



MR GRL boyasının Fenton ve Foto-Fenton yöntemleri kullanarak giderimi

Removal of MR GRL dye using Fenton and Photo-Fenton methods

Sayiter Yıldız^{1,*} , Gamze Topal Canbaz² 

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, MR GRL boyasının giderim verimleri Fenton, foto-Fenton prosesleri gibi farklı Fenton reaksiyonları ile incelenmiştir. Giderimin en uygun koşullarını belirlemek için H₂O₂ ve Fe⁺² miktarı, reaksiyon süresi, pH ve boya konsantrasyonu gibi değişkenler incelendi. UV ışık olarak UV-A, UV-B ve UV-C olmak üzere üç farklı ışık kaynağı kullanıldı. Çalışma için en uygun şartlar, 50 mg/L Fe⁺², 150 mg/L H₂O₂, t 30 dakika, pH 3 ve boya konsantrasyonu 100 mg/L olarak gerçekleşti. Çalışmada elde edilen giderim verimleri Fenton ve foto-Fenton (UV-A, UV-B ve UV-C) prosesleri için sırasıyla %94.2, %95.4, %96.2 ve %97.3 olarak gerçekleşti. Bu çalışma özellikle MR GRL boya gideriminde farklı UV lambaların etkisinin ortaya konulması açısından önemlidir. Çalışma, Fenton proseslerinin MR GRL'nin uzaklaştırılması için yüksek verimde ve güvenilir bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: MR GRL, Boya giderimi, İleri oksidasyon yöntemleri, UV

1 Giriş

Tekstil atıksuları genellikle çevre ve insan sağlığı üzerinde çeşitli olumsuz etkiler oluşturan çeşitli kimyasal türleri taşır [1]. Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atık su deşarj miktarı da dikkate alındığında, tüm endüstriyel sektörler arasında en kirletici olarak değerlendirilmektedir [2]. Atık sularda ilk tanımlanan kirletici madde renktir. Suda çok az miktardaki bir boyanın varlığı bile oldukça görünür ve istenmeyen bir durumdur [3]. Tekstil endüstrisinde temel boyalar, asit boyalar, azo boyalar ve dispers boyalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Maxilon Red GRL (MR GRL) bir azo boyadır ve azo grubu boyalar endüstriyel atık sularda bulunan en problemlili boyalardan biridir [4].

Maxilon boyalar, farklı aromatik radikaller içeren bir katyonik boyalar sınıfıdır. Bu sınıf boyaların suyu kirletmesi ciddi çevresel endişe yaratmaktadır ve bu durum ışığın nüfuzunu engelleyerek sucul flora üzerindeki fotosentetik faaliyetleri etkiler [5]. Son zamanlarda, maxilon boyaları içeren atık suyun arıtılması, olumsuz çevresel etkileri nedeniyle dikkatleri üzerine çekmiştir. Bu tür atık suların deşarjından önce arıtılması için çeşitli yöntemler önerilmiştir ve kullanılmıştır. Bunlar arasında pıhtılaştırma, flotasyon, kimyasal oksidasyon, çözücü ekstraksiyon, filtrasyon ve ters

Abstract

In this study, the removal efficiencies of MR GRL dye were investigated using different Fenton reactions such as Fenton and photo-Fenton processes. Various variables such as the amount of H₂O₂ and Fe⁺², reaction time, pH, and dye concentration were examined to determine the most suitable conditions for removal. Three different light sources, namely UV-A, UV-B, and UV-C, were used as UV radiation. The optimum conditions for the study were determined to be 50 mg/L Fe⁺², 150 mg/L H₂O₂, t 30 minutes, pH 3, and dye concentration of 100 mg/L. The removal efficiencies obtained in the study for Fenton and photo-Fenton (UV-A, UV-B, and UV-C) processes were 94.2%, 95.4%, 96.2%, and 97.3%, respectively. This study is particularly important for demonstrating the effect of different UV lamps on the removal of MR GRL dye. The study has shown that Fenton processes can be used as a highly efficient and reliable method for the removal of MR GRL.

Keywords: MR GRL, Dye removal, Advanced oxidation methods, UV

ozmoz gibi geleneksel yöntemler bulunmaktadır [6]. Ancak, bu yöntemler genellikle atık çamur üretir ve boyaları tamamen uzaklaştırmaz [7].

İleri oksidasyon süreçleri (İOP), geleneksel su arıtma süreçlerinin yeterince verimli olmadığı durumlarda kalıcı kirleticilerin kirlenmiş sudan uzaklaştırılması için umut verici bir seçenek olarak tanımlanmıştır. İOP'ler, kirleticilerin kimyasal yapısında derin değişiklikler üretebilen fiziko-kimyasal süreçlere dayanır ve başta hidroksil radikalleri (OH•) olmak üzere yüksek oranda oksitleyici ajanların yerinde üretilmesini ve kullanılmasını içeren süreçler olarak tanımlanır [8]. OH•, CO₂, su ve sülfürik, hidroklorik ve nitrik asitler gibi mineral asitlere tam bir mineralizasyon elde etmek için sudaki organik kirleticilere saldırmasını sağlayan doğal özelliklere sahiptir [9], [10].

Fenton prosesi OH• üretmek için H₂O₂ ve demir tuzları kullanır. Fenton yönteminin ana avantajı, bol bulunan ve toksik olmayan bir element olan demirin, kolay işlenen ve çevre dostu bir madde olan hidrojen peroksit ile birlikte kullanılmasıdır [11]. Proses, ultraviyole (UV) radyasyon, görünür ışık veya bunların bir kombinasyonunu kullandığında foto-Fenton prosesi olarak adlandırılır [12].

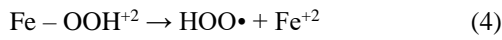
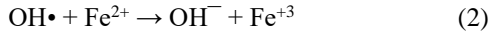
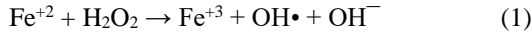
* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: sayiteryildiz@gmail.com (S. Yıldız)

Geliş / Recieved: 23.02.2024 Kabul / Accepted: 11.06.2024 Yayınlanma / Published: 15.07.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1442065

Foto-Fenton süreci $Fe^{+2}/H_2O_2/UV$ ile meydana gelen fotokimyasal bir işlemdir [13].

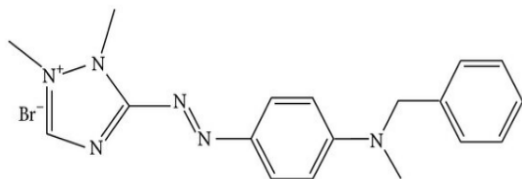
Fe^{+2} , H_2O_2 ile reaksiyona girerek organik bileşiklerin oksidasyonunu sağlayacak olan $OH\cdot$ oluşumunu sağlar. Fenton işlemi Denklem 1-4 reaksiyonlarını içerir. Yapılan çalışmalarda Ultraviyole ışık (photofenton) ile desteklenmiş Fenton reaksiyonlarının organik kirleticilerin bozunmasını arttırdığı belirlenmiştir [14].



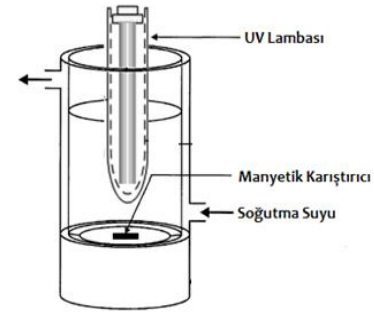
Bu çalışmanın amacı MR GRL boyasının Fenton ve foto-Fenton süreçleri ile giderimini araştırmak ve çalışma koşullarının boya giderim verimine etkisini değerlendirmektir. Sunulan çalışmada Fe^{+2} , H_2O_2 , pH, denge süresi, başlangıç kirletici derişimi gibi parametrelere ek olarak farklı UV ışık türlerinin (UV-A, UV-B, UV-C) etkisi de incelenmiştir. Deneyler üç kez tekrarlanmıştır. Sunulan veriler deneylerde elde edilen ortalama değerler olup, hesaplanan standart sapmalar şekillerde gösterilmiştir. Çalışma, Fenton ve foto-Fenton süreçlerinin MR GRL'nin uzaklaştırılması için yüksek verimde ve güvenilir bir yöntem olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

2 Materyal ve yöntem

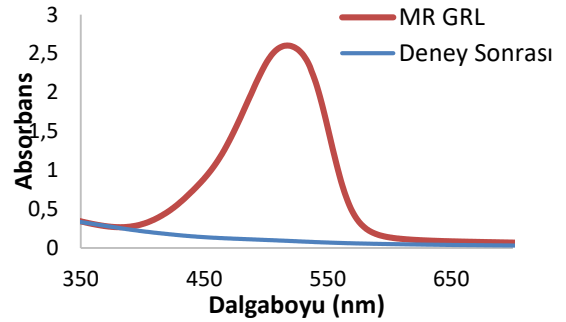
Çalışmada giderilen MR GRL boyasının kimyasal yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Çalışmada, Fenton reaktifi olarak $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (P 99%) ve H_2O_2 (P 35%) stok çözeltileri kullanılmıştır. Çözeltinin pH'sı, 0.1 N NaOH ve 0.1 N H_2SO_4 ilave edilerek ayarlanmıştır. Daha sonra sırasıyla Fe^{+2} ve H_2O_2 dozlaması gerçekleştirilmiştir. H_2O_2 dozlanmasından sonra, reaksiyon süresinin başladığı kabul edilmiştir. UV ışığı olarak farklı dalga boylarında UV-A (365 nm), UV-B (302 nm), UV-C (256 nm) ışık kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan reaktörün şematik görünüşü Şekil 2'de verilmiştir. Bu araştırmada uygulanan tüm kimyasallar analitik standarttıydı. Boya çözeltisinin renk noktası, UV-Görünür Tarama Spektrofotometresi (Merck Spectroquant Pharo 300) kullanılarak belirlenmiştir. MR GRL'nin UV-vis absorpsiyon spektrumları Şekil 3'te gösterilmektedir. Azo boyalar, UV-Vis spektroskopisi ile basit ve hızlı şekilde analiz edilebilir [15].



Şekil 1. Maxilon Red GRL kimyasal yapısı



Şekil 2. Foto-Fenton reaktörünün şematik görünüşü



Şekil 3. MR GRL'nin UV-vis absorpsiyon spektrumları

MR GRL giderme verimi Denklem 5'ye göre hesaplandı [16].

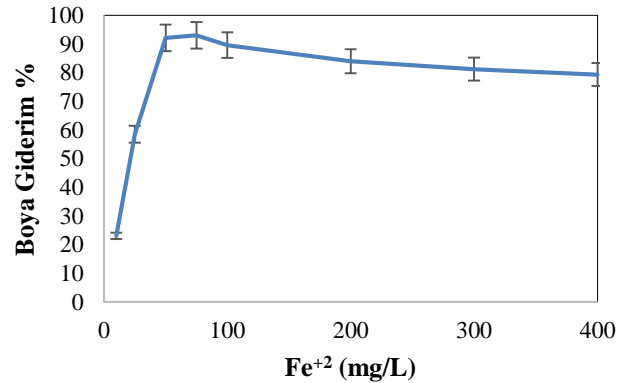
$$\text{Giderme Verimi} = \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) \times 100 \quad (5)$$

Burada; C_0 , MR GRL başlangıç konsantrasyonudur (mg/L) ve C , t (dakika) reaksiyon zamanındaki boya konsantrasyonudur (mg/L).

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Fe^{+2} miktarının etkisi

Fe^{+2} 'nin boya giderim verimi üzerine etkisini belirlemek için farklı konsantrasyonlarda (10, 25, 50, 75, 100, 200, 300, 400 mg/L) Fe^{+2} kullanılmıştır. Diğer koşullar; boya konsantrasyonu 100 mg/L, H_2O_2 150 mg/L, süre (t) 30 dk. ve pH 3 olarak belirlenmiştir (Şekil 4).



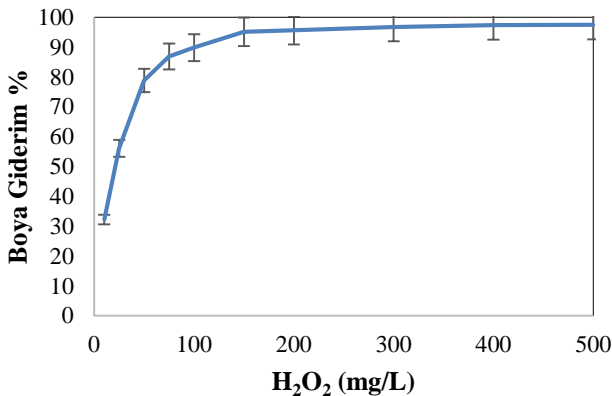
Şekil 4. Fe^{+2} miktarının giderim verimi üzerine etkisi

Fenton sürecinde, Fe^{+2} 'nin tüketilme hızı gerçekleşen reaksiyonlar ile yeniden üretilme hızından daha yüksektir [17]. Giderim için gerekli olan $OH\cdot$ 'nin sürekli üretimini sağlamak için ortamda yeterli miktarda Fe^{+2} olması gerekir [18]. Bunun yanı sıra yüksek konsantrasyonlarda Fe^{+2} 'nin $OH\cdot$ 'yi süpürme (scavenging) etkisi (Denklem 2) nedeniyle Fe^{+2} konsantrasyonu arttıkça giderim verimliliği azalır [19]. Birçok araştırmacı, çok daha yüksek bir Fe^{+2} konsantrasyonunun kullanılmasının, Fe^{+2} 'nin oksidasyonu sırasında $OH\cdot$ radikalini hidroksil iyonlarına dönüştürerek kendi kendine temizlenmesine yol açabileceğini bildirmiştir [20].

Bu çalışmada MR GRL giderim verimi 10 mg/L Fe^{+2} 'de %23 olarak belirlendi. Fe^{+2} miktarının artmasıyla giderim verimi de arttı. 25 mg/L Fe^{+2} 'de giderim verimi %58.4, 50 mg/L Fe^{+2} 'de %92.1 ve 75 mg/L Fe^{+2} 'de %93 olarak gerçekleşmiştir. Daha sonra artan Fe^{+2} miktarına rağmen giderim veriminde azalma görüldü. Giderim verimi 100 mg/L Fe^{+2} 'de %89.5, 300 mg/L Fe^{+2} 'de %81.2 ve 400 mg/L Fe^{+2} 'de %79.3 olarak gerçekleşmiştir. Su ve ark. [21], H_2O_2/Fe^{+2} oranının boya giderimini önemli ölçüde etkilediğini bildirmiştir. Dehghani ve ark. [22] ve Belayachi-Haddad ve ark. [23] yapmış oldukları çalışmalarda, Fe^{+2} konsantrasyonu arttıkça boya giderim veriminin azaldığını kaydetmiştir.

3.2 H_2O_2 miktarının etkisi

H_2O_2 miktarı Fenton reaksiyonunun verimini etkileyen önemli bir faktördür. H_2O_2 miktarının reaksiyon için gerekli olan Fe^{+2} iyonuyla uyumlu olması gerekir. H_2O_2 , Fe^{+2} iyonlarını Fe^{+3} iyonlarına oksitleyerek hidroksil radikallerinin oluşumunu başlatır [24]. Çalışmada, MR GRL giderimi için farklı H_2O_2 konsantrasyonları (10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500 mg/L) kullanılarak yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir. Çalışma Fe^{+2} 50 mg/L, boya konsantrasyonu 100 mg/L, t 30 dk. ve pH 3 sabit koşullarında gerçekleşmiştir.



Şekil 5. H_2O_2 miktarının giderim verimi üzerine etkisi

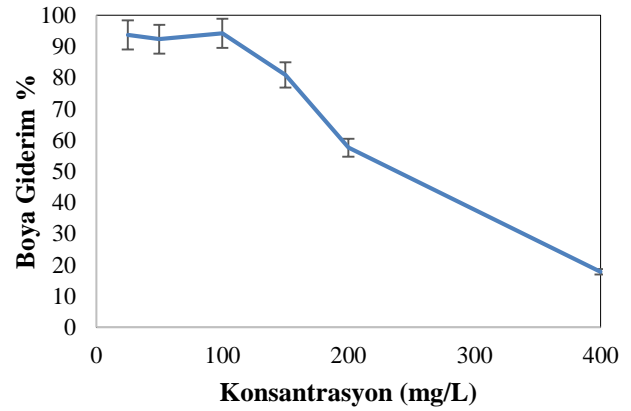
Şekil 5'te görüldüğü gibi H_2O_2 'nin belirli bir miktara kadar artırılması boya giderim verimliliğini arttırmıştır. MR GRL giderim verimlilikleri şu şekilde hesaplandı: 10 mg/L H_2O_2 için %32.2, 50 mg/L H_2O_2 için %78.7, 100 mg/L H_2O_2 için %89.8, 150 mg/L H_2O_2 için %95, 300 mg/L H_2O_2 için

%96.7 ve 500 mg/L H_2O_2 için %97.4. Genel olarak boyanın giderimi, optimum konsantrasyona ulaşıncaya kadar H_2O_2 konsantrasyonu arttıkça artar [25]. Ancak daha fazla H_2O_2 miktarı, reaksiyonu durdurarak $OH\cdot$ salınmasına neden olabilir. H_2O_2 'nin fazla kullanılması durumunda hidroksil radikallerinin oluşumu artmaz, bunun yerine H_2O_2 , hidroksil radikalleri oluşturmak yerine organik bileşikleri oksitleyebilir. Bu sebeple en uygun H_2O_2 miktarının belirlenmesi önemlidir.

Tian [26], daha yüksek dozda H_2O_2 'nin boyanın daha fazla uzaklaştırılmasına yol açtığını ancak bu etkinin belirli bir konsantrasyonda sabit kaldığını bulmuştur. Benzer şekilde Pérez-Moya [27], daha yüksek H_2O_2 dozajlarının foto-Fenton sürecinde giderim oranlarının artmasına yol açtığını gözlemlemiştir. Xu [28], H_2O_2 'nin Fe^{+2} 'ye oranının Fenton işleminin verimliliğini etkilediğini, daha yüksek oranların boyaların daha iyi bozunmasına yol açtığını bulmuşlardır. Bu çalışmalar toplu olarak H_2O_2 miktarının Fenton reaksiyonlarında önemli rolünü göstermektedir.

3.3 Boya konsantrasyonunun etkisi

Uygulama açısından, giderim veriminin boyanın başlangıç konsantrasyonuna bağımlılığını incelemek önemlidir. Fenton prosesi ile boyanın giderim verimliliği, sabit 50 mg/L Fe^{+2} , 150 mg/L H_2O_2 , t 30 min ve pH 3'te boya konsantrasyonunun (25, 50, 100, 150, 200, 400 mg/L) değiştirilmesi ile araştırılmıştır (Şekil 6).



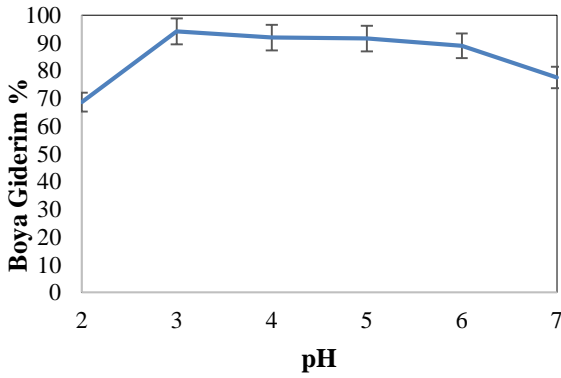
Şekil 6. MR GRL konsantrasyonunun giderim verimi üzerine etkisi

Şekil 6'da görüldüğü gibi boya konsantrasyonu arttıkça giderim verimi azaldı. 25, 50, 100, 150, 200, 400 mg/L boya konsantrasyonları için giderim verimleri sırasıyla %93.7, %92.3, %94.2, %80.8, %57.5 ve %17.8 olarak gerçekleşmiştir. Mekatel ve diğ. [29], aktifleştirilmiş kil kullanarak 25 mg/L konsantrasyonda MR GRL boyasının %97'lik adsorpsiyon oranına ulaşmış ve Koyuncu [30], silika kullanarak farklı başlangıç boya konsantrasyonlarında %47.7 ile %96 arasında değişen bir giderim verimliliği bildirmiştir. Soares ve diğ. [31] çalışmasında, yüksek boya konsantrasyonlarında giderim veriminin daha düşük olduğunu bulmuştur. Benzer şekilde Nandi ve Patel [32], boyanın giderim etkinliğinin, başlangıç boya

konsantrasyonunun artmasıyla azaldığını gözlemlemiştir. Shen ve diğ. [33], elektrolit konsantrasyonunun renk giderimi üzerindeki etkisinin voltajın etkisine benzer olduğunu ve daha yüksek boya konsantrasyonlarının giderim için daha yüksek enerji girdisi gerektirebileceğini öne sürmüştür. Talarposhti ve diğ. [34] çalışmasında iki fazlı anaerobik dolgulu yataklı reaktörde içeri giren boya konsantrasyonu arttıkça renk giderme verimliliğinin düştüğünü bildirmiştir. Bu çalışmalar toplu olarak boyanın giderim verimliliğinin boya konsantrasyonundan etkilendiğini, daha yüksek konsantrasyonların potansiyel olarak daha düşük giderim oranlarına yol açtığını ileri sürmektedir.

3.4 pH'nın etkisi

MR GRL'nin giderim verimliliği üzerinde pH'nın etkisini belirlemek için pH 2-7 aralığında incelenmiştir (Şekil 7). Diğer parametreler, 50 mg/L Fe²⁺, 150 mg/L H₂O₂, t 30 dakika ve boya konsantrasyonu 100 mg/L olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. pH'nın giderim verimi üzerine etkisi

Bu çalışmada en yüksek giderim % 94.2 ile pH 3 de elde edildi. Giderim verimleri pH 2'de %68.6, pH 4'de %91.9, pH 5'de %91.6, pH 6 da % 89.1 ve pH 7'de %77.6 olarak gerçekleşmiştir. pH 3'ün üzerinde giderim verimindeki bir miktar azalma, pH 3'ün üzerindeyken çökelti Fe(OH)₃ olduğundan OH• radikali üretimindeki azalmadan kaynaklanmaktadır (Denklem 6). Bu çökelmeyi takiben Fe³⁺'den Fe²⁺ üretimi durur ve daha sonra OH• radikali üretimi azalır [35]. Ayrıca pH arttıkça H₂O₂'nin kendi kendine bozunma hızı da artar.

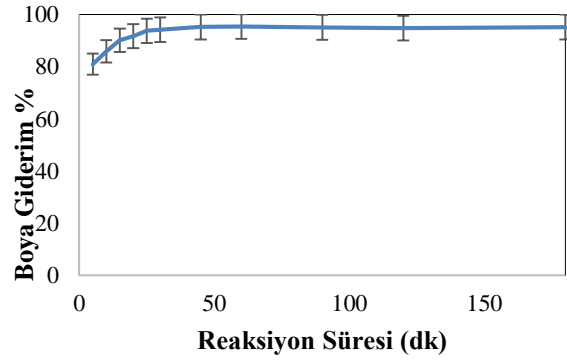


Boya giderimi için optimum pH, boya türüne ve giderim prosesine bağlı olarak değişebilir. Foto-Fenton oksidasyon prosesi için Kang ve diğ. [36], OH• oluşumu ve renk giderimi için optimum pH'ın 3 ile 5 arasında olduğunu bulmuştur. Benzer şekilde Aleboyeh ve diğ. [37], UV/ H₂O₂ işleminde en yüksek renk giderme oranlarını 3.5 ila 5.5 pH'ta gözlemledi. Özdemir ve diğ. [38] ve Kumar diğ. [39] ise sırasıyla sentetik tekstil atıksularının ve halı boyama atıksularının renk giderimi için optimum pH'ın 3 olduğunu

bildirmiştir. Ayrıca Hsueh ve diğ. [40] çalışmasında, azo boyalarının renk gideriminde Fenton ve Fenton benzeri reaksiyonlar için optimum pH'ın 2.5-3.0 civarında olduğunu belirtmiştir.

3.5 Reaksiyon süresi

Reaksiyon süresinin MR GRL'nin giderim verimliliği üzerindeki etkisi 50 mg/L Fe²⁺, 150 mg/L H₂O₂, pH 3, boya konsantrasyonu 100 mg/L ve farklı sürelerde (5, 10, 15, 20, 25, 30,45, 60, 90, 120, 180 dk.) incelenmiştir. Sonuçlara göre, en fazla boya giderim işlemi ilk 30 dakikada gerçekleşti ve bu dakikadan itibaren önemli bir değişim göstermedi (Şekil 8).

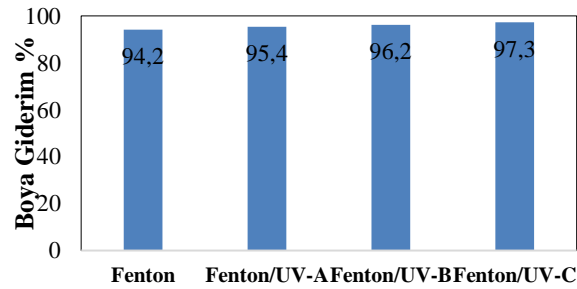


Şekil 8. Reaksiyon süresinin giderim verimi üzerine etkisi

MR GRL giderim verimi reaksiyonun 5. dakikasında %80 iken 20. dakikada %91.7 ve 30. dakikada %94.2 olarak elde edilmiştir. Reaksiyonun ilerleyen süresinde verimde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Giderim verimi 60. dakikada %95.4 ve 120. ve 180. dakikalarda ise sırasıyla %94.8, %95.2 olarak gerçekleşmiştir. Reaksiyonun başlangıcında Denklem (1) hızla gerçekleşti. Reaksiyon sonucu oluşan OH• MR GRL gideriminde kullanılmıştır. İlerleyen süre de sisteme ilave bir Fenton reaktifi eklenmediğinden bozunma yavaşlamıştır [41].

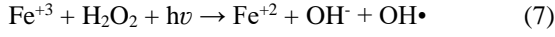
3.6 Foto-Fenton

MR GRL'nin, foto-Fenton, ile giderimi bu çalışmanın ilk aşamasında belirlenen H₂O₂ (150 mg/L), Fe²⁺ (50 mg L⁻¹), boya konsantrasyonu 100 mg/L, t 30 dk. ve pH 3 sabit değerlerinde gerçekleştirildi. Çalışmada 3 farklı UV ışık kullanıldı ve sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. UV ışık türlerinin giderim verimi üzerine etkisi

Foto-Fenton prosesinde gerçekleşen fotoliz işleminde organik bileşiklerin bozunması, gerekli olan foton enerjisini ($h\nu$) sağlayan UV varlığında oluşan $\text{OH}\cdot$ gibi reaktif türler tarafından gerçekleşir [42]. Denklem 7 foto-Fenton sürecini göstermektedir. Şekil 9'da görüldüğü gibi çalışmada foto-Fenton sürecinde gerçekleşen giderim verimleri UV-A ışıktaki %95.44, UV-B ışıktaki %96.2 ve UV-C ışıktaki %97.3 olarak hesaplandı. Foto-Fenton sürecinde klasik Fenton işlemine göre üretilen fazladan $\text{OH}\cdot$ giderim veriminin artmasına sebep olmuştur.



Boya gideriminde UV ışık kullanımının verimliliği önemli ölçüde arttırdığı çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Ananthashankar ve Ghaly [43], UV/ H_2O_2 kullanılarak Reaktif Kırmızı 120 boyasının giderim verimliliğinin %99.96 olduğunu belirtmiştir. Bagha ve Amini [44] çalışmasında, Reaktif Mavi 19 boya giderimi için O_3 ve UV/ O_3 proseslerinin arıtma verimini karşılaştırdı ve UV işleminin verimi artırdığı sonucuna vardı. Bahadori ve diğ. [45], UV kullanımının yüksek boya konsantrasyonları için, boya giderme verimliliğini daha da artırabileceğini buldu. Yapılan birçok çalışma UV ışık kullanımının, özellikle diğer işlemler veya katalizörlerle birlikte kullanıldığında, boya giderme verimliliğini önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir. UV ışığı, H_2O_2 ve Fe^{+2} 'nin reaksiyon hızını artırarak fotokatalitik etki oluşturur. Bu etki, kirleticilerin parçalanmasını hızlandırır ve böylece boya giderim verimini artırır [16]. Ayrıca UV ışığı, hidrojen peroksidin çözünmesini ve serbest radikal oluşumunu artırır. Bu serbest radikaller, organik bileşiklerle reaksiyona girerek onları parçalar ve giderim verimini artırır [19].

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, MR GRL boyanın giderimi, farklı deneysel koşullar altında Fenton ve UV-A, UV-B ve UV-C ışık kaynaklarının kullanıldığı foto-Fenton süreçleri ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın optimum koşullarını belirlemek için pH, başlangıç konsantrasyonu, H_2O_2 dozu, Fe^{+2} dozu ve reaksiyon süresi gibi ana değişkenler kullanılmıştır. Fenton oksidasyonu için en uygun koşullar 150 mg/L H_2O_2 , 50 mg/L Fe^{+2} , 100 mg/L boya konsantrasyonu, pH 3 ve t 30 dk. olarak belirlenmiştir. Fenton çalışmasında boya giderim verimi % 94.2 olarak gerçekleşti. UV-A, UV-B ve UV-C ışıklarının kullanıldığı işlemlerde gerçekleşen giderim verimleri sırasıyla % 95.4, % 96.2 ve %97.3 olarak elde edilmiştir. Daha önce fenton, fotofenton gibi ileri oksidasyon yöntemleri ile MR GRL boya giderimi çalışması yapılmamıştır. Çalışma Fenton ve Fenton benzeri süreçler MR GRL boyasının giderimi için çok umut verici süreçler olduğunu ortaya koydu. Bu durum benzer yöntem kullanarak yapılacak farklı boya giderim çalışmaları içinde umut vericidir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): % 10

Kaynaklar

- [1] M.P. da Silva, A.C.A. de Souza, L.E. de Lima Ferreira, L.M.P. Neto, B.F. Nascimento, C.M.B. de Araújo,... & M.G. Ghisland., Photodegradation of Reactive Black 5 and raw textile wastewater by heterogeneous photo-Fenton reaction using amino- Fe_3O_4 -functionalized raphene oxide as nanocatalyst. *Environmental Advances*, 4, 100064, 2021. doi: 10.1016/j.envadv.2021.100064.
- [2] K. P. Singh, D. Mohan, S. Sinha, G. S. Tondon, and D. Gosh, Color removal from wastewater using low-cost activated carbon derived from agricultural waste material. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(9), 1965–1976, 2003. doi: 10.1021/ie020800d.
- [3] I. M. Banat, P. Nigam, D. Singh, and R. Marchant, Microbial decolorization of textile-dye-containing effluents: A review. *Bioresource Technology*, 58 (3), 217–227, 1996. doi: 10.1016/S0960-8524(96)00113-7.
- [4] İ. Şentürk and M. R. Yıldız, Removal of Maxilon Red GRL dye in continuous system adsorption column using waste pine sawdust. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 4(2), 154–160, 2020. doi: 10.35860/iaiej.689639.
- [5] K.O. Iwuzor, I.P. Oyekunle, E.C. Emenike, S.M. Okoye-Anigbogu, E.M. Ibitogbe, O. Elemile,... & A.G. Adeniy, An overview of equilibrium, kinetic and thermodynamic studies for the sequestration of Maxilon dyes. *Cleaner Materials*, 6, 100148, 2022. doi: 10.1016/j.clema.2022.100148.
- [6] O. Ogunlalu, I. P. Oyekunle, K. O. Iwuzor, A. D. Aderibigbe, and E. C. Emenike, Trends in the mitigation of heavy metal ions from aqueous solutions using unmodified and chemically-modified agricultural waste adsorbents. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100188, 2021. doi: 10.1016/j.crgsc.2021.100188.
- [7] E. C. Emenike, A. G. Adeniyi, P. E. Omuku, K. C. Okwu, and K. O. Iwuzor, Recent advances in nano-adsorbents for the sequestration of copper from water. *Journal of Water Process Engineering*, 47, 2022. doi: 10.1016/j.jwpe.2022.102715.
- [8] J. M. Chacó, M. T. Leal, M. Sánchez, and E. R. Bandala, Solar photocatalytic degradation of azo-dyes by photo-Fenton process. *Dyes and Pigments*, 69(3), 144–150, 2006. doi: 10.1016/j.dyepig.2005.01.020.
- [9] S. Contreras, M. Rodríguez, E. Chamarro, and S. Esplugas, UV- and UV/ Fe(III) -enhanced ozonation of nitrobenzene in aqueous solution. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 142(1), 79–83, 2001. doi: 10.1016/S1010-6030(01)00460-9.
- [10] G. Goutailler, J. C. Valette, C. Guillard, O. Païssé, and R. Faure, Photocatalysed degradation of cyromazine in aqueous titanium dioxide suspensions: Comparison with photolysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 141(1), 79–84, 2001. doi:

- 10.1016/S1010-6030(01)00425-7.
- [11] I. Arslan, I. Akmeahmet Balcioglu, and T. Tuhkanen, Oxidative treatment of simulated dyehouse effluent by UV and near-UV light assisted Fenton's reagent. *Chemosphere*, 9(15), 2767–2783, 1999. doi: [10.1016/S0045-6535\(99\)00211-8](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00211-8).
- [12] S. Malato, J. Blanco, A. Vidal, and C. Richter, Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: An overview. *Applied Catalysis B: Environmental*, 37(1), 1–15, 2002. doi: [10.1016/S0926-3373\(01\)00315-0](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(01)00315-0).
- [13] C. C. Amorim, M. M. D. Leão, R. F. P. M. Moreira, J. D. Fabris, and A. B. Henriques, Performance of blast furnace waste for azo dye degradation through photo-fenton-like processes. *Chemical Engineering Journal*, 224(1), 59–66, 2013. doi: [10.1016/j.cej.2013.01.053](https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.01.053).
- [14] S. Yildiz, S. Kaya, G. Topal Canbaz, and M. M. Maslov, Elucidating the mechanisms of AV17 and BB41 dye degradation through combined computational and applied analyses. *Journal of Molecular Structure*, 1308, 138054, 2024. doi: [10.1016/j.molstruc.2024.138054](https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.138054).
- [15] A. Maroudas, P. K. Pandis, A. Chatzopoulou, L. R. Davellas, G. Sourkouni, and C. Argiris, Synergetic decolorization of azo dyes using ultrasounds, photocatalysis and photo-fenton reaction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 71, 2021. doi: [10.1016/j.ultsonch.2020.105367](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105367).
- [16] S. Yildiz, G. T. Canbaz, S. Kaya, and M. M. Maslov, Experimental and density functional theoretical analyses on degradation of acid orange 7 via UV irradiation and ultrasound enhanced by fenton process. *Journal of Molecular Structure*, 1277, 2023. doi: [10.1016/j.molstruc.2022.134833](https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.134833).
- [17] H. Zhang, D. Zhang, and J. Zhou, Removal of COD from landfill leachate by electro-Fenton method. *Journal of Hazardous Materials*, 135(1-3), 106–111, 2006. doi: [10.1016/j.jhazmat.2005.11.025](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.025).
- [18] K. C. Namkung, A. E. Burgess, D. H. Bremner, and H. Staines, Advanced Fenton processing of aqueous phenol solutions: A continuous system study including sonication effects. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(3), 171–176, 2008. doi: [10.1016/j.ultsonch.2007.02.009](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2007.02.009).
- [19] S. Yildiz, G. T. Canbaz, S. Kaya, and M. M. Maslov, Density Functional Theory Computations and Experimental Analyses to Highlight the Degradation of Reactive Black 5 Dye. *Chemical Engineering & Technology*, 46(10), 2133–2140, 2023. doi: [10.1002/ceat.202300120](https://doi.org/10.1002/ceat.202300120).
- [20] F. Çiner, Application of Fenton reagent and adsorption as advanced treatment processes for removal of Maxilon Red GRL. *Global Nest Journal*, 20(1), 1–6, 2018. doi: [10.30955/gnj.002332](https://doi.org/10.30955/gnj.002332).
- [21] C. C. Su, M. Pukdee-Asa, C. Ratanatamskul, and M. C. Lu, Effect of operating parameters on decolorization and COD removal of three reactive dyes by Fenton's reagent using fluidized-bed reactor. *Desalination*, 278(1-3), 211–218, 2011. doi: [10.1016/j.desal.2011.05.022](https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.022).
- [22] M. Dehghani, B. Ahmadi, Y. Zonnoon, E. Nourozi, and N. Shamsedini, Decolorization of Direct Red 81 in aqueous solutions by Fenton oxidation process: Effect of system parameters. *Iranian Journal of Health, Safety & Environment*, 6(3), 1297–1302, 2018.
- [23] A. Belayachi-Haddad, N. Bendorouche, H. Belayachi, B. Bestani, and C. Haddad, Removal of N-2RBL Nylosan red dye from aqueous solution by Fenton using response surface methodology. *Desalination and Water Treatment*, 256, 273–281, 2022. doi: [10.5004/dwt.2022.28382](https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28382).
- [24] S. Yildiz and A. Olabi, Effect of Fe²⁺ and Fe⁰ Applied Photo-Fenton Processes on Sludge Disintegration. *Chemical Engineering & Technology*, 44(1), 95–103, 2021. doi: [10.1002/ceat.202000269](https://doi.org/10.1002/ceat.202000269).
- [25] N. M. Mahmoodi, M. Arami, N. Y. Limaee, and N. S. Tabrizi, Decolorization and aromatic ring degradation kinetics of Direct Red 80 by UV oxidation in the presence of hydrogen peroxide utilizing TiO₂ as a photocatalyst. *Chemical Engineering Journal*, 112(1-3), 191–196, 2005. doi: [10.1016/j.cej.2005.07.008](https://doi.org/10.1016/j.cej.2005.07.008).
- [26] H. Tian and Y. Liu, Study on the treatment of dye wastewater using fenton reagent. *Advanced Materials Research*, 3204–3207 2012. doi: [10.4028/www.scientific.net/AMR.518-523.3204](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.518-523.3204).
- [27] F. Audino, J. Sanz, E. Parrellada, M. Graells, and M. Pérez-Moya, Influence of Fenton Reagent Ratios and of Hydrogen Peroxide Dosage on the Photo-Fenton Process Efficiency. 15th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece, 31 August to 2 September 2017.
- [28] H. Xu, T. Yu, J. Wang, and M. Li, Effect of H₂O₂/Fe²⁺ concentration ratios on fenton oxidation of reactive red 6B with on-line detective technology. *Nature Environment Pollution Technology*, 14(1), 71–76, 2015.
- [29] M. Elhadj, D. Nadjib, A. Samira, N. Djamel, and T. Mohamed, Removal of Maxilon red dye by adsorption and photocatalysis: Optimum conditions, equilibrium, and kinetic studies. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 40(1), 93–110, 2021. doi: [10.30492/ijcce.2019.37245](https://doi.org/10.30492/ijcce.2019.37245).
- [30] M. Koyuncu, Removal of maxilon red GRL from aqueous solutions by adsorption onto silica. *Oriental Journal of Chemistry*, 25(1), 35–40, 2009.
- [31] O. S. G. P. Soares, J. J. M. Órfão, D. Portela, A. Vieira, and M. F. R. Pereira, Ozonation of textile effluents and dye solutions under continuous operation: Influence of operating parameters. *Journal of Hazardous Materials*, 137(3), 1664–1673, 2006. doi: [10.1016/j.jhazmat.2006.05.006](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.05.006).
- [32] B. K. Nandi and S. Patel, Effects of operational parameters on the removal of brilliant green dye from aqueous solutions by electrocoagulation. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, 2961–2968, 2017. doi: [10.1016/j.arabjcc.2013.11.032](https://doi.org/10.1016/j.arabjcc.2013.11.032).
- [33] Z. M. Shen, D. Wu, J. Yang, T. Yuan, W. H. Wang, and J. P. Jia, Methods to improve electrochemical treatment effect of dye wastewater. *Journal of Hazardous*

- Materials, 131(1-3), 90–97, 2006. doi: [10.1016/j.jhazmat.2005.09.010](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.09.010).
- [34] A. M. Talarposhti, T. Donnelly, and G. K. Anderson, Colour removal from a simulated dye wastewater using a two-phase anaerobic packed bed reactor. *Water Research*, 35(2), 425–432, 2001. doi: [10.1016/S0043-1354\(00\)00280-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00280-3).
- [35] C. Bouasla, M. E. H. Samar, and F. Ismail, Degradation of methyl violet 6B dye by the Fenton process. *Desalination*, 254(1-3), 35–41, 2010. doi: [10.1016/j.desal.2009.12.017](https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.12.017).
- [36] S. F. Kang, C. H. Liao, and S. T. Po, Decolorization of textile wastewater by photo-fenton oxidation technology. *Chemosphere*, 41(8), 1287–1294, 2000. doi: [10.1016/S0045-6535\(99\)00524-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00524-X).
- [37] A. Aleboyeh, Y. Moussa, and H. Aleboyeh, The effect of operational parameters on UV/H₂O₂ decolourisation of Acid Blue 74. *Dyes and Pigments*, 66(2), 129–134, 2005. doi: [10.1016/j.dyepig.2004.09.008](https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2004.09.008).
- [38] C. Özdemir, M. K. Öden, S. Şahinkaya, and E. Kalipçi, Color Removal from Synthetic Textile Wastewater by Sono-Fenton Process. *Clean - Soil, Air, Water*, 39(1), 60–67, 2011. doi: [10.1002/clen.201000263](https://doi.org/10.1002/clen.201000263).
- [39] P. Kumar, T. T. Teng, S. Chand, and K. L. Wasewar, Fenton oxidation of carpet dyeing wastewater for removal of cod and color. *Desalination and Water Treatment*, 28(1-3), 260–264, 2011. doi: [10.5004/dwt.2011.2234](https://doi.org/10.5004/dwt.2011.2234).
- [40] C. L. Hsueh, Y. H. Huang, C. C. Wang, and C. Y. Chen, Degradation of azo dyes using low iron concentration of Fenton and Fenton-like system. *Chemosphere*, 58(10), 1409–1414, 2005. doi: [10.1016/j.chemosphere.2004.09.091](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.091).
- [41] S. Yıldız, G. Topal Canbaz, S. Kaya, and M. M. Maslov, A Combined Study on Degradation Mechanism of Reactive Orange 16 through Fenton-like Process: Experimental Studies and Density Functional Theoretical Findings. *ChemistrySelect*, 7(48), e202202292, 2022. doi: [10.1002/slct.202202292](https://doi.org/10.1002/slct.202202292).
- [42] S. Yıldız, H. Mihçioğur, and A. Olabi, Experimental study of oxytetracycline degradation using Fenton-like processes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 20(10), 11049–11060, 2023. doi: [10.1007/s13762-023-05099-x](https://doi.org/10.1007/s13762-023-05099-x).
- [43] R. Ananthashankar and A. Ghaly, Effectiveness of photocatalytic decolourization of reactive red 120 dye in textile effluent using UV/H₂O₂. *American Journal of Environmental Sciences*, 9(4), 322–333, 2013. doi: [10.3844/ajessp.2013.322.333](https://doi.org/10.3844/ajessp.2013.322.333).
- [44] A. R. Tehrani-Bagha and F. L. Amini, Decolorization of a Reactive Dye by UV-Enhanced Ozonation. *Progress in Color, Colorants and Coatings*, 3(1), 1–8, 2010.
- [45] E. Bahadori, M. Rapf, A. Di Michele, and I. Rossetti, Photochemical vs. photocatalytic azo-dye removal in a pilot free-surface reactor: Is the catalyst effective?. *Separation and Purification Technology*, 237, 2020. doi: [10.1016/j.seppur.2019.116320](https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116320).

