


***Pseudomonas putida* ile Üretilmiş Biyojenik Mangan Oksit Kullanarak Remazol Brilliant Blue R Giderimi**

Özlem Tepe

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

otepe@firat.edu.tr 

Makale gönderme tarihi: 16.05.2022 Makale kabul tarihi: 03.08.2022

Öz

Sentetik boya varlığından kaynaklanan su kirliliği, dünyanın en önemli çevresel sorunlarından biridir. Remazol Brilliant Blue R (RBBR), tekstil endüstrisi atıksularından salınan ve suda ciddi kirliliğe neden olan oldukça toksik boyalardan biridir. Bu çalışmada, *Pseudomonas putida* ile üretilmiş biyojenik mangan oksit (BMO) ile RBBR'nin giderimi incelenmiştir. RBBR'nin BMO ile giderimi, çeşitli çözelti pH'ı, BMO dozajı, başlangıç RBBR konsantrasyonu ve sıcaklık koşulları altında kesikli modda incelenmiştir. pH denemeleri optimum pH'ın 3 olduğunu, sıcaklık denemeleri ise adsorpsiyon prosesinin ekzotermik olduğunu ortaya koymuştur. 30 °C'de, pH 3'te, 0.5 g L⁻¹ BMO dozajında ve 200 mg L⁻¹ RBBR konsantrasyonunda 60 dakikalık denge süresi sonunda maksimum adsorpsiyon kapasitesi 155.7 mg g⁻¹'dir. RBBR giderimi sabit yataklı kolon reaktörde de incelenmiş ve besleme akış hızının etkisi araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, BMO'in su ortamından tehlikeli boyaları uzaklaştırma potansiyeline sahip olduğunu göstermekte ve aynı zamanda BMO'in gelecekteki uygulamaları için de bilimsel bir temel sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, biyojenik mangan oksit, boya giderimi

Removal of Remazol Brilliant Blue R using Biogenic Manganese Oxide Produced by *Pseudomonas putida*

Abstract

Water contamination caused by the presence of synthetic dyes is one of the world's major environmental concerns. Remazol Brilliant Blue R (RBBR) is one of the highly toxic dyes released from textile industry wastewater and causes serious pollution in water. In this study, the removal of RBBR by biogenic manganese oxide (BMO) produced by *Pseudomonas putida* was investigated. The removal of RBBR by BMO was investigated in batch mode under various solution pH, BMO dosage, initial RBBR concentration and temperature conditions. The pH trials revealed that the optimum pH was 3, and the temperature trials revealed that the adsorption process was exothermic. At 30 °C, pH 3, a dosage of 0.5 g L⁻¹ BMO and 200 mg L⁻¹ RBBR concentration, the maximum adsorption capacity is 155.7 mg g⁻¹ after 60 minutes of equilibrium time. RBBR removal was also investigated in a fixed bed column reactor and the effect of feed flow rate was investigated. These findings demonstrate that BMO has the potential to remove hazardous dyes from the aquatic environment and also provide a scientific basis for future applications of BMO.

Keywords: Adsorption, biogenic manganese oxide, dye removal

GİRİŞ

Büyük miktarda boya kalıntısı içeren tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksular, su kirliliğinin birincil kaynağı olarak kabul edilmektedir. Toksik, mutajenik ve kanserojen yapıları nedeniyle, su kütlelerinde düşük konsantrasyonlarda bile boya varlığı insan sağlığı ve su yaşamı için son derece tehlikelidir (Amar ve diğ. 2022). Remazol Brilliant Blue R (RBBR) boya, polisiklik aromatik hidrokarbona benzeyen antrakinon bazlı bir boyadır.

Başlıca toksik, kanserojen ve kalıcı organo kirleticilerden biridir. Bir kromofor ve boyanın elyafa bağlanmasını sağlayan fonksiyonel bir gruptan oluşur. Fonksiyonel grup ayrıca suya bağlanır ve bu nedenle hidrolizi tetikler, bu nedenle boyama işleminde kullanılan boya yaklaşık %10-15' inin liflere bağlanmadığı ve çevreye atıldığı tahmin edilmektedir (Özkaraaslan ve diğ., 2022). Bu nedenle, RBBR gibi sentetik boya kalıntılarının su kütlelerine

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1116875

salınmadan önce uzaklaştırılması çevre için kritik öneme sahiptir. Günümüzde, flotasyon, nanofiltrasyon, koagülasyon/flokülasyon, elektrokimyasal oksidasyon, fotokatalitik bozunma ve adsorpsiyon gibi çeşitli teknolojiler boyayla kirlenmiş suyu arıtmak için kullanılmaktadır (Amar ve diğ. 2022).

Adsorpsiyon, basitliği, düşük maliyeti ve yüksek verimliliği nedeniyle bunlar arasında tercih edilen yöntemlerden biridir. Aktif karbon, yüksek verimliliği nedeniyle birçok endüstride en yaygın olarak kullanılan adsorbenttir. Ancak, yüksek üretim maliyetleri ile bertaraf, rejenerasyon ve kayıp sorunları kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu, uygun maliyetli ve çevre dostu alternatiflere olan ihtiyacı doğurmaktadır (Amar ve diğ. 2022).

Çevresel açıdan tehlikesiz ve en bol bulunan adsorbentlerden biri mangan dioksittir (MnO_2) (Rajendiran ve diğ., 2022). Mangan (Mn) oksit mineralleri, toprak ve tortu dahil olmak üzere çeşitli doğal ortamlarda bulunur. Mükemmel adsorpsiyon ve oksidasyon özelliklerinden dolayı Mn oksitler, çevredeki organik ve inorganik maddelerin mevcudiyetinde ve kaderinde önemli roller oynar (Wang ve diğ., 2021) ve su ortamında çeşitli iyonik, organik ve inorganik kirleticileri adsorplar (Rajendiran ve diğ., 2022). Mangan oksitler (oksitler, hidroksitler ve oksihidroksitler dahil) biyojeokimyasal döngülerde önemli minerallerdir. Çözünür Mn (II) türlerinin çözünmeyen Mn (III/IV) oksitlere oksidasyonu çevresel açıdan önemli bir süreçtir. MnO_2 çeşitli organik ve inorganik bileşikleri oksitleyebilir ve bazı canlı organizmaların oksijensiz solunumu için bir elektron alıcısı olarak hizmet edebilir (Moura ve Unterlass, 2020). Mn doğal olarak Mn (II), Mn (III) ve Mn (IV) formlarında bulunur ve bunların arasında Mn (II) çözünebilirdir ve anoksik/anaerobik veya asidik koşullar altında stabildir (Li ve diğ., 2021). Çevrede Mn oksitlerin oluşumu hem abiyotik hem de biyotik Mn (II) oksidasyon süreçleri yoluyla gerçekleşebilir. Ancak, abiyotik Mn (II) oksidasyonu normal çevre koşullarında (yani pH <8) uygun değildir, ve reaksiyon hızı, biyotik Mn (II) oksidasyon sürecinden çok daha yavaştır. Bu nedenle doğal ortamlarda Mn oksitlerin oluşumuna genellikle Mn (II)-oksitleyici mikroorganizmalar katkıda bulunur (Wang ve diğ., 2021). Mangan (II), mikroalgler, mantarlar ve özellikle bakteriler dahil olmak üzere birçok canlı organizma tarafından çözünmeyen mangan oksitlere

oksitlenebilir (Li ve diğ., 2021). *Pseudomonas putida* GB1, *Bacillus* sp., *Shewanella* sp., *Marinobacter manganoxydans* Mn 17-9, *Leptothrix discophora* SS-1 gibi bakteriler mangan oksitler (Jeyaraj ve Subramanian, 2022). Çözünmüş Mn (II), mangan oksitleyen bakteriler tarafından salgılanan bakteriyel multibakır oksidazlar (MBO'lar) ile partiküler Mn (III) oksitlere daha sonra, Mn (III) oksitler, MBO'lar tarafından Mn (IV) oksitlere oksitlenir. Biyolojik işlem yoluyla üretilen Mn oksitler biyolojik ya da biyojenik Mn oksitler (yani, BMO) olarak bilinir (Xu ve diğ., 2022). Mn (IV)-oksit, Mn (III)-oksit ve Mn (II) karbonatlar içeren biyojenik Mn oksitler, bakteri hücrelerinin dışında veya endosporların yüzeyinde oluşan çökeltilerdir (Sun ve diğ., 2021). Daha geniş spesifik yüzey alanı, daha küçük partikül boyutu, daha zayıf kristallik ve daha yüksek düzensizlik derecesi nedeniyle kimyasal olarak sentetik Mn oksitlerden daha yüksek reaktivite sergileyen BMO, adsorpsiyon ve/veya oksidasyon yoluyla su ve topraktan kirleticileri uzaklaştırmak için yaygın olarak uygulanmaktadır (Li ve diğ., 2021). BMO, 1,2,4-triazol, 17 α -etinilestradiol, sülfametoksazol, diklofenak, karbofuran, kadmiyum (Cd), antimon (Sb), kobalt (Co (II)), arsenik (As (III)), kurşun (Pb (II)), çinko (Zn (II)) ve parasetamol gibi çeşitli kirleticilerin uzaklaştırılmasında başarıyla kullanılmıştır (Gülçek ve Tepe, 2022).

Bu çalışmada, kesikli ve sabit yataklı kolon reaktörlerinde yeni bir adsorbent malzeme olarak biyojenik mangan oksit kullanılarak Remazol Brilliant Blue R giderimi gerçekleştirilmiştir. Kesikli sistemde RBBR giderim verimine çözelti pH'ı, BMO miktarı, başlangıç RBBR konsantrasyonu ve sıcaklığın etkileri araştırılmıştır. Yöntemin endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliğini ortaya çıkarmak için sabit yataklı kolon reaktöründe sürekli adsorpsiyon testi yapılmış ve akış hızının RBBR giderim verimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Biyojenik Mangan Oksit Üretimi

Bu çalışmada, biyojenik mangan oksitlerin üretimi için National Center for Agricultural Utilization Research (Microbial Genomics & Bioprocessing Research Unit, Illinois, USA)'den temin edilen NRRL B-14878 kodlu *Pseudomonas putida* bakterisi kullanılmıştır. Biyojenik mangan oksit üretimi çalışmalarında kullanılan besi ortamı bileşimi önceki yayınımda ayrıntılı şekilde verilmiştir

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1116875

(Cömert ve Tepe, 2020). Biyojenik mangan oksit üretimi 100 mL çalışma hacminde 250 mL'lik erlenlerde yapılmıştır. Mangana alıştırılmış bakteri kültürü biyojenik mangan oksit üretim ortamına 1:10 oranında aktarılmış ve erlenler 30 °C ve 150 rpm'de 24 saat inkübe edilmiştir. Daha sonra MnCl₂ ile hazırlanan Mn (II) stok çözeltisinden istenen miktarda eklenmiştir. 7 gün sonra ise besi ortamı 5000 rpm'de 5 dakika santrifüjlenmiş ve 60 °C'de kurularak öğütülmüştür. Daha sonra RBBR giderim çalışmalarında biyojenik mangan oksit (BMO) olarak kullanılmıştır (Şekil 1). BMO'nun X-ışını difraktogramı, FTIR spektrumları, SEM-EDX ve XPS'si önceki çalışmamızda ayrıntılı olarak rapor edilmiştir (Cömert ve Tepe 2020).

Deneysel Çalışmalar

Tüm deneyler 30 °C'de 250 mL'lik erlenlerde yürütülmüştür. İstenen konsantrasyonda 100 mL hacminde hazırlanmış boyar madde çözeltisi erlenlere yerleştirilmiş, BMO eklenerek deneyler başlatılmıştır. Erlenler orbital bir karıştırıcıda 150 rpm'de karıştırılmıştır. Çözelti pH'ı derişik ve seyreltik H₂SO₄ ve NaOH çözeltileri kullanılarak istenilen değerlere ayarlanmıştır. İç çapı 1 cm ve yüksekliği 5 cm olan camdan yapılmış kolon reaktör kullanılarak sabit yatak kolon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Boya çözeltisi Lead Fluid BT/101S marka peristaltik pompa ile belirli akış

hızlarında kolondan geçirilmiştir. Boya giderimini izlemek için belirli zaman aralıklarında alınan numunelerden BMO'yu ayırmak için numuneler santrifüj cihazında (Nüve NF 800R) 5000 rpm hızında 5 dakika santrifüjlenmiştir. Santrifüjden sonra elde edilen supernatantın absorbans değeri Spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür. Çalışmada Remazol Brilliant Blue R boyar maddesi kullanılmıştır. Remazol Brilliant Blue R boyar madde analizi için 596 nm dalga boyu kullanılmıştır.

Hesaplamalar

Boya giderim verimi (R) aşağıdaki Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$R (\%) = \frac{C_o - C_t}{C_o} * 100 \quad (1)$$

Burada C_o başlangıç boya konsantrasyonu, C_t herhangi bir t sürede boya konsantrasyonudur.

t zamanında BMO tarafından adsorbe edilen boyar madde miktarı (q_t) ise Eşitlik 2. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_t = \frac{(C_o - C_t) V}{m} \quad (2)$$

Burada m kullanılan BMO dozajı, V ise çözelti hacmidir.



Şekil 1. Biyojenik mangan oksit

BULGULAR VE TARTIŞMA

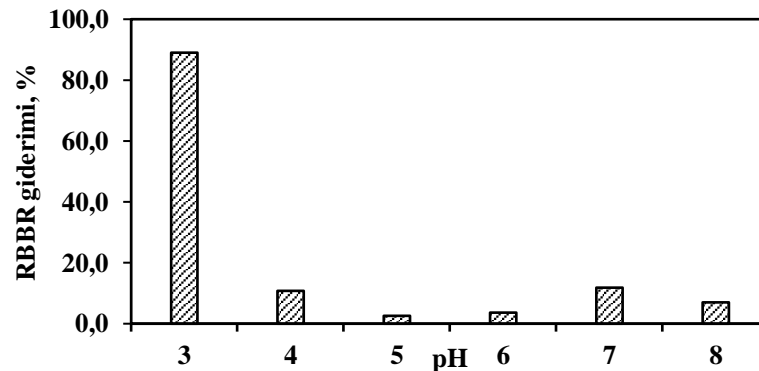
pH'in Etkisi

pH, adsorpsiyon işlemi sırasında önemli bir rol oynar. Aslında, adsorpsiyon işleminin etkinliği, pH değişiklikleri adsorbent yüzey yüklerini ve adsorplanan maddenin iyonizasyon derecesini etkilediğinde pH değerlerine bağlıdır (Romita ve diğ., 2019). Metal oksitlerin yüzey yükü de çözelti pH'ı ve metal oksitlerin pH_{pzc} değeri arasındaki ilişkiye bağlıdır (Liu ve diğ., 2015). Çözelti pH'ının BMO ile RBBR giderim verimi üzerine etkisi 3'den 8'e kadar değişen pH aralığında incelenmiştir. 25 mg L⁻¹ boyar madde konsantrasyonu ve 0.5 g L⁻¹ BMO dozajı ile deneyler yürütülmüştür. Başlangıç pH'ı ile RBBR giderim veriminin değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'den görüldüğü üzere çözelti pH'ının 3±0.02'ten 8±0.02'e artmasıyla RBBR giderim verimi azalmıştır. pH 3±0.02, 4±0.02, 5±0.02, 6±0.02, 7±0.02 ve 8±0.02 değerlerinde elde edilen RBBR giderim verimleri sırasıyla %89.1, 10.8, 2.7, 3.6, 11.8 ve 7.0'dır. Elde edilen sonuçlara göre sonraki aşamalarda uygun pH değeri 3 olarak seçilmiştir. RBBR anyonik bir boyadır ve RBBR'nin sulu çözeltideki iyonik formunun yanı sıra BMO yüzeyinin elektrik yükü çözelti pH'ına bağlı olarak değişir. Bu nedenle boya moleküllerinin iyonlaşması/protonlanması ve adsorbent yüzeyindeki fonksiyonel gruplar adsorpsiyon verimini ve adsorpsiyon kapasitesini etkiler. Sulu çözeltide, RBBR boyası $X-SO_3Na \rightleftharpoons X-SO_3^- + Na^+$ olarak ayrışır. Asidik koşullar altında, adsorbent yüzeyi pozitif olarak yüklenir. Dolayısıyla asidik koşullar altında adsorbent yüzeyindeki pozitif iyonlar ile RBBR boyasının anyonları arasındaki artan elektrostatik etkileşim nedeniyle asidik koşullarda daha yüksek giderim verimleri elde edilmiştir. Öte yandan, daha yüksek pH değerlerinde bazik ortamlar

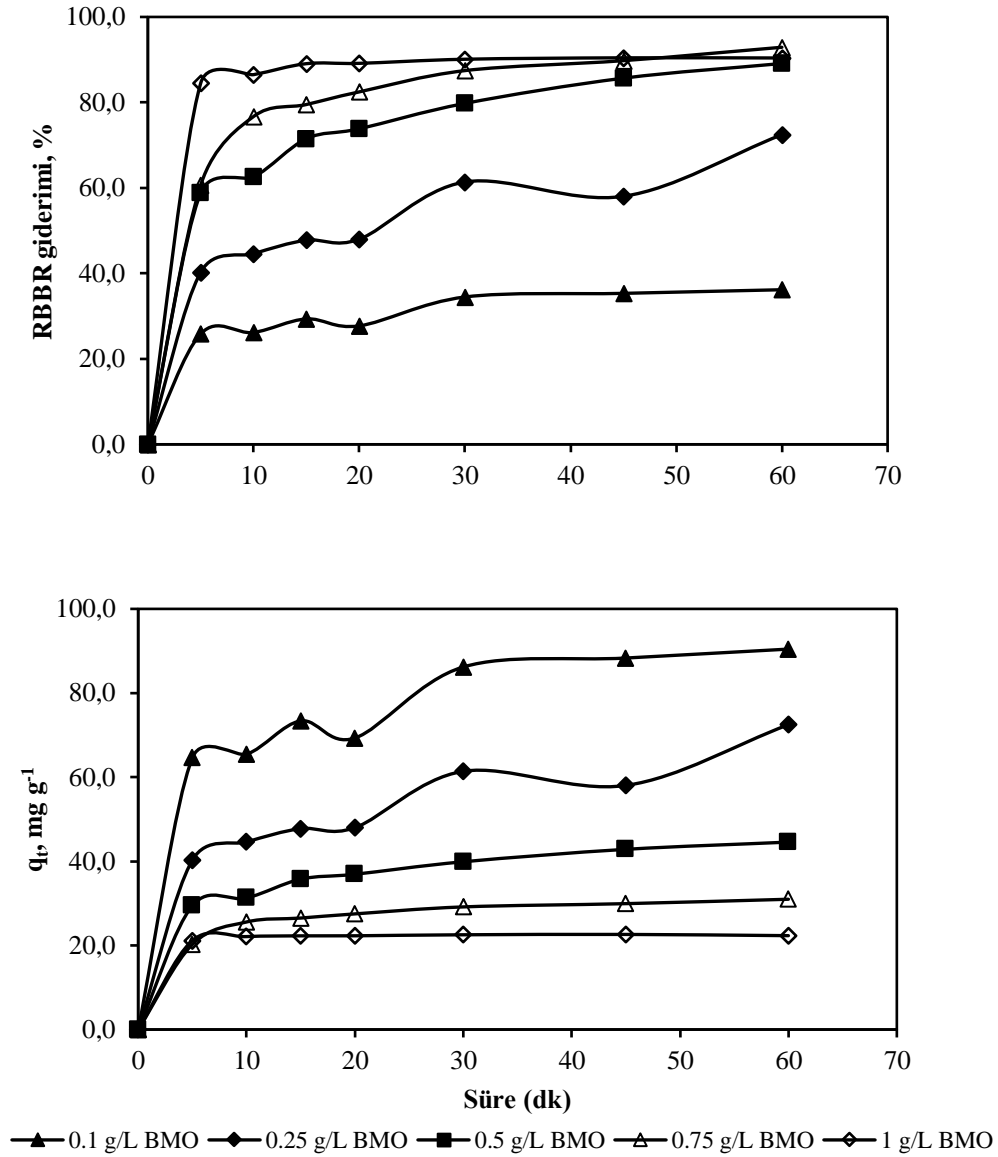
altında, daha negatif hale gelen adsorbent yüzeyi, RBBR adsorpsiyonunu desteklemez, çünkü RBBR anyonlarının sülfonik grupları ($-SO_3^-$) ile elektrostatik itme oluşur (Özkaraaslan ve diğ., 2022).

BMO Konsantrasyonunun Etkisi

RBBR gideriminde BMO dozajının etkisi; pH 3, 30 °C sıcaklık ve 25 mg L⁻¹ RBBR konsantrasyonu şartlarında 0.1, 0.25, 0.5, 0.75 ve 1 g L⁻¹ BMO dozajları kullanılarak araştırılmıştır. BMO konsantrasyonu ile % RBBR gideriminin ve q değerlerinin değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere 0.1, 0.25, 0.5, 0.75 ve 1 g L⁻¹ BMO konsantrasyonlarında sırasıyla %36.2, 72.5, 89.1, 92.9 ve 90.4 boyar madde giderim verimleri elde edilmiştir. Çözeltide BMO miktarının artışı boyar madde giderim verimini artırmıştır. Giderim veriminin artması adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyon bölgelerinin artışına bağlanabilir (Duan ve diğ., 2015). Diğer yandan, BMO miktarındaki artışla BMO'in RBBR adsorpsiyon kapasitesi azalmıştır. BMO dozajının artmasıyla mevcut aktif alanların artması doymamış adsorpsiyon alanlarının sayısının artmasına ve adsorpsiyon kapasitesinin düşmesine neden olur. 60 dakikalık denge süresi sonunda 0.1, 0.25, 0.5, 0.75 ve 1 g L⁻¹ BMO dozajlarında adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla, 90.4, 72.5, 44.6, 31.0 ve 22.3 mg g⁻¹'dir. Özkaraaslan ve diğ. (2022) tarafından karbonize alıç atık hamuru/mermer atık tozu ile RBBR gideriminde adsorbent miktarının giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesi üzerine etkisinin incelendiği çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir. RBBR gideriminde adsorbent miktarının 0.01 g'dan 0.10 g'a yükseltilmesiyle adsorpsiyon kapasitesi 50.21 mg g⁻¹'den 18.10 mg g⁻¹'ye düşerken, giderim verimi %20.1'den %72.3'e yükselmiştir.



Şekil 2. RBBR giderim verimi üzerine çözelti pH'ının etkisi (RBBR kons.: 25 mg L⁻¹, BMO: 0.5 g L⁻¹, t: 60 dk)



Şekil 3. RBBR giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesi üzerinde BMO konsantrasyonunun etkisi (pH: 3, T: 30 °C, RBBR kons.: 25 mg L⁻¹, t: 60 dk)

Sıcaklığa Bağlı Olarak Başlangıç Boyar Madde Konsantrasyonunun Etkisi

Sıcaklık, adsorpsiyonun doğasını belirlemede önemli bir rol oynar. RBBR giderimi üzerine sıcaklığın etkisi; 30, 40 ve 60 °C'de pH 3'de, 0.5 g L⁻¹ BMO dozajı ve 10, 25, 50, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyona sahip RBBR çözeltileri kullanılarak incelenmiştir. 30 °C'de başlangıç RBBR konsantrasyonu ile giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitelerinin değişimi Şekil 4'te verilmiştir. 10, 25,

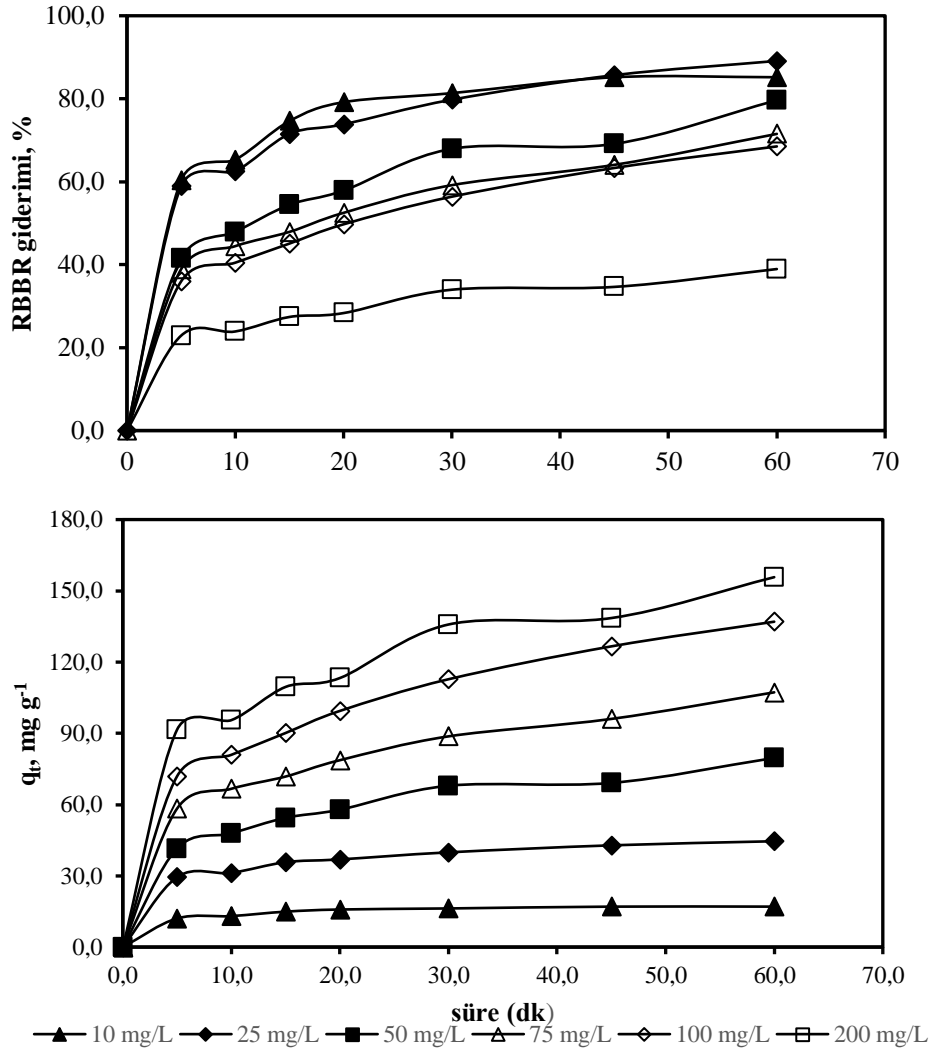
50, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyona sahip ortamlarda sırasıyla %85.2, 89.1, 79.6, 71.5, 68.5 ve 38.9 giderim verimleri elde edilmiştir. RBBR konsantrasyonunun artışıyla genel olarak giderim verimi azalmıştır. RBBR'nin mevcut sorpsiyon bölgelerine oranı, daha düşük RBBR konsantrasyonlarında düşüktür ve daha yüksek giderim verimleri elde edilir. Daha yüksek konsantrasyonlarda, mevcut adsorpsiyon bölgeleri azalır ve sorpsiyon bölgelerinin doygunluğu sonucu

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1116875

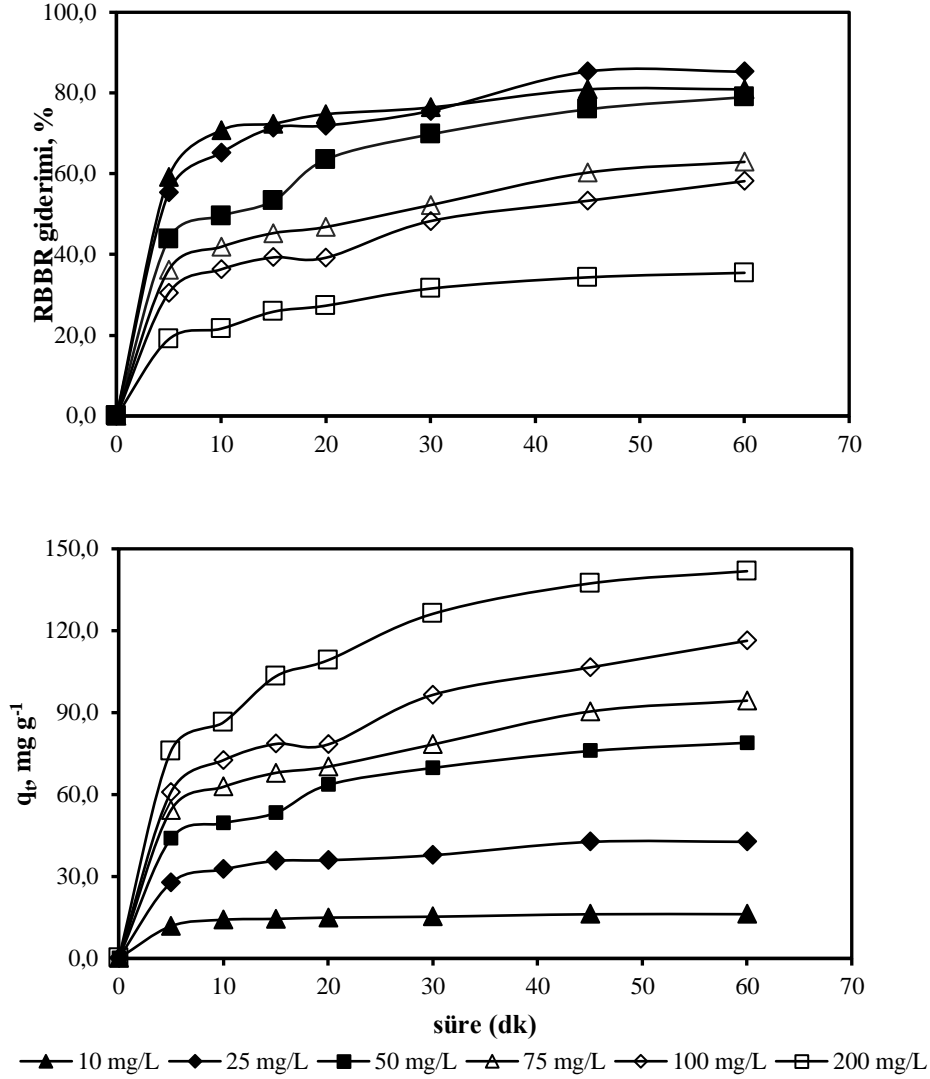
RBBR giderim verimleri azalır. 60 dakikalık denge süresi sonunda 10, 25, 50, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹ RBBR konsantrasyonlarında adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla, 17,0, 44,6, 79,6, 107,3, 137,0 ve 155,7 mg g⁻¹'dir. RBBR konsantrasyonunun artışıyla adsorpsiyon kapasitesi artmıştır. RBBR konsantrasyonu, kütle transfer dirençlerini ortadan kaldırmak için bir itici güç sağladığından, artan RBBR konsantrasyonu, BMO'nun adsorpsiyon kapasitesinin artmasına neden olmuştur.

40 °C sıcaklıkta başlangıç RBBR konsantrasyonu ile giderim verimi ve adsorpsiyon

kapasitelerinin değişimi Şekil 5'te verilmiştir. 10, 25, 50, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyona sahip ortamlarda sırasıyla %80,9, 85,3, 79,0, 62,9, 58,2 ve 35,5 giderim verimleri elde edilmiştir. RBBR konsantrasyonunun artışıyla genel olarak giderim verimleri azalmıştır. 60 dakikalık denge süresi sonunda 10, 25, 50, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹ RBBR konsantrasyonlarında adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla, 16,2, 42,7, 79,0, 94,4, 116,3 ve 141,8 mg g⁻¹'dir.



Şekil 4. 30 °C'de RBBR giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesi üzerine RBBR konsantrasyonunun etkisi (pH: 3, T: 30 °C, BMO:0.5 g L⁻¹, t: 60 dk)

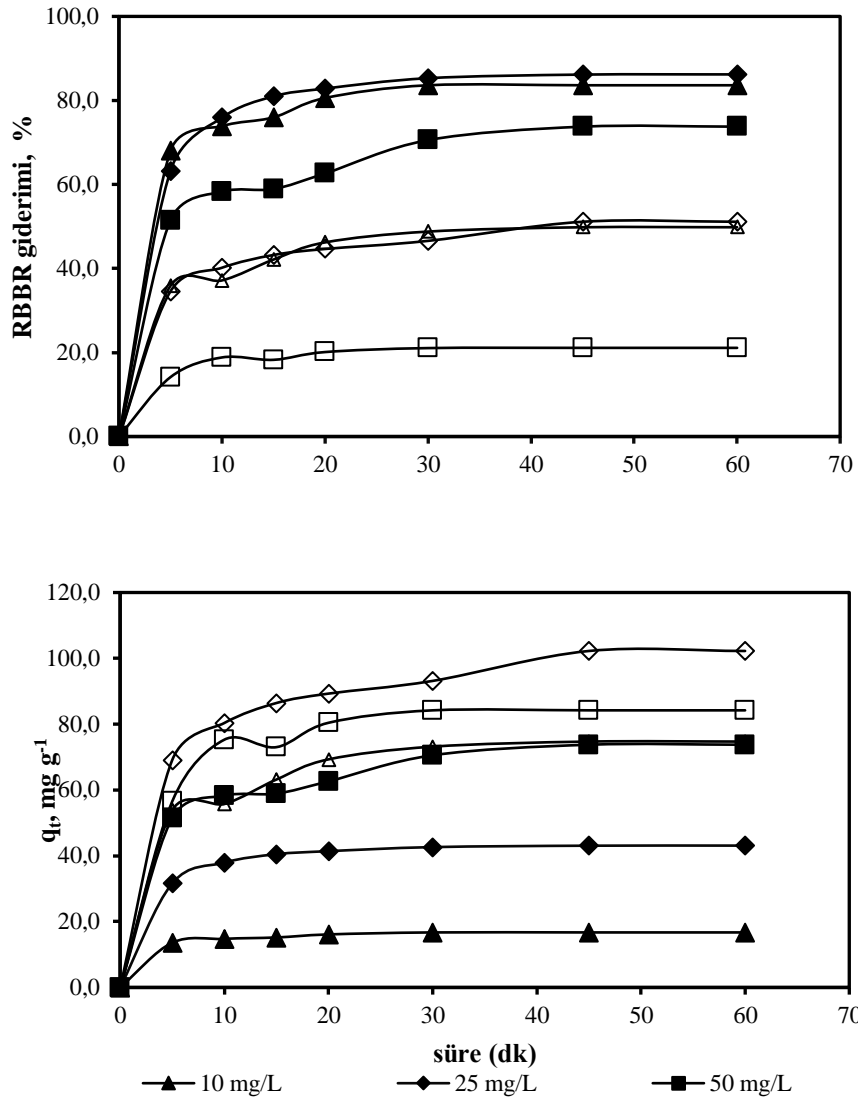


Şekil 5. 40 °C’de RBBR giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesi üzerine RBBR konsantrasyonunun etkisi (pH: 3, BMO:0.5 g L⁻¹, t: 60 dk)

60 °C sıcaklıkta başlangıç RBBR konsantrasyonu ile giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitelerinin değişimi Şekil 6’da verilmiştir. 10, 25, 50, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyona sahip ortamlarda sırasıyla %83.6, 86.2, 73.8, 49.8, 51.1 ve 21.1 giderim verimleri elde edilmiştir. RBBR konsantrasyonunun artışıyla genel olarak giderim verimleri azalmıştır. 60 dakikalık denge süresi sonunda 10, 25, 50, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹ RBBR konsantrasyonlarında adsorpsiyon kapasiteleri

sırasıyla, 16.7, 43.1, 73.8, 74.7, 102.2 ve 84.2 mg g⁻¹’dir.

Sıcaklık arttıkça genel olarak RBBR giderim verimleri ve adsorpsiyon kapasiteleri azalmıştır (Tablo 1). RBBR giderim verimlerindeki düşüş adsorpsiyon olayının ekzotermik olduğunu göstermektedir. Sorpsiyon ekzotermik bir süreç olduğundan, artan sıcaklıkla boya ve adsorbent aktif bölgeleri arasındaki zayıf fiziksel bağ nedeniyle bu beklenen bir sonuçtur (Dursun ve diğ., 2013).



Şekil 6. 60 °C’de RBBR giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesi üzerine RBBR konsantrasyonunun etkisi (pH: 3, BMO:0.5 g L⁻¹, t: 60 dk)

Tablo 1. Farklı RBBR konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda elde edilen adsorpsiyon kapasiteleri ve giderim verimleri

C ₀ (mg L ⁻¹)	30 °C		40 °C		60 °C	
	q (mg g ⁻¹)	Giderim verimi (%)	q (mg g ⁻¹)	Giderim verimi (%)	q (mg g ⁻¹)	Giderim verimi (%)
10	17.0	85.2	16.2	80.9	16.7	83.6
25	44.6	89.1	42.7	85.3	43.1	86.2
50	79.6	79.6	79.0	79.0	73.8	73.8
75	107.3	71.5	94.4	62.9	74.7	49.8
100	137.0	68.5	116.3	58.2	102.2	51.1
200	155.7	38.9	141.8	35.5	84.2	21.1

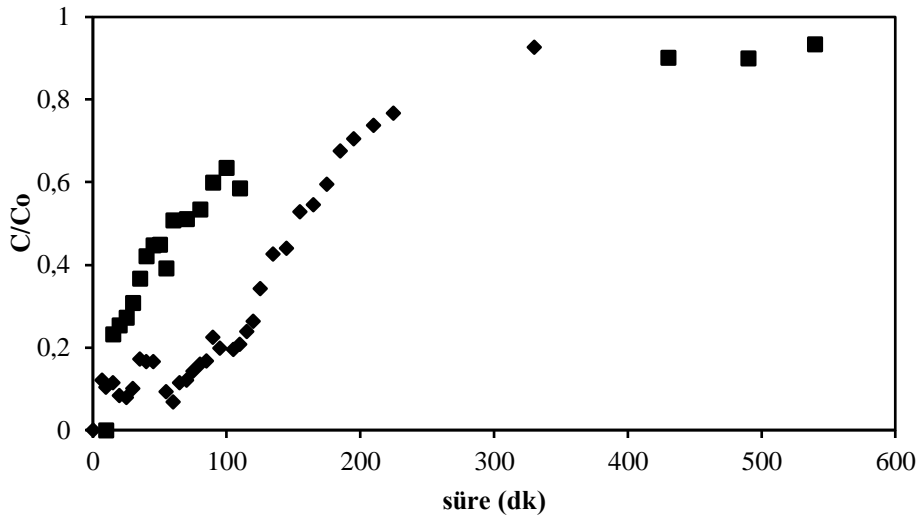
Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1116875

Akış Hızının Etkisi

Sabit yataklı kolon reaktörde 4.5 ve 9.0 mL dk⁻¹ akış hızlarında RBBR giderimi gerçekleştirilmiştir. 25 mg L⁻¹ RBBR konsantrasyonu ve 1 g BMO kullanılmıştır. Şekil 7’de zamana karşı C/C₀ değişimi sunulmuştur. Adsorpsiyonun ilk anlarında RBBR’nin tamamı uzaklaştırılmıştır. Daha sonra RBBR konsantrasyonu artmaya başlamıştır. Bu durum sabit yatak kolon adsorpsiyon karakteristiğidir. Akış hızına bağlı olarak RBBR’nin kolon çıkışındaki görülme anı değişmektedir. 4.5 ve 9 mL dk⁻¹ akış hızlarında 25 ve 10. dakikalarda kırılma (C/C₀=0.05) gözlenmiştir.

Akış hızı 4.5 mL dk⁻¹’dan 9.0 mL dk⁻¹’a arttığında daha erken zamanda kırılma meydana gelmiştir. Kırılmanın daha erken oluşması, RBBR ve BMO arasındaki temas süresinin daha az olmasından kaynaklanmaktadır (Aksu ve diğ., 2007).

Tablo 2’de, RBBR giderimi için farklı adsorbentlerin maksimum adsorpsiyon kapasiteleri verilmektedir. Tablo incelendiğinde, BMO’nun RBBR giderimi için daha yüksek adsorpsiyon kapasitelerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Biyojenik mangan oksite boyar maddenin adsorpsiyonunda farklı besleme akış hızlarında elde edilen kırılma eğrileri (pH: 3, C₀= 25 mg L⁻¹, BMO: 1 g, ◆: 4.5 mL dk⁻¹, ■: 9 mL dk⁻¹)

Tablo 2. RBBR giderimi için çeşitli adsorbentlerin maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin (q_{max}) karşılaştırılması

Adsorbent	q _{max} (mg g ⁻¹)	Referans
Kimyasal olarak modifiye edilmiş <i>Yarrowia lipolytica</i> biyokütlesi	121.0	Doruk Aracagök, 2022
Ultra gözenekli alüminalar (UPA)	122.6	Xu ve diğ., 2021
<i>Agaricus augustus</i>	43.0	Arslandaş ve diğ., 2022
Hindistan cevizi kabukları	7.96	Chong ve Hadibarata, 2021
Kanalizasyon çamuru biyoçar	126.59	Raj ve diğ., 2021
Biyojenik mangan oksit	155.7	Mevcut çalışma

SONUÇ

Bu çalışma sulu çözeltiden RBBR’nin BMO ile giderilebildiğini ve giderim veriminin çözelti pH’ı, BMO dozajı, RBBR konsantrasyonu ve sıcaklık gibi faktörler ile etkilenebildiğini göstermiştir. RBBR giderim verimi BMO dozajının artışı ile artarken, çözelti pH’ı, RBBR konsantrasyonu ve sıcaklık artışı

ile azalmıştır. Sabit yatak kolon reaktör çalışmalarında akış hızının artışı ile kırılma için gerekli zaman azalmıştır. Sonuç olarak, BMO’nun atıksulardan boyaları uzaklaştırma potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI:10.29132/ijpas.1116875

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar bu çalışmada herhangi bir şekilde çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazar bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Aksu, Z., Çağatay, Ş.Ş. ve Gönen, F. (2007). Continuous fixed bed biosorption of reactive dyes by dried *Rhizopus arrhizus*: Determination of column capacity. *Journal of Hazardous Materials*, 143, 362-371.
- Amar, I.A., Zayid, E.A., Dhikeel, S.A. ve Najem, M.Y. (2022). Biosorption removal of methylene blue dye from aqueous solutions using phosphoric acid-treated balanites aegyptiaca seed husks powder. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(6), 7845-7862.
- Arsantaş, C., M'barek, I., Saleh, M., Isik, Z., Ozdemir, S., Dundar, A. ve Dizge, N. (2022). Basic Red 18 and Remazol Brilliant Blue R biosorption using *Russula Brevipes*, *Agaricus Augustus*, *Fomes Fomentarius*. *Water Practice and Technology*, 17 (3), 749-762.
- Chong, S.N. ve Hadibarata, T. (2021). Adsorption of Phenol Red and Remazol Brilliant Blue R by *Coconut Shells (Cocos nucifera)* and *Ambarella Peels (Spondias dulcis)*. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11 (1), 8564-8576.
- Cömert, S. ve Tepe, O. (2020). Production and characterization of biogenic manganese oxides by manganese-adapted *Pseudomonas putida* NRRL B-14878. *Geomicrobiology Journal*, 37(8), 753-763.
- Doruk Aracagök, Y. (2022). Biosorption of Remazol Brilliant Blue R dye onto chemically modified and unmodified *Yarrowia lipolytica* biomass. *Archives of Microbiology*, 204, 128.
- Duan, L., Sun, B., Wei, M., Luo, S., Pan, F., Xu, A. ve Li, X. (2015). Catalytic degradation of Acid Orange 7 by manganese oxide octahedral molecular sieves with peroxydisulfate under visible light irradiation. *Journal of Hazardous Materials*, 285, 356-365.
- Dursun, A.Y., Tepe, O. ve Dursun, G. (2013). Use of carbonised beet pulp carbon for removal of remazol turquoise blue-g133 from aqueous solution. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 431-442.
- Gülçek, B. ve Tepe, O. (2022). Removal of atrazine by biogenic manganese oxide in batch and fixed-bed column reactors. *Geomicrobiology Journal*, 39 (1), 17-27.
- Jeyaraj A. ve Subramanian, S. (2022). Synthesis, optimization, and characterization of biogenic manganese oxide (BioMnOx) by bacterial isolates from mangrove soils with sorbents property towards different toxic metals. *Biometals*, <https://doi.org/10.1007/s10534-022-00378-5>.
- Li, H., Tang, Y., Wu, Y., Wang, Y., Huang, H., Huang, Y., Liang, F. ve Qin, T. (2021). Bio-immobilization of soluble Mn(II) in aqueous solution with co-occurred Mn(II)-oxidizing bacteria: facilitation or inhibition. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9, 106448.
- Liu, J., Zhao, Z., Shao, P. ve Cui, F. (2015). Activation of peroxydisulfate with magnetic Fe₃O₄-MnO₂ core-shell nanocomposites for 4-chlorophenol degradation. *Chemical Engineering Journal*, 262, 854-861.
- Moura H.M. ve Unterlass, M.M. (2020). Biogenic metal oxides. *Biomimetics*, 5, 29.
- Özkaraaslan, H., Çetintaş, S. ve Bingöl, D. (2022). A novel composite derived from carbonized hawthorn waste pulp/marble waste powder by ball milling: preparation, characterization, and usability as bifunctional adsorbent. *Biomass Conversion and Biorefinery*, <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01412-1>.
- Raj, A., Yadav, A., Rawat, A.P., Singh, A.K., Kumar, S., Pandey, A.K., Sirohi, R. ve Pandey, A. (2021). Kinetic and thermodynamic investigations of sewage sludge biochar in removal of Remazol Brilliant Blue R dye from aqueous solution and evaluation of residual dyes cytotoxicity. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101556.
- Rajendiran, R., Patchaiyappan, A., Harisingh, S., Balla, P., Paari, A., Ponnala, B., Perupogu, V., Lassi, U. ve Seelam, P.K. (2022). Synergistic effects of graphene oxide grafted chitosan & decorated MnO₂ nanorods composite materials application in efficient removal of toxic industrial dyes. *Journal of Water Process Engineering*, 47, 102704.
- Romita, R., Rizzi, V., Semeraro, P., Gubitosa, J., Gabaldón, J.A., Gorbe, M.I.F., López, V.M.G., Cosma, P. ve Fini, P. (2019). Operational parameters affecting the atrazine removal from water by using cyclodextrin based polymers as efficient adsorbents for cleaner technologies. *Environmental Technology & Innovation*, 16, 100454.
- Sun, Y., Zhang, Y., Li, W., Zhang, W., Xu, Z., Dai, M. ve Zhao, G. (2021). Combination of the endophytic manganese-oxidizing bacterium *Pantoea eucrinea* SS01 and biogenic Mn oxides: an efficient and sustainable complex in degradation and detoxification of malachite green. *Chemosphere*, 280, 130785.

Research article/Araştırma makalesi
DOI:10.29132/ijpas.1116875

- Wang, Q., Wei, H., Liu, W. ve Zhai, J. (2021). Carbamazepine removal by the synergistic effect of manganese-oxidizing microalgae and biogenic manganese oxides. *Journal of Hazardous Materials*, 419, 126530.
- Xu, D., Li, B., Dou, X., Feng, L., Zhang, L. ve Liu, Y. (2022). Enhanced performance and mechanisms of sulfamethoxazole removal in vertical subsurface flow constructed wetland by filling manganese ore as the substrate. *Science of the Total Environment*, 812, 152554.
- Xu, H., Boeuf, G., Jia, Z., Zhu, K., Nikravech, M., Kanaev, A., Azouani, R., Traore, M. ve Elm'selmi, A. (2021). Solvent-Free Synthesized Monolithic Ultraporous Aluminas for Highly Efficient Removal of Remazol Brilliant Blue R: Equilibrium, Kinetic, and Thermodynamic Studies. *Materials*, 14, 3054.