



Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology
Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
 ISSN 1012-2354

Cilt (Volume): 27, Sayı (Issue): 3, Temmuz/July-2011
<http://fbe.erciyes.edu.tr/>



Limón kabuğu kullanarak sulu çözeltilerden Cu(II) giderimi

*Murat TOPAL¹, E. Işıl ARSLAN TOPAL², Sibel ASLAN²

¹Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Sivas

²Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ³

ÖZET

Bu çalışmada adsorbent olarak limon kabuğu kullanılarak sulu çözeltilerden Cu(II) giderimi araştırılmıştır. Adsorbent olarak kullanılan limon kabuğu üzerine bakırın adsorpsiyonunda 150 devir/dakika karıştırma hızıyla pH=7’de giderim veriminin %83,3 olduğu, en uygun adsorbent dozajının 0,04 g/L olup adsorpsiyon veriminin bu dozajda %95,76 değerine ulaştığı belirlenmiştir. En uygun başlangıç bakır derişiminin ise 400 mg/L olduğu ve adsorpsiyon veriminin bu derişimde en yüksek değerine (%98,3) ulaştığı ayrıca en uygun bekletme süresinin %99 verim ile 120 dakikada gerçekleştiği ve en uygun sıcaklığın ise 25⁰C olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Adsorpsiyon,
ağır metal,
giderim,
limon kabuğu

Removal of Cu(II) from aqueous solutions by using lemon peel

ABSTRACT

In this study removal of Cu(II) from aqueous solutions by using lemon peel was investigated. When lemon peel was used as an adsorbent removal efficiency of Cu(II) was determined to be 83.3% at 150 rpm stirring speed and pH=7; optimum dosage of adsorbent was 0.04 g/L and adsorption efficiency at this dose was determined to be 95.76%. The optimum initial concentration of copper was 400 mg/L and at this concentration the adsorption efficiency reached the highest value (98.3%). Also 99% removal efficiency was reached when retention time was 120 minutes and temperature of 25 °C.

Keywords

Adsorption,
heavy metal,
removal,
lemon peel

1. Giriş

Periyodik tabloda bulunan metallerin çoğu canlılar üzerinde zehirleyici etkiye sahiptir. Metaller biyolojik olarak bozunamaz ve canlı dokularda birikime neden olabilir. Bu nedenle sularda bulunan metallerin fazlalığı su ekosisteminde yaşayan canlılar üzerinde değişik hastalıklara ya da düzensizliklere neden olabilmektedir. Kurşun, çinko, kadmiyum, krom ve bakır gibi ağır metallerin zehirli elementler olduğu çalışmalarla kanıtlanmıştır [1, 2]. En çok bakır atık üreten ve bu atıkları toprağa veya suya boşaltan endüstri kolları bakır madenini işleyen ve eriten fabrikalar, demir-dışı madenlerin eritildiği endüstriler, plastik endüstrisi, patlama ocakları, çelik endüstrisi, kümes hayvanları kesimi yapılan yerler, bakır madeni çıkartılması, organik kimya endüstrisi, yem sanayi ve inorganik kimya endüstrisidir [3].

Nadir olmakla birlikte bakır madeninin çıkarıldığı yerlerden geçen sularda ve bakırın işlendiği fabrikaların yakından geçen sularda bakır miktarı yüksek olabilir. Sularda bakır karışma riski bulunan diğer bir durum da, işlenmiş bakırlı bileşiklerin atıldığı/gömüldüğü topraklardır. Yağmur suları ile bu bakır atıklarını taşıyarak yeraltı sularına ve içme suyu sağlanan göl ve ırmaklara ulaşabilmektedir.

Endüstriyel atıkların deşarjından dolayı zehirli ağır metaller tarafından oluşturulan su kirliliği dünya genelinde bir çevre sorunudur [4, 5, 6]. Bu çevre sorununu ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için kirletilmiş endüstriyel çıkış suyundan ağır metallerin gideriminde düşük maliyetli maddelerin kullanımı (endüstriyel, tarımsal veya kentsel kalıntılar) klasik metotlara alternatif bir metot olarak çıkmıştır. Son yıllarda düşük maliyetli maddelerden türetilen adsorbentler kullanılarak sulu çözeltilerden bakırın giderimi üzerine odaklanılmıştır.

Bakırın giderilmesi için kullanılan düşük maliyetli adsorbentlerin bazıları; talaş, silika ve demir oksit [7], kanalizasyon çamur külü [8], anatase tip titanyum dioksit, zeytinyağı fabrikası kalıntıları [9], inorganik kolloidler [10], maden eritme ocağı çamuru [11] ve aktif karbon [12] gibi bazı adsorbentlerdir. Bu adsorbentler katı-çözelti arayüzeyinde Cu(II)'ce zengin çıkış suyunun arıtılması için kullanılmıştır.

Limon (*Citrus limon* L.) yıl boyunca büyümeyi sürdüren, kışın yapraklarını dökmeyen küçük bir ağaç türüdür. Yapısında uçucu yağ taşıyan bu küçük ağaçların meyveleri ülkemizde Ege ve Akdeniz gibi bölgelerde yaygın bir şekilde bulunur. Limondan elde edilen limon suyu yaklaşık %5 oranında asit içerdiğinden dolayı pH değeri 2 ila 3 arasında değişmektedir. Bu durum limonların ekşimsi bir tada sahip olmasına neden olmaktadır [13].

Limon kabuğu lignin ve selüloz gibi esas bileşenleri içeren karmaşık bir materyaldir [14, 15]. Limon suyu sitrik asitin önemli miktarını içerirken limon kabuğu esasen selüloz, hemiselüloz ve pektin maddelerinden oluşur [16]. Limon kabuğunun kimyasal özelliklerinin bazıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Limon kabuğunun kimyasal özellikleri [15].

Bileşen	(%)
Nem	8,0
Kül	6,5
Toplam karbonhidrat	76,0
İndirgenen Şekerler	7,8
Pektin	23,0
Holoselüloz	42,8
Hemiselüloz	60,0
Toplam protein	0,9
Toplam yağ	2,0

Adsorbent olarak limon kabuğu kullanılarak yapılan çalışmalara günümüzde az rastlanılmaktadır. Günümüze kadar limon kabuğu ile ilgili yapılan bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bhatnagar vd.'nin yaptığı çalışmada biyosorbent olarak limon kabuğu kullanılarak sulu çözeltilerden kobaltın giderimi incelenmiştir [17]. Arslanoğlu vd., limondan hazırlanan bir sorbenti, sulu çözeltideki Cd⁺², Cr⁺³, Ni⁺², Pb⁺² ve Zn⁺² ağır metallerinin sorpsiyon davranışlarını araştırmak için kesikli sorpsiyon deneylerinde kullanmışlardır [18]. Kumar ve Porkodi, limon kabuğunu kullanarak limon kabuğu üzerinde metilen mavisinin sorpsiyonu üzerine çalışmalar yapmıştır [14] (Tablo 2). Günümüzde çeşitli adsorbentler kullanılarak Cu(II) giderimi üzerine yapılan çalışmalar mevcuttur. Tablo 2'de yapılan bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Bu çalışmada sulu çözeltilerden bakırın giderilmesi için adsorbent olarak limon kabuğu kullanılmıştır. En uygun pH değeri, adsorbent dozu, bekleme süresi, başlangıç bakır derişimi ve sıcaklık gibi parametrelere bakılarak limon kabuğunun adsorpsiyon verimi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Adsorpsiyon deneylerinde kullanılan stok bakır çözeltisi (1000 ppm), CuCl₂'den hazırlanmıştır. Deneylerde adsorbent olarak kullanılan limon kabuğu Mersin'den temin edilmiştir. Limon kabukları saf sudan 4 kez geçirilerek 103-105⁰C'de 24 saat kurutulmuştur. Kurutulmuş limon kabuğu öğütülerek (50 mesh) elekten geçirilmiştir. Deneyler kesikli sistem prensiplerine göre 500 mL'lik erlenlerde 25 °C'de gerçekleştirilmiştir. Metal çözeltisinin pH'sı 0,1 M HNO₃ ve 0,1 M NaOH ile ayarlanmıştır. İlk adsorpsiyon deneylerinde Cu(II) iyonlarının adsorplanabilirliği, 100 mg/L başlangıç bakır dozajı alınarak 2 ve 8 aralığında değişen pH değerlerinde 0,2 g/L adsorbent kullanılarak 150 devir/dakika' da 1 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. İkinci adsorpsiyon deneylerinde ise, 100 mg/L başlangıç bakır dozajı alınmış ve 0,02 ve 1,6 g/L aralığında değişen adsorbent kullanılarak pH= 7'de 150 devir/dakika'da 1 saat süreyle karıştırılmıştır. Üçüncü deneyler, 100 mg/L başlangıç bakır dozajı alınarak farklı bekleme sürelerinde (5, 15, 30, 60, 90, 120, 150 ve 180 dakika), 0,04 g/L adsorbent kullanılarak pH=7 değerinde 150 devir/dakika'da gerçekleştirilmiştir. Dördüncü deneyler ise, farklı başlangıç derişimindeki (50, 100, 200, 350, 400, 600 ve 700 mg/L)

Cu(II) iyonlarında pH=7’de, adsorbent dozu 0,04 g/L, 150 devir/dakika’da, 120 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma sonucunda elde edilen numuneler 0,45 µm filtre kağıdı (Whatman) kullanılarak süzülüş ve ATI UNICAM Model 929 Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresinde okunmuştur. Adsorplanmış bakırın miktarı (q_e mg/g) aşağıdaki matematiksel denklem ile ifade edilir.

$$q_e = (C_o - C_e)V / m \quad [1]$$

Denklem 1’de C_o ve C_e : giriş ve çözeltideki bakırın denge derişimini (mol/L), V : çözeltinin hacmini (L) ve m : adsorbent miktarını (g) ifade etmektedir.

Langmuir adsorpsiyon izotermi

Langmuir adsorpsiyon izotermi denklem 2’de verilen doğrusallaştırılmış matematiksel denklem ile ifade edilir.

$$1/q_e = K/q_{\max} (1/C_e) + 1/q_{\max} \quad [2]$$

Denklem 2 gözönünde tutulup elde edilen veriler $1/C_e$ ’ye karşı $1/q_e$ grafiğe geçirildiğinde, elde edilen doğrunun eğiminden K/q_{\max} , doğrunun $1/q_e$ eksenini kestiği noktadan $1/q_{\max}$ değerleri elde edilir. Burada; C_e : Adsorbantla dengede olan madde derişimini, (mg/L), K : Adsorpsiyon sabitini, q_{\max} : Maksimum adsorpsiyon kapasitesini (mg/g) göstermektedir. Bu çalışmada, Langmuir adsorpsiyon izotermi için K değeri 0,222 ve q_{\max} değeri ise 1111,1 mg/g olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

Freundlich adsorpsiyon izotermi

Freundlich adsorpsiyon izotermi denklem 3’de verilen doğrusallaştırılmış matematiksel denklem ile ifade edilir.

$$\ln q_e = \ln K_f + n \ln C_e \quad [3]$$

Denklem 3 gözönüne alındığında elde edilen veriler $\ln C_e$ ’ye karşı $\ln q_e$ grafiğe geçirilirse, elde edilen doğrunun eğimden $1/n$, doğrunun $\ln q_e$ eksenini kestiği noktadan $\ln K_f$ hesaplanabilir. K_f ve n değeri adsorpsiyon sabitleridir.

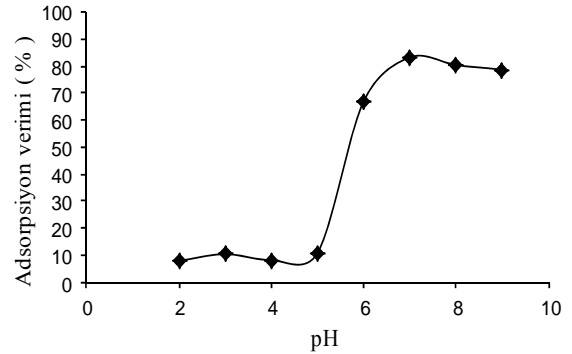
Tablo 2. Çeşitli adsorbentler kullanılarak Cu(II) adsorpsiyonu

Adsorbent	Bekletme süresi (dak.)	Derişim aralığı (mg/L)	Adsorbent dozu	pH	Karıştırma hızı (dev./dak.)	Adsorbent partikül boyutu	Adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)	Referans
Nar Kabuğu	120	20-50	2,5 g/L	5,8	150	0,3-0,6mm	1,3185	[19]
Anaerobik çamur	120	100	0,05 g	2-6	100	0,5-1,7mm	42,37-86,96	[20]
Mercimek kabuğu	180	100-500	0,5-0,8g/L	2-6	150	0,6mm	1,09-15,62	[21]
Buğday kabuğu	180	-	-	2-6	150	0,6mm	0,39-11,0	[21]
Prinç kabuğu	180	-	-	2-6	150	0,6mm	0,28-3,60	[21]
Aritma çamuru külü	-	50	2,5-40g/L	4,0	-	0,075mm	3,282-4,139	[8]
Uçucu kül	-	201	0,20g	6,2	100	45µm	0,1	[22]
Limon kabuğu	120	50-700	0,04g/L	7,0	150	50 mesh	1111,1	Bu çalışmada
Çay atığı	90	25-200	1g	5-6	-	350-850µm	48	[23]

3. Sonuç ve tartışma

3.1. pH’nın Etkisi

Başlangıç pH değerlerine karşı elde edilen adsorpsiyon verimleri Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1’de adsorbent olarak kullanılan limon kabuğu üzerine bakırın adsorpsiyonu için en uygun pH değerinin 7,0 olarak gerçekleştiği, pH=6,0 değerinin altında ise adsorpsiyon veriminin çok düşük olduğu görülmüştür. En düşük adsorpsiyon verimi başlangıç pH=2,0 değerinde %7,9 olarak gerçekleşmiştir. pH=5,0 değerinin altında ise adsorpsiyon veriminde bir artış görülmemiştir. pH=7,0 değerinde maksimum adsorpsiyon verimi %83,3 olarak gerçekleşmiştir. pH 7,0 ila 9,0 değerleri arasında ise adsorpsiyon verimlerinin birbirine yakın (%78,7-%83,3 arasında) olduğu ve verimlerde çok az bir düşüş olduğu görülmüştür. Çalışmamızdaki sonuçlara benzer olarak Ding vd. [24], bakırın sulu çözeltilerden bentonitlerle gideriminde, pH değerinin artırılmasıyla giderim veriminin arttığını belirtmişlerdir. pH değerini 1,0-8,3 aralığında değiştirdiklerinde en düşük giderim veriminin pH=1,0 değerinde elde edildiğini bildirmişlerdir. Bu durum adsorpsiyon alanlarında H^+ tarafından rekabetin artışına bağlanmıştır. Aman vd. [2], su/endüstriyel çıkış suyundaki bakırın patates kabuğu ile gideriminde, pH değerinin 2,0’den 6,0’ya artırılmasıyla adsorplanan bakır miktarının arttığını bildirmişlerdir. Demirbaş vd. [25], bakırın sulu çözeltilerden fındık kabuğu ile gideriminde, sorpsiyon kapasitesinin Ph değerinin artışıyla arttığını ve pH=7,0’nin altında bakır iyonlarının adsorpsiyonunun düşük olduğunu belirtmişlerdir.

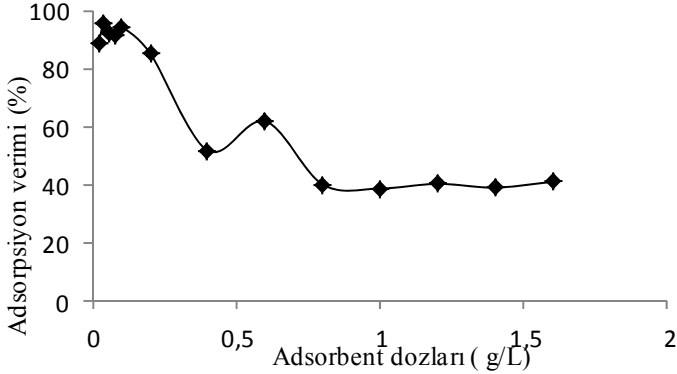


Şekil 1. Başlangıç pH derecelerine karşı elde edilen adsorpsiyon verimleri (Başlangıç derişimi 100 mg/L, adsorbent dozu 0,2g/L, karıştırma hızı 150 devir/dakika, bekletme süresi 60 dakika).

3.2. Başlangıç Adsorbent Dozunun Etkisi

Başlangıç adsorbent dozlarına karşı elde edilen adsorpsiyon verimleri Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2’de en uygun adsorbent dozunun 0,04 g/L olarak gerçekleştiği ve adsorpsiyon veriminin bu dozajda %95,76 değerine ulaştığı görülmüştür. 0,02 ila 0,2 g/L dozaj aralığında adsorpsiyon verimi yüksek değerlerde gerçekleşmiş olup 0,8 g/L adsorbent dozajından itibaren ise başlangıç adsorbent dozajlarının, adsorpsiyon verimlerini fazla değiştirmedikleri ve verimlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

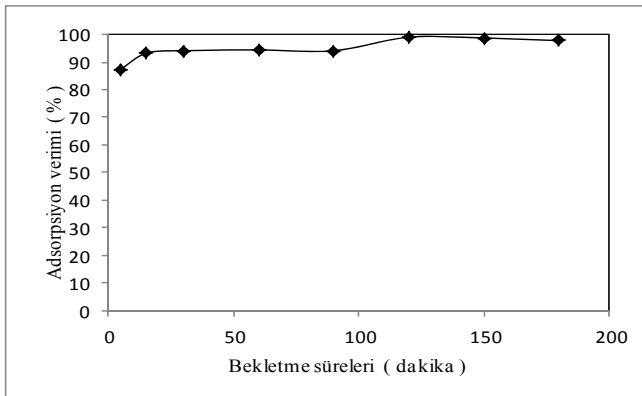
Çalışmamızdaki tam tersine, Ding vd. [24], adsorbent dozu 2,0 g/L'den 20 mg/L'ye arttığında giderim veriminin arttığını bildirmişlerdir. Jiang vd.[6], bakırın sulu çözeltilerden modifiye edilmiş küspeyle gideriminde, adsorbent dozu 0,5 g/L'den 10 g/L'ye artmasıyla bakırın giderim yüzdesinin arttığını belirtmişlerdir.



Şekil 2. Başlangıç adsorbent dozlarına karşı elde edilen adsorpsiyon verimleri (Başlangıç derişimi 100 mg/L, pH=7,0, karıştırma hızı 150 devir/dakika, bekleme süresi 60 dakika).

3.3. Bekletme Süresinin Etkisi

Bekletme sürelerine karşı elde edilen adsorpsiyon verimleri Şekil 3' de verilmiştir. Şekil 3'den en uygun bekleme süresinin %99 verim ile 120. dakikada gerçekleştiği belirlenmiştir. 150. ve 180. dakikada ise verimlerde çok az bir azalma meydana geldiği görülmüştür. 150. ve 180. dakikada adsorpsiyon verimleri sırasıyla %98,7 ve %97,75 oranında olmuştur. En düşük adsorpsiyon veriminin ise 5. dakika için % 87,4 oranında olduğu; 30., 60 ve 90. dakikalarda ise verimlerin birbirine çok yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Tüm bekleme süreleri için adsorpsiyon verimi yüksek çıkmıştır.



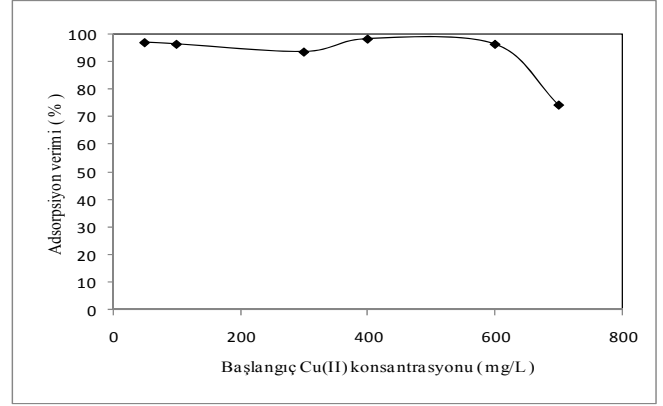
Şekil 3. Bekletme sürelerine karşı elde edilen adsorpsiyon verimleri (Başlangıç derişimi 100 mg/L, pH= 7,0, adsorbent dozajı 0,04 g/L, karıştırma hızı 150 devir/dakika).

3.4. Başlangıç Cu(II) Derişiminin Etkisi

Başlangıç Cu(II) derişimine karşı elde edilen adsorpsiyon verimleri Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4'den en uygun başlangıç bakır derişiminin 400 mg/L olarak gerçekleştiği görülmüştür. Bu derişimde %98,3 oranında en yüksek adsorpsiyon verimi elde edilmiştir. Kullanılan başlangıç bakır derişimlerinde elde edilen adsorpsiyon verimleri

yaklaşık olarak aynı seviyelerde olup 600 mg/L derişim değerinden sonra verimin % 96,4'den % 74,3'e düştüğü görülmüştür.

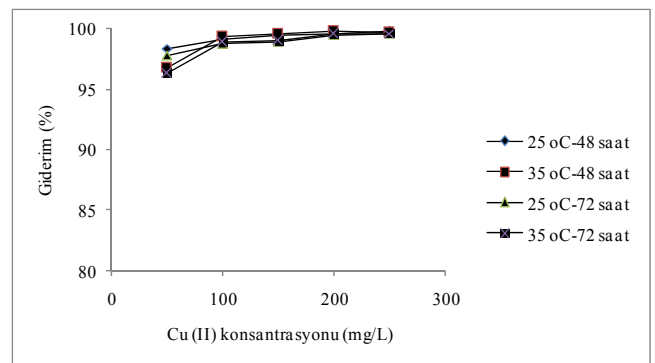
Çalışmamızdaki sonuçlara benzer olarak, Aman vd. [2], su/endüstriyel çıkış suyundaki bakırın patates kabuğu ile gideriminde, bakır giriş konsantrasyonu 150 mg/L'den 400 mg/L'ye artırıldığında Cu(II) giderim yüzdesinin %99,8'den %77,5'e düştüğünü bildirmişlerdir.



Şekil 4. Başlangıç Cu(II) derişimlerine karşı elde edilen adsorpsiyon verimleri (pH= 7,0, adsorbent dozajı 0,04 g/L, karıştırma hızı 150 devir/dakika, bekleme süresi 120 dakika).

3.5. Sıcaklığın Etkisi

Şekil 5'de 48 ve 72 saat için 50-250 mg/L arasında değişen bakır derişimlerinin farklı sıcaklıklardaki (25 ve 35°C) giderim verimleri araştırılmıştır. Farklı sıcaklıklarda giderim verimlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca bakır derişimi 50 mg/L'den 250 mg/L'ye arttığında verimin sıcaklıklara bağlı olarak çok fazla değişmediği (%99-99,8) görülmüştür.



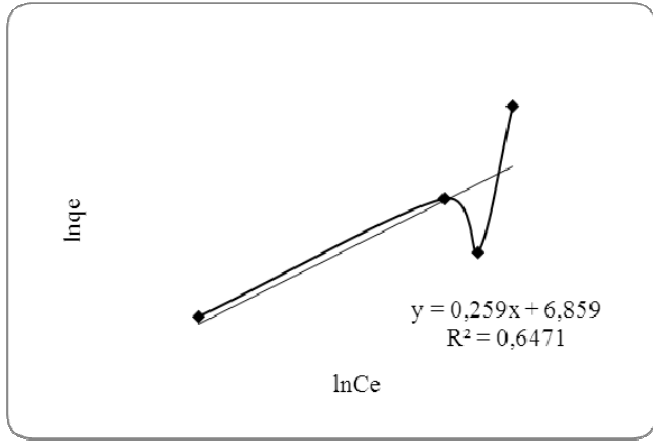
Şekil 5. 48 ve 72 saat için adsorpsiyon giderim verimi üzerine sıcaklığın etkisi

3.6. Adsorpsiyon İzotermi

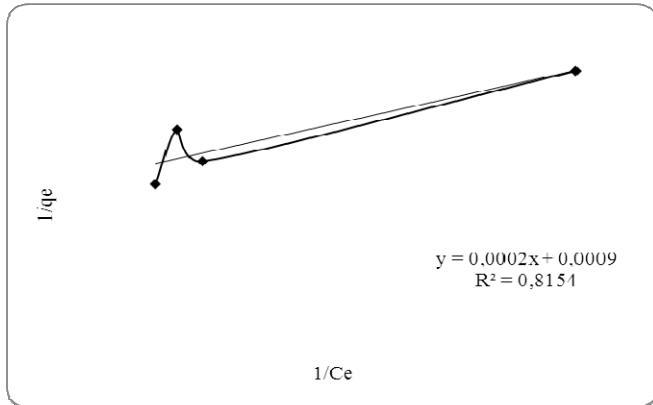
Çalışmamızda adsorpsiyon izotermi belirmek amacıyla grafikler oluşturulmuş ancak Freundlich izotermi korelasyon katsayısının düşük olduğu ($R^2=0,6471$) (Şekil 6) ve Langmuir izotermi daha uygun olduğu görülmüştür ($R^2= 0,8154$). Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçtan farklı olarak, Arslanoğlu vd. [16] ve Ding

vd. [24], bakırın adsorplanmasında hem Langmuir hem de Freundlich izotermi için R^2 değerlerinin oldukça yüksek bulmuşlardır. Arslanoğlu vd. [16], Langmuir izotermi için R^2 değerinin farklı sıcaklıklarda 0,998-0,999, Freundlich izotermi için R^2 değerinin ise 0,948-0,965 aralığında olduğunu bildirmişlerdir. Ding vd. [24] ise Langmuir izotermi için R^2 değerinin 0,93-0,94, Freundlich izotermi için R^2 değerinin yaklaşık 0,98 olduğunu bildirmişlerdir.

Freundlich adsorpsiyon izotermi ve Langmuir adsorpsiyon izotermi sırasıyla Şekil 6 ve 7'de grafiğe geçirilmiştir.



Şekil 6. Freundlich İzotermi



Şekil 7. Langmuir izotermi

Şekil 7'ye göre Langmuir adsorpsiyon izotermi için limon kabuğunun adsorpsiyon sabiti K 0,222 olarak bulunmuştur. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi ise 1111,1 mg/g değerinde olup elde edilen bu değer oldukça yüksektir. Elde ettiğimiz sonuca benzer olarak Singh vd. [26], modifiye guar gum-silica nanokompozit poli kullanarak adsorpsiyonla sulu çözeltilerden kadmiyum giderimi ile ilgili yaptıkları çalışmada maksimum adsorpsiyon kapasitesini 2000 mg/g gibi yüksek değerde bulmuşlardır. Akar vd. [27], doğal kil kullanarak sulu çözeltilerden Asit Kırmızı 88 (AR88) gideriminde sorpsiyon kapasitesini 1133,1 mg/g olarak bulmuşlardır. Bu sonuç yaptığımız çalışmanın sonucunda elde edilen değerle oldukça yakın bir değerdir. Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçtan daha düşük adsorpsiyon kapasiteleri de bildirilmiştir. Jiang vd. [6], bakırın sulu çözeltilerden modifiye edilmiş küspeyle giderimi çalışmalarında, Langmuir izotermi için maksimum

adsorpsiyon miktarını 101,01 mg/g olarak bulmuşlardır. Kumar ve Porkodi [14], limon kabuğu üzerine metilen mavisi sorpsiyon çalışmalarında, bekleme süresini 1440 dakika, derişim aralığını 25-200 mg/L ve adsorbent dozunu 0,05 g/L aldıklarında maksimum adsorpsiyon kapasitesini Langmuir izotermi için 33,17 mg/g olarak bulmuşlardır. Bhatnagar vd. [17], limon kabuğunu adsorbent olarak kullanarak sulu çözeltiden kobalt giderimini çalıştırdıklarında maksimum adsorpsiyon kapasitesini 22 mg/g olarak bildirmişlerdir.

4. Sonuçlar

Bhatnagar vd. [18], limon kabuğu kullanarak yaptıkları adsorpsiyon çalışmasında, limon kabuğu ile aktif karbonun maliyetini karşılaştırarak, Hindistanda, aktif karbonun limon kabuğuna göre 10 kat pahalı olduğunu belirtmişlerdir. Türkiye'de ise aktif karbon (4000-5000 TL ton⁻¹) limon kabuğuna (1000-1500 TL ton⁻¹) göre 4-5 kat daha pahalıdır. Limon kabuğu ülkemizde özellikle meyve suyu tesislerinden atık olarak açığa çıkmaktadır. Bu nedenle pahalı adsorbentler yerine adsorpsiyonda düşük maliyetli bir adsorbent olan limon kabuğunun kullanılması önerilebilir.

Çalışmamızda limon kabuğunun sulu çözeltilerden bakır giderimi için etkili bir adsorbent olarak yararlı bir şekilde kullanılacağı görülmüştür. Bakır giderimi için limon kabuğunun adsorplama kapasitesi 1111,1 mg/g olarak bulunmuştur. Limon kabuğu kullanarak sulu çözeltiden Cu(II) gideriminin; en uygun pH=7,0; adsorbent dozu 0,04 g/L; başlangıç bakır derişimi 400 mg/L; bekleme süresi 120 dakika ve sıcaklık 25⁰C'de gerçekleştiği bu çalışmayla belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmanın laboratuvar analizlerindeki katkılarından dolayı Abdulaziz KURT ve Cihan BAYKARA'ya teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. Periasamy, K. and Namasivayam, C., 'Removal of copper(II) by adsorption onto peanut hull carbon from water and copper plating industry wastewater', *Chemosphere*, 32, 769-789, 1996.
2. Aman T., Kazi A.A, Sabri M. U., Bano Q., 'Potato peels as solid waste for the removal of heavy metal copper (II) from waste water/industrial effluent' *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 63, 116-121, 2008.
3. Aksu, Z., Kutsal, T., "Atık Sulardaki Kurşun(II), Krom(VI) ve Bakır(II) İyonlarının Yeşil Alglerden *Chlorella vulgaris*'e Adsorbsiyonunun Karıştırılmalı ve Akışkan Yatak Reaktörlerde İncelenmesi", *Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi*, 18, p. 403-410, 1994.
4. Benaissa, H. and Benguella, B. Effect of anions and cations on cadmium sorption kinetics from aqueous solutions by chitin: experimental studies and modeling, *Environ. Pollut.* 130, 157-163, 2004.
5. Aksu, Z. ve Donmez, G. Binary biosorption of cadmium(II) and nickel(II) onto dried *Chlorella vulgaris*: co-ion effect on mono-component isotherm parameters, *Proc. Biochem.* 41, 860-868, 2006.

6. Jiang Y., Pang H. and Liao B., 'Removal of copper(II) ions from aqueous solution by modified bagasse', *Journal of Hazardous Materials* 164, 1–9, 2009.
7. Ajmal, M., Khan, A.H. and Ahmad, S. Role of sawdust in the removal of copper(II) from industrial wastes, *Water Resource*, 32, 3085–3091, 1998.
8. Pan, S.C., Lin, C.C. and Pan, D.H.T. Reusing sewage sludge ash as adsorbent for copper removal from wastewater. *Resources, Conservation and Recycling* 39, 79-90, 2003.
9. Veglio, F., Beolchini, F. And Prisciandaro M. Sorption of copper by olive mill residues. *Water Research*. 37, 4895-4903, 2003.
10. Subramaniam, K. and Yiocoumi, S. Modeling kinetics of copper uptake by inorganic colloids under high surface coverage conditions *Colloids Surf.* 191, 145-159, 2001.
11. Lopez-Delgado, A., Perez, C. and Lopez, F.A. Sorption of heavy metals on blast furnace sludge. *Water Research*. 32, 989-996, 1998.
12. Goyal, M., Rattan, V.K., Aggarwal, D. and Bansal, R.C. Removal of copper from aqueous solutions by adsorption on activated carbon, *Colloids and Surfaces*, 190, 229-238, 2001.
13. 13. Anonymous, [http://tr.wikipedia.org/wiki/Limon_\(a%C4%9Fa%C3%A7\)](http://tr.wikipedia.org/wiki/Limon_(a%C4%9Fa%C3%A7)), 2010.
14. Kumar, K. V. and Porkodi, K. 'Relation between some two- and three-parameter isotherm models for the sorption of methylene blue onto lemon peel *Journal of Hazardous Materials*, 138(3), 633-635, 2006.
15. Ververis, C., Georghiou, K., Danielidis, D., Hatzinikolaou, D.G., Santas, P., Santas, R. and Corleti, V. 'Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements', *Bioresource Technology*, 98, 296-301, 2007.
16. Arslanoglu, H., Altundoğan H.S., Tumen, F., 'Preparation of cation exchanger from lemon and sorption of divalent heavy metals' *Bioresource Technology*, 99, 2699–2705, 2008.
17. El-Helow, E.R. and El-Ahawany, M.A., 'Lichenase production by catabolite repression-resistant *Bacillus subtilis* mutants: Optimization and formulation of an agro-industrial by-product medium', *Enzyme and Microbial Technology*, 24:325–331, 1999.
18. Bhatnagar, A.K. and Minocha, M.S.' Adsorptive removal of cobalt from aqueous solution by utilizing lemon peel as biosorbent' *Biochemical Engineering Journal* 48, 181–186, 2010.
19. Arslanoglu, H., Altundogan, H.S. and Tumen, F. 'Heavy metals binding properties of esterified lemon'. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 1406–1413, 2009.
20. El-Ashtoukha, S.Z., Amina, N.K., Abdelwahabb, O. 'Removal of lead (II) and copper (II) from aqueous solution using pomegranate peel as a new adsorbent' *Desalination*, 223, 162–173, 2008.
21. Qian, Q., Mochidzuki, K., Fujii, T. and Sakoda, A. 'Removal of copper from aqueous solution using iron-containing adsorbents derived from methane fermentation sludge.' *Journal of Hazardous Materials*, 172, 1137–1144, 2009.
22. Aydın, H., Buluta, Y. and Yerlikaya Ç. 'Removal of copper (II) from aqueous solution by adsorption onto low-cost adsorbents'. *Journal of Environmental Management*, 87, 37–45, 2008.
23. Wang, S., Lin, L. and Zhu, Z.H. 'Solid-state conversion of fly ash to effective adsorbents for Cu removal from wastewater'. *Journal of Hazardous Materials*, B (139), 254-259, 2007.
24. Amarasinghe, B.M.W.P.K. and Williams, R.A. 'Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater, *Chemical Engineering Journal*, 132, 299-309, 2007.
25. Ding, S., Sun, Y., Yang, C. and Xu, B. 'Removal of copper from aqueous solutions by bentonites and the factors affecting it.' *Mining Science and Technology*, 19, 489-492, 2009.
26. Demirbaş, Ö., Karadağ, A., Alkan, M. ve Doğan, M. 'Removal of copper ions from aqueous solutions by hazelnut shell', *Journal of Hazardous Materials*, 153, 677-684, 2008.
27. Singh, V., Pandey, S., Singh, S. K. and Sanghi, R.' Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption using poly (acrylamide) modified guar gum-silica nanocomposites.' *Separation and Purification Technology*, 67, 251-261, 2009.
28. Akar, S.T. ve Uysal, R.' Untreated clay with high adsorption capacity for effective removal of C.I. Acid Red 88 from aqueous solutions: Batch and dynamic flow mode studies' *Chemical Engineering Journal*, 162, 591-598, 2010.