



# Academic Research Journal of Technical Vocational Schools

artec.cumhuriyet.edu.tr

Founded: 2022

Available online, ISSN:2822-5880

Publisher: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

## Adsorption of Zinc on Drinking Water Treatment Sludge

Sayiter Yıldız<sup>1,a,\*</sup>, Can Bülent Karakuş<sup>2,b</sup><sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Türkiye<sup>2</sup>Department of City and Regional Planning, Faculty of Architecture and Fine Arts and Design, Sivas Cumhuriyet University, 58140 Sivas, Türkiye

\*Corresponding author

### Research Article

#### History

Received: 15/07/2022

Accepted: 19/07/2022

### ABSTRACT

In this study, the removal of zinc ion by use of wastewater sludge was aimed. By determining the optimum conditions in the study; The effects of parameters such as balance, pH, sorbent amount and metal concentration of the processes in different situations were investigated. In the adsorption of Zn<sup>+2</sup> ions with drinking water treatment sludge, optimum initial pH was determined as 5.0, time to equilibrium was 60 minutes, sorbent dose was 0.3 g/L, and initial ion concentration was 25 mg/L. While sorbent amount was 0.1 g/L, removal efficiency was 73.2% and q<sub>e</sub> was 18.3 mg/g. It was calculated as 90.8%, 4.54 mg/g for 0.5 g/L sorbent and 92.4% and 2.31 mg/g for 1 g/L sorbent. At the Zn<sup>+2</sup> 5 mg/L concentration, the removal efficiency was 1.53% and q<sub>e</sub> was 92 mg/g. At 50 mg/L Zn<sup>+2</sup> concentration, the removal efficiency was calculated as 70% and q<sub>e</sub> was calculated as 11.67 mg/g. In the study, it has been proven that drinking water treatment sludge can be used as a promising adsorbent for the removal of Zn<sup>+2</sup> ions from the aqueous solution.

**Keywords:** Adsorption, heavy metal, zinc removal, drinking water treatment sludge, Metal concentration

## İçme Suyu Arıtma Çamuruna Çinkonun Adsorpsiyonu

#### Süreç

Geliş: 15/07/2022

Kabul: 19/07/2022

### Öz

Bu çalışmada, Sivas içme suyu arıtma çamuru kullanılarak çinko (Zn<sup>+2</sup>) iyonunun giderimi amaçlanmıştır. Çalışmada optimum koşullar belirlenerek; proseslere ait denge, pH ve sorbent miktarı ve metal konsantrasyonu gibi parametrelerin farklı durumlarda etkileri incelenmiştir. Zn<sup>+2</sup> iyonlarının içme suyu arıtma çamuru ile adsorpsiyonunda, optimum başlangıç pH'sı 5,0, dengeye süresi 60 dk., sorbent dozu 0,3 g/L ve başlangıç iyon derişimi 25 mg/L olarak belirlendi. Sorbent miktarı 0,1 g/L iken giderim verimi %73,2 ve q<sub>e</sub> 18,3 mg/g olarak gerçekleşti. 0,5 g/L sorbent için % 90,8, 4,54 mg/g ve 1 g/L sorbent için %92,4 ve 2,31 mg/g olarak hesaplandı. Zn<sup>+2</sup> 5 mg/L konsantrasyonunda giderim verimi %1,53 ve q<sub>e</sub> 92 mg/g olarak gerçekleşti. 50 mg/L Zn<sup>+2</sup> konsantrasyonunda ise giderim verimi %70 ve q<sub>e</sub> 11,67 mg/g olarak hesaplandı. Çalışmada içme suyu arıtma çamurunun sulu çözümlen Zn<sup>+2</sup> iyonlarının uzaklaştırılması için umut verici bir adsorbent olarak kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Adsorpsiyon, ağır metal, çinko giderimi, içme suyu arıtma çamuru, Metal konsantrasyonu

#### Copyright



This work is licensed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License

<sup>a</sup> sayildiz@cumhuriyet.edu.tr

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3382-2487>

<sup>c</sup> [cbkarakus@gmail.com](mailto:cbkarakus@gmail.com)

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7373-9960>

**How to Cite:** Yıldız S, Karakuş CB (2021) Adsorption of Zinc on Drinking Water Treatment Sludge, Academic Research Journal of Technical Vocational Schools, 1(1): 22-26, 2022

## Giriş

Bulduğumuz teknoloji çağı nüfusun hızla artması, tüketim alışkanlıklarının değişmesi sonucu kaosların yaşandığı bir dönemdir. İnsan ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli tarım ve endüstriyel ürün üretiminin baş döndürücü hızla artması ekolojik dengenin bozulmasına yol açabilecek çevre sorunlarını karşımıza çıkarmıştır. Özellikle nüfus ve endüstri tesislerinin yoğun olduğu bölgelerde hava kirlenmesi, su kirlenmesi ve toprak kirlenmesi olarak adlandırılan ve genelde çevre kirlenmesi denilen bir olgu ile karşı karşıya bulunuyoruz. Çevre kirlenmesine neden olan atıklar içinde organik menşeli kirleticiler bulunduğu gibi inorganik menşeli kirleticiler de bulunmaktadır. İnorganik kirleticilerden ağır metaller (Cu, Cd, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn gibi) ortamda düşük miktarda bulunsalar bile canlılar üzerine olumsuz tesirlere sahiptirler ve belli bir değerin üzerinde bulunurlarsa toksik etki gösterirler (Sigword ve Smith, 1972; Çokadar ve ark., 2001).

Ağır metaller arasında yer alan çinko ( $Zn^{+2}$ ) esansiyel bir element olması sebebiyle, eksikliğiyle de fazlalığıyla da insan vücudunda farklı problemlere yol açan bir ikileme sahiptir. Örneğin insanlarda doku sentezi ve embriyo gelişiminde, protein, karbonhidrat, yağ, enerji üretimi ve metabolizmasında, genetik faaliyetlerde, büyüme-gelişme hormonları başta olmak üzere testosteron, tiroid hormonları, insülin ve D vitamininin sentezi üzerine etkileri sebebiyle çinko eksikliği insan vücudunda ciddi bozukluklara yol açmaktadır (Krishnan ve ark., 2016; Abbas ve ark., 2015). Dünya sağlık örgütü tarafından belirlenen içme suyunda kabul edilebilir üst konsantrasyon limiti çinko için 5 mg/L olup üzerindeki konsantrasyonlarda çinko toksik kabul edilmektedir (Sen ve Gomez., 2011).

Ağır metal giderimi için filtrasyon ve kimyasal çöktürme (Huang ve ark., 2016), iyon değiştirme (Wan ve ark., 2016) membran teknolojileri (Hebbar ve ark., 2015) gibi birbirine kıyasla avantaj ve dezavantajları olan birçok metot kullanılmaktadır. Adsorpsiyon ise kolay uygulanabilir olması sebebi ile ağır metal gideriminde en sık kullanılan metotlardan biridir (Sivrikaya ve ark., 2012; Ozer ve ark., 2015).

Çinkonun adsorpsiyon ile uzaklaştırılması ile ilgili birçok araştırma ve deneysel çalışma yapılmıştır. Kullanılan sorbentlerden bazıları, kahve kabukları (Oliveira ve ark., 2008), mısır sapları (Dessouki ve Ibrahiem, 2011), patates kabukları (Taha ve ark., 2011), talaş (Willis ve ark., 2014), aktif çamur (Yun ve ark., 2016), portakal atıkları (Perez Marin ve ark., 2010) ve fıstık kabuğudur (Yıldız, 2017a).

Bu çalışmada, Sivas içme suyu arıtma tesisinden alınan çamur (İSAÇ) kullanılarak sulu çözeltilerden çinkonun giderimi amaçlanmıştır. Başlangıç pH'ının,  $Zn^{+2}$  konsantrasyonlarının, sıcaklığın, temas süresinin ve adsorban dozajının etkileri kesikli deneylerde belirlendi. Sorpsiyon deneyleri üç tekrar halinde yapıldı ve numunelerin ortalama değerleri sunuldu. Sunulan veriler deneylerden elde edilen ortalama değerlerdir (standart sapma  $\leq 5\%$ ).

## Materyal ve Yöntem

### Stok Çinko Çözeltisinin Hazırlanması

$Zn^{+2}$  çözeltisi, Çinko klörür ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ )'den alınarak (4,398 g), 1000 mg/L derişiminde 1L hacminde hazırlanmıştır. Stok çözeltiden gerekli seyreltmeler yapılarak farklı derişimlerde metal iyon derişimleri hazırlanmıştır.

### Sorbentin Adsorpsiyon İçin Hazırlanması

Kesikli adsorpsiyon çalışmalarında kullanılacak olan İSAÇ renginden arınması için defalarca distile su ile yıkanmış daha sonra  $105^\circ C$ 'de etüvde 24 saat bekletilmiştir. Kurutulan İSAÇ toz haline getirilerek elenmiş ve % 1'lik  $H_2SO_4$  çözeltisinde 24 saat bekletilerek aktif hale getirilmiştir. Aktive edilen İSAÇ bünyesindeki asidi bırakması için distile su ile yıkanarak filtre edilmiş ve sonra da 24 saat  $105^\circ C$ 'de etüvde kurutulmuş kullanıma hazır hale getirilmiştir.

### Deney Sistemi ve Analiz Yöntemi

Kesikli adsorpsiyon çalışmaları, 250 mL'lik erlenler içine 100 mL karışım çözeltisi ve İSAÇ konularak kesikli bir sistemde çalışılmıştır. Çalışmalarda sabit sıcaklık ve karıştırma hızında çalışabilen çalkalayıcı kullanılmıştır. Sorbentin karışım çözeltisine eklendiği an  $t=0$  anı olarak alınıp belirlenen aralıklarla analizler yapılmıştır. Alınan numunelerde serbest halde bulunan  $Zn^{+2}$  iyonları 605 nm dalga boyunda absorpsiyon okunarak NOVA60 spektrofotometresinde analiz edilmiştir. Çalışma süresi boyunca pH okumaları ise Thermo Orion - STARA2145 marka pH metre kullanılarak yapılmıştır. pH ayarları  $H_2SO_4$  (1 M) ve NaOH (1 M) ile ayarlanmıştır. Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan adsorpsiyon kapasitesi (qe) ve giderim verimi (%) Denklem 1-2 kullanılarak hesaplanmıştır (Yıldız, 2017b):

$$qe = \frac{V \cdot (Co - Ce)}{X} \quad (1)$$

$$\% \text{ Giderim} = \frac{(Co - Ce)}{Co} \cdot 100 \quad (2)$$

Bu denklemlerde "qe" sorbent üzerinde adsorbe olan maddelerin konsantrasyonunu (mg/g), "X" kullanılan İSAÇ miktarını (g), "V" çözelti hacmi (L), "Co" çözeltinin ilk konsantrasyonunu (mg/L) ve "Ce" çözeltinin son konsantrasyonunu (mg/L) göstermektedir.

### Kesikli Sistemde Adsorpsiyon Çalışmaları

Adsorpsiyon çalışmaları kesikli sistemde sabit sıcaklık ve çalkalama hızında çalışabilen çalkalayıcıda gerçekleştirilmiştir ve bunun için 100 mL hacimli 250 mL'lik erlenler kullanılmıştır. Çalışma süresinde karışım çözeltisinin istenilen değerlerde pH ayarları derişik ve seyreltik  $H_2SO_4$  ve NaOH ile ayrı ayrı ayarlanmıştır. Daha sonra  $t=0$  anında içme suyu arıtma çamuru tozu çinko çözeltisi içeren erlenlere dökülerek aynı hızda ve sıcaklıkta çalışan çalkalayıcıda çalışılmıştır.

## Bulgular ve Tartışma

### Denge süresi

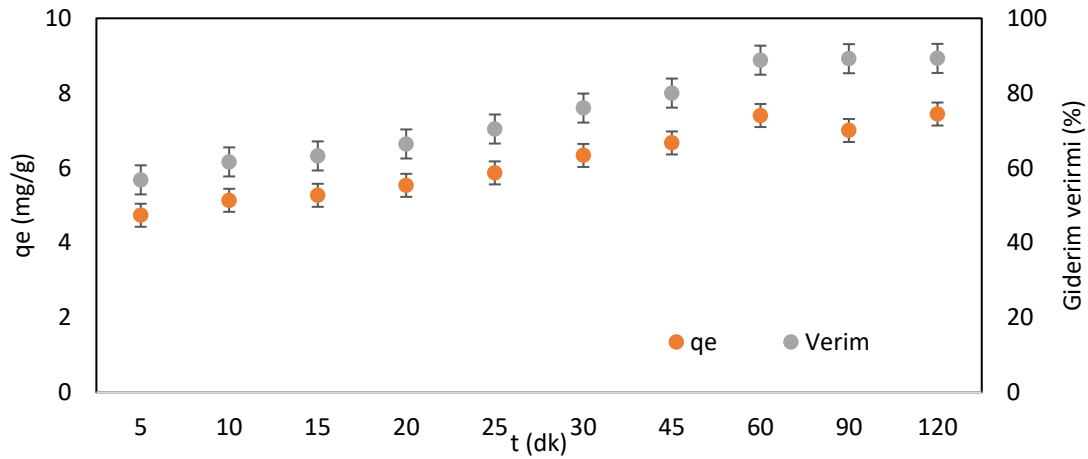
Sabit koşullar altında ( $T= 25^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Co}= 25 \text{ mg/L}$ ,  $x= 0,3 \text{ g}$ ,  $\text{pH}= 5$ )  $\text{Zn}^{+2}$ 'nin İSAÇ'a adsorpsiyonunun temas süresi 0-2 saat aralığında araştırıldı. Giderim verimi (%) ve  $q_e$  Şekil 1' de verilmiştir.

Adsorpsiyon kapasitesi artan temas süresi ile artmıştır. Adsorpsiyon hızı başlangıçta hızlıydı, zamanla yavaşladı ve 60 dk dan sonra dengeye ulaştı. 10. dk da giderim verimi ve  $q_e$  sırasıyla %5,13 ve 61,6 mg/g iken 30. dk da %6,33, 76 mg/g ve 60. dk ise %7,40, 88,8 mg/g olarak gerçekleşti. Bu denge süresinden sonra, adsorbe edilen iyon miktarı zamana bağlı olarak önemli bir değişim göstermedi. Bunun nedeni, adsorpsiyon işleminin başlangıcında serbest aktif alanların yüksek bulunması ve belli bir süre sonra adsorbent üzerindeki aktif alanların, adsorpsiyon işlemini

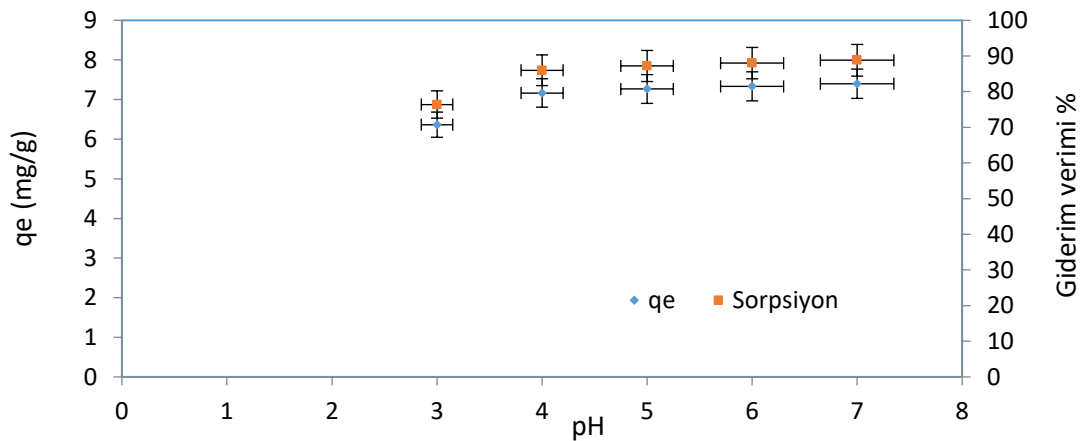
yavaşlatacak olan adsorbat tarafından yavaş yavaş işgal edilmesidir (Munagapati and Kim, 2017).

### Başlangıç pH'ının Çinko adsorpsiyonuna etkisi

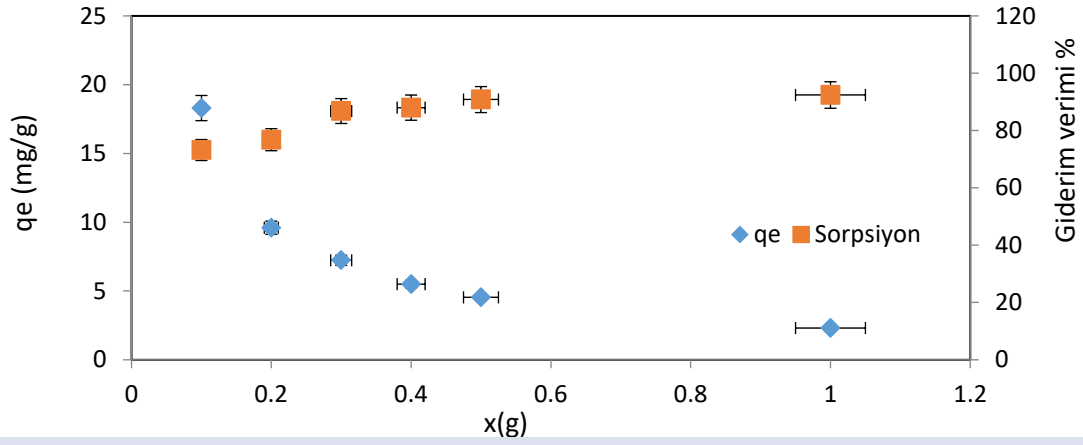
Daha önce ki yıllarda yapılan adsorpsiyon çalışmalarında ortam pH'nın adsorpsiyon kapasitesini önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir (Vilar ve ark., 2005; Lodeiro ve ark., 2005; Gürbüz, 2006). Bu çalışmada başlangıç pH'ının  $\text{Zn}^{+2}$  adsorpsiyonuna etkisinin belirlenmesi için pH 3-7 aralığında değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Bu deneyler gerçekleştirilirken diğer ortam şartları;  $\text{Co}$  25 mg/L,  $X$  0,3 g, karıştırma hızı 125 rpm ve 60 dk. bekleme süresinde analizler yapılmıştır.



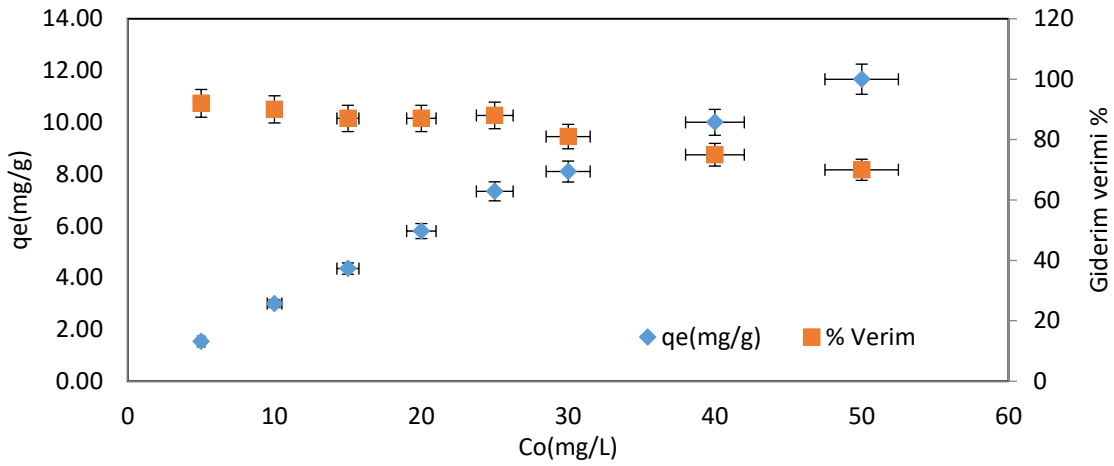
Şekil 1. Zamana bağlı giderim verimi ve  $q_e$  değişimi  
Figure 1. Time-dependent removal efficiency and  $q_e$  change



Şekil 2. Farklı pH'ların giderim verimi ve  $q_e$  üzerine etkisi  
Figure 2. Effect of different pHs on removal efficiency and  $q_e$



Şekil 3. Sorbent miktarının giderim verimi ve qe üzerine etkisi  
Figure 3. Effect of sorbent amount on removal efficiency and qe



Şekil 4. Farklı konsantrasyonların giderim verimi ve qe üzerine etkisi  
Figure 4. Effect of different concentrations on removal efficiency and qe

Şekil 2’de görüldüğü gibi pH artışı ile verimin arttığı ancak pH 4’ten sonra büyük bir değişim olmadığı belirlenmiştir. Yapılan analizlerde en yüksek qe pH 7’te 7,40 mg/g ve adsorpsiyon verimi ise %88,8 olarak belirlenmiştir. pH değeri arttıkça, içme suyu arıtma çamur yüzeyi üzerindeki anyonik adsorpsiyon bölgeleri sayısı artmakta ve bu da çözeltideki OH<sup>-</sup> iyonlarının konsantrasyonunu arttırmaktadır. Artan elektrostatik çekim kuvveti nedeniyle çinko iyonlarının adsorpsiyon hızı olumlu etkilemektedir (Anitha ve ark., 2016).

#### Sorbent miktarının Çinko adsorpsiyonuna etkisi

Yapılan çalışmada Zn<sup>2+</sup> gideriminin sorbent miktarına göre değişimini incelemek için 0,1-0,2-0,3-0,4-0,5-1 g/L miktarlarında analizler gerçekleştirilmiştir. Diğer ortam şartları; Co 25 mg/L, bekleme süresi 60 dk., karıştırma hızı 125 rpm ve pH olarak belirlendi. Sonuçlar Şekil 3’te görülmektedir.

Sorbent miktarı 0,1 g/L kullanıldığında giderim verimi ve qe sırasıyla %73,2, 18,3 mg/g, 0,5 g/L sorbent için % 90,8, 4,54 mg/g ve 1 g/L sorbent için %92,4 ve 2,31 mg/g

olarak hesaplandı. Şekil 3’de de görüldüğü gibi sorbent miktarı arttıkça giderim verimi artarken qe değeri azaldı. Adsorbent dozu arttıkça adsorpsiyon kapasitesindeki azalma, yüksek sorbent konsantrasyonundan kaynaklanan yığılma gibi parçacık etkileşimlerine bağlı olabilir. Bu tür yığılmalar, adsorbanın toplam aktif yüzey alanının azalmasına neden olur (Yıldız ve Sevinç, 2018).

#### Başlangıç Çinko konsantrasyonunun adsorpsiyona etkisi

Başlangıç Zn<sup>2+</sup> konsantrasyonunun adsorpsiyon verimi ve kapasitesi üzerine etkileri Şekil 4’te verilmiştir. Çalışmada metal konsantrasyonu 5-50 mg/L arasında değişti. En düşük giderim verimi %1,53 ve yüksek qe değeri 92 mg/g olarak 5 mg/L Zn<sup>2+</sup> konsantrasyonunda gerçekleşti. 50 mg/L Zn<sup>2+</sup> konsantrasyonunda ise giderim verimi %70 ve qe 11,67 mg/g olarak hesaplandı. Şekil 4’te görüldüğü gibi, İSAÇ’ın Zn<sup>2+</sup> adsorpsiyonu, başlangıç konsantrasyonuna bağlıdır. Çözeltideki metal iyonlarının konsantrasyonunu artmasıyla ara yüzdeki metalin bulunabilirliği artar ve böylece adsorpsiyon miktarı da

artar. Sorbent miktarı sabit iken, metal iyonlarının miktarındaki bir artış, iyonların sulu fazdan sorbent yüzeyine taşınması için daha büyük bir itici kuvveti gerektirir. Bu nedenle metal iyonları ile aktif bağlama alanları arasındaki etkileşim olasılığı artar (Yıldız, 2018).

## Sonuçlar

Bu çalışmada İSAÇ kullanılarak  $Zn^{+2}$  iyonlarının sudan uzaklaştırılması incelenmiştir. Başlangıç pH'sı, metal konsantrasyonu, sorbent miktarı ve zaman gibi farklı parametrelerin adsorpsiyon üzerine etkileri araştırılmış. Çalışmada denge süresi 60 dk iken, en yüksek qe pH 7'de 7,40 mg/g ve giderim verimi ise %88,8 olarak belirlenmiştir. Adsorbent dozu arttıkça adsorpsiyon kapasitesinde azalma meydana gelmiştir. Sorbent miktarı 0,1 g/L kullanıldığında giderim verimi ve qe sırasıyla %73,2, 18,3 mg/g, 0,5 g/L sorbent için %90,8, 4,54 mg/g ve 1 g/L sorbent için %92,4 ve 2,31 mg/g olarak hesaplandı. Çözeltildeki metal konsantrasyonunu artmasıyla adsorpsiyon miktarı da arttı. Metal konsantrasyonu 5-50 mg/L arasında değişti. 5 mg/L  $Zn^{+2}$  konsantrasyonunda en düşük giderim verimi %1,53 ve yüksek qe değeri 92 mg/g olarak gerçekleşti. 50 mg/L  $Zn^{+2}$  konsantrasyonunda ise giderim verimi %70 ve qe 11,67 mg/g olarak hesaplandı.

## Kaynaklar

- Abbas A. Al-Amer AM. Laoui T. Al-Marri MJ. Nasser MS. Khraisheh M. Atieh MA. 2016. Heavy metal removal from aqueous solution by advanced carbon nanotubes: critical review of adsorption applications, *Separation and Purification Technology*, 157: 141-161.
- Anitha T. Senthil Kumar P. Sathish Kumar K. Sriram K. Feroze Ahmed J. 2016. Biosorption of Lead(II) İons Onto Nano-Sized Chitosan Particle Blended Polyvinyl Alcohol (PVA): Adsorption İsotherms, Kinetics and Equilibrium Studies, *Desalination and Water Treatment*, 57:13711–13721.
- Çokadar H, İleri R, Ateş A, İzgi B. 1999. Bakır (II) İyonunun Sulu Ortamdan Granül Aktif Karbon İle Giderilmesi, *Aritım Dünyası*, 13: 77-83.
- Dessouki HA. İbrahiem SS. 2011. Removal OF Zn(II), Cd(II) AND Mn(II) From Aqueous Solutions By Adsorption On Maize Stalks, *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 15(1): 8-21.
- Gürbüz MG. 2006. Bakır(II) ve Nikel(II) İyonlarının Enteromorpha prolifera' ya Biyosorpsiyonunda Denge, Kinetik ve Termodinamik Parametrelerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği ABD, ss.149, Mersin, Türkiye.
- Hebbar RS. Isloor AM. Ananda K. and İsmail AF. 2015. Fabrication of polydopamine functionalized halloysite nanotube/polyetherimide membranes for heavy metal removal, *J. Mater. Chem. A*. 4: 764-774.
- Huang Y. Wu D. Wang X. Huang W. Lawless D. and Feng X. 2016. Removal of heavy metals from water using polyvinylamine by polymer-enhanced ultrafiltration and flocculation, *Sep. Purif. Technol.* 158: 124–136.
- Krishnan KA. Sreejalekshmi KG. Vimexen V. Dev VV. 2016. Evaluation of adsorption properties of sulphurised activated carbon for the effective and economically viable removal of Zn(II) from aqueous solutions, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 124: 418– 425.
- Lodeiro P. Cordero B. Barriada JL. Herrero R. Sastre de Vicente ME. 2005. Biosorption of Cadmium by Biomass of Brown Marine Macroalgae, *Bioresource Technology*, 96: 1796-1803.
- Munagapati VS. Kim DS. 2017. Equilibrium İsotherms, Kinetics, and Thermodynamics Studies for Congo Red Adsorption Using Calcium Alginate Beads İmpregnated with Nano-Goethite, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 141:226–234.
- Oliveira WE. Franca AS. Oliveira LS. and Rocha SD. 2008. Untreated coffee husks as biosorbents for the removal of heavy metals from aqueous solutions, *Journal of Hazardous Materials*, 152: 1073-108.
- Ozer C. Boysan F. and İmamoglu M. 2015. Adsorption of Cu(II), Ni(II) and Pb(II) ions onto polyamine-polyurea polymer modified with pyromellitic dianhydride: kinetic, isotherm and thermodynamic studies, *Desalin. Water Treat.* 57(24): 11173-11183.
- Perez Marin AB. Ortuno JF. Aguilar MI. Meseguer VF. Saez J. Lloréns M. 2010. Use of chemical modification to determine the binding of Cd(II), Zn(II) and Cr(III) ions by orange waste, *Biochemical Engineering Journal*, 53: 2–6.
- Sivrikaya S. Albayrak S. İmamoglu M. Gundogdu A. Duran C. and Yıldiz H. 2012. Dehydrated hazelnut husk carbon: a novel sorbent for removal of Ni(II) ions from aqueous solution, *Desalin. Water Treat.* 50: 2–13.
- Sigword EA, Smith SB 1972, Adsorption of Inorganic Compounds by Activated Carbon. *Journal AWWA*, 386-391.
- Taha G. Arifien A. El-Nahas S. 2011. Removal Efficiency Of Potato Peels As A New Biosorbent Material For Uptake Of Pb(II) Cd(II) And Zn(II) From Their Aqueous Solutions. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 2: 128-140.
- Sen TK. and Gomez D. 2011. Adsorption of zinc ( $Zn^{2+}$ ) from aqueous solution on natural bentonite, *Desalination*. 267: 286– 294.
- Vilar VJP. Botelho CMS. Boaventura RAR. 2005. Influence of pH, ionic strength and temperature on lead biosorption by Gelidium and gar extraction algal waste, *Process Biochemistry*, 40: 3267–3275.
- Willis G. Tinashe M. Phillip N. Nhamo C. Allen C. and Sharron M. 2014. Adsorption of Zn<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> in a binary aqueous solution by biosorbents derived from sawdust and water hyacinth. *Water Science & Technology*, 70(8): 1419-1427.
- Wan Z. Xu L. and Wang J. 2016. Treatment of spent radioactive anionic exchange resins using Fenton-like oxidation process, *Chem. Eng. J.* 284: 733–740.
- Yıldız S. 2017a. Artificial neural network (ANN) approach for modeling Zn (II) adsorption in batch process, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 34(9): 2423-2434.
- Yıldız S. 2017b. Kinetic and isotherm analysis of Cu (II) adsorption onto almond shell (Prunus dulcis), *Ecological Chemistry and Engineering S*, 24(1): 87-106.
- Yıldız S. Sevinç S. 2018. Heavy metal adsorption by dewatered iron-containing waste sludge, *Ecological Chemistry and Engineering S*, 25(3): 431-456.
- Yıldız S. 2018. Artificial neural network approach for modeling of Ni (II) adsorption from aqueous solution by peanut Shell, *Ecological Chemistry and Engineering S*, 25(4): 581-604.
- Yun Z. Siqing X. Jiao Z. Zhiqiang Z. Slawomir WH. 2016. Adsorption characterizations of biosorbent extracted from waste activated sludge for Pb(II) and Zn(II), *Desalination and Water Treatment*, 57: 9343-9353.