 727–734.
- Temel, S., 2015. (MgO)<sub>x</sub>(ZnO)<sub>1-x</sub> İnce Filmlerin Üretimi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 3-5.
- Thi, V.H.T. and Lee, B.K., 2017. Great improvement on tetracycline removal using ZnO Rodactivated carbon fiber composite prepared with a facile microwave method, *Journal of Hazardous Materials*, 324 329–339.
- Tong, H., Ouyang, S.Bi.Y., Umezawa, N., Oshikiri, M., Ye, J., 2012. Nano-photocatalytic materials: possibilities and challenges, *Advanced . Materials*. 24 229–2.
- Tsang, K.L. and Chen, Y. 1983. Suppression of dielectric breakdown in MgO crystals at high temperatures by impurity doping, *Journal of applied Physics*, 54, 4531.
- Tsay, C., Fan, K., Chen, S., Tsai, C., 2010. Preparation and characterization of ZnO transparent semiconductor thin films by sol–gel method, *Journal of Alloys and Compounds*, 495, 126–130.
- Wang, F., Qina, X., Guoa, Z., Menga, Y., Yanga, L.,Ming, Y., 2013. Hydrothermal synthesis of dumbbell-shaped ZnO microstructures, *Ceramics International*, 39, 8969–8973.
- Xia, S.J., Meng, Y., Zhou, X.B., Xue, J.L., Pan, G.X., Ni, Z.M., 2016. Ti/ZnO–Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite: Synthesis, characterization and application as a highly efficient photoelectrocatalyst for methanol from CO<sub>2</sub> reduction, *Applied Catalysis B: Environmental*, 187, 122–133.

- Yatmaz, H.C., Akyol, A., Baramoğlu, M., 2004. Kinetics of the Photocatalytic Decoloration of an Azo Reactive Dye in aqueous ZnO suspensions, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 43, 6035-6039
- Yuonesi, M. and Pakdel, A., 2010. Effect of low concentration of nickel on structural and optical properties of ZnO nanofilms, *Physica B*, 405, 2083–2087.
- Zhao, Z., Hu, L., Zhang, H., Sun, J., Bian, J., Zhao, J., 2011. Effect of different annealing temperature on Sb-doped ZnO thin films prepared by pulsed laser deposition on sapphire substrates. *Applied Surface Science*, 257 (11), 5121-4. California, ABD.
- Zhang, K.J., Han, P.X., Gu, L., Zhang, L.X., Liu, Z.H., Kong, Q.S., Zhang, C.J., Dong, S.M., Zhang, Z.Y., Yao, J.H., Xu, H.X., Cui, G.L. ve Chen, L.Q., 2012a. Synthesis of Nitrogen-Doped MnO/Graphene Nanosheets Hybrid Material for Lithium Ion Batteries, *Acs Applied Materials & Interfaces*, 4 (2), 658-664.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** Mehmet Sait ÇEVİK  
**Doğum Yeri ve Tarihi** Siirt-1978  
**Telefon** 05059532340  
**E-posta** saitcevik56@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Siirt İmam Hatip Lisesi Merkez, SİİRT	1996
Üniversite	: Atatürk Üniversitesi, Merkez, ERZURUM	2001

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2002-halen	Siirt İl Milli Eğitim Müdürlüğü	Öğretmen