



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ**

**REAKTİF KIRMIZI 198 VE METİLEN MAVİ BOYAR MADDELERİNİN
FOTOKATALİTİK VE SONOKATALİTİK OLARAK GİDERİLMESİ**

Proje No: 2017/046

Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü

Prof. Dr. Mustafa IŞIK
Mühendislik Fakültesi/Çevre Mühendisliği Bölümü

Araştırmacılar

Doç. Dr. Cemal KARADENİZ
Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu/Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Emine BAŞTÜRK
Mühendislik Fakültesi/Çevre Mühendisliği Bölümü

Cemile KARAGÖZ
Fen Bilimleri Enstitüsü/Kimya Anabilim Dalı

Mart 2019

(tezin varsa BAP kararlı uzatma tarihi dâhil resmi bitiş tarihinin ayı, yılı yazılmalıdır)

AKSARAY

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada desteklerinden dolayı, Aksaray Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi'ne, veri toplama ve materyal desteği için Cebeci Tekstil A.Ő'ne ve analiz yöntemlerinin oluŐturulmasında katkı verdiği için Dr. Levent CAN'a teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Boyaların Sınıflandırılması	2
1.2. Boyaların Çevre Üzerine Etkisi.....	2
2. MATERYAL VE METOT	4
2.1. Kullanılan Kimyasallar.....	4
2.2. Analizler	4
2.3. Deneysel Prosedür	6
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	7
3.1. Katalizörlerin Karakterizasyonu ve Katalitik etkisi	7
3.2. US/TiO ₂ ile Yapılan Çalışmalar	8
3.2.1. Katalizör dozunun etkisi	8
3.2.2. pH etkisi.....	9
3.2.3. Güç yoğunluğunun ve frekansın giderim verimine etkisi	11
3.2.4. Başlangıç boyar madde derişiminin giderim verimine etkisi	12
3.3. UV/TiO ₂ Proses İle Yapılan Çalışmalar	13
3.3.1. Katalizör dozunun etkisi	14
3.3.2. pH etkisi.....	15
3.3.3. UV şiddetinin giderim verimine etkisi	17
3.3.4. Başlangıç boyar madde derişiminin giderim verimine etkisi	18
3.4. Kinetik Çalışmalar.....	19
3.5. Termodinamik Parametrelerin Belirlenmesi	21
4. SONUÇLAR	24
KAYNAKLAR.....	25
EKLER.....	26
Ek 1. Yasal izin belgesi	26
Ek 2. Anket formu	26

SİMGELER VE KISALTMALAR

İOP	İleri oksidasyon prosesleri
OH•	Hidroksil radikali
UV	Ultraviyole
H₂O₂	Hidrojen peroksit
US	Ultrases
TiO₂	Titanyum dioksit
λ_{mak}	Maksimum dalga boyu
TiO₂	Titanyum dioksit
Fe₂O₃	Demir oksit
CdS	Kadmiyum sülfid
FeTiO₃	İlmenit
V₂O₅	Vanadyum oksit (V ₂ O ₅)
Bi₂O₃	Bizmut oksit
ZnO	Çinko oksit
SrTiO₃	Stronsiyum titanat
ZnS	Çinko sülfid
SnO₂	Kalay oksit
RK198	Reaktif kırmızı 198
MM	Metilen mavisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. RK 198 kalibrasyon grafiği.....	5
Şekil 2. MM kalibrasyon grafiği.....	5
Şekil 3. TiO ₂ maddelerinin XRD grafiği (▼: Anataz tipi TiO ₂).....	7
Şekil 4. TiO ₂ katalizörünün pH _{pzc} grafiği.....	8
Şekil 5. Katalizör dozlarının RK 198 giderimine etkisi.....	9
Şekil 6. Katalizör dozlarının boyar madde giderimine etkisi.....	9
Şekil 7. Farklı pH değerlerinin RK198 giderimine etkisi.....	10
Şekil 8. Farklı pH değerlerinin MM giderimine etkisi.....	11
Şekil 9. Farklı ultrasonik güç etkisinin giderim verimine etkisi.....	12
Şekil 10. Farklı ultrasonik frekans etkisinin giderim verimine etkisi.....	12
Şekil 11. Farklı başlangıç boyar madde derişimlerinin RK198 giderim verimine etkisi.....	13
Şekil 12. Farklı başlangıç boyar madde derişimlerinin MM giderim verimine etkisi.....	13
Şekil 13. Katalizör dozlarının RK 198 giderimine etkisi.....	15
Şekil 14. Katalizör dozlarının MM giderimine etkisi.....	15
Şekil 15. Farklı pH değerlerinin RK198 giderimine etkisi.....	16
Şekil 16. Farklı pH değerlerinin MM giderimine etkisi.....	17
Şekil 17. Farklı UV şiddetinin giderim verimine etkisi.....	17
Şekil 18. Farklı başlangıç boyar madde derişiminin RK198 giderim verimine etkisi.....	18
Şekil 19. Farklı başlangıç boyar madde derişiminin MM giderim verimine etkisi.....	19
Şekil 20. Lineerleştirilmiş Langmuir-Hinshelwood grafiği (Sonokatalitik sistem için).....	20
Şekil 21. Lineerleştirilmiş Langmuir-Hinshelwood grafiği (Fotokatalitik sistem için).....	20
Şekil 22. 1. dereceden hız sabitine karşılık (ln[k1]) sıcaklık (1/T) grafiği (MM).....	22
Şekil 23. 1. dereceden hız sabitine karşılık (ln[k1]) sıcaklık (1/T) grafiği (Reaktif Kırmızı 198) (şekil başlığı iki satırsa sola dayalı yazılmalıdır).....	22
Şekil 24. US/TiO ₂ uygulama öncesi ve sonrası SEM görüntüleri.....	23

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kullanılan kimyasal malzemeler, özellikleri ve kullanım amaçları.....	4
Tablo 2. RK 198 boyar maddesinin özellikleri.....	5
Tablo 3. MM boyar maddesinin özellikleri.....	5
Tablo 4. Kinetik katsayılar (MM boyar maddesi).....	21
Tablo 5. Kinetik katsayılar (RK198 boyar maddesi).....	21
Tablo 6. Termodinamik katsayılar (US prosesi).....	22
Tablo 7. Termodinamik katsayılar (UV prosesi).....	23

ÖZET

REAKTİF KIRMIZI 198 VE METİLEN MAVİ BOYAR MADDELERİNİN FOTOKATALİTİK VE SONOKATALİTİK OLARAK GİDERİLMESİ

Sentetik boyalar tekstil, boya, kâğıt ve baskı endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyarmaddeler, proses işlemleri sonucunda meydana gelen yüksek miktarlarda organik kirlilik ve renklilik içeren atık sular oluşturmaktadır. En çok kullanılan ileri oksidasyon prosesleri foto katalitik oksidasyon, hidrojen peroksitle birlikte ozon (O_3/H_2O_2), ultraviyole (UV), ultraviyole ile ozon (UV/ O_3), ultraviyole ile hidrojen peroksit (UV/ H_2O_2), Fenton (Fe^{+2}/H_2O_2), foto-Fenton ($Fe^{2+}/H_2O_2/UV$) ve UV/ TiO_2 'dir. Optimum şartlar, US/Nano TiO_2 prosesi için, katalizör dozu; 0,1 g/L (Reaktif Kırmızı 198), 0,25 g/L (Metilen Mavisi); pH 6,5 (RK198-MM) değerleridir. UV/Nano TiO_2 prosesi için, katalizör dozu; 0,25 g/L (RK198-MM); pH 2 (RK198), 9 (MM) değerlerdir. Ses dalgalarının etkisi sonucu bazı yükseltgeyici kimyasalların üretimi sonucu en yüksek giderim verimi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boyar madde, Nanopartikül, Oksidasyon, UV/ TiO_2 , US/ TiO_2 , Tekstil

ABSTRACT

REMOVAL OF REACTIVE RED 198 AND METHYLENE BLUE DYES BY PHOTOCATALYTIC AND SONOCATALYTIC METHODS

Synthetic dyes are commonly used in textile, dye, press and paper industries. Dyes that used in textile industry generate high quantities of organic pollution and wastewaters, which contain colorful dyes at the end of the process. The most used advanced oxidation process are photocatalytic oxidation, hydrogen peroxide with ozone (O_3/H_2O_2), ultraviolet (UV), ultraviolet with ozone (UV/ O_3), ultraviolet with hydrogen peroxide (UV/ H_2O_2), Fenton (Fe^{+2}/H_2O_2), photo-Fenton ($Fe^{+2}/H_2O_2/UV$) and UV/ TiO_2 . The optimum conditions were determined as $TiO_2 = 0,1-0,25$ g/L (Reactive Red 198-Methylene Blue), and $pH = 6,5$ (RK198-MM), for the UV/ TiO_2 process and $TiO_2 = 0,25$ g/L (RK198-MM), and $pH = 2-9$ (RK198-MM), for the US/ TiO_2 process. The color removals were 95% (RK198)- %66 (MM) and 96% (RK198)- %83 (MM) by the UV/ TiO_2 and US/ TiO_2 processes, respectively. The highest removal efficiency was achieved by the sono catalytic process because of the production of some oxidizing agents because of sonication.

Keywords: Dyestuff, Nanoparticle, Oxidation, UV/ TiO_2 , US/ TiO_2 , Textile

1. GİRİŞ

Çevresel kirlilik, dünyada oluşan en önemli problemlerden biri olmakla beraber, günden güne artmakta ve ciddi zararlara sebep olmaktadır. Kirilenmiş sularda, solventler, dioksinler, dibenzofuranlar, pestisitler, klor fenoller ve boyalar gibi birçok organik kirleticiler bulunmaktadır (Nguyen ve Juang, 2015; Reddy ve Kim, 2015; Shinde vd., 2014). Endüstrilerde kullanılan boyalar ve bu tesislerin çıkış sularında yüksek boya içeren atık sular, kirlilik açısından ciddi şekilde katkı sağlamaktadırlar (Jo ve Tayade, 2014). Boyaların bazıları, dirençli moleküler yapılarından dolayı suda biyobozunur hale gelmemektedir (Natarajan vd., 2017). Deri, kâğıt, yemek, kozmetik, tarım, ilaç gibi farklı endüstriler birçok sentetik boya kullanmakta ve çok büyük miktarlarda boya içeren atık üretmektedirler. Kendi karakteristik özelliklerine göre boyar maddeler, asidik, bazik, direkt, dispers, metalik, reaktif ve vat gibi gruplara ayrılmaktadır. Yıllık 7 X 105 ton boya üretilmektedir. Bu boyaların % 10-15'i üretim ve uygulama sırasında atık suya verilmektedir (Natarajan vd., 2013a). Boyar maddeler sucul ortamda ışık geçirgenliğini azaltarak ve estetik kirlilik oluşturarak çevre/insan sağlığını tehdit etmektedir. Işık geçirgenliğini azaltarak fotosentezi engellemekte ve sucul organizmaların gelişimini etkilemektedir. Ayrıca verilen miktar ve maruziyet süresine bağlı olarak organizmalarda akut ve kronik etkiler oluşturabilmektedirler (Natarajan vd., 2017). Boyarmaddelerin çevresel etkilerini azaltmak için, su ve atık sudan boyar maddelerin giderimi için birçok teknoloji geliştirilmiştir. Bu metotlar; fiziksel, kimyasal, biyolojik, akustik, radyasyon ve elektriksel proseslerdir (Gupta, 2009). Bu metotların altında; membran filtrasyon (Avlonitis vd., 2008), kimyasal arıtım (filtrasyon) (Zhou vd., 2008), oksidasyon (klor, hidrojen peroksit, fenton ajanı, ozon ve potasyum permanganat ile birlikte UV ve kimyasal oksidasyon) (Hage ve Lienke, 2006; Wang, 2008), elektrokimyasal oksidasyon, ileri oksidasyon prosesleri (foto-fenton, UV oksidasyonu, foto kataliz, fotoliz ve sonoliz) gibi arıtım sistemleri örnek olarak verilebilmektedir.

Son zamanlarda ileri oksidasyon prosesleri atık sulardan kirletici gideriminde dikkat çeken prosesler arasındadır. Bu prosesler, ekonomik, çevre dostu ve atık suda bulunan boya ve organik maddeleri giderebilen proseslerdir. İOP'ler ses ve ultraviyole ışınması varlığında etkilerini sürdürmektedirler. Ayrıca giderim hızını artırmak ve katalizörün yüzeyine kirleticinin adsorpsiyonunu artırmak için, İOP'ler hidrojen peroksit (H₂O₂) ve ultra ses (US) ile desteklenmektedir (Aleboye vd., 2012; Srivastava vd., 2014). Bunun yanı sıra, boyar maddelerin foto katalitik giderimi, demir oksit (Fe₂O₃, 2.2 eV), kadmiyum sülfid (CdS, 2.5 eV),

ilmenit (FeTiO₃, 2.8 eV), vanadyum oksit (V₂O₅, 2.8 eV), bizmut oksit (Bi₂O₃, 2.8 eV), çinko oksit (ZnO, 3.2 eV), stronsiyum titanat (SrTiO₃, 3.4 eV), çinko sülfür (ZnS, 3.6 eV), kalay oksit (SnO₂, 3.5 eV), titanyum dioksit (TiO₂, 3.2 eV) gibi yarı iletkenler kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Huang vd., 2013; Natarajan vd., 2013b). Buna ek olarak, katalizörler foto katalitik bozundurma verimini artırmak için modifiye edilmektedirler (Natarajan vd., 2015).

Bu çalışmada reaktif kırmızı 198 ve metilen mavi boyar maddelerinin nano ölçekte katalizör eşliğinde foto katalitik ve sonokatalitik giderimleri ele alınmıştır.

1.1. Boyaların Sınıflandırılması

Boyalar uygulandığı yüzeyi renklendiren ve aromatik organik bileşiklerdir. Boyalar genellikle, sulu çözeltilerde uygulanan maddelerdir. Boyar maddeler, plastik oyuncaklar, kumaşlar, yiyecekler gibi her yerde uygulanabilen maddelerdir. Boyar maddelere rengini veren farklı kromofor moleküllere sahip olmalarıdır (Natarajan vd., 2017). Tarihi zamanlarda boyalar doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Doğal renklendirici kimyasallar, inorganik kaynaklı (kil, mineral, metal tuzları ve kayalar) veya organik kaynaklı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Patil vd., 2011). Buna ek olarak boya temininde liken, böcekler gibi botanik kaynaklı olabilmektedir. Boyar maddeler, farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Her sınıfın kendine ait kimyası, yapısı ve bağ yapısı mevcuttur. Bazı boyar maddeler kimyasal bazıları ise fiziksel olarak sentezlenmektedir. Boyar maddelerin sınıflandırılması, sentezlenmelerine, kullanılan materyallere, kromofor yapılarına ve elektron uyarılmalarına göre sınıflandırılmaktadır. Boyar maddeler, asidik, bazik, direkt, dispers, reaktif, çözücü, sülfür ve vat boyalar olmak üzere sınıflandırılmaktadır (Natarajan vd., 2017).

1.2. Boyaların Çevre Üzerine Etkisi

Tekstil, deri, kâğıt, gıda, ilaç, kozmetik, tarım endüstrilerinde, biyolojik ve kimyasal araştırmalarda, kullanılan boyaların günlük hayatımızda çok önemlidir (Surolia vd., 2010). Bunun dışında, sentetik boyalar atıksu arıtımı kontrolünün etkinliğinde, yer altı suyu izlemede kullanılmaktadır (Natarajan vd., 2017). Boyama prosesi boyunca oluşan boyaların yaklaşık olarak %15'i biyobozunur değildir ve bunlar akarsu ve suya deşarj edilmektedir. Dünya bankasının tahminlerine göre, su kirliliğinin %17-%20'si tekstil ve boyama endüstrilerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Natarajan vd., 2017). Boya ve üretim endüstrisi ekolojik ve

toksikoloji ajansının yapmış olduğu araştırmaya göre, izlenen 4000 boyanın arasından di-azo, direkt ve bazik boyaların toksisitesinin olduğu belirtilmiştir. Literatüre göre, reaktif ve asit boyalar gibi suda çözünen renkli boyaların sudan uzaklaştırılması oldukça zor olduğu belirtilmiştir (Beyene, 2014). Boyar maddelerin sudaki kontaminasyonu, düşük derişimlerde olsa bile gözle belirlenebilmektedir. Düşük derişimlerde bile sudaki boyar maddeler, suyun saydamlığını ve gazın çözünürlüğünü etkileyebilmektedir. Boyar maddeler suya giren güneş işığını absorblayarak yansıtır, sucul türlerin fotosentezini engelleyerek gelişimini engellemektedir. Atık sudaki boyar maddeler, içerisindeki organik bileşiklerin varlığından dolayı yüksek kimyasal oksijen ihtiyaı, çözünmüş inorganik ve organik türlere, biyolojik olarak parçalanamayan maddelere sahiptir. Boyar maddelerin bozundurulmasında, mikroorganizmalara ve sucul yaşamı etkileyen kanserojen maddeler meydana gelebilmektedir (Natarajan vd., 2017). Bu bileşikler ile kirlenmiş suların insani tüketimi, sindirim sistemi, nefes problemleri, merkezi sinir sistemi bozukluğu, davranışsal bozukluklar, alerjik reaksiyonlar, deri ve göz enfeksiyonları gibi birçok sağlık etkilerine sebep olmaktadır (Pan vd., 2012). Bundan dolayı, boyaların atık sudan gideriminde sadece renk giderimi değil, aynı zamanda toksisitesinin azaltılması veya giderimi gerekmektedir (Arıman, 1998; Clark, 2010; Sertöz, 2008; Solmaz, 2019).

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kullanılan Kimyasallar

Deneyler sırasında kullanılan kimyasal malzemeler, özellikleri ve kullanım amaçları Tablo 1’de sıralanmıştır.

Tablo 1. Kullanılan kimyasal malzemeler, özellikleri ve kullanım amaçları

Kimyasal Madde	Saflık	Firma	CAS No	Kullanım Alanı
Metilen mavisi	%99	Merck	122965-43-9	Boya analizleri
Reaktif Kırmızı 198	%99	Eksoy Kimya Sanayi ve Tic. A.Ş.	93050-79-4	Boya analizleri
Sodyum Hidroksit	≥%98,0	Merck		pH ayarı
Sülfürik Asit	%99	Merck		pH ayarı
Hidrojen Peroksit	%30	Merck		Katalitik deneyler
Nano TiO ₂ anatase (10 nm)	%99	Ege Nanotek Kimya Sanayi		Katalitik deneyler

2.2. Analizler

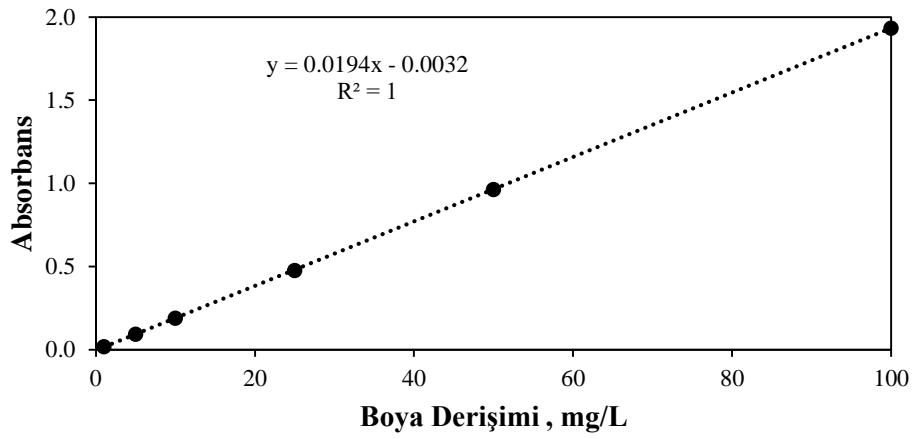
Ticari olarak kullanılan metilen mavi ve reaktif kırmızı 198 boyar maddelerinin özellikleri Tablo 2 ve 3’de gösterilmiştir. Boya çözeltisi 1g boyanın 1 litre saf su içerisinde çözülmesiyle hazırlanmıştır. Boyar madde çözeltileri, stok boya çözeltisi olarak kullanılmış, çalışılan konsantrasyonlar bu çözeltilerden belli oranlarda alınarak saf su ile seyreltilmiştir. Boyanın sentetik olarak hazırlanan numunesinde spektrofotometrik ölçümler ile maksimum dalga boyu belirlenmiştir. Boyar maddeler Shimadzu UV-Visible Spektrofotometre ile dalga boyu taraması yapılmış ve maksimum dalga boyu (λ_{mak}) 520 ve 280 nm olarak bulunmuştur. 1 g/l stok boya çözeltisinden 1, 5, 10, 25, 50 ve 100 mg/L konsantrasyonlarda 100 ml boya çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilerin absorpsiyon değerlerinden kalibrasyon eğrisi elde edilmiş ve boya giderim deneylerinden elde edilen absorpsiyon değerleri bu eğri kullanılarak konsantrasyon olarak ifade edilmiştir (Şekil 1 ve 2).

Tablo 2. RK 198 boyar maddesinin özellikleri

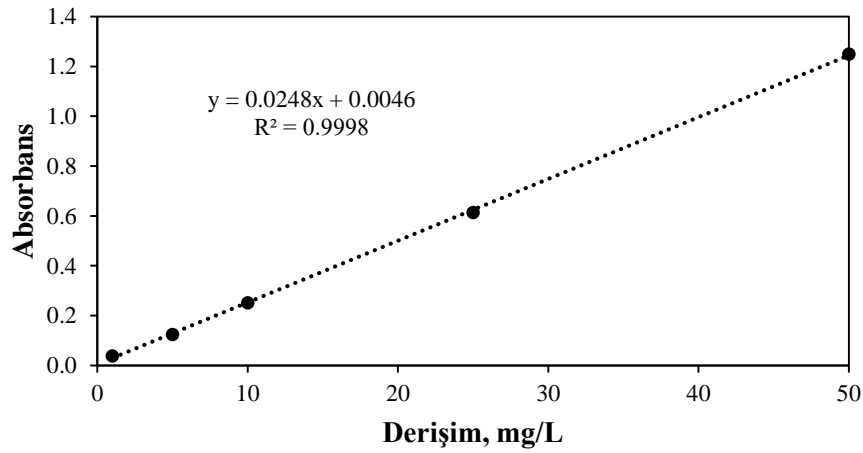
CAS numarası	145017-98-7
Boya Grubu	Azo
Molekül ağırlığı (g/mol)	984,183
Moleküler formülü	$C_{27}H_{18}ClN_7Na_4O_{16}S_5$
λ_{mak}	520

Tablo 3. MM boyar maddesinin özellikleri

CAS numarası	122965-43-9
Boya Grubu	Bazik anilin
Molekül ağırlığı (g/mol)	319,86
Moleküler formülü	$C_{16}H_{18}ClN_3S$
λ_{mak}	664



Şekil 1. RK 198 kalibrasyon grafiği



Şekil 2. MM kalibrasyon grafiği

2.3. Deneysel Prosedür

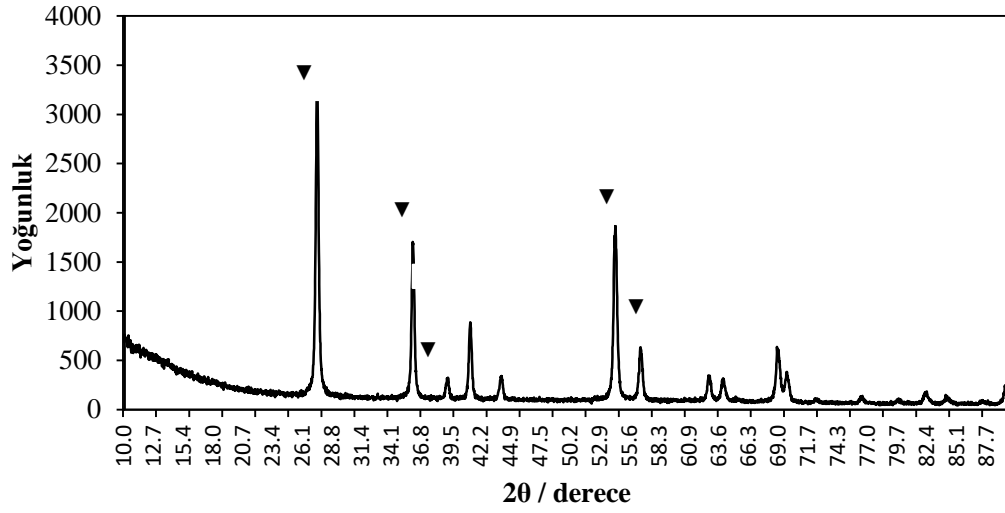
Yapılan deneysel çalışmalar kesikli ölçekli yapılmış olup, nano TiO₂ eşliğinde UV ve US'in etkinliği araştırılmıştır. İstenilen boyar madde derişimi stok çözeltilerden uygun miktarda alınarak hazırlanmıştır. pH etkisinin incelendiği deneylerde, çözeltilerin pH değeri 0.1 mol/L NaOH veya 0.1 mol/L H₂SO₄ kullanılarak ayarlanmıştır. Boyar madde çözeltilisine katalizör eklenerek UV veya US sistemine verilmiştir. Örnekler belirlenen zaman aralıklarında alınarak, absorbans ölçümleri yapılmıştır. Model çözeltili 100 mg/L hazırlanarak, farklı TiO₂ ve farklı pH değerlerinde UV ve US etkisi araştırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın materyal ve metot kısmında verilen plana uygun şekilde öncelikle kullanılacak katalizörlerin karakterizasyonu belirlenmiştir. Karakterizasyonu çalışmalarından sonra katalizörlerin katalitik etkisi fotolitik ve sonik olarak araştırılmıştır.

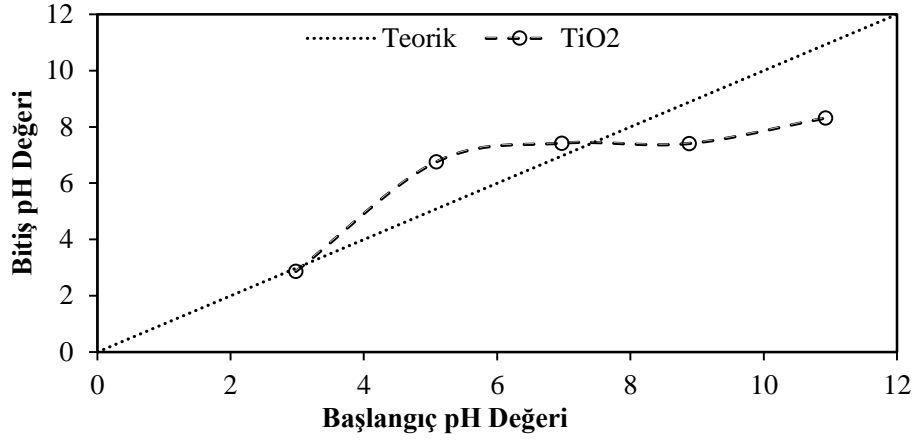
3.1. Katalizörlerin Karakterizasyonu ve Katalitik etkisi

Kullanılan katalizörün kristal yapısı X-ray difraktometre (XRD) ile incelenmiştir. Ayrıca pH_{PZC} analizi yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan TiO_2 maddelerinin XRD ve pH_{PZC} sonuçları Şekil 3 ve 4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. TiO_2 maddelerinin XRD grafiği (▼ : Anataz tipi TiO_2)

Şekil 3 de görüldüğü gibi deneylerde kullanılan farklı çaplardaki maddelerin, XRD örüntüsüne bakıldığında en yüksek pik değerinin olduğu derece $2\theta = 27,6$ değeridir. Ayrıca grafikte görülen diğer yüksek pik değerlerinde kullanılan maddelerin anataz tipindeki TiO_2 olduğu literatürde de belirtildiği gibi tespit edilmiştir (Liao vd., 2016).



Şekil 4. TiO₂ katalizörünün pH_{pzc} grafiği

Yüzey yükünün sıfır olduğu değeri bulma işleminde ise TiO₂'in değeri 7,43 olarak bulunmuştur (Şekil 4).

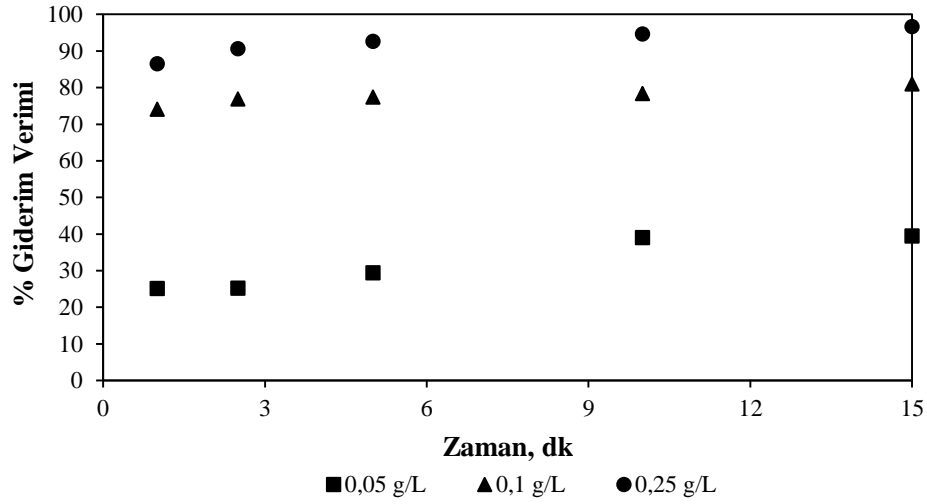
3.2. US/TiO₂ ile Yapılan Çalışmalar

Katalitik etki çalışmaları öncelikle ultrasonik dalgalar ile denenmiştir. Çalışmada öncelikle katalizör dozunun etkisi çalışılmış, optimum doz belirlenmiştir. Daha sonra optimum belirlenen optimum dozda pH etkisi, güç yoğunluğunun ve frekansın etkisi ve başlangıç boyar madde derişimlerinin etkileri çalışılmıştır.

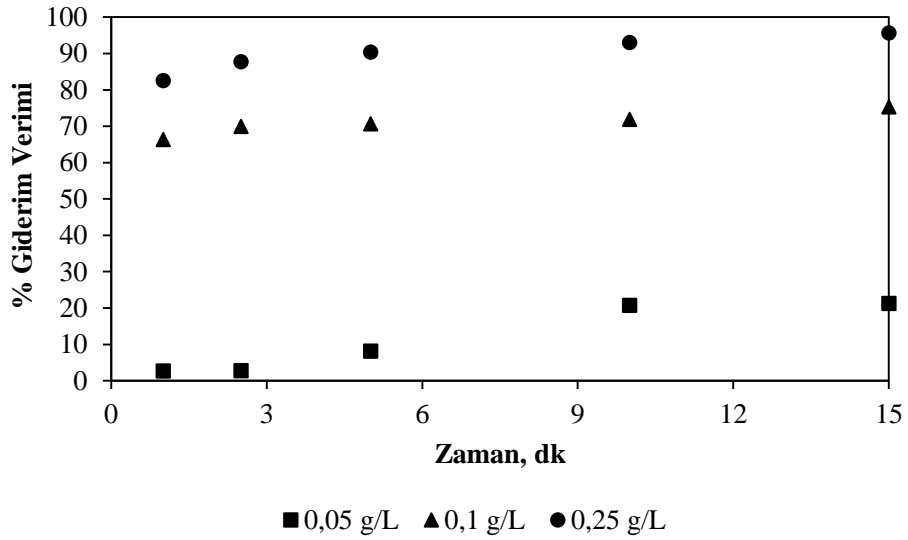
3.2.1. Katalizör dozunun etkisi

Katalizör dozu boyar madde giderimini etkileyen parametrelerden biridir. Bu bölümde, farklı dozlarda katalizörün boyar madde giderimine etkisi incelenmiştir. Diğer parametreler sabit tutulmuştur. RK198 ve MM kirleticilerinin gideriminde katalizör dozunun etkisi Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekillere bakıldığında, RK198 için 0,05; 0,1 ve 0,25 g/L dozlarında % 39; 81 ve 96 giderim verimi ve MM için 0,05; 0,1 ve 0,25 g/L dozlarında % 21; 75 ve 95 giderim verimi elde edilmiştir. Optimum katalizör dozu 0,1 g/L seçilmiştir. Katalizör dozunun artmasıyla, katalizör yüzeyindeki aktif alanlar artarak (Ertugay ve Acar, 2014; Khataee vd., 2015c), daha fazla mikro kavitasyon mikro baloncuklar oluşarak (Abdullah ve Ling, 2010; Khataee vd., 2015), OH• ve O₂• radikallerinin artmasını sağlamıştır. Buna bağlı olarak boyar madde giderimini artırmaktadır (Nuengmatcha vd., 2016; Rauf ve Ashraf, 2009). Katalizör dozunun daha fazla artırılması ile katalizör çözelti içerisinde süspanse olarak kalarak, ses dalgalarının saçılımını ve geçişini azaltacağı (Khataee vd., 2015c; Sanna vd., 2016), OH• radikallerini oluşmasını sağlayacak aktif alanların sayısını azaltacağı (Anju vd., 2012; Khataee

vd., 2015a; Wang vd., 2011) ve giderim verimini azaltacağı (Reddy vd., 2016) literatürde belirtilmiştir. Bu olay; katalizör dozunun artması ile radikallerin artacağı ve bununda radikal harcayıcı olarak davranması ve ultra ses dalgalarının yoğunluğunu azaltmasından dolayı meydana gelmektedir (Ziylan vd., 2015).



Şekil 5. Katalizör dozlarının RK 198 giderimine etkisi

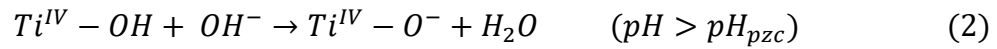


Şekil 6. Katalizör dozlarının boyar madde giderimine etkisi

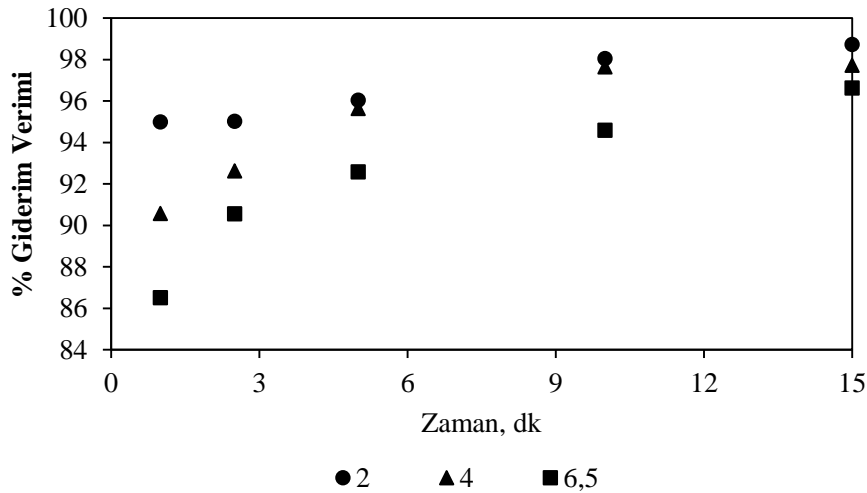
3.2.2. pH etkisi

Boyar madde sonokatalitik olarak gideriminde önemli rol oynayan çözelti pH değeri önemli parametrelerden biridir. Bu bölümde, farklı pH değerlerinin çalışılan boyar maddelere etkisi incelenmiştir. Yapılan deneylerde, diğer parametreler sabit tutulmuştur. pH etkisi nano TiO₂

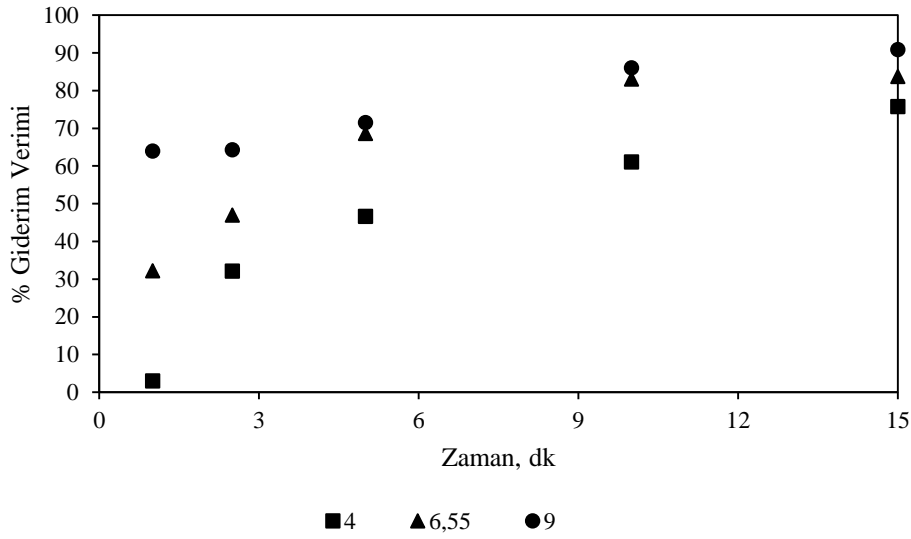
partiküllerinin p_Hpzc ve çözelti pH değeri ile alakalıdır. Bölüm 3.1’de belirtildiği gibi, nano TiO₂ p_Hpzc değeri 7,43 değeri olmakla beraber, çözeltinin değeri bu değer altında olduğu zamanlarda nano partikülün yüzeyi pozitif yükü yükleneyeceği literatürde belirtilmiştir (Belessi vd., 2009; Fu vd., 2015; Jafari vd., 2015) ve kirleticinin anyonik (RK198) veya katyonik (MM) (Shimizu vd., 2007) olmasına göre elektrostatik çekme veya itme olayı meydana gelecektir (Nuengmatcha vd., 2016). TiO₂ partiküllerinin p_Hpzc değerlerine göre aldığı yük, Denklem 1 ve 2’de gösterilmiştir.



Asidik koşullar altında, anyonik boyalarda olduğu gibi RK198’in giderimi yüksek, MM’nin ise düşüktür (Şekil 7, 8). Literatürde benzer çalışmalara bakıldığında, pH > p_Hpzc olduğunda, hidroksit iyonları ile negatif yüklenmiş katalizör yüzeyi arasında elektrostatik itme olayı olacağından, MM gibi katyonik boyalarda giderim verimi düşecektir (Khataee vd., 2015c; Tang vd., 2012). Bunun tersine, pH 7,43’ten büyük değerlerde, katalizörün yüzeyi negatif olarak yükleneyeceği için, MM moleküllerini çekecek ve giderim verimi artacaktır (Khataee vd., 2015b). Reaktif kırmızı anyonik olduğundan bazik pH değerleri çalışılmamıştır. Yüksek pH değerlerinde hidroksit iyonları, pozitif yüklü boya molekülleri ile yarıştığından ve boya giderim verimini azaltacağından (Konstantinou ve Albanis, 2004) dolayı MM için ise pH 11 değeri ve üzeri çalışılmamıştır.



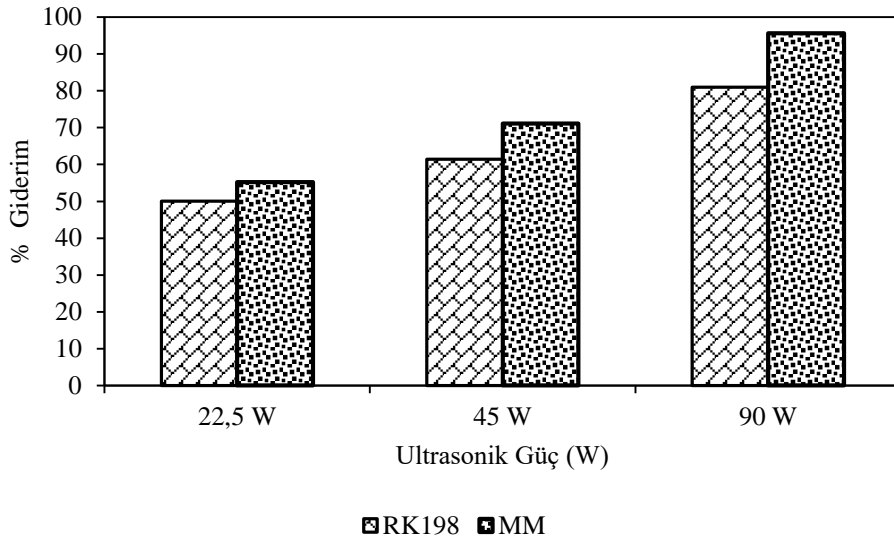
Şekil 7. Farklı pH değerlerinin RK198 giderimine etkisi



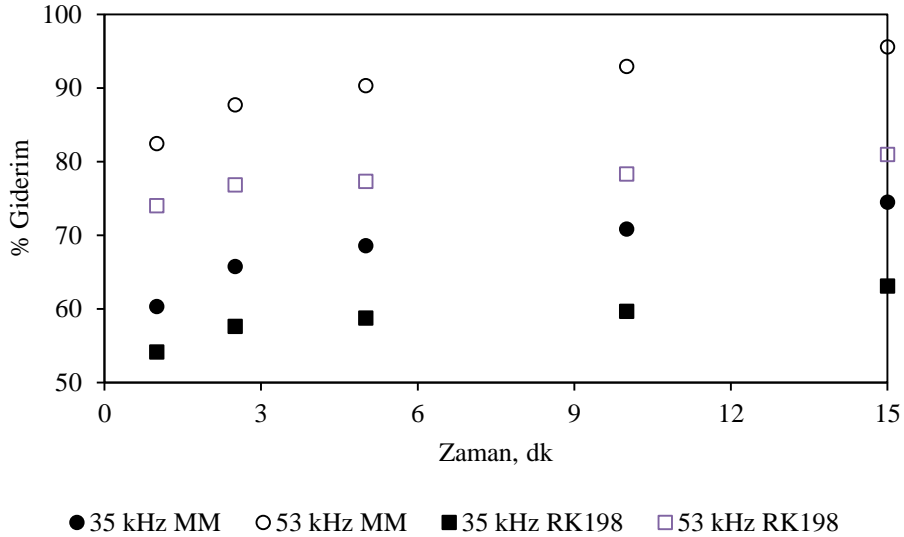
Şekil 8. Farklı pH değerlerinin MM giderimine etkisi

3.2.3. Güç yoğunluğunun ve frekansın giderim verimine etkisi

Ultrasonik uygulamalarda, Kavitasyonel (boşluk) aktiviteyi etkileyen parametrelerden olan ultrasonik güç yayılımı sistemin ekonomik olması açısından önemli parametrelerden biridir (Bagal ve Gogate, 2014; Guzman-Duque vd., 2011). Ayrıca, ultrasonik frekansın artırılmasıyla boyar madde giderim verimi artmaktadır (Basturk ve Karatas, 2014). Ultra ses güç yoğunluğunun artırılmasıyla, sonokimyasal reaksiyonlar artacak ve serbest radikaller daha fazla oluşacağı için kirletici giderimi artacaktır (Chen vd., 2011; Golash ve Gogate, 2012). Literatürdeki diğer çalışmalara bakıldığında benzer etki gözlemlenmektedir (Dükkancı vd., 2014; Ghodbane ve Hamdaoui, 2009; Guzman-Duque vd., 2011; Siddique vd., 2014; Weng vd., 2013). Baloncuk oluşumunun artması, ultra ses gücünün artması ile gerçekleşmektedir ve buda kabarcıkların birleşmesine yol açmaktadır (Gogate vd., 2011; Zhang vd., 2009). Sistemdeki ultrasonik gücün artmasıyla, RK 198 ve MM boyaalarının sonolitik giderimi artmıştır. RK 198 ve MM boyaalarının 22,5 W, 45 W ve 90W güç yoğunluklarında sırasıyla % 23, 45, 90 ve % 21, 78, 96 giderimi sağlanmıştır. Farklı güç yoğunlukları ve frekanslarda boyar maddelerin giderimi Şekil 9-10'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Farklı ultrasonik güç etkisinin giderim verimine etkisi

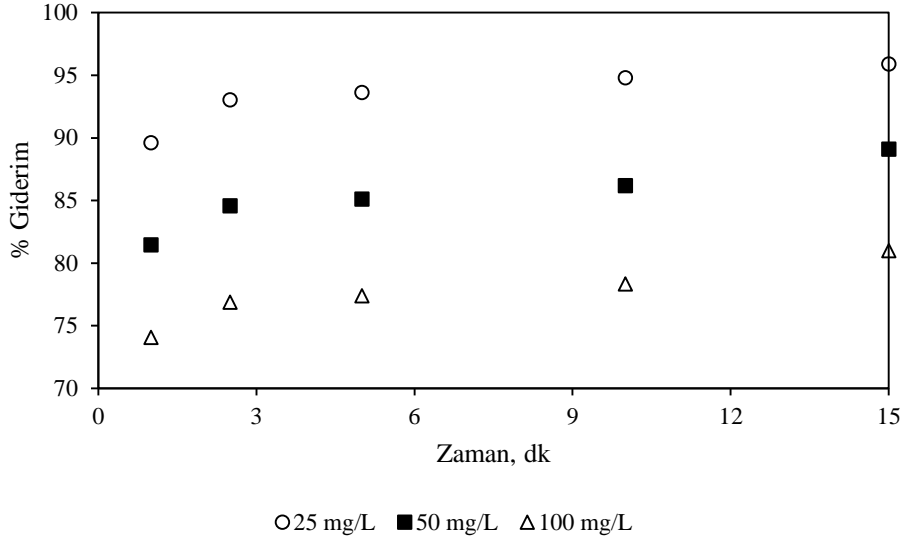


Şekil 10. Farklı ultrasonik frekans etkisinin giderim verimine etkisi

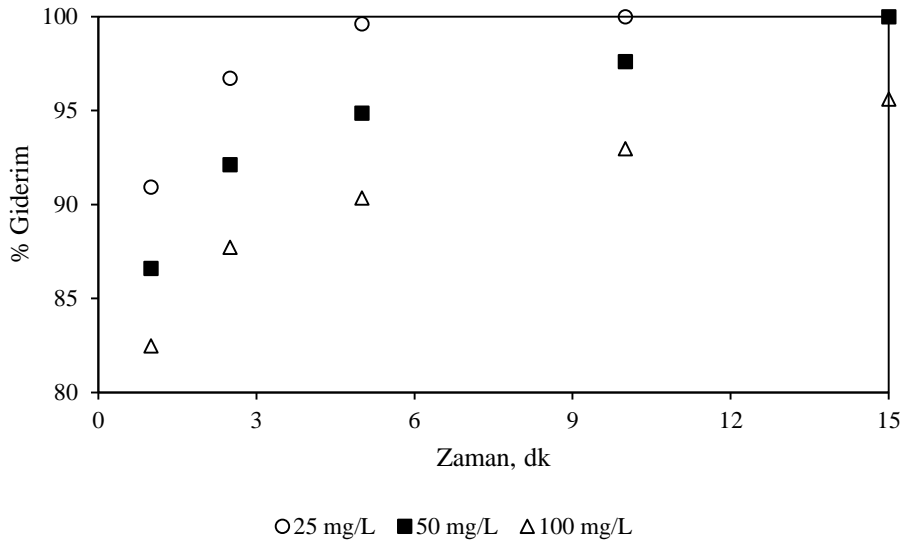
3.2.4. Başlangıç boyar madde derişiminin giderim verimine etkisi

Seçili boyar madde giderimi üzerindeki bu çalışmada araştırılan diğer önemli faktörlerden başlangıç boyar madde derişiminin etkisi incelenmiştir. Şekil 11 ve 12’de farklı başlangıç boyar madde derişimlerinin giderim verimine etkisi gösterilmiştir. Tipik sono kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi artan başlangıç boyar madde derişimine göre giderim veriminin azaldığı gözlemlenmiştir (Siddique vd., 2014). Giderim verimindeki azalma, artan boyar madde derişimine karşın yeterli sayıda hidroksil radikallerinin olmaması ve yüksek kirletici yüklemesinin kaviteyoneel etkiyi azaltması ile açıklanmaktadır (Bagal ve Gogate, 2014; Sun

vd., 2007). Literatüre bakıldığında benzer sonuçlar gözlemlenmiştir (Ghodbane ve Hamdaoui, 2009; Jamalluddin ve Abdullah, 2011).



Şekil 11. Farklı başlangıç boyar madde derişimlerinin RK198 giderim verimine etkisi



Şekil 12. Farklı başlangıç boyar madde derişimlerinin MM giderim verimine etkisi

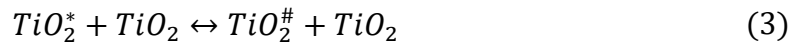
3.3. UV/TiO₂ Proses İle Yapılan Çalışmalar

Bu kısımda katalitik etki çalışmaları UV ışınları ile denenmiştir. Çalışmada öncelikle katalizör dozunun etkisi çalışılmış, optimum doz belirlenmiştir. Daha sonra optimum belirlenen optimum

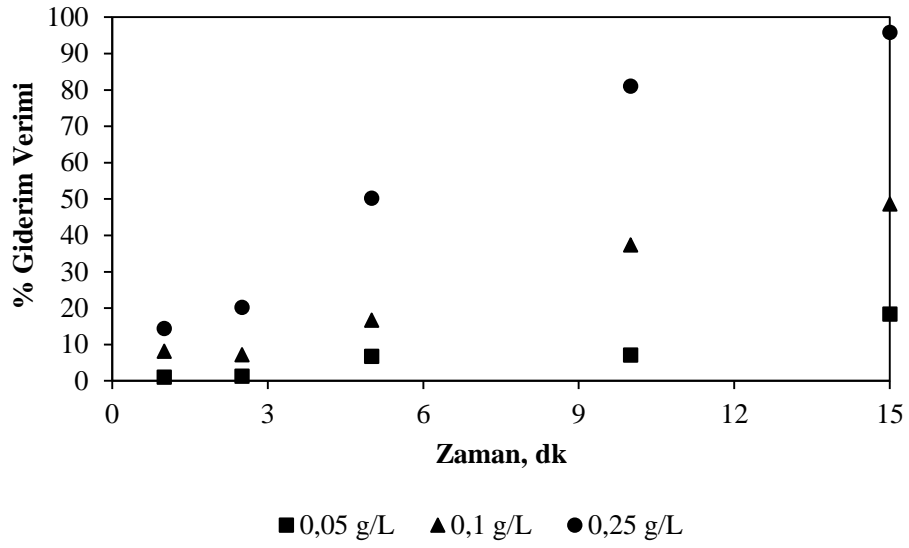
dozda istemin performansı üzerinde pH etkisi, ışın şiddeti ve başlangıç boyar madde derişimlerinin etkileri çalışılmıştır.

3.3.1. Katalizör dozunun etkisi

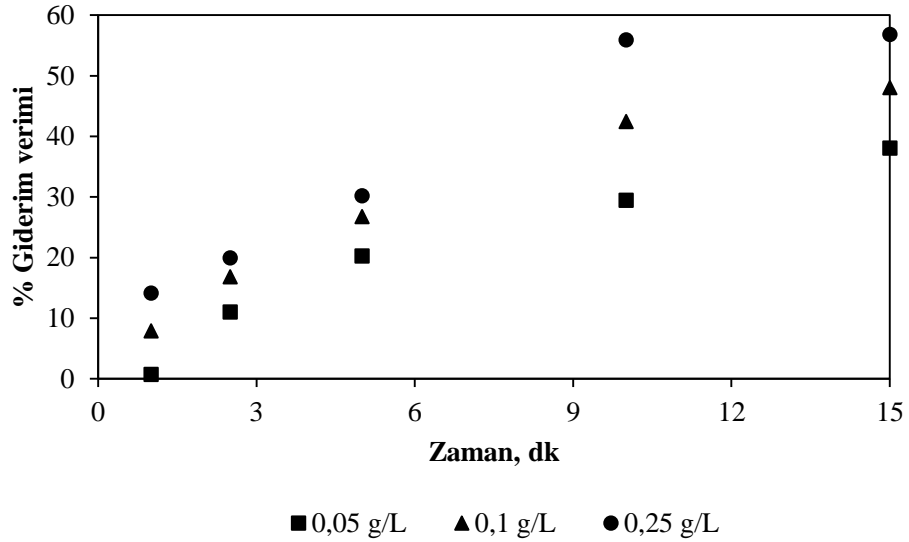
Boyar maddelerin dekompozisyonu, 0,05; 0,1 ve 0,25 g/L katalizör doları kullanılarak katalizör dozunun etkisi incelenmiştir. % 95 ve % 56 giderim verimleri ile 0,25 g/L katalizör dozu optimum değer olarak seçilmiştir (Şekil 13 ve 14). Katalizör dozunun artması daha fazla aktif alan oluşturarak radikallerin boyar madde giderimini artırmasını sağlamıştır (Byrappa vd., 2006). Ayrıca UV ışınması sonucu meydana gelen ve TiO₂ partiküllerinin tarafından absorblanan fotonların sayısının artması ile değer bandından iletim bandına daha fazla elektron oluşumu artmaktadır. Hollerin sayısı artmakta ve katalizör miktarının artması sonucu yüzeydeki aktif alanların (hidroksil ve süper oksit iyonu) sayısı artmaktadır (Hamad vd., 2016; Sadik vd., 2007; Zhu vd., 2012). Optimum dozajın üstündeki değerlerde, UV ışın geçişi azalmaktadır (Ziylan vd., 2015). Ayrıca bazı katalizör partikülleri ışının dışında kalarak TiO₂ partiküllerinin birleşerek yumak oluşmasını sağlayarak spesifik yüzey alanını artırarak giderim verimini azaltabileceği belirtilmiştir (Ajmal vd., 2016; Kavitha ve Palanisamy, 2011; Zainudin vd., 2010; Ziylan vd., 2015). Buna ilaveten, partiküllerin kendi aralarındaki etkileşimi, aktif partiküllerin pasif hale getirmektedir. Bu durumda boyar madde giderimini azaltabilmektedir (Neppolian vd., 2002). Bunun yanı sıra, yüksek miktarlarda Nano-TiO₂ kullanıldığında, adsorpsiyon için reaksiyona girebilecek molekül kalmayacaktır. Bunun iki sebebi vardır: birincisi; fazla katalizör UV ışınmasını engelleyerek, hidroksil radikalleri azalıp giderim verimini azaltacaktır (Akpan ve Hameed, 2009). İkincisi; ışın saçınımı artmaktadır ve buna bağlı olarak UV ışın penetrasyonu azalmaktadır (Zainudin vd., 2010). TiO₂'in aşırı yüklenmesinde meydana gelen eşitlik aşağıda gösterilmiştir (Denklem 3).



Denklemden gösterilen TiO₂*; yüzeyde adsorblanan aktif türleri, TiO₂# ise TiO₂'in pasif halini göstermektedir. Aşırı katalizör yüklemelerinde meydana gelen, TiO₂'in topaklaşması ve çökmesi meydana gelmektedir (San vd., 2007). Bundan dolayı TiO₂'in yüksek dozlarda kullanımı, bu etkilerden dolayı çok kullanışlı olmadığı belirtilmiştir.



Şekil 13. Katalizör dozlarının RK 198 giderimine etkisi

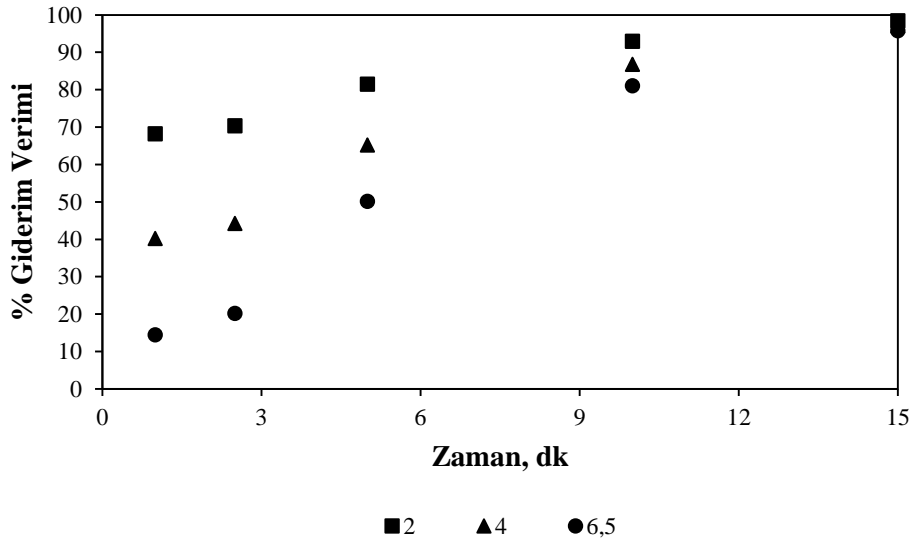


Şekil 14. Katalizör dozlarının MM giderimine etkisi

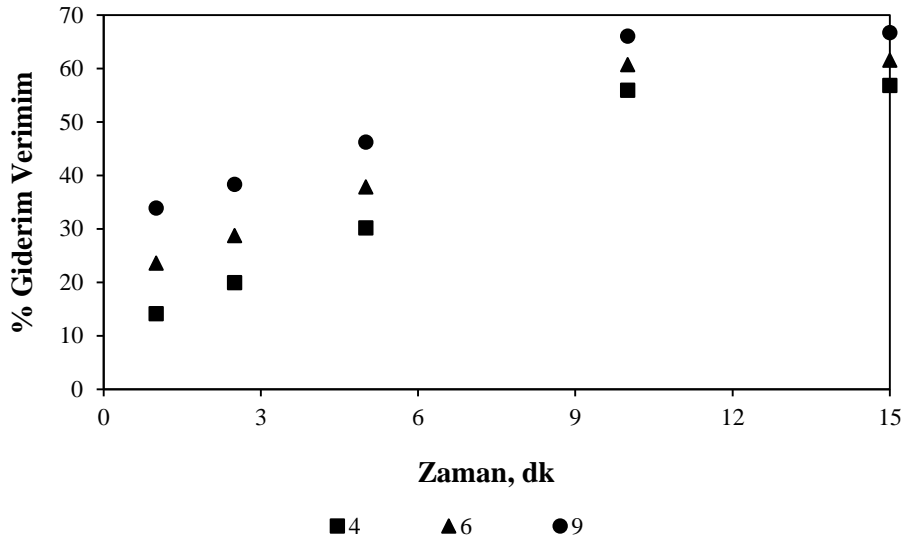
3.3.2. pH etkisi

Fotokatalitik artımda kullanılan katalizörün yüzey yük özelliklerini etkileyen pH değeri önemli parametrelerden biridir. Çözelti pH değerinin değişimi, boya moleküllerinin bozunması ve kullanılan katalizörün yüzey özelliklerine göre değişmektedir (Hamad vd., 2016). Titanyum dioksitin yüzey yükü çözelti pH değerinin bir fonksiyonudur. Nanopartikül sulu çözeltiye daldırıldığında, yüzey yükünün oluşumu ve partikül ile çözelti arasında elektriksel potansiyel ile sonuçlanan yüzey iyonlaşması meydana gelmektedir. Katalizörün yüzeyindeki iyonlaşma durumu asidik ve alkali şartlarda protonlaşma ve deprotonlaşma şeklindedir.

Kullanılan TiO₂ katalizörünün doğal yapısından dolayı, işletim pH değerindeki herhangi bir değişiklik katalizörün yüzey yükünü etkilemektedir. Birçok kaynakta belirtildiği gibi, p_Hpzc değeri pH etkisi çalışmalarında kullanılmıştır (Chong vd., 2009; Ochuma vd., 2007). p_Hpzc değerinde, katalizör partikülleri ile sudaki kirleticiler arasındaki etkileşim elektrostatik güç olmadığından dolayı minimum seviyededir. pH < p_Hpzc olduğu durumlarda, katalizörün yüzey yükü pozitifle yüklenecek ve negatif yükü yüklenmiş kirleticiler ile elektrostatik etkileşim meydana gelecektir. TiO₂ ile anyonik organik bileşikler arasındaki etkileşimler, fotokatalitik reaksiyonlar sonucu meydana gelen fotonların aktif katalizör yüzeyine adsorpsiyonunu artırmaktadır (Hamad vd., 2016). pH > p_Hpzc olduğu durumlarda ise, katalizör yüzeyinde TiO₂⁻ grupları artacak ve kolombik itmeden dolayı, anyonik kirleticiler adsorplanamayacak, katyonik kirleticiler adsorplanabilecektir (Chu vd., 2007). Katalizör yüzeyi, düşük pH değerlerinde pozitif ile yükleneceğinden, anyonik boyalar gibi (Škorić vd., 2016), RK198 anyonik olduğu için katalizör yüzeyinde adsorbe olacaklar ve fotokatalitik olarak giderimi artacaktır. Aynı durumda MM boyar maddesi katyonik olacağı için, katalizör yüzeyinde tutunamayacak ve fotokatalitik giderim verimi düşük olacaktır. Şekil 15 ve 16 incelendiğinde, RK98 anyonik bir boya olduğundan, düşük pH değerinde en yüksek giderim verimi elde edilmiştir. MM boyar maddesi ise tam tersi olarak bazik pH değerlerinde elde edilmiştir.



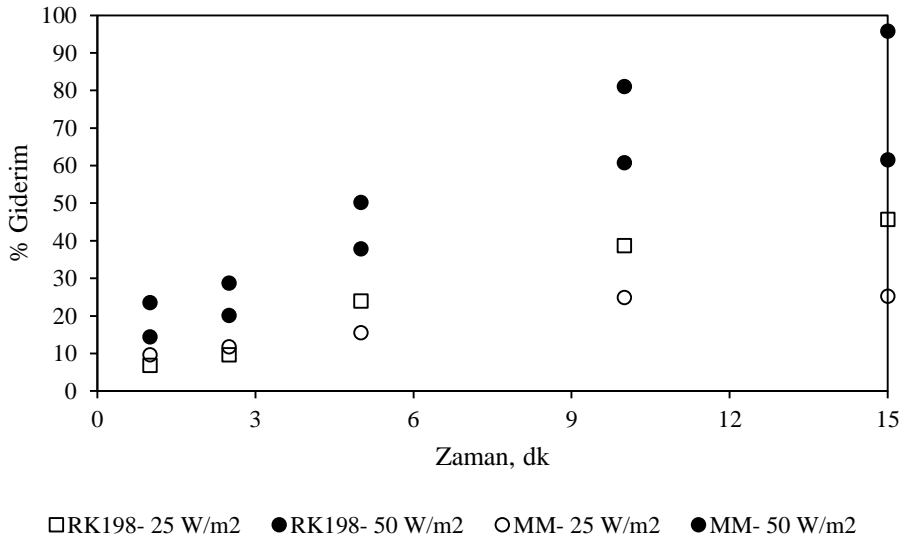
Şekil 15. Farklı pH değerlerinin RK198 giderimine etkisi



Şekil 16. Farklı pH değerlerinin MM giderimine etkisi

3.3.3. UV şiddetinin giderim verimine etkisi

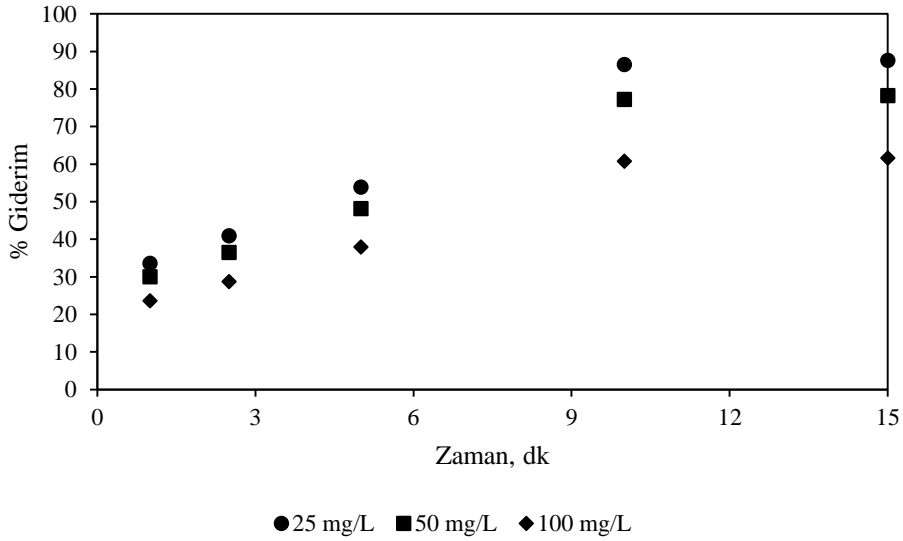
UV şiddetinin giderim verimine etkisini gözlemlemek için, güneş ışığının ortalama UV ışın şiddetine değerine yakın olan 25 ve 50 W/m² UV ışın şiddetinde çalışmalar yapılmıştır. Nano partikül üzerine daha fazla ışınma oluşmasını sağlayan UV şiddetinin artmasıyla, giderim verimi arttığı belirtilmiştir. Giderim veriminin artması UV şiddetinin fazlalaşması ile daha fazla hidroksil radikallerinin oluşumu ile açıklanmaktadır (Toor vd., 2006). Şekil 17'ye bakıldığında, UV şiddeti ile boyar madde giderim verimi arasında lineer bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir.



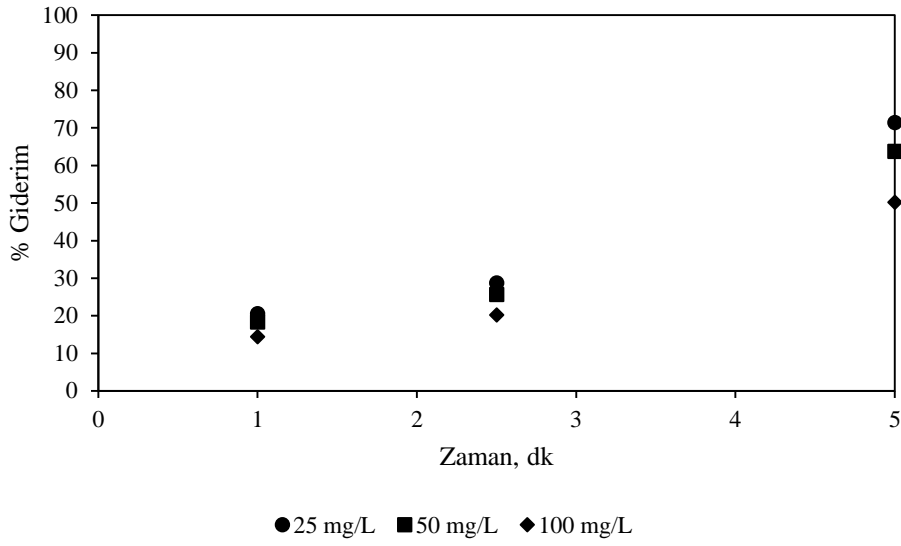
Şekil 17. Farklı UV şiddetinin giderim verimine etkisi

3.3.4. Başlangıç boyar madde derişiminin giderim verimine etkisi

Farklı boyar madde derişimlerinin giderim verimine etkisi Şekil 18’de gösterilmiştir. Boyar madde başlangıç derişimi 25-100 mg/L arasında olduğunda, RK198 boyar maddesi için giderim verimi % 87’den 61’e (15 dk); MM boyar maddesi için giderim verimi ise % 71’den 50’ye (5 dk) düŐtüĐü gözlemlenmiştir (Şekil 18-19). Nanopartikül yüzeyindeki aktif alanların dolması sorpsiyonu etkisiz kılmakta ve dolayısıyla giderim verimi başlangıç boyar madde konsantrasyonunun artması ile düŐmektedir (Siahpoosh ve Soleimani, 2017). Bu olay yüksek boyar madde derişimlerinde, çözelti içerisine giren ışık uzunluğunun azalması ve ışık verimliliğini d Ők etkinliği olmasından kaynaklanmaktadır (Hu vd., 2017; Muruganandham vd., 2006). Buna ilaveten, TiO₂ yüzeyinde oluşan hidroksil radikalleri azalmakta ve giderim verimi düŐmektedir (Toor vd., 2006). Benzer sonuçlar literatürde yer alan diğer çalışmalarda da gözlemlenmiştir (Chekir vd., 2017; Hu vd., 2017; Siahpoosh ve Soleimani, 2017).



Şekil 18. Farklı başlangıç boyar madde derişiminin RK198 giderim verimine etkisi



Şekil 19. Farklı başlangıç boyar madde derişiminin MM giderim verimine etkisi

3.4. Kinetik Çalışmalar

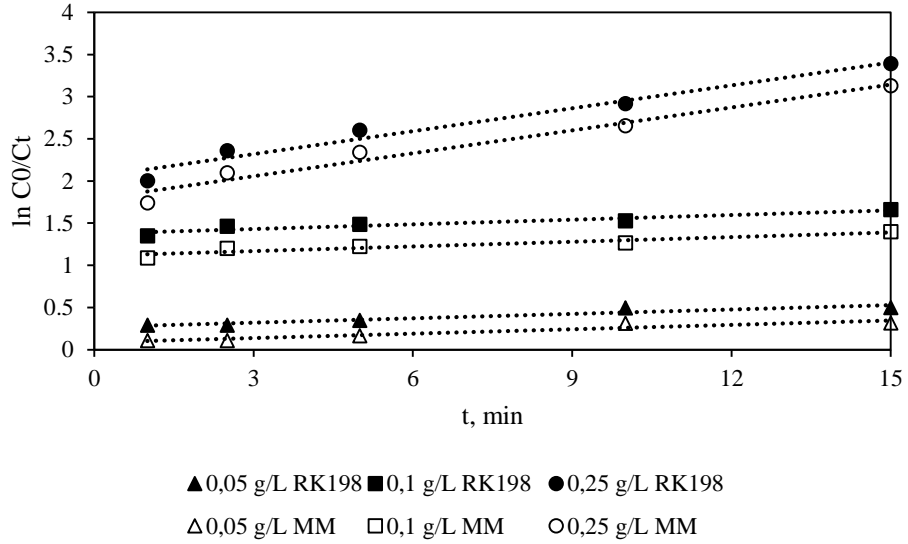
Boyar maddelerin sıvı-katı ara yüzeyde heterojen katalitik giderimi, Langmuir–Hinshelwood hız kinetiğine uymaktadır (Kerkez-Kuyumcu vd., 2015). TiO₂ katalizörü eşliğinde, boyar maddelerin sono ve fotokatalitik olarak gideriminde uygulanan kinetik çalışmalar, literatürdeki diğer çalışmalarda (Bessegato vd., 2015; Chekir vd., 2017; Duta ve Visa, 2015; Karnjkar vd., 2015; Kerkez-Kuyumcu vd., 2015; Lee vd., 2015; Ollis vd., 2016; Pol vd., 2016) bahsedilen Langmuir Hinshelwood kinetiğine göre hesaplanmıştır. Langmuir–Hinshelwood kinetik modeli aşağıdaki denkleme göre açıklanmıştır (Denklem 4) (Hadjltaief vd., 2016).

$$r = -\frac{dC}{dt} = \frac{CKkr}{1 + KC} \quad (4)$$

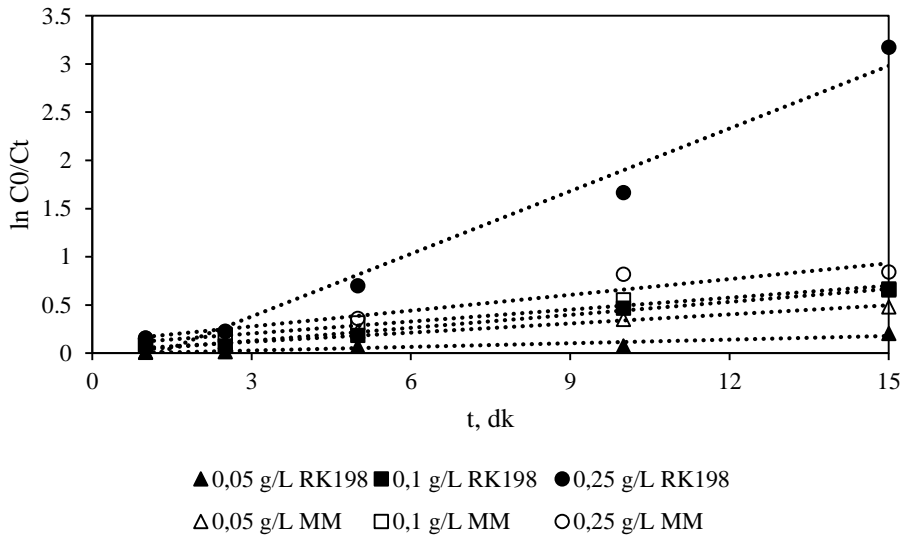
Denklemden verilen katsayılar; r; bozunma hızı, K katalizör yüzeyinde adsorplanan moleküllerin denge sabiti ve kr reaksiyon hız katsayısını ifade etmektedir. Bu eşitlik lineerleştirildiğinde (Denklem 5);

$$\frac{\ln C_0}{C} \approx krKt = k't \quad (5)$$

Kinetik model zaman (t) verilerine karşı $\ln(C_0/C)$ grafiği çizilerek elde edilmiştir. C_0 ; başlangış boyar madde derişimini, C ise t zamanındaki boyar madde derişimini ifade etmektedir. Şekil 20 ve 21'e bakıldığında $\ln(C_0/C)$ ve t zamanı arasında lineer bir ilişki olduğu görülecektir. Denklemnin eğimi 1. Derece hız sabiti değeridir (k, dk-1). Sono ve fotokatalitik sistem için, elde edilen kinetik katsayılar Tablo 4 ve 5'te verilmiştir.



Şekil 20. Lineerleştirilmiş Langmuir-Hinshelwood grafiği (Sonokatalitik sistem için)



Şekil 21. Lineerleştirilmiş Langmuir-Hinshelwood grafiği (Fotokatalitik sistem için)

Tablo 4. Kinetik katsayılar (MM boyar maddesi)

Sistem/Doz	US		UV	
	k (dk ⁻¹)	R ²	k (dk ⁻¹)	R ²
0,05 g/L	0,0175	0,9102	0,0317	0,9644
0,1 g/L	0,0185	0,8983	0,0412	0,9670
0,25 g/L	0,0904	0,9669	0,0546	0,9172

Tablo 5. Kinetik katsayılar (RK198 boyar maddesi)

Sistem/Doz	US		UV	
	k (dk ⁻¹)	R ²	k (dk ⁻¹)	R ²
0,05 g/L	0,0175	0,9102	0,0127	0,8848
0,1 g/L	0,0185	0,8983	0,0449	0,9814
0,25 g/L	0,0904	0,9669	0,2167	0,9764

3.5. Termodinamik Parametrelerin Belirlenmesi

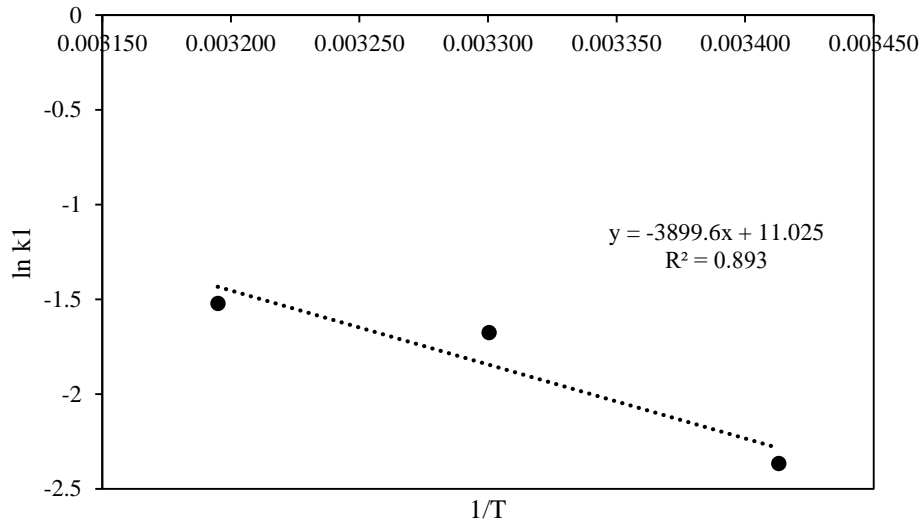
Termodinamik parametrelerin belirlenmesinde; Serbest enerji değişimi (ΔG^0), entalpi değişimi (ΔH^0) ve entropi değişimi (ΔS^0) aşağıda belirtilen eşitliklerde verilmiştir (Basturk ve Karatas, 2015; Karatas vd., 2012; Siahpoosh ve Soleimani, 2017) (Denklem 6-8).

$$\Delta G = -R T \ln k \quad (6)$$

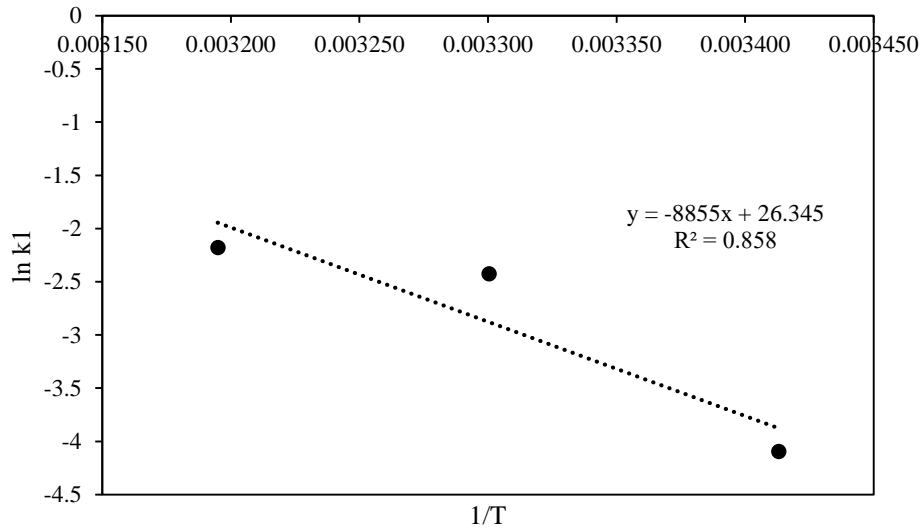
$$\ln k = \ln A - (E_a/RT) \quad (7)$$

$$\ln k = (\Delta S/R) - (\Delta H/RT) \quad (8)$$

Eşitliklerde bahsedilen, R; gaz sabiti (8,314 J mol⁻¹ K⁻¹), T; sıcaklık (K), k; langmuir sabiti (mol L⁻¹) dir. ln k'ya karşı 1/T grafiği çizildiğinde, elde edilen grafiğin eğimi ve kesim noktası ΔS^0 ve ΔH^0 değerlerini vermektedir (Denklem 4). ΔS^0 , ΔH^0 ve ΔG^0 değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6 ve 7'deki verilere bakıldığında entalpi değişimi negatif değerde olduğu görülmektedir. Değerin negatif olması sistemin ekzotermik olduğunu göstermektedir. Negatif entropi değerleri ise adsorbe edilen türlerin azaldığının işareti olabilmektedir. Pozitif ΔG^0 değerleri ise prosesin kendiliğinden olmadığını göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında, bilinmeyen reaksiyonlarında var olduğu kabul edilerek, boyar madde giderimindeki reaksiyon basamakları kompleks olduğundan dolayı kesin ifadeler kullanılamamaktadır.



Şekil 22. 1. dereceden hız sabitine karşılık ($\ln[k_1]$) sıcaklık ($1/T$) grafiği (MM)



Şekil 23. 1.dereceden hız sabitine karşılık ($\ln[k_1]$) sıcaklık ($1/T$) grafiği (Reaktif Kırmızı 198) (şekil başlığı iki satıra sola dayalı yazılmalıdır).

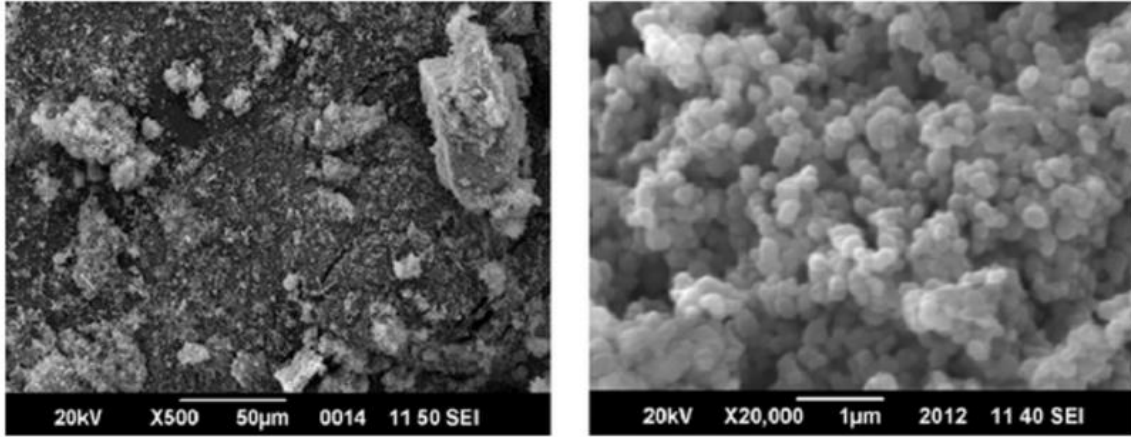
Tablo 6. Termodinamik katsayılar (US prosesi)

Sıcaklık	MM			RK198			
	ΔS^0 (kJ/mol K)	$\Delta H^0 - E_a$ (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	ΔS^0 (kJ/mol K)	ΔH^0 (kJ/mol)	E_a	ΔG^0 (kJ/mol)
273			9,977				5,765
293	- 0,0916	- 32,421	6,11	- 0,219	- 73,62		4,22
303			5,672				3,96

Tablo 7. Termodinamik katsayılar (UV prosesi)

Sıcaklık	MM			RK198		
	ΔS^0 (kJ/mol K)	$\Delta H^0 - E_a$ (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	ΔS^0 (kJ/mol K)	$\Delta H^0 - E_a$ (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)
273			4,249			6,302
293	- 0,0132	- 0,357	4,383	- 0,0010	- 6,578	6,211
303			4,514			6,285

Çalışmada ayrıca katalizör üzerindeki reaksiyonların etkisini gözlemlemek için SEM görüntüleri aşağıdaki gibi verilmiştir.



Şekil 24. US/TiO₂ uygulama öncesi ve sonrası SEM görüntüleri

4. SONUÇLAR

İleri oksidasyon sistemleri son zamanlarda renk gideriminde kullanılan sistemlerden biridir. Bu çalışmamızda ileri oksidasyon sistemlerinden US/Nano TiO₂ ve UV/ Nano TiO₂ sistemleri ile klasik arıtma sistemlerine dirençli olan katyonik ve anyonik boyalardan Metilen Mavisi ve Reaktif Kırmızı 198 boyar maddelerinin renk giderimi hedeflenmiştir. İşletim parametrelerine bakıldığında, iki çalışma da farklı katalizör dozu ve pH çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen optimum şartlar, US/Nano TiO₂ prosesi için, katalizör dozu; 0,1 g/L (RK198), 0,25 g/L (MM); pH 6,5 (RK198-MM) değerleridir. UV/Nano TiO₂ prosesi için, katalizör dozu; 0,25 g/L (RK198-MM); pH 2 (RK198), 9 (MM) değerlerdir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, katalizör dozunun artması ile giderim veriminin arttığı gözlemlenmiştir. pH değerlerine bakıldığında, kullanılan katalizörün pH_{pzc} değerine göre sulu çözeltide yüklendiği değer ve kirleticinin anyonik ve katyonik olmasına göre farklı pH değerlerinin etkin olduğu gözlemlenmiştir.

Farklı kimyasal yapıda olan boyar maddelerin ileri oksidasyon yöntemlerinden UV/TiO₂ ve US/TiO₂ sistemi kullanılarak giderimi hedeflenmiştir. Bu tür reaksiyonlarda, daha fazla yüzey alanına sahip malzemelerde fotokatalitik ve sonokatalitik reaksiyonlar için daha fazla alan oluşturacağı için daha iyi performans sağlamaktadırlar. Bunun sonucunda, bizim çalışmamızda olduğu gibi katalizör olarak TiO₂ malzemesinin nanoboyuttaki formu uygulanmıştır. Kullanılan nano boyuttaki TiO₂'in, arıtım süresince geri kazanımı ve ayrımının zor olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Uygulanan arıtım sistemlerindeki bu problemin çözümü olarak TiO₂ maddesinin filmlere, poroz yapılı destek malzemelerine veya membranlara sabitlemek için çok farklı yöntemler geliştirilmiştir. Nano yapıdaki TiO₂ malzemeleri için sol-jel kaplama, hidrotermal sentezleme, elektroforetik kimyasal buhar, püskürtmeli depolama ve aerosol kaplama gibi yöntemlerle sabitleyerek bu dezavantaj giderilebileceği araştırmalar ile desteklenmektedir. Fakat bu yöntemlerin uygulamaları pahalı yöntemlerdir ve bilim adamları bu yöntemleri daha uygulanabilir hale getirmek için çalışmalar sürdürmektedirler.

KAYNAKLAR

- Abdullah, A. Z., Ling, P. Y. 2010. "Heat treatment effects on the characteristics and sonocatalytic performance of TiO₂ in the degradation of organic dyes in aqueous solution". *Journal of Hazardous Materials*, 173(1–3), 159–167.
- Arıman, A. 1998. "Importance of Nanoparticles". İçinde D. Wilconsin (Ed.), *Progress in Particle and Nuclear Physics*. New York: Pergamon.
- Clark, C. 2010. "Physicists Crack Another Piece of The Glass Puzzle". <https://www.rdmag.com/news/2012/10/physicists-crack-another-piece-glass-puzzle>. Son erişim tarihi: 18 Mart 2019.
- Khataee, A., Karimi, A., Arefi-Oskoui, S., Darvishi Cheshmeh Soltani, R., Hanifehpour, Y., Soltani, B., Joo, S. W. 2015. "Sonochemical synthesis of Pr-doped ZnO nanoparticles for sonocatalytic degradation of Acid Red 17". *Ultrasonics Sonochemistry*, 22, 371–381.
- Sertöz, S. 2008. "*Matematiğin Aydınlik Dünyası*" (28. Basım). Ankara: Tübitak Yayınları.
- Solmaz, A. 2019. "*Mikroalgal Batık Membran Fotobiyoreaktör ile Biyokütle Üretimi ve Nutriyent Giderimi*". Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray Üniversitesi, Aksaray.

Referans verme stili konusunda kesin bir kural olmamakla birlikte, kendi içerisinde tutarlı olma zorunluluğu aranır. Tübitak Bibliyografik Verilerin Düzenlenmesi Esasları (<http://www.tubitak.gov.tr/tr/duyuru/bibliyografik-verilerin-duzenlenmesi>) dikkate alınarak Mendeley Programı yardımıyla hazırlanmıştır. Aksaray Üniversitesi lisans üstü tez yazım kılavuzlarındaki ilgili referans verme kuralları da uygulanabilir.

EKLER

Ek 1. Yasal izin belgesi

Ek 2. Anket formu

(Varsa Anket formu, yasal izin belgesi, etik kurul onayı, ham veriler, anket formu vs. ekler kısmına eklenmelidir)



T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ
SONUÇ BİLGİ FORMU

Proje Kodu	:2016/046
Proje Yürütücüsü	:Prof. Dr. Mustafa IŞIK
Proje Başlığı	:Reaktif Kırmızı 198 ve Metilen Mavi Boyar Maddelerinin Fotokatalitik ve Sonokatalitik Olarak Giderilmesi
Proje Ekibi	:Doç. Dr. Cemal KARADENİZ Dr. Öğr. Üyesi Emine BAŞTÜRK Cemile KARAGÖZ
Proje Süresi (Başlama-Bitiş)	:1 yıl
Proje Bütçesi	:10.000 TL
Kullanılan Bütçe	:9999.97 TL
Kalan Bütçe	:0.02 TL
Projeden Üretilen Yayın Bilgisi	:

Karagöz, C., Bastürk, E., Işık, M., Karadeniz, C. 2019. "Removal of aniline (Methylene Blue) and azo (Reactive Red 198) dyes by photocatalysis via nano TiO₂". *Desalination and Water Treatment*, 143(1), 306-313, Science Citation Index Expanded.

Karagöz, C., Baştürk, E., Işık, M., Karadeniz, C. 2018. "Reaktif Kırmızı 198 Ve Metilen Mavi Boyar Maddelerinin Sonokatalitik Olarak Giderilmesi". *Uluslararası Su ve Çevre Kongresi*, 22-24 Mart 2018, Bursa-TURKİYE. Bildiri Kitabı, (Poster Bildiri).

Unvan, Adı Soyadı	Tarih	İmza
Prof. Dr. Mustafa IŞIK	30/03/2019	