

Yeni Potansiyel Biosorbentlerle Kongo Kırmızısının Biosorpsiyon Çalışmaları

Elif H. GÜRKAN^{1*}, Semra ÇORUH²

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, Samsun, Türkiye

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Samsun, Türkiye
(Geliş Tarihi/Received:14/11/2016 , Kabul Tarihi/Accepted:10/07/2017)

ÖZ

Adsorpsiyon prosesi atıksulardan asidik, bazik ve nötral boyaların gideriminde en etkili yöntemlerden birisidir. Tarımsal ve endüstriyel faaliyetler sonucu ortaya çıkan yan ürünler düşük maliyetli adsorbentler olarak bilinmektedir. Bu tür adsorbentler sulu çözeltilerden özellikle katyonik boyaların gideriminde doğal, ucuz ve etkin materyaller olarak bilinmektedir. Bu çalışmanın amacı pirina, fıstık kabuğu ve deniz kabuğu gibi doğal biosorbentler kullanarak sulu çözeltilerden kongo kırmızısı boyasının giderim verimliliğini araştırmaktır. Çalışmada kesikli şartlarda, karıştırma süresi ve başlangıç boya konsantrasyonu gibi değişen koşullarda optimum giderim verimleri değerlendirilmiştir. Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermleri incelenerek temel ampirik eşitliklerle adsorpsiyon katsayıları hesaplanmıştır. Adsorpsiyon kinetikleri için Pseudo-Second-Order, Partikül içi difüzyon ve Elovich modelleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar pirina, fıstık kabuğu ve deniz kabuğunun kongo kırmızısı gideriminde etkili biosorbentler olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Biosorpsiyon, Kongo kırmızısı, Pirina, Fıstık kabuğu, Deniz kabuğu, İzoterm, Kinetik

Biosorption Studies on Congo Red by Novel Biosorbents

ABSTRACT

The adsorption process is one of the most efficient methods of reactive, acidic and direct dyes in neutral solutions removing pollutants from wastewater. The by-products from the agricultural and industrial could be assumed to be low-cost adsorbents. They are abundant in nature, inexpensive, require little processing, effective materials and ability to remove cationic dye from aqueous solution. The aim of the present study is to investigate the removal of congo red dye ions from aqueous solutions using biosorbents such as pirina, sea food shell and almond shell. The optimum conditions for adsorption by using a batch method were evaluated by changing contact time and initial dye concentration. The Langmuir, Freundlich and Temkin adsorption isotherm equations were derived from the basic empirical equations, and used for calculation of adsorption parameters. The equilibrium data fit well the Langmuir, Freundlich and Temkin isotherm. Three simplified models including Pseudo-Second-Order, Interparticle Diffusion and Elovich were used to test the adsorption kinetics. These results indicate a significant potential for the pirina, sea food shell and almond shell as an biosorbent material for congo red dye removal.

Keywords: Biosorption, Congo red, Pirina, Almond shell, Sea food shell, Isotherm, Kinetics

1. Giriş

Çevreye ve insana duyarlı üretim, son yıllarda giderek önem kazanmaktadır. Bu süreçte üretim faaliyetlerindeki genişleme, doğal kaynakların daha yoğun kullanımını kaçınılmaz kılarken, oluşan atıklar, miktar ve zararlı içerikleri nedeniyle çevre ve insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmıştır. Doğal kaynakların tüketilmesinin önüne geçilmesi ve üretilen atıkların çevre ve insan sağlığı için bir tehdit olmaktan çıkarılarak ekonomi için bir girdiye dönüştürülmesini amaçlayan atık yönetim stratejileri geliştirilmesi gerekmektedir.

Endüstriyel atıksular içerdikleri boyarmaddeler ile günümüzde en önemli çevre sorunlarından birini oluşturmaktadır. Boyarmaddeler ile kirletilen atıksuların, alıcı ortama ulaşması suda yaşayan canlıları olumsuz etkilemekte ve su kaynaklarının içme suyu amaçlı kullanılması durumunda ise pahalı arıtma tekniklerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Atıksularda boyarmadde bulunması biyolojik arıtma sistemlerinin verimini etkilemektedir. Boyaların aksine, boyar maddelerin hemen hemen hepsi suda çözünürler ve renk dağılımlarının düzenli olabilmesi için sulu çözeltileri halinde uygulanırlar. Başta tekstil ve dokuma olmak üzere kağıt, deri, gıda ve kozmetik endüstrilerinde kullanılan boyar maddelerin doğal ve sentetik birçok türü vardır. Günümüzde kullanılan boyar maddelerin çoğu, petrolden veya kömür katranından elde edilen benzen grubu hidrokarbonlardan hazırlanır.

Kongo kırmızısı, benzendiazobis-1-naftilamin-4-sülfonik asit denilen asidin

sodyum tuzudur. İkincil diazo (R-N=N-R bağı) boyasıdır. Kongo kırmızısı, kanserojen ve mutajen özelliklere sahip olmasına rağmen tekstil, kağıt, baskı ve plastik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Alver vd. 2017).

Boyarmaddelerin atık sulardan giderimi için flokulasyon/koagülasyon, iyon değişimi elektrokimyasal, fotokimyasal bozundurma, ters ozmoz, ultrafiltrasyon adsorpsiyon ve kimyasal oksidasyon gibi çeşitli fiziksel/kimyasal metotlarla, biyolojik arıtma yöntemleri kullanılabilir (Gupta, 2009; Deniz ve Karaman, 2011, Yu ve Luo, 2014; Aljeboree vd, 2014)

Kimyasal flokülasyon ve çöktürme, atık sulardan boyarmaddenin uzaklaştırılmasında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olmasına rağmen, oluşan kimyasal çamurun özelliği ve fazlalığı açısından sakıncalıdır. Elektrokimyasal arıtım, filtrasyon ve iyon değişimi yöntemleri de ekonomik nedenlerle yaygın olarak uygulanmamaktadırlar (Kocaer ve Alkan, 2002). Boyarmaddelerin karmaşık organik yapıya sahip olmaları ve biyolojik parçalanmaya karşı dayanıklı olarak üretilmeleri nedeniyle biyolojik yöntemler renk gideriminde yetersizdir (Mahmoodi vd, 2010). Düşük bakım bedeli, yüksek verim ve işletme kolaylığı adsorpsiyonu, atıksulardan renk giderimi için uygulanan en etkili tekniklerden birisi haline getirmiştir.

Biyolojik adsorbentler ile adsorpsiyon (biyosorpsiyon), ucuz adsorpsiyon materyallerinin kullanıldığı alternatif teknolojilerden biridir. Adsorpsiyon alanında esas olan pahalı olmayan ve bol miktarda

bulunan biyomateryallerin seçilmesidir. Bu konuda birçok araştırma yapılmıştır. Talaş, kurutulmuş aktif çamur, mantar, küspe, badem kabuğundan elde edilen aktif karbon, yeşil biosorbentlerin ve hayvan kemikleri gibi maddelerin boyarmadde gideriminde başarı ile kullanıldığı kaydedilmiştir (Deniz ve Kepekçi, 2017; Pereira vd., 2017; SinghMauryaa ve KumarMittal, 2014, Acar ve Malkoç, 2004; Gupta vd., 2003; Hasar 2003;Yu ve Luo, 2014).

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Deneyel çalışmalarda kongo kırmızısı boyar maddesinin gideriminde pirina, fıstık kabuğu ve deniz kabuğu gibi üç farklı biosorbent kullanılmıştır. Pirina, Ege Bölgesinde faaliyet gösteren zeytinyağı endüstrisinden, fıstık kabukları, Samsun Bölgesinde faaliyet gösteren kuruyemiş

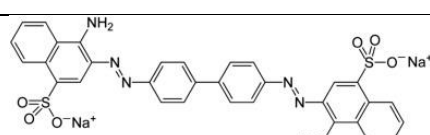
işleme tesisinden temin edilmiştir. Deniz kabuğu ise Karadeniz-Samsun sahilinden toplanarak deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Temin edilen biosorbentler eleme ve yıkama işlemine tabi tutularak deneylere hazır hale getirilmiştir.

2.2. Boyarmadde

Farklı biosorbentlerle boyarmadde gideriminde boyar madde olarak Kongo kırmızısı seçilmiştir. Kongo kırmızısına ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Kesikli biyosorpsiyon deneyleri 150 rpm'de çalkalamalı inkübatör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kongo kırmızısı, 1000 ml saf suda çözülmüş ve 1000 mg/L konsantrasyonunda stok çözelti hazırlanmıştır. Deneyler süresince kullanılan boya çözeltileri bu stok çözeltiden hazırlanmıştır.

Tablo1: Boyarmaddenin fizikokimyasal özellikleri

Boya Özellikleri	
Color Index numarası	22120
Formül	C ₃₂ H ₂₄ N ₆ O ₆ S ₂ Na ₂
Molekül ağırlığı (g/mol)	696.7
Maks. dalgaboyu λ _{max} (nm)	497
Kimyasal Yapısı	

Tüm deneysel çalışmalarda, 250 ml'lik erlenmayerlere toplam hacim 50 ml olacak şekilde bu boya çözeltilerinden konulmuştur. Kesikli sistemde yapılan bu çalışmada; başlangıç boya konsantrasyonunun (5-100 mg/L), temas süresinin (1-240 dk)

giderim verimi üzerine etkisi incelenmiş ve adsorpsiyon izotermi ve kinetik çalışmaları araştırılmıştır.

2.3. Adsorpsiyon izotermi

Adsorpsiyon dengesi, adsorpsiyon izotermi ile ifade edilir. Adsorpsiyon izotermi, sabit sıcaklıkta adsorban

tarafından adsorplanan madde miktarı ile denge basıncı veya konsantrasyonu arasındaki bağıntıya adsorpsiyon izotermi adı verilir (Jain vd, 2010, Arami,2006) Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri, adsorpsiyon izotermelerinin açıklanmasında yaygın olarak kullanılır. Langmuir izotermi homojen adsorpsiyon için kullanılmaktadır. Bu izotermde, adsorpsiyonun adsorplayıcı katının yüzeyindeki tek bir tabaka ile sınırlı olduğu ve adsorplanan maddelerin katı yüzeyinde hareket etmediği varsayılmaktadır. Bu tek tabakadaki bağlayıcı siteler adsorplayıcının

yüzeyine homojen olarak dağılmıştır ve hepsi aynı adsorpsiyon enerjisine sahiptirler.

Freundlich izotermi heterojen yüzeylerdeki adsorpsiyon için kullanılmaktadır. Heterojen yüzeylerdeki adsorbe edici alanlar eşit adsorpsiyon enerjisine sahip olmamakta ve bu yüzeylerde çok tabakalı adsorpsiyon gerçekleşmektedir.

Temkin izoterm modelinde adsorbe olan maddeler arasındaki etkileşim göz önüne alınmaktadır. Çözelti içerisindeki tüm moleküllerin adsorpsiyon entalpisi dikkate alınarak geliştirilmiştir.

Tablo 2: İzoterm modellerine ait eşitlikler

İzoterm Modeller	Eşitlik	Doğrusal Eşitlik
Langmuir	$q_e = \frac{q_{max} K C_e}{1 + K C_e}$	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K q_{max}} + \frac{C_e}{q_{max}}$
Freundlich	$q_e = k_f C_e^{1/n}$	$\ln q_e = \ln k_f + \frac{1}{n} \ln C_e$
Temkin	$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln(a_T C_e)$	$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln a_T + \frac{RT}{b_T} \ln C_e$

2.4. Adsorpsiyon kinetikleri

Adsorpsiyon mekanizmasını belirleyebilmek için adsorpsiyon hızının belirlenmesi gerekmektedir. Adsorpsiyon hızını

belirlemek için Pseudo İkinci Derece, Partikül içi difüzyon ve Elovich eşitlikleri kullanılmaktadır.

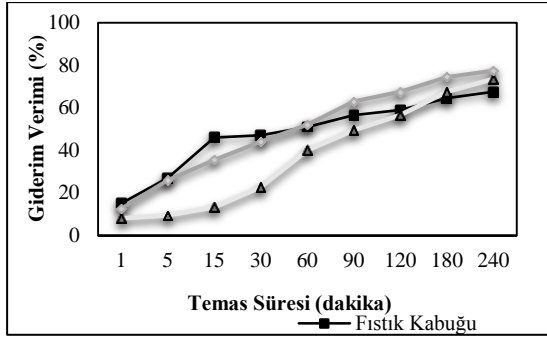
Tablo 3: Kinetik modellerine ait eşitlikler

Kinetik Modeller	Eşitlik	Doğrusal Eşitlik
Pseudo İkinci Derece	$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \left(\frac{1}{q_e}\right)t$
Partikül içi difüzyon		$qt = kit^{1/2} + C$
Elovich	$\frac{dq_t}{dt} = \alpha \exp(-\beta q_t)$	$qt = \beta \ln(\alpha\beta) + \beta \ln(t)$

3. Bulgular

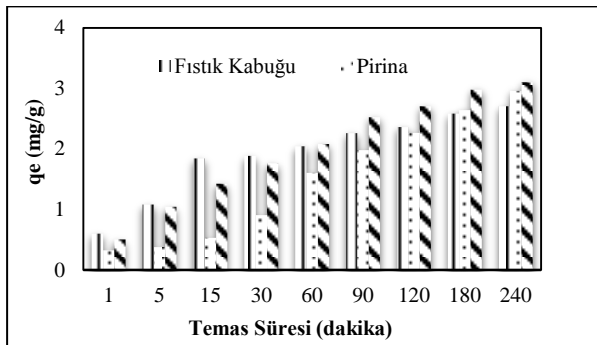
3.1. Temas süresi değişiminin biyosorpsiyon üzerine etkisi

Kongo kırmızısı boyar maddesinin sulu ortamdan pirina, fıstık kabuğu ve deniz kabuğu kullanılarak biyosorpsiyon metodu ile uzaklaştırılması üzerine temas süresinin etkisi; 1-240 dakika zaman aralığında izlenerek belirlenmiştir. 20°C sıcaklıkta boyarmadde çözeltilerinin, biyosorbentler ile biyosorpsiyonunun zamana bağlı değişimi sırasıyla verilmiştir (Şekil 1 ve 2). 50 mg/L konsantrasyonda boyarmadde çözeltisi ve 5 g/L biyosorbent miktarında çalışılmıştır.



Şekil 1: Kongo kırmızısı giderim verimine temas süresinin etkisi (C₀: 20 mg/L, adsorbent miktarı: 5 g/L, sıcaklık: 20°C)

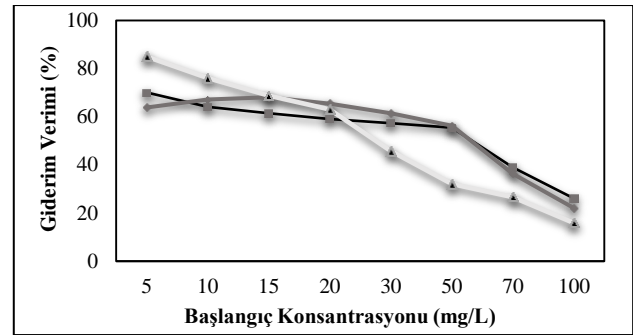
İlk 15 dakikada hızlı bir adsorpsiyon gözlenmiştir. Sulu çözeltilerden giderilen boyar madde miktarında 240. dakikaya kadar bir artış görülmüştür.



Şekil 2: Kongo kırmızısı giderimine temas süresinin etkisi (C₀: 20 mg/L, adsorbent miktarı: 5 g/L, sıcaklık: 20°C)

3.2. Başlangıç boyarmadde konsantrasyonu değişiminin biyosorpsiyon üzerine etkisi

Başlangıç konsantrasyonunun biyosorpsiyon üzerine etkisini incelemek üzere, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70 ve 100 mg/L'lik farklı başlangıç konsantrasyonlarında çalışılmıştır. Pirina, fıstık kabuğu ve deniz kabuğu ile biyosorpsiyon çalışmalarında başlangıç konsantrasyonunun etkisi Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.



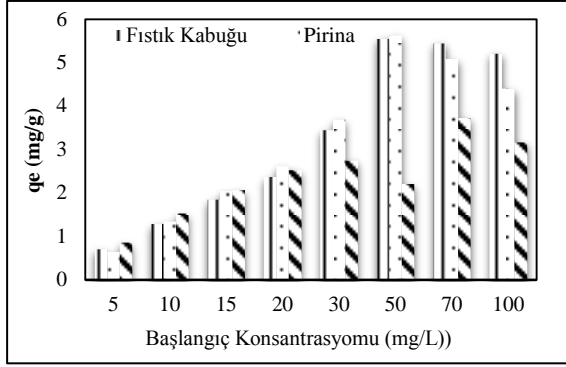
Şekil 3: Kongo kırmızısı giderim verimine başlangıç konsantrasyonunun etkisi (Temas süresi: 60 dak. adsorbent miktarı: 5 g/L, sıcaklık: 20°C)

Şekil 3, incelendiğinde kongo kırmızısı boyar maddesinin biyosorbentler üzerine giderim veriminin düşük konsantrasyonlarda yüksek oranda olduğu gözlemlenmiştir. Düşük boy konsantrasyonlarında giderim veriminin yüksek olması, adsorbent yüzeyinde bağlanma alanlarının varlığından kaynaklanmaktadır. Yüksek konsantrasyonlarda boyarmadde giderim veriminin düşük adsorbentin bağlanma alanlarının hemen hemen tamamına yakın

kaplanmasından

kaynaklanmaktadır.

olarak kullanılan Langmuir, Freundlich ve



Şekil 4: Kongo kırmızısı giderimine başlangıç konsantrasyonunun etkisi (Temas süresi:60 dak., adsorbent miktarı: 5 g/L, sıcaklık: 20°C)

Adsorpsiyon izotermi

Deniz kabuğu, pirina ve fıstık kabuğu kullanılarak Kongo kırmızısı boyarmaddesinin adsorpsiyonu için yaygın

Temkin izotermi kullanılmıştır. Bu izoterm uygulanırken boyarmadde derişimi 5-100 mg/L olarak değiştirilmiş ve biyosorbentler 5 g/L derişiminde kullanılmıştır. Kongo kırmızısı boyarmaddesi için deneysel adsorpsiyon verileri kullanılarak elde edilen Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermi doğrusal formu kullanılarak izoterm sabitleri (q_m , K_L , K_F , n , a_T ve b_T) hesaplanmış ve Tablo 4’de verilmiştir. Biyosorbentler ile boyarmadde giderimi, korelasyon katsayıları (R^2 değeri) açısından karşılaştırıldığında, Langmuir, izoterm modeli ile daha iyi tanımlanmaktadır

Tablo 4: Kongo kırmızısı boyarmaddesinin biyosorpsiyonu için izoterm sabitleri

İzoterm modelleri		Adsorbent		
		Fıstık Kabuğu	Pirina	Deniz Kabuğu
Langmuir izotermi				
q_m (mg/g)		3.26	5.08	6.31
K_L (L/mg)		0.28	0.16	0.09
R^2		0.94	0.96	0.97
Freundlich izotermi				
n		3.93	1.96	1.79
K_f (L/mg)		1.18	0.78	0.68
R^2		0.80	0.79	0.91
Temkin izotermi				
b_T		4949.21	1914.04	1699.93
a_T (L/mg)		10.98	1.20	0.85
R^2		0.79	0.81	0.89

Adsorpsiyon kinetiği

Kongo kırmızısının biyosorbentler ile biyosorpsiyonunda adsorpsiyon hızını ve hız sabitlerini belirlemek için Pseudo İkinci Derece, Partikül içi difüzyon ve Elovich eşitliklerinden yararlanılmıştır. Bu izoterm uygulanırken temas süresi 1-240 dakika olarak değiştirilmiş. Kongo kırmızısı boyarmaddesi için deneysel adsorpsiyon

verileri kullanılarak elde edilen Pseudo İkinci Derece, Partikül içi difüzyon ve Elovich kinetik modellerinin doğrusal formu kullanılarak kinetik sabitleri (q_e , k_2 , K_{id} , C , β ve α) hesaplanmış ve Tablo 6’da verilmiştir. Biyosorbentler ile boyarmadde giderimi, korelasyon katsayıları (R^2 değeri) açısından karşılaştırıldığında, Langmuir,

izoterm modeli ile daha iyi tanımlanmaktadır

Tablo 5: Farklı biyosorbentlerle Kongo kırmızısının adsorpsiyon kapasiteleri

Adsorbent	q_m (mg/g)	Kaynaklar
Okaliptüs ağacı	31.25	Mane ve Vijay, 2013
Neem yaprağı tozu	72.4	Panda vd, 2009
Aktifleştirilmiş buğday sapı	73.4	Wang, 2011
Muz kabuğu	18.2	Annadurai, 2002
Portakal kabuğu	14.0	Annadurai, 2002
Hindistan cevizi lifleri	6.72	Namasivayam ve Kavitha, 2002
Şeker kamışı küspesi	39.8	Zhang, 2011
Hünnap kabuğu	80.49	El Messaoudi vd, 2016
Fıstık Kabuğu /Aktifleştirilmiş fıstık kabuğu	3.55 / 136.41	Lawal vd. 2017
Penicillium YW 01	411.53	Yang vd, 2011
Fıstık kabuğu	3.26	Bu çalışmada
Pirina	5.08	Bu çalışmada
Deniz kabuğu	6.31	Bu çalışmada

Tablo 6: Kongo kırmızısı boyarmaddesinin biyosorpsiyonu için kinetik sabitleri

Kinetik modelleri	Adsorbent		
	Fıstık Kabuğu	Pirina	Deniz Kabuğu
Yalancı ikinci mertebe			
q_e (mg/g)	0.09	0.11	0,11
k_2 (g/mg.dk)	-0.54	-1.97	-0,62
R^2	0.95	0.98	0.96
Partikül içi difüzyon			
C	0.94	0.20	0.18
K_{id} (mg/g.dk ^{1/2})	0.13	0.20	0.18
R^2	0.86	0.98	0.96
Elovich			
β (g/mg)	2.65	1.96	2.04
α (mg/g.dk)	5.34	3.62	3.78
R^2	0.98	0.84	0.97

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada fıstık kabuğu, pirina ve deniz kabuğu kullanılarak kongo kırmızısı boyarmaddesinin biyosorpsiyonuna boyarmadde konsantrasyonu ve temas süresinin etkisi incelenmiştir.

Kongo kırmızısı'nın fıstık kabuğu, pirina ve deniz kabuğu ile biyosorpsiyonu çalışmalarında adsorpsiyon dengesi ve kinetiği incelenmiştir. Adsorpsiyon işleminin denge verileri, Langmuir, Freundlich, Temkin izotermine göre analiz edilmiştir.

Veriler adsorpsiyon çalışmalarının Langmuir İzoterm modeline uyduğunu göstermektedir. Bu, biyosorbentler ile boyarmadde biyosorpsiyon prosesinin tek tabakalı olarak gerçekleştiğini göstermektedir. Langmuir izotermi; adsorpsiyonda yüzeyin her tarafının örtülmediği yer yer örtülmelerin olduğu, yüzeyin her tarafında adsorpsiyon enerjisinin aynı olduğu ve yüzeyde tutunan moleküller arasında etkileşme olmadığını gösterir. 200C'de fıstık kabuğu, pirina ve deniz kabuğu için qm değerleri; 3.26, 5.08, 6.31 mg/g olarak bulunmuştur. Tablo 5'de farklı biyosorbentler ile Kongo kırmızı giderimine yönelik çalışmalarda elde edilen giderim verimleri verilmiştir. Fıstık kabuğu, pirina ve deniz kabuğu, boya gideriminde alternatif biyosorbent olarak kullanılabilirliği gözlenmiştir.

Kongo kırmızısı'nın fıstık kabuğu, pirina ve deniz kabuğu ile biyosorpsiyonu çalışmaları için gerekli temas süresini belirleyen biyosorpsiyon hızının belirlenmesi için kinetik analizler yapılmıştır. Kinetik çalışmaları, Pseudo İkinci Dereceden, Partikül İçi Difüzyon, Elovich, modellerine göre incelenmiştir. Çalışmamızda kullanılan boyar madde için fıstık kabuğu ve deniz kabuğu için biyosorpsiyon kinetiğinin Elovich kinetik modele, pirina için Pseudo İkinci Derece kinetik modele uyduğu görülmektedir. Adsorpsiyon kinetiğini en iyi temsil eden model yalancı ikinci mertebe kinetik model olduğu durumlarda, adsorpsiyon proses hızını kontrol eden basamağın adsorbent yüzeyine tutunma basamağı olduğu ifade edilir. Fıstık kabuğu,

pirina ve deniz kabuğu aktifleştirilerek de biyosorpsiyon çalışmaları yapılabilir.

5. Kaynaklar

- Acar F.N., Malkoc E. 2004. The removal of chromium(vi) from aqueous solutions by fagus orientalis L.. Bioresource Technology, 94 (1), 13-15.
- Aksu Z., Açikel Ü., Kabasakal, E., Sezer S. 2002. Equilibrium modelling of individual and simultaneous biosorption of Chromium(VI) and Nickel(II) onto dried activated sludge. Water Research, 36(12), 3063-3073.
- Aljeboree, A. M., Alshirifi, A. N., Alkaim, A. F. 2014. Kinetics and equilibrium study for the adsorption of textile dyes on coconut shell activated carbon. Arabian Journal of Chemistry, 10(2) 3381-3393.
- Alver, E., Bulut, M., Metin, A.Ü. ve Çiftçi, H. 2017. One step effective removal of Congo Red in chitosan nanoparticles by encapsulation. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 171(5), 132-138.
- Annadurai, G., Juang, R.L., Lee, D.J. 2002. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. Journal Hazardous Materials, 92, 263-274.
- Arami, M., Limaee, N.Y., Mahmoodi, N.M., Tabrizi, N.S. 2006. Equilibrium and kinetics studies for the adsorption of direct and acid dyes from aqueous solution by soy meal hull. Journal of Hazardous Materials, 135, 171-179.

- Deniz, F., Karaman, S. 2011. Removal of Basic Red 46 dye from aqueous solution by pine tree leaves. *Chemical Engineering Journal*, 170, 67-74.
- Deniz, F., Kepekçi, A.R., 2017. Bioremoval of Malachite green from water sample by forestry waste mixture as potential biosorbent. *Microchemical Journal*, 132, 172–178.
- El Messaoudi, N., El Khomri, M., Dbik, A., Bentahar, S., Lacherai, A., Bakiz, B., 2016. Biosorption of Congo red in a fixed-bed column from aqueous solution using jujube shell: Experimental and mathematical modeling. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(4), 3848-3855.
- Gupta V.K., Jain C.K., Ali I., Sharma M., Saini V.K. 2003. Removal of cadmium and nickel from wastewater using bagasse fly ash—a sugar industry waste. *Water Research*, 37(16), 4038-4044.
- Gupta, V. 2009. Application of low-cost adsorbents for dye removal—A review, *Journal of Environmental Management*, 90, 2313-2342.
- Hasar H. 2003. Adsorption of Nickel(II) from aqueous solution onto activated carbon prepared from almond husk. *Journal of Hazardous Materials*, 97, 49-57.
- Jain, R., Gupta, V.K., Sikarwa, S. 2010. Adsorption and desorption studies on hazardous dye Naphthol Yellow S. *Journal of Hazardous Materials*, 182, 749-756.
- Lawal, I.A., Chetty, D., Akpotu, S.O., Moodley, B., 2017. Sorption of Congo red and reactive blue on biomass and activated carbon derived from biomass modified by ionic liquid. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 8, 83–91.
- Mahmoodi, N.M., Arami, M., Bahrami, H., Khorramfar, S. 2010. Novel biosorbent (Canola hull): Surface characterization and dye removal ability at different cationic dye concentrations. *Desalination*, 264, 134–142.
- Mane, V.S., Vijay Babu, P.V. 2013. Kinetic and equilibrium studies on the removal of congo red from aqueous solution using Eucalyptus wood (*Eucalyptus globulus*) saw dust. *J Taiwan Inst Chem Eng*, 44, 81-88.
- Namasivayam, C., Kavitha D., 2002. Removal of congo red from water by adsorption onto activated carbon prepared from coir pith, an agricultural solid waste. *Dyes Pigment*, 54, 47-58.
- Panda, G.C., Das, S.K., Guha, A.K., 2009. Jute stick powder as a potential biomass for the removal of congo red and rhodamine B from their aqueous solution. *Journal Hazardous Materials*, 164, 374-379.
- Pereira, F.A.R., Sousa, K.S., Cavalcanti, G.R.S., França, D.B., Queiroga, L.N.F., Santos, I.M.G., 2017. Green biosorbents based on chitosan-montmorillonite beads for anionic dye removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(4), 3309–3318.

- Singh Mauryaa, N. and KumarMittal, A., 2014. Kinetic model for the immobilised biosorbents: Uptake of cationic dyes. *Chemical Engineering Journal*, 254, 571-578.
- Wang, Z.W., Han, P., Jiao, Y.B., He, X.T., Dou, C.C., Han, R.P., 2011. Adsorption of congo red using ethylenediamine modified wheat straw. *Desalin Water Treatment*, 30, 195-206.
- Yang, Y., Wang, G., Wang, B., Li.Z., Jia. X., Zhou. Q., Zhao, Y., 2011. Biosorption of Acid Black 172 and Congo Red from aqueous solution by nonviable *Penicillium YW 01*: Kinetic study, equilibrium isotherm and artificial neural network modelling. *Bioresource Technology*, 102(2), 828-834.
- Yu, L., Luo, Y.-m., 2014. The adsorption mechanism of anionic and cationic dyes by Jerusalem artichoke stalk-based mesoporous activated carbon. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 220-229.