



T.C.

**AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KİMYA ANABİLİM DALI

**BAZI ÇEVRESEL KİRLETİCİLERİN KATALİTİK İNDİRGENMESİ
İÇİN KİTOSAN/NİO MİKROKÜRELER ÜZERİNDE DESTEKLENEN
PALADYUM NANO-KATALİZÖRÜN TASARIMI VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Afife Nur EROĞLAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Talat BARAN

AKSARAY, 2023

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212305003 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Afife Nur EROĞLAN tarafından hazırlanan “**BAZI ÇEVRESEL KİRLETİCİLERİN KATALİTİK İNDİRGENMESİ İÇİN KİTOSAN/NiO MİKROKÜRELER ÜZERİNDE DESTEKLENEN PALADYUM NANO-KATALİZÖRÜN TASARIMI VE KARAKTERİZASYONU**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kimya Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Talat BARAN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Ayfer MENTEŞ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Doç. Dr. İdris SARGIN

Selçuk Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 21/09/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Afife Nur EROĞLAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansım süresince çalışmalarım sırasında bana bilgi ve birikimlerini sunan, eksik olduğum yerlerde değerli görüşlerinden faydalandığım danışman hocam Doç. Dr. Talat BARAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlerime getiren, yoğun çalışmalarım sırasında maddi ve manevi her türlü fedakarlığı yapmaktan hiçbir zaman kaçınmayan, eğitim hayatım boyunca aldığım her karara tam desteğini sunan, hayatım boyunca en iyi yerlere gelebilmem için ne gerekiyorsa ellerinden gelenin yapan ve varlıklarıyla beni daha da güçlendiren, aynı zamanda (öğretmen) olan canım ailem; annem Dilek EROĞLAN'a ve babam Ali İhsan EROĞLAN başta olmak üzere bütün yakın akrabalarım ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Afife Nur EROĞLAN

AKSARAY, 2023

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çevresel Kirleticiler	1
1.2 Su Kirleticiler	3
1.2.1 Nitro bileşikler	4
1.2.2 Organik boyalar maddeler	5
1.2.2.1 Metilen mavisi.....	5
1.2.2.2 Metil oranj	6
1.2.2.3 Rodamin B.....	7
1.3 Çevresel Kirleticilerden Kurtulma Yöntemleri	7
1.3.1 Katalitik indirgeme	8
1.4 Katalizör Olarak Metal Nanopartiküllerin Kullanımı	9
1.5 Biyopolimerler.....	9
1.5.1 Kitosan	10
1.6 Metal Oksitler.....	12
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1 Kullanılan Malzemeler	22
3.2 Kullanılan Cihazlar.....	22
3.2.1 Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrofotometre (FT-IR/ATR)	22
3.2.2 Taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM ve EDS spektrumları)	23
3.2.3 Geçirimli elektron mikroskobu (TEM).....	23
3.2.4 X-Işını difraktometre (XRD)	23
3.2.5 UV-Vis spektrofotometresi.....	23
3.3 NiO NP'lerin Sentezi.....	23
3.4 KS-NiO mikrokürelerinin sentezi	23
3.5 Paladyum NP'lerinin KS-NiO Mikroküreleri Üzerinde Sentezi (Pd-KS-NiO nanokatalizör).....	24
3.6 Pd-KS-NiO Nanokatalizörü Varlığında Aromatik Nitro Bileşiklerinin Katalitik İndirgenmesi İçin Genel Yöntem	25
3.7 Pd-KS-NiO Nano Katalizörü Varlığında Organik Boyaların Katalitik İndirgenmesi İçin Genel Yöntem	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	28
4.1 Sentezlenen KS-NiO ve Pd-KS-NiO Nanokatalizörün Karakterizasyonu.....	28
4.1.1 FT-IR/ATR Analizleri	28
4.1.2 XRD Analizleri.....	29
4.1.3 FE-SEM ve EDS analizleri	30
4.1.4 TEM analizleri	32
4.2 Pd-KS-NiO Nanokatalizörünün Çevresel Kirleticilerinin Katalitik İndirgenmesine Karşı Performansının İncelenmesi	34
4.3 Pd-KS-NiO Nanokatalizörünün Tekrar Kullanılabilirlik Performansının Araştırılması	41

5. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	63



YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI ÇEVRESEL KİRLETİCİLERİN KATALİTİK İNDİRGENMESİ İÇİN KİTOSAN/NİO MİKROKÜRELER ÜZERİNDE DESTEKLENEN PALADYUM NANO-KATALİZÖRÜN TASARIMI VE KARAKTERİZASYONU

Afife Nur EROĞLAN

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Talat BARAN

ÖZET

Aromatik nitro bileşikler ve organik boyalar, sucul yaşam, çevre ve insan sağlığı için oldukça tehlikeli olan, su/atıksuda bulunan en önemli çevresel kirleticilerden biridir. Bu yüzden bu kirleticilerin, su/atık sudan, etkili, basit ve ekonomik teknolojiler kullanılarak uzaklaştırılması, dünya çapında önemli bir konu haline gelmiştir. Katalitik indirgeme yöntemi bu çevresel kirleticilerin giderimi için kullanılan en etkili prosedürlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, kitosan-NiO partiküllerinden oluşan mikro küreler üzerinde paladyum nanopartiküllerin stabilize edilmesi ile yeni bir heterojen katalizör sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen Pd-KS-NiO nanokatalizörün yapısı FT-IR/ATR, XRD, FE-SEM, EDS, TEM analizleri kullanılarak aydınlatılmış ve ortalama partikül boyutu 10 nm olarak bulunmuştur. Daha sonra, sentezlenen Pd-KS-NiO nanokatalizörün katalitik gücü 4-nitro-o-fenilendiamin (4-NPDA), 4-nitrofenol (4-NP), 4-nitroanilin (4-NA), 2-nitroanilin (2-NA) gibi aromatik nitro bileşikler ve metilen mavisi (MB), metil oranj (MO) ve rodamin B (RhB) gibi organik boyaların NaBH_4 kullanarak katalitik indirgenmesinde test edilmiştir. Katalitik testler, UV-Vis spektrofotometresi kullanılarak takip edilmiş ve Pd-KS-NiO nanokatalizörünün bu kirleticileri 0-145 saniye içinde başarılı bir şekilde indirgediği bulunmuştur. Pd-KS-NiO katalizli 2-NA, 4-NP, 4-NA, 4-NPDA, MO ve RhB katalitik indirgenmeleri için hız sabitleri sırası ile 0.017 s^{-1} , 0.011 s^{-1} , 0.006 s^{-1} , 0.013 s^{-1} , 0.023 s^{-1} ve 0.03 s^{-1} olarak hesaplanmıştır. Daha da önemlisi, Pd-KS-NiO nanokatalizörün mikro küre yapısı ve heterojen doğası nedeniyle, tepkime ortamından kolayca geri kazanılmış ve ardışık yedi çalışmada, katalitik performansında, yüzey morfolojisinde ve kimyasal yapısında önemli değişiklikler olmadan kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kitosan, NiO, Nanokatalizör, Heterojen katalizör, Katalitik indirgeme, Paladyum.

Eylül, 2023; 63 sayfa

M.Sc. THESIS

DESIGN AND CHARACTERIZATION OF PALLADIUM NANO-CATALYST SUPPORTED ON CHITOSAN/NiO MICROSPHERES FOR CATALYTIC REDUCTION OF SOME ENVIRONMENTAL POLLUTANTS

Afife Nur EROĞLAN

Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemistry

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Talat BARAN

ABSTRACT

Aromatic nitro compounds and organic dyes, which are highly dangerous for aquatic life, the environment, and human health, are one of the most significant environmental pollutants found in water/wastewater. Therefore, the removal of these pollutants from water/wastewater using effective, simple, and economical technologies has become a significant issue worldwide. The catalytic reduction method is considered one of the most effective procedures used for the removal of these environmental pollutants. In this study, a new heterogeneous catalyst system has been developed by stabilizing palladium nanoparticles on microspheres composed of chitosan-NiO particles. The structure of the developed Pd-KS-NiO nanocatalyst was illuminated using FT-IR/ATR, XRD, FE-SEM, EDS, TEM analyses, and the average particle size was found to be 10 nm. Subsequently, the catalytic power of the synthesized Pd-KS-NiO nanocatalyst was tested in the catalytic reduction of aromatic nitro compounds such as 4-nitro-o-phenylenediamine (4-NPDA), 4-nitrophenol (4-NP), 4-nitroaniline (4-NA), 2-nitroaniline (2-NA), and organic dyes such as methylene blue (MB), methyl orange (MO), and rhodamine B (RhB) using NaBH₄. The catalytic tests were monitored using UV-Vis spectroscopy, and it was found that the Pd-KS-NiO nanocatalyst successfully reduced these pollutants within 0-145 seconds. The rate constants for Pd-KS-NiO catalyzed reductions of 2-NA, 4-NP, 4-NA, 4-NPDA, MO, and RhB were calculated as 0.017 s⁻¹, 0.011 s⁻¹, 0.006 s⁻¹, 0.013 s⁻¹, 0.023 s⁻¹, and 0.03 s⁻¹, respectively. More importantly, due to the microsphere structure and heterogeneous nature of the Pd-KS-NiO nanocatalyst, it was easily recovered from the reaction medium and consecutively used in seven runs without significant changes in its catalytic performance, surface morphology, and chemical structure.

Keywords: Chitosan, NiO, Nanocatalyst, Heterogeneous catalyst, Catalytic reduction, Palladium.

September, 2023; 63 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Metil mavisinin kimyasal yapısı.....	6
Şekil 1.2. MO'nun açık yapısı.....	6
Şekil 1.3. Rodamin B'nin kimyasal yapısı.....	7
Şekil 1.4. KS'nin eldesi ve kimyasal yapısı.....	11
Şekil 1.4 (devam). KS'nin eldesi ve kimyasal yapısı.....	12
Şekil 2.4. γ -Fe ₂ O ₃ (a) ve Ag- γ -Fe ₂ O ₃ (b ve c) nanokompozitine ait TEM görüntüleri	17
Şekil 2.6. Au-yüklü Fe ₃ O ₄ @C kompozit mikrokürelerin sentezi.....	18
Şekil 2.8. AG-Pd katalizörünün sentez şeması.....	20
Şekil 2.9. Fe ₃ O ₄ @C@Pt katalizörünün sentezi.....	20
Şekil 2.10. Cu/sodyum borosilikat nanokompozitin önerilen yapısı.....	21
Şekil 3.1. KS-NiO mikrokürelerinin sentez şeması.....	24
Şekil 3.2. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün sentez şeması.....	25
Şekil 3.3. Aromatik nitro bileşikler ve indirgenme ürünlerine ait yapılar.....	26
Şekil 3.4. Pd-KS-NiO nanokatalizörü varlığında MB, MO ve RhB boyalarının indirgenmesi.....	27
Şekil 4.1. KS-NiO (a) ve Pd-KS-NiO nanokatalizörüne (b) ait FT-IR/ATR spektrumları.....	29
Şekil 4.2. NiO (a), KS-NiO (b) ve Pd-KS-NiO nanokatalizörüne (c) ait XRD spektrumları.....	30
Şekil 4.3. NiO (a-d), KS-NiO (e-h) ve Pd-KS-NiO nanokatalizörüne (i-l) ait FE-SEM görüntüleri.....	31
Şekil 4.4. NiO (a), KS-NiO (b) ve Pd-KS-NiO nano katalizörüne (c) ait EDS spektrumları.....	32
Şekil 4.5. NiO (a) ve Pd-KS-NiO nanokatalizörüne (b-d) ait TEM görüntüleri.....	33
Şekil 4.6. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün parçacık boyutu dağılım grafiği.....	33
Şekil 4.7. 2-NA (a), 4-NP (b), 4-NA (c), 4-NPDA (d)'nin UV-Vis spektrumları, indirgenmiş ürünleri ve reaksiyon süresine karşı ln (ct/c ₀) grafikleri.....	37
Şekil 4.8. MO (a), RhB (b) ve MB (c)'nin katalitik indirgenmesi ait UV-Vis spektrumları ve reaksiyon süresine karşı ln (ct/c ₀) grafikleri.....	40
Şekil 4.9. Tekrar kullanılabilirlikten sonra Pd-KS-NiO nanokatalizörüne ait FE-SEM (a ve b), TEM (c ve d) ve XRD (e) analizleri.....	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Kirleticilerin kısa sınıflandırılması	2
Çizelge 4.1. Pd-KS-NiO ve NaBH ₄ varlığında 2-NA'nın katalitik indirgenmesi için optimum reaksiyon parametrelerinin belirlenmesi.....	36
Çizelge 4.2. Pd-KS-NiO ve NaBH ₄ varlığında MO'ın katalitik indirgenmesi için optimum reaksiyon parametrelerinin belirlenmesi.....	39
Çizelge 4.3. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün 4-NP ve RhB'nin katalitik indirgenmesine yönelik katalitik gücünün literatürde bildirilen diğer katalizörlerle karşılaştırılması.	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi
BET	Brunauer-Emmett-Teller
B-1,2,4 TRA	Benzen -1,2,4 Tiriamin
CR	Kongo Kırmızısı
EDS	Enerji Dispersiv Spektrum
EPA	ABD Çevre Koruma Ajansı
FE-SEM	Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu
FT-IR/ATR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi – Azaltılmış Toplam Yansıma Spektroskopi Tekniği
HCl	Hidroklorik Asit
ICP	İndiktüf Eşleşmiş Plazma
KMnO₄	Potasyum Permanganat
KS	Kitosan
K₃[Fe(CN)₆]	Potasyum Ferrisiyanür
MB	Metilen Mavisi
M NP	Metal Nanoparçacıklar
MO	Metil Oranj
MR	Metil Kırmızısı
NaBH₄	Sodyum Borhidrür
NaOH	Sodyum Hidroksit
NH₂	Azanid
NiO	Nikel Oksit
NO₂	Nitro Gurubu
NS	Nigrosin
o-PDA	O-Fenilendiamin
RhB	Rodamin B
R6G	Rodamin 6G
TEM	Geçirimli Elektron Mikroskobu
TGA	Termogravimetrik Analiz
UV-Vis	Ultraviyole-Görünür Spektroskopi
VSM	Değer Akış Haritalama
XRD	X-Işını Difraksiyon Spektroskopisi
4-AP	4-Aminofenol
4-FD	4-fenilendiamin
2-NA	2-Nitroanilin
4-NA	4-Nitroanilin
2-NP	Orto-Nitrofenol
3-NP	Meta-Nitrofenol
4-NP	Para-Nitrofenol
4-NPDA	4-Nitro-O-Fenilendiamin
2,4-DNPH	2,4-Dinitrofenilhidrazin
c	Son Konsantrasyon
cm	Santimetre
c₀	Başlangıç Konsantrasyonu
g	Gram
kV	Kilovolt
M	Molar
mA	Miliamper

ml	Mililitre
nm	Nanometre
sn	Saniye
k	Hız Sabiti
sa	Saat
t	Reaksiyon Süresi
μM	Mikromolar
$\lambda_{\max}$	Maksimum Dalga Boyu
°	Derece
°C	Santigrat Derece
β	Beta
θ	Teta



1. GİRİŞ

1.1 Çevresel Kirleticiler

Günümüzde endüstriyel atıklardan kaynaklanan toprak, su, hava ve çevre kirliliği gezegenin ve üzerinde yaşayanların karşı karşıya olduğu ve hızla artan bir tehdittir [1–4]. İnsan yan ürününün bir sonucu olarak oluşan çevresel hareketler, kimyasal reaksiyonlar, laboratuvar veya endüstriyel atıklar, kirlilik kaynaklarından bazılarıdır [5–7]. Bunlar arasında, organofosfat/organoklorlu pestisitler, poliklorlu bifeniller, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, poliklorlu dioksinler, perflorooktanoik asit, perflorooktansülfonat, tekstil boyaları, plastikleştiriciler, dezenfeksiyon yan ürünleri, farmasötik kimyasallar ve kişisel bakım ürünleri dahil olmak üzere çok sayıda kirletici madde, sıklıkla karşılaşılan kolayca besin zincirine girerek insan ve hayvanları etkileyebilen kirleticilerdir [8–14]. Diğer yandan, organik boyar maddeler, azo/tekstil boyaları, ağır metal kirleticiler ve nitroarenler suda yüksek çözünürlük ve yüksek kararlılıkları nedeniyle en önemli kirleticiler arasında yer almaktadır [15–19]. Bu nedenle hem insan hem de çevre kalitesinin korunması için bu kirleticilerin giderilmesi en önemli küresel sorunlardan biridir [20–25]. Çizelge 1.1, önemli çevresel kirleticilerin sınıflandırılmasını vermektedir. Bun kirleticiler arasında, ağır metaller ve organik kirleticiler en önemli su kirleticiler olarak bilinmektedirler.

Çizelge 1.1. Kirleticilerin kısa sınıflandırılması [1].

Boya kirleticiler	Metil Oranj (MO)
	Metil Kırmızısı (MR)
	Metilen Mavisi (MB)
	Rodamin B (RhB)
	Rodamin 6G (R6G)
	Eriochrome Siyah - T
	Kongo Kırmızısı (CR)
	Eosin Y
	Malakit Yeşili
	Nigrosin (NS)
	İndigo Karmin
	Asit Turuncu 7
	Celestine Mavisi
	Kristal Menekşe
	Safranin
	Reaktif Kırmızı 2
	2-Nitroanilin (2-NA)
Nitrofenoller	Orto – Nitrofenol (2-NP)
	Meta Nitrofenol (3-NP)
	Para Nitrofenol (4-NP)
	2,4-Dinitrofenilhidrazin (2,4-DNPH)
	Bisfenol A
Ağır iyonlar	Cr (VI)
	Cr (III)
	Eu (III)
	Ni (II)
	Pb (II)
	Hg (II)
	Cd (II)
	Cu (II)
	Co (II)
	Ag (I)
	Potasyum Ferrisiyanür ($K_3[Fe(CN)_6]$)
Diğer kirleticiler	Florür
	Siprofloksasin
	Tetrasiklin Hidroklörür
	Aromatik Hidrokarbonlar
	Benzen
	Venlafaksin
	Hümik Asit
	Asefat pestisit
	Kafein

1.2 Su Kirleticiler

Temiz içme suyunun temini, dünyamız için önde gelen çevresel kaygılarından biri haline gelmiştir. Özellikle, son yıllarda doğal kaynakların hızla artan çevresel kirliliği, gelecek nesiller için dünyayı ve dünyamızdaki canlıların hayatlarını sürdürebilmeleri için öncelikli olarak ele alınması gereken bir konudur. Temin edilebilir içme suyu erişim, tatlı su kaynakları sınırlı oluşu ve işlenmemiş veya yetersiz işlem görmüş atık suların deşarjı nedeniyle hızla kötüleşmektedir [1]. Su kirliliği kaynakları noktasal kaynaklar ve noktasal olmayan kaynaklar olma üzere ikiye ayrılır. Noktasal kaynaklar madenlerden petrol sahalarından ve atık su işleme tesislerinden atık malzemelerin çıkarılmasını içerirken, noktasal olmayan kaynaklar sabit değildir ve gübre ve böcek ilacı akmasını, inşaat sahasından atık inşaat malzemesini ve kentsel alanlardaki kanalizasyon sızıntısını içerir [26].

Su/atık sulardaki hem inorganik (örneğin ağır metal iyonlar) hem de organik (örneğin boyalar, nitroarenler vb.) çok sayıda tehlikeli/toksik çevresel kirleticisi dünya çapında ciddi bir endişe haline gelmiştir. Bu kirleticiler arasında ağır metaller, bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerindeki toksik etkilerinden dolayı çevresel kirleticiler olarak kabul edilir. Halk sağlığı üzerinde önemli etkileri olan çevredeki en tehlikeli ağır metaller ise Cr, Fe, Se, V, Cu, Co, Ni, Cd, Hg, As, Pb, Eu, Ag, ve Zn dir [1]. Bu metaller insanlar ve çevre için önemli bir tehdit oluşturdıklarından dolayı uygun maliyetli ve uygun yöntemlerle su/atık suların uzaklaştırılması gerekmektedir [27–29]. Organik boyalar ve nitroarenler ise, oldukça toksik, biyolojik/kimyasal olarak kararlı, biyolojik olarak parçalanamayan ve suda yüksek çözünürlük özelliğine sahip en önemli organik kirleticilerdir. Özellikle, insanlarda böbrek yetmezliği, cilt tahrişi, sinir sistemi hastalıkları ve karaciğer hastalığı gibi çeşitli hastalıklara yol açmaktadırlar [30–33].

Suları ve atık suları arıtmak için verimli ve ucuz yöntemleri geliştirmeye ihtiyaç vardır. Su kirleticilerini arıtmak için, toksik maddelerin tek başına veya katalizör varlığında uygun reaktiflerle reaktivitesinden yararlanan, su kirleticilerin bozun durulması, uzaklaştırılması veya güvenli bir şekilde bertaraf edilmesiyle sonuçlanan farklı metodolojiler uygulanmıştır [34,35]. Bu bağlamda, suyun arıtılması için adsorpsiyon

yöntemi, biyolojik renk değiştirme ve Foto-Fenton reaksiyonu, UV ışıması ile foto katalitik bozunma gibi çeşitli teknikler geliştirilmiştir [36,37].

1.2.1 Nitro bileşikler

Organik nitro bileşikler, bir veya daha fazla nitro gurubu ($-NO_2$) içeren organik bileşiklerdir. Organik sentetik reaksiyonlarda nitro gurubu aromatik bileşiklerde nükleofilik aromatik ikameyi kolaylaştırır ve elektrofilik aromatik ikameyi geciktirir. [38]. Nitro aromatik bileşiklerde nitro guruplarının varlığı aromatik halkaların elektron eksikliği olan bir karaktere sahip olmasına neden olur. Bu, nitroaromatik bileşiklerin elektron açısından zengin monomerlerle π - π ve yük transfer etkileşimi yoluyla girişim yapabileceği anlamına gelir [39]. Nitro bileşiklerinin çoğu insan yapımıdır; doğada nadiren bulunurlar ve ciddi halk sağlığı ve evre sorunlarına neden olurlar. En önemli organik kirleticiler arasında yer alan nitro bileşikleri sudaki üstün znrlkleri ve kararlılıkları nedeniyle ‘ncelikli kirleticiler’ olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, kanserojen karaktere ve yüksek toksisiteye sahip en dirençli su kirleticileri olarak da bilinmektedir. Bu bileşikler genellikle tarımsal kimyasallar, boyalar ve farmasötikler gibi kimyasalların endüstriyel üretim süreçlerinin de istenmeyen bir şekilde üretilir [40–42]. Bu bileşikler arasında 4-NP kötü bir endüstriyel kirleticidir. Suda yüksek znrlk, yüksek kararlılık sergileyen ve evre açısından tehlikeli bir malzemedir [43–47]. Bu nedenle Amerika Birleşik Devletleri evre Koruma Dairesi, 4-NP’yi öncelikli kirleticiler olarak listelemiştir. Diğer bir aromatik nitro bileşiği olan 2-NA, boya üretimi, patlayıcı madde ve farmasötik ürünler gibi antropojenik faaliyetlerin bir sonucu olarak üretilen çevresel bir kirleticidir [48,49]. Pestisit, ilaç sentezi için nc olarak kullanılır ve bazen askeri fabrikaların ve tekstil endüstrilerinin atık sularında da bulunur. 2-NA’nın suda çok düşük seviyelerde bulunması bile yüksek derecede toksik, kanserojen ve mutajenik etkilerinden dolayı su yaşamı ve insan yaşamı için zararlıdır [50]. 2-NA’ dan türetilen moleküller de çok toksiktir ve bu nedenle ABD evre Koruma Ajansı tarafından öncelikli kirleticiler olarak tanımlanmıştır [49]. Bir diğer bir aromatik nitro bileşiği, 4-NA, genellikle atık sularda bulunan çeşitli endüstrilerden salınan, biyolojik olarak parçalanamayan kimyasal olarak dirençli ve oldukça reaktif bir su kirleticisidir [51–53]. Bunun yanı sıra, 4-NA, boyaların, farmasötik ürünlerin, antioksidanların, kümes hayvanları ilaçlarının, korozyon inhibitörlerinin, patlayıcıların ve böcek ilaçlarının sentezi dahil olmak üzere farklı endüstrilerde ham

madde olarak yaygın olarak kullanılmaktadır [54]. Bu özel kullanımlar nedeniyle 4-NA kötü işlenmiş endüstriyel atıkların ana bileşeni olarak su rezervuarında düzenli olarak salınır. Sonuç olarak, 4-NA su yaşamını doğrudan etkilediği gibi dolaylı olarak insanları da etkiler. 4-NA'ya maruz kalınması halinde, canlılarda nefes alma güçlüğüne, sinirlilik, kusma, anemi ve sarılık gibi birçok soruna neden olmaktadır [55].

1.2.2 Organik boyalar maddeler

Boyalar, tekstil, plastik, kâğıt hamuru, kâğıt, kozmetik tabakhane vb. birçok endüstride ve ayrıca boya üreten endüstrilerde ana bileşenlerden biri olarak yaygın bir şekilde kullanılan organik maddelerdir [56]. Ayrıca, gıda ilaç ve tekstil endüstrilerinde yaygın olarak renklendirici ajan olarak kullanılmaktadır [57]. Bununla birlikte, organik boyar maddeler; tekstil, deri, kozmetik, baskı, ilaç, gıda ve kauçuk işleme endüstrisinden salınan toksik kirleticilerdir [58,59]. Tekstil boyaları, çok sayıda endüstriyel kirletici ile birlikte oldukça toksik ve potansiyel olarak kanserojendir [60]. Diğer yandan, atık sularda bu zengin kirleticilerin varlığı cilt/göz tahrişine, karaciğer, böbrek, beyin ve merkezi sinir sistemi bozukluklarına beyin fonksiyonlarında bozulmalara ve nörolojik bozukluklara yol açabilmektedir [61]. Bu nedenle sentetik boya kirleticilerin çoğu kanserojen ve toksik olduğundan bu kirleticilerin tanımlanması ve uzaklaştırılması çok önemlidir.

1.2.2.1 Metilen mavisi

MB veya metiltionninyum klorür, ilk olarak 1876' da Caro tarafından imal edilen endüstriyel uygulamalar için yaygın kullanılan boyalar maddelerden biridir [62,63]. Kimyasal adı; 3,7-Bis-di-metilamino fenazatyonyum klorür trihidrat (susuz: metiltiyoninyum klorür) olan $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$ moleküler formülüne sahip ve moleküler ağırlığı $319.85 \text{ g mol}^{-1}$ olan bir katyonik tiyazin boyar maddesidir (Şekil 1.1). Su, alkol ve kloroform da çözünen koyu mavi-yeşil renkli, kokusuz ve kristalimsi toz formunda bulunmaktadır [62]. 15-25°C sıcaklıkta, güneş ışığından uzakta bir alanda saklandığında oldukça stabildir. Tekstil kâğıt ve matbaa sanayinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte, ahşap, ipek ve pamuk için en yaygın boyama malzemelerinden biridir [64]. Diğer yandan, MB sulu çözeltilerde çevre sorunlarına yol açan toksik bir organik kirleticidir. Bu nedenle ekosistemin dengesini bozabilir ve

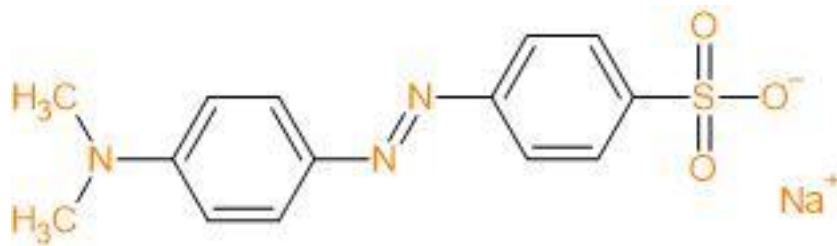
çevreyi olumsuz etkileyebilir [65–68]. Aşırı MB seviyeleri mide bulantısının yanı sıra sindirim ve solunum sistemi sorunları, kusma, göz yanması, cilt tahrişine, zihinsel bozukluklara, ciddi merkezi sinir sistemi bozukluklarına ve aşırı terleme gibi bir dizi hastalığa neden olabilir [69–71]. Bu nedenle, toksik olan MB'nin çevreye salınmadan uzaklaştırılması gerekmektedir. Sonuç olarak metilen mavisini etkin bir şekilde ayrıştırmak için basit ve hızlı bir yöntem geliştirmeye her zaman büyük ilgi olmuştur. Nano katalizörler daha yüksek yüzey alanları ve katalitik etkinlikleri nedeniyle organik boyaların bozulmasını hızlandırmaktadır [72,73].



Şekil 1.1. Metil mavisinin kimyasal yapısı [30].

1.2.2.2 Metil oranj

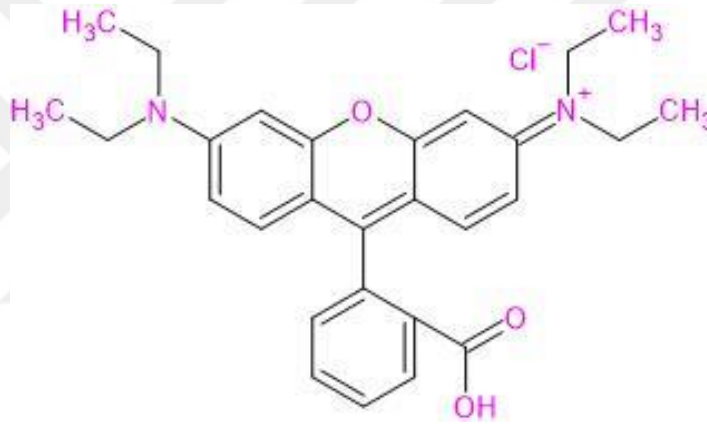
IUPAC adı, sodyum 4-[(4-dimetilamino)fenildiazenil]benzensülfonat olan MO, Turuncu III olarak da bilinir (Şekil 1.2). Molekül formülü $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ ve molar kütlesi $327.33 \text{ g mol}^{-1}$ dir [74,75]. Yoğunluğu 1.28 g/cm^3 , erime noktası $>300^\circ\text{C}$ ve suda çözünmektedir [76]. MO boyası 465 nm de absorpsiyon bandı gösterir ve biyolojik olarak parçalanmaz. Azo gurubunun ($N=N$) varlığı, düşük biyo bozunurluğu, toksik yapısı onu çevre bilimi için, endişe konusu haline getirmiştir [77,78]. Bu nedenle, MO'a maruz kalındığında, kusma ve ishale neden olabildiği gibi yüksek maruziyet ölümle sonuçlana bilinir [77].



Şekil 1.2. MO'nun açık yapısı [30].

1.2.2.3 Rodamin B

Rodamin B'nin IUPAC adı N-[9-(orto-karboksifenil)-6-(dietilamino)-3H-ksanten-3-ili-den]dietil amonyum klorür olarak bilinen katyonik sentetik bir boyar maddedir (Şekil 1.3) ve $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$ kimyasal formülü sahip, moleküler kütlesi $479.01 \text{ g mol}^{-1}$ [79,80]. RhB 554 nm 'de (λ_{max}) karakteristik absorpsiyona sahiptir [81,82]. RhB boya ailesi, en eski en yaygın kullanılan sentetik boyalar maddeler arasında yer almakta ve çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Bu organik boyar maddeler, suda güçlü bir şekilde çözünür ve püskürtülmesi halinde ciddi çevre veya sağlık sorunlarına yol açabilir [83]. Örneğin, ciltte, gözlerde, solunum yollarında tahrişe neden olur. İnsan ve hayvanlarda kanserojen üreme, gelişimsel toksisite, nörotoksisite ve klinik toksisiteye sebep olabilir [83–85].



Şekil 1.3. Rodamin B'nin kimyasal yapısı [30].

1.3 Çevresel Kirleticilerden Kurtulma Yöntemleri

Su/atık sudaki organik boyar maddeler ve aromatik nitro bileşiklerinin düşük konsantrasyonları bile insan ve çevre üzerinde ciddi toksik etkisi göstermektedir. Örneğin, organik boyar maddeler çevreye salındıklarında suda yaşayan organizmalara, insanlara, bitkilere ve hayvanlara karşı potansiyel bir toksisiteye sahiptir. Bu tehlikeli bileşikler, insanlar üzerindeki toksik etkileri alerjiye, cilt uyarılmasına ve hatta kansere neden olur [86–88]. Bu nedenle bu toksik bileşikler içeren atık su kaynaklarının, doğal su kaynaklarına verilmeden önce arıtılması gerekmektedir. Bu amaçla, bilim adamları çöktürme, iyon değişim, fotokatalitik bozuma, biyolojik oksidasyon ve adsorpsiyon gibi çeşitli teknikler kullanarak bu tehlikeli bileşiklerin giderimi üzerine çalışmalar

yapmışlardır [89,90], Bununla birlikte bu yöntemlerin çoğu zorlu reaksiyon koşulları, yüksek maliyet, kirleticilerin faz transferi, bozunan boya moleküllerinin mikro organizmalardan zor uzaklaştırılması, boyanın mikro organizmalara karşı aşırı dirençli olması, ve fotolitik kararlı koşullar gibi bazı dezavantajlara sahiptir [58]. Bu yüzden, bu kirleticilerin çevreden uzaklaştırılması için etkin arıtma yöntemlerinin geliştirilmesine acilen ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemler arasında, su kirleticilerini uzaklaştırmak için katalitik indirgenme en önemli yöntemlerden biridir. Bu yöntemle, toksik nitrofenoller kolayca toksik olmayan ve endüstriyel olarak daha faydalı amin bileşiklerine dönüştürülebilir [91–93]. Uygulama açısından bakıldığında katalitik indirgenme işlemi gibi yenilikçi özelliklere sahip teknolojiler geliştirmek toksik kirleticileri ortadan kaldırmak için gerçekten önemli bir stratejidir.

1.3.1 Katalitik indirgeme

Hem nitro gruplarının hem de birçok organik boyanın çözünürlüğü ve yüksek elektron çekme yeteneği nedeniyle bu bileşiklerin sulu ortamdan geleneksel yöntemler kullanılarak uzaklaştırılması zordur. Kullanılan yöntemler arasında, bir katalizör ve hidrojen kaynağı varlığında katalitik indirgenme, diğer yöntemlere kıyasla daha temiz işleme, kolay çalışma, ekonomik ve yüksek verimlilik sağlamaktadır [94]. Daha da önemlisi, nitro aromatik bileşiklerinin katalitik indirgenme ürünleri, boyar maddelerin, pigmentlerin, tarım kimyasallarının, farmasötiklerin, kauçuk imalatının, şelatlama maddelerinin, tekstil endüstrisinin ve fotografik kimyasalların sentezi gibi birçok organik reaksiyonun, önemli bir reaktantı olarak kullanılan amino bileşikleridir [95]. Örneğin, 4-NP'nin indirgeme ürünü olan 4-aminofenol (4-AP), beyaz ve siyah filmlerin fotografik gelişiminde, kurutma maddesinde, korozyon inhibitöründe, ateş düşürücü ve analjezik ilaçların üretimi için önemli bir ara madde olarak çeşitli uygulamalara sahiptir ve ayrıca parasetamol sentezi için önemli bir ara maddedir [96]. 2-NA'nin indirgenme ürünü o-fenilendiamin (o-PDA) ise farmasötikler, boyalar maddeler [97], kümes hayvanları ürünleri, antioksidan ve antiseptik ajanlar [98] yüzey aktif maddeler [99] gibi çeşitli ürünlerin sentezin yanı sıra bazı polimerler [100] ve ince kimyasalların [101] sentezinde de öncü olarak kullanılır. 4-NA'nın indirgenme ürünü olan 4-fenilendiamin (4-FD) ürünü, çeşitli endüstrilerde (örneğin, çeşitli yüzey aktif maddeler, polimerler, kauçuk, antioksidanlar, fotoğraf geliştirici ve boyaların hazırlanması sırasında) bir öncü hammadde olarak kullanılır. Bütün bu önemli

gelişmeler dikkate alındığında, aromatik nitro bileşikler gibi toksik çevresel kirleticilerden etkili bir şekilde kurtulmak için etkili katalizör sistemlerinin tasarlanması ve katalitik performanslarının bu indirgenme reaksiyonlarından test edilmesi çevre, sucul ve insan yaşamı için gerekli hale gelmiştir.

1.4 Katalizör Olarak Metal Nanopartiküllerin Kullanımı

Metal nanoparçacıklar (M NP), boyutları 1–100 nm aralığında olan maddelerdir. M NP'ler yüksek yüzey-hacim oranları nedeniyle mükemmel fiziksel, kimyasal ve katalitik özellikler gösterirler [102]. Bütün bu üstün özelliklerinden dolayı, özellikle son yıllarda hem nitroarenlerin hem de organik boyların katalitik indirgenmesinde katalizör olarak yaygın olarak kullanılırlar [103]. Araştırmacılar çevresel kirlenmeye nanoteknolojik çözüm olarak Ag, Cu, Au, Ni, Pt ve Pd parçacıkları gibi farklı metalik nano yapıları sentezlemiş ve başarıyla kullanmışlardır [104,105]. Metalik nano yapılar arasında paladyum (Pd), yüksek katalitik aktivitesi ve hidrojen adsorpsiyon kapasitesi nedeniyle ağır metallerin ve organik kirleticilerin giderimin de etkili NP'ler olarak öne çıkmaktadır [106–108]. Bununla birlikte Pd NP'lerin sentezinde yaşanacak en önemli problemlerden biri sentez sırasında kolayca topaklanmalarıdır. Bu durum, Pd NP'lerin aktivitelerini azaltarak, katalizörlerin katalitik performansları ve tekrar kullanımları üzerine olumsuz etkiler oluşturmaktadır [109]. Bu sorunun üstesinden gelmenin en etkili yollarından biri, M NP'leri yüzey alanı geniş ideal destekler üzerinde immobilizasyonudur [110,111]. Katı destekler yalnızca geri kazanımı kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda Pd NP'lerin topaklanmasını engelleyerek Pd NP'lerin yüksek katalitik aktivitesini de korur. Bu amaçla, inorganik oksitler, polimerler hidrojeller, çapraz bağlı protein kristaller, zeolitler ve bentonitler gibi çeşitli destekler kullanılmıştır [112].

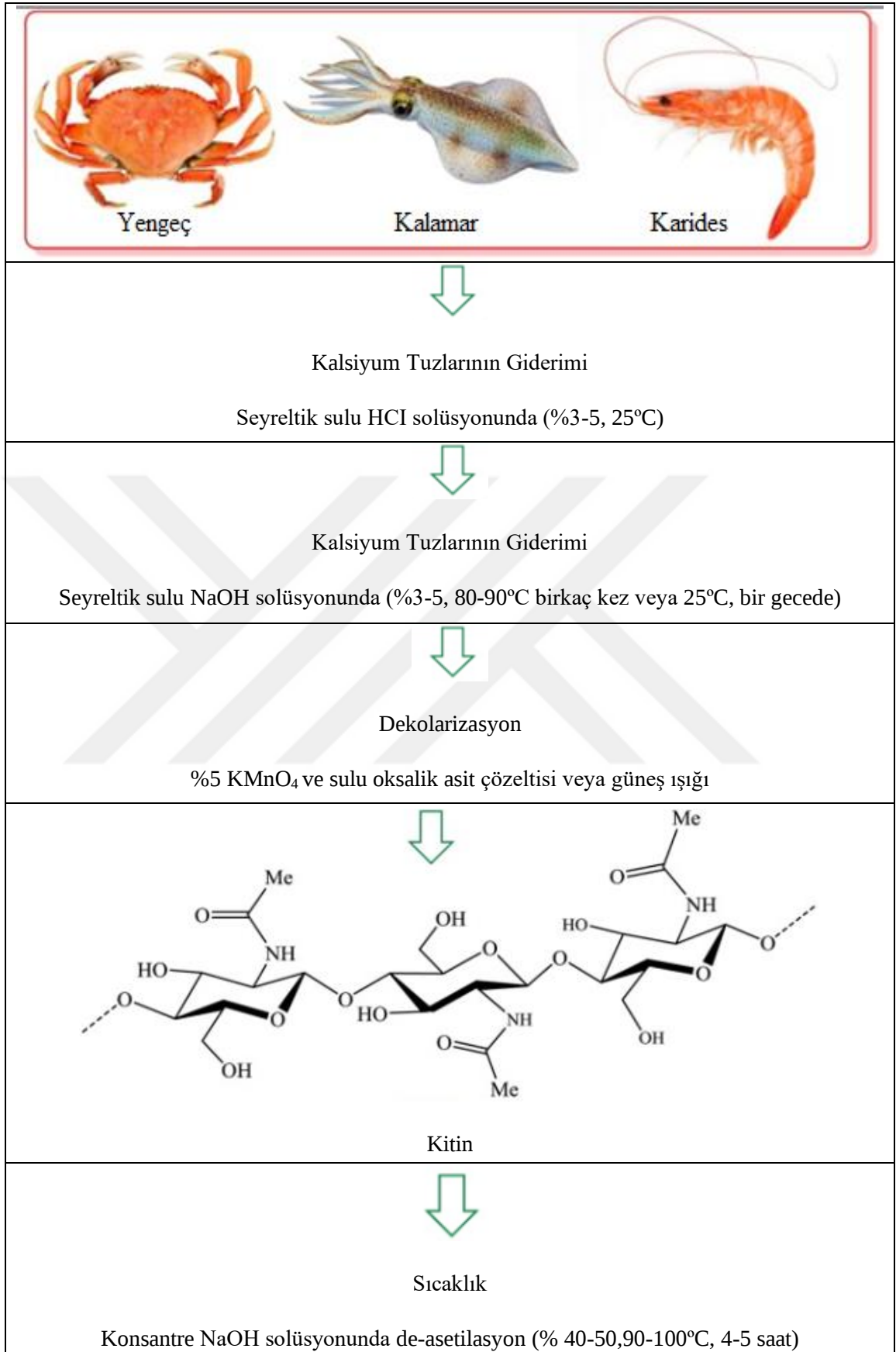
1.5 Biyopolimerler

Kullanılan destek materyalleri arasında, toksik olmama, mükemmel yapısal özellikler, kimyasal modifikasyon kolaylığı, bol bulunabilirlik ve biyoyumluluk gibi özelliklere sahip biyopolimerler, en umut verici destek maddelerinden biridir. Polisakkaritler tekrar eden birimin monosakkaritten oluştuğu organik polimerlerdir. Monosakkaritler (genel formülü $C_n(H_2O)_n$) moleküldeki karbon atomlarının sayısına göre tetroz, pentoz, hekzoz, vb. olarak kategorize edilen bir polihidroksi karbonil bileşiğidirler.

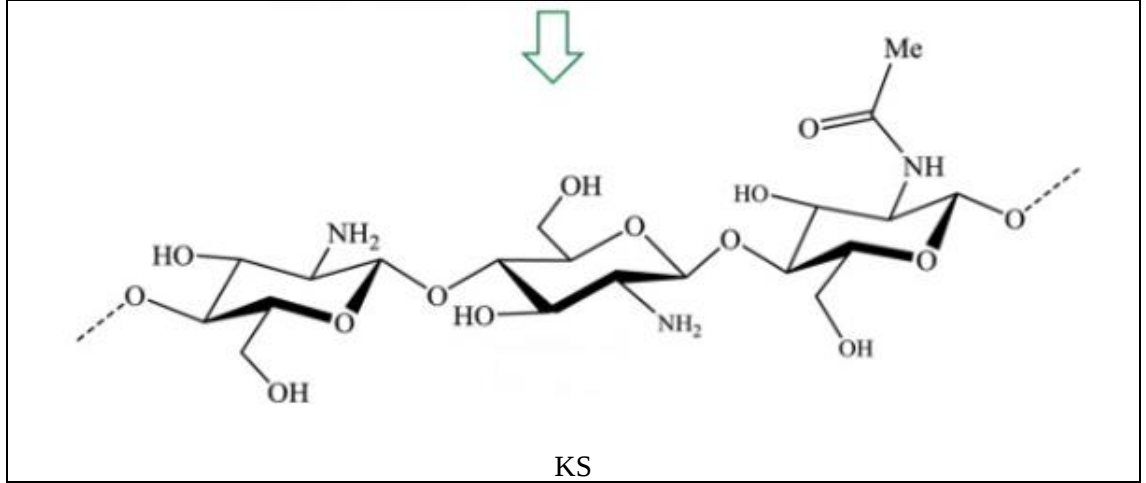
Birçok polisakkarit tüm canlı organizmalarda enerji kaynağı veya yapısal bütünlük ve hücrelerin korunması olarak önemli bir role sahiptir [113–115]. Bu çevre dostu sürdürülebilir bileşikler, bitkilerden ve mikrobiyal biokütleden kolayca elde edilebilirler [116–120]. Genel olarak bu tür biyopolimerler, değişen moleküler zincirlere ve boyutlara sahip geniş kapsamlı kompozitler ve yapısal formlar olabilirler. Bu özellikler onları, nano yapı malzemelerin biriktirilmesi ve stabilizasyonu için ideal adaylar haline getirir [121]. Biyopolimerler arasında, kitosan katalizör destek maddesi olarak en dikkat çekenlerinden biridir.

1.5.1 Kitosan

KS alkalın ortamda kitin de-asetilasyonundan üretilen lineer bir polisakkarittir (Şekil 1.4). Kitin karides yengeç ve kalamarın dış iskeletinden elde edilir [122]. Alfa-kitin açık ara en bol bulunan kitin türevidir. Mantarlar ve maya hücre duvarlarında, kirilde, istakoz, yengeç tendonlarında ve kabuklarında, karides kabuklarında ve böcek kütikülünde bulunur. Ayrıca çeşitli deniz canlı organizmalarında bulunur. Kitin ve KS selülozdan sonra en fazla bulunan polisakkarittir ve biyobozunurluk ve biyouyumluluk gibi birçok özelliğe sahiptir [123,124]. Katyonik bir polisakkarit olan KS biyolojik olarak parçalanabilirlik, toksik olmama, biyouyumluluk, geniş yüzey alanı, yüksek termal kararlılık ve ayrıca farmakolojik özellikler gibi birçok önemli özelliğe sahiptir [125].



Şekil 1.4. KS'nin eldesi ve kimyasal yapısı [113].



Şekil 1.4 (devam). KS'nin eldesi ve kimyasal yapısı [113].

Kitinin destilasyon derecesi yaklaşık %50' ye ulaştığında (polimerin orijinine bağlı olarak), KS sulu asidik ortamda çözünür hale gelir [126]. Çözünme polisakkaritin asidik ortamda bir d-glikozamin biriminin C-2 pozisyonundaki $-NH_2$ fonksiyonel grubunun protonlanmasıyla gerçekleşir [126]. Bunların yanında, KS sahip olduğu serbest $-NH_2$ ve $-OH$ grupları sayesinde hem kolayca kimyasal olarak modifiye edilebilir hem de jel, film, lif ve mikro küre formlarına kolayca dönüştürülebilir. Bu formlar arasında, mikro küre formu, KS'nin $-NH_2$ grupları ile bir aldehit/keton'un karbonil gruplarının kondenzasyon reaksiyonu sonucu çapraz bağlanması ile kolayca elde edilene bilir. Bu form özellikle katalizör destek maddesi olarak kullanıldığında, hem metallerin kuvvetli bağlanacağı koordinasyon boşlukları oluşturulur hem de katalizörlerin kolayca geri kazanılabilmesine imkân sağlamış olunur. Bütün bu üstün özellikleri göz önüne alındığında, KS çeşitli organik veya inorganik malzemeler ile kompozit oluşturma bilir ve mikro küre formunu dönüştürülebilir. Elde edilen mikro küre formu katalizör destek malzemesi olarak kullanılabilir. Bu organik/inorganik malzemeler arasında metal oksitler önemli bir yere sahiptir.

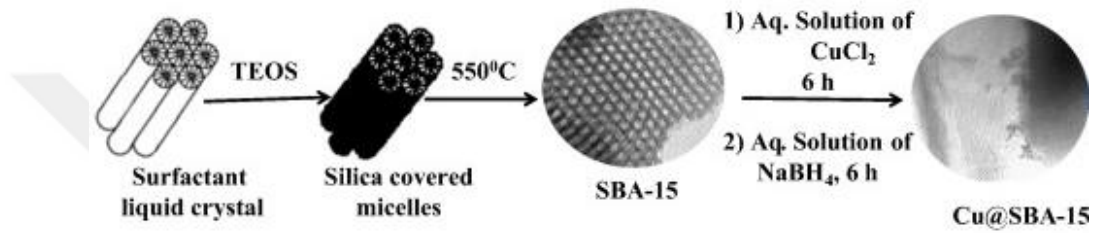
1.6 Metal Oksitler

Nanomalzemeler olarak metal oksitler, yüksek özgül yüzey alanı, yüksek katalitik reaktivite ve önemli optik özellikler gibi benzersiz avantajlara sahip oldukları için çeşitli bilimsel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [127–131]. Nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte, mikro/nano ölçekte farklı şekil ve morfolojilere sahip metal

oksitler, hidrotermal, sol-jel yöntemi, ortak katılım yöntemi, elektrostatik eğirme ve püskürterek kurutma dahil olmak üzere kapsamlı yöntemlerde başarılı bir şekilde sentezlenmiştir [132–138]. Bunların yanı sıra, metal oksitler elektrokimya, kataliz, korozyon, spintronik ve optoelektronik gibi birçok araştırma alanı için büyük ilgi uyandıran fiziko-kimyasal özelliklerin benzersiz bir kombinasyonunu sunarlar [139–143]. Metal oksitler arasında, bir ikili geçiş metali oksit olan nikel oksit (NiO), p-tipi bir yarı iletken ve ilginç optik, elektronik ve katalitik özelliklerinden dolayı geniş bir uygulama alanına sahiptir [144,145]. Ek olarak, NiO nanopartikülleri hidrotermal yöntem, lazer ablasyon, katı hal yöntemi ve kimyasal çöktürme yöntemi gibi farklı yöntemlerle kolaylıkla hazırlanabilmektedir [146–148].

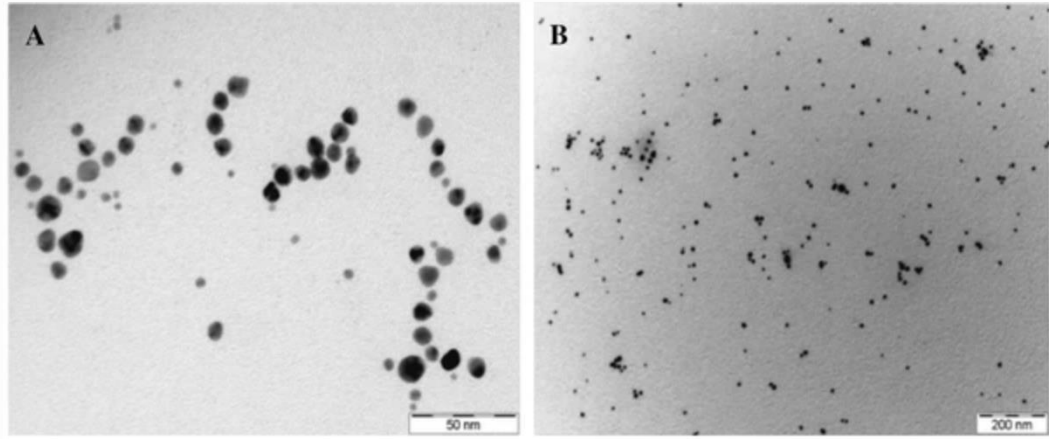


Ghosh vd. (2015), Cu nanopartikül yüklü mezogözenekli silika SBA-15 katalizörünü (Cu@SBA-15) hazırlamışlar (Şekil 2.2) ve yapısını XRD, BET, AAS, TEM ve FT-IR/ATR analizleri ile aydınlatmışlardır [150]. Daha sonra, Cu@SBA-15 katalizörünün katalitik gücü 4-NP, MO, CR, RhB, MB gibi çeşitli kirleticilerin katalitik indirgenmesinde araştırılmışlardır. Katalitik deneyler, UV-Vis spektroskopisi kullanılarak izlenmiş ve Cu@SBA-15 katalizörü 4-8 dakika içerisinde bu çevresel kirleticileri katalitik olarak indirgemeyi başardığını rapor etmişlerdir. Dahası, Cu@SBA-15 katalizörün katalitik etkinliği beş çalışma döngüsüne kadar koruduğunu bildirmişlerdir.



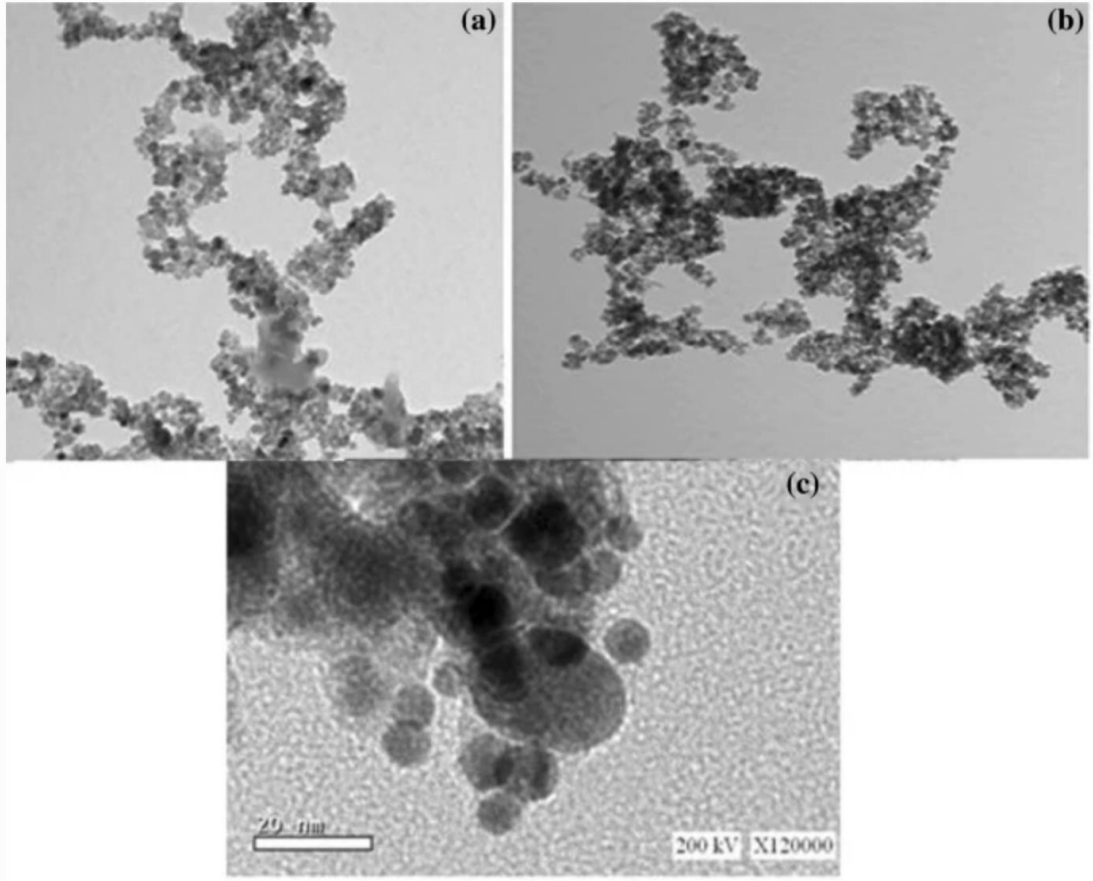
Şekil 2.2. Cu@SBA-15 katalizörünün sentezi yöntemi verilmiştir [150].

Ganapuram vd. (2015), salmalia malabarica zambını hem indirgeme hem de destek maddesi olarak kullanılarak, kararlı altın nanopartikülleri (AuNP'ler) sentezlemişlerdir (Şekil 2.3) [151]. AuNP'leri oluşumunu FT-IR/ATR, UV-Vis ve TEM analizleri kullanarak doğrulamışlardır. TEM çalışmaları, sentezlenen AuNP'lerin ortalama parçacık boyutunun 12 ± 2 nm olduğunu göstermiştir. Sentezledikleri AuNP'lerin katalitik rolünü, MB ve CR organik boyalarının katalitik indirgenmesinde test etmişlerdir. Sentezlenen AuNP'lerin, MB'yu 9 dakikada ve CR'nı ise 10 dakikada katalitik olarak indirgediğini göstermişlerdir.



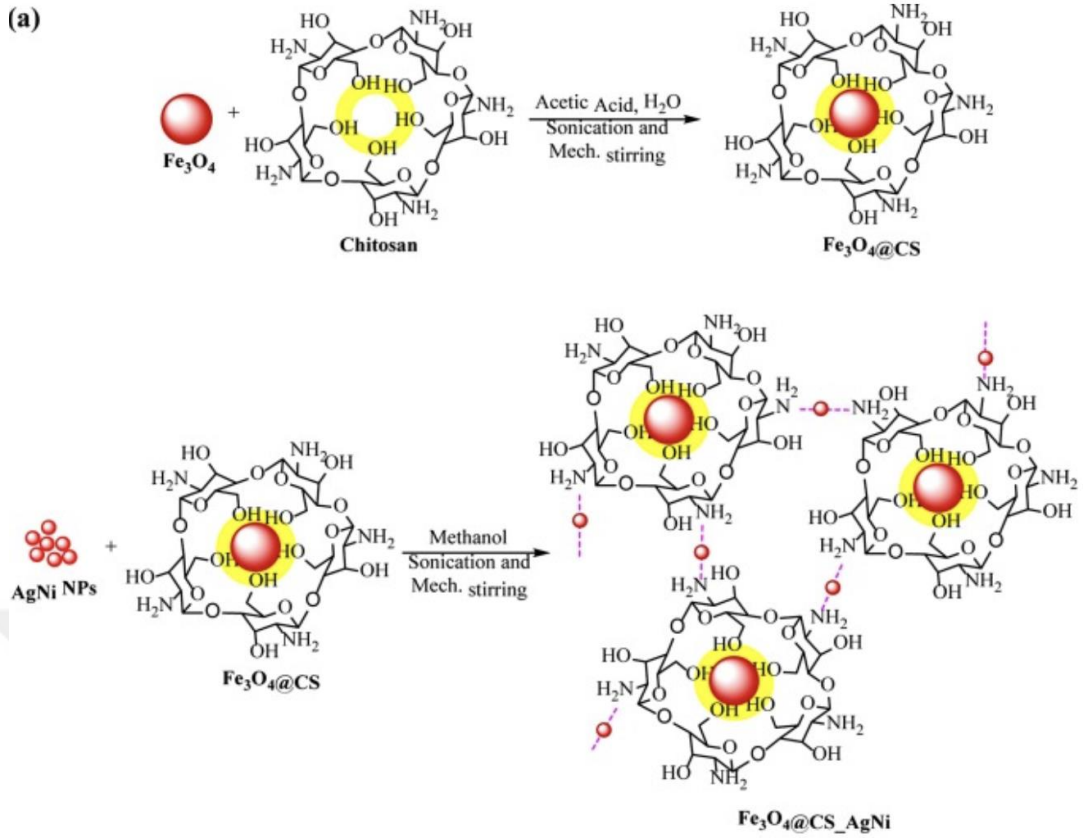
Şekil 2.3. Sentezlenen AuNP'lere ait TEM görüntüleri [151].

Sallam vd. (2018), süper paramanyetik özelliğe sahip Ag- γ -Fe₂O₃ nanokompozitinin sentezlenmişler ve yapısını XRD, FT-IR/ATR, TGA, TEM ve VSM analizleri ile karakterize etmişlerdir (Şekil 2.4) [152]. Sentezlenen Ag- γ -Fe₂O₃ nanokompozitinin, NaBH₄ varlığında 4-NP ve 2-NA'yı sırasıyla 395 ve 620 sn de 4-AP ve o-PDA katalitik olarak dönüştürdüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca, Ag- γ -Fe₂O₃ nanokompoziti, MO'nun katalitik indirgenmesini 1760 sn de gerçekleştirmiştir. Dahası, Ag- γ -Fe₂O₃ nanokompozitinin, 4-NP'nin indirgenmesinde on iki kez tekrar kullanılabileceğini göstermişlerdir.



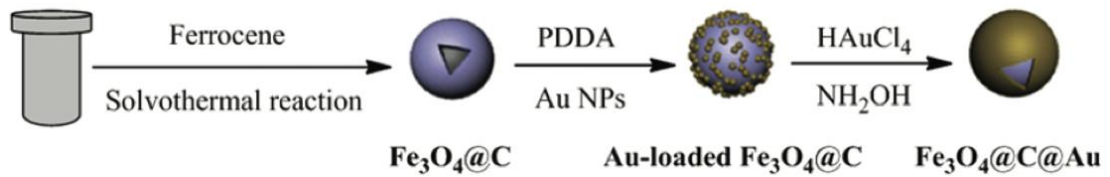
Şekil 2.4. γ -Fe₂O₃ (a) ve Ag- γ -Fe₂O₃ (b ve c) nanokompozitine ait TEM görüntüleri [152].

Antony vd., 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada, heterojen ve manyetik özelliği sahip Fe₃O₄@kitosan desteği üzerinde bi-metalik AgNi NP'lerin (20-25 nm) kolayca sentezlemişlerdir (Şekil 2.5) [153]. Sentezlenen Fe₃O₄@CS_AgNi katalizörün katalitik performansını 4-NP'in 4-AP'ye katalitik indirgenmesinde test etmişler ve 10 dakika içerisinde 4-NP indirgenmeyi başarmışlardır. Ayrıca, Fe₃O₄@CS_AgNi heterojen nanokatalizörü harici bir mıknatıs kullanılarak basitçe geri kazanıp ve yedi kez tekrar kullanılabilir olduğunu rapor etmişlerdir.



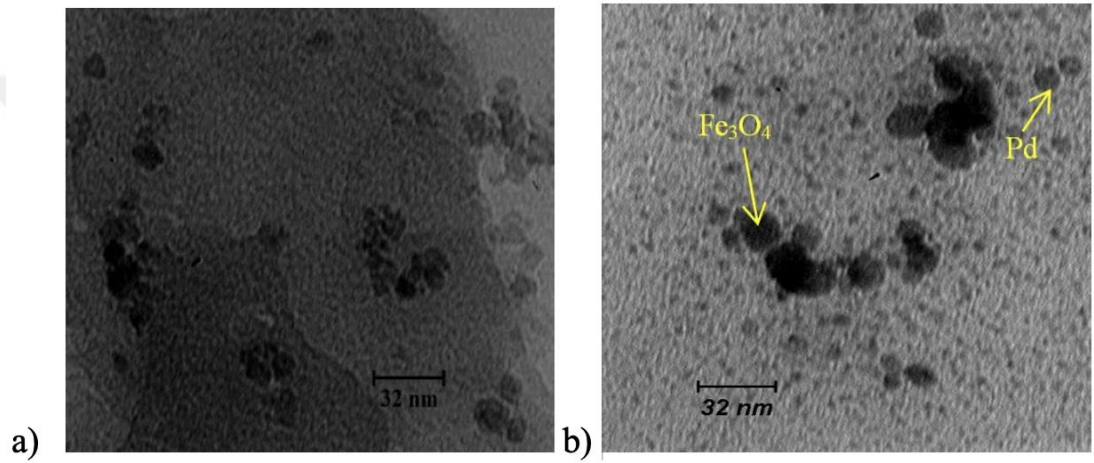
Şekil 2.5. Fe₃O₄@CS_AgNi nanokompozitinin hazırlanması [153].

Gan vd., 2013 yılında katalizör olarak Au-yüklü Fe₃O₄@C kompozit mikroküreleri sentezlemişler (Şekil 2.6) ve yapısını FE-SEM, TEM, XRD gibi teknikler ile karakterize etmişlerdir [154]. Daha sonra sentezlenen Fe₃O₄@C@Au kompozit mikrokürelerin katalitik gücünü, NaBH₄ varlığında MB organik boyar maddesinin katalitik indirgenmesinde test etmişlerdir. Yapılan katalitik testler sonucunda, Fe₃O₄@C@Au kompozit mikrokürelerin, MB'nin katalitik indirgenmesini 10 dakikada katalize ettiğini göstermişlerdir. Ayrıca, Fe₃O₄@C@Au kompozit mikrokürelerin katalitik performansında önemli bir değişiklik olmadan 6 kez geri kazanılıp, tekrar kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.



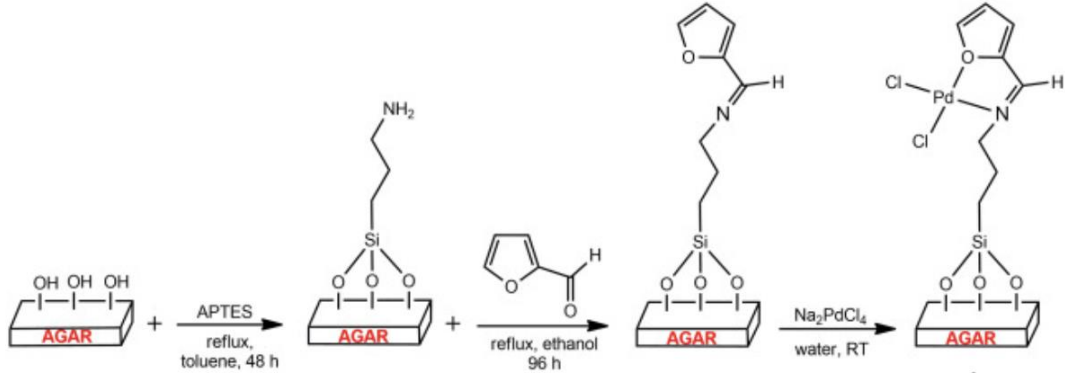
Şekil 2.6. Au-yüklü Fe₃O₄@C kompozit mikrokürelerin sentezi [154].

Omidvar vd., 2017 yılında Grafen oksit/ Fe_3O_4 içeren kompozit ($\text{GO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$) yüzeyinde Pd NP'lerin biriktirilmesi ile yeni bir katalizör sistemi ($\text{GO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Pd}$) tasarlamışlar ve morfolojisi ve kimyasal yapısını FT-IR/ATR, EDS, FE-SEM ve TEM analizleri ile incelemişlerdir (Şekil 2.7) [155]. Daha sonra, $\text{GO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Pd}$ 'in katalitik aktivitesini MO, MB, CR ve 4-NP gibi çeşitli çevresel kirleticilerin giderilmesinde test etmişlerdir. $\text{GO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Pd}$ katalizörünün 4-NP'yi 60 sn, MO'yi 5 dakikada, CR'yi 180 sn ve MB'yi 1 sn de katalitik indirgemeyi başardığını bildirmişlerdir. Ayrıca, $\text{GO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Pd}$ 'nin aktivitesinde önemli bir kayıp olmadan en az beş kez tekrar kullanılabileceğini de göstermişlerdir.



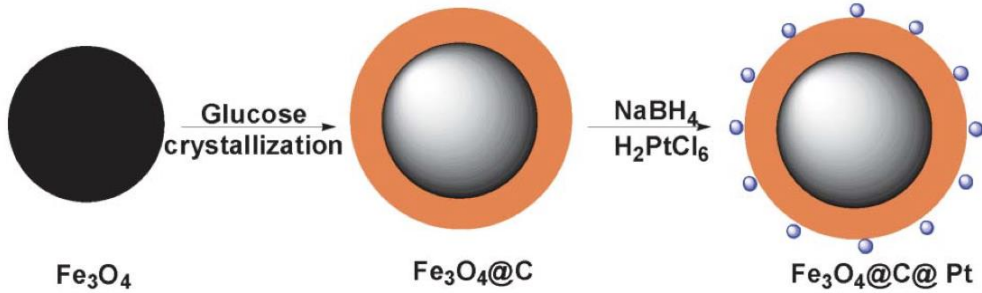
Şekil 2.7. $\text{GO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ (a) ve $\text{GO}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Pd}$ katalizörüne (b) ait TEM görüntüleri [155].

Baran vd., 2018 yılında, modifiye edilmiş agar biyo-polimeri üzerinde desteklenmiş yeni bir heterojen katalizör sistemi (AG-Pd) tasarlamışlar (Şekil 2.8) ve daha sonra hazırlanan AG-Pd katalizörünün katalitik gücü NaBH_4 varlığında, toksik bir çevresel kirletici olan 2-NA'nın o-PDA'ya katalitik indirgenmesinde test edilmişlerdir. AG-Pd katalizörün yapısını FT-IR/ATR TGA, FE-SEM ve EDS gibi analizlerle aydınlatmışlardır [156]. AG-Pd katalizörünün 90 sn de katalitik indirgemeye başarıya gerçekleştirildiğini rapor etmişlerdir.



Şekil 2.8. AG-Pd katalizörünün sentez şeması [156].

Xie vd., 2013 yılında, karbon kaplı manyetik mikro partiküller üzerinde desteklenen Pt NP'lerin sentezini gerçekleştirmişler ($\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}@\text{Pt}$) ve yapısını XPS, XRD, VSM ve FT-IR/ATR analizleri ile karakterize etmişlerdir (Şekil 2.9) [157]. Dizayn edilen $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}@\text{Pt}$ katalizörün katalitik performansı çeşit aromatik nitroarenlerin katalitik indirgenmesinde araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar, elektron veren ya da elektron çeken gruplar içeren farklı nitroaren bileşiklerinin 60 dakikada, karşılık gelen amino bileşiklerine indirgediğini bildirmişlerdir.



Şekil 2.9. $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}@\text{Pt}$ katalizörünün sentezi [157].

Nasrollahzadeh vd., 2018 yılında indirgeyici ve stabilize edici bir madde olarak *Acalypha indica* L. yaprak ekstraktını kullanarak sodyum borosilikat cam üzerinde desteklenen bakır nanopartiküllerin (Cu NP'ler) hazırlamışlar (Şekil 2.10) ve FE-SEM, EDS, TEM, XRD, BET, FT-IR/ATR analizleri ile yapısını aydınlatmışlardır [158]. Sentezlenen Cu/sodyum borosilikat nanokompozitin katalitik aktivitesi 2,4-dinitrofenilhidrazin (2,4-DNPH), 4-NP, MO, MB ve CR'in sulu ortamda NaBH_4 kullanılarak katalitik indirgenmesinde test etmişlerdir. Katalitik indirgemeler Uv-Vis spektroskopisi kullanarak takip edilmiştir. Katalitik testler, 4-NP'yi 191 sn de, 2,4-

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Kullanılan Malzemeler

- Nikel klorür heksahidrat ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- Kitosan (KS) (β -(1,4)-2-amino-2-deoksi-D-glukopiranoz)
- Asetik asit (CH_3COOH)
- Sodyum hidroksit (NaOH)
- Metanol (CH_3OH)
- Etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$)
- Glioksal ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$)
- Paladyum (II) klorür (PdCl_2)
- 2-Nitroanilin ($\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{NO}_2$)
- 4-Nitrofenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_3$)
- 4- Nitroanilin ($\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_2$)
- 4-Nitro-o-Fenilendiamin ($\text{C}_6\text{H}_7\text{N}_3\text{O}_2$)
- Sodyum Borhidrür (NaBH_4)
- Metil Oranj (MO)' nin IUPAC adı Sodyum 4-[(4-dimetilamino)fenildiazenil]benzensülfonat, kimyasal formülü ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$)
- Metilen Mavisi (MB)' nin IUPAC adı 3,7-Bis-di-metilamino fenazatyonyum klorür trihidrat (susuz: metiltiyoninyum klorür), kimyasal formülü ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
- Rodamin B (RhB)'nin IUPAC adı N-[9-(orto-karboksifenil)-6-(dietilamino)-3H-ksanten-3-ili-den]dietil amonyum klorür, kimyasal formülü ($\text{C}_{28}\text{H}_{31}\text{N}_2\text{O}_3\text{Cl}$)

3.2 Kullanılan Cihazlar

3.2.1 Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrofotometre (FT-IR/ATR)

Sentezlenen KS-NiO ve Pd-KS-NiO nanokatalizörünün FT-IR/ATR analizleri, Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR/ATR spektrofotometre cihazı kullanılarak $650\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ aralığında gerçekleştirilmiştir.

3.2.2 Taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM ve EDS spektrumları)

Sentezlenen NiO, KS-NiO ve Pd-KS-NiO nanokatalizörünün yüzey morfolojisine ait görüntüler ve elementel içerikleri QUANTA-FEG 250ESEM/EDAX-Metek cihazı kullanılarak alınmıştır.

3.2.3 Geçirimli elektron mikroskobu (TEM)

Sentezlenen Pd-KS-NiO nanokatalizörünün TEM analizi Zeiss Sigma 300 cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.4 X-Işını difraktometre (XRD)

Sentezlenen NiO, KS-NiO ve Pd-KS-NiO nanokatalizörünün XRD analizleri Rigaku D max 2000 cihazı kullanılarak, 40 kV, 30 mA ve 2θ'da 10° ila 90° tarama açısı ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.5 UV-Vis spektrofotometresi

Çevresel kirleticilerin katalitik indirgenme testleri Genesys 10 S UV-Vis Spektrofotometre cihazı kullanılarak fotometrik olarak takip edilmiştir.

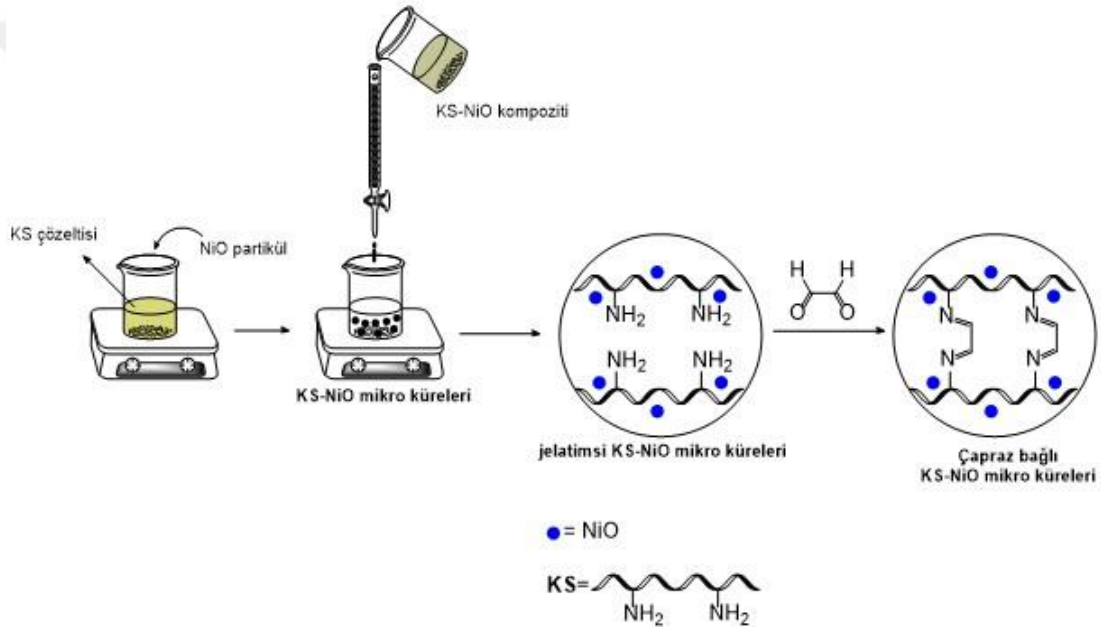
3.3 NiO NP'lerin Sentezi

NiO NP'lerin sentezi önceki literatür çalışmasına göre hidrotermal yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir [159]. 2.0 g toz $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ bir porselen kroze aktarıldı, ağzı alüminyum folyo ile kapatıldı ve alüminyum folyo üzerinde delikler açıldı. Ardından, 200°C'de 1 sa ısıtılarak yapıda bulunan su moleküllerinin uzaklaştırılması sağlandı. Daha sonra klorür iyonlarını uzaklaştırmak için 430°C'de 45 dakika daha ısıtıldı. Son olarak saf NiO NP'leri elde etmek için 850°C 'de 1 sa kalsine edildi. Kalsinasyon sonunda, kroze oda sıcaklığına kadar soğutuldu ve yeşil renkli NiO NP'leri toz halde elde edildi.

3.4 KS-NiO mikrokürelerinin sentezi

2.0 g KS 100 ml %2'lik asetik asit çözeltisine aktarıldı ve oda sıcaklığında tamamen çözünme sağlana kadar karıştırıldı. Ardından, sentezlenen 2.0 g NiO NP'leri reaksiyon

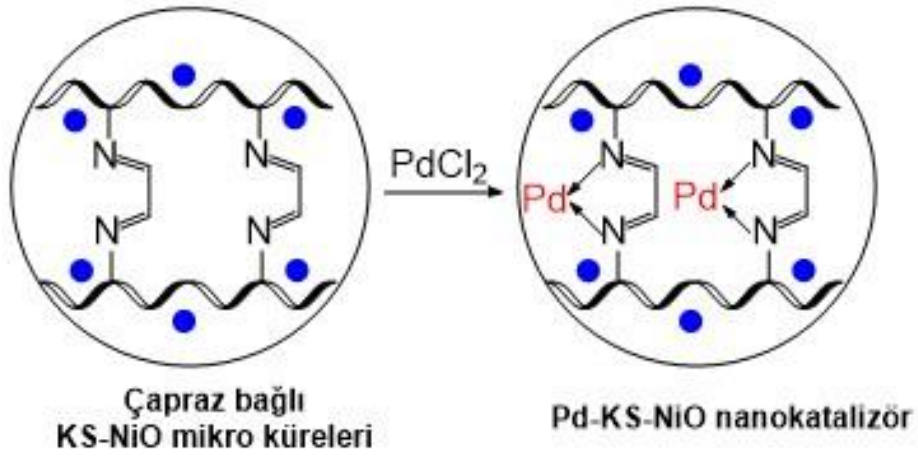
ortamına ilave edildi ve homojen bir karışım elde etmek için 2 sa oda sıcaklığında karıştırıldı. Elde edilen bu homojen karışım, NaOH:su:metanol (12.0 g:40.0 mL:60.0 mL) içeren bazik çözeltiye büret yardımıyla damlatılarak KS-NiO jelatinimsi mikroküreler elde edildi. Daha sonra elde edilen KS-NiO jelatinimsi mikroküreler basit filtrasyon yoluyla reaksiyon ortamından toplandı ve suyla yıkandı. Son olarak jelatinimsi mikroküreler 40.0 mL etanol ve 5.0 mL glioksal içeren çözeltiye aktarıldı ve 60°C’de 5 sa karıştırılarak çapraz bağlanmış KS-NiO mikroküreler elde edildi (Şekil 3.1). Elde edilen KS-NiO mikroküreler basit filtrasyonla reaksiyon ortamından toplandı su ve etanol ile yıkanarak katalizör destek maddesi olarak kullanılmak üzere oda sıcaklığında kurutuldu.



Şekil 3.1. KS-NiO mikrokürelerinin sentez şeması.

3.5 Paladyum NP’lerinin KS-NiO Mikroküreleri Üzerinde Sentezi (Pd-KS-NiO nanokatalizör)

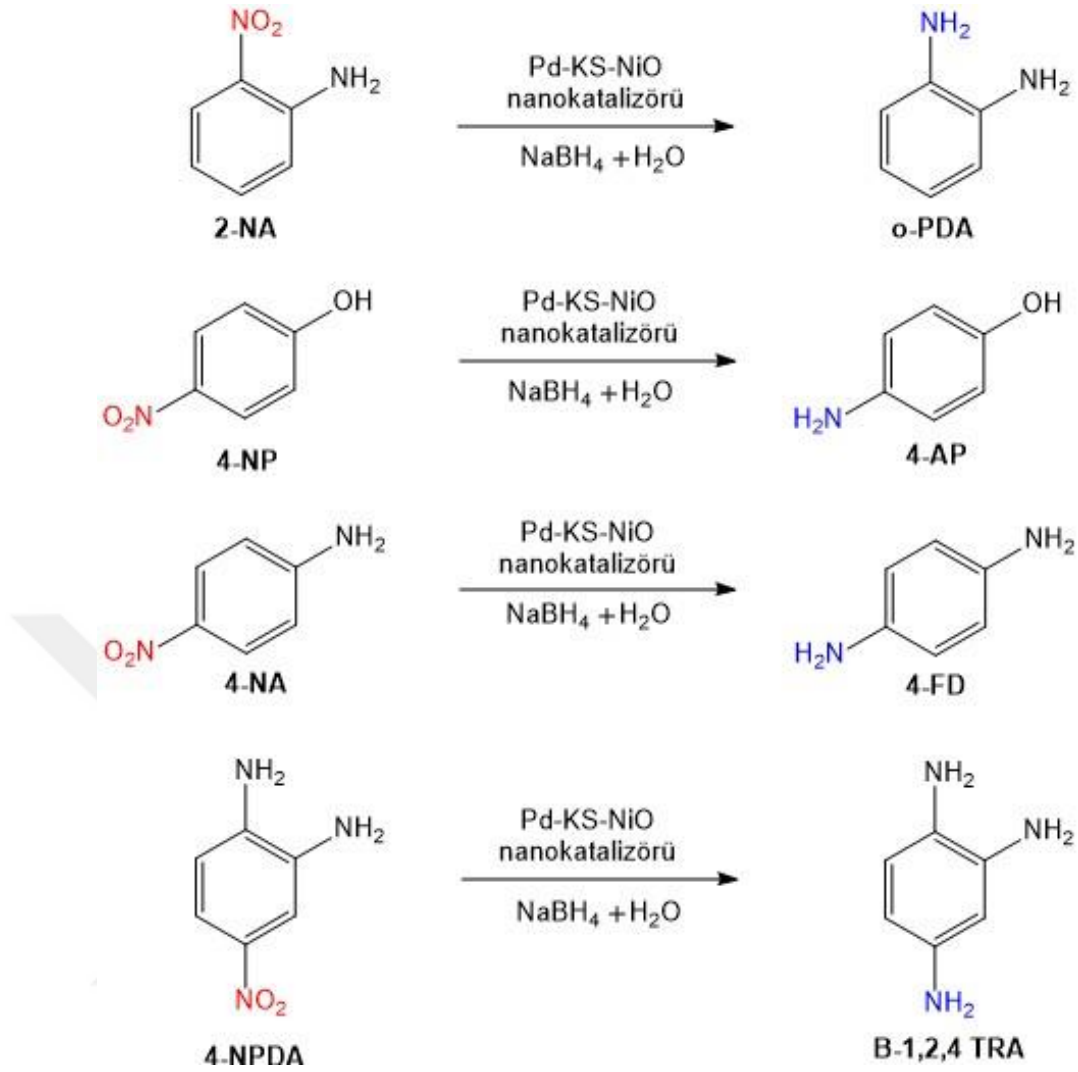
Pd NP’lerinin sentezi herhangi bir toksik ajan kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. 1.0 g çapraz bağlı KS-NiO mikroküreleri ve 0.20 g PdCl₂ alınıp 35.0 mL etanol çözeltisine aktarıldı ve 70°C’de 3 sa karıştırılarak reflax edildi. Reaksiyon süresi boyunca yapılan deney takibinde; çözelti renginin yeşilden önce koyu laciverte ardından hızlıca siyaha döndüğü gözlemlendi. Elde edilen Pd-KS-NiO nanokatalizörü (Şekil 3.2) reaksiyon ortamından filtrasyonla toplandı ve bol saf su ile yıkanarak 60°C de 12 sa kurutuldu.



Şekil 3.2. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün sentez şeması.

3.6 Pd-KS-NiO Nanokatalizörü Varlığında Aromatik Nitro Bileşiklerinin Katalitik İndirgenmesi İçin Genel Yöntem

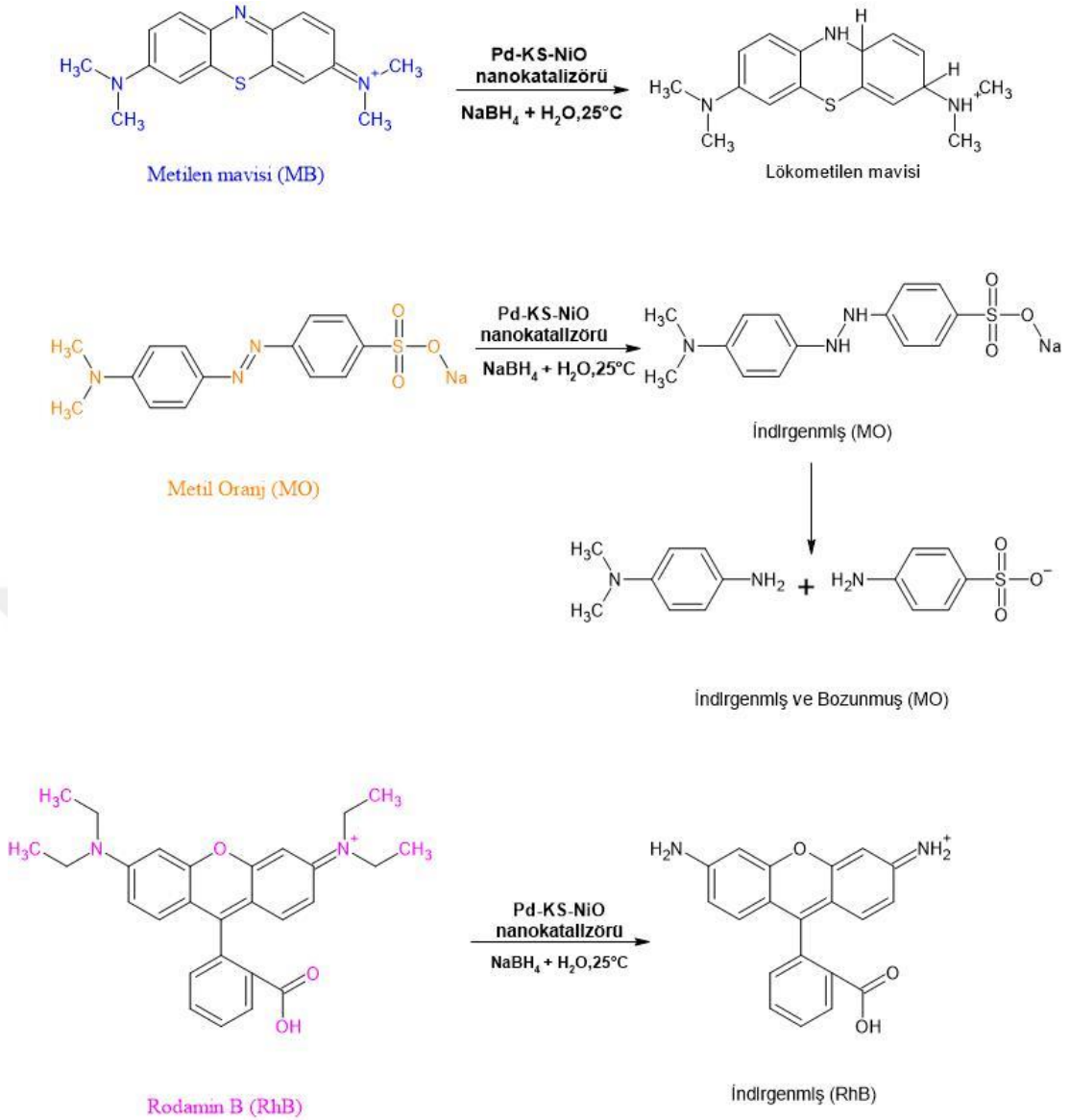
1.0 ml aromatik nitro bileşiği (1×10^{-4} M) ve 0.50 mL NaBH_4 (0.05 M) quartz küvete aktarıldı ve 2 dakika oda sıcaklığında karıştırıldı. Ardından, katalitik indirgenmenin başlatılması için 5.0 mg Pd-KS-NiO nanokatalizörü reaksiyon ortamına ilave edildi (Şekil 3.3). Katalitik indirgenme deneyleri UV-Vis ile takip edilmiştir. Geçen reaksiyon süresi ile eş zamanlı olarak reaksiyon karışımının UV-Vis analizi 200-700 nm aralığında gerçekleştirilmiştir. Katalitik indirgenmeler sonunda Pd-KS-NiO nanokatalizörü reaksiyon ortamından filtrasyonla toplandı. Su ve etanol ile yıkanarak tekrar kullanılabilirlik testlerinde kullanılmak üzere kurutuldu.



Şekil 3.3. Aromatik nitro bileşikleri ve indirgenme ürünlerine ait yapılar.

3.7 Pd-KS-NiO Nano Katalizörü Varlığında Organik Boyaların Katalitik İndirgenmesi İçin Genel Yöntem

1.0 mL organik boyar madde bileşiği (1×10^{-5} M) ve 0.25 mL NaBH₄ (0.05 M) quartz küvete aktarıldı ve 2 dakika oda sıcaklığında karıştırıldı. Ardından, katalitik indirgenmenin başlatılması için 8.0 mg Pd-KS-NiO nanokatalizörü reaksiyon ortamına ilave edildi (Şekil 3.4). Katalitik indirgenme deneyleri UV-Vis ile 200-800 nm aralığında boyaların spesifik absorban bantlarındaki değişiklikler incelenerek takip edilmiştir. Katalitik deneyler sonunda Pd-KS-NiO nanokatalizörü reaksiyon ortamından filtrasyonla toplandı. Su ve etanol ile yıkanarak tekrar kullanılabilirlik testlerinde kullanılmak üzere kurutuldu.



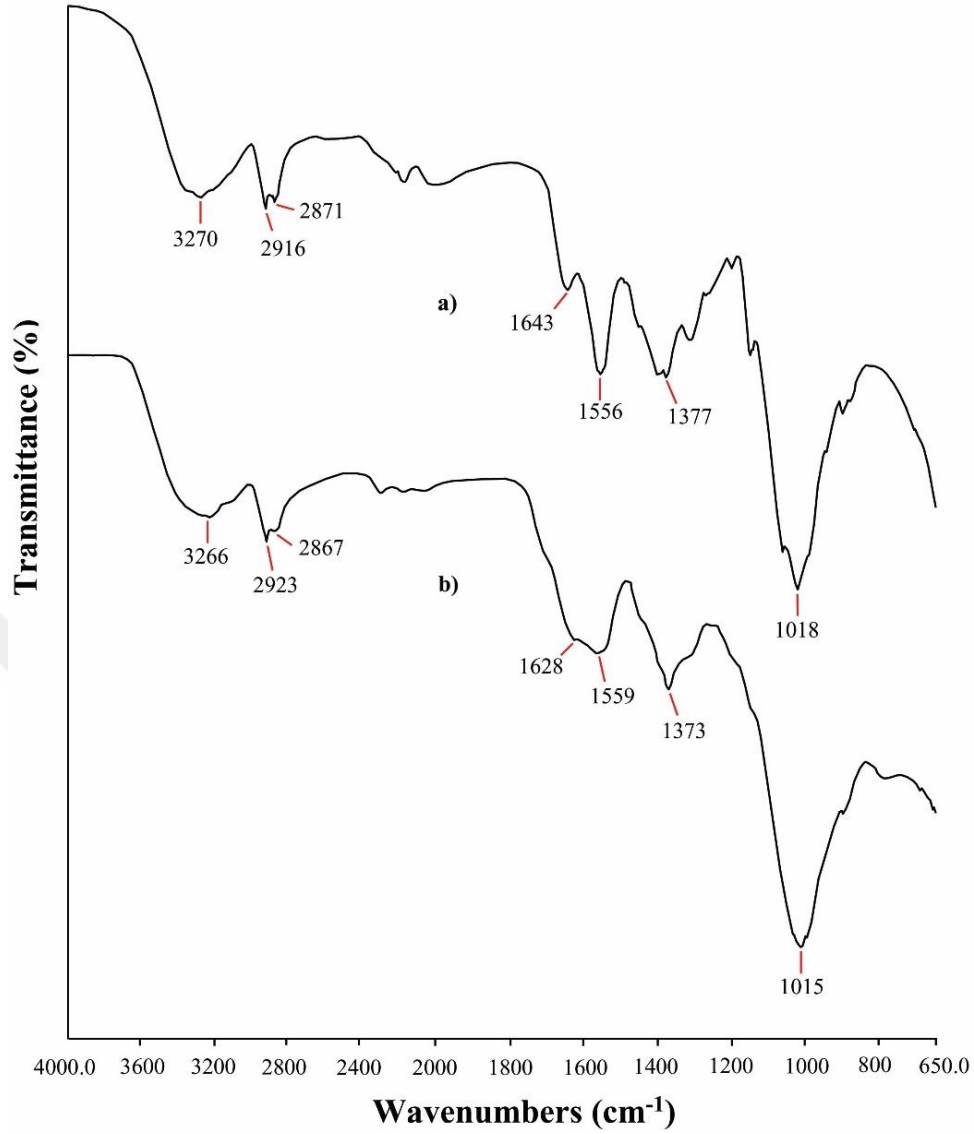
Şekil 3.4. Pd-KS-NiO nanokatalizörü varlığında MB, MO ve RhB boya larının indirgenmesi.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Sentezlenen KS-NiO ve Pd-KS-NiO Nanokatalizörün Karakterizasyonu

4.1.1 FT-IR/ATR Analizleri

Şekil 4.1 KS-NiO (a) ve Pd-KS-NiO nanokatalizörünün (b) FT-IR/ATR spektrumlarını göstermektedir. KS-NiO mikro kapsüllerine ait FT-IR/ATR spektrumu incelendiğinde 3270 cm^{-1} de -OH gerilmelerine atfedilen geniş bir pik gözlemlenmiştir (Şekil 4.1(a)). Ayrıca KS'nin, C-C, amid II, C-N ve C-O-C gerilmeleri de sırasıyla $2916\text{--}2871\text{ cm}^{-1}$, 1556 cm^{-1} , 1377 cm^{-1} ve 1018 cm^{-1} de gözlemlenmiştir [160]. Daha da önemlisi KS-NiO'in glioksal ile çapraz bağlanma sonucu oluşan ve imin bantlarına atfedilen yeni bir pik 1643 cm^{-1} de gözlemlenmiştir (Şekil 4.1(a)). Diğer yandan, NiO NP'e ait Ni-O gerilme titreşimlerinin FT-IR spektrumunda 440 cm^{-1} ve 660 cm^{-1} civarında pik verdiği bilinmektedir [161]. Ancak FT-IR/ATR tekniği ile $4000\text{--}650\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki dalga sayılarını tarayarak analiz yapıldığı için KS-NiO mikrokürelerinin FT-IR/ATR spektrumunda Ni-O gerilmelerine ait pikler tespit edilememiştir. Bu yüzden KS-NiO mikroküreleri içerisindeki NiO varlığını doğrulamak için FE-SEM, EDS, TEM ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün FT-IR/ATR spektrumu incelendiğinde ise, desteği ile hemen hemen aynı pikleri göstermesine rağmen imin bantlarının 1628 cm^{-1} 'ye kaydığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.1(b)). Bu kayma KS-NiO mikrokürelerinin imin bantları ile Pd iyonlarının güçlü etkileşimi ile açıklana bilinir.

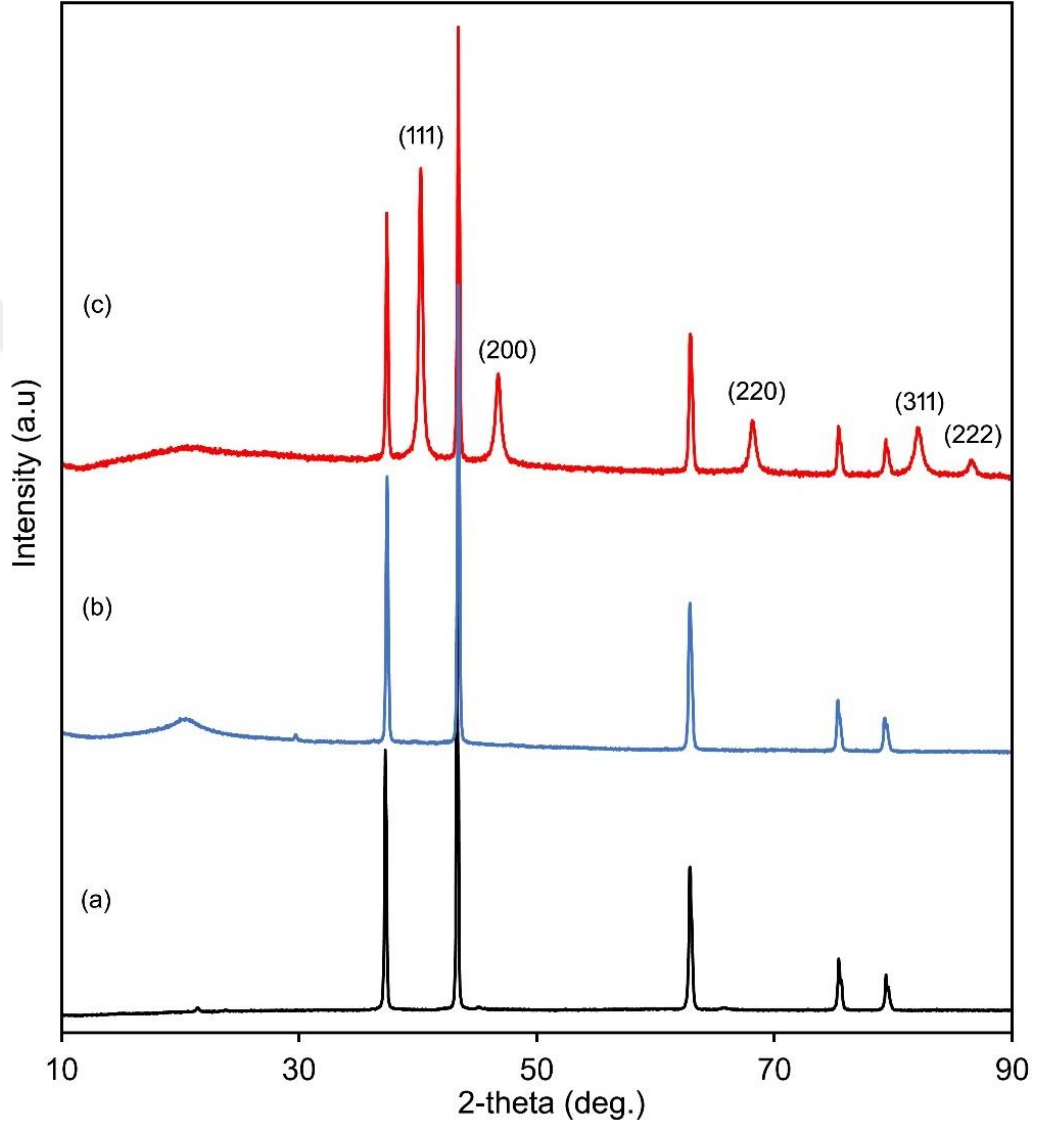


Şekil 4.1. KS-NiO (a) ve Pd-KS-NiO nanokatalizörüne (b) ait FT-IR/ATR spektrumları.

4.1.2 XRD Analizleri

Şekil 4.2 NiO (a), KS-NiO (b) ve Pd-KS-NiO nanokatalizörünün (c) XRD spektrumlarını göstermektedir. NiO' in XRD spektrumu incelendiğinde 37,26°, 43,30°, 62,94°, 75,15° ve 79,35° de olmak üzere 5 keskin pik gözlemlenmiştir (Şekil 4.2(a)). Bu pikler yüzey merkezli kübik NiO'in sırasıyla (111), (200), (220), (311) ve (222) düzlemlerine karşılık gelmektedir [162,163]. Bu piklerin varlığı NiO NP'lerinin saf bir şekilde sentezlendiğini doğrulamıştır. KS-NiO mikro kürelerinin XRD spektrumu incelendiğinde ise NiO NP'lerinin karakteristik piklerinin yanında KS' ye ait olan ve yaklaşık 20° de geniş bir pik gözlemlenmiştir (Şekil 4.2(b)). Pd-KS-NiO

nanokatalizörün XRD spektrumu incelendiğinde ise $40,23^\circ$, $46,82^\circ$, $68,32^\circ$, $82,40^\circ$ ve $86,84^\circ$ de 5 keskin pik gözlemlenmiştir (Şekil 4.2(c)). Bu pikler yüzey merkezli kübik Pd'nin sırasıyla (111), (200), (220), (311) ve (222) düzlemlerine karşılık gelmektedir ve Pd NP'lerinin KS-NiO mikroküreleri üzerinde başarıyla sentezlendiğini doğrulamıştır [164].

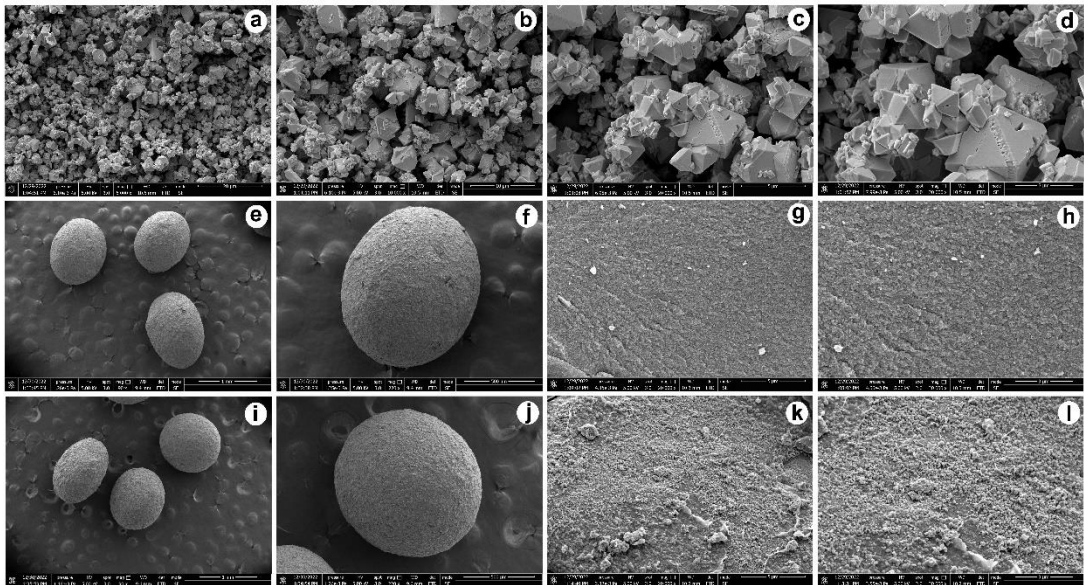


Şekil 4.2. NiO (a), KS-NiO (b) ve Pd-KS-NiO nanokatalizörüne (c) ait XRD spektrumları.

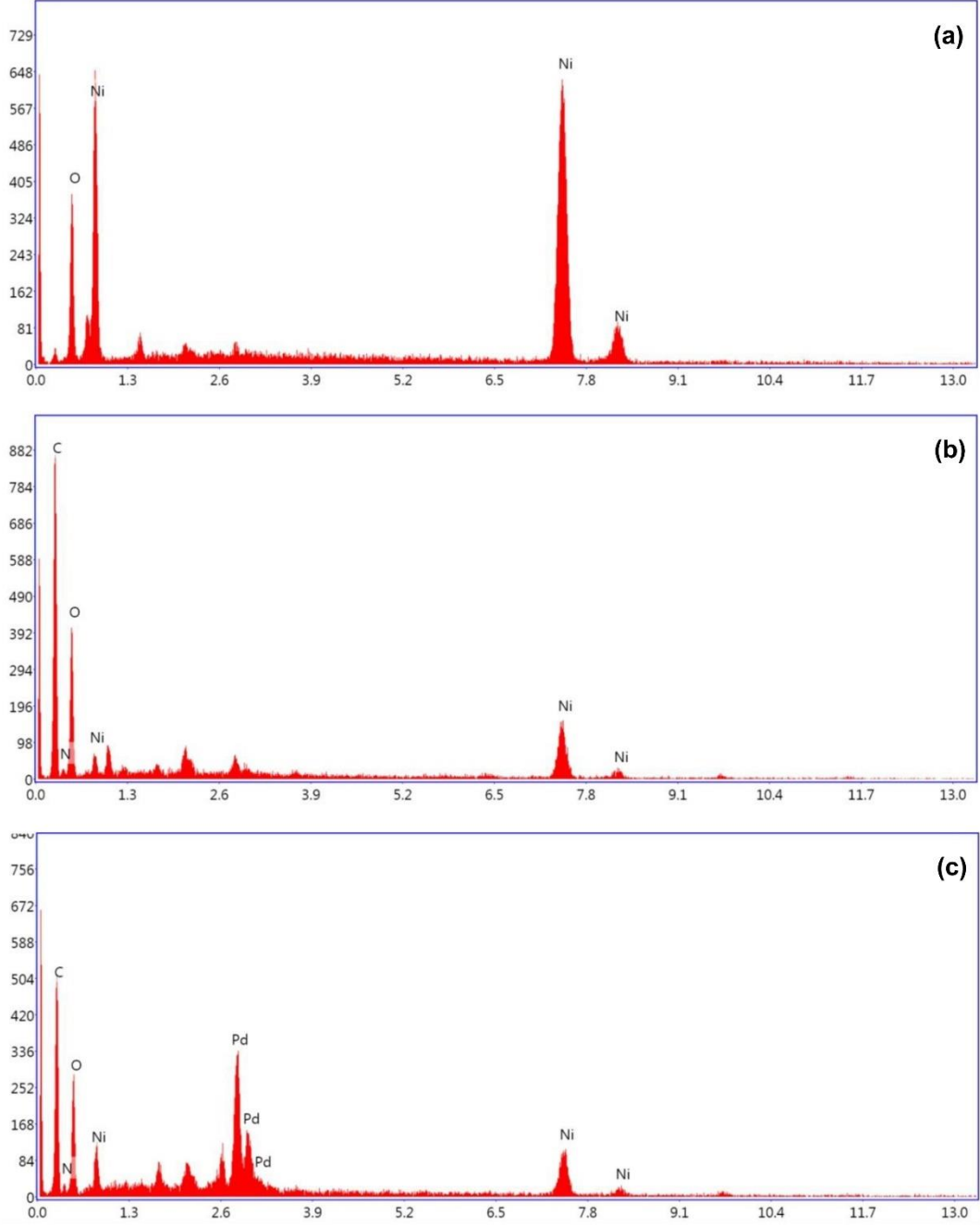
4.1.3 FE-SEM ve EDS analizleri

NiO, KS-NiO ve Pd-KS-NiO nanokatalizörünün yüzey morfolojileri FE-SEM analizleri ile incelenmiş ve elde edilen görüntüler Şekil 4.3'de verilmiştir. NiO

parçacıklarının, FE-SEM görüntüleri incelendiğinde elmas benzeri parçacıklar halinde oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.3(a-d)). KS-NiO ve Pd-KS-NiO nanokatalizörünün düşük büyütme ölçeklerinde yüzey görüntüleri incelendiğinde mikro boyutlu (yaklaşık 1µm) ve küre şeklinde oluştuğu gözlemlenmektedir (Şekil 4.3(f ve j)). Büyük büyütme ölçeklerinde KS-NiO mikrokürelerinin yüzey görüntüleri incelendiğinde yüzeyinin neredeyse düz bir yapıya dönüştüğü gözlemlenmiştir (Şekil 4.3(g-h)). Pd NP'lerin KS-NiO mikrokürelerinin yüzeyinde biriktirilmesinden sonra katalizörün yüzeyinin düzensiz ve pürüzlü bir yapıya sahip olduğu ve ayrıca parçacıklarla kaplandığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.3(k-l)). Bu bulgular Pd NP'lerin başarıyla üretildiğini doğrulamıştır. Daha fazla karakterizasyon için NiO, KS-NiO ve Pd-KS-NiO nanokatalizörünün yüzey element bileşimleri EDS analizi ile araştırılmış ve spektrumları Şekil 4.4'de verilmiştir. NiO NP'lerin EDS spektrumu incelendiğinde ana elementel bileşimi olarak Ni ve O'dan oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.4(a)) ve NiO NP'lerinin başarıyla sentezlendiği doğrulanmıştır. KS-NiO mikrokürelerinin EDS spektrumu incelendiğinde ise NiO'de ait olan Ni ve O'nin piklerinin yanı sıra KS'nin C ve N piklerinin varlığı da açıkça görülmektedir (Şekil 4.4(b)). Nanokatalizörün spektrumunda ise KS ve NiO'nin piklerinin yanı sıra Pd'ye ait piklerin varlığı Pd NP'lerin KS-NiO mikrokürelerinin yüzeyinde başarıyla biriktirildiğini doğrulamıştır (Şekil 4.4(c)).



Şekil 4.3. NiO (a-d), KS-NiO (e-h) ve Pd-KS-NiO nanokatalizörüne (i-l) ait FE-SEM görüntüleri.

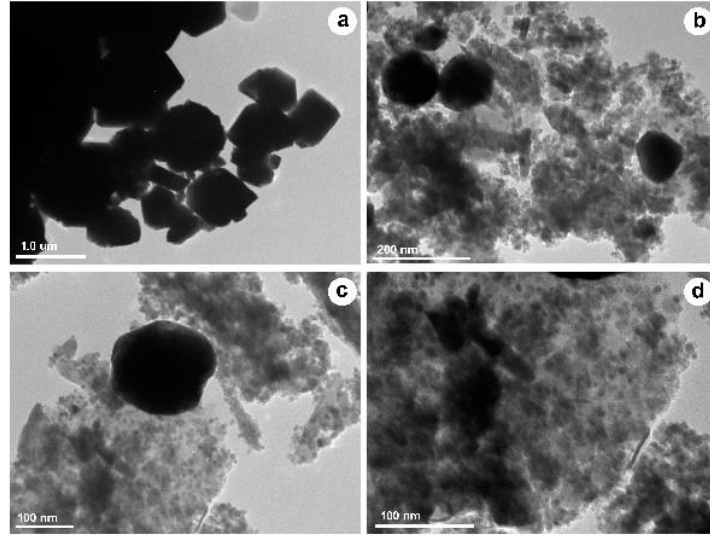


Şekil 4.4. NiO (a), KS-NiO (b) ve Pd-KS-NiO nano katalizörüne (c) ait EDS spektrumları.

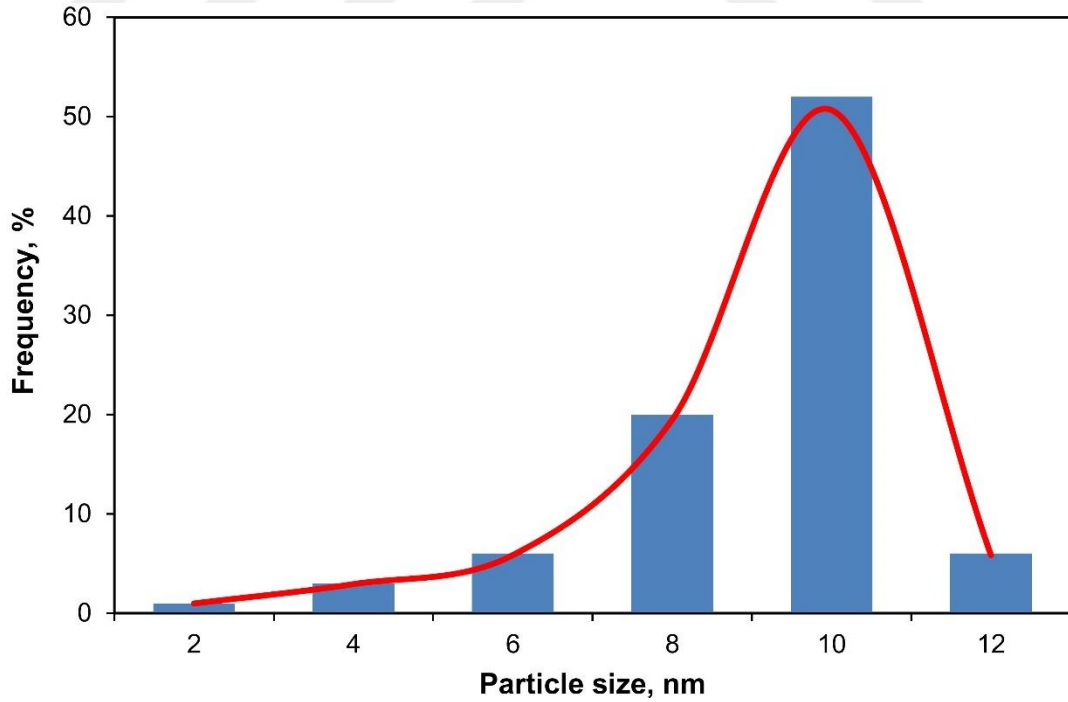
4.1.4 TEM analizleri

Sentezlenen NiO ve Pd-KS-NiO nanokatalizörün yüzeylerini detaylı incelemek için TEM analizleri gerçekleştirilmiş ve Şekil 4.5'te verilmiştir. NiO'in TEM görüntüsü incelendiğinde küre ve elmas benzeri büyük partiküllerden oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.5(a)). Katalizörün TEM görüntüleri incelendiğinde ise, paladyum

nanopartiküllerin küçük siyah noktalar olarak ve küresel formda KS-NiO mikroküreleri üzerinde homojen bir şekilde dağılarak oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.5(b-d)). Ayrıca sentezlenen Pd NP'lerin ortalama partikül boyutunun 10 nm olduğu partikül dağılım grafiğinden bulunmuştur (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. NiO (a) ve Pd-KS-NiO nanokatalizörüne (b-d) ait TEM görüntüleri.



Şekil 4.6. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün parçacık boyutu dağılım grafiği.

4.2 Pd-KS-NiO Nanokatalizörünün Çevresel Kirleticilerinin Katalitik İndirgenmesine Karşı Performansının İncelenmesi

Sentezlen Pd-KS-NiO nanokatalizörünün karakterizasyonunun ardından, katalitik performansı yüksek toksisiteye sahip aromatik nitro bileşikler ve organik boyaların katalitik olarak indirgenmesinde test edilmiştir. Katalitik testler bir hidrojen kaynağı olan NaBH_4 kullanılarak, UV-Vis ile spektrofotometrik olarak takip edilmiştir. Katalitik testlerin yüksek dönüşümle gerçekleştirilebilmesi için katalizör miktarı, organik kirleticilerin konsantrasyonu ve NaBH_4 miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için 2-NA'nın katalitik indirgenmesi, model reaksiyon olarak seçilmiş ve ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir. (Çizelge 4.1). Çizelge 4.1'den de görülebileceği gibi en iyi sonuca 1mL (1×10^{-4} M) 2-NA konsantrasyonu, 0,50 mL NaBH_4 (0,05 M) ve 5.0 mg Pd-KS-NiO nano katalizörü ile ulaşılmıştır. Belirlenen bu optimizasyon şartları 4-NP, 4-NA ve 4-NPDA'nın katalitik indirgenmesinde uygulanmıştır. Şekil 4.7(a) 2-NA'nın sulu çözeltisinin UV-Vis spektrumunu göstermektedir. Spektrum incelendiğinde 282 nm ve 411 nm'de karakteristik iki soğurma bandı verdiği görülmektedir. 2-NA + NaBH_4 içeren reaksiyon karışımına, Pd-KS-NiO nanokatalizörünün ilavesi ile birlikte 2-NA'nın 411 nm'deki soğurma bandının ilerleyen reaksiyon süresi ile birlikte düzenli olarak azaldığı gözlemlenmiş ve 65 sn içerisinde tamamen kaybolmuştur. Buna eş olarak 2-NA'nın 282 nm'deki soğurma bandının 291 nm'ye kaydığı da gözlemlenmiştir. Bu bulgular Pd-KS-NiO nanokatalizörünün 2-NA'yı o-PDA'ya 65 sn'de başarılı bir şekilde dönüştürdüğünü doğrulamıştır. Ayrıca katalitik indirgenme sonunda 2-NA'nın sarı renkli çözeltisin renksiz hale gelmesi indirgenmenin tamamlandığını gösteren diğer bir kanıttır. Bunun yanı sıra 2-NA'nın indirgenmesi KS-NiO'in glioksal ile çapraz bağlanma sonucu oluşan mikrokürelerle de denenmiş ve 90 dakika da sarı renkli çözeltisinin renksizleştiği gözlemlenmiştir. Daha da önemlisi 2-NA'nın indirgenmesi Pd-KS-NiO nanokatalizörü olmadan gerçekleştirilmiş ve hem çözelti renginin hem de 2-NA'nın 411 nm'deki tepe noktasının 6 sa sonunda bile değişmediği bulunmuştur. Bu sonuç Pd-KS-NiO nanokatalizörünün nitro aromatiklerin indirgenmesi için etkili bir katalizör olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca 2-NA'nın reaksiyon hız sabiti Denklem (4.1) kullanılarak $0,017 \text{ sn}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Şekil 4.7(b) 4-NP'nin sulu çözeltisine ait UV-Vis spektrumunu göstermektedir. Spektrumda gözlenebileceği gibi 4-NP'nin sulu çözeltisi 318 nm'de max soğurma bandı vermektedir. NaBH_4 'ün sulu çözeltisinin

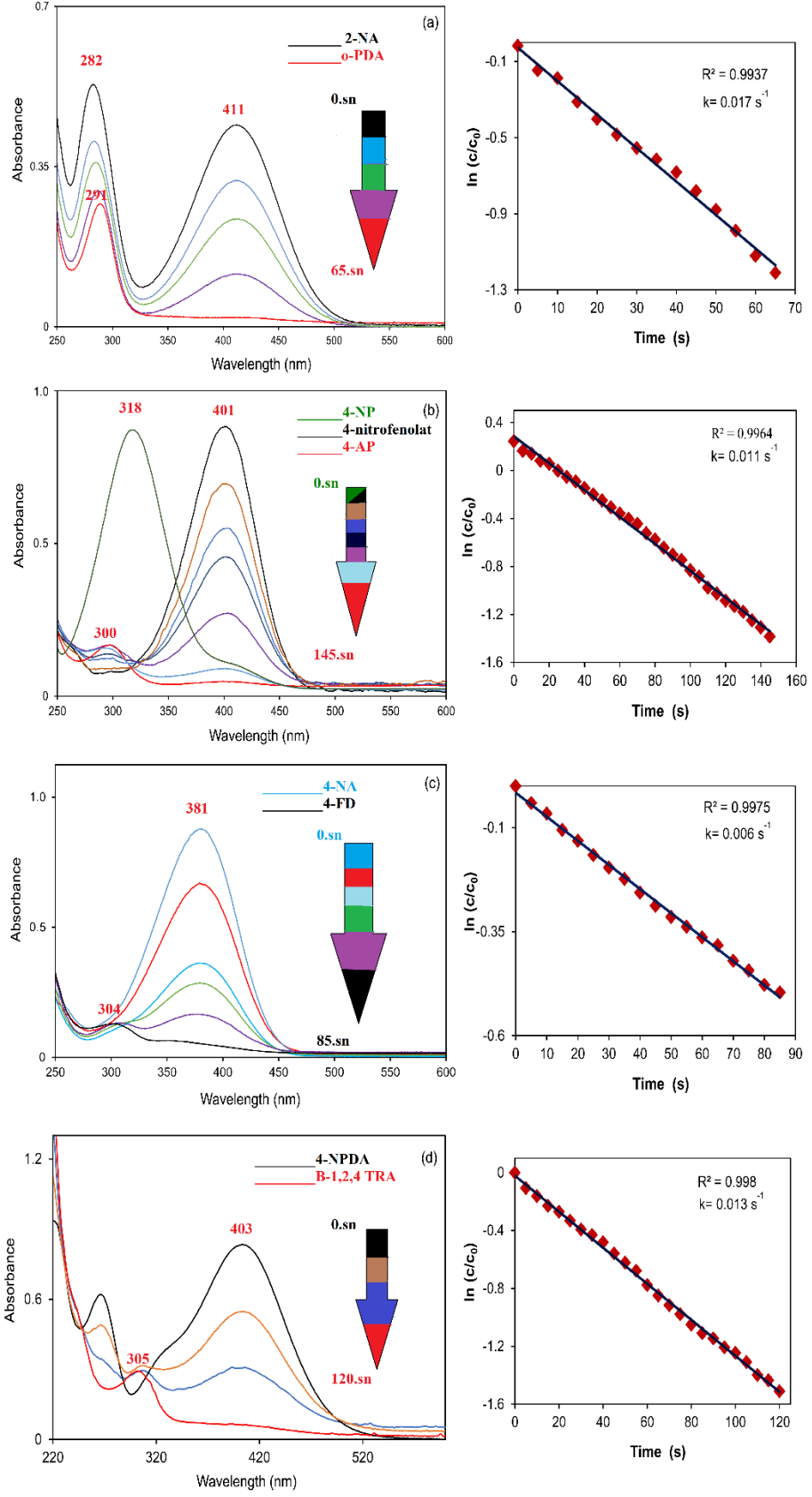
4-NP'nin çözeltisine ilavesi ile birlikte 4-NP'nin 318 nm'deki soğurma bandının 401 nm'ye kaydığı gözlemlenmiştir. Ayrıca 4-NP'nin açık sarı çözeltisinin rengi parlak sarıya dönüştüğü gözlemlenmiştir. Tüm bu gözlemler bir ara ürün olan 4-nitrofenolat iyonunun oluşumunu göstermektedir. Bu nedenle 4-NP'nin indirgenmesi 4-nitrofenolat üzerinden gerçekleşmiştir. 4-nitrofenolat çözeltisine Pd-KS-NiO nanokatalizörü eklendiğinde 401 nm'deki soğurma bandının reaksiyon süresi ile kademeli olarak azaldığı 145 sn içinde tamamen kaybolduğu bulunmuştur. Reaksiyon süresi ile eş zamanlı olarak 4-AP'nin oluşumunu gösteren yaklaşık 300 nm'de yeni bir bant ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar hazırlanan Pd-KS-NiO nanokatalizörünün 4-NP'nin katalitik indirgenmesini başarıyla katalizlediğini göstermiştir. 4-NP'nin hız sabiti $0,011 \text{ sn}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.7(c) 4-NA ve Şekil 4.7(d) 4-NPDA'nın sulu çözeltilerine ait UV-Vis spektrumlarını göstermektedir. Spektrumlar incelendiğinde 4-NA için 381 nm, 4-NPDA için 403 nm'de max soğurma bantları gözlemlenmiştir. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün 4-NA+NaBH₄ ve 4-NPDA+NaBH₄ reaksiyon karışımlarına ilave edilmesiyle birlikte 4-NA'nın 381 nm'deki ve 4-NPDA'nın 403 nm'deki max absorban bantları reaksiyon süresi ile birlikte kademeli olarak azalmış ve 4-NA için 85 sn'de 4-NPDA için 120'sn de tamamen kaybolmuştur. Ayrıca 4-NA için 304 nm'de 4-NPDA için de 305 nm'de yeni absorpsiyon bantları ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar 4-NA ve 4-NPDA'nin katalitik indirgenmeleri sonucunda 4-fenilendiamin (4-FD) ve benzen-1,2,4 tiriamin (B-1,2,4 TRA) oluşumunu doğrulamıştır. Ayrıca 4-NA ve 4-NPDA için hız sabitleri de sırasıyla $0,006 \text{ sn}^{-1}$ ve $0,013 \text{ sn}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

$$\ln (c/c_0) = -kt \quad (4.1)$$

Burada c_0 ve c , test edilen reaksiyon süresi için (t) aromatik nitro bileşiklerinin başlangıç ve son konsantrasyonları, k (s^{-1}) reaksiyon hız sabiti dir.

Çizelge 4.1. Pd-KS-NiO ve NaBH₄ varlığında 2-NA'nın katalitik indirgenmesi için optimum reaksiyon parametrelerinin belirlenmesi.

2-NA (M)	NaBH ₄ (M)	Pd-KS-NiO nanokatalizörü (mg)	Reaksiyon süresi
1×10^{-4}	0.05	1	120 sn
1×10^{-4}	0.05	3	95 sn
1×10^{-4}	0.05	5	65 sn
1×10^{-4}	0.03	5	100 sn
1×10^{-4}	0.02	5	130 sn
1.3×10^{-4}	0.05	5	150 sn
1.5×10^{-4}	0.05	5	160 sn



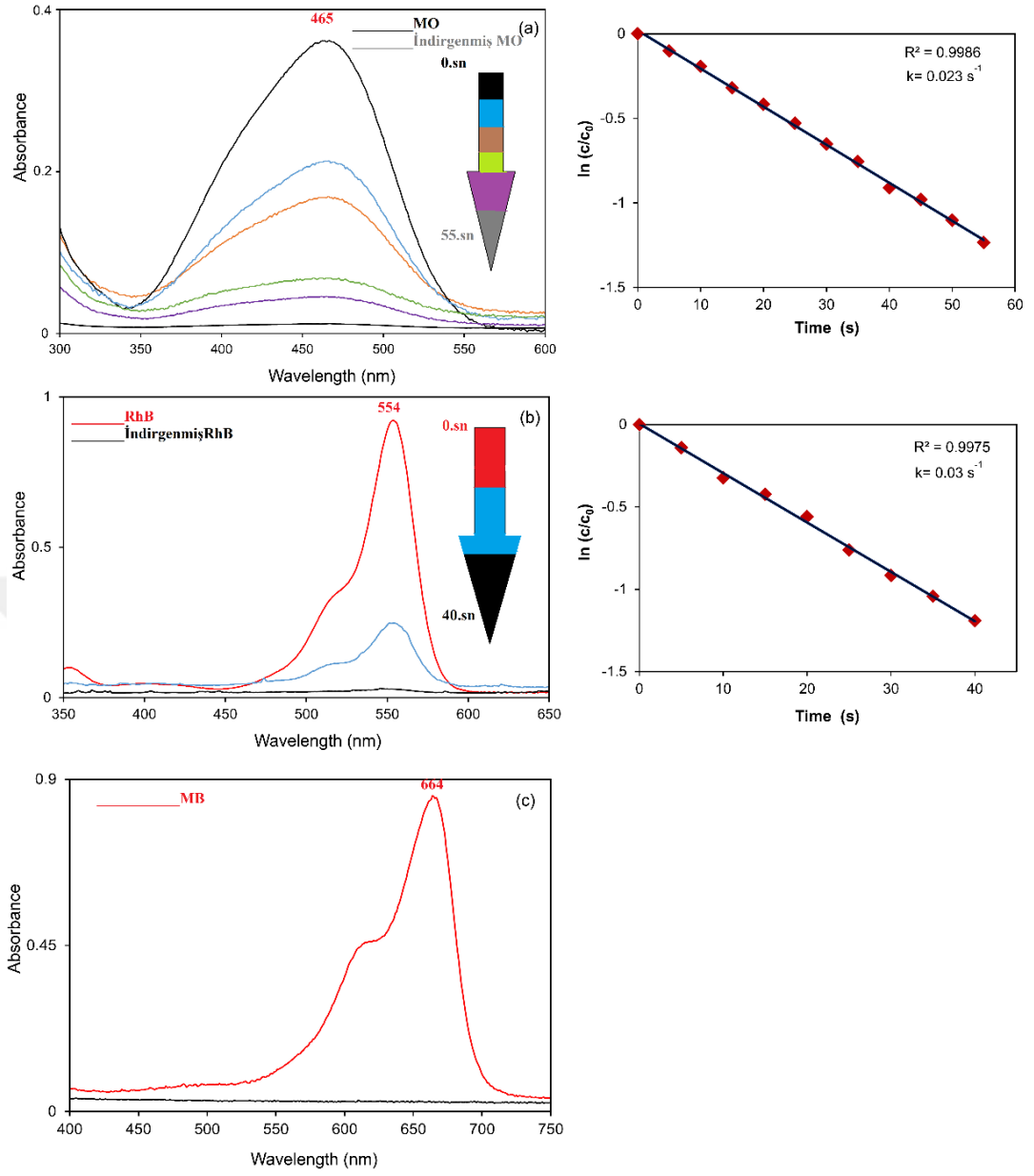
Şekil 4.7. 2-NA (a), 4-NP (b), 4-NA (c), 4-NPDA (d)'nin UV-Vis spektrumları, indirgenmiş ürünleri ve reaksiyon süresine karşı $\ln(c/c_0)$ grafikleri.

Pd-KS-NiO nanokatalizörünün aromatik nitro bileşiklerinin katalitik indirgenmesine karşı göstermiş olduğu iyi performansa dayanarak katalitik rolü NaBH_4 kullanılarak MO, MB ve RhB gibi organik boyalarının katalitik indirgenmesine/bozundurulmasına karşı da araştırılmıştır. İlk olarak MO'nun katalitik indirgenmesi model reaksiyon olarak seçilmiş ve katalizör miktarı, boya konsantrasyonu ve NaBH_4 miktarı araştırılmıştır. Gerçekleştirilen ön denemeler sonunda en iyi sonuca 1×10^{-5} M boya konsantrasyonu, 8.0 mg Pd-KS-NiO katalizör miktarı ve 0,25 mL NaBH_4 (0,05 M) ile ulaşılmıştır (Çizelge 4.2). Katalitik indirgenmeler belirlenen optimum koşullar altında MO için 465 nm, RhB için 554 nm ve MB için 664 nm'deki max soğurma bantlarının değişiminin UV-Vis ile takip edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.8(a) dan da görülebileceği gibi MO'nun sulu çözeltisi 465 nm'de kuvvetli soğurma bandı vermiştir. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün MO+ NaBH_4 içeren çözeltiye eklenmesi ile katalitik indirgenme başlamış ve MO'nun 465 nm'deki soğurma bandının şiddeti zamanla azalmış ve 55 sn de kaybolmuştur. Eş zamanlı olarak turuncu renkli olan reaksiyon karışımının renginin katalitik indirgenme sonunda berraklaştığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç, Pd-KS-NiO nanokatalizörünün MO'nun katalitik indirgenmesinin başarıyla gerçekleştiğini doğrulamıştır. RhB'nin sulu çözeltisinin 554 nm'de kuvvetli absorpsiyon bandı verdiği Şekil 4.8(b)' de görülmektedir. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün RhB+ NaBH_4 içeren reaksiyon karışımına ilavesinin ardından 554 nm'deki soğurma bandı zamanla azalmış, 40 sn içerisinde tamamen kaybolmuş ve reaksiyon çözeltisi renksiz hale gelmiştir. Tüm bu gözlemler, RhB'nin sentezlenen Pd-KS-NiO nanokatalizörü ile hızlı ve etkili bir şekilde indirgendiğini göstermiştir. Şekil 4.8(c) MB'nin sulu çözeltisinin 664 nm'de kuvvetli absorban bandı verdiğini göstermektedir. Sentezlenen nanokatalizörün reaksiyon ortamına ilavesiyle birlikte MB'nin 664 nm'deki bandı hemen kaybolmuş ve çözelti rengi de berrak hale gelmiştir. Bu sonuç MB'nin Pd-KS-NiO nanokatalizörü tarafından hemen indirgendiğini göstermiştir. Ayrıca MO ve RhB için reaksiyon hız sabitleri de sırasıyla 0.023 sn^{-1} ve 0.03 sn^{-1} olarak hesaplanmıştır. Elde edilen tüm bu sonuçlar sentezlenen Pd-KS-NiO nanokatalizörünün oldukça toksik olan aromatik nitro bileşikleri ve organik boyaların katalitik indirgenmesi için oldukça aktif ve kullanışlı bir katalizör sistemi olduğunu ortaya koymuştur. Öte yandan Pd-KS-NiO nanokatalizörünün 4-NP ve RhB indirgenmelerindeki katalitik gücü, literatürde bildirilen diğer katalizörlerle karşılaştırılmış ve sonuçlar Çizelge 4.3'de sunulmuştur. Çizelgedeki sonuçlardan da

görülebileceği gibi Pd-KS-NiO nanokatalizörünün diğer katalizörlere göre reaksiyon süresi ve reaksiyon hızı açısından daha yüksek bir katalitik güce sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.2. Pd-KS-NiO ve NaBH₄ varlığında MO'ın katalitik indirgenmesi için optimum reaksiyon parametrelerinin belirlenmesi.

MO (M)	NaBH ₄ (M)	Pd-KS-NiO nanokatalizörü (mg)	Reaksiyon süresi
1.0 x 10 ⁻⁵	0.05	3	105sn
1.0 x 10 ⁻⁵	0.05	5	75sn
1.0 x 10⁻⁵	0.05	8	55 sn
1.0 x 10 ⁻⁵	0.03	8	80 sn
1.0 x 10 ⁻⁵	0.02	8	115sn
1.3 x 10 ⁻⁵	0.05	5	125 sn
1.5 x 10 ⁻⁵	0.05	5	155 sn



Şekil 4.8. MO (a), RhB (b) ve MB (c)'nin katalitik indirgenmesi ait UV-Vis spektrumları ve reaksiyon süresine karşı $\ln(c/c_0)$ grafikleri.

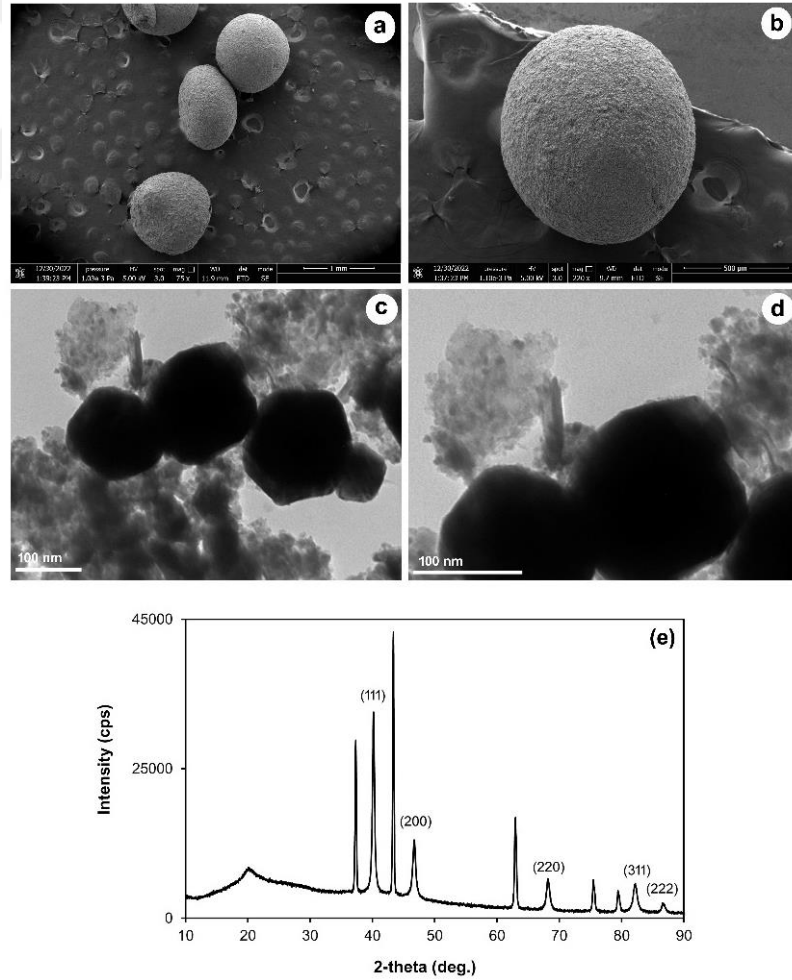
Çizelge 4.3. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün 4-NP ve RhB'nin katalitik indirgenmesine yönelik katalitik gücünün literatürde bildirilen diğer katalizörlerle karşılaştırılması.

Kirletici	Katalizör	Zaman	Hız Sabiti	Ref.
4-NP	CuO/Cu ₂ O	4 dak	0.5014 dak ⁻¹	[165]
	AuNP@ZnO paper	240 sn	2.4×10 ⁻² sn ⁻¹	[147]
	Fe ₃ O ₄ @CS-Starch/Pd	18 dak	0.157 dak ⁻¹	[166]
	Ag NP/MWCNTs@S. lavandulifolia	240 sn	19.2x10 ⁻³ sn ⁻¹	[167]
	FPP/Au microspheres	13 dak	3.75×10 ⁻³ sn ⁻¹	[168]
	AgNP	12 dak	0.2596 dak ⁻¹	[161]
	Au/PMMA	600 sn	7.9×10 ⁻³ sn ⁻¹	[162]
	Ag NP@ MOF-199 s/CCFs	10 dak	2.48×10 ⁻³ sn ⁻¹	[163]
	Pd-KS-NiO nanokatalizörü	145sn	0.011 sn ⁻¹	Mevcut çalışma
RhB	Fe ₃ O ₄ @TA/Ag	60sn	0.0516 sn-1	[164]
	Ag@TiO	11 dak	1.55 × 10 ⁻³ sn ⁻¹	[169]
	Ag NP/Thymbra nanocomposite	50 sn	0.0864 sn ⁻¹	[170]
	Ag/TP catalyst	6 dak	5.68 × 10 ⁻³ sn ⁻¹	[171]
	AgNP/NCDs	150 sn	0.0296 sn ⁻¹	[172]
	CeO ₂ /Pd catalyst	200 sn	1.174×10 ⁻² sn ⁻¹	[173]
	Cu-Ag/GP	7 dak	3.3 × 10 ⁻³ sn ⁻¹	[174]
	Pd-KS-NiO nanokatalizörü	40 sn	0.03 sn ⁻¹	Mevcut Çalışma

4.3 Pd-KS-NiO Nanokatalizörünün Tekrar Kullanılabilirlik Performansının Araştırılması

Geri kazanıla bilirlik ve tekrar kullanılabilirlik bir katalizörün en önemli özelliklerinden biridir. Yüksek sayıda tekrar kullanılabilir katalizör sistemleri, ekonomik avantaj ve kolay çalışma imkânı sağladığı için hem akademik hem de endüstriyel uygulamalarda oldukça arzu edilir. Tez kapsamında sentezlenen Pd-KS-NiO nanokatalizörünün en önemli özelliklerinden biri heterojen bir doğaya ve mikro boyutlu küresel bir forma sahip olmasıdır. Bu özellikler Pd-KS-NiO nanokatalizörünün basit filtrasyon ile kolayca geri kazanıla bilirliğine ve tekrar kullanılabilirliğine önemli avantaj sağlar. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün tekrar kullanılabilirliği 2-NA ve MO'nun katalitik indirgenmesine karşı optimum reaksiyon

şartları kullanılarak araştırılmıştır. Gerçekleştirilen ilk katalitik indirgenme deneylerinden sonra katalizör basit filtrasyonla reaksiyon ortamından geri kazanılmış, suyla yıkanmış ve bir sonraki deneylerde kullanılmak için kurutulmuştur. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün bu rejenerasyon işlemi her katalitik indirgenme sonunda tekrarlanmıştır. Gerçekleştirilen tekrar kullanılabilirlik testleri Pd-KS-NiO nanokatalizörünün katalitik performansında önemli bir değişiklik olmaksızın hem 2-NA'nın hem de MO'nun indirgenmelerinde 7 kez başarıyla kullanılmıştır. Tekrar kullanılabilirlik testlerinden sonra Pd-KS-NiO nanokatalizörünün yüzey morfolojisinin, boyutunun, şeklinin ve kimyasal yapısının değişip değişmediği TEM, FE-SEM ve XRD analizleri ile incelenmiş ve elde edilen spektrumlar Şekil 4.9'da verilmiştir. Gerçekleştirilen bu analizler Pd-KS-NiO nanokatalizörünün şeklini boyutunu ve yapısını koruyan, yüksek kararlılığa sahip bir katalizör olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.9. Tekrar kullanılabilirlikten sonra Pd-KS-NiO nanokatalizörüne ait FE-SEM (a ve b), TEM (c ve d) ve XRD (e) analizleri.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde yaşanan en önemli problemlerden biri olan su kirliliği, gezegende yaşayan tüm canlı yaşamını tehdit etmektedir. Su kirleticilerini genel olarak organik ve inorganik kirleticiler olarak ikiye ayırabiliriz. Bu kirleticiler arasında biyolojik olarak parçalanamayan, ekolojik çevre ve insan sağlığı için en zararlı kirleticilerden biri aromatik nitro bileşikler ve organik boyalardır. Bu toksik kirleticiler, tarımsal ve endüstriyel atık sularında bol miktarda bulunurlar. Bu kirleticilerin eser miktarlarda bile çevreye salınması, su bitkileri, su organizmaları ve insan sağlığı için tehdit oluşturmaktadır. Örneğin 4-NP, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından toksik kirleticiler olarak sınıflandırılmış ve 4-NP'nin içme suyundaki izin verilen konsantrasyonu 0,43 µM olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu çevresel kirleticiler, termal olarak kararlı ve suda iyi çözünürler. Biyolojik olarak bozunmaya karşı dirençli olan bu kirleticilerin doğal ve biyolojik bozunma süreçleriyle uzaklaştırılması oldukça zordur. Bu yüzden bu kirleticilerin uzaklaştırılması için etkili yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bir katalizör ve bir hidrojen kaynağı varlığında, katalitik indirgenme yöntemi, kolay çalışması, düşük maliyeti, yüksek reaksiyon verimi, basitliği ve ılıman reaksiyon koşulları nedeniyle en önemli tekniklerden biri olarak kabul edilir. Bu yüzden oldukça yüksek aktiviteye sahip katalizör sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

M NP ler, geniş aktif yüzey alanları, nm boyutları, yüksek katalitik aktiviteleri ve özel elektronik/mekanik yapıları nedeniyle katalizör olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte M NP'lerin üretimi sırasında karşılaşılan en yaygın sorunlardan biri, katalizörün performansını ve tekrar kullanılabilirliğini olumsuz etkileyen yığılma ve kümelenmedir. Yüksek yüzey alanına sahip, güçlü metal destek etkileşimi sağlayan ideal destek maddelerinin geliştirilmesi ile M NP'lerin yığılması engellene bilinir. Kullanılan destek materyalleri arasında, biyopolimerler toksik olmama, sürdürülebilir, düşük maliyetli ve yüksek kararlılığa sahip malzemelerdir. Bir biyopolimer olan KS, yeşil doğası, bolluğu ve ucuz maliyeti nedeniyle en önemlilerinden biridir. Daha da önemlisi KS omurgasında çok sayıda serbest -NH₂ ve -OH gruplarına sahiptir. Bu fonksiyonel gruplar sayesinde KS farklı formlara dönüştürülebilir. Bu formlar arasında, aldehit veya keton gruplarına sahip bir çapraz bağlanma ajanı ile KS'nin -NH₂ gruplarının kondenzasyon reaksiyonu

sunucunda oluşan mikro küre formu, en önemlilerinden biridir. Ayrıca KS farklı organik ve inorganik malzemelerle kompozit hale getirilerek KS temelli mikro kürelere dönüştürülebilir. Bu malzemeler arasında metal oksitler mükemmel fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle fizik, kimya, biyoloji ve malzeme bilimi gibi alanlarda önemli rol oynamaktadır. Ayrıca hidrotermal, kimyasal çöktürme ve katı hal yöntemi gibi farklı tekniklerle de kolayca sentezlenmektedir.

KS'nin ve metal oksitlerin bu önemli özellikleri göz önüne alındığında, KS ve metal oksit içeren mikroküreler destek malzemesi olarak sentezlenebilir ve yüzeylerinde çeşitli metallerin biriktirilmesi ile heterojen katalizör sistemleri geliştirilebilir. Mevcut tez çalışmasında, hidrotermal yöntem kullanılarak bir metal oksit olan NiO partikülleri kolayca sentezlenmiş ve daha sonra KS ile kompozit hale getirilmiş. Ardından bir çapraz bağlanma ajanı olan gliksal ile çapraz bağlanarak KS-NiO mikro küreleri ilk kez katalizör destek materyali olarak sentezlenmiştir. Daha sonra, sentezlenen bu destek materyali üzerine herhangi bir indirgenme ajanı kullanılmadan Pd NP'lerin biriktirilmesi ile yeni bir heterojen katalizör sistemi dizayn edilmiştir. Sentezlenen Pd-KS-NiO nanokatalizörünün morfolojik ve kimyasal yapısı FT-IR/ATR, FE-SEM, EDS, XRD ve TEM analizleri ile aydınlatılmıştır. Gerçekleştirilen karakterizasyon çalışmaları, Pd-KS-NiO nanokatalizörünün ortalama parçacık boyutunun yaklaşık 10 nm olduğunu göstermiştir. Daha sonra hazırlanan Pd-KS-NiO nanokatalizörünün katalitik performansı 2-NA, 4-NP, 4-NA, 4-NPDA gibi aromatik nitro bileşiklerinin ve MO, MB, RhB gibi bazı organik boyaların katalitik indirgenmesinde NaBH_4 kullanılarak, oda sıcaklığında test edilmiştir. Gerçekleştirilen testler Pd-KS-NiO nanokatalizörünün 2-NA'yı 65 sn'de, 4-NP'yi 145 sn'de, 4-NA'yı 85 sn'de ve 4-NPDA'yı 120 sn'de hızlı ve etkili bir şekilde indirgemeyi başarmıştır. 2-NA, 4-NP, 4-NA ve 4-NPDA için hız sabitleri sırasıyla 0.017 sn^{-1} , 0.011 sn^{-1} , 0.006 sn^{-1} , 0.013 sn^{-1} olarak bulunmuştur. Diğer yandan Pd-KS-NiO nanokatalizörü MO'yu 55 sn'de, RhB'yi 40 sn'de indirgerken MB'yi anında indirgemeyi başarmıştır. MO ve RhB için hız sabitleri sırasıyla 0.023 sn^{-1} ve 0.03 sn^{-1} olarak hesaplanmıştır. Sentezlenen Pd-KS-NiO nanokatalizörünün aktivitesi literatürde bildirilen diğer katalizörlerle kıyaslanmış sentezlenen katalizörün reaksiyon süresi ve reaksiyon hız sabiti açısından daha etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca Pd-KS-NiO nanokatalizörünün tekrar kullanılabilirliği araştırılmış ve aktivitesini ve yapısını koruyarak, 7 kez tekrar kullanıldığı bulunmuştur. Pd-KS-NiO nanokatalizörünün sahip

olduğu bu özelliklerden dolayı, ileriki çalışmalarda farklı çevresel kirleticilerin giderilesinde test edile bilinir ve bu alanda yapılacak diğerk çalışmalara ışık tutabilir.



KAYNAKLAR

1. Ashrafi, G., Nasrollahzadeh, B., Jaleh, B., Sajjadi, M. ve Ghafuri, H., 2022. Biowaste- and nature-derived (nano)materials: Biosynthesis, stability and environmental applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 301:102599.
2. Yang, S., Wan, X., Wei, K., Ma, W. ve Wang, Z., 2021. Silicon recycling and iron, nickel removal from diamond wire saw silicon powder waste: Synergistic chlorination with CaO smelting treatment. *Minerals Engineering*, 169:106966.
3. Zhang, L., Xu, Y., Liu, H., Li, Y., You, S., Zhao, J. ve Zhang, J., 2021. Effects of coexisting Na^+ , Mg^{2+} and Fe^{3+} on nitrogen and phosphorus removal and sludge properties using A^2O process. *Journal of Water Process Engineering*, 44:102368.
4. Yang, S., Li, Z., Yan, K., Zhang, X., Xu, Z., Liu, W., Liu, Z. ve Liu, H., 2021. Removing and recycling mercury from scrubbing solution produced in wet nonferrous metal smelting flue gas purification process. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 103: 59–68.
5. Nasrollahzadeh, M., Ghasemzadeh, M., Gharoubi, H. ve Nezafat, Z., 2021. Progresses in polysaccharide and lignin-based ionic liquids: Catalytic applications and environmental remediation. *Journal of Molecular Liquids*, 342: 117559.
6. Mehdizadeh, P., Orooji, Y., Amiri, O., Salavati-Niasari, M. ve Moayedi, H., 2020. Green synthesis using cherry and orange juice and characterization of TbFeO_3 ceramic nanostructures and their application as photocatalysts under UV light for removal of organic dyes in water. *Journal of Cleaner Production*, 252: 119765.
7. Orooji, Y., Mohassel, R., Amiri, O., Sobhani, A. ve Salavati-Niasari, M., 2020. $\text{Gd}_2\text{ZnMnO}_6/\text{ZnO}$ nanocomposites: Green sol-gel auto-combustion synthesis, characterization and photocatalytic degradation of different dye pollutants in water. *Journal of Alloys and Compounds*, 835: 155240.
8. Mozia, S., Tomaszewska, M. ve Morawski, A.W., 2007. Photocatalytic membrane reactor (PMR) coupling photocatalysis and membrane distillation-Effectiveness of removal of three azo dyes from water. *Catalysis Today*, 129(1-2 SPEC. ISS.): 3–8.
9. Rizzo, L., Meric, S., Guida, M., Kassinos, D. ve Belgiorno, V., 2009. Heterogenous photocatalytic degradation kinetics and detoxification of an urban wastewater treatment plant effluent contaminated with pharmaceuticals. *Water Research*, 43(16): 4070–4078.
10. Sajjadi, M., Ahmadpoor, F., Nasrollahzadeh, M. ve Ghafuri, H., 2021. Lignin-derived (nano)materials for environmental pollution remediation: Current

11. Nasrollahzadeh, M., Sajjadi, M., Iravani, S. ve Varma, R.S., 2021. Green-synthesized nanocatalysts and nanomaterials for water treatment: Current challenges and future perspectives. *Journal of Hazardous Materials*, 401:123401.
12. Petty, J.D., Poulton, B.C., Charbonneau, C.S., Huckins, J.N., Jones, S.B., Cameron, J.T. ve Prest, H.F., 1998. Determination of bioavailable contaminants in the lower missouri river following the flood of 1993. *Environmental Science and Technology*, 32(7): 837–842.
13. Kolpin, D.W., Furlong, E.T., Meyer, M.T., Thurman, E.M., Zaugg, S.D., Barber, L.B. ve Buxton, H.T., 2002. Pharmaceuticals, Hormones, and Other Organic Wastewater Contaminants in U.S. Streams, 1999–2000: A National Reconnaissance. *Environmental Science and Technology*, 36(6): 1202–1211.
14. Bousselmi, L., Geissen, S.U. ve Schroeder, H., 2004. Textile wastewater treatment and reuse by solar catalysis: Results from a pilot plant in Tunisia. *Water Science and Technology*, 49(4): 331–337.
15. He, L., Li, M.X., Chen, F., Yang, S.S., Ding, J., Ding, L. ve Ren, N.Q., 2021. Novel coagulation waste-based Fe-containing carbonaceous catalyst as peroxymonosulfate activator for pollutants degradation: Role of ROS and electron transfer pathway. *Journal of Hazardous Materials*, 417:126113.
16. Bagheri, M., Azizian, S., Jaleh B. ve Chehregani, A., 2014. Adsorption of Cu(II) from aqueous solution by micro-structured ZnO thin films. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4): 2439–2446.
17. Nasri, A., Nezafat, Z., Jaleh, B., Orooji, Y. ve Varma, R.S., 2021. Laser-assisted preparation of $C_3N_4/Fe_2O_3/Au$ nanocomposite: a magnetic reusable catalyst for pollutant degradation. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(6): 1797–1806.
18. Jafari, S., Azizian S. ve Jaleh, B., 2012. Enhancement of methyl violet removal by modification of TiO_2 nanoparticles with AgI. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18(6): 2124–2128.
19. Jafari, S., Azizian S. ve Jaleh, B., 2011. Adsorption kinetics of methyl violet onto TiO_2 nanoparticles with different phases. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 384(1–3): 618–623.
20. Tajbakhsh, M., Alinezhad, H., Nasrollahzadeh, M. ve Kamali, T.A., 2016. Green synthesis of the Ag/HZSM-5 nanocomposite by using *Euphorbia heterophylla* leaf extract: A recoverable catalyst for reduction of organic dyes. *Journal of Alloys and Compounds*, 685: 258–265.

21. Nasrollahzadeh, M., Issaabadi, Z. ve Sajadi, S.M., 2018. Green synthesis of Pd/Fe₃O₄ nanocomposite using Hibiscus tiliaceus L. extract and its application for reductive catalysis of Cr(VI) and nitro compounds. Separation and Purification Technology, 197: 253–260.
22. Nasrollahzadeh, M., Issaabadi, Z. ve Sajadi, S.M., 2018. Green synthesis of Pd/Fe₃O₄ nanocomposite using Hibiscus tiliaceus L. extract and its application for reductive catalysis of Cr(VI) and nitro compounds. Separation and Purification Technology, 197: 253–260.
23. Yang, S.S., Yu, X.L., Ding, M.Q., He, L., Cao, G.L., Zhao, L., Tao, Y., Pang, J.W., Bai, S.W., Ding, J. ve Ren, N.Q., 2021. Simulating a combined lysis-cryptic and biological nitrogen removal system treating domestic wastewater at low C/N ratios using artificial neural network. Water Research, 189: 116576.
24. Guan, Q., Zeng, G., Song, J., Liu, C., Wang, Z. ve Wu, S., 2021. Ultrasonic power combined with seed materials for recovery of phosphorus from swine wastewater via struvite crystallization process. Journal of Environmental Management, 293:112961.
25. Liu, L., Zhang, X., Zhu, Q., Li, K., Lu, Y., Zhou, X. ve Guo, T., 2021. Ultrasensitive detection of endocrine disruptors via superfine plasmonic spectral combs. Light: Science & Applications 2021 10:1, 10(1): 1–14.
26. Saddique, Z., Imran, M., Javaid, A., Latif, S., Kim, T.H., Janczarek, M., Bilal, M. ve Jesionowski, T., 2023. Bio-fabricated bismuth-based materials for removal of emerging environmental contaminants from wastewater. Environmental Research, 229: 115861.
27. Alalwan, H.A., Abbas, M.N., Abudi Z.N. ve Alminshid, A.H., 2018. Adsorption of thallium ion (Tl⁺³) from aqueous solutions by rice husk in a fixed-bed column: Experiment and prediction of breakthrough curves. Environmental Technology & Innovation, 12: 1–13.
28. Fu, F. ve Wang, Q., 2011. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. Journal of Environmental Management, 92(3): 407–418.
29. Joseph, L., Jun, B.M., Flora, J.R.V., Park C.M. ve Yoon, Y., 2019. Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: A review. Chemosphere, 229: 142–159.
30. Jaleh, B., Nasrollahzadeh, M., Mohazzab, B.F., Eslamipناه, M., Sajjadi M. ve Ghafari, H., 2021. State-of-the-art technology: Recent investigations on laser-mediated synthesis of nanocomposites for environmental remediation. Ceramics International, 47(8): 10389–10425.
31. Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B.B. ve Beeregowda, K.N., 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdisciplinary Toxicology, 7(2): 60–72.

32. Nasrollahzadeh, M., Nezafat, Z., Gorab, M.G. ve Sajjadi, M., 2020. Recent progresses in graphene-based (photo)catalysts for reduction of nitro compounds. *Molecular Catalysis*, 484: 110758.
33. Lellis, B., Fávaro-Polonio, C.Z., Pamphile, J.A. ve Polonio, J.C., 2019. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(2): 275–290.
34. Das, P., Ghosh, S. ve Baskey, M., 2019. Heterogeneous catalytic reduction of 4-nitroaniline by RGO-Ni nanocomposite for water resource management. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(22): 19731–19737.
35. Zhang, X.J., Chen, C., Lin, P.F., Hou, A.X., Bin Niu, Z. ve Wang, J., 2011. Emergency drinking water treatment during source water pollution accidents in China: Origin analysis, framework and technologies. *Environmental Science and Technology*, 45(1): 161–167.
36. Qin, M., Lan, D., Liu, J., Liang, H., Zhang, L., Xing, H., Xu T. ve Wu, H., 2020. Synthesis of single-component metal oxides with controllable multi-shelled structure and their morphology-related applications. *The Chemical Record*, 20(2): 102–119.
37. Qin, J., Zhang, G., Zheng, W.X. ve Kang, Y., 2019. Neural network-based adaptive consensus control for a class of nonaffine nonlinear multiagent systems with actuator faults. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 30(12): 3633–3644.
38. Niessen, W.M.A., 2021. Tandem mass spectrometry of organic nitro and halogen compounds: Competition between losses of molecules and of radicals. *International Journal of Mass Spectrometry*, 460: 116496.
39. Zarejousheghani, M., Lorenz, W., Vanninen, P., Alizadeh, T., Cämmerer M. ve Borsdorf, H., 2019. Molecularly imprinted polymer materials as selective recognition sorbents for explosives: A review. *Polymers*, 11(5):888.
40. Zhang, J., Chen, G., Chaker, M., Rosei F. ve Ma, D., 2013. Gold nanoparticle decorated ceria nanotubes with significantly high catalytic activity for the reduction of nitrophenol and mechanism study. *Applied Catalysis B: Environmental*, 132–133: 107–115.
41. Sahiner, N., Ozay, H., Ozay O. ve Aktas, N., 2010. A soft hydrogel reactor for cobalt nanoparticle preparation and use in the reduction of nitrophenols. *Applied Catalysis B: Environmental*, 101(1–2): 137–143.
42. Gazi, S. ve Ananthakrishnan, R., 2011. Metal-free-photocatalytic reduction of 4-nitrophenol by resin-supported dye under the visible irradiation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 105(3–4): 317–325.

43. Dong, Z., Le, X., Dong, C., Zhang, W., Li, X. ve Ma, J., 2015. Ni@Pd core-shell nanoparticles modified fibrous silica nanospheres as highly efficient and recoverable catalyst for reduction of 4-nitrophenol and hydrodechlorination of 4-chlorophenol. *Applied Catalysis B: Environmental*, 162: 372–380.
44. Jiang, W., Luo, W., Wang, J., Zhang, M. ve Zhu, Y., 2016. Enhancement of catalytic activity and oxidative ability for graphitic carbon nitride. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 28: 87–115.
45. Xiong, Z., Lai, B., Yang, P., Zhou, Y., Wang, J. ve Fang, S., 2015. Comparative study on the reactivity of Fe/Cu bimetallic particles and zero valent iron (ZVI) under different conditions of N₂, air or without aeration. *Journal of Hazardous Materials*, 297: 261–268.
46. Zarejousheghani, M., Möder, M. ve Borsdorf, H., 2013. A new strategy for synthesis of an in-tube molecularly imprinted polymer-solid phase microextraction device: selective off-line extraction of 4-nitrophenol as an example of priority pollutants from environmental water samples. *Analytica Chimica Acta*, 798: 48–55.
47. Wang, M.L., Jiang, T.T., Lu, Y., Liu, H.J. ve Chen, Y., 2013. Gold nanoparticles immobilized in hyperbranched polyethylenimine modified polyacrylonitrile fiber as highly efficient and recyclable heterogeneous catalysts for the reduction of 4-nitrophenol. *Journal of Materials Chemistry A*, 1(19): 5923–5933.
48. Naseem, K., Begum, R. ve Farooqi, Z.H., 2017. Catalytic reduction of 2-nitroaniline: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(7): 6446–6460.
49. Li, K., Zheng, Z., Huang, X., Zhao, G., Feng, J. ve Zhang, J., 2009. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on the adsorption of 2-nitroaniline onto activated carbon prepared from cotton stalk fibre. *Journal of Hazardous Materials*, 166(1): 213–220.
50. Blakey, D.H., Maus, K.L., Bell, R., Bayley, J., Douglas, G.R. ve Nestmann, E.R., 1994. Mutagenic activity of 3 industrial chemicals in a battery of in vitro and in vivo tests. *Mutation Research/Genetic Toxicology*, 320(4): 273–283.
51. Farooqi, Z.H., Khalid, R., Begum, R., Farooq, U., Wu, Q., Wu, W., Ajmal, M., Irfan, A. ve Naseem, K., 2019. Facile synthesis of silver nanoparticles in a crosslinked polymeric system by in situ reduction method for catalytic reduction of 4-nitroaniline. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 40(15): 2027–2036.

52. Gautam, S., Kamble, S.P., Sawant, S.B. ve Pangarkar, V.G., 2005. Photocatalytic degradation of 4-nitroaniline using solar and artificial UV radiation. *Chemical Engineering Journal*, 110, 129-137.
53. Din, M.I., Khalid, R., Hussain, Z., Najeeb, J., Sahrif, A., Intisar, A. ve Ahmed, E., 2020. Critical review on the chemical reduction of nitroaniline. *RSC Advances*, 10(32): 19041–19058.
54. Zhu, K., Ye, W., Hu, M., Huang, Y., Huang, J., Liu, H., Zhu, H., Wei, Z. ve Zhou, F., 2022. Application of continuous-flow process for the efficient synthesis of 4-nitroaniline under high T/P. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 178: 109033.
55. Farooqi, Z.H., Ijaz, A., Begum, R., Naseem, K., Usman, M., Ajmal, M. ve Saeed, U., 2018. Synthesis and characterization of inorganic–organic polymer microgels for catalytic reduction of 4-nitroaniline in aqueous medium. *Wiley Online Library*, 39(3): 645–653.
56. Saha, B.K., Koner, S., Kumar Saha, B., Kumar, R. ve Adak, A., 2011. Adsorption kinetics and mechanism of methyl orange dye on modified silica gel factory waste. *International Journal of Current Research*, 3(66):128-133
57. Kumar, A., Shankar Vishwakarma, H., Singh, J. ve Kumar, M., 2015. Microbial pigments: production and their applications various industries. *International Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences*, 5(1): 203–212.
58. Omidvar, A., Jaleh, B. ve Nasrollahzadeh, M., 2017. Preparation of the GO/Pd nanocomposite and its application for the degradation of organic dyes in water. *Journal of Colloid and Interface Science*, 496: 44–50.
59. Gupta, V.K., Jain, R., Mittal, A., Saleh, T.A., Nayak, A., Agarwal, S. ve Sikarwar, S., 2012. Photo-catalytic degradation of toxic dye amaranth on TiO₂/UV in aqueous suspensions. *Materials Science and Engineering C*, 32(1): 12–17.
60. Sharma, B., Dangi, A.K. ve Shukla, P., 2018. Contemporary enzyme based technologies for bioremediation: A review. *Journal of Environmental Management*, 210: 10–22.
61. Khan, S. ve Malik, A., 2018. Toxicity evaluation of textile effluents and role of native soil bacterium in biodegradation of a textile dye. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(5): 4446–4458.
62. Faber, P., Ronald, A. ve Millar, B.W., 2005. Methylthioninium chloride: pharmacology and clinical applications with special emphasis on nitric oxide mediated vasodilatory shock during cardiopulmonary bypass. *Anaesthesia*, 60(6): 575–587.

63. Oz, M., Lorke, D.E., Hasan, M. ve Petroianu, G.A., 2011. Cellular and molecular actions of Methylene Blue in the nervous system. *Medicinal Research Reviews*, 31(1): 93–117.
64. Eljiedi, A. ve Kamari, A., 2017, Removal of methyl orange and methylene blue dyes from aqueous solution using lala clam (*Orbicularia orbiculata*) shell. *AIP Conference Proceedings*, 1847(1):04-0003.
65. Rahmi, Ismaturrahmi ve Mustafa, İ., 2019. Methylene blue removal from water using H₂SO₄ crosslinked magnetic chitosan nanocomposite beads. *Microchemical Journal*, 144: 397–402.
66. Khanday, W.A., Marrakchi, F., Asif, M. ve Hameed, B.H., 2017. Mesoporous zeolite-activated carbon composite from oil palm ash as an effective adsorbent for methylene blue. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 70: 32–41.
67. Islam, M.A., Sabar, S., Benhouria, A., Khanday, W.A., Asif M. ve Hameed, B.H., 2017. Nanoporous activated carbon prepared from karanj (*Pongamia pinnata*) fruit hulls for methylene blue adsorption. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 74: 96–104.
68. Marrakchi, F., Ahmed, M.J., Khanday, W.A., Asif, M. ve Hameed, B.H., 2017. Mesoporous-activated carbon prepared from chitosan flakes via single-step sodium hydroxide activation for the adsorption of methylene blue. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98: 233–239.
69. Cheng, M., Zeng, G., Huang, D., Lai, C., Wei, Z., Li, N., Xu, P., Zhang, C., Zhu, Y. ve He, X., 2015. Combined biological removal of methylene blue from aqueous solutions using rice straw and *phanerochaete chrysosporium*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(12): 5247–5256.
70. Ekinici, A., Kutluay, S., Şahin, Ö. ve Baytar, O., 2023. Green synthesis of copper oxide and manganese oxide nanoparticles from watermelon seed shell extract for enhanced photocatalytic reduction of methylene blue. *International Journal of Phytoremediation*, 25(6): 789–798.
71. Yu, Z., Hu, C., Dichiara, A.B., Jiang, W. ve Gu, J., 2020. Cellulose nanofibril/carbon nanomaterial hybrid aerogels for adsorption removal of cationic and anionic organic dyes. *Nanomaterials*, 10(1): 169.
72. Ekinici, A., Kutluay, S., Şahin, Ö. ve Baytar, O., 2023. Green synthesis of copper oxide and manganese oxide nanoparticles from watermelon seed shell extract for enhanced photocatalytic reduction of methylene blue. *International Journal of Phytoremediation*, 25(6): 789–798.
73. Horoz, S., Baytar, O., Sahin, O. ve Kilicvuran, H., 2018. Photocatalytic degradation of methylene blue with Co alloyed CdZnS nanoparticles. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(2): 1004–1010.

74. Youssef, N.A., Shaban, S.A., Ibrahim, F.A. ve Mahmoud, A.S., 2016. Degradation of methyl orange using Fenton catalytic reaction. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(3): 317–321.
75. Raliya, R., Avery, C., Chakrabarti, S. ve Biswas, P., 2017. Photocatalytic degradation of methyl orange dye by pristine titanium dioxide, zinc oxide, and graphene oxide nanostructures and their composites under visible light irradiation. *Applied Nanoscience (Switzerland)*, 7(5): 253–259.
76. Youssef, N.A., Shaban, S.A., Ibrahim, F.A. ve Mahmoud, A.S., 2016. Degradation of methyl orange using Fenton catalytic reaction. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(3): 317–321.
77. Farhan Hanafi, M. ve Sapawe, N., 2020. A review on the water problem associate with organic pollutants derived from phenol, methyl orange, and remazol brilliant blue dyes. *Materials Today: Proceedings*, 31: A141–A150.
78. Hosseini, S., Khan, M.A., Malekbala, M.R., Cheah, W. ve Choong, T.S.Y., 2011. Carbon coated monolith, a mesoporous material for the removal of methyl orange from aqueous phase: Adsorption and desorption studies. *Chemical Engineering Journal*, 171(3): 1124–1131.
79. Danish, M., Khanday, W.A., Hashim, R., Sulaiman, N.S.B., Akhtar, M.N. ve Nizami, M., 2017. Application of optimized large surface area date stone (*Phoenix dactylifera*) activated carbon for rhodamin B removal from aqueous solution: Box-Behnken design approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 139: 280–290.
80. Ptazkowska-Koniarz, M., Goscianska, J. ve Pietrzak, R., 2018. Removal of rhodamine B from water by modified carbon xerogels. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 543: 109–117.
81. Al-Gheethi, A.A., Azhar, Q.M., Senthil Kumar, P., Yusuf, A.A., Al-Buriahi, A.K., Radin Mohamed, R.M.S. ve Al-shaibani, M.M., 2022. Sustainable approaches for removing Rhodamine B dye using agricultural waste adsorbents: A review. *Chemosphere*, 287: 132080.
82. Üner, O., Geçgel, Ü., Kolancılar, H. ve Yüksel, B., 2017. Adsorptive removal of rhodamine B with activated carbon obtained from okra wastes. *Taylor & Francis, Chemical Engineering Communications*, 204(7): 772–783.
83. Tian, H., Peng, J., Lv, T., Sun, C. ve He, H., 2018. Preparation and performance study of MgFe_2O_4 /metal–organic framework composite for rapid removal of organic dyes from water. *Journal of Solid State Chemistry*, 257: 40–48.
84. Davoudabadi Farahani, M. ve Hasanzadeh, M., 2021. Investigation of the properties and applications of magnetic metal-organic framework

(MMOF) composites for detection and removal of environmental pollutants. *Advanced Materials and New Coatings*, 9(35): 2546–2572.

85. Chen, J. ve Zhu, X., 2016. Magnetic solid phase extraction using ionic liquid-coated core-shell magnetic nanoparticles followed by high-performance liquid chromatography for determination of Rhodamine B in food samples. *Food Chemistry*, 200: 10–15.
86. Huang, T., Yan, M., He, K., Huang, Z., Zeng, G., Chen, A., Peng, M., Li, H., Yuan, L. ve Chen, G., 2019. Efficient removal of methylene blue from aqueous solutions using magnetic graphene oxide modified zeolite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 543: 43–51.
87. Pandimurugan, R. ve Thambidurai, S., 2016. Synthesis of seaweed-ZnO-PANI hybrid composite for adsorption of methylene blue dye. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1): 1332–1347.
88. Wang, H., Gao, H., Chen, M., Xu, X., Wang, X., Pan, C. ve Gao, J., 2016. Microwave-assisted synthesis of reduced graphene oxide/titania nanocomposites as an adsorbent for methylene blue adsorption. *Applied Surface Science*, 360: 840–848.
89. Fan, S., Tang, J., Wang, Y., Li, H., Zhang, H., Tang, J., Wang, Z. ve Li, X., 2016. Biochar prepared from co-pyrolysis of municipal sewage sludge and tea waste for the adsorption of methylene blue from aqueous solutions: Kinetics, isotherm, thermodynamic and mechanism. *Journal of Molecular Liquids*, 220: 432–441.
90. He, K., Zeng, Z., Chen, A., Zeng, G., Xiao, R., Xu, P., Huang, Z., Shi, J., Hu, L., Chen He, G.K., Zeng, G.M., Xu, P., Huang, Z.Z., Shi, J.B., Hu, L., Chen, G.Q., He, K., Zeng, Z.T., Xiao, R. ve Chen, A.W., 2018. Advancement of Ag-Graphene Based Nanocomposites: An Overview of Synthesis and Its Applications. *Small*, 14(32): 1800871.
91. Nasrollahzadeh, M., Nezafat, Z., Gorab, M.G. ve Sajjadi, M., 2020. Recent progresses in graphene-based (photo)catalysts for reduction of nitro compounds. *Molecular Catalysis*, 484: 110758.
92. Naghdi, S., Sajjadi, M., Nasrollahzadeh, M., Rhee, K.Y., Sajadi, S.M. ve Jaleh, B., 2018. *Cuscuta reflexa* leaf extract mediated green synthesis of the Cu nanoparticles on graphene oxide/manganese dioxide nanocomposite and its catalytic activity toward reduction of nitroarenes and organic dyes. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 86: 158–173.
93. Kariper, İ.A., Çağlayan, M.O. ve Üstündağ, Z., 2019. Heterogeneous Au/Ru hybrid nanoparticle decorated graphene oxide nanosheet catalyst for the catalytic reduction of nitroaromatics. *Research on Chemical Intermediates*, 45(2): 801–813.

94. Ghorbani-Vaghei, R., Veisi, H., Aliani, M.H., Mohammadi, P. ve Karmakar, B., 2021. Alginate modified magnetic nanoparticles to immobilization of gold nanoparticles as an efficient magnetic nanocatalyst for reduction of 4-nitrophenol in water. *Journal of Molecular Liquids*, 327: 114868.
95. Begum, R., Rehan, R., Farooqi, Z.H., Butt, Z. ve Ashraf, S., 2016. Physical chemistry of catalytic reduction of nitroarenes using various nanocatalytic systems: past, present, and future. *Journal of Nanoparticle Research*, 18(8): 1–24.
96. Zhao, P., Feng, X., Huang, D., Yang, G. ve Astruc, D., 2015. Basic concepts and recent advances in nitrophenol reduction by gold- and other transition metal nanoparticles. *Coordination Chemistry Reviews*, 287: 114–136.
97. Liu, S., Yang, M.Q., Zhang, N. ve Xu, Y.J., 2014. Nanocomposites of graphene-CdS as photoactive and reusable catalysts for visible-light-induced selective reduction process. *Journal of Energy Chemistry*, 23(2): 145–155.
98. Dayan, S., Arslan, F. ve Kalaycioglu Ozpozan, N., 2015. Ru(II) İmpregnated Al₂O₃, Fe₃O₄, SiO₂ and N-coordinate ruthenium(II) arene complexes: Multifunctional catalysts in the hydrogenation of nitroarenes and the transfer hydrogenation of aryl ketones. *Applied Catalysis B: Environmental*, 164: 305–315.
99. Rajesh, R. ve Venkatesan, R., 2012. Encapsulation of silver nanoparticles into graphite grafted with hyperbranched poly(amidoamine) dendrimer and their catalytic activity towards reduction of nitro aromatics. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 359: 88–96.
100. Shah, M., Guo, Q.X. ve Fu, Y., 2015. The colloidal synthesis of unsupported nickel-tin bimetallic nanoparticles with tunable composition that have high activity for the reduction of nitroarenes. *Catalysis Communications*, 65: 85–90.
101. Pan, X. ve Xu, Y.J., 2014. Efficient thermal- and photocatalyst of Pd nanoparticles on TiO₂ achieved by an oxygen vacancies promoted synthesis strategy. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6(3): 1879–1886.
102. Saha, S., Pal, A., Kundu, S., Basu, S. ve Pal, T., 2010. Photochemical green synthesis of calcium-alginate-stabilized ag and au nanoparticles and their catalytic application to 4-nitrophenol reduction. *Langmuir*, 26(4): 2885–2893.
103. Wu, S., Kaiser, J., Drechsler, M., Ballauff, M. ve Lu, Y., 2013. Thermosensitive Au-PNIPAA yolk-shell particles as “nanoreactors” with tunable optical properties. *Colloid and Polymer Science*, 291(1): 231–237.

104. Sargin, I., Baran, T. ve Arslan, G., 2020. Environmental remediation by chitosan-carbon nanotube supported palladium nanoparticles: Conversion of toxic nitroarenes into aromatic amines, degradation of dye pollutants and green synthesis of biaryls. *Separation and Purification Technology*, 247:116987.
105. Saikia, J., Gogoi A. ve Baruah, S., 2019. Nanotechnology for Water Remediation. 195–211.
106. Nezafat, Z., Feizi Mohazzab, B., Jaleh, B., Nasrollahzadeh, M., Baran, T. ve Shokouhimehr, M., 2021. A promising nanocatalyst: Upgraded Kraft lignin by titania and palladium nanoparticles for organic dyes reduction. *Inorganic Chemistry Communications*, 130: 108746.
107. Mohazzab, B.F., Jaleh, B., Nasrollahzadeh, M., Khazalpour, S., Sajjadi, M. ve Varma, R.S., 2020. Upgraded Valorization of Biowaste: Laser-Assisted Synthesis of Pd/Calcium Lignosulfonate Nanocomposite for Hydrogen Storage and Environmental Remediation. *ACS Omega*, 5(11): 5888–5899.
108. Nasrollahzadeh, M., Sajjadi, M., Shokouhimehr, M. ve Varma, R.S., 2019. Recent developments in palladium (nano)catalysts supported on polymers for selective and sustainable oxidation processes. *Coordination Chemistry Reviews*, 397: 54–75.
109. Chen, S., Wang, G., Sui, W., Parvez, A.M., Dai, L. ve Si, C., 2020. Novel lignin-based phenolic nanosphere supported palladium nanoparticles with highly efficient catalytic performance and good reusability. *Industrial Crops and Products*, 145: 112164.
110. Li, Z., Shi, Y., Zhu, A., Zhao, Y., Wang, H., Binks, B.P. ve Wang, J., 2021. Light-Responsive, Reversible Emulsification and Demulsification of Oil-in-Water Pickering Emulsions for Catalysis. *Angewandte Chemie-International Edition*, 60(8): 3928–3933.
111. Wang, Z., Lei, Q., Wang, Z., Yuan, H., Cao, L., Qin, N., Lu, Z., Xiao, J. ve Liu, J., 2020. In-situ synthesis of free-standing FeNi-oxyhydroxide nanosheets as a highly efficient electrocatalyst for water oxidation. *Chemical Engineering Journal*, 395: 125180.
112. Rostami-Vartooni, A., Alizadeh, M. ve Bagherzadeh, M., 2015. Green synthesis, characterization and catalytic activity of natural bentonite-supported copper nanoparticles for the solvent-free synthesis of 1-substituted 1H-1,2,3,4-tetrazoles and reduction of 4-nitrophenol. *Beilstein Journal of Nanotechnology* 6:236, 6(1): 2300–2309.
113. Nasrollahzadeh, M., Shafiei, N., Nezafat, Z., Soheili Bidgoli, N.S. ve Soleimani, F., 2020. Recent progresses in the application of cellulose, starch, alginate, gum, pectin, chitin and chitosan based (nano)catalysts in

sustainable and selective oxidation reactions: A review. *Carbohydrate Polymers*, 241:116353.

114. Persin, Z., Stana-Kleinschek, K., Foster, T.J., Van Dam, J.E.G., Boeriu, C.G. ve Navard, P., 2011. Challenges and opportunities in polysaccharides research and technology: The EPNOE views for the next decade in the areas of materials, food and health care. *Carbohydrate Polymers*, 84(1): 22–32.
115. Rinaudo, M., 2004. Role of Substituents on the Properties of Some Polysaccharides. *Biomacromolecules*, 5(4): 1155–1165.
116. Orooji, Y., Nezafat, Z., Nasrollahzadeh, M. ve Kamali, T.A., 2021. Polysaccharide-based (nano)materials for Cr(VI) removal. *International Journal of Biological Macromolecules*, 188: 950–973.
117. Devadas, V.V., Khoo, K.S., Chia, W.Y., Chew, K.W., Munawaroh, H.S.H., Lam, M.K., Lim, J.W., Ho, Y.C., Lee, K.T. ve Show, P.L., 2021. Algae biopolymer towards sustainable circular economy. *Bioresource Technology*, 325:124702.
118. Kartik, A., Akhil, D., Lakshmi, D., Panchamoorthy Gopinath, K., Arun, J., Sivaramakrishnan, R. ve Pugazhendhi, A., 2021. A critical review on production of biopolymers from algae biomass and their applications. *Bioresource Technology*, 329:124868.
119. Horue, M., Rivero Berti, I., Cacicedo, M.L. ve Castro, G.R., 2021. Microbial production and recovery of hybrid biopolymers from wastes for industrial applications- a review. *Bioresource Technology*, 340:125671.
120. Udayakumar, G.P., Muthusamy, S., Selvaganesh, B., Sivarajasekar, N., Rambabu, K., Sivamani, S., Sivakumar, N., Maran, J.P. ve Hosseini-Bandegharai, A., 2021. Ecofriendly biopolymers and composites: Preparation and their applications in water-treatment. *Biotechnology Advances*, 52: 107815.
121. Nasrollahzadeh, M., Sajjadi, M., Shokouhimehr, M. ve Varma, R.S., 2019. Recent developments in palladium (nano)catalysts supported on polymers for selective and sustainable oxidation processes. *Coordination Chemistry Reviews*, 397: 54–75.
122. Badawy, M.E.I. ve Rabea, E.I., 2011. A Biopolymer chitosan and its derivatives as promising antimicrobial agents against plant pathogens and their applications in crop protection. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, 2011: 1–29.
123. Bazhenov, V. V., Wysokowski, M., Petrenko, I., Stawski, D., Sapozhnikov, P., Born, R., Stelling, A.L., Kaiser, S. ve Jesionowski, T., 2015. Preparation of monolithic silica–chitin composite under extreme biomimetic

- conditions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 76: 33–38.
124. Yeul, V.S. ve Rayalu, S.S., 2013. Unprecedented chitin and chitosan: a chemical overview. *Journal of Polymers and the Environment*, 21(2): 606–614.
 125. Qi, L., Xu, Z., Jiang, X., Hu, C. ve Zou, X., 2004. Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Research*, 339(16): 2693–2700.
 126. Rinaudo, M., 2006. Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 31(7): 603–632.
 127. Kamal, T., Khan, M.S.J., Khan, S.B., Asiri, A.M., Chani, M.T.S. ve Ullah, M.W., 2020. Silver nanoparticles embedded in gelatin biopolymer hydrogel as catalyst for reductive degradation of pollutants. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(2): 399–410.
 128. Fuku, X., Matinise, N., Masikini, M., Kasinathan, K. ve Maaza, M., 2018. An electrochemically active green synthesized polycrystalline NiO/MgO catalyst: Use in photo-catalytic applications. *Materials Research Bulletin*, 97: 457–465.
 129. Indhira, D., Krishnamoorthy, M., Ameen, F., Bhat, S.A., Arumugam, K., Ramalingam, S., Priyan, S.R. ve Kumar, G.S., 2022. Biomimetic facile synthesis of zinc oxide and copper oxide nanoparticles from *Elaeagnus indica* for enhanced photocatalytic activity. *Environmental Research*, 212: 113323.
 130. Ameen, F., Dawoud, T. ve AlNadhari, S., 2021. Ecofriendly and low-cost synthesis of ZnO nanoparticles from *Acremonium potronii* for the photocatalytic degradation of azo dyes. *Environmental Research*, 202: 111700.
 131. Sonbol, H., AlYahya, S., Ameen, F., Alsamhary, K., Alwakeel, S., Al-Otaibi, S. ve Korany, S., 2023. Bioinspired synthesize of CuO nanoparticles using *Cylindrospermum stagnale* for antibacterial, anticancer and larvicidal applications. *Applied Nanoscience (Switzerland)*, 13(1): 917–927.
 132. Wu, H., Wu, G., Ren, Y., Yang, L., Wang L. ve Li, X., 2015. $\text{Co}^{2+}/\text{Co}^{3+}$ Ratio dependence of electromagnetic wave absorption in hierarchical $\text{NiCo}_2\text{O}_4\text{--CoNiO}_2$ hybrids. *Journal of Materials Chemistry C*, 3(29): 7677–7690.
 133. Hu, M., Ishihara, S., Ariga, K., Imura, M., Yamauchi, Y., Hu, M., Ishihara, S., Ariga, K., Imura, M. ve Yamauchi, Y., 2013. Kinetically controlled crystallization for synthesis of monodispersed coordination polymer nanocubes and their self-assembly to periodic arrangements. *Chemistry – A European Journal*, 19(6): 1882–1885.

134. Jinbo Fei, B., Cui, Y., Yan, X., Qi, W., Yang, Y., Wang, K., He, Q., Li, J., Li, J., Fei, J., Cui, Y., Yan, X., Qi, W., Yang, Y., Wang, K. ve He, Q., 2008. Controlled preparation of MnO₂ hierarchical hollow nanostructures and their application in water treatment. *Advanced Materials*, 20(3): 452–456.
135. Zhang, Z., Shao, C., Li, X., Wang, C., Zhang, M. ve Liu, Y., 2010. Electrospun nanofibers of p-type NiO/ n-type ZnO heterojunctions with enhanced photocatalytic activity. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 2(10): 2915–2923.
136. Cho, J.S., Hong, Y.J. ve Kang, Y.C., 2015. Design and synthesis of bubble-nanorod-structured Fe₂O₃-Carbon nanofibers as advanced anode material for li-ion batteries. *ACS Nano*, 9(4): 4026–4035.
137. Ren, Y., Ma Z. ve Bruce, P.G., 2012. Ordered mesoporous metal oxides: Synthesis and applications. *Chemical Society Reviews*, 41(14): 4909–4927.
138. Gu, D. ve Schüth, F., 2013. Synthesis of non-siliceous mesoporous oxides. *Chemical Society Reviews*, 43(1): 313–344.
139. Azaceta, E., Chavhan, S., Rossi, P., Paderi, M., Fantini, S., Ungureanu, M., Miguel, O., Grande, H.J. ve Tena-Zaera, R., 2012. NiO cathodic electrochemical deposition from an aprotic ionic liquid: Building metal oxide N-P heterojunctions. *Electrochimica Acta*, 71: 39–43.
140. Poizot, P., Laruelle, S., Grugeon, S., Dupont, L. ve Tarascon, J.M., 2000. Nano-sized transition-metal oxides as negative-electrode materials for lithium-ion batteries. *Nature*, 407(6803): 496–499.
141. Diebold, U., 2003. The surface science of titanium dioxide. *Surface Science Reports*, 48(5–8): 53–229.
142. Savateev, O. ve Savateev, O., 2022. Photocharging of semiconductor materials: database, quantitative data analysis, and application in organic synthesis. *Advanced Energy Materials*, 12(21): 2200352.
143. Savateev, O., 2022. Photocharging of semiconductor materials: database, quantitative data analysis, and application in organic synthesis. *Advanced Energy Materials*, 12(21): 2200352.
144. Yadav, S.K. ve Jeevanandam, P., 2014. Synthesis of NiO–Al₂O₃ nanocomposites by sol–gel process and their use as catalyst for the oxidation of styrene. *Journal of Alloys and Compounds*, 610: 567–574.
145. Moghadam, N.C.Z., Jasim, S.A., Ameen, F., Alotaibi, D.H., Nobre, M.A.L., Sellami, H. ve Khatami, M., 2022. Nickel oxide nanoparticles synthesis using plant extract and evaluation of their antibacterial effects on *Streptococcus mutans*. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 45(7): 1201–1210.

146. Wei, W., Yang, S., Zhou, H., Lieberwirth, I., Feng, X., Müllen, K., Wei, W., Yang, S.B., Zhou, H.X., Lieberwirth, I., Feng, X.L. ve Müllen, K., 2013. 3D Graphene foams cross-linked with pre-encapsulated Fe₃O₄ nanospheres for enhanced lithium storage. *Advanced Materials*, 25(21): 2909–2914.
147. Jiang, Z., Xie, J., Jiang, D., Wei, X. ve Chen, M., 2013. Modifiers-assisted formation of nickel nanoparticles and their catalytic application to p-nitrophenol reduction. *CrystEngComm*, 15(3): 560–569.
148. Gandhi, S., Nagalakshmi, N., Baskaran, I., Dhanalakshmi, V., Nair, M.R.G. ve Anbarasan, R., 2010. Synthesis and characterization of nano-sized NiO and its surface catalytic effect on poly(vinyl alcohol). *Journal of Applied Polymer Science*, 118(3): 1666–1674.
149. Rafiee, F. ve Rezaee, M., 2022. Catalytic reduction of nitroarenes and degradation of dyes at room temperature by an efficient NNN pincer palladium catalyst based on the magnetic amino-triazole-modified chitosan. *Reactive and Functional Polymers*, 172: 105208.
150. Ghosh, B.K., Hazra, S., Naik, B. ve Ghosh, N.N., 2015. Preparation of Cu nanoparticle loaded SBA-15 and their excellent catalytic activity in reduction of variety of dyes. *Powder Technology*, 269: 371–378.
151. Ganapuram, B.R., Alle, M., Dadigala, R., Dasari, A., Maragoni, V. ve Guttena, V., 2015. Catalytic reduction of methylene blue and Congo red dyes using green synthesized gold nanoparticles capped by salmalia malabarica gum. *International Nano Letters* 2015 5:4, 5(4): 215–222.
152. Sallam, S.A., El-Subruiti, G.M. ve Eltaweil, A.S., 2018. Facile synthesis of Ag- γ -Fe₂O₃ superior nanocomposite for catalytic reduction of nitroaromatic compounds and catalytic degradation of methyl orange. *Catalysis Letters*, 148(12): 3701–3714.
153. Antony, R., Marimuthu, R. ve Murugavel, R., 2019. Bimetallic nanoparticles anchored on core-shell support as an easily recoverable and reusable catalytic system for efficient nitroarene reduction. *ACS Omega*, 4(5): 9241–9250.
154. Gan, Z., Zhao, A., Zhang, M., Tao, W., Guo, H., Gao, Q., Mao, R. ve Liu, E., 2013. Controlled synthesis of Au-loaded Fe₃O₄@C composite microspheres with superior SERS detection and catalytic degradation abilities for organic dyes. *Dalton Transactions*, 42(24): 8597–8605.
155. Omidvar, A., Jaleh, B., Nasrollahzadeh, M. ve Dasmeh, H.R., 2017. Fabrication, characterization and application of GO/Fe₃O₄/Pd nanocomposite as a magnetically separable and reusable catalyst for the reduction of organic dyes. *Chemical Engineering Research and Design*, 121: 339–347.

156. Baran, T., Yılmaz Baran, N. ve Menteş, A., 2018. An easily recoverable and highly reproducible agar-supported palladium catalyst for Suzuki-Miyaura coupling reactions and reduction of o-nitroaniline. *International Journal of Biological Macromolecules*, 115: 249–256.
157. Xie, M., Zhang, F., Long, Y. ve Ma, J., 2013. Pt nanoparticles supported on carbon coated magnetic microparticles: An efficient recyclable catalyst for hydrogenation of aromatic nitro-compounds. *RSC Advances*, 3(26): 10329–10334.
158. Nasrollahzadeh, M., Sajjadi, M., Dasmeh, H.R. ve Sajadi, S.M., 2018. Green synthesis of the Cu/sodium borosilicate nanocomposite and investigation of its catalytic activity. *Journal of Alloys and Compounds*, 763: 1024–1034.
159. Sumantha, H.S., Rajagopal, S., Nagaraju, G., Shashank, M. ve Suresha, B.L., 2021. Facile and eco-friendly combustion synthesis of NiO particles for photodegradation studies. *Chemical Physics Letters*, 779: 138837.
160. Kamel, N.A., Abd El-messieh, S.L. ve Saleh, N.M., 2017. Chitosan/banana peel powder nanocomposites for wound dressing application: Preparation and characterization. *Materials Science and Engineering: C*, 72: 543–550.
161. Khairnar, S.D. ve Shrivastava, V.S., 2019. Facile synthesis of nickel oxide nanoparticles for the degradation of Methylene blue and Rhodamine B dye: a comparative study. *Journal of Taibah University for Science*, 13:1, 1108-1118.
162. Rezvani, M.A. ve Miri, O.F., 2019. Synthesis and characterization of PWMn/NiO/PAN nanosphere composite with superior catalytic activity for oxidative desulfurization of real fuel. *Chemical Engineering Journal*, 369: 775–783.
163. Angel Ezhilarasi, A., Judith Vijaya, J., Kaviyarasu, K., John Kennedy, L., Ramalingam, R.J. ve Al-Lohedan, H.A., 2018. Green synthesis of NiO nanoparticles using Aegle marmelos leaf extract for the evaluation of in-vitro cytotoxicity, antibacterial and photocatalytic properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 180: 39–50.
164. Khan, M., Khan, M., Kuniyil, M., Adil, S.F., Al-Warthan, A., Alkhathlan, H.Z., Tremel, W. Tahir, M.N. ve Siddiqui, M.R.H., 2014. Biogenic synthesis of palladium nanoparticles using *Pulicaria glutinosa* extract and their catalytic activity towards the Suzuki coupling reaction. *Dalton Transactions*, 43(24): 9026–9031.
165. Sahu, K., Satpati, B., Singhal R. ve Mohapatra, S., 2020. Enhanced catalytic activity of CuO/Cu₂O hybrid nanowires for reduction of 4-nitrophenol in water. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 136: 109143.

166. Gandhi, S., Nagalakshmi, N., Baskaran, I., Dhanalakshmi, V., Nair, M.R.G. ve Anbarasan, R., 2010. Synthesis and characterization of nano-sized NiO and its surface catalytic effect on poly(vinyl alcohol). *Journal of Applied Polymer Science*, 118(3): 1666–1674.
167. Sumantha, H.S., Rajagopal, S., Nagaraju, G., Shashank, M. ve Suresha, B.L., 2021. Facile and eco-friendly combustion synthesis of NiO particles for photodegradation studies. *Chemical Physics Letters*, 779: 138837.
168. Kamel, N.A., Abd El-messieh, S.L. ve Saleh, N.M., 2017. Chitosan/banana peel powder nanocomposites for wound dressing application: Preparation and characterization. *Materials Science and Engineering: C*, 72: 543–550.
169. Koga, H. ve Kitaoka, T., 2011. One-step synthesis of gold nanocatalysts on a microstructured paper matrix for the reduction of 4-nitrophenol. *Chemical Engineering Journal*, 168(1): 420–425.
170. Veisi, H., Joshani, Z., Karmakar, B., Tamoradi, T., Heravi, M.M. ve Gholami, J., 2021. Ultrasound assisted synthesis of Pd NPs decorated chitosan-starch functionalized Fe₃O₄ nanocomposite catalyst towards Suzuki-Miyaura coupling and reduction of 4-nitrophenol. *International Journal of Biological Macromolecules*, 172: 104–113.
171. Veisi, H., Kazemi, S., Mohammadi, P., Safarimehr, P. ve Hemmati, S., 2019. Catalytic reduction of 4-nitrophenol over Ag nanoparticles immobilized on *Stachys lavandulifolia* extract-modified multi walled carbon nanotubes. *Polyhedron*, 157: 232–240.
172. Ma, M., Yang, Y., Li, W., Feng, R., Li, Z., Lyu, P. ve Ma, Y., 2019. Gold nanoparticles supported by amino groups on the surface of magnetite microspheres for the catalytic reduction of 4-nitrophenol. *Journal of Materials Science*, 54(1): 323–334.
173. Khoshnamvand, M., Huo, C. ve Liu, J., 2019. Silver nanoparticles synthesized using *Allium ampeloprasum* L. leaf extract: Characterization and performance in catalytic reduction of 4-nitrophenol and antioxidant activity. *Journal of Molecular Structure*, 1175: 90–96.
174. Kuroda, K., Ishida, T. ve Haruta, M., 2009. Reduction of 4-nitrophenol to 4-aminophenol over Au nanoparticles deposited on PMMA. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 298(1–2): 7–11.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Afife Nur EROĞLAN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 2009-2015

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı (Tezsiz Y.L.), 2019-2020

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, 2021-2023

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. METALSA – İSE OTOMOTİV / Kalite Kontrol /07.2012-08.2012 / Yaz Stajı
2. SEMERKAND PLASTİK San. Tic. A.Ş./Kalite (Yönetim) Sistem Sorumlusu/07.2015-08.2015
3. MEB’e bağlı özel bir Etüt Eğitim Merkezi / Müdür /09.2018-10.2019
4. TOBB MTAL /Ücretli Öğretmen / Kimya Öğretmeni / 09.2021-01.2022
5. 75.YIL MTAL / Ücretli Öğretmen / Kimya Öğretmeni / 09.2022-06.2023

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Uluslararası Kongrelerde Sunulan Bildiri

1. EROĞLAN, A.N., BARAN, T., SYNTHESIS OF PALLADIUM NANOCATALYST SUPPORTED ON CHITOSAN-NiO MICROSPHERES AND INVESTIGATION OF ITS CATALYTIC POWER IN THE CATALYTIC REDUCTION OF ENVIRONMENTAL POLLUTANTS, 3. ULUSLARARASI AKDENİZ BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ 26-27 AĞUSTOS 2023 ANTALYA/TÜRKİYE, SÖZLÜ SUNUM.