

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 051201 (794-801)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 051201 (794-801)

DOI: 10.35414/akufemubid.762059

Araştırma Makalesi / Research Article

Reaktif Red 180 Boyar Maddesi İçeren Sulu Çözeltilerin Fotokatalitik ve Foto-Fenton Prosesleriyle Renk ve KOİ Gideriminin Karşılaştırmalı İncelenmesi

İbrahim DEMİR^{1*}, Yasin AYTEPE²^{1*} Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Afyonkarahisar.² Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.Sorumlu yazar e-posta: ibrahimdemir75@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2709-8223>e-posta: yasinaytepe@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7162-8119>

Geliş Tarihi: 01.07.2020

Kabul Tarihi: 19.10.2020

Öz

Anahtar kelimeler

Fotokatalitik; Foto-Fenton; Foto katalizör; Oksidasyon; Renk Giderimi

Bu çalışmada, tekstil endüstrisinde kullanılan Reaktif Red 180 boyar maddesinin sulu çözeltilerinde Fotokatalitik ve Foto-Fenton oksidasyon yöntemleriyle renk ve kimyasal oksijen ihtiyacı giderim verimleri incelenmiştir. Reaktif Red 180 boyar maddesinin Fotokatalitik deneylerinde 100 ppm boya konsantrasyonu için pH ve foto katalizör konsantrasyonu denemeleri yapılmıştır. Optimum pH ve foto katalizör konsantrasyonunda renk ve kimyasal oksijen ihtiyacı giderimleri incelenmiştir. Foto-Fenton deneylerinde ise 100 ppm boya konsantrasyonu için pH, H₂O₂ konsantrasyonu ve Fe²⁺ konsantrasyonu denemeleri yapılmıştır. Belirlenen optimum şartlarda renk ve kimyasal oksijen ihtiyacı giderimleri incelenerek, foto katalitik ve foto-fenton oksidasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır.

Comparative Analysis of Color and COD Removal with Photocatalytic and Photo-Fenton Processes of Aqueous Solutions Containing Reactive Red 180 Dyes

Abstract

In this study, color and chemical oxygen demand removal efficiencies were investigated by using Photocatalytic and Photo-Fenton oxidation methods in aqueous solutions of Reactive Red 180 dyestuff used in textile industry. In photocatalytic experiments of Reactive Red 180 dyestuff, pH and photo catalyst concentration tests were performed for 100 ppm dye concentration. At optimum pH and photo catalyst concentration, color and chemical oxygen requirement removals were investigated. In Photo-Fenton experiments, pH, H₂O₂ concentration and Fe²⁺ concentration tests were performed for 100 ppm dye concentration. Photocatalytic and photo-fenton oxidation methods were compared by examining the color and chemical oxygen requirement removals at the optimum conditions determined.

Keywords

Photocatalytic; Photo-Fenton; Photo Catalyst; Oxidation; Color Removal

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Sanayileşmenin artmasına paralel olarak kullanılan su miktarı ve alıcı ortama deşarj edilen atık su miktarı da artmaktadır. (Sen vd. 2013). Artan nüfusla birlikte tekstil endüstrisi önem kazanmakta ve üretim kapasitesi artmaktadır. Özellikle tekstil

endüstrisinde boyar madde kullanımı oldukça fazladır. Tekstil üretimi sonunda arıtılmadan doğal yaşam ortamına deşarj edilen bu boyar maddeler, insan sağlığı ve çevreye önemli zararlar doğurmaktadır (Güngörmedi vd. 2009).

Atık sularda bulunan organik kirleticilerin etkili bir şekilde gideriminin yapılabilmesi için bir çok kimyasal arıtım (ileri oksidasyon prosesleri) işlemleri uygulanır. Atık sularda bulunan toksik ve ayrıştırmaya karşı dirençli kirleticilerin arıtılmasında İleri oksidasyon proseslerinin avantajı, klasik atık su arıtma yöntemlerine göre daha fazladır (Sen vd. 2013). Dünya yüzeyinin yaklaşık olarak %70' i sulardan oluşmasına rağmen, su kaynaklarındaki kirlilikler nedeniyle içilebilir su kaynakları özelliklerini giderek kaybetmektedir. (Vijayaraghavan et all. 2008).

Kirleticiler genellikle iki sınıfta incelenirler. Bunlar da organik ve inorganik kirleticilerdir. Organik su kirleticilerinin bazıları endüstriyel çözücüler, uçucu organik bileşikler, insektisitler, pestisitler, boyar maddeler gibi kirleticileri bünyesinde bulundurur. İnorganik su kirleticileri ise metal, gübre gibi asidik kirleticileri içerirler (Vijayaraghavan et all. 2008). Bu kirletici maddelerin arıtımı için çeşitli fizikokimyasal ve biyolojik yöntemlerle endüstriyel atık suların alıcı ortama deşarj edilmesinden önce arıtımı yapılmalıdır (Hai et all. 2007).

Boyar maddeler tekstil, boya, kâğıt, baskı ve kozmetik endüstrilerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Tahmini olarak yılda 280.000 ton ağırlığında çeşitli boyar madde atık sularla birlikte alıcı ortamına deşarj edilmektedir (Maas et all. 2005). Tekstil endüstrileri, yaş dokuma süreçlerinde kullanılmak üzere çok büyük miktarlarda su ve kimyasal tüketmektedir. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik yapılarıdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atık suların özellikleri de farklılık göstermektedir (Kocaer vd. 2002). Ortaya çıkan bu renkli atık suların yeterli arıtımı yapılmadan alıcı sulara verilmesi sucül ortamlarda yaşayan canlılara ve insanlara doğrudan ve dolaylı olmak üzere kanserojenik, toksik, mutajenik etkileri görülebilir. Bunun yanı sıra bu durum estetik açıdan da çevreye zarar vermektedir (Fernandes et all 2004, Safarikova et all. 2005).

Kimyasal yapılarındaki azo bağları nedeniyle parçalanmaya karşı dirençli olan boyar maddeler,

çevrede birikme yapabilirler. Asidik ve bazik şartlar altında kararlı olmaları, aerobik parçalanmaya, ısı ve ışığa karşı dayanıklılık göstermeleri boyar maddelerin konvansiyonel arıtma yöntemleriyle arıtılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenlerle bazı durumlarda reaktif boyar madde arıtım işleminden %90 gibi yüksek oranda arıtılmadan çıktığı bilinmektedir (Ertuğrul vd. 2009).

Tekstil endüstrisi başta olmak üzere endüstriyel atık suları akarsu, deniz ve alıcı ortamlara deşarj edilmeden önce çeşitli yöntemlerle arıtılmalı, ayrıca atık su yöntemlerine göre zehirli maddeler ve inhibitörlerden belirli oranda arıtılarak kirlilik miktarının azaltılması gerekmektedir (Uğurlu 2003).

2. Materyal ve Metot

Çalışmalarda kullanılan reaktif ve çözücüler; sodyum hidroksit, demir(II) sülfat heptahidrat, hidroklorik asit (Merck), hidrojen peroksit (Riedel-de Haen), çinko oksit ve reaktif red 180 (Sigma-Aldrich) firmasından satın alınmış ve herhangi bir saflaştırma işlemi uygulanmamıştır.

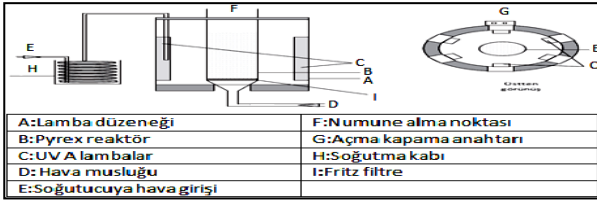
Deneysel çalışmalar HACH LANCE LT 200 Termoreaktör ile gerçekleştirilmiştir. Renk giderimlerinin ölçülmesinde HACH LANGE DR 2800 UV-Visible Spektrofotometre, pH ayarlamaları için Thermo ORION 3 STAR pH metre kullanılmıştır. Santrifüj için ROTOFIX 32 A ve SHIMADZU AUX320 hassas terazi kullanılarak deneysel aşamalar tamamlanmıştır.

2.1. Deney Düzenegi

Deneysel çalışmalarda 500 mL hacminde silindirik cam reaktör (50 cm x 4.6 cm) ve UV lamba (6 adet 8W UV-A) sistemi kullanılmıştır. Alttan beslemeli hava sistemi ile reaktör karışımı gerçekleştirilmiştir.

Düzenekte kullanılan UV lamba sistemi yüksekliği 33.5 cm ve çapı 14.3 cm' dir. İç yüzeyinde eşit mesafelerde 6 adet UV lamba konulmasına ve lamba tipini değiştirilebilmesi için hegzagonal şekilde dizayn edilerek aliminyum folyo ile kaplanmıştır.

Kullanılan lamba sistemi tek tip UV aralığına sahip olmakla birlikte, UVA (315-400 nm) olarak Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (International Commission on Illumination) sınıflandırmasında mevcuttur. Fotokatalitik ve Foto-Fenton deneyleri için deney düzeneği aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Yatmaz vd. 2013).



Şekil 1. Foto katalitik ve Foto-Fenton Oksidasyon Prosesinde UVA ışığı uygulanarak kullanılan reaktör sisteminin şematik gösterimi.

2.2. Fotokatalitik proses çalışmaları

Fotokatalitik deneylerinde 100 ppm konsantrasyondaki boyar madde çözeltisi pH 4' e 0.1 M NaOH ve HCl ile ayarlanmış, 500 ml boyar madde çözeltisi cam reaktöre konulmuştur. Daha sonra çeşitli miktarlarda ZnO katılarak, UV lambalar açılmış ve reaksiyon başlatılmıştır. Belirlenen optimum katalizör konsantrasyonunda optimum pH belirleme çalışmaları yapılmıştır. Son olarak belirlenen optimum koşullarda farklı boyar madde konsantrasyonları çalışılmıştır. Deneyler 100 dakika süreyle devam etmiştir. Her 20 dakikada bir numune alınarak 5 dk. boyunca 4000 rpm de santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminden sonra alınan numunelerin konsantrasyon değişimi, kimyasal oksijen ihtiyacı ve renk giderimi verimleri incelenmiştir.

2.3. Foto-Fenton proses çalışmaları

Foto-Fenton deneylerinde 100 ppm konsantrasyondaki pH 3' e 0.1 M NaOH ve HCl ile ayarlanmış 500 ml boya çözeltisi cam reaktöre konulmuştur. Daha sonra çeşitli miktar ve konsantrasyonlarda Fe²⁺ ve H₂O₂ çözeltisi katılarak, UV lambalar açılmış ve reaksiyon başlatılmıştır. Belirlenen optimum Fe²⁺ ve H₂O₂

konsantrasyonunda optimum pH değeri belirlenmiştir. Son olarak belirlenen optimum koşullarda farklı boyar madde konsantrasyonları çalışılmıştır. Deneyler 100 dakika süreyle devam etmiş olup, her 20 dakikada bir alınan numuneler 5 dk. süreyle 4000 rpm de santrifüj işlemi uygulanmıştır. Santrifüj işlemi sonrasında alınan numunelerin konsantrasyon değişimi, kimyasal oksijen ihtiyacı ve renk giderimi verimleri incelenmiştir.

2.4. Renk ölçümü

Renk ölçümü; spektrofotometre cihazında numuneler 10 mm olan quartz hücreye konularak 510 nm dalga boyunda absorbans birimi okunarak ölçülmüştür. Renk giderim verimleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$(1) \% RGV = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

Burada; renk giderim verimi (RGV) (%), C₀ ve C_t sırasıyla başlangıç ve t anındaki boya konsantrasyonlarıdır.

2.5. KOİ Deneyleri

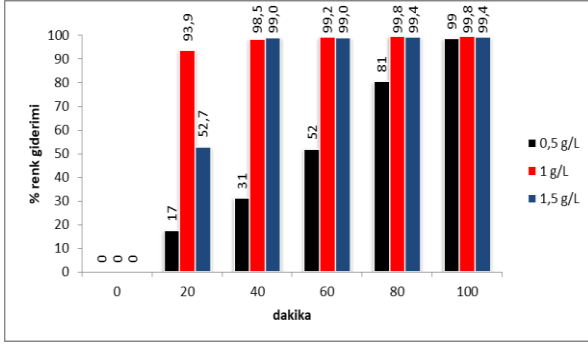
KOİ deneyleri APHA 5220 B' de belirtilen standart metot uygulanarak gerçekleştirilmiştir (Page, 1999).

3. Bulgular

3.1. Fotokatalitik deneylerinde optimum katalizör konsantrasyonu ve KOİ giderimi belirleme

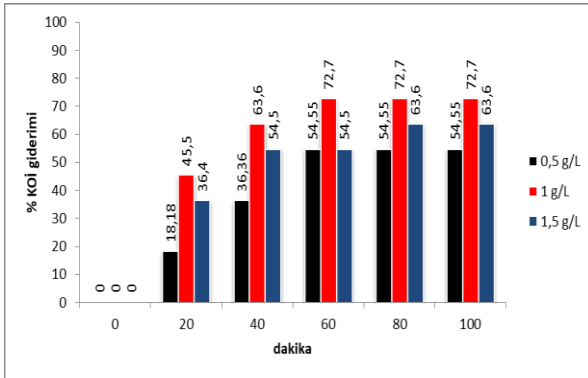
Renk ve kimyasal oksijen ihtiyacına foto katalizör konsantrasyonun etkisini incelemek amacıyla 0,5 g/L, 1g/L ve 1,5 g/L konsantrasyon değerleri

çalışılmıştır.



Şekil 2. Farklı katalizör konsantrasyonları için % renk giderim sonuçları grafiği (pH 4, 100 ppm RR180, $\lambda=510$ nm).

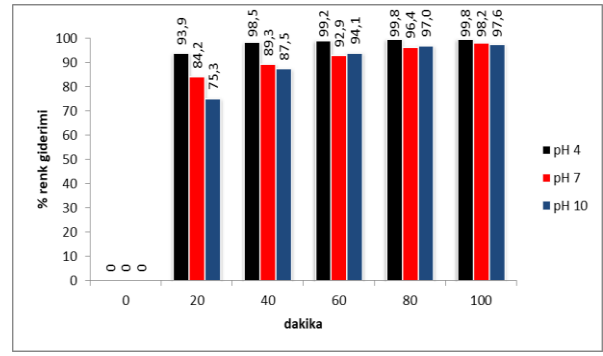
0,5 g/L katalizör konsantrasyonunda renk giderim veriminin düşük olduğu gözlenmiştir. 1 g/L ve 1,5 g/L katalizör konsantrasyonlarında sırasıyla %99,8 ve %99,4 renk giderimi elde edilmiştir. Optimum katalizör konsantrasyonu 1 g/L olarak belirlenmiştir. Bu katalizör konsantrasyonunda %99,8 renk giderim verimi ve %72,7 KOİ giderimi elde edilmiştir.



Şekil 3. Farklı katalizör konsantrasyonları için % KOİ giderim sonuçları grafiği (pH 4, 100 ppm RR180, $\lambda=510$ nm).

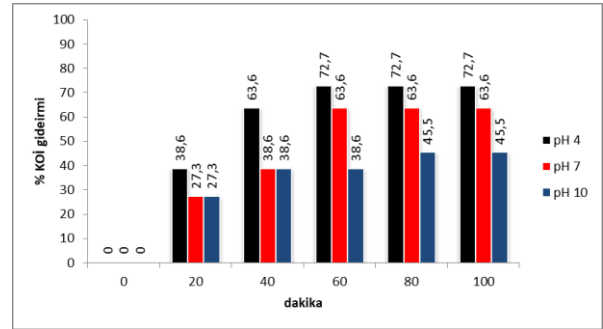
3.2. Fotokatalitik deneylerinde optimum pH belirleme

Renk ve kimyasal oksijen ihtiyacına pH etkisini incelemek amacıyla pH 4, pH 7 ve pH 10 değerleri çalışılmıştır.



Şekil 4. Farklı pH değerleri için % renk giderim sonuçları grafiği (1 g/L ZnO, 100 ppm RR180, $\lambda=510$ nm).

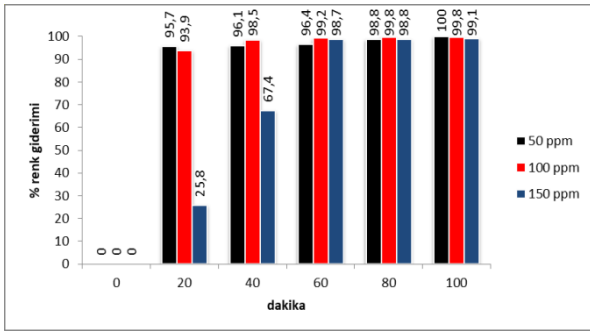
Fotokatalitik oksidasyon için optimum pH, pH 4 olarak belirlenmiştir. Bu pH değeri için %99,8 renk giderim verimi ve %72,7 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.



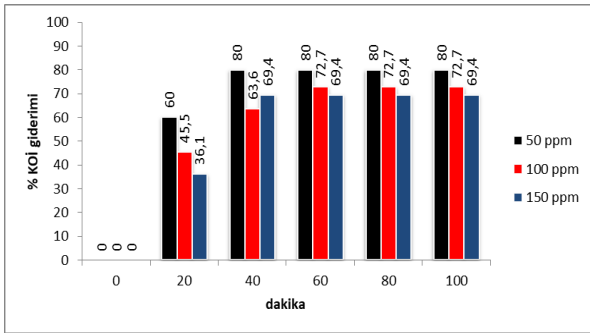
Şekil 5. Farklı pH değerleri için % KOİ giderim sonuçları grafiği (1 g/L ZnO, 100 ppm RR180, $\lambda=510$ nm).

3.3. Boya konsantrasyonu çalışması

Boya konsantrasyonları çalışmasında ise 50, 100 ve 150 ppm konsantrasyonundaki boya çözeltileri için optimizasyon çalışmaları ile belirlenen 1 g/L katalizör ZnO ve pH 4 değerlerinde renk ve KOİ giderim verimleri incelenmiştir.



Şekil 6. Farklı boya konsantrasyonları için % renk giderim sonuçları grafiği (1 g/L ZnO, pH 4, $\lambda=510$ nm).

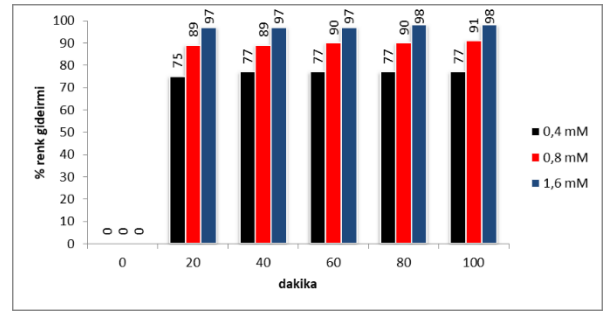


Şekil 7. Farklı boya konsantrasyonları için % KOI giderim sonuçları grafiği (1 g/L ZnO, pH 4, $\lambda=510$ nm).

Bu optimum şartlar altında 50 ppm boya çözeltisinde 100 dakikada %100 renk giderimi verimi ile 40 dakikada %80 KOİ giderim verimi gerçekleşmiştir. 100 ppm boya çözeltisinde 100 dakikada %99,8 renk giderim verimi ile 60 dakikada %72,7 KOİ giderim verimi ve 150 ppm boya çözeltisinde ise 100 dakikada %99,1 renk giderimi verimi ile 60 dakikada %69,4 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

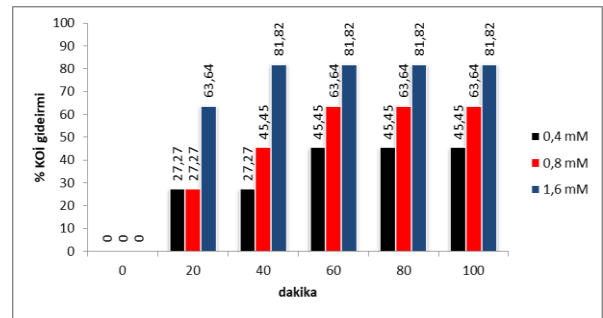
3.4. Foto-Fenton Prosesinde Optimum H_2O_2 konsantrasyonu belirleme

Foto-Fenton prosesiyle boyaların parçalanmasında H_2O_2 'nin maliyetinden dolayı uygun H_2O_2 konsantrasyonunun seçimi önemli bir noktadır. Optimum H_2O_2 konsantrasyonu belirleme çalışmalarında 0,4 mM, 0,8 mM ve 1,6 mM H_2O_2 konsantrasyonları ile denemeler yapılmıştır



Şekil 8. Farklı H_2O_2 konsantrasyonları için % renk giderim sonuçları grafiği (30 mg/L Fe^{2+} , 100 ppm RR180, pH 3, $\lambda=510$ nm).

Şekil 8. deki grafikten de görüleceği gibi en yüksek renk giderim veriminin 1,6 mM H_2O_2 konsantrasyonunda %98 ile gerçekleştiği en düşük renk giderim veriminin %77 ile 0,4 mM H_2O_2 konsantrasyonunda gerçekleştiği görülmüştür.



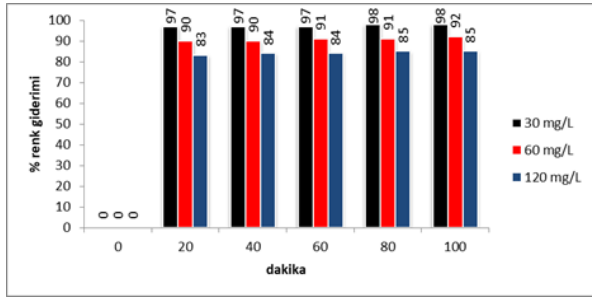
Şekil 9. Farklı H_2O_2 konsantrasyonları için % KOI giderim sonuçları grafiği (30 mg/L Fe^{2+} , 100 ppm RR180, pH 3, $\lambda=510$ nm).

Şekil 9. deki grafikten de görüleceği gibi en yüksek KOİ giderim veriminin 1,6 mM H_2O_2 konsantrasyonunda % 81,86 ile gerçekleştiği en düşük KOİ giderim veriminin % 45,45 ile 0,4 mM H_2O_2 konsantrasyonunda gerçekleştiği görülmüştür.

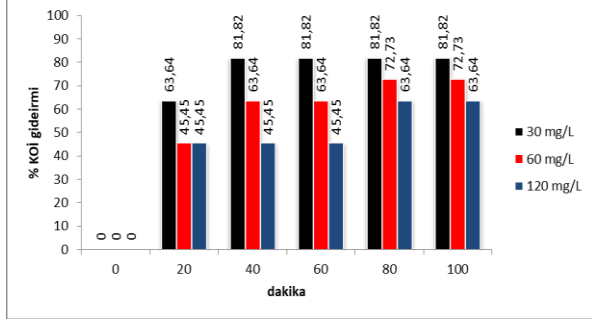
Optimum H_2O_2 konsantrasyonu olan 1,6 mM değerinde %98 renk giderim verimi elde edilmiş ve %81,82 kimyasal oksijen ihtiyacı giderim verimi elde edilmiştir.

3.5. Foto-Fenton Prosesinde Optimum Fe²⁺ konsantrasyonu belirleme

Optimum Fe²⁺ konsantrasyonu belirlemek için 30 mg/L, 60 mg/L ve 120 mg/L Fe²⁺ konsantrasyonları ile denemeler yapılmış ve en yüksek verimin 30 mg/L ile gerçekleştiği en düşük verimin 120 mg/L konsantrasyonunda gerçekleştiği görülmüştür. Optimum Fe²⁺ konsantrasyonu olan 30 mg/L değerinde %98 renk giderim verimi elde edilmiş ve %80 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.



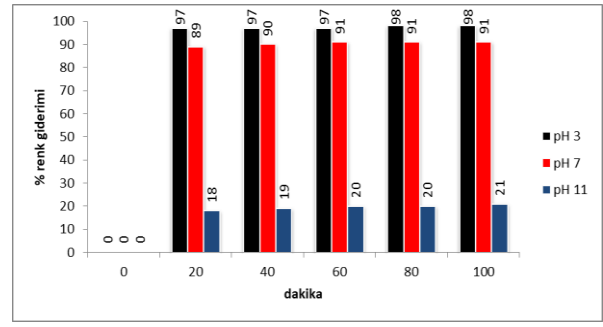
Şekil 10. Farklı Fe²⁺ konsantrasyonları için % renk giderim sonuçları grafiği (1,6 mM H₂O₂, 100 ppm RR180, pH 3, λ=510 nm).



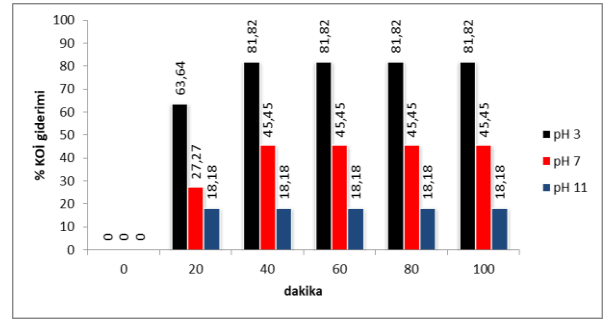
Şekil 11. Farklı Fe²⁺ konsantrasyonları için % KOİ giderim sonuçları grafiği (1,6 mM H₂O₂, 100 ppm RR180, pH 3, λ=510 nm)

3.6. Foto-Fenton Prosesinde Optimum pH belirleme

Fenton sistemleriyle üretilen OH[•] radikalleri ortam pH 'sından etkilenir. OH[•] radikalleri özellikle asidik şartlar altında etkili bir şekilde biçimlenebilir. Renk ve KOİ' na pH etkisini incelemek amacıyla pH 3, pH 7 ve pH 11 değerleri çalışılmıştır.



Şekil 12. Farklı pH değerleri için % renk giderim sonuçları grafiği (1,6 mM H₂O₂, 30 mg/L Fe²⁺, 100 ppm RR180, λ=510 nm).

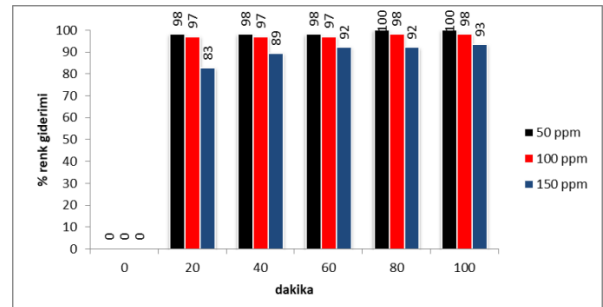


Şekil 13. Farklı pH değerleri için % KOİ giderim sonuçları grafiği (1,6 mM H₂O₂, 30 mg/L Fe²⁺, 100 ppm RR180, λ=510 nm).

Şekil 12 ve şekil 13' ten de anlaşılacağı gibi, Foto-Fenton oksidasyonu için optimum pH, pH 3 olarak belirlenmiştir. Bu pH değeri için %98 renk giderim verimi ve %81,82 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

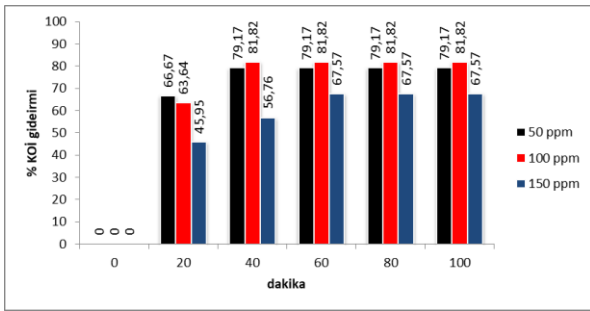
3.7. Boya konsantrasyonu çalışması

Farklı boya konsantrasyonları çalışmasında 50, 100 ve 150 ppm konsantrasyonundaki boya çözeltileri için pH 3, 30 mg/L Fe²⁺ ve 1,6 mM H₂O₂ konsantrasyonunda renk ve KOİ giderim verimleri incelenmiştir.



Şekil 14. Farklı boya konsantrasyonları için % renk giderim sonuçları grafiği (1,6 mM H₂O₂, 30 mg/L Fe²⁺, pH 3, λ=510 nm)

En düşük giderim verimi 150 ppm de olduğu görülmüştür. Farklı konsantrasyonlardaki boya çözeltileri ile yapılan çalışmada 50 ppm konsantrasyonundaki boya çözeltisi için %100 renk giderim verimi ile %79,17 KOİ giderim verimi, 100 ppm konsantrasyonundaki boya çözeltisi için %98 renk giderim verimi ile %81,82 KOİ giderim verimi, 150 ppm konsantrasyonundaki boya çözeltisi için ise %93 renk giderim verimi ile %67,57 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.



Şekil 15. Farklı boya konsantrasyonları için % KOİ giderim sonuçları grafiği (1,6 mM H₂O₂, 30 mg/L Fe²⁺, pH 3, λ=510 nm).

Şekil 13' te de görüldüğü gibi 30 mg/L Fe²⁺ ve 1,6 mM H₂O₂ konsantrasyon değerlerinde ve pH 3 değerinde 100. dakikada 50 ppm boya çözeltisinde %100, 100 ppm boya çözeltisinde %98, 150 ppm boya çözeltisinde %93 renk giderim verimi elde edilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Reaktif Red 180 boyar maddesinin Fotokatalitik ve Foto-Fenton ileri oksidasyon prosesleri ile renk ve KOİ giderim verimleri incelenerek iki prosesin birbirine karşı üstünlükleri araştırılmıştır.

Literatür incelendiğinde tekstil atık suları için, en önemli kirlilik parametresinin renk olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmada ise yeterli renk giderim verimi elde edilmiştir.

Fotokatalitik oksidasyon metodunda 100 ppm boya çözeltisi için optimum katalizör miktarının 1 g/L,

optimum boya pH değerinin 4 olduğu yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Belirlenen bu optimum şartlarda %99,8 renk giderim verimi, %72,7 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Foto-Fenton oksidasyon metodunda ise optimum Fe²⁺ konsantrasyonu 30 mg/L, optimum H₂O₂ konsantrasyonu 1,6 mM, optimum boya konsantrasyonu 100 ppm, optimum ortam pH 'sı ise 3 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu optimum koşullarda %98 renk giderim verimi elde edilirken %80 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Düşük konsantrasyon da(50 ppm) her iki oksidasyon işleminde 100 dakikada % 100 renk giderim verimi gerçekleşmiştir. Ancak yüksek konsantrasyonlara çıktıkça (150 ppm), Foto-Fenton oksidasyon işleminde renk giderim verimi % 93'e düşmektedir. Fotokatalitik oksidasyon işleminde ise % 99,1 renk giderim verimi elde edilmektedir. Her iki oksidasyon işleminin zamana göre etkinliğini inceleyecek olursak; Fotokatalitik oksidasyon işlemi 80 dakikada tüm konsantrasyonlarda etkili bir % renk giderimi gerçekleştirirken, Foto-Fenton oksidasyon işleminde ise bu süre 40 dakikaya düşmektedir. Bu durum, yüksek konsantrasyon ve daha uzun süre gerektiren işlemlerde Fotokatalitik oksidasyon işlemi, daha kısa sürelerde ve düşük konsantrasyonlarda ise Foto-Fenton oksidasyon işleminin etkili olduğunu göstermiştir.

Her iki oksidasyon işlemini % KOİ giderim verimleri yönünden karşılaştıracak olursak; düşük konsantrasyonda(50 ppm), her iki oksidasyon işleminde de birbirine yakın sonuçlar görülmüştür(% 80, % 79,17). Ancak 100 ppm çözeltide Fotokatalitik oksidasyon işleminde % KOİ giderim verimi düşerken(%72,7), Foto-Fenton oksidasyon işleminde yükselmiştir(%81,82). Konsantrasyon 150 ppm olduğunda ise; Fotokatalitik oksidasyon işleminde % KOİ giderim verimi %69,4 olurken, Foto-Fenton oksidasyon işleminde ise % KOİ giderim verimi % 67,57 olmuştur.

Bu sonuçlar yüksek konsantrasyonlarda Fotokatalitik oksidasyon işleminin % KOİ gideriminin de daha etkili olduğunu göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışmaya FEB 2014/27-YÜLTEP numaralı proje ile finansal destek sağlayan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

Ertuğrul, S., Dönmez G., 2009. Tekstil atık suyu kaynaklı bakterilerin boya ve boyar madde arıtımında kullanımı. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, **Cilt: 1** Sayı: 2, 075-082.

Fernandes, A., Mora, A., Magrinho, M., Lopes, A. and Goncalves, I., 2004. Electrochemical degradation of C. I. Acid Orange 7. *Dyes and Pigments*, **61**, 287–296.

Güngörmedi G, Şaşmaz S, Aytar P, Gedikli S, Ünal A, Çabuk A, Kolankaya N, 2009. Trametes Versicolor Biyokütlesi İle Reaktif Red 198 Boyarmaddesinin Biyosorpsiyonu. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **Cilt:XXII**, Sayı:2, 247-264.

Hai, F. I., Yamamoto K. and Fukushi K., 2007. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **37**, 315-377

Kocaer, F., O. ve Alkan, U., 2002. Boyar madde içeren tekstil atık sularının arıtım alternatifleri. Uludağ Üniversitesi *Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **Cilt 7**, Sayı 1, pp 47-55.

Maas, R., Chaudhari, S., 2005. Adsorption and biological decolorization of azo dye reaktif red 2 in semicontinuous anaerobic reactors. *Process Biochemistry*, **40**, 699–705.

Page, I., 1999, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Copyright by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Lenore S. Clesceri, WEF, Chair, Arnold E. Greenberg, APHA, Washington DC, 55-70.

Safarikova, M., Ptackova, L., Kibrikova, I., and Safarik, I., 2005. Biosorption of water-soluble dyes on magnetically modified *Saccharomyces cerevisiae* subsp. *uvarum* cells. *Chemospher*, **e 59**, 831–835.

Sen N, Bektas N, Tekbas M, Huseyin Yatmaz C, 2013. Evsel Atıksulardan Toplam Organik Karbon (TOK) Gideriminin Foto-Fenton Prosesi ile İncelenmesi. *Ekoloji*, **22**, 88, 58-64.

Uğurlu, M., 2003. Kağıt Endüstrisi Atık Sulardan Lignin ve Fenol' ün Perlit Minerali İle Giderimi. *Ekoloji*, **47**: 11-16.

Vijayaraghavan K and Yun Y. S, 2008. Bacterial biosorbents and biosorption. *Biotechnology Advances*, **26**, 266–291.

Yatmaz, C.H., Şen, N., Bektaş, N. ve Tekbaş, M., 2013. Evsel Atıksularında Toplam Organik Karbon (TOK) Gideriminin Foto-Fenton Prosesi ile İncelenmesi. *Ekoloji*, **22**, 88, 58-64.