

Araştırma / Research

İŞLEM GÖRMEMİŞ Ca-BENTONİT ÜZERİNE ÇİNKO ADSORPSİYONUNUN REAKSİYON KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

Yasemen KALPAKLI¹ (ORCID: 0000-0002-1300-2289)*

¹Kimya Mühendisliği Bölümü, Kimya Metalürji Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Geliş / Received: 08.02.2018
Kabul / Accepted: 26.03.2018

ÖZ

Artan çevre kirliliği nedeniyle doğal adsorbantlar önemli ve tercih edilen materyaller sınıfında yer almaktadır. Çinko, öncelikli kirleticiler listesinde yer alan toksik ağır metaldir. Bu çalışmada doğal bir kil minerali olan Kütahya yöresi kalsiyum bentoniti (Ca-bentonit) kullanılarak çinkonun sulu çözeltilerden uzaklaştırılması çalışılmıştır. Ca-Bentonit, X-ray difraksiyonu (XRD), X-ray floresans (XRF), partikül boyutu dağılımı analizi, spesifik yüzey alanı (BET) ve katyon değiştirme kapasitesi(KDK) yöntemleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Adsorpsiyon prosesi üzerinde etkili olan; pH, başlangıç metal iyon konsantrasyonu, adsorbant miktarı, reaksiyon zamanı gibi faktörler kesikli çalışma prosesinde incelenmiştir. Sonuçlar düşük pH değerlerinde bentonitin adsorpsiyon davranışını yöneten mekanizmanın kristal yapının çözünmesi ve metal iyonlarının H⁺ ile rekabeti yönünde olduğunu göstermektedir. Adsorpsiyon üzerinde en etkin parametrenin pH olduğu belirlenmiştir.

Deneysel veriler Langmuir ve Freundlich izotermi uygulanarak adsorpsiyon davranışı tanımlanmıştır. Deneysel sonuçların Langmuir ve Freundlich izotermi her ikisine birden uyduğu ancak çinkonun adsorplanma davranışının Langmuir izotermi ile daha iyi uyumlu olduğu yönündedir. Bentonitin sulu çözeltilerden Zn(II) uzaklaştırılmasında etkili bir adsorbant olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, bentonit, ağır metal giderimi, adsorpsiyon izotermi, çinko

DETERMINATION OF REACTION CONDITIONS OF THE ZINC ADSORPTION ONTO RAW Ca-BENTONITE

ABSTRACT

Natural adsorbents has become more important and such a considering position that is because of increasing pollution of environment. Zinc, which is listed as prior contaminant by many agencies, is a toxic heavy metal. In this study, zinc adsorption performance of raw Ca-Bentonite obtained from Kütahya region of Turkey was investigated using batch adsorption method. X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), particle size distribution analysis, specific surface area (BET) and Cation Exchange Capacity (CEC) characterized Ca-bentonite. In batch experiments, all factors that affected adsorption process such as pH, initial metal ion concentration, adsorbent doses, and contact time were optimized. The most effective parameter on adsorption was determined as pH. The adsorption behavior of bentonites at low pH values is determined as dissolution of crystal structure and competition of the metal ions with the H⁺. In conclusion, raw Ca-bentonite is adsorbed successfully under the optimized reaction conditions, and adsorption behavior of Zn(II) is well-fitted by the Langmuir isotherm.

Keywords: Adsorption, bentonite, heavy metal removal, adsorption isotherms, Zinc

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 212 383 47 51; e-mail / e-posta: kalpakli@yildiz.edu.tr

Y. KALPAKLI

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojinin insan yaşantısına getirdiği rahatlık yanında, bu gelişmenin doğaya verdiği kirliliğin boyutu her geçen gün hızla artmaktadır. Çeşitli kaynaklardan çıkan katı, sıvı ve gaz halindeki kirletici maddelerin hava, su ve toprağa yüksek oranda karışması çevre kirliliğine neden olmaktadır. Özellikle sanayi kuruluşlarının sıvı atıkları ile su kirliliğine ve su kirliliğine bağlı, toprak ve bitki örtüsü üzerinde aşırı kirlenmelere neden olduğu hızlı bir şekilde çevrenin tahribine yol açtığı bilinmektedir. Su kirliliğine etki eden unsurlar; sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı, ziraî mücadele ilaçları ve kimyasal gübreler olarak gruplandırılabilir[1].

Ağır metaller, su kaynaklarına, endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının toprağı ve dolayısı ile bileşimde bulunan ağır metalleri çözmesi ve çözünen ağır metallerin ırmak, göl ve yeraltı sularına ulaşmasıyla geçerler. Bu kirliliği içeren atık sular biyolojik oksijen ihtiyacı değeri düşük, genellikle asidik, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için çok zehirli, kendi kendine temizlenme veya arıtmada etken mikroorganizmaları öldürücü nitelikte inorganik karakterli sulardır [2]. Ağır metallerin toksik etkileri her metalin özelliğine göre değişmektedir. Ancak genel olarak metallerin hepsi birden fazla organ ve sistemi etkilemektedir. Toksik ağır metaller; sinirlere ve kemiklere zarar vermekte, vital enzim gruplarının fonksiyonlarını bloke etmekte ve kansere neden olmaktadır. Bununla birlikte ağır metaller böbrek işlevselliğinin son bulmasına, karaciğer, beyin ve merkezi sinir sisteminin zarar görmesine de sebebiyet vermektedirler [3].

Çinko madenleri ve metal işletmeleri, çinko ve pirinç kaplama sanayi, galvanizleme endüstrisi, asidik maden drenajları, viskoz rayon fabrika atık sularında istenmeyen ölçüde çinko (II) kirliliğine rastlanmaktadır. Metal temizleme atık sularında 10- 100 mg/L, metal işleme atık sularında 8- 400 mg/L, rayon atık sularında 20- 120 mg/L arasında çinko kirliliğine rastlanmaktadır [4].

Tablo 1. İçme suları başta olmak üzere sulardaki çinko standartları

	<i>İçme Suyu Standardı (WHO)</i>	<i>İçme Suyu Standardı (EPA)</i>	<i>Kanalizasyon Sistemleri Tam Arıtma ile Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde</i>	<i>Kanalizasyon Sistemleri (Ön Arıtma + Derin Deniz Deşarjı) ile Sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesislerinde</i>
<i>Müsaade Edilen Çinko Miktarı (ppm)</i>	3	5	10	10

Killer gerek adsorpsiyon ve gerekse iyon değişimi yoluyla sulu çözümlerdeki kirliliklerin uzaklaştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek yüzey alanı ve iyi adsorpsiyon kapasitesi nedeniyle, bentonit (ana fazı montmorillonit) pekçok uygulama için en çok tercih edilen kil mineraldir [5, 6].

Bentonitler, içerisinde bol camsı malzeme bulunan volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal yolla ayrışması sonucu meydana gelirler. Bentoniti oluşturan montmorillonit iki tetrahedral tabaka arasında yer alan oktahedral tabakadan meydana gelmektedir. Montmorillonit'in kristal yapısına göre smektit grubundaki killerin teorik formülü; $[Al_4Si_8O_{20}(OH)].nH_2O$ şeklindedir. Si-O tetrahedral yapığında oksijen atomları aralarında bir silis atomu bulunan düzgün dörtyüzlünün dört köşesine yerleşmişlerdir. Her tetrahedral dizilişte dört oksijen atomundan üçü komşu tetrahedral tarafından paylaşılır. Dördüncü oksijen atomu aşağıya ve yukarıya doğru yönelmiştir. Bir yapraktaki tetrahedrallerin tabanları aynı yöne yönelmiştir. Tetrahedraller üstten bakıldığında, heksagonal bir ağ oluşturacak şekilde birbirine bağlanmışlardır. Al-O-OH (gibsit) oktahedral yapraklarında, Al merkezde olmak üzere düzgün bir sekizyüzlünün köşelerinde oksijen atomları veya OH grupları vardır. Silika ve alümina tabakaları arasında kuvvetli bir iyonik bağ olmasına karşın birim tabakalar birbirine zayıf Van der Waals kuvveti ile bağlanmıştır. Aralarında su molekülü ve yapılarında pozitif yük noksanlığını karşılayan değişebilen katyonlar bulunur. Su ve organik maddeler bu birim tabakalar arasına girerek yapının C-ekseni yönünde genişlemesine neden olur [7, 8].

Literatürde; Cu, Pb, Cd, Ni, Co, As gibi ağır metallerin bentonit adsorpsiyonu ile sulu çözümlerden uzaklaştırılması ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur[9,10,11]. Ancak Zn(II) içeren atık sularda bentonitin adsorpsiyon davranışı ve performansının incelendiği araştırmalar oldukça sınırlıdır. Bu araştırmanın temel amacı, Kütahya yöresi Ca-bentonitinin Zn(II) adsorpsiyon kapasitesini incelemektir. Bu nedenle, ayrıntılı bir çalışma düzeni içinde adsorpsiyon özellikleri: pH, temas süresi, başlangıç metal iyon konsantrasyonu ve bentonit miktarının etkisini belirlemek üzere yürütülmüştür. Deneysel sonuçlar Langmuir ve Freundlich denklemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Zn(II) adsorpsiyonunda Langmuir izoterminin Freundlich izotermini ile karşılaştırıldığında çok iyi matematiksel uyum gösterdiği belirlenmiştir.

İŞLEM GÖRMEMİŞ Ca-BENTONİT ÜZERİNE ÇİNKO ADSORPSİYONUNUN REAKSİYON KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

2. MATERYAL VE METOT

Yapılan deneysel çalışmada sulu çözeltilerdeki Zn(II)'nin uzaklaştırılması için Eczacıbaşı/ ESSAN firmasından temin edilen Kütahya yöresine ait bentonit cevheri kullanılmıştır. Bentonit cevheri XRF, XRD, partikül boyutu dağılımı, (KDK) ve yüzey alanı ölçümleri yapılarak karakterize edilmiştir. Sulu çözeltilerdeki Zn(II)'nin uzaklaştırılmasında kesikli çalışma metodu uygulanmıştır. Optimum koşulları belirlemek amacıyla pH, adsorbant miktarı, başlangıç konsantrasyonu ve temas süresi incelenmiştir. Bütün denemeler 400 rpm karıştırma hızında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneme bitiminde katı fazın filtrasyonundan sonra sıvı fazdaki Zn(II) içeriği atomik adsorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak belirlenmiştir.

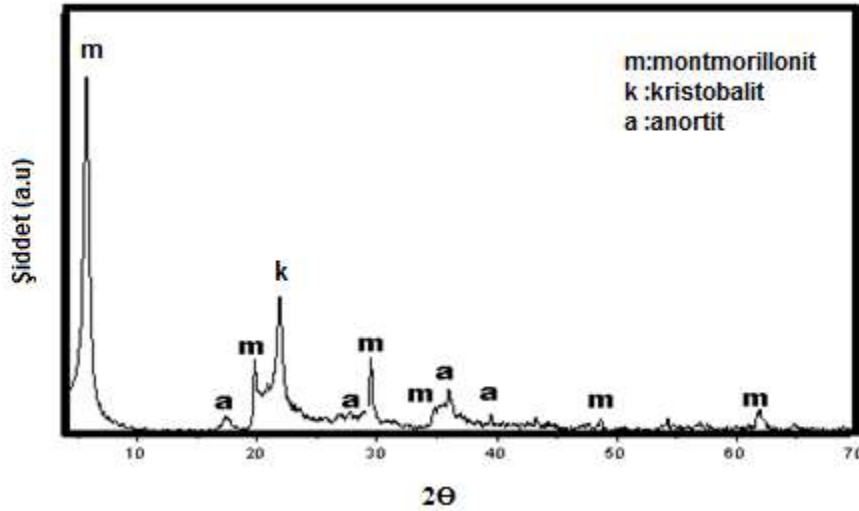
Laboratuvar cam ekipmanları temizleme asidi ile muamele edilip ardından saf su ile durulanıp kurutucuda kurutulup kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan Zn(II) (1000 mg l^{-1}) stok çözeltileri $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ çözeltilisinden hazırlanmıştır.

Bentonitin kimyasal bileşimi, bir Spectro-IQ2 tipi XRF spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Minerolojik içerik, X-ışınları analizi PRO'Pert X PanalyticalTM cihazı ile 40 mA ve 40 kV ayarı kullanılarak, 2θ aralığı 0-90 arasında yapılmıştır. Yüzey alanı Quantacherome marka Autosorb Automated Gas Sorption System ile tek standart-nokta yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Partikül boyutu dağılımı analizi Malvern marka Mastersizer 2000 modeli cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Element analizlerinde Perkin Elmer marka AAnalyst 200 model alevli AAS cihazından yararlanılmıştır. Multielement (Fe, Cu, Mn, Zn) halo katot lambası ve yakıt olarak hava-asetilen karışımı kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3. 1. Bentonit Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Kütahya bentonitinin minerolojik bileşim XRD analizi yoluyla belirlenmiş ve Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de; montmorillonit, kristobalitin ve anortitin ana pikleri ($2\theta = 5,729^\circ$), ($2\theta = 21,48^\circ$) ve ($2\theta = 28,032^\circ$) değerlerinde tanımlanmıştır.



Şekil 1. Ca-bentonitinin (Kütahya) XRD grafiği

Ca-bentonitin kimyasal bileşimi Tablo 1' de gösterilmektedir. En bol bulunan mineraller SiO_2 ve Al_2O_3 'tür, diğer mineraller nadir miktarlardadır. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oranının yüksek olması numunenin kristobalit içeriğinden kaynaklı olabilir.

Çalışmada kullanılan Kütahya yöresine ait işlem görmemiş Ca- bentonitin katyon değişim kapasitesi (KDK) $95.2 \text{ meq/ } 100 \text{ gr}$, BET yüzey alanı ise $74.05 \text{ m}^2/\text{gr}$ olarak ölçülmüştür. Bu değerler, Pawar ve arkadaşlarının [12] yaptığı çalışmada batı Hindistandaki Kutch bölgesinden elde edilen işlem görmemiş bentonit ile mukayese edildiğinde; $92.0 \text{ m}^2/\text{g}$ olarak verilen yüzey alanına göre daha yüksek yüzey alanına ve $75 \text{ meq/ } 100 \text{ gr}$ olarak verilen katyon değişim kapasitesine (KDK) ise yaklaşık eşit olduğunu göstermektedir.

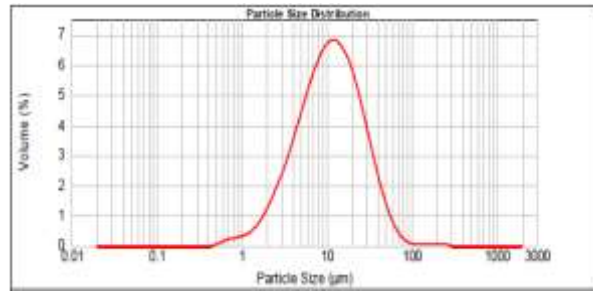
Y. KALPAKLI

Tablo 1. Ca-bentonitin (%) kimyasal bileşimi

<i>Kimyasal bileşim (%)</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>TiO₂</i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>Na₂O</i>	<i>K₂O</i>	<i>AZ.(LOI)*</i>
<i>Ca-bentonit</i>	66.40	13.15	0.69	0.02	4.18	3.5	0.13	0.58	11.25

* Ateş ziyatı; loss of ignition

Kütahya yöresine ait Ca-bentonitin partikül boyutu dağılımı grafiği Şekil 2' de verilmektedir. Partikül boyutu dağılımı grafiğine göre en küçük partikül boyutu 0.550 µm; en büyük partikül boyutu ise 239.883 µm olarak ölçülmüştür. Hacimce en yüksek oranda partikül boyutu 11.482 ile 15.136 µm aralığında tespit edilmiştir. Partikül boyutu dağılımı analizi esnasında bentonitin dış yüzey alanı 2.43 m²/g olarak ölçülmüştür.

**Şekil 2.** Ca-bentonitin partikül boyutu dağılımı grafiği

Tablo 2'de hacimce partikül boyutu yüzde dağılımları verilmektedir. Tablo 2'ye göre, Ca-bentonitin hacimce %10'u 3.260 µm, % 50'si 10.989 µm ve % 90'ı 31.812 µm büyüklüğündedir

Tablo 2. Ca-Bentonitin partikül boyutu hacimce (%) dağılımı

<i>d (%)</i>	<i>d(0.1)</i>	<i>d(0.5)</i>	<i>d(0.9)</i>
<i>Ca-Bentonit</i>	3.260(µm)	10.989(µm)	31.812(µm)

3.2. Optimum Proses Koşullarının Belirlenmesi

a. Zn(II) adsorpsiyonuna pH etkisi

Çinko giderimi üzerinde pH etkisini incelemek amacıyla Tablo 3'de verilen çalışma şartlarında çalışılmıştır.

Tablo 3. Zn(II) adsorpsiyonuna pH etkisi çalışma şartları

<i>İncelene pH aralığı</i>	<i>Başlangıç konsantrasyonu</i>	<i>Adsorbant miktarı</i>	<i>Reaksiyon süresi</i>
3-8	10 mgL ⁻¹	0.1 gL ⁻¹	25 dak

Çözeltilerin pH'larının ayarlanması için 0.1 N HNO₃ - 0.1 N NaOH çözeltileri kullanılmıştır. Mendioroz at. all 1987 [13] bentonitin üç'ün altındaki pH değerlerinde ki çözeltilerde muhtemelen asit saldırısına uğradığını açıklamıştır. Bu nedenle pH<3 değerindeki Zn(II) çözeltileri incelenmemiştir.

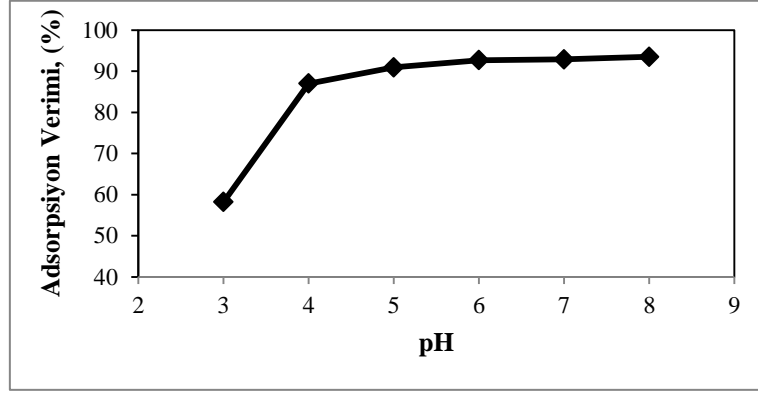
Şekil 3.'de verilen pH ile adsorpsiyon verimi (%) değişim grafiği incelendiğinde pH'nın 3 den 8'e artmasıyla adsorpsiyon veriminin arttığı gözlenmektedir. Düşük pH değerlerinde verim düşüktür.

pH'nın etkisi adsorbantın tipine (yüzey fonksiyonel gruplarına), çözeltideki davranışına ve adsorbe edilen iyonların tipine göre değişmektedir. pH<3 değerlerinde adsorbant yüzeyindeki adsorpsiyon alanları için H⁺ ve Zn⁺² iyonları arasında rekabet yüksek olduğundan adsorpsiyon verimi düşük olabilmektedir. pH arttıkça daha negatif yüklü yüzey bölümleri oluşabilir böylece daha fazla Zn(II) adsorpsiyonu mümkün olabilmektedir.

Şekil 3. incelendiğinde en yüksek adsorpsiyon %92.67 ile pH=6.0 değerindedir. Bu sonuç Kütahya yöresi Ca-bentonitinin adsorpsiyon mekanizmasının pH tarafından kontrol edildiğinin kanıtıdır.

Zn(II)'nin sulu çözeltilerinde baskın türler Zn(OH)₂, Zn(OH)₃⁻ and Zn(OH)₄²⁻dir[14]. Bu bilgi, Ca-bentonit çevresindeki aşırı hidroksit iyonlarının bentonite tamponlama etkisi yaptığı ve bu nedenle bentonit yüzeyinde çinko çökeltilerinin meydana gelmesine neden olduğuna işaret etmektedir[15].

İŞLEM GÖRMEMİŞ Ca-BENTONİT ÜZERİNE ÇİNKO ADSORPSİYONUNUN REAKSİYON KOŞULLARININ BELİRLENMESİ



Şekil 3. Bentonit üzerine Zn(II) adsorpsiyonuna pH etkisi

Zn(II) gideriminin başlangıç çözelti pH değerine bağlı olarak adsorpsiyon ve çökelme olarak ilerlediği söylenebilir[16]. Zn(II) giderimi pH=6.0 da sadece adsorpsiyonla meydana gelmektedir. $pH \geq 7$ de $Zn(OH)_2$ çökmesi Zn(II) gideriminde ana rolü üstlenmektedir[17].

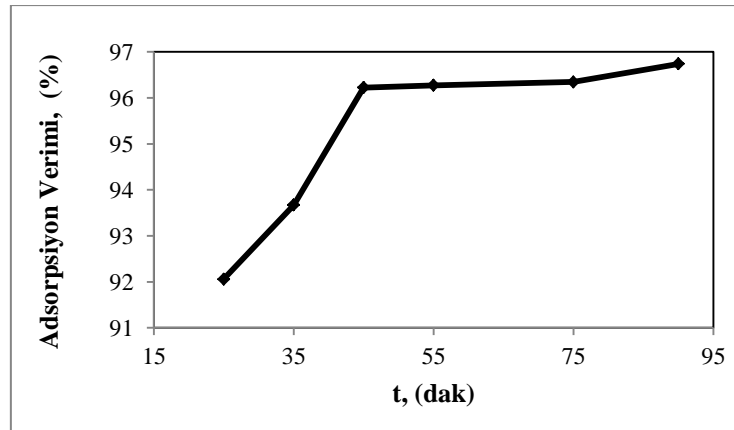
b. Çözeltideki Zn(II) konsantrasyonunun zamanın fonksiyonu olarak değişimi

Zn(II)'nin Ca-bentonit üzerine adsorpsiyonu 90 dak. süreyle incelenmiştir. Deneme çalışma şartları Tablo 4 'de verilmektedir.

Tablo 4. Zn(II) adsorpsiyonunda denge süresinin belirlenmesi çalışma şartları

İncelene reaksiyon süresi aralığı	Başlangıç konsantrasyonu	Adsorbant miktarı	pH
25-90 dak	10 mgL ⁻¹	0.1 gL ⁻¹	6.0

Şekil 4. incelendiğinde 45 dak. da dengeye ulaşıldığı ve adsorpsiyon veriminin bundan sonra herhangi bir değişim göstermediği belirlenmiştir. Bu nedenle, adsorplanmamış Zn(II) konsantrasyonu 45 dak.'nın sonunda denge değerlerini vermektedir (q_e , mg g⁻¹; C_e , g L⁻¹). 10 mgL⁻¹ başlangıç Zn(II) konsantrasyonu için pH= 6.0 da ve 0.1mgL⁻¹ Ca-Bentonit için denge zamanı 45 dak. olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Bentonit üzerine Zn(II) adsorpsiyonuna temas süresinin etkisi

c. Adsorbant miktarının etkisi

Çinko giderimi üzerinde adsorbant miktarının etkisinin belirlenmesi amacıyla Tablo 5'de verilen çalışma şartlarında çalışılmıştır.

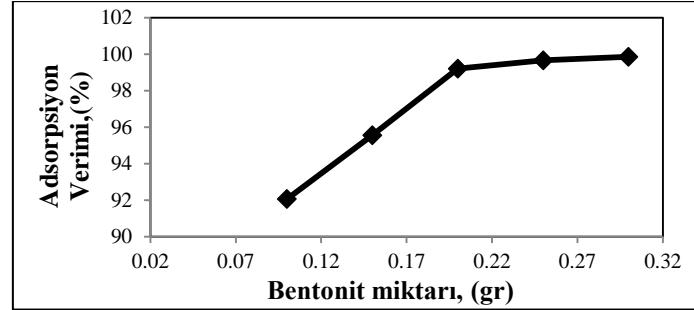
Tablo 5. Zn(II) adsorpsiyonuna adsorbant miktarının etkisinin belirlenmesi çalışma şartları

İncelenen adsorbant miktarı aralığı	Başlangıç konsantrasyonu	Reaksiyon süresi	pH
0.1 – 0.3 g L ⁻¹	10 mgL ⁻¹	45 dak.	6.0

Y. KALPAKLI

Yapılan deney sonucunda çinko adsorpsiyonu veriminin (%) artan bentonit miktarıyla arttığı belirlenmiştir.

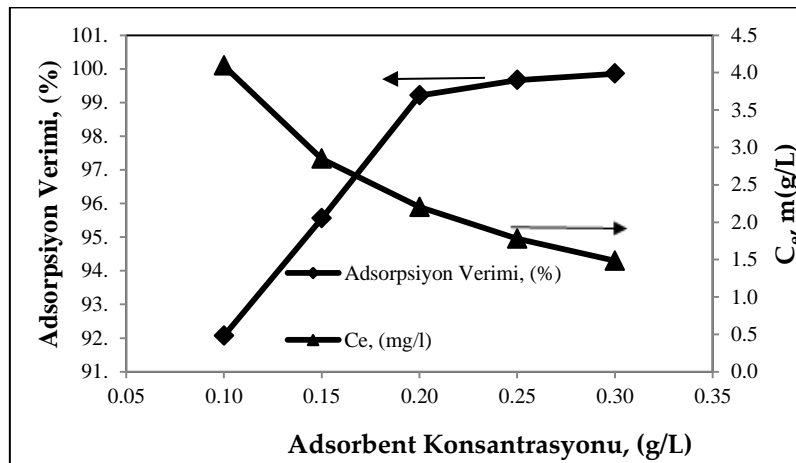
Adsorbant miktarının adsorpsiyon verimine ve denge konsantrasyonuna etkisi Şekil 5. ve Şekil 6. da verilmektedir.



Şekil 5. Bentonit üzerine Zn(II) adsorpsiyonuna adsorbant miktarının etkisi

Sulu çözeltideki Zn(II) nin denge konsantrasyonu artan adsorbant miktarıyla azaldığı Şekil 5. den gözlemlenmektedir. Optimum adsorbant miktarı 0.2 g L^{-1} olarak belirlenmektedir. 0.2 g L^{-1} bentonit için Zn(II) giderim verimi %99.21 olarak bulunmuştur. 0.30 g L^{-1} adsorbant miktarında adsorpsiyon verimi %99.86 dır. Adsorpsiyon verimi adsorbantın toplam kullanılabilir yüzey alanının kullanılan adsorbant miktarıyla arttığı için artmaktadır.

Şekil 6. incelendiğinde 10 mg L^{-1} Zn (II) başlangıç konsantrasyonu için 0.2 g L^{-1} adsorbant kullanımıyla elde edilen %99.21 adsorpsiyon verimi sonucunda denge çözeltisinde 2.203 mg L^{-1} Zn(II) bulunduğu sonucuna varılmıştır. WHO, EPA, EC ve TS 266 gibi pek çok standart incelendiğinde bu değer tüm standartlar ile uyumlu olduğu sonucu çıkmaktadır. Bu standartlar içme ve kullanma sularına aittir. Ayrıca maden atıkları için belirlenen 3 mg L^{-1} deşarj standartı sınırının da altındadır. Bu nedenle daha fazla adsorbant kullanımı gerekmemektedir.

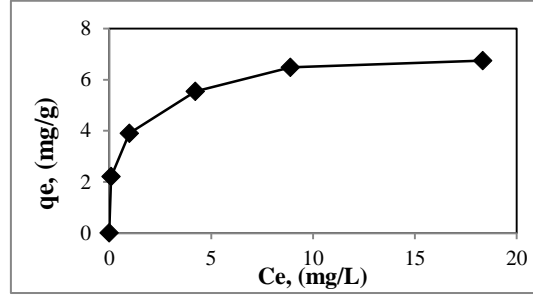


Şekil 6. Adsorbant konsantrasyonunun adsorpsiyon verimi ve denge konsantrasyonuna etkisi

3.3 Adsorpsiyon İzotermler

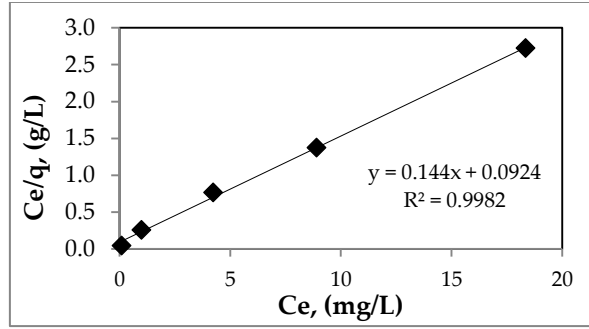
Denemeler pH=6.0 da, (0.20 g L^{-1}) sabit adsorbant miktarında ve çeşitli Zn(II) başlangıç konsantrasyonlarında ($10, 20, 30, 40$ ve 50 mg L^{-1}), 45 dak. denge zamanı seçilerek oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir, sonuçlar Şekil 7.'de verilmektedir.

İŞLEM GÖRMEMİŞ Ca-BENTONİT ÜZERİNE ÇİNKO ADSORPSİYONUNUN REAKSİYON KOŞULLARININ BELİRLENMESİ



Şekil 7. Oda sıcaklığında Zn(II)'nin Ca-bentonit üzerine adsorpsiyon izotermi

Artan çinko konsantrasyonu ile adsorpsiyon veriminde düşüş belirlenmiştir. Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm modelleri Zn(II) adsorpsiyonunun denge değerlerini analiz etmek için kullanılmıştır. Langmuir modeli adsorbantın homojen spesifik yüzeyine tek tabaka adsorpsiyonu ile karakterize edilir. Freundlich izotermi ise spesifik olmayan heterojen alanlar için geçerlidir[18]. Langmuir ve Freundlich izotermlerinin lineer değişimi Şekil 8.ve Şekil 9. da verilmektedir.



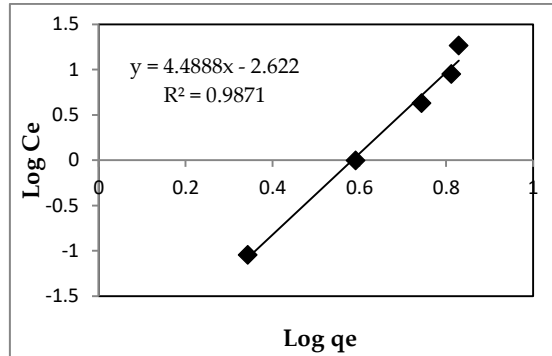
Şekil 8 Langmuir adsorpsiyon izotermi

Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm modelleri, deneysel sonuçları yorumlamak üzere kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.'de verilmiştir.

Tablo 6. Oda sıcaklığında Ca-bentonit üzerine Zn (II) adsorpsiyonunda izoterm parametreleri

	q_{max} (mg/g)	K_L (L mg ⁻¹)	r^2
Langmuir izotermi	10.882	0.641	0.9982
	K_F (Lg ⁻¹)	n	r^2
Freundlich izotermi	0.0726	0.2227	0.9871

Ca- bentonitin oda sıcaklığında Langmuir sabiti K_L 0.641 (Lmg⁻¹) ve maksimum tek tabaka adsorpsiyon kapasitesi (q_{max}) 10.882 mg g⁻¹ olarak belirlenmiştir.



Şekil 9. Freundlich adsorpsiyon izotermi

Y. KALPAKLI

Freundlich adsorpsiyon kapasitesi (K_F) 0.0726 ve adsorpsiyon şiddetini gösteren “n” 0.2227 olarak belirlenmiş ve Tablo 6.’da verilmiştir. $1/n$ ’in 0 ile 1 arasında olması adsorpsiyon yatkınlığını ve yüzey heterojenliğini göstermektedir. “n” değerinin sıfırın altında olması adsorbantın oldukça heterojen olduğunu göstermektedir.

Korelasyon katsayısı (r^2) incelenecek olursa, Langmuir modeli incelenen konsantrasyon aralığında Ca-bentonitin adsorpsiyon sonuçlarına çok iyi uymaktadır. K_L (çekim indeksi) değeri oda sıcaklığında Ca-bentonitin Zn(II) ile iyi etkileşim gösterdiğini kanıtlamaktadır.

4. SONUÇLAR

- Atık sularda bulunan Zn(II)’nin kesikli bir yöntem kullanılarak Ca-bentonit üzerine adsorpsiyonunda 10 mgL^{-1} giriş konsantrasyonu için optimum çalışma koşulları; %92.67 verimle pH=6.0, denge süresi olarak % 96.22 verimle 45 dak ve adsorbant miktarı ise %99.21 verimle 0.2 gL^{-1} olarak belirlenmiştir.
- Ca-bentonitin tek tabaka adsorpsiyon kapasitesi belirlenen optimum koşullarda çalışılarak Zn (II) iyonları için $10,882 \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$ olarak hesaplanmıştır.
- Freundlich izoterm modeline göre Zn(II) için K_F ve n sırasıyla 0.0726 (Lg^{-1}) ve 0.2227 olarak elde edilmiştir.
- Şekil 8 ve 9 incelendiğinde deneysel sonuçların Langmuir izoterm modeline Freundlich izoterm modelinden daha uyumlu olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] GÜLER, Ç., ÇOBANOĞLU, Z., Water Pollution, Environmental Health Basic Resources Series, No:12, T.C Ministry of Health Public – Health Project Coordinator, Ankara, 1994.
- [2] BANAT, F., Al-ASHEH, S., Al-ROUSAN, D., “Beneficial Reuse Of Chicken Feathers In Removal of Heavy Metals From Wastewater”, Journal of Hazardous Materials, 147, 792-799,2003.
- [3] YILMAZER, P., Removal of Heavy Metals from Aqueous Media by Using Microorganisms, Post-Graduate Thesis, Science Institute of Gazi University, Department of Chemical Engineering, Ankara, 2006.
- [4] UĞUR, A., Removal of Some Heavy Metals’ Pollution by Using Grain Including Natural Materials, Doctoral Thesis, Institute of Yıldız Technical University, Istanbul, 2008.
- [5] GÜNDOĞDU, S., Bazı Ağır Metallerin (Çinko, Mangan), Doğal ve Aktive Edilmiş Farklı Kil Mineralleri (Kütahya bentonit, kaolin) Üzerindeki Adsorpsiyon Denge Çalışmaları, Post-Graduate Thesis, Science Institute of Yüzüncü Yıl University, Van, 2006.
- [6] İPEKOĞLU, B., KURŞUN, İ., BİLGE, Y., BARUT, A., “A General Perspective to The Potential Bentonite in Turkey”, 2. Industrial Raw Materials Symposium, 16-17 October 1997, Izmir, Turkey, 1997.
- [7] MALAYOĞLU; U., AKAR, A., “Examination of Criterias for Classification and Determining the Usage Areas of Clays”, Industrial Raw Materials Symposium, 125 -142, 21 - 22 April, Izmir, Turkey, 1995.
- [8] KUL, A.R., Examining the Adsorption of Some Organic Materials In Solution On Commercial Active Carbon, Doctoral Thesis, Science Institute of Yüzüncü Yıl University, Van1999.
- [9] KUNCORO P.E., ISNADINA D.R.M., ISNADINA H., FAUZIAH O.R., KUSUMA H.S.,“Characterization, kinetic, and isotherm data for adsorption of Pb2þ from aqueous solution by adsorbent from mixture of bagasse-bentonite. Data in Brief, 16, 622–629, 2018
- [10] PANDEY S., “A comprehensive review on recent developments in bentonite-based materials used as adsorbents for wastewater treatment”, Journal of Molecular Liquids, 241, 1091–1113, 2017.
- [11] ABU-EISHAHA S I., “Removal of Zn, Cd, and Pb Ions from water by Sarooj clay”, Applied Clay Science, 42 201–205, 2008.
- [12] LALHMUNSIAMA, R. R. P., BAJAJ, H. C., LEE, S., “Activated bentonite as a low-cost adsorbent for the removal of Cu(II) and Pb(II) from aqueous solutions: Batch and column studies”, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 34, 213–223, 2016.
- [13] MENDIOROZ, S., PAJARES, J.A., BENITO,I, PESQUEA, C., GONZALEZ, F., BLANCO, C.,“Texture Evolution of Montmorillonite under Progressive Acid Treatment: Change from H3 to H2 Type of Hysteresis”, Langmuir, 3, 676-681, 1987
- [14] MELLAH, A., CHEGROUCHE, S., “The removal of Zinc from aqueous solutions by natural bentonite”, Water Resour, 31, 3, 621–629, 1997
- [15] PARK, M. CHOI, C.L., SEO, Y.J., YEO, S.K., CHOI, J., KOMAMENI, S., LEE, J.H., “ Reactions of Cu²⁺ and Pb²⁺ with Mg/Al layered double hydroxide”, Appl. Clay Sci., 37, 143–148, 2007.

İŞLEM GÖRMEMİŞ Ca-BENTONİT ÜZERİNE ÇİNKO ADSORPSİYONUNUN REAKSİYON KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

- [16] CHU, K.H. HASHIM, M. A., “Adsorption and desorption characteristics of zinc on ash particles derived from oil palm waste”, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 77, 685-693,2002
- [17] RAMOS, R. L., JACOME, L.A. B., BARRON, J.M., RUBIO, L. F., CORONADO R.M.G., “Adsorption of zinc(II) from an aqueous solution onto activated carbon”, *J. Hazard. Mater. B.*, 90, 27-38, 2002.
- [18] DA, BROWSKI, A., “Adsorption from theory to practice”, *Advances in Colloid and Interface Science.*, 93, 135-224, 2001