

## Bal Kabağı Sapı Tozunun Katyonik Tekstil Boyası Gideriminde Biosorbent Olarak Kullanımı ve Optimum Koşulların Belirlenmesi

\*Makale Bilgisi / Article Info  
Alındı/Received: 02.03.2024  
Kabul/Accepted: 01.08.2024  
Yayımlandı/Published:02.12.2024

### Use of Powdered Pumpkin Stalk as a Biosorbent in Cationic Textile Dye Removal and Determination of Optimum Conditions

Sevgi FERSİZ \* 

Kocaeli Üniversitesi, İzmit Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Kocaeli, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

#### Öz

Bu çalışmada kabak sapı tozu, sulu çözeltilerden Astrazon Red 5BL boyasının adsorpsiyon yöntemiyle gideriminde adsorban olarak kullanılmıştır. Adsorpsiyon çalışmaları kesikli sistemde çalışılarak pH, adsorban miktarı, karıştırma hızı, temas süresi, sıcaklık ve iyonik yükün boya giderim verimliliğine etkisi araştırılmıştır. pH 5, 0,5 g/100 ml adsorban miktarı, 250 rpm karıştırma hızı, 15 dakika temas süresi ve 25 °C sıcaklık gibi çalışma şartlarında en yüksek boya giderimi verimi %94,5 olarak elde edilmiştir. Kinetik veriler değerlendirildiğinde adsorpsiyonun hızlı bir şekilde 15 dakikada tamamlandığı ve yalancı ikinci dereceden kinetik modeline uyumlu olduğu görülmüştür ( $R^2=0,999$ ). Elde edilen verilerin Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine uygunluğu incelenmiştir. Freundlich ve Temkin izotermelerinin korelasyon katsayısına göre ( $R^2=0,941-0,940$ ) en iyi temsil eden modeller olduğu görülmüştür. Ayrıca çözeltinin tuz içerme durumunda adsorpsiyon veriminin tuzun varlığında olumsuz olarak etkilenmediği ortaya konmuştur. Bir tarımsal atık olan kabak sapı tozunun, katyonik boya gideriminde; elde edilmesi kolay, ilave işletme ve kimyasal masrafı gerektirmeyen bir adsorban olduğu ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Adsorpsiyon; Kabak sapı tozu; Katyonik boya; Kinetik; İzoterm.

#### Abstract

In this study, powdered pumpkin stalk was used as an adsorbent in the removal of Astrazon Red 5BL dye from aqueous solutions by adsorption method. Adsorption studies were conducted in a batch system and the effects of pH, adsorbent dosage, mixing speed, contact time, temperature and ionic strength on dye removal efficiency were investigated. The highest dye removal efficiency was obtained as 94,5% under operating conditions such as pH5, 0,5 g/100 ml adsorbent dosage, 250 rpm mixing speed, 15 minutes contact time and 25 °C temperature. When the kinetic data were evaluated, it was seen that the adsorption was completed quickly in 15 minutes and was compatible with the pseudo-second order kinetic model ( $R^2= 0,999$ ). The suitability of the obtained data to Langmuir, Freundlich and Temkin isotherm models was examined and it was found that the Freundlich and Temkin isotherms were the most representative model according to the correlation coefficient ( $R^2 = 0,941-0,940$ ). It has also been shown that if the solution contains salt, the adsorption efficiency is not negatively affected by the presence of salt. In the cationic dye removal of powdered pumpkin stalk, which is an agricultural waste; It has been demonstrated that it is an adsorbent that is easy to obtain and does not require additional operating and chemical costs.

**Keywords:** Adsorption; Powdered pumpkin stalk; Cationic dye; Kinetic; Isotherm.

#### 1. Giriş

Nüfus artışı ve paralel olarak insan ihtiyaçlarının giderek çoğalması, teknolojinin hızla gelişmesine neden olmuştur. Bu gelişmeler sebebiyle endüstriyel faaliyetlerin sayısı ve çeşitliliği artmış, ham madde kaynaklarına olan talep de çoğalmıştır (Wang et al. 2021, Chen et al. 2021). Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de tekstil sektörü, imalat sanayileri içerisinde sürekli gelişmekte olan bir endüstri dalıdır. Tekstil endüstrileri, su kirliliğine neden olan en önemli sektörlerden birisidir. Tekstil endüstrilerinde kullanılan boya maddeleri kimyasal yapılarına, çözünürlüklerine, uygulama alanlarına ve boyama

özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Boya maddeleri renk verecekleri yüzeylere hidrojen bağları, Van der Waals ve koordine kovalent bağlar ile bağlanmaktadır (Kıranşan 2021, Marin et al. 2019). Akrilik elyafları boyamak için kullanılan en önemli boya sınıfı olan katyonik boyalar düşük maliyetleri, yüksek dayanıklılık özellikleri ve stabiliteyi nedeniyle birçok malzemenin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Parlaklık ve yüksek renklendirme gücü ile katyonik boyalar suya renkli katyonlar vererek ayrışmaktadır (Kamel et al. 2010). Bu olumlu özellikleri yanında katyonik boyalar, anyonik boyalara göre daha toksiktirler. Katyonik boya maddeleri,

negatif yüklü hücre yapısıyla etkileşime girerek hücre içerisinde birikebilir ve besin zincirine dahil olabilirler (Tanyıldızı ve Uygut 2015). Ayrıca tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıksuların içeriğindeki toksik madde bileşenleri, suyun doğal yapısını bozarak alerjik deri iltihabına, mutasyona ve kanser gibi hastalıklara sebebiyet verebilirler (Bansal et al. 2021). Bununla birlikte tekstil atıksularının yapısındaki renk bileşenleri su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltmakta, oksijenin ana kaynağı olan fotosentez reaksiyonlarını olumsuz etkilemekte ve su ekosistemlerine zarar vermektedirler. Bu nedenle boya içeren tekstil endüstrisi atıksularının çevreye salınmadan önce arıtılarak boya maddelerinin giderilmesi veya zararsız hale getirilmesi gerekmektedir (Homagai et al. 2022). Boya içeren atıksularının kompleks ve sentetik yapıda olması nedeniyle biyolojik yöntemler ile arıtılabilirliği güçtür. Dolayısıyla bu tür atıksuların arıtılmasında adsorpsiyon (Aravindhan et al. 2024), koagülasyon (Zafar et al. 2024), iyon değiştirme (Xu et al. 2021), elektrokimyasal oksidasyon (Santos et al. 2020), membran filtrasyon (Liu et al. 2018), fenton (Riccobono et al. 2017) gibi arıtma yöntemleri kullanılmaktadır.

Tekstil atıksularının arıtılmasında kullanılan adsorpsiyon yöntemi, diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında uygulanabilirliği kolay olması, düşük maliyeti, yüksek etkinliği nedeniyle son yıllarda ilgi çeker hale gelmiştir (Felista et al. 2020). Adsorpsiyon prosesinde kullanılan adsorbanın gözenek yapısı ve yüzey alanı adsorpsiyonun başarısını etkilemektedir. Ayrıca adsorbanın adsorpsiyon kapasitesi, seçiciliği, stabilitesi, difüzyon direnci, düşük çözünürlüğü, sertliği, uzun kullanım ömrü, yan ürünler oluşturmaması ve uygun maliyetli olması adsorban seçimindeki önemli kriterlerdir (Gören et al. 2023).

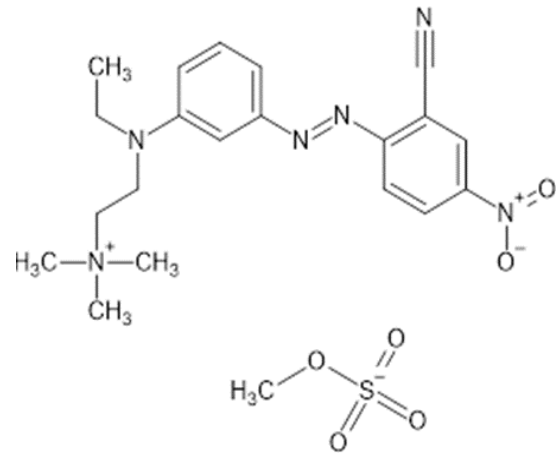
Adsorpsiyon yönteminde aktif karbon yüksek arıtma verimliliği nedeniyle birçok endüstride yaygın olarak kullanılan adsorbandır. Ancak, yüksek üretim maliyetlerinin yanı sıra bertaraf, yenileme ve kayıp sorunları, aktif karbon kullanımını sınırlandırmaktadır (Lim et al. 2017). Bu nedenlerden dolayı uygun maliyetli, çevre dostu adsorbanlara ihtiyaç doğmuştur. Tarımsal ve ormansal atıklar gibi biyokütlelerin adsorban malzeme olarak kullanıldığı biyosorpsiyon yöntemi ile kirletici maddelerin giderimi ilgi çekici hale gelmiştir. Bu amaçla zeytin çekirdeği (Banat et al. 2003), pirinç atıkları (Chowdhury et al. 2011), mısır koçanı (Tseng et al. 2006), buğday kepeği (Mousa and Taha 2015), fındık kabuğu (Güneş and Atav 2017), kayısı çekirdeği (Kavci et al. 2023) gibi birçok malzeme araştırılmıştır. Alternatif adsorban malzemelerin ekonomik, çevre dostu, doğada kolay bulunabilmeleri nedeniyle adsorpsiyon proseslerinde kullanılabilirliği oldukça yüksektir (Amar et al. 2022).

Katyonik boyaların birçok ürünün üretiminde yaygın olarak kullanılması, düşük maliyetli, dayanıklı ve yüksek stabilite özelliklerine sahip olması nedeniyle bu çalışmada katyonik boya sınıfına giren Astrazon Red 5 BL (AR) boyası kullanılmıştır. Adsorban olarak doğada kolayca bulunabilen, sıfır maliyetli bal kabağı sapı tozu (KT) kullanılmıştır. pH'nın adsorpsiyon verimi üzerine etkisini değerlendirmek amacı ile PHpzc noktası (sıfır yük noktası) bulunmuştur (pH drift yöntemi kullanılarak). Adsorpsiyon prosesini etkileyen parametreler olarak pH, adsorban miktarı, karıştırma hızı, temas süresi ve sıcaklık seçilmiştir. KT ile boya maddesi adsorpsiyonunda adsorpsiyon kinetiğinin belirlenmesi için yalancı birinci dereceden kinetik modeli ve yalancı ikinci dereceden kinetik modeli değerlendirilmiştir. KT'nin adsorpsiyon kapasitesinin belirlenmesi için ise Langmuir, Freundlich ve Temkin adsorpsiyon izotemleri kullanılmıştır. Ayrıca adsorban kullanım ömrünün değerlendirilmesi için adsorpsiyon-desorpsiyon çalışmaları 3 döngülü olarak gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Adsorbanın hazırlanışı

Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan KT, Kocaeli şehir pazarlarından temin edilmiştir. KT çeşme suyu ve saf su ile yıkandıktan sonra kuruması için etüvde 80 °C sıcaklıkta bekletilmiştir. Daha sonra öğütülmüş ve 50 mesh gözenek çapına sahip elek ile elenerek 300 µm sabit parçacık boyutuna getirilmiştir. Deneysel çalışmalar süresince nem almayacak bir ortamda muhafaza edilmiştir.



Şekil 1. AR boyarmaddesinin molekül yapısı.

### 2.2 Adsorbatın hazırlanışı

Astrazon Red 5BL (AR, C.I. Basic Red 24, C.I.11088, MA: 492,55 g/mol, λ<sub>max</sub> = 513 nm) boya maddesi Dystar firmasından temin edilmiştir. Kapalı molekül formülü C<sub>21</sub>H<sub>28</sub>N<sub>6</sub>O<sub>6</sub>S olan AR'nin kimyasal yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir. Belirli konsantrasyonlarda hazırlanan

AR kullanılarak, UV-GB spektrofotometresi cihazı ile ölçülen aborbans değerleri bulunmuş ve kalibrasyon grafiği hazırlanmıştır. 1g AR 1000 ml hacimli balon joje içerisinde saf su ile çözülerek standart çözeltisi hazırlanmış ve deneysel çalışmalarda istenen diğer konsantrasyonlar, bu stok çözeltiden saf su ile seyreltmeler yapılarak hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan çözeltilerin pH değerleri 0,1 mol/L HCl and 0,1 mol/L NaOH kullanılarak ayarlanmıştır.

### 2.3. Adsorpsiyon çalışmaları

Kabak sapı kullanılarak AR boya maddesi giderilmesi çalışmaları kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir. Kesikli deneysel çalışmalarda pH ( 3-7), adsorban miktarı (0,3-1 g/100 ml), karıştırma hızı (50-250 rpm), temas süresi (5-90 dk), başlangıç konsantrasyonu (25-400 mg/L) ve sıcaklık (25-55 °C) gibi parametrelerin adsorpsiyon verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar 250 ml'lik erlenler içerisinde 100 ml çalışma hacminde, NUVE ST-402 model çalkalayıcıda gerçekleştirilmiştir. Belirli zaman aralıklarında alınan numuneler 47 mm gözenek çapına sahip Whatman 0,45 µm filtre kağıdından süzölmüş ve boya konsantrasyonları 513 nm dalga boyunda UV-GB spektrofotometresi (Shimadzu 1240) kullanılarak tayin edilmiştir. Deneysel veriler, kalibrasyon grafiği yardımıyla adsorplanan boya miktarları ve çözeltilerden giderilen boya yüzdesi aşağıdaki Denklem (1-2) ile hesaplanmıştır (Chen et al. 2021).

$$q_e = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \quad (1)$$

$q_e$  = Bir gram adsorban tarafından adsorplanan boya miktarı (mg/g)

$C_0$  = Boya çözeltinin başlangıç konsantrasyonu (mg/L)

$C_e$  = Boya çözeltisinin denge konsantrasyonu (mg/L)

$V$  = Boya çözeltisinin hacmi (L)

$m$  = Adsorban miktarı (g)

$$\text{Boya giderim yüzdesi (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} * 100 \quad (2)$$

$C_0$  = Boya çözeltinin başlangıç konsantrasyonu (mg/L)

$C_e$  = Boya çözeltisinin denge konsantrasyonu (mg/L)

Deneysel olarak elde edilen veriler değerlendirilerek denge izotermi ve kinetik parametreler belirlenmiştir.

### 2.4. Adsorpsiyon izotermi

Adsorpsiyon izotermi, adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı ile çözeltide adsorplanmadan kalan madde arasındaki denge durumunu ifade etmek için kullanılır (Çelik Okumuş ve Doğan 2019). Bu çalışmada Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermi kullanılmıştır. Langmuir izoterm modeli adsorpsiyonun homojen bir yüzeyde tek

tabaka halinde gerçekleştiğini varsayar (Denklem 3). Bu izotermde bütün aktif noktaların adsorplanacak moleküllere karşı aynı enerji ve eşit afiniteye sahip olduklarını kabul eder.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}K_L} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad (3)$$

Burada,  $q_e$ , dengedeki adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),  $C_e$ , adsorplanan maddenin denge konsantrasyonu (mg/L),  $K_L$ , Langmuir adsorpsiyon sabiti (L/mg),  $q_{max}$ , tek tabaka maksimum adsorpsiyon kapasitesidir (mg/g) (Langmuir 1918); Freundlich izoterm modeli heterojen yüzeylerde adsorpsiyon prosesinin çok tabakalı olduğunu varsayar (Denklem 4).

$$\log q_e = \log K_F + n \log C_e \quad (4)$$

Burada  $q_e$ , dengedeki adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),  $C_e$ , adsorplanan maddenin denge konsantrasyonu (mg/L),  $K_F$ , Freundlich sabiti (mg/g)/(L/mg)<sup>1/n</sup> ve  $n$ , Freundlich adsorpsiyon izotermine ait sabit parametre olup adsorpsiyon yoğunluğunun veya yüzeyin heterojen karakteri hakkında bilgi vermektedir (Freundlich, 1906, Tran et al. 2017); Temkin izoterm modeli Denklem 5-6'da verilmiştir (Temkin and Pyzhev, 1940).

$$q_e = B_T \ln K_T + B_T \ln C_e \quad (5)$$

$$B_T = \frac{RT}{b} \quad (6)$$

Burada  $B_T$ , adsorpsiyon ısı ile ilişkili Temkin izoterm sabiti (J/mol),  $T$ , ortamın sıcaklığı (Kelvin),  $R$ , ideal gaz sabiti (8,314 J/mol K),  $K_T$ , Temkin izoterm sabitidir (L/mg).

### 2.5 Adsorpsiyon kinetiği

Adsorpsiyon mekanizmasının ve adsorpsiyon hızının kontrol adımlarını araştırmak için adsorpsiyon kinetik modellerinin belirlenmesi önemlidir. Bu amaçla bu çalışmada yalancı birinci dereceden kinetik modeli, yalancı ikinci dereceden kinetik modeli kullanılmıştır (Denklem 7-8) (Lagergren 1898, Sh. Gohr et al. 2022).

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (7)$$

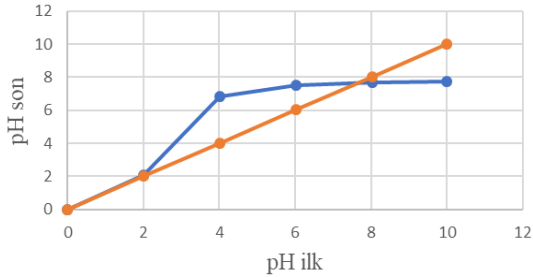
$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (8)$$

Burada,  $q_e$  (mg/g) denge olduğunda adsorpsiyon kapasitesini,  $q_t$  (mg/g) ise herhangi bir  $t$  süresindeki adsorpsiyon kapasitesini gösterir.  $k_1$  (1/dk),  $k_2$  (g/mg dk) ve  $t$  (dk) ise sırasıyla yalancı birinci dereceden hız sabiti ve yalancı ikinci derece hız sabiti ve süredir.

### 3. Bulgular

#### 3.1 KT'nin İzoelektrik Noktasının Belirlenmesi ve Çözelti pH'sının Etkisi

Adsorpsiyon prosesini etkileyen en önemli faktörlerden biri çözeltinin pH'ıdır. pH, adsorbanın hem yüzey yükünü, çözeltide bulunan maddenin iyonlaşma derecesini ve adsorbanın aktif bölgelerindeki fonksiyonel grupların ayrışmasını etkiler (Yönten et al. 2020). pH'ın adsorpsiyon üzerindeki etkisini anlayabilmek için adsorpsiyonu gerçekleştiren elektriksel yük yoğunluğunun sıfır olduğu pH noktasının (pHpzc) anlaşılması önemlidir (Kaykıoğlu 2016). Bu amaçla, pH drift yöntemi kullanılarak KT için pHpzc bulunmuştur. Yöntemde 0,1 M NaCl, 0,05 g KT 100 mg/L konsantrasyonlu AR çözeltisine eklenmiş ve numunelerin pH'ları 2-10 aralığında ayarlanarak 24 saat 150 rpm karıştırılmıştır. Daha sonra numunelerin son pH değerleri ölçülmüştür. İlk pH ve son pH arasındaki fark hesaplanmıştır. Elde edilen fark, ilk pH değerine karşı grafiğe geçilmiş ve eğrinin yatay eksenine pHpzc değeri 7,6 olarak bulunmuştur (Şekil 2). Çözeltinin pH değeri pHpzc'den düşük olduğunda adsorban yüzeyi pozitif yüklenirken büyük olduğunda ise negatif yüklenir (Kaykıoğlu 2016).



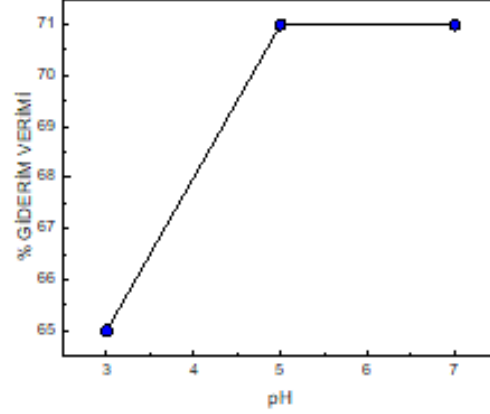
Şekil 2. KT'nin pH drift yöntemi ile izoelektrik nokta tayini.

Ancak, AR katyonik bir boya olması nedeniyle yüksek pH değerlerinde çalışılması adsorpsiyon verimini yükselteceği öngörülmesine rağmen adsorpsiyon prosesi öncesinde AR boyasının adsorban eklenmeden pH değişimine karşı direncinin incelendiği ön çalışmalarda, yüksek pH'larda (pH 9-11) bozulmaya uğrayarak dibe çöktüğü ve orijinal rengini kaybettiği görülmüştür. Bu nedenle sonuçların güvenilirliğini tehlikeye atmamak için adsorpsiyon çalışmaları pH 3-7 aralığında çalışılmıştır (Şekil 3). Elde edilen veriler incelendiğinde optimum pH değerinin çözeltinin kendi pH değeri olan pH 5'te olduğu görülmüştür.

#### 3.2 Adsorban Miktarının Etkisi

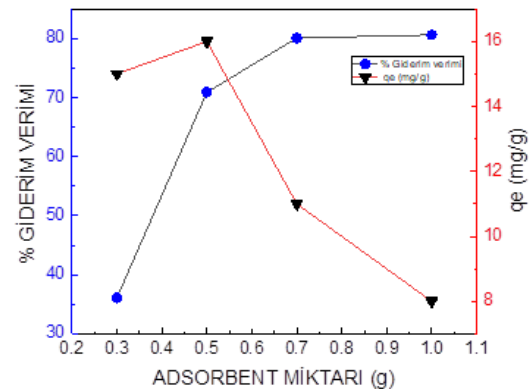
Adsorban dozunun incelenmesi adsorban etkinliği ve absorplama yeteneği hakkında bize önemli bilgiler vermektedir. Ayrıca adsorban israfının önlenmesi ve böylece prosesin ekonomik olarak işletilebilmesi için de

gerekli bir çalışmadır (Salleh et al. 2011). Optimum adsorban miktarının belirlenebilmesi için 100 mg/L başlangıç konsantrasyonunda, pH5'te, 150 rpm karıştırma hızında, 1 saatlik adsorpsiyon çalışmalarında değişen oranlarda (0,3-1 g KT/100 ml) adsorban miktarı kullanılmıştır.



Şekil 3. AR gideriminde pH'nın etkisi, sıcaklık: 25 °C, başlangıç konsantrasyonu: 100 mg/L AR, karıştırma hızı: 150 rpm, temas süresi: 1 sa.

DeneySEL çalışmalarda kullanılan adsorban miktarı 0,3 g/100 ml'den 0,5 g/100 ml'ye çıktığında adsorpsiyon verimi %36'dan %71'e yükselmiştir. Verimdeki bu artışı artan yüzey miktarı ve adsorpsiyon bölgesi ile açıklayabiliriz (Garg et al. 2003). Adsorban miktarının 0,5 g/100ml'den 0,7-1 g/100ml düzeyine çıkarılması durumunda ise adsorpsiyon verimi %80 değerinde kalmasına rağmen qe değeri 16 mg/g'dan 11 mg/g'a düşmüştür (Şekil 4). Adsorbanın maksimum kapasitesinin kullanılması ve hammadde (KT) kullanımını minimize etmek için 0,5 g/100 ml adsorban miktarı optimum değer olarak kabul edilmiş ve çalışmaya bu miktar ile devam edilmiştir.

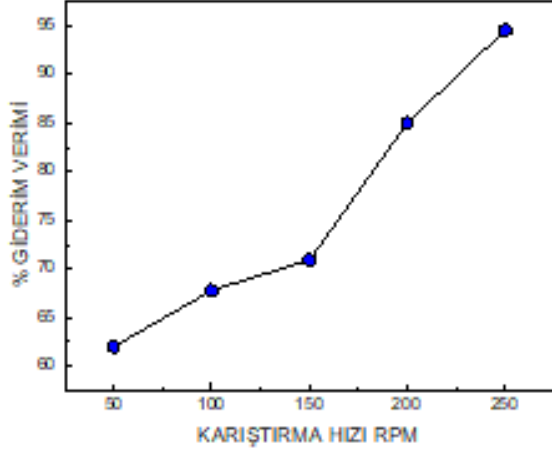


Şekil 4. AR gideriminde KT miktarının etkisi, pH: 5, sıcaklık: 25 °C, başlangıç konsantrasyonu: 100 mg/L AR, karıştırma hızı: 150 rpm, temas süresi: 1 sa.

#### 3.3 Karıştırma Hızının Etkisi

Adsorban ve boya molekülleri arasındaki etkileşimin artması için deney ortamının karıştırılması gerekmektedir.

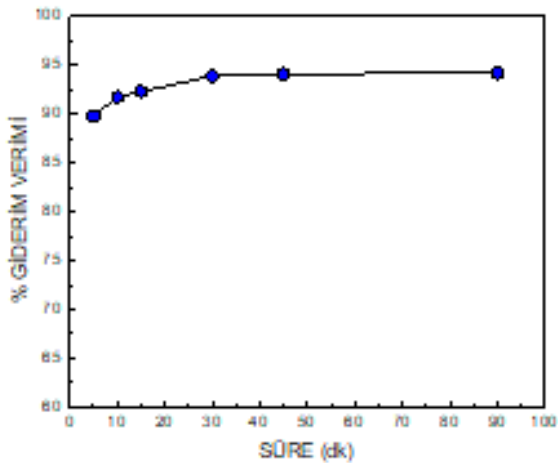
Karıştırma hızı adsorpsiyon verimi ve maksimum adsorplama kapasitesi için önemli bir parametredir. Uygun karıştırma hızının etkisi (50-250 rpm), 100 mg/L AR konsantrasyonunda, pH 5'te, 0,5g KT/100 ml adsorban miktarında, 1 saat temas süresi sonunda belirlenmiştir (Şekil 5). 250 rpm karıştırma hızında %94,5 boya giderimi gözlenmiştir ve sonraki çalışmalarda optimum karıştırma hızı 250 rpm olarak kullanılmıştır.



Şekil 5. AR gideriminde karıştırma hızının etkisi. Sıcaklık: 25 °C, pH: 5, başlangıç konsantrasyonu: 100 mg/L AR, adsorban miktarı: 0,5 g KT, temas süresi: 1 sa.

### 3.4 Temas süresinin etkisi

Adsorpsiyon prosesinde optimum temas süresinin belirlenmesi, zaman ve işletme maliyetinin tasarrufu için önemli bir kriterdir. Adsorpsiyon verimi temas süresine bağlı olarak değişebilmektedir (Solangi et al. 2021). Belirlenen optimum koşullarda, 5-90 dakika aralıklarında çalışılarak temas süresinin boya giderimi verimi üzerindeki etkinliği belirlenmiştir. Deneyin başlangıcında daha fazla kullanılabilir adsorban yüzeylerinin varlığı nedeniyle ilk 5 dakika temas süresi sonunda adsorpsiyon veriminde hızlı bir artış gözlenerek %89,8 verime ulaşılmıştır (Şekil 6).

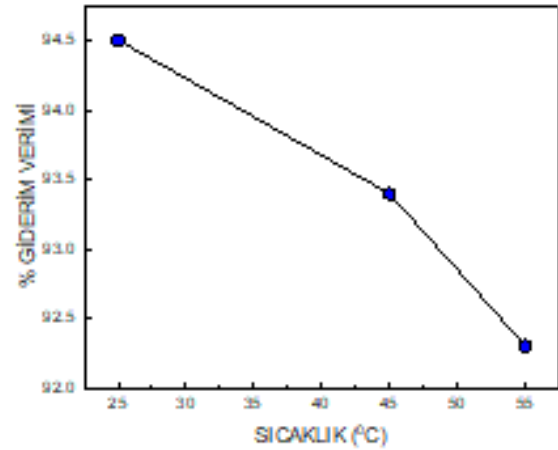


Şekil 6. AR gideriminde temas süresinin etkisi. Sıcaklık: 25 °C, pH: 5, başlangıç konsantrasyonu: 100 mg/L AR, karıştırma hızı: 250 rpm, adsorban miktarı: 0,5 g KT

Temas süresi arttıkça adsorbe olan boya miktarı artarak 30 dakika sonunda optimum değere ulaşılmıştır. 30-90 dakika temas süreleri sonunda boya gideriminde belirgin bir artış gözlenmemiştir. Adsorpsiyon verimi açısından değerlendirildiğinde her ne kadar reaksiyon 30 dakikada maksimum verime ulaşmış olsa da 15. dakikadan sonra anlamlı bir artış olmadığından optimum süre 15 dakika olarak seçilmiştir.

### 3.5 Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklık değişiklikleri, çözeltinin viskozitesini değiştirmesinin yanı sıra, adsorbanın dış sınır tabakası ve iç gözenek yapısı üzerinde boyanın difüzyon hızını kontrol edebilen önemli bir parametredir (Felista et al. 2020). Sıcaklığın AR giderim verimliliği üzerindeki etkisi 25-55 °C sıcaklık aralıklarında çalışılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 7'te verilmiştir.



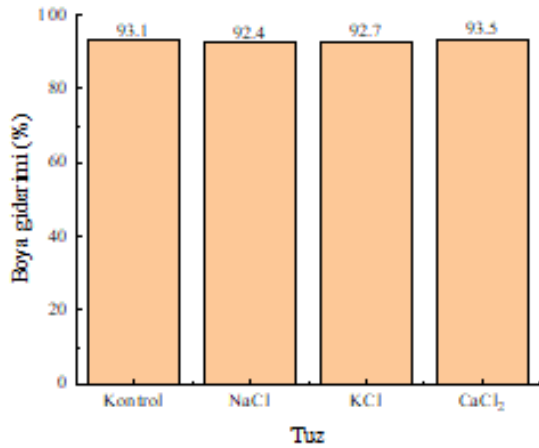
Şekil 7. AR gideriminde sıcaklığın etkisi. Başlangıç konsantrasyonu: 100 mg/L AR, pH 5'te, karıştırma hızı: 250 rpm, adsorban miktarı: 0,5 g KT, temas süresi: 15 dk

Sonuçlara bakıldığında 25 °C'de %94,5 boya giderimi sağlanmıştır. Deneysel çalışmalarda sıcaklığın artışı ile AR'nin adsorpsiyon verimi azalmıştır. 55°C'de boya giderimi %92 olarak elde edilmiştir. AR'nin KT'e üzerine adsorpsiyonun artan sıcaklıkla beraber artması entalpi değişiminin negatif olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda KT yüzeyindeki adsorpsiyon olayının ekzotermik bir reaksiyon olduğu söylenebilir. Artan sıcaklıkla adsorplanan moleküllerin desorbe olma eğiliminin artması; adsorbanın yüzeyindeki aktif alanların küçülmesi ve değişimi, boya moleküllerinin hareketinin artması, aktif yüzey alanının azalması gibi birçok faktörden kaynaklanabilir (Chowdhury et al. 2011).

### 3.6 KT adsorpsiyonu ile AR boyasının giderim prosesinde tuz varlığının etkisi

Tekstil endüstrisi atıksuları organik ve inorganik karakterde birçok kirleniciyi bir arada içerebilmektedir. Bu kirleniciler arasında var olan inorganik tuzlar adsorpsiyon

verimi üzerinde etki yaratma potansiyeli taşımaktadır (Cebeci ve Şentürk 2020, Kaykıoğlu 2016). KT üzerine AR boyasının adsorpsiyonuna yabancı iyon etkisinin araştırılabilmesi amacı ile bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde 100 mg/L konsantrasyona sahip AR çözeltilerine, NaCl, KCl ve CaCl<sub>2</sub> tuzları 0,1M tuz içerecek şekilde ilave edilmiştir. İdeal koşul olarak belirlenen şartlarda (0,5 g adsorban, 25°C sıcaklık, 15 dk temas süresi ve 250 rpm karıştırma hızı) gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen boya giderim verimleri Şekil 8’te verilmiştir. Şekil 8’den görüldüğü üzere çözeltilere ilave edilen tuzların varlığı genel olarak AR boyasının adsorpsiyonuna anlamlı bir etki yapmadığı görülmüştür. Bu durum, tuzlar ile adsorbanın yüzeyi arasında veya tuzlar ile boya arasında herhangi bir etkileşimin olmadığı sonucunu doğurmaktadır (Banat et al. 2003). Bu sonuçlar KT’nin farklı tuzları da içermeye ihtimali olan tekstil endüstrisi atıksularından AR boyasını başarı ile adsorplama kabiliyetine sahip bir adsorban olduğunu göstermektedir.

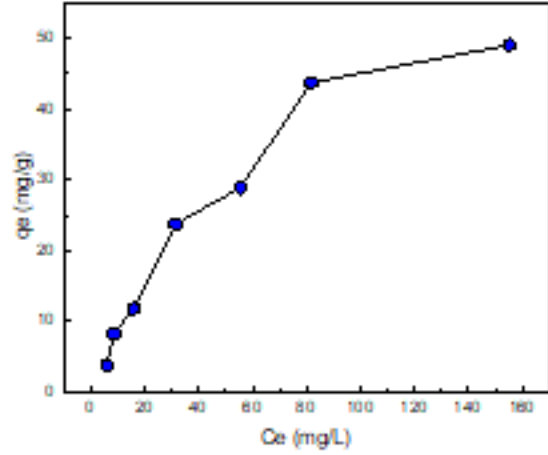


Şekil 8. Farklı tuzların varlığında adsorpsiyon verimi (0,1 M NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>)

### 3.7 Adsorpsiyon izotermeleri

Adsorpsiyon prosesi üzerinde başlangıç boya konsantrasyonunun etkisini gözlemleyebilmek için AR’dan 25-400 mg/L başlangıç konsantrasyonlarında örnekler hazırlanarak daha önce belirlenen optimum şartlarda çalışmış ve boya konsantrasyonları ölçülmüştür. Artan başlangıç boya konsantrasyonu ile KT üzerinde tutulan boya miktarı artmıştır. Başlangıç AR konsantrasyonu 25

mg/L’den 400 mg/L’ye yükseldiğinde adsorpsiyon kapasitesi 3,92 mg/g’dan 49,1 mg/g’a yükselmiştir (Şekil 9). Giderim verimi ise %80,24’e yükselmiştir.

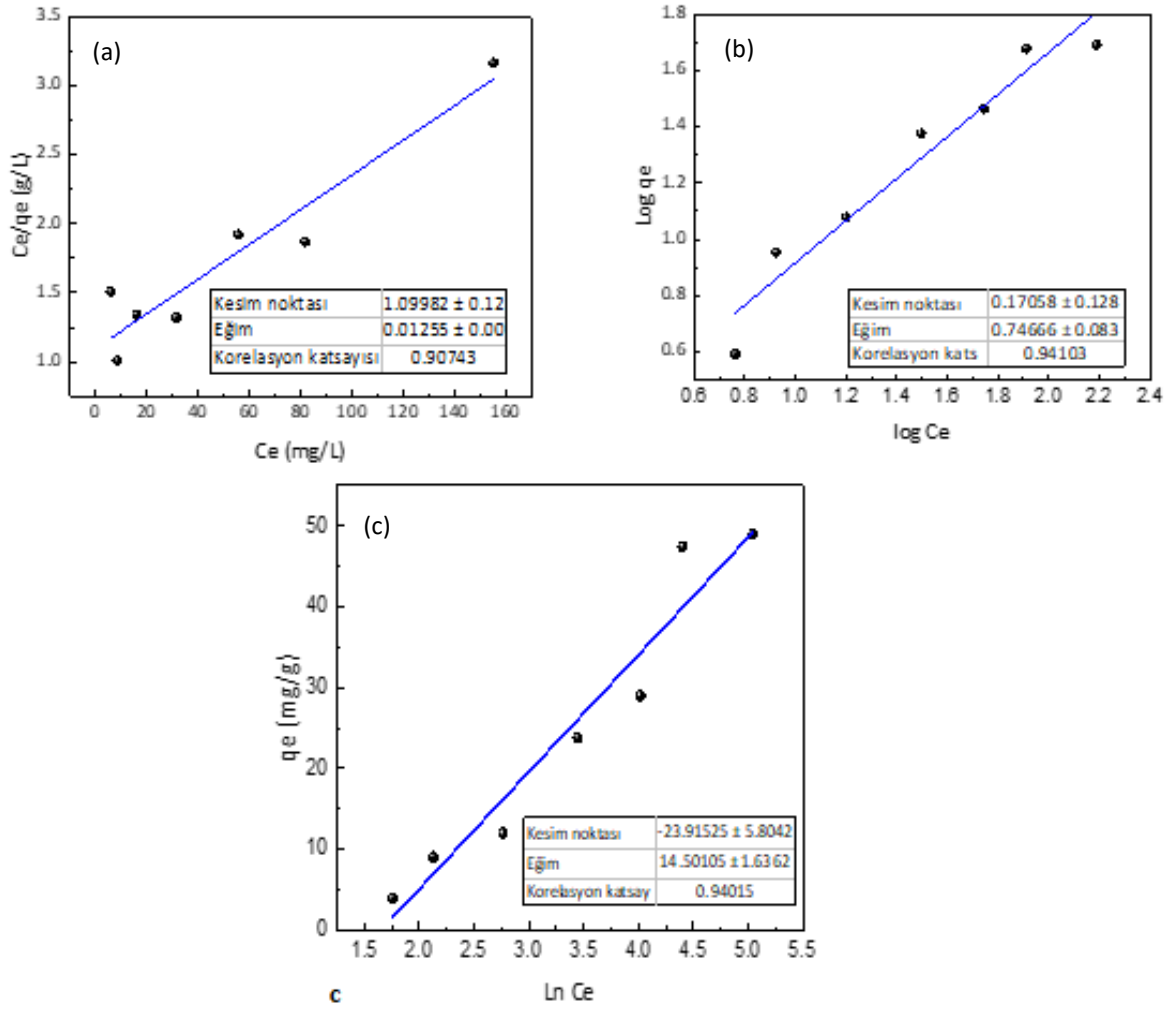


Şekil 9. AR’nin KT üzerine adsorpsiyonunda Ce-qe grafiği (Sıcaklık: 25°C, karıştırma hızı=250 rpm)

Ayrıca adsorpsiyon izotermelerinin ortaya konması adsorban ve adsorbat molekülleri arasındaki ilişkinin ifade edilebilmesi için önemlidir. Bu amaçla çalışmamızdan elde edilen deneysel sonuçlara Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermeleri uygulanmış ve bu izoterm modellerinden elde edilen katsayılar ve sabitler Çizelge 1’de, AR boyasının KT adsorbanına adsorpsiyonuna ait izoterm grafikleri Şekil 10’da verilmiştir. Uygulanan modeller birbiri ile kıyaslandığında Langmuir izotermine R<sup>2</sup> değerlerinin diğer izoterm modellerinden küçük olması nedeniyle adsorpsiyon prosesinin Freundlich ve Temkin izotermine uyduğu ve en yüksek korelasyon katsayılarına sahip olduğu (R<sup>2</sup>=0,941-0,940) görülmüştür. Bu çalışmada 1/n değeri 0,7467 olarak bulunmuştur. Buradan yola çıkarak adsorpsiyon elverişli olduğu ve adsorbatın adsorbe olabileceği çok sayıda aktif bölgenin mevcut olduğu sonucuna varılır. Freundlich izotermine 1/n değeri ayrıca adsorbatın, adsorbana olan afinitesinin bir göstergesidir (Han et al. 2023). 1/n değerinin 1’den küçük olması adsorpsiyon prosesinin kimyasal bağlanma yolu ile gerçekleştiğini, 1’den büyük olması ise fiziksel kuvvetlerin etkisi ile gerçekleştiğini ifade etmektedir. 1/n değeri 0’a yaklaştıkça adsorban yüzeyinin heterojenitesi artma eğilimindedir (Mustapha ve Bawa-Allah 2020).

Çizelge 1. İzoterm modellerinden elde edilen katsayılar ve sabitler.

Langmuir	Freundlich	Temkin
q <sub>e</sub> (mg/g)	1/n	B <sub>T</sub> (J/mol)
q <sub>maks</sub> (mg/g)	K <sub>F</sub> ((mg/g)(L/mg) <sup>1/n</sup> )	K <sub>T</sub> (L/mg)
K <sub>L</sub> (L/mg)	-	-
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>



Şekil 10. AR boyasının KT'ye adsorpsiyonuna ait izoterm grafikleri

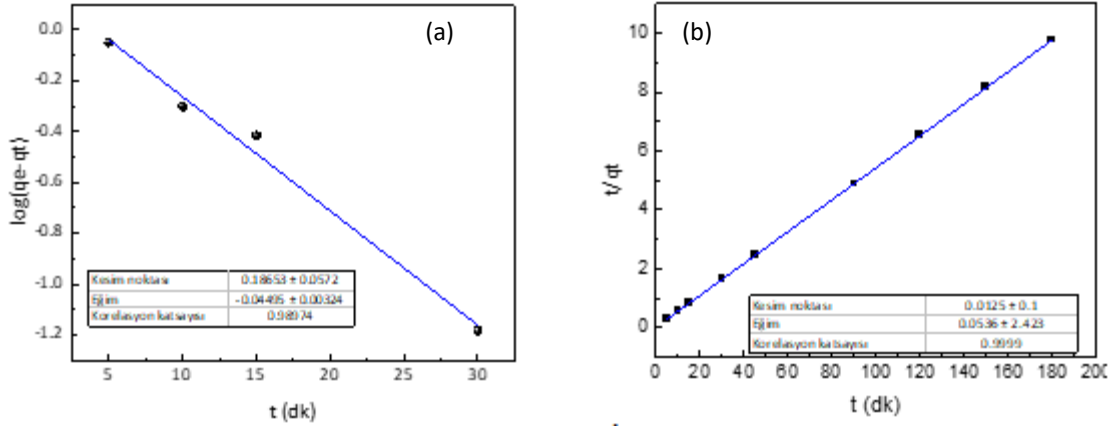
Çalışmada  $1/n$  değeri 0,7467 olması prosesin kimyasal olarak gerçekleşme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Ayrıca adsorban yüzeyi 0 noktasına uzaktır. Temkin izotermi sonuçları yorumlanırken adsorpsiyon ısısını temsil eden  $B_T$  (J/mol) değerinden faydalanılır. Bu değer 20 J/mol'ün altında kaldığı adsorpsiyon prosesleri fiziksel adsorpsiyon, üzerinde olduğu prosesler kimyasal adsorpsiyon olarak kabul edilir. Tablodan  $B_T$ 'nin bu çalışma için 14,50 J/mol olarak elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle adsorpsiyon prosesi fiziksel hem de kimyasal proses olarak değerlendirilebilir. Ayrıca maksimum bağlanma enerjisi sabiti ( $K_T$ ) 0,19 L/mg olarak bulunmuştur. Tüm bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde bu çalışmada kullanılan adsorban ile boya arasındaki adsorpsiyon prosesinin çoklu mekanizmalar tarafından kontrol edildiği sonucuna varılır.

### 3.8 Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyonun dengeye gelme noktası boyanın adsorban üzerine tutunmasının sona erdiği ve artık başka bir boya molekülünün adsorban ile etkileşime girmediği noktadır. Yapılan çalışmalardan AR boyasının KT'ye adsorpsiyonunun %80'inin çok hızlı olarak ilk beş dakikada

gerçekleştiği ardından boya giderim veriminin çok yavaş bir şekilde 30. dakikaya kadar artarak devam ettiği görülmektedir (Hassan et al. 2020). 30. dakikadan sonra ise anlamlı bir artış izlenmemiştir. Adsorpsiyon kinetiği çalışmaları adsorpsiyonun mekanizması hakkında fikir verir ve kirletici maddelerin uzaklaştırılmasının kontrol edilmesinde sorpsiyon prosesinin hızı önemlidir (Dalle et al.2018). Çalışmada kullanılan boyanın, KT adsorbanına adsorpsiyon kinetiğinin ortaya konması amacı ile deneysel verilere 1. ve 2. dereceden yalancı kinetik modelleri uygulanmıştır. Bu modellerden elde edilen eğriler Şekil 11'da, model parametreleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Bu tablodan görüldüğü üzere elde edilen yalancı 1. ve 2. Derece modellerin her ikisi için de korelasyon katsayısı oldukça yüksektir ve sırasıyla  $R^2$  değeri 0,989 ve 0,999 olarak elde edilmiştir. Ancak bu modellerden elde edilen  $q_e$  değerleri birbiri ile karşılaştırıldığında yalancı ikinci derece modelden elde edilen sonucun ( $q_e=18,38$ ) deneysel  $q_e$  (18,40) ye daha yakın olduğu görülmektedir. Bu sebeple AR boyasının KT'ye adsorpsiyonun yalancı ikinci derece kinetik model ile uyumlu olduğu saptanmıştır.





Şekil 11. Kinetik grafikleri: a. Yalancı 1. derece, b. Yalancı 2. derece kinetik modeli

**Çizelge 2.** Kinetik model katsayıları

Kinetik model	R <sup>2</sup>	k <sub>1</sub> (dk <sup>-1</sup> )	k <sub>2</sub> (mg g <sup>-1</sup> dk <sup>-1</sup> )	qe <sub>hesaplanan</sub> mg/g	qe <sub>deneySEL</sub> mg/g
Yalancı 1. derece kinetik model	0,989	0,103405	-	1,536385	18,40
Yalancı 2. derece kinetik model	0,999	-	0,15996	18,38235	18,40

**3.9 Desorpsiyon ve Yeniden Kullanım**

Adsorpsiyon prosesinin işletme maliyeti açısından kullanılan adsorbanın verimliliği kadar yeniden kullanılabilirliği de önemlidir (Cebeci ve Şentürk 2020). Bu amaçla belirlenen miktarda KT, pH ayarlaması yapılmaksızın, 100 mg/L AR içerecek şekilde 15 dakika temas süresinde 250 rpm 'de karıştırılarak adsorpsiyona tabi tutulmuştur. Rejenerasyon amacıyla deneyden elde edilen kullanılmış adsorban filtre kağıdı ile süzülüp sabit tartıma gelinceye kadar 80 °C'de kurutulmuştur. Rejenerasyon amacıyla, kurutulmuş 0,5 g adsorban, 100 ml 0,1 M HCl çözeltisi ile muamele edilmiştir. Rejenere edilen adsorban, filtre edilerek ayrılmış ve kurutulmuştur. Daha sonra tekrar boya çözeltisi ile adsorpsiyona tabi tutularak verimi araştırılmıştır. Rejenerasyon çalışmalarına devam edilerek bu işlem 3 döngü olacak şekilde tekrarlanmıştır. Bu sonuçlara göre 1., 2. ve 3. rejenerasyondan sonra adsorbanın giderim verimi sırasıyla %96, %93, %89 olarak yüksek değerlerde kalmaya devam etmiştir. Bu çalışma sonuçlarına göre KT rejenerasyon ile yeniden kullanılabilirliği yüksek bir adsorban olarak değerlendirilmiştir.

**4. Sonuçlar**

Astrazon Red 5BL'nin ham kabak sapı tozu üzerine olan adsorpsiyonunda, farklı işletme şartları olan; pH (3-7), adsorban miktarı (0,3-1 g/100 ml), karıştırma hızı (50-250 rpm), temas süresi (5-90 dk) ve sıcaklık (25-55 °C) parametrelerinin giderim verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda optimum çalışma koşulları pH 5, KT dozajı 0,5 g/100 ml, karıştırma hızı 250 rpm, temas süresi 15 dakika ve sıcaklık 25 °C olarak belirlenmiştir. Ayrıca atıksuda bulunan NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>

gibi tuzların adsorpsiyon verimi üzerinde gerçekleştirme ihtimali olan etkisi araştırılmış ve bu tuzların varlığının KT'nin adsorpsiyon başarısı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür. Deneysel sonuçlara farklı izoterm ve kinetik modelleri uygulanarak adsorpsiyon mekanizması hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler ışığında KT'nin AR boyası üzerine adsorpsiyonunun Freundlich ve Temkin izotermine (R<sup>2</sup>=0,941-0940) ve kinetik çalışmaların sonuçlarına göre ise yalancı ikinci derece kinetik modele (R<sup>2</sup>=0,999) yüksek korelasyon ile uyduğu görülmüştür. Yapılan rejenerasyon çalışması sonuçlarına göre KT çok kez kullanılabilen ve boya giderim kapasitesini koruyan bir adsorbandır. Tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde kabak sapı tozunun renkli atıksuların arıtımında yüksek giderim verimine sahip, çevre dostu, düşük maliyetli bir adsorban olduğu sonucuna varılmıştır. Bu avantajlarıyla kabak sapı tozu, boya endüstrisi atıksuları için yüksek bir kullanım potansiyeline sahiptir.

**Etik Standartlar Bildirgesi**

Yazar tüm etik standartlara uyduğunu beyan eder.

**Yazarlık Katkı Beyanı**

Yazar: Araştırma, Fikir Sahibi, Deney tasarımı, Proje Yöneticisi, Görselleştirme, Yazma –orijinal taslak

**Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarın bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edeceği hiçbir çıkar çatışması yoktur.

**Verilerin Kullanılabilirliği**

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir



## 5. Kaynaklar

- Amar, I. A., Zayid, E. A., Dhikeel, S. A. and 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. <https://doi.org/10.33263/BRIAC126.78457862>
- Aravindhana, S., Bharath Kumar, G., Saravanan, M. and Arumugam, A., 2024. Delonix regia biomass as an eco-friendly biosorbent for effective Alizarin Red S textile dye removal: Characterization, kinetics, and isotherm studies. *Bioresource Technology Reports*, **25**, 101721. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101721>
- Banat, F., Al-Asheh, S. and Al-Makhadmeh, L., 2003. Evaluation of the use of raw and activated date pits as potential adsorbents for dye containing waters. *Process Biochemistry*, **39(2)**, 193–202. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00065-7)
- Bansal, S., Pandey, P. K. and Upadhyay, S., 2021. Methylene Blue Dye Removal from Wastewater Using Ailanthus Excelsa Roxb as Adsorbent. *Water Conservation Science and Engineering*, **6(1)**, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s41101-020-00097-3>
- Cebeci, M. S. ve Şentürk, İ., 2020. Tarımsal Atık Materyal Kullanılarak Sucul Çözümlerden Chrysoïdine Y Boyasının Giderimi. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, **4(1)**, 18-28.
- Chen, M., Wang, X. and Zhang, H., 2021. Comparative research on selective adsorption of Pb(II) by biosorbents prepared by two kinds of modifying waste biomass: Highly-efficient performance, application and mechanism. *Journal of Environmental Management*, **288**, 112388. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112388>
- Chowdhury, S., Mishra, R., Saha, P. and Kushwaha, P., 2011. Adsorption thermodynamics, kinetics and isosteric heat of adsorption of malachite green onto chemically modified rice husk. *Desalination*, **265(1-3)**, 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.07.047>
- Çelik Okumuş, Z. ve Doğan, T. H., 2019. Biyodizeldeki suyun reçine ile uzaklaştırılması: Adsorpsiyon izotermi, kinetiği ve termodinamik incelemesi. *European Journal of Science and Technology*, **15**, 561–570. <https://doi.org/10.31590/ejosat.535977>
- Dallel, R., Kesraoui, A. and Seffen, M., 2018. Biosorption of cationic dye onto »phragmites australis« fibers: Characterization and mechanism. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **6(6)**, 7247–7256. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.10.024>
- Felista, M. M., Wanyonyi, W. C. and Ongera, G., 2020. Adsorption of anionic dye (Reactive black 5) using macadamia seed Husks: Kinetics and equilibrium studies. *Scientific African*, **7**, e00283. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00283>
- Freundlich H.M.F., 1906. Over the adsorption in solution, *The Journal of Physical Chemistry*, **57**, 385-470.
- Garg, V. K., Gupta, R., Yadav, A. B. and Kumar, R., 2003. Dye removal from aqueous solution by adsorption on treated sawdust. *Bioresource Technology*, **8(2)**, 121–124. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00058-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00058-0)
- Gören, M., Murathan, H. B., Kaya, N. ve Murathan, A. M., 2023. Çam kozalağından üretilmiş modifiye aktif karbon ile sulu çözeltiden Rodamin B boyasının adsorpsiyonu. *Politeknik Dergisi*, **26(1)**, 283–292. <https://doi.org/10.2339/politeknik.989900>
- Güneş, E. and Atav, R., 2017. The use of nutshell firstly as a natural dye for cotton and wool and then as a natural adsorbent for colour removal of basic dye effluent. *Coloration Technology*, **133(1)**, 88–93. <https://doi.org/10.1111/cote.12255>
- Han, Z., Sun, L., Chu, Y., Wang, J., Wei, C., Jiang, Q., Han, C., Yan, H. and Song, X., 2023. States of graphene oxide and surface functional groups amid adsorption of dyes and heavy metal ions. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, **63**, 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2023.05.005>
- Hassan, W., Noreen, S., Mustaqeem, M., Saleh, T. A. and Zafar, S., 2020. Efficient adsorbent derived from Haloxylon recurvum plant for the adsorption of acid brown dye: Kinetics, isotherm and thermodynamic optimization. *Surfaces and Interfaces*, **20**. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100510>
- Homagai, P. L., Poudel, R., Poudel, S. and Bhattarai, A., 2022. Adsorption and removal of crystal violet dye from aqueous solution by modified rice husk. *Heliyon*, **8(4)**, e09261. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09261>
- Kamel, M. M., Helmy, H. M., Mashaly, H. M. and Kafafy, H. H., 2010. Ultrasonic assisted dyeing: Dyeing of acrylic fabrics C.I. Astrazon Basic Red 5BL 200%. *Ultrasonics Sonochemistry*, **17(1)**, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.06.001>
- Kavci, E., Erkmen, J. and Bingöl, M. S., 2023. Removal of methylene blue dye from aqueous solution using citric acid modified apricot stone. *Chemical Engineering Communications*, **210(2)**, 165–180. <https://doi.org/10.1080/00986445.2021.2009812>
- Kaykioğlu, G., 2016. Kolemanit ve üleksit atığı ile sulu çözümlerden metilen mavisi giderimi: Kinetik ve izoterm Değerlendirmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **12(3)**, 499–509.

- Kırışan, M., 2021. An investigation on the removal of anionic and cationic dyes in wastewater by using sonophotocatalytic oxidation processes, *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, **8(19)**, 43–54.  
<https://doi.org/10.38065/euroasiaorg.908>
- Lagergren, S., 1898. About the theory of so-called adsorption of soluble substances. *K. Sven. Vetensk. Handl.*, **24 (4)**, 1-39.
- Langmuir, I. 1918. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society*, **40**, 1361-1403.
- Lim, L. B. L., Priyantha, N., Tennakoon, D. T. B., Chieng, H. I., Dahri, M. K. and Suklueng, M., 2017. Breadnut peel as a highly effective low-cost biosorbent for methylene blue: Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. *Arabian Journal of Chemistry*, **10**, S3216–S3228.  
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.12.018>
- Liu, Y., Zhu, W., Guan, K., Peng, C. and Wu, J., 2018. Freeze-casting of alumina ultra-filtration membranes with good performance for anionic dye separation. *Ceramics International*, **44(10)**, 11901–11904.  
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.03.160>
- Marin, N. M., Pascu, L. F., Demba, A., Nita-Lazar, M., Badea, I. A. and Aboul-Enein, H. Y., 2019. Removal of the Acid Orange 10 by ion exchange and microbiological methods. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **16(10)**, 6357–6366.  
<https://doi.org/10.1007/s13762-018-2164-2>
- Mousa, K. M. ve Taha, A. H., 2015. Adsorption of reactive blue dye onto natural and modified wheat straw. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, **06**.  
<https://doi.org/10.4172/2157-7048.1000260>
- Mustapha, D. S., Bawa-Allah, K. A., 2020. Differential toxicities of anionic and nonionic surfactants in fish. *Environmental Science and Pollution Research*, **27(14)**, 16754–16762.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-08212-6>
- Riccobono, G., Pastorella, G., Vicari, F., D'Angelo, A., Galia, A., Quatrini, P. and Scialdone, O., 2017. Abatement of AO7 in a divided microbial fuel cells by sequential cathodic and anodic treatment powered by different microorganisms. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **799**, 293–298.  
<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.06.003>
- Salleh, M. A. M., Mahmoud, D. K., Karim, W. A. W. A. and Idris, A., 2011. Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review. *Desalination*, **280(1–3)**, 1–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.019>
- Santos, D. H. S., Duarte, J. L. S., Tavares, M. G. R., Tavares, M. G., Friedrich, L. C., Meili, L., Pimentel, W. R. O., Tonholo, J. and Zanta, C. L. P. S., 2020. Electrochemical degradation and toxicity evaluation of reactive dyes mixture and real textile effluent over DSA® electrodes. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, **153**, 107940.  
<https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107940>
- Sh. Gohr, M., Abd-Elhamid, A. I., El-Shanshory, A. A. and Soliman, H. M. A., 2022. Adsorption of cationic dyes onto chemically modified activated carbon: Kinetics and thermodynamic study. *Journal of Molecular Liquids*, **346**, 118227.  
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118227>
- Solangi, N. H., Kumar, J., Mazari, S. A., Ahmed, S., Fatima, N. and Mubarak, N. M., 2021. Development of fruit waste derived bio-adsorbents for wastewater treatment: A review. *Journal of Hazardous Materials*, **416**, 125848.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125848>
- Takabi, A. S., Shirani, M. and Semnani, A., 2021. Apple stem as a high performance cellulose based biosorbent for low cost and eco-friendly adsorption of crystal violet from aqueous solutions using experimental design: Mechanism, kinetic and thermodynamics. *Environmental Technology and Innovation*, **24**, 101947.  
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101947>
- Tanyıldızı, M. Ş. ve Uygut, M. A., 2016. Çam kozalağıyla bazik mavi 3 Adsorpsiyonu. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **28(2)**, 169–174.
- Temkin, M., Pyzhev, V., 1940. Recent modifications to langmuir isotherms. *Acta Physico-Chimica Sinica*, **12**, 217–222.
- Tran, H. N., You, S. J., Hosseini-Bandegharaei, A. and Chao, H. P. 2017. Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: a critical review. *Water Research*, **120**, 88-116.
- Tseng, R. L., Tseng, S. K., Wu, F. C. 2006. Preparation of high surface area carbons from Corn cob with KOH etching plus CO<sub>2</sub> gasification for the adsorption of dyes and phenols from water. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **279(1–3)**, 69–78.  
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2005.12.042>
- Wang, J., Sun, C., Huang, Q., Chi, Y. and Yan, J., 2021. Adsorption and thermal degradation of microplastics from aqueous solutions by Mg / Zn modified magnetic biochars. *Journal of Hazardous Materials*, **419**, 126486.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126486>
- Xu, L., Pan, C., Li, S., Yin, C., Zhu, J., Pan, Y. and Feng, Q., 2021. Electrostatic Self-Assembly Synthesis of Three-

Dimensional Mesoporous Lepidocrocite-Type Layered Sodium Titanate as a Superior Adsorbent for Selective Removal of Cationic Dyes via an Ion-Exchange Mechanism. *Langmuir*, **37(19)**, 6080–6095.

<https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.1c00913>

Yönten, V., Sanyürek, N. K. and Kivanç, M. R., 2020. A thermodynamic and kinetic approach to adsorption of methyl orange from aqueous solution using a low cost activated carbon prepared from *Vitis vinifera* L. *Surfaces and Interfaces*, **20**, 1–8.

<https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100529>

Zafar, A. M., Naeem, A., Minhas, M. A., Hasan, M. J., Rafique, S. and Ikhlaq, A., 2024. Removal of reactive dyes from textile industrial effluent using electrocoagulation in different parametric conditions of aluminum electrodes. *Total Environment Advances*, **9**, 200087.

<https://doi.org/10.1016/j.teadva.2023.200087>