

Montmorillonit Mineral Kayacı Kullanılarak Çözeltilerden Krom (III) İyonlarının Giderimi ve Etki Eden Parametrelerin İncelemesi

Şahset İRDEMEZ*¹, Fatma EKMEKYAPAR TORUN¹, Gül DURMUŞ¹

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Bölümü, Erzurum

(Alınış / Received: 09.01.2017, Kabul / Accepted: 21.04.2017,
Online Yayınlanma / Published Online: 20.09.2017)

Anahtar Kelimeler
Adsorpsiyon
Krom (III) giderimi
Montmorillonit

Özet: Bu çalışmada, Erzurum' un Narman ilçesinden temin edilen doğal kil montmorillonit ile sentetik olarak hazırlanmış krom (III) içeren sulardan adsorpsiyonla krom giderimi çalışılmıştır. Çalışmada adsorpsiyona etki eden parametreler incelenmiş ve optimum değerler tespit edilmiştir. Ayrıca aynı adsorban aktifleştirilerek krom (III) giderimine yönelik denemeler tekrarlanmıştır.

Parametre olarak atıksuyun pH'sı, adsorban konsantrasyonu, başlangıç krom (III) konsantrasyonu, sıcaklık, karıştırma hızı incelenmiştir. Çalışma sonucunda en uygun pH = 5, en uygun karıştırma hızı = 300 rpm olarak bulunmuştur. Sonuç olarak uygun pH, adsorban konsantrasyonu, sıcaklık ve karıştırma hızı kullanıldığında %90'a kadar giderme verimlerine ulaşılmıştır.

Aktifleştirme işleminin verime herhangi bir olumlu katkı yapmadığı hatta aktifleştirme işleminin por yapısını bozması nedeniyle desorpsiyonun hızlandığı tespit edilmiştir.

The Removal of Chromium (III) Ions From Solutions and Examination of Effectig Parameters by Using Montmorillonit Mineral Clays

Keywords
Adsorption
Chromium (III) emoval
Montmorillonit

Abstract: In this study, the removal of chromium (III) from waters by adsorption has been investigated using the natural clay, montmorillonit which was obtained from the vicinity of Narman, Erzurum. The effective parameters on adsorption were investigated and the optimal values were obtained. Same adsorbent has been tested at activation process and experiment were repeated.

The pH, adsorbent concentration, initial chromium (III) concentration, temperature, stirring speed were examined as parameters. In conclusion, it has been found the optimal pH=5, the optimal stirring speed = 300 rpm. It has been

reached up to %90 of removal under the conditions of which appropriate pH, adsorbent concentration, temperate and stirring speed were employed.

It was also determined that activation process has no positive effects on the yield. Because activation process increases the desorption by damaging the structure of the adsorbent.

*Sorumlu yazar: sirdemez@atauni.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde dünya nüfusundaki hızlı artış, düzensiz kentleşme, enerji ve besin yetersizliği, tüketimin artması ve teknolojinin hızla gelişmesi, çevre kirliliği sorununun önemini iyice artırmıştır. Atık sular fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirlilik gösterebilirler. Tekstil, kâğıt, deri, boya ve metal eşya endüstrisi gibi çeşitli endüstri atık suları fazla miktarda ağır metal ve sentetik boya içermektedir. Ağır metal ve sentetik boya içeren endüstriyel atık suların arıtımlarının yapılmadan akarsu ve denizlere boşaltılmasının bu ortamdaki canlılar üzerinde toksik-kanserojen aromatik amin bileşiklerinin oluşması gibi birincil çevresel etkisinin yanında, estetik açıdan çevreyi olumsuz biçimde etkilemesi gibi ikincil bir etkisi de vardır.

Ağır metaller, su kaynaklarına en fazla endüstriyel faaliyetler (termik santraller, oto sanayi vs.), endüstriyel atıklar veya asit yağmurları ile ulaşabilmektedir. Asit yağmurlarının yağması toprakta bulunan ağır metallerin göllere, akarsulara ve denizlere karışmasına sebep olur. Asit yağmurları nedeniyle artan asitlik ve artan ağır metal konsantrasyonu suda yaşayan canlılar için doğrudan zehir etkisi yapar.

Ayrıca ağır metal konsantrasyonunun yüksek olması oksijenin çözünürlüğünü düşürdüğünden ağır metal içeren atık suların su kaynaklarına arıtımı yapılmadan boşaltılması, çözünmüş

oksijen miktarını azaltarak canlıları etkilemektedir. Türkiye’de kontrolsüz endüstrileşmeye izin verilmesi nedeni ile su kaynaklarındaki ve atmosferdeki ağır metal konsantrasyonları sürekli yükselmektedir. Ağır metallerin ekolojik sistemde doğal yollarla yayınımları dikkate alındığında insan faktöründen kaynaklanan ağır metal miktarlarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir [1, 2].

Krom hem metalik olarak ve hem de bileşikleri şeklinde endüstride çok yaygın kullanılan bir metaldir. Krom paslanmaz çelik üretimi, çeşitli lehim ve pas engelleyicilerin üretimi ile ilgili metalürji endüstrisinde, boya, cila, cam ve seramik malzemelerinde, deri endüstrisinde kullanılmaktadır [3]. Bu nedenle bu endüstrilerin atık sularında önemli bir kirliliğe yol açmaktadırlar. Krom toksik özelliklere sahip olduğundan su ortamında bulunması istenmeyen bileşiklerdendir. Krom suların içerisinde hem +3 ve hem de +6 değerlikli olarak bulunabilir. Krom(VI) sularında kromatlar şeklinde anyon olarak bulunurken krom (III) katyon şeklinde bulunmaktadır. Bu nedenle giderim mekanizmaları farklıdır.

Çevre mühendisliğinde kullanılan en yaygın adsorban olan aktif karbon atık sulardan adsorpsiyonla krom gideriminde de en ideal adsorban olarak dikkat çekmektedir. Ancak, aktif karbonun pahalı bir malzeme olması nedeniyle daha düşük maliyetli

adsorbanlar bulmak amacıyla çalışmalar yapılmaktadır [4, 5]. Mineral esaslı doğal adsorbanların ve endüstri kaynaklı atıkların adsorban olarak kullanımında ise en önemli yönlerinin yüzeylerinde aktif merkezlerin bulunması, belirli bir iyon için seçici olmalarıdır [6].

Adsorpsiyon işlemi özellikle düşük konsantrasyonlardaki krom içerikli atıksuların arıtımında uygun bir yöntem olarak dikkat çekmektedir. 1976'da Barlet ve Kimble [7] ve 2008 yılında Jiang [8] toprak materyalleri ile Griffin ve Frost 1977 [9] yılında kil ile 1975 yılında Huang [10] ve 2007 yılında Chen [11] aktif karbon ile 1978 yılında Kaneko [12] silika titania jeli ile 2005 yılında Majdan [13] bentonit ile 2000 yılında Toprak [14] aktifleştirilmiş klinoptilolit ile 2001 yılında Krishna [15] modifiye edilmiş aktif karbon ile 1999 yılında Günaydın [16] çinko ekstraksiyon artıkları ile 2004 yılında Erdem, Altundoğan and Tümen [17] aktive edilmiş boksit ile ve 1987 yılında Tümen, Arslan ve Bildik [18] kırmızı çamur ile çalışmalar yapmışlardır. 2016 yılında Samson ve arkadaşları [19] modifiye edilmiş yer fıstığı kabuğu kullanarak, 2017 yılında Fellenz ve arkadaşları [20] MCM-41 sorbenti kullanarak sulardan krom (VI) giderimi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Montmorillonit minerali ile literatürde birçok çalışma mevcuttur. Ancak krom (III) giderimi ile ilgili çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, Erzurum'un Narman ilçesinde bol miktarda bulunan bir mineral olan montmorillonit ile krom(III) içeren atık suların giderimi araştırılmıştır. Krom giderimine etki eden parametreler ve optimum değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca aynı adsorban aktifleştirilerek aktifleştirme işleminin etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada sentetik olarak hazırlanmış atıksulardan krom(III) iyonlarının adsorpsiyonla giderimi ve adsorpsiyon üzerine etkili olan parametreler incelenmiştir. Çalışmada Erzurum'un Narman ilçesinden çıkarılan doğal kil montmorillonit adsorban olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmada adsorpsiyon üzerine pH'nın etkisi, başlangıç krom konsantrasyonu, sıcaklık, karıştırma hızı ve adsorban miktarının etkisi incelenmiştir.

2.1. Materyal

2.1.1. Kullanılan kil ve özellikleri

Bu çalışmada, Erzurum'un Narman ilçesinden çıkarılan doğal kil kullanılmıştır. Kilin kimyasal analiz sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir [21].

Tablo 1. Mikronize montmorillonit mineral kayaç analizleri

Sembol	%
Na_2O	0,2-2,30
MgO	2,82-7,2
Al_2O_3	20,6-13,7
SiO_2	45,1-8,2
K_2O	0,82-2,6
CaO	1,71-7,4
TiO_2	0,52-0,63
Fe_2O_3	5,62-6,13
LOI(Oksijen sınırlama indeksi)	12-13

Tablo 2. Montmorillonit mineralinin kimyasal analizi

İçerik	%
Semektit %	68-78
Kaolin %	15-20
Kil	94
Kuars%	4
Diğer	2

2.2. Metot

Denemeler Admond Buhler KS-15 marka çalkalayıcı inkübatörde kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. Krom (III) analizleri SHİMADZU AA6800 model atomik adsorpsiyon spektrofotometresi ile yapılmıştır. Tüm deneyler 250 ml'lik erlenlere 100 ml atıksu konularak gerçekleştirilmiştir. Denemelerde kullanılan Cr(III) çözeltisi CARLO ERBA marka $Cr(NO_3)_3 \cdot 9 H_2O$ ile hazırlanmıştır.

Aktifleştirme işlemi: Aktifleştirme işleminin uygulanacağı kil musluk suyunda birkaç kez yıkanmıştır. Daha sonra birkaç kez de saf su ile yıkanarak $105^\circ C$ 'de 4 saat bekletilmiştir. Kuruyan kil (ağırlıkça %85) 1:1 oranında seyreltilmiş fosforik asitle muamele edilmiştir. Daha sonra $500^\circ C$ 'de 2 saat kül fırınında bekletilmiştir. Daha sonra sıcak saf su ile pH 6 olana kadar yıkanmış ve kurutularak küçük parçalar halinde cam şişeye konulmuştur [22].

3. Bulgular

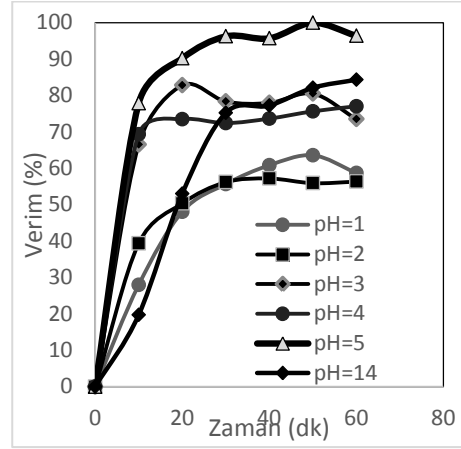
3.1. Doğal (işlem Görmemiş)

Montmorillonit Kullanılarak

Krom(III) İyonlarının Adsorpsiyonu

3.1.1. pH'nın etkisi

Montmorillonit minerali ile krom (III) giderilmesinde pH'nın etkisi incelenirken yapılan denemeler 100 mg/L Cr^{+3} içeren sentetik olarak hazırlanmış çözelti ve 5 gr/L adsorban konsantrasyonunda, 100 ml çözelti ve 200 rpm karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Deneyler süresince numuneler alınmış ve elde edilen veriler Şekil 1' de şematik olarak gösterilmiştir.



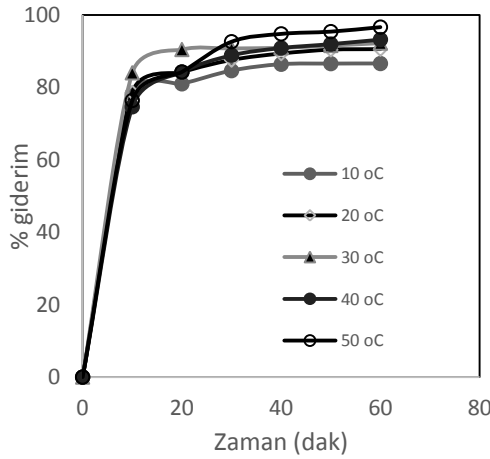
Şekil 1. Cr^{+3} 'ün montmorillonit üzerine adsorpsiyonuna pH'nın etkisi

Şekil 1 incelendiğinde pH 1 ve 2 için krom(III) gideriminin yaklaşık %50, pH 3 ve 4 için yaklaşık %80 olduğu görülmektedir. pH 5'de ise %100'e yakın verim elde edilmiştir. pH 6 ile pH 12 arasında %100 krom giderimi gerçekleşmiş olsa bile yapılan çalışmalar bu durumun büyük oranda adsorpsiyon ile değil kromun $Cr(OH)_3$ şeklinde çökmesi şeklinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu nedenle bu pH aralığı dikkate alınmamıştır. pH 14'de ise krom (III)'ün çözünürlüğü yüksek olduğundan bu pH'da giderim kimyasal çöktürme ile değil adsorpsiyonla gerçekleşmiştir. pH=14 için giderim %80 civarlarındadır.

Bu sebepten dolayı kimyasal çökeltmenin önüne geçebilmek ve adsorpsiyonu inceleyebilmek amacıyla daha sonraki denemeler pH 5'de gerçekleştirilmiştir.

3.1.2. Sıcaklığın etkisi

Montmorillonit minerali ile krom (III) giderilmesinde sıcaklığın etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan denemeler 100 mg/L Cr^{+3} , 5 gr/L adsorban konsantrasyonunda, 100 ml çözelti kullanılarak, 200 rpm karıştırma hızında ve pH=5'de gerçekleştirilmiştir. Deneyler süresince numune alınarak elde edilen veriler Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir.

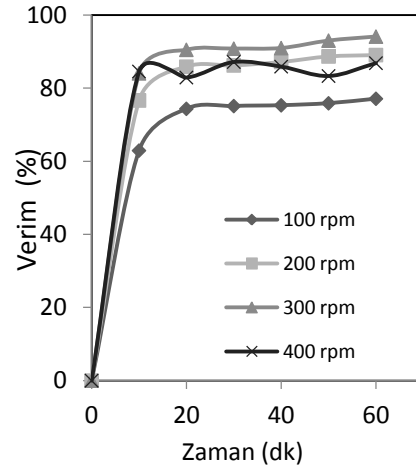


Şekil 2. Cr^{+3} 'ün montmorillonit üzerine adsorpsiyonuna sıcaklığın etkisi

Şekil 2 incelendiğinde bütün sıcaklık değerlerinde 10 dakikada yaklaşık %80 verime ulaşıldığı görülmektedir. 10°C'de 60 dakikada %85 verim elde edilirken 20, 30 ve 40°C'de 60 dakikada %90 verim elde edilmiştir. 50°C'de 60 dakika da %95 verime ulaşılmıştır. Şekil 2'den elde edilen veriler kullanılarak yalancı ikinci derece kinetiğe göre reaksiyon hız sabitleri hesaplanmış ve $1/T'$ ye karşı $\ln k$ grafikleri çizilerek aktivasyon enerjisi 39,97 kJ/mol olarak bulunmuştur. Bu ise adsorpsiyon mekanizmasının fiziksel olduğunu göstermektedir.

3.1.3. Karıştırma Hızının Etkisi

Montmorillonit minerali ile krom(III) giderilmesinde karıştırma hızının etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan denemeler 100 mg/L Cr^{+3} , 5 gr/L adsorban konsantrasyonunda ve pH=5'de gerçekleştirilmiştir. Numuneler 100, 200, 300 ve 400 rpm karıştırma hızlarında 60 dakika işleme tabi tutulmuşlardır. Elde edilen veriler şekil 3'de gösterilmiştir.



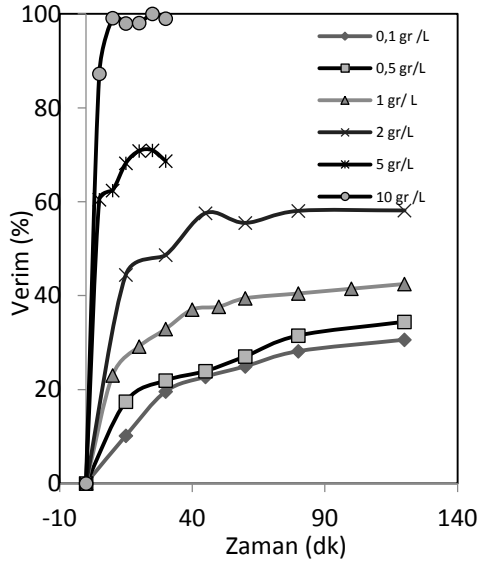
Şekil 3. Cr^{+3} 'ün montmorillonit üzerine adsorpsiyonuna karıştırma hızının etkisi

İlk 10 dakikada işleme tabi tutulan bütün karıştırma hızlarında yaklaşık aynı verim elde edilmiştir. 10 dakikadan sonra düşük karıştırma hızlarında adsorbanın dibe çökmesi ve Cr^{+3} partikülleriyle yeterince temas edememesi nedeniyle yeterince verim elde edilememiştir. 100 rpm karıştırma hızında verim yaklaşık %70 olurken, 200 rpm'de %85 ve 300 rpm'de ise %95 olarak bulunmuştur. 400 rpm'de ise yüksek karıştırma hızı nedeniyle desorpsiyon meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalarda en iyi verimi 300 rpm karıştırma hızında elde edilmiştir. Bu

nedenle diğer çalışmalar 300 rpm karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir.

3.1.4. Adsorban miktarının etkisi

Montmorillonit minerali ile krom(III) iyonlarının adsorpsiyon prosesi kullanılarak giderilmesinde adsorban konsantrasyonunun etkisini incelemek amacıyla yapılan denemeler 100 mg/L Cr^{+3} konsantrasyonunda, 300 rpm karıştırma hızında ve pH=5'de gerçekleştirilmiştir. Denemelerde 0,1 gr/L; 0,5 gr/L; 1 gr/L; 2 gr/L; 5 gr/L ve 10 gr/L konsantrasyonlarında adsorban ilave edilmiş ve elde edilen veriler şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Cr^{+3} 'ün montmorillonit üzerine adsorpsiyonuna adsorban miktarının etkisi

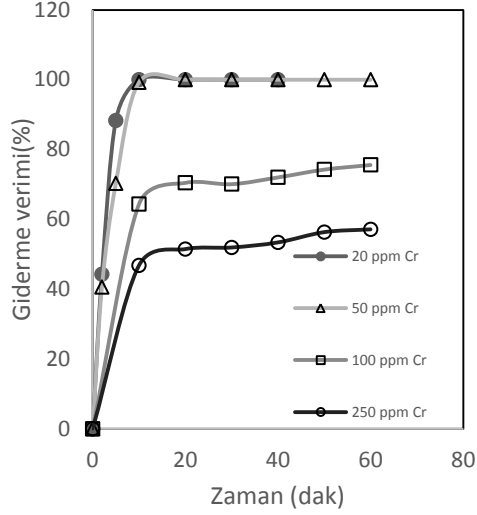
Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar adsorbanın 0,1 ve 0,5 gr/L kullanımında yaklaşık aynı verime ulaşıldığını göstermiştir. Adsorbanın 1 gr/L kullanımında yaklaşık %40 verim elde edilmiştir. 2 gr/L adsorban kullanıldığında yaklaşık %60'lık verime ulaşılmıştır. Adsorban 5 gr/L kullanıldığı zaman ilk dakikalarda verim

%60'a ulaşmış, 30 dakika sonunda ise verim %70 olarak elde edilmiştir. 10 gr/L adsorban kullanıldığı zaman 20 dakikada %100 verim elde edilmiştir. Bu sonuçlar adsorban konsantrasyonu arttıkça adsorpsiyon veriminin arttığını göstermektedir.

3.1.5. Başlangıç Krom(III) Konsantrasyonunun Etkisi

Montmorillonit minerali ile krom(III) giderilmesinde başlangıç krom konsantrasyonu etkisi incelenirken 3 farklı adsorban konsantrasyonu kullanılmıştır. Deneyler 300 rpm karıştırma hızında ve 60 dakika temas süresinde gerçekleştirilmiştir. 5 gr/L adsorban konsantrasyonu için farklı konsantrasyonlarda krom(III) içeren çözeltilerle adsorpsiyonla giderim deneyleri ile elde edilen sonuçlar Şekil 5'de verilmiştir.

Bu grafik incelendiğinde aynı adsorban konsantrasyonu için başlangıç krom konsantrasyonu arttıkça adsorpsiyon veriminin düştüğü söylenebilir. Fakat adsorpsiyonun dengeye gelme süresi değişmemektedir. Bu da adsorpsiyonun hızlı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.



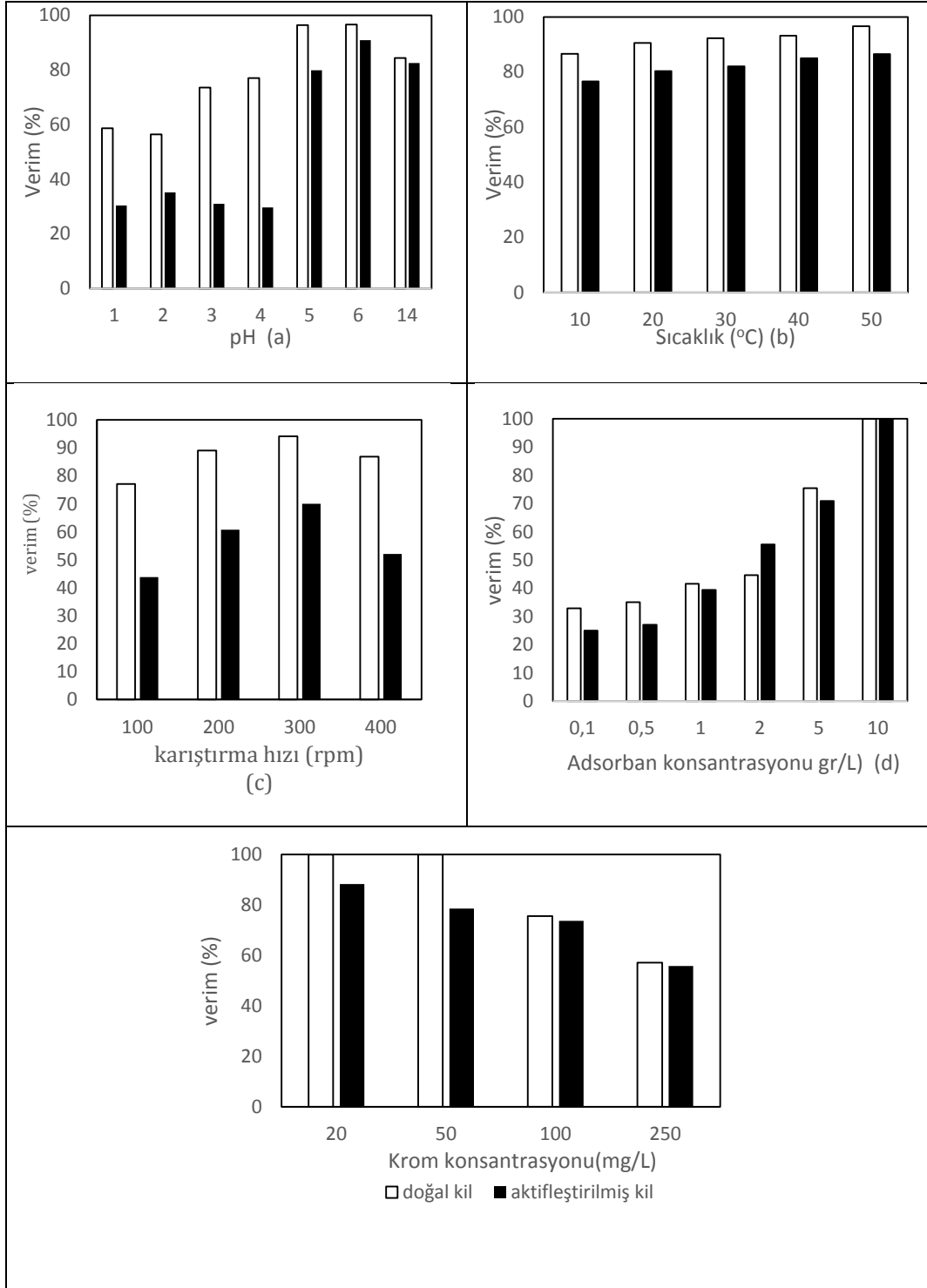
Şekil 5. Cr³⁺'ün montmorillonit üzerine adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

3.2. Cr³⁺'ün Aktifleştirilmiş Doğal Kil Kullanılarak Adsorpsiyonu

Herhangi bir işleme tabi tutulmamış doğal kil montmorillonit ile yapılan adsorpsiyon çalışmaları aktifleştirme işlemi uygulanarak da yürütülmüştür. Deney şartları aynı tutularak yapılan pH denemeleri Şekil 7'de mukayeseli olarak gösterilmiştir.

Şekil 7(a) incelendiğinde aktifleştirme işleminin özellikle düşük pH'larda verimi düşürdüğü yüksek pH'larda ise verimin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. pH 7-13 arasındaki pH'larda krom gideriminin adsorpsiyondan çok kimyasal çöktürme olduğu göz önüne alındığında bu pH'larda her iki adsorban için de verim %100 bulunmuştur.

Diğer parametreler de tek tek incelendiği zaman aktifleştirme işleminin verime bir katkısı olmadığı ve hatta düşürdüğü görülmektedir. Özellikle karıştırma hızında aktifleştirme işleminin verimi düşürdüğü dikkate alınırsa bu işlemin adsorbentın por yapısını bozduğu görülmektedir.



Şekil 7. Doğal montmorillonit ve aktifleştirilmiş montmorillonit ile krom(III) gideriminin karşılaştırılması

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada sentetik olarak hazırlanmış atıksulardan krom(III) iyonlarının adsorpsiyonla giderimi ve adsorpsiyon üzerine etkili olan parametreler incelenmiştir. Adsorban olarak Erzurum'un Narman ilçesinden çıkarılan doğal kil montmorillonit adsorban olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmada adsorpsiyon kinetiği üzerine pH'nın etkisi, başlangıç krom konsantrasyonu, sıcaklık, karıştırma hızı ve adsorban miktarının etkisi incelenmiştir. Ayrıca adsorban olarak kullanılan kil aktifleştirme işlemine tabi tutularak aynı çalışmalar tekrar edilmiştir.

Çalışmada pH'nın etkisi öncelikle düşük pH'larda ve pH 14'de incelenmiştir. Zira pH 6 ile 13 arası pH'larda krom(III) iyonları suda bulunan hidroksit (OH⁻) iyonları ile birleşerek çökelmekte ve adsorpsiyon olayı gerçekleşmemektedir. Çalışmalar sonunda en uygun pH değerinin 5 olduğu tespit edilerek diğer parametreler bu pH'da çalışılmıştır.

Daha sonra yapılan sıcaklık denemelerinde adsorpsiyon hızının sıcaklık artmasıyla arttığı, adsorpsiyonun dengeye gelme süresinin kısaldığı ve verimin de yükseldiği görülmüştür.

Daha sonra çalışmada kullanılan adsorban miktarının etkisi ve başlangıç krom(III) konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir. Adsorban miktarının artmasının adsorpsiyon verimini ve hızını artırdığı, krom konsantrasyonunun artmasının ise adsorpsiyon verimini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Yapılan karıştırma hızının etkisi denemelerinde 100, 200, 300 ve 400 rpm karıştırma hızlarında çalışmalar yapılmıştır. 100 ve 200 rpm için verimin düşük olduğu, 400 rpm karıştırma hızı

için ise deney süresinde desorpsiyonun arttığı tespit edilmiş ve en uygun karıştırma hızının 300 rpm olduğu belirlenmiştir.

Aynı çalışmalar asitle muamele edilerek aktifleştirme işlemine tabi tutulmuş adsorban ile de yapılmıştır. Fakat aktifleştirme işleminin montmorillonit için verimde bir artışa neden olmadığı hatta verimi olumsuz olarak etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca bu adsorban ile yapılan çalışmalarda yüksek miktarda desorpsiyon meydana gelmiş ve denge konsantrasyonunun belirlenmesi zorlaşmıştır. Bu durum aktifleştirme işleminin kilin por yapısını bozduğu ve adsorbe olan moleküllerin kolayca tekrar suya geçtiği izlenimini doğurmuştur.

Yapılan bu çalışma sonunda doğada bol miktarda bulunan ve maliyeti düşük olan montmorillonit mineralinin sulardan ağır metal gideriminde adsorban olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Kaynakça

- [1] Taştan, B. E., Ertuğrul, S., Dönmez, G., "Effective Bioremoval Of Reactive Dye And Heavy Metals By *Aspergillus Versicolor*" *Bioresearch Technology*, 101, 870-876, 2010.
- [2] Zayed A. M. And Norman T., "Chromium in The Environments: Factors Affecting Biological Remediation" *Plant and Soil*, 249, 139-156, 2003.
- [3] Asri Ötüken F., Sönmez S., 2010, Ağır Metal Toksikitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri,

- Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, 2010.
- [4] Fenglian F., Wang Q., "Removal of heavy metals ions from wastewater: review" *Journal of Environmental Engineering*, 92, 3, 407-418, 2011.
- [5] Babel S., Kurniawan T. A., Low-Cost Adsorbents for Heavy Metals Uptake from Contaminated Water: A Review", *J Hazard Mater*, 97, 1-3, 219-243, 2003.
- [6] Günaydın, F., Özer, A., Altundoğan, H.S., Erdem, M., Tümen, F., "The Removal of Cr(VI) from Aqueous Solutions Using Zinc Extraction Residue", *Environ Technol*, 20, 405-411, 1999.
- [7] Barlett, R. J. and Kimble, J. M., "Behaviour of Chromium in Solis-II, Hexavalent Forms", *J Environ Qual*, 5, 383-386, 1976.
- [8] Jiang J., Xu R., Wang Y., Zhao A., "The Mechanism of Chromate Sorption by Three Variable Charge Soils", *Chemosphere*, 71, 8, 1469-1475, 2008.
- [9] Griffin, R.A., Au, K. A. and Frost, A.A., "Effect of pH Adsorption of Chromium from landfill leachate by clay minerals" *Journal of Environmental Science and Health*, 12, 431-449, 1977.
- [10] Huang, C. and Wu, M., "Chromium Removal by Carbon Adsorption", *Journal WPFC*, 47:10, 2437-2446, 1975.
- [11] Chen, W., Parette, R., Zou, J., Cannon, F. S., Dempsey, "Arsenic removal by iron-modified activated carbon" *Water Research*, 41, 1851-1858, 2007.
- [12] Kaneko, S., Tsukamoto, K. and Imoto, F., "Adsorption Characteristics of Chromium (VI) on Coprecipitated Silica Titania Gel", *Nippon Kagaku Kaishi*, 9, 1978.
- [13] Majdan, M., Maryuk O., Pikus S., Olszewska E., Kwiatkowski R., Skrzypek H., "Equilibrium, FTIR, Scanning Electron Microscopy and Small Wide Angle X-Ray Scattering Studies of Chromates Adsorption on Modified Bentonite", *J Mol Struct*, 740, 1-3, 203-211, 2005.
- [14] Toprak, R., Girgin İ., "Aktifleştirilmiş Klinoptilonit ile Deri Sanayi Atıksularından Kromun Giderilmesi", *Türk J Engin Environ Sci*, 24, 343-351, 2000.
- [15] Krishna, B. S., Murty, D. S. R., Prakash, B. S. J., "Arsenic Removal By Iron-Modified Activated Carbon" *Applied Clay Science*, 20, 65-71, 2001.
- [16] Günaydın, F., Özer, A., Altundoğan, H.S., Erdem, M., Tümen, F., "The Removal of Cr(VI) from Aqueous Solutions Using Zinc Extraction Residue", *Environ Technol*, 20, 405-411, 1999.
- [17] Erdem, M., Altundoğan, H. S., Tümen, F., "Removal of Hexavalent chromium by using heat-activated bauxite" *Minerals Engineering*, 17, 1045-1052, 2004.
- [18] Tümen, F., Arslan, N. ve Bildik, M., "Kırmızı Çamur Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Cr(VI) Uzaklaştırılması", *Çevre-87 Sempozyumu*, EBSO-İzmir, 1987.
- [19] Samson O., Tella A. C., "Removal and Hexavalent chromium from

- aqueous solutions by adsorption on modified groundnut hull” Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 5, 4 ,2016.
- [20] Fellenz N., Perez- Alonso F. J., Martin P. P., Garcia-Fierro J. L. , Bengoa J. F., Marchetti S. G. And Rojas S., “ Chromium (VI)removal from water by means of adsorption- reduction at the surface of amino –functionalized MCM-41 sorbents” 239, 138-146, 2017.
- [21] Turan, T., “Pilot süt fabrikası atıksularının membran biyoreaktörde arıtılması” Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, evre Bilimleri Anabilim dalı, Erzurum, 2012.
- [22] Özyay, G., “ Yüksek Lisans Tezi, Atatürk niversitesi evre Mühendislięi Anabilim Dalı, Erzurum, 2012.