

# Montmorillonit kili ile basic orange 2 boyar maddesinin adsorpsiyon kinetiği

Baybars Ali FİL\*

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çağış Kampüsü, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 29.01.2022

Kabul Tarihi (Accepted Date): 06.04.2022

## Öz

Bu çalışmada, BO2 (Basic Orange2) boyar maddesinin montmorillonit kili üzerinde adsorpsiyon kinetiği araştırılmıştır. Deneysel kesikli modda gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon kinetiği çalışmaları başlangıç boyar madde konsantrasyonu, başlangıç pH değeri, karıştırma hızı, adsorbent dozu ve iyon konsantrasyonu gibi parametrelerin etkisi altında araştırılmıştır. Deneysel verilerin yalancı birinci merteye, yalancı ikinci merteye, Elovich ve parçacık içi adsorpsiyon kinetik modellerine uyumluluğu araştırılmıştır. Montmorillonit yüzeyinde BO2 boyar maddesinin adsorpsiyon kinetiğini verilerinin yalancı ikinci merteye kinetiğine uyum gösterdiği belirlenmiştir. Adsorpsiyon hızının artan pH, karıştırma hızı ve iyon konsantrasyonu ile arttığı, başlangıç boyar madde konsantrasyonu ve adsorbent dozu ile azaldığı belirlenmiştir. Montmorillonitin BO2 gibi katyonik boyar maddelerin uzaklaştırılması için uygun düşük maliyetli adsorbent olduğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Montmorillonit, basic orange2 (BO2), adsorpsiyon kinetiği

## Adsorption kinetics of montmorillonite clay and basic orange 2 dyestuff

### Abstract

In this study, the adsorption kinetics of BO2 (Basic Orange2) dyestuff on montmorillonite clay was investigated. The experiments were carried out in batch mode. Adsorption kinetics studies were investigated under the influence of parameters such as initial dyestuff concentration, initial pH value, mixing speed, adsorbent dose and ion concentration. The compatibility of the experimental data with pseudo-first-order,

\*Baybars Ali FİL, baybarsalifil2@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3085-224X>

*pseudo-second-order, Elovich and intra-particle adsorption kinetic models were investigated. It was determined that the adsorption kinetic data of BO2 dyestuff on the montmorillonite surface were consistent with the pseudo-second order kinetics. It was determined that the adsorption rate increased with increasing pH, mixing speed and ion concentration, and decreased with the initial dye concentration and adsorbent dose. It reveals that montmorillonite is a suitable low-cost adsorbent for the removal of cationic dyestuffs such as BO2.*

**Keywords:** Montmorillonite, basic orange2 (BO2), adsorption kinetic.

## 1. Giriş

Artan endüstrileşme sonucu temiz su kaynaklarının kullanımı günden güne artmıştır. Kullanılmış suların arıtılmadan göl, deniz ve akarsu gibi alıcı ortamlara deşarj edilmesi sonucu çevrede kalıcı zarar vermektedir. Basic Orange 2 (BO2) bir tür endüstriyel boyadır [1]. İyi boyama özelliği nedeniyle deri, kağıt, tüy, çimen, ahşap, bambu vb. boyamak için yaygın olarak kullanılır [2].

BO2, ağızdan veya deri yoluyla alındığında veya solunduğunda memelilerde akut ve kronik toksisiteye neden olabilir ve balıklar için ortalama öldürücü konsantrasyonu 0,5 mg/L'dir [3]. BO2 ayrıca kanserojen olarak kabul edilmiştir [4]. Bu nedenle gıdalarda yasaklanan bu boyanın kontrolü çok önemlidir ve acilen basit, ekonomik ve hızlı bir tespit yönteminin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Literatürde boyar maddelerin giderilmesi için pek çok çalışma mevcuttur. Bu yöntemler arasında elektrooksidasyon [5], elektrokoagülasyon [6], elektrofenton [7], adsorpsiyon [8], ozonlama [9] ve membran filtrasyonu [10] olarak sayılabilir.

Adsorpsiyon endüstriyel atık sulardan boyalar gibi çözünmüş organik kirleticilerin uzaklaştırılması için en etkili arıtma prosedürlerinden biri olarak kullanılır. Adsorpsiyon, katı maddelerin yüzeyindeki malzemelerin konsantrasyonu olarak tanımlanır. Adsorpsiyon, öncelikle yüzey kuvvetlerinin kullanımıyla ilgilenen bir yüzey olgusudur. Adsorbat olarak da adlandırılan adsorbe olabilen bir çözeltiye sahip bir çözelti, adsorban olarak adlandırılan, oldukça gözenekli yüzey yapısına sahip bir katı ile temas ettiğinde, sıvı-katı moleküller arası çekim kuvvetleri, çözünen maddenin katı yüzeyde konsantre olmasına neden olur. Adsorbentler esas olarak zeolit [11], aktif karbon [12] kil [13] vb. malzemeler kullanılabilir.

Bu çalışmada montmorillonit kili kullanarak Basic Orange 2 (BO2) boyasının adsorpsiyon yöntemi ile giderimi araştırılmıştır. Boya giderimi üzerine karıştırma hızı (KH), NaCl konsantrasyonunun, başlangıç pH'sının, adsorbent miktarı ve başlangıç boyar madde konsantrasyonu gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir. Ayrıca birinci mertebe, yalancı ikinci mertebe, Elovich ve parçacık içi adsorpsiyon kinetik modellerini uyumluluğu incelenmiştir.

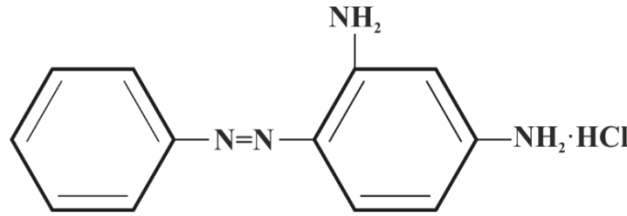
## 2. Deneysel çalışmalar

Montmorillonit kil örnekleri Süd-Chemie'den (Türkiye) elde edildi. Montmorillonitin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Boya, daha fazla

saflaştırılmadan olduğu gibi kullanılmıştır. Molekül ağırlığı 248,72 g/mol olan ve moleküler formülü  $C_{12}H_{12}N_4HCl$  olan BO2'nin yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Belirli miktardaki boyanın distile suda 1000 mg/L konsantrasyonda çözülmesiyle stok boya çözeltisi hazırlanmıştır. BO2 stok çözeltisi distile su ile istenilen konsantrasyona seyreltilerek deneysel çözeltiler hazırlanmıştır.

Tablo 1. Montmorillonitin kimyasal bileşimi (a) ve montmorillonitin fizikokimyasal özellikleri (b).

(a)	Bileşen	Ağırlık (%)
	SiO <sub>2</sub>	49,90
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,70
	MgO	0,27
	CaO	1,50
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,30
	Na <sub>2</sub> O	1,50
	H <sub>2</sub> O	25,67
(b)	Parametre	Değer
	Renk	Beyaz
	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2,3–3,0
	Saydamlık	Yarı şeffaf ve opak
	Parlaklık	Mat
	Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g)	95,36
	Reflektif indeksi	1–2



Şekil 1. Basic Orange 2 boyar maddesinin moleküler yapısı

BO2'nin adsorpsiyon yoluyla uzaklaştırılması üzerinde pH, çalkalama hızı, iyonik kuvvet, adsorbent dozajı, temas süresi ve başlangıç boya konsantrasyonu gibi deneysel parametrelerin etkileri kesikli modda incelenmiştir. Her adsorpsiyon deneyinde, bilinen konsantrasyona sahip 100 mL BO2 çözeltisi numuneleri 250 mL'lik bir Erlenmeyer şişesine konulmuş ve ardından şişeye farklı miktarlarda adsorbent ilave edilmiştir. Tüm deneyler sabit (293 K) sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Boya çözeltisinin pH'ı, bir WTW Multi-340i pH metre ile 0,01 M HCl ve 0,01 M NaOH kullanılarak kalibre edilmiştir. Karıştırmanın adsorpsiyon deneyleri üzerindeki etkisi için 100-400 rpm karıştırma hızları incelenmiştir. İyonik gücün etkisi sentetik atıksuya NaCl ilavesi yapılarak incelenmiştir. Adsorbent, 10000 rpm'de 10 dak santrifüj edilerek çözeltiden ayrılmıştır. Numunelerdeki boya konsantrasyonu, BO2 için 455 nm dalga boyunda absorpsiyonda UV-

spektrofotometre (Spekol-1100) kullanılarak adsorpsiyon deneyleri sırasında belirlenmiştir. Adsorpsiyon mekanizmasını araştırmak için yalancı birinciden [14], yalancı ikinciden [15], Elovich [16] ve parçacık içi [17] olmak üzere dört kinetik model kullanılmıştır. İncelenen kinetik modeller Tablo 2’de verilmiştir.

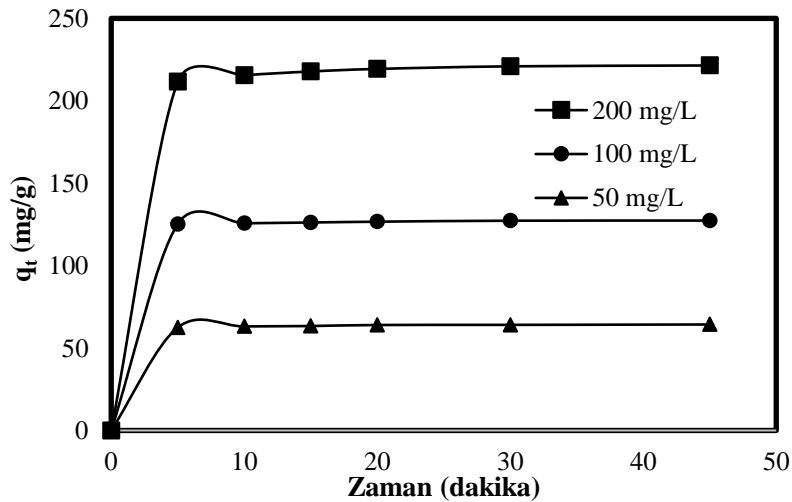
Tablo 2. Kinetik modellerin matematiksel denklemleri

Kinetik Model	Matematiksel denklem	Denklem no	Referans
Yalancı Birinci Mertebe	$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$	(1)	[14]
Yalancı İkinci Mertebe	$t / q_t = [1 / k_2 q_e^2] + (1 / q_e) t$	(2)	[15]
Elovich	$q_t = (1 / \beta) \ln(\alpha \beta) + (1 / \beta) \ln t$	(3)	[16]
İnta-partikül	$q_t = k_{df} t^{1/2} + C$	(4)	[17]

### 3. Sonuçlar ve tartışma

#### 3.1. Başlangıç boyar madde konsantrasyonunun etkisi

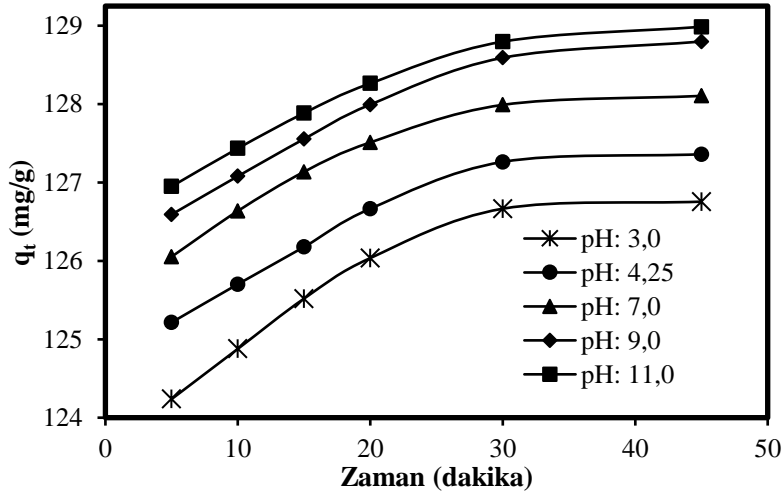
Başlangıç boyar madde konsantrasyonunun adsorpsiyon hızı üzerindeki etkisi Şekil 2’de gösterilmektedir. Deneyler 50, 100 ve 200 mg/L başlangıç BO2 miktarında, pH 4,25 (doğal), 0,75 g/L adsorbent miktarında, 293K sıcaklığında ve 300 rpm karıştırma hızında çalışılmıştır. Artan boyar madde konsantrasyonu ile montmorillonit kili üzerinde tutulan boyar madde miktarı artmıştır. Başlangıç BO2 konsantrasyonu 50 mg/L’den 200 mg/L’ye yükseldiğinde adsorpsiyon kapasitesi 64,298 mg/g’dan 221,436 mg/g’a yükselmiştir. Giderim verimleri incelendiğinde ise başlangıç boyar madde konsantrasyonu 50 mg/L iken %96,447 olan giderim verimi başlangıç boya konsantrasyonu 200 mg/L olduğunda %83,039 değerine azalmıştır. % giderim veriminde matematiksel bir azalma görülse de birim adsorbent yüzeyinde giderilen boyar madde konsantrasyonu artmaktadır.



Şekil 2. Başlangıç boyar madde konsantrasyonunun etkisi  
(Çalışma koşulları: pH: 4,25 (doğal), adsorbent dozu 0,75 g/L, sıcaklık 293 K, KH 300 rpm, iyonik güç 0 NaCl mol/L)

### 3.2. Başlangıç pH değerinin etkisi

pH, adsorpsiyon sürecini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Çünkü pH adsorbentin yüzey yükünü, adsorbat fonksiyonel gruplarının iyonizasyon derecesini ve adsorpsiyon mekanizmasını etkileyebilir [18]. Başlangıç pH değerinin etkisi, ortak şartlar altında incelenmiştir. Başlangıç pH değeri olarak pH 3, 4,25 (doğal), 7, 9 ve 11 seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3'te sunulmuştur. Sonuçlardan görüleceği gibi pH'daki artışın adsorpsiyon kapasitesini artırdığı görülmüştür. pH değeri 3'ten 11'e yükseldiğinde, dengedeki adsorpsiyon kapasitesi 126,755 mg/g'dan 128,986 mg/g'ye yükselmiştir. Benzer sonuçlar yüzde giderim verimi içinde gözlenmiştir. pH değeri 3'ten 11'e artarken giderim verimi %95,066'dan %96,739'a yükselmiştir. Çözeltinin pH değeri arttıkça yüzeydeki pozitif yük azalır ve negatif yüklü bölgelerin sayısı artar [19]. Kil üzerindeki artan negatif yüklü yüzey alanı, elektrostatik çekim nedeniyle katyonik boyanın adsorpsiyonunu kolaylaştırır [20]. Daha önceki çalışmalar, katyonik boya sorpsiyonunun pH'daki artışla arttığını bildirmiştir [21, 22].

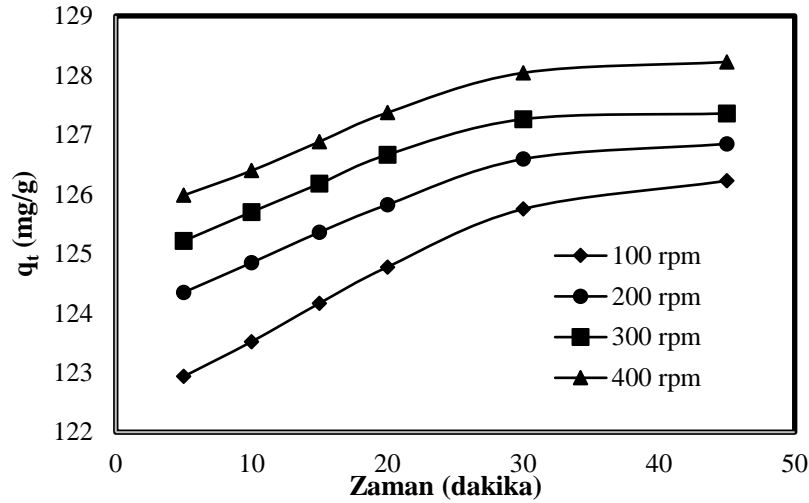


Şekil 3. Başlangıç pH değerinin etkisi

(Çalışma koşulları: başlangıç boya konsantrasyonu 100 mg/L, adsorbent dozu 0,75 g/L, sıcaklık 293 K, karıştırma hızı 300 rpm, iyonik güç 0 NaCl mol/L)

### 3.3. Karıştırma hızının etkisi

Adsorpsiyon işlemi, çözeltideki çözünenin dağılımı ve dış sınır filminin oluşumu nedeniyle çalkalama hızına şiddetle bağlıdır [23]. Karıştırma hızının boya adsorpsiyonuna etkisinin incelendiği denemeler 0 NaCl mol/L iyonik güçte, 293 K sıcaklıkta, pH 4,25 (doğal), 0,75 g/L adsorbent miktarı ve 100 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda 100, 200, 300 ve 400 rpm karıştırma hızlarında gerçekleştirilmiştir. Farklı karıştırma hızlarında BO<sub>2</sub>'nin adsorpsiyon kapasitesi Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekilden, karıştırma hızı 100 rpm'den 400 rpm'e artırıldığında adsorpsiyon kapasitesinin 126,227 mg/g'dan 128,225 mg/g'ye yükseldiği görülmektedir. 100 rpm karıştırma hızında boya giderim verimi %94,670 olarak bulunurken 400 rpm karıştırma hızında giderim verimi %96,169 değeri olarak belirlenmiştir. Karıştırma hızının artışı ile dış kütle transfer katsayısı artar ve adsorbe olan boya miktarı artmaktadır. Bunun nedeni, düşük çalkalama hızı ile dengeye ulaşmak için daha fazla temas süresinin gerekli olmasıdır. Çalkalama hızının artması, türbülansın artışına sebep olur ve adsorbent etrafını saran sıvı film tabakasının kalınlığı azalır. Böylece boya moleküllerinin adsorbent yüzeyine difüzyon hızı artar [24].

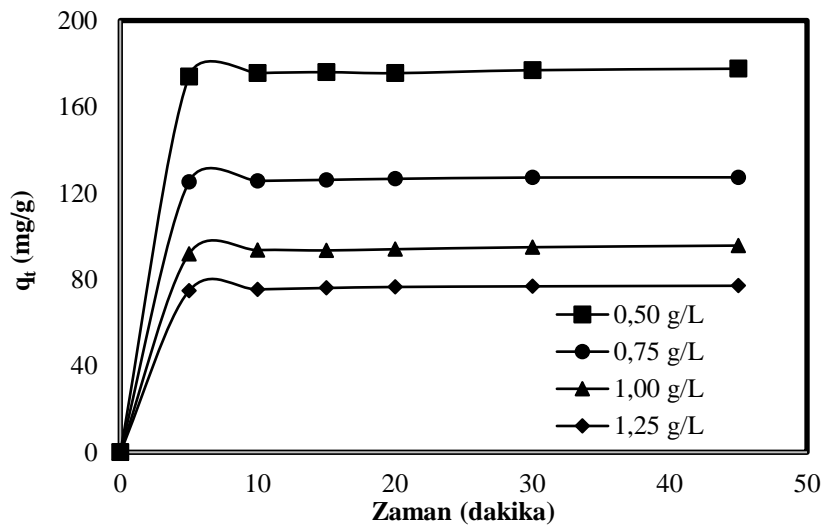


Şekil 4. Karıştırma hızının etkisi

(Çalışma koşulları: pH: 4,25 (doğal), başlangıç boya konsantrasyonu 100 mg/L, adsorbent dozu 0,75 g/L, sıcaklık 293 K, iyonik güç 0 NaCl mol/L)

### 3.4. Adsorbent miktarının etkisi

BO2 boyasının montmorillonit yüzeyinde adsorpsiyonu için adsorbent dozajının etkisi, 293 K sıcaklıkta, 300 rpm karıştırma hızında, 100 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda ve pH 4,25'te, adsorbent miktarı 0,50 ila 1,25 g/L arasında değiştirilerek incelenmiştir. Adsorbent miktarının BO2 adsorpsiyonu üzerindeki sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Adsorbent miktarı 0,50 g/L'den 1,25 g/L'ye artırıldığında BO2'nin adsorpsiyon kapasitesi 177,679 mg/L'den 77,132 mg/L'ye azalmıştır. Adsorpsiyon kapasitesinin aksine artan adsorbent miktarı giderim verimini artırmıştır. Adsorbent miktarı 0,5, 0,75, 1,00 ve 1,25 g/L olduğunda giderim verimleri sırasıyla %88,839, %95,520, %95,739 ve %96,415 olarak elde edilmiştir. Bu durum, kilin toplam yüzey alanındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Adsorpsiyon kapasitesindeki bu azalma, adsorpsiyon prosesi sırasında montmorillonit yüzeyinde doymamış sorpsiyon bölgeleri ile açıklanabilir [25].

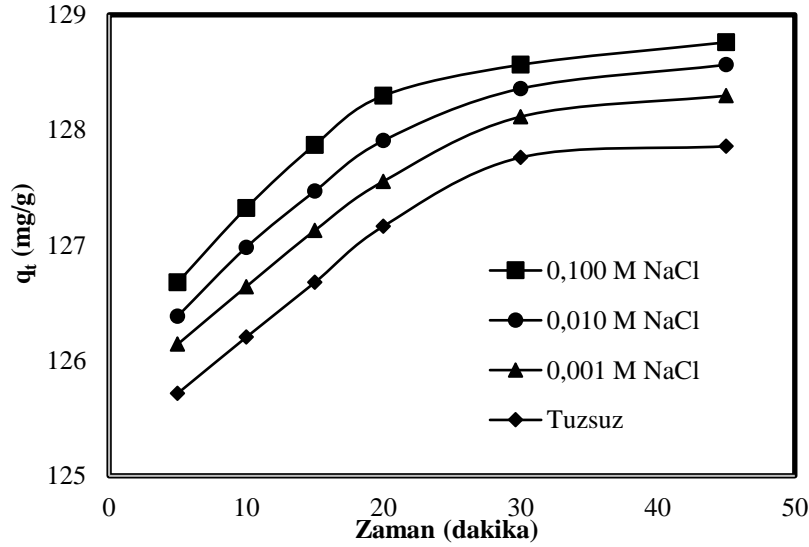


Şekil 5. Adsorbent dozajının üzerindeki etkisi

(Çalışma koşulları: pH: 4,25 (doğal), başlangıç boya konsantrasyonu 100 mg/L, KH 300 rpm, sıcaklık 293 K, iyonik güç 0 NaCl mol/L)

### 3.5. İyonik gücün etkisi

BO2 boyar maddesinin montmorillonit yüzeyinde iyonik gücün etkisinin incelendiği çalışmalar, 293 K sıcaklıkta, 300 rpm karıştırma hızında, 0,75 g/L adsorbent dozunda, 100 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda ve pH 4,25'te, tuz konsantrasyonunun etkisi NaCl'nin 0, 0,001, 0,01 ve 0,1 M konsantrasyonunda incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi artan iyonik güç ile adsorpsiyon hızı artmıştır. Benzer eğilim giderim verimleri içinde gözlemlenmiştir. Atıksu içerisinde tuz konsantrasyonu bulunmadığında yüzde giderim verimi %95,520 olarak elde edilirken, 0,1 M NaCl varlığında giderim verimi %96,196 olarak elde edilmiştir. Atık su genellikle yüksek miktarda tuzluluk içerir. Bu açıdan tuz konsantrasyonunun adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisini bilmek çok önemlidir. Çözeltide NaCl bulunmasının iki zıt etkisi olabilir. Bir yandan, tuz oksit yüzeyinin ve boya moleküllerinin zıt değişikliklerinin elektrostatik etkileşimini perdelediği için, NaCl konsantrasyonunun artmasıyla adsorbe edilen miktar azalmalıdır. Öte yandan tuz, protonasyonu kolaylaştırarak boya moleküllerinin ayrışma derecesinde bir artışa neden olur [26].



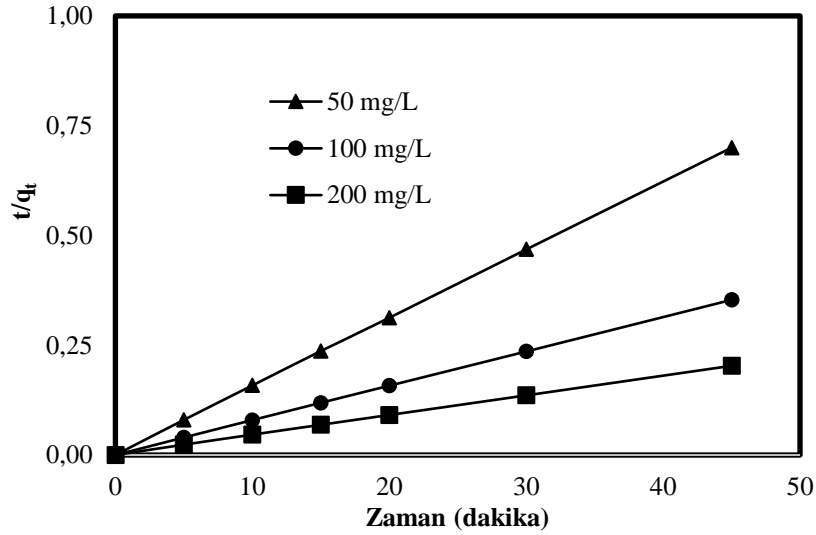
Şekil 6. İyonik gücün etkisi

(Çalışma koşulları: pH: 4,25 (doğal), başlangıç boya konsantrasyonu 100 mg/L, adsorbent dozu 0,75 g/L, sıcaklık 293 K, KH 300 rpm)

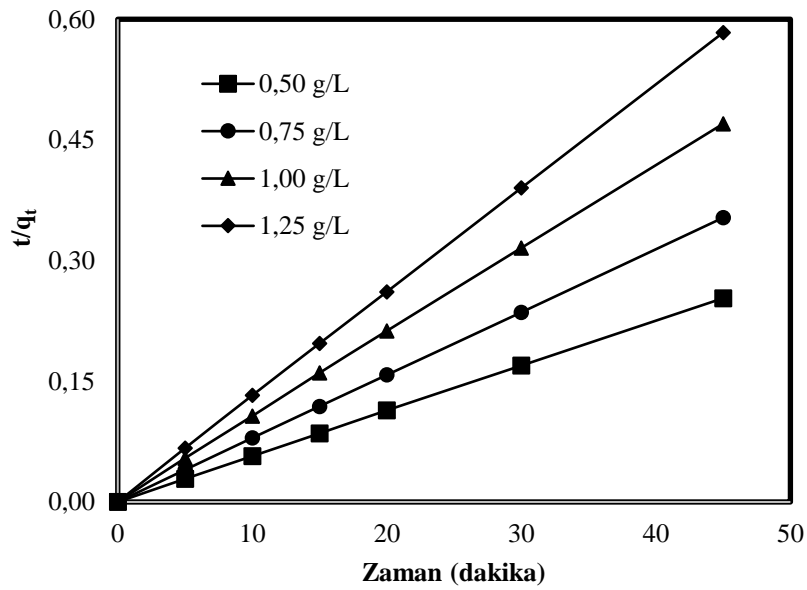
### 3.6. Adsorpsiyon kinetiği çalışmaları

Adsorpsiyon kinetiği, prosesin etkinliğini kontrol etmede çok önemli bir rol oynar. Elde edilen katsayılar ve sabitler Tablo 3'te özetlenmiştir. İkinci dereceden kinetik uygulanabilirse,  $t/q_t$ 'ye karşı  $t$  grafiği doğrusal bir ilişki göstermelidir. Herhangi bir parametrenin önceden bilinmesine gerek yoktur ve denge adsorpsiyon kapasitesi,  $q_e$ , Tablo 2'de verilen eşitlikten hesaplanabilir. Ayrıca, tüm adsorpsiyon aralığında davranışı tahmin etmek daha olasıdır.  $k_2$  ve  $q_e$  değerleri,  $t/q_t$ 'ye karşı  $t$  grafiğinin kesim ve eğiminden hesaplanmıştır.  $t/q_t$ 'ye karşı  $t$ 'nin doğrusal çizimleri başlangıç boya konsantrasyonu ve adsorbent dozajı için örnek olarak Şekil 7-8'de verilmiştir ve grafiklerden görüleceği gibi doğrusal bir uyum olduğu görülmektedir. Korelasyon katsayıları Tablo 3'de verilmiştir. Sonuçlardan görüleceği gibi montmorillonit üzerinde BO2 boyar maddesinin adsorpsiyon kinetiği yalancı ikinci mertebe kinetiğine uymaktadır. Bu sonuçlar, hız sınırlayıcı adımın kemisorpsiyon olabileceği sonucunu çıkarmaktadır [27, 28].

Bu, boyanın adsorpsiyonunun, yüzey fonksiyonel bölgeleri tamamen doluncaya kadar muhtemelen yüzey değişim reaksiyonları yoluyla gerçekleştiğini doğrulamaktadır. Daha sonra boya molekülleri, başka etkileşimler için (inklüzyon kompleksi, hidrojen bağı, hidrofobik etkileşimler gibi) polimer ağına yayılır benzer sonuçlar literatürde mevcuttur [29-31].



Şekil 7. Farklı başlangıç boya konsantrasyonlarında montmorillonit üzerinde BO2 adsorpsiyonu için ikinci dereceden kinetik denklem.



Şekil 8. Farklı adsorbent dozajlarında montmorillonit üzerinde BO2 adsorpsiyonu için ikinci dereceden kinetik denklem.



Tablo 3. Montmorillonit üzerine BO2 adsorpsiyonu için kinetik sabitler

Parametreler*						Kinetik Modeller						
Başlangıç boyarmadde konsantrasyonu (mg/L)	KH (rpm)	pH	Sıcaklık (K)	İyon gücü etkisi (mol/L NaCl)	Adsorbent dozu (g/L)	Elovich	Yalancı birinci merteye	Yalancı ikinci merteye				İntra-partikül
						R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	h = k <sub>2</sub> × q <sub>e</sub> <sup>2</sup> (mg/g dak)	k <sub>2</sub> × 10 <sup>3</sup> (g/mg dak)	q <sub>e</sub> (mg/g)	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
100	300	<b>3,0</b>	293	0	0,75	0,9726	0,8241	759,6643	0,0469	127,2299	0,9999947	0,9315
100	300	<b>4,3</b>	293	0	0,75	0,9687	0,7971	851,5503	0,0522	127,7756	0,9999948	0,9452
100	300	<b>7,0</b>	293	0	0,75	0,9813	0,7784	977,2491	0,0592	128,4694	0,9999973	0,9350
100	300	<b>9,0</b>	293	0	0,75	0,9780	0,7354	826,9780	0,0495	129,2028	0,9999946	0,9644
100	<b>100</b>	4,3	293	0	0,75	0,9675	0,7134	491,0541	0,0305	126,8302	0,9999804	0,9813
100	<b>200</b>	4,3	293	0	0,75	0,9709	0,7332	678,4396	0,0419	127,3167	0,9999906	0,9714
100	<b>300</b>	4,3	293	0	0,75	0,9687	0,7971	851,5503	0,0522	127,7756	0,9999948	0,9452
100	<b>400</b>	4,3	293	0	0,75	0,9643	0,7516	776,1585	0,0469	128,6597	0,9999929	0,9612
100	300	4,3	293	0	<b>0,50</b>	0,9116	0,6106	1023,9905	0,0323	178,1492	0,9999805	0,8974
100	300	4,3	293	0	<b>0,75</b>	0,9687	0,7971	851,5503	0,0522	127,7756	0,9999948	0,9452
100	300	4,3	293	0	<b>1,00</b>	0,9496	0,6648	275,2970	0,0297	96,2770	0,9999497	0,9317
100	300	4,3	293	0	<b>1,25</b>	0,9794	0,7547	316,9192	0,0527	77,5158	0,9999942	0,9198
100	300	4,3	293	<b>0</b>	0,75	0,9687	0,7971	851,5503	0,0522	127,7756	0,9999948	0,9452
100	300	4,3	293	<b>0,001</b>	0,75	0,9797	0,7451	851,7334	0,0518	128,1928	0,9999954	0,9585
100	300	4,3	293	<b>0,01</b>	0,75	0,9867	0,7344	895,4918	0,0543	128,4413	0,9999969	0,9490
100	300	4,3	293	<b>0,1</b>	0,75	0,9758	0,7344	1033,9280	0,0625	128,5963	0,9999986	0,9112
<b>50</b>	300	4,3	293	0	0,75	0,9555	0,7422	294,4627	0,0706	64,5879	0,9999914	0,8905
<b>100</b>	300	4,3	293	0	0,75	0,9687	0,7971	851,5503	0,0522	127,7756	0,9999948	0,9452
<b>200</b>	300	4,3	293	0	0,75	0,9676	0,8465	693,7551	0,0139	223,0327	0,9999941	0,8830

#### 4. Değerlendirme

Montmorillonit kili üzerinde BO2 boyar maddesinin kinetik çalışmaları, karıştırma hızının, başlangıç boya konsantrasyonunun, adsorbent dozajının, iyonik gücün ve pH'nın bir fonksiyonu olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Boyar maddenin montmorillonit üzerindeki adsorpsiyon hızı, başlangıç boya konsantrasyonu, iyonik kuvvet, karıştırma hızı ve pH değerindeki artışla artmıştır,
- Kinetik çalışmalar, adsorpsiyon reaksiyonunun yalancı ikinci dereceden kinetik modeline uyduğunu göstermektedir,
- Birim adsorbent başına giderilen boyar madde miktarının artmasına rağmen adsorpsiyon kapasitesi azalmıştır,
- Montmorillonitin BO2 gibi katyonik boyar maddelerin uzaklaştırılması için uygun düşük maliyetli adsorbent olduğunu ortaya koymaktadır.

#### Kaynaklar

- [1] Doh-Ura, K., Tamura, K., Karube, Y., Naito, M., Tsuruo, T., Kataoka, Y., Chelating compound, chrysoidine, is more effective in both antiprion activity and brain endothelial permeability than quinacrine. **Cellular and molecular neurobiology**, 27, 3, 303-316, (2007).
- [2] Gui, W.J., Xu, Y., Shou, L.F., Zhu, G.N., Ren, Y.P., Liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the determination of chrysoidine in yellow-fin tuna. **Food Chemistry**, 122, 1230-1234, (2010).
- [3] Tonogai, Y., Ogawa, S., Ito, Y., Iwaida, M., Actual survey on TLm (median tolerance limit) values of environmental pollutants, especially on amines, nitriles, aromatic nitrogen compounds and artificial dyes. **The Journal of Toxicological Sciences**, 7, 3, 193-203, (1982).
- [4] Reyns, T., Fraselle, S., Laza, D., Van Loco, J., Rapid method for the confirmatory analysis of chrysoidine in aquaculture products by ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Biomedical chromatography**, 24, 982-989, (2010).
- [5] Farizoğlu, B., Fil, B.A., Uzuner, S., Bıçakçı, S., Er, E., Kara, E.N., Reactive black 5 removal with electro-oxidation method using  $\text{Ti}/\text{IrO}_2/\text{RuO}_2$  anode and stainless steel cathode. **International Journal of Electrochemical Science**, 13, 4, 3288-3296, (2018).
- [6] Gautam, K., Kamsonlian, S., Kumar, S., Removal of Reactive Red 120 dye from wastewater using electrocoagulation: optimization using multivariate approach, economic analysis, and sludge characterization. **Separation Science and Technology**, 55, 18, 3412-3426, (2020).
- [7] Ebratkhan, M., Naghash Hamed, S., Zarei, M., Jafarizad, A., Rostamizadeh, M., Removal of Neutral Red Dye via Electro-Fenton Process: A Response Surface Methodology Modeling. **Electrocatalysis**, 12, 5, 579-594, (2021).
- [8] Sözüdoğru, O., Fil, B.A., Boncukcuoğlu, R., Aladağ, E., Kul, S., Adsorptive removal of cationic (BY2) dye from aqueous solutions onto Turkish clay: Isotherm, kinetic, and thermodynamic analysis. **Particulate Science and Technology**, 34, 1, 103-111, (2016).
- [9] Yang, D.M., Yuan, J.M., COD and Color Removal from Real Dyeing Wastewater by Ozonation. **Water Environment Research**, 88, 5, 403-407, (2016).

- [10] Pan, Y., Zhu, T., He, Z., Enhanced Removal of Azo Dye by a Bioelectrochemical System Integrated with a Membrane Biofilm Reactor. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, 57, 16433– 16441, (2018).
- [11] Qiu, Q., Jiang, X., Lv, G., Chen, Z., Lu, S., Ni, M., Yan, J., Deng, X., Adsorption of heavy metal ions using zeolite materials of municipal solid waste incineration fly ash modified by microwave-assisted hydrothermal treatment. **Powder Technology**, 335, 156-163, (2018).
- [12] Mojoudi, N., Mirghaffari, N., Soleimani, M., Shariatmadari, H., Belver, C., Bedia, J., Phenol adsorption on high microporous activated carbons prepared from oily sludge: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. **Scientific Reports**, 9, 1, 19352, (2019).
- [13] Hatch, C.D., Wiese, J.S., Crane, C.C., Harris, K.J., Kloss, H.G., Baltrusaitis, J., Water Adsorption on Clay Minerals As a Function of Relative Humidity: Application of BET and Freundlich Adsorption Models. **Langmuir**, 28, 3, 1790-1803, (2012).
- [14] Lagergren, S., About the theory of so-called adsorption of soluble substances. **Kungliga svenska vetenskapsakademiens. Handlingar**, 24, 4, 1-39, (1898).
- [15] Ho, Y., McKay, G., The kinetics of sorption of basic dyes from aqueous solution by sphagnum moss peat. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, 76, 4, 822-827, (1998).
- [16] Aharoni, C., Tompkins, F., Kinetics of adsorption and desorption and the Elovich equation. **Advances in Catalysis**, 21, 1-49, (1970).
- [17] Weber, W.J., Morris, J.C., Kinetics of adsorption on carbon from solution. **Journal of the Sanitary Engineering Division**, 89, 2, 31-60, (1963).
- [18] Elmoubarki, R., Mahjoubi, F.Z., Tounsadi, H., Moustadraf, J., Abdennouri, M., Zouhri, A., El Albani, A., Barka, N., Adsorption of textile dyes on raw and decanted Moroccan clays: Kinetics, equilibrium and thermodynamics. **Water Resources and Industry**, 9, 16-29, (2015).
- [19] Baskaralingam, P., Pulikesi, M., Elango, D., Ramamurthi, V., Sivanesan, S., Adsorption of acid dye onto organobentonite. **Journal of Hazardous Materials**, 128, 2, 138-144, (2006).
- [20] Anirudhan, T.S., Ramachandran, M., Adsorptive removal of basic dyes from aqueous solutions by surfactant modified bentonite clay (organoclay): Kinetic and competitive adsorption isotherm. **Process Safety and Environmental Protection**, 95, 215-225, (2015).
- [21] Aladağ, E., Fil, B.A., Boncukcuoğlu, R., Sözüdoğru, O., Yılmaz, A.E., Adsorption of methyl violet dye, a textile industry effluent onto montmorillonite—batch study. **Journal of Dispersion Science and Technology**, 35, 12, 1737-1744, (2014).
- [22] Li, Y., Du, Q., Liu, T., Peng, X., Wang, J., Sun, J., Wang, Y., Wu, S., Wang, Z., Xia, Y., Xia, L., Comparative study of methylene blue dye adsorption onto activated carbon, graphene oxide, and carbon nanotubes. **Chemical Engineering Research and Design**, 91, 2, 361-368, (2013).
- [23] Ghazi Mokri, H.S., Modirshahla, N., Behnajady, M.A., Vahid, B., Adsorption of C.I. Acid Red 97 dye from aqueous solution onto walnut shell: kinetics, thermodynamics parameters, isotherms. **International Journal of Environmental Science and Technology**, 12, 4, 1401-1408, (2015).
- [24] Ruthiraan, M., Abdullah, E.C., Mubarak, N.M., Noraini, M.N., A promising route of magnetic based materials for removal of cadmium and methylene blue from

- waste water. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 5, 2, 1447-1455, (2017).
- [25] Fil, B.A., Yilmaz, M.T., Bayar, S., Elkoca, M.T., Investigation of adsorption of the dyestuff astrazon red violet 3rn (basic violet 16) on montmorillonite clay. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, 31, 171-182, (2014).
- [26] Dogan, M., Özdemir, Y., Alkan, M., Adsorption kinetics and mechanism of cationic methyl violet and methylene blue dyes onto sepiolite. **Dyes and Pigments**, 75, 3, 701-713, (2007).
- [27] Ho, Y.S., McKay, G., The kinetics of sorption of basic dyes from aqueous solution by sphagnum moss peat. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, 76, 822-827, (1998).
- [28] Ho, Y.S., McKay, G., A comparison of chemisorptions kinetic models applied to pollutant removal on various sorbents. **Process Safety and Environmental Protection**, 76, 332-340, (1998).
- [29] Gürses, A., Dogar, Ç., Yalçın, M., Açıkyıldız, M., Bayrak, R., Karaca, S., The adsorption kinetics of the cationic dye, methylene blue, onto clay. **Journal of Hazardous Materials**, 131, 1-3, 217-228, (2006).
- [30] Grégorio, C., Kinetic and equilibrium studies on the removal of cationic dyes from aqueous solution by adsorption onto a cyclodextrin polymer. **Dyes and Pigments**, 77, 415-426, (2008).
- [31] Tehrani Bagha, A., Nikkar, H., Mahmoodi, N.M., Menger, F.M., The sorption of cationic dyes onto kaolin: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies. **Desalination**, 266, 274-280, (2011).