

Fındık Kabuğundan Aktif Karbon Üretiminin Optimizasyonu ve Sulu Çözeltiden Cu^{+2} Adsorpsiyonu

Zafer EKİNCİ¹, Abdusselam KURTBAŞ¹

ÖZET: Bu çalışmada, fındık kabuğundan aktif karbon üretmek için fraksiyon faktöriyel yöntemi kullanılmıştır. Tane boyutu, emdirme oranı, fırın sıcaklığı ve fırında kalma süresi parametre olarak seçilmiştir. Optimum şartları belirlemek için esnek simpleks yöntemi kullanılmış ve optimum koşullar: emdirme oranı 0.792 (mL asit/g kabuk⁻¹), sıcaklık 413.3 K ve fırında kalma süresi 7.45 saat olarak bulunmuştur. Optimum şartlarda üretilen aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesi; çalışma sıcaklığı= 293 K, pH = 5, Cu^{+2} konsantrasyonu= 250 mg L⁻¹ ve karbon miktarı= 3 g L⁻¹'de, 30 mg g⁻¹ olarak bulunmuştur. Cu^{+2} adsorpsiyonu üzerine bakır konsantrasyonu, adsorbent miktarı, sıcaklık ve çözelti pH'ının etkileri kesikli bir sisteminde incelenmiştir. Adsorpsiyon verileri Langmuir ve Freundlich izotermine uygulanmış ve her iki izoterm denge verilerini iyi temsil ettiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, bakır, fındık kabuğu, Langmuir izotermi, Freundlich izotermi

Optimization Activated Carbon from Hazelnut Shell and Cu^{+2} Adsorption from Aqueous Solution

ABSTRACT: In this study, fractional factorial design was used to prepare activated carbon from hazelnut shell. Particle size, impregnation ratio, temperature and time as parameters were chosen. The flexible simpleks method was used to determine optimum conditions. The optimum conditions were determined as impregnation ratio 0.792 mL acid/g shell⁻¹, temperature 413.3 K and time 7.45 h. Adsorption capacity of activated carbon prepared at optimum conditions was found as 30 mg Cu^{+2} /g activated carbon⁻¹ at temperature 293 K, pH 5, concentration of Cu^{+2} 250 mg L⁻¹ and amount of activated carbon 3 g L⁻¹. The effects of concentration of copper, adsorbent content, temperature, and solution pH on adsorption of Cu^{+2} have been investigated in the batch system. Langmuir and Freundlich isotherms fit the experimental data and both of isotherms were observed to be best represents the equilibrium data.

Keywords: Adsorption, copper, Freundlich isotherm, hazelnut shell, Langmuir isotherm

¹ Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Zafer EKİNCİ, zekinci@atauni.edu.tr

GİRİŞ

Bakır, metal temizleme, kaplama banyoları, kâğıt hamuru üretimi, gübre endüstrisi gibi pek çok endüstriyel alanda açığa çıkan atık suyun içinde bulunur ve çevre açısından zararlı bir kirleticidir. Dünya sağlık örgütü içme suyundaki kabul edilebilir bakır konsantrasyonunu 1.5 mg L^{-1} olarak belirlemiştir (Demirbaş et al., 2009). Atık sulardan ağır metalleri uzaklaştırılması için kimyasal çöktürme, iyon değiştirme, membran filtrasyonu, ters ozmos ve adsorpsiyon gibi pek çok teknik kullanılmaktadır. Aktif karbon, büyük yüzey alanı, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, çevre dostu ve işlem kolaylığı gibi avantajları nedeniyle, seyreltik atık sulardan inorganik ve organik kirleticilerin uzaklaştırılması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Aktif karbonun yüksek fiyatı, benzer karaktere sahip daha ucuz yeni adsorbentlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Son yıllarda araştırmalar, doğada bol bulunan yenilenebilir karbon içerikli, zirai yan ürünler ve atıkların, aktif karbon üretiminde kullanılması üzerine yoğunlaşmıştır. Zeytin çekirdeği (Spahis et al., 2008, Blázquez et al., 2014), ceviz kabuğu (Martinez et al., 2006), badem kabuğu (Demirbaş et al., 2008), şeftali çekirdeği kabuğu (Bello et al., 1999), kayısı çekirdeği kabuğu (Abbasa et al., 2014), fındıkkabuğu (Demirbaş et al., 2009), kanola (Rambabu et al., 2014), pamuk sapı (Li et al., 2010) gibi karbon içerikli maddelerden aktifleştirilmiş karbon üretilmiştir. Fındık kabuğundan üretilmiş aktif karbonun Cu(II) adsorpsiyonu üzerine ultrasesin etkisi incelenmiş ve ultrases kullanımının yaklaşık %20 daha fazla adsorpsiyonu artırdığı gözlenmiştir (Milenkovic et al., 2009).

Aktif karbon, fiziksel ve kimyasal aktivasyon olmak üzere iki farklı yöntem ile üretilebilir. Fiziksel aktivasyon yöntemi, başlangıç maddesinin yüksek sıcaklıklarda karbonizasyonu ve ardından oluşan çarın hava, CO_2 ve/veya su buharı ile aktivasyonunu içerir. Kimyasal aktivasyon yönteminde ise başlangıç maddesi H_2SO_4 , NaOH , KOH , H_3PO_4 , ZnCl_2 gibi uygun bir kimyasal madde ile muamele edilir ve sonra inert ortamda ısı işleme tabii tutulur. Kimyasal aktivasyonda karbonizasyon ve aktivasyon eşzamanlı olarak tek aşamada ve daha kısa sürede gerçekleşir. Ayrıca, kimyasal aktivasyonda, kullanılan kimyasalların etkisiyle gözenek gelişimi ve ürün verimi fiziksel aktivasyona oranla daha yüksektir.

Türkiye, dünya fındık üretiminde % 70'lik bir paya sahiptir. Diğer başlıca fındık üreticisi ülkeler İtalya, Azerbaycan, Gürcistan, A.B.D. ve İspanya'dır.

Türkiye'de yıllık olarak yan ürün olarak açığa çıkan fındıkkabuğunun 3×10^5 ton civarında olduğu tahmin edilmektedir ve genellikle halk arasında ısınma amaçlı olarak kullanılmaktadır (Demirbaş, 1998).

Bu çalışmanın amacı, fındıkkabuğuna kimyasal aktivasyon ve karbonizasyon işlemleri için optimum koşulları belirlemek ve optimum koşullarda üretilen aktif karbon ile sulu çözeltilerden Cu^{+2} uzaklaştırılması üzerine proses şartlarının etkisini belirlemektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Aktif Karbonun Hazırlanması

Deneysel olarak kullanılan fındıkkabuğu Karadeniz Bölgesinden temin edilmiştir. Fındıkkabukları yıkanarak üzerindeki toz ve kirler uzaklaştırılmış ve daha sonra sabit tartıma ulaşıncaya kadar 378 K de etüvde kurutulmuştur. Kurutulan örnekler kırma ve eleme işleminden geçirilerek tane boyutuna göre ayrılmıştır. Çalışılacak tane boyutunda yaklaşık 100 g fındıkkabuğu %96 lık H_2SO_4 (Merck) ile muamele edilerek emdirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra emdirilmiş fındık kabukları belirlenmiş sıcaklık ve sürede fırında (carbolite, CWF 1300) azot atmosferinde (100 mL dk^{-1}) tutularak karbonizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Karbonlaştırılmış materyal deionize su ile yıkama suyunun pH değeri 6-6.5 değerine düşene kadar yıkanmış ve 378 K de kurutulmuştur.

İstatistiksel Deney Planı

Fındıkkabuğundan aktif karbon üretiminde optimum koşulları belirlemek için Ortogonal faktöriyel serisi kullanılmıştır. Parametre olarak tane boyutu (X_1), emdirme oranı (X_2), fırın sıcaklığı (X_3) ve fırında tutulma süresi (X_4) seçilmiştir. Parametrelerin düşük ve yüksek değerleri ön denemelerin ortalamalarından belirlenmiş ve $1/2 \ 2^4$ fraksiyonel faktöriyel planı seçilmiştir. Deneysel hataları hesaplamak için deneyler üç tekrarlı yapılmış ve varyans analizi ile etkin parametreler belirlenmiştir.

Optimizasyon Yöntemi

Optimizasyon yöntemi, prosesi teknik ve/veya ekonomik olarak optimum yapacak değerleri belirlemek için kullanılır. Bunun için istatistiksel deney planı uygulandıktan sonra yapılan varyans analizine göre etkin parametreler belirlenerek yeniden değerlendirme yapılır. Bu çalışmada teknik hedef olarak aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesi ($\text{mg Cu}^{+2} \text{ g}^{-1}$ aktif karbon) seçilmiş ve esnek simpleks yöntemi optimum

koşulların belirlenmesi için kullanılmıştır. Esnek simpleks yöntemine göre denemeler üç temel harekete göre (yansıtma, genişletme, daraltma) yürütülmüştür. Deney değişken değerleri aşağıdaki genel denklemler ile hesaplanmıştır:

$$X_{k,i} = X_{c,i} + \alpha(X_{c,i} - X_{j,i}) \quad (1)$$

$$X_{c,i} = \sum^n X_i / n \quad (2)$$

$X_{j,i}$ i değişkeninin eski deney noktasındaki değerini, $X_{k,i}$ ise yeni noktadaki değerini gösterir. α hareket türüne bağlı bir parametre olup; yansıtma için 0.5, genişletme için 1 ve daraltma için -0.5 değerini alır. Denemelerin bitirilmesi için eşitlik (3) kullanılmıştır.

$$(y_h - y_l) \leq s \quad (3)$$

y_h en iyi fonksiyon değeri, y_l en kötü fonksiyon değeri, s ise deneysel hatanın standart sapmasıdır (Bayramoğlu ve Akçay, 1991).

Kesikli Adsorpsiyon Deneyleri

Adsorpsiyon deneylerinde kullanılan 1000 mg L⁻¹ Cu⁺² stok çözeltisi, bakır sülfatın [CuSO₄.5H₂O (Merck)] distile su içinde çözündürülmesi ile hazırlanmıştır. Çözeltinin pH değerini ayarlamak için 0.1 M NaOH ve 0.1 M HCl çözeltileri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan tüm kimyasallar analitik değerdedir.

Bakır adsorpsiyon kapasitesini belirlemek için 250 mL lik bir erlen içine 100 mL Cu⁺² çözeltisi konulmuş, deney planına göre üretilen aktif karbondan 200 mg erlene ilave edilmiş ve 293 K, 170 devir dk⁻¹'da 6 saat ısı ekipmanına sahip çalkalayıcı içinde (Edmund Böhler GmbH TH 15) çalkalanmıştır. Çözelti pH'sı 6.34 olup herhangi bir pH ayarlaması yapılmadan kullanılmıştır. Deneyler sonunda çözeltideki Cu⁺² miktarı atomik adsorpsiyon cihazı (Shimadzu Model AA-670) ile belirlenmiştir ve yükleme kapasitesi eşitlik (4) ile hesaplanmıştır.

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \quad (4)$$

C_o ve C_e sırasıyla başlangıç ve dengedeki Cu⁺² miktarı (mg L⁻¹); V çözelti hacmi (L); m adsorbent miktarı (g).

Sulu çözeltiden Cu⁺² nin adsorpsiyonu üzerine gerçek bakır konsantrasyonu (25-300 mg L⁻¹), pH

(2-6), adsorbent miktarı (1-5g L⁻¹) ve sıcaklık (293 ve 318 K) parametrelerinin etkisi kesikli bir proseste incelenmiştir. İstenilen konsantrasyonda bakır çözeltisi stoktan seyreltme yapılarak hazırlanmış, çözelti çalışılacak pH değerine ayarlanmış ve çözeltiden 50 mL alınarak 250 mL'lik bir erlene konulmuş ve ısı ekipmanına sahip çalkalayıcı (Edmund Böhler GmbH TH 15) içine yerleştirilmiştir. Erlen içeriği çalışma sıcaklığına ulaşıncaya, belirlenen miktarda aktifleştirilmiş karbon ilave edilmiş ve 170 dev dk⁻¹ sallama hızında 6 saat bekletilmiştir. Deney sonunda çözelti süzülerek süzütüdeki Cu⁺² miktarı atomik adsorpsiyon cihazı (Shimadzu Model AA-670) ile belirlenmiş ve adsorpsiyon kapasitesi (mg Cu⁺² g⁻¹ aktif karbon) hesaplanmıştır (Eşitlik 4).

Adsorpsiyon İzotermeleri

Adsorpsiyon izotermeleri adsorbat ile adsorbent arasındaki denge ilişkisini belirlemek için kullanılır. Bu çalışmada Langmuir ve Freundlich izotermeleri deneysel verilere uygulanarak denklem sabitleri belirlenmiştir. Langmuir ve Freundlich izotermelerinin lineer formülleri sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_o b} + \frac{C_e}{Q_o} \quad (5)$$

C_e denge konsantrasyonu (mg L⁻¹), Q_o tek tabaka adsorpsiyon kapasitesi (mg g⁻¹), b serbest adsorpsiyon enerjisi ile ilişkili Langmuir sabitidir (L mg⁻¹).

$$\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (6)$$

k_f adsorbentin adsorpsiyon kapasitesini gösteren bir sabit (mg g⁻¹), $1/n$ adsorpsiyon gücünü gösteren bir sabittir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Optimizasyon Değerleri

Değişkenler ve onların düşük, orta ve yüksek değeri Çizelge 1, tasarım planı ise Çizelge 2' de verilmiştir. Çizelge 2'ye göre yapılan deneyler sonunda üretilen aktif karbonların yükleme kapasiteleri belirlenmiş ve bu denemeler sonucu elde edilen verilere göre hesaplanan varyans analiz sonuçları Çizelge 3' te gösterilmiştir.

Çizelge 1. Aktif Karbon üretmek için kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre	Alt sınıır (-)	Orta değer (0)	Üst sınıır (+)
X ₁ :Tane boyutu (mm)	1.54	1.30	1.09
X ₂ :mL asit g ⁻¹ kabuk	0.50	0.75	1
X ₃ :Sıcaklık (K)	373	423	473
X ₄ :Zaman (saat)	6	15	24

Çizelge 2. Tasarım planı ve plana göre üretilen aktif karbonların yükleme kapasiteleri

Deney No	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	q _e (mg g ⁻¹)
1	+	+	+	+	25.14
2	+	+	-	-	22.01
3	+	-	+	-	4.18
4	+	-	-	+	15.31
5	-	+	+	-	11.96
6	-	+	-	+	25.87
7	-	-	+	+	16.82
8	-	-	-	-	9.39
9	0	0	0	0	17.59
10	0	0	0	0	16.94
11	0	0	0	0	17.93
				Ham İnce	4.61
				Ham Kaba	2.98

Çizelge 3. Varyans analiz sonuçları

Parametre	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalama	F	
X ₁	0.845	1	0.845	3.339	Etkin deęil
X ₂	192.865	1	192.865	762.312	Etkin
X ₃	26.208	1	26.208	103.589	Etkin
X ₄	158.42	1	158.42	629.166	Etkin
Model Uyuşmazlığı	2.609	1	2.609	10.312	Etkin deęil
Etkileşim	35.60	3	11.86	46.877	Etkin deęil
Saf Hata	0.506	2	0.253		
Toplam	417.053				

F_{1,2,0,99} = 98.50
F_{3,2,0,99} = 99.17

Esnek simpleks yöntemi ile ikinci seri deneyleri yapılmış, etkin olan parametrelerin (X_2, X_3, X_4) yenilenen değerleri kodlanmış olarak tepe noktasında $X_c=(0,0,0)$ yansıtma(R), genişletme(E), ve daralma(C) yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir. %99 güven aralığında

maksimum adsorpsiyon kapasitesini sağlayan optimum koşullar; asit/kabuk=0.792 mL g^{-1} , sıcaklık=431.3 K, fırında kalma süresi=7.45 saat olarak belirlenmiştir. Bu koşullarda üretilen aktif karbonun maksimum adsorplama kapasitesi 30 mg g^{-1} olarak bulunmuştur.

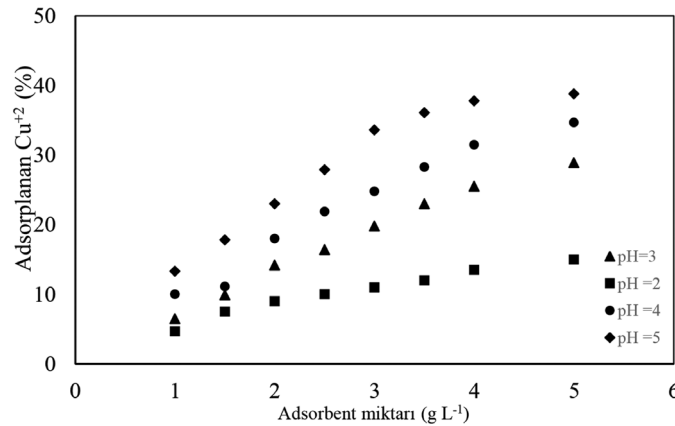
Çizelge 4. Esnek Simpleks yöntemine göre optimizasyon planı ve elde edilen sonuçlar

Deney No	Kodlanmış			Mutlak			q_e (mg g^{-1})	Ek Bilgi
	X_2	X_3	X_4	X_2	X_3	X_4		
12	-0.5	-0.5	-0.5	0.625	398	10.5	29.59 max.	Başlangıç
13	0.833	-0.166	-0.166	0.960	415	1.9	25.01	0 $X_2=0.75 \text{ mL g}^{-1}$
14	-0.166	0.833	-0.166	0.710	465	13.5	17.76	0 $X_3= 423 \text{ K}$
15	-0.166	-0.166	0.833	0.710	415	2.5	16.15 min.	0 $X_4=15 \text{ saat}$
16	0.166	0.166	-0.833	0.792	431.3	7.45	30.05	R($\alpha=1$)
17	0.249	0.249	-1.250	0.812	435.5	3.75	17.17	E($\alpha=1$)
18	0.832	0.083	-0.666	0.958	427.2	9	23.39	R($\alpha=1$)
19	0.113	0.458	-0.291	0.778	446	12.4	14.40	C($\alpha=0.5$)
20	-0.167	0.332	-0.666	0.708	440	9	16.25	R($\alpha=1$)
Ek Denemeler	3	-1	+1	1.5	373	24	30.33	
	5	-1	+1	2.0	373	24	30.47	
	7	-1	+1	2.5	373	24	30.70	
	9	-1	+1	3.0	373	24	30.86	

Bakır Adsorpsiyonu Üzerine Parametrelerin Etkisi

Cu^{+2} adsorpsiyonu üzerine aktif karbon miktarının etkisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Aktif karbon miktarındaki artış çözeltiden uzaklaştırılan Cu^{+2} miktarını artırmıştır. Uzaklaştırılan Cu^{+2} yüzdesindeki bu değişim, aktif

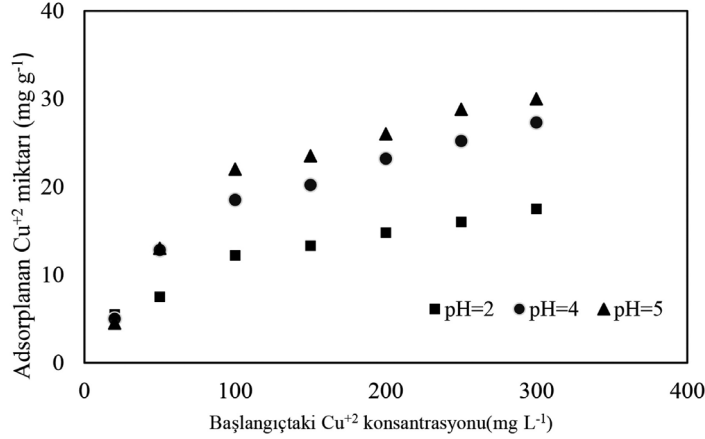
karbonun miktarının artışı ile yüzey alanı ve aktif merkezlerin sayısının artışı ile açıklanabilir. Ayrıca, aynı karbon miktarında pH değerindeki artış verimi artırmıştır. pH 5'te uzaklaştırılan Cu^{+2} miktarı %39.3 iken pH 2 de bu değer %14.8 olarak bulunmuştur. Düşük pH değerleri daha düşük adsorpsiyon ile sonuçlanmıştır.



Şekil 1. Aktif karbon miktarının Cu^{+2} adsorpsiyonu üzerine etkisi (Cu^{+2} konsantrasyonu= 250 mg L^{-1} , $T=293 \text{ K}$)

Şekil 2, çeşitli pH değerlerinde bakırın adsorpsiyonu üzerine başlangıç konsantrasyonunun etkisini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi 250 mg L⁻¹ konsantrasyona kadar adsorplanan Cu⁺²

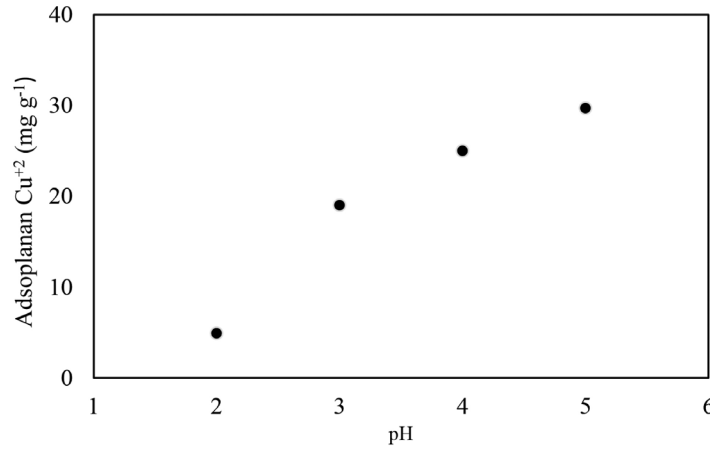
miktarı, konsantrasyon artışı ile artarken, daha büyük konsantrasyonlarda adsorplanan değer neredeyse sabitlenmiştir. Düşük pH değerlerinde bu eğilim daha belirgindir.



Şekil 2. Cu⁺² adsorpsiyonu üzerine Cu⁺² konsantrasyonunun etkisi (karbon miktarı=3 g L⁻¹, T=293 K)

Şekil 3' den görüldüğü gibi artan pH değeri Cu⁺² adsorpsiyonunu artırmıştır. Benzer sonuçlar Şekil 1 ve 2' de de gözlenmiştir. Çözelti pH'sı metal ve aktif karbonun bağlayıcı sitelerini etkiler. Cu⁺² üzerine pH'nın etkisi elektrostatik etkileşim ile açıklanabilir; düşük pH larda aktif karbon yüzeyi hidronyum iyonu

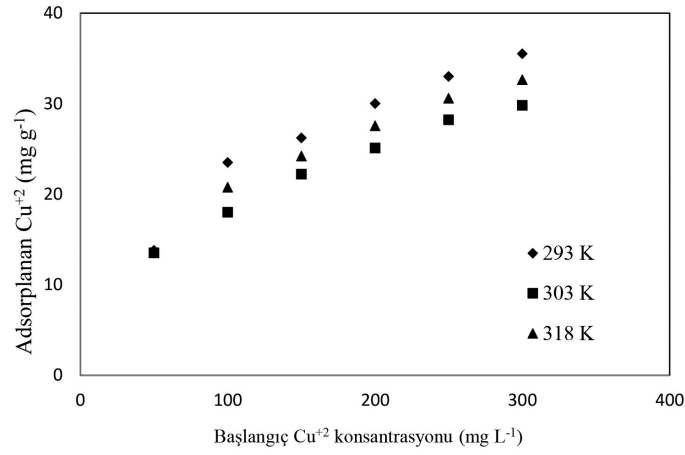
(H₃O⁺) ile sarıldığı için pozitif yüklenir ve katyon ile aralarında elektrostatik itmeler meydana gelir. Yüksek pH değerlerinde aktif karbonun yüzeyinde daha çok fonksiyonel grup, yüzey üzerindeki hidrojen iyonu ile metal iyonunu yer değiştirmesinden dolayı daha fazla metali bağlaması ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 3. Cu⁺² adsorpsiyonu üzerine pH'nın etkisi (Cu⁺²=250 mg L⁻¹, T=293 K, karbon miktarı=3 g L⁻¹)

Şekil 4, 293 303 ve 318 K sıcaklıklardaki adsorpsiyon izotermi göstermektedir. Sıcaklıktaki 25 K'lik artış adsorpsiyon kapasitesinde %19.3'lük

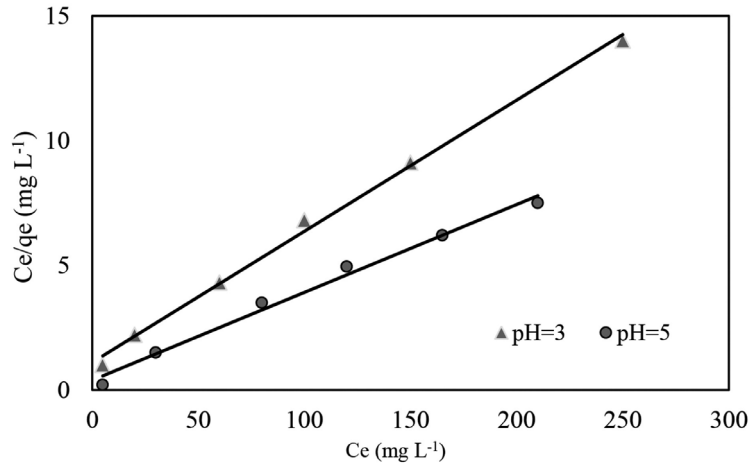
bir artış meydana getirmiştir. Artan sıcaklıkla adsorpsiyonun artışı olayın endotermik olduğunun göstergesidir.



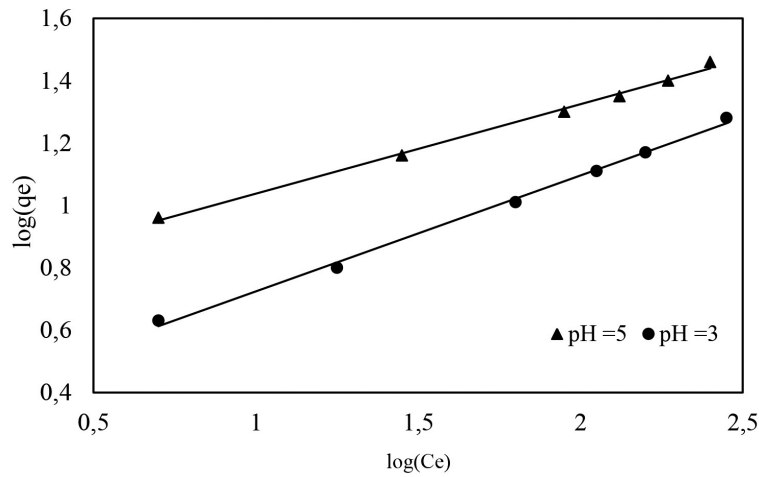
Şekil 4. Cu^{+2} adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi ($\text{Cu}^{+2}=250 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{pH}=5$, karbon miktarı= 3 g L^{-1})

Adsorpsiyon İzotermeleri

Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermeleri üzerine pH 'nin etkisi 293 K'de ve pH 'nin 3 ve 5 değerlerinde incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5 ve 6'da gösterilmiştir.

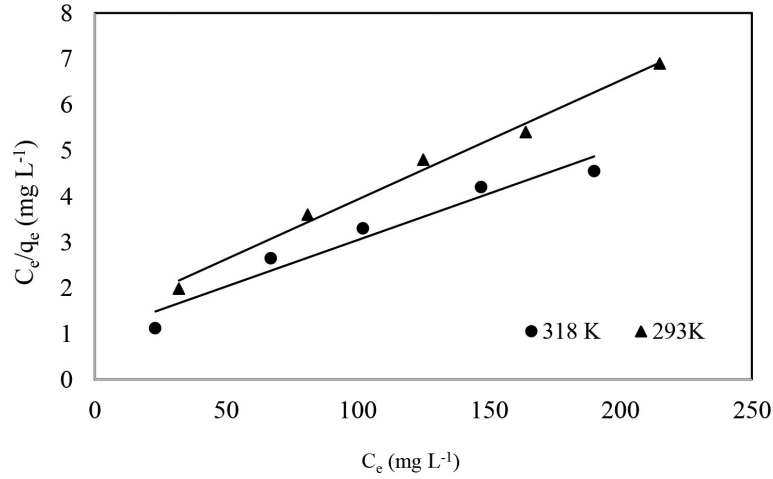


Şekil 5. Farklı pH değerlerinde Cu^{+2} adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi ($T=293 \text{ K}$, karbon miktarı= 3 g L^{-1})

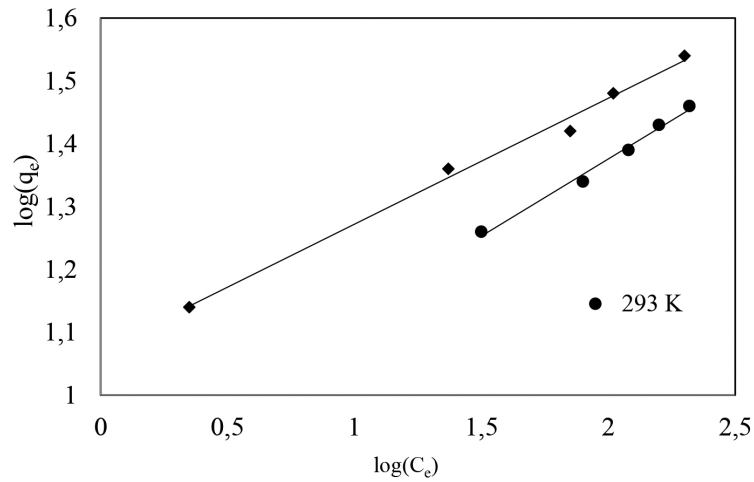


Şekil 6. Farklı pH değerlerinde Cu^{+2} adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi ($T=293 \text{ K}$, karbon miktarı= 3 g L^{-1})

Sıcaklığın izotermeler üzerinde etkisi, 293 ve 318 K sıcaklıklarda çalışılmış ve sonuçlar Şekil 7 ve 8’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Farklı sıcaklıklarda Cu²⁺ adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi (pH=5, karbon miktarı=3 g L⁻¹)



Şekil 8. Farklı pH değerlerinde Cu²⁺ adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi (pH=5 karbon miktarı=3 g L⁻¹)

Her iki izoterm için sabitler R^2 değerleri ile birlikte Çizelge 5 ve 6’da verilmiştir. R^2 değerlerine bakıldığında, verilerin her iki izotermeye iyi bir uyum göstermiştir (Milenkovic at al., 2009). Bununla birlikte

yüksek pH ve daha yüksek sıcaklıklarda Freundlich izotermine daha çok uyduğu gözlemlenmiştir. Artan sıcaklıkla Q_0 değerinin artışı adsorpsiyon olayının endotermik olduğunu desteklemektedir (Başar, 2006).

Çizelge 5. Farklı pH değeri için Langmuir ve Freundlich Sabitleri

pH	Langmuir Sabiti			Freundlich Sabiti		
	Q_0	b	R^2	n	k_f	R^2
3	19.80	0.044	0.99	2.630	2.566	0.97
5	31.82	0.057	0.98	3.749	7.138	0.99

Çizelge 6. Farklı sıcaklıklar için Langmuir ve Freundlich Sabitleri

Sıcaklık (K)	Langmuir Sabiti			Freundlich Sabiti		
	Q_0	b	R^2	n	k_f	R^2
293	31.82	0.057	0.98	3.749	7.138	0.99
318	38.84	0.051	0.94	4.729	11.520	0.99

SONUÇ

Bu çalışmada fındık kabuğundan aktif karbon üretimi fraksiyonel faktöryel yöntemi ile gerçekleştirilmiş ve optimum koşulların belirlenmesi için esnek simpleks yöntemi kullanılmıştır. Optimum optimum koşullar: emdirme oranı 0.792 (mL asit g⁻¹ kabuk), sıcaklık 431.3 K ve fırında tutulma süresi 7.45 saat olarak bulunmuştur ve bu şartlarda üretilen aktif karbonun Cu⁺² adsorplama kapasitesi; pH 5, 293 K sıcaklık, 250 g L⁻¹ bakır konsantrasyonu ve 3 g L⁻¹ aktif karbon miktarında 30 mg g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Artan pH ve sıcaklık bakır adsorpsiyonunu artırmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermine uygulanmış ve verilerin her iki izotermle uyumlu olduğu bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Abbasa M, Kaddourb S, Traric M, 2014. Kinetic and equilibrium studies of cobalt adsorption on apricot stone activated carbon. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(3): 745–751.
- Başar CA, 2006. Applicability of the various adsorption models of three dyes adsorption onto activated carbon prepared waste apricot. *Journal of Hazardous Materials B*, 135: 232-241.
- Bayramoğlu M, Akçay M, 1991. Değişik deneysel optimizasyon yöntemlerinin karşılaştırılması. *I.T.Ü*, 49(3): 8-16.
- Bello G, Cid R, Garcia R, Arriagada R, 1999. Retention of Cr(VI) and Hg(II) in Eucalyptus globulus- and peach stone-activated carbons. *J.Chemical Technology and Biotechnology*, 74(9): 904–910.
- Blázquez G, Calero M, Ronda A, Tenorio G, Martín-Lara M. A, 2014. Study of kinetics in the biosorption of lead onto native and chemically treated olive stone. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 24(5): 2754-2760.
- Demirbaş A, 1998. Kinetics for non –isothermal flash pyrolysis of hazelnut shell. *Bioresour. Technol.* 66:247-252.
- Demirbaş E, Kobya M, Konukman AES, 2008. Error analysis of equilibrium studies for the almond shell activated carbon adsorption of Cr(VI) from aqueous solutions. *J. Hazard. Mater*, 154: 787-794.
- Demirbaş E, Dizge N, Sulak MT, Kobya M, 2009. Adsorption kinetics and equilibrium of copper from aqueous solutions using hazelnut shell activated carbon. *Chem. Eng J.*, 148: 480-487.
- Li K, Zhengb Z, Li Y, 2010. Characterization and lead adsorption properties of activated carbons prepared from cotton stalk by one-step H₃PO₄ activation. *J. Hazard. Mater.* 181: 440-447.
- Martínez ML, Torres MM, Guzmán CA, Maestri DM, 2006. Preparation and characteristics of activated carbon from olive stones and walnut shells. *Ind. Crops and Products*. 23: 23-28.
- Milenkovic DD, Dasic PV, Veljkovic VB, 2009. Ultrasound-assisted adsorption of copper(II) ions Shell activated carbon. *Ultrasonic Sonochemistry*. 16: 557-563.
- Rambabu N, Rao BVSK, Surisetty VR, Das U, Dalai AK, 2015. Production, characterization, and evaluation of activated carbons from de-oiled canola meal for environmental applications. *Ind. Crops and Products*. 65: 572-581.
- Spahis N, Mahmoudi AH, Ghaffour N, 2008. Purification of water by activated carbon prepared from olive Stones. *Desalination* 222: 519-527.