
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X		
	<u>Gelis/Received</u> 24.11.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 28.05.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.357430	

Amberlyst A21 İle Everzol Black Boyasının Adsorpsiyonu: İzoterm ve Kinetik Çalışmalar

Hülya Silah^{*1}, Ülküye Dudu Gül²

ÖZ

Bu çalışmada Everzol Black boyasının sulu çözelti ortamından giderimi Amberlyst A21 ile incelenmiştir. pH, temas süresi ve başlangıç boya derişimi gibi değişik parametrelerin boya adsorpsiyonu üzerine etkileri çalışılmıştır. Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri denge adsorpsiyon verilerinin analizi için kullanılmıştır. Ayrıca adsorpsiyon kinetik verileri yalancı birinci ve ikinci dereceden kinetik modeller kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre Amberlyst A21 ile Everzol Black giderimi Langmuir izoterm modeli ve yalancı birinci dereceden adsorpsiyon kinetiği ile tanımlanabilir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, Amberlyst A21, Everzol Black, İzoterm, Kinetik

Adsorption of Everzol Black by Using Amberlyst A21: Isotherm and Kinetic Studies

ABSTRACT

In this paper, removal of Everzol Black dye from aqueous solutions was investigated with Amberlyst A21. The effects of different parameters such as pH, contact time and initial dye concentration on dye adsorption were studied. Langmuir, Freundlich and Temkin isotherm models were used to analyze the equilibrium data. Also, adsorption kinetic data were tested using pseudo-first order and pseudo-second order models. According to the results of the study, removal of Everzol Black dye with Amberlyst A21 can be described with Langmuir isotherm model and pseudo-first order kinetic model.

Keywords: Adsorption, Amberlyst A21, Everzol Black, Isotherm, Kinetic

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sulu çözeltilerdeki organik kirleticiler ve ağır metaller çevre ve insan sağlığı açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Organik kirleticiler; endüstriyel çözücüler, uçucu organik bileşikler, pestisitler, insektisitler, boya, gıda işleme atıkları vb. gibi türleri içerirken inorganik

kirleticiler ise metalleri, gübreleri ve endüstriyel deşarjların neden olduğu asitliği kapsar [1]. Tekstil, kağıt, boyama, kozmetik endüstrisi ve diğer bazı sanayi faaliyetleri sonucu açığa çıkan atık sular biyolojik olarak kolaylıkla bozunmayan atık boya içerirler. Bu boya yüzey suları ve yer altı sularının kirlenmesine yol açarak doğal ekosistem için ciddi bir tehlike oluştururlar [2, 3]. Ayrıca bazı sentetik boya yapısında bulunan

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü hulya.mercan@bilecik.edu.tr

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu ulkuyedudu.gul@bilecik.edu.tr

metal ve klor bileşenleri deniz yaşam formları için öldürücü olabilir [4]. Bu nedenle çevreye deşarj edilmeden önce atık sulardan boyaların gideriminin yapılması gerekmektedir. Boyaların atık sulardan arıtımı amacıyla fotokatalitik bozunma [2], sonokimyasal bozunma [3], biyolojik arıtım [5], koagülasyon [6], katyon değiştirici membran [7], misel destekli ultrafiltrasyon [8], elektrokimyasal bozunma [9], filtrasyon [10] ve adsorpsiyon [11-13] gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Biyolojik arıtma, kimyasal oksidasyon, koagülasyon ve flokülasyon gibi yöntemler arasından adsorpsiyonun; ekonomik ve kolay işletilen bir süreç olması gibi avantajlarından dolayı boya giderimi konusunda etkili bir yöntem olduğu düşünülmektedir [14]. Ayrıca adsorbentler sahip oldukları yüksek yüzey aktivitesi ve geniş yüzey alanları nedeniyle giderim çalışmalarında tercih edilmektedirler [11]. Polimerler, aktif karbon, tarımsal endüstriyel atıklar, zeolitler ve karbon nano tüpler gibi doğal ve sentetik bazı adsorbentler atık suların arıtımında kullanılmaktadır [11, 15]. Yüksek seçicilik özelliklerinin yanı sıra sahip oldukları fiziksel ve kimyasal yapıları nedeniyle Amberlyst polimerik reçinelerinin adsorbent olarak kullanıldığı çalışmalar literatürde yer almaktadır [16-18]. Amberlyst A21 4,6 eq/kg'dan büyük değiştirme kapasitesine sahip olan zayıf bazik (üçüncül amin) karakterli ve makro gözenekli polistiren bir reçinedir [17].

Bu çalışmada çevre üzerine olumsuz etkilere sahip, tekstil endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılan Everzol Black tekstil boyasının giderimi ticari bir adsorbent olan Amberlyst A21 kullanılarak incelenmiştir. Everzol Black giderimi üzerine çözelti pH'ı, adsorbent miktarı, temas süresi, başlangıç boya derişimi gibi temel parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Ayrıca denge verilerinin analizi Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri kullanılarak incelemiş ve kinetik veriler yalancı birinci ve ikinci dereceden kinetik modelleri ile test edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (ASSAYS)

Çalışmada kullanılan Amberlyst A21 adsorbenti (216410 CAS 9049 93-8) Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Deneysel çalışmalardan önce Amberlyst A21 80 °C'de

etüvde 10 dakika kurutulmuş ve adsorpsiyon deneylerinde kullanılmıştır.

Adsorpsiyon deneylerinde Amberlyst A21 ile everzol black boyasının sulu ortamlardan uzaklaştırılmasında kesikli adsorpsiyon sistemi kullanılmış ve deneyler sıcaklığı kontrol edilebilen çalkalamalı bir su banyosunda (Nüve marka) gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda kullanılan Everzol Black (EB) boyası tekstil fabrikasından temin edilmiş olup, stok çözeltisi (5000 mg/L) saf suda günlük olarak taze hazırlanmıştır. EB çözeltilerinin pH'ları ise 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH kullanılarak ayarlanmıştır.

pH etkisinin belirlenmesi deneylerinde pH'sı 2 ile 10 arasında değişen farklı pH çözeltileri kullanılarak adsorpsiyon sürecine etkisi araştırılmıştır. Temas süresinin etkisi deneylerinde ise 30 dakika, 1., 2., 4., 6., 8. ve 24. saatlik sürelerde belirli hacimlerde örnekler alınarak dengeye gelme süresi belirlenmiştir. Başlangıç boya derişiminin etkisinin araştırılması için 80, 100, 200, 400 ve 800 mg/L boya derişimleri denenmiştir. Adsorpsiyon deneylerinin sonunda renk ölçümleri yapılmadan önce boya çözeltileri santrifüjlenerek adsorbentten ayrılmıştır. EB boyasının analizi UV spektrofotometre ile yapılmış ve ölçümler EB boyası için maksimum absorbansın olduğu 584 nm dalga boyunda yapılmıştır [13].

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerden C_e (mg/L), q_e (mg/g) ve % giderim (%G) değerleri aşağıda verilen formüllere göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Giderim} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} \quad (2)$$

% Giderim ve q_e değerlerinin hesaplanması için yukarıda verilen formüllerde;

C_0 : Başlangıç EB derişimini (mg/L, ppm)

C_e : Adsorpsiyon işleminden sonra çözeltide kalan EB derişimini (mg/L, ppm)

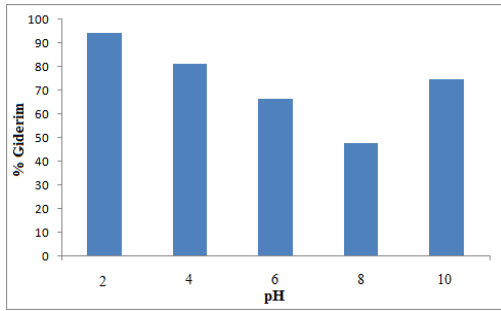
q_e : Adsorbentün birim ağırlığı başına adsorplanan EB miktarını (mg/g)

m : Adsorbentün miktarını (g), V : Çözelti hacmini (L) göstermektedir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. pH ve Temas Süresinin Etkisi (Effects of pH and Contact Time)

Çözelti pH'ı adsorpsiyon süreci boyunca EB boyasının iyonlaşma derecesini ve adsorbentin yüzey yükünü etkilediği için adsorpsiyon prosesindeki en önemli deneysel parametredir [11]. Bu çalışmada Amberlyst A21 üzerine EB boyasının adsorpsiyonuna pH etkisini incelemek amacı ile 80 mg/L'lik EB başlangıç derişiminde 1 g/L Amberlyst A21 kullanılarak 24 saat boyunca belirli aralıklarla numune alınarak adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan boya miktarı ölçülmüştür. Deneysel çalışmada pH'ı 2, 4, 6, 8 ve 10 olan çözeltiler kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. EB boyasının adsorpsiyonu üzerine pH etkisi (EB: 80 mg/L) (Effect of pH on adsorption of EB)

Şekil 1 incelendiğinde çözelti pH'sının Amberlyst A21 yüzeyinde EB boyasının adsorpsiyonunu önemli derecede etkilediği ve pH 2'den pH 8'e kadar EB boyasına ait % giderim değerlerinin giderek azaldığı görülmektedir. Yapılan pH çalışması sonucunda elde edilen deneysel veriler incelendiğinde en yüksek giderimin 24 saat sonunda pH 2'de (% 94,53) en düşük giderimin ise pH 8'de (%47,64) gerçekleştiği hesaplanmaktadır. Deneysel çalışma sonucunda Amberlyst A21'in kullanıldığı adsorpsiyon çalışmaları için dengeye varma süresi tüm pH'larda 24 saat olarak belirlenmiştir. 24 saatten sonraki zaman dilimlerinde ise % giderim değerlerinin çok fazla değişmediği görülmüştür. Gül ve Silah tarafından EB boyasının giderimi üzerine yapılan çalışmada ticari bir adsorbent olan aktif karbon ve fungal bir biosorbent olarak kurutulmuş *Rhizopus arrhizus* biyokütlesi kullanılmış, 24 saatlik temas süresi sonunda 114,39 mg/L'lik başlangıç EB derişimi için yüzde giderim değerleri sırası ile %82,59 ve %93,19 olarak hesaplanmıştır [13]. Wawrzkiwicz ve Hubicki tarafından yapılan bir çalışmada reaktif bir boya olan Remazol Black B'nin sulu ortamdan

giderimi için ticari zayıf bazik anyon değiştirici olan Amberlyst A23, Amberlite IRA 67 ve Lewatit MonoPlus MP 62 adsorbent olarak kullanılmıştır. Remazol Black B için 216 saatlik temas süresi sonunda yüzde giderim değerleri sırası ile %33,9; %25,1 ve %75,2 olarak hesaplanmıştır [19].

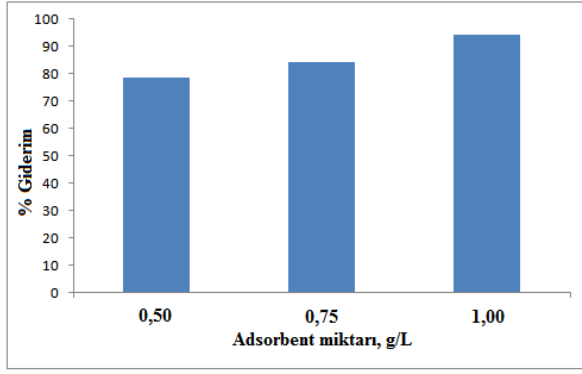
3.2. Adsorbent Miktarı Etkisi (Effect of Adsorbent Dosage)

Amberlyst A21 kullanılarak sulu çözelti ortamından EB boyasının giderimi üzerine pH etkisi ve temas süresi sırası ile pH 2 ve 24 saat olarak belirlendikten sonra 80 mg/L EB başlangıç boya derişiminde Amberlyst A21 miktarı 0,50 g/L, 0,75 g/L ve 1,00 g/L olarak değiştirilerek giderim üzerine etkisi araştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 1. EB boyasının adsorpsiyonu üzerine Amberlyst A21 miktarının etkisi. (EB: 80 mg/L) (Effect of Amberlyst A21 dosage on adsorption of EB dye)

Miktar	% Giderim
0,50 g/L	% 78,57
0,75 g/L	% 84,33
1,00 g/L	% 94,53

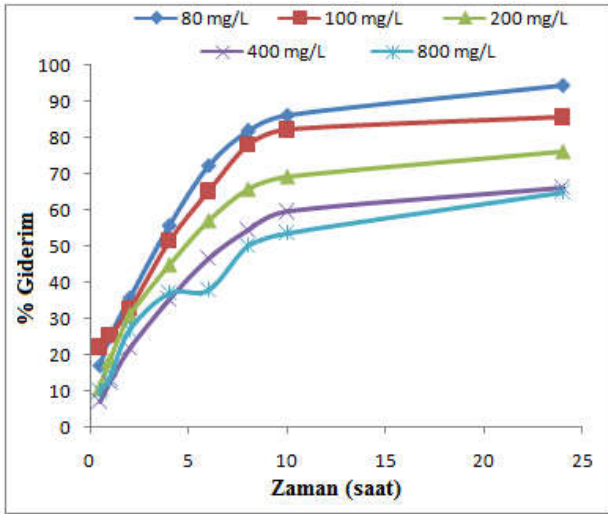
Adsorbent miktarı adsorpsiyon prosesini etkileyen en önemli deneysel şartlardan biridir ve belirli bir başlangıç adsorbat derişiminde adsorbent yüzeyindeki bağlayıcı birimlerin sayısı ile ilişkili olarak adsorbentin potansiyelini açıklar [20]. Tablo 1 ve Şekil 2'den de görüldüğü gibi farklı Amberlyst A21 miktarları denendiğinde adsorbent miktarının 0,50 g/L'den 1,00 g/L'ye artması ile birlikte EB boyasına ait yüzde giderim değerlerinde önemli artışlar elde edilmiş ve yüzde giderim değerleri sırası ile %78,57 ve %94,53 olarak hesaplanmıştır. Ancak adsorbent miktarı 1,00 g/L'nin üzerine çıkarıldığında yüzde giderim değerleri azalmaya başlamıştır. EB boyasına ait yüzde giderim değerlerindeki artış Amberlyst A21 miktarının artması ile adsorbent yüzeyindeki bağlayıcı adsorpsiyon birimlerinin artması ile açıklanabilir. Daha yüksek değerlerdeki Amberlyst A21 miktarında yüzde giderim değerlerinin azalması ise yüksek adsorbent derişiminin etkin adsorpsiyon alanını azaltması ile ilişkilendirilebilir [20]. Bu durumun nedeni ise yüksek adsorbent derişimlerinde adsorpsiyon birimlerinin üst üste örtüşmesi ve aktif bağlayıcı birimlerin azalması olarak açıklanabilir [21].



Şekil 2. EB boyasının yüzde giderimi üzerine Amberlyst A21 miktarının etkisi (Effect of Amberlyst A21 dosage on percent removal of EB dye)

3.3. Başlangıç Boya Derişiminin Etkisi (Effect of Initial Dye Concentration)

Çözelti içerisinde bulunan boya derişimi adsorpsiyon olayını önemli derecede etkiler. EB boyasının giderimi üzerine başlangıç boya derişiminin etkisini incelemek amacıyla Amberlyst A21 kullanılarak pH 2'de 80, 100, 200, 400 ve 800 mg/L'lik başlangıç EB derişimleri çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. Farklı EB başlangıç derişimlerinde % giderim değerlerinin zamanla değişimi (pH: 2) (Change of percent removal values with contact time at different EB initial dye concentration)

Yapılan çalışmalar sonunda başlangıç boya derişimindeki artışın Amberlyst A21 yüzeyinde adsorpsiyon kapasitesinin artmasına neden olduğu ve başlangıç boya derişiminin 80 mg/L'den 800 mg/L'ye yükselmesiyle dengedeki adsorpsiyon kapasitesinin de 75,62 mg/g'dan 519,76 mg/g'a yükseldiği, yüzde giderim değerlerinin ise % 94,53'den % 64,97'e kadar azaldığı hesaplanmıştır. Sulu ve katı fazlar arasında boyanın kütle transfer direncinin yenilebilmesi

için başlangıç boya derişimi önemli bir rol oynar. Dolayısıyla daha yüksek başlangıç derişiminin boya ve adsorbent arasındaki etkileşimi artırarak adsorpsiyon prosesini arttıracığı söylenebilir [11, 12]. Bu durum adsorpsiyon işleminde başlangıç boya derişiminin önemini göstermektedir. Benzer sonuçlar Wang ve arkadaşları tarafından Rhodamine B boyasının giderimi üzerine yapılan bir çalışmada elde edilmiş ve başlangıç boya derişiminin 5 mg/L'den 100 mg/L'ye çıkması ile denge adsorpsiyon kapasitesi 58,90 mg/g'dan 192,80 mg/g'a yükselmiştir [22].

3.4. Adsorpsiyon İzoterm ve Kinetikleri (Adsorption Isotherm and Kinetics)

Bir adsorbentin etkinliği; bir adsorbat partikülünü adsorplayabilme kapasitesine bağlıdır. Bu yüzden adsorbat-adsorbent arasındaki etkileşimi anlayabilmek için farklı izoterm modellerinden elde edilen deneysel verilerin analizi önemlidir [23]. Adsorpsiyon etkinliği sabit bir sıcaklıkta deneysel olarak belirlenir ve elde edilen sonuçlar izoterm hesaplamalarında kullanılır. Adsorpsiyon verileri izoterm modelleri olarak adlandırılan deneysel eşitlikler ile tanımlanır. Adsorpsiyon sürecini tanımlamak için farklı parametreleri içeren çok sayıda izoterm modeli vardır [24]. Adsorpsiyon ve EB arasındaki ilişkiyi anlamak için Freundlich, Langmuir ve Temkin izoterm modelleri olmak üzere üç tipik izoterm modeli kullanılmıştır. Freundlich denklemi heterojen yüzeylerde çok tabakalı adsorpsiyon sistemlerini iyi bir şekilde açıklarken, Langmuir modeli tek tabakalı homojen yüzeylerde ideal adsorpsiyonu açıklar [25, 26].

İzoterm hesaplamaları için 80, 100, 200 ve 400 mg/L EB başlangıç derişimlerine sahip pH'ı 2 olan çözeltilerde gerçekleştirilen adsorpsiyon çalışmaları sonucunda hesaplanan veriler kullanılmıştır. İlk olarak Langmuir izotermi araştırılmış ve 24 saatlik dengeye gelme sürelerine ait C_e değerlerine karşı C_e/q_e değerleri aşağıda verilen eşitliğe göre grafiğe geçirilmiştir (Eşitlik 3).

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

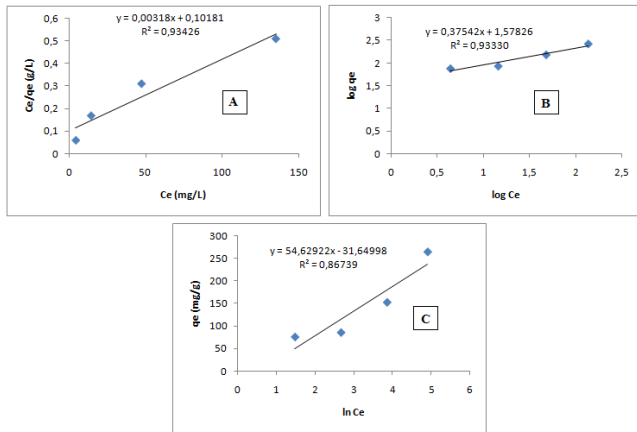
İkinci olarak EB boyasının Amberlyst A21 ile adsorpsiyonu için Freundlich izoterm modeli araştırılmıştır. Freundlich izoterm modeli genellikle aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:

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

Bu eşitlikte q_e adsorbentın gram başına adsorpladığı EB miktarını (mg/g) ve K_F ise Freundlich adsorpsiyon katsayısını temsil eder. Bu formüle göre $\log C_e$ değerlerine karşı $\log q_e$ değerleri grafiğe geçirilerek eğimden K_F değeri kesim noktasından ise n değeri hesaplanmıştır. Temkin izoterm modeli için Eşitlik (5)'de verilen formül kullanılmış ve $\ln C_e$ 'ye karşı q_e grafiği çizilmiştir.

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

Tüm bu izoterm çalışmalarından elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiş olup, Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm grafikleri ise sırasıyla Şekil 4'de sunulmaktadır.



Şekil 4. Amberlyst A21 yüzeyine EB adsorpsiyonu için Langmuir (A), Freundlich (B) ve Temkin (C) adsorpsiyon izotermi (Langmuir (A), Freundlich (B) and Temkin (C) adsorption isotherms for EB adsorption on Amberlyst A21)

Amberlyst A21 ile EB boyasının Freundlich, Langmuir ve Temkin modellerine göre elde edilen izoterm grafiklerine ait korelasyon katsayıları incelendiğinde Langmuir izoterm eşitliğine ait olan korelasyon katsayısı oldukça yüksek (0,934) ve 1,0'e yakın bulunmuştur. Dolayısı ile Amberlyst A21 yüzeyine EB boyasının adsorpsiyonu Langmuir izotermine uymaktadır.

Tablo 2. Amberlyst A21 ile EB boyasının adsorpsiyonu için Freundlich, Langmuir ve Temkin izoterm parametreleri (Freundlich, Langmuir and Temkin isotherm parameters for adsorption of EB dye on Amberlyst A21)

Langmuir İzoterm Eşitliği	R ²	K _L	q _m
y = 0,00318 x + 0,10181	0,934	0,031	314,47
Freundlich İzoterm Eşitliği	R ²	K _F	n
y = 0,37542 x + 1,57826	0,933	37,87	2,66
Temkin İzoterm Eşitliği	R ²	B	A _T
y = 54,62922x - 31,64998	0,867	54,63	0,56

Langmuir izoterm sabitinden yararlanılarak adsorpsiyon sürecinin elverişliliğini açıklayan boyutsuz ayırma faktörü R_L değeri aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır.

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (6)$$

Eşitlikte yer alan R_L değeri boyutsuz ayırma faktörü sabitini, K_L sabiti Langmuir izoterm sabitini (L/mg) ve C_0 ise başlangıç boya derişimini (mg/L) ifade etmektedir. Bu eşitlik yardımı ile hesaplanan R_L değerine göre izoterm tipi sınıflandırılabilir; $R_L > 1$ elverişli olmayan, $R_L = 1$ lineer izoterm, $0 < R_L < 1$ elverişli izoterm, $R_L = 0$ tersinmez izoterm [27, 28]. Amberlyst A21 kullanılarak EB giderimi için 80, 100, 200 ve 400 mg/L'lik başlangıç EB derişimleri için R_L değerleri sırası ile 0,287; 0,244; 0,139 ve 0,075 olarak hesaplanmıştır. EB başlangıç derişimi arttıkça hesaplanan R_L değerleri azalmaktadır. Tüm derişimler için hesaplanan R_L değerlerinin 0 ile 1 arasında değişmesi elverişlilik durumunun sağlandığını ve EB boyasının giderimi için Amberlyst A21'in uygun bir adsorbent olduğunu göstermektedir.

Wawrzkievicz ve Hubicki tarafından Remazol Black B giderimi üzerine yapılan çalışma sonucu adsorpsiyon izotermelerinin Langmuir modeline uyduğu belirtilmiştir. Bu modele göre q_m değerleri Amberlite IRA 67 için 66,4; Amberlyst A23 için 281,2 ve Lewatit MonoPlus MP 62 için 796,1 mg/g olarak hesaplanmıştır [19]. Benzer sonuçlar Amberlyst A21 kullanılarak sulu çözeltilerden sülfat giderimi [29] ve reaktif boyaların Amberlite IRA-900 kullanılarak sulu çözeltilerden giderimi [30] için yapılan çalışmalardan da görülmektedir.

Adsorpsiyon kinetikleri dengeye gelme süresini ve sürecin verimini kontrol etmesinden dolayı önemlidir. Ayrıca adsorbent yüzeyine boyanın alım hızını tanımlamaktadır [31]. Kesikli kinetik modeller deneysel şartlar ve adsorbent özelliklerindeki değişikliklerin adsorpsiyon sistemini nasıl etkilediğini açıklanması bakımından önemlidir. Kinetik modellerin sonuçları adsorbentın parçacık boyutundan, başlangıç kirlilik derişiminden, adsorbentın maksimum alım kapasitesinden ve kütle transfer katsayısından etkilenir. Bu nedenle, kinetik çalışmalar; boya alım hızı ve hız belirleyici basamak üzerine (dış kütle transferi ve parçacık içi kütle transferi gibi) ayrıntılı bilgiler verir.

Adsorpsiyon mekanizmasının incelenmesi, adsorpsiyon hızının belirlenmesi ve EB adsorpsiyonu için Amberlyst A21 adsorbentının maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin hesaplanması amacıyla adsorpsiyon kinetikleri araştırılmıştır. Bu çalışmada çok iyi bilinen iki kinetik modelleme olan yalancı (Pseudo) birinci dereceden (Eşitlik 7) ve yalancı ikinci dereceden

kinetik modelleri (Eşitlik 8) aşağıda verilen eşitliklere göre analiz edilmiş ve kullanılmıştır.

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2,303} t \quad (7)$$

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

Eşitlik 7 ve 8'de q_t (mg/g) ve q_e (mg/g) sırası ile t temas süresindeki ve denge anındaki adsorpsiyon kapasitesini temsil eder. k_1 ve k_2 ise birinci ve ikinci dereceden hız sabitleridir. Eşitlik 7'ye göre t değerlerine karşı $\log(q_e - q_t)$ değerleri grafiğe geçirildiğinde elde edilen eşitliğin eğim değerinden k_1 hız sabiti ve kesim noktasından teorik q_e değeri hesaplanır. Eşitlik 8'e göre t değerlerine karşı t/q_t grafiğe geçirildiğinde eğim değerinden teorik q_e ve kesim noktasından k_2 hız

sabiti hesaplanabilir. Bu çalışma sonucunda elde edilen kinetik veriler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3 incelendiğinde 80 ve 200 mg/L'lik EB başlangıç derişimleri için yalancı birinci dereceden ve yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon kinetiklerine ait korelasyon katsayılarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, yalancı ikinci dereceden kinetik model için hesaplanan q_e değerleri ile deneysel olarak elde edilen q_e değerlerinin oldukça farklı olduğu görülmektedir; 200 ppm için deneysel q_e değeri 152,62 mg/g iken hesaplanan teorik q_e değeri 177,62 mg/g'dır. Dolayısı ile Amberlyst A21 yüzeyinde EB boyasının adsorpsiyonunun yalancı birinci dereceden kinetik modele uygun olduğu söylenebilir.

Tablo 3. Amberlyst A21 yüzeyinde EB adsorpsiyonuna ait yalancı birinci ve ikinci dereceden kinetik parametreleri (Pseudo first order and second order kinetic parameters for EB adsorption on Amberlyst A21)

C ₀ (mg/L)	q _e deneysel (mg/g)	Yalancı birinci dereceden			Yalancı ikinci dereceden		
		q _e teorik (mg/g)	k ₁	R ²	q _e teorik (mg/g)	k ₂	R ²
80	75,62	73,56	4,01x10 ⁻³	0,996	86,73	6,03x10 ⁻⁵	0,995
200	152,62	149,71	3,94x10 ⁻³	0,996	177,62	2,69x10 ⁻⁵	0,996

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, Amberlyst A21; everzol black boyasının sulu çözeltiden adsorpsiyon yöntemi ile uzaklaştırılması için adsorbent olarak kullanılmış ve en iyi boya gideriminin pH 2'de, 24 saatlik temas süresi sonunda, 1 g/L'lik adsorbent varlığında %94,53 olarak gerçekleştiği görülmüştür. Yapılan çalışma Amberlyst A21'in atık sulardan boyaların gideriminde kullanılabilecek yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip bir adsorbent olduğunu göstermektedir. Ayrıca çalışma sonuçları pilot ölçekli çalışmaların başarılı bir şekilde yapılması açısından ön deneme niteliği taşımaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir. (Proje No: 2016-01,BŞEÜ.04-03, 2016)

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] H. Altaher, "Preliminary Study of the Effect of Using Biosorbents on the Pollution of the Treated Water," *Global Nest Journal*, vol. 16, no. 4, pp. 707-716, 2014.
- [2] S. Chakrabarti and B. K. Dutta, "Photocatalytic degradation of model textile dyes in wastewater using ZnO as semiconductor catalyst," *Journal of Hazardous Materials B*, vol. 112, no. 3, pp. 269-278, 2004.
- [3] L. L. He, X. P. Liu, Y. X. Wang, Z. X. Wang, Y. J. Yang, Y. P. Gao, B. Liu and X. Wang, "Sonochemical degradation of methyl orange in the presence of Bi₂WO₆: Effect of operating parameters and the generated reactive oxygen species," *Ultrasonic Sonochemistry*, vol. 33, pp. 90-98, 2016.
- [4] C. R. Holkar, A. J. Jadhav, D. V. Pinhari, N. M. Mahamuni and A. B. Pandit, "A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches," *Journal of*

- Environmental Management*, vol. 182, pp. 351-366, 2016.
- [5] A. Paz, J. Carbollo, M. J. Perez and J. M. Dominguez, "Biological treatment of model dyes and textile wastewaters," *Chemosphere*, vol. 181, pp. 168-177, 2017.
- [6] Y. Wei, Q. Ji, L. Chen, J. Hao, C. Yao and X. Dong, "Preparation of an inorganic coagulant-polysilicate-magnesium for dyeing wastewater treatment: Effect of acid medium on the characterization and coagulant performance," *Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 72, pp. 142-148, 2017.
- [7] R. Y. Lin, B. S. Chen, G. L. Chen, J. Y. Wu, H. C. Chiu and S. Y. Suen, "Preparation of porous PMMA/Na⁺-montmorillonite cation-exchange membranes for cationic dye adsorption," *Journal of Membrane Science*, vol. 326, no. 1, pp. 117-129, 2009.
- [8] J. H. Huang, C. F. Zhou, G. M. Zeng, X. Li, H. J. Huang, J. Niu, F. Li, L. J. Shi and S. B. He, "Studies on the solubilization of aqueous methylene blue in surfactant using MEUF," *Separation and Purification Technology*, vol. 98, pp. 497-502, 2012.
- [9] I. Elaissaoui, H. Akrouit and L. Bousselmi, "Electrochemical degradation of dye on lead dioxide electrodeposited on stainless steel: effect of cyclic voltammetry parameters," *Desalination and Water Treatment*, vol. 57, no. 46, pp. 22120-22132, 2016.
- [10] N. Nikoee and E. Saljoughi, "Preparation and characterization of novel PVDF nanofiltration membranes with hydrophilic property for filtration of dye aqueous solution," *Applied Surface Science*, vol. 413, pp. 41-49, 2017.
- [11] M. Sharma, S. Hazra and S. Basu, "Kinetic and isotherm studies on adsorption of toxic pollutants using porous ZnO@SiO₂ monolith," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 504, pp. 669-679, 2017.
- [12] 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, 2017.
- [13] U. D. Gül and H. Silah, "Comparison of color removal from reactive dye contaminated water by systems containing fungal biosorbent, active carbon and their mixture," *Water Science & Technology*, vol. 70, no. 7, pp. 1168-1174, 2014.
- [14] J. Yang, M. Zhang, Y. Zhang, L. Ding, J. Zheng and J. Xu, "Facile synthesis of magnetic magnesium silicate hollow nanotubes with high capacity for removal of methylene blue," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 721, pp. 772-778, 2017.
- [15] M. Hasan, A. L. Ahmad and B. H. Hameed, "Adsorption of reactive dye onto cross-linked chitosan/oil palm ash composite beads," *Chemical Engineering Journal*, vol. 136, pp. 164-172, 2008.
- [16] M. D. Victor-Ortega, J. M. Ochando-Pulido and A. Martinez-Ferez, "Phenols removal from industrial effluents through novel polymeric resins: Kinetics and equilibrium studies," *Separation and Purification Technology*, vol. 160, pp. 136-144, 2016.
- [17] S. K. Sarı and D. Özmen, "Desing of optimum response surface experiments for the adsorption of acetic, butyric, and oxalic acids on Amberlyst A21," *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2017. doi.org/10.1080/01932691.2017.1316208.
- [18] K. F. Hassan, "Rapid separation of radiogallium from Zn and Cu targets using anion exchange technique," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 289, no. 3, pp. 801-804, 2011.
- [19] M. Wawrzkiwicz and Z. Hubicki, "Remazol Black B removal from aqueous solutions and wastewater using weakly basic anion exchange resins," *Central European Journal of Chemistry*, vol. 9, no. 5, pp. 867-876, 2011.
- [20] B. Kumar, K. Smita, E. Sanchez, C. Stael and L. Cumbal, "Andean *Sachainchi* (*Plukenetia volubilis* L.) shell biomass as new biosorbents for Pb²⁺ and Cu²⁺ ions," *Ecological Engineering*, vol. 93, pp. 152-158, 2016.
- [21] T. A. H. Nguyen, H. H. Ngo, W. S. Guo, J. Zhang, S. Liang, Q. Y. Yue, Q. Li and T. V. Nguyen, "Applicability of agricultural waste and by-products for adsorptive removal of heavy metals from waste water,"

- Bioresource Technology*, vol. 148, pp. 574-585, 2013.
- [22] S. Wang, B. Yang and Y. Liu, "Synthesis of a hierarchical SnS₂ nanostructure for efficient adsorption of Rhodamine B dye," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 507, pp. 225-233, 2017.
- [23] M. Bagchi and L. Ray, "Adsorption behavior of reactive blue 4, a triazine dye on drycells of *Rhizopus oryzae* in a batch system," *Chemical Speciation & Bioavailability*, vol. 27, no. 3, pp. 112-120, 2015.
- [24] M. V. Subbaiah and D. S. Kim, "Adsorption of methyl orange from aqueous solution by aminated pumpkin seed powder: Kinetics, isotherms, and thermodynamic studies," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 128, pp. 109-117, 2016.
- [25] H. M. F. Freundlich, "Over the adsorption in solution," *The Journal of Physical Chemistry*, vol. 57, pp. 385-471, 1906.
- [26] I. Langmuir, "The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum," *Journal of American Chemical Society*, vol. 40, no. 9, pp. 1361-1403, 1918.
- [27] Z. Zhang, D. Shi, H. Ding, H. Zheng and H. Chen, "Biosorption characteristics of 1,8-dihydroxy anthraquinone onto *Aspergillus oryzae* CGMCC5992 biomass," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 12, no. 10, pp. 3351-3362, 2015.
- [28] R. Jain, V. K. Gupta and S. Sikarwar, "Adsorption and desorption studies on hazardous dye Naphthol Yellow S," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 182, no. 1-3, pp. 749-756, 2010.
- [29] D. Guimarães and V. A. Leão, "Batch and fixed-bed assessment of sulphate removal by the weak base ion exchange resin Amberlyst A21," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 280, pp. 209-215, 2014.
- [30] M. Greluk and Z. Hubicki, "Evaluation of polystyrene anion exchange resin for removal of reactive dyes from aqueous solutions," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 91, no.7, pp. 1343-1351, 2013.
- [31] H. Yu, T. Wang, W. Dai, X. Li, X. Hu and N. Ma, "Single and Bicomponent Anionic Dyes Adsorption Equilibrium Studies on Magnolia-Leaf-Based Porous Carbons," *Royal Society of Chemistry*, vol. 79, no. 5, pp. 63970-63977, 2015.