

Article Arrival Date

23.04.2022

Article Type

Research Article

Article Published Date

20.06.2022

ATIK SULARDAKİ KROM VI İYONLARININ BARDAKÇI KİLİ DESTEKLİ BADEM KABUĞU TALAŞI ÜZERİNE ADSORPSİYONU İLE UZAKLAŞTIRILMASI**REMOVAL OF CHROME VI IONS IN WASTE WATER BY ADSORPTION ON ALMOND SHIRTS SUPPORTED WITH BARAKCI CLAY****Ali Rıza KUL^{1*}****Sema KAPTANOĞLU²****Hasan ELİK¹**¹Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Van, Türkiye**ORCID No:** 0000-0001-9331-775X²Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Van, Türkiye**ORCID No:**0000-0002-5614-8026¹Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Van, Türkiye**ORCID No:** 0000- 0002-9034-7547

501

ÖZET

Kentlerde sürekli olarak atık su üretilmekte ve bunlar atık su tesislerine gönderilerek birikmektedir. Bu atık suların içerisinde Cr^{6+} iyonları bulunmaktadır. Eğer atık sular zamanında arıtılmazsa en başta sağlığımızı ve çevremizi etkiler. Çünkü Cr^{6+} iyonları toksik maddelerdir. Yaptığımız deneysel araştırmamızda farklı derişimlerde, Potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) çözeltileri sırası ile 298 K, 308 K, 318 K derece sıcaklıklarda ve litrede ayrı ayrı her bir çözeltiye 0,75 gram bardakçı kili ve 0,75 gram badem kabuğu talaşı eklenerek manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Değişik zaman aralıklarında alınan numunelerin UV-GB spektrofotometresi kullanılarak 543 nm dalga boyunda absorbans ölçümleri yapıldı. Araştırma sonucunda sıcaklık arttıkça, 20 ppm potasyum dikromat konsantrasyonunun sırasıyla %68,65, % 66,7, % 80,20, 298 K, 308 K ve 318 K olduğu tesbit edildi. Hesaplanan izoterm verilerinde, 298 K da 20 ppm 500 ml potasyum dikromat çözeltilisinde 0,75 gram bardakçı kili ve 0,75 gram badem kabuğu talaşında 13,72 miligram Cr^{6+} iyonu adsorplamıştır. Çözelti ortamı pH' s 6 olarak ayarlanmıştır. Adsorpsiyonun Langmuir, Freundlich, izotermi ile kıyaslandığında, Freundlich, izotermine daha iyi uyduğu ve en iyi sonucun $R^2 = 0,9955$ ile 308 K'da olduğu görüldü. Termodinamik parametreleri hesaplandığında, ΔH , entalpi değerinin -0,1105 kJ/mol, ΔS , entropi değerinin 0,3504 kJ/mol, ΔG , Gibbs serbest enerji değerlerinin 298 K'de -104,508 kJ/mol, 308 K'de -108,052 kJ/mol, 318 K'de ise -111,557 kJ/mol olduğu görülmüştür. Bu araştırma sonucu bize atık sulardaki toksik özellikteki Cr^{6+} iyonlarının giderilmesinde bardakçı kili ve badem kabuğu talaşı karışımının filtrasyon olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Potasyum dikromat, Bardakçı kili, Termodinamik, Adsorpsiyon, Çevre, Sağlık.

ABSTRACT

Wastewater is constantly produced in cities and it is sent to wastewater facilities and accumulated. These wastewaters contain Cr^{6+} ions. If wastewater is not treated on time, it primarily affects our health and our environment. Because Cr^{6+} ions are toxic substances. In our experimental research, potassium dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) solutions at different concentrations were added to each solution at 298 K, 308 K, 318 K degrees, respectively, and 0.75 grams, glassmaker's clay and 0.75 grams of almond bark shavings per liter, and mixed with a magnetic stirrer. Absorbance measurements were made at 543 nm wavelength by using UV-GB spectrophotometer of the sample taken at different time intervals. As the temperature increased, the concentration of 20 ppm potassium dichromate was determined to be 68.65%, 66.7%, 80.20%, 298 K, 308 K and 318 K, respectively. In the calculated isotherm data, 0.75 grams of glassmaker's clay in 20 ppm 500 ml potassium dichromate solution at 298 K and 13.72 milligrams of Cr^{6+} ion in 0.75 grams of almond bark sawdust adsorbed. The solution ambient PH was adjusted to 6. Compared with the Langmuir, Freundlich, isotherms, the adsorption was found to fit the Freundlich isotherm better and the best result was at 308 K with $R^2 = 0.9955$. When the thermodynamic parameters are recalculated, ΔH , enthalpy value is -0.1105 kJ/mol, ΔS , entropy value is 0.3504 kJ/mol, ΔG , Gibbs free energy values are at 298 K, -104.508 kJ/mol, 308 K. -108,052 kJ/mol, and -111.557 kJ/mol at 318 K. The result of this research shows us that a mixture of glassmaker's clay and almond bark shavings can be used as filtration in the removal of toxic Cr^{6+} ions in wastewater.

1.GİRİŞ

1.1. Krom



Şekil 1 Krom

Krom kokusuz ve tatsız bir metaldir. Doğada çeşitli kaya, toprak, cevher ve volkanik toz türlerinde ayrıca bitkilerde, hayvanlarda ve insanlarda oluşur.

1.1.2. Kromun İnsan Vücuduna Etkileri

Kromat bilenen en genel alerjen maddedir. Ancak krom kaynaklı cilt kanserine rastlanmamıştır. Pek çok araştırma sonucunda, solunum ve deri teması sonucunda kroma maruz kalan kişilerin sağlık sorunu ile karşılaştıkları tespit edilmesine rağmen kesin sınır değerleri belirlenmemiştir. Cr^{6+} 'nın hava yoluyla vücuda alınması ile burun akmaları, burun kanamaları, kaşınma ve üst solunum yollarında delinmelerin yanı sıra kroma karşı alerji gösteren insanlarda da astım krizleri görülmektedir. Cr^{3+} 'nın hava ile alınması solunum yollarına Cr^{6+} kadar negatif etki yapmamaktadır.

Düşük seviyelerde kroma maruz kalındığında, deride iritasyon ve ülser meydana gelir. Uzun süreli maruz kalındığında böbreklerde ve karaciğerde hasara yol açabildiği gibi kan dolaşım sistemini ve sinir dokularını tahrip edebilir. Krom daha çok sulu ortamlarda birikerek çoğalır. Dolayısıyla yüksek seviyelerde kroma maruz kalmış balık yemek oldukça tehlikelidir. Yüksek miktarlarda solunması burun, akciğer, mide ve bağırsaklara zarar verebilir. Kroma allerjisi olan kişilerde astım krizlerine neden olabilir. Uzun süre yüksek ve orta düzeylerde etki altında kalırsa, burun kanaması, akciğer hasarı ve kanser dışındaki akciğer hastalıklarında artışa neden olabilir. Sindirim yoluyla yüksek düzeylerde alınırsa mide şikayetleri ve ülser, böbrek ve karaciğer hastalıklarına, hatta ölüme neden olabilir. Cilde temas durumunda cilt ülserleri oluşabilir. Krom saç, idrar, serum, kırmızı kan hücreleri ve kanda tespit edilebilir. (100 mg/l) (Ttb, 2001).

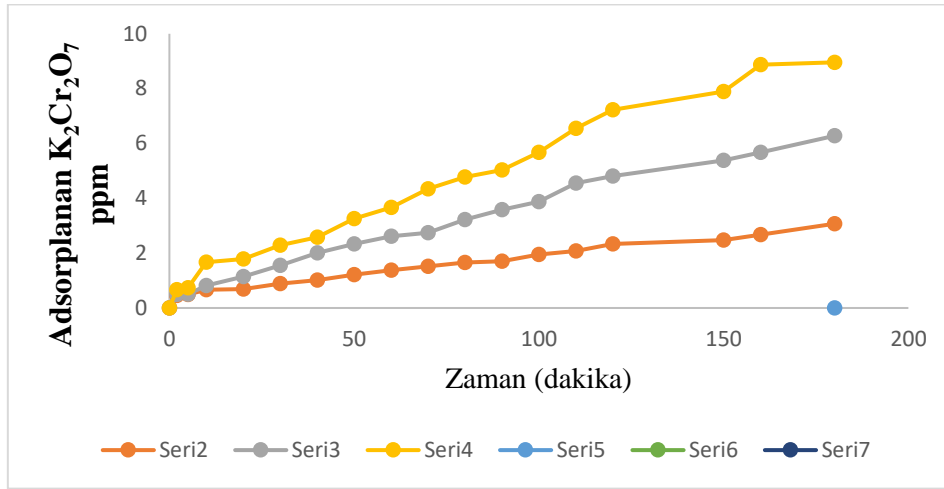
1.2. Badem

Badem Anadolu'nun en eski meyve türlerinden birisidir. Ancak ülkemizde bademe gerekli önem verilmemekte, genellikle tarla kenarlarında sınır ağacı olarak yetiştirilmektedir. Ülkemizde kapama badem bahçeleri (sadece badem ile kurulan bahçeler) yok denecek kadar az olup, mevcut ağaçlarda da bakım işleri genellikle yapılmamaktadır. Ülkemizin badem talebi yurt içinden karşılanmadığı için badem ithal edilmektedir. Son zamanlarda dünya genelinde badem üretim alanı hızla artmaktadır. En fazla badem üretimi yapan ülkeler ABD, İspanya, İran, Fas olarak sıralanmaktadır. (Badem kabuğu, 2020).

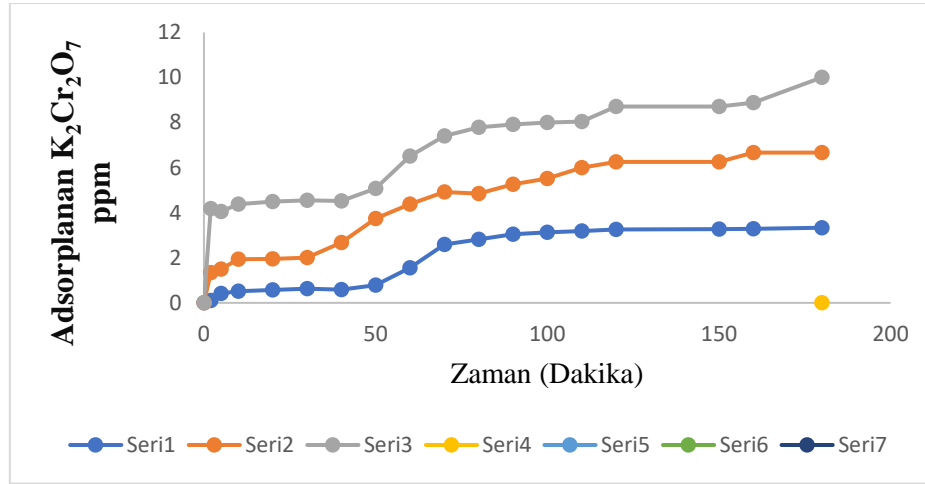
2. MATERYAL VE METOT

İlk defa yapılan bu özgün projede, atık sulardaki Cr^{+6} iyonlarının uzaklaştırılması, ucuz maliyetle yapılabilir mi? Van yöresinde bulunan adsorbent materyaller kullanılabilir mi? Sorularına cevap aradık. Bu soruların cevabını bulabilmek için, Van ili Bardakçı mahallesi civarından 1 kilogram kil toplandı. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kimya bölümü Araştırma laboratuvarına getirildi. Havanı dövülerek çok ince taneli hale getirildi. 250 mesh lik elekte elendi. Daha sonra ağzı açık bir kapta $100^{\circ}C$ 'de 24 saat etüvde kurutuldu. Van ili Akdamar adasından toplanan 1 kg badem, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kimya bölümü Araştırma laboratuvarına getirildi. Badem kabukları çıkarıldı. Kabuklar havanda dövülerek çok ince taneli talaş haline getirildi. 250 mesh lik elekte elendi. Daha sonra ağzı açık bir kapta $100^{\circ}C$ 'de 24 saat etüvde kurutuldu. Böylece bardakçı kili ve badem kabuğu adsorbantı hazırlandı. Adsorpsiyona farklı PH' ların etkisi optimum çalışma koşulları belirlenirken, incelenmiş ve en iyi adsorpsiyonun PH' 6' da gerçekleştiği tesbit edilmiştir... Bundan dolayı tüm deneyler PH 6 'da yapılmıştır. Farklı derişimlerde, 500'er mililitre 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, üç tane Potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) çözeltileri hazırlandı.. Hazırlanan çözeltileri sırası ile 298 K, 308 K, 318 K derece sıcaklıklarda ayrı ayrı her 500 ml çözeltiliye 0,75 gram kil ve 0,75 gram badem kabuğu talaşı eklenerek magnetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Değişik zaman aralıklarında, 0-2-5-10--20--30--40-50--60-70-80-90-100-110-120-140-150-180. dakikalarda çözeltilerden 5 ml örnekler alınarak, santrifüjlenip şekil 3 de gösterilen UltraViyole -VIS mini 1240 SHIMADZU marka Spektrometre cihazında, 1 cm ışın yollu kristal cam küvetler kullanılarak 516 nanometre dalgaboyunda, adsorbansları ölçülmüştür. Bu adsorbansları ve çözeltilerde kalan potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) derişimleri kayıt edilmiştir. Adsorpsiyona ilişkin elde ettiğimiz termodinamik sonuçlara göre brim zamanda en fazla adsorpsiyon 20 ppm Potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) çözeltisinde gerçekleşmiştir. Termodinamik sonuçlar tablo 2 de verilmiştir. Bu sonuçtan hareketle 20 ppm lik potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) çözeltisi 180 dakika kil ve badem kabuğu ile ayrı ayrı $25^{\circ}C$ ' de karıştırıldı. Mavi bant süzgeç kağıdından süzüldü. Açık havada 72 saat kurutuldu. Elde edilen potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) adsorbe etmiş badem kabuğu ile potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) adsorbe etmiş kil örnekleri Yüzüncü yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Merkezine götürülerek analizi yapılmıştır. . Bilimsel Araştırma Merkezinde SEM (Scanning Electron microscope) ile nano boyutta görüntüsü alınmıştır. Ayrıca burada badem kabuğu ve kilin yüzde elemental analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları raporumuzun bulgular bölümünde gösterilmiştir.

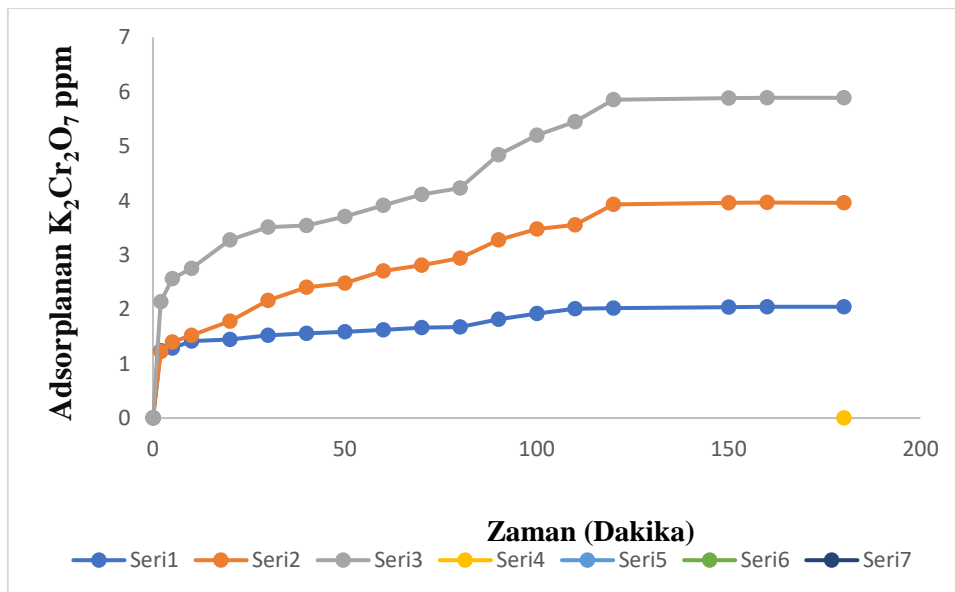
3. BULGULAR



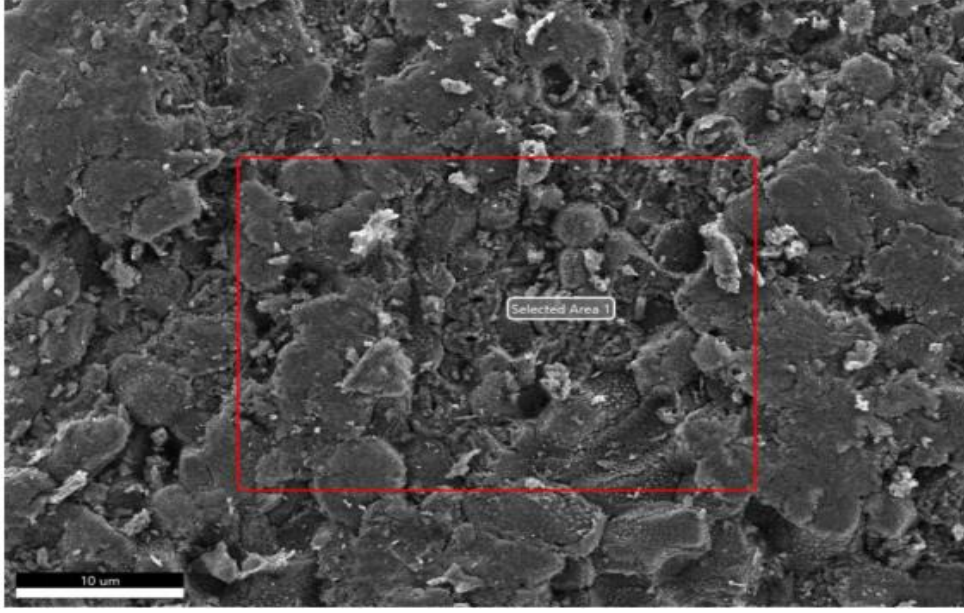
Şekil 2.1. $T_1=298$ K 'de farklı konsantrasyonlarda $K_2Cr_2O_7$ in zamana bağlı adsorpsiyon denge grafiği



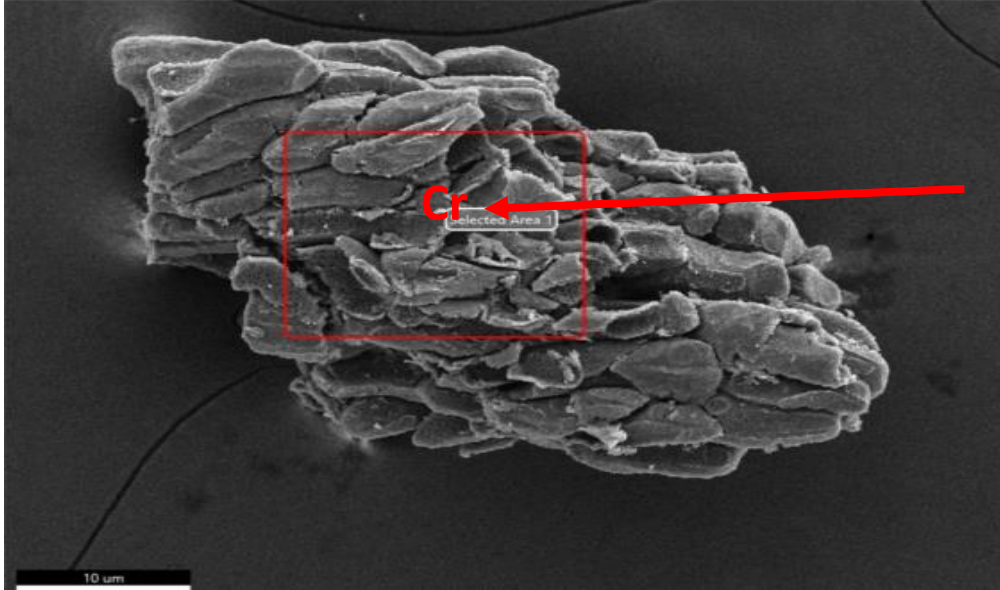
Şekil 3. $T_2 =308$ K 'de farklı konsantrasyonlarda $K_2Cr_2O_7$ in zamana bağlı adsorpsiyon denge grafiği



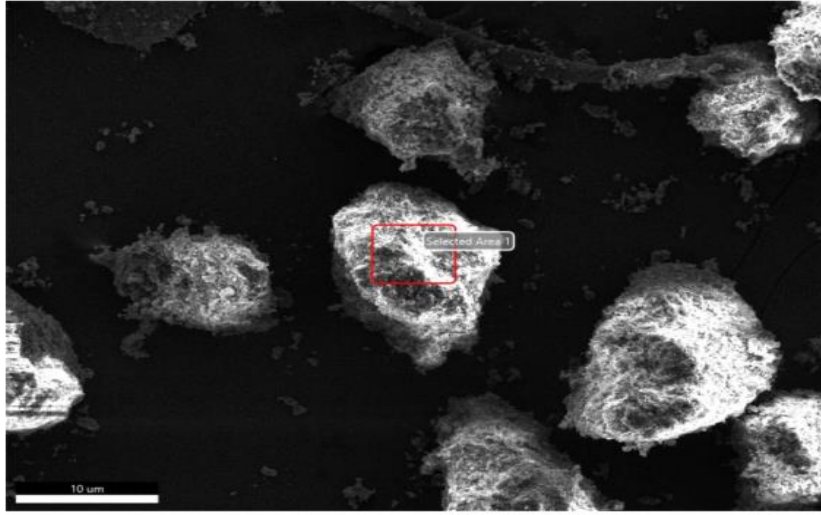
Şekil 4. $T_3 = 318\text{ K}$ 'de farklı konsantrasyonlarda $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ in zamana bağlı adsorpsiyon denge grafiği



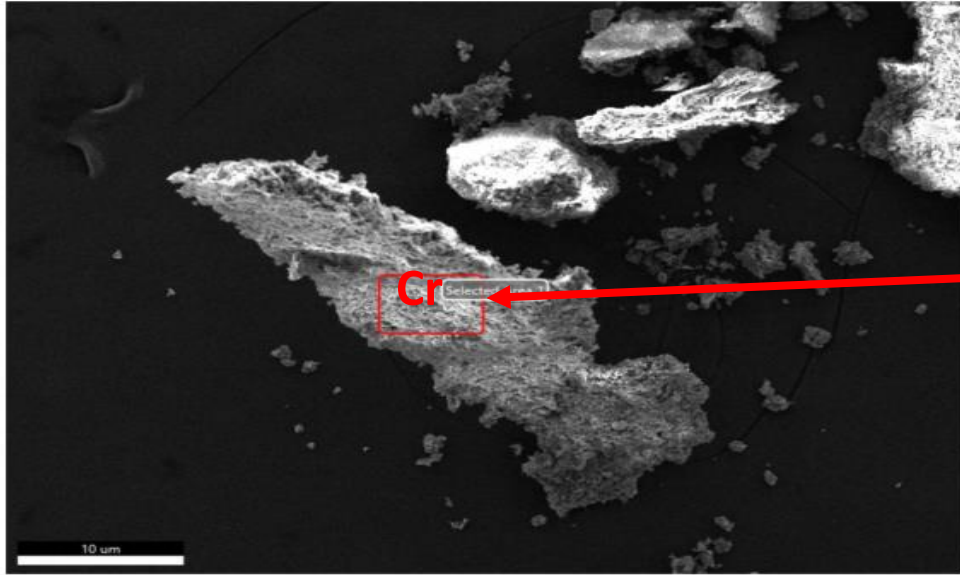
Şekil 5. Badem kabuğu SEM görüntüsü



Şekil 6. Badem Kabuğu $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ SEM görüntüsü



Şekil 7. Kil SEM görüntüsü



Şekil 8. Kil $K_2Cr_2O_7$ SEM görüntüsü

Şekil 5,6,7,8 de görüldüğü gibi Potasyum Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) adsorbe etmemiş saf badem kabuğu talaşı ve saf Bardakçı kilinin, SEM (Scanning Electron microscope) ile nano boyutta görüntüsü alınmıştır. Ayrıca Potasyum Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) adsorbe etmiş badem kabuğu talaşı ve Bardakçı kilinin, SEM (Scanning Electron microscope) ile nano boyutta görüntüsü alınmıştır. Bunların ayrı ayrı yüzde elemental analizi yapılmıştır.

Tablo 1.Potasyum dikromatın(K₂Cr₂O₇) badem kabuğu ve kil adsorpsiyonu ile yapılan elementel analiz sonuçları

Element	Saf kil Elementel Analizi	K ₂ Cr ₂ O ₇ Adsorbe etmiş kilin % Ağırlıkça elementel analizi	Saf badem kabuğu % Ağırlıkça Elementel Analizi	K ₂ Cr ₂ O ₇ Adsorbe etmiş badem kabuğunun% Ağırlıkça elementel analizi
Krom	0	0,92	0	0,87
Oksijen	46,69	38,80	45,39	42,26
Sodyum	1,63	0	0	0
Magnezyum	5,51	4,03	0	0
Alüminyum	7,67	6,76	0	0
Silisyum	19,31	17,01	0,82	0,86
Potasyum	2,24	2,71	0	0,48
Kalsiyum	8,26	7,09	0,65	0,44
Demir	8,70	10,93	0	0
Karbon	0	0	47,59	48,73

Deneysel parametreler Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modelleri ışığında değerlendirilmiş olup, Langmuir ve Freundlich verileri hesaplanmıştır. Her ikisorsorpsiyon modelinden hangisinin daha güzel uyum gösterdiği araştırılmıştır.(Köylü,2015)

Langmuir denkleminin lineer formu olarak;

$$C_{eq}/q_e = 1/(q_m \cdot b) + C_{eq}/q_m$$

Freundlich denkleminin lineer formu olarak;

$$\log q_e = \log k_f + n \log C_e$$

C_e : Çözeltinin denge derişimi (mg.L⁻¹)

q_m :Langmuir sabiti; dengedeki adsorplayıcı maddede tutunan maksimum miktar(mg/g)

q_e :Dengede bulunan adsorbentte adsorplanan miktar (mg.g⁻¹)

b :Langmuir sabiti; sorpsiyon denge sabiti (L.mg⁻¹)

n :Freundlich sabiti

k_f:Freundlich denge sabiti (mg.g⁻¹)

Tablo.2. Potasyumdikromatın(K₂Cr₂O₇) badem kabuğu ve kil adsorpsiyonunda hesaplanan Langmuir ve Freundlich verileri

T (K)	Langmuir		Freundlich			
	b(L.mg ⁻¹)	q _m (mg.g ⁻¹)	R ²	n	k _f (mg.g ⁻¹)	R ²
298	0,3139	18,5185	0,6864	2,3288	7,84	0,8604
308	1,9305	11,2359	0,9712	2,9994	1,8717	0,9955
318	0,01328	41,3223	0,8967	1,6722	0,5895	0,9848

3.1. Adsorpsiyon Termodinamiği

Adsorpsiyon türünün saptanmasında ΔG° , ΔS° ve ΔH° değerleri önem arz eder. Bu nicelikler aşağıda verilendenklem:

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

ΔG° : Gibbs serbest enerji değişimi (kJ.mol⁻¹)

ΔH° : Entalpi değişimi (kJ.mol⁻¹)

ΔS° : Entropi değişimi (kJ.mol⁻¹K)

T: Mutlak sıcaklık (Kelvin)

Termodinamik parametreler, bir olayın yapılabilirliğini ve kendiliğinden olma eğilimini gösterir. Aşağıdaki şekilde gösterilir. (Sarıkaya,1993).

$$\frac{d \ln b}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$$

508

Burada; b Langmuir sabiti, ΔH adsorpsiyon entalpisi (J/mol), R evrensel gaz sabiti (J/molK) dir.Bu eşitliğe göre; denge sabiti (b)üzerine sıcaklığın etkisi, ΔH 'nın işareti ile değerlendirilir. Böylece, ΔH pozitif işaretli olduğunda (endotermik adsorpsiyon), sıcaklıktaki artış denge sabitinin artmasına neden olur. Tam tersine ΔH negatif işaretli olduğunda (ekzotermik adsorpsiyon) sıcaklıktaki artış denge sabitinin azalmasına neden olur. Çözültiden adsorpsiyon entalpisi, aşağıdaki denklem yardımıyla bulunur. (Uslu,2006;Kul,2019). (Kabak, 2008).

Tablo 3. Potasyum dikromatın (K₂Cr₂O₇) badem kabuğu ve kil adsorpsiyonunda hesaplanan Termodinamik parametre değerleri

T (Kelvin)	Kc	ΔG° , kJ.mol ⁻¹	ΔH° , kJ.mol ⁻¹	ΔS° , kJ.mol ⁻¹
298	1,530949	-104,547		
308	5,448404	-108,052	-0,1105	0,35046
318	0,487685	-111,557		

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Potasyum dikromatın ($K_2Cr_2O_7$) Badem kabuğu ve Kil üzerinde hesaplanan izoterm verileri incelendiğinde, adsorpsiyonun Freundlich izotermine iyi uyduğu ve en iyi sonucun $R^2 = 0,9955$ ile 308 K'da olduğu görülmektedir. Ayrıca tablo 3 te termodinamik verilere bakıldığında; 20 ppm de ΔH entalpi değerinin -0,01105 kJ/mol negatif çıkması adsorpsiyonun ekzotermik olduğunu, ΔS değerinin pozitif, 0,35046 kJ/mol.K çıkması çözelti de bulunan taneciklerin entropisinin azaldığını istemsiz olduğunu ΔG değerlerinin 298 K, 308 K ve 318 K de pozitif değerler çıkması (-104,547 kJ/mol, -108,052 kJ/mol, -111,557 kJ/mol) adsorpsiyonun sıcaklık arttıkça istemsiz olduğunu ve sıcaklık arttıkça Potasyum dikromatın ($K_2Cr_2O_7$) Badem kabuğu ve Kil üzerindeki adsorpsiyonunun azaldığını ortaya koymaktadır. Çözelti ortamının optimum PH'sı 6 olarak ayarlanmıştır. Potasyum Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) adsorbe etmemiş saf badem kabuğu talaşı ve saf Bardakçı kilinin, SEM (Scanning Electron microscope) ile nano boyutta görüntüsü alınmıştır. Ayrıca Potasyum Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) adsorbe etmiş badem kabuğu talaşı ve Bardakçı kilinin, SEM (Scanning Electron microscope) ile nano boyutta görüntüsü alınmış ve bunların ayrı ayrı yüzde elemental analizi yapılmıştır. Elementel analiz sonucunda; Potasyum Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) adsorbe etmiş badem kabuğu talaşı ağırlıkça % 0,87 gram krom adsorbe etmiştir. Bardakçı kili ise ağırlıkça % 0,92 gram krom adsorbe etmiştir. Bu sonuçlar bizlere Van ili Bardakçı kili ile desteklenen badem kabuğu talaşından hazırlanan karışımın adsorban olarak atık su arıtılmasında filtre amaçlı kullanılabileceğini göstermektedir.

5. KAYNAKÇA

Acemioğlu B, (2004). [Adsorption of Congo red from aqueous solution onto calcium-rich fly ash](#). J. Colloid Interface Sci., 274: 371-379.

Aksu, Z, Kabasakal E, [Batch adsorption of 2, 4-dichlorophenoxy-acetic acid \(2004\). \(2, 4-D\) from aqueous solution by granular activated carbon](#). Separation and Purification Technology, Elsevier. ;35- 223

Badem kabuğu https://adana.tarim.gov.tr/Belgeler/Subeler/bitkisel/uretim_ve_bitki_sagligi/subemudurlugu/meyve_yetiştiriciliği_ve_mücadelesi/Ba%20C4%9Fdem.pdf
Erişim Tarihi: 1.5.2020.

Brunauer S. (1942). The Adsorption Of Gases And Vapors., Oxford University Press, London. Vol. 1 :21-52

Giles, C. H., Smith, D., Hutson, (1974). A. A. General Treatment And Classification Of The Solute Adsorption Isotherm, Academic Press, Scotland. Vol. 47.7.

Gong, R. M. Ding, Y. Li M. Yang, (2005). C. Dyes And Pigments. Elsevier. 64; 187-92

Güzel F. (1991). Fındık ve Badem Kabuklarından Çeşitli Hazırlama Koşullarında Aktif Karbon Üretimi ve Bunların Adsorpsiyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Köylü, E. Gonen, F. Önalın, F. Asidik Boyarmadde İçeren Tekstil Endüstrisi Atıksularından Adsorpsiyon Yöntemiyle Renk Giderilmesi. Anadolu University Journal Of Science And Technology-A Applied Sciences And Engineering. 2015;16-145

Kabak, H., (2008). Kullanılan Bazı Tıbbi İlaçların Canlı Aktif Çamur Biyokütlesi Tarafından Adsorplanma Özelliğinin İncelenmesi (doktora tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

Krom 6 (2020) <https://halicevre.com/krom6-maruziyetleri/erişim> Tarihi: 20.12.2020

Kul A.R, Elik H.(2020). Van İlinde Yetişen Mısır (Zea Mays, Corn, Mais) Koçanı Talaşında Metilen Mavisi Adsorplama Çalışmalarının Termodinamik Ve İzoterm Hesaplamaları. Karadeniz 3.Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi Erişim adresi: <https://www.karadenizkongresi.org/>

Kul A.R, Elik H, Aldemir A, Erge H. (2019). Van İlinde Yetişen Söğüt Ağacından Alınan Yapraklar Üzerinde Metilen Mavisi Adsorpsiyonu Çalışmasının Termodinamik ve İzoterm Hesaplamaları. Umteb 6. Uluslararası Mesleki Ve Teknik Bilimler Kongresi; Erişim adresi: <https://www.umteb.com/>

Özbaş, Z (2018, Eylül) Fonksiyonelleştirilmiş PVA kopolimeri ile Krom (VI) Adsorpsiyonu. 13. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van. Erişim Adresi: <http://ukmk2018.kongresi.gen.tr/>

Sarıkaya (1993). Y. Fizikokimya, 1. Gazi Büro Kitapevi. Ankara.

Türk Tabipleri Birliği Bergama Raporu (2001). Siyanür Liç Yöntemiyle Yapılan Altın Madenciliğinin İnsan Ve Çevre Sağlığı Üzerindeki Etkileri Ve Bergama-Ovacık Altın Madeninin Yaratacağı Risklerin Değerlendirilmesi. Erişim Adresi: <https://www.ttb.org.tr/eweb/bergama/5.html>

Uslu G. Tanyol M. (2006). Equilibrium and thermodynamic parameters of single and binary mixture biosorption of lead (II) and copper (II) ions onto *Pseudomonas putida*: Effect of temperature. Elsevier. Volume, 135. p.87-93. Erişim Adresi: <https://www.elsevier.com/books-and-journals>

Walton, H. (1970). Ion Exchange In Analytical Chemistry, 1. Edition Pergamon Press, Oxford. Vol. 38.