

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Ag@ZnO HİBRİT YAPILARIN ALTLIKLAR
ÜZERİNDE BÜYÜTÜLMESİ VE KATALİTİK İNDİRME
İLE BOYAR MOLEKÜL BOZMA PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Demet GÜZEL**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Sami PEKDEMİR**

Yüksek Lisans Tezi

**Şubat 2025
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Ag@ZnO HİBRİT YAPILARIN ALTLIKLAR
ÜZERİNDE BÜYÜTÜLMESİ VE KATALİTİK İNDİRME
İLE BOYAR MOLEKÜL BOZMA PERFORMANSININ
İNCELENMESİ (Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Demet GÜZEL**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Sami PEKDEMİR**

Yüksek Lisans Tezi

**Şubat 2025
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Demet GÜZEL

"Ag@ZnO Hibrit Yapıların Altlıklar Üzerinde Büyütülmesi ve Katalitik İndirme İle Boyar Molekül Bozma Performansının İncelenmesi" adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan
Demet GÜZEL

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Sami PEKDEMİR

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Mustafa Serdar ÖNSES

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmalarımın yönlendirilmesinde büyük emeği geçen, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danıŐmanım Dr.ÖĞr.yesi Sami PEKDEMİR 'e ve ERNAM altyapısını kullanımı için her türü desteği sağlayan sayın Prof. Dr. Mustafa Serdar ÖNSES'e teŐekkürlerimi sunarım. Ayrıca, maddi ve manevi olarak her türlü desteği gösteren tez çalıŐmamın baŐarıya ulaŐmasını sağlayan çok değerli annem, babam ve eŐime teşekkür ederim.

Demet GÜZEL

Şubat 2025,KAYSERİ

Ag@ZnO HİBRİT YAPILARIN ALTLIKLAR ÜZERİNDE BÜYÜTÜLMESİ VE KATALİTİK İNDİRME İLE BOYAR MOLEKÜL BOZMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Demet GÜZEL

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2025
Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Sami PEKDEMİR**

ÖZET

Hibrit nanoyapıların sinerjik etkilerinin ortaya çıkarılması için doğru kombinasyonun yapılması önemlidir. Bu hibrit yapıların üretimi zorluklar içermekle birlikte büyük avantajları da beraberinde getirmektedir. Polidopamin gibi doğadan esinlenerek ortaya çıkarılmış kaplamalar, özellikle metalik nanoyapıların büyütülmesinde büyük avantajlar sunmaktadır. Bu tez kapsamında, ZnO incefilmlerin ileri tavlama sonrasında Ag nano yapılar ile modifiye edilmesinin katalitik olarak boyar maddelerin bertarafındaki performansının incelenmiştir. Hibrit katalizörlerin üretiminin, plazmonik gümüş nanopartiküllerin (AgNP), ZnO ince film destek maddelerine immobilizasyonu ile gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Ag@ZnO hibrit yapıların katalitik aktiviteleri Metilen turuncusunun (MO) indirgeme ajanı olan NaBH₄ varlığında indirgenmesi ile değerlendirilmiştir. Bu deneylerde, destek madde-metal nanopartikül etkileşiminin, AgNP boyutunun, AgNP yükleme miktarının, katalizör miktarının ve destek tabakası olan ZnO ince filmlerin değişik sıcaklıklarda tavllanmış olmasının katalitik aktiviteye etkisi belirlenmiştir. Ag@ZnO numunelerin yapısal analizleri SEM ve XRD ile yapılmıştır. Ayrıca, optik karakterizasyonları yapılarak normalize edilmiş hidrojen enerji seviyeleri hesaplanarak, tavlama etkisiyle yapının değişimi ve katalitik özellikler üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ZnO, Katalitik, AgNP, Dopamin, UV-VİS spektroskopisi

**GROWTH OF Ag@ZnO HYBRID STRUCTURES ON SUBSTRATES AND
INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF DYE MOLECULE
DEGRADATION BY CATALYTIC REDUCTION**

Demet GÜZEL

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, February 2025
Supervisor: Asst. Prof. Sami PEKDEMİR**

ABSTRACT

In order to unlock the synergistic effects of hybrid nanostructures, it is important to make the right combination, and the fabrication of these hybrid structures presents challenges but also great advantages. Nature-inspired coatings such as polydopamine offer great advantages, especially in the growth of metallic nanostructures. In this thesis, the performance of ZnO thin films modified with Ag nanostructures after advanced annealing in the catalytic removal of dyestuffs was investigated. The immobilization of plasmonic silver nanoparticles (AgNPs) on ZnO thin film supports was used to produce hybrid catalysts. The catalytic activity of Ag@ZnO hybrid structures was evaluated by the reduction of methylene orange (MO) in the presence of NaBH₄, a reducing agent. The experiments were designed to determine the effect of support-metal nanoparticle interaction, AgNP size, AgNP loading amount, catalyst amount and annealing of ZnO thin films at different temperatures on the catalytic activity. Structural analysis of Ag@ZnO samples was performed by SEM and XRD, and optical characterizations and normalized hydrogen energy levels were calculated. The effect of annealing on the catalytic properties was also determined.

Keywords: ZnO, Catalysis, Ag NPs, Dopamine, UV-Vis spectrometer

İÇİNDEKİLER

Ag@ZnO HİBRİT YAPILARIN ALTLIKLAR ÜZERİNDE BÜYÜTÜLMESİ VE KATALİTİK İNDİRME İLE BOYAR MOLEKÜL BOZMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
KISALTMALAR.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Nano Teknoloji.....	3
1.1.1. Nano Teknolojinin kullanım alanları.....	3
1.1.2. Nanoyapıların Üretim Yöntemleri.....	5
1.1.3. Yukarıdan Aşağıya Üretim.....	5
1.1.4. Aşağıdan Yukarıya Üretim.....	6
1.2. İnce Filmler.....	6
1.2.1. İnce Film Nedir?.....	6
1.2.2. ZnO İnce Filmlerin Genel Özellikleri.....	7
1.2.3. İnce Filmlerin Üretim Teknikleri.....	7
1.3. Metal oksit ince filmler.....	8
1.3.1. Metal oksit ince filmlerin katalitik uygulamalar.....	9
1.3.2. Metalik nanoyapıların metal oksit filmlerle hibrit yapılarının katalitik performansı.....	10
1.3.3. Katalitik İndirgeme Süreçlerinde Gümüş Nanoyapılar.....	12
1.3.4. Gümüş Nanoyapılar ile İndirgeme Mekanizmaları.....	13

1.3.5. Katalitik Performansı Etkileyen Faktörler	13
1.3.6. ZnO Filmlerin katalitik süreçlerdeki avantajları	14
1.4. Konunun Önemi ile İlgili Literatürde Öne Çıkan Çalışmalar	15

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Karakterizasyonda Kullanılan Cihazlar ve Teknikler	18
2.2. Karakterizasyonda Kullanılan Cihazlar ve Teknikler	18
2.2.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	18
2.2.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM).....	20
2.2.3. UV–VIS Spektroskopisi.....	22
2.2.4. XRD (X Işını Kırınımı)	22
2.3. Katalitik altlıkların Üretilmesi	24

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Üretilen numunelerin yapısal karakterizasyonu.....	27
3.1.1. Yüzey topografisinin belirlenmesi için yapılmış olan SEM Görüntüleri ...	27
3.1.2. Kristal yapı karakterizasyonu için yapılmış olan XRD analizleri	33
3.2. Ag@ZnO hibrit altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testleri.....	38
3.2.1. Isıtma işlemi uygulanmamış ZnO ince film kaplanmış altlık için referans çalışmaları	38
3.2.2. Isıtma işlemi uygulanmamış ZnO ince film kaplamaların ve farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testleri	40
3.2.3. 150 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testleri	42
3.2.4. 200 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testleri	44
3.2.5. 250 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testleri	46

3.2.6. 300 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testleri	48
4. BÖLÜM	
SONUÇ ve ÖNERİLER	
KAYNAKÇA.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	61



KISALTMALAR

AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
Ag	: Gümüş
AgNO ₃	: Gümüş Nitrat
MO	: Metil Turuncusu
NaBH ₄	: Sodyum Borhidrür
NP	: Nanopartikül
NY	: Nano Yapılar
PD	: Polidopamin
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X Işını Kırınımı
ZnO	: Çinko Oksit

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Her bir numunenin, MO'nun bertarafı için gösterdiği performansın görselleştirildiği tablo.	55
--	----



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Yukarıdan aşağı yöntemi ile üretilen nanoyapılara örnekler.....	6
Şekil 2.	Au@TiO ₂ nanokompozitler ve TiO ₂ varlığında NaBH ₄ ile bozulmuş (a) metil turuncusu ve (b)metilen mavisinin UV- görünür spektrumları.	16
Şekil 3.	SEM Cihazı	19
Şekil 4.	Taramalı Elektron Mikroskobunun Şematik Görünüşü	20
Şekil 5.	AFM – Atomik Kuvvet Mikroskobu	21
Şekil 6.	UV-Visible Spektrofotometresi	22
Şekil 7.	XRD Şematik Gösterimi	23
Şekil 8.	XRD Cihazı	24
Şekil 9.	Katalitik Reaksiyon Mekanizması	25
Şekil 10.	Deneyin Şematik Gösterimi	26
Şekil 11.	Si Üzerine kaplanmış olan 220 nm kalınlığındaki ZnO ince filmin SEM görüntüsü.....	28
Şekil 12.	Isıtma işlemi uygulanmamış ZnO ince film kaplamaların SEM görüntüleri.	29
Şekil 13.	150 °C'de Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların SEM görüntüleri.	30
Şekil 14.	200 °C'de Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların SEM görüntüleri	31
Şekil 15.	250 °C'de Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların SEM görüntüleri	32
Şekil 16.	300 °C'de Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların SEM görüntüleri	33
Şekil 17.	Isıtma işlemi uygulanmamış ZnO ince film kaplamaların ve farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların XRD analizleri	34
Şekil 18.	150 °C'de ısıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve bu altlıklara farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların XRD analizleri	35
Şekil 19.	200 °C'de ısıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve bu altlıklara farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların XRD analizleri	36
Şekil 20.	250 °C'de ısıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve bu altlıklara farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların XRD analizleri	37

Şekil 21. 300 °C’de ısıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve bu altlıklara farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların XRD analizleri	38
Şekil 22. Ag@ZnO altlığın absorpladığı MO miktarını gösteren UV-Vis spektrometre sonuçları	39
Şekil 23. Farklı konsantrasyonlardaki MO çözeltilerinin UV-Vis spektrometrede ölçümü olan absorpsiyon değerleri	40
Şekil 24. Isıtma işlemi uygulanmamış ZnO ince filmlerin farklı sürelerde.....	42
Şekil 25. 150 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince filmlerin farklı sürelerde.....	44
Şekil 26. 200 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince filmlerin farklı sürelerde.....	46
Şekil 27. 250 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince filmlerin farklı sürelerde.....	48
Şekil 28. 300 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince filmlerin farklı sürelerde [12 saat	50
Şekil 29. ZnO ince filmlerin XRD analizlerinde hesaplanmış kristalite değerleri.....	52
Şekil 30. Farklı sıcaklıklarda tavllanmış olan ZnO ince filmlerin farklı Ag büyütme süreleri etkisinde ortaya çıkan Ag nano yapıların kristalite değerleri	53
Şekil 31. Farklı süreler için MO'nun bozunma hızının verildiği grafikler	54

GİRİŞ

Organik ve inorganik bileşikler içeren atık sular, ülkemizde su kaynaklarını kirletmekle kalmayıp, bitkilere ,toprağa, hayvanlara ve özellikle insan sağlığına zarar vermekte ve bu maddelerin kontrolsüz bir şekilde çevreye salınması büyük bir çevre sorunlarına sebep olmaktadır (Robinson vd.,2001). Genellikle birçok yerde karşımıza çıkan organik bileşiklere, endüstriyel uygulamalarda ve günlük hayatta rastlamak mümkündür. Çevreye salınan kimyasalların bozulması ve çevreye zararsız hale getirilmesi günümüzde halen sıklıkla çalışılan bir konudur. Literatürde bu konuyla ilgili bir çok araştırma yapılmış ve bu soruna çözüm aranmaktadır. Bu çalışmaların büyük kısmını sulara bırakılan kimyasalların bertaraf edilmesi oluşturmaktadır. Özellikle fenolik boyar maddelerin temiz suları kirletme potansiyeli düşünüldüğünde bu atıkların temizlenmesi büyük önem arz etmektedir (Robinson vd.,2001 ; Link vd., 1999). Katalitik malzemeler sayesinde bu atıkların bozulma hızları artırılarak çevredeki zararlı etkileri giderilebilmektedir. Katalitik etki ile temizlenmenin, klor gibi kimyasalların kullanımını azaltması beklenmektedir.

Çinko oksit (ZnO) geniş enerji bant aralığı (3.36eV), yüksek bağlanma enerjisi (60meV), ucuz, antibakteriyel ve çevre dostu olması nedeniyle üzerinde çokça çalışılmış metal oksitlerden biridir (Kuru vd.,2022). Uygun kaplamalar yapılarak yapısal özelliklerini iyileştirmek mümkündür. ZnO 'nun sağlığa zararlı olmaması ve düşük maliyetli olmasından dolayı son zamanlarda yaygın olarak kullanılıp üzerinde çalışılmaktadır. Nanoteknolojinin hayatımıza girmesiyle ZnO'nun farklı formlarda ve boyutlarda üretimi mümkün olmuştur. İnce film formunda büyütülmüş ZnO altlıkların, Ag nanoyapılar (NYlar) ile modifiye edilmesi de bunlardan biridir.

Doğa da oluşan kirliliklerin temizlenmesini ve bunun için istenilen kimyasal reaksiyonları hızlandırmaya yarayan malzemelerin tekrar kullanıma uygun olarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Organik boyaların katalitik bozunmasını sağlamak için nano

Ag ile modifiye edilmiş ZnO ince filmlerin kullanımı, temizleme işlemini kolaylaştırmaktadır (Scribd,2013). Çinko Oksit üzerine büyütülmüş gümüş nanoyapıların katalitik özellikleri incelendiğinde; aşamalı kaplama sonrasında kaplama üzerinde gümüş iyonlarının çekirdeklenmesini görebilmek ve bu yapıların morfoloji, şekil, ortalama kristal boyutu, yapısal karakterizasyonunun yanı sıra boyar maddelerin bozunma oranı da bakıldığı görülmüştür. Bu çalışmada, çok fonksiyonlu altlıklar için ZnO ince filmler magnetron saçtırma (magnetron sputtering) yöntemi ile üretilmiştir. ZnO ince filmlerin üzerine polidopaminin çözelti fazında kaplanması ve Ag nanoyapılarının büyütülmesi ile katalitik altlıklar aşamalı olarak üretilmiştir. ZnO ince filmlerin ön ısıtmalı (150 °C, 200°C ,250°C ve 300 °C) ve ısıtmasız durumlarda kristal yapısındaki değişimler, ısı işleminin Ag nanoyapıların kristalitesindeki ve katalitik aktivitesi üzerindeki etkiler araştırılmıştır. Çok fonksiyonlu filmlerin katalitik performansının incelenmesi için metil turuncusu (MO) organik boyasının bozunması süresi, konsantrasyon değişimi ölçülerek incelenmiştir. Nano Ag'nin katalitik aktivitesi, maksimum katalitik performansın bulunduğu yerlerde detaylı olarak incelenmiştir. Kullanılan yöntem ile sadece boyaların renk gidermeye yardımcı olmakla kalmayıp aynı zamanda bunların tamamıyla mineralizasyonu zararsız nihai ürünler haline getirdiğini ortaya koymaktadır (Kuru vd.,2019).

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Nano Teknoloji

Nanoteknoloji, molekül ve atom boyutunda özel tekniklerle ve yöntemlerle yapıların, materyallerin inşa edilmesinin yanında bu ölçeğin bütün özelliklerinden yararlanma durumunu ifade eder(Goddard III, W.A., Brenner, D., Lyshevski, S.E., & Iafrate, 2018)(Goddard vd.,2002). Nano teknoloji, maddenin 1 ile 100 nanometre arası boyutlardaki davranışlarını kavrama ve inceleme bilimidir (Bushan, 2010). Bir nanometre bir metrenin milyarda biridir (Bushan,2010). Nanoyapıları büyük nesnelere ayıran özellik sadece boyutlarının önemi değildir, bu yapılar fiziksel, biyolojik ve kimyasal özellikleri açısından kendisinden daha büyük nesnelere farklı olarak bir yapı ortaya çıkarırlar. Günümüzde bilim dünyasının ilgisi, disiplinler arası bir konu olan nanoyapılar ve uygulamaları üzerine odaklanmıştır (Bushan, 2010).

1.1.1. Nano Teknolojinin kullanım alanları

Malzeme ve Üretim Sektörü: Malzeme sektöründe nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte daha sağlam erişim araçları, paslanmayan ve kir tutmayan eşyalarla birlikte kendi kendini temizleyebilen kıyafetlerin üretimi sağlanabilecektir. Makine ve ekipmanların aşınma korumasında da kullanılabilir.

Bilgisayar Teknolojileri ve Nano Elektrik: Nano boyutta elektronik devre unsurlarının imal edilmesiyle birlikte bilgisayarların dış dizaynında da birtakım farklılıklar olacaktır. Nano boyuttaki devre unsurları daha az enerjiyle imal edildiğinden, bu bilgisayarlar az yer tutan, depolama ve hız açısından geliştirilmiş birer cihaz olacaktır.

Enerji ve Çevre: Nano teknolojinin, enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasında, üretilmesinde ve depolanmasında birçok uygulama alanları mevcuttur. Nano teknoloji destekli üretilen otomobiller, çok daha az yakıt harcayacağı için çevreyi daha az kirletecek ve aynı zamanda ekonomik olacaktır. H depolama ile hidrojen enerjisiyle çalışan otomobiller kullanılacak olup, sonuçta çevreye dost yakıt tüketimi gerçekleşmiş olacaktır. Ayrıca Dünya'nın sorunu olan su; nano filtreler sayesinde daha hızlı temizlenip hizmete sunulacaktır.

Tıp ve Sağlık Sektörü: Dokular, kromozomlar, proteinler, protein kompleksleri, karbonhidratlar, yağlar, nano boyutlu materyallere örnek olarak verilebilir. Nano boyutlu aygıtların yardımıyla hastalıkların tanı ve tedavisinde yeni aşamalar izlenebilecektir. Böylece zarar görmüş sinir yapıları iyileştirip hastalıklı hücreler ortadan kaldırılabilecektir.

Savunma Sektörü: Nano teknoloji ürünü tekstil malzemeleri ile akıllı giyecekler tasarlanabilir. Asker kıyafetleri üzerinde denemeler yapılabilir. Askerlerin giymiş olduğu akıllı kıyafetler enerjiye ihtiyaç duyduğunda güneş piline benzer şekilde enerjiyi işleyebilecek, aynı zamanda çok hafif olacaktır. Nano tespit ediciler ile tehlikeli gazlar ve radyoaktif püskürtücü belirlenebilir, mikro ve nano mekanik cihazların katılmasıyla nükleer savunma yöntemleri denetlenebilir.

Uzay ve Havacılık Araştırmaları: Nano yapıdaki materyaller ağır olmayan, sağlam ve sıcaklığa karşı daha mukavemetli olmalarından ötürü roket ve uzay üssünün imalinde önemli bir yere sahiptir. Uygulanabileceği uygulamalar; daha az enerji gerektiren, radyasyona karşı dirençli, yüksek fayda sağlayan bilgisayarların yapımı mikro boyuttaki uzay araçlarında kullanılabilecek nano boyutta aletler, nano yapıli algılayıcılar ve nano elektronik ile tasarlanan uçuş sistemleri yapılabilir.

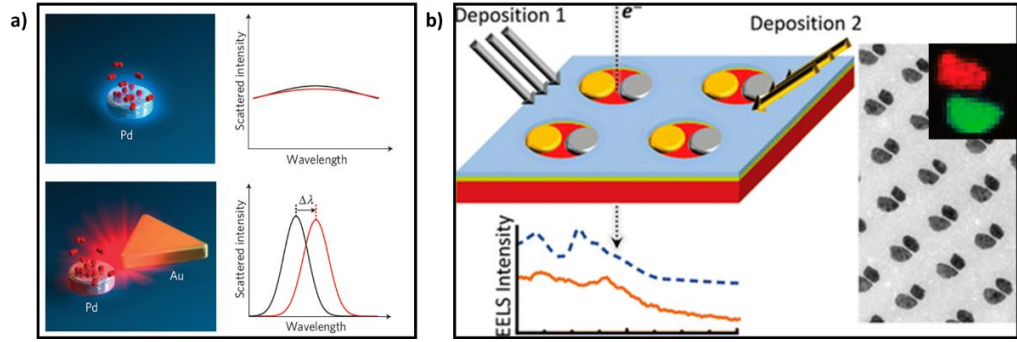
Biyoteknoloji, Tarım ve Gıda: Biyolojik yapıtaşlarının gerçek olmayan malzemelerin ve cihazların içine konulması ile biyolojik işlevlere ve diğer istenen özelliklere sahip malzemeler üretilebilir. Tarımda da nano teknolojiden yararlanacak birçok alan vardır. Örneğin, bitkilerin böceklere karşı savunma yapması için moleküler seviyede kimyasalların geliştirilmesi; bitkilerin ve hayvanların genlerinin, hayvanlar için ilaçların, DNA testleri için nano boyutta kontrol sisteminin geliştirilmesi sağlanabilir (Goddard III, W.A., Brenner, D., Lyshevski, S.E., & Iafrate, 2018).

1.1.2. Nanoyapıların Üretim Yöntemleri

Yeni özellikler ve çeşitlilik sergileyen nanopartiküller, nanoteknolojinin yapı taşları olarak ideal boyutlara sahiptirler. Bu ideal boyutlarından ötürü birçok yerde kullanım kolaylığı sağlamaktadır (Luther,2004). 100 nm ve altındaki tozlar olarak tanımlan nanopartiküller, nano boyutlu malzemelerin dolayısıyla nanoteknolojinin temelini oluşturmaktadır (Umbrello, S. 2004).Nanoteknolojik malzemelerin ortaya çıkışını oluşturan nanopartiküller geniş bir morfolojide ve kimyasal aralıkta üretilebilirler. Üretim yöntemleri yukarıdan aşağıya üretim ve aşağıdan yukarıya üretim olarak ikiye ayrılmaktadır. Nanopartikül yapıların farklılaşan boyutlarına bağlı olarak özellikleri ve endüstriyel alanlarda çok fazla olarak kullanılması bu maddelerin canlı hücreler ve ekosistemler üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Umbrello, S. 2004).

1.1.3. Yukarıdan Aşağıya Üretim

'Yukarıdan aşağıya' yönteminde, Şekil 1.2.a'da gösterildiği gibi, nano yapılar, tipik olarak elektron ışını litografisi (EBL) veya alternatif litografi teknikleriyle desenlenen yüzeylerde metalin metal buharlaştırma yöntemleriyle kaplanmasının ardından kaldırma veya aşındırma yöntemleriyle yüzeylerde oluşturulur (Şekil 1). 2. b), metalin metal buharlaştırma yöntemleriyle kaplanmasının ardından kaldırma veya aşındırma yöntemleriyle yüzeylerde nano yapılar oluşturulmaktadır (N. Liu vd., 2011; Patze vd., 2016; Zhang vd, 2015) Bu yöntemler fabrikasyonda yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik gibi avantajlar sunarken, ortaya çıkan yapılar polikristaldir ve yüzey pürüzlülüğü sergiler. Ayrıca, bu yöntemlerin büyük ölçekte uygulanması zordur ve maliyetli, son derece uzmanlaşmış yüksek teknoloji sistemlerinin kullanılmasını gerektirir.



Şekil 1. Yukarıdan aşağı yöntemi ile üretilen nanoyapılara örnekler, a) EBL yöntemi ile üretilmiş olan Au-Pd nanoyapılar (N. Liu vd., 2011), b) Nano mühür litografisi ile üretilmiş kendini tekrar eden yapılara farklı metallerin açılarda biriktirilmesiyle oluşturulan nano yapılar (Zhang vd, 2015)(Zhang vd, 2015)

1.1.4. Aşağıdan Yukarıya Üretim

Nano teknolojideki üretimlerde; aşağıdan yukarıya üretim modelinde, molekülleri ve imalat atomlarını tek tek işleyip bir nano yapı ortaya çıkarılmak istenmiştir. Dünyadaki doğal nano boyutlardaki işleyişler de aynı şekilde aşağıdan yukarıya imalat yöntemi ile meydana gelmiştir. Genel olarak aşağıdan-yukarıya (bottom-up), üretim teknikleri organik malzemelerde görülmektedir. Bu üretim tekniklerinde maddenin içerisinde bulunduğu faz hali önem arz etmektedir.(Luther,2004)(Link vd.,1999). Nano yapıdaki kümeleri oluşturmak üzere gaz veya sıvı fazda veya vakum altında uygulanabilecek, kendiliğinden düzenlenmesi öngörülen çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Ana yöntemlerden bazıları kendiliğinden düzenlenmiş tekli katmanlar, yaş kimyasal sentez ve gaz fazda veya vakumda biriktirme teknikleridir (Bushan,2010)(Gonzalez vd.,2005). Bu genel tekniklerin ise sol-jel, kimyasal buhar depolama, plazma, lazer piroliz, moleküler yoğunlaşma olarak ifade edilmektedir (Xu vd.,2002). Aşağıdan yukarıya yaklaşımına dayalı yöntemler şu şekildedir; asal gaz yoğunlaştırma yöntemi, kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi, sol-jel yöntemi, atom tabaka çökeltmesi, alev sentezi, yaş kimyasal sentez (Xu vd.,2002).

1.2. İnce Filmler

1.2.1. İnce Film Nedir?

Kalınlığı bir mikrometrenin üzerinde olmayan malzemeler ince film olarak adlandırılmaktadır. İnce filmlerin birçok nitelikleri göz önüne alındığında teknolojinin

farklı uygulamalarında kullanılabileceği görülecektir (Karaçam,2020). ZnO, birçok bilimsel alanda kullanılan çok yönlü bir materyaldir. Çalışmalar sonunda, alternatif malzeme eklemek ve maliyeti düşürmek için ZnO ve ZnO esaslı ince filmlerin benzer kaplamaların elektronik aygıtlarda çok bilinen uygulama alanları bulması, bu materyallerin film üretimi ve yapı özellikleriyle alakalı araştırmalarına dikkat çekmiştir (Altıokka,2003).

Malzemenin kaplanması, tekniği kadar film büyümesi de kaplamanın karakterini büyük ölçüde etkilemektedir. İnce filmler, yüzeyde büyüme gösterirken termodinamik ve kinetik etkisi dikkate alınır (Barış,2006). Boyarmaddelerin katalizörle bozunması kinetik açıdan zordur, ancak termodinamik açıdan elverişlidir (Kuru vd.,2020). Bu nedenle; Ara Yüzey Enerjisi, Yüzey Enerjisi, Alttaş Sıcaklığı, Ara Yüzey Kristolografisi, Yüzey Aktif Madde, Kaplanacak Kaynağın Türü ve Üretimde Kullanılan İnert Gaz ince filmin kalitesi açısından oldukça önemlidir (Barış,2006).

1.2.2. ZnO İnce Filmlerin Genel Özellikleri

ZnO inorganik bir bileşik olup genelde beyaz toz halinde görünür. Kristal Yapısı: Çinko Oksit; Zn (çinko) ve O (oksijen) elementlerinden oluşan, hegzagonal wurtzite kristal yapıya sahip yarıiletken bir bileşiktir (Şahin,2010). Çeşitli materyallerde ve plastik, seramik, cam, diş dolgu maddesi, yapıştırıcı, boya malzemesi gibi malzemelerde altlık veya kompozit malzeme şeklinde görülebilir (Şahin,2010). ZnO geniş enerji bant aralığı (3.36eV), yüksek bağlanma enerjisi (60meV), ucuz, antibakteriyel ve çevre dostu olması nedeniyle en çok araştırılan metal oksitlerden biridir (Kuru vd.,2020). ZnO malzeme biliminde 2-6 grubu yarıiletkeni olarak isimlendirilir. Çünkü çinko (Zn) periyodik tablonun 2. grubunda, oksijen (O) ise 6. grubundadır. ZnO, yüksek geçirgenliği ve elektron mobilitesi, geniş bant aralığı, oda sıcaklığındaki güçlü lüminesans özelliğine sahip olması ile bilinir ve bu özellikler mühendislik uygulamalarında sıvı kristal ekranlardaki transparan elektrotlarda, enerji depolama özelliği ile de ısı koruyucu pencerelerde kullanılmaktadır (Wasa vd.,1992).

1.2.3. İnce Filmlerin Üretim Teknikleri

Genel olarak ince film kaplama yöntemi optikte, paketlemede, mikro-elektronikte ve biyomedikal birçok alanın yanı sıra dekoratif amaçlı kaplamalarda da sıkça

kullanılmaktadır (Nadeem vd.,2000). Kaplama yöntemleri yüzeyin kimyasal, manyetik, elektrik ve optik özelliklerin geliştirilmesinde imkân sunmaktadır. Kaplamaların niteliği, kaplanacak yüzeyin ilerletilmesi istenen özelliklerine bağlı olarak seçilmektedir. Kaplamanın fonksiyonel ve dayanıklılık özellikleri, kaplanacak olan malzemeyle kaplanan malzeme arasındaki niteliğine bağlıdır (Hartnagel vd.,1995).

İnce film oluşturma yöntemleri: Katı fazdan büyütme, sıvı fazdan büyütme, buhar fazdan büyütme olarak üç kısımdan oluşmaktadır (Abed vd.,2015). Buhar fazdan büyütme ise deneyde kullanılan yöntemi içermektedir. Fiziksel buhar depolamanın (Physical Vapor Deposition, PVD) bir maddesi olan sıçratma (sputter) yöntemiyle ZnO bileşiği katı altlıklar üzerine kaplanmıştır.

1.3. Metal oksit ince filmler

Katalitik ince filmler, özellikle de metal oksit ince filmler alanı, daha verimli ve hassas bir şekilde tasarlanmış katalitik malzemelere duyulan ihtiyaç nedeniyle son yirmi yılda kayda değer ilerlemeler kaydetmiştir. Bu ince filmler, çevresel kataliz ve enerji dönüşümünden elektronik ve optoelektronik cihazlara kadar geniş bir uygulama yelpazesinde çok önemlidir. İnce film teknolojisinin gelişimi, nano ölçekte filmlerin kontrollü sentezine olanak tanıyan biriktirme tekniklerindeki yeniliklerle yakından bağlantılı olmuştur. Bu tür bir kontrol çok önemlidir çünkü ince filmlerin özellikleri kalınlık, bileşim ve yapıdaki değişikliklerle önemli ölçüde değişebilir (Rauwel & Rauwel, 2021).

Metal oksit ince filmler, kendilerini katalitik uygulamalar için ideal kılan benzersiz kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle özellikle önemlidir. Bu filmler, tümü kataliz için avantajlı olan yüksek yüzey alanı, ayarlanabilir gözeneklilik ve spesifik yüzey reaktivitesi sergileyecek şekilde tasarlanabilir. Atomik katman biriktirme (ALD), kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve püskürtme gibi teknikler bu filmlerin kalitesini ve işlevselliğini artırmak için geliştirilmiştir (Mehla vd., 2019). Örneğin ALD, ek enerji girişi veya istenmeyen yan reaksiyonlar olmaksızın belirli kimyasal reaksiyonları kolaylaştırabilen katalitik olarak aktif yüzeyler oluşturmak için gerekli olan film bileşimi ve kalınlığı üzerinde hassas kontrol sağlar.

1.3.1. Metal oksit ince filmlerin katalitik uygulamalar

Metal oksit ince filmlerin çok yönlülüğü geleneksel katalizin ötesine uzanmaktadır. Çevresel uygulamalarda, kirleticileri daha az zararlı bileşiklere ayırarak su arıtma ve hava arıtma gibi süreçlerde çok önemli bir rol oynarlar. Enerji ile ilgili uygulamalarda, bu ince filmler yakıt hücrelerinin ve fotovoltaik hücrelerin geliştirilmesinin ayrılmaz bir parçasıdır ve burada enerji dönüşüm süreçlerinin verimliliğini artırmak için katalizör görevi görürler. Ayrıca, elektronik cihazların devam eden minyatürleştirilmesi, karmaşık yapıları kaplamak ve yeni performans ve dayanıklılık seviyelerine ulaşan çok katmanlı malzemeler geliştirmek için ince film teknolojilerinin gelişmiş yeteneklerinden büyük ölçüde faydalanmaktadır (Rauwel & Rauwel, 2021).

Ayrıca, gelişmekte olan foto kataliz alanı da metal oksit ince filmlerden faydalanmaktadır. Bu malzemeler, yenilenebilir enerji çözümlerinin ve kendi kendini temizleyen yüzeylerin geliştirilmesinde giderek daha fazla kullanılan bir özellik olan kimyasal reaksiyonları başlatmak için ışık enerjisinden yararlanma yeteneğine sahiptir. Bu filmlerin belirli dalga boyları ve reaksiyonlar için özelleştirilebilmesi, onları daha verimli ve çevre dostu teknolojilerin yaratılmasında çok değerli kılmaktadır (Rauwel & Rauwel, 2021).

Katalitik uygulamalarda metal oksit ince filmlerin geleceği, devam eden araştırma ve geliştirme çabaları nedeniyle umut verici görünüyor. Bu filmlerin nanoyapılı özellikleri ile katalitik performansları arasındaki ilişkinin anlaşılması derinleştikçe, endüstriyel ortamlarda katalize yaklaşım biçiminde potansiyel olarak devrim yaratabilecek yeni yöntemler ortaya çıkmaktadır. Bu gelişmeler sadece katalitik süreçlerin verimliliğini ve seçiciliğini arttırmakla kalmıyor, aynı zamanda enerji tüketimini ve atık üretimini azaltarak endüstrilerin sürdürülebilirliğine de katkıda bulunuyor. Araştırmalar yeni olasılıkları ve uygulamaları ortaya çıkarmaya devam ettikçe, metal oksit ince filmler hem teknolojinin hem de sürdürülebilirliğin ilerlemesinde önemli bir rol oynamaya hazırlanıyor (Mehla vd., 2019; Rauwel & Rauwel, 2021).

1.3.2. Metalik nanoyapıların metal oksit filmlerle hibrit yapılarının katalitik performansı

Kataliz alanı, gelişmiş katalitik verimlilik ve kararlılık için malzeme mühendisliğinde çok önemli bir evrimi vurgulayan, soy metalle süslenmiş oksit ince filmlerin piyasaya sürülmesiyle önemli gelişmelere tanık olmuştur. Bu yenilikçi yaklaşım, altın, gümüş, platin ve paladyum gibi soy metallerin titanyum dioksit (TiO_2), seryum dioksit (CeO_2) ve zirkonyum dioksit (ZrO_2) gibi çeşitli metal oksitlerle stratejik olarak birleştirilmesini içerir. Bu malzemeler, hem asil metallerin hem de metal oksitlerin kendine has özelliklerinden yararlanarak katalitik performansı önemli ölçüde artıran sinerjik bir etki sunan oldukça aktif nano yapılar oluşturur (Li & Tang, 2014).

Çekirdek/yumurta kabuğu nanoyapıların oluşturulması, soy metal nanoparçacıklarının ince bir oksit kabuk tarafından kapsülendiği bu alanda dikkate değer bir tekniktir. Bu konfigürasyon sadece asil metal çekirdeği koruyarak kararlılığını ve zorlu çevre koşullarına karşı direncini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda metal ve oksit arasındaki yüzey etkileşimini de en üst düzeye çıkarır. Bu etkileşim, katalitik aktiviteyi ve seçiciliği önemli ölçüde artırdığı için çok önemlidir, özellikle de katalizörün kimyasal yapısına duyarlı reaksiyonlarda önemlidir (Li & Tang, 2014). Ayrıca, bu nanoyapıların, çevresel iyileştirmeden enerji dönüşümü ve depolamaya kadar çeşitli uygulamalar için hayati önem taşıyan gelişmiş elektron transferi ve reaktanların gelişmiş adsorpsiyonu gibi benzersiz özellikler sergilediği gösterilmiştir.

Boyut mühendisliği, bu nano katalizörlerin performanslarını daha da artırmak için yapısal parametrelerini optimize etmeye odaklanan bu araştırmanın bir başka kritik yönüdür. Çalışmalar, oksit matrisi içindeki soy metal nanopartiküllerinin boyutunu, şeklini ve morfolojisini manipüle ederek, katalitik özellikleri belirli uygulamalara göre uyarılmanın mümkün olduğunu göstermektedir. Nano yapısal özellikler üzerindeki bu hassas kontrol, daha yüksek bir aktif bölge yoğunluğuna ve gelişmiş erişilebilirliğe yol açmakta, bu da reaksiyon oranlarını ve istenen ürünlerin verimini önemli ölçüde artırabilmektedir (B. Liu vd., 2023).

Bu gelişmiş malzemelerin uygulamaları, kirleticilerin fotokatalitik bozunması, su ayrıştırma yoluyla hidrojen üretimi ve organik sentezlerde seçici hidrojenasyon dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere çok geniş ve çeşitlidir. Örneğin, soy metalle

süslenmiş oksit ince filmlerin karbondioksitin yararlı hidrokarbonlara indirgenmesini katalize ettiği ve iklim değişikliği ve enerji sürdürülebilirliği sorunlarını ele almak için umut verici bir yol sunduğu gösterilmiştir. Ayrıca, asil metal dekorasyonu ile kolaylaştırılan gelişmiş katalitik özellikler, egzoz gazı arıtma sistemlerinin verimliliğini artırmak ve böylece atmosfere zararlı gazların emisyonunu azaltmak için kullanıldıkları otomotiv endüstrisinde de fayda sağlamaktadır.

İleriye dönük olarak, soy metalle süslenmiş oksit ince filmlerin sentezi, karakterizasyonu ve uygulamasında devam eden araştırma ve geliştirmelerin katalitik teknolojilerin evriminde önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Soy metaller ve metal oksitler arasındaki etkileşimin anlaşılması derinleştikçe, yeni metodolojilerin ve tekniklerin ortaya çıkması ve bu alanda daha fazla yenilik yapılması beklenmektedir. Bu gelişmeler sadece katalitik süreçlerin verimliliğini ve seçiciliğini artırmakla kalmayacak, aynı zamanda daha sürdürülebilir ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesine de katkıda bulunacaktır (B. Liu vd., 2023).

Özetle, soy metalle süslenmiş oksit ince filmler, katalitik malzeme biliminde önemli bir atılımı temsil etmekte ve gelişmiş stabilite, aktivite ve seçicilik yoluyla geleneksel katalizörlere göre önemli gelişmeler sunmaktadır. Soy metallerin ince ayarlı nano yapılarında metal oksitlerle entegrasyonu, birçok endüstriyel süreçte devrim yaratabilecek ve daha temiz, daha verimli enerji çözümlerine yol açabilecek yeni nesil katalizörlerin geliştirilmesi için güçlü bir platform sağlar.

ZnO ince filmlerin gümüş nanopartiküller (Ag NPs) ile süslenmesi üzerine yapılan son çalışmalar, özellikle fotokatalitik ve çevresel uygulamalarda katalitik performanslarında önemli gelişmeler olduğunu göstermiştir. Örneğin, gümüşün ZnO ince filmlere dahil edilmesinin, özellikle su arıtımı ve kirletici bozunması için güneş fotokatalizindeki etkinliklerini artırdığı gösterilmiştir. Bunun nedeni, doğal güneş ışığı koşulları altında fotokatalitik aktiviteyi artıran gelişmiş yüzey alanı ve gelişmiş metal-yarı iletken etkileşimleridir (Khiari vd., 2022).

Gümüşle süslenmiş ZnO ince filmlerin umut vaat ettiği bir başka araştırma alanı da 4-nitrofenol gibi zararlı organik bileşiklerin katalitik bozunmasıdır. Ag nanopartiküllerini ZnO ince filmlere gömmek için lazer destekli bir yöntemin uygulanması, yüksek

katalitik performans ve kararlılık sergileyen nanokompozitlerle sonuçlanmış ve bu da onları çevresel temizleme teknolojileri için uygun hale getirmiştir (Alrebdı vd., 2022).

Bu gelişmeler, Ag/ZnO nanokompozitlerinin gelişmiş katalitik özellikleri ve çevresel uyumlulukları nedeniyle çeşitli katalitik uygulamadaki potansiyelini vurgulamaktadır. Araştırma, bu malzemeleri endüstriyel ve çevresel uygulamalar için optimize etmeyi amaçlayarak, gümüşün ZnO'nun fotokatalitik aktivitesini artırdığı kesin mekanizmaları keşfetmeye devam etmektedir.

1.3.3. Katalitik İndirgeme Süreçlerinde Gümüş Nanoyapılar

Gümüş nanoyapılar, benzersiz fizikokimyasal özellikleriyle, özellikle katalitik indirgeme süreçlerinde çevresel iyileştirme uygulamaları için umut verici adaylar olarak ortaya çıkmıştır. Yüksek yüzey alanları, ayarlanabilir elektronik yapıları ve mükemmel iletkenlikleri onları geleneksel katalizörlere cazip alternatifler haline getirmektedir (Pryshchepa vd., 2020). Bu bölümde gümüş nanoyapıların indirgeme reaksiyonlarını teşvik etmede oynadıkları spesifik roller incelenmekte ve katalitik aktivitelerini etkileyen faktörler araştırılmaktadır.

Boyut ve Şeklin Gücünden Yararlanmak: Gümüş Nanoyapıların Aktivite için Uyarlanması Gümüş nanoyapıların boyutu ve şeklinin katalitik performanslarına olan etkisi aşağıdaki iki başlık altında incelenebilir:

- **Yüksek Yüzey Alanı:** Nano ölçekte parçacık boyutu küçüldükçe, yüzey alanı-hacim oranı önemli ölçüde artar. Bu da kirletici adsorpsiyonu ve reaksiyonu için daha fazla sayıda aktif bölge anlamına gelir. Çalışmalar daha küçük gümüş nanopartiküllerin, toplu muadillerine kıyasla çeşitli indirgeme reaksiyonları için gelişmiş katalitik aktivite sergilediğini göstermiştir (Chen vd., 2008).
- **Şekle Bağlı Aktivite:** Gümüş nanoyapıların spesifik şekli katalitik aktivitelerini etkileyebilir. Örneğin, gümüş nanoteller, uzun yapıları ve daha yüksek elektron hareketliliği nedeniyle belirli kirleticilerin azaltılması için küresel nanoparçacıklara kıyasla üstün performans göstermiştir (da Silva vd., 2015). Gümüş nanoyapıların büyüme sürecini kontrol ederek, araştırmacılar şekillerini uyarlayabilir ve belirli indirgeme reaksiyonları için aktivitelerini optimize edebilirler.

1.3.4. Gümüş Nanoyapılar ile İndirgeme Mekanizmaları

Gümüş nanoyapıların indirgemeyi teşvik ettiği mekanizma kirleticinin türüne ve reaksiyon koşullarına bağlıdır. Bununla birlikte bazı genel ilkeler şu şekildedir:

Elektron Transferi: Gümüş nanopartiküller, kirletici molekülden elektron kabul ederek kirleticilerin indirgenmesini kolaylaştıran elektron vericileri olarak hareket edebilir. Bu elektron transferi kirletici içindeki belirli bağları zayıflatarak onu parçalanmaya daha duyarlı hale getirir (Kästner & Thünemann, 2016).

Yüzey Plazmon Rezonansı: Bazı gümüş nano yapılarında ışık, yüzey plazmon rezonansı olarak bilinen, yüzeylerindeki elektronların kolektif salınımını tetikleyebilir. Bu fenomen lokalize ısıtma oluşturabilir ve adsorbe edilmiş kirleticilerin reaktivitesini artırarak indirgenmelerini teşvik edebilir (Kumari vd., 2021).

Diğer Malzemelerle Sinerji: Gümüş nanoyapılar, kompozit katalizörler oluşturmak için metal oksitler veya aktif karbonlar gibi diğer malzemelerle birleştirilebilir. Bu kompozitler, elektron transferini kolaylaştıran gümüş nanoyapılar ve ek aktif bölgeler sağlayan veya adsorpsiyon özelliklerini geliştiren destekleyici malzeme ile her bir bileşenin güçlü yönlerinden yararlanabilir (G.-F. Liu vd., 2020).

1.3.5. Katalitik Performansı Etkileyen Faktörler

Boyut, şekil ve mekanizmanın ötesinde çeşitli faktörler gümüş nanoyapıların katalitik aktivitesini etkileyebilir.

Yüzey Modifikasyonu: Gümüş nanoyapıların yüzeyinin belirli fonksiyonel gruplarla modifiye edilmesi, elektronik özelliklerini ayarlayabilir ve istenen indirgeme reaksiyonlarına yönelik seçiciliklerini artırabilir. Örneğin, yüzeye oksijen içeren grupların dahil edilmesi, belirli kirleticilerin adsorpsiyonunu artırabilir (Skiba vd., 2022).

Reaksiyon Koşulları: Sıcaklık, pH ve rakip moleküllerin varlığı gibi faktörler gümüş nanoyapıların aktivitesini ve kararlılığını etkileyebilir. Bu reaksiyon koşullarının optimize edilmesi, katalitik indirgeme süreçlerinin verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için çok önemlidir.

Gümüş nanoyapılar, katalitik indirgeme süreçlerini teşvik etme yetenekleri sayesinde çevresel iyileştirme stratejilerinde devrim yaratma konusunda büyük bir potansiyele sahiptir. Boyutlarını, şekillerini ve yüzey kimyalarını uyarlama becerisiyle birleşen benzersiz özellikleri, yüksek verimli ve seçici katalizörler geliştirmek için heyecan verici olanaklar sunmaktadır. Araştırmalar gümüş-nanoyapı aracılı indirgeme mekanizmalarını daha derinlemesine anladıkça ve yenilikçi üretim yöntemlerini keşfettikçe, bu teknoloji daha temiz ve daha sağlıklı bir çevre yaratmada önemli bir rol oynama potansiyeline sahiptir.

Çinko oksit (ZnO) filmler, benzersiz özellikleri nedeniyle çeşitli katalitik uygulamalar için umut verici bir destek malzemesi olarak ortaya çıkmıştır (Kumar & Rao, 2015). ZnO ve gümüş kombinasyonu, indirgeme reaksiyonlarını teşvik etmek için sinerjik bir etki sunar. ZnO, elektronların indirgeme sürecine doğrudan katılan gümüş nanoparçacıklara aktarılmasını kolaylaştıran bir elektron rezervuarı olarak hareket edebilir (Wang vd., 2023). Bu işbirlikçi etkileşim, her iki malzemenin tek başına kullanılmasına kıyasla genel katalitik aktiviteyi artırabilir. Bu tez çalışmasında ZnO filmler, gümüş nanoyapılarla yerinde büyütme yöntemiyle dekore edilmiştir. Bu yapılar katalitik reaksiyonların etkinliğinin artırılmasıyla boyar maddelerin bozunması üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

1.3.6. ZnO Filmlerin katalitik süreçlerdeki avantajları

ZnO filmler, katalizör desteği olarak çeşitli cazip avantajlar sunar:

Yüksek Yüzey Alanı: ZnO filmleri, katalitik olarak aktif metal nanopartiküllerin dağılması için geniş bir alan sağlayan yüksek bir yüzey alanı ile biriktirilebilir (Kumari vd., 2021). Bu artan yüzey alanı, kirletici moleküller ve katalizör arasında daha fazla etkileşime izin vererek reaksiyon verimliliğini artırır.

Özelleştirilebilir Özellikler: ZnO filmlerinin kristallik, gözeneklilik ve yüzey kimyası gibi özellikleri çeşitli biriktirme teknikleri ile kolayca ayarlanabilir. Bu, belirli katalitik uygulamalar için destek malzemesinin optimizasyonuna olanak tanır (Kumari vd., 2021).

Kimyasal Kararlılık: ZnO, çeşitli reaksiyon koşulları altında mükemmel kimyasal kararlılık sergileyerek, kirlilik arıtma süreçlerinde karşılaşılan zorlu ortamlarda kullanılan katalizörleri desteklemek için sağlam bir platform oluşturur (Puspasari vd., 2022).

Yarı İletken Özellikler: ZnO'nun yarı iletken yapısı, destek ve desteklenen metal nanopartiküller arasındaki elektron transferini kolaylaştırarak potansiyel olarak katalitik aktivitelerini artırabilir (Fouad vd., 2006). Bu elektron transferi, kirlenici moleküllerin aktivasyonunu teşvik ederek indirgeme reaksiyonlarında önemli bir rol oynar.

1.4. Konunun Önemi ile İlgili Literatürde Öne Çıkan Çalışmalar

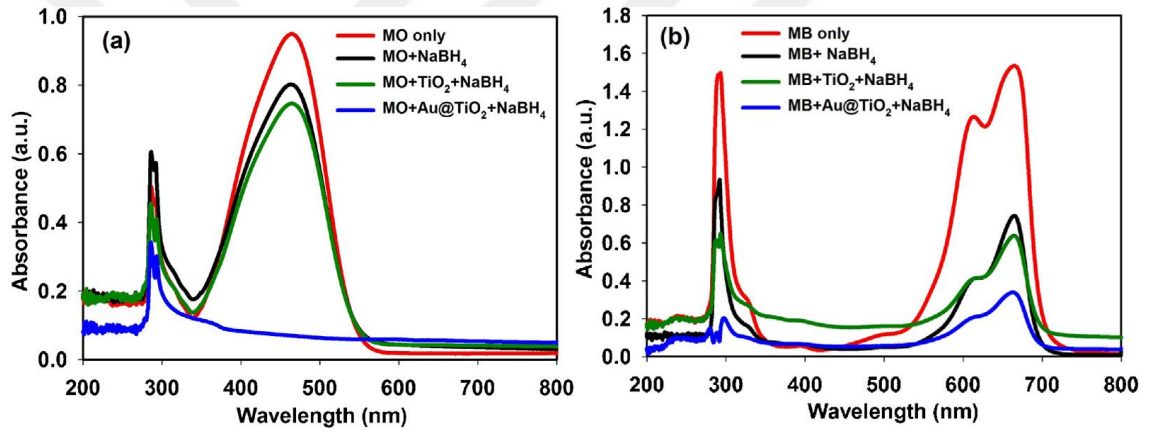
Atık su içinde bulunan kirleniciler önemli çevre sorunları oluşturmaktadır. Çevreye salınan kimyasalların bozulması ve çevreye zararsız hale getirilmesi günümüzde halen sıklıkla çalışılan bir konudur. Bu kirlenicilerin (boyaların) gerekli işlemler yapılarak zararsız hale getirilmesi veya yok edilmesi gerekmektedir.

Yapılan çalışmalarda, atık sular üzerinde araştırmalar yapılmış aşamalı kaplama yöntemi denenmiş Au ve TiO₂ nanokompozitler NaBH₄ ile metil turuncu ve metilen mavisi katalitik indirgenmesi için kullanılmıştır. Kademeli indirgeme, yükseltgenme ve ara ürünlerin ilgili son ürüne tamamen kristallenmesi için ayrıntılı yol, UV-VIS spektroskopisi, kimyasal oksijen ihtiyacı, iyon kromatografisi ve döngüsel voltametri (CV) ile belirlenmiştir. CV çalışmaları, boyaların azaltıldığını ve Au@TiO₂ nanokompozitler ve *O₂, *OH ve *OH₂ radikalleri varlığında NaBH₄ tarafından okside edilerek bertaraf edildiği görülmüştür (Wang vd.,2017 ; Kuru vd.,2020 ; Khan vd.,2014).Neticede, Au@TiO₂ nanokompozitlerin sadece boyar maddelerin rengini gidermeye yardımcı olmakla kalmayıp, aynı zamanda bu maddeler ile reaksiyona girerek mineralizasyon sonucu zararsız hale getirdiğini ortaya koymaktadır (Joseph vd.,1999 ; Sundaram vd.,1997 ; Kuru vd.,2020).

Au-TiO₂, UV veya görünür ışığın varlığında boyaların bozunumu için kullanılmıştır (Sundaram vd.,1997). NaBH₄ iyi bilinen bir indirgeyici olup, boyaların (MO ve MB) bir katalizör yokluğunda NaBH₄ ile indirgenmesi, kinetik olarak zor ancak termodinamik olarak elverişlidir. Nanopartiküller, aktivasyon enerjisini düşürerek alternatif bir yol sağlar, böylece reaksiyonu kinetik olarak elverişli hale getirir (Padmaja

vd.,1999). Yasak enerji aralığı boyaların bozunumunda dinamik bir rol oynamaktadır, çünkü elektron verici ile alıcı tür arasında büyük bir redoks potansiyel farkı olabilir ve bu da elektron transferini engelleyebilir. Etkili bir katalizör olan Au-TiO₂, elektron transferine yardımcı olarak bir aracı gibi görev yapabilir (Padmaja vd.,1999; McLaren vd.,2009).

Bileşik olarak elde edilen toz haline getirilmiş Au@TiO₂ nanokompozitleri, daha yüksek kararlılık ve nispeten iyi anlaşılmış fizikokimyasal ve elektrokimyasal proseslerden dolayı NaBH₄ ile farklı boydaki boyaları (MO ve MB) indirgemek için elektron transfer reaksiyonu için bir katalizör olarak kullanılmıştır (McLaren vd.,2009; Khan vd.,2014).



Şekil 2. Au@TiO₂ nanokompozitler ve TiO₂ varlığında NaBH₄ ile bozulmuş (a) metil turuncusu ve (b)metilen mavisinin UV- görünür spektrumları.

Bir başka çalışmada Ag'nin katalitik aktivitesi, maksimum katalitik performansın bulunduğu yerlerde detaylı olarak incelenmiştir. Ag nano yapıların büyüme süresi, yüksek seviyelerde bozunma verimliliği elde etmek için önemlidir. Evrensel bir yüzey işlevselleştirme ajanı olan polidopamin kullanımı, bu yaklaşımı diğer metal oksit film türlerine ve metalik yapılara uygulama olasılığını sunar. Ayrılma kolaylığı ve altlıkların yeniden kullanma imkânı, bozunma uygulamaları için katı altlıkların temel avantajlarıdır (Zheng vd.,2007).

Tekstil endüstrisi atık sularının temizlenmesinde çoğunlukla kimyasal ve standart biyolojik etkin çamur teknikleri kullanılmakta ve bu atık suların organik madde temizlenmesi yapılmasına rağmen, bünyesindeki zararlı bileşenler ve rengi bu temizleme yöntemleriyle giderilememektedir (J.Kaur,2014). Boyar maddeleri barındıran

atık suların alıcı bölgeye boşaltılması, alıcı bölgedeki ışık geçirimsizliğinin azalmasından dolayı bu bölgedeki canlı ve bitki hayatı için sorun teşkil etmektedir (J.Kaur,2014). Ayrıca bu atık sular içerdikleri boyaların zararlı ve kanser yapıcı etkisi de insan ve canlı hayatı açısından ciddi tehlikelere yol açmaktadır (Kuru vd.,2020). Tekstil sanayisinde atık sularından boyar madde giderimi için kimyasal indirgeme-yükseltgenme, koagülasyon-flokülasyon, tutunma gibi teknikler kullanılmakta fakat bu tekniklerin zararlı yan ürün veya çamur oluşturması, atık temizlenmesi için yaygın olmaması gibi dezavantajları söz konusudur (Robinson vd.,2001; Kuru vd.,2020; J.Kaur,2014). Bu sebeplerden dolayı ileri yükseltgenme süreci; zararlı ve kalıcı nitelikteki organik maddeleri, zararlı olmayan son ürünlere dönüştürebilmesi nedeniyle son zamanlarda sıkça kullanılmaktadır.

Çinko oksit, geniş bant aralığında (3.37 eV) sahip olup, yüksek katalitik faaliyet gösteren ve zehirli olmayan nitelikte, organik boyar maddelerin temizlenmesinde ve mikrobiyal arıtmada hayli tesirli bir nano yapı olduğu anlaşılmaktadır (Kuru vd.,2020; Priyanka vd.,2013). Tekstil sanayisinde kullanılan boyaların ZnO/UV katalitik yükseltgenme süreci ile temizlenmesi sıkça kullanılan bir tekniktir (Yousefi vd.,2011; Abou vd.,2010)

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Karakterizasyonda Kullanılan Cihazlar ve Teknikler

Bu çalışmada; Silisyum alttaş (Wafer World Comp.), lam (ISOLAB), Aseton (Merck), propanol (Merck), etanol (Merck), Dopamin hidroklorür (Sigma-Aldrich), Tris-EDTA tampon çözelti (Sigma-Aldrich), NaBH₄ (Sigma-Aldrich), AgNO₃ (Merck), Metil Turuncusu (Sigma-Aldrich) kullanılmaktadır.

2.2. Karakterizasyonda Kullanılan Cihazlar ve Teknikler

2.2.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), geniş çapta ar-ge çalışmalarında kullanılmış olup mikro elektronikte yonga üretiminde, sanayide birçok farklı kollarında hata incelemelerinde, biyolojik bilimlerde, sağlık ve kriminal çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Taramalı elektron mikroskobu incelenmek istenen numunenin yüzeyine elektron demeti gönderip, bu elektron bombardımanı sonucu saçılan (dönen) elektronları toplayan dedektörleri sayesinde yüzeyin taranması ile numune yüzeyinin nanometre mertebesinde topografya resmini veren mikroskoptur. Elektrondan görüntü elde etmesi temel çalışma prensibini yansıtmaktadır. SEM cihazlarının çok çeşitli olmasının yanında birlikte topografya çıkarabilme özellikleri vardır.

Ayırma gücü ve odaklanma derinliği ayrıca görüntü ve analizi birleştirebilme özelliği, taramalı elektron mikroskobunun kullanım alanını fazlalaştırmaktadır.

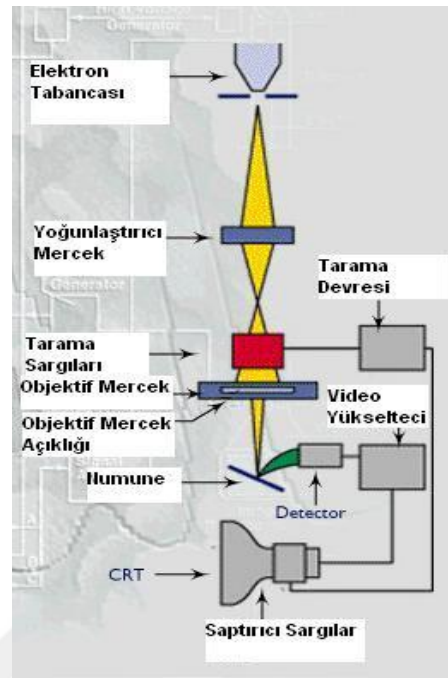


Şekil 3. SEM Cihazı

Taramalı Elektron Mikroskobu Optik Kolon, Numune Hücresi ve Görüntüleme Sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır.

Optik sütun kısmında; elektronları modele doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin yapıldığı anot plakası, elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, ince elektron demeti bulabilmek için sıkıştırıcı mercekler, demeti model üzerinde yoğunlaştırmak için tarafsız merceği, bu merceğe ait farklı büyüklükte aparatörler ve elektron demetinin model yüzeyini taraması için tarama bobinleri bulunmaktadır. Mercek teknikleri elektromanyetik bölge ile elektron demetini inceltmekte ve de model üzerine yoğunlaştırmaktadır. Bütün optik sütun ve model 10^{-4} Pa gibi bir vakum altında sabitlenmektedir.

Şekil düzeneninde, elektron demeti ile model girişimi neticesinde de oluşan birçok elektron ve ısıtmaları biriktiren dedektörler, bunların sinyal fazlalaştırıcı ve model üzerinde elektron demetini şekil ekranıyla ayırarak tarayan manyetik bobinlerin varlığı söz konusudur.



Şekil 4. Taramalı Elektron Mikroskobunun Şematik Görünüşü

SEM de yüksek enerjili elektronlar örnek ile etkileşerek elektron ve foton sinyalleri verir. Değişen açılarda dağılan elektronlar, dedektör (algılayıcı) aracılığıyla biriktirilir ve toplanan sinyallerin mikroskop yazılımı ile işlenmesiyle birlikte görüntülere ulaşılır. Bu ürün iletken ya da kaplamayla iletkenlik kazandırılmış numuneleri tarayabilmesinin yanı sıra biyolojik numunelerin incelenmesi için de tasarlanmıştır. Sem cihazlarının geneli iletken numuneleri çok net görüntüleyebilmektedir. Ancak yalıtkan numunelerin kaplanıp iletken hale getirilmesi gerekmektedir ve görüntülenmesi zordur. Bu bağlamda sem cihazı seçiminde yalıtkan numunelerinde daha iyi görüntü elde edilebilmesini sağlayabilecek LS tipi sem cihazını tercih edilebilir.

2.2.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

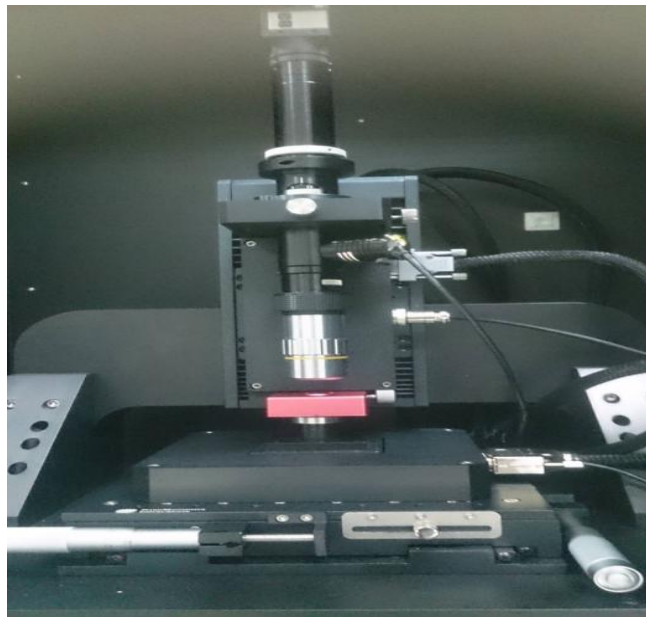
Atomik kuvvetlerin sabit tutulmaya çalışılması ile numune yüzeyinin tip adı verilen nanometre mertebesindeki uç ile taranarak lazer ve detektör yardımı ile malzeme yüzeyinin topografya verisini bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak veren mikroskoptur.

Malzeme biliminde çok önemli bir cihazdır. AFM cihazı ucundaki tip yardımıyla ölçümlere yardımcı olur. Tip ucundaki malzemenin görüntüsü, lazer ışığı yardımıyla bir foto dedektör üzerine düşürülür. İğne yüzeyi tararken ölçülen iğne hareketi yüzeyin

topografisini elde etmemizi sağlar. Yüksek çözünürlükte materyallerin üst kısmının incelenmesi (Metal, seramik, polimer), Nano boyutta sertlik ölçümü, Nano Aşınma, Nano ölçekte kaplama tabaka kalınlığı ölçülmesi, Sürtünme kuvveti tespiti, Malzemelerde magnetik kuvvet ölçümü, Malzemelerin termal iletkenliğinin ölçümü, Elektriksel özelliklerin incelenmesi, Korozyon Çalışmaları, Diş kaplama yapısı ve sentezlemesi, Gıda endüstrisi uygulamaları, Akışkanların incelenmesi gibi alanlarda kullanılır.

Atomik kuvvetlerin sabit tutulmaya çalışılmasından dolayı da adı Atomik Kuvvet Mikroskobu olarak konulmuştur. AFM cihazının kullanımında en çok dikkat edilmesi gereken kısım olarak tip ucun seçimi ve cihaz içerisinde tipin değiştirilmesidir. Dişi – Erkek yuvası sayesinde tip değiştirilmesi esnasında doğru bir şekilde takılması kolaylaştırılsa da oldukça dikkat isteyen bir aşamadır. Ayrıca tiplerin sterilizasyonu oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle tip değiştirilirken kesinlikle eldiven ve pens kullanılır. Ayrıca AFM cihazlarından farklı olarak tip sabitken numune hareket eden bir stage'e bağlıdır.

AFM kullanımında numune hazırlamak da oldukça önem arz etmektedir. Fiber ve nano toz numunelerin AFM ile incelenebilmesi için atomik seviyede düzlüğe (pürüzsüzlüğe) ihtiyaç vardır.



Şekil 5. AFM – Atomik Kuvvet Mikroskobu

2.2.3. UV–VIS Spektroskopisi

Genel olarak spektrofotometre ya da UV-VİS olarak bilinen bir cihazdır. Maddenin ışığı absorplayabilmesi cihazın çalışma prensibini oluşturmaktadır. Zeta Sizer cihazında kullanılan şeffaf dikdörtgen küvetler bu cihazda da kullanılmaktadır. Çözeltinin içerisindeki madde tutarını çözeltilen geçen veya çözeltinin tuttuğu ışık tutarından yola çıkılarak algılayıp belirli grafikler verebilen bir cihazdır. Cihazın numune yerleştirme haznesinde 1 adet referans numune yerleştirilen kısım ve diğer kısımlarda referans numuneye kıyasla analizi yapılacak solüsyon numuneler küvet içerisinde yerleştirilir. Günümüzde safsızlıkların belirlenmesi, içme suyu ve atık suyu analizleri, enzim protein DNA/RNA analizleri, kompleks aromatiklerin yapı analizleri, tepkime kinetiğinin incelenmesi gibi çalışma alanlarında kullanıldığı bilinmektedir. 190-1100 nm aralığında 1nm hassasiyetinde çift ışın çalışma imkanına sahip bir spektrofotometre cihazıdır. Ayrıca tek seferde biri referans numune olmak üzere toplam 9 adet küvet içerisinde numune yerleştirilebilmektedir. Temel mantık olarak referans numunenin bulunduğu küvete dik şekilde gönderdiği ışınların soğurmasını foto sensörleri ile algılayarak bilgisayara aktarmaktadır. Örneğin 0,1 M'lık bir çözeltide 2 birim pik verdiğini düşünelim. Karşılaştırılacak küvet içerisindeki diğer numuneye de ışın gönderip soğurma verisini bilgisayara aktarıp soğurulan ışık miktarlarına kıyasla aynı çözelti için 4 birim pik vermesi karşılaştırılan numunenin 0,2 M'lık bir derişime sahip olduğunu tespit edebilmektedir.



Şekil 6. UV-Visible Spektrofotometresi

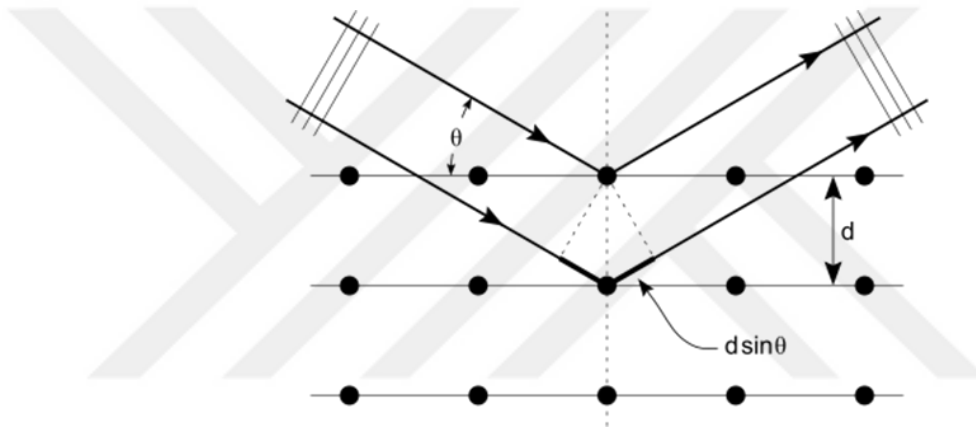
2.2.4. XRD (X Işını Kırınımı)

(XRD) X ışını kırınımı, saf ve üretilmiş nesnelerin kimyasal bileşimi ve kristal yapısıyla ilgili derin veriler veren değişken ve yıkımsız bir sistemdir. Bu teknik sadece nano

karakterizasyonla ilgili olarak anlatılmaz fakat nano mertebedeki bütün yerinde uzamsal çözünürlüklere ulaşılabilir. Bununla birlikte, nano yapılar XRD ile incelenebilir. Lamda dalga boyutuyla donatılmış bir monokromatik x ışını demeti, teta açısıyla bir kristal numune yüzeyine aksedilirse kırınım sadece aralıksız ortamlardan çarparak ışınların yol aldığı mesafe, tam n sayısı dalga boyu gibi değişik olduğunda sahileşir. Bu da Bragg Kanunu denklemiyle (1) anlatılmıştır.

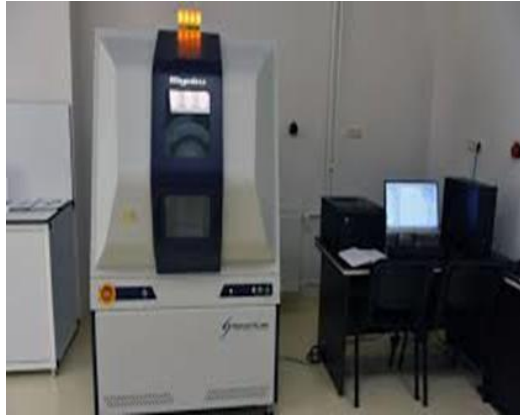
$$n\lambda=2d\sin\theta \text{ (Bragg Kanunu)} \quad (1)$$

Burada: λ x ışınının dalga boyunu, n pozitif tam sayı, d örgü uzaklığı, θ saçılım açısıdır.



Şekil 7. XRD Şematik Gösterimi

XRD ile saçılım işaretlerinin incelenmesiyle biçimsiz objeleri denemek de mümkündür. X ışını kırınımı ilkesi yardımıyla incelenen malzeme hakkında sayısız yapısal, fiziksel ve kimyasal verilere ulaşmak mümkündür. Pik durumlarına bakılarak kristal yapının geometrisini kavramak ve örneklerde bulunan kristal fazların açıklamasını yapmak olasıdır. Piklerin görünüşü ve simetrisizlik, kristal bölgelerin yaklaşık boyutu ile açıklanabilir. Kristal alan değişimleri, yığıma hataları örnek yönüne ilişkin pik kayması, örnekteki kalan gerilim ile alakalıdır. Klasik uygulama bölgeleri şöyledir: Ortam analizi: kayalar, mineraller, lifler, camlar, tekstil, toprak, asbest, killer, ince tozlar, kısıtlanmamış silisyum, çimento, petrol, elektronik, nükleer endüstrisi, katalizör çalışmaları, polimerler, patlayıcılar, seramik malzemeler, biyoloji ve kimya bilimleri, adli tıp bilimleri, kazı bilimi, arkeometri vs. Son zamanlarda nano XRD kullanımı ilerlemiş ve özel kullanımlar yayınlanmıştır.



Şekil 8. XRD Cihazı

2.3. Katalitik altlıkların Üretilmesi

Si altlıklar 1*1 cm'lik eşit parçalara ayrılıp, gerekli temizleme işlemleri yapıldıktan sonra kaplama işlemine geçildi. PVD cihazında, sputter yöntemiyle alttaşlar ZnO (220nm) kaplandı. Daha sonra homojen kaplanmış bu altlıklar oda sıcaklığında dopamin çözeltisine (dopamin hidroklorür, 5 mM Tris-edta buffer tamponu içinde 1 mg / mL,) daldırıldı .2 saat Polidopamin (PD) kaplamadan sonra numuneler saf su ile yıkandı. Temizlenen numuneler azot gazı ile kurutuldu. Dopamin in buradaki görevi çok önemlidir gümüş iyonlarının daha kararlı halde tutunması için kullanılmıştır. Polidopaminin çözelti fazında birikmesi, yüzeyin çok yönlü işlevselleşmesini sağlar ve Ag iyonlarının azaltılması için gerekli kimyasal grupları sağlar.) Daha sonra, PD kaplı substratlar, farklı Ag büyüme süreleri (12, 24 ve 36 saat) için bir orbital çalkalama sisteminde gümüş nitrat çözeltisi (15 mL saf su içinde 50 mM AgNO₃) ile işlendi.

Polidopamin için hazırlanan solüsyon:

50 ml mezüre saf su konuldu ve 500 mikrolitresi atılıp yerine tris-edta buffer eklenip karıştırıldı. Sonrasında tek numune için 10mg dopamine 10 ml tris-edta buffer koyup karıştırıldı.

Ag NO₃ çözeltisi için hazırlanan solüsyon:

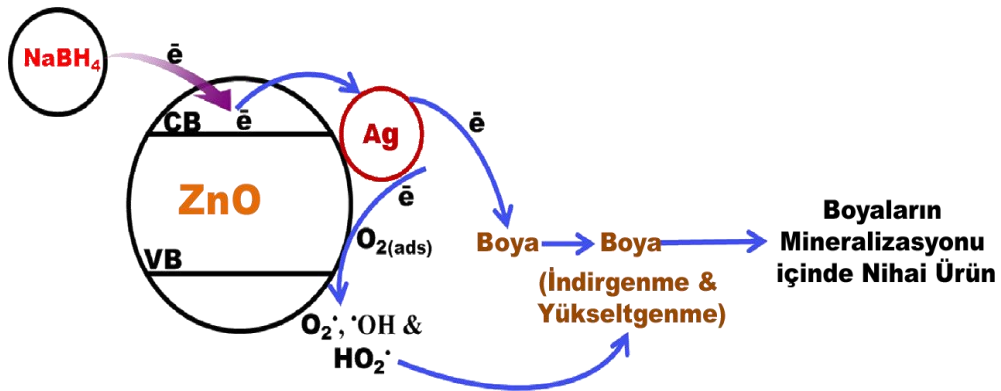
50mM' luk hazırlandı

M=m/mA*V formülü ile farklı molar ve litrelerde hazırlandı.

Boyar madde için hazırlanan solüsyon:

500 ml'lik behere 5 mg MO (metil turuncusu) koyarak ultrasonik karıştırıcıda homojen bir hale gelmesi sağlandı. Sonrasında 100ml MO çözeltisine 100 ml saf su konularak çözelti seyreltildi ve bu solüsyona katalitik reaksiyon için 1 molarlık NaBH_4 eklendi.

Şekil 2.1'de deneyin bir kısmını açıklamak mümkündür. MO solüsyonu için bozulma katalitik reaksiyon mekanizması (şekil 2.1) ile gösterilmiştir. Katalitik bozulma işlemi, elektronların vericiden (NaBH_4) alıcıya (MO) aktarılmasıyla meydana gelir. NY'lerin yüzeyinde boyar maddelerin ve BH_4^- iyonlarının eşit süredeki absorpsiyonu, bozunmanın başlangıcıdır. BH_4^- iyonları ZnO ince filmlerine elektron sağladığında, bu elektronlar Ag nanoyapılarda birikir ve O_2^* ve $^*\text{OH}$ radikallerini oluşturmak üzere adsorbe oksijen molekülleri tarafından tutulur (Abed vd.,2015). Bu radikaller, MO reaksiyona girerek boyaların moleküler yapısını bozar. Bu, boyaların (MO) ve BH_4^- iyonlarının ZnO ince filmler tarafından aynı anda absorbe edildiğini ve katalizörlerin elektron transferini kolaylaştırdığını gösterir. Sonuç olarak, ZnO ince filmleri aracılığıyla BH_4^- iyonundan boyalara elektron yükü transferi gerçekleşebilir. Ag büyütme ZnO numunelerinin yüksek katalitik aktivitesi, Ag nanoyapılarının düzensiz şekilleri, geniş yüzey alanı/hacim oranı ve yüksek yüzey alanı ile ilgilidir. Bu özellikler elektron transferini kolaylaştırır.



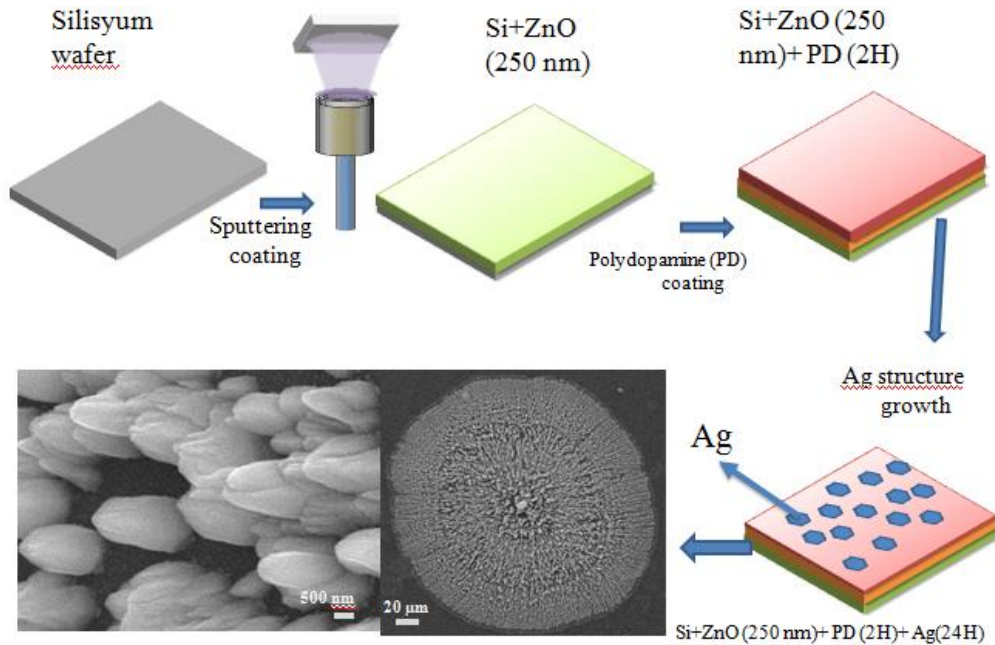
Şekil 9. Katalitik Reaksiyon Mekanizması

Elde ettiğimiz bu yapıları boyar madde olan, MO (metilen turuncusu) solüsyonuna (solüsyon:100ml saf su,100ml saf su +5mM metilen turuncusu) aparat yardımıyla daldırıldı ve daha sonra indirgen madde olarak NaBH_4 (sodyumborhidrür) eklendi (10mM'lık). Substratı solüsyona yerleştirmeden önce, yeni hazırlanmış 1 M NaBH_4 solüsyona karıştırılırken eklendi ve NaBH_4 eklenmeden hemen önce UV-VIS

spektroskopi ile ilk absorbanans spektrumu ölçüldü. Daha sonra üzerine 100 ml çözelti ile doldurulmuş bir cam behere yerleştirildi. Bundan sonra, çözeltinin absorbanans spektrumu çeşitli zamanlarda (0,3,5, 10, 15, 20, 25, 30, 45 ve 60 dakika) ölçüldü. Farklı saatlerde yapılan deneyler üzerinden ölçümler alındı. Isıl işlem görmeyen ,150° C, 200° C, 250° C ve 300° C’de tavlanan numuneler incelendi.

Elde edilen kaplamalar SEM, AFM, XRD ve UV-VIS spektrometrede karakterize edildi.

ZnO (çinko oksit), geniş enerji bant aralığı, yüksek bağlanma enerjisi, antibakteriyel, çevre dostu ve ucuz olması nedeniyle en çok araştırılan ve kullanılan metal oksitlerden biridir (Kuru vd.,2020). ZnO ve diğer metal oksitlerin katalitik aktivitesini artırmak için çeşitli yüzey modifikasyon çalışmaları yapılmaktadır (Kuru vd.,2020). Bunlar, katalizör yüzeyindeki reaksiyonları kolaylaştırdığı ve soğurma spektrumunu genişlettiği için çok önemlidir. ZnO'nun yüzey yapısını Ag ve Au gibi metallerle değiştirmek, taşıyıcı yükün yüzeyden ayrılmasını hızlandırmanın ve katalitik verimi artırmanın en etkili yoludur (Kuru vd.,2020).



Şekil 10. Deneyin Şematik Gösterimi

3. BÖLÜM

BULGULAR

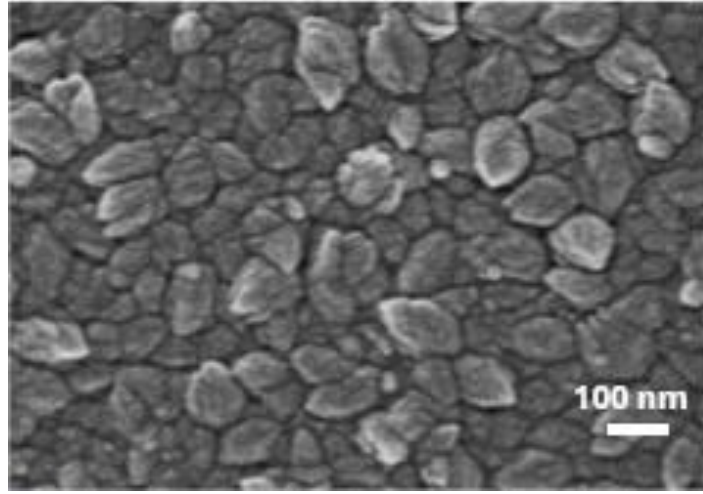
3.1. Üretilen numunelerin yapısal karakterizasyonu

Saçtırma sistemi ile Si altlıklar üzerine büyütülmüş olan ince filimlerin yapısal karakterizasyonu için SEM ve XRD cihazları kullanılmıştır. SEM cihazı ile üretilen ince filimlerin ve topografi görüntüleri ve EDX ölçümleri ile elementel analizleri yapılmıştır. XRD cihazıyla da üretilen ince filimlerin üretilmiş hali ile ısıtılma işlemi uygulandıktan sonraki kristal kafes yapılarının değişimi incelenmiştir. Ayrıca bu kafes yapısının değişiminin, PD yardımı ile büyütülen Ag nano yapılara üzerindeki etkisi incelenmiştir.

3.1.1. Yüzey topografisinin belirlenmesi için yapılmış olan SEM Görüntüleri

Magnetron saçtırma tekniği ile üretilmiş olan numunelerin SEM görüntüleri alınarak topoloji farklılıkları gözlemlenmiştir.

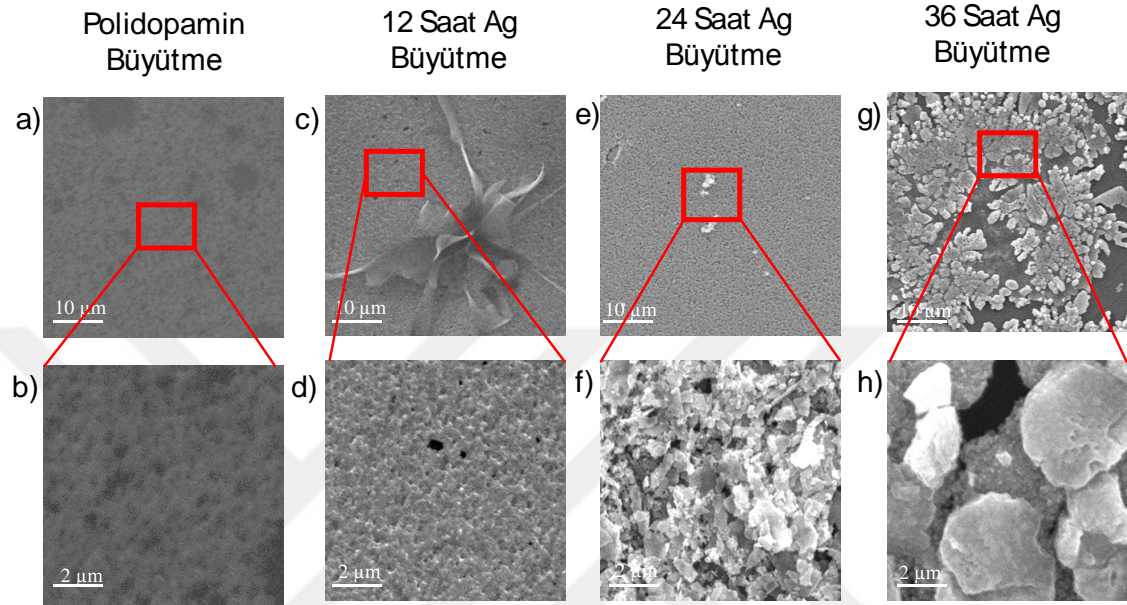
Şekil 11'de Üretim sonrası elde edilmiş olan ince film kaplamalardan alınmış SEM görüntüleri verilmektedir. Magnetron saçtırma tekniği ile kaplanmış olan 220 nm ZnO kaplamaya ait olan SEM görüntüleri incelendiğinde polikristal bir yapı sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca topolojik görüntüsü göz önünde bulundurulduğunda tanecikleri dağılımını homojen olduğu söylenebilir.



Şekil 11. Si Üzerine kaplanmış olan 220 nm kalınlığındaki ZnO ince filmin SEM görüntüsü.

ZnO ince filmler üzerine Ag nano yapılar büyütülmek istenmektedir. PD, metalik yapıları indirgeme kabiliyeti sayesinde bu tür gümüş yapıların yüzeyde büyütülmesi için iyi bir platform sunmaktadır. İnce film kaplama yöntemi ile yüzeyde büyütülmüş ZnO ince filmler kontrollü bir şekilde Ag nano yapıların büyütülmesi için imkân sağlamıştır(Lee vd., 2007). Şekil 12'de ZnO kaplama sonrasında PD ile modifiye edilmiş yüzeylerin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 12.a'da ve b'de sadece dopamin ile işlem uygulanmış olan ZnO ince filmin SEM görüntüsü verilmiştir. PD kaplama nedeniyle yüzeydeki pürüzlülüklerin azaldığı ve daha homojen bir yüzeyin oluştuğu görülmektedir. Şekil 12.c'deki ve d'deki SEM görüntülerinde ise 12 saat çalkalama sonucu PD filmin yüzeyden uzaklaştığı ve ZnO filmde morfolojik değişimlerin oluşmaya başladığı görülmektedir. Bu değişimin temel kaynağı olarak PD'nin, solüsyon içerisindeki Ag^+ iyonlarını indirgeyerek yüzeyde Ag nano yapıların oluşumunu sağlamasına atfedilebilir. Şekil 12.e'deki ve f'deki SEM görüntüleri bu durumu destekler niteliktedir. Zira SEM görüntüleri incelendiğinde yüzey morfolojisinin değişmeye başladığı ve buna bağlı olarak da yüzeydeki Ag nano yapılar homojen bir şekilde yüzeyde büyüdüğü görülmektedir. Ayrıca Şekil 12.g'deki ve h'deki SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere gümüş tuzu çözeltisinde 36 saatlik çalkalama sonucu yüzeyde kontrolsüz şekilde gümüş yapıların büyüdüğü görülmektedir. Bu kontrolsüz büyüme, filmin vakum sistemi içerisinde büyütme işlemi sırasında sıkı paketlenme şartlarını tam oluşturamamasından kaynaklanmış olabilir. Bu durumu önlemek için numunelerin belirli sıcaklıklarda tavlama işlemi yapılması faydalı olacağı düşünülmektedir.

sıcaklıklarda tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra, Tavlama işlemi sayesinde ince filmdeki tanelerin büyümesi sağlanarak, büyütülen Ag nano yapıların da farklılaştırılmasına hedeflenmiştir.

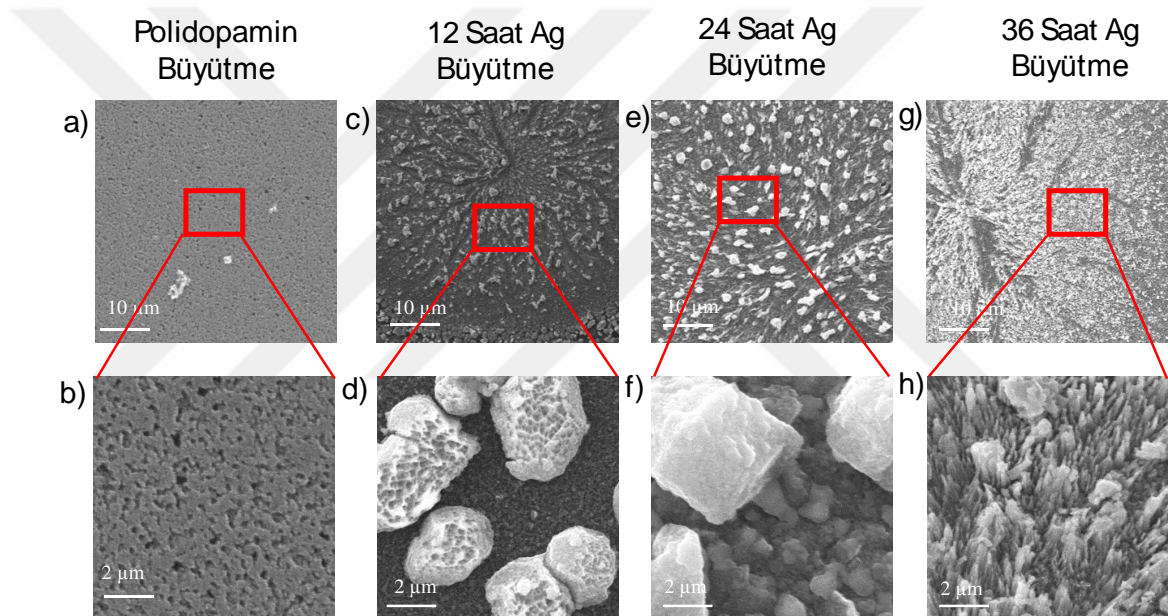


Şekil 12. Isıtma işlemi uygulanmamış ZnO ince film kaplamaların SEM görüntüleri: a-b) PD kaplama, c-d) PD kaplama ve 12 saat gümüş büyütme, e-f) PD kaplama ve 24 saat gümüş büyütme, g-h) PD kaplama ve 36 saat gümüş büyütme.

Ag nanoyapıların, tavllanmış ZnO filmlerden nasıl etkilendiğini gözlemlemek için ZnO filmlere tavlama işlemi yapılmıştır. ZnO ince filmler 150, 200, 250 ve 300 °C sıcaklıklarda tavlansmıştır. Tavlama işlemi sonrasında her bir numuneye, daha önceki numunelerle aynı şartlarda, PD kaplama işlemi yapılmıştır. Daha sonrasında ise 12, 24 ve 36 saat sürelerde gümüş tuzu çözeltisinde çalkalama işlemleri yapılarak Ag nano yapılar PD kaplı ZnO filmler üzerine büyütülmüştür. Her bir tavlama sıcaklığı için bu işlemler tekrarlanmıştır.

Bunlardan ilki olarak 150 °C’de tavllanmış olan numunenin SEM görüntüleri şekil 13’de verilmiştir. Şekil 13.a’da ve b’de sadece dopamin etkisi sonucu elde edilen SEM görüntüleri sunulmuştur. Şekil 13.c’deki ve d’deki SEM görüntülerinde ise 12 saat gümüş tuzu çözeltisi içinde çalkalama sonucu PD filmin yardımı ile Ag nano yapılar yüzeye indirgenmiştir. Bu sonuç, ile ısıtma yapmadan önceki 12 saatlik çalkalama sonucu birbiri ile kıyaslandığına, 150 °C’de tavlama işleminin gümüş büyümesi

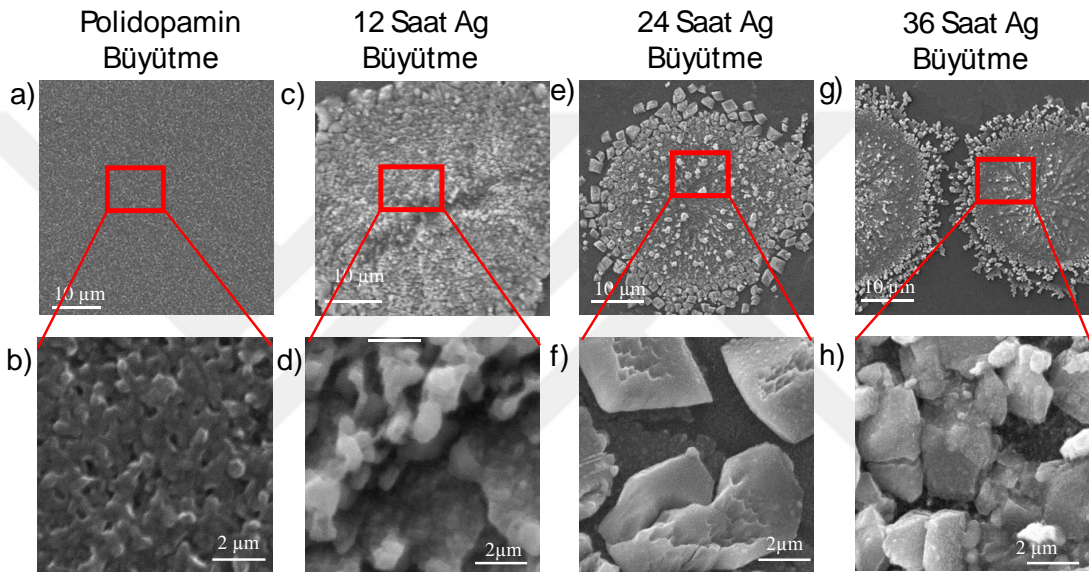
üzerinde etkisi olduğu söylenebilir. Bu durumun tam aydınlatılması için XRD analizleri faydalanılmış. XRD ile ilgili sonuçlar bu bölümün 3.1.2 kısmında verilmiştir. Yine Şekil 13.e'deki ve f'deki SEM görüntülerinde 24 saat gümüş büyütme süresince elde edilmiş olan Ag nanoyapılar görülmektedir. Yapısal olarak 12 saat büyütme şartlarında elde edilmiş Ag nanoyapılara göre daha düzgün ve düzenli bir şekilde büyüme gözlemlenmiştir. Isıtmasız altlığa göre de yine daha düzenli yapılar elde edilmiştir. Bu durum 36 saatlik Ag büyütme süresinde de devam ederek daha düzenli yapıların altlık üzerinde büyümüştür. Şekil 13.g'deki ve h'deki SEM görüntülerinde Ag nano yapılar görülmektedir.



Şekil 13. 150 °C'de Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların SEM görüntüleri: a-b) PD kaplama, c-d) PD kaplama ve 12 saat gümüş büyütme, e-f) PD kaplama ve 24 saat gümüş büyütme, g-h) PD kaplama ve 36 saat gümüş büyütme.

Benzer şekilde 200 °C'de tavlınmış olan numunenin SEM görüntüleri şekil 14'de verilmiştir. Şekil 14.a'da ve b'de sadece dopamin etkisi sonucu elde edilen SEM görüntüleri sunulmuştur. Şekil 14.c'deki ve d'deki SEM görüntülerinde ise 12 saat gümüş tuzu çözeltisi içinde çalkalama sonucu PD filmin yardımı ile Ag nano yapılar yüzeye indirgenmiştir. Bu sonuç, ile önceki 12 saatlik çalkalama sonuçları birbirini destekler niteliktedir. PD yardımı ile gümüş büyümesi devam etmiştir. Fakat bu sefer büyük yapılar yerine, daha küçük ve ince film ile bütünleşik yapılar ortaya çıkmıştır. Yine şekil 14.e'deki ve f'deki SEM görüntülerinde 24 saat gümüş büyütme süresince

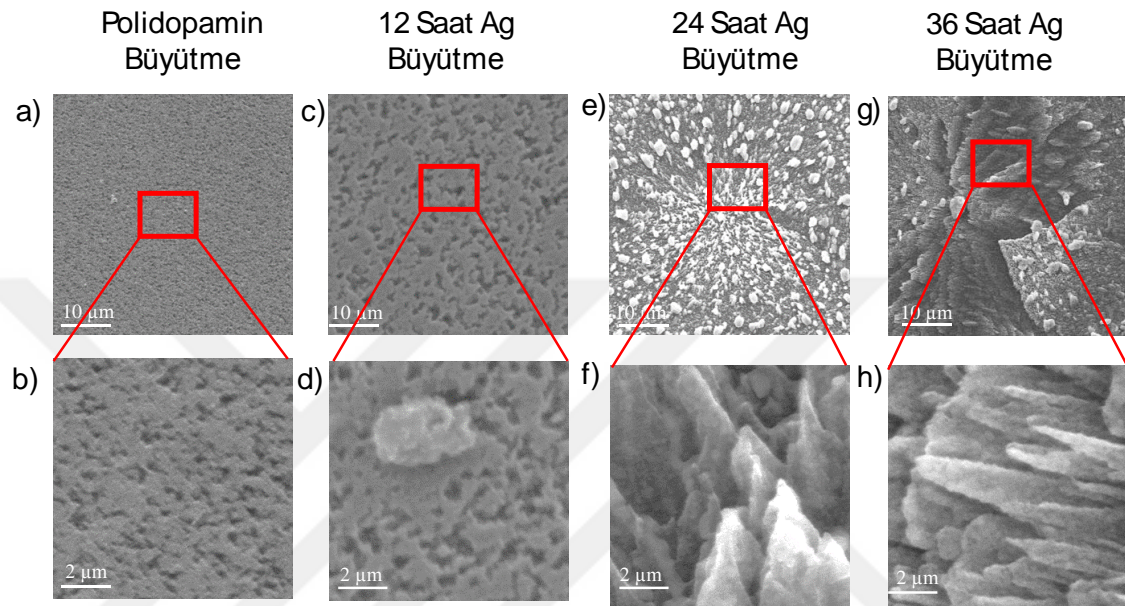
elde edilmiş olan Ag nanoyapılar görülmektedir. Yapısal olarak 12 saat büyütme şartlarında elde edilmiş Ag nanoyapılara göre daha düzgün ve düzenli bir şekilde büyüme gözlemlenmiştir. 150 °C’de tavllanmış olan altlığa göre daha düzenli yapılar elde edilmiştir. Büyümüş olan Ag nanoyapılar daha düzgün bir geometrik şekillere sahiptir. Bu durum 36 saatlik Ag büyütme süresinde de devam ederek daha düzenli yapıların altlık üzerinde büyümüştür. Şekil 14.g’deki ve h’deki SEM görüntülerinde Ag nano yapılar görülmektedir.



Şekil 14. 200 °C’de Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların SEM görüntüleri: a-b) PD kaplama, c-d) PD kaplama ve 12 saat gümüş büyütme, e-f) PD kaplama ve 24 saat gümüş büyütme, g-h) PD kaplama ve 36 saat gümüş büyütme.

250 °C’de tavllanmış olan numunelerin SEM görüntüleri şekil 15’te verilmiştir. Şekil 15.a’da ve b’de sadece dopamin etkisi sonucu elde edilen SEM görüntüleri sunulmuştur. Şekil 15.c’deki ve d’deki SEM görüntülerinde ise 12 saat gümüş tuzu çözeltisi içinde çalkalama sonucu yüzeyde büyümüş olan gümüş nano yapılar görülmemektedir. Bu sonuç, ile önceki 12 saatlik çalkalama sonuçları arasında belirgin bir farklılık vardır. Bu durum, PD kaplamadan ya da gümüş büyütme sürecindeki deneysel bir hatadan kaynaklanmış olabilir. Şekil 15.e’deki ve f’deki SEM görüntülerinde 24 saat gümüş büyütme süresince elde edilmiş olan Ag nanoyapılar görülmektedir. Yapısal olarak 12 saat büyütme şartlarında elde edilemeyen Ag nanoyapılar burada sivri mızrak şeklinde yapılar olarak ortaya çıkmaktadır. 150 °C’de ve 200 °C’de tavllanmış olan altlıklarda büyüyen Ag nanoyapılara göre daha farklı yapılar elde edilmiştir. Büyümüş olan Ag

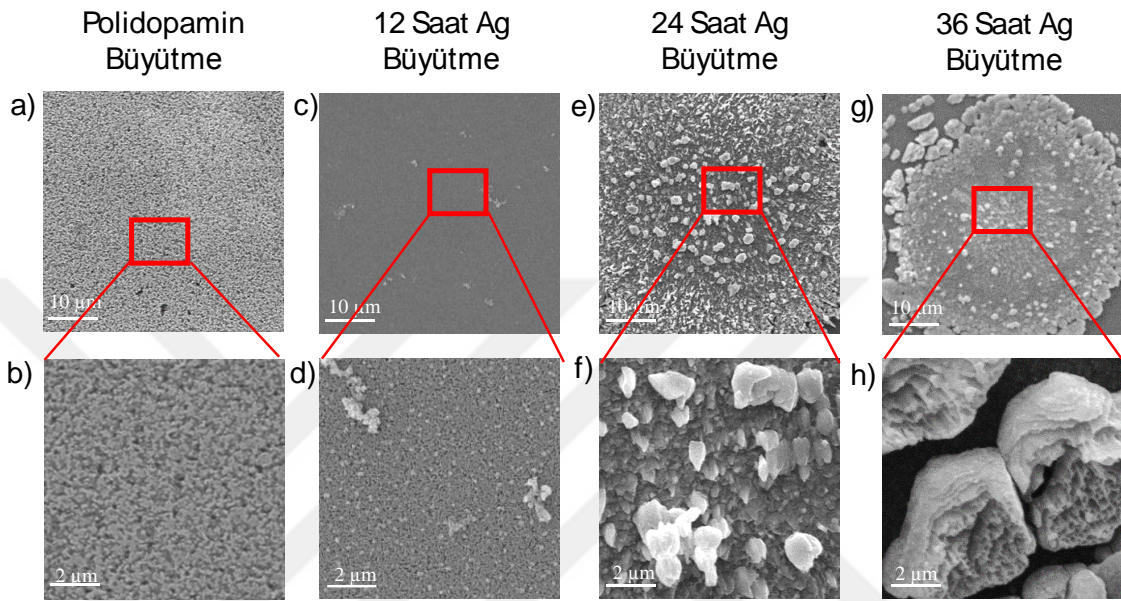
nanoyapılar daha piramit şeklindeki yapılarla ortaya çıkmaktadır. Bu durum 36 saatlik Ag büyütme süresinde de devam ederek daha sivri mızrak şeklindeki yapılara evrilererek altlık üzerinde büyümüşür. Şekil 15.g'deki ve h'deki SEM görüntülerinde Ag nano yapılar görülmektedir.



Şekil 15. 250 °C'de Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların SEM görüntüleri: a-b) PD kaplama, c-d) PD kaplama ve 12 saat gümüş büyütme, e-f) PD kaplama ve 24 saat gümüş büyütme, g-h) PD kaplama ve 36 saat gümüş büyütme.

Son olarak, 300 °C'de tavllanmış olan numunelerin SEM görüntüleri şekil 16'da verilmiştir. Şekil 16.a'da ve b'de sadece dopamin etkisi sonucu elde edilen SEM görüntüleri sunulmuştur. Şekil 16.c'deki ve d'deki SEM görüntülerinde ise 12 saat gümüş tuzu çözeltisi içinde çalkalama sonucu yüzeyde büyümüş olan gümüş nano yapılar görülmemektedir. Bu sonuç, ile önceki 12 saatlik çalkalama sonuçları arasında belirgin bir farklılık vardır. Aralarından boşluklar oluşmuş topaklanmış gümüş yapılar tavlama sonucu kristal kafes yapısının değişmesine atfedilebilir. Bu durumdaki farklılaşma bir önceki deneyde de ortaya çıkmıştır. Bu süreçte Ag nanoyapıların büyümesi için yeterli süreyi sahip olmadığı dolayısı ile düşünülmektedir. Şekil 16.e'deki ve f'deki SEM görüntülerinde 24 saat gümüş büyütme süresince elde edilmiş olan Ag nanoyapılar görülmektedir. Yapısal olarak 12 saat büyütme şartlarında elde edilen Ag nanoyapılar burada daha olgunlaşmış yapılar şeklinde ortaya çıkmaktadır. 150 °C'de ve 200 °C'de tavllanmış olan altlıklarda büyüyen Ag

nanoyapılara göre daha farklı yapılar elde edilmiştir. Bu durum 36 saatlik Ag büyütme süresinde de devam ederek daha büyük ve içi poroz yapılar şeklinde altlık üzerinde büyümüştür. Şekil 16.g'deki ve h'deki SEM görüntülerinde Ag nano yapılar görülmektedir.



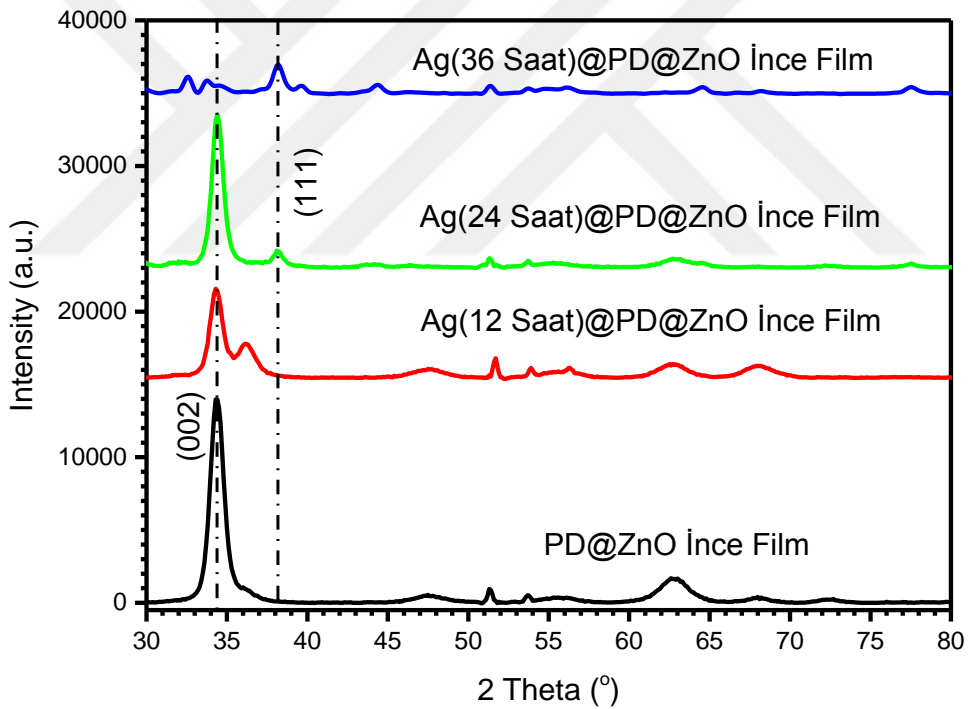
Şekil 16. 300 °C'de ısıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların SEM görüntüleri: a-b) PD kaplama, c-d) PD kaplama ve 12 saat gümüş büyütme, e-f) PD kaplama ve 24 saat gümüş büyütme, g-h) PD kaplama ve 36 saat gümüş büyütme.

3.1.2. Kristal yapı karakterizasyonu için yapılmış olan XRD analizleri

SEM ile morfolojik yapılar ve birbirlerinden farklılıkları bir önceki bölümde sunulmuştur. PD ile indirgeme sonucu ortaya çıkan gümüş nanoyapıların ZnO ince filmlerin farklı sıcaklıklarda tavlama sonucu kristalite değerlerinde ve tanecik boyutlarında değişimler olması öngörülmektedir. Bu değişimlerin sağlıklı bir şekilde gözlemlenip karakterize edilmesi için XRD analizleri yapılmıştır. Bu analizler aynı zamanda ZnO üzerine büyütülen Ag nanoyapıları, tavlama sonucu kristalite büyüklükleri değişen ZnO filmlerden etkilenerek nasıl farklılaştığının gözlemlenmesini sağlayacaktır.

İlk olarak herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmamış olan numune serisi için XRD analizleri yapılmıştır. Şekil 17'de ısıtma işlemi uygulanmamış numunelerin gümüş büyütmeden önceki ve sonraki XRD analizleri verilmiştir. Siyah olarak çizdirilmiş olan grafik, Si

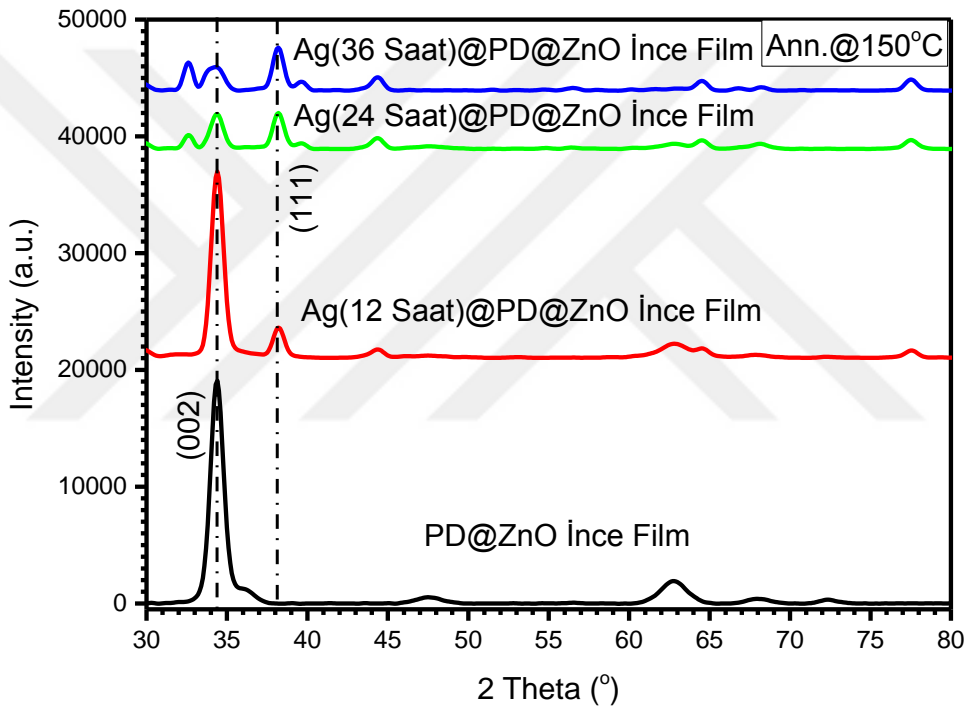
Altlık üzerine büyütülmüş ZnO ince filmin ısıtma uygulanmamış halinin XRD analizidir. Şekil 17’de Belirgin bir şekilde ortaya çıkan 34.4, 36.2, 47.5, 62.8, 67.9, 72.7 2-tetha değerleri ZnO’nun kristalografik düzlemlerine [(002), (101), (102), (103), (112), (004)] atfedilebilir. Bu kıyaslama için HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 00-036-1451 nolu pdf kullanılmıştır. Bunun yanı sıra PD sonrası gümüş büyütülmüş olan altlıklarda ortaya çıkan 38.1, 44.3, 64.4, 77.4 2-tetha değerleri, Ag nano yapıların kristalografik düzlemlerine [(111), (020), (022), (131)] atfedilebilir. Bu kıyaslama için HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 96-900-8460 nolu pdf kullanılmıştır. Bunların dışında 51.4 , 55.3, 2-tetha değerleri Si altlıktan geldiği HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 96-901-1057 nolu pdf’ten tespit edilmiştir.



Şekil 17. Isıtma işlemi uygulanmamış ZnO ince film kaplamaların ve farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların XRD analizleri

Şekil 18’de 150 °C ısıtma işlemi uygulanmış numunelerin gümüş büyütmeden önceki ve sonraki XRD analizleri verilmiştir. Siyah olarak çizdirilmiş olan grafik, Si Altlık üzerine büyütülmüş ZnO ince filmin ısıtma uygulanmamış halinin XRD analizidir. Şekil 17’de Belirgin bir şekilde ortaya çıkan 34.4, 36.2, 47.5, 62.8, 67.9, 72.7 2-tetha değerleri ZnO’nun kristalografik düzlemlerine [(002), (101), (102), (103), (112), (004)]

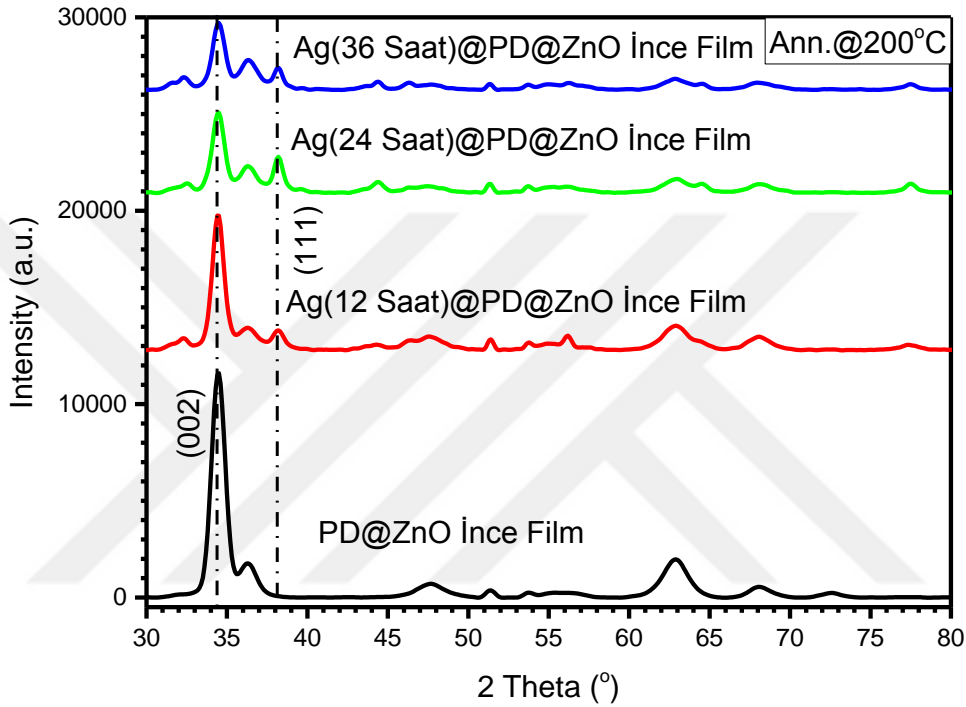
atfedilebilir. Bu kıyaslama için HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 00-036-1451 nolu pdf kullanılmıştır. Bunun yanı sıra PD sonrası gümüş büyütülmüş olan altlıklarda ortaya çıkan 38.1, 44.3, 64.4, 77.4 2-tetha değerleri, Ag nano yapıların kristalografik düzlemlerine [(111), (020), (022), (131)] atfedilebilir. Bu kıyaslama için HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 96-900-8460 nolu pdf kullanılmıştır. Bunların dışında 51.4 , 55.3, 2-tetha değerleri Si altlıktan geldiği HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 96-901-1057 nolu pdf'ten tespit edilmiştir.



Şekil 18. 150 °C'de ısıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve bu altlıklara farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların XRD analizleri

Şekil 19'de 200 °C ısıtma işlemi uygulanmış numunelerin gümüş büyütmeden önceki ve sonraki XRD analizleri verilmiştir. Siyah olarak çizdirilmiş olan grafik, Si Altlık üzerine büyütülmüş ZnO ince filmin ısıtma uygulanmamış halinin XRD analizidir. Şekil 17'de Belirgin bir şekilde ortaya çıkan 34.4, 36.2, 47.5, 62.8, 67.9, 72.7 2-tetha değerleri ZnO'nun kristalografik düzlemlerine [(002), (101), (102), (103), (112), (004)] atfedilebilir. Bu kıyaslama için HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 00-036-1451 nolu pdf kullanılmıştır. Bunun yanı sıra PD sonrası gümüş büyütülmüş olan altlıklarda ortaya çıkan 38.1, 44.3, 64.4, 77.4 2-tetha değerleri, Ag nano yapıların

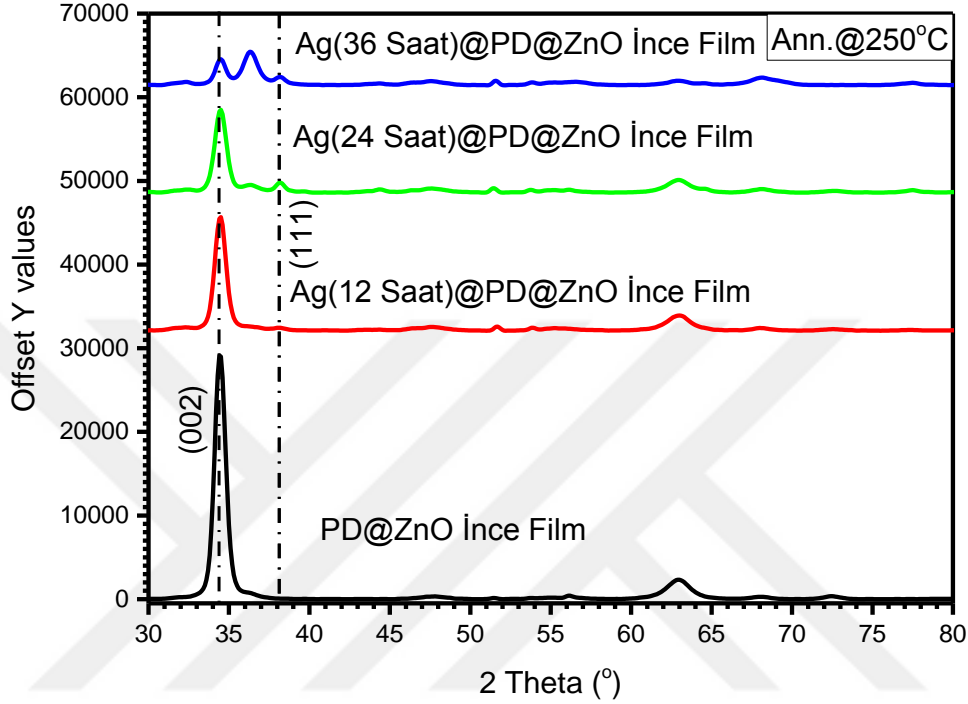
kristalografik düzlemlerine [(111), (020), (022), (131)] atfedilebilir. Bu kıyaslama için HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 96-900-8460 nolu pdf kullanılmıştır. Bunların dışında 51.4 , 55.3, 2-tetha değerleri Si altlıktan geldiği HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 96-901-1057 nolu pdf'ten tespit edilmiştir.



Şekil 19. 200 °C'de ısıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve bu altlıklara farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların XRD analizleri

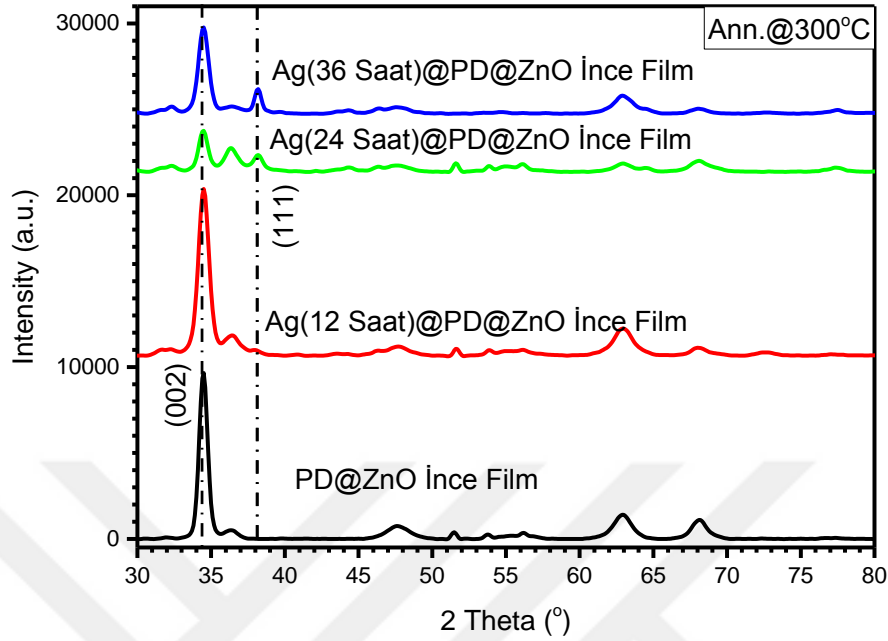
Şekil 20'de 250 °C ısıtma işlemi uygulanmış numunelerin gümüş büyütmeden önceki ve sonraki XRD analizleri verilmiştir. Siyah olarak çizdirilmiş olan grafik, Si Altlık üzerine büyütülmüş ZnO ince filmin ısıtma uygulanmamış halinin XRD analizidir. Şekil 17'de Belirgin bir şekilde ortaya çıkan 34.4, 36.2, 47.5, 62.8, 67.9, 72.7 2-tetha değerleri ZnO'nun kristalografik düzlemlerine [(002), (101), (102), (103), (112), (004)] atfedilebilir. Bu kıyaslama için HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 00-036-1451 nolu pdf kullanılmıştır. Bunun yanı sıra PD sonrası gümüş büyütülmüş olan altlıklarda ortaya çıkan 38.1, 44.3, 64.4, 77.4 2-tetha değerleri, Ag nano yapıların kristalografik düzlemlerine [(111), (020), (022), (131)] atfedilebilir. Bu kıyaslama için HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 96-900-8460 nolu pdf kullanılmıştır.

Bunların dışında 51.4 , 55.3, 2-tetha değerleri Si altlıktan geldiği HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 96-901-1057 nolu pdf'ten tespit edilmiştir.



Şekil 20. 250 °C'de ısıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve bu altlıklara farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların XRD analizleri

Şekil 21'de 300 °C ısıtma işlemi uygulanmış numunelerin gümüş büyütmeden önceki ve sonraki XRD analizleri verilmiştir. Siyah olarak çizdirilmiş olan grafik, Si Altlık üzerine büyütülmüş ZnO ince filmin ısıtma uygulanmamış halinin XRD analizidir. Şekil 17'de Belirgin bir şekilde ortaya çıkan 34.4, 36.2, 47.5, 62.8, 67.9, 72.7 2-tetha değerleri ZnO'nun kristalografik düzlemlerine [(002), (101), (102), (103), (112), (004)] atfedilebilir. Bu kıyaslama için HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 00-036-1451 nolu pdf kullanılmıştır. Bunun yanı sıra PD sonrası gümüş büyütülmüş olan altlıklarda ortaya çıkan 38.1, 44.3, 64.4, 77.4 2-tetha değerleri, Ag nano yapıların kristalografik düzlemlerine [(111), (020), (022), (131)] atfedilebilir. Bu kıyaslama için HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 96-900-8460 nolu pdf kullanılmıştır. Bunların dışında 51.4 , 55.3, 2-tetha değerleri Si altlıktan geldiği HIGHSCORE programının kütüphanesindeki 96-901-1057 nolu pdf'ten tespit edilmiştir.



Şekil 21. 300 °C'de ısıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve bu altlıklara farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların XRD analizleri

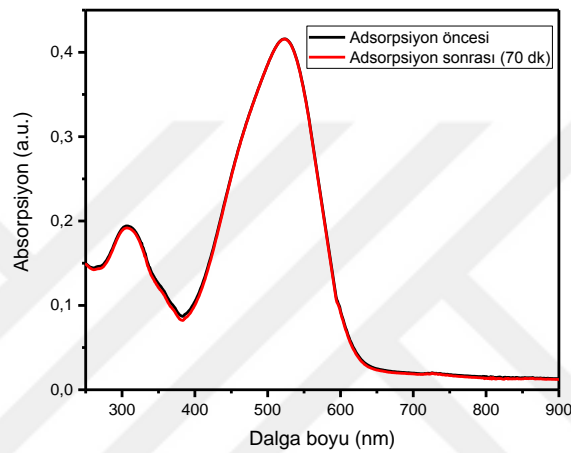
3.2. Ag@ZnO hibrit altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testleri

ZnO ince filmlerin üzerine Ag yapıların, ZnO ince filmlerin etkisi ile değişen yapılarının boyar moleküllerin bozunmasındaki etkilerinin incelenmesi için UV-Vis spektrometre ile analizler yapılmıştır. Üzerine Ag büyütülmüş hibrit Ag@ZnO altlıkların sabitlendiği bir behere 50 ppm konsantrasyonlu Metil turucusu çözeltisi ve 1 ml 1 M'lık NaBH eklenerek karıştırma süreci başlatılmıştır. Karışımın ilk anında alınan 1 ml'lik örnek UV-Vis spektrometrede analiz edilmiştir. Daha sonra 3. dakika, 5. dakika ve sonrasında ilk yarım saat boyunca her 5 dk.'da bir sonrasında ise 15'dk bir örnekler alınarak UV-Vis spektrometrede analizleri yapılmıştır. Bu analizler 60. Dakikadaki ölçümle sonlandırılmıştır.

3.2.1. Isıtma işlemi uygulanmamış ZnO ince film kaplanmış altlık için referans çalışmaları

ZnO kaplanmış olan Si altlıkların boyar madde bozma kabiliyetlerinin Ag büyütme ile nasıl evrildiğinin anlaşılması için Ag büyütülmemiş ZnO ince film kaplamalar için

adsorpsiyon testi birkaç deney yapıldı. Bunlardan ilki olan adsorpsiyon testi için Ag@ZnO numune 70 dk. boyunca 50 ml 50 ppm MO çözeltisinde bekletilmiştir. Daha sonra bu çözeltiden 1 ml alınarak UV-Vis spektrometrede adsorpsiyon spektrumu alınmıştır. Şekil 22’de Solüsyondan alınmış olan ilk spektrum ve 70 dk sonraki son spektrum verilmiştir. İki spektrum arasında %0,0007’lik bir değişim gerçekleşmiştir. Bu değişim, Ag@ZnO altlığı MO’nun adsorpsiyonu sonucu oluştuğu kabul edilebilir.

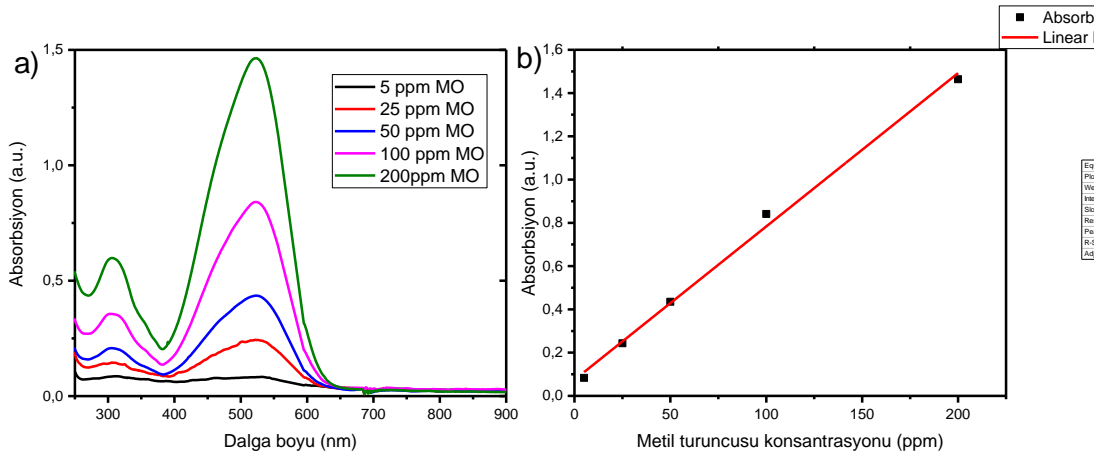


Şekil 22. Ag@ZnO altlığın absorpladığı MO miktarını gösteren UV-Vis spektrometre sonuçları

Bunun yanı sıra, ölçüm sonuçlarının doğruluğu kontrol etmek için bir kalibrasyon doğrusuna da ihtiyaç vardır. Bu kalibrasyon doğrusunun elde edilmesi için farklı konsantrasyonlardaki (5, 25, 50, 100, 200 ppm) MO çözeltileri UV-Vis spektrometrede adsorpsiyon ölçümleri yapıldı. Şekil 23.a’da ölçümlerin sonuçları verilmektedir. Ayrıca bu ölçümler sonucunda elde edilen adsorpsiyon spektrumlarının 522 nm’deki adsorpsiyon değerlerinin, konsantrasyona göre değişimi gösteren grafik ve bu grafikte eşleştirilmiş olarak çizilen kalibrasyon doğrusu şekil 23.b’de verilmiştir. Elde edilen kalibrasyon doğrusu;

$$\text{Adsorpsiyon} = 0,007 \cdot \text{konsantrasyon} + 0,07449 \quad (2)$$

Denklemini ile verilebilmektedir. Eğri, eşleştirme denklemi (2) ile iyi uyum göstermektedir. UV-Vis spektrometrede ölçülen adsorpsiyona karşılık belirlenmiş konsantrasyonlar arasında 0,996’lik bir belirleme katsayısı (R^2) ile iyi bir eşleşme olduğu gözlemlenmiştir.



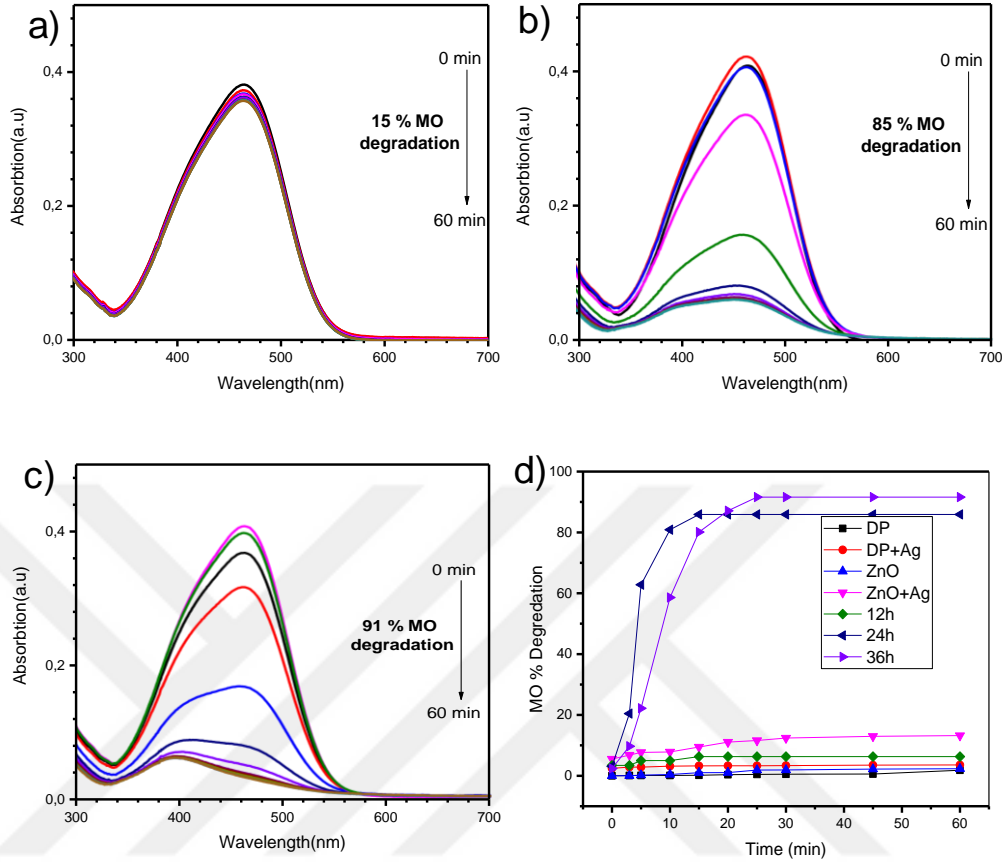
Şekil 23. Farklı konsantrasyonlardaki MO çözeltilerinin UV-Vis spektrometrede ölçülmü olan absorpsiyon değerleri (a) ve bu verilerden elde edilmiş olan kalibrasyon doğrusu (b).

3.2.2. Isıtma işlemi uygulanmamış ZnO ince film kaplamaların ve farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgededeki performans testleri

Ag@ZnO altlıkların boyar madde bozma performanslarının incelemesi için belirli sürelerde solüsyonlar alınan örneklerin UV-Vis spektrometrede ölçülmesiyle ortaya çıkan absorpsiyon farklılıkları kullanılmıştır. Zamana bağlı olan bu değişim, Ag@ZnO altlıkların boyar molekül bozma performansının bir göstergesi olarak kullanılmıştır.

Boyar madde bozunumu kullanılarak Ag@ZnO altlıkların katalitik performansları incelenmiştir. İlk olarak Isıtma işlemi uygulanmamış olan altlık ile üretilmiş Ag@ZnO yapıların performansları incelenmiştir. Bunun için farklı sürelerde Ag büyütme mârüz bırakılmış altlıklarda katalitik deneyleri yapılmıştır. Şekil 24'de farklı gümüş büyütme süreleri (12 saat, 24 saat, 36 saat) maruz bırakılmış altlıkların katalitik performanslarıyla metilen turuncusunu bozma kabiliyetleri incelenmiştir. Şekil 24.a'da 12 saat gümüş büyütme mârüz bırakılmış olan numunenin katalitik performansını gösteren farklı sürelerde alınmış olan UV-Vis grafikleri gösterilmektedir. Grafikteki MO'nun soğurma spektrumunda kayda değer bir değişim gözlemlenmemektedir. Bu da MO'nun herhangi bir bozulmaya mârüz kalmadığı çıkarılabilir. SEM görüntülerini ve XRD analizlerinde Ag'nin varlığının görülmemesi bu durumun sebebi olarak gösterilebilir. Şekil 24.b'de MO'nun absorpsiyon spektrumunda bir azalma görülmektedir. 60. dk'daki ölçümün spektrumdaki 523 nm'deki absorpsiyon değeri göz önünde bulundurulduğuna %85'lik bir

azalma görülmektedir. Bu azalma, Ag@ZnO hibrit yapıda büyümüş olan Ag nano yapıların katalitik etkiyi güçlendirmesi ortaya çıkmıştır. Şekil 24.c'deki 36 saatlik Ag büyütme maruz bırakılmış olan numunede absorpsiyon spektrumunun azalması 60. dk'da %91'lere inmiştir. Bu durum Ag@ZnO hibrit yapılardaki Ag miktarının artmış olmasına atfedilebilir. Bu durum Ag nanoyapıların, Ag@ZnO hibrit yapılardaki miktarının, katalitik etkiler üzerinde dramatik bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Ag nanoyapı konsantrasyonundaki değişim sonucu ortaya çıkan katalitik etki, boyar madde bozma performansında değişimlere sebep olmaktadır. Katalitik performans sonuçlarının kıyaslanması için Şekil 24.d'deki grafikte, farklı Ag nanoyapı içeren Ag@ZnO hibrit yapıların ve Ag nano yapı içermeyen DP, ZnO, DP@ZnO ve Ag@DP kaplı altlıkların katalitik performanslarının zamana göre MO indirgeme performansları verilmiştir. Grafikteki verilere dayanarak 36 saat gümüş büyütme maruz bırakılan Ag@ZnO hibrit altlık boyar madde olan MO'nun bozunmasında %91'lik bir etkiyi 60 dakikanın sonunda göstermiştir.

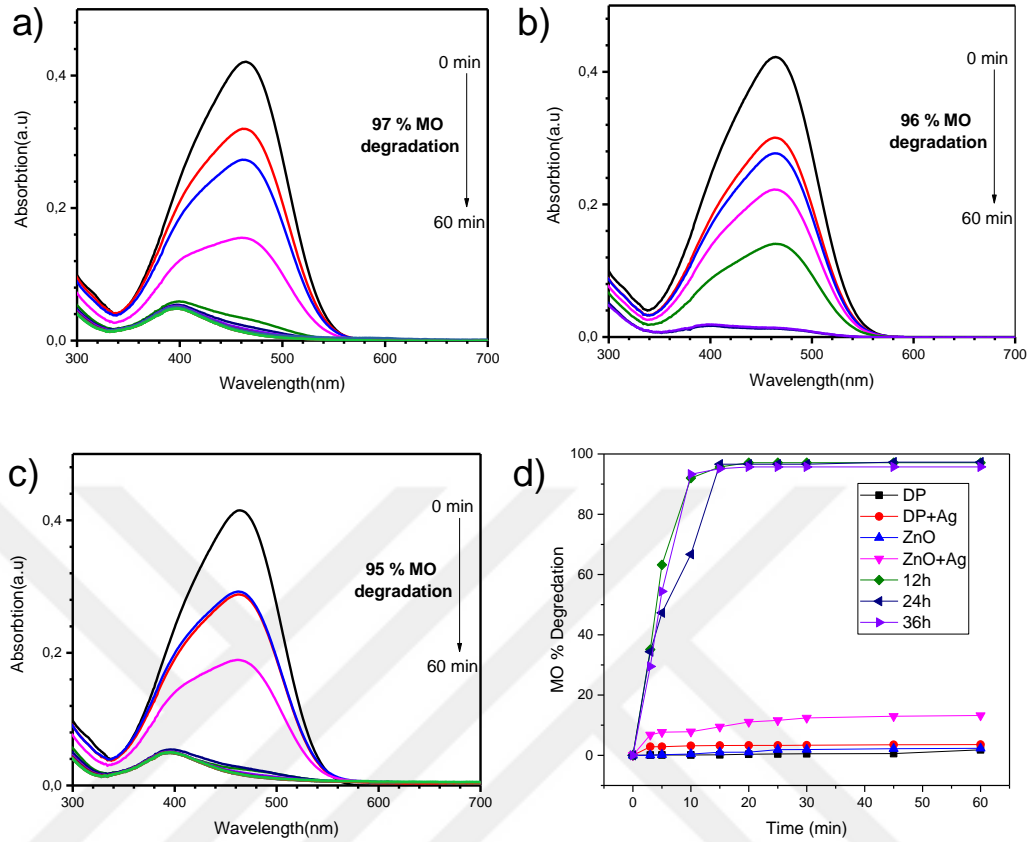


Şekil 24. Isıtma işlemi uygulanmamış ZnO ince filmlerin farklı sürelerde [12 saat (a), 24 saat (b), 36 saat (c)] Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testlerinden elde edilen UV-Vis spektrometre sonuçları ve yüzde miktarda boyar madde bozunma oranları (d).

3.2.3. 150 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamalarının ve farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testleri

Isıtma işlemi uygulanmamış olan altlıkların performanslarından yola çıkarak Ag nano yapıların kontrolünün katalitik reaksiyonlarda kritik rol oynadığını söyleyebiliriz. Bu yüzden Ag nanoyapıların büyütüldüğü ZnO ince filmlerin tavlama ıslahı Ag nano yapılar üzerine farklı etkiler gösterebileceği ön görülmüştür. İlk olarak 150 °C ısıtma işlemi uygulanmış olan altlık ile üretilmiş Ag@ZnO yapıların performansları incelenmiştir. Bunun için farklı sürelerde Ag büyütmeye mâruz bırakılmış altlıklarda katalitik deneyleri yapılmıştır. Şekil 25’de farklı gümüş büyütme süreleri (12 saat, 24 saat, 36 saat) maruz bırakılmış altlıkların katalitik performanslarıyla metilen

turuncusunu bozma kabiliyetleri incelenmiştir. Şekil 25.a'da 12 saat gümüş büyütme maruz bırakılmış olan numunenin katalitik performansını gösteren farklı sürelerde alınmış olan UV-Vis grafikleri gösterilmektedir. Şekil 25.a'daki grafikte, MO'nun soğurma spektrumunda kayda değer bir değişim gözlemlenmektedir. 60. dakikada alınmış olan Absorpsiyon spektrumunda % 97'lik bir azalma görülmektedir. SEM görüntülerini ve XRD analizlerinde Ag'nin varlığının görülmesi bu durumun sebebi olarak gösterilebilir. Şekil 25.b'de MO'nun absorpsiyon spektrumunda bir azalma görülmektedir. 60. dk'daki ölçümün spektrumdaki 523 nm'deki absorpsiyon değeri göz önünde bulundurulduğuna %96'lık bir azalma görülmektedir. Bu azalma, Ag@ZnO hibrit yapıda büyümüş olan Ag nano yapıların katalitik etkiyi güçlendirmesi ortaya çıkmıştır. Şekil 25.c'deki 36 saatlik Ag büyütme maruz bırakılmış olan numunede absorpsiyon spektrumunun azalması 60. dk'da %95'lere inmiştir. Bu durum Ag@ZnO hibrit yapılarıdaki Ag miktarının artmış olmasına atfedilebilir. Bu durum Ag nanoyapıların, Ag@ZnO hibrit yapılarıdaki miktarının, katalitik etkiler üzerinde dramatik bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Ag nanoyapı konsantrasyonundaki değişim sonucu ortaya çıkan katalitik etki, boyar madde bozma performansında değişimlere sebep olmaktadır. Katalitik performans sonuçlarının kıyaslanması için Şekil 25.d'deki grafikte, farklı Ag nanoyapı içeren Ag@ZnO hibrit yapıların ve Ag nano yapı içermeyen DP, ZnO, DP@ZnO ve Ag@DP kaplı altlıkların katalitik performanslarının zamana göre MO indirgeme performansları verilmiştir. Grafikteki verilere dayanarak 12 saat gümüş büyütme maruz bırakılan Ag@ZnO hibrit altlık boyar madde olan MO'nun bozunmasında %97'lik bir etkiyi 60 dakikanın sonunda göstermiştir.

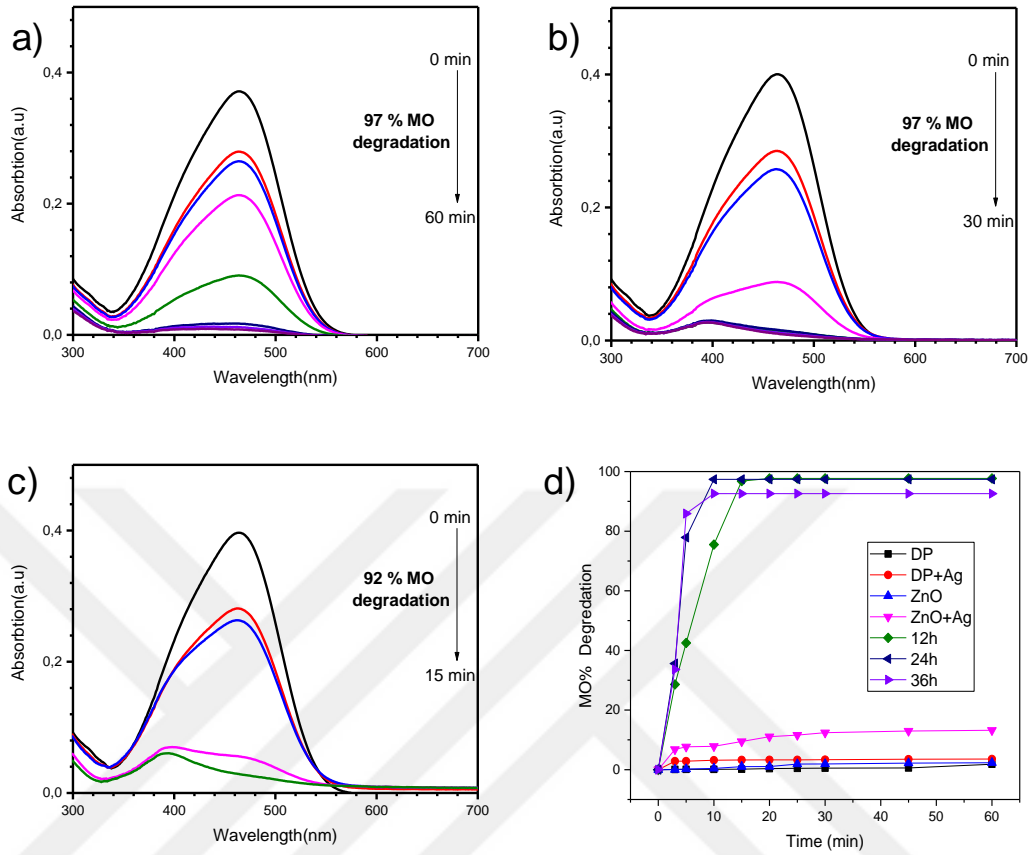


Şekil 25. 150 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince filmlerin farklı sürelerde [12 saat (a), 24 saat (b), 36 saat (c)] Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testlerinden elde edilen UV-Vis spektrometre sonuçları ve yüzde miktarda boyar madde bozunma oranları (d).

3.2.4. 200 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testleri

200 °C ısıtma işlemi uygulanmış olan altlık ile üretilmiş Ag@ZnO yapıların performansları incelenmiştir. Bunun için farklı sürelerde Ag büyütmeye maruz bırakılmış altlıklarda katalitik deneyleri yapılmıştır. Şekil 26'da farklı gümüş büyütme süreleri (12 saat, 24 saat, 36 saat) maruz bırakılmış altlıkların katalitik performanslarıyla metilen turuncusunu bozma kabiliyetleri incelenmiştir. Şekil 26.a'da 12 saat gümüş büyütme maruz bırakılmış olan numunenin katalitik performansını gösteren farklı sürelerde alınmış olan UV-Vis grafikleri gösterilmektedir. Şekil 26.a'daki grafikte, MO'nun soğurma spektrumunda kayda değer bir değişim gözlemlenmektedir. 60.

dakikada alınmış olan Absorpsiyon spektrumunda % 97'lik bir azalma görülmektedir. SEM görüntülerini ve XRD analizlerinde Ag'nin varlığının görülmesi bu durumun sebebi olarak gösterilebilir. Şekil 26.b'de MO'nun absorpsiyon spektrumunda bir azalma görülmektedir. 30. dk'daki ölçümün spektrumdaki 523 nm'deki absorpsiyon değeri göz önünde bulundurulduğuna %97'lik bir azalma görülmektedir. Bu azalma, Ag@ZnO hibrit yapıda büyümüş olan Ag nano yapıların katalitik etkiyi güçlendirmesi ortaya çıkmıştır. Şekil 26.c'deki 36 saatlik Ag büyütme maruz bırakılmış olan numunede absorpsiyon spektrumunun azalması 15. dk'da %92'lere inmiştir. Bu durum Ag@ZnO hibrit yapılarıdaki Ag miktarının artmış olmasına atfedilebilir. Bu durum Ag nanoyapıların, Ag@ZnO hibrit yapılarıdaki miktarının, katalitik etkiler üzerinde dramatik bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Ag nanoyapı konsantrasyonundaki değişim sonucu ortaya çıkan katalitik etki, boyar madde bozma performansında değişimlere sebep olmaktadır. Katalitik performans sonuçlarının kıyaslanması için Şekil 26.d'deki grafikte, farklı Ag nanoyapı içeren Ag@ZnO hibrit yapıların ve Ag nano yapı içermeyen DP, ZnO, DP@ZnO ve Ag@DP kaplı altlıkların katalitik performanslarının zamana göre MO indirgeme performansları verilmiştir. Grafikteki verilere dayanarak 24 saat gümüş büyütme maruz bırakılan Ag@ZnO hibrit altlık boyar madde olan MO'nun bozunmasında %97'lik bir etkiyi 30 dakikanın sonunda göstermiştir. Ayrıca 36 saat gümüş büyütme maruz bırakılan Ag@ZnO hibrit altlık boyar madde olan MO'nun bozunmasında %92'lük bir etkiyi 15 dakikanın sonunda göstermiştir. Burada kritik olan kısım, 36 saat gümüş büyütme yapılmış olan altlık daha hızlı bir katalitik etki göstermiştir.

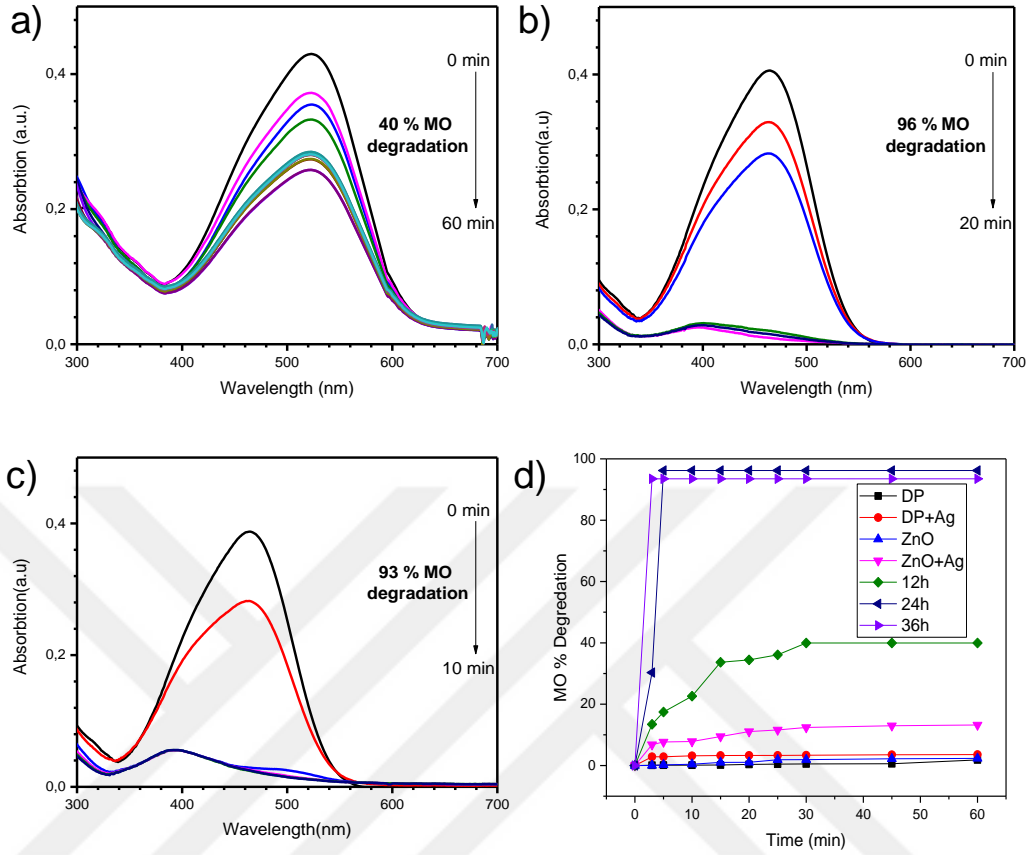


Şekil 26. 200 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince filmlerin farklı sürelerde [12 saat (a), 24 saat (b), 36 saat (c)] Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testlerinden elde edilen UV-Vis spektrometre sonuçları ve yüzde miktarda boyar madde bozunma oranları (d).

3.2.5. 250 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testleri

250 °C ısıtma işlemi uygulanmış olan altlık ile üretilmiş Ag@ZnO yapıların performansları incelenmiştir. Bunun için farklı sürelerde Ag büyütme mârüz bırakılmış altlıklarda katalitik deneyleri yapılmıştır. Şekil 27'de farklı gümüş büyütme süreleri (12 saat, 24 saat, 36 saat) maruz bırakılmış altlıkların katalitik performanslarıyla metilen turuncusunu bozma kabiliyetleri incelenmiştir. Şekil 27.a'da 12 saat gümüş büyütme mârüz bırakılmış olan numunenin katalitik performansını gösteren farklı sürelerde alınmış olan UV-Vis grafikleri gösterilmektedir. Şekil 27.a'daki grafikte, MO'nun soğurma spektrumunda kayda değer bir değişim gözlemlenmektedir. 60.

dakikada alınmış olan Absorpsiyon spektrumunda %40'lik bir azalma görülmektedir. SEM görüntülerini ve XRD analizlerinde Ag'nin varlığının görülmesi bu durumun sebebi olarak gösterilebilir. Şekil 27.b'de MO'nun absorpsiyon spektrumunda bir azalma görülmektedir. 20. dk'daki ölçümün spektrumdaki 523 nm'deki absorpsiyon değeri göz önünde bulundurulduğuna %96'lık bir azalma görülmektedir. Bu azalma, Ag@ZnO hibrit yapıda büyümüş olan Ag nano yapıların katalitik etkiyi güçlendirmesi ortaya çıkmıştır. Şekil 27.c'deki 36 saatlik Ag büyütme maruz bırakılmış olan numunede absorpsiyon spektrumunun azalması 10. dk'da %93'lere inmiştir. Bu durum Ag@ZnO hibrit yapıdaki Ag miktarının artmış olmasına atfedilebilir. Bu durum Ag nanoyapıların, Ag@ZnO hibrit yapıdaki miktarının, katalitik etkiler üzerinde dramatik bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Ag nanoyapı konsantrasyonundaki değişim sonucu ortaya çıkan katalitik etki, boyar madde bozma performansında değişimlere sebep olmaktadır. Katalitik performans sonuçlarının kıyaslanması için Şekil 27.d'deki grafikte, farklı Ag nanoyapı içeren Ag@ZnO hibrit yapıların ve Ag nano yapı içermeyen DP, ZnO, DP@ZnO ve Ag@DP kaplı altlıkların katalitik performanslarının zamana göre MO indirgeme performansları verilmiştir. Grafikteki verilere dayanarak 24 saat gümüş büyütme maruz bırakılan Ag@ZnO hibrit altlık boyar madde olan MO'nun bozunmasında %96'lık bir etkiyi 20 dakikanın sonunda göstermiştir. Ayrıca 36 saat gümüş büyütme maruz bırakılan Ag@ZnO hibrit altlık boyar madde olan MO'nun bozunmasında %93'lük bir etkiyi 10 dakikanın sonunda göstermiştir. Burada kritik olan kısım, 36 saat gümüş büyütme yapılmış olan altlık daha hızlı bir katalitik etki göstermiştir.

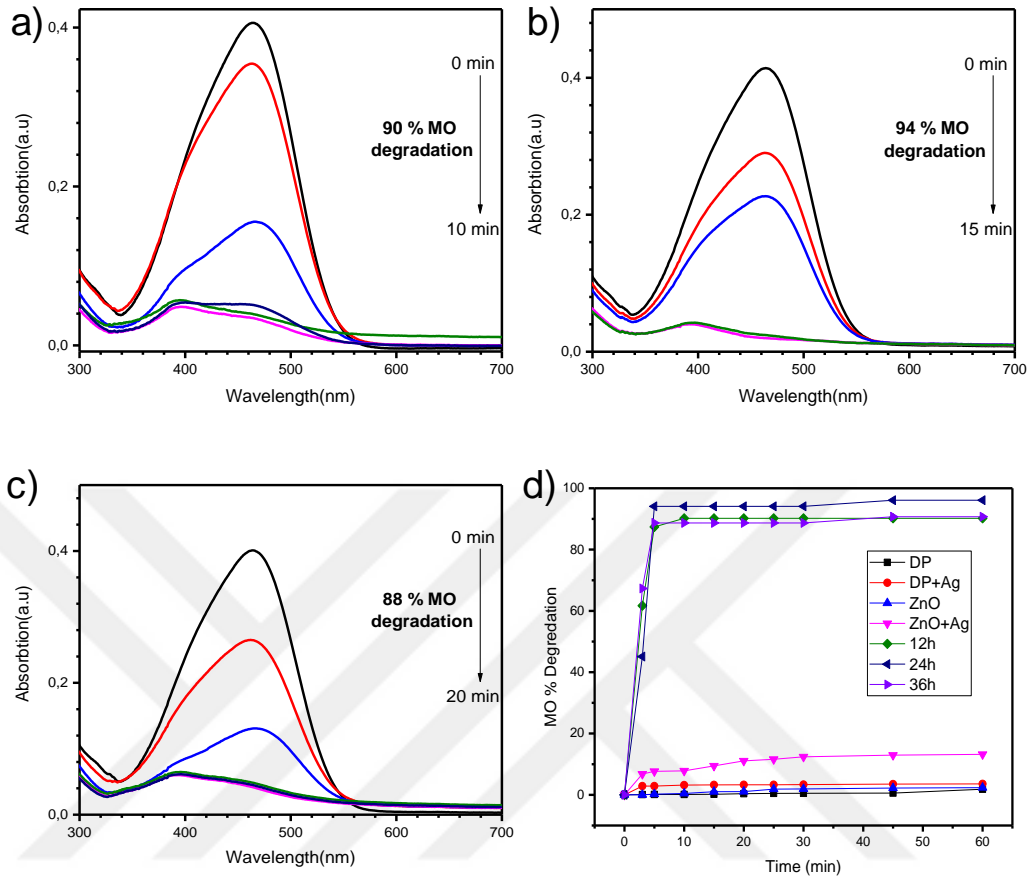


Şekil 27. 250 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince filmlerin farklı sürelerde [12 saat (a), 24 saat (b), 36 saat (c)] Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testlerinden elde edilen UV-Vis spektrometre sonuçları ve yüzde miktarda boyar madde bozunma oranları (d).

3.2.6. 300 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince film kaplamaların ve farklı sürelerde Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testleri

300 °C ısıtma işlemi uygulanmış olan altlık ile üretilmiş Ag@ZnO yapıların performansları incelenmiştir. Bunun için farklı sürelerde Ag büyütme mârüz bırakılmış altlıklarda katalitik deneyleri yapılmıştır. Şekil 28'de farklı gümüş büyütme süreleri (12 saat, 24 saat, 36 saat) maruz bırakılmış altlıkların katalitik performanslarıyla metilen turuncusunu bozma kabiliyetleri incelenmiştir. Şekil 28.a'da 12 saat gümüş büyütme mârüz bırakılmış olan numunenin katalitik performansını gösteren farklı sürelerde alınmış olan UV-Vis grafikleri gösterilmektedir. Şekil 28.a'daki grafikte, MO'nun soğurma spektrumunda kayda değer bir değişim gözlemlenmektedir. 10.

dakikada alınmış olan Absorpsiyon spektrumunda %90'lık bir azalma görülmektedir. SEM görüntülerini ve XRD analizlerinde Ag'nin varlığının görülmesi bu durumun sebebi olarak gösterilebilir. Şekil 28.b'de MO'nun absorbands spektrumunda bir azalma görülmektedir. 15. dk'daki ölçümün spektrumdaki 523 nm'deki absorbands değeri göz önünde bulundurulduğuna %94'lik bir azalma görülmektedir. Bu azalma, Ag@ZnO hibrit yapıda büyümüş olan Ag nano yapıların katalitik etkiyi güçlendirmesi ortaya çıkmıştır. Şekil 28.c'deki 36 saatlik Ag büyütme maruz bırakılmış olan numunede absorpsiyon spektrumunun azalması 20. dk'da %88'lere inmiştir. Bu durum Ag@ZnO hibrit yapılarıdaki Ag miktarının artmış olmasına atfedilebilir. Bu durum Ag nanoyapıların, Ag@ZnO hibrit yapılarıdaki miktarının, katalitik etkiler üzerinde dramatik bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Ag nanoyapı konsantrasyonundaki değişim sonucu ortaya çıkan katalitik etki, boyar madde bozma performansında değişimlere sebep olmaktadır. Katalitik performans sonuçlarının kıyaslanması için Şekil 28.d'deki grafikte, farklı Ag nanoyapı içeren Ag@ZnO hibrit yapıların ve Ag nano yapı içermeyen DP, ZnO, DP@ZnO ve Ag@DP kaplı altlıkların katalitik performanslarının zamana göre MO indirgeme performansları verilmiştir. Grafikteki verilere dayanarak 24 saat gümüş büyütme maruz bırakılan Ag@ZnO hibrit altlık boyar madde olan MO'nun bozunmasında %94'lik bir etkiyi 5 dakikanın sonunda göstermiştir. Ayrıca 36 saat gümüş büyütme maruz bırakılan Ag@ZnO hibrit altlık boyar madde olan MO'nun bozunmasında %88'lük bir etkiyi 10 dakikanın sonunda göstermiştir. Burada kritik olan kısım, 36 saat gümüş büyütme yapılmış olan altlık daha hızlı bir katalitik etki göstermiştir.



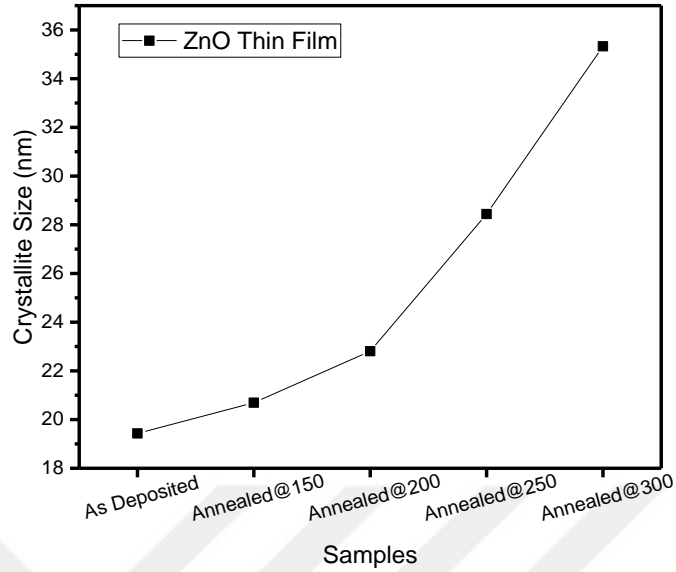
Şekil 28. 300 °C Isıtma işlemi uygulanmış ZnO ince filmlerin farklı sürelerde [12 saat (a), 24 saat (b), 36 saat (c)] Ag büyütülmüş altlıkların Katalitik altlık olarak Boyar madde indirgemedeki performans testlerinden elde edilen UV-Vis spektrometre sonuçları ve yüzde miktarda boyar madde bozunma oranları (d).

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

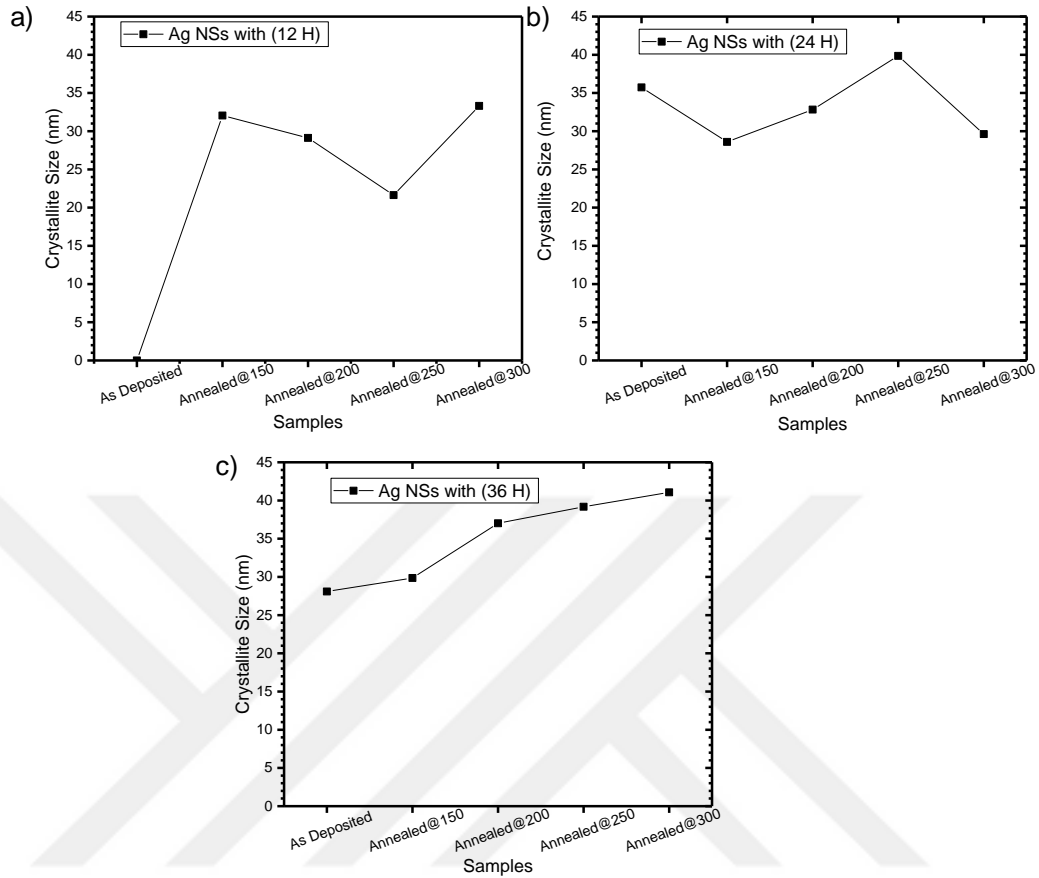
Bu tez çalışmasında, saçtırma (sputtering) fiziksel buhar biriktirme yöntemi Si alttaşlar üzerine ZnO ince filmler büyütülmüştür. Bu ince filmler, Ag nanoyapıların kontrollü bir şekilde büyütülebilmesi için PD ile kaplanmıştır. PD yardımı ile ZnO altlıklar üzerine Ag nanoyapılar büyütülmüştür. Bu Ag nanoyapıların formları, ZnO altlıkların tavlama ile nasıl değiştiği incelenmiştir. Ayrıca bir uygulama olarak, ZnO altlıklar üzerine büyütülmüş olan Ag nanoyapıların birlikte oluşturduğu Ag@ZnO hibrit altlıkların boyar maddelerin bertarafı için kullanılmıştır. Özellikler farklı sıcaklıklarda tavlama ile ZnO altlıkların, PD yardımı ile üzerine büyütülmüş olan Ag nano yapıların yapısal değişimleri SEM ve XRD analizleri ile incelenmiştir.

İlk olarak, ZnO ince filmlerin ısıtma sonrası kristalite büyüklüklerinin nasıl değiştiğini XRD analizleri ile inceledik. Şekil 29'da ZnO ince filmlerin debye scherrer formülü ile hesaplanmış kristalite büyüklükleri verilmiştir. Sıcaklık arttıkça, kristalite değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu durum, küçük ve amorf ZnO taneciklerin daha büyük yapılara dönüşmesi sonucu ortaya çıkmış olabilir. Tanecik yapıların değişiminin ve büyümesinin, Ag nanoyapılar üzerine olan etkisi de incelenmiştir.



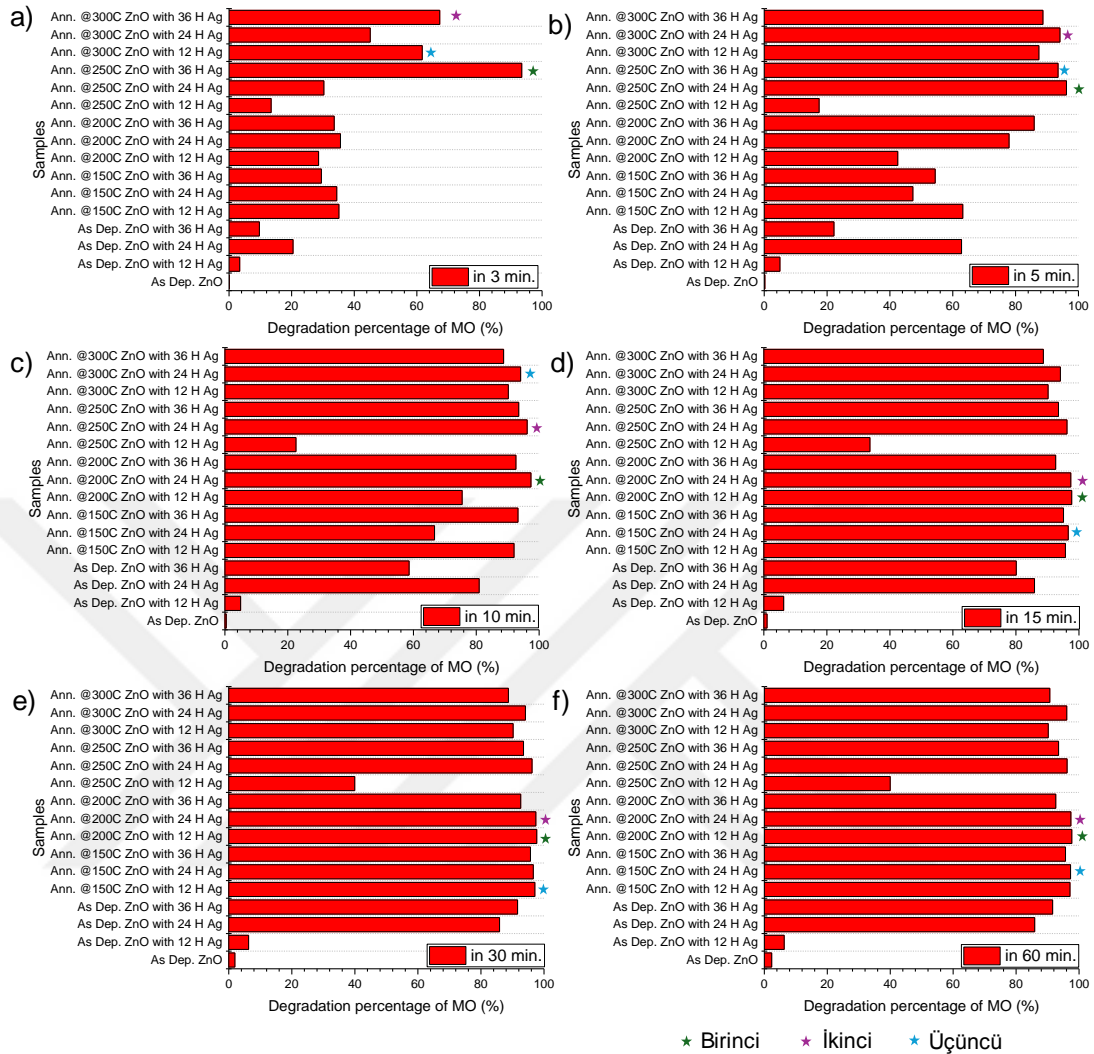
Şekil 29. ZnO ince filmlerin XRD analizlerinde hesaplanmış kristalite değerleri

Şekil 30'da farklı sürelerde Ag büyütme maruz bırakılmış olan numunelerdeki Ag nano yapıların XRD analizlerinden debye scherrer formülü ile hesaplanmış kristalite değerleri verilmiştir. Şekil 30.a'ya bakıldığında, 12 saatlik Ag büyütme maruz bırakılmış olan numunelerde ısıtma yapılmamış olan numune dışında Ag nanoyapıların büyüdüğü XRD analizlerinden elde edilen verilerle gösterilmektedir. Şekil 30.b'de, 24 saatlik Ag büyütme maruz bırakılmış olan numunelerde ise, genel olarak ısıl işlem sıcaklığını artmasıyla büyütülmüş olan Ag nanoyapıların kristalite büyüklüklerinin arttığı görülmektedir. Burada sadece 300 °C'de tavlama yapılmış olan numunede kristalite büyüklüğünün 250 °C'de tavlama yapılmış olan numuneye göre azaldığı görülmektedir. Şekil 30.c'de, 36 saatlik Ag büyütme maruz bırakılmış olan numunelerde ise, ısıl işlem sıcaklığını artmasıyla büyütülmüş olan Ag nanoyapıların kristalite büyüklükleri arasında artan bir korelasyon görülmektedir. Ag nano yapıları farklı büyüklüklerdeki kristalite yapıları ve bunların ZnO ince filmlerle oluşturdukları Ag@ZnO hibrit yapıların bir uygulaması olarak kataliz özelliklerini kullanarak boyar madde bertaraf etme kabiliyetleri incelenmiştir.



Şekil 30. Farklı sıcaklıklarda tavllanmış olan ZnO ince filmlerin farklı Ag büyütme süreleri etkisinde ortaya çıkan Ag nano yapıların kristalite değerleri. a) 12 saat gümüş büyütme, b) 24 saat gümüş büyütme, c) 36 saat gümüş büyütme.

Farklı sürelerde Ag büyütülmüş numunelerin her birisi için MO'nun bertarafı için performansları incelenmiştir. Bu deneylerden elde edilen veriler ile 3, 5, 10, 15, 30 ve 60 dakikalık sürelerde hangi numunenin daha iyi MO bertarafı yaptığını incelemek için şekil 31'deki zamana göre her bir numunenin birbiri ile kıyaslanmış olan % miktardaki MO bozma kapasiteleri grafik şeklinde verilmiştir. Bu grafiklerde her bir süre için çizilmiş grafik için farklı renklerde yıldızlar yerleştirilerek sıralama yapılmıştır.



Şekil 31. Farklı süreler için MO'nun bozunma hızının verildiği grafikler. a) 3 dk., b) 5 dk., c) 10 dk., d) 15 dk., e) 30 dk., f) 60 dk.

Grafikteki verilerin görselleştirilmesi için tablo 1'den faydalanılabilir. Bu tablodaki veriler ile XRD' den elde edilen veriler birleştirildiğinde, Tavlama sonrası farklı sürelerde gümüş büyütülmüş olan numunelerin performanslarının arttığı söylenebilir. Ayrıca, Daha düşük gümüş büyütme süresine maruz bırakılmasına rağmen, 200 °C tavlama sonrası 12 saat gümüş büyütülmüş olan numune, Daha fazla gümüş miktarına sahip olan numunelere göre daha iyi bir katalitik performans göstermiştir.

Tablo 1. Her bir numunenin, MO'nun bertarafı için gösterdiği performansın görselleştirildiği tablo.

Numune Adı	Performansı (dakika)					
	3	5	10	15	30	60
As Dep. ZnO						
As Dep. ZnO with 12 H Ag						
As Dep. ZnO with 24 H Ag						
As Dep. ZnO with 36 H Ag						
Ann. @150C ZnO <u>with</u> 12 H Ag					★	★
Ann. @150C ZnO <u>with</u> 24 H Ag				★		
Ann. @150C ZnO <u>with</u> 36 H Ag						
Ann. @200C ZnO <u>with</u> 12 H Ag				★	★	★
Ann. @200C ZnO <u>with</u> 24 H Ag			★	★	★	★
Ann. @200C ZnO <u>with</u> 36 H Ag						
Ann. @250C ZnO <u>with</u> 12 H Ag						
Ann. @250C ZnO <u>with</u> 24 H Ag		★	★			
Ann. @250C ZnO <u>with</u> 36 H Ag	★	★				
Ann. @300C ZnO <u>with</u> 12 H Ag	★					
Ann. @300C ZnO <u>with</u> 24 H Ag		★	★			
Ann. @300C ZnO <u>with</u> 36 H Ag	★					
★ Birinci	★ İkinci		★ Üçüncü			

Sonuç olarak Ag@ZnO hibrit yapılar üretilirken, Tavlama ile ıslah edilmiş olan ZnO altlıklar Ag nano yapılar ile daha iyi bir sinerjik etki oluşturarak beklenenin üstünde bir katalitik aktivite göstermiştir.

KAYNAKÇA

- Abed, C., Bouzidi, C., Elhouichet, H., Gelloz, B., and Ferid, M. 2015. Mg doping induced high structural quality of sol–gel ZnO nanocrystals: **Application in photocatalysis**, **349**: 855–863.
- Abou El-Nour, K.M.M., ve ark., 2010. Synthesis and applications of silver nanoparticles, 135-140.
- Altıokka, B. 2003. Spray Pyrolysis Yöntemi ile Elde Edilen Zn İlaveli CuInS₂ Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri.
- Alrebdi, T. A., Ahmed, H. A., Alkallas, F. H., Pashameah, R. A., Alrefae, S. H., Alsubhe, E., Mostafa, A. M., & Mwafy, E. A. 2022. Ag/ZnO Thin Film Nanocomposite Membrane Prepared by Laser-Assisted Method for Catalytic
- Barış, D. 2006. İndiyum Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri.
- Bushan, B. 2010. Handbook of Nanotechnology (üçüncü baskı).
- Chen, J., Zhang, Q., Wang, Y., & Wan, H. 2008. Size- Dependent Catalytic Activity of Supported Palladium Nanoparticles for Aerobic Oxidation of Alcohols. **Advanced Synthesis & Catalysis**, **350**(3), 453–464.
- da Silva, A. G. M., Rodrigues, T. S., Wang, J., Yamada, L. K., Alves, T. V, Ornellas, F. R., Ando, R. A., & Camargo, P. H. C. 2015. The Fault in Their Shapes: Investigating the Surface-Plasmon-Resonance-Mediated Catalytic Activities of Silver Quasi-Spheres, Cubes, Triangular Prisms, and Wires. **Langmuir**, **31**(37), 10272–10278.
- Fouad, O., Ismail, A., Zaki, Z., & Mohamed, R. 2006. Zinc oxide thin films prepared by thermal evaporation deposition and its photocatalytic activity. **Applied Catalysis B: Environmental**, **62**(1–2), 144–149.
- Goddard, W.A., Brenner, D.W., Yshevski, Iafrate, S.E. 2002.G.J. (Eds.), Handbook of Nanoscience.
- Gonzalez, A.L., Noguez, C., Ortiz, G.P., Rodriguez-Gattorno, G. 2005. **J Phys Chem** **109**:17512–17517

- Goddard III, W.A., Brenner, D., Lyshevski, S.E., & Iafrate, G. J. (Eds.). 2018. Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology (W. A. Goddard III, D. Brenner, S. E. Lyshevski, & G. J. Iafrate (eds.). CRC Press.
- Hartnagel, H.L., Dawar, A.L., Jain, A.K. and Jagadish, C. 1995. Semiconducting Transparent Thin Films.
- Joseph, B., Gopchandran, K.G., Thomas, P.V., Koshy, P. and Vaidyan, V.K. 1999. Study on the Chemical Spray Deposition of Zinc Oxide Thin Films and Structural and Electrical Properties.
- Karaçam,R.. 2020. Bi₂S₃@Fe₃O₄ Nanokompozitlerin Üretilmesi ,Yapısal ve Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi.
- Kaur, J., Singhal, S. 2014.Facile synthesis of ZnO and transition metal doped ZnO nanoparticles for the photocatalytic degradation of methyl orange, 40,7417–7424
- Kästner, C., & Thünemann, A. F. 2016. Catalytic Reduction of 4-Nitrophenol Using Silver Nanoparticles with Adjustable Activity. **Langmuir**, **32**(29), 7383–7391.
- Khan,M.M., LEE., Hwan Cho.,J.M., 2014. Au@TiO₂ nanocomposites for the catalytic degradation of methyl orange and methylene blue: An electron relay effect **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, **20** 1584–1590.
- Kumar, V. 2007. Nanosilicon, 978-0-08-044528- 1 (birinci baskı).
- Kuru, M., Narsat, H. 2019. The effect of heat treatment temperature and Mg doping on structural and photocatalytic activity of ZnO thin films fabricated by **RF magnetron co-sputtering technique**, **30**(20): 18484–18495
- Kuru, M., Pekdemir,S. 2020. Journal of Science, 33(4): 857-870
- Khiari, M., Lejeune, M., Gilliot, M., Lazar, F., & Hadjadj, A. 2022. Photocatalytic Performance of ZnO/Ag(NPs) Nanocomposite Thin Films under Natural Conditions. **Coatings**, **12**(11), 1782.
- Kumar, S. G., & Rao, K. S. R. K. 2015. Zinc oxide based photocatalysis: tailoring surface-bulk structure and related interfacial charge carrier dynamics for better environmental applications. **RSC Advances**, **5**(5), 3306–3351.

- Kumari, G., Kamarudheen, R., Zoethout, E., & Baldi, A. 2021. Photocatalytic Surface Restructuring in Individual Silver Nanoparticles. **ACS Catalysis**, **11**(6), 3478–3486.
- Link, S., Wang, Z. L., El-Sayed, M. A. 1999. Alloy Formation of Gold–Silver Nanoparticles and the Dependence of the Plasmon Absorption on Their **Composition**, **103** (18), 3529-3533
- Lee, H., Dellatore, S. M., Miller, W. M., & Messersmith, P. B. 2007. Mussel-Inspired Surface Chemistry for Multifunctional Coatings. **Science**, **318**(5849), 426–430.
- Li, G., & Tang, Z. 2014. Noble metal nanoparticle@metal oxide core/yolk–shell nanostructures as catalysts: recent progress and perspective. **Nanoscale**, **6**(8), 3995–4011.
- Liu, B., Yang, H., Hu, P., Wang, G.-S., Guo, Y., & Zhao, H. 2023. Dimension Engineering in Noble-Metal-Based Nanocatalysts. **Catalysts**, **14**(1), 9.
- Liu, G.-F., Qiao, X.-X., Cai, Y.-L., Xu, J.-Y., Yan, Y., Karadeniz, B., Lü, J., & Cao, R. 2020. Aluminum Metal–Organic Framework–Silver Nanoparticle Composites for Catalytic Reduction of Nitrophenols. **ACS Applied Nano Materials**, **3**(11), 11426–11433.
- Liu, N., Tang, M. L., Hentschel, M., Giessen, H., & Alivisatos, A. P. 2011. Nanoantenna-enhanced gas sensing in a single tailored nanofocus. **Nature Materials**, **10**(8), 631–636.
- Luther, W. 2004. International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology.
- McLaren, A., Valdes-Solis, T., Li, G., Tsang, S.C. 2009. Shape and size effects of ZnO nanocrystals on photocatalytic activity, 131, 12540–12541.
- Mehla, S., Das, J., Jampaiah, D., Periasamy, S., Nafady, A., & Bhargava, S. K. (2019). Recent advances in preparation methods for catalytic thin films and coatings. **Catalysis Science & Technology**, **9**(14), 3582–3602.
- Nadeem, M.Y., Ahmed, W. 2000. Optical Properties of ZnS Thin Films. 24: 651- 659.

- Patze, S., Huebner, U., Weber, K., Cialla-May, D., & Popp, J. (2016). TopUp Plasmonic Arrays for Surface-Enhanced Raman Spectroscopy. **Advanced Materials Interfaces**, **3**(19), 1600549.
- Padmaja ,S., Madison ,S.A. 1999. J. Phys. Org. Chem, 12 , 221.
- Priyanka ., Srivastava,V.C. 2013. Photocatalytic oxidation of dye bearing wastewater by iron doped zinc oxide, 52, 17790–17799.
- Pryshchepa, O., Pomastowski, P., & Buszewski, B. 2020. Silver nanoparticles: Synthesis, investigation techniques, and properties. **Advances in Colloid and Interface Science**, **284**, 102246.
- Puspasari, V., Ridhova, A., Hermawan, A., Amal, M. I., & Khan, M. M. 2022. ZnO-based antimicrobial coatings for biomedical applications. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, **45**(9), 1421–1445.
- Rauwel, E., & Rauwel, P. 2021. Editorial for the special issue on ‘metal oxide thin film: Synthesis, characterization, and application.’ **Materials**, **14**(8), 6–8.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R. ve Nigam, P. 2001. Tekstil atık suyunda boyaların iyileştirilmesi: önerilen bir alternatif ile mevcut arıtma teknolojileri üzerine kritik bir inceleme, 77(3): 247–255,
- Skiba, M., Vorobyova, V., & Pasenko, O. 2022. Surface modification of titanium dioxide with silver nanoparticles for application in photocatalysis. **Applied Nanoscience**, **12**(4), 1175–1182.
- Sundaram ,K.B., Khan, A. 1997. Characterization and optimization of zinc oxide films by r.f. magnetron sputtering 295 , 87–91.
- Şahin, D. 2010. Sol-Jel Yöntemiyle Elde Edilen Na Katkılı ZnO İnce Filmlerin Yapısal, Elektriksel ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi.
- Umbrello, S. 2004. Explorative Nanophilosophy as Tecnoscienza.
- Vandana, S. P. 2005. Nanometre Scale Surface Modification in a Needle–Plate Exploding System. **17** 5327-5334

- Wang, H., Xiao, Y., Qi, Y., Zhang, A., Du, J., Li, J., & Guo, T. 2023. Fabrication of ZnO nanosheets self-assembled by nanoparticles for accelerated electrocatalytic Reduction of CO₂ to CO. **Fuel**, **333**, 126431.
- Wang, Y., Arandiyani, H., Scott, J., Bagheri, A., Dai, H. and Amal, R. 2017. Recent advances in porous metal oxides for heterogeneous catalysis: a review, 5: 8825-8846.
- Wasa, K., Hayakawa, S. 1992. Handbook of Sputtering Deposition Technology.
- Xu, X.J., Chow, P.Y., Gan, L.M., 2002. Nanoparticles of latexes from commercial polystyrene, **J. Nanoscience Nanotechnol.** **2**, 61-65.
- Yousefi ,M., Azimirad, R., Amiri, M., Moshfegh, A.Z. 2011. Effect of annealing temperature on growth of Ce-ZnO nanocomposite thin films: x-ray photoelectron spectroscopy study, **Thin Solid Films**, **520** , 721–725.
- Zhang, M., Large, N., Koh, A. L., Cao, Y., Manjavacas, A., Sinclair, R., Nordlander, P., & Wang, S. X. 2015. High-Density 2D Homo- and Hetero- Plasmonic Dimers with Universal Sub-10-nm Gaps. **ACS Nano**, **9**(9), 9331–9339.
- Zheng, Y., Chen, C., Zhan ,Y., Lin, X., Zheng, Q., Wei ,K., Zhu, J., Zhu, Y. 2007. Luminescence and photocatalytic activity of ZnO nanocrystals: **correlation between structure and property**, **46**, 6675–6682.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: DEMET GÜZEL

Uyruğu: Türkiye (T.C)

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

e-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği	2025
Lisans	Erciyes Üniversitesi , Malzeme Bilimi ve Mühendisliği	2018
Lise	Fevzi Çakmak Lisesi, Kayseri	2011

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

Güzel,D.,Pekdemir,S. Annealing effect on Zinc oxide-silver hybrid nanostructures for fast catalitic degradation of organic dye molecule,NANOTR-18, İstanbul,Türkiye, ss.292, 26-28 Ağustos 2024