

Everzol Yellow 3RS Boyar Maddesinin Gıdya Üzerine Adsorpsiyonu: Kinetik ve İzoterm Çalışmaları

Fulya AYDIN TEMEL^{1*} 

Öz

Bu çalışmada, Gıdya kullanılarak Everzol Yellow 3RS boyar maddesinin adsorpsiyon prosesi ile giderimi araştırılmıştır. Adsorpsiyon sürecine pH'ın (3–11), temas süresinin (5–300 dakika), adsorban dozunun (2–16 g/L), başlangıç konsantrasyonunun (10–50 mg/L) ve sıcaklığın (25–60°C) etkisi incelenmiştir. Adsorpsiyon prosesinde 10 g/L adsorbent dozu, orijinal pH değeri, 90 dakika temas süresi, 10 mg/L boyar madde konsantrasyonu ve ortam sıcaklığı optimum maksimum giderim veriminin (%90.96) sağlandığı koşullar olarak belirlenmiştir. Gıdya üzerindeki adsorpsiyon sürecinin mekanizmasını anlamak için kinetik ve denge modelleri uygulanmıştır. Kinetik ve izoterm deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, Everzol Yellow 3RS boyar maddesinin Gıdya üzerine adsorpsiyonu için adsorpsiyon kinetiği ikinci derece reaksiyon modeli ile adsorpsiyon dengesi ise Freundlich izoterm modeli ile iyi bir şekilde tanımlanmıştır. Bu, hız sınırlayıcı adımın difüzyondan ziyade kemisorpsiyon olabileceği ve hem film difüzyonu hem de parçacık içi difüzyon süreçlerinin kayda değer olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca, adsorpsiyon mekanizmasının düzgün bir dağılım göstermediğini ve tek bir katmanla sınırlı olmadığını göstermiştir. Sonuç olarak, Gıdya'nın potansiyel bir adsorbent olarak boyar madde gideriminde kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Everzol Yellow 3RS, Gıdya, Adsorpsiyon, Kinetik, İzoterm, Arıtım.

Adsorption of Everzol Yellow 3RS dyestuff onto Gytija: Kinetic and Isotherm Studies

Abstract

In this study, the removal of Everzol Yellow 3RS dye by adsorption process was investigated by using Gytija. The effects of pH (3–11), contact time (5–300 min), adsorbent dose (2–16 g/L), initial concentration (10–50 mg/L), and temperature (25–60°C) on the adsorption process were investigated. In the adsorption process, 10 g/L adsorbent dose, original pH value, 90 minutes contact time, 10 mg/L dye concentration, and ambient temperature were determined as the conditions where the maximum removal efficiency (90.96%) was achieved. To understand the mechanism of the adsorption process on Gytija, kinetic and equilibrium models were applied. According to the results obtained from the kinetic and isotherm experiments, the adsorption kinetics for the adsorption of Everzol Yellow 3RS dye onto Gytija were well described by the pseudo-second-order reaction model and the adsorption equilibrium by the Freundlich isotherm model. This means that the rate-limiting step may be chemisorption rather than diffusion, and both film diffusion and intra-particle diffusion processes are significant. It also showed that the adsorption mechanism is not uniformly distributed and is not limited to a single layer. As a result, it was observed that Gytija can be used as a potential adsorbent in dyestuff removal.

Keywords: Everzol Yellow 3RS, Gytija, Adsorption, Kinetic, Isotherm, Treatment.

¹ Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye, fulya.temel@giresun.edu.tr

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 12.10.2023

Kabul/Accepted: 19.11.2023

Yayın/Published: 15.03.2024

1. Giriş

Tekstil sektörü son 20 yılda artan ihtiyaçlar doğrultusunda gelişen teknoloji nedeniyle en önemli imalat sanayilerinden biri haline gelmiştir (Buscio ve ark., 2019). Bununla birlikte, üretim sürecinde oldukça fazla su tüketen tekstil endüstrisi, alıcı ortama deşarj edilmeden önce arıtılması gereken büyük miktarlarda atıksu üretmektedir (Zazou ve ark. 2019). Tekstil endüstrisi atıksuyu, liflerdeki düzenli safsızlıklar ve farklı işlemlerde kullanılan kimyasallar nedeniyle bileşim açısından büyük ölçüde değişkenlik göstermekle birlikte başlıca kirletici renklendirici maddelerdir (Barredo-Damas ve ark. 2005; Khandegar ve Saroha, 2013). Bununla birlikte, yüzey aktif maddeler, inhibitör bileşikler, aktif maddeler, klor bileşikleri, tuzlar, fosfat, katı maddeler gibi organik ve inorganik kirleticileri içermektedir (GilPavas ve ark., 2012; Sala ve Gutiérrez-Bouzán, 2014). Bu tür atıksuların alıcı sulara atılması su canlılarındaki fotosentetik aktiviteyi önemli ölçüde etkilemektedir (Kuleyin ve Aydın, 2011). Bu nedenle, önemli çevre kirletici kaynağı olan tekstil endüstrisinde sürdürülebilirliğin sağlanması temel kaygılardan biri haline gelmiştir (de Oliveira Neto ve ark., 2019). Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılması, yüzey sularında ve yeraltı sularında meydana gelebilecek potansiyel kirlilik nedeniyle önemli bir çevresel gereksinimdir.

Tekstil atıklarından renk giderimi için hem biyolojik hem de fiziko/kimyasal yöntemler kullanılmaktadır (Barredo-Damas ve ark., 2005). Fiziko-kimyasal yöntemler adsorpsiyon (Cüce ve Aydın Temel, 2021; Kuleyin ve Aydın, 2011; Yadav ve ark., 2022), pıhtılaşma/topaklaştırma (Barredo-Damas ve ark., 2005; Ihaddaden ve ark., 2022; Liu ve ark., 2022), membran filtrasyonu (Balcik-Canbolat ve ark., 2019; Capar ve ark., 2006; Kim ve ark., 2005) ve elektro-kimyasal yöntemlerdir (Akbal ve Kuleyin, 2011; Kuleyin ve ark., 2021; Salazar ve ark., 2019).

Endüstriyel proseslerde ayırma ve saflaştırma amaçlarıyla yaygın olarak kullanılan adsorpsiyon, özellikle ucuz bir adsorbanın varlığında cazip bir alternatif yöntemdir (Aydın Temel ve ark., 2018b; Cüce ve Aydın Temel, 2021). Basit tasarımı/esnekliği ve düşük ilk yatırım maliyeti ile çeşitli kirleticiler için yüksek giderim kapasitesi sağlayan adsorpsiyon prosesi rengin giderilmesinde etkili bir proses olarak uygulanmaktadır. Tekstil atıklarından renk gideriminde uçucu kül (Bharath Balji ve ark., 2022), talaş (Mallakpour ve ark., 2023), kil (Abbou ve ark., 2023), zeolit (Ameri ve ark., 2023), moringa tohumu atığı (Soliman ve ark., 2019), muz, salatalık ve patates (Stavrinou ve ark., 2018), ceviz kabuğu (Zazycki ve ark., 2018) ve yer fıstığı kabuğu (Sumanjit ve ark., 2016) gibi düşük maliyetli adsorbanlar aktif karbona alternatif olarak kullanılmıştır.

Gıdya, linyit katmanları üzerinde yer alan kömür seviyesine ulaşmamış doğal bir organik materyaldir. Yüksek düzeyde karbon, hümitik asit ve mikro-makro besin maddeleri içerir (Çivit, 2010). Gıdya, Türkiye'nin Afşin-Elbistan havzasından yılda yaklaşık 13-15 megaton çıkarılmaktadır. Toprağın fiziksel ve kimyasal yapısının rehabilitasyonuna destek olur. Literatürde Gıdya'nın toprak

ıslahı üzerindeki etkisini araştıran çalışmalar bulunmasına rağmen adsorpsiyon çalışmaları oldukça sınırlıdır. Cu(II) iyonlarını sulu çözeltilerden uzaklaştırmak için Gidya'nın sorpsiyon özelliklerinin incelendiği bir çalışmada Gytjtja'nın sorpsiyon kapasitesi 11.76 mg/g bulunmuştur. Denge verilerinin kinetik incelemesi, Cu(II) iyonlar yalancı ikinci dereceden kinetik modeli iyi açıklanmıştır (Dikici ve ark., 2010). Organomineral gübre yapımında kullanılan gidya, leonardit ve kompostun Zn sorpsiyon özelliklerinin incelendiği diğer çalışmada maksimum sorpsiyon kapasitesi Gidya için 14.10 mg/g bulunmuştur (Saltalı ve Alhashemi, 2022). Endüstriyel atıksudan Ni(II)'nin Gidya üzerine adsorpsiyonunun incelendiği bir çalışmada en iyi uygunluk gösterden kinetik modelinin yalancı ikinci derece reaksiyon modeli olduğu bildirilmiştir (Aydın Temel, 2017).

Çalışmanın temel amacı, Gidya'nın sulu çözeltilerden Everzol Yellow 3RS boyar maddesinin uzaklaştırılmasında adsorplama kapasitesinin belirlenmesidir. Adsorpsiyonu etkileyen parametreler (pH, adsorban dozajı, temas süresi ve başlangıç konsantrasyonu) etkisi incelenmiş ve bu parametreler için optimum koşullar değerlendirilmiştir. Gidya üzerindeki adsorpsiyon sürecinin mekanizmasını daha iyi anlamak için kinetik (Elovich, partikül içi difüzyon, yalancı birinci derece reaksiyon ve yalancı ikinci derece reaksiyon) modelleri ve denge (Langmuir, Freundlich, Tempkin ve Dubinin-Radushkevich) modelleri uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Adsorbent

Gidya materyali Afşin-Elbistan bölgesinden alınmıştır. Türkiye'nin Gidya zenginliği, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü ve Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ) Genel Müdürlüğü gibi kurum/kuruluşların Afşin – Elbistan Bölgesi'nde linyit arama ve elde etme çalışmaları sırasında ortaya çıkarılmıştır. Ortalama 13-15 milyon ton/yıl Gidya materyali çıkarılmaktadır (Aydın Temel et al., 2018). Temin edilen Gidya materyali için elek analizi yapılarak 250-500 µm boyutuna sahip materyal çalışmalarda kullanılmıştır. Gidyanın yüzey koşullarını tahmin etmek için SEM ve EDAX analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Şekil 1(a)'da görüldüğü gibi Gidya düzensiz, poroz ve parçalı bir yüzey yapısına sahiptir. Gidya bu yapısı ile atıksu arıtımı için alternatif bir adsorbent olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Şekil 1(b)'de EDAX analiz sonuçları verilmiştir. Buna göre Gidya, Si, S, O, Ca, ve Al bileşenlerinden oluşmaktadır.

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

$$q = \frac{(C_0 - C_t)V}{M} \quad (2)$$

burada, C_0 başlangıç Everzol Yellow 3RS boyar maddesi konsantrasyonu (mg/L), C_t t süresindeki Everzol Yellow 3RS boyar maddesi konsantrasyonu, M adsorbent miktarı (g), V atıksu hacmi (L) ve q (mg/g) ise adsorbent birim kütlesi başına değiştirilen adsorbat miktarıdır (Aydın Temel ve ark., 2018c).

2.4. Adsorpsiyon kinetik ve izoterm modelleri

Adsorbent malzemenin davranışını öğrenmek amacıyla farklı kinetik ve izoterm modelleri test edilmiştir. Modellerin ürettiği tahminler ile deney sonuçları arasındaki uygunluk, belirleme katsayısı (R^2) ile açıklanmıştır. R^2 değeri yüksek olan modelin adsorpsiyon mekanizmasını daha başarılı şekilde açıkladığı anlamına gelmektedir. Everzol Yellow 3RS boyar maddesi adsorpsiyonunu araştırmak için bilinen kinetik modellerden Elovich, partikül içi difüzyon, yalancı birinci derece reaksiyon ve yalancı ikinci derece reaksiyon modelleri ile Langmuir, Freundlich, Tempkin ve Dubinin-Radushkevich adsorpsiyon izoterm modelleri kullanılmıştır.

Elovich modeli, heterojen yapılara sahip adsorban malzemeler üzerinde meydana gelen kemisorpsiyonu açıklamaktadır (Eşitlik 3) (Aydın Temel ve Kuleyin, 2016). *Partikül içi difüzyon modeli*, adsorpsiyon sürecinde (film difüzyonu, partikül içi difüzyon ve adsorpsiyon) adsorbent partiküllerine adsorbatın transferini açıklar (Eşitlik 4) (Aydın Temel, 2018). *Yalancı birinci derece reaksiyon modeli*, fiziksel adsorpsiyonun ve adsorbantaki adsorpsiyon bölgelerinin doluluk oranının, kullanılmayan bölgelerin sayısı ile doğru orantılı olduğunu varsayar (Eşitlik 5) (Elver ve ark., 2023). *Yalancı ikinci derece reaksiyon modeli*, adsorpsiyon prosesinde adsorbat ve adsorbent arasındaki elektron değişimi nedeniyle kimyasal adsorpsiyonun baskın olduğunu varsayar (Eşitlik 6 ve 7) (Salman ve ark., 2014).

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (3)$$

$$q_t = k_{id} t^{1/2} + C \quad (4)$$

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (5)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (6)$$

$$h = k_2 \cdot q_e^2 \quad (7)$$

Burada, t temas süresi (dak), α kemisorpsiyon hızı (mg/g dk), β yüzey kaplaması ve kemisorpsiyon için aktivasyon enerjisi ile ilgili bir katsayı (g/mg), k_{id} hız sabiti (mg/g sa^{1/2}), C sınır tabakası boyutuna ilişkin bir katsayı, q_e adsorbanların denge adsorpsiyon kapasitesi (mg/g), k_1 Lagergreen hız katsayısı (1/dak), h giriş adsorpsiyon oranı (mg/g dak), k_2 modelin adsorpsiyon hız sabitidir (g/mg dak).

Langmuir modeli, adsorpsiyon sürecinin homojen, tek katmanlı ve adsorban yüzeyinde enerji açısından eşdeğer olduğunu varsaymaktadır (Eşitlik 8) (Chen ve Zhang, 2014). *Freundlich modeli*, adsorpsiyon sürecinin heterojen olduğunu, aktif bölgelerin ve bunların enerjilerinin adsorban yüzeyinde üstel dağılımını varsayar (Eşitlik 9) (Aydın Temel ve ark., 2022). *Tempkin modeli*, adsorpsiyon sürecinin düzgün bir şekilde dağıldığını ve moleküllerin adsorpsiyon ısısının doğrusal olarak azaldığını varsayar (Eşitlik 10) (Olgun ve Atar, 2012). *Dubinin-Radushkevich modeli*, adsorpsiyonun doğasını test etmek için kullanılan genel bir izoterm modelidir (Eşitlik 11 ve 12) (Salman ve ark., 2016).

$$\left(\frac{C_e}{q_e}\right) = \left(\frac{1}{q_m K_L}\right) + \left(\frac{C_e}{q_m}\right) \quad (8)$$

$$\log q_e = \log K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e \quad (9)$$

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln K_T + \frac{RT}{b} \ln C_e \quad (10)$$

$$\ln q_e = \ln q_m - \beta \varepsilon^2 \quad (11)$$

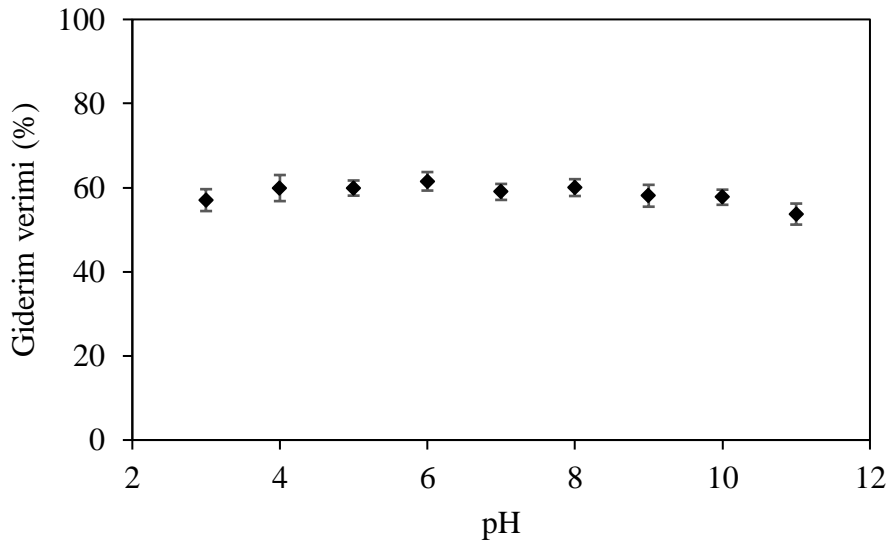
$$\varepsilon = RT \ln \left(1 + \frac{1}{C_e}\right) \quad (12)$$

Burada, q_e , adsorbanların denge soğurma kapasitesi (mg/g), K_L adsorbat ve adsorpsiyon bölgeleri arasındaki afinitenin ölçümünü veren bir model sabiti (L/mg), C_e adsorbat konsantrasyonu (mg/L), C_0 adsorbatın giriş konsantrasyonu (mg/L), q_m adsorbanların hesaplanan emme kapasitesi (mg/g) ve R_L adsorban ile adsorbat arasındaki etkileşimi açıklamak için kullanılan bir ayırma faktörü (boyutsuz), K_F adsorban kapasitesi (mg/g) ile ilgili sabit, n heterojenlik derecesi (L/g), R gaz katsayısı (8.3145 J/mol K), T çözelti sıcaklığı (K), b adsorpsiyon ısısına (J/mol) bağlı bir sabit, K_T bağlanma enerjisine ilişkin denge bağlanma katsayısı, β adsorpsiyon enerjisine dayalı bir katsayı (mol²/kJ²), ε Polanyi potansiyelidir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. pH etkisi

Çözeltinin pH değeri iyonize boya moleküllerinin elektrostatik yüklerini kontrol eder. pH değeri düşük olduğunda çözelti pozitif olarak yüklenmekte ve anyonik boyanın adsorpsiyonunu arttırmaktadır (Vargas ve ark., 2011). pH değerindeki artış, adsorbent yüzeyindeki H⁺ iyonlarının çözeltiliye salınmasına neden olur. Bu nedenle adsorbent ve boya molekülleri arasındaki etkileşimler artar. Çözeltinin ara yüzeyindeki pozitif yük azaldığında ise, negatif yüklü adsorbent katyon adsorpsiyonu ile desteklenir.



Şekil 3. Gıdya'nın Everzol yellow 3RS boyar maddesinin giderim verimini üzerinde pH etkisi (Boyar madde konsantrasyonu: 50 mg/L, adsorbent dozu:10 g/L, karıştırma hızı: 150 rpm, sıcaklık: 25°C)

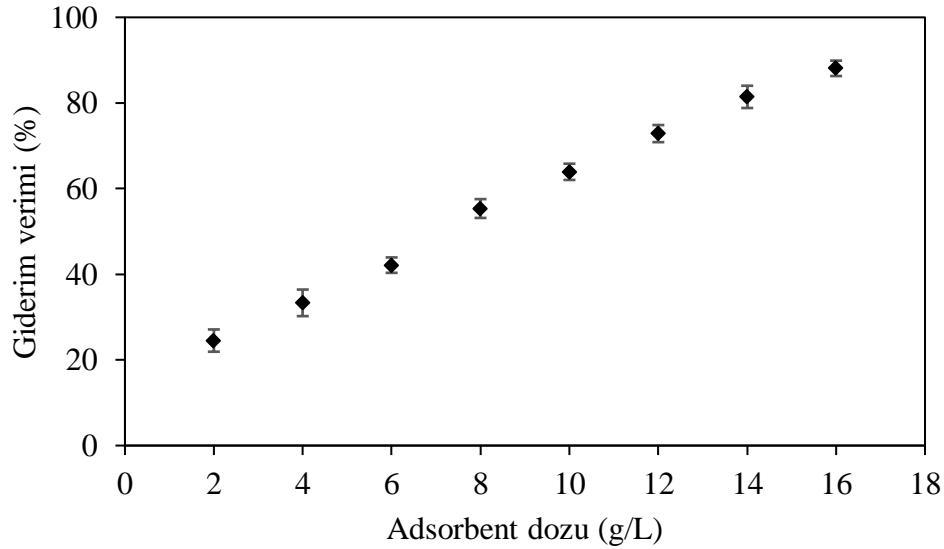
Bu çalışmada, Gıdya'nın Everzol yellow 3RS boyar maddesi adsorpsiyon performansı üzerinde pH değişiminin etkisi araştırılmıştır. Optimum pH değerini tespit etmek amacıyla 150 rpm karıştırma hızında, 25°C sıcaklıkta, 50 mg/L boya konsantrasyonu kullanılarak 90 dakika için farklı pH (3-11) değerlerinde deneyler yürütülmüştür. Şekil 3, farklı başlangıç pH değerlerinde Gıdya'nın Everzol yellow 3RS boyar maddesinin giderim verimini göstermektedir. Şekil 3'den görüldüğü gibi, Everzol yellow 3RS boyar maddesinin dengedeki adsorpsiyon kapasitesi, artan pH ile önemli ölçüde değişim göstermemiştir. En yüksek adsorpsiyon kapasitesi çözeltinin kendi pH değerine oldukça yakın olan başlangıç pH değerinde 2.94 mg/g olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, en düşük adsorpsiyon kapasitesinin ise pH 11'de 2.56 mg/g olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, pH değişiminin Everzol yellow 3RS boyar maddesi giderim verimi üzerindeki etkisinin önemli olmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle sonraki tüm deneyler pH ayarlaması yapılmaksızın yürütülmüştür. Pirina kullanılarak Everzol yellow 3RS boyar maddesinin adsorpsiyonunun yürütüldüğü bir çalışmada da

pH değişiminin renk giderimi üzerinde etkili bir değişime neden olmadığı belirtilmiştir (Öden ve ark., 2017). CTAB ve HDTMA kullanılarak hazırlanan yüzey aktif maddeyle modifiye edilmiş zeolitler tarafından Reactive Yellow 176'nın adsorpsiyonu için benzer sonuçlar elde edilmiştir (Karadağ ve ark., 2007).

3.2. Adsorbent dozunun etkisi

Gıdya'nın Everzol yellow 3RS boyar maddesi adsorpsiyon performansı üzerinde adsorbent dozunun etkisi araştırılmıştır. Optimum adsorbent dozunun belirlenmesi amacıyla 2 ila 16 g/L Gıdya dozu aralığı, 150 rpm'lik karıştırma hızı ve 25°C sıcaklıkta, pH ayarlaması olmadan 90 dakika süre ve 50 mg/L sabit başlangıç boyar madde konsantrasyonu ile deneyler yürütülmüştür. Adsorbent dozunun Everzol yellow 3RS boyar maddesi giderimi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4'te görüldüğü gibi adsorbent dozunun artmasıyla boyar madde giderim verimi de artmıştır. Gıdya'nın Everzol yellow 3RS boyar maddesi giderim verimliliği, adsorbent dozunun 2 g/L'den 16 g/L'ye çıkartılmasıyla adsorpsiyon veriminin %24'ten %88'e yükseldiği görülmektedir. Bununla birlikte, adsorpsiyon kapasitesi 5.63'den 2.53 mg/g'a düşmüştür. Adsorpsiyon kapasitesindeki durum göz önünde bulundurularak materyalin etkin bir şekilde kullanılması için çalışmanın sonraki adımlarında adsorbent dozu olarak 2.93 mg/g kapasite ile 10 g/L seçilmiştir.



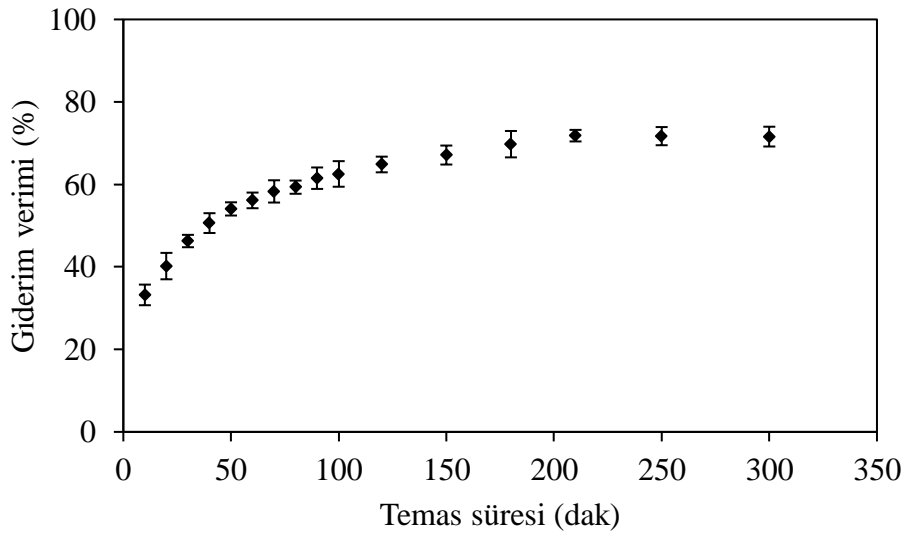
Şekil 4. Gıdya'nın Everzol yellow 3RS boyar maddesinin giderim verimini üzerinde adsorbent dozunun etkisi (Boyar madde konsantrasyonu: 50 mg/L, karıştırma hızı: 150 rpm, sıcaklık: 25°C)

Gördes bölgesinden temin edilen zeolit ile Everzol Yellow 3RS boyar maddesinin adsorpsiyonunun incelendiği bir çalışmada optimum adsorbent dozu 50 g/L olarak belirlenmiştir (Armağan ve ark., 2004). Doğal sepiyolit ve zeolit ile Everzol Yellow 3RS boyar maddesinin

gideriminin araştırıldığı bir çalışmada 25 mg/L boyar madde konsantrasyonu için her iki adsorbent için optimum dozun 50 g/L olduğu belirtilmiştir (Ozdemir ve ark., 2004).

3.3. Temas süresinin etkisi

Temas süresi değişiminin adsorpsiyon prosesi üzerindeki etkisinin ve adsorpsiyonun denge zamanının belirlenmesi için bu çalışma yapılmıştır. Everzol yellow 3RS boyar maddesinin adsorpsiyonu üzerinde 10-300 dakika arasında değişen temas süresinin etkisi, 25°C sıcaklıkta, 150 rpm karıştırma hızında, 50 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda, 10 g/L adsorbent dozu ve pH ayarlaması yapılmaksızın gerçekleştirilmiştir (Şekil 5).

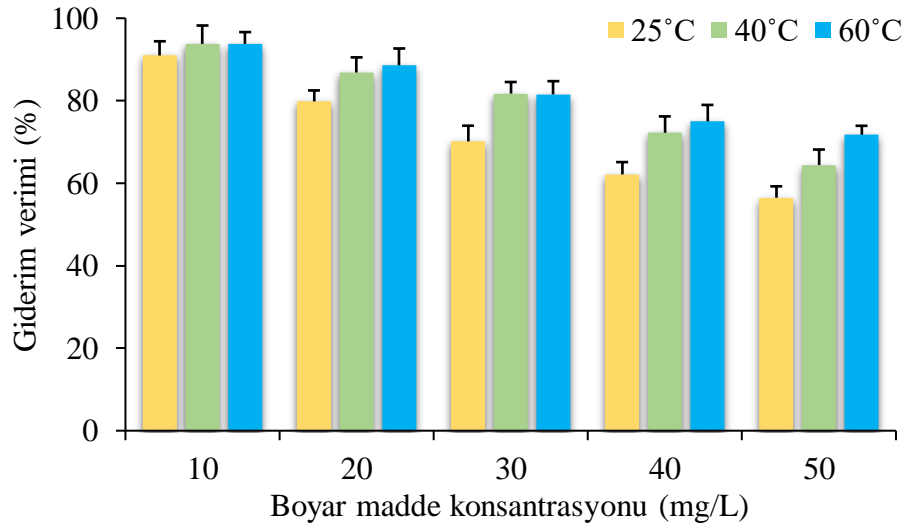


Şekil 5. Gıdya'nın Everzol yellow 3RS boyar maddesinin giderim verimini üzerinde temas süresinin etkisi (Boyar madde konsantrasyonu: 50 mg/L, karıştırma hızı: 150 rpm, sıcaklık: 25°C, adsorbent dozu: 10 g/L)

Everzol yellow 3RS boyar maddesinin giderim verimliliği ve birim adsorbent başına uzaklaştırılan madde miktarı ilk 40 dakikada hızlı bir artış göstererek sırasıyla %50.63 ve 2.42 mg/g olmuştur. 90. dakikaya kadar nispeten artış göstererek giderim verimi %61.52'ye birim adsorbent başına adsorplanan madde miktarı ise 2.93 mg/g'a çıkmıştır. Şekil 5'den de görüleceği üzere temas süresinin devam etmesiyle giderim veriminde önemli bir gelişme gözlenmemiştir. Bu nedenle 90.dakikadaki giderim ve q_t değerleri denge değerleri olarak kabul edilmiştir. Gördes zeoliti üzerine Everzol Yellow 3RS boyar maddesinin adsorpsiyonunda denge süresi 4 saat olarak belirlenmiş ve giderim verimi %35 olarak hesaplanmıştır (Armağan ve ark., 2004).

3.4. Boya konsantrasyonu sıcaklık etkileşimi

Adsorbe edilen Everzol yellow 3RS boyar madde miktarı başlangıçtaki adsorbat konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Bu bölümde, sıcaklık değiştirilerek (25-60°C) Everzol yellow 3RS boyar maddesinin Gıdya üzerine adsorpsiyon kapasiteleri, 10-50 mg/L arasında değişen farklı başlangıç konsantrasyonları ile değerlendirilmek üzere incelenmiştir. Everzol yellow 3RS boyar maddesinin adsorpsiyonu 90 dakika temas süresi, üç farklı sıcaklıkta, 150 rpm karıştırma hızında, beş farklı başlangıç boya konsantrasyonunda, 10 g/L adsorbent dozu ve pH ayarlaması yapılmaksızın gerçekleştirilmiştir. Başlangıç boya madde konsantrasyonlarının Gıdya üzerindeki etkileri Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Giderim verimi üzerine boya madde konsantrasyonu sıcaklık ilişkisi (Boyar madde konsantrasyonu: 50 mg/L, karıştırma hızı: 150 rpm, adsorbent dozu: 10 g/L)

Adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi artan boya madde konsantrasyonu ile 0.88'den 2.69 mg/g'a yükselirken, giderim verimleri artan başlangıç konsantrasyonu ile birlikte azalmıştır. Daha düşük başlangıç konsantrasyonlarında, boya maddenin, adsorbent üzerindeki bağlanma bölgeleriyle temas edebildiği ve dolayısıyla giderim verimleri diğer durumlara göre daha iyi olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, giderim verimliliği, daha yüksek başlangıç konsantrasyonlarında sınırlı adsorpsiyon bölgeleri nedeniyle azalmıştır.

Sıcaklık değişiminin eş zamanlı incelendiği bu aşamada sıcaklık artışı ile giderim veriminde artış gözlenmektedir. Adsorpsiyonun veriminin sıcaklıkla artması, boya moleküllerinin hareketliliğinin arttığını ve artan sıcaklığın Gıdya'nın iç yapısında bir şişme etkisi yaratarak büyük boya moleküllerinin daha fazla nüfuz etmesini sağladığını göstermektedir (Acemioglu, 2004). Sıcaklığın olumlu etkisi, iki boyanın doğal ve modifiye zeolitler tarafından adsorpsiyonu için kemisorpsiyon mekanizmasının bir göstergesi olmasıdır (Tsai ve ark., 2004). CTAB ve HDTMA

kullanılarak hazırlanan yüzey aktif maddeyle modifiye edilmiş zeolitler tarafından Reactive Yellow 176'nın adsorpsiyonu için benzer sonuçlar elde edilmiştir (Karadag ve ark., 2007).

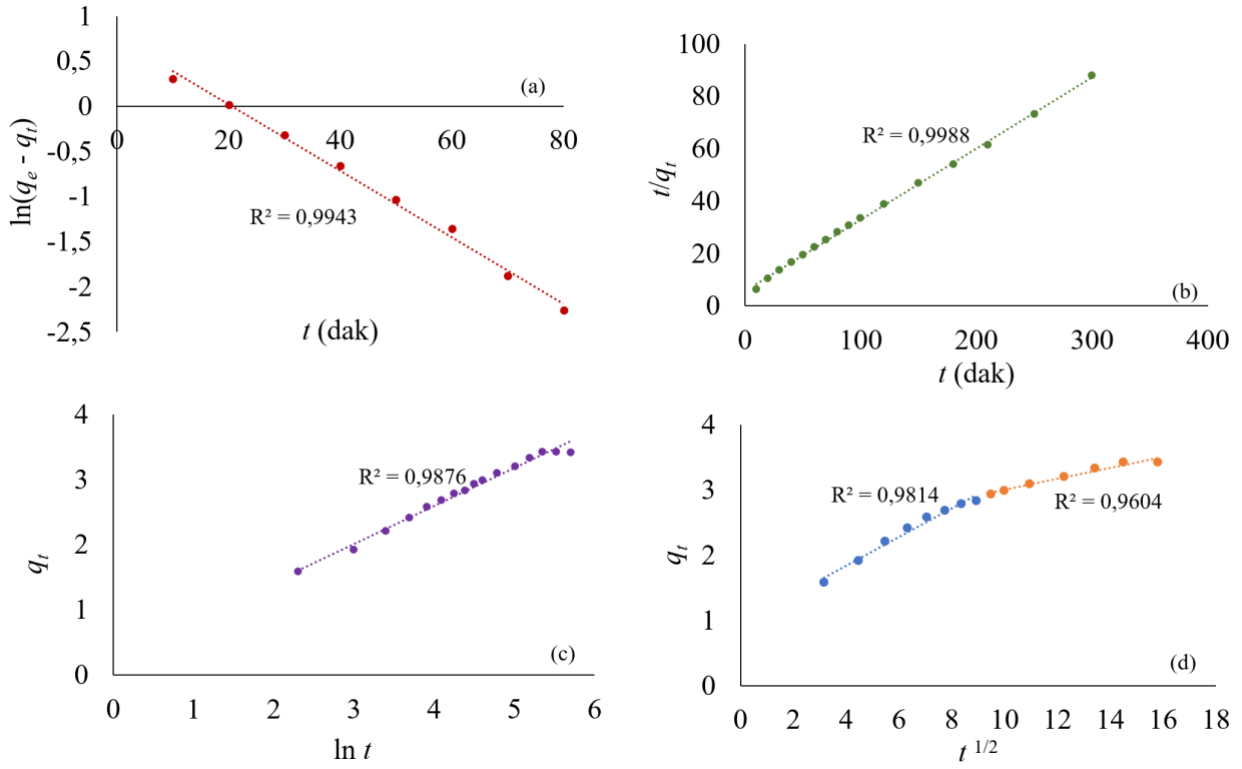
Tüm sıcaklık değerlerinde en iyi giderim verimi 10 g/L boyar madde konsantrasyonunda belirlenmiş olup 25°C için %90.96, 40°C için %93.78 ve 60°C için %93.78 hesaplanmıştır. Giderim verimleri birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte sıcaklık değişimi yapılmaksızın %90'ın üzerinde giderim başarılabilceği görülmüştür. Buna göre, atıksu adsorpsiyon ünitesine verilmeden önce giderim veriminin ve adsorbentin ömrünün artırılması için başlangıç boyar madde konsantrasyonunun düşürülmesi uygun olacaktır.

3.4. Adsorpsiyon kinetik modelleri

Adsorpsiyon kinetiği proses tasarımı, pratik uygulamalar ve operasyon kontrol sistemleri için oldukça önemlidir. Everzol yellow 3RS boyar maddesinin Gıda'ya adsorplanma mekanizmasını tahmin etmek için Elovich modeli, partikül içi difüzyon, yalancı birinci derece reaksiyon ve yalancı ikinci derece reaksiyon modeli uygulanmıştır. Kinetik parametreler söz konusu kinetik modellerin doğrusal grafiklerinden hesaplanmıştır. Modellere ait grafikler Şekil 7'de kinetik modellerin sabitleri ve korelasyon katsayıları ise Tablo 1'de sunulmuştur.

Yalancı ikinci derece reaksiyon kinetik modeli diğerlerine göre daha iyi korelasyon katsayısına (0.9988) sahiptir. Bununla birlikte, hesaplanan denge adsorpsiyon kapasitesi (q_e), deneylerden elde edilen denge adsorpsiyon kapasitesine daha yakın bulunmuştur. Bu sonuç, adsorpsiyon prosesinin belirleyici adımının kemisorpsiyon olduğu anlamına gelmektedir.

Difüzyon mekanizmasını anlamak için deneysel veriler partikül içi difüzyon modeline uygulandı (Şekil 7(d)). Grafikler adsorpsiyonun birden fazla adımdan oluştuğunu göstermektedir. Her durumda deneylerin ilk ve son aşamalarında adsorpsiyonun değişken kapsamı nedeniyle parsellerin ikili doğası sağlandı. Bu, son kısımdaki adsorpsiyonun parçacık içi difüzyon olduğu, birinci kısımdaki adsorpsiyonun ise film difüzyonu olduğu gerçeğine atfedilebilir. Bununla birlikte, düz çizgilerin orijinden geçmediği ($C \neq 0$) görülmektedir. Daha büyük kesişme, hız kontrol adımında yüzey adsorpsiyonunun katkısı olacağı anlamına gelir (Aydın Temel and Kuleyin, 2016; Elver et al., 2023). Her durumda orijinden sapmalar, Everzol yellow 3RS boyar maddesinin gözeneklerdeki difüzyonunun adsorpsiyon prosesinin mekanizmasını kontrol eden tek belirleyici faktör olmadığını göstermektedir. Bu nedenle Everzol yellow 3RS boyar maddesinin Gıda üzerine adsorpsiyonunda hem film difüzyonu hem de partikül içi difüzyon süreçleri önemlidir. Adsorpsiyon mekanizması karmaşıktır ve harici artı parçacık içi difüzyon, gerçek adsorpsiyon sürecine katkıda bulunur.



Şekil 7. Everzol yellow 3RS boyar maddesinin adsorpsiyonunda yalancı birinci derece reaksiyon (a), yalancı ikinci derece reaksiyon (b), Elovich (c) ve partikül içi difüzyon (d) modeli

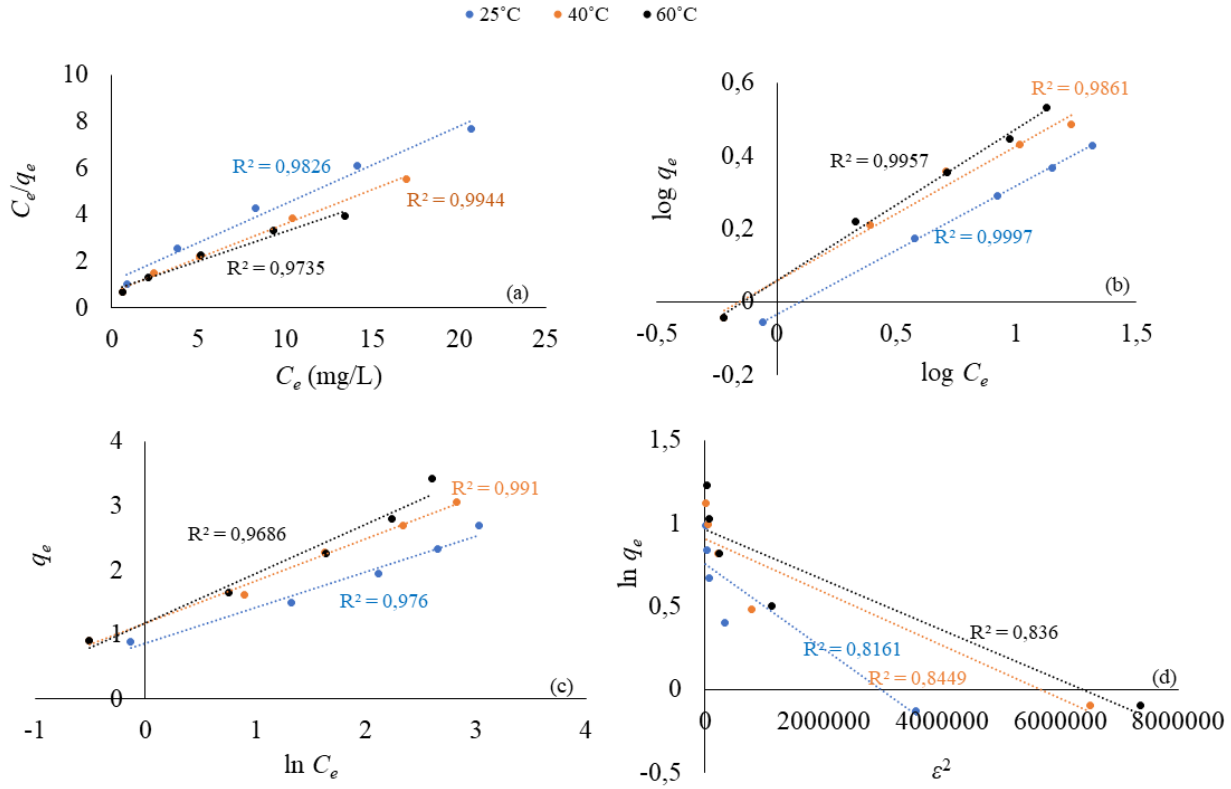
Sonuç olarak, yalancı ikinci derece reaksiyon kinetik modelinin deneysel verilerle daha iyi bir korelasyon sunduğu gözlemlendi. Bu nedenle hız sınırlayıcı adımın difüzyondan ziyade kemisorpsiyon olabileceğini düşündürmektedir.

Tablo 1. Kinetik model sabitleri ve korelasyon katsayıları

Pseudo-first-order			Pseudo-second-order					
k_1	q_e	R^2	k_2	h	q_e	R^2		
0.037	2.132	0.9943	0.013	0.181	3.668	0.9988		
Elovich			Intraparticle Diffusion Model					
α	β	R^2	$k_{id,1}$	C_1	R_I^2	$k_{id,2}$	C_2	R_2^2
0.914	1.717	0.9876	0.221	0.983	0.9814	0.084	2.161	0.9604

3.5. Adsorpsiyon izoterm modelleri

Adsorpsiyon izoterm modelleri, adsorbattaki moleküller veya iyonlar ile adsorbanın yüzey bölgeleri arasındaki ilişkileri tanımlamak için önemlidir ve bir adsorpsiyon sisteminin tasarımını optimize etmek için denge eğrileri için en uygun korelasyonun oluşturulması gereklidir (Chen ve Zhang, 2014). Gıdya üzerine Everzol yellow 3RS boyar maddesinin adsorpsiyonundan elde edilen deneysel veriler Langmuir, Freundlich, Tempkin ve Dubinin-Radushkevich adsorpsiyon izoterm modellerine uygulanmıştır. Adsorpsiyon izoterm grafikleri çizilmiş (Şekil 8) ve izoterm sabitleri, izoterm modellerinin doğrusal denklemleri (Eşitlik 8-12) kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 2).



Şekil 8. Everzol yellow 3RS boyar maddesinin adsorpsiyonunda Langmuir (a), Freundlich (b), Tempkin (c) ve Dubinin–Radushkevich (d) modeli

Şekil 8’de görüldüğü gibi, tüm sıcaklık değerlerinde Freundlich izoterm modeli diğer modellere göre deneysel verilerle daha iyi uyum sağlamıştır ($R^2 > 0.98$). K_f ve n ’nin büyüklükleri, Everzol yellow 3RS boyar maddesinin sulu çözeltiden kolay ayrıldığını gösterir. K_f değeri, adsorbentin adsorpsiyon kapasitesinin bir göstergesidir; $1/n$ konsantrasyonun adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisini gösterir ve n değeri heterojenlik derecesine göre değişen adsorpsiyon yoğunluğunu gösterir. $1/n > 1$ ise adsorpsiyon kimyasal bir işlemdir ve elverişsizdir, $1/n = 1$ ise adsorpsiyon doğrusal ve tersinmezdir; $0 < 1/n < 1$ adsorpsiyon uygundur ve $1/n < 1$ ise fiziksel bir adsorpsiyon sürecinin gerçekleştiğini ifade eder (Cüce ve Aydın Temel, 2021). n değerinin 1 olması doğrusal adsorpsiyonu

ve tüm bölgeler için eşit adsorpsiyon enerjilerini gösterir. $n < 1$ değerleri, yüzey konsantrasyonu arttıkça marjinal adsorpsiyon enerjisinin azaldığını göstermektedir (Salman et al., 2016). Buna göre, tüm sıcaklık değerleri için oluşturulan doğrusal denklemlerde $1/n$ değerlerinin 0-1 arasında olduğu görülmektedir. Doğrusal denklemlerinden n değerleri 25°C için 2.85, 40°C için 2.70 ve 60°C için ise 2.41 olarak hesaplanmıştır. Bu veriler, absorbat ve adsorbent arasındaki yüksek bağ kuvvetini belirtirken, aynı zamanda adsorbent yüzeyinin heterojen ve adsorpsiyonun uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. İzoterm model sabitleri ve korelasyon katsayıları

	Langmuir			Tempkin		
	q_m	K_L	R^2	b	K_t	R^2
25°C	3.004	0.294	0.9826	4446.735	4.721	0.9760
40°C	3.423	0.426	0.9944	3973.795	5.989	0.9910
60°C	3.918	0.349	0.9735	3596.218	4.604	0.9686
	Freundlich			Dubinin-Raduskevich		
	K_f	n	R^2	q_m	β	R^2
25°C	1.079	2.853	0.9997	2.140	3E-07	0.8161
40°C	1.142	2.703	0.9861	2.477	2E-07	0.8449
60°C	1.500	2.411	0.9957	2.620	2E-07	0.8360

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Everzol yellow 3RS boyar maddesinin Gıdya üzerine adsorpsiyon mekanizması kesikli adsorpsiyon tekniği ile araştırılmıştır. Yüksek düzeyde karbon içeren Gıdya'nın potansiyel bir adsorbent olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür. Everzol yellow 3RS boyar maddesinin Gıdya ile etkili bir şekilde giderimi için en uygun koşullar araştırılmış ve en iyi giderimin pH ayarlaması yapmaksızın, 90 dakika temas süresinde, 10 g/L adsorbent dozu ile gerçekleştiği bulunmuştur. Bununla birlikte, boyar madde konsantrasyonunun azalması ve ortam sıcaklığının artması Gıdya'nın boyar madde giderim kapasitesini arttırmıştır. Deneysel verilerdeki en iyi korelasyon, yalancı ikinci derece reaksiyon kinetik modeli ile sağlanmıştır. Bu, hız sınırlayıcı adımın difüzyondan ziyade kemisorpsiyon olabileceği anlamına gelir. Bununla birlikte hem film difüzyonu hem de parçacık içi difüzyon süreçleri kayda değer bulunmuştur. Freundlich izotermi, adsorpsiyon mekanizmasını tanımlamak için daha uygun sonuçlar vermiştir. Bu, adsorpsiyon sisteminin düzgün bir dağılım göstermediğini ve tek bir katmanla sınırlı olmadığını göstermiştir. Bununla birlikte, boyar madde ile doygunluğa ulaşmış adsorbente rejenerasyon işleminin uygulanması ekstra maliyet ve daha düşük verim anlamına gelmektedir. Ayrıca, konsantre atık suyun arıtımı düşünüldüğünde rejenerasyon işleminin uygulanması dezavantaja dönüşmektedir. Bu nedenle adsorpsiyon prosesinden sonra

adsorbentin uygun yöntemleri ile bertaraf edilmesi önerilmektedir. Atıksu adsorpsiyon ünitesine verilmeden önce giderim veriminin ve adsorbentin ömrünün arttırılması için başlangıç boyar madde konsantrasyonunun düşürülmesi uygun olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje FEN-BAP-A-250620-63) tarafından finanse edilmiştir. Araştırma olanağını sağladığı için Giresun Üniversitesi'ne teşekkür ediyorum.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yazar, makalenin tüm süreçlerinde “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, karşılaşılabilecek etik ihlallerden Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi ve yayın kurulunun herhangi bir sorumluluğunun bulunmadığını, bu çalışmanın Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi dışında herhangi bir akademik yayın ortamında değerlendirilmediğini beyan eder.

Kaynaklar

- Abbou, B., Lebkiri, I., Ouaddari, H., El Amri, A., Achibat, F.E., Kadiri, L., Ouass, A., Lebkiri, A., Rifi, E.H., (2023). Improved removal of methyl orange dye by adsorption using modified clay: Combined experimental study using surface response methodology. *Inorg. Chem. Commun.* 155, 111127. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111127>
- Acemioglu, B., (2004). Adsorption of Congo red from aqueous solution onto calcium-rich fly ash. *J. Colloid Interface Sci.*, 274, 371-379.
- Akbal, F., Kuleyin, A., (2011). Decolorization of levafix brilliant blue E-B by electrocoagulation method. *Environ. Prog. Sustain. Energy*, 30, 29–36. <https://doi.org/10.1002/ep.10437>
- Ameri, Atefeh, Faramarzi, M.A., Tarighi, S., Shakibaie, M., Ameri, Alieh, Ramezani-Sarbandi, A., Forootanfar, H., (2023). Removal of dyes by *Trametes versicolor* laccase immobilized on NaY-zeolite. *Chem. Eng. Res. Des.* 197, 240–253. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.07.014>
- Armağan, B., Turan, M., Çelik, M.S., (2004). Equilibrium studies on the adsorption of reactive azo dyes into zeolite. *Desalination*, 170, 33-39.
- Aydın Temel, F., (2018). Endüstriyel Sızıntı Suyundan Pb(II) Giderimi İçin Genleştirilmiş Perlit Kullanımı: Kinetik Çalışmalar. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknol. Derg.* 6, 360–364.
- Aydın Temel, F., (2017). Kinetics and thermodynamics of the Ni(II) ions sorption from industrial wastewater by gyttja. *Int. J. Exergy*, 23, 279–297. <https://doi.org/10.1504/IJEX.2017.086168>
- Aydın Temel, F., Avci, E., Turan, N.G., (2022). Investigation of Copper(Ii), Zinc(Ii) and Lead(Ii) Removal Onto Expanded Perlite By Adsorption From the Wastes of Metal Casting Industry: Statistical Modeling and Optimization. *Environ. Eng. Manag. J.* 21, 757–767. <https://doi.org/10.30638/eemj.2022.070>
- Aydın Temel, F., Avci, E., Turan, N.G., (2018a). Full factorial experimental design of Ni(II) removal from industrial wastewater by adsorption. *Int. J. Glob. Warm.* 16, 299–319. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2018.095388>

- Aydın Temel, F., Kuleyin, A., (2016). Ammonium removal from landfill leachate using natural zeolite: kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. *Desalin. Water Treat.* 57, 23873–23892. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1136964>
- Aydın Temel, F., Turan, N.G., Ozgonenel, O., Ardali, Y., (2018b). The use of response surface methodology for modelling of lead (II) removal from industrial waste by pumice and vermiculite. *Int. J. Glob. Warm.* 15, 175–189. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2018.092895>
- Aydın Temel, F., Turan, N.G., Ozgonenel, O., Ardali, Y., (2018c). Heavy metal removal with pure and biochar rice husks: Modelling and optimisation using Box-Behnken design. *Int. J. Glob. Warm.* 16, 1–17. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2018.094307>
- Balcik-Canbolat, C., Olmez-Hanci, T., Sengezer, C., Sakar, H., Karagunduz, A., Keskinler, B., (2019). A combined treatment approach for dye and sulfate rich textile nanofiltration membrane concentrate. *J. Water Process Eng.* 32, 100919. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100919>
- Barredo-Damas, S., Iborra-Clar, M.I., Bes-Pia, A., Alcaina-Miranda, M.I., Mendoza-Roca, J.A., Iborra-Clar, A., (2005). Study of preozonation influence on the physical-chemical treatment of textile wastewater. *Desalination*, 182, 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.017>
- Bharath Balji, G., Surya, A., Govindaraj, P., Monisha Ponsakthi, G., (2022). Utilization of fly ash for the effective removal of hazardous dyes from textile effluent. *Inorg. Chem. Commun.* 143, 109708. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.109708>
- Buscio, V., López-Grimau, V., Álvarez, M.D., Gutiérrez-Bouzán, C., (2019). Reducing the environmental impact of textile industry by reusing residual salts and water: ECUVal system. *Chem. Eng. J.* 373, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.146>
- Capar, G., Yetis, U., Yilmaz, L., (2006). Membrane based strategies for the pre-treatment of acid dye bath wastewaters. *J. Hazard. Mater.* 135, 423–430. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.12.008>
- Chen, Y., Zhang, D., (2014). Adsorption kinetics, isotherm and thermodynamics studies of flavones from *Vaccinium Bracteatum* Thunb leaves on NKA-2 resin. *Chem. Eng. J.* 254, 579–585. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.05.120>
- Cüce, H., Aydın Temel, F., (2021). Reuse of agro-wastes to treat wastewater containing dyestuff: Sorption process with potato and pumpkin seed wastes. *Int. J. Glob. Warm.* 24, 14–37. <https://doi.org/10.1504/ijgw.2021.115108>
- de Oliveira Neto, G.C., Ferreira Correia, J.M., Silva, P.C., de Oliveira Sanches, A.G., Lucato, W.C., (2019). Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development goals. *J. Clean. Prod.* 228, 1514–1525. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.334>
- Dikici, H., Saltali, K., Bingölbali, S. (2010). Equilibrium and Kinetics Characteristics of Copper (II) Sorption onto Gytjtja. *Bull Environ Contam Toxicol* 84, 147–151. <https://doi.org/10.1007/s00128-009-9899-x>
- Elver, O., Aydın Temel, F., Cagcag Yolcu, O., Akbal, F., Kuleyin, A., (2023). Modeling of Cu(II) adsorption on the activated *Phragmites australis* waste by fuzzy-based and neural network-based inference systems. *J. Ind. Eng. Chem.* <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.08.031>
- GilPavas, E., Dobrosz-Gómez, I., Gómez-García, M.Á., (2012). Decolorization and mineralization of Diarylide Yellow 12 (PY12) by photo-Fenton process: The Response Surface Methodology as the optimization tool. *Water Sci. Technol.* 65, 1795–1800. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.078>
- Ihaddaden, S., Aberkane, D., Boukerroui, A., Robert, D., (2022). Removal of methylene blue (basic dye) by coagulation-flocculation with biomaterials (bentonite and *Opuntia ficus indica*). *J. Water Process Eng.* 49, 102952. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102952>
- Khandegar, V., Saroha, A.K., (2013). Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent - A review. *J. Environ. Manage.* 128, 949–963. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.06.043>
- Kim, T.H., Park, C., Kim, S., (2005). Water recycling from desalination and purification process of reactive dye manufacturing industry by combined membrane filtration. *J. Clean. Prod.* 13, 779–786. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.044>
- Kuleyin, A., Aydın, F., (2011). Removal of Reactive Textile Dyes (Remazol Brilliant Blue R and Remazol Yellow) by Surfactant-Modified Natural Zeolite. *Environ. Prog. Sustain. Energy*, 30, 141–151. <https://doi.org/10.1002/ep>
- Kuleyin, A., Gök, A., Akbal, F., (2021). Treatment of textile industry wastewater by electro-Fenton process using graphite electrodes in batch and continuous mode. *J. Environ. Chem. Eng.* 9. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104782>
- Liu, Y., Tan, Y., Cheng, Z., Liu, S., Ren, Y., Chen, X., Fan, M., Shen, Z., (2022). Quantitative structure-activity relationship (QSAR) guides the development of dye removal by coagulation. *J. Hazard. Mater.* 438, 129448. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129448>

- Mallakpour, S., Sirous, F., Dinari, M., (2023). Comparative study for removal of cationic and anionic dyes using alginate-based hydrogels filled with citric acid-sawdust/UiO-66-NH₂ hybrid. *Int. J. Biol. Macromol.* 238, 124034. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124034>
- Olgun, A., Atar, N., (2012). Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies for the adsorption of lead (II) and nickel (II) onto clay mixture containing boron impurity. *J. Ind. Eng. Chem.* 18, 1751–1757. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2012.03.020>
- Ozdemir, O., Armagan, B., Turan, M., Çelik, M. S. (2004). Comparison of the adsorption characteristics of azo-reactive dyes on mezoporous minerals. *Dyes and Pigments*, 62(1), 49–60. doi:10.1016/j.dyepig.2003.11.007
- Öden, M.K., Şahinkaya, S., Küçükçongar, S. (2017). Pirina kullanılarak adsorpsiyon prosesinde renk giderimi, *Cumhuriyet Sci. J.*, 38-4, 215-219.
- Sala, M., Gutiérrez-Bouzán, M.C., (2014). Electrochemical treatment of industrial wastewater and effluent reuse at laboratory and semi-industrial scale. *J. Clean. Prod.* 65, 458–464. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.006>
- Salazar, R., Gallardo-Arriaza, J., Vidal, J., Rivera-Vera, C., Toledo-Neira, C., Sandoval, M.A., Cornejo-Ponce, L., Thiam, A., (2019). Treatment of industrial textile wastewater by the solar photoelectro-Fenton process: Influence of solar radiation and applied current. *Sol. Energy*, 190, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.072>
- Salman, T., Aydın Temel, F., Turan, G., Ardali, Y., (2014). Removal of lead (II) from aqueous solution by batch adsorption on various inexpensive adsorbents using experimental design. *Desalin. Water Treat.* 56, 1566–1575. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.951073>
- Salman, T., Aydın Temel, F., Turan, N.G., Ardali, Y., (2016). Adsorption of lead (II) ions onto diatomite from aqueous solutions: Mechanism, isotherm and kinetic studies. *Glob. Nest J.* 18, 1–10.
- Saltalı, K., Alhashemi, M. (2022). Gıda, Leonardit ve Kompost'un Çinko Sorpsiyon Özelliklerinin Belirlenmesi, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10, 2751-2757. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10isp1.2751-2757.5720>
- Shen, Y., Han, S., Xu, Q., Wang, Y., Xu, Z., Zhao, B., Zhang, R., (2016). Optimizing degradation of Reactive Yellow 176 by dielectric barrier discharge plasma combined with TiO₂ nano-particles prepared using response surface methodology. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 302–312.
- Soliman, N.K., Moustafa, A.F., Aboud, A.A., Halim, K.S.A., (2019). Effective utilization of Moringa seeds waste as a new green environmental adsorbent for removal of industrial toxic dyes. *J. Mater. Res. Technol.* 8, 1798–1808. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.12.010>
- Stavrinou, A., Aggelopoulos, C.A., Tsakiroglou, C.D., (2018). Exploring the adsorption mechanisms of cationic and anionic dyes onto agricultural waste peels of banana, cucumber and potato: Adsorption kinetics and equilibrium isotherms as a tool. *J. Environ. Chem. Eng.* 6, 6958–6970. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.10.063>
- Sumanjit, K., Rani, S., Mahajan, R.K., (2016). Equilibrium, kinetics and thermodynamic parameters for adsorptive removal of dye Basic Blue 9 by ground nut shells and Eichhornia. *Arab. J. Chem.* 9, S1464–S1477. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.03.013>
- Tsai, W. T., Chang, Y. M., Lai, C. W., Lo, C. C., (2005). Adsorption of ethyl violet dye in aqueous solution by regenerated spent bleaching earth. *J. Colloid Interface Sci.* 289, 333-338.
- Vargas, A.M.M., Cazetta, A.L., Kunita, M.H., Silva, T.L., Almeida, V.C., (2011). Adsorption of methylene blue on activated carbon produced from flamboyant pods (Delonix regia): Study of adsorption isotherms and kinetic models. *Chem. Eng. J.* 168, 722–730. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.01.067>
- Yadav, M., Thakore, S., Jadeja, R., (2022). Removal of organic dyes using Fucus vesiculosus seaweed bioadsorbent an ecofriendly approach: Equilibrium, kinetics and thermodynamic studies. *Environ. Chem. Ecotoxicol.* 4, 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.enecoco.2021.12.003>
- Zazou, H., Afanga, H., Akhouairi, S., Ouchtak, H., Addi, A.A., Akbour, R.A., Assabbane, A., Douch, J., Elmchaouri, A., Duplay, J., Jada, A., Hamdani, M., (2019). Treatment of textile industry wastewater by electrocoagulation coupled with electrochemical advanced oxidation process. *J. Water Process Eng.* 28, 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.006>
- Zazycki, M.A., Godinho, M., Perondi, D., Foletto, E.L., Collazzo, G.C., Dotto, G.L., (2018). New biochar from pecan nutshells as an alternative adsorbent for removing reactive red 141 from aqueous solutions. *J. Clean. Prod.* 171, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.007>