

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Sentetik Tekstil Atıksularında MgO_2 ile Boyar Madde
Oksidasyonu**

Ömer Şahin SARISOY

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

Sentetik Tekstil Atıksularında MgO_2 ile Boyar Madde
Oksidasyonu

Ömer Şahin SARISOY

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 22/07/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Mesut BAŞIBÜYÜK (Danışman)
: Doç. Dr. Behzat BALCI
: Doç. Dr. Rozelin AYDIN

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL VE METOT	11
3.1. MgO ₂ Nanoparçacıklarının Sentezi	11
3.2. MgO ₂ Nanoparçacıklarının Karakterizasyonu.....	11
3.3. Boya Oksidasyon Deneyleri.....	11
3.4. Analitik İşlemler.....	12
3.5. İstatistiksel Metotlar	12
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	13
4.1. MgO ₂ 'nin Karakterizasyonu	13
4.2. Fe ²⁺ /MgO ₂ Sisteminde Organik Boya Bozunması.....	14
4.3. MgO ₂ Tabanlı Oksidasyon Proseslerinin Yeniden Kullanım Potansiyeli.....	17
4.4. MgO ₂ 'in Farklı MP'ler ile RB5 Giderimi Üzerine Karşılaştırılması.....	18
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	21
5.1. Sonuç	21
5.2. Öneriler	21
KAYNAKLAR	23
ÖZGEÇMİŞ	29

**Sentetik Tekstil Atıksularında MgO_2 ile Boyar Madde
Oksidasyonu**

Ömer Şahin SARISOY

Danışman: Prof. Dr. Mesut BAŞIBÜYÜK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Tekstil boyası içeren atık suların gelişmiş oksidasyon süreçleri aracılığıyla çevre dostu yöntemlerle arıtılması, ekolojik ve çevresel sağlık için büyük önem taşımaktadır. Magnezyum peroksit (MgO_2), güçlü oksitleme potansiyeli ile çevre dostu bir oksidan olarak öne çıkmaktadır. MgO_2 'in atık sulardaki tekstil boyalarını oksitleme potansiyelinin incelenmesi, çevre dostu arıtma yöntemlerinin yaygınlaştırılmasını ilerletebileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada amaç, RB5 tekstil boyasının oksidasyonunda Fe^{2+}/MgO_2 prosesinin etkinliğini araştırmaktır. Fe^{2+}/MgO_2 süreci için optimum pH ve Fe^{2+}/MgO_2 oranı sırasıyla, 2,50 ve 0,40 olarak tespit edilmiştir. Bu koşullar altında, 200 mg/L RB5 çözeltisi için, Fe^{2+}/MgO_2 60 dakikada 0,04 g MgO_2 ile tam renk giderimi elde etmiş bulunmaktadır. MgO_2 kullanılarak yapılan çalışmalar, RB5'in giderilmesinde yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu bulguların, etkili ve çevre dostu bir yaklaşım sunarak, boyar madde içeren atık su arıtımında önemli faydalar sağlaması beklenmektedir

Anahtar Kelimeler: Tekstil Boyası, Kimyasal Oksidasyon, Magnezyum Peroksit, Reaktif Black 5

Oxidation of Dyes with MgO_2 in Synthetic Textile Wastewaters

Ömer Şahin SARISOY

Advisor: Prof. Dr. Mesut BAŞIBÜYÜK

Department of Environmental Engineering

ABSTRACT

The treatment of wastewater containing textile dyes through advanced oxidation processes using environmentally friendly methods is of great importance for ecological and environmental health. Magnesium peroxide (MgO_2) stands out as an eco-friendly oxidant with strong oxidation potential. Investigating the oxidation potential of MgO_2 for textile dyes in wastewater is thought to advance the proliferation of eco-friendly treatment methods. The aim of this study is to investigate the effectiveness of the Fe^{2+}/MgO_2 process in the oxidation of RB5 textile dye. The optimum pH and Fe^{2+}/MgO_2 ratio for the Fe^{2+}/MgO_2 process were determined to be 2,50 and 0,40, respectively. Under these conditions, for a 200 mg/L RB5 solution, complete color removal was achieved with 0,04 g of MgO_2 within 60 minutes using the Fe^{2+}/MgO_2 process. Studies using MgO_2 have shown that it has high potential in the removal of RB5. These findings are expected to provide significant benefits in the treatment of dye-containing wastewater, offering an effective and environmentally friendly approach.

Keywords: Textile Dye, MgO_2 , Oxidation, Reactive Black 5.

TEŞEKKÜR

Akademik kariyerimde rehberlik eden ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Mesut BAŞIBÜYÜK ve Doç. Dr. Behzat BALCI'ya teşekkürlerimi sunuyorum.



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. MgO_2 'in farklı MP'ler ile RB5 giderimi üzerine karşılaştırılması	19
--	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. MgO ₂ 'nin Sem Analizi	13
Şekil 4.2. MgO ₂ 'nin EDX Analizi	14
Şekil 4.3. MgO ₂ 'nin XRD Modeli	14
Şekil 4.4. Fe ²⁺ /MgO ₂ ile RB5'in Oksidasyonunda pH'ın Etkisi	16
Şekil 4.5. Fe ²⁺ Dozajının RB5'in Oksidasyonu Üzerindeki Etkisi	16
Şekil 4.6. MgO ₂ Dozajının RB5'in Oksidasyonu Üzerindeki Etkisi (0,005-0,05)	17
Şekil 4.7. MgO ₂ Dozajının RB5'in Oksidasyonu Üzerindeki Etkisi (0,005-0,1)	17
Şekil 4.8. Fe ²⁺ /MgO ₂ 'in yeniden kullanımı.....	18



SİMGELER VE KISALTMALAR

MgO ₂	: Magnezyum Peroksit
RB5	: Reactive Black 5
FeSO ₄ ·7H ₂ O	: Demir Sülfat Heptahidrat
MgCl ₂ ·6H ₂ O	: Magnezyum Klorür Hekzahidrat
MgO	: Magnezyum Oksit
H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
İOP	: İleri Oksidasyon Prosesleri
H ₂ O	: Su
UV	: Ultraviyole
CaO ₂	: Kalsiyum Peroksit
ZnO ₂	: Çinko Peroksit
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
NH ₃ ·H ₂ O	: Amonyak
STW	: Simüle Edilmiş Tekstil Atık Suyu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDX	: Enerji Dağılımlı X-ışını
XRD	: X-ışını Kırınımı
FTIR	: Fourier Transmission Infrared Spectroscopy
ROS	: Reaktif Oksijen Türleri

1. GİRİŞ

Sentetik boyalar, tekstil, kağıt, deri, ilaç, kozmetik ve baskı gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu boyalar, üretim aşamalarında liflere sabitlenmediğinde atık suya geçmektedir (Kang ve diğerleri, 2020). Sentetik boyaların karmaşık aromatik yapıları, onların su kütlelerinde fotodegradasyon ve aerobik biyodegradasyona karşı dirençli olmalarına yol açar. Boyalar, su sistemlerinde düşük konsantrasyonlarda bile fotosentetik aktiviteyi azaltarak ve gazların çözünürlüğünü düşürerek çevresel sorunlara neden olur. Bu boyaların konsantrasyonları, sucul organizmalar için tehlikeli veya zararlı olabilmektedir (Yuyang ve diğerleri, 2020).

Kimyasal boya giderim teknikleri, kimyasal boyaların uzaklaştırılmasını sağlamak için kullanılan yöntemlerdir. Bu teknikler arasında ileri oksidasyon, elektrokimyasal yıkım, Fenton reaksiyonu, oksidasyon, ozonlama, foto-kimyasal yöntemler ve ultraviyole radyasyon yer alır. Bu yöntemler, klasik kimyasal boya giderim teknikleri olarak bilinir (Kathiresan ve diğerleri, 2021).

Oksidasyon, kimyasal renk gideriminde yaygın ve etkili bir yöntem olarak kullanılır. Bu süreçte, boya molekülleri oksitlenerek daha küçük ve renksiz moleküllere ayrışır. Ayrışma ürünleri, boyanın kimyasal yapısına ve kullanılan oksidanın kuvvetine bağlı olarak karbondioksit, su, nitrojen, aldehitler, asitler ve sülfatlar olarak sonuçlanabilir. Oksidasyonun uzun süredir tercih edilmesinin nedeni, işlemin basitliği ve etkinliğidir (Saeed ve diğerleri, 2017).

Atık su arıtımında yaygın olarak kullanılan çeşitli oksidasyon yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında Fenton, Fenton-benzeri, hetero-Fenton-benzeri, metal oksitlerle oksidasyon, enzim bazlı yöntemler, nanozim bazlı yöntemler, katalitik ve fotokatalitik prosesler bulunmaktadır. Her bir yöntem, farklı koşullar altında atık sulardaki organik kirleticileri etkin bir şekilde oksitlemek ve uzaklaştırmak için tasarlanmıştır. Bu teknolojiler, atık su arıtımında modern ve etkili çözümler sunmaktadır (Balci ve diğerleri, 2021; Bi ve diğerleri, 2021; Chen ve diğerleri, 2021; Dou ve diğerleri, 2020; Hou ve diğerleri, 2021; Jangi ve diğerleri, 2020; Jun ve diğerleri, 2019; Mei ve diğerleri, 2020; Qian ve diğerleri, 2016; Ren ve diğerleri, 2020; Wang ve diğerleri, 2017; Zhang ve diğerleri, 2021).

Fenton, 1884 yılında maleik asidin oksidasyonu için Fenton yöntemini tanıtmıştır. Bu yöntem, yüz yıldan uzun bir süredir maleik asidin oksidasyonunda kullanılmaktadır. Demir(II) (Fe(II)) ve H_2O_2 , asidik koşullarda bir araya geldiğinde hidroksil radikali ($\text{OH}\cdot$) oluşturur. Bu reaksiyon Fenton reaksiyonu olarak bilinir. Demir, özellikle $\text{pH} = 3$ 'te ferrik oksihidroksit çökmesi nedeniyle en yüksek katalitik aktiviteye sahip bir katalizördür (Zhang ve diğerleri, 2019). Aşırı H_2O_2 ilavesi, demir(III)'ü demir(II)'ye indirger (Safarzadeh-Amiri ve diğerleri, 1996). Fenton yöntemi genellikle dört adımdan oluşur: pH ayarı, oksidasyon reaktifi eklenmesi, nötralizasyon ve koagülasyon (Meric ve diğerleri, 2005).

Fenton yönteminin en büyük avantajları kalıntıların manyetik olarak ayrılması ve düşük maliyetidir. Bu nedenle, Fenton yöntemi birçok endüstriyel tam ölçekli uygulamada kullanılmaktadır (Bae ve diğerleri, 2015).

Bununla birlikte, Fenton oksidasyonunun alkali çözeltilere veya güçlü tampon kapasitesine sahip çamurlara uygulanması, geleneksel Fenton sisteminin ticari kullanımını engelleyebilir. Fenton prosesinde katalizör rejenerasyonu mümkün değildir ve reaksiyon için düşük bir pH değeri gereklidir. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ formundaki demir çamurunun uygun şekilde bertaraf edilmesi maliyeti arttırmaktadır (Nidheesh ve diğerleri, 2014).

Heterojen Fenton ve Fenton benzeri katalizörler, Fenton tipi proseslerin dezavantajlarının üstesinden gelmek için son zamanlarda büyük ilgi görmektedir (Hassan ve Hameed, 2011).

Fizikokimyasal prosesler boya moleküllerini su fazından membran, adsorbanlar ve pıhtılaşma ve flokülasyondan çamur gibi katı ürünlere dönüştürür. Bu nedenle, boya içeren katı ürünlerden kaynaklanan potansiyel tehlikeyi kontrol etmek için farklı prosesler gereklidir. Öte yandan, ileri oksidasyon prosesleri (İOP'ler) sentetik boya türleri tehlikesiz maddelere mineralize edebilir. Son yıllarda, yüksek kaliteli çıkış suyu sağladıkları için tekstil atık su arıtımında çeşitli İOP'lere olan ilgi artmıştır. Hidrojen peroksit (H_2O_2) bazlı kimyasal oksidasyon, sentetik boya türleri gibi dirençli organik bileşikler içeren atık suların arıtımında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Balci ve diğerleri, 2021; Cai ve diğerleri, 2021; Emzhina ve diğerleri, 2021; Maia ve diğerleri, 2021; Qiuyue ve diğerleri, 2021).

H_2O_2 , hidroksil radikali ($\bullet\text{OH}$) üretimi nedeniyle güçlü bir oksidandır ($E^\circ = +1,77 \text{ V}$) (Eduardo ve diğerleri, 2020; Jangi ve diğerleri, 2020). $\bullet\text{OH}$ radikali, organik kirleticileri CO_2 ve H_2O 'ya mineralize edebilen seçici olmayan yüksek reaktif bir oksidandır (Saravanakumar ve diğerleri, 2020). H_2O_2 'nin doğrudan kullanımı, hızlı ayrışması nedeniyle sınırlıdır. Fenton prosesi, H_2O_2 'nin bir peroksidaz enzimi veya demir iyonları, metal ve MgO_2 nanopartikülleri gibi bir nanozim varlığında indirgenmesiyle $\bullet\text{OH}$ üretir (Dennison ve diğerleri, 2017) Fenton prosesi dar bir asidik pH aralığında etkilidir, büyük miktarda demir çamuru üretir ve su sistemlerinde metal kirliliğine neden olabilir (Shuguang ve diğerleri, 2017). UV destekli H_2O_2 (UV/ H_2O_2) oksidasyon prosesi, dirençli organik bileşikler içeren atık suların arıtımında kullanılabilir. Toksik yan ürünlerin üretimi ve yüksek enerji maliyetleri, UV/ H_2O_2 teknolojisinin sınırlayıcı faktörleridir (Lei ve diğerleri, 2021).

1999 yılında Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından H_2O_2 , üçüncü tip kanserojen olarak sınıflandırılmıştır (WHO,1999). Sonuç olarak, bu zorlukların üstesinden gelmek için H_2O_2 'ye benzer oksidasyon kapasitesine sahip alternatif oksidantlar kullanılmaya başlanmıştır. Metal peroksitler (MP) ve persülfatlar gibi katı oksidantlar, organik kirleticilerin parçalanmasında H_2O_2 'ye potansiyel alternatifler olarak değerlendirilmektedir (Weng ve diğerleri, 2018; Li ve diğerleri, 2016). Son yıllarda, kalsiyum peroksit (CaO_2) ve çinko peroksit (ZnO_2), çevresel restorasyon alanında hidrojen peroksit, oksijen ve reaktif oksijen türleri sağlamak için geniş çapta rapor edilmiştir. H_2O_2 ile

karşılaştırıldığında, katı metal peroksitler çok daha stabildir, taşınması ve depolanması kolaydır ve geniş bir pH aralığında uygulanabilir. Metal peroksitler su ile reaksiyona girerek H_2O_2 üretir. (Viisimaa ve diğerleri, 2013; Prasanna ve diğerleri, 2017)

CaO_2 ve ZnO_2 'nin aktif oksijen içerikleri MgO_2 kadar yüksek değildir, bu nedenle uygulamada yüksek bir dozaj gereklidir. Ticari CaO_2 'nin aktif oksijen içeriği sadece %16,67'dir, bu da düşük bir saflık anlamına gelir. Ayrıca, CaO_2 ve ZnO_2 'nin teorik aktif oksijen içerikleri sırasıyla %22,22 ve %16,49'dur, bu da MgO_2 'nin (%28,57) altında kalmaktadır. Ayrıca, CaO_2 ve ZnO_2 , su ile reaksiyona girerek sırasıyla $Ca(OH)_2$ ve $Zn(OH)_2$ üretir. MgO_2 'den üretilen $Mg(OH)_2$ ile karşılaştırıldığında, $Ca(OH)_2$ çözünürlük çarpımı birkaç büyüklük derecesi daha yüksektir, bu da metal iyonlarının (Ca^{2+}) yüksek sızmasına ve çözeltinin pH değerinin artmasına neden olur, bu da deşarj öncesi ek işlemler gerektirir. $Zn(OH)_2$ 'ye gelince, Zn^{2+} sızıntısı, ağır metal iyonlarından biri olarak, ikincil ağır metal kirliliğine neden olmaktadır. Açıkça, MgO_2 , H_2O_2 yerine kullanılması için CaO_2 veya ZnO_2 'den daha iyidir, çünkü MgO_2 'nin toksik olmaması, yüksek stabilitesi ve aktif oksijen içeriği gibi avantajları vardır (Wu ve diğerleri, 2019).

Magnezyum peroksit (MgO_2), organik kirleticilerin arıtımı için 2,38 V redoks potansiyeline sahip güçlü bir oksidant olarak kullanılabilecek yenilikçi bir oksidandır. Geleneksel oksidanlarla karşılaştırıldığında, MgO_2 uzun ömür, kolay taşınabilirlik, yüksek stabilite ve saflık, kolay üretim ve düşük maliyet gibi avantajlara sahiptir. MgO_2 , yüksek enerji seviyesinde peroksit kovalent bağa sahiptir ve aynı zamanda katı formda bir H_2O_2 olarak bilinir. MgO_2 , sulu ortamlarda yavaşça oksijen ve H_2O_2 serbest bırakır ve H_2O_2 , O_2 ve $\bullet OH$, $\bullet HO_2$ ve $\bullet O_2$ gibi oksidatif radikal türlerini üretmektedir (Wu ve diğerleri, 2019).

MgO_2 'nin endüstriyel atık su arıtımında kullanımı, maliyet etkin ve çevre dostu bir yöntemdir. Literatürdeki ciddi eksiklik, MgO_2 'nin tekstil atık suyundan boyaların giderimi için kullanımının kapsamlı bir şekilde araştırılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, MgO_2 'in aktivatörle kombinasyon halinde (Fe^{2+}) tekstil atık suyundan RB5 boyasının giderimindeki etkinliğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma sonuçları, MgO_2 'nin tekstil atık suyu arıtımında aktivatör kombinasyonları ile etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. MgO_2 'nin aktivatörlerle kombinasyonu oksidasyon süreçlerinin hızını ve verimliliğini artırabildiği görülmüştür. Bu bulgular, tekstil atık suyu arıtımında MgO_2 'nin potansiyelini ortaya koymakta ve endüstriyel boyutlarda uygulanabilirliğini desteklemektedir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Balcı ve diğerleri (2021a), tekstil üretiminde kullanılan yardımcı kimyasalları içeren simüle edilmiş tekstil atık suyundan Reactive Black 5 (RB5) adlı tekstil boyasının uzaklaştırılması için oksidan olarak kalsiyum peroksit (CaO_2) kullanmıştır. Temas süresi, pH, başlangıç RB5 konsantrasyonu ve CaO_2 dozu gibi çeşitli bağımsız parametrelerin dekolorizasyon üzerindeki etkileri araştırmıştır. Çalışmanın sonuçları, pH, başlangıç boya konsantrasyonu ve CaO_2 miktarlarının RB5'in uzaklaştırılmasında önemli etkileri olduğunu göstermiştir. CaO_2 ile RB5'in uzaklaştırılması için optimum pH 7 olarak belirlenmiştir. 2,0 g CaO_2 'nin, 300 mg/L RB5'in %96,93 uzaklaştırma verimliliği ile uzaklaştırılması için yeterli olduğu bulunmuştur. Ayrıca, 2,0 g CaO_2 ile simüle edilmiş tekstil atık suyundan (STW) %82,8 kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) uzaklaştırma verimliliği elde edilmiştir.

Wu ve diğerleri (2019) methylene blue (MB) boyasının sudaki fenton benzeri oksidasyon sürecinde nasıl bozunduğunu araştırmıştır. Oldukça saf MgO_2 nanopartikülleri (ağırlıkça %94,26) sentezlemeyi başarmışlardır. Bozunma sürecini pH, MgO_2 ve Fe^{3+} gibi farklı reaksiyon parametreleri etkilemiştir. MB değeri 20 mg/L, pH değeri (2-10) ve T değeri 25 °C deneysel olarak belirlenen reaksiyon koşulları denenmiştir. Bu koşullar altında, boya bozunma verimliliği 30 dakika sonra %70,2 olarak bulunmuştur.

Gülin Ersöz (2014) Reactive Black 5 boyasının Fenton-benzeri oksidasyonu, heterojen katalizör olarak pirinç kabuğu külüne emdirilmiş demir(III) kullanılarak gerçekleştirmiştir. Bu katalizörün boyanın bozunması ve dekolorizasyonundaki etkinliği ile reaksiyon parametrelerinin katalitik aktivite üzerindeki etkisi tartışılmıştır. pH, başlangıç hidrojen peroksit konsantrasyonu, katalizör yüklemesi ve sıcaklığın Reactive Black 5'in oksidatif bozunması ve dekolorizasyonu üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. En iyi bozunma verimliliği (%59,71) ve dekolorizasyon verimliliği (%89,18) sırasıyla 30 °C sıcaklıkta, pH 3'te, $[\text{H}_2\text{O}_2]^0 = 4$ mM, katalizör yüklemesi = 0,5 g/L ve başlangıç boya konsantrasyonu 100 mg/L'de elde edilmiştir.

Deliyanni ve diğerleri (2019) ticari aktif karbona, MnO_2 emdirmişlerdir. Emdirilmiş karbon, Mn içeriği, dokusal özellikler, yüzey kimyası ve RB5'in uzaklaştırılması ve bozunması verimliliği açısından karakterize edilmiştir. RB5'in uzaklaştırma verimliliği, farklı deneysel koşullar altında yapılan kesikli testlerle incelenmiştir. H_2O_2 ile yapılan işlem, RB5'in uzaklaştırılmasında etkili ve üstün katalitik performans göstermiş ve bu, kombine adsorpsiyon-bozunma süreçlerine atfedilmiştir. Emdirilmiş karbon, RB5'in oksidasyon-bozunması için etkili bir katalizör olarak iyi bir stabilite sergilediği gözlemlenmiştir.

Bradı ve diğerleri (2010) çözelti içinde Reactive Black 5 (RB5) boyasının oksidasyonu için, ıslak emdirme yöntemiyle hazırlanan $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ve $\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ katalizörleri kullanmıştır. Adsorpsiyon ve oksidasyon testlerinden elde edilen verilerin karşılaştırmalı analizi, iki katalitik sistemin farklı davranış sergilediğini ortaya koymuştur. Sadece $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ RB5'in bozunmasında

etkili olmuştur, NiO/Al₂O₃ ise basit bir adsorban olarak hareket etmiştir. CuO/Al₂O₃ varlığında, H₂O₂ konsantrasyonu 40 mM olduğunda, azo boya 4 saat sonra hem çözeltiden hem de katalizör yüzeyinden tamamen ortadan kaldırılmıştır ve mineralizasyon derecesi %90'ın üzerinde olduğu gözlemlenmiştir.

Lucas ve diğerleri (2013) farklı yöntemlerle sentezlenen Fe²⁺ katalizör sorbent olarak gözenekli fosfat heteroyapılarının etkisine dayalı deneyler planlamıştır. pH 5'te hafif koşullar altında heterojen bir süreçte oksidan olarak incelenen PPH-Fe/H₂O₂, 50 mg L⁻¹ ticari bir azo boyası (Reactive Black 5) içeren simüle edilmiş atık suyun renk gideriminde %95 dekolorizasyona ulaşmıştır. Tanımlanan koşullar altında, toplam görsel dekolorizasyon 360 dakika sonra sağlanmıştır.

Chiou ve diğerleri (2006) BOF cürufunun sulu çözelti içinde RB5'i parçalamak için Fenton reaksiyonu üzerindeki katalitik performansı araştırmıştır. RB5'in H₂O₂/BOF cürufu prosesi ile mineralizasyonunu açıklamak için TOC'ye göre birinci dereceden bir kinetik model benimsemiştir. Bu çalışmadaki deneysel sonuçlar, 1.49×10^{-4} M dak⁻¹ H₂O₂, H₂O₂/Fe²⁺ oranı 6,06:1 ve pH 2'de çözelti içinde 12,5 g l⁻¹ BOF cürufu dozajının, RB5'in mineralizasyonu için en uygun çalışma koşullarını sağladığını ve 100 dakikalık reaksiyon süresinde %51,2 giderim verimliliği elde edildiği belirlenmiştir.

Flores ve diğerleri (2008) heterojen bir katalizör (Fe³⁺ içeren küller) varlığında hidrojen peroksidin (H₂O₂) aktif hale gelerek güçlü bir oksidan haline gelebileceği göstermiştir. Fe³⁺, beş farklı yöntemle termal bir prosedür kullanılarak uçucu kül içerisinde immobilize etmiştir. H₂O₂ immobilize Fe³⁺ tarafından aktive edildiğinde radikal türlerin (HO₂•) oluştuğu sonucuna varmıştır. Teorik olarak, RB5'in tam oksidasyonu, kükürt ve azot tam bir oksidasyona uğrarsa, 152 elektronlu bir oksidasyondur; dolayısıyla 1 mol RB5'in CO₂'ye stekiyometrik dönüşümü 76 mol hidrojen peroksit gerektirir. 0,061 mM RB5'in (0,05 M Na₂SO₄ ortamında, pH 2,8) stekiyometrik miktarda H₂O₂ kullanılarak 2 saatlik bir işlemden sonra, reaktif çözeltiler etkili bir şekilde renksiz hale gelmiş ve orijinal kimyasal oksijen ihtiyacının %80'i giderilmiştir.

Nasuha ve diğerleri (2016) elektrik ark ocağından elde edilen demir cürufunun (EAFS) Reaktif Black 5'i (RB5) parçalamak için bir katalizör olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. 0,1 M NaOH çözeltisi ile işlem gören ve termal işlem uygulanan ham EAFS (R-EAFS), aktif EAFS (A-EAFS) olarak adlandırılmıştır. A-EAFS karakterize edilmiş ve farklı katalizör dozajları (0,01–0,06 g), H₂O₂ dozajları (2–12 mM), başlangıç pH değerleri (2–7), başlangıç konsantrasyonları (25–150 ppm) ve reaksiyon sıcaklıkları (303–323 K) altında karanlıkta kesikli reaksiyonda RB5'i parçalama kabiliyeti açısından incelenmiştir. RB5'in parçalanması için en uygun koşullar (%94, 60 dakika içinde) 0,2 g L⁻¹, 8 mM H₂O₂ ve pH 3 olarak bulunmuştur. A-EAFS'nin RB5 için parçalanma oranı %94'ü aşmış ve bu, R-EAFS'ninkinden daha yüksek olmuştur. A-EAFS'nin 10 kullanım sonrasındaki geri dönüşümü, bu kararlılığın, ana bileşenlerin demir iyonu manyetiti ve maghemite yenilenmesine bağlı olarak H₂O₂'yi hidroksil radikale katalitik olarak parçalamaya atfedildiğini göstermiştir.

Daud ve Hameed (2010) Reaktif azo boya olan Reaktif Black 5'in (RB5) renksizleştirilmesi, Fenton benzeri oksidasyon sürecinde H_2O_2 varlığında katalizör olarak Montmorillonit K10 (MK10) üzerinde immobilize edilmiş Fe(III) kullanılarak gerçekleştirmiştir. Desteklenen katalizör üzerindeki demir iyonlarının yüklenmesi, katalizör dozajı, boya çözeltisinin başlangıç pH'ı, H_2O_2 ve boya başlangıç konsantrasyonu ve reaksiyon sıcaklığı gibi farklı parametrelerin süreç üzerindeki renksizleştirme verimliliğine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, pH 2,5'te 0,11 ağırlık % Fe(III) oksit içeren MK10 katalizörünün 3,5 g/L dozajı ve 12 mM H_2O_2 kullanarak, kesikli bir süreçte 150 dakika içinde %99 renksizleştirme verimliliğine ulaşıldığını göstermiştir.

Cuervo Lumbaque ve diğerleri (2017) ticari çelik yünü (Fe^0) ve H_2O_2 kullanarak Reaktif Black 5 boyasının ve sudaki aromatik bileşiklerin bozunması için bir indirgeme-oksidasyon sisteminin incelenmesini araştırmıştır. Sadece indirgeme işlemi, 60 dakikalık reaksiyon süresi sonunda rengin neredeyse tamamen (%97) giderilmesini sağlamıştır. Ayrıca, Fenton reaktifleri ile birlikte kullanıldığında sistemdeki ara ürünlerin $93 \pm 1\%$ 'inin bozunması sağlanarak verim artırılmıştır. Bu sonuçlar, çelik yünü demir kaynağı olarak kullanılarak yapılan Fenton reaksiyonunun, çözeltideki Reaktif Black 5'in rengini, aromatik dönüşüm ürünlerini ve ekotoksitesini azaltmada çok etkili olduğunu göstermiştir.

Liu ve diğerleri (2011) Reaktif Black 5 ticari azo boyasının oksidasyonu için Fenton ve Fenton benzeri reaksiyonları araştırmıştır. Reaktif Siyah 5'in renksizleştirme verimliliğini etkileyen parametreler, Fe^{2+} , Fe^{3+} ve H_2O_2 'nin başlangıç konsantrasyonu ve boya çözeltisinin başlangıç pH değeri olarak incelemiştir. Sonuçlar, Fenton oksidasyonunda Reaktif Black 5'in renksizleştirme verimliliğinin başlangıç aşamalarında Fenton benzeri oksidasyona göre çok daha hızlı olduğunu ve 45 dakika sonra her iki sistem için renksizleştirme verimliliğinin benzer olduğunu göstermiştir.

Süzen ve Ozmetin (2019) aniyonik Reaktif Black 5 (RB5) boyasının sulu çözeltisinden Fenton oksidasyon süreci ile renk gideriminin optimum koşulları araştırmıştır. pH, boya konsantrasyonu, Fe^{2+} dozajı ve H_2O_2 dozajı yöntemin bağımsız değişkenleri olarak seçilmiş ve deney tasarımları gerçekleştirmiştir. Bağımsız değişkenlerin aralıkları, çözelti pH'sının başlangıç pH'sı (2,5–5,5), boya konsantrasyonu (50–350 mg/L), Fe^{2+} dozajı (25–55 mg/L) ve H_2O_2 dozajı (175–425 mg/L) sabit bir sıcaklık olan 30°C'de tutmuştur. Fenton reaktifinin renk giderme performansı, pH değeri ve boya konsantrasyonu azaldıkça ve reaktif miktarı arttıkça artmıştır. Deneysel çalışmalar, Fenton oksidasyonunun RB5 giderim verimliliğinin %99'un üzerinde olduğunu göstermiştir. Maksimum giderim koşulları, başlangıç çözelti pH 2,5, boya konsantrasyonu 120 mg/L, Fe^{2+} dozajı 25 mg/L ve H_2O_2 dozajı 240 mg/L olarak elde edilmiştir.

Bai ve diğerleri (2021) organik asitlerin şelatlayıcı ajan olarak uygulaması, sitrik asit (CA), tartarik asit (TA), oksalik asit (OA) ve etilendiaminetetraasetik asit (EDTA) dahil olmak üzere, $MgO_2/Fe(III)$ sisteminin bozunma performansını artırmak için, şelatlayıcı ajan dozajı, Fe(III) dozajı, reaksiyon sıcaklığı, başlangıç çözeltisi pH'ı ve inorganik anyonlar açısından araştırmıştır. $MgO_2/Fe(III)$ /şelatlayıcı ajan molar oranı 1:0,7:0,3 olduğunda, Rhodamine B (RhB) bozunma

verimlilikleri şelatlayıcı ajan olmadan %6,7'den, CA, TA, OA ve EDTA için sırasıyla %42,3, %98,5, %48,9 ve %25,8'e 30 dakika içinde artmıştır. Pseudo-birinci dereceden kinetik model, $MgO_2/Fe(III)/TA$ sisteminde RhB bozunmasını iyi bir şekilde uymuştur ve kinetik hız sabiti $0,295 \text{ dak}^{-1}$ 'ye ulaşmıştır. Hidroksil radikalının, $MgO_2/Fe(III)/TA$ sisteminde organik maddeleri bozunduran baskın aktif tür olduğu doğrulanmıştır. Bozunma sistemi geniş bir pH (3-11) ve sıcaklık (5-35 °C) aralığında çalışabilmektedir. Ayrıca, $MgO_2/Fe(III)/TA$ sistemi, metilen mavisi, tetrasiklin ve bisfenol A'yı da etkili bir şekilde bozundurabilmektedir.

Navik ve diğerleri (2017) bir antibakteriyel ajan olarak magnezyum peroksiti (MgO_2), 0,2 ve 0,4 M konsantrasyonlarında $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ve H_2O_2 kullanılarak sentezlemiştir ve ardından *S. aureus* ve *E. Coli* mikroorganizmalarına karşı antibakteriyel özellikler elde etmek amacıyla geleneksel bir ped-kurutma yöntemi ile pamuklu kumaşa uygulamıştır. Bu mikroorganizmalara karşı antibakteriyel etki, inhibisyon bölgesi testi ve yüzde azalma yöntemi kullanılarak araştırıldı. Araştırma sonuçları, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ve H_2O_2 reaksiyon ürünü (MgO_2) ile birlikte kullanılan pamuklu kumaşın, *S. aureus*'a karşı %90-93 ve *E. coli* bakterilerine karşı %89-91 antibakteriyel aktivite oluşturduğunu göstermiştir. Bu mikroorganizmalara karşı antibakteriyel etkinin, MgO_2 'li pamuklu kumaş üzerindeki reaktif oksijen türleri ve Mg iyonlarının varlığına atfedildiği belirtilmiştir.

Zhu ve diğerleri (2020) dört katı peroksitin (MgO_2 , CaO_2 , ZnO_2 ve üre hidrojen peroksit (UHP)) H_2O_2 salınımı ve Fenton-benzeri reaksiyonları araştırmıştır. Sonuçlar, UHP'nin anında H_2O_2 salabileceğini ve Fenton-benzeri reaksiyonlarda H_2O_2 ile benzer bir davranış sergilediğini göstermiştir. MgO_2 , fosfat tamponlu çözeltilerde hızlı bir şekilde H_2O_2 salınımı sağlamış ve bu, CaO_2 ile karşılaştırılabilir ancak ZnO_2 'den daha hızlı bir şekilde gerçekleşmiştir. MgO_2 , pH 5'te fenol bozunması için üstün bir performans sergilemiş ve 1,5 saat içinde %93'ten fazla fenol giderimi sağlamıştır. Kinetik analizlere göre, MgO_2 sistemindeki $O_2^{\bullet-}$ üretim oranı, ZnO_2 ve CaO_2 sistemlerinden sırasıyla 18 ve 3,4 kat daha yüksek bulunmuştur.

Eren (2018) endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan ileri oksidasyon proseslerinden H_2O_2 (hidrojen peroksit) / UV (Ultraviyole) kullanımının C.I. Reactive Black 5 boyarmaddesinin fotokatalitik olarak renk giderimine etkisi araştırmıştır. Numuneler hidrojen peroksit başlangıç konsantrasyonu, sıcaklık, pH, renk ve KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) değerleri açısından incelenmiştir. Belirlenen koşullar altında renk giderim verimleri 0,5 ml/l H_2O_2 konsantrasyonunda nötr ortamda %99,71, asidik ortamda %99,76, bazik ortamda %94,81 ve KOİ giderim verimi ise sırasıyla %38,91 %41,44 ve %20,73 olmuştur. 0,5 ml/l H_2O_2 başlangıç konsantrasyonunda renk gideriminin en hızlı (55. dk'da %99 renk giderim oranı) asidik ortamda gerçekleştiği gözlenmiştir. En hızlı renk giderimi sonuçlarına ulaşılan asidik ortamda hidrojen peroksit başlangıç konsantrasyonu değiştirilerek denemeler yapılmıştır. Yapılan bu denemelerdeki 0,5 ve 2,5 ml/L H_2O_2 konsantrasyonları karşılaştırıldığında konsantrasyon artışının renk giderim hızını artırdığı gözlenmiştir (%99 renk verimine ulaşılan süre: 30 dk) ancak 2,5 ml/L ve 5 ml/L H_2O_2 konsantrasyonları arasında hidrojen peroksit miktarındaki artışa değecek bir fark gözlenmemiştir.

Aragaw ve diğerleri (2022) magnezyum peroksidin tabakalı çift hidroksit (LDH) levhası üzerinde in-situ büyütülmesi yoluyla CuAl-tabakalı çift hidroksit/MgO₂ kompozit katalizörleri sentezlemiştir. Katalizörlerin hazırlanması, LDH: MgO₂ oranı değiştirilerek gerçekleştirilmiştir ve bu oranlar, ağırlık oranlarına göre %35:65, %50:50 ve %65:35 olarak sırasıyla CuAl-LDH/MgO₂-35, CuAl-LDH/MgO₂-50 ve CuAl-LDH/MgO₂-65 olarak kısaltılmıştır. Katalizörler arasında, CuAl-LDH/MgO₂-50, nötr koşullarda mükemmel bir Fenton-benzeri reaksiyon göstermiş ve 100 dakika içinde MO'nun %97'sini bozmuştur. Ancak, CuAl-LDH, MgO₂, CuAl-LDH/MgO₂-35 ve CuAl-LDH/MgO₂-65 katalizörleri sırasıyla sadece %61, %8, %35 ve %69 oranında MO boyasını bozmuştur.

Yang ve diğerleri (2019) Oksijeni (O₂) doğrudan hidrojen peroksit/hidroksil radikalleri (H₂O₂/•OH) haline dönüştürebilen yeni bir heterojen Fenton-benzeri sistem (Mg/Fe-O₂) geliştirmiştir ve 4-klorofenolün bozunması için kullanmıştır. H₂O₂/•OH'nin yerinde sürekli üretimi ve Mg/Fe bimetalik parçacıklardaki Mg/Fe mol oranının ve işletim parametrelerinin Mg/Fe-O₂ sisteminde 4-klorofenol bozunması üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Mg/Fe bimetalik parçacıkların Mg/Fe mol oranı 32:1 olduğunda, 4-klorofenol bozunması için en iyi performansa sahip olduğu ve Mg/Fe-O₂ sisteminde maksimum kümülatif H₂O₂ konsantrasyonunun, 4-klorofenol bozunma verimliliğinin ve TOC giderme verimliliğinin sırasıyla 34,5 mg/L, %100 ve %91,8 olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlar, pH 3, O₂ akış hızı 400 mL/dak, Mg/Fe bimetalik parçacık dozu 2 g/L, 4-klorofenol başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L ve reaksiyon süresi 60 dakika koşullarında elde edilmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. MgO₂ Nanoparçacıklarının Sentezi

MgO₂ nanoparçacıklarının sentezi, 28,4-gram magnezyum klorür (Merck, %99,5, MgCl₂·6H₂O) 100 mL deiyonize su içinde çözülmesi ile başlanmıştır. Ardından, 50 mL NH₃·H₂O (Merck, %99,5) ve 30 mL mutlak etil alkol (Merck, %99,9) içeren bir çözelti, karışımı sürekli karıştırarak kontrollü bir şekilde 1 mL/dak hızında eklenmiştir. Karışım 20°C'de 2 saat boyunca sürekli karıştırıldıktan sonra, elde edilen Mg(OH)₂ çökeltisi süspansiyondan santrifüj ile ayrılmıştır. Elde edilen katı faz, kalan NH₃·H₂O'yu uzaklaştırmak için üç kez deiyonize su ve üç kez mutlak etil alkol ile çoklu yıkamaya tabi tutulmuştur. Yıkanan katı faz daha sonra kalan nemi uzaklaştırmak için fırında 80 °C'de 12 saat kurutulmuştur. Daha sonra, kurutulmuş ürün 5 °C/dk ısıtma hızıyla 450 °C'de 2 saat boyunca kalsine edilip MgO nanoparçacıkları elde edilmiştir. Son olarak, hazırlanan 1,2 g MgO nanoparçacıkları, 20 mL mutlak etil alkol içinde çözülmüştür ve ardından 20 mL H₂O₂ (30 wt%) süspansiyona eklenmiştir. 4 saat karıştırıldıktan sonra, katı faz süspansiyondan santrifüj ile ayrılmıştır. Daha sonra, nihai MgO₂ nanoparçacıkları 70 °C'de 24 saat kurutulduktan sonra elde edilmiştir.

3.2. MgO₂ Nanoparçacıklarının Karakterizasyonu

Sentezlenen MgO₂'nin yüzey morfolojisi, FEI Quanta 650 Alan Emisyon SEM ile gerçekleştirilen 5000 ve 10000x büyütme Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Element analizi, aynı SEM cihazı kullanılarak Enerji Dağılımlı X-ışını (EDX) analizi ile gerçekleştirilmiştir. X-ışını Kırınımı (XRD) analizi, PANalytical Empyrean XRD cihazı kullanılarak 10-90° 2θ tarama aralığında MgO₂'nin kristal yapısını tanımlamak için kullanılmıştır. Fourier Transmission Infrared Spectroscopy (FTIR), MgO₂ ile ilişkili fonksiyonel grupları araştırmak için kullanılmış, Jasco FT/IR-6700 cihazı ile gerçekleştirilmiş ve FTIR spektrumu 4000 ila 400 cm⁻¹ aralığında kaydedilmiştir.

3.3. Boya Oksidasyon Deneyleri

Oksidasyon çalışmaları, 200 mg/L RB5 boya konsantrasyonu içeren 100 mL'lik bir çözelti hacmi içinde çok konumlu bir manyetik karıştırıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sıcaklık kontrollü bir inkübatörde gerçekleştirilmiştir. Fe²⁺/MgO₂ prosesinde, çeşitli pH değerlerinin (1,5, 2, 2,5, 3, 3,5 ve 4) renk giderimi üzerindeki etkisi ilk olarak sabit bir MgO₂ dozunda (0,02 g) incelenmiştir. Belirlenen optimum pH değerinde değişen MgO₂ dozlarının (0,005, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04 ve 0,05 g) RB5 giderimi üzerindeki etkisi 20 °C'de araştırılmıştır. Deneysel çalışmanın ikinci aşamasında Fe²⁺/MgO₂ prosesinin renk giderimi üzerindeki etkinliği araştırılmıştır. FeSO₄·7H₂O (>%99, Merck) Fe²⁺ kaynağı olarak kullanılmıştır. Başlangıçta, 0,02 g MgO₂ ve sabit Fe²⁺/MgO₂ oranı ile değişken pH değerlerinin (1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5 ve 4,0) RB5 giderimi üzerindeki etkisi 20 °C'de

incelenmiştir. Fe^{2+} miktarının doğru belirlenmesi, Fenton benzeri proseslerde oluşan demir çamurunun kontrolü için çok önemlidir. Belirlenen optimum pH değerinde sabit MgO_2 dozu (0,02 g) ile farklı $\text{Fe}^{2+}/\text{MgO}_2$ oranlarının (0,005, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04 ve 0,05) renk giderimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu aşamanın son bölümünde, optimum pH ve $\text{Fe}^{2+}/\text{MgO}_2$ oranı ile değişen MgO_2 dozlarının (0,005, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06, 0,07, 0,08, 0,09 ve 0,1 g) etkisi incelenmiştir.

3.4. Analitik İşlemler

Çözeltideki RB5 konsantrasyonları, Perkin Elmer Lambda 615 UV/VIS spektrofotometre kullanılarak 35 nm dalga boyunda hazırlanan bir kalibrasyon eğrisi kullanılarak belirlenmiştir.

3.5. İstatistiksel Metotlar

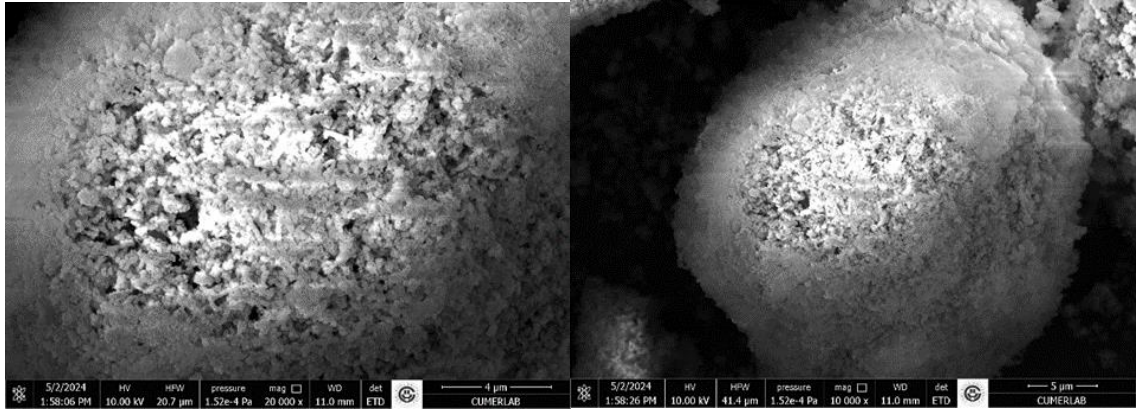
İstatistiksel analizler SPSS Statistics 20.0 kullanılarak %95 güven aralığında ($p \leq 0.05$) gerçekleştirilmiştir. Her deney üç kez tekrarlanmış ve sonraki hesaplamalar için ortalama değer kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

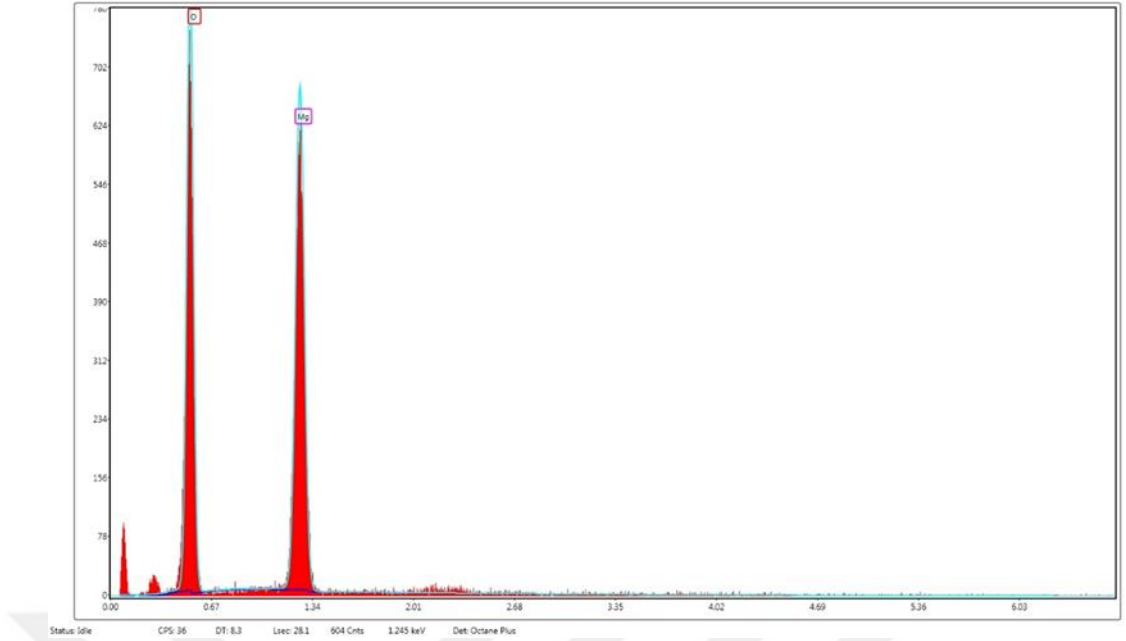
4.1. MgO₂'nin Karakterizasyonu

SEM analizi, MgO₂ partiküllerinin genel olarak küresel taneli bir morfoloji sergilediğini ortaya koymuştur (Şekil 1). MgO₂ partiküllerinin aglomerasyonu, MgO₂'nin yüksek yüzey enerjisine bağlanmaktadır (Wu ve diğerleri, 2019). Sentezlenen MgO₂'nin oksijen ve kalsiyum ağırlık yüzdeleri EDX analizi ile sırasıyla %51,16 ve %48,84 olarak belirlenmiştir (Şekil 2). MgO₂ nanopartiküllerinin kristal yapısı XRD analizi ile analiz edilmiştir. MgO₂ nanopartiküllerinin XRD deseninde sırasıyla kübik yapıya sahip MgO₂'nin (200), (220) ve (311) yüzeylerine karşılık gelen 37,4°, 53,6° ve 62,3°'de üç geniş pik bulunmaktadır (Chen ve diğerleri, 2009). (Referans kodu: 98-004-1732) ile kanıtlanan MgO₂'nin kübik kristal yapısına güçlü bir şekilde karşılık geldiği düşünülmektedir (Şekil 3). MgO₂'nin kübik kristal yapısı daha önce ki çalışmalarda rapor edilmiştir (Wu ve diğerleri, 2019). XRD analizi sonuçları, bu çalışmada kullanılan prosedürle MgO₂'nin başarılı bir şekilde üretildiğini doğruladığı düşünülmektedir.

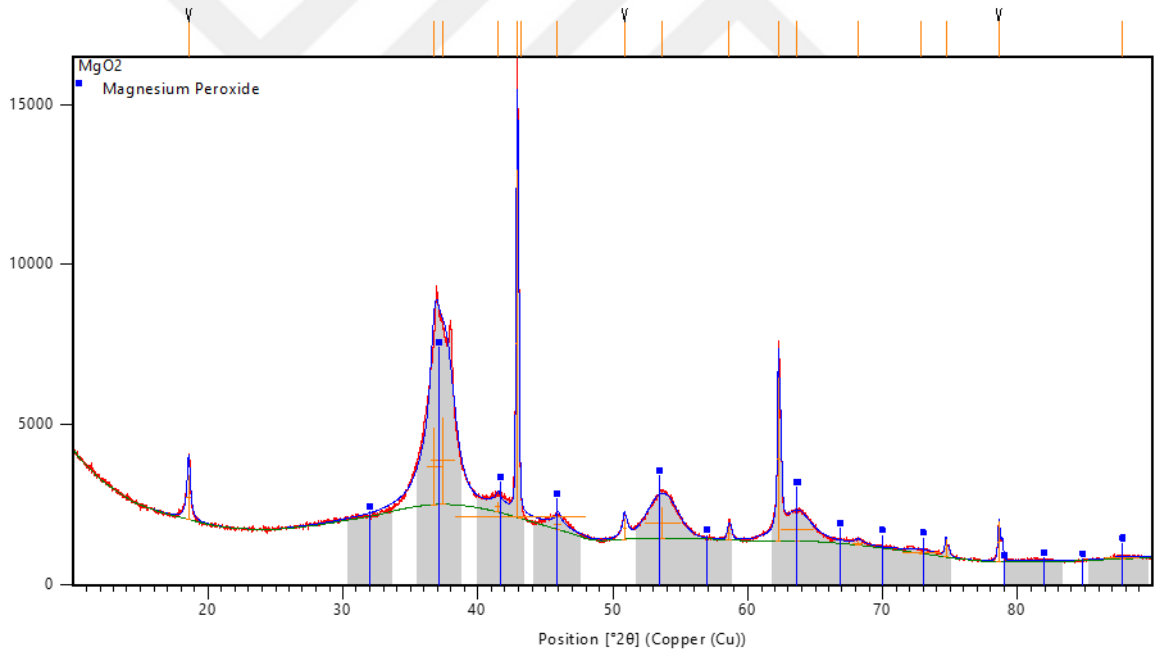
Hazırlanan MgO₂ nanopartiküllerindeki fonksiyonel grupları belirlemek için FTIR spektrumları yapılmıştır. MgO₂'nin karakteristik absorpsiyon zirve MgO₂'nin Mg-O ve OeO köprüsü ile ilişkili olarak sırasıyla 411 cm⁻¹ ve 882 cm⁻¹ gözlemlenebilir. 3303 cm⁻¹'de görünen zirve ve 1438 cm⁻¹'de görünen zirve, sırasıyla MgO₂ nanopartiküllerinin yüzeyindeki adsorbe suya ve CO₃²⁻'ye atfedilmiştir (Wu ve diğerleri, 2019).



Şekil 4.1. MgO₂'nin Sem Analizi



Şekil 4.2. MgO₂'nin EDX Analizi



Şekil 4.3. MgO₂'nin XRD Modeli

4.2. Fe²⁺/MgO₂ Sisteminde Organik Boya Bozunması

Fe²⁺ dozajının Fe²⁺/MgO₂ sisteminde RB5 bozunma performansı üzerindeki etkisini araştırmak için, MgO₂ (0,04 g) ve RB5 (100 mL, 200 mg/L) farklı Fe²⁺ ile MgO₂ mol oranlarında (0:1'den 0,5:1'e kadar) deneyler yapılmıştır. Şekil 4.5'te gösterildiği gibi, Fe²⁺, Fe²⁺/MgO₂ bozunma sisteminde etkili bir katalitik rol oynamıştır. Fe²⁺ olmadan, RB5 sadece MgO₂ nanopartikülleri tarafından neredeyse hiç bozunmamıştır. Fe²⁺ miktarı arttıkça, bozunma performansı önemli ölçüde

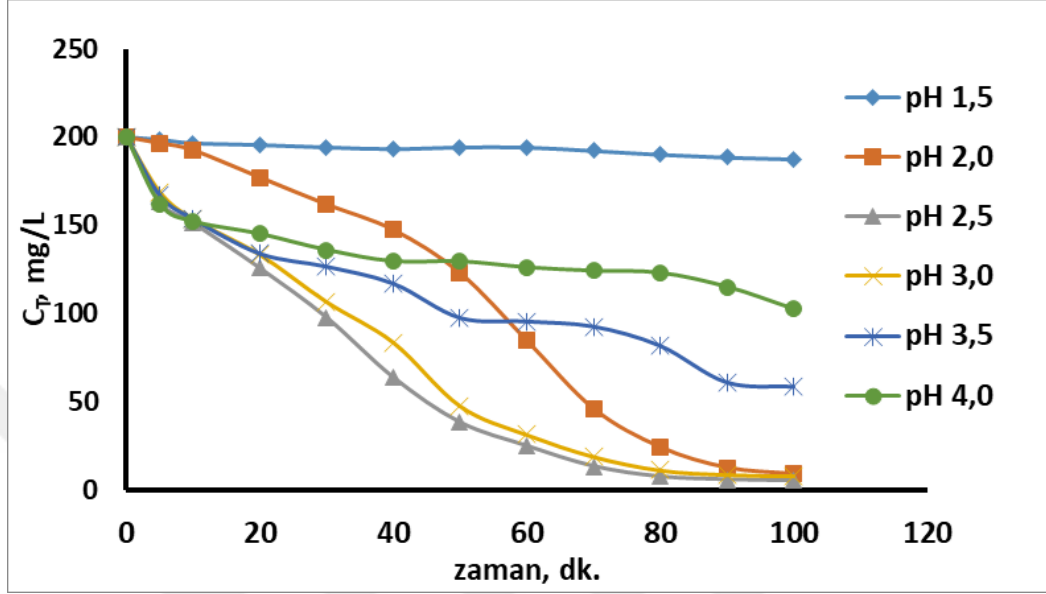
iyilemiştir. Bu iyileşme, daha fazla Fe^{2+} katalizör olarak eklendiğinde daha fazla ROS (reaktif oksijen türleri) oluşumuna bağlanabileceği düşünülmektedir. Fe^{2+} ile MgO_2 oranı 0,4:1 olduğunda, RB5 çözeltisi 60 dakikada neredeyse tamamen bozunabilir. Bu noktadan sonra, Fe^{2+} miktarının artırılması RB5'in bozunma performansında yalnızca hafif bir etki yapmıştır. Her bozunma reaksiyonu için ilk 5 dakikada RB5'in neredeyse hiç bozunmaması MgO_2 'nin yavaş salınımı ile açıklanabilir.

Etkili bir oksidan olarak MgO_2 miktarı, Fe^{2+} ile MgO_2 oranının 0,4:1 olduğu koşulda RB5'in bozunması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.6'da, MgO_2 dozajı 0'dan 0,04g'a kadar arttıkça RB5'in bozunma oranı keskin bir şekilde artmıştır. Hiç MgO_2 nanopartikülü eklenmediğinde, RB5'in konsantrasyonunda önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir, bu da MgO_2 'nin RB5 bozunması için Fe^{2+}/MgO_2 sisteminde önemli bir bileşen olduğunu göstermektedir. 0,02 g MgO_2 kullanıldığında, RB5'in bozunma oranı 60 dakikada %60'ın altında olmuştur. 0,04 g MgO_2 ile RB5 çözeltisi 60 dakikada neredeyse tamamen bozunabildiği gözlemlenmiştir. Sonrasında, MgO_2 dozajının artırılması RB5'in bozunma oranını sadece hafifçe iyileştirmiştir. MgO_2 dozajı arttıkça, daha fazla H_2O_2 yavaşça oluşarak daha kısa sürede daha fazla ROS oluşumuna neden olacaktır. Bu nedenle, MgO_2 'nin daha fazla eklenmesiyle Fe^{2+}/MgO_2 sisteminin bozunma yeteneği büyük ölçüde artırılabilir.

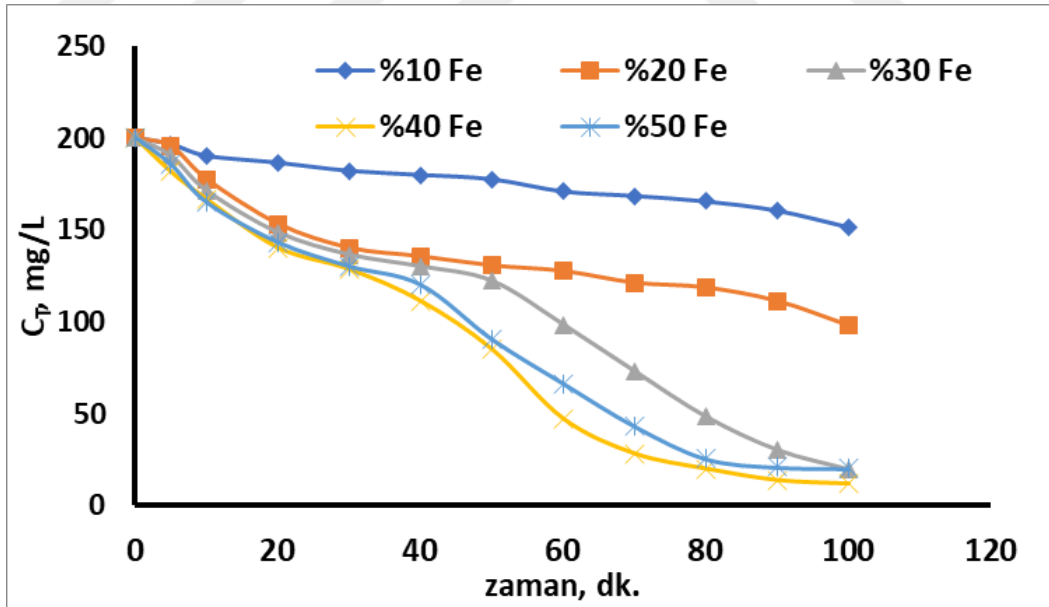


Çözeltinin pH'ı, Fenton/Fenton benzeri reaksiyonlarda organik boyaların bozunması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, Fe^{2+}/MgO_2 sisteminde RB5'in oksidasyon bozunması farklı başlangıç çözeltisi pH'larında (1,5'den 4'e kadar) değerlendirilmiştir. Şekil 4'te, Fe^{2+}/MgO_2 sistemi, pH aralığında 2-3 arasında RB5 bozunması için mükemmel bir performans göstermiştir. Çözeltinin pH'ı 3 olduğunda bile, RB5'in uzaklaştırma oranı 60 dakikada %90'a ulaşmıştır. Ancak, çözeltinin pH'ı 4'e ulaştığında RB5'in bozunma verimliliği sadece %35 olmuştur. Açıkça, başlangıç pH'ı azaldıkça RB5'in bozunma verimliliği artmıştır, ancak pH 1,5 hariç. Bu, esas olarak şu üç nedenden kaynaklanmaktadır: (i) MgO_2 'nin çözünme hızı ve H_2O_2 verimi çözeltinin pH'ı azaldıkça artmıştır, ROS'un (%OH) oksidasyon potansiyeli çözeltinin pH'ı azaldıkça artar ve yüksek pH çözeltisinde bulunan hidroksil anyonları (OH^-), Fe^{2+} için H_2O_2 ile rekabet eder (Wu ve diğerleri, 2019).

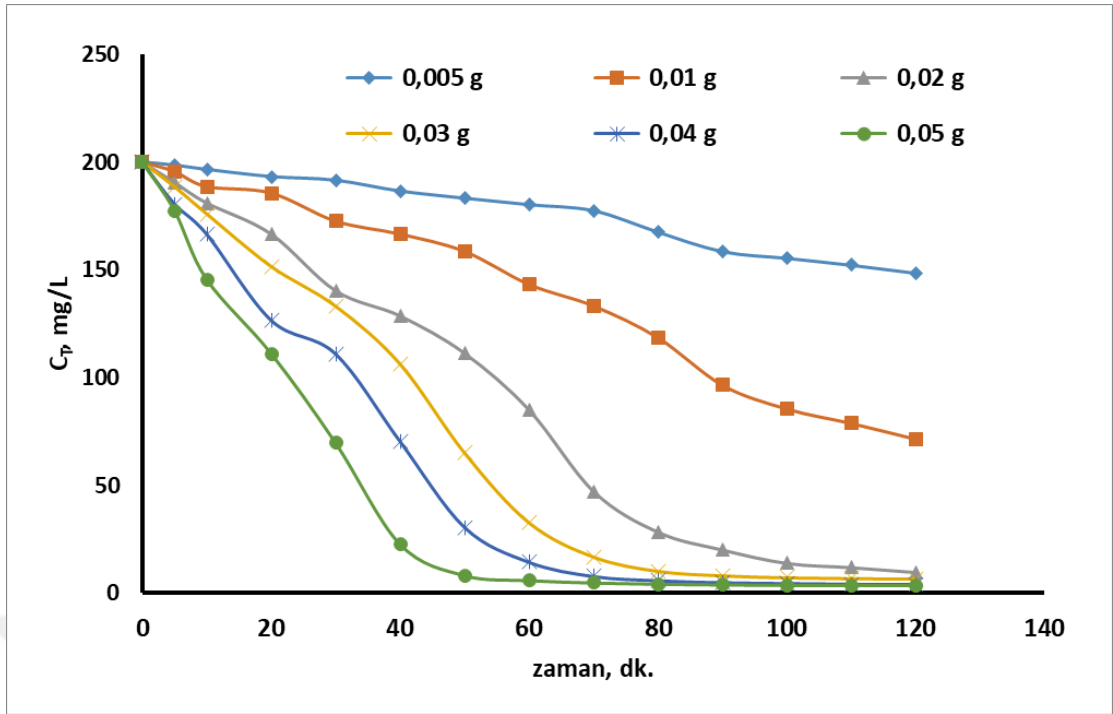




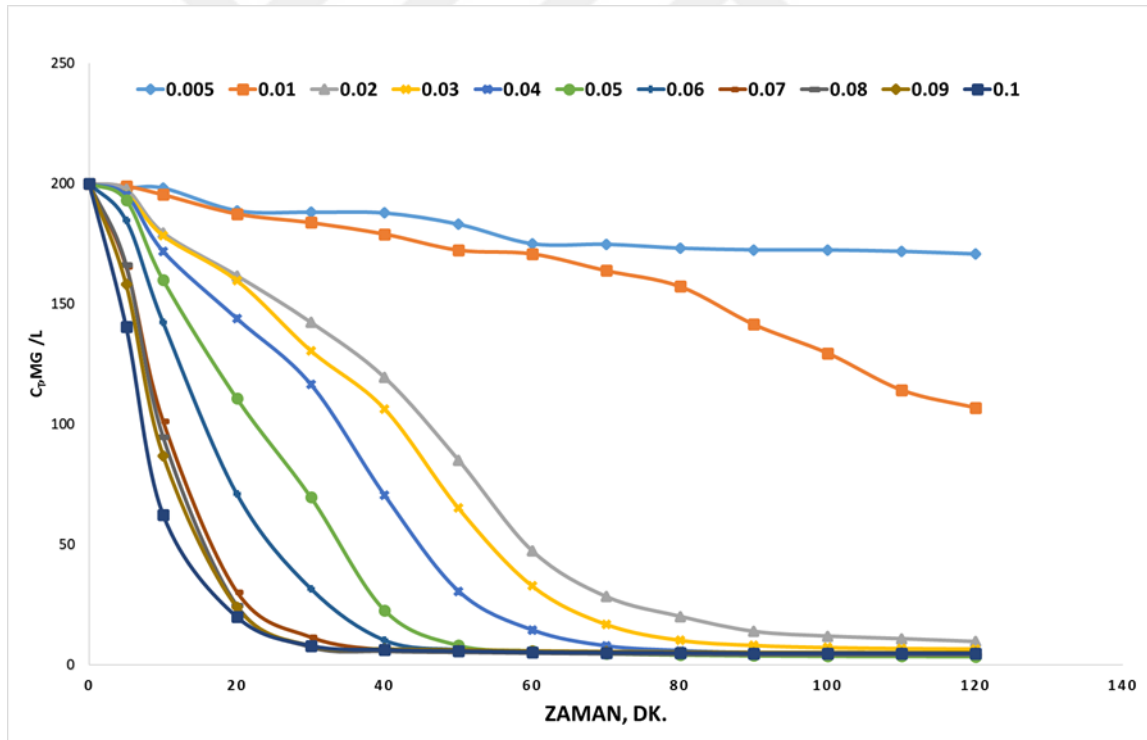
Şekil 4.4. Fe^{2+}/MgO_2 ile RB5'in Oksidasyonunda pH'ın Etkisi



Şekil 4.5. Fe^{2+} Dozajının RB5'in Oksidasyonu Üzerindeki Etkisi



Şekil 4.6. MgO₂ Dozajının RB5'in Oksidasyonu Üzerindeki Etkisi (0,005-0,05)

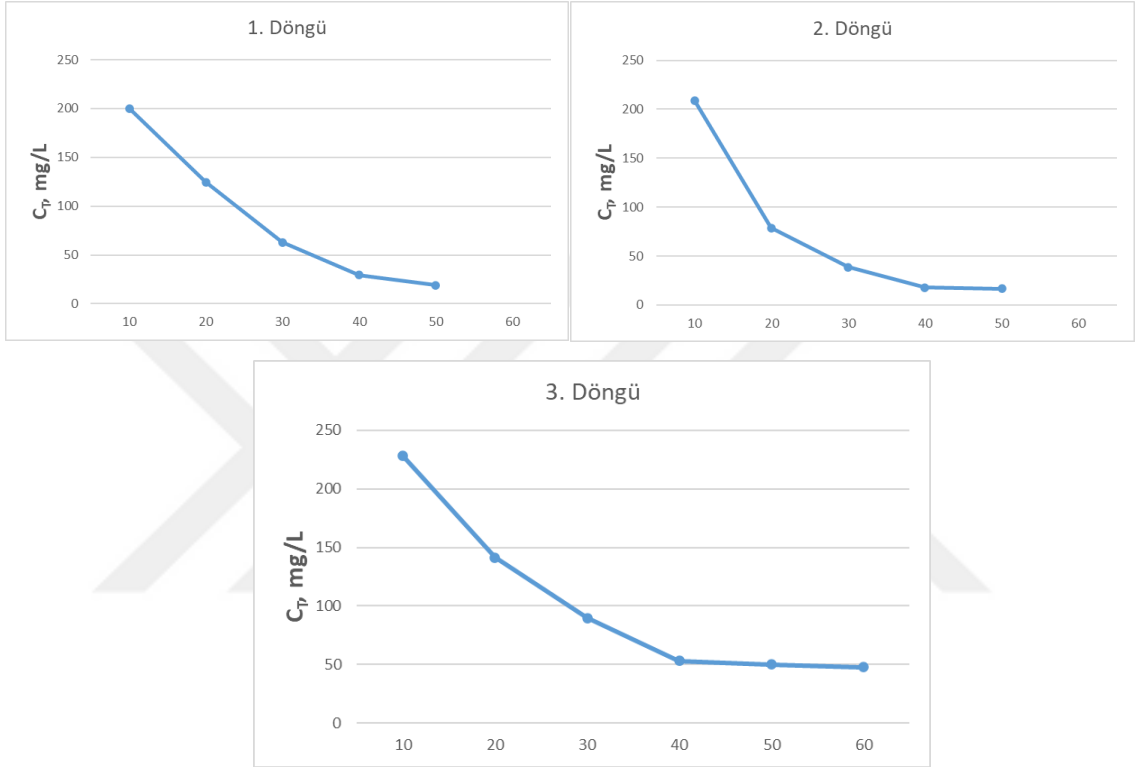


Şekil 4.7. MgO₂ Dozajının RB5'in Oksidasyonu Üzerindeki Etkisi (0,005-0,1)

4.3. MgO₂ Tabanlı Oksidasyon Proseslerinin Yeniden Kullanım Potansiyeli

İleri oksidasyon proseslerinde oksidanın yeniden kullanım potansiyeli işletme maliyetleri açısından önemlidir. Boya oksidasyon potansiyelleri Fe²⁺/MgO₂ (0,04 g MgO₂, pH=2,5, Fe²⁺/MgO₂=0,4/1, T= 20°C) prosesi olmak üzere gerçekleştirilmiştir. Fe²⁺/MgO₂ prosesinde MgO₂ çözünmüş

formdaydı ve her döngüden önce uygun miktarda boya çözeltisi eklendi. MgO_2 prosesinde RB5 giderim verimi 1. Ve 2. döngüde 50 dakika sonunda tam renk giderimi sağlanmıştır. Ancak üçüncü döngüde boya giderim verimi %75'e düşmüştür. Katalitik bir etki olmaksızın 3. döngüden sonra RB5 için tatmin edici bir potansiyel göstermemiştir. Ancak bu durum daha düşük konsantrasyonlarda boya içeren atıksularda farklı olabileceği düşünülmektedir. Fe^{2+}/MgO_2 prosesi tüm döngülerde çok yüksek oksidasyon performansı göstermiştir.



Şekil 4.8. Fe^{2+}/MgO_2 'in yeniden kullanımı

4.4. MgO_2 'in Farklı MP'ler ile RB5 Giderimi Üzerine Karşılaştırılması

Fenton ve Fenton-Benzeri oksidasyon süreçlerini takiben, işlenmiş atık suyun deşarj edilmeden önce nötralize edilmesi gerekmekte, bu süreç sırasında demir içeren çamur oluşumuna yol açmaktadır (Wang ve ark., 2022). Bu nedenle, bu süreçlerde gereken Fe^{+2} ve oksitleyici konsantrasyonlarının optimizasyonu, demir çamuru yönetiminin kritik bir adımını oluşturmaktadır. Bu çalışmada Fe^{+2}/MgO_2 prosesinde 0,16 g/L Fe^{+2} konsantrasyonu ile 60 dakikalık bir reaksiyon sonrasında %93'lük bir giderim verimliliği elde edilmiştir (Çizelge 4.1). H_2O_2 'nin MgO_2 ile değiştirilmesinin bu farklılıkta önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Düşük Fe^{+2} konsantrasyonlarında bile etkili olan oksidasyon prosesi, çamur oluşumunun azalmasına ve çamur yönetimiyle ilişkili işletme ve yatırım maliyetlerinin düşmesine yol açabilir. Fe^{+2} kullanımı, önemli ölçüde daha düşük MgO_2 dozlarında ve daha kısa reaksiyon sürelerinde daha etkili giderim verimlerine ulaşılmasını sağlar. Bununla birlikte, bu proseste etkili çamur yönetimi zorunlu olmaya

devam etmektedir. Potansiyel avantajlar göz önüne alındığında, şu anda Fenton proseslerini kullanan tesislerde doğrudan H_2O_2 yerine MgO_2 kullanımının değerlendirilmesi, oksidasyon prosesinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Çizelge 4.1. MgO_2 'in farklı MP'ler ile RB5 giderimi üzerine karşılaştırılması

Oksidasyon türü	Katalist	RB5 kons.	Katalist dozu g/L	H_2O_2 dozu mg/L	pH	Zaman, dak	Boya gide. %	°C	Ref.
Fenton	Fe^{2+}	100	0.030	200	3.0	32	99.7	30	Süzen ve Ozmetin, 2019
Fenton	Fe^{2+}	40	0.028	68	3.5	20	92	30	Liu ve ark., 2011
Fenton Benz.	Fe^0	100	4.0	150	3.0	60	97	20	Lumbaque ve ark., 2017
Heterojen Fenton Benz.	MK10	50	3.5	408	2.5	150	99	20	Daud ve ark., 2010
Heterojen Fenton Benz.	EAFS	50	0.04	272	3.0	180	96	30	Nasuha ve ark., 2016
Heterojen Fenton Benz.	Fe^{3+} /Fly Ash	60	1.0	155	2.8	200	99	20	Flores ve ark., 2008
Heterojen Fenton Benz.	BOF slag	50	12.5	500	2.0	100	51.2	25	Chiou ve ark., 2006
Heterojen Fenton Benz.	Fe^{2+} /Porous Phosphate	50	1.0	68	5.0	360	95	-	Lucas ve ark., 2013
Heterojen Fenton Benz.	CuO/Al_2O_3	100	2.0	1360	5.5	120	99	21	Bradü ve ark., 2010
Heterojen Fenton Benz.	GO- MnO_2	60	0.50	5100	3.0	60	99	25	Saroyan ve ark., 2019a
Heterojen Fenton Benz.	AC- MnO_2	100	0.01	5100	3.0	60	98	20	Saroyan ve ark., 2019b
Heterojen Fenton Benz.	Fe^{3+} /Rice Husk	100	0.50	136	3.0	80	90	30	Ersöz, 2014
Heterojen Fenton Benz.	CaO_2 (3.33 g/L)	100	-	-	10	120	98,7	30	Erkurt ve Mert, 2023
Fenton Benz.	Fe^{2+}/MgO_2 (0.4 g/L)	200	0.16	-	2.5	60	93	20	Bu çalışma



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Bu çalışmada, RB5 tekstil boyasının sulu çözeltiden oksidasyon yoluyla giderilmesi için $\text{Fe}^{2+}/\text{MgO}_2$ süreçlerinin potansiyeli araştırılmıştır. $\text{Fe}^{2+}/\text{MgO}_2$ sürecinde, Fe^{2+} 'nın katalitik etkisi, düşük MgO_2 dozlarında ve kısa reaksiyon sürelerinde RB5 için yüksek giderim verimliliği sağlamıştır. $\text{Fe}^{2+}/\text{MgO}_2$ süreci ile, optimal koşullar altında ($\text{pH}=2,50$, $\text{Fe}^{2+}/\text{MgO}_2 =0,4$, $\text{MgO}_2= 0,4$ g/L) 200 mg/L RB5 için %100 oksidasyon verimliliğine 60 dakika içinde ulaşılmıştır. MgO_2 , çevre dostu ve güçlü bir oksitleyicidir. MgO_2 tabanlı oksidasyon süreçlerinin renk giderimi için yüksek bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir ve bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, gerçek ölçekli tesislerde çevre dostu yöntemler kullanılarak boyar madde oksidasyon uygulamaları için önemli bilgiler sağlayacaktır.

5.2. Öneriler

RB5 tekstil boyasının oksidasyon prosesleri yoluyla sulu çözeltiden giderilmesi üzerine yaptığımız çalışmanın bulgularına dayanarak, daha ileri araştırmalar için bazı öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Farklı Boya Giderimlerinin Araştırılması: Daha ileri araştırmalar, farklı boya türleri için renk giderme işleminde MgO_2 etkinliğini inceleyerek çeşitli boya maddelerini içerecek şekilde genişletilmelidir. Bu, MgO_2 'nin daha geniş bir tekstil boyası yelpazesinde oksitleyici bir ajan olarak çok yönlülüğünü ve etkinliğini belirlemeye yardımcı olacaktır.
2. Yükseltme ve Tekno-ekonomik Analiz: Gerçek boya atık su arıtma uygulamaları için fizibilitelerini ve pratik uygulanabilirliklerini değerlendirmek üzere optimize edilmiş oksidasyon proseslerini laboratuvar ölçeğinden pilot veya tam ölçekli sistemlere ölçeklendirin. Bu proseslerin endüstriyel ölçekte uygulanmasının maliyet etkinliğini değerlendirmek için sermaye yatırımı, işletme giderleri ve atık bertarafı ve çevresel uyum maliyetlerindeki potansiyel tasarrufları dikkate alarak teknoekonomik analizler gerçekleştirilebilir.
3. Farklı Aktivatörlerin Araştırılması: İlerideki çalışmalarda aktivatör olarak farklı ürünlerin kullanılması proseslerin gelişiminde fayda sağlayacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Aragaw, S.G., Feysia, G.B., Gultom, N.S. et al. Synthesis of CuAl-layered double hydroxide/MgO₂ nanocomposite catalyst for the degradation of organic dye under dark condition. *Appl Water Sci* 12, 140 (2022).
- Bae, W., Won, H., Hwang, B., de Toledo, R. A., Chung, J., Kwon, K., & Shim, H. (2015). Characterization of refractory matters in dyeing wastewater during a full-scale Fenton process following pure-oxygen activated sludge treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 287, 421–428.
- Bai, Y., Wu, D., Wang, W., Chen, P., Tan, F., Wang, X., ... Wong, P. K. (2020). Dramatically enhanced degradation of recalcitrant organic contaminants in MgO₂/Fe(III) Fenton-like system by organic chelating agents. *Environmental Research*, 110242.
- Balci, B., Aksoy, N., Erkurt, F. E., Budak, F., Zaimoglu, Z., Turan, E. S., & Yilmaz, S. (2021a). Removal of a reactive dye from simulated textile wastewater by environmentally friendly oxidant calcium peroxide. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*. 19. 10.1515/ijcre-2021-0062.
- Balci, B., Erkurt, F. E., Basibuyuk, M., Budak, F., Zaimoglu, Z., Turan, E. S., & Yilmaz, S. (2021b). Removal of Reactive Blue 19 from simulated textile wastewater by Powdered Activated Carbon/Maghemite composite. *Separation Science and Technology*, 57(9), 1408–1426.
- Bi, X., Huang Y., Liu X., Yao N., Zhao P., Meng X., and Astruc D., 2021. "Oxidative Degradation of Aqueous Organic Contaminants over Shape-Tunable MnO₂ Nanomaterials via Peroxymonosulfate Activation." *Separation and Purification Technology* 275: 119141
- Brad, C., Frunza, L., Mihalche, N., Avramescu, S.-M., Neață, M., & Udrea, I. (2010). Removal of Reactive Black 5 azo dye from aqueous solutions by catalytic oxidation using CuO/Al₂O₃ and NiO/Al₂O₃. *Applied Catalysis B: Environmental*, 96(3-4), 548–556.
- Cai, Q. Q., B. C. Y. Lee, S. L. Ong, and J. Y. Hu. 2021. "Fluidized-Bed Fenton Technologies for Recalcitrant Industrial Wastewater Treatment—Recent Advances, Challenges and Perspective." *Water Research* (15): 116692,
- Chen, S., L. Ma, Y. Du, W. Zhan, T. Zhang, and D. Du. 2021. "Highly Efficient Degradation of Rhodamine B by Carbon Nanotubes Activated Persulfate." *Separation and Purification Technology* 256: 117788
- Chen, L., Tanner, D. A., Xu, J., Holmes, J. D., & Morris, M. A. (2009). Facile Synthesis of Oxygen Nanogenerators. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, 1(1), 47–51.
- Chiou, C.-S., Chang, C.-F., Chang, C.-T., Shie, J.-L., & Chen, Y.-H. (2006). Mineralization of Reactive Black 5 in aqueous solution by basic oxygen furnace slag in the presence of hydrogen peroxide. *Chemosphere*, 62(5), 788–795.

- Cuervo Lumbaque, E., Gomes, M. F., Da Silva Carvalho, V., de Freitas, A. M., & Tiburtius, E. R. L. (2016). Degradation and ecotoxicity of dye Reactive Black 5 after reductive-oxidative process. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(7), 6126–6134.
- Daud, N. K., & Hameed, B. H. (2010). Fenton-like oxidation of reactive black 5 solution using iron–Montmorillonite K10 catalyst. *Journal of Hazardous Materials*, 176(1-3), 1118–1121.
- Dennison, S. S., S. Laing, N. C. Shand, D. Grahama, and K. Faulds. 2017. “A Novel Nanozyme Assay Utilising the Catalytic Activity of Silver Nanoparticles and SERRS.” *Analyst* 142: 2484.
- Dou, R., H. Cheng, J. Ma, Y. Qin, Y. Kong, and S. Komarneni. 2020. “Catalytic Degradation of Methylene Blue through Activation of Bisulfite with CoO Nanoparticles.” *Separation and Purification Technology* 239: 116561
- Eduardo, M. C., S. Sara, V. Mariana, B. Patricia, K. T. Freni, and E. P. Manuela. 2021. “Textile Dyes Loaded Chitosan Nanoparticles: Characterization, Biocompatibility and Staining Capacity.” *Carbohydrate Polymers* 251 (1): 117120
- Emzhina, V., E. Kuzin, E. Babusenko, and N. Krutchinina. 2021. “Photodegradation of Tetracycline in Presence of H₂O₂ and Metal Oxide Based Catalysts.” *Journal of Water Process Engineering* 39: 101696
- Eren, S. (2018). C.I. Reactive Black 5 Boyarmaddesinin Fotokolitik Renk Giderimi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(1), 139-152.
- Erkurt, F. E., & Mert, A. (2023). Eco-friendly oxidation of a reactive textile dye by CaO₂: effects of specific independent parameters. *Environmental Technology*, 44(21), 3294–3315.
- Ersöz, G. (2014). Fenton-like oxidation of Reactive Black 5 using rice husk ash based catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 147, 353–358.
- Flores, Y., Flores, R., & Gallegos, A. A. (2008). Heterogeneous catalysis in the Fenton-type system reactive black 5/H₂O₂. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 281(1-2), 184–191.
- Hassan, H., & Hameed, B. H. (2011). Fe–clay as effective heterogeneous Fenton catalyst for the decolorization of Reactive Blue 4. *Chemical Engineering Journal*, 171(3), 912–918.
- Hou, W., S. Wang, X. Bi, X. Meng, P. Zhao, and X. Liu. 2021. “Compared Catalytic Properties of OMS-2-Based Nanocomposites for the Degradation of Organic Pollutants.” *Chinese Chemical Letters*. In Press,
- Jangi, S. R. H., H. K. Davoudli, Y. Delshad, M. R. H. Jangi, and A. R. H. Jangi. 2020. “A Novel and Reusable Multinanozyme System for Sensitive and Selective Quantification of Hydrogen Peroxide and Highly Efficient Degradation of Organic Dye.” *Surfaces and Interfaces* 21: 100771.
- Jun, L. Y., L. S. Yon, N. M. Mubarak, C. H. Bing, S. Pan, M. K. Danquah, E. C. Abdullah, and M. Khalid. 2019. “An Overview of Immobilized Enzyme Technologies for Dye and Phenolic Removal from Wastewater.” *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7 (2): 102961.

- Kang, S., L. Qin, Y. Zhao, W. Wang, T. Zhang, L. Yang, F. Rao, and S. Song. 2020. "Enhanced Removal of Methyl Orange on Exfoliated Montmorillonite/Chitosan Gel in Presence of Methylene Blue." *Chemosphere* 238: 124693
- Kathiresan, G., Vijayakumar, K., Sundarrajan, A. P., Kim, H.-S., & Adaikalam, K. (2021). Photocatalytic degradation efficiency of ZnO, GO and PVA nanoadsorbents for crystal violet, methylene blue and trypan blue dyes. *Optik*, 238, 166671
- Lei, D., L. Pengyang, G. Wenqiang, D. Xin, J. Weizhou, and L. Youzhi. 2021. "Enhancement Degradation of Formaldehyde by MgO/ γ -Al₂O₃ Catalyzed O₃/H₂O₂ in a Rotating Packed Bed." *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 118: 29–37
- Li X., Ao Z., Liu J., Sun H., Rykov A.I., Wang J., Topotactic transformation of metal–organic frameworks to graphene-encapsulated transition-metal nitrides as efficient Fenton-like catalysts, *ACS Nano* 10 (2016) 11532–11540
- Liu, X., Qiu, M., & Huang, C. (2011). Degradation of the Reactive Black 5 by Fenton and Fenton-like system. *Procedia Engineering*, 15, 4835–4840.
- Lucas, M. S., Algarra, M., Jiménez-Jiménez, J., Rodríguez-Castellón, E., & Peres, J. A. (2013). Catalytic Activity of Porous Phosphate Heterostructures-Fe towards Reactive Black 5 Degradation. *International Journal of Photoenergy*, 2013, 1–6.
- M. Viisimaa, O. Karpenko, V. Novikov, M. Trapido, A. Goi, Influence of biosurfactant on combined chemical–biological treatment of PCB-contaminated soil, *Chem. Eng. J.* 220 (2013) 352–359
- Maia, R. L., O. L. Alejandro, L. R. Roberto, and S. Z. Cristina. 2021. "Degradation of Chlorpyrifos Formulation in Water by the UV/ H₂O₂ Process: Lumped Kinetic Modelling of Total Organic Carbon Removal." *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 404: 112924.
- Meric, S., Lofrano, G., & Belgiorno, V. (2005). Treatment of reactive dyes and textile finishing wastewater using Fenton's oxidation for reuse. *International Journal of Environment and Pollution*, 23(3), 248.
- Mei, Y., J. Zeng, M. Sun, J. Ma, and S. Komarneni. 2020. "A Novel Fenton-like System of Fe₂O₃ and NaHSO₃ for Orange II Degradation." *Separation and Purification Technology* 230: 115866.
- Nasuha, N., Ismail, S., & Hameed, B. H. (2016). Activated electric arc furnace slag as an efficient and reusable heterogeneous Fenton-like catalyst for the degradation of Reactive Black 5. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 67, 235–243.
- Navik, R., Thirugnanasampanthan, L., Venkatesan, H., Kamruzzaman, M., Shafiq, F., & Cai, Y. (2017). Synthesis and application of magnesium peroxide on cotton fabric for antibacterial properties. *Cellulose*, 24(8), 3573–3587.

- Nidheesh, P. V., & Gandhimathi, R. (2014). Effect of solution pH on the performance of three electrolytic advanced oxidation processes for the treatment of textile wastewater and sludge characteristics. *RSC Advances*, 4(53), 27946.
- Qian, Y., J. Zhang, Y. Zhang, J. Chen, and X. Zhou. 2016. "Degradation of 2,4- Dichlorophenol by Nanoscale Calcium Peroxide: Implication for Groundwater Remediation." *Separation and Purification Technology* 166: 222–9.
- Qiuyue, J., Z. Fang, L. Yu, C. Hao, M. Jianfeng, and K. Sridhar. 2021. "Fe–Co-SBA Assisted by Visible Light Can Effectively Activate NaHSO₃ or H₂O₂ for Enhanced Degradation of Orange II: Activation of NaHSO₃ versus H₂O₂." *Microporous and Mesoporous Materials*. 315: 110912
- Prasanna V.L., Vijayaraghavan R., Simultaneous Fenton–photocatalytic reactions through a new single catalyst (nano ZnO₂ /Fe²⁺) for dye degradation, *J. Phys. Chem. C* 121 (2017) 18557–18563.
- Ren, X., Y. Liu, and W. Guo. 2020. "Morphology and Crystal Facetdependent Activation Mechanism of Persulfate by V₂O₅ Nanomaterials for Organic Pollutants Degradation." *Separation and Purification Technology* 253: 117501.
- Saeed, M., Siddique, M., Usman, M., ul Haq, A., Khan, S. G., & Raoof, H. A. (2017). Synthesis and Characterization of Zinc Oxide and Evaluation of its Catalytic Activities for Oxidative Degradation of Rhodamine B Dye in Aqueous Medium. *Zeitschrift Für Physikalische Chemie*, 231(9).
- Safarzadeh-Amiri, A., Bolton, J. R., & Cater, S. R. (1996). The Use of Iron in Advanced Oxidation Processes. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, 1(1).
- Saravanakumar, R., P. Balakrishnan, and M. Kottaisamy. 2020. "Photocatalytic Removal of Cationic and Anionic Dyes in the Textile Wastewater by H₂O₂ Assisted TiO₂ and Micro-cellulose Composites." *Separation and Purification Technology* 252: 117444.
- Saroyan, H. S., Arampatzidou, A., Voutsas, D., Lazaridis, N. K., & Deliyanni, E. A. (2019b). Activated carbon supported MnO₂ for catalytic degradation of reactive black 5. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 566, 166–175.
- Saroyan H, Kyzas GZ, Deliyanni EA. Effective dye degradation by graphene oxide supported manganese oxide. *Processes*. 2019a;7(1):40.
- Shuguang, L., Z. Xiang, and X. Yunfei. 2017. "Application of Calcium Peroxide in Water and Soil Treatment: A Review." *Journal of Hazardous Materials* 337: 163–77
- Süzen, Y., Özmetin, C. (2019). Removal of Reactive Black 5 dye using Fenton oxidation from aqueous solutions and optimization of response surface methodology. *Desalination And Water Treatment*. 172. 106-114.

- Wang C, Wei W, Dai X, Ni BJ (2022) Calcium peroxide significantly enhances volatile solids destruction in aerobic sludge digestion through improving sludge biodegradability. *Bioresour Technol* 346:126655.
- Wang, H., Y. Zhao, Y. Su, T. Li, M. Yao, and C. Qin. 2017. "Fenton-Like Degradation of 2,4-Dichlorophenol Using Calcium Peroxide Particles: Performance and Mechanisms." *Royal Soecity Chemistry Advance* 7: 4563–71
- Weng Y., Weng Z., Liang Z., Lyu H., Zhuang Z., Yu Y., Mesoporous Ca–Mn–O as an efficient scavenger toward organic pollutants and heavy metals: ion exchange provoking ultrafast Fenton-like reaction based on the synergy of alkaline earth/ transition metals, *J. Mater. Chem. A* 6 (2018) 9528–9538
- WHO. IARC Monographs On The Identification Of Carcinogenic Hazards To Humans (1999) (<https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications/>)
- Wu, D., Bai, Y., Wang, W., Xia, H., Tan, F., Zhang, S., Su, B., Wang, X., Qiao, X., Wong, P. K. (2019). Highly pure MgO₂ nanoparticles as robust solid oxidant for enhanced Fenton-like degradation of organic contaminants, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 374, 2019, Pages 319-328,
- Yang, Z., Zhang, X., Pu, S., Ni, R., Lin, Y., & Liu, Y. (2019). Novel Fenton-like system (Mg/Fe-O₂) for the degradation of 4-chlorophenol. *Environmental Pollution*.
- Yuyang, W., W. Hangli, W. Xiaomin, X. Yeyuan, Z. Yan, S. Xiaomei, C. Jiafang, and S. Faqian. 2020. "Resuscitation, Isolation and Immobilization of Bacterial Species for Efficient Textile Wastewater Treatment: A Critical Review and Update." *Science of The Total Environment* 730 (15): 139034.
- Zhang, M., Dong, H., Zhao, L., Wang, D., & Meng, D. (2019). A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective. *Science of The Total Environment*.
- Zhu, Y., Qin, J., Zhang, S., Radian, A., & Long, M. (2021). Solid peroxides in Fenton-like reactions at near neutral pHs: Superior performance of MgO₂ on the accelerated reduction of ferric species. *Chemosphere*, 270, 128639.



ÖZGEÇMİŞ

Ömer Şahin SARISOY, ilkokul, ortaokul ve lise eğitimini Adana’da tamamladı. 2015 yılında Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında lisans derecesine başladı ve Haziran 2020’de tamamladı. 2021 güz döneminde Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans derecesine başladı. Yüksek lisans derecesinin altı aylık kısmını Polonya Bialystok University of Technology’de tamamladı. Aktif olarak TÜBİTAK projelerinde görev almaya devam etmektedir.

