

Alizarin Red Boyar Maddesinin Dietilaminodekstran/Epiklorohidrin (DEAE-D/ECH) Kriyojeli ile Sulu Çözeltiden Gideriminin Araştırılması

Celile Demirbilek Bucak^{1*}, Cemile Özdemir Dinç²

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Teknoloji ve Araştırma Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi Hatay, Türkiye

² Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Hatay, Türkiye

*c.demirbilekbucak@mku.edu.tr^{ID}, cozdemir@mku.edu.tr^{ID}

Makale gönderme tarihi: 22.02.2021, Makale kabul tarihi: 10.07.2021

Öz

Bu çalışmada, polimerik adsorban dietilamino etil dekstran/epiklorohidrinin (DEAE-D/ECH) kriyojelinin sudan boyar madde adsorplama yeteneği araştırılmıştır. Dietilamino etil dekstran/epiklorohidrinin kriyojeli ile suda çözünen Alizarin Red boyar maddesinin etkileşim mekanizması açıklanmıştır. Adsorpsiyondan önce ve sonra yapılan FTIR analizleri ve yüzey morfolojik analizler ile adsorpsiyonun mekanizması belirlenmiştir. Dietilamino etil dekstran/epiklorohidrinin kriyojelinin saf suda (% 2630) ve Alizarin Red boyası çözeltisinde (%1678) yüksek şişme oranına sahip olduğu görülmüştür. Adsorpsiyona başlangıç boya derişiminin etkisi ve Langmuir ve Freundlich izotermine uygunluğu araştırılmıştır. Sonuç olarak Alizarin Red boyasının dietilamino etil dekstran/epiklorohidrinin kriyojeline adsorpsiyonunun Langmuir izotermine göre uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Adsorpsiyon, Alizarin Red, kriyojel

Investigation of the removal of Alizarin Red dye from aqueous solution with Diethylaminodextran / Epichlorohydrin (DEAE-D / ECH) cryogel

Abstract

This study describes the dyestuff removal ability of diethylaminoethyl-dextran-epichlorohydrin cryogel polymeric adsorbents. The interaction between diethylaminoethyl-dextran-epichlorohydrin cryogel and a water-soluble dyestuff, Alizarin Red, was investigated. The mechanism of adsorption is explained with fourier transform infrared analyzes and surface morphological analyzes performed before and after adsorption. Diethylaminoethyl-dextran-epichlorohydrin cryogel was found to have a high swelling rate in pure water (2630%) and Alizarin Red dye solution (1678%). The effect of initial dye concentration on adsorption and its suitability to the Langmuir and Freundlich isotherms were investigated. As a result, it was determined that the adsorption of Alizarin Red dye to diethylaminoethyl-dextran-epichlorohydrin cryogel was appropriate according to the Langmuir isotherm.

Keywords: Adsorption, Alizarin Red, cryogel

GİRİŞ

Tekstil, deri, kağıt, plastik vb. endüstrilerin atık sularında çeşitli türlerde sentetik boyarmaddeler ortaya çıkmaktadır (Lin ve ark., 2021). Boyalar genel olarak karmaşık aromatik yapıda olan oldukça stabil ve biyolojik olarak bozunmaları zor olan moleküllerdir (Sarkar ve ark., 2017). Sonuç olarak boyar madde kaynaklı atık sular oluşmaktadır. Boyaların su ortamından uzaklaştırılması çoğunun toksik olması, kanserojenik etki göstermesi, alerjiye ve cilt tahrişine neden olması nedeniyle oldukça önemlidir (Svedman ve ark., 2019).

Son yıllarda boyar maddelerin atık sulardan giderilmesi için birçok yeni yöntem geliştirilmiştir. Biyolojik filtre (Qian ve ark., 2021); ultrafiltrasyon (Hu ve ark., 2021); membran ile ayırma (Liu ve ark., 2021) bu yöntemlerin bazılarıdır. Bu yöntemlerin çoğunun mühendislik ve ekonomik açıdan gerçek sistemlerde uygulanamıyor oluşu dezavantaj sağlamaktadır (Salem ve ark., 2020). Bunun aksine adsorpsiyon, uygulanabilir oluşu, basit ve ucuz olması nedeniyle sulardan boyar maddeleri gidermek için çok etkili bir yöntem olarak bilinir. Sulardan boyar madde, metal iyonları veya organik molekülleri

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.884865

ayırarak için çeşitli adsorban malzemeler kullanılmaktadır. Perlit (Tanaydın ve ark., 2020); hidrojel (Mittal ve ark., 2021); aktif karbon (Wang ve ark., 2020); hibrit kompozit (Vo ve ark., 2021); kitosan kompozit film (Hussain ve ark., 2021) bu malzemelerden bazılarıdır. Günümüzde yüksek adsorpsiyon kapasitesi, hızlı adsorpsiyon oranı ve mekanik mukavemet gibi üstün özelliklere sahip yeni adsorbanların geliştirilmesi, atık su arıtımı için oldukça önemlidir. Hidrojellerin yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olmaları, sulardaki boyar maddelerin uzaklaştırılmasında tercih edilmelerini sağlamıştır.

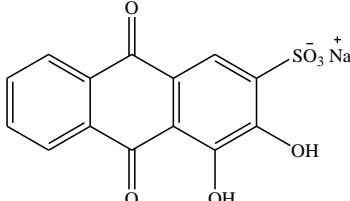
Hidrojeller, yüksek sıcaklıkta ya da oda sıcaklığında hazırlanan gözenekli çapraz bağlı polimerik yapılardır. Kriyojeller ise çoğunlukla hazırlanan çözücünün donma noktasının altında (0°C ile -20°C aralığında) hazırlanan çapraz bağlı polimerlerdir. Elastik, süngerimsi, gevşek ve makrogözenekli olan kriyojellerin sentezi, başlatıcı ve monomerleri içeren kısmen donmuş faz içinde gerçekleşir. Burada çözücü, porojen ve dispersiyon

ajanı olarak davranmaktadır (Jian ve ark., 2015). Kriyojeller biyoteknolojiden su arıtma teknolojilerine kadar geniş bir uygulama alanına sahiptirler (González ve ark., 2021; Fariás ve ark., 2020; Shiekh ve ark., 2020).

Bir antrakinon boyası olan Alizarin Red (AR); suda iyi çözünen, antrasen türevi olan bir boyar maddedir (Liu ve ark., 2015). Tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çözünmüş yapıdaki AR boyasının aromatik yapısı nedeniyle bozunmaya karşı dirençli olması su ekosistemi ve canlı sağlığı için tehlikeli olmaktadır. Bu nedenle AR in sudan ayrılması çok önemlidir. Bugünlerde AR sulardan giderimi için adsorpsiyon (Fayazi ve ark., 2015); başta olmak üzere, fotokatalitik bozunma (Jabeen ve ark., 2017); elektrokimyasal bozunma (Zhu ve ark., 2018) gibi birçok yöntem geliştirilmiştir.

Bu çalışmada dietilamino etil dekstran/epiklorohidrinin (DEAE-D/ECH) kriyojeli sentezlenerek FTIR ve SEM analizleri ile karakterize edilmiştir. Ayrıca suda şişme yeteneği belirlenmiştir. Sulu çözeltiden AR boyar maddesinin

Tablo 1 Alizarin Red boyar maddesinin bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri

Adı	Kimyasal formülü	Molekül ağırlığı	Renk indeks no	λ_{max} (nm)
Alizarin Red		342,25	58005	429

adsorpsiyonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca denge adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich izotermlerine uygunluğu hesaplanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

DEAE-D/ECH kriyojelinin Sentezi

Çapraz bağlı DEAE-D/ECH kriyojelinin sentezlenmesi için 3,94 g DEAE-Dx 15 mL 2,8 M NaOH çözeltisinde çözülerek son hacim 25 mL'ye tamamlanmıştır. Bu çözeltiye 1 mL başlatıcı sistem çözeltisi (0,3 g APS/10 mL su +0,02 g sodyum tiyosülfat/10 mL su) eklenmiştir. 15 dk boyunca buz banyosunda karıştırılıp üzerine 1 mL ECH ve 0,3 mL TEMED eklenmiştir. Berrak halde elde edilen çözelti şırıngaya çekilerek 24 saat -20 °C'de bekletilmiştir.

Elde edilen kriyojel oda sıcaklığında 12 saat bekletilip şırıngadan ayrılmış ve birkaç kere (1:1) metanol-su (v/v) karışımı ile yıkanmıştır. Son adımda 70 °C'de etüvde kurutularak karakterizasyon ve adsorpsiyon çalışmaları için +4 °C'de saklanmıştır.

Bu çalışmada başlangıç polimeri DEAE-D klorür [Mw: 500.000 g / mol] Sigma firmasından temin edilmiştir. Hızlandırıcı olarak N,N,N',N'-tetrametilenetildiamin (TEMED); çapraz bağlayıcı olarak epiklorohidrin (ECH) ve başlatıcı sistem olarak amonyum peroksidisülfat (APS) ve sodyum tiyosülfat Merck firmasından temin edilmiştir. Çapraz bağlanma reaksiyonunun alkali ortamda gerçekleşmesi için kullanılan NaOH, Merck firmasından temin edilmiştir. Satın alınan bütün

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.884865

kimyasallar saflaştırma tekniğine tabi tutulmadan kullanılmışlardır.

Çalışmada, model boyar madde olarak Tablo 1'de kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri tanımlanan Alizarin Red S (AR) (3,4-Dihidroksi-9,10-diokso-9,10-dihidroanthrasen-2-sülfonik asit) kullanılmıştır.

Kriyojelin Şişme Denemeleri

Şişme dinamik 25 ° C' de yaklaşık 0,1 g kriyojel kullanılarak AR çözeltisi ve saf suda gerçekleştirilmiştir. Şişme çözeltilerine konulan kriyojel düzenli zaman aralıklarında alınmıştır. Kriyojelin nemli yüzeyi filtre kâğıdı ile silindikten sonra, ağırlığı kaydedilmiştir. Denge şişme değerleri Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S = \frac{(w_t - w_o)}{w_o} * 100 \text{ (Eşitlik 1)}$$

Burada; w_o , hidrojel kuru ağırlığı (başlangıç ağırlığı) ve w_t , belirli bir zamanda (t) şişmiş jelin ağırlığıdır.

DEAE-D/ECH kriyojelinin karakterizasyonu

AR boyasının DEAE-D/ECH kriyojeline adsorplanma mekanizmasını açıklamak için adsorpsiyondan önce ve adsorpsiyondan sonra kriyojel numunelerinin FTIR spektrumları 400-4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında ATR tekniği kullanılarak alınmıştır (SHIMADZU IRAffinity1S). Ayrıca kriyojelin ve AR adsorplanmış kriyojelin morfolojik özellikleri SEM cihazı (JSM 5500, JEOL) ile belirlenmiştir.

Adsorpsiyon çalışmaları

Adsorpsiyon çalışmaları için 1000 mg/L'lik stok AR boya çözeltisi hazırlanmıştır.

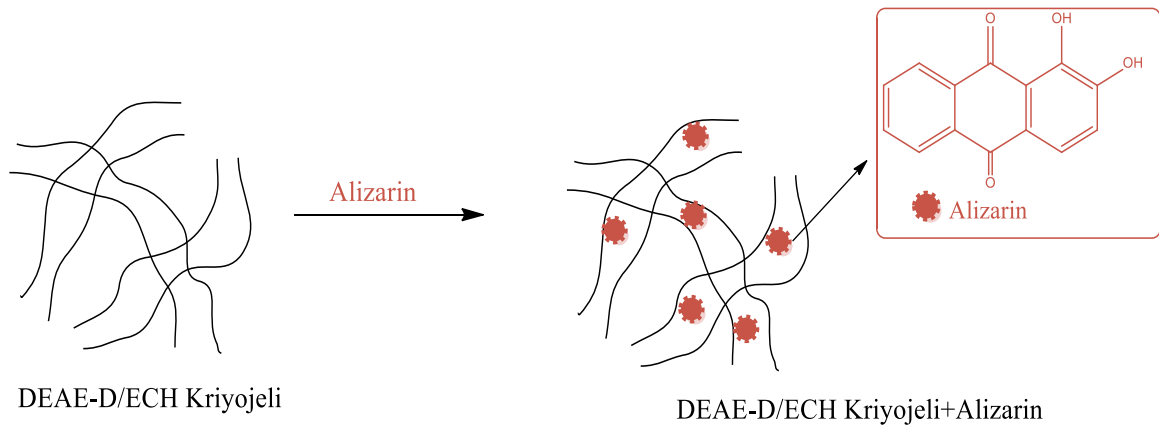
DEAE-D/ECH kriyojeline model boya AR adsorplanması deneyleri magnetik karıştırıcı kullanılarak 100 mL'lik ağzı kapalı balonlarda gerçekleştirilmiştir. Denge adsorpsiyon deneyleri, 50 mL'lik farklı derişimlerdeki (25-250 mg/L) AR çözeltilerine 0,1 g kriyojel eklenmesi ile oda sıcaklığında 24 saatte tamamlanmıştır. İşlem sonunda kriyojel çözeltilerden ayrılmış ve kalan çözeltiler süzümüştür (Şekil 1). Süzüntünün absorpsiyon değerleri UV-Vis (Hitachi U-1900) cihazı ile 429 nm dalga boyunda ölçümüştür. Numunelerdeki boya miktarları, çeşitli konsantrasyonlarda boya için çizilen kalibrasyon eğrisinden elde edilen $y = 0,0046x - 0,099$ ($R^2 = 0,9982$) doğrusal regresyon denklemi kullanılarak belirlenmiştir. Çözeltilerden ayrılan AR miktarı ve adsorpsiyon kapasitesi (q_e , mg boya /g kriyojel) Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Adsorplanan boya (\%)} = \frac{C_o - C_e}{C_o} * 100 \text{ (Eşitlik 2)}$$

Burada C_o ve C_t ve (mg/L) sırasıyla başlangıçta ve t süresi sonunda çözeltilerdeki boya derişimleridir.

$$\text{Adsorplama kapasitesi } (q_e) = \frac{C_o - C_e}{w} * V \text{ (Eşitlik 3)}$$

Burada V çözeltili hacmi (mL) ve w (g) alınan kriyojel miktarını ifade etmektedir.



Şekil 1. DEAE-D Kriyojeline Alizarin Red Adsorpsiyonu

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.884865

TARTIŞMA ve SONUÇ

Kriyojelin suda ve Alizarin Red S çözeltisinde şişme davranışı

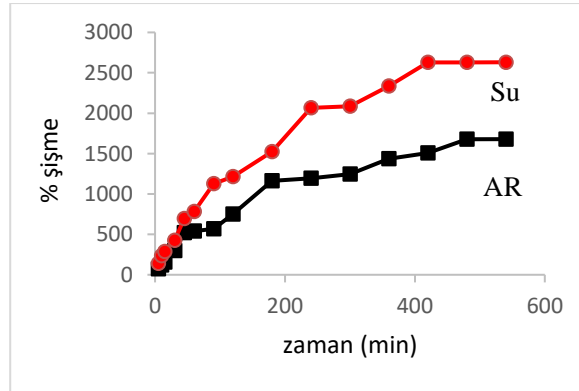
Kirletici türleri sulu ortamdan uzaklaştırmak için sentezlenen kriyojellerin şişme özellikleri çok önemlidir. Bu nedenle sentezlenen kriyojelin suda şişme davranışı incelenmiştir. Başlangıçta kuru olan kriyojelin su alıp şişme davranışı gravimetrik olarak takip edilmiştir. Suda yeterince şişip dengeye gelen kriyojelin şeklini koruyacak kadar güçlü olması dikkat çekicidir. Bazı araştırmacılar, kriyojellerin suda şişme özelliklerinin boya adsorpsiyon özellikleriyle ilişkili olduğunu bildirmişlerdir (Önder ve ark., 2020; Hu ve ark., 2020).

Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan boya madde su ile kolayca hidrojen bağı oluşturabilecek yeteneğe sahip hidrofilik gruplar içermektedir. Sonuç olarak DEAE-D/ECH kriyojeli tarafından boya adsorpsiyonunun mekanizması temel olarak boya molekülleri ile kriyojel molekülleri arasındaki dipol-dipol etkileşimleri ve hidrojen bağı oluşumu gibi fiziksel etkileşimlerden kaynaklandığı söylenebilir (Şekil 2).

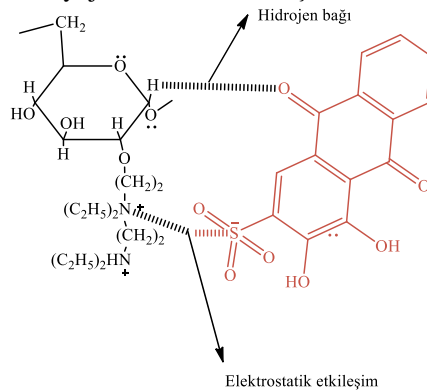
Kriyojelin su ve AR çözeltisinde dinamik şişme eğrileri Şekil 2 de verilmektedir. Şekil 3 de görüldüğü gibi kriyojelin şişme yeteği zamanla artarak, belirli bir süre sonra dengeye ulaşmıştır. AR çözeltisindeki şişme derecesi (%1678) sudaki denge şişme derecesinden (%2630) azdır. Bu azalmanın AR moleküllerinin jel sistemine girmesi ile oluşan iyonik etkileşimden kaynaklanmaktadır.

FTIR Sonuçları

Boya gibi çeşitli organik bileşiklerin hidrojel, kriyojel gibi çeşitli adsorbanlar üzerine adsorplanma mekanizmalarının belirlenmesinde FT-IR titreşim spektroskopisinden yararlanılmaktadır (González ve ark., 2021). Adsorpsiyon öncesi ve sonrası DEAE-D/ECH kriyojelinin FTIR spektrumlarından elde edilen pik şiddetleri ve bant konumlarındaki değişiklikler Tablo 2’de verilmektedir. Kriyojelin spektrumundan elde edilen verilere göre 3341 cm^{-1} ’de (O-H) gerilme titreşimi 1651 cm^{-1} (N-H) bağı ve 2949 m^{-1} CH_3 ’e ait (C-H) gerilmesi gözlemlenmiştir.



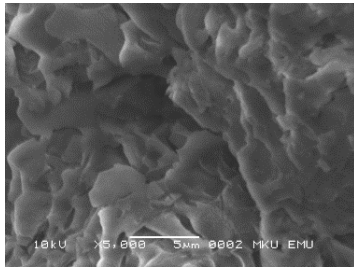
Şekil 2. DEAE-D/ECH kriyojelinin suda ve AR çözeltisinde dinamik şişme eğrileri



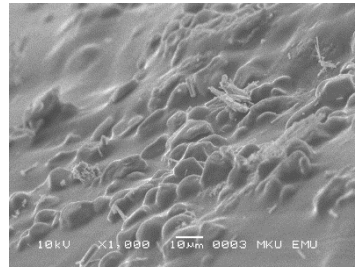
Şekil 3. DEAE-D/ECH kriyojeline AR boyar maddesinin adsorpsiyon mekanizması

Tablo 2. Adsorpsiyon öncesi ve sonrası DEAE-D/ECH kriyojelinin ayrıntılı FTIR spektrumları

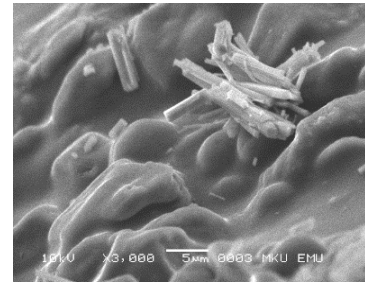
Dalga Sayısı, cm^{-1}		Fonksiyonel grup
DEAE-D/ECH	DEAE-D/ECH-AR	
3341	3364-3210	O-H, N-H gerilmesi
2924	2926	C-H gerilmesi
-	1728	C=O
1651	1666	N-H bükülmesi
-	1590	Aromatik halka C-C gerilmesi
1427	1470	C-C gerilmesi
-	1258	Antrasen iskeletine ait C=O iskeleti
-	1011	Sülfonat grubunun simetrik ve asimetric gerilmesi
640	640	C-Cl



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. DEAE-D/ECH kriyojelinin SEM görüntüleri (a) adsorpsiyondan önce (b-c) adsorpsiyondan sonra

(C-O-C) gerilme titreşim, 1103 cm^{-1} 'de C-Cl gerilmesi ise 640 cm^{-1} 'de gözlenmiştir. AR in yapıya adsorpsiyonu ile birlikte DEAE-D/ECH kriyojeline ait FTIR spektrumunda bazı değişiklikler gözlenmektedir. 1728 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen pik C=O gerilmesi, 1590 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen pik aromatik halka C-C gerilmesi, 1258 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen pik antrasen iskeletine ait C=O gerilmesi, 1011 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen pik ise sülfonat grubunun simetrik ve asimetric gerilmesi ile ilişkilidir (Legan ve ark., 2016). FTIR spektrumlarında meydana gelen bu değişimler yapıya giren AR boyasından kaynaklanmaktadır.

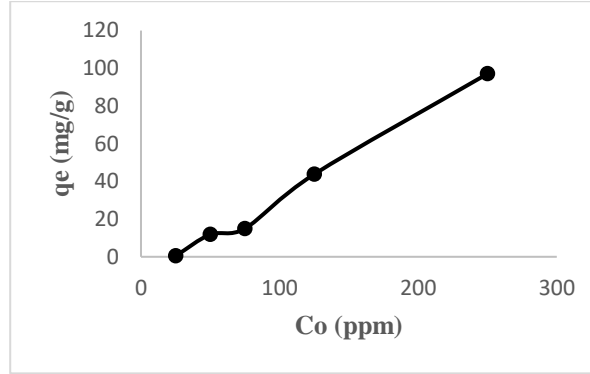
Morfolojik Özellikler

DEAE-D/ECH kriyojelinin ve AR adsorplamış kriyojelin SEM görüntüleri Şekil 4 de verildiği gibidir. Görüldüğü

gibi kriyojel gözenekli, çapraz bağlı matris şeklindedir. Bu görüntülerden kriyojelin boya adsorplamak için uygun yapıda olduğu söylenebilir. Boya adsorpladıktan sonra jelin yüzeyinde değişimler görülmektedir. AR yüklenmesi ile gözeneklerin boya madde ile yüklenmesinden dolayı jel yüzeyinin daha sert ve daha düzenli olduğu gözlenmektedir.

Adsorpsiyon çalışmalarına başlangıç boya derişiminin etkisi

Şekil 5, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de çapraz bağlı DEAE-D/ECH kriyojelinin AR boyası ile denge adsorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin etkisini göstermektedir. Başlangıç boya derişiminin artması kriyojelin üzerine boyanın adsorpsiyon kapasitesinde artışa yol açmaktadır. Başlangıç boya derişimi 25 mg/L 'den 250 mg/L 'ye çıktığında adsorplama kapasitesi $0,46 \text{ mg/g}$ 'dan $97,07 \text{ mg/g}$ 'a yükselmiştir. Adsorbentin adsorplama kapasitesindeki artışın, boya madde derişimi ile beraber



Şekil 5. Adsorpsiyon çalışmalarına başlangıç boya derişiminin etkisi

Adsorpsiyon izoterm çalışmaları

Tablo 3. Adsorpsiyon izotermi için hesaplanan parametreler

Langmuir				Freundlich		
K_L	q_m	R_L	R^2	K_f	n	R^2
86,63	201,69	0.00023	1	0,4231	0,93	0,998.

artmasının sebebi adsorbent madde ile boya arasındaki temas olasılığının artması ile açıklanmaktadır. Başlangıç AR derişimi ile ayrılan AR miktarının artması, daha derişik çözeltinin daha iyi adsorbe olması ile açıklanabilir.

Adsorpsiyon sistemlerinin oluşturulması için, adsorpsiyon izotermelerinin araştırılması çok önemli bir olgudur. Adsorpsiyon sürecinin dengeye ulaştığı anda sulu çözeltideki boya derişimi ve adsorplanan boya derişimi arasındaki ilişki, adsorpsiyon izotermi ile tanımlanmaktadır. AR boyar maddesinin DEAE-D/ECH kriyojeli yüzeyine adsorpsiyon olayının daha iyi açıklanabilmesi için Langmuir, Freundlich izoterm modelleri kullanılmıştır. Denge izoterm verilerini analiz etmek için Langmuir ve Freundlich izoterm modellerinin doğrusal olmayan formları kullanılmış ve bu modeller doğrusal olmayan belirleme katsayılarıyla değerlendirilmiştir.

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Burada, q_e dengede adsorbent üzerine adsorplanan AR derişimi

q_m Adsorbentın maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)

K_L Langmuir adsorpsiyon sabiti (L/mg)

C_e Çözeltide dengedeki AR derişimi,

K_F Freundlich sabiti

n heterojenlik faktörü

Eşitlik 4 Langmuir izoterm denklemini Eşitlik 5 Freundlich izoterm denklemini ifade etmektedir.

AR adsorpsiyonu için dengede adsorpsiyon izotermi Langmuir ve Freundlich modellerine ilişkin parametreleri R^2 regresyon katsayıları ile birlikte Tablo 3 de listelenmiştir. Langmuir ve Freundlich modellerinin korelasyon katsayıları R^2 sırasıyla 1 ve 0,9983 olarak görülmektedir. Bu nedenle AR in DEAE-D/ECH kriyojeline adsorpsiyonu için Langmuir adsorpsiyon izoterm yasasının geçerli olduğu söylenmektedir. Onder ve ark. (2020), Ar boyar maddesinin poly[(2-(akriloyloksi)etil)trimetilamonyum kloride-co-1-vinil-2-pirolidon] katyonik hidrojeline adsorpsiyonunun Freundlich izotermine uygun olduğunu belirtmişlerdir. Ek olarak, Langmuir adsorpsiyon izoterm modelinden elde edilen Langmuir parametresi R_L , adsorpsiyon işleminin uygunluğunu tahmin etmek için kullanılır (Eşitlik 6).

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

Burada, C_0 Çözeltide başlangıç derişimi (mg/L) ifade etmektedir.

İzoterm, R_L , değerine bağlı olarak ($R_L > 1$) ise adsorpsiyon uygun değildir. ($R_L = 1$) doğrusal ve ($1 > R_L, > 0$) ise uygundur. Son olarak ($R_L = 0$) ise adsorpsiyon tersinmez olarak kabul edilir. R_L değeri 0,00023 olarak hesaplandığına göre AR boyar maddesinin adsorpsiyonu için DEAE-D/ECH kriyojelinin kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.884865

SONUÇ

Bu çalışmada, organizmalar için zararlı olan Alizarin Red S (AR) boyar maddesinin sulu ortamdan uzaklaştırılması için DEAE-D/ECH kriyojel sistemi geliştirilmiştir. Kriyojel bazik ortamda APS ve TEMED başlatıcı sistemi kullanılarak dondurma yöntemiyle sentezlenmiştir. Ayrıca DEAE-D/ECH kriyojelinin boya adsorpsiyonunu etkileyen önemli parametre olan şişme deneyleri sonucunda, kriyojelin suda yüksek şişme oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Kriyojel ve boya adsorplamış kriyojelin yapısı FTIR ve SEM analizleri ile açıklanmıştır. Ayrıca adsorpsiyona başlangıç boya derişiminin etkisi incelenmiştir. Başlangıç boya derişiminin artması ile adsorplama kapasitesi 0,46 mg/g'dan 97,07 mg/g'a yükselmiştir. Ayrıca adsorpsiyonun doğasının aydınlatılabilmesi için izoterm çalışması yapılmıştır. Bunun için Langmuir, Freundlich izotermelerine uygunluğu araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre, adsorpsiyonun Langmuir izoterm modeline uygun olduğu rapor edilmiştir. Sonuç olarak sentezlenen DEAE-D/ECH kriyojelinin AR boyanın sulu çözeltilerden ayrılmasında etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma; 9980 nolu Araştırma Projesi olarak, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi tarafından finanse edilmiştir. Katkılarından dolayı HMKÜBAP ve MARGEM'e teşekkür ederiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Bu çalışmada herhangi bir şekilde çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulduğunu beyan ederim.

KAYNAKLAR

Fariás, T., Hajizadeh, S., & Ye, L. (2020). Cryogels with high cisplatin adsorption capacity: Towards removal of cytotoxic drugs from wastewater. *Separation and Purification Technology*, 235, 116203.

Fayazi, M., Ghanei-Motlagh, M., & Taher, M. A. (2015). The adsorption of basic dye (Alizarin red S) from aqueous solution onto activated carbon/ γ -Fe₂O₃ nano-composite: kinetic and equilibrium studies. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 40, 35-43.

García-González, A., Zavala-Arce, R. E., Avila-Pérez, P., Rangel-Vazquez, N. A., Salazar-Rábago, J. J.,

García-Rivas, J. L., & García-Gaitán, B. (2021). Experimental and theoretical study of dyes adsorption process on chitosan-based cryogel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 75-84.

Hu, X., Yan, L., Wang, Y., & Xu, M. (2020). Freeze-thaw as a route to build manageable polysaccharide cryogel for deep cleaning of crystal violet. *Chemical Engineering Journal*, 396, 125354.

Hu, Y., Yue, M., Yuan, F., Yang, L., Chen, C., & Sun, D. (2021). Bio-inspired fabrication of highly permeable and anti-fouling ultrafiltration membranes based on bacterial cellulose for efficient removal of soluble dyes and insoluble oils. *Journal of Membrane Science*, 621, 118982.

Hussain, S., Kamran, M., Khan, S. A., Shaheen, K., Shah, Z., Suo, H., ... & Ghani, U. (2021). Adsorption, kinetics and thermodynamics studies of methyl orange dye sequestration through chitosan composites films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 168, 383-394.

Jabeen, U., Shah, S. M., & Khan, S. U. (2017). Photo catalytic degradation of Alizarin red S using ZnS and cadmium doped ZnS nanoparticles under unfiltered sunlight. *Surfaces and Interfaces*, 6, 40-49.

Jian, W. A. N. G., Qin-Mei, W. A. N. G., Li-Li, T. I. A. N., Chen, Y. A. N. G., Su-Hua, Y. U., & Chun, Y. A. N. G. (2015). Research progress of the molecularly imprinted cryogel. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 43(11), 1777-1784.

Legan, L., Retko, K., & Ropret, P. (2016). Vibrational spectroscopic study on degradation of alizarin carmine. *Microchemical Journal*, 127, 36-45.

Lin, J., Su, T., Chen, J., Xue, T., Yang, S., Guo, P., ... & Li, J. (2021). Efficient adsorption removal of anionic dyes by an imidazolium-based mesoporous poly (ionic liquid) including the continuous column adsorption-desorption process. *Chemosphere*, 129640.

Liu, L., Yu, L., Borjigin, B., Liu, Q., Zhao, C., & Hou, D. (2021). Fabrication of thin-film composite nanofiltration membranes with improved performance using β -cyclodextrin as monomer for efficient separation of dye/salt mixtures. *Applied Surface Science*, 539, 148284.

Liu, S., Wei, M., Zheng, X., Xu, S., Xia, F., & Zhou, C. (2015). Alizarin red S functionalized mesoporous silica modified glassy carbon electrode for electrochemical determination of anthracene. *Electrochimica Acta*, 160, 108-113.

Mittal, H., Al Alili, A., Morajkar, P. P., & Alhassan, S. M. (2021). Graphene oxide crosslinked hydrogel nanocomposites of xanthan gum for the adsorption of crystal violet dye. *Journal of Molecular Liquids*, 323, 115034.

Onder, A., Ilgin, P., Ozay, H., & Ozay, O. (2020). Removal of dye from aqueous medium with pH-sensitive poly

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.884865

- [(2-(acryloyloxy) ethyl] trimethylammonium chloride-co-1-vinyl-2-pyrrolidone] cationic hydrogel. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104436.
- Qian, W., Huang, H., Diao, Z., Li, H., Liu, H., Ye, M., ... & Xu, Z. (2021). Advanced treatment of dye wastewater using a novel integrative Fenton-like/MnO₂-filled upward flow biological filter bed system equipped with modified ceramsite. *Environmental Research*, 194, 110641.
- Salem, S., Teimouri, Z., & Salem, A. (2020). Fabrication of magnetic activated carbon by carbothermal functionalization of agriculture waste via microwave-assisted technique for cationic dye adsorption. *Advanced Powder Technology*, 31(10), 4301-4309.
- Sarkar, S., Banerjee, A., Halder, U., Biswas, R., & Bandopadhyay, R. (2017). Degradation of synthetic azo dyes of textile industry: a sustainable approach using microbial enzymes. *Water Conservation Science and Engineering*, 2(4), 121-131.
- Svedman, C., Engfeldt, M., & Malinauskiene, L. (2019). Textile contact dermatitis: How fabrics can induce dermatitis. *Current Treatment Options in Allergy*, 6(1), 103-111.
- Tanaydın, Z. B., Tanaydın, M. K., Demirkıran, N., & Muharrem, İ. N. C. E. (2020). Bakır ve Kadmiyumun Perlit İle Adsorpsiyonu ve Adsorpsiyon Özelliklerinin Karşılaştırılması. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 6(2), 208-218.
- Vo, T. K., Trinh, T. P., Nguyen, V. C., & Kim, J. (2021). Facile synthesis of graphite oxide/MIL-101 (Cr) hybrid composites for enhanced adsorption performance towards industrial toxic dyes. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 95, 224-234.
- Wang, H., Li, Z., Yahyaoui, S., Hanafy, H., Seliem, M. K., Bonilla-Petriciolet, A., ... & Li, Q. (2020). Effective adsorption of dyes on an activated carbon prepared from carboxymethyl cellulose: Experiments, characterization and advanced modelling. *Chemical Engineering Journal*, 128116.
- Zhu, C., Jiang, C., Chen, S., Mei, R., Wang, X., Cao, J., ... & Zhou, K. (2018). Ultrasound enhanced electrochemical oxidation of Alizarin Red S on boron doped diamond (BDD) anode: Effect of degradation process parameters. *Chemosphere*, 209, 685-695.