

Yağış Sularının Ağır Metal İçeriğinin Uzaklaştırılmasında Doğal Zeolitlerin Etkinliğinin Araştırılması

Fatih TURAN*¹, Sezai ŞEN²

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 35160, İzmir.

¹(ORCID: 0000-0002-9969-0405)

²(ORCID: 0000-0002-0855-4388)

(Alınış / Received: 20.03.2018, Kabul / Accepted: 18.06.2018,
Online Yayınlanma / Published Online: 15.09.2018)

Anahtar Kelimeler **Özet:** Günümüzde, motorlu araçlar, endüstriyel işletmeler ve yaşam alanlarında üretilen atıklardan kaynaklanan ağır metallerin, yağmur sularına karışarak çevre kirliliğine sebep olması, insanlığın karşılaştığı en büyük problemlerden biri haline gelmiştir. Bu çalışmada, şimdiye kadar tespit edilmiş en yüksek ağır metal içeriğine sahip yağmur sularını temsil edecek şekilde hazırlanmış Zn, Ni, Cr ve Cd ağır metallerini içeren çözeltiler kullanılmış ve bu ağır metallerin zeolit üzerine adsorpsiyonu araştırılmıştır. İnce taneli zeolit örneklerinin görece kısa adsorpsiyon sürelerinde iri taneli örneklerle göre daha başarılı olduğu ancak sürenin uzaması durumunda (120 saat) tüm örneklerin adsorpsiyon verimlerinin oldukça yakın değerlere ulaştığı gözlenmiştir. Araştırma sonucunda, kullanılan Gördes yöresi doğal zeolitinin, söz konusu ağır metallerin adsorpsiyonunda oldukça başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışılan başlangıç konsantrasyonları için, trivalent yüklü iyonların (Cr³⁺) katyonların adsorpsiyon verimlerinin bivalent yüklü (Zn²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺) katyonların adsorpsiyon verimlerine nazaran daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Investigation Of The Effectiveness Of Natural Zeolites In The Removal Of Heavy Metal Contents From Stormwater

Keywords: Zeolite; heavy metal adsorption, Zn, Cr, Ni, Cd.

Abstract: Today, heavy metals originating from motor vehicles, industrial enterprises and waste generated in living areas cause environmental pollution by mixing urban stormwater which have become one of the biggest problems humanity faces. In this study, solutions containing heavy metals such as Zn, Ni, Cr and Cd were prepared to simulate the urban stormwater with the highest heavy metal concentrations determined up to now and adsorption of these heavy metals on zeolite has been investigated. It was found that the zeolite samples in fine size fractions were more successful than the

coarse samples in relatively shorter adsorption periods but the adsorption efficiency of all the samples in different particle size fractions reached to very close values (120 hours). It is concluded that Gördes natural zeolite used is very successful in the adsorption of heavy metals in question. Adsorption efficiencies of trivalent charged cations (Cr^{3+}) were observed to be lower than adsorption efficiencies of bivalent charged cations (Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+}) for working initial concentrations.

*Sorumlu yazar: fatih.turan@deu.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde, endüstriyel işletmeler ve yaşam alanlarında üretilen atıklardan kaynaklanan ağır metaller, yağmur sularına karışarak çevre kirliliğine sebep olarak, toplum sağlığını tehdit eden büyük problemlerden biri haline gelmiştir. Bir çok araştırmacı, aşağıda ayrıntısı verildiği üzere, araç lastiklerinden, araçların eksozlarından, asfaltlardan ve tozlardan kaynaklanan ağır metallerin çevreye zarar verdiğini belirtmişler ve son dönemlerde bu konuda birçok bilimsel çalışmalar yapmışlardır.

Kentsel yağmur sularından farklı filtre malzemeleri kullanarak metallerin uzaklaştırılmasını araştıran Krishna ve ark., 2014 yılında zemine döşenen geçirgen ve reaktif filtre sistemlerinin, kontamine olmuş kentsel yağmur sularının iyileştirmesine yardımcı olabileceğini düşünmüşlerdir. Öncelikle kalsit, zeolit, kum, ve demir talaşı gibi filtre malzemelerini seçmişler ve içinde farklı konsantrasyonda Cd, Cu, Pb, Ni, Cr ve Zn içeren altı farklı ağır metal çözeltisi hazırlayarak adsorblanan ağır metallerin, pH, yükseltgenme ve indirgenme potansiyelleri, elektrik iletkenliklerini tespit etmişlerdir. Çalışmalarında; ağır metal adsorpsiyonun ve metallerin uzaklaştırılma miktarının, metalin türüne, konsantrasyonuna ve filtre malzemesine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Langmuir veya Freundlich izotermelerinin, metal adsorpsiyon davranışını en iyi şekilde açıkladığını,

hazırlanan çözeltilerden metallerin ayrılması oranlarının ise kalsit, zeolit ve demir talaşının Cd, Cu, Pb ve Zn için % 95-100 aralığında, Ni oranının zeolit ile %90 oranında, Cr oranının ise demir talaşı ile % 100 oranında olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçta, tek başına hiçbir filtre malzemesinin tüm ağır metallerin gideriminde başarılı olmadığı, bu gibi arıtım işlemlerinde, söz konusu filtre malzemelerinin karışımının kullanılması gerektiğine işaret etmişlerdir [1].

Katarzyna ve ark., 2014 yılında yol kenarı akışlarından geçirgen reaktif bariyer olarak zeolit kullanımıyla çözülmüş metallerin temizlenmesi konusunda bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar; yol ağları ve petrol istasyonu, yol drenaj sistemleri gibi yol alt yapılarının çevre kirliliğinin anahtar kaynakları olduğunu ifade etmişlerdir. Bu yüzden, yeraltı sularının kabul edilebilir kalitesini sağlamak için, uygun bir koruma sistemi gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında PRB (Permeable reactive barrier) kullanmışlar ve yol akışlarının sulu çözeltilerinde zeolit kullanarak Cu, Zn, Pb, Ni, Cd gibi ağır metallerin uzaklaştırılması üzerinde durmuşlardır. Sonuç olarak, çözeltide rekabetçi katyonların oluşmasının kurşun ve bakır konsantrasyonlarını azalttığını belirtmişler ve sulu çözeltilerden ağır metal temizleme yüzdelerini Cd için % 54, Cu için % 31, Ni için % 48, Zn için % 92, ve Pb için % 70 olarak tespit ederek, zeolit metal katyonlarının yol akışlarından

uzaklaştırılmasında umut vaat eden bir araç olabileceğini ifade etmişlerdir [2].

Fuhrman ve ark. 2007 yılında, yağmur suyundan As, Cd, Cr, Cu, Ni ve Zn 'nin aynı anda temizlenmesi ve 11 farklı sorbentin karşılaştırılması konusunda deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yağmur sularından ağır metallerin temizlenmesi amacı ile alümina, aktive edilmiş bouxol kaplanmış kum (ABCS), ağaç kabuğu, bouxol kaplanmış kum (BCS), uçucu kül (FA), granül aktif karbon (GAC), granül ferrik hidroksit (GFH), demir oksit ile kaplanmış kum (IOCS), doğal zeolit (NZ), kum ve spinel ($MgAl_2O_4$)'in potansiyelini araştırmışlardır. Metal çeşitliliği ve saturasyonu verileri PHREEQ-C jeokimyasal modele uygulanmış ve böylece BCS, FA ve spinelin ağırlıklı olarak katyonik ve yüklü olmayan iyonların anyonik türlere kıyasla belirgin olarak daha yüksek afinitesi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, IOCS, NZ, ve kumun As ve Cr'a karşı yüksek afiniteye sahipken, alüminanın ise test edilen tüm ağır metallerle eşit derecede yüksek afinite gösterdiğini ifade etmişlerdir [3].

Göbel ve ark., 2007 yılında kentsel alanlar için fırtına sonucu oluşan suyun akış konsantrasyonu matrisi üzerine derleme bir çalışmaya imza atmışlardır. Araştırmacılar, arazi geliştirmek ve kentleşme süreci sırasında eklenen altyapıların (yollar, kaldırımlar, ticari ve konut yapıları) ve havzalardan yağış toplamak, özellikle akarsular ve nehirler gibi mevcut yüzey suyu kanallarına iletmek üzere tasarlandıklarını ifade etmişlerdir. Yüzey sularının, sızıntı suyu ve yeraltı sularının kalitesinin, geçirimsiz yüzeylerde toplanan ve yağmur su akışı ile taşınan kirleticilerden etkilendiğini belirtmişlerdir. Kasırga sularında yer alan ağır metallerin, (özellikle Pb, Zn, Cu, Cd gibi) poliaromatik hidrokarbonların, mineral yağlı hidrokarbonların, çözünmüş tuzların, suların kalitesinin

bozulmasına katkıda bulduklarının altını çizmişlerdir [4].

Erdem ve ark. 2004 yılında ağır metal katyonlarının doğal zeolitler tarafından uzaklaştırılması konulu çalışmalarında klinoptilolit türü zeolitlerin Co^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} ve Mn^{+2} 'ye karşı adsorpsiyon davranışlarını incelemişler ve saf metal arıtmayla atıksulara uygulanmasını değerlendirmişlerdir. Klinoptilolit metal katyonlarının adsorpsiyon oranlarının Langmuir, Freundlich ve Dubinin-kaganer-Radushkevich adsorpsiyon izoterm verileriyle eşleştiği ve her bir katyon değişimine eklendiğini saptamışlardır. İlgili eşitliklere göre seçicilik sırası $Co^{+2} > Cu^{+2} > Zn^{+2} > Mn^{+2}$ olarak olduğu ve bu sonuçların endüstriyel atıksulardan ağır metallerin giderilmesinde zeolit yüksek potansiyel gösterdiğini belirtmişlerdir [5].

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada Gördes yöresi klinoptilolit türü doğal zeolit kullanılmıştır. Zeolit cevheri çeneli kırıcı kullanılarak -3,35 mm altına kapalı devre kırma uygulaması ile ufalanmıştır. Elde edilen malzemeden temsili olarak alınan analiz numuneleri, halkalı değirmen kullanılarak -106 mikron tane boyutu altına öğütülmüştür. Perkin Elmer Marka PINAAcle 500 model atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile deneylerde kullanılan zeolit cevherinin kimyasal analizi yapılmış ve kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de sunulmuştur. Malzemenin geri kalan kısmı deneylerde kullanılmak üzere elek kullanılarak, 3,35-2 mm, 2-1 mm, -1 mm ve -0,212 mm tane sınıflarına ayrılmıştır.

Tablo 1. Zeolit Cevherinin Kimyasal Bileşimi

Parametre	%
SiO ₂	69,30
Al ₂ O ₃	11,40
Fe ₂ O ₃	1,15
CaO	1,95
MgO	0,84
Na ₂ O	0,38
K ₂ O	3,80
Cr ₂ O ₃	<0,01
TiO ₂	0,07
MnO	0,01
P ₂ O ₅	0,02
SrO	0,04
BaO	0,03
Kızdırma Kaybı	10,10

2.2. Metot

Metal iyonlarının analizi için Perkin Elmer marka PinAAcle 500 model Atomik Adsorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) cihazı ve VARIAN Marka 700 model ICP-OES cihazı kullanılmıştır. pH ölçümleri WTW marka pH 3110, pH metre ile yapılmıştır. Çözeltilerin hazırlanmasında Brand marka ayarlanabilir hacimli mikropipet (0,5-5 mL, 100-1000 µL ve 10-100 µL) kullanılmıştır. Ultra saf su için, Mili-Q (Milipore) marka ultra saf su cihazı kullanılmıştır.

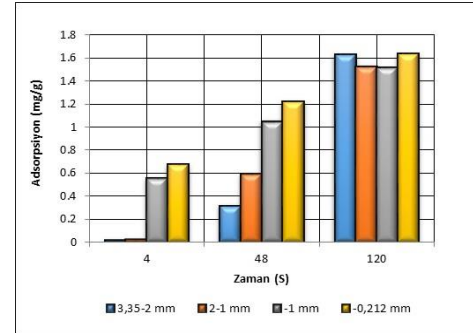
Ağır metal adsorpsiyonu testlerinde çalışılan Cd, Cr, Ni ve Zn için 1000 mg/L ana stok çözeltilerinden, Cd için 11,2 mg/L, Cr için 211 mg/L, Ni için 155,6 mg/L, Zn için 573,3 mg/L derişimlerinde, dünyada yüzeysel yağmur sularında tespit edilmiş olan en yüksek ağır metal konsantrasyonlarını içeren çözeltiler hazırlanmıştır [4].

Çalışmalarda Gördes yöresi 3,35-2 mm, 2-1 mm, -1mm ve -0,212 mm boyutlarında olmak üzere 4 farklı tane sınıfında hazırlanmış zeolit cevheri kullanılmıştır. Bu tane sınıflarındaki her bir numuneden 100 mL hacimli polipropilen kapaklı numune şişeleri içerisine % 5 katı oranında zeolit ve stok çözeltisi içeren süspansiyonlar hazırlanmıştır. Hazırlanan örneklerin kapakları kapatılıp

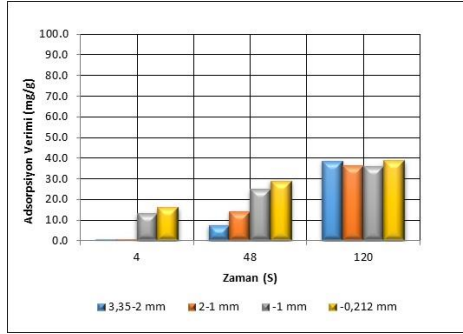
30 saniye boyunca elle çalkalanıp dinlendirilmiştir. İlk numuneler 4 saat sonra alınmış, ardından 48. ve 120. saatlerde numune alınmaya devam edilmiştir. Numune alma işlemleri için 5 mL hacimli otomatik pipet kullanılmış ve element konsantrasyonları ICP-OES kullanılarak belirlenmiştir.

3. Bulgular

Çalışmada Gördes kliniloptilolit türü zeolit cevheri, malzeme ve yöntem bölümünde açıklandığı şekilde 3,35-2 mm, 2-1 mm, -1 mm ve -0,212 mm tane sınıflarında hazırlandıktan sonra adsorpsiyon testlerine tabi tutulmuştur. Zeolitlerin liç işlemleri sonucu 4 saat, 48 saat ve 120 saat süreler sonunda ICP-OES cihazında Cd, Cr, Ni ve Zn okumaları yapılmış ve zeolit üzerine ağır metal adsorpsiyonları, adsorpsiyon verimleri belirlenmiştir. Cr elementine ait adsorpsiyon ve adsorpsiyon verimi değerleri Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.

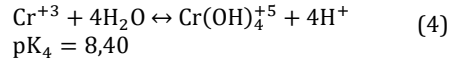
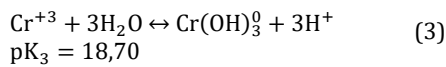
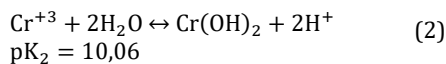
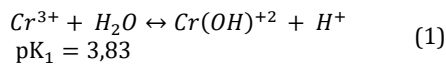


Şekil 1. Zamana bağlı olarak farklı tane sınıflarındaki zeolit üzerine Cr adsorpsiyonu konsantrasyon değerleri

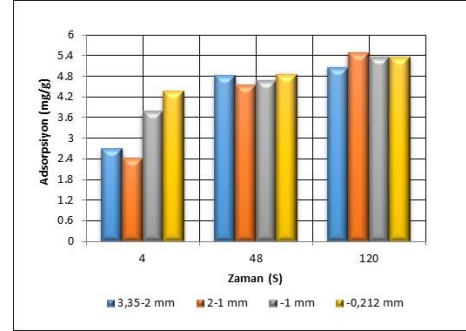


Şekil 2. Zamana bağlı olarak farklı tane sınıflarındaki zeolit üzerine Cr adsorpsiyonu verim değerleri

211 ppm Cr başlangıç konsantrasyonuna sahip çözelti ile yapılan çalışmalar sonucunda, en iri iki tane sınıfındaki zeolit örnekleri kullanıldığında zeolit üzerine Cr adsorpsiyonunun sınırlı olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. İlerleyen saatlerde bu tane sınıflarına Cr adsorpsiyonu artış göstermekteyse de, ilk 48 saat içerisinde -1 mm ve -0,212 mm tane sınıflarındaki zeolit örneklerinin adsorpsiyon verimleri diğer tane sınıflarına göre daha yüksek değerlerdedir. 120 saatlik adsorpsiyon süresi sonucunda tüm tane sınıflarında adsorpsiyon verimlerinin birbirine oldukça yaklaştığı, tüm tane sınıflarında zeolit üzerine Cr adsorpsiyonunun 1,5-1,6 mg/g civarında gerçekleştiği tespit edilmiştir. 3,35-2 mm, 2-1 mm, -1 mm ve -0,212 mm tane sınıflarına göre adsorpsiyon verimleri sırasıyla, % 38,6, % 36,2, % 36,0 ve % 38,8 olarak hesaplanmıştır. Çözeltide Cr, Cr³⁺ katyonu olarak bulunmaktadır [2-12]. Cr³⁺'ün hidroliz reaksiyonları 1-4 eşitliklerinde verildiği şekilde gerçekleşmektedir.



Zn elementine ait adsorpsiyon ve adsorpsiyon verimi değerleri Şekil 3-4'de verilmiştir.

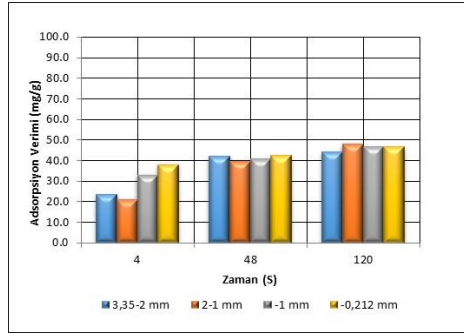


Şekil 3. Zamana bağlı olarak farklı tane sınıflarındaki zeolit üzerine Zn adsorpsiyonu konsantrasyon değerleri

Adsorpsiyon testleri, 573,3 ppm Zn²⁺ içeren çözelti ile yapılmış ve testlerinin sonunda 1g zeolitin adsorbe ettiği Zn miktarı olarak değerlendirilmiştir. 3,35-2 mm ve 2-1 mm tane sınıfındaki zeolit örneklerinde adsorpsiyon miktarı 4 saat sonunda sırasıyla 2,67 ve 2,41 mg/g olduğu, buna karşılık olarak adsorpsiyon verimlerinin % 23,44 ve 21,02 olarak gerçekleştiği saptanmıştır. Öte yandan, -1 ve -0,212 tane sınıflarındaki zeolit örnekleri kullanıldığında aynı zaman dilimi sonucunda zeolitin Zn adsorpsiyon miktarlarının sırasıyla 3,78 ve 4,36 mg/g değerlerinde olduğu, adsorpsiyon verimlerinin ise % 32,98 ve % 38,04 olarak gerçekleştiği gözlenmiştir. 120 saat sonunda ise 3,35-2, 2-1, -1, ve -0,212 mm tane sınıflarındaki Zn adsorpsiyon miktarlarının sırasıyla 5,07, 5,49, 5,35 ve 5,35 mg/g olduğu, adsorpsiyon verimlerinin ise sırasıyla % 44,2, % 47,8, %46,7 ve %46,6 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

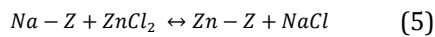
Cr³⁺ katyonunun zeolit tarafından adsorblanması dört kademedeki gerçekleşmektedir, dolayısı ile ortam pH'

mın etkisi, adsorblanma süresiyle direkt ilgilidir. Ortamdaki yük dengesinin, diğer türler bakımından farklı olan trivalent Cr^{+3} kationunun adsorblanma süresini uzattığı düşünülmektedir [6].

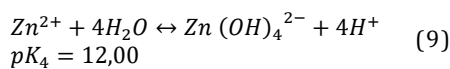
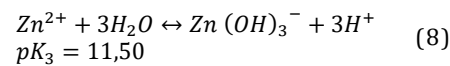
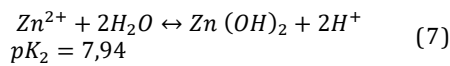
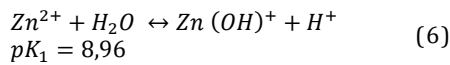


Şekil 4. Zamana bağlı olarak farklı tane sınıflarındaki zeolit üzerine Zn adsorpsiyonu verim değerleri

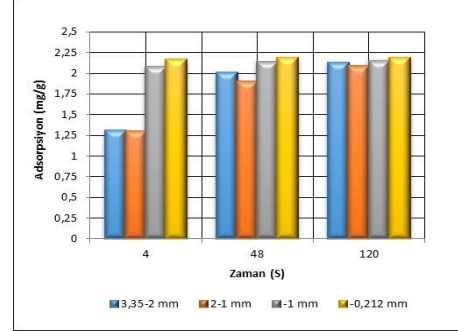
Cr^{+3} kationunun adsorpsiyonunda olduğu gibi Zn adsorpsiyon verimleri ilk dört saat içerisinde ince tane sınıflarında daha yüksektir. Dolayısıyla, adsorbant yüzey alanının genişlemesi ile birlikte Zn kationunun adsorpsiyon verimlerinin artmış olduğundan bahsetmek mümkündür. Ancak, Cr^{+3} kationundan farklı olarak Zn kasyonu zeolit üzerine aşağıda verilen şekilde (Eşitlik 5) kimyasal olarak adsorbe olmaktadır [7].



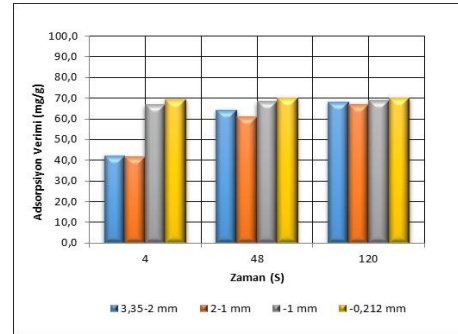
Zn kationunun çözelti içerisindeki farklı derişimlerine bağlı hidroliz reaksiyonları Eşitlik 6-9'da verilmiştir [8].



Ni elementine ait adsorpsiyon ve adsorpsiyon verimi değerleri Şekil 5-6'da verilmiştir.



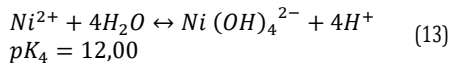
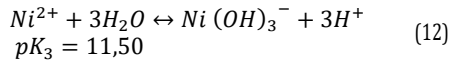
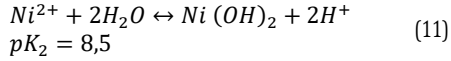
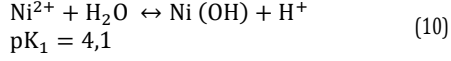
Şekil 5. Zamana bağlı olarak farklı tane sınıflarındaki zeolit üzerine Ni adsorpsiyonu konsantrasyon değerleri



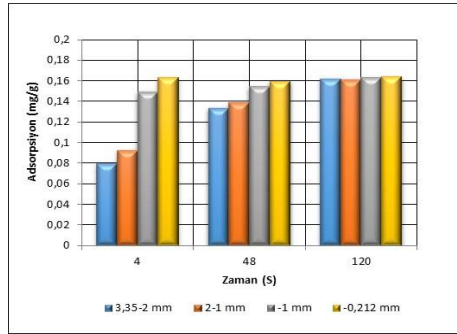
Şekil 6. Zamana bağlı olarak farklı tane sınıflarındaki zeolit üzerine Ni adsorpsiyonu verim değerleri

Ni iyonu adsorpsiyon testleri, başlangıç derişimi 155,6 ppm Ni^{2+} olan çözelti ile yapılmıştır. Testlerin sonunda, 1g zeolitin adsorbe ettiği Ni^{2+} miktarı, 3,35-2 mm ve 2-1 mm tane boyutlarında 4 saat sonunda sırasıyla 1,31 ve 1,29 mg/g olduğu, adsorpsiyon verimlerinin ise % 42,10 ve 41,58 olarak gerçekleştiği görülmüştür. -1 mm ve -0,212 mm tane sınıfında ise 4 saat sonundaki adsorpsiyon miktarları 2,08 ve 2,16 mg/g olduğu, adsorpsiyon verimlerinin ise % 66,71 ve 69,41 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. 120 saat sonunda ise adsorpsiyon miktarlarının tüm tane sınıflarında sırasıyla 2,12, 2,08, 2,15 ve 2,18 mg/g olduğu, adsorpsiyon verimlerinin ise sırasıyla %68,3, %67,0,

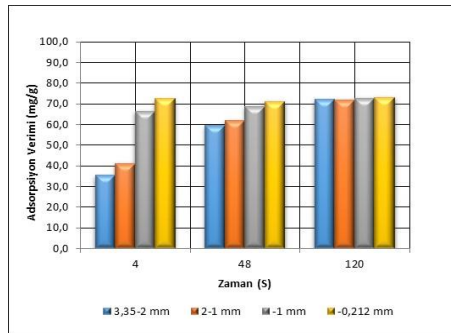
% 69,0 ve %70,2 olarak gerçekleştiği gözlenmiştir. Ni iyonu hidroliz reaksiyonları 10-13 eşitliklerinde verilmiştir [9].



Cd elementine ait adsorpsiyon ve adsorpsiyon verimi değerleri Şekil 7-8'de verilmiştir.

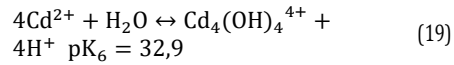
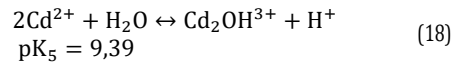
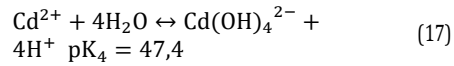
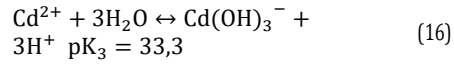
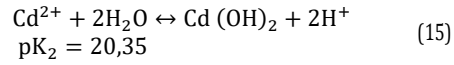
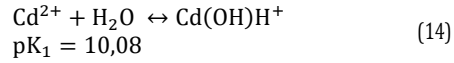


Şekil 7. Zamana bağlı olarak farklı tane sınıflarındaki zeolit üzerine Cd adsorpsiyonu konsantrasyon değerleri



Şekil 8. Zamana bağlı olarak farklı tane sınıflarındaki zeolit üzerine Cd adsorpsiyonu verim değerleri

Cd iyonunun zeolit üzerine adsorpsiyonunda 11,22 ppm Cd²⁺ katyonu içeren çözelti kullanılmıştır. 3,35-2 mm ve 2-1 mm tane boyutlarında 4 saat sonunda adsorpsiyon miktarları sırasıyla 0,08 ve 0,09 mg/g olmuş ve buna bağlı olarak adsorpsiyon verimleri sırasıyla % 35,5 ve 41,1 olarak gerçekleşmiştir. Daha ince tane sınıflarında (-1 mm ve -0,212 mm) adsorpsiyon miktarları 4 saat sonunda 0,15 ve 0,16 mg/g olduğu ve adsorpsiyon verimlerinin ise % 66,44 ve 72,59 olduğu gözlenmiştir. 120 saat sonunda ise tüm tane sınıflarında adsorpsiyon miktarları 0,16, 0,16, 0,16, 0,16 mg/g olduğu, adsorpsiyon verimlerinin sırasıyla %72,2, %71,9,% 72,7 ve %73,1 olduğu tespit edilmiştir. Cd iyonu hidroliz reaksiyonları 14-19 eşitliklerinde verilmiştir [10].



Ni²⁺, Zn²⁺ ve Cd²⁺ kationlarının zeolit yüzeyine adsorpsiyonlarında iyonik yarıçap, atom ağırlığı ve elektonegatiflik özellikleri ön plana çıkmaktadır. Söz konusu kationların çözülden uzaklaştırılması işleminin başarısı denge sabiti değerleri ile beraber bu özelliklerde dikkate alınarak yorumlanmalıdır. Literatürde verilen Kd, iyonik yarıçap, atom ağırlığı ve elektonegatiflik değerleri aşağıda sunulmuştur [11].

İyonik yarıçap: Cr (1,85 Å) Cd (0,97 Å) > Zn (0,74 Å) > Ni (0,69 Å); Atomik kütle Cd (112,41) > Zn (65,38) > Ni (58,71) > Cr (51,99) ; Elektronegatiflik Ni (1,9) > Cd (1,7) > Cr(1,66) > Zn (1,65) [22] Hidroliz sabitleri Cr (3,8) > Ni(4,1) > Zn (9,0) > Cd (10,1).

4. Tartışma ve Sonuç

Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler incelendiğinde adsorpsiyon verimi sıralamasının Cd>Ni>Zn şeklinde olduğu görülmektedir. Ancak çözeltideki katyon derişimleri göz önüne alındığında genel adsorpsiyon başarısının Ni açısından oldukça yüksek olduğu sonucuna varılmaktadır. Buradan hareketle elektronegatiflik, düşük pK değeri ve hidrate olmuş haldeki iyonik çap değerinin söz konusu iyonların zeolit yüzeyine adsorpsiyonunda etkin özellikler içerisinde yer aldığı sonucuna varılmaktadır.

Yapılan testler sonucunda söz konusu iyonların adsorpsiyon verimlerinin göreceli kısa zaman dilimleri içerisinde daha ince taneli zeolit örnekleri için daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ancak, 120. saat sonunda tüm tane iriliklerinde oldukça yakın adsorpsiyon verimlerine ulaşılmıştır. Kullanılan zeolit numuneleri yağmur sularından ağır metal iyonlarının uzaklaştırılmasında etkin bir rol oynadığı gözlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma'nın yürütülmesi esnasında araştırma ekibine sağladıkları her türlü imkan ve destekten ötürü; Gördes Zeolit Madencilik San. ve Tic. A.Ş. Genel Müdürü Sayın Çağatay TULUNAY'a, Ar-Ge ve Kalite Müdürü Sayın Ayşegül YÖRÜK YALÇIN'a, Fabrika Müdürü Sayın Saim URÇUN'a ve tüm çalışma arkadaşlarına en içten teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Krishna, R.R., Xie, T., Dastgheibi, S. 2014. Removal of heavy metals from urban stormwater runoff using different filter materials - Journal of Environmental Chemical Engineering 2 -282-292
- [2] Katarzyna P., Fronczyk J., Garbulewski K., 2013. -Removal of Dissolved Metals from Road Runoff Using Zeolite PRBs Chemical Engineering Transactions vol 332,
- [3] Fuhrman H.G., Mikkelsen P.S., Ledin A., 2007. Simultaneous removal of As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn from stormwater: Experimental comparison of 11 different sorbents Water Research 41 591- 602
- [4] Göbel P., Dierkes C., Coldewey W.G. 2007. -Storm water runoff concentration matrix for urban areas - Journal of Contaminant Hydrology 91 26-42
- [5] Erdem E., Karapinar N., Donat R., 2004. The removal of heavy metal cations by natural zeolites - Journal of Colloid and Interface Science 280 309-314
- [6] Ahmad M. Al-Haj-Ali* and Lana M. Marshdeh 2014. Removal of Aqueous Chromium (III) Ions Using Jordanian Natural Zeolite Tuff in Batch and Fixed Bed Modes - 2014 Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences- Volume 6, Number 2 Pages 45- 51
- [7] Demirci, S., Ustaoglu, Z., Yilmazer G.A., Şahin F., Baç N. : 2014 Antimicrobial Properties of Zeolite-X and Zeolite-A Ion-Exchanged with Silver, Copper, and Zinc Against a Broad Range of Microorganisms - Appl Biochem Biotechnol (2014)

172:1652-1662 DOI
10.1007/s12010-013-0647-7

- [8] Visa M, Popa N 2015. Adsorption of Heavy Metals Cations onto Zeolite Material from Aqueous Solution. *J Membra Sci Technol* 5: 133.
- [9] Chen, Y., Zhang W., Yang, S., Hobiny, A., Alsaedi, A., Wang, X. 2015. Understanding the adsorption mechanism of Ni(II) on graphene oxides by batch experiments and density functional theory studies - *Sci China Chem* April (2016) Vol.59 No.4 - doi: 10.1007/s11426-015-5549-9
- [10] Baes, C. F. and MESMER, R. E. 1976. The hydrolysis of cations. John Wiley and Sons, New York - London - Sydney - Toronto
- [11] Shaheen S.M., Derbalah A.S., Moghanm F.S., 2012. Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution by Zeolite in Competitive Sorption System, *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 3, No. 4
- [12] Leyva-Ramos, R.; Fuentes-Rubio, L; Maria GuerreroCoronado, R. and Mendoza-Barron, J., 2004. Adsorption of Trivalent Chromium from Aqueous Solutions onto Activated Carbon, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 62:64-67