



## DOĞAL VE AKTİVE EDİLEN ÇAM TALAŞI İLE SUCUL ÇÖZELTİDEN ADSORPSİYONLA BAZİK SARI 28 GİDERİMİ

İlknur ŞENTÜRK<sup>1,\*</sup> , Muhammed Reha YILDIZ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye  
<sup>2</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sivas, Türkiye

### ÖZET

Bu çalışmada, ham ve kimyasal aktivasyon uygulanan çam talaşı kullanılarak Bazik Sarı 28 tekstil boyar maddesinin sulu çözeltiden adsorpsiyonu çalışılmıştır. Temas süresi, adsorbent madde dozajı, başlangıç boya konsantrasyonu ve kimyasal aktivasyonun verime etkisi belirlenen koşullarda çalışılmıştır. Kimyasal aktivasyon sonrası adsorbent karakterizasyonu için SEM, FTIR ve izoelektrik nokta belirleme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bazik Sarı 28 adsorpsiyonu için denge verisi Langmuir eşitliği ile daha iyi uyum göstermiştir, maksimum tek tabakalı adsorpsiyon kapasitesi  $Q_0$  değeri 62,89 mg/g olarak bulunmuştur. Bazik Sarı 28'in adsorpsiyonu sözde ikinci derece kinetik model ile en iyi şekilde tanımlanmıştır. Aktive olan çam talaşının adsorbent olarak yeniden kullanılabilirliği test edilmiş, dördüncü döngüden sonra bile hala %90'nın üzerinde Bazik Sarı 28 boya giderimi olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, talaşın  $H_2SO_4$  ile aktivasyonu sonrasında elde edilen adsorbentin atık sulardan Bazik Sarı 28 tekstil boyasının adsorpsiyonla arıtılmasında etkin olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Aktive edilen çam talaşı, düşük maliyetli üretim ve adsorpsiyon performansı ile sürdürülebilir uygulamalar için yüksek bir potansiyele sahiptir.

**Anahtar kelimeler:** Adsorpsiyon, Bazik Sarı 28, Çam talaşı, Kimyasal aktivasyon, Tekstil boyası

## BASIC YELLOW 28 REMOVAL BY ADSORPTION FROM AQUEOUS SOLUTIONS WITH NATURAL AND ACTIVATED PINE SAWDUST

### ABSTRACT

In this study, adsorption of Basic Yellow 28 textile dye from aqueous solution was studied by using raw and activated pine sawdust as a chemical with sulphuric acid. Contact time, adsorbent dosage, initial dye concentration, the effect of chemical activation on adsorbent efficiency were studied under determined conditions. SEM, FTIR and the point of zero charge ( $pH_{pzc}$ ) were used for adsorbent characterization after chemical activation. The equilibrium data for Basic Yellow 28 adsorption well fitted to the Langmuir equation, with maximum monolayer adsorption capacity,  $Q_0$  of 62.89 mg/g. The adsorption of Basic Yellow 28 could be best described by the pseudo-second-order kinetic model. The reusability as an adsorbent of activated pine sawdust was tested and still, over 90% Basic Yellow 28 was removed after four cycles. The obtained results showed that the adsorbent obtained after activation with  $H_2SO_4$  of sawdust can be used effectively for the treatment of Basic Yellow 28 textile dye from wastewater by adsorption. Activated pine sawdust has a high potential for sustainable applications with low-cost production and adsorption performance.

**Keywords:** Adsorption, Basic Yellow 28, Pine sawdust, Chemical activation, Textile dye

## 1. GİRİŞ

Toksik endüstriyel atıklarla suların kirlenmesi günümüzün en ciddi sosyal ve ekonomik sorunlarından biridir. Tekstil, deri, kağıt, gıda, kozmetik, plastik vb. birçok endüstride ürünlere renk vermek için sentetik boyalar yoğun olarak kullanılmakta olduğu için en önemli kirleticilerden biridir. İnsan sağlığı ve sucul ekosistemi aynı derecede etkiler. Çok küçük miktarda bile bulursa suyun görünür rengi ve tuzluluğunda değişikliklere yol açar, güneş ışığının geçişine engel olarak sudaki fotosentezi engeller. Dahası boyalar, alerji, cilt tahrişi ve dermatolojik problemlere neden olabilir. En önemlisi de kanseri tetikleyebilir. Bu nedenle atıksu akımlarından boyaların giderimi çevre açısından oldukça önemlidir [1].

\* İlknur ŞENTÜRK / Corresponding author, e-posta / e-mail: ilknurg.senturk@gmail.com; ilknursenturk@cumhuriyet.edu.tr  
Geliş / Recieved: 21.12.2019 Kabul / Accepted: 19.05.2020 doi: 10.28948/ngumuh.662944

Boya lar üç ana kategoride sınıflandırılabilir. Anyonik, katyonik, non-iyonik. Bunlar arasında katyonik boyalar, geniş bir endüstriyel uygulamaya sahiptir. İpek, deri, kağıt, yün ve pamuk boyama için sıklıkla kullanılırlar. Ayrıca katyonik boyalar, anyonik boyalara kıyasla daha da toksiktir. Onlar negatif olarak yüklenen hücre membran yüzeyleri ile kolaylıkla etkileşime geçebilir, hücre içine girebilir ve sitoplazmada birikebilir. Bazik Sarı 28 (BS 28) en tehlikeli katyonik boyalardan biridir. Akrilik fiber ve ipek tekstil boyama fabrikalarında, kağıt ve deri endüstrilerinde yaygın olarak kullanılır. BS 28 birkaç zararlı etkiye sahiptir. Yutulduğunda ve deriyle temas ettiğinde zararlıdır. Ayrıca sucul ortamda uzun süre kaldığı için sucul yaşam üzerinde toksik etkiye neden olur [2]. Bu yüzden BS 28 bu çalışmada adsorbat madde olarak seçilmiştir.

Boya giderimi için kullanılan çok farklı teknolojiler vardır. Flokülasyon, flotasyon, çöktürme, koagülasyon, iyon değiştirme, membran filtrasyon, elektroliz, fotodegradasyon, ekstraksiyon, radyasyon, oksidasyon, biyolojik arıtım, adsorpsiyon bu teknolojilere örnek olarak verilebilir [1]. Çok fazla metot olmasına rağmen bu metotların çoğu küçük ölçekli tesislerde uygulamak için ya çok pahalı ya da yetersizdir. Ancak bu metotlar arasında adsorpsiyon; tasarım basitliği, kullanım kolaylığı, yüksek verimlilik ve düşük maliyet nedeniyle en umut verici metotlardan biridir. Bu avantajından dolayı farklı sorbentlerin sorpsiyon kapasitesini araştırmak için çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Yenilenebilir, bol miktarda bulunan, tarım ya da çeşitli endüstrilerden atık ya da yan ürün olarak çıkan maddeler sorpsiyon prosesinin maliyetini azaltabildiği için bu tarz ürünler ile yapılan çalışmalar da oldukça fazladır.

Doğal atık adsorbent olarak özellikle de ormancılık ve tarımsal aktivitelerden bol miktarda üretilen talaş; maliyet, miktar, yenilenebilirlik ve biyolojik ayrışabilirlik anlamında önemli avantajlara sahiptir. Talaş çoğunlukla selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşur. Bu özellikler talaşı kirlilik adsorpsiyonu için uygun bir adsorbent haline getirir. Ferrero [3] ve Hamdaoui [4], diğer tarımsal endüstriyel atıklar ile karşılaştırıldığında yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olmasından dolayı katyonik boya içeren kirlenmiş suların arıtımı için umut verici düşük maliyetli bir materyal olarak talaşın kullanılabilirliğini bildirmiştir [5]. Birçok araştırmacıya göre de talaş, atıksudan boya giderimi için ümit vaat eden adsorbentlerden biridir. Bu yüzden, son zamanlarda talaşın adsorbent olarak kullanımına olan ilgi daha da artmıştır. Diğer taraftan son dönemde yapılan çalışmalarda adsorbent adsorpsiyon kapasitesini geliştirmek için farklı modifikasyon ajanlarının NaOH [6], H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [7], formaldehit [7], cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) [8], CaCl<sub>2</sub> [9] vb. uygulanmasına yönelik çalışmalara odaklanılmıştır.

Yapılan bu çalışmada adsorbent olarak seçilen çam talaşının yüzey alanını ve porozitesini artırmak bu şekilde adsorpsiyon kapasitesini daha da yükseltmek için, doğal haldeki çam talaşı H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılarak kimyasal aktivasyonla aktive edilmiştir. Aktivasyon sonrası adsorbent madde FTIR, SEM ve izoelektrik nokta (pH<sub>pzc</sub>) ile karakterize edilmiştir. Temas süresi, adsorbent dozajı, aktivasyonun etkisi, başlangıç boya konsantrasyonu, rejenerasyon gibi çalışma parametrelerinin BS 28 adsorpsiyon kapasitesi üzerine etkisi hazırlanan adsorbent madde ile araştırılmıştır. Langmuir, Freundlich ve Temkin modelleri adsorpsiyon dengesini analiz etmek için test edilmiştir. Kinetik prosesi tanımlamak için sözde ikinci dereceden reaksiyon kinetiği, partikül içi difüzyon modeli ve Elovich modelleri seçilmiştir.

## 2. MATERYAL ve METOT

### Adsorbent

Deneysel çalışmalarda kullanılan çam talaşı, Sivas ilinde bulunan ve ağaç işleri ile uğraşan bir endüstriden temin edilmiştir. Doğal çam talaşı, öncelikle içinde bulunan kir, toz ve safsızlıklardan arınması için 5-6 kez saf su ile yıkanmıştır. Ardından 24 saat boyunca 80°C'de etüvde kurutulmuştur. +0,38 -2 mm arasında değişen (USA standart mesh açıklığı) geniş tane fraksiyonundaki talaş ön arıtıma uygun hale getirilmiştir. Hazırlanan bu materyal doğal haldeki çam talaşı (ÇT) olarak isimlendirilmiştir.

### H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktivasyon

Ön arıtım için hazırlanan talaştan 20 g alınarak 500 ml'lik erlene aktarıldıktan sonra üzerine 200 ml 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi ilave edilmiştir. Erlenin ağzı kapalı bir şekilde karışım 24 saat boyunca 150°C'de fırında bekletilmiştir. İşlem sonrası oda sıcaklığına getirilen materyal saf su ile birkaç kez yıkandıktan sonra kalan asidi gidermek için gece boyunca %1'lik NaHCO<sub>3</sub> (Sodyum Bikarbonat) çözeltisi içinde bekletilmiştir. Materyal daha sonra tekrar saf su ile yıkanıp 24 saat 80°C'de etüvde kurutulmuştur. Elde edilen adsorbent materyal sülfürik asitle aktive edilmiş talaş olarak isimlendirilmiş (AÇT) ve çalışmalarda kullanılmak üzere kahverengi cam şişede saklanmıştır [7].

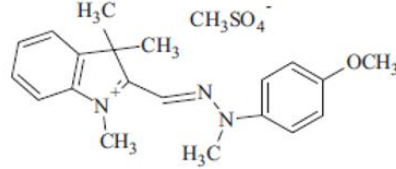
### Boya

Tablo 1'de çalışmada kullanılan boyar maddenin özellikleri, Şekil 1'de ise kimyasal yapısı verilmiştir. Kullanılmış olan boyanın ticari adı Maxilon Golden Yellow GL 200% olarak bilinmektedir. Stok boya çözeltisi 1 g/L derişimde olacak şekilde boyanın tartılıp distile su içinde çözülmesiyle hazırlanmıştır. Stok çözeltiden istenilen konsantrasyona seyreltmeler yapılarak çalışmalarda kullanılmıştır.

## DOĞAL VE AKTİVE EDİLEN ÇAM TALAŞI İLE SUCUL ÇÖZELTİDEN ADSORPSİYONLA BAZİK SARI 28 GİDERİMİ

**Tablo 1.** Bazik Sarı 28 boyar maddesinin özellikleri

Kimyasal formülü	$\lambda_{max}$ (nm)	Molekül ağırlığı (g/mol)	Tip	Grup	Kaynak
Bazik Sarı 28 (C <sub>21</sub> H <sub>27</sub> N <sub>3</sub> O <sub>5</sub> S)	438	433.52	Katyonik	Azo Grup 1	[2]

**Şekil 1.** Bazik Sarı 28'in kimyasal yapısı [10]**Karakterizasyon Çalışmaları**

Adsorbent olarak kullanılan çam talaşının yüzey morfolojisi, izoelektrik nokta ( $pH_{pzc}$ ) ve yüzey fonksiyonel grupları karakterize edilmiştir. Ham ve ön işlemden geçen çam talaşının kimyasal özellikleri, Bruker Tensor II marka Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile analiz edilmiş ve yorumlanmıştır. Adsorbent yüzey morfolojisini belirlemek için Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) (Mira3 XMU) kullanılmıştır. Adsorbent maddelerin izoelektrik noktası ( $pH_{pzc}$ ) Ferro-Garcia vd. [11] tarafından tarif edilen pH sapma yöntemi ile belirlenmiştir.  $pH_{pzc}$ 'yi belirlemek için, 50 ml 0,01 mol/L NaCl çözeltisi içeren erlenmeye 1,0 g talaş eklenmiştir. Her erlenmeye içindeki pH, NaOH veya HCl çözeltisi ilave edilerek 2-12 arasında değişen değerlere ayarlanmıştır. Daha sonra, erlenmeye şişeleri 24 saat 125 rpm'de çalkalanmış ve çözeltinin son pH'sı ölçülmüştür [12]. Daha sonra başlangıç pH'ına (X-ekseni) karşı başlangıç ve son pH arasındaki farkın ( $\Delta pH$ ) (Y-ekseni) grafiği çizilerek eğrinin X eksenini kesim noktasından  $pH_{pzc}$  değeri okunmuştur.

**Adsorpsiyon Deneyleri**

Adsorpsiyon deneyleri 25°C sıcaklıkta kesikli teknik kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesikli deneyler temas süresi, adsorbent dozajı ve başlangıç boya konsantrasyonu çalışmalarından oluşmaktadır. Ayrıca çam talaşına uygulanan kimyasal ön işlemin adsorpsiyon verimine etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. En son ise tükenen adsorbentın rejenerasyonu üzerine bir çalışma yapılmıştır.

Denge süresinin belirlenmesi için 75 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda çalışılmıştır. Hazırlanan karışımı içeren erlenler, çalkalayıcı inkübatör içerisine yerleştirilmiştir ve 125 devir/dk hızda uygun sürelerde çalkalamaya tabi tutulmuştur. Önceden belirlenen zaman aralıklarında çalkalayıcıdan rastgele seçilen erlenler içerisinde adsorplanmadan kalan boya konsantrasyonları analiz edilmiştir. Denge süresinin belirlenmesi haricinde tüm çalışmalarda boya giderimi, 4 saat adsorpsiyon sonrası boyanan adsorbentın 3000 devir/dk hızda 10 dk santrifüj edildikten sonra çözeltiden ayrılması ile belirlenmiştir. Çözeltide kalan boya konsantrasyonu UV/Vis spektrofotometre (Spectroquant Pharo 300, Merck) kullanılarak analiz edilmiştir. Tüm deneyler en az iki defa, gerekli durumlarda ikiden daha fazla, tekrar edilerek analiz sonucunda elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır. Tüm adsorpsiyon çalışmalarında adsorbent içermeyen sadece boya çözeltisinden oluşan çalışma erlenleri kontrol amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan adsorbentın adsorpsiyon kapasitesi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

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

Burada  $q_e$ : denge anında adsorbentın adsorpsiyon kapasitesini (mg/g), V: çözelti hacmini (L),  $C_o$ : çözeltideki başlangıç boya konsantrasyonunu (mg/L),  $C_e$ : Denge anında çözeltide kalan boya konsantrasyonunu (mg/L), m: adsorbent miktarını (g) ifade etmektedir.

**Desorpsiyon Çalışmaları**

Desorpsiyon çalışmaları için 0,8 g AÇT 100 ml boya çözeltisine (50 mg/L) eklendikten sonra 25°C'de 125 devir/dk hızla 4 saat karıştırılmıştır. Ardından boya yüklü adsorbent 3000 rpm'de 10 dk santrifüj edilerek sucul ortamdan ayrılmış, çözeltide kalan BS 28 konsantrasyonu spektrofotometrede ölçülmüştür. Desorpsiyon prosesi, seçilen desorpsiyon ajanının (0,4 M NaOH) 100 ml'si içinde boya yüklü adsorbentın 25°C'de 24 saat karıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Tek bir adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsü bu aşamalardan oluşmuş olup adsorpsiyon-desorpsiyon döngüleri aynı AÇT kullanılarak 4 kez tekrarlanmıştır.

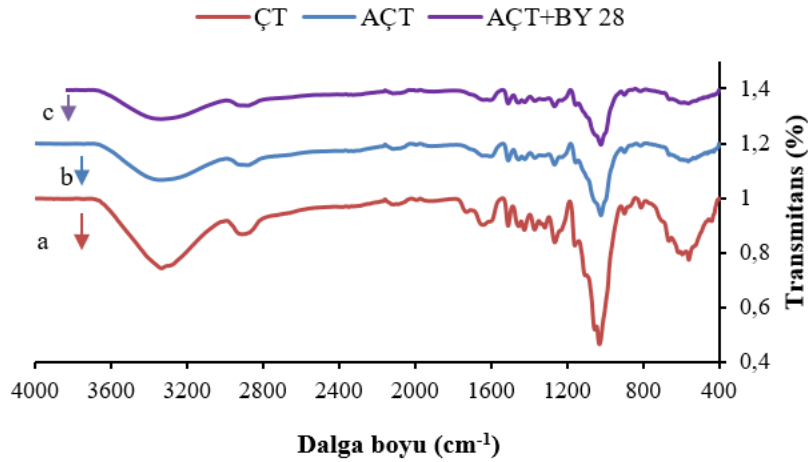
### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

#### Adsorbent Madde Karakterizasyonu

Adsorbent maddenin yüzeyinde bulunan fonksiyonel gruplar ve fonksiyonel grupların titreşim frekanslarındaki değişimleri gözlemek için adsorpsiyon öncesi ve sonrası olmak üzere adsorbent olarak kullanılan çam talaşlarının FTIR spektrumları 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyu aralığında incelenmiştir. Ham (a), aktive edilmiş (b) ve aktivasyon sonrası adsorpsiyonda kullanılan adsorbentlerin (c) FTIR spektrumları Şekil 2’de verilmiştir. Çam talaşı genel olarak, lignin ve selülozdan, lipit ve balmumlarından, alkol, keton ve karboksilik gruplar gibi fonksiyonel gruplar içeren saf olmayan bir kısımdan oluşur [11, 12].

Ön işlem sonrası ve adsorpsiyon sonrası spektrumda gözlemlenen değişiklikler, adsorpsiyon prosesinde adsorbent yüzeyindeki fonksiyonel grupların olası ilişkilerini gösterir.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , karbonizasyon ve kısmi aromatisasyona sebep olarak hafif ve uçucu maddelerin pek çoğunun eliminasyonuna ve serbest kalmasına yol açar. Materyal içinde bulunan alifatik ve aromatik türlerin yapısındaki birçok bağı kırar [15]. Bu nedenle aktivasyondan sonra doğal çam talaşı (ÇT) yüzeyindeki bazı pikler (1729,51, 1424,18, 1334,53, 1103,06, 1053,09  $\text{cm}^{-1}$ ) yok olurken AÇT üzerinde 2114,32  $\text{cm}^{-1}$  ( $-\text{C}\equiv\text{C}-$  gerilme bandı) ve 1228,29  $\text{cm}^{-1}$  (C-O gerilme bandı) dalga boyunda olmak üzere iki yeni pik oluşmuştur.

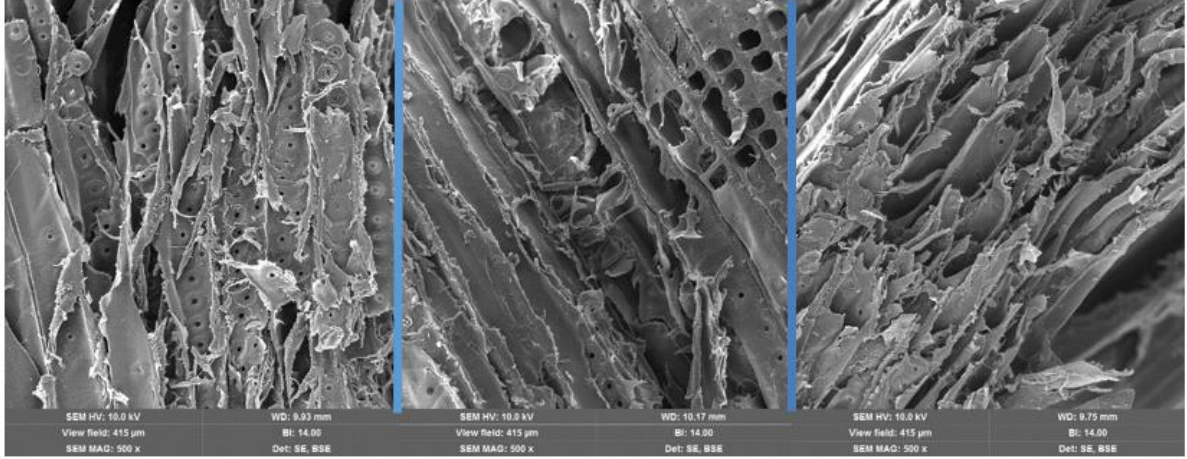
Genelde 3000-3500  $\text{cm}^{-1}$  aralığında görülen kuvvetli ve geniş pik selüloz içinde çoğunlukla bulunan O-H gruplarından dolayı O-H gerilme bandı ile karakterize edilir. 2950-2850  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyu aralığındaki pik talaşın yapısını oluşturan lignin, selüloz, hemiselüloz gibi maddelerin fonksiyonel gruplarından kaynaklanan C-H gerilme bandı ile karakterize edilir. Doğal talaş için 1730  $\text{cm}^{-1}$ ’de elde edilen pik karbonil gruplara ait C=O gerilmesini gösterir. Bu bant aktivasyondan sonra kaybolmuştur. Bu durum yukarıda da açıklandığı üzere asitle aktivasyon sonrası talaşın yapısındaki hemiselülozik yapının dağılmasından kaynaklanmaktadır. 1400-1750  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyu aralığında elde edilen pikler C=O ve C=C aromatik halkaya ait gerilme pikleridir. Şekil 2b ve 2c kıyaslandığında her iki spektrumun benzerlikler gösterdiği ancak adsorpsiyon sonrası pik yoğunlukları ve pik şiddetlerinde değişiklikler olduğu belirlenmiştir.



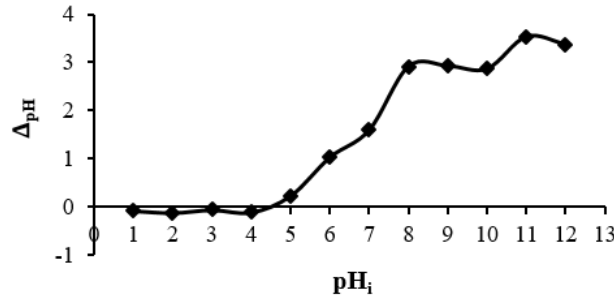
Şekil 2. FTIR spektrumları (a) Doğal talaş (ÇT), (b)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ön işlemlili talaş (AÇT), (c) Bazık Sarı 28 yüklü AÇT

Adsorbent maddenin yüzeysel özellikleri ve morfolojik karakteristikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM cihazı) kullanılarak incelenmiştir. SEM, çeşitli maddeler ve adsorpsiyonda kullanılan adsorbent maddelerin parçacık şekli ve gözenekli yapısını incelemek amacıyla sıklıkla kullanılan bir cihazdır. Ham (a), aktive edilmiş (b) ve aktivasyon sonrası adsorpsiyonda kullanılan adsorbentlerin (c) SEM görüntüleri Şekil 3’de verilmiştir. Şekil 3a incelendiğinde ham haldeki çam talaşının yapısında çok sayıda gözenek olduğu, lifli bir dokuya ve düzensiz bir yüzey morfolojisine sahip olduğu ancak gözeneklerin düzenli bir şekilde yerleştiği görülmektedir. Aktivasyon sonrasında (Şekil 3b) çam talaşı gözenekleri daha da açılmış ve gözeneklerde genişleme meydana gelmiştir. Bu durum boyanın yüzeye tutunmasını daha da kolaylaştırmıştır. Adsorpsiyon sonrası ise (Şekil 3c) gözeneklerdeki boşlukların Bazık Sarı 28 boyası ile dolduğu net bir şekilde görülmektedir. Gözeneklerin büyük çoğunluğu kaybolmuş, bu yüzeyler boya molekülleri ile kaplanmıştır.

## DOĞAL VE AKTİVE EDİLEN ÇAM TALAŞI İLE SUCUL ÇÖZELTİDEN ADSORPSİYONLA BAZIK SARI 28 GİDERİMİ



Şekil 3. SEM görüntüleri (a) Doğal talaş, (b) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ön işlemlenmiş talaş, (c) Bazik Sarı 28 yüklü talaş



Şekil 4. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ön işlemlenmiş çam talaşının izoelektrik noktası

Çam talaşı ile renk gideriminde adsorpsiyon prosesi mekanizmasını daha iyi anlamak için  $pH_{pzc}$ , Şekil 4'de görüldüğü şekilde belirlenmiştir.  $pH_{pzc}$ , adsorbentin asitlik ya da bazikliği ve çözelti içindeki adsorbentin net yüzey yükünü gösterdiği için önemli bir karakteristiktir. Bu yüzden sıfır yük noktasının  $pH_i$  ölçülmelidir.  $pH > pH_{pzc}$  olduğunda adsorbent yüzeyi negatif yüklüdür ve katyonların adsorpsiyonu tercih edilir.  $pH < pH_{pzc}$  olduğunda adsorbent pozitif yüklenir ve anyonlar adsorbe olur [16, 17]. Şekilden  $pH_{pzc}$  4,5 olarak okunmuştur. Buna göre  $pH > pH_{pzc}$  olduğunda adsorbent yüzeyi negatif yük ile kaplandığından + ve - yüklerin birbirini çekmesinden ötürü katyonik boya içerisindeki katyonlar daha fazla tercih edileceğinden verimli bir adsorpsiyon işlemi gerçekleşir. Elde edilen sonuçlar da bu durumu destekler niteliktedir.

### Temas Süresi ve Adsorbent Dozajının Etkisi

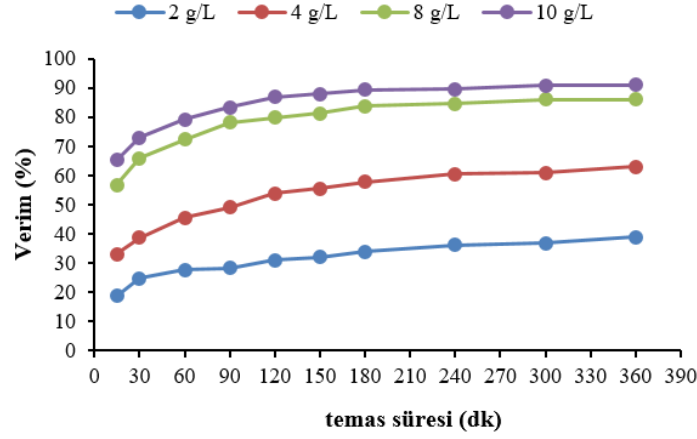
Adsorbentin verilen başlangıç konsantrasyonu için adsorbent kapasitesini belirlediğinden, adsorbent dozajı önemli bir parametredir. Bu nedenle temas süresinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar farklı adsorbent dozajlarında tekrarlanmıştır. Deneyler 75 mg/L'lik sabit başlangıç boya konsantrasyonunda adsorpsiyon zamanını optimize etmek için gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan boya çözeltisinin 100 ml'sine 0,2-0,4-0,8 ve 1,0 g olmak üzere 4 farklı dozda çam talaşı (ÇT) ilave edilerek boya çözeltisinin doğal pH değerinde (5,6-5,8) 125 devir/dk karıştırma hızında değişen sürelerde karıştırılmış, çözeltide kalan Bazik Sarı 28 konsantrasyonu spektrofotometrede ölçülmüştür. Bazik Sarı 28 boyanın temas süresine bağlı olarak giderim verimindeki değişim Şekil 5'de, adsorpsiyon kapasitesindeki değişim ise Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 5'den görüldüğü üzere adsorpsiyon daha ilk dakikalarda başlamıştır. Özellikle de 0,8 ve 1,0 g adsorbent dozajlarında 15 dk içinde %50'den daha fazla renk giderimi olmuştur. 90 dk içerisinde boyanın önemli miktarı giderilirken daha sonraki dakikalarda da artırım az da olsa devam etmiştir. İlk dakikalarda hızlı ve daha sonra yavaşlayarak devam eden adsorpsiyon hızı, adsorpsiyon için kullanılan adsorbentin bol miktardaki boş alanlarına bağlı olduğunu ve daha sonra adsorpsiyon için aktif bölgelerin azaldığını göstermektedir [18].

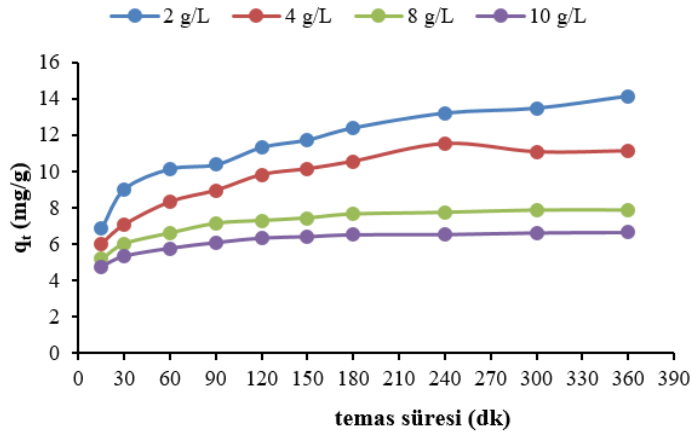
0,8 ve 1,0 g/100 ml adsorbent eklendiğinde giderim verimi açısından çok fazla fark görülmemekle birlikte her iki dozda da sistemin 240 dk içinde dengeye ulaştığı görülmektedir. Denge anında 0,8 g adsorbent dozajında %84,68 boya giderimi elde edilirken 1,0 g adsorbent dozajında %89,5 verim alınmıştır. 240 dakika sonunda adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi ise 0,8 ve 1,0 g adsorbent dozu için sırasıyla 7,73 mg/g ve 6,54 mg/g olarak bulunmuştur. Bu nedenle optimum adsorbent dozajı yapılacak çalışmalar için 0,8 g/100 ml alınmıştır. Ayrıca yapılan ön denemelerde daha yüksek boya konsantrasyonlarında dengeye ulaşma süresinin biraz daha uzadığı belirlendiği için denge süresinin 240 dakika alınmasının uygun olacağına karar verilmiştir.

İ. Şentürk, M. R. Yıldız

Adsorbent miktarı 0,2'den 1,0 grama doğru arttıkça adsorpsiyon kapasitesi ( $q_t$ ) azalmakta, giderim verimi (%) ise yükselmektedir. Doz arttıkça  $q_t$ 'deki azalma, adsorbent partiküllerinin aşırı yüklenmesinin sonucunda adsorpsiyon bölgelerinin örtüşmesinden dolayı olabilir. Bu sonuç diğer araştırmacıların bulguları ile de benzerlik göstermektedir [7].



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Farklı adsorbent dozajlarında zamana bağlı Bazık Sarı 28 giderim verimi



Şekil 6. Farklı adsorbent dozajlarında zamanla Bazık Sarı 28 boyasının adsorplama kapasitesindeki değişim

## Kinetik Çalışmalar

Adsorpsiyon işleminin tamamlanması için gerekli temas süresinin belirlenmesindeki adsorpsiyon hızı, adsorpsiyon kinetiği olarak tanımlanmaktadır. Adsorpsiyon hızını tahmin etmeye yardımcı olan kinetik parametreler, adsorpsiyon prosesini modellemek ve tasarlamak için önemli bilgiler sağlar. Bu yüzden sıvı ortamdan kirleticilerin adsorpsiyonunun modellenmesinde kinetik modeller yaygın olarak kullanılır. Çam talaşı adsorbenti ile Bazık Sarı 28 boyasının adsorpsiyon kinetikleri partikül içi difüzyon, sözde ikinci dereceden kinetik ve Elovich modellerine göre incelenmiştir. Şekil 7'de kullanılan kinetik modellere ait grafikler verilmiştir. Kinetiklerin hesabında kullanılan denklemler ise Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 1. Kullanılan Kinetik Modeller ve Denklemler

Kinetik Modeller	Denklemler	Kaynaklar
Sözde İkinci Dereceden Kinetik Modeli (Pseudo-second-order model)	$t/q_t = (1/k_2 \cdot q_e^2) + (t/q_e)$	[19]
Partikül İçi Difüzyon Modeli (Weber-Morris)	$q_t = (k_d \cdot t^{1/2}) + C$	[20]
Elovich Modeli	$q_t = (1/\beta) \cdot (\ln(\alpha\beta)) + (1/\beta) \cdot (\ln t)$	[21]

## DOĞAL VE AKTİVE EDİLEN ÇAM TALAŞI İLE SUCUL ÇÖZELTİDEN ADSORPSİYONLA BAZİK SARI 28 GİDERİMİ

Şekil 7’de elde edilen denklemler kullanılarak kinetik modellere ait parametreler hesaplanmış, bu parametrelere ait değerler ise Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’de görüldüğü üzere dört farklı adsorbent dozajında da diğer kinetik modeller ile kıyaslandığında sözde ikinci derece reaksiyon kinetiği modeli için daha yüksek  $R^2$  değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Ayrıca  $k_2$  değeri artan adsorbent dozajı ile birlikte artmıştır. Belirlenen denge süresi için sözde ikinci derece reaksiyon kinetiği modeli ile hesaplanan adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin ( $q_e$  hesaplanan (mg/g)) Şekil 6’da verilen  $q_e$  deneysel değeri ile oldukça yakınlık gösterdiği de görülmektedir.

**Tablo 3.** Bazık Sarı 28 boyasının farklı adsorbent dozajları ile adsorpsiyonu sonucu kinetik model parametreleri  
**Sözde İkinci Derece Reaksiyon Kinetiği Modeli**

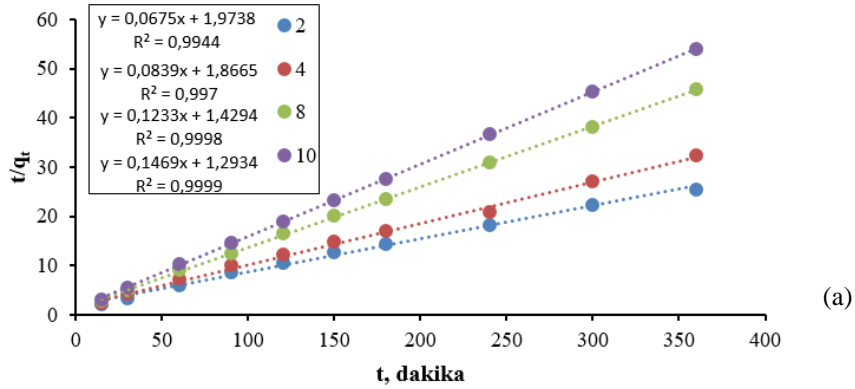
	$q_e$ (mg/g)	$k_2$ (mg/g.dk)	$R^2$
2 g/L	14,814	$2,3 \times 10^{-3}$	0,9944
4 g/L	11,92	$3,77 \times 10^{-3}$	0,997
8 g/L	8,11	$1,063 \times 10^{-2}$	0,9998
10 g/L	6,81	$1,667 \times 10^{-2}$	0,9999

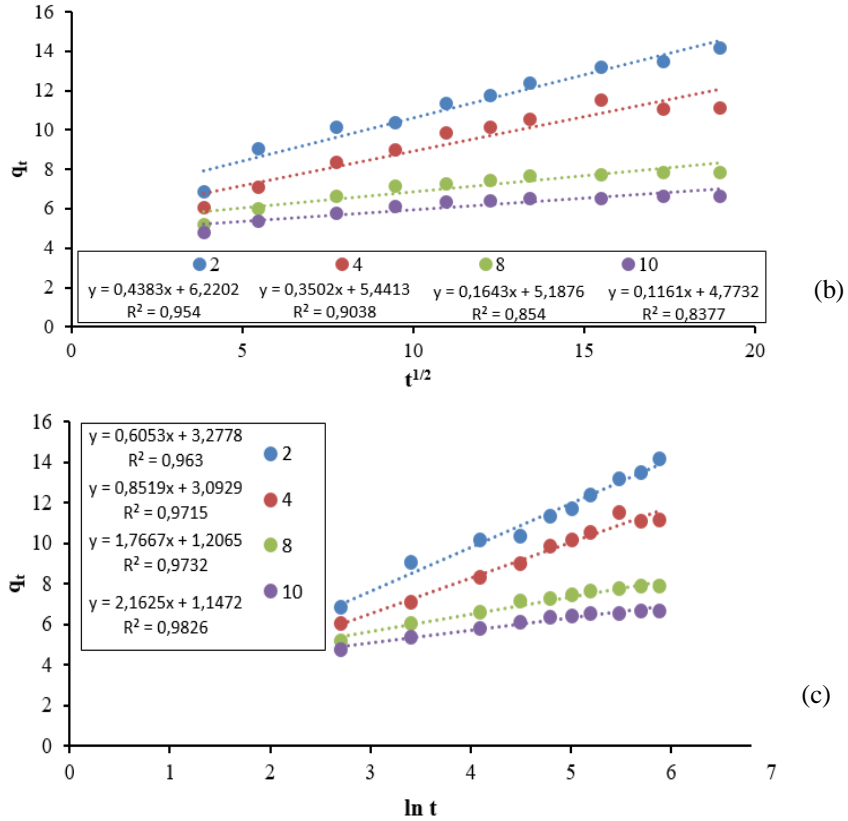
  

	$k_d$ (mg/g dk <sup>1/2</sup> )	C	$R^2$
2 g/L	0,4383	6,2202	0,954
4 g/L	0,3502	5,4413	0,9038
8 g/L	0,1643	5,1876	0,854
10 g/L	0,1161	4,7732	0,8377

	$\alpha$ (mg/g dk)	$\beta$ (g/mg)	$R^2$
2 g/L	26,517	1,652	0,963
4 g/L	22,040	1,174	0,9715
8 g/L	3,342	0,566	0,9732
10 g/L	3,149	0,462	0,9826



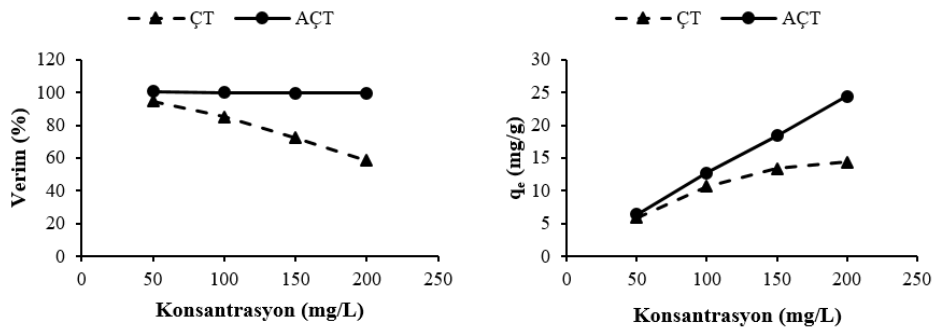


Şekil 7. (a) Sözde ikinci derece reaksiyon kinetiği modeli (b) Partikül içi difüzyon modeli (c) Elovich modeli

### Adsorbente Uygulanan Ön işlemin Adsorpsiyona Etkisi

Ham ve kimyasal ön işleme aktive edilen çam talaşı adsorpsiyon verimliliği açısından değerlendirilmiştir. Hazırlanan her bir erlene 50, 100, 150 ve 200 mg/L olmak üzere dört farklı konsantrasyonda hazırlanan BS 28 boya çözeltilerinden 100 ml alınarak içlerine 0,8 gr adsorbent ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım 25°C sıcaklıkta, 125 devir/dk karıştırma hızında, boya çözeltisinin doğal pH değerinde (5,6-5,8) 4 saat boyunca adsorpsiyona tabi tutulmuştur. 4 saat sonunda her bir çalışma erleninden alınan örnekler analiz edilerek BS 28 boya giderimi için en verimli olarak kullanılabilen adsorbent belirlenmiştir. Belirtilen şekilde gerçekleştirilen çalışmalar sonrasında Bazık Sarı 28 için elde edilen sonuçlar ise Şekil 8'de verilmiştir.

Asit ile kimyasal ön işlemden geçen çam talaşı adsorbentinin kullanılması sonucunda elde edilen giderim verimleri, doğal talaş kullanıldığında elde edilen değerlere göre daha yüksektir. Doğal çam talaşı kullanıldığında boya konsantrasyonu 50'den 200 mg/L'ye arttığında giderim verimi %94,6'dan %58,5'a azalırken, asit ile aktivasyon sonrasında boya konsantrasyonları artsa bile adsorbent BS 28 giderim verimleri %99 seviyelerinde sabit kalmıştır. Aynı şartlarda adsorbent adsorpsiyon kapasitesi doğal çam talaşı için 5,89'dan 14,34 mg/g'a, asitle aktive edilmiş çam talaşı için ise 6,39'dan 24,39 mg/g'a yükselmiştir. Yüksek konsantrasyonlarda çalışıldığında doğal talaşın giderim veriminin azaldığı, aktive edilen talaşın ise BS 28 giderim veriminde herhangi bir düşüş olmadığı görüldüğünden bundan sonraki çalışmalara H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile aktive edilmiş çam talaşı (AÇT) ile devam edilmesine karar verilmiştir.



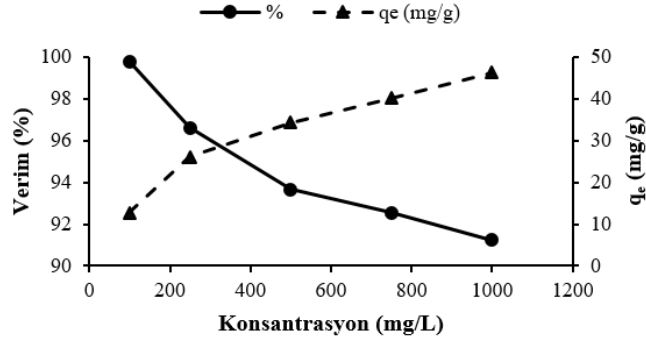
Şekil 8. Uygulanan ön işlemin Bazık Sarı 28 adsorpsiyonuna etkisi



## DOĞAL VE AKTİVE EDİLEN ÇAM TALAŞI İLE SUCUL ÇÖZELTİDEN ADSORPSİYONLA BAZİK SARI 28 GİDERİMİ

## Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Etkisi

Sulu çözeltilerden adsorpsiyon ile renk gideriminde etkili parametrelerden birisi de başlangıç boyar madde konsantrasyonudur. Çünkü biliyoruz ki kirlilik yükü ne kadar fazla ise arıtım ve uzaklaştırma da o kadar zor olacaktır [17, 18]. Başlangıç Bazik Sarı 28 boya konsantrasyonunun boya giderimine etkisinin belirlenmesi amacıyla, 8 g/L adsorbent dozajında 100, 250, 500, 750 ve 1000 mg/L boya konsantrasyonlarında çalışılmıştır. Başlangıç boya konsantrasyonu arttıkça boya giderimi az da olsa azalmaktadır. 100 mg/L boya konsantrasyonunda %99,8 boya giderimi elde edilirken, 1000 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda boya giderimi %91'e düşmüştür. Adsorpsiyon kapasitesi ise artan boya konsantrasyonu ile artmıştır (Şekil 9). Başlangıç boya konsantrasyonu 100 mg/L'den 1000 mg/L'ye yükseldiğinde AÇT'nin adsorplama kapasitesi de 12,68 mg/g'dan 46,23 mg/g değerine yükselmiştir. Daha yüksek boya konsantrasyonlarında daha düşük giderim yüzdesi, adsorbantın adsorpsiyon alanlarının dolmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. Başlangıç boya konsantrasyonuna bağlı olarak giderim verimindeki değişim

## İzoterm Çalışmaları

Adsorbant yüzeyinde biriken madde konsantrasyonu ve arıtmak istenen çözeltilde kalan adsorbat konsantrasyonu arasında denge kuruluncaya kadar adsorpsiyon işlemi devam eder. Adsorpsiyon izotermi dengede sıvı içinde çözünmüş boyanın konsantrasyonu ve adsorbent üzerine adsorplanan boyanın miktarı arasındaki ilişkiyi tanımlar. Denge sorpsiyon izotermi, sorpsiyon sisteminin tasarımında oldukça önemlidir [24]. Denge sorpsiyonu, genellikle adsorbentın adsorplanacak maddeye olan ilgisi ve sorbentın yüzey özelliklerini ifade eden bazı parametreler tarafından karakterize edilen izoterm eşitliği ile tanımlanır [25]. Adsorpsiyon dengesini tanımlamak için Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri seçilmiştir.

Üniform ve sınırlı adsorpsiyon alanlarını temel alan Langmuir modeline göre adsorbantın yüzeyinde alıcı noktaların olduğu, her alıcı noktanın sadece bir molekül adsorplama yapacağı kabul edilmiştir. Böylece meydana gelen tabaka bir molekül kalınlığında olur. Tek tabakalı homojen adsorpsiyonu açıklamak için kullanılmakta ve maksimum adsorpsiyon kapasitesinin tahmin edilmesini sağlamaktadır. Bunun yanında, tüm adsorpsiyon alanları adsorbe edilmek istenen moleküllere karşı eşit miktarda çekim uygular ve adsorbe olan bir molekül bitişik alandaki bir başka molekülle herhangi bir etkileşim içinde olmaz [26]. Langmuir izoterm denklemi Eşitlik 2'de verilmiştir [27]. Eşitlik 2'ye göre  $C_e$ 'ye karşı  $C_e/q_e$  değerleri grafiğe geçirilerek  $Q_0$  ve  $K_L$  adsorpsiyon sabitleri hesaplanabilir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 \times K_L} + \frac{1}{Q_0} C_e \quad (2)$$

Burada;

$q_e$ : Denge anında birim adsorbant ağırlığı başına adsorplanan kirletici miktarı (mg/g),

$K_L$ : Langmuir adsorpsiyon sabiti (L/mg),

$Q_0$ : Adsorbentın maksimum tek tabakalı adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),

$C_e$ : Denge anından sonra çözeltildeki kirletici konsantrasyonu (mg/L)'dur.

$K_L$ , adsorpsiyon prosesinin tercih edilebilirliğini açıklayan boyutsuz denge parametresinin ( $R_L$ ) hesaplanmasında kullanılan önemli bir katsayıdır.

$$R_L = 1/(1+K_L C_0) \quad (3)$$

Freundlich izotermi, bir adsorbantın yüzeyi üzerinde bulunan adsorpsiyon alanlarının heterojen olduğunu yani farklı türdeki adsorpsiyon alanlarından oluştuğunu kabul etmektedir. Freundlich izotermi çözeltildeki kirletici konsantrasyonu arttıkça adsorbant yüzeyi üzerinde tutunan kirletici konsantrasyonunun arttığını varsayar [28]. Freundlich bağıntısının doğrusallaştırılmış

İ. Şentürk, M. R. Yıldız

hali Eşitlik 4’de verilmiştir [29].  $1/n$  ve  $K_F$  sabitleri ise sırasıyla doğrunun eğimi ve doğrunun y eksenini kesim noktasından belirlenir.

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (4)$$

Burada;

$K_F$ : Adsorbanın adsorpsiyon kapasitesini gösteren sabit ( $\text{mg}^{1-(1/n)}\text{L}^{1/n} \text{g}^{-1}$ ),

$n$ : Adsorpsiyon yoğunluğunu gösteren sabit,

$C_e$ : Adsorpsiyondan sonra çözeltilde kalan maddenin konsantrasyonu ( $\text{mg/L}$ )’dur.

Temkin izoterm modeli, adsorbe olan maddeler arasındaki etkileşimi göz önüne almaktadır. Hazırlanan adsorbat içerisindeki tüm moleküllerin adsorpsiyon entalpisi dikkate alınarak geliştirilmiştir. Son derece düşük ve çok yüksek konsantrasyonları görmezden gelirken adsorpsiyon ısısının logaritmik azalmadan daha çok lineer olduğunu varsayar. Ayrıca maksimum bağ enerjisine kadar bağ enerjisinin üniform olarak dağıldığı varsayılır. Temkin izoterm eşitliği aşağıda verilmiştir [19]:

$$q_e = B \ln A + B \ln C_e \quad (5)$$

Burada;

$q_e$ : Denge de adsorbe olan adsorbat miktarı ( $\text{mg/g}$ ),

$C_e$ : Denge de çözelti içindeki adsorbat konsantrasyonu ( $\text{mg/L}$ ),

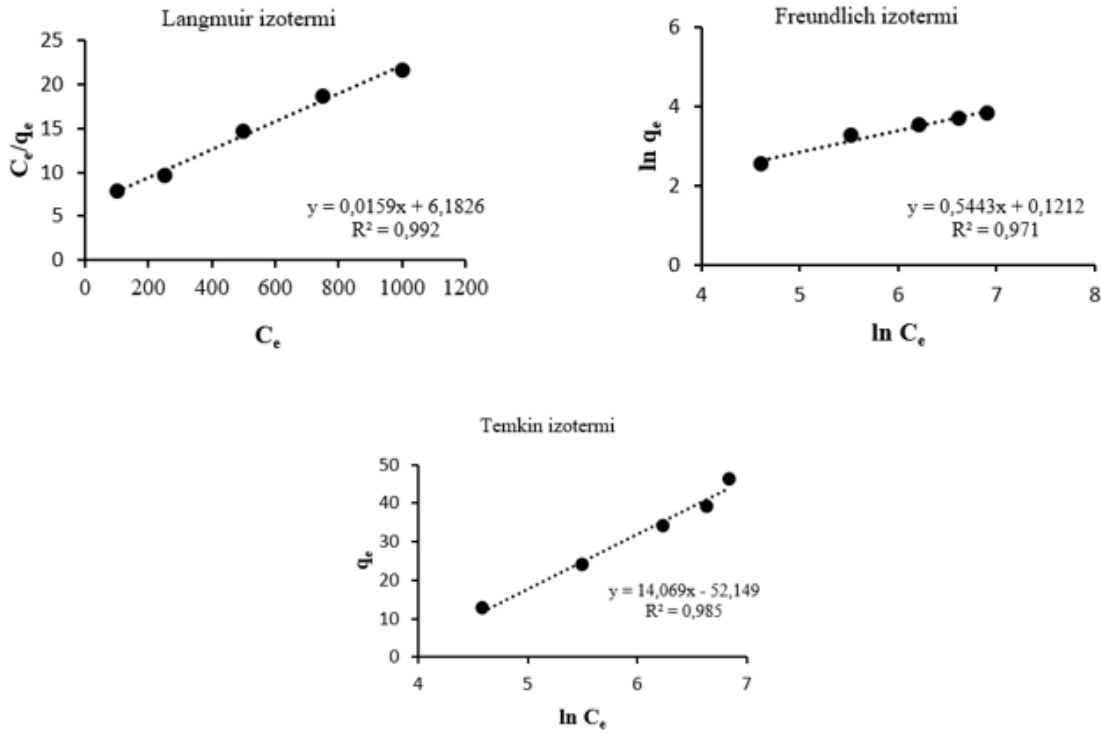
$B$ : Adsorpsiyon ısısıyla ilgili bir sabittir ve  $B = RT/b$  ile ifade edilir.

$b$ : Temkin sabiti ( $\text{J/mol}$ ),  $T$  mutlak sıcaklık ( $\text{K}$ ),  $R$  gaz sabiti ( $8.314 \text{ J/mol K}$ ),

$A$ : Temkin izoterm sabitidir ( $\text{L/g}$ ).

$\ln C_e$ ’ye karşı  $q_e$  grafiğinin eğiminden  $B$ , eksenini kesim noktasından ise  $A$  değeri hesaplanabilir [30].

Şekil 10’da BS 28 boyası için elde edilen izoterm modelleri, Tablo 4’de ise izoterm hesaplarından elde edilen katsayılar verilmektedir. Şekil 10’da verilen korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) değerlerine baktığımızda adsorpsiyonun her üç izoterm de uyduğu görülmektedir. Ancak Langmuir izoterminden elde edilen  $R^2$  değeri Freundlich ve Temkin izotermine göre biraz daha yüksektir.



Şekil 10. Bazık Sarı 28 için izoterm modelleri a) Langmuir b) Freundlich c) Temkin

## DOĞAL VE AKTİVE EDİLEN ÇAM TALAŞI İLE SUCUL ÇÖZELTİDEN ADSORPSİYONLA BAZIK SARI 28 GİDERİMİ

**Tablo 4.** Bazık Sarı 28 boyar maddesinin AÇT ile adsorpsiyonu için hesaplanan izoterm parametreleri

<b>İzoterm/Sabitler</b>	<b>Birim</b>	<b>Değer</b>
<b>Langmuir Modeli</b>		
Q <sub>o</sub>	(mg/g)	62,89
b	(L/mg)	2,57x10 <sup>-3</sup>
R <sub>L</sub>	-	0,61 (C <sub>o</sub> =250 mg/L)
R <sup>2</sup>	-	0,992
<b>Freundlich Modeli</b>		
n	(mg/g(L/mg) <sup>1/n</sup> )	1,837
K <sub>F</sub>	(mg/g)	1,128
R <sup>2</sup>	-	0,971
<b>Temkin Modeli</b>		
B	(J/mol)	14,069
A	(L/g)	40,72
R <sup>2</sup>	-	0,985

Freundlich izoterm denklemindeki K<sub>F</sub> ve 1/n katsayıları sırasıyla adsorpsiyon kapasitesini ve adsorpsiyon yoğunluğunu ifade etmektedir. 1/n heterojenite faktörüdür. Yüzey ne kadar heterojense, 1/n değeri o kadar sıfıra yakın olmaktadır. Bunun yanı sıra adsorpsiyonun tercih edilebilir olması için Freundlich sabiti n, 1-10 arasında değişen değerler almalıdır [31]. Freundlich modelinde n>1 olması adsorbent yüzeyinde çoklu tabaka oluşumuna verinin uygunluğunu göstermektedir [12]. Tablo 4'de verilen n değeri (n=1,837) bu koşulları sağladığı için adsorbentin yüzeyine boyanın adsorpsiyonunun çalışılan koşullarda tercih edilebilir olduğu söylenebilir.

Bazık Sarı 28 boyasının asidik ön işlem uygulanmış talaş üzerine adsorpsiyonunda adsorbentin tercihi, Langmuir modelinden türetilen boyutsuz parametre olan R<sub>L</sub> ile de değerlendirilmiştir. 0<R<sub>L</sub><1 adsorpsiyon prosesinin elverişli olduğunu ve kendiliğinden gerçekleştiğini ifade etmektedir [28, 29]. Tablo 4'de hesaplanan verilerden, 250 mg/L başlangıç konsantrasyonu için R<sub>L</sub> 0,61 olarak bulunmuştur. Aynı şekilde çalışılan diğer konsantrasyonlarda da R<sub>L</sub> 0-1 arasında değerler almaktadır. Bu da adsorpsiyon prosesinin elverişli olduğunu ve kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir. Hollow mesoporous carbon nanospheres (HMCN) vasıtasıyla Bazık Sarı 28 boya adsorpsiyonu için yapılmış olan bir çalışmada R<sup>2</sup> değerleri sırasıyla 0,999 ve 0,973 elde edilerek verilerin Langmuir ve Freundlich izotermine uyumlu olduğu gösterilmiştir [35].

Bazık Sarı 28 boya giderimi için literatürde farklı adsorbentler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda Langmuir izoterm modeline göre hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasiteleri Tablo 5'de verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde bu çalışmada kullanılan AÇT'nin boya giderimi için oldukça etkili olduğu görülmektedir.

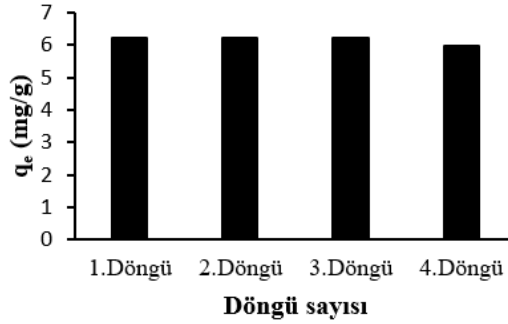
**Tablo 5.** Sucul ortamdan BS 28 giderimi için kullanılan çeşitli adsorbentlerin Langmuir izotermine göre hesaplanan Q<sub>o</sub> değerlerinin karşılaştırılması

<b>Adsorbent</b>	<b>Çalışma Koşulları</b>				
	<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	<b>pH</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>Q<sub>o</sub> (mg/g)</b>	<b>Kaynak</b>
Klinoptilolit	14			52,9-59,6	[36]
Amberlite XAD-4	14	5,83	30	14,9	
Fe@G	40	7	30	52,36	[37]
Atık Bor	35	5,7-6	35	75,0	[38]
Kalsine edilmiş yumurta kabuğu (CES)	20	6	35	28,87	[10]
Green alga <i>Caulerpa scalpelliformis</i>	25-150	6	30	27,0	[39]
Graphene oxide (GO)	30	7	20	68,5	[40]
Persian Kaolin	10	6	24	16,23	[41]
ZnMn	30	7	30	48,8	[2]
Poly (methacrylic acid) (PMAA) based hydrogel	20-50	6	20	23,7	[42]

Agricultural Algerian olive cake waste (Powdered AAOCW)	100	5,6	24	38,95	[43]
Asitle aktive edilmiş çam talaşı (AÇT)	100	5,6-5,8	25	62,89	<b>Mevcut Çalışma</b>

### Desorpsiyon ve Adsorbentin Yeniden Kullanılabilirliği

Desorpsiyon, katı yüzeyinde tutunan taneciklerin yüzeyden salınmasıdır. Bir adsorbentin geri kazanımı ekonomik bir teknoloji için en önemli özelliktir [34, 35]. Malzemenin rejenerasyon olasılığını değerlendirmek için, adsorpsiyon-desorpsiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. AÇT adsorbent için adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsü 4 kez tekrarlanmıştır. Yeniden kullanım sürecinde BS 28'in adsorpsiyon kapasitesi Şekil 11'de gösterilmektedir. Şekle göre adsorpsiyon kapasitesi 1. döngüde 6,22 mg/g iken, 4. döngüde çok fazla değişmemiş 5,97 mg/g okunmuştur. Bu sonuçlar AÇT adsorbentin yeniden kullanılabilirlik açısından tatmin edici olduğunu göstermektedir.



Şekil 11. Rejenerasyon sonunda Bazik Sarı 28 boyasının adsorpsiyon kapasitesindeki değişim

## 4. SONUÇLAR

Sucul çözelti içinden Bazik Sarı 28 boyasının giderimi çam talaşı kullanılarak adsorpsiyonla çalışılmıştır. Adsorbentin arıtım verimini artırmak için adsorbent materyal kimyasal olarak aktive edilmiş, aktivasyondan sonra talaşın daha yüksek boya konsantrasyonlarında dahi %99 verimle BS 28 arıtımı için kullanılabilceği görülmüştür. Çözeltinin pH değeri BS 28 giderimi için maksimum koşulları sağladığından ayrıca bir pH çalışmasına gerek duyulmamıştır. Adsorpsiyon hızını belirlemek için farklı kinetik modeller kullanılmış veriler sözde ikinci derece reaksiyon kinetiğine uymuştur. Adsorpsiyon denge verisi çeşitli adsorpsiyon izoterm modelleri kullanılarak analiz edilmiştir. Aktive edilen çam talaşı ile Bazik Sarı 28'in adsorpsiyon verisinin Langmuir model ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Langmuir modelden maksimum adsorplama kapasitesi ( $Q_0$ ) 62,89 mg/g olarak bulunmuştur. Art arda dört kez adsorpsiyon-desorpsiyon çalışması yapılarak kullanılan adsorbentin rejenerasyon sonrası yeniden kullanıma uygun olup olmadığı araştırılmış çok az bir verim kaybı ile adsorbentin yeniden kullanılabilceği belirlenmiştir. Sonuçlar açıkça göstermektedir ki kimyasal olarak aktive edilen çam talaşı BS 28 adsorpsiyonu için alternatif bir adsorbent olarak kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] V. V. Panic, Z. P. Madzarevic, T. Volkov-Husovic, and S. J. Velickovic, "Poly(methacrylic acid) based hydrogels as sorbents for removal of cationic dye basic yellow 28: Kinetics, equilibrium study and image analysis," *Chemical Engineering Journal*, vol. 217, pp. 192–204, Feb. 2013, doi: 10.1016/j.cej.2012.11.081.
- [2] W. Konicki, D. Sibera, and U. Narkiewicz, "Adsorptive removal of cationic dye from aqueous solutions by ZnO/ZnMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite," *Separation Science and Technology*, vol. 53, no. 9, pp. 1295–1306, Jun. 2018, doi: 10.1080/01496395.2018.1444054.
- [3] F. Ferrero, "Dye removal by low cost adsorbents: Hazelnut shells in comparison with wood sawdust," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 142, no. 1–2, pp. 144–152, Apr. 2007, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.07.072.
- [4] O. Hamdaoui, "Batch study of liquid-phase adsorption of methylene blue using cedar sawdust and crushed brick," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 135, no. 1–3, pp. 264–273, Jul. 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.11.062.
- [5] J. J. Salazar-Rabago, R. Leyva-Ramos, J. Rivera-Utrilla, R. Ocampo-Perez, and F. J. Cerino-Cordova, "Biosorption mechanism of Methylene Blue from aqueous solution onto White Pine (*Pinus durangensis*) sawdust: Effect of operating conditions," *Sustainable Environment Research*, vol. 27, no. 1, pp. 32–40, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.serj.2016.11.009.

## DOĞAL VE AKTİVE EDİLEN ÇAM TALAŞI İLE SUCUL ÇÖZELTİDEN ADSORPSİYONLA BAZİK SARI 28 GİDERİMİ

- [6] M. A. K. M. Hanafiah, W. S. W. Ngah, S. H. Zolkafly, L. C. Teong, and Z. A. A. Majid, "Acid Blue 25 adsorption on base treated Shorea dasyphylla sawdust: Kinetic, isotherm, thermodynamic and spectroscopic analysis," *Journal of Environmental Sciences*, vol. 24, no. 2, pp. 261–268, Feb. 2012, doi: 10.1016/S1001-0742(11)60764-X.
- [7] V. K. Garg, R. Gupta, A. Bala Yadav, and R. Kumar, "Dye removal from aqueous solution by adsorption on treated sawdust," *Bioresource Technology*, vol. 89, no. 2, pp. 121–124, Sep. 2003, doi: 10.1016/S0960-8524(03)00058-0.
- [8] F. Deniz and R. A. Kepekci, "Bioremoval of Malachite green from water sample by forestry waste mixture as potential biosorbent," *Microchemical Journal*, vol. 132, pp. 172–178, May 2017, doi: 10.1016/j.microc.2017.01.015.
- [9] F. Batzias and D. Sidiras, "Dye adsorption by calcium chloride treated beech sawdust in batch and fixed-bed systems," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 114, no. 1–3, pp. 167–174, Oct. 2004, doi: 10.1016/j.jhazmat.2004.08.014.
- [10] R. Slimani *et al.*, "Calcined eggshells as a new biosorbent to remove basic dye from aqueous solutions: Thermodynamics, kinetics, isotherms and error analysis," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 45, no. 4, pp. 1578–1587, Jul. 2014, doi: 10.1016/j.jtice.2013.10.009.
- [11] M. A. Ferro-García, J. Rivera-Utrilla, I. Bautista-Toledo, and C. Moreno-Castilla, "Adsorption of Humic Substances on Activated Carbon from Aqueous Solutions and Their Effect on the Removal of Cr(III) Ions," *Langmuir*, vol. 14, no. 7, pp. 1880–1886, Mar. 1998, doi: 10.1021/la970565h.
- [12] K. Kuśmierk and A. Świątkowski, "The influence of an electrolyte on the adsorption of 4-chlorophenol onto activated carbon and multi-walled carbon nanotubes," *Desalination and Water Treatment*, vol. 56, no. 11, pp. 2807–2816, Dec. 2015, doi: 10.1080/19443994.2014.965221.
- [13] S. N. Jain and P. R. Gogate, "Efficient removal of Acid Green 25 dye from wastewater using activated Prunus Dulcis as biosorbent: Batch and column studies," *Journal of Environmental Management*, vol. 210, pp. 226–238, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.jenvman.2018.01.008.
- [14] G. Crini, "Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review," *Bioresource Technology*, vol. 97, no. 9, pp. 1061–1085, Jun. 2006, doi: 10.1016/j.biortech.2005.05.001.
- [15] Ö. Gerçel, A. Özcan, A. S. Özcan, and H. F. Gerçel, "Preparation of activated carbon from a renewable bio-plant of Euphorbia rigida by H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> activation and its adsorption behavior in aqueous solutions," *Applied Surface Science*, vol. 253, no. 11, pp. 4843–4852, Mar. 2007, doi: 10.1016/j.apsusc.2006.10.053.
- [16] B. M. Babić, S. K. Milonjić, M. J. Polovina, and B. V. Kaludierović, "Point of zero charge and intrinsic equilibrium constants of activated carbon cloth," *Carbon*, vol. 37, no. 3, pp. 477–481, Feb. 1999, doi: 10.1016/S0008-6223(98)00216-4.
- [17] D. Savova *et al.*, "The influence of the texture and surface properties of carbon adsorbents obtained from biomass products on the adsorption of manganese ions from aqueous solution," *Carbon*, vol. 41, no. 10, pp. 1897–1903, 2003, doi: 10.1016/S0008-6223(03)00179-9.
- [18] R. Köklü and Ç. Özer, "Maliyetsiz bir adsorban olan sigara külü kullanılarak boyarmadde giderimi," *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, pp. 1–1, Apr. 2018, doi: 10.16984/saufenbilder.329234.
- [19] G. Moussavi and B. Barikbin, "Biosorption of chromium(VI) from industrial wastewater onto pistachio hull waste biomass," *Chemical Engineering Journal*, vol. 162, no. 3, pp. 893–900, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.cej.2010.06.032.
- [20] C. Xiaoli and Z. Youcai, "Adsorption of phenolic compound by aged-refuse," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 137, no. 1, pp. 410–417, Sep. 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.02.015.
- [21] M. Rajabi, K. Mahanpoor, and O. Moradi, "Preparation of PMMA/GO and PMMA/GO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposites for malachite green dye adsorption: Kinetic and thermodynamic studies," *Composites Part B: Engineering*, vol. 167, pp. 544–555, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.03.030.
- [22] F. Mehrabi, A. Vafaei, M. Ghaedi, A. M. Ghaedi, E. Alipanahpour Dil, and A. Asfaram, "Ultrasound assisted extraction of Maxilon Red GRL dye from water samples using cobalt ferrite nanoparticles loaded on activated carbon as sorbent: Optimization and modeling," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 38, pp. 672–680, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.08.012.
- [23] M. Hamdi Karaoğlu, M. Doğan, and M. Alkan, "Removal of cationic dyes by kaolinite," *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 122, no. 1–3, pp. 20–27, Jun. 2009, doi: 10.1016/j.micromeso.2009.02.013.
- [24] S. K. Nadavala, K. Swayampakula, V. M. Boddu, and K. Abburi, "Biosorption of phenol and o-chlorophenol from aqueous solutions on to chitosan–calcium alginate blended beads," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 162, no. 1, pp. 482–489, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.05.070.
- [25] Z. Rawajfih and N. Nsour, "Characteristics of phenol and chlorinated phenols sorption onto surfactant-modified bentonite," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 298, no. 1, pp. 39–49, Jun. 2006, doi: 10.1016/j.jcis.2005.11.063.
- [26] S. J. Allen, Q. Gan, R. Matthews, and P. A. Johnson, "Comparison of optimised isotherm models for basic dye adsorption by kudzu," *Bioresource Technology*, vol. 88, no. 2, pp. 143–152, Jun. 2003, doi: 10.1016/S0960-8524(02)00281-X.
- [27] Z. Aksu and J. Yener, "A comparative adsorption/biosorption study of mono-chlorinated phenols onto various sorbents," *Waste Management*, vol. 21, no. 8, pp. 695–702, Jan. 2001, doi: 10.1016/S0956-053X(01)00006-X.

- [28] O. Hamdaoui and E. Naffrechoux, “Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorophenols onto granular activated carbon Part I. Two-parameter models and equations allowing determination of thermodynamic parameters,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 147, no. 1–2, pp. 381–394, Aug. 2007, doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.01.021.
- [29] W. Jianlong, Q. Yi, N. Horan, and E. Stentiford, “Bioadsorption of pentachlorophenol (PCP) from aqueous solution by activated sludge biomass,” *Bioresource Technology*, vol. 75, no. 2, pp. 157–161, Nov. 2000, doi: 10.1016/S0960-8524(00)00041-9.
- [30] I. Sentürk, H. Buyukgungor, and F. Geyikci, “Biosorption of phenol from aqueous solutions by the *Aspergillus niger* biomass: comparison of linear and non-linear regression analysis,” *Desalination and Water Treatment*, vol. 57, no. 41, pp. 19529–19539, Sep. 2016, doi: 10.1080/19443994.2015.1102088.
- [31] M. Radhika and K. Palanivelu, “Adsorptive removal of chlorophenols from aqueous solution by low cost adsorbent—Kinetics and isotherm analysis,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 138, no. 1, pp. 116–124, Nov. 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.05.045.
- [32] G. Kaykıoğlu, “Kolemanit ve Üleksit Atığı ile Sulu Çözeltilerden Metilen Mavisi Giderimi: Kinetik ve İzoterm Değerlendirmesi,” *CBÜ Fen Bil. Dergi.*, vol. 12, no. 3, p. 11, 2016.
- [33] D. İ. Çifçi, “Alizarin kırmızı boyasının hidroksiapatit kullanılarak adsorpsiyon prosesi ile giderimi,” *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, pp. 58–66, Jan. 2018, doi: 10.28948/ngumuh.384840.
- [34] A. Sarı and M. Tuzen, “Biosorption of cadmium(II) from aqueous solution by red algae (*Ceramium virgatum*): Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 157, no. 2–3, pp. 448–454, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.01.008.
- [35] W. Konicki, K. Cendrowski, G. Bazarko, and E. Mijowska, “Study on efficient removal of anionic, cationic and nonionic dyes from aqueous solutions by means of mesoporous carbon nanospheres with empty cavity,” *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 94, pp. 242–253, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.cherd.2014.08.006.
- [36] J. Yener, T. Kopac, G. Dogu, and T. Dogu, “Adsorption of Basic Yellow 28 from aqueous solutions with clinoptilolite and amberlite,” *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 294, no. 2, pp. 255–264, Feb. 2006, doi: 10.1016/j.jcis.2005.07.040.
- [37] W. Konicki, A. Helminiak, W. Arabczyk, and E. Mijowska, “Adsorption of cationic dyes onto Fe@graphite core-shell magnetic nanocomposite: Equilibrium, kinetics and thermodynamics,” *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 129, pp. 259–270, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.cherd.2017.11.004.
- [38] A. Olgun and N. Atar, “Equilibrium and kinetic adsorption study of Basic Yellow 28 and Basic Red 46 by a boron industry waste,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 161, no. 1, pp. 148–156, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.03.064.
- [39] R. Aravindhan, J. R. Rao, and B. U. Nair, “Removal of basic yellow dye from aqueous solution by sorption on green alga *Caulerpa scalpelliformis*,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 142, no. 1–2, pp. 68–76, Apr. 2007, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.07.058.
- [40] W. Konicki, M. Aleksandrak, and E. Mijowska, “Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on adsorption of cationic dyes from aqueous solutions using graphene oxide,” *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 123, pp. 35–49, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.cherd.2017.03.036.
- [41] A. R. Tehrani-Bagha, H. Nikkar, N. M. Mahmoodi, M. Markazi, and F. M. Menger, “The sorption of cationic dyes onto kaolin: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies,” *Desalination*, vol. 266, no. 1–3, pp. 274–280, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.desal.2010.08.036.
- [42] A. R. Nestic, V. V. Panic, A. E. Onjia, and S. J. Velickovic, “The enhanced removal of cationic dyes in binary system using novel copolymers with two kinds of acidic groups,” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 476, pp. 24–34, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.colsurfa.2015.03.013.
- [43] K.-H. Toumi *et al.*, “Efficient Removal of Cationic Dyes From Aqueous Solutions Using the Low-Cost Algerian Olive Cake Waste Adsorbent,” *JOM*, vol. 71, no. 2, pp. 791–800, Feb. 2019, doi: 10.1007/s11837-018-3143-2.
- [44] H. El Boujaady, M. Mourabet, A. El Rhilassi, M. Bennani-Ziatni, R. El Hamri, and A. Taitai, “Interaction of adsorption of reactive yellow 4 from aqueous solutions onto synthesized calcium phosphate,” *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 21, pp. S94–S100, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.jscs.2013.10.009.
- [45] B. Kiran and A. Kaushik, “Cyanobacterial biosorption of Cr(VI): Application of two parameter and Bohart Adams models for batch and column studies,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 144, no. 3, pp. 391–399, Nov. 2008, doi: 10.1016/j.cej.2008.02.003.

