

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PUMİS VE ZEOLİTİN ATIK SULARDAN AĞIR METAL
GİDERİM PERFORMANSI**

**Hazırlayan
Nesrin MIHOĞLU**

**Danışman
Doç. Dr. Zeki Gökcalp**

Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2019

KAYSERİ
T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PUMİS VE ZEOLİTİN ATIK SULARDAN AĞIR METAL
GİDERİM PERFORMANSI
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Nesrin MIHOĞLU

Danışman
Doç. Dr. Zeki GÖKALP

Ağustos 2019
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.


Nesrin MİHOĞLU

“Pumis ve Zeolitin Atık Sulardan Ağır Metal Giderim Performansı” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.


Hazırlayan

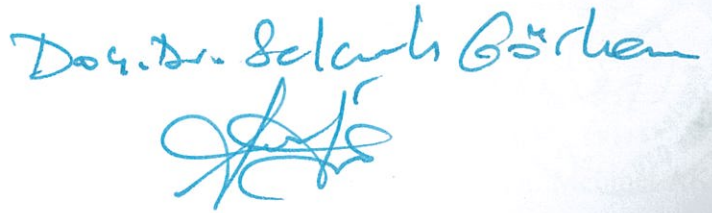
Nesrin MIHOĞLU


Danışman

Doç. Dr. Zeki GÖKALP

Biyosistem Mühendisliği ABD Başkanı (V.)

Doç. Dr. Ali ÜNLÜKARA


Doç. Dr. Selami BÖRKEN

Doç. Dr. Zeki GÖKALP danışmanlığında **Nesrin MIHOĞLU** tarafından hazırlanan **“Pumis ve Zeolitin Atık Sulardan Ağır Metal Giderim Performansı”** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Biyosistem Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

Gün / 07 / 2019

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Zeki GÖKALP

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan UZUN

Üye : Doç. Dr. İsmail TAŞ

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / /

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmanın her aşamasında her türlü desteğiyle yardımını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Zeki GÖKALP'e (Erciyes Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kayseri) en içten teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım. Ayrıca laboratuvar çalışmalarımda desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Adem GÜNEŐ ve Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan UZUN'a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimimin her döneminde hep yanımda olan manevi desteğini esirgemeyen aileme de teşekkürü bir borç bilirim.

Nesrin MIHOĞLU

Ağustos 2019, KAYSERİ

PUMİS VE ZEOLİTİN ATIK SULARDAN AĞIR METAL GİDERİM PERFORMANSI

Nesrin MIHOĞLU

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2019
Danışman: Doç. Dr. Zeki GÖKALP

ÖZET

Günümüzün önemli çevre sorunlarından biri atık sulardaki ağır metallerin yarattığı kirliliktir. Daha çok endüstriyel atıklardan kaynaklanan ağır metaller, toprak, hava ve su için önemli kirleticiler arasındadır. Kirlenen sahalar bünyesinde barındırdığı canlı organizmalar için büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Atık sulardan ağır metal giderimi için çökeltme, ters osmoz, elektrodializ gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada atık sularda yer alan ağır metallerin giderimi, pumis ve zeolit malzemelerinin tekli ve karışım şeklinde kullanımı laboratuvar koşullarında kolon testleri ile araştırılmıştır. Pumis ve zeolit malzemeleri %100 pumis, %100 zeolit ve %50 pumis %50 zeolit oranlarında hazırlanıp 10, 20 ve 40 ppm olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda bakır (Cu) nikel (Ni), kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) ağır metalleri ile doyurulmuştur. 1, 2, 3 ve 4 gün olmak üzere bekletme sürelerine tabii tutulduktan sonra alınan süzüklerde EC, pH ve ilgili ağır metal derişimleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda ağır metal, bekletme süresi ve konsantrasyon açısından farklılıklar gözlemlenmiştir. Test sonuçlarına göre bakır metalinin en yüksek tutulma değeri %100 zeolit malzemesinin kullanıldığı kolonda elde edilmişken kadmiyum metalinin en yüksek tutulma değeri %50 pumis %50 zeolit malzemesinin kullanıldığı kolonda ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak %50-50 pumis-zeolit karışımlarının atık sulardan ağır metal giderim performansını artırmada kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pumis, Zeolit, Arıtma, Ağır Metaller, Atık Sular

HEAVY METAL REMOVAL PERFORMANCE OF PUMICE AND ZEOLITE FROM WASTE WATER

Nesrin MIHOĞLU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M.Sc. Thesis, August 2019
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zeki GÖKALP

ABSTRACT

Wastewater-induced heavy metal pollution poses a significant threat on environment. Mostly industry-originated heavy metals pollute soil, air and water resources. Polluted sources then exert significant threats on living organisms. Various methods including precipitation, reverse-osmosis, electro dialysis are used to remove heavy metals from wastewaters. In this thesis, column tests were performed to investigate heavy metal (copper-Cu, nickel-Ni, lead-Pb and cadmium-Cd) removal performance of pumice and zeolite from wastewaters. Materials were used alone (100%) and in mixture (50-50%) and filter columns were saturated with three different concentrations of heavy metals (10, 20 and 40 ppm of Cu, Ni, Pb and Cd). Effluent samples were taken at the end of 1, 2, 3 and 4-day hydraulic retention times. Effluent samples were then analyzed for EC, pH and heavy metals. Differences were observed in investigated parameters based on hydraulic retention times and heavy metal concentrations applied to saturate filter columns. The greatest copper adsorption was achieved with 100% zeolite and the greatest cadmium adsorption was achieved with 50-50% pumice-zeolite mixture. It was concluded based on present findings that 50-50% mixture of pumice and zeolite could be used to improve heavy metal adsorption performance of substrate materials.

Key Words: Pumice, Zeolite, Heavy metal, Wastewater

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL VE ONAY	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM	4
GENEL BİLGİLER	4
1.1. Zeolit	4
1.1.1. Tanımı ve Genel Özellikleri	4
1.1.2. Zeolitlerin Fiziksel Özellikleri.....	5
1.1.3. Zeolitlerin Kimyasal Özellikleri	6
1.1.4. Doğal Zeolitlerin Kullanım Özellikleri.....	7
1.1.4.1. İyon Değişirme Özellikleri	7
1.1.4.2. Adsorpsiyon Özellikleri	8
1.1.4.3. Katalizör Özellikleri.....	8
1.1.5. Zeolitlerin Endüstriyel Kullanım Alanları	9
1.1.6. Zeolitlerin Kristal Yapıları.....	11
1.1.7. Zeolitlerin Sınıflandırılması.....	11
1.1.8. Zeolitın Adsorban Olarak Kullanılması.....	12
1.2. Pumis	14
1.2.1. Tanımı ve Genel Özellikleri	14

1.2.2. Pumisin Fiziksel Özellikleri.....	15
1.2.3. Pumisin Kimyasal Özellikleri.....	15
1.2.4. Pumisin Kullanım Alanları	17
1.3. Ağır Metallerin Özellikleri ve Etkileri	18
1.3.1. Ağır Metallerin Etkileri	18
1.3.2. Ağır Metallerin Özellikleri	21
1.3.2.1. Kadmiyum.....	21
1.3.2.2. Nikel.....	22
1.3.2.3. Kurşun.....	23
1.3.2.4. Bakır.....	23
1.3.3. Yapay Sulak Alanlarda ki Ağır Metal Kirleticileri.....	24
2. BÖLÜM	26
MATERYAL METOT.....	26
2.1. Materyal.....	26
2.2. Metod.....	27
2.2.1. pH Tayini	27
2.2.2. EC Tayini.....	28
2.2.3. Ağır Metal Tayini	29
3. BÖLÜM	30
BULGULAR.....	30
3.1. EC.....	30
3.2. pH.....	33
3.3. Ağır Metal Tayini	36
3.3.1. Bakır (Cu)	36
3.3.2. Nikel (Ni).....	39
3.3.3. Kurşun (Pb).....	42
3.3.4. Kadmiyum (Cd)	45
4. BÖLÜM	49
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	49
4.1. Sonuçlar ve Öneriler.....	49

KAYNAKÇA.....	51
ÖZGEÇMİŞ	56



KISALTMALAR

pH	Hidrojenin Gücü
mm	milimetre
km	kilometre
m	metre
%	yüzde
l	litre
dk	dakika
hf	hafta
g	gram
mg	miligram
kg	kilogram
ha	hektar
ppm	milyonda bir
PVC	Poli Vinil Klorür
cm	santimetre
cal	kalori
°C	santigrad derece
db	desibel
EC	Elektriksel İletkenlik
Cd	Kadmiyum
Cu	Bakır
Ni	Nikel
Pb	Kurşun

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Zeolitlerin Fiziksel Özellikleri.....	6
Tablo 1.2. Zeolitın Kimyasal Yapısı [15]	7
Tablo 1.3. Pumisin kimyasal bileşimi	16
Tablo 3.1. Pumis materyalinin farklı konstrasyonlarda EC'ye etkisi ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	30
Tablo 3.2. Zeolit materyalinin farklı konstrasyonlarda EC'ye etkisi ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	31
Tablo 3.3. %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının farklı konstrasyonda EC'ye etkisi ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	32
Tablo 3.4. Pumis materyalinin pH'ya etkisi.....	33
Tablo 3.5. Zeolit materyalinin pH'ya etkisi	34
Tablo 3.6. %50 pumis -%50 zeolit karışımlarının pH'ya etkisi.....	35
Tablo 3.7. Pumis Cu konsantrasyonları	37
Tablo 3.8. Zeolit Cu konsantrasyonları.....	38
Tablo 3.9. Cu ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini	38
Tablo 3.10. Ni ağır metalinin pumis materyalinde tayini	39
Tablo 3.11. Ni ağır metalinin zeolit materyalinde tayini	40
Tablo 3.12. Ni ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini.....	41
Tablo 3.13. Pb ağır metalinin pumis materyalinde tayini	42
Tablo 3.14. Pb ağır metalinin zeolit materyalinde tayini.....	43
Tablo 3.15. Pb ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini.....	44
Tablo 3.16. Cd ağır metalinin pumis materyalinde tayini.....	45
Tablo 3.17. Cd ağır metalinin zeolit materyalinde tayini	46
Tablo 3.18. Cd ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini.....	47

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Asidik Pumis.....	16
Şekil 1.2. Bazik Pumis	16
Şekil 2.1. Çalışmaların yapıldığı kolon deneme düzenekleri.....	26
Şekil 2.2. Çalışmada kullanılan çakıl, pumis ve zeolit	27
Şekil 2.3. Çalışmada kullanılan ağır metal solusyonları	27
Şekil 2.4. pH tayini	28
Şekil 2.5. EC tayini	29
Şekil 2.6. Ağır Metal tayini işlemleri.....	29
Şekil 3.1. Pumis materyalinin farklı konsantrasyonlarda EC değişimi.....	31
Şekil 3.2. Zeolit materyalinin farklı konsantrasyonlarda EC değişimi	32
Şekil 3.3. %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının farklı konsantrasyonlarda EC değişimi	33
Şekil 3.4. Pumis materyalinin farklı konsantrasyonlarda pH'da değişimi.....	34
Şekil 3.5. Zeolit materyalinin farklı konsantrasyonlarda pH'da değişimi	35
Şekil 3.6. %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının farklı konsantrasyonlarda pH'da değişimi	36
Şekil 3.7. Pumis Cu konsantrasyonlarının değişimi.....	37
Şekil 3.8. Zeolit Cu konsantrasyonlarının değişimi	38
Şekil 3.9. Cu ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini	39
Şekil 3.10. Ni ağır metalinin pumis materyalinde tayini	40
Şekil 3.11. Ni ağır metalinin zeolit materyalinde tayini	41
Şekil 3.12. Ni ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini	42
Şekil 3.13. Pb ağır metalinin pumis materyalinde tayini	43
Şekil 3. 14. Pb ağır metalinin zeolit materyalinde tayini	44
Şekil 3. 15. Pb ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini	45
Şekil 3.16. Cd ağır metalinin pumis materyalinde tayini.....	46
Şekil 3.17. Cd ağır metalinin zeolit materyalinde tayini.....	47

Şekil 3.18. Cd ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini
.....48



GİRİŞ

Günümüzde karşılaşılan ciddi sorunlardan biri de sanayi ve diğer atıklardan kaynaklanan çevre kirlenmesidir. Daha çok endüstriyel atıklardan kaynaklanan ağır metaller, toprak, hava ve su için önemli kirleticiler arasındadır. Kirlenen bu sahalar bünyesinde barındırdığı canlı organizmalar için büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Kirlenmiş çevreyi temizlemek oldukça pahalı ve kompleks tesisler gerektiren uzun bir çalışma ile mümkündür. Bu sebeple su, toprak ve havanın kirlenmesini önleyici tedbirlerin alınmasına çalışmak daha da önem kazanmaktadır. Ayrıca zararlı maddeler canlı organizmalar tarafından su ile birçok yoldan kolay ve yaygın olarak alınabilmektedir. Suda bulunan ağır metaller; bitkiler, hayvanlar ve su ürünleri tarafından depo edilirler. Böylece insanlar bütün yiyecek ve içecekleri ile birlikte belirli miktarlarda metalleri de alırlar. Özellikle toksik organik atıkların metallerle birleşerek veya başka bileşiklere dönüşerek daha toksik hale geçmeleri önemli sorunlar yaratmaktadır. Bu nedenle tarım, hayvancılık ve içme suyu olarak kullanılacak suların ağır metal kirliliğini dünyaca kabul edilen limitlere indirmek gerekmektedir. Kirli suların temizlenmesinde, suyun orijinine, türüne, temizlendikten sonra kullanım amacına ve yöre kaynaklarına göre değişik yöntemler kullanılmaktadır [1].

Bir sulak alanda ağır metal giderimi bitki alımı, çökeltme, iyon değiştirme, elektroliz, elektrodiyaliz, ultrafiltrasyon, ters osmoz, kimyasal oksidasyon, sıvı oksidasyon ve yakma – kurutma ile gerçekleştirilen reaksiyonlarla olmaktadır. Köklü bitkilerle donatılmış sulak alanlarda ağır metal gideriminin büyük bir kısmı metal hidroksit veya metal sülfid olarak çöktürülmesi suretiyle gerçekleştirilmektedir. Çöktürmeyi etkileyen fiziksel ve kimyasal şartlar ise atık su, bitki kökleri, dolgu malzemesi ve mikroorganizmaların meydana getirdiği çoklu ortam nedeni ile oldukça karmaşık bir yapı göstermektedir. Ağır metallerin belirli bir kısmı ise bitkiler tarafından kullanılarak giderilmekte, küçük bir kısmı ise bakterilerin meydana getirdiği biyofilm yüzeyinde tutulmaktadır. Ağır metallerin eser miktarda kullanımı bitkilerin gelişimi için önemli bir besin elementi ve sınırlayıcı bir faktördür. Bu nedenle ağır metallerin su ortamına

karışımı eser miktarlarda olsa bile önemli bir etki yapar. Ağır metallerin giderilmesi arıtma açısından zor teknolojiler gerektirir. Konvansiyonel sistemlerle karşılaştırıldığında, yapay sulak alanlarda arıtım genel olarak çok alan gerektiren bir teknolojidir. Ağır metal gideriminde kullanılan yapay sulak alanlarda araziye olan ihtiyaç diğer bütün sulak alanlarda kullanılan araziden çok daha fazladır. Genel olarak bir yapay sulak alanın giderdiği ağır metal miktarı bitkilerin tek bir büyüme mevsiminde ortamdaki aldığı ağır metal miktarından çok azdır. Ağır metallerin en hızlı ve en büyük oranda bünyeye alınımı bitkilerin kökleri vasıtasıyla olmaktadır.

Atık sulardan ağır metal giderimi için çökeltme, ters osmoz, elektrodializ gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar ise katı tutucu malzemeler kullanılmak suretiyle ağır metal giderimi üzerine yoğunlaşmıştır. Farklı araştırmacılar torf, üst toprak, çakıl, orta boy kum, yüksek fırın cürufu, kömür cürufu, yapay yüksek fırın cürufu, yapay kömür cürufu ve orta boy yapay kum malzeme gibi birçok materyalin ağır metal giderim performansını test etmişler ve torf malzemeyi en iyi ağır metal emici malzeme olarak tespit etmişlerdir. Pumis ve zeolitlerin başlıca fiziksel ve kimyasal özellikleri olan; iyon değişikliği yapabilme adsorpsiyon ve buna bağlı moleküler elek pumis ve zeolitlerin çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmalarına neden olmuştur. Son yıllarda zeolit mineralleri iyon değiştirme ve adsorpsiyon özellikleri nedeniyle kirlilik kontrolünde gittikçe artarak kullanılmaktadır.

1756 yılında Cronsted tarafından, ısıtıldıklarında yapılarında bulunan suyu çıkartırken köpürmelerinden dolayı kaynayan taş olarak isimlendirilen zeolitler, alkali ve toprak alkali elementlerin, kristal yapıya sahip sulu alüminyum silikatlarıdır. Oksijen, alüminyum ve silisyumdan oluşan kristal yapının en küçük yapı birimi SiO_4 ve AlO_4 dört yüzlüsüdür. Silisyum atomunun yerine alüminyum atomlarının geçmesi ile bozulan yük dengesi pozitif değerlikli, kristalin su ile temasında hareketli konuma geçen, metal iyonları ile dengelenir.

Zeolitlerin endüstriyel potansiyellerinin 1940'lı yıllarda ortaya konulmasına rağmen, doğal zeolitlerin o dönemlerde yalnızca volkanik kayalar içerisindeki oluşumlarının bilinmesi, bu nadir kristallerin koleksiyonlarda ve yerbilimi müzelerinde kalmalarına neden olmuştur. 1950'li yıllarda X-Ray analiz tekniğinin kullanımının ardından sedimanter kayalar içinde, özellikle klinoptilolit mineralinin yaygın varlığı ve spesifik özelliklerinin belirlenmesinin ardından, doğal zeolitler artan bir gelişimle endüstriyel

kullanım alanı bulmuştur. Doğal zeolitler; klinoptilolit ($\text{Na}_6(\text{AlO}_2)_4\text{CaSi}_2\text{O}_{22}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) [2]. NH_4 , ağır metal ve radyoaktif iyonlara karşı gösterdikleri yüksek seçicilik, asit ortam dayanımları, moleküler elek özellikleri ve düşük uygulama maliyeti nedeniyle günümüzde birçok endüstriyel arıtım tesisinde başarı ile kullanılmaktadır [3].

Genellikle endüstriyel tesis çıkış suların filtre edilmeden kullanım sularına verilmesi, maden yataklarının bulunduğu bölgelerden geçen yeraltı sularının akarsulara karışması ve dağıtıcı boruların korozyonu ile içinde yüksek konsantrasyon seviyelerine ulaşan ağır metallerin besleme zinciri içerisinde sindirimi, insan sağlığını ciddi ölçülerde tehlikeye sokmaktadır. Ağır metallerin arıtımı için geleneksel arıtım yöntemleri, çöktürme, flokulasyon, biyolojik arıtım ve iyon değişimi şeklinde sınıflandırılabilir. Bu yöntemler içinde arıtım çoğunlukla işlemin son basamağı şeklinde uygulanan iyon değişim işlemlerinde, iyon değiştirici yatak olarak klinoptilolit kullanımı, uygulama basitliği ve düşük arıtım maliyeti nedeniyle tercih edilmektedir [4].

Teknolojik özellikleri ve birçok endüstriyel hammadde türüne göre değişik avantajlara sahip olan pumis (pomza) taşı, giderek artan bir eğilimle, farklı endüstri dallarında yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Pumis taşı, yalnızca inşaat sektöründe değil, tarım sektörü, kimya sektörü, tekstil sektörü, aşındırıcı sanayi gibi endüstri alanlarında da çok farklı amaçlarla kullanılmaktadır [5]. Pumis, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Oluşumu sırasında, bünyesindeki gazların (flor, klor, su buharı) [6], ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir [5]. Özellikle TV tüpleri ve elektronik devre çiplerinin üretiminde hassas temizleme maddesi, karayollarında, buzlanmayı kontrol altına almada, kuyumculuk, metal, cam ve plastik sanayisinde aşındırma, dekoratif ve yalıtımlı, hafif tavan kaplama malzemeleri imalatında, asfalt kaplamalarda bitüm kusmayı engelleyici katkı olarak kullanılmaktadır [7].

Günümüzün önemli çevre sorunlarından biri atık sulardaki ağır metallerin yarattığı kirliliktir. Bu çalışmada atık sularda yer alan ağır metallerin giderim etkinlikleri pumis ve zeolit malzemelerini kullanarak laboratuvar koşullarında kolon testleri ile araştırılması amaçlanmıştır. Araştırma sonuçlarına bağlı olarak ileride inşa edilecek yapay sulak alan sistemleri için havuz dolgu malzemesi (filtre malzemesi–substrat) önerilerinde bulunulacaktır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Zeolit

1.1.1. Tanımı ve Genel Özellikleri

Zeolitler, ticari adsorbanlar ve katalizörler olarak yaygın şekilde kullanılan mikro gözenekli, alüminosilikat mineralleridir. “Zeolit” kelime olarak “kaynayan taş” anlamına gelen ve volkanik killerin su ortamında değişime uğramasıyla milyonlarca yıl önce oluştuğu varsayılan doğal minerallerdir. Zeolitler doğal olarak meydana gelir, fakat aynı zamanda endüstriyel olarak büyük çapta üretilir. Aralık 2018'den itibaren, 245 eşsiz zeolit çerçevesi tanımlanmıştır ve doğal olarak oluşan 40'ın üzerinde zeolit çerçevesi bilinmektedir. Zeolit, alkali toprak katyonları içeren, kristal yapıda, kolay ve bol bulunan alüminyum silikası olarak tanımlanmıştır [8].

Zeolitler, Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} ve diğerleri gibi çok çeşitli katyonları barındırabilen gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu pozitif iyonlar oldukça gevşek tutulur ve kolayca bir temas çözümünde başkaları ile değiştirilebilir.

Doğal zeolitlerin çoğu, volkanik faaliyetin bir sonucu olarak oluşur. Volkanlar patladığında, magma (toprağın içindeki erimiş kaya) yer kabuğunu kırar ve gaz, toz ve kalın kül ile birlikte lav şeklinde akar. Volkanlar normalde tektonik plakaların ayrıldığı veya yaklaştığı yerlerde meydana gelir. Bu tür yerlerin bir adada veya bir okyanusa yakın olduğu durumlarda, çıkarılan lav ve kül genellikle denize akar. Denize ulaştığında, sıcak lav, su ve denizden gelen tuz, binlerce yıl boyunca zeolitler olarak bilinen kristal katıların üretimine yol açan reaksiyonlara maruz kalır.

Zeolit kelimesi ilk olarak 1756 yılında İsveçli bir mineralog olan Cronstedt tarafından kullanılmış ve stilbit olduğuna inanılan malzemenin hızlı bir şekilde ısıtılmasının, materyal tarafından adsorbe edilmiş sudan büyük miktarda buhar ürettiğini gözlemlemiştir. 1750'lerden beri bir mineral türü olarak bilinmesine karşın kristal

yapıları ancak, 1930'larda çözümlenebilmiştir. Ticari olarak ancak, 1960'lardan sonra üretilip pazarlanmaya başlanan zeolitin, ülkemizdeki varlığı ilk defa 1971 yılında tespit edilmiştir. Cronstedt, belirli silikat minerallerinin davranışlarını ifade etmek amacıyla boraks incisi testini (borax bead test) kullanmıştır [9].

Zeolitlerin oluşum ortamları üzerine yapılan ilk çalışmalarda; alkali topraklar, tuzlu alkali göller, derin deniz tortulları, düşük sıcaklıkta açık hidrolojik ve jeotermal sistemlerin zeolit kaynağı olduğu görülmektedir [10]. Zeolitler, yaygın kullanım alanlarının varlığı ve büyük pazar potansiyeline rağmen birçok pazar alanında daha yeni yeni kabul görmeye başlamıştır. Doğal zeolitlerin, tabiatta büyük rezervler halinde bulunup, işletilmesi diğer madenlere göre daha kolay ve ucuzdur. Buna rağmen doğal zeolitlerin istenilen saflık ve gözenek çaplarında olmamaları nedeni ile dünya pazarında tam yerini alamamıştır. Bu nedenle yapay zeolitlerin kullanım alanı daha geniştir [11].

Türkiye'de yaygın olarak bulunan zeolit, hayvancılıkta yem katkı maddesi, hayvan altlığı, bitki üretiminde yetiştirme ortamı, gübre katkısı olarak, ayrıca; toksik atıkların tutulması, atık ve kullanma suyu arıtımında geniş kullanım alanı bulmaktadır [12].

Zeolit grubu mineralleri doğal olarak oluşmuş 40'dan fazla türe sahip olup, silikat mineralleri içerisinde en geniş grubu oluştururlar. Zeolitlerin oluşum ortamları üzerine yapılan ilk çalışmalar bunların tuzlu alkali göller, alkali topraklar, derin deniz tortulları, düşük sıcaklıkta açık hidrolojik ve jeotermal sistemlere bağlı olduğunu göstermiştir. Daha sonraları 1930'lu yıllarda kristal yapıları X-ışını kırınımı (XRD), kızıl-ötesi(IR) absorpsiyonu, nükleer manyetik rezonans (NMR), elektron spin rezonans (ESR) gibi ölçüm yöntemlerinin gelişmesi sayesinde deniz ve göl ortamında oluşumları da saptanmış ve daha fazla araştırma konusu haline gelmiştir [11, 13]. Zeolit türlerinin oluşmasında; kaynak malzemesi, kimyasal bileşim, ortamın pH'sı, sıcaklık, oluşum yaşı, sistemin açık ya da kapalı olması gibi etkenlerin etkili olduğu belirlenmiştir [14].

1.1.2. Zeolitlerin Fiziksel Özellikleri

Zeolitler, normal yapılarında alüminyum, silikon ve oksijen içeren iyi tanımlanmış yapılara sahip üç boyutlu, mikro gözenekli, kristal katılardır; katyonlar ve su gözeneklerde bulunur.

Gözenekli zeolit su moleküllerine ve potasyum ve kalsiyum iyonlarına ve ayrıca çeşitli pozitif yüklü iyonlara ev sahipliği yapar, ancak gözeneklere uyacak şekilde yalnızca

uygun moleküler boyutta olanlar "eleme" özelliğini yaratarak kabul edilir. Düzenli ve tekrarlanabilir yapıları nedeniyle öngörülebilir bir şekilde davranırlar.

Zeolitik tüfler düşük ağırlıklı, yüksek gözenekli, homojen, sıkı, sağlam yapıdırlar. Kolayca kesilip işlenebilmeleri ve hafiflikleriyle yapı taşı olarak kullanılırlar. Zeolitlerin boşluk boyutları ve kanal bağlantıları gibi kristal yapı geometrileri, önemli fiziksel özelliklerini oluşturur. Genelde renksiz kristal tuzları halindedirler. İyonik iletkenliğe sahiptirler [14].

Zeolitlerin yoğunlukları, yapılarında bulunan katyona göre farklılık göstermektedir ve genellikle $1,9-2,3 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Adsorbent olarak kullanılan zeolitlerin yüzey seçiciliği Si/Al oranına dayanmaktadır. Alüminyum ağırlıklı zeolitler tercihen kuvvetli polar molekülleri adsorplamaktadır. Yapıda silisyum içeriğinin artması ise hidrofobik karakterin öne çıkmasına neden olmaktadır. Hidrofilik davranıştan hidrofobik davranışa geçişi de Si/Al oranına dayanmakta olup, bu oran bu geçiş için 20 civarındadır [15]. Zeolitlerin fiziksel özellikleri Tablo 1.1'de özetlenmiştir.

Tablo 1.1. Zeolitlerin Fiziksel Özellikleri

ÖZELLİK	ARALIK
Kanallar	2.2-8 Å
Boşluklar	6.6-11.8 Å
Isıl Kararlılık	500-1.000 °C
İyon Değişimi Kapasitesi	700 miliekivalan/100 gr'a kadar
Yüzey Alanı	900 m ² /gr'a kadar
Su Kapasitesi	< % 1- ağırlığın ~ % 25
Su Afinitesi	Hidrofilik- Hidrofobik
Yoğunlukları³	1.9-2.3 gr/cm ³
Sertlikleri	3.5-5.5

1.1.3. Zeolitlerin Kimyasal Özellikleri

Doğal zeolitlerin kullanımında; mineral tipi, kimyasal yapısı (Tablo 1.2), iç yüzey alanı, boşluk hacmi ve boyutu, tane boyutu ve bunlara bağlı olarak katyon değişimi ve absorpsiyon kapasiteleri önemli özelliklerdir [15]. Tüm zeolitler, dört oksijen anyonuyla

(O₂) çevrili, silikon katyonlar (Si⁺⁴) ve dört katmanlar ile çevrili alüminyum katyonlardan (Al⁺³) oluşan bir tetrahedral düzenlemeden oluşan alüminosilikat bir çerçevenin temel bir yapısından oluşur. Si-O ve Al-O bağları içindeki her bir oksijen iyonu iki katyonu birleştirir ve iki tetrahedron arasında paylaşılır, böylece SiO₂ ve Al₂ tetrahedral yapı bloklarının makro moleküler üç boyutlu bir çerçevesi elde edilir. Bu atom dizilişinde, her tetrahedron, bir Si veya Al katyonunu çevreleyen dört O₂ atomundan oluşur ve sonuçta Si/Al oranı 1:2 olan üç boyutlu bir silikat tetrahedral yapısı oluşur.

Bazı Si⁺⁴ iyonları, Al⁺³ iyonları ile ikame edilir ve bu, tektosilikat çerçevesinde net bir negatif yüke neden olur. Büyük, (AlO₄)₅ ve (SiO₄)⁴ tetrahedronlar arasındaki formal değerlik farkından kaynaklanır ve normalde bir alüminyum katyona bağlı oksijen anyonlarından birine yerleştirilir. Li⁺, Mg⁺², Sr⁺² ve Ba⁺² de bazı zeolitlerde bulunur. Bu iyonlar, zayıf elektrostatik bağlarla alüminosilikat yapıya bağlı zeolit dış yüzeyinde bulunur. Yaygın olarak deęiőtirilebilen bu mobil çerçevesiz karşı iyonlar, 3-dimenisonal Si-O / Al-O bağ tetrahedra çerçevesinden kaynaklanan boşluklara yerleştirilir. H₂O molekülleri de bu boşluklarda bulunur (bunlar hizalandıklarında kanal olurlar) ve zeolitlerin düşük sıcaklıklarda nemli olmalarının nedenidir.

Tablo 1.2. Zeolitın Kimyasal Yapısı [15]

Kimyasal Yapısı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	H ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	B (ppm)
%	71,29	13,55	1,15	3,50	5,90	1,96	0,70	0,60	30

1.1.4. Doğal Zeolitlerin Kullanım Özellikleri

1.1.4.1. İyon Değiştirme Özellikleri

Zeolit A, B, X'in endüstriyel ve evsel atık suların yumuőatılmasında yüksek performansları nedeniyle permütit tipi organik reğineler yerine kullanılmaları bu alandaki ilk uygulamalarıdır.

İyon deęiőtimi, zeolit katalizörlerinde çok belirgin bir rol oynar. Zeolit çerçeve atomlarında Al⁺³ iyonlarının varlığı, katyonlarla dengelenmiő olması gereken anyonik kafes bölgelerine yol açar. Söz konusu katyonlar proton veya amonyum iyonları ise, bu kafes bölgeleri daha sonra Brønsted asit bölgeleri gibi davranır. Bu tür asidik bölgelere

sahip zeolitler, yüksek hidrojen basıncı gerektiren işlemlerde kullanılabilir (örneğin, ağır petrol distilatlarının hidrokraklanması). Zeolitlerin çoğu, hem Brønsted asit sitelerini hem de hidrojeni harekete geçiren bir bileşen (paladyum veya platin gibi asil metaller gibi) içeren iki fonksiyonlu katalizörler olarak da çalışabilir. Bu tür zeolitler, hafif benzinin izomerleştirilmesi gibi endüstriyel işlemlerde uygulanabilir.

1.1.4.2. Adsorpsiyon Özellikleri

Gaz karışımlarının adsorpsiyonla ayrılması, iyi bilinen bir ayırma işlemi teknolojisidir ve kimyasal, petrol ve malzeme işleme endüstrilerine hizmet etmek için kullanılır. Yukarıdaki uygulamalara ek olarak, aynı zamanda atık gaz karışımlarının verimli bir şekilde ayrılması ve tekrar kullanılmasıyla sera gazı emisyonlarını azaltma ve maliyet azaltma fırsatları da sunar. Sorbent geliştirme ve adsorpsiyon işlem döngülerindeki yenilikler zeolitleri endüstriler için anahtar ayırma aracı olarak kullanmıştır [16].

Zeolitlerin en önemli özelliklerinden biri, bal peteğine benzer tek düze, mikro gözenekli bir yapıya sahip olmalarıdır. Bu mikro gözenekler yine mikro pencerelerle birleşip bir, iki ya da üç boyutlu boşluk sistemleri oluştururlar. Diğer bazı zeolitlerde ise boşluk sistemleri kanallar biçimindedir. Isıtmada kaybedilen su molekülleri, zeolitlerin kristal yapısında bulunan gözeneklerde ve oyuklarda (0,3 nm ila 1,0 nm arasında değişen boyutlarda) adsorbe edilmiştir. Zeolitlerde adsorplama olayını bir yüzeye tutunma olarak değil bir boşluğu doldurma biçiminde düşünmek daha doğru olur. Çünkü zeolit kristali dış yüzeyine tutunan molekül miktarı, kristal yapısı boşluklarının içine giren ve bu boşlukları dolduran molekül miktarının genellikle %1 kadardır [16].

1.1.4.3. Katalizör Özellikleri

Katalitik reaksiyonlar, kristalin katalizörlerinin boşlukları içerisinde gerçekleşir. Bu nedenle katalizör olarak kullanılacak malzemenin gözenek boyutları mutlaka reaksiyona girecek malzemelerini içerebileceği boyutlarda olmalıdır. 1960'lardan bu yana zeolitler, ince kimyasalların, boyarmaddelerin, deterjanların ve kokuların üretiminde kullanılan çeşitli endüstriyel kimyasal reaksiyonlarda (örneğin petrol çatlaması, izomerizasyon ve alkilasyon reaksiyonları) katalizör olarak uygulanmıştır. Pek çok endüstriyel işlemde, bu alkilasyonlar geleneksel olarak toksik ve aşındırıcı sıvı asitlerin (örneğin, flor ve sülfürik asitlerin) mevcudiyetinde gerçekleştirilir, dezavantaj, ortaya çıkan ürünlerin asitten zor ve enerji tüketen işlemlerle ayrılması gerekmesidir.

Zeolitlerin kullanıldığı en belirgin katalitik reaksiyonlardan biri, Akışkan katalitik parçalamadır (FCC)-petrolün parçalanmasında kullanılan bir reaksiyon işlemidir. Bu işlemde, petrol ham petrolünün yüksek moleküler ağırlıklı hidrokarbon fraksiyonları daha değerli benzine, olefinik gazlara ve diğer ürünlere dönüştürülür.

1.1.5. Zeolitlerin Endüstriyel Kullanım Alanları

Zeolitler, moleküler boyutlarda gözenekler ve boşluklar içeren komşu tetrahedralye bağlanan O atomları ile TO₄ tetrahedra'dan (T = Si, Al) oluşan kristalli aluminosilikatlardır [2]. Birçoğu doğal mineraller olarak ortaya çıkar, ancak dünyada en çok kullanılan sorbentler, katalizörler ve iyon değişim malzemeleri arasında yer alan sentetik çeşitlerdir [17]. Zeolitler gözenekli hidratlardan farklıdır, çünkü su kaybında yapısal bütünlüklerini korurlar.

Yıllar geçtikçe, zeolitler esneklikleri ve uyarlanabilirlikleri nedeniyle araştırmacılar ve bilim insanları arasında büyük ilgi görmüştür. 1756 yılında Axel Fredrik Cronstedt tarafından keşfedilenlerin ardından, zeolitlerin iyi adsorbanlar, iyon değiştiriciler ve moleküler elekler olduğu tespit edildi. Özellikle zeolitlerin moleküler elek özellikleri sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Zeolitler, düz zincirli hidrokarbonların dallı zincirli hidrokarbonlarda, kimyasal sensörlerden endüstriyel proses kontrolünde, çevresel ve iç mekan hava kalitesinde izleme, atık ve otomatik egzoz kontrolünde, tıbbi izlemede ayrılmasında kullanılmıştır.

Doğal zeolitler NH⁺⁴e, ağır metal iyonlarına (Cu⁺², Pb⁺², Cd⁺², Hg⁺² vb.), radyoaktif iyonlara (Sr⁺², Cs⁺) karşı gösterdikleri özel seçicilik, asit ortamlardaki yüksek stabilite, moleküler elek özellikleri ve birim maliyetlerindeki ucuzluk (1'e 4 oranında) gibi nedenlerle sentetik zeolitlerin kullanımlarının uygun olmadığı proseslerde başarılı bir şekilde kullanılmaktadırlar. Kimya endüstrisinde, bir işlemin kabul edilebilirliği sadece maliyet ve verim ile değil aynı zamanda çevre dostu ve kirliliği azaltma açısından da geçerlidir. Daha verimli bir katalitik yol seçmek, kimyasal işlemlerin etkinliğini büyük ölçüde artırdı. Yeşil kimya, tehlikeli maddelerin oluşumunu azaltmak veya ortadan kaldırmak için kimyasal ürün ve işlemlerin tasarımı olarak tanımlanmıştır [18].

Zeolitlerin tortul birikintilerde ve volkanik ana malzemelerden türetilen kayalarda bolluğu ile birleştiğinde eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikleri, birçok tarımsal uygulamada faydalı olmuştur. Zeolitlerin tarımda kullanımı konusundaki ilk

araştırmaların çoğu, 1960'lı yıllarda Japonya'da gerçekleşti. Literatürün kısa bir incelemesi, Japon çiftçilerin, nem içeriğini kontrol etmek ve asidik volkanik toprakların pH'larını artırmak için yıllarca zeolit kayayı kullandıklarına işaret etmektedir. Zeolitlerin iyon değişim özellikleri, büyük poroziteleri ve yüksek katyon değişim kapasiteleri nedeniyle tarımda kullanılabilir. Hem besin taşıyıcıları hem de orta ila serbest besinleri olarak kullanılabilirler. Zeolitler, tarım ve evre mühendisliğinde çok geniş uygulamaları olan önemli malzemelerdir. Zeolit toprağına ekimin verimi arttırdığı ve besin kullanım verimliliğini arttırdığı bulunmuştur. Araştırılan diğer olası kullanımlar arasında, yavaş salınan gübrelerin taşıyıcısı, böcek öldürücüler, mantar öldürücüler ve herbisitlerin taşıyıcısı olarak ve topraklardaki ağır metaller için bir tuzak olarak uygulamaları yer alır.

Zeolitlerin çeşitli kullanım alanları aşağıdaki gibidir;

1. Petrol Ürünleri Üretimi
2. Doğal Gazların Saflaştırılması
3. Oksijen Üretimi
4. Kömürün Gazlaştırılması
5. Baca Gazlarının Temizlenmesi
6. Belediye Atık Sularının Arıtımı:

Belediye atık sularının zeolitler kullanılarak arıtılması, kirletici azaltma işleminin etkinliğini arttırmayı amaçlamaktadır. Gri sudaki önemli kirleticilerden biri (evlerde mutfak, banyo ve amaşırlardan kaynaklanan atık su) amonyum iyonu (NH^{+4}). Ev suyunda amonyum kaynakları, mutfak deterjanlarında asitlik düzenleyici, koyulaştırıcı ve dengeleyici işlevi gören amonyum tuzlarını içerir. Banyo amonyak esas olarak idrarla ilgilidir, oysa çamaşır atık suları yumuşatıcı ve çamaşır dezenfektan ajanlarının kullanımından kaynaklanan amonyum iyonu içerir. Bunlar normal olarak katyonik yüzey aktif cisimleri olarak işlev gören kuartener amonyum tuzları, dialkildimetil amonyum klorürler, distearildimetil amonyum klorür ve/veya alkildimetilbenzil amonyum klorürleri içerir.

7. Endüstriyel Atık Su Arıtımı:

Yüksek kaliteli içme suyuna olan talebin artması, doğal, endüstriyel, tarımsal ve belediye atık suları dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan suyu arıtmaya dünya çapında

ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. Sonuç olarak, doğal zeolitlerin atık su kirleticilerin giderilmesinde ajan olarak kullanılması, kapsamlı çalışmalarla sonuçlanan büyük ilgi topladı.

8. Petrol Sızıntılarının Temizlenmesi
9. Maden Yataklarının Aranması
10. Metalurji Uygulamaları
11. Sağlık Sektörü
12. Su Kültürü Uygulamaları ve Çamur Oluşumu
13. Su Temizlenmesi

1.1.6. Zeolitlerin Kristal Yapıları

Zeolit mineralleri için önerilen terminolojiye göre [19], seksenden fazla farklı zeolit türü vardır. Zeolitler diğer birçok silikat mineral grubu kadar jeolojik olarak bol ya da yaygın olmasa da, zeolitlerin kristal yapıları, diğer mineral gruplarına göre çok daha ilginç kristal yapılarına sahip oldukları görülmektedir [20].

Zeolitlerin anlaşılmasında büyük önem taşıyan ilkelerden birincisi “yük dengesinin sürdürülebilir olması (yani, kimyasal formüldeki iyon yüklerinin formal değerlikleri toplamının sıfıra eşit olması)”, ikincisi ise “oluşum koşulları altında duyarlı bir yapının meydana gelmesi için atomların birbirine geçmesi ya da birbiriyle uyumlu olmasıdır”. Zeolitler, kolayca tanımlanabilen bir kristal katı ailesi değildir ve benzer şekilde sınıflandırması basit değildir. 1997 yılında, Uluslararası Mineraloji Derneği, Yeni Mineraller ve Mineral İsimleri Komisyonu zeolitleri alt komitesi, topolojik olarak eşdeğer bir yapıya sahip herhangi bir maddenin, aynı zamanda temel zeolitik özelliklere sahip olduğu (yani, iyonların ve su moleküllerinin işgal ettiği boşluklara sahip bir çerçeve yapısı) kabul etmişlerdir.

1.1.7. Zeolitlerin Sınıflandırılması

Zeolit minerallerinin sınıflandırılması konusunda kesin bir fikir birliği bulunmamaktadır. Ancak, ikincil yapı üniteleri ve iskelet yapıları kombinasyonu temel alınarak bir sınıflandırma yapılmıştır [2].

A. Doğal zeolitler

Fiziko-kimyasal özellikler:

- a. Katyon değişimi
- b. Alkalilerle reaksiyonlar
- c. Termal özellikler

B. Yapay zeolitler

Önemli Zeolit Türleri

- a. Klinoptilolit
- b. Şabazit
- c. Analsim
- d. Eriyonit
- e. Höylandit
- f. Lamontit
- g. Mordenit
- h. Filipsit

1.1.8. Zeolitın Adsorbant Olarak Kullanılması

Zeolitlerin endüstriyel süreçlerde ilk kullanımları, kristal yapıdaki zeolitlerin moleküler elek davranışları ve bu özelliklerin kullanıldığı ayırım işlemlerindeki yüksek performanslarına dayalı olarak 1940'lı yılların son döneminde başlamıştır. Devam eden yıllarda, kristalin, yapı, içerik ve özellikleri iyi şekillendirilmiş sentetik zeolitlerin üretilmesi ile zeolitler, adsorpsiyon ve katalitik süreçlerde bilinen adsorbant ve katalitik malzemeler yerine etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Doğal klinoptilolit, asit madeni deşarjından Fe^{+3} , Mn^{+2} , Cu^{+2} ve Zn^{+2} iyonlarının adsorpsiyon ve tutma kapasitesini belirlemek için kullanılmıştır [21]. Yaptıkları denge çalışmalarında seçicilik sıralamasını $Fe^{+3} > Zn^{+2} > Cu^{+2} > Mn^{+2}$ olarak bulmuşlardır. Çalışmalarında aynı zamanda 2.5 ile 4.5 aralığında pH'ın etkisini de değerlendirmişler ve pH artışı ile adsorpsiyon miktarının arttığını belirlemişlerdir.

Düşük seviye radyoaktif sıvı atıklardan bazı radyoaktif elementlerin uzaklaştırılması için geliştirilmeye çalışılan yüksek kapasiteli katı malzemeler için klinoptiloliti de

içeren bazı zeolit türleri kullanılmış ve Cs(I) için pH değişiminin 3-9 aralığında etkin olmadığını bulunmuştur [22].

Klinoptilolit ve mordenit içeren Şili zeolitini, sulu çözeltilerden Mn^{+2} adsorpsiyonu için hazırlanarak fiziksel olarak karakterize edilmiş ve Mn^{+2} adsorpsiyonu için en uygun pH aralığını 6-6,8 olarak bulunmuştur. Ayrıca doğal zeoliti NaCl, NaOH, Na_2CO_3 ve NH_4Cl kullanarak modifiye edilmiş ve bu modifikasyonların Mn^{+2} adsorpsiyonunu doğal zeolite göre arttırdığı tespit edilmiştir [23].

Atık sulardan ağır metal giderimi için düşük maliyetli bir adsorban arayışında doğal zeolit kullanılmış ve pH'ın etkisini incelenmiştir. Zamanın etkisinin de incelendiği çalışmada zeolit yerfıstığı kabuğundan elde ettikleri kömür ve uçucu kül ile de karşılaştırılmıştır [24].

Klinoptilolitçe zengin tüfler ile kesikli bir sistem kullanarak sezyum adsorblamaya çalışılmıştır. Çalışmaların farklı sıcaklıklar için denenmiş ve klinoptilolit iyi bir adsorban olduğu bulunmuştur [25].

İki klinoptilolit türünü döner tank reaktörde evsel kanalizasyon atığı ile karıştırarak bu atık içinde bulunan Ni ve Pb'nin tamamının uzaklaştırılabildiğini, Cu, Zn ve Hg'nin ise %60'tan fazlasının uzaklaştırılabildiği tespit edilmiştir [26].

Na ile modifiye edilen klinoptilolit Pb iyon değişim kinetiğini ve denge verileri incelenmiştir. Polarografik ölçümlerle belirlenen Pb iyon değişim verileri analiz edilmiş ve modellenmiştir [27].

Na formundaki klinoptilolit ile Pb^{+2} , Cd^{+2} ve Cu^{+2} iyonlarının sulu çözeltilerden adsorpsiyonu incelenmiş ve ideal olmayan bir yaklaşım yaparak denge verileri modellenmiştir. Çalışmada farklı termodinamik sorbsiyon modelleri incelenmiştir [28].

Bir ultrafiltrasyon sistemine giren endüstriyel atık suya zeolit tabanlı bir adsorban ile ön işlem uygulanarak içerisindeki Pb(II), Ni(II), Zn(II) ve Cu(II) gibi ağır metalleri azaltılmaya çalışılmıştır [29].

Sulu çözeltilerden Pb(II) iyonlarının klinoptilolit ile uzaklaştırılmasının incelendiği çalışmada temas süresinin, başlangıç derişiminin ve klinoptilolit ön işleminden geçirilmesinin etkilerini incelenmiştir [30].

1.2. Pumis

1.2.1. Tanımı ve Genel Özellikleri

Pumis, gözenekli yapısı, hafifliği, yüksek izolasyon etkileri, atmosferik şartlara karşı direnci ve yüksek puzzolanik aktivitesi sebebiyle, insanoğlunun eski çağlardan beri kullandığı en eski yapı malzemelerinden birisidir. Antik Yunan ve Roma dönemlerinde pumis, amfityatrolar, tapınaklar, su kemerleri, hamamlar, mahzenler ve konut inşaatlarında yaygın olarak kullanılmıştır. Bu tapınaklar zamana karşı hala direnmektedir [31]. Pumis, Almanca; Bimsstein, İngilizce; Pumice olarak adlandırılır. Türkçe'de ise süngertaşı, kisir, köpüktaşı, topuktaşı, hışırtaşı olarak da adlandırıldığı gibi bilimsel terminolojide dünyaca kabul görmüş pumis (pumice), pumisit (pumicite) olarak da adlandırılmaktadır. İri çakıl boyutuna pumis, kum ve daha ince boyutuna da pumisit denilmektedir.

Pumisin fiziksel özellikleri oluşumuna bağlıdır. Kayaların fiziksel özellikleri çeşitli alanlardaki uygulamalarının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Mohs Sertliği Ölçeğinde, 1-10 arasında değişen kayaları derecelendiren kayalar, sertliği 1-3 olan kayalar 3-6 arasında yumuşak kayalar, orta sertlikte kayalar ve 6-10 ise sert kayalardır. Pumisin sertliği 6 iken basınç dayanımı 51.20 N/mm^2 'dir.

Pumis taşı, yalnızca inşaat sektöründe değil, tarım sektörü, kimya sektörü, tekstil sektörü, aşındırıcı sanayi gibi endüstri alanlarında da çok farklı amaçlarla kullanılmaktadır [31]. Hafif betonda agrega, çevre düzenlemesi agregası ve çeşitli endüstriyel ve tüketici ürünlerinde aşındırıcı olarak kullanılır. Pek çok örnek, yavaşça suyla kaplanıncaya kadar su üzerinde yüzebilecekleri kadar yüksek bir gözenekliliğe sahiptir.

Pumisteki gözenek boşluklarına veziküller adı verilir. Veziküller, gaz bakımından zengin köpüklü bir magmanın hızlı soğutulması sırasında kayaya sıkışmış gaz kabarcıklarıdır. Malzeme o kadar hızlı soğur ki, eriyikteki atomlar kendilerini kristalli bir yapıya yerleştiremezler. Dolayısıyla, pumis, "mineraloid" olarak bilinen amorf bir volkanik camdır. Bazı magmalarda basınç altındayken ağırlıkça yüzde birkaç çözünmüş gaz bulunur. Havalandırmadan çıkan bu gaz akışı magmayı parçalamaktadır ve erimiş bir köpük olarak dışarı üfleemektedir. Köpük, havada uçarken ve pumis parçaları olarak hızla katılaşır. En büyük volkanik püskürmeler birçok kilometrekare maddeyi

çıkabilir. Bu malzemenin büyüklüğü küçük toz parçacıklarından evin büyüklüğündeki büyük pumis (pomza) bloklarına kadar değişebilir. Büyük püskürmeler, 100 metreden fazla pumis (pomza) ile volkanın çevresini örter ve atmosfere yüksek toza ve külü fırlatır. 20. yüzyılın ikinci en güçlü volkanik patlaması 1991'de Pinatubo Dağı'ndaydı [32].

Pumisin endüstriyel kullanım alanları:

1. İnşaat sektöründe
2. Tekstil sektöründe
3. Tarımda
4. Kimya ve diğer endüstrilerde

1.2.2. Pumisin Fiziksel Özellikleri

Bileştirme, kompozisyon: Pumis, obsidiyene veya volkanik camınkine benzer bir kimyasal bileşime sahiptir.

Yoğunluk: Pumis çok hafiftir. Bu, oluşum süreci sırasında çıkan gazlar olarak yarattığı hava kabarcıklarından kaynaklanmaktadır.

Canlılık: Pumis taşı o kadar hafiftir ki, bir zamanlar su ile tıkanmadan batan önce genellikle bir süre su üzerinde yüzer.

Aşındırıcılık: Pumis taşı aşındırıcıdır, bu nedenle kuru cildi ve nasırları ayaklardan almakta iyidirler.

Renk: Pumis genellikle beyaz, krem, mavi veya gri, yeşil-kahverengi veya siyah arasında değişen renkte soluktur.

1.2.3. Pumisin Kimyasal Özellikleri

Pumis, asidik (Şekil 1.1) ve bazik (Şekil 1.2) ponza olmak üzere iki kısma ayrılabilir



Şekil 1.1. Asidik Pumis

Asidik ve bazik volkanik faaliyetler neticesinde iki tür pumis oluşumu mevcuttur: Bunlar asidik pumis ve bazik pumistir. Diğer bir deyişle bazik ponzaya bazaltik pumis veya scoria da denilmektedir. Bazaltik pumis koyu renkli, kahverengimsi siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlığı 1-2 gr/cm³ civarındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pumis beyaz kirli görünümde ve grimsi beyaz renktedir. Asidik karakterli pumislerde silis oranı daha yüksek olup, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Diğer taraftan bazik karakterli pumislerde alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda bulunması nedeniyle (Tablo 1.3) diğer endüstriyel alanlarda (örneğin gübre sanayiinde kek maddesi olarak, toprak ıslahı amacıyla tarımda vs.) kullanım alanı bulabilmektedir [33].



Şekil 1.2. Bazik Pumis

Tablo 1.3. Pumisın kimyasal bileşimi

BİLEŞEN	İÇERİK (%)	ASİDİK POMZA	BAZİK POMZA
SiO ₂	60-75	72.5	45.0
Al ₂ O ₃	13-15	14.0	21.0
Fe ₂ O ₃	1-3	2.5	7.0
CaO	1-2	0.9	11.0
MgO	1-2	0.6	7.0
Na ₂ O + K ₂ O	7-8	9.0	8.0
TiO ₂	Eser	-	-
SO ₃	Eser	-	-

Cl	Eser	-	-
----	------	---	---

1.2.4. Pumisın Kullanım Alanları

a. Sulardaki Kirleticilerin Arıtılmasında Pumisın Kullanımı

Su kirliliğinin en önemli kaynağı çevre kirliliğidir. Artan kirlilik, içilebilir su miktarının giderek azalmasına sebep olmaktadır. Filtrasyon, içilebilir su kaynaklarının arıtımında başarıyla kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntemde, kullanılan filtre malzemesi yöntemin performansını ve maliyetini direkt etkilemektedir. Dolayısıyla, filtre malzemesi olarak alternatif hammadde arayışları hızla devam etmektedir. Pumis, yapısal özellikleri nedeniyle bu alanda üstün teknolojik özellikler yaratan, ucuz ve kolay temin edilebilen bir endüstriyel hammaddedir. Bu nedenle, arıtma sektörüne sağladığı bu tür teknolojik ve ekonomik avantajlar pumisi yeni bir filtre malzemesi haline dönüştürmektedir [34].

Artan nüfus ve sanayileşme, temiz su kaynaklarının hem tükenmesinde hem de kirlenmesindeki en önemli unsurlardır. Her geçen gün, içilebilir su kaynaklarına olan ihtiyaç artmaktadır. Dolayısıyla su kaynaklarının tüketilebilir hale getirilmesi için kullanılan arıtma süreçlerindeki alternatif hammadde arayışları hızla devam etmektedir. Suların arıtılmasında koagülasyon, flokülasyon, sedimentasyon, filtrasyon ve dezenfeksiyon gibi yöntemler kullanılmaktadır. Filtrasyon, içilebilir su elde etmek için önemli ve gerekli bir arıtma yöntemidir. Filtrasyon temelde bir katı-sıvı ayırma işlemidir ve suyun, gözenekli bir ortamdan geçirilerek Arıtılması temeline dayanır. Bu yöntemle, suda dağılmış olarak bulunan çok ince boyutlu (askıdaki) taneler uzaklaştırılabilir. Bu yolla uzaklaştırılabilen başlıca askıdaki maddeler, kil ve silt tanecikleri, mikroorganizmalar, kolloidal ve çökebilir hümik maddeler, bitkisel döküntülerin çürümesinden ortaya çıkan diğer organik tanecikler, koagülasyon sonucunda ortaya çıkan alüminyum ve demir çökeltileri, kireç-soda metoduyla su yumuşatmada meydana gelen, kalsiyum karbonat ve magnezyum hidroksit çökeltileri ve oksidasyon sonucu meydana gelen demir ve mangan çökeltileridir. Filtre ortamı olarak ise kum, çakıl, antrasit, aktif karbon, garnet, perlit, diatomit, genişletilmiş kil gibi granül maddeler veya bunların kombinasyonları kullanılmaktadır. Ayrıca membran ve

iyon değiştirme filtrasyon prosesleri ile aktif karbon sistemleri de içme suyu arıtımında kullanılmasına rağmen daha pahalıdır [35].

Amorf alüminyum silikat olarak tanımlanıp, volkanik faaliyetler sonucu oluşmuş, volkanik cam yapısında ve süngerimsi bir kayaç olan pumisin, inşaat, tekstil, tarım, kimya ve abrasif sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak pumisin (pomza), gözenekli yapıya sahip olması dolayısıyla özgül yüzey alanının büyük olması, kimyasal olarak inert olması, toksik etkisinin olmaması, sulu ortamlarda deforme olmaması, birim hacim ağırlığının düşük olması gibi özellikleri nedeniyle, son yıllarda arıtma sektöründe filtre malzemesi olarak kullanımı ve önemi artmıştır. Ayrıca pumisin (pomza) teknolojik avantajları yanında, kolay ve düşük maliyetle üretilmesi ve üretildikten sonra herhangi bir ek işlem gerektirmemesi de yine bu sektöre önemli bir ekonomik avantaj sağlamaktadır [36].

Bilindiği gibi su arıtımında filtrasyon, farklı kirleticilerin gideriminde yaygın olarak kullanılan bir sistemdir. Çalışmanın bu bölümünde, filtre malzemesi olarak pomzanın kullanımıyla suların yumuşatılması, sulardaki fosfatın, florürün, arsenatın ve organik maddelerin uzaklaştırılması ile sulara renk veren demir ve manganın giderimi üzerine yapılan araştırmaların bulguları sunulmuştur [37].

- b. Suların yumuşatılması
- c. Sulardaki fosfatın giderimi
- d. Sulardaki florürün giderimi
- e. Sulara renk veren maddelerin giderimi
- f. Sulardaki organik maddelerin giderimi

1.3. Ağır Metallerin Özellikleri ve Etkileri

1.3.1. Ağır Metallerin Etkileri

Ağır metaller, su atomundan en az 5 kat daha yüksek bir atomik ağırlığa ve yoğunluğa sahip doğal olarak bulunan elementlerdir. Çok sayıda endüstriyel, evsel, zirai, tıbbi ve teknolojik uygulamaları çevrede geniş bir dağılım göstermesine neden olmuştur. Toksisiteleri, doz, maruz kalma yolu ve kimyasal türlerin yanısıra maruz kalan kişilerin yaşı, cinsiyeti, genetiği ve beslenme durumu gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Yüksek

derecede toksisiteyi nedeniyle, arsenik, kadmiyum, krom, kurşun ve civa, halk sağlığı açısından önemli olan öncelikli metaller arasında yer almaktadır. Bu metalik elementlerin, düşük maruz kalma seviyelerinde bile çoklu organ hasarını indüklediği bilinen sistemik toksik maddeler olarak kabul edilir. Ayrıca ABD Çevre Koruma Ajansı ve Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı'na göre insan kanserojenleri (bilinen veya olası) olarak sınıflandırılırlar [38].

Ağırlığın ve toksisitenin birbiriyle ilişkili olduğu varsayımıyla, ağır metaller ayrıca düşük maruziyet seviyesinde toksisiteyi indükleyebilen arsenik gibi metaloidleri de içerir. Son yıllarda, bu metallerin çevre kirliliği ile ilgili artan ekolojik ve küresel halk sağlığı endişesi olmuştur. Ayrıca, birkaç endüstriyel, tarımsal, evsel ve teknolojik uygulamada kullanımlarının katlanarak artması sonucu insan maruziyeti çarpıcı bir şekilde artmıştır. Çevrede bildirilen ağır metal kaynakları arasında jeojenik, endüstriyel, tarımsal, ilaç, evsel atıklar ve atmosferik kaynaklar bulunmaktadır. Çevre kirliliği madencilik, dökümhaneler ve eriticiler ve diğer metal bazlı endüstriyel işlemler gibi nokta kaynaklı alanlarda çok belirgindir.

Ağır metaller, yer kabuğunun her yerinde bulunan doğal olarak bulunan elementler olsa da, çoğu çevresel kirlenme ve insan maruziyeti madencilik ve eritme işlemleri, sanayi üretim ve kullanım, metallerin ve metal içeren bileşiklerin evsel ve tarımsal kullanımı gibi antropojenik faaliyetlerden kaynaklanır. Çevresel kirlenme aynı zamanda metal korozyonu, atmosferik birikim, metal iyonlarının toprak aşınması ve ağır metallerin dökülmesi, tortuların yeniden askıya alınması ve su kaynaklarından toprak ve yeraltı suyuna metal buharlaşması yoluyla da ortaya çıkabilir. Ayrışma ve volkanik patlamalar gibi doğal olaylarında ağır metal kirliliğine önemli ölçüde katkıda bulunduğu bildirilmiştir. Endüstriyel kaynaklar rafinerilerde metal işleme, santrallerde kömür yakma, petrol yakma, nükleer santraller ve yüksek gerilim hatları, plastikler, tekstiller, mikroelektronik, odun koruma ve kağıt işleme tesisleridir.

Kobalt (Co), bakır (Cu), krom (Cr), demir (Fe), magnezyum (Mg), manganez (Mn), molibden (Mo), nikel (Ni), selenyum (gibi) metallerin bulunduğu bildirilmiştir. Selenyum (Se) ve çinko (Zn), çeşitli biyokimyasal ve fizyolojik fonksiyonlar için gerekli olan temel besinlerdir. Bu mikro besin maddelerinin yetersiz tedarik edilmesi, çeşitli eksiklik hastalıkları veya sendromları ile sonuçlanır.

Ağır metaller ayrıca çeşitli çevresel matrislerde iz konsantrasyonlarındaki (ppb 10 ppm'den az) varlığından dolayı eser elementler olarak kabul edilir. Biyo yararlanımları sıcaklık, faz birleşmesi, adsorpsiyon ve sekestrasyon gibi fiziksel faktörlerden etkilenir. Termodinamik denge, kompleksleşme kinetiği, lipit çözünürlüğü ve oktanol / su bölme katsayılarındaki özellikleri etkileyen kimyasal faktörlerdende etkilenir. Tür özellikleri, trofik etkileşimler ve biyokimyasal/fizyolojik adaptasyon gibi biyolojik faktörlerde önemli bir rol oynar.

Esansiyel ağır metaller bitkilerde ve hayvanlarda biyokimyasal ve fizyolojik fonksiyonlar sergiler. Bunlar birkaç anahtar enzimin önemli bileşenleridir ve çeşitli oksidasyon-azaltma reaksiyonlarında önemli roller oynarlar. Örneğin bakır, katalaz, süperoksitdismutaz, peroksidaz, sitokromcoksidazlar, ferroksidazlar, monoaminoksidaz ve dopamin β -monooksijenaz dahil olmak üzere oksidatif strese bağlı çeşitli enzimler için temel bir ko-faktördür. Bu nedenle, hemoglobinin oluşumu, karbonhidrat metabolizması, katekolamin biyosentezi ve kollajen, elastin ve saç keratininin çapraz bağlanması ile ilgili bir dizi metaloenzime dahil edilen temel bir besindir. Bakırın okside olmuş bir durum olan Cu ve indirgenmiş durumdaki Cu (I) arasında dönme kabiliyeti redoks reaksiyonlarında rol oynayan cuproenzimler tarafından kullanılır. Ancak, potansiyel olarak toksik kılan bakırın bu özelliğidir, çünkü Cu (II) ve Cu (I) arasındaki geçişler süperoksit ve hidroksil radikallerinin oluşmasına neden olabilir. Ayrıca, bakıra aşırı maruz kalma, insanlarda Wilson hastalığına yol açan hücresel hasara bağlanmıştır. Bakıra benzer şekilde, biyolojik işleyiş için birkaç başka temel element gereklidir, ancak bu tür metallerin fazla miktarda olması, çeşitli olumsuz etkilere ve insan hastalıklarına yol açan hücresel ve doku hasarına neden olur. Krom ve bakır dahil bazıları için, faydalı ve toksik etkiler arasında çok dar bir konsantrasyon aralığı vardır. Alüminyum (Al), antinomi (Sb), arsenik (As), baryum (Ba), berilyum (Be), bizmut (Bi), kadmiyum (Cd), galyum (Ga), germanyum (Ge), altın gibi diğer metaller (Au), indiyum (In), kurşun (Pb), lityum (Li), civa (Hg), nikel (Ni), platin (Pt), gümüş (Ag), stronsiyum (Sr), tellür (Te), talyum (Tl), kalay (Sn), titanyum (Ti), vanadyum ve uranyum (U) biyolojik fonksiyonlara sahip değildir ve esansiyel olmayan metaller olarak kabul edilirler [38].

Biyolojik sistemlerde, ağır metallerin hücresel organelleri ve hücre zarı, mitokondriyal, lizozom, endoplazmik retikulum, çekirdek ve metabolizma, detoksifikasyon ve hasar

onarımında rol oynayan bazı enzimler gibi bileşenleri etkilediği bildirilmiştir. Metal iyonlarının DNA ve nükleer proteinler gibi hücre bileşenleri ile etkileşime girerek DNA hasarına ve hücre döngüsü modülasyonuna, kanserojenez veya apoptoza neden olabilecek konformasyonel değişikliklere neden olduğu bulunmuştur. Yapılan çeşitli çalışmalar, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretiminin ve oksidatif stresin, arsenik, kadmiyum, krom, kurşun ve cıva gibi metallerin toksisitesinde ve kanserojenitesinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Yüksek derecede toksisitelerinden dolayı, bu beş element, halk sağlığı açısından büyük öneme sahip öncelikli metaller arasında yer almaktadır. Bunların hepsinin, daha düşük maruz kalma seviyelerinde bile, çoklu organ hasarını tetiklediği bilinen sistemik toksik maddelerdir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (ABDEPA) ve Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) 'ya göre, bu metaller aynı zamanda bir birliği gösteren epidemiyolojik ve deneysel çalışmalara dayanan “bilinen” veya “muhtemel” insan kanserojenleri olarak sınıflandırılmaktadır [38].

Ağır metal kaynaklı toksisite ve kanserojenite, bazıları açıkça anlaşılmayan veya anlaşılmayan birçok mekanik yönü içerir. Bununla birlikte, her metalin kendine özgü toksikolojik etki mekanizmalarına yol açan benzersiz özelliklere ve fiziko-kimyasal özelliklere sahip olduğu bilinmektedir.

1.3.2. Ağır Metallerin Özellikleri

1.3.2.1. Kadmiyum

Kadmiyum doğada kadmiyum sülfat ve sülfid, kadmiyum oksit, kadmiyum klorür şeklinde ve genelde çinko, bakır ve kurşun madenleriyle birlikte ince partiküller halinde bulunur. Kadmiyum, önemli çevresel ve mesleki kaygıları olan ağır bir metaldir. Yer kabuğunda, yaklaşık 0.1mg/kg'lık bir ortalama konsantrasyonda yaygın olarak dağılır. Ortamdaki en yüksek kadmiyum bileşikleri tortul kayalar içinde birikir ve deniz fosfatları yaklaşık 15 mg kadmiyum / kg içerir [39].

Kadmiyum, çeşitli endüstriyel faaliyetlerde sıklıkla kullanılır. Kadmiyumun başlıca endüstriyel uygulamaları alaşım, pigment ve batarya üretimini içerir. Akülerde kadmiyum kullanımı son yıllarda önemli bir artış göstermiş olmasına rağmen, ticari kaygıları gelişmiş ülkelerde çevresel kaygılara cevap olarak azalmıştır [39].

Vücuda Alınma Yolları

Kadmiyuma maruz kalmanın ana yolları solunması veya sigara dumanı ve yiyeceklerin yutulmasıdır. Deri emilimi nadirdir. İnsanın kadmiyuma maruz kalması, birincil metal endüstrilerinde istihdam, kontamine yiyecek yeme, sigara içme ve kadmiyuma bulaşmış iş yerlerinde çalışma gibi sigara içimi önemli bir katkıda bulunan birçok kaynakla mümkündür. Diğer kadmiyum kaynakları, madencilik, eritme ve batarya, pigment, stabilizatör ve alaşım üretimi de dahil olmak üzere endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan emisyonları içerir. Kadmiyum ayrıca yapraklı sebzeler, patatesler, tahıllar ve tohumlar, karaciğer ve böbrek ve kabuklular ve yumuşakçalar gibi bazı gıdalarda az miktarda bulunur. Ek olarak, kadmiyum açısından zengin gıda maddeleri, insan vücudundaki kadmiyum konsantrasyonunu büyük ölçüde artırabilir. Karaciğer ve kabuklu deniz ürünleri örnek olarak gösterilebilir [39].

İnsan ekolojisi açısından kadmiyumun alınma yolları çeşitlidir:

- Havadan solunumla
- Bitkiden, hayvandan yiyeceklerle
- Sulardan içeceklerle.

Kullanım Alanları

Otomotiv ve metal endüstrisinde kullanılmaktadır. Kadmiyum özellikle deniz ve alkali ortam korozyonuna karşı mukavemeti nedeniyle demir, çelik, pirinç ve alüminyum kaplamasında kullanılmaktadır. Kadmiyum kaplamaları elektrik, elektronik, otomotiv ve uzay sanayinde çok yaygındır. Kadmiyumun yoğun olarak kullanıldığı diğer bir alan da boya endüstrisidir. Kadmiyum bunlardan başka stabilizatör olarak plastik ve sentetik elyaf sanayinde, televizyon tüpleri ve floresan lamba yapımında, nükleer reaktör kontrol sistemlerinde ve alaşımlarda kullanılmaktadır.

1.3.2.2. Nikel

Gümüşümsü beyaz renkli sert bir metaldir. Nikel bileşikleri pratik olarak suda çözünmez. Suda çözünebilir tuzları klorür, sülfat ve nitrattır. Nikel yer kabuğunda 58-94 mg/kg arasında değişen oranlarda bulunur. Sudaki doğal nikel miktarı çok düşüktür [39].

Vücuda Alınma Yolları

- Solunum

- İçilen su
- Beslenme

Kullanım Alanları

Nikel demir üretiminde, diğer metallerin alaşımlarında, metallerin elektrolizle kaplanmasında katalizör olarak, paranın basılması sırasında, bazı bataryalarda, elektronik aksam pillerinde, propilen ve renkli camların boyanmasında kullanılır.

1.3.2.3. Kurşun

Kurşun, yaygın kullanımı, dünyanın birçok yerinde yaygın çevre kirliliği ve sağlık sorunlarına neden olan oldukça toksik bir metaldir. Kurşun, kuru bir ortam da hafifçe mavimsi parlak gümüş renkli bir metaldir. Hava ile temasında kararmaya başlar, böylece verilen koşullara bağlı olarak kompleks bir bileşik karışımı oluşturur [40]. Kurşuna maruz kalma kaynakları temel olarak endüstriyel süreçler, yiyecek ve sigara, içme suyu ve yerel kaynakları içerir. Kurşun kaynakları kurşun, sıhhi tesisat boruları, kalaylı sürahi, akü bataryaları, oyuncaklar ve musluklara uzatılmış olan benzin ve ev boyasıdır [41].

1.3.2.4. Bakır

Bakırın kimyasal simgesi Cu olup, oda sıcaklığında turuncu renkli, yumuşak bir metaldir. Özgül ağırlığı 8.92 g/cm^3 'dür. Bakır yer kabuğunun yapısında kovallin (CuS), kalkosin (Cu₂S), bornit (Cu₅FeS₄), kalkopirit (CuFeS₂) mineralleri şeklinde bulunur.

Çok değişik alanlarda kullanılır. Yüzeysel sularda bakır 1.0 mg/L'nin altında bile su bitkilerine zehirli etki yapabilir. Bağcılıkta, pestisit olarak ve zaman zaman alglerin yok edilmesi için bakır tuzları kullanılabilir. Bazı balıklar için 1 mg/L konsantrasyonda bile toksik olabilir [42].

Bakır alglerin gelişimi için gerekli olan bir besin maddesi olmakla birlikte yüksek konsantrasyonlarda algleri öldürmekte kullanılır. Deniz suyunda hem partikül formunda hem de organik kompleksler halinde bulunur. Okyanuslarda denizdekilerden daha fazla bakır vardır [43].

Bakır insanlarda beyin, deri, karaciğer, pankreas ve kalp kasında birikmesi sonucu "Wilson Hastalığına" sebep olduğu belirlenmiştir. EPA'nın verilerine göre bakır

konsantrasyonu atık sularda 1,3 mg/L üzerinde olmamalıdır. İstenilen bu değerde bakırı tutabilmek için çok yüksek arıtım teknolojisi gerekmektedir. Bakırla ilgili en ciddi zehirlenmeler oral yolla olmaktadır. Bakır, memelilerin dokularında birikebilen ve dokulardaki derişimi kritik değerlere ulaştığında toksik etkiler gösterebilen bir metaldir. Bu metale maruz kalındığında başta karaciğer ve böbrek olmak üzere, pek çok dokuda patolojik değişiklikler geliştiği bildirilmektedir. Ağız yoluyla alındığında akut zehirlenme insanlarda, LD50, (Lethal Dose: Öldürücü Doz) 100 mg/kg'dır, ancak 600 mg/kg'a kadar emilim olduğunda dahi tedavisi mümkündür. Bağırsaktan bakır emiliminde bir hata oluşursa "Menkes Sendromu" ortaya çıkar. Bu hastalıkta, plazmadaki bakır ve bakır oksidaz düzeyi düşüktür. Büyüme yavaşlar, vücut ısısı düşer, saçlar ağarır ve beyinde dejenerasyon meydana gelir. Bakır eksikliği kalp hastalığı riskini azaltır. Bakır, kirli suda Cu^{+2} iyonları, hidroliz ürünleri $CuCO_3$ veya organik kompleksleri şeklinde bulunur.

Bakır, üstün fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakırın kullanıldığı sektörler; elektrik ve elektronik sanayi, inşaat sanayi, ulaşım sanayi, endüstriyel ekipman yapımı, kimya sanayi, kuyumculuk, boya sanayi ve turistik eşya yapımı şeklinde tanımlanabilir. Bakır, kanalizasyonda kullanılan bakır boruların korozyonu sonucunda doğal sulara karışabilir. Bunun nedeni ise bakırın asidik ortamda korozyona uğramasıdır. Bu durum sular kalsit yataklarına verilerek, nötralize edilir. Böylece hem korozif şartlar ortadan kalkar hem de bakır iyonları elimine edilmiş olur [44].

1.3.3. Yapay Sulak Alanlarda ki Ağır Metal Kirleticileri

Yapay sulak alanlar (YSA), dolgu malzemesi, atık su, bitki toplulukları, mikroorganizmalar ve doğal olarak gelişen omurgasızlardan oluşan tasarlanmış havuzlardır. Atık su arıtımında kullanılan YSA sistemleri ile ilgili tam bir sınıflandırma olmasa da akış ve bitki türü yönlerinden değerlendirildiğinde yüzeysel akışlı yapay sulak alanlar (çayır, bataklık ve gölet tipi) ve yüzey altı akışlı yapay sulak alanlar (yatay ve düşey akışlı) olarak iki gruba ayrılmaktadır [45]. Yapay sulak alanlar kirli suyun arıtılmasında akümülatör bitkiler kullanılarak fitoremediasyonun gerçekleştirildiği alanlardır. Yapay sulak alanlar, doğal sulak alan sisteminde var olan olguları taklit etmek üzere tasarımılanan ve atık suların tasfiyesinde diğer araçların yanında sulak alan bitkilerini, toprakları ve bunların mikroorganizmalarını kullanan sistemlerdir. Yapay

sulak alanlarda doğal çevre koşullarında su, toprak, bitkiler, mikroorganizmalar ve atmosferin etkileşimleri sonucunda, kirleticilerin uzaklaştırılmasını sağlayacak kimyasal, biyolojik ve fiziksel işlemler ortaya çıkmaktadır.

Ağır metal kirliliği içeren atık sular biyolojik oksijen ihtiyacı değeri düşük, genellikle asidik, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için çok zehirli, kendi kendine temizlenme ve arıtmada etken mikroorganizmaları öldürücü nitelikte inorganik karakterli sulardır. Ağır metal kirliliğe neden olan etkenler arsenik, civa, kurşun, krom, kadmiyum, nikel, demir, bakır ve çinko gibi ağır metal iyonları ile radyoaktif elementlerdir. Ağır metaller organizmaların hücre fonksiyonlarına zarar vererek, biyolojik aktiviteyi inhibe ederler. Bu yüzden atık sudan giderilmeleri gerekmektedir. Bitkilerle ağır metal alımının esas yolu köklerdir. Köksüz bitkiler yalnızca metalleri sudan hızlı bir şekilde ayırmada etkiliyken, köklü bitkiler metalleri sedimentten ayırmada, sudan ayırmada etkili olduğu kadar verimli değildir. Ağır metallerin yapraklarda absorpsiyonu, sulu fazda yarıklardan epiderma ya da stomadan hücre duvarına ve sonra plazmaya geçişiyle olur.

Teknolojik gelişmelerin, sanayileşmenin ve sosyal yaşamın insanlığa kazandırdığı sayısız faydaların yanısıra, istenmeyen ve ekolojik dengeyi bozan ağır metal kirliliği her geçen gün artmaktadır. Bu oluşum önemli bir çevresel kirliliktir ve çok küçük konsantrasyonlarda bile toksiktir. Özellikle endüstriyel faaliyetlerden, tarımsal faaliyetlerden, madencilikten, plansız şehirleşmeden, evsel veya belediye atıklarından çevreye yayılan ağır metaller zamanla doğada birikirler. Bazı kirleticilerin hava, su ve toprakta düşük miktarda bulunmalarına karşın, besin zincirlerinin birbirlerini izleyen halkalardaki tüketicilerde, giderek artan yoğunlukta bulunması olayına “biyolojik birikim” denir.

2. BÖLÜM

MATERYAL METOT

2.1. Materyal

Çalışmamızda atık sularda yer alan ağır metallerin giderim etkinlikleri pumis, zeolit ve %50 pumis - %50 zeolit malzemelerini kullanarak laboratuvar koşullarında kolon testleri ile araştırılması amaçlanmıştır. Araştırma sonuçlarına bağlı olarak ileride inşa edilecek yapay sulak alan sistemleri için havuz dolgu malzemesi (filtre malzemesi-substrat) önerilerinde bulunulmuştur.

Kolon testleri şeklinde yürütülen çalışmamızda PVC borular kullanılmıştır. Kolonlarımız 110 mm çapında olup standart üretimi olan PVC borulardır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çalışmaların yapıldığı kolon deneme düzenekleri

PVC boruların alt kısımlarına 9 mm çapında elekten elendikten sonra elde edilen çakıl taşları kaba materyal olarak konulmuştur. Çakıl taşlarının üstüne ise borulara sadece pumis materyali, sadece zeolit materyali ve %50 pumis - %50 zeolit materyal karışımları konulmuştur. Kullanılan materyallerin çapları 1.00 – 4.00 mm aralığındadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Çalışmada kullanılan çakıl, pumis ve zeolit

Bu örneklere uygulamak üzere 10, 20, 40 ppm'lik Cd, Ni, Pb, Cu ağır metallerini içeren 4 farklı çözelti hazırlanmıştır. Bu çözeltilerin hazırlanmasında Cd kaynağı olarak ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$), Ni kaynağı olarak (NiCl_2), Pb kaynağı olarak ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), Cu kaynağı olarak CuSO_4 kullanılmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Çalışmada kullanılan ağır metal solusyonları

2.2. Metod

2.2.1. pH Tayini

Yapılan çalışmalar sonucunda kolonlardan elde edilen süzüklerin pH değerlerinin belirlenmesi oldukça önem arz etmektedir. Arıtılan suların tarımsal sulamalarda

kullanılması durumunda bitki besin elementlerinin bitkiler tarafından alınmasında pH değerleri önemlidir. Ayrıca ilgili yönetmeliğe göre atık suların deşarjında pH limitlerinin sağlanıp sağlanamadığı da gözlemlenmiştir [46]. Bu nedenle elde edilen süzüklerde Biyosistem Mühendisliği Bölümü laboratuvarında analizler yapılmıştır. Analizlerde Martini marka cam elektrotlu pH metre (Şekil 2.4) kullanılarak değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 2.4. pH tayini

2.2.2. EC Tayini

Yapılan çalışmalar sonucunda kolonlardan elde edilen süzüklerin EC değerlerinin belirlenmesi oldukça önem arz etmektedir. Arıtılan suların tarımsal sulamalarda kullanılması durumunda sulama sularının EC değerlerinin düşük olması istenmektedir. Yüksek olması durumunda suların tuzluluk derecesi artacağından yapılan sulamaların faydasız olacağı gibi topraklarda da tuzluluk problemi meydana gelecektir. Ayrıca ilgili yönetmeliğe göre atık suların deşarjında EC limitlerinin sağlanıp sağlanamadığı da gözlemlenmiştir [46]. Bu nedenle elde edilen süzüklerde Biyosistem Mühendisliği Bölümü laboratuvarında analizler yapılmıştır. Analizlerde WTW marka elektrotlu EC metre (Şekil 2.5) kullanılarak değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 2.5. EC tayini

2.2.3. Ağır Metal Tayini

Yapılan çalışmalar sonucunda kolonlardan elde edilen süzüklerde bulunan ağır metal düzeylerini belirlemek amacıyla Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde bulunan ICP-MS cihazında atık suların analizleri yapılmıştır. (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Ağır Metal tayini işlemleri

3. BÖLÜM

BULGULAR

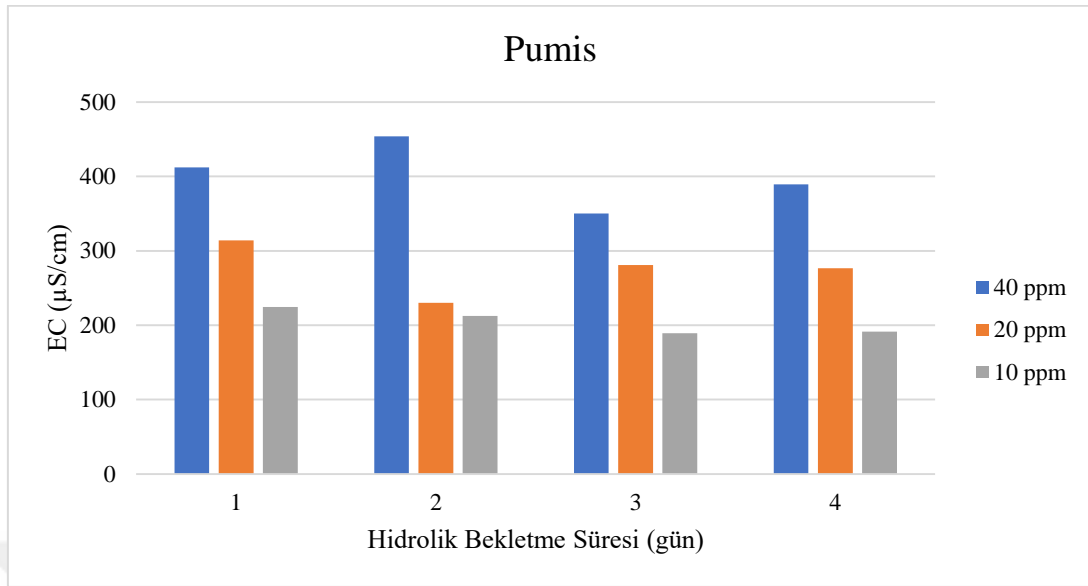
Yaptığımız çalışmada 1, 2, 3 ve 4 gün hidrolik bekletme süreleri uygulanmış olup farklı konstrasyonlarda (10, 20 ve 40 ppm) Cu, Ni, Cd ve Pb ağır metal yüklemesi yapılmıştır. Bu yüklemelerle yapılan her bir karışım için EC, pH ve ağır metal analizleri yapıldıktan sonra elde edilen veriler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

3.1. EC

Farklı konstrasyonlarda ağır metal çözültisi uygulanan pumis materyali farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin elektriksel iletkenlik (EC) değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Hidrolik bekletme sürelerine göre EC değerlerinin değişimi ise Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Pumis materyalinin farklı konstrasyonlarda EC’ye etkisi ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Ağır Metal Konsantrasyonları	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm (126.1)	224,4	212,7	189,1	191,2
20 ppm (212.5)	314,07	230,1	280,83	276,73
40 ppm (382.0)	412,03	454,0	350,27	389,37



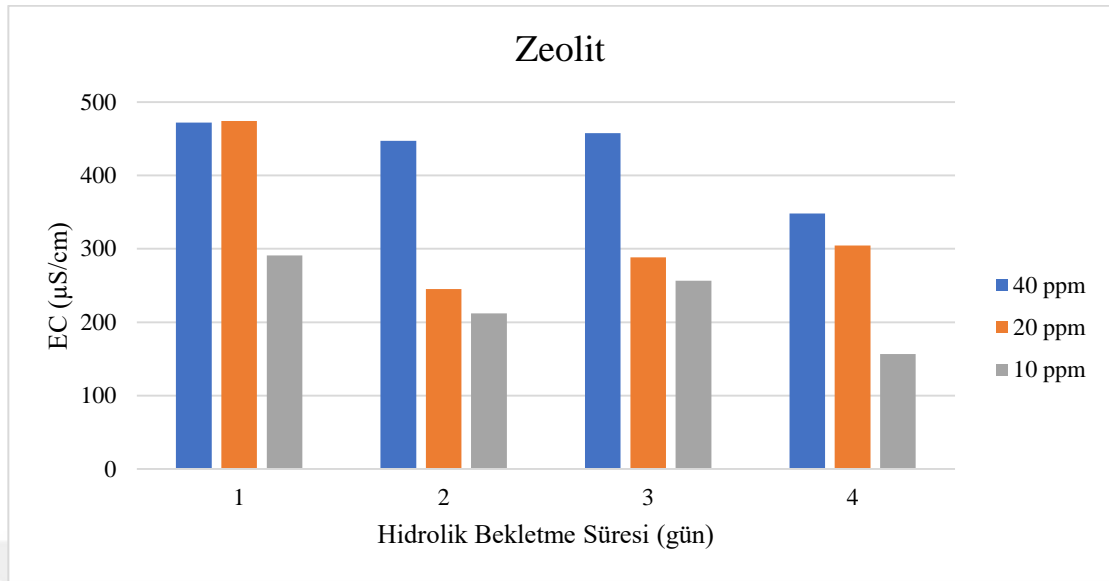
Şekil 3.1. Pumis materyalinin farklı konsantrasyonlarda EC değişimi

Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu EC değerleri 189,1 – 454,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmiş olup en düşük EC değeri 10 ppm’lik konsantrasyonda 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek EC değeri 40 ppm’lik konsantrasyonun 2 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda ağır metal çözeltisi uygulanan zeolit materyali farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin elektriksel iletkenlik (EC) değerleri Tablo 3.2.’de verilmiştir. Hidrolik bekletme sürelerine göre EC değerlerinin değişimi ise Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Zeolit materyalinin farklı konsantrasyonlarda EC’ye etkisi ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Ağır Metal Konsantrasyonları	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm (126.1)	291,1	211,9	256,6	156,7
20 ppm (212.5)	474,33	245,2	288,23	304,4
40 ppm (382.0)	472,0	447,0	457,67	348,17



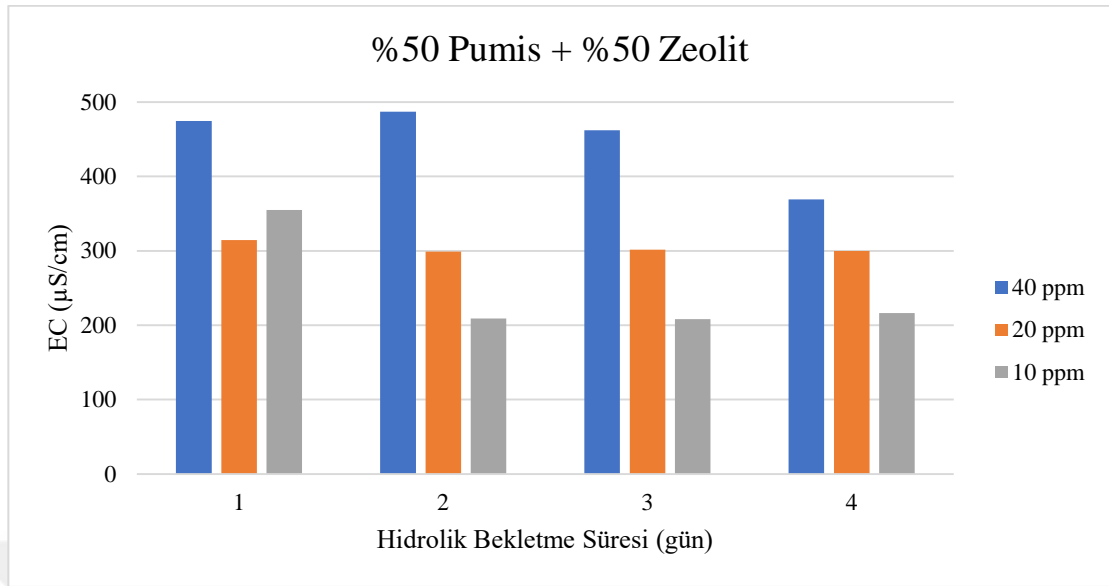
Şekil 3.2. Zeolit materyalinin farklı konsantrasyonlarda EC değişimi

Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu EC değerleri 156,7 – 474,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmiş olup en düşük EC değeri 10 ppm’lik konsantrasyonda 4 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek EC değeri 20 ppm’lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda ağır metal çözeltisi uygulanan %50 pumis - %50 zeolit karışımlarından farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin elektriksel iletkenlik (EC) değerleri Tablo 3.3’te gösterilmiştir. Hidrolik bekletme sürelerine göre EC değerlerinin değişimi ise Şekil 3.3’te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının farklı konsantrasyonda EC’ye etkisi ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Ağır Metal Konsantrasyonları	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm (126.1)	355,0	208,9	208,0	216,4
20 ppm (212.5)	314,33	299,0	301,47	300,0
40 ppm (382.0)	474,7	487,0	462,0	369,0



Şekil 3.3. %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının farklı konsantrasyonlarda EC değişimi

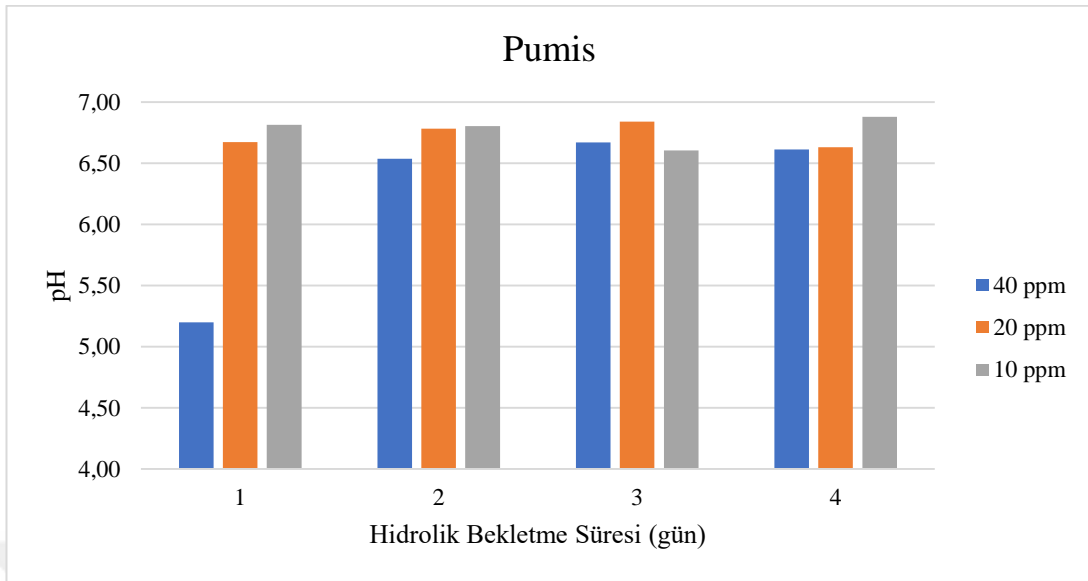
Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu EC değerleri 208,0 – 487,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmiş olup en düşük EC değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek EC değeri 40 ppm'lik konsantrasyonda 2 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

3.2. pH

Farklı konsantrasyonlarda Cu, Ni, Cd ve Pb çözeltileri uygulanan pumis materyali farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin pH değerleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Hidrolik bekletme sürelerine göre pH değerlerinin değişimi ise Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Pumis materyalinin pH'ya etkisi

Ağır Metal Konsantrasyonları	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm (5.12)	6,81	6,80	6,60	6,88
20 ppm (5.35)	6,67	6,78	6,84	6,63
40 ppm (5.25)	5,20	6,53	6,67	6,61



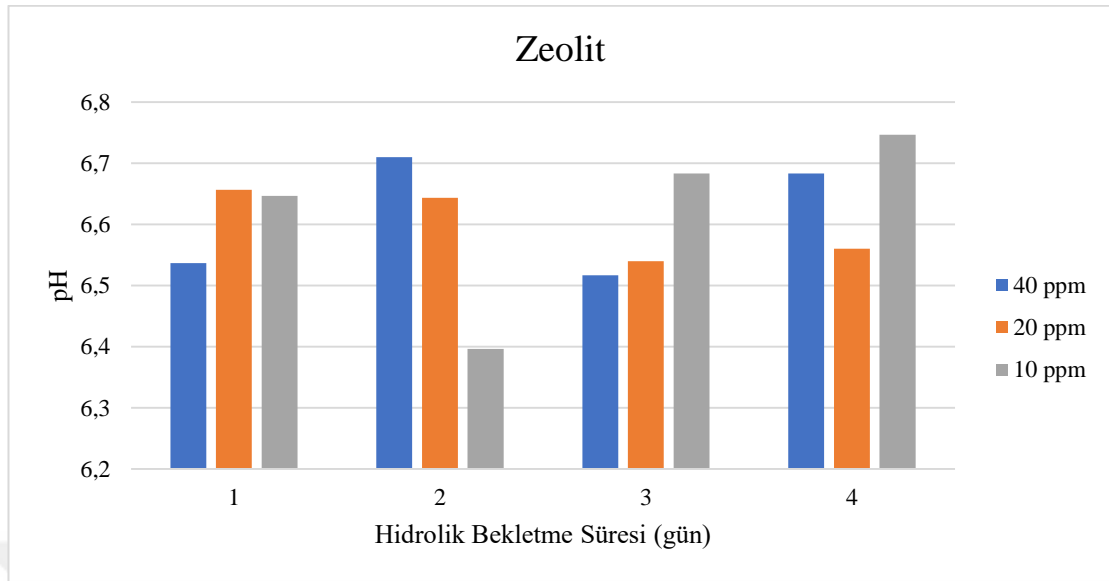
Şekil 3.4. Pumis materyalinin farklı konstrasyonlarda pH'da değişimi

Uygulanan ağır metal çözeltileri konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu pH değerleri 5,20 – 6,88 arasında değişmiş olup en düşük pH değeri 40 ppm'lik konsantrasyonda 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri ise 10 ppm'lik konsantrasyonun 4 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda ağır metal çözeltileri uygulanan zeolit materyali farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin pH değerleri Tablo 3.5'te verilmiştir. Hidrolik bekletme sürelerine göre pH değerlerinin değişimi ise Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Zeolit materyalinin pH'ya etkisi

Ağır Metal Konsantrasyonları	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm (5.12)	6,65	6,40	6,68	6,75
20 ppm (5.35)	6,66	6,64	6,54	6,56
40 ppm (5.25)	6,54	6,71	6,52	6,68



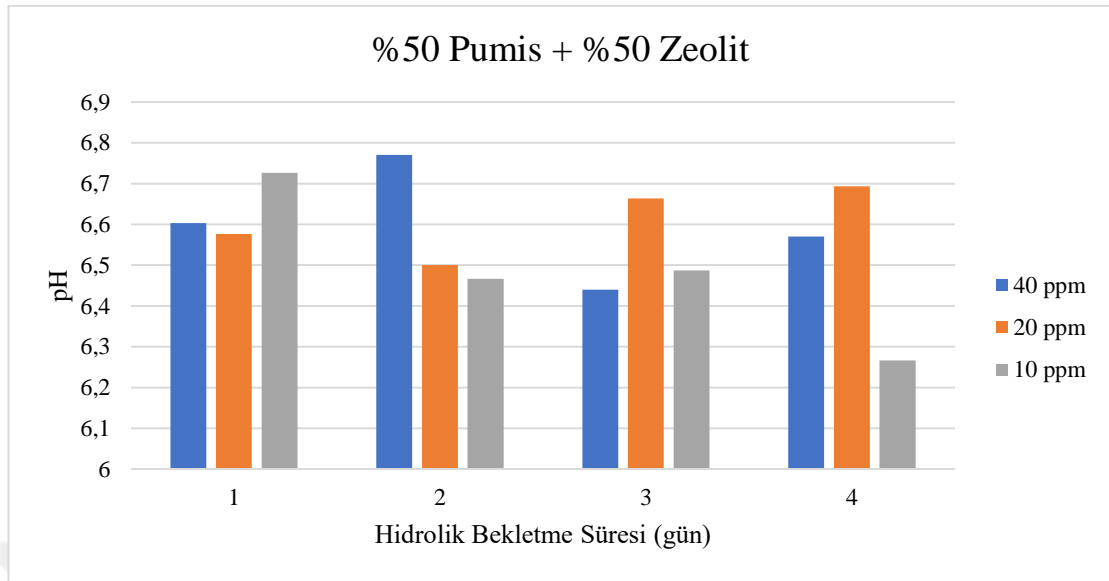
Şekil 3.5. Zeolit materyalinin farklı konstrasyonlarda pH'da değişimi

Uygulanan ağır metal çözeltileri konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu pH değerleri 6,40 - 6,75 arasında değişmiş olup en düşük pH değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 2 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 10 ppm'lik konsantrasyonun 4 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda ağır metal çözeltileri uygulanan %50 pumis - %50 zeolit karışımlarından farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin pH değerleri Tablo 3.6'da verilmiştir. Hidrolik bekletme sürelerine göre pH değerlerinin değişimi ise Şekil 3.6'te gösterilmiştir.

Tablo 3.6. %50 pumis -%50 zeolit karışımlarının pH'ya etkisi

Ağır Metal Konsantrasyonları	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm (5.12)	6,72	6,47	6,49	6,27
20 ppm (5.35)	6,58	6,50	6,66	6,69
40 ppm (5.25)	6,60	6,77	6,44	6,57



Şekil 3.6. %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının farklı konstrasyonlarda pH'da değişimi

Uygulanan ağır metal çözeltileri konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu pH değerleri 6,27 - 6,77 arasında değişmiş olup en düşük pH değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 4 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 40 ppm'lik konsantrasyonun 2 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

3.3. Ağır Metal Tayini

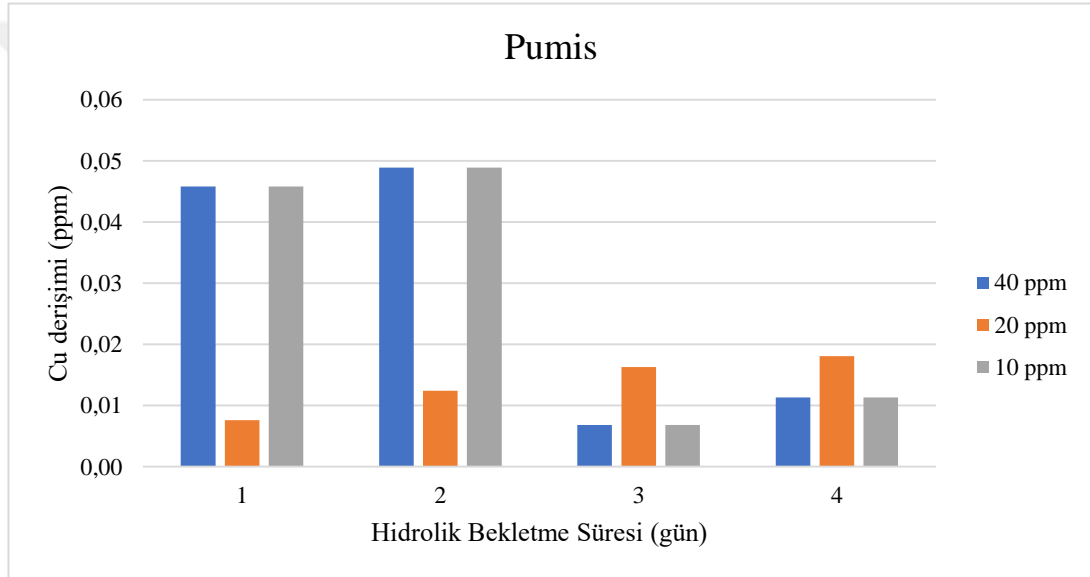
Farklı konsantrasyonlarda Cu, Ni, Cd ve Pb ağır metal çözeltileri pumis, zeolit ve %50 pumis - %50 zeolit karışımları farklı hidrolik bekletme sürelerine tabi tutulmuştur. Hidrolik bekletme sürelerine göre elde edilen değerler aşağıdaki tablo ve şekillerde gösterilmiştir.

3.3.1. Bakır (Cu)

Farklı konsantrasyonlarda ağır metal çözeltisi uygulanan pumis materyali farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin Cu konsantrasyonları Tablo 3.7'de verilmiştir. Çıkış suyu Cu konsantrasyonlarının hidrolik bekletme sürelerine göre değişimi ise Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Pumis Cu konsantrasyonları

Cu derişimi	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm	0,0207	0,0143	0,0179	0,0176
20 ppm	0,0076	0,0124	0,0163	0,0181
40 ppm	0,0458	0,0489	0,0068	0,0113

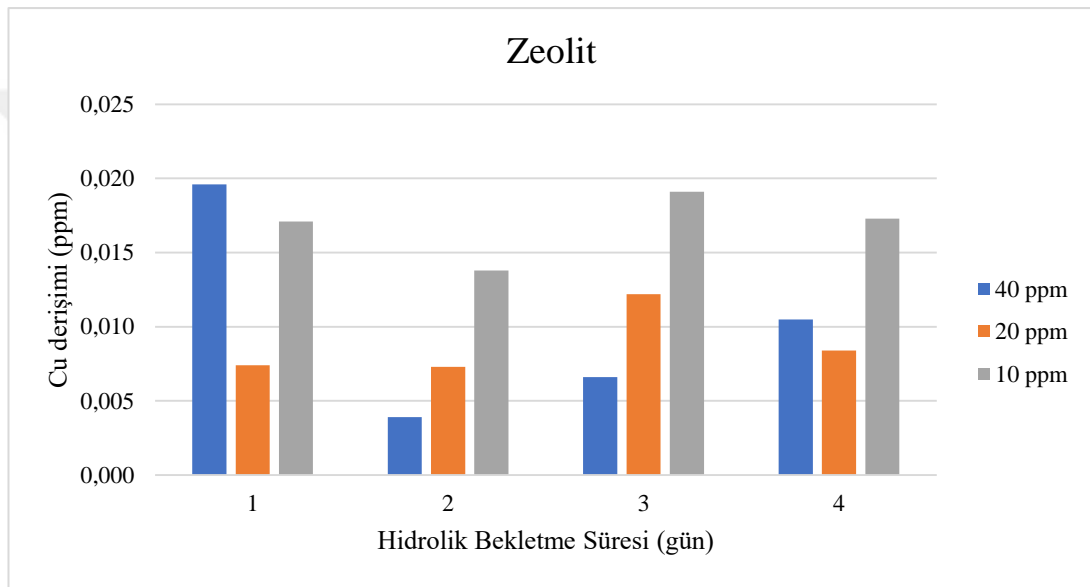


Şekil 3.7. Pumis Cu konsantrasyonlarının değişimi

Uygulanan ağır metal çözeltileri konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu Cu değerleri 0,0068 - 0,0458 arasında değişmiş olup en düşük Cu değeri 40 ppm'lik konsantrasyonda 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 40 ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda ağır metal çözeltileri uygulanan pumis materyali farklı hidrolik bekletme sürelerinden sonra elde edilen süzüklerin Cu konsantrasyonları Tablo 3.8'de verilmiştir. Çıkış suyu Cu konsantrasyonlarının hidrolik bekletme sürelerine göre değişimi ise Şekil 3.8'de gösterilmiştir

Tablo 3.8. Zeolit Cu konsantrasyonları

Cu derişimi	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm	0,0171	0,0138	0,0191	0,0173
20 ppm	0,0074	0,0073	0,0122	0,0084
40 ppm	0,0196	0,0039	0,0066	0,0105

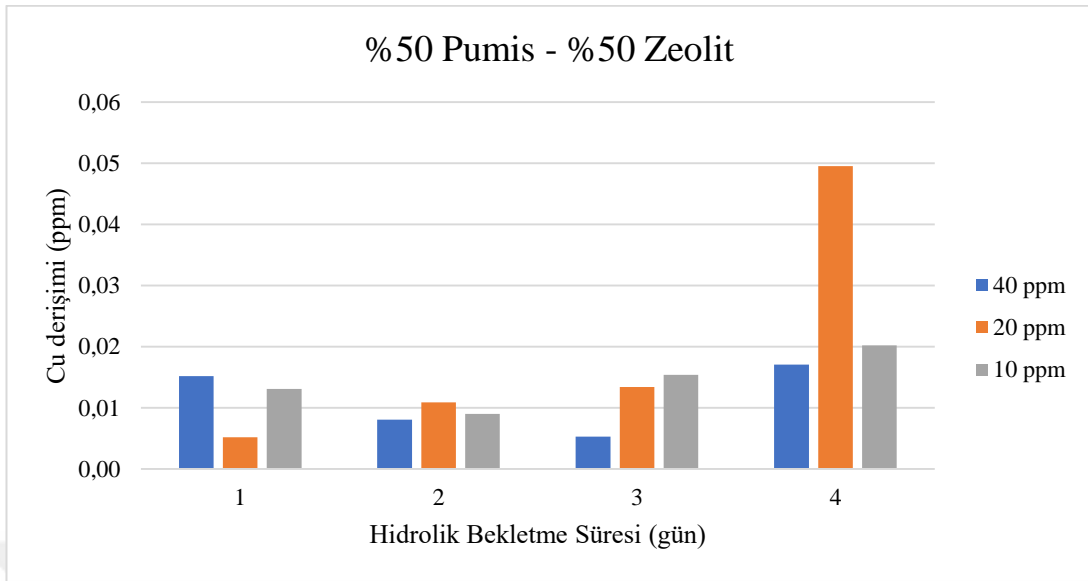


şekil 3.8. Zeolit Cu konsantrasyonlarının değişimi

Uygulanan ağır metal çözeltileri konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu Cu değerleri 0,0039 - 0,0196 arasında değişmiş olup en düşük Cu değeri 40 ppm'lik konsantrasyonda 2 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 40 ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Tablo 3.9. Cu ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımının materyalinde tayini

Cu derişimi	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm	0,0131	0,0090	0,0154	0,0202
20 ppm	0,0052	0,0109	0,0134	0,0495
40 ppm	0,0152	0,0081	0,0053	0,0171



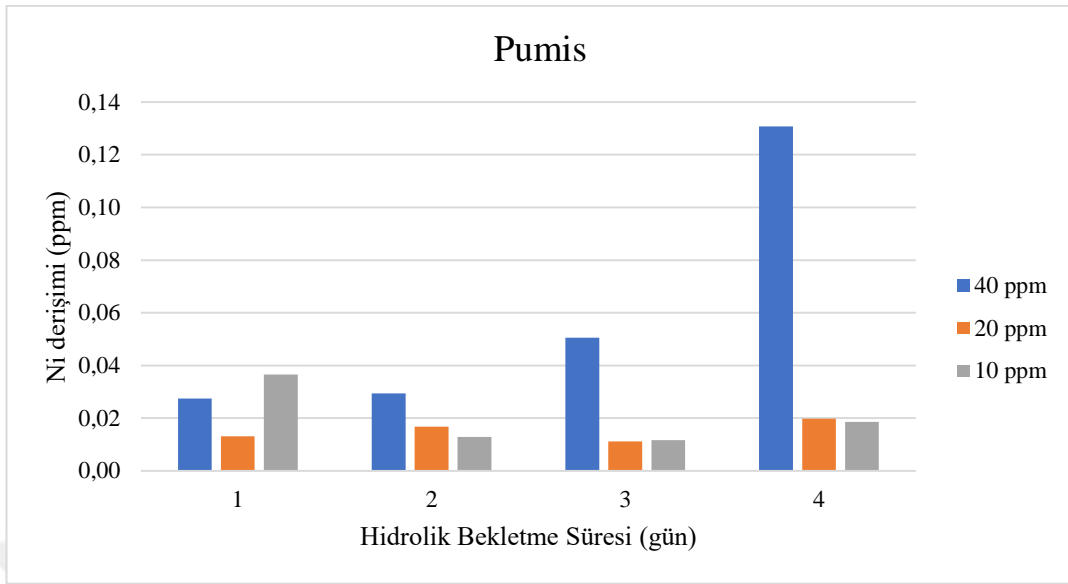
Şekil 3.9. Cu ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini

Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu Cu değerleri 0,0052 - 0,0495 arasında değişmiş olup en düşük Cu değeri 20 ppm'lik konsantrasyonda 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 20 ppm'lik konsantrasyonun 4 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

3.3.2. Nikel (Ni)

Tablo 3.10. Ni ağır metalinin pumis materyalinde tayini

Ni derişimi	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm	0,0365	0,0128	0,0117	0,0186
20 ppm	0,0131	0,0168	0,0112	0,0198
40 ppm	0,0275	0,0294	0,0505	0,1308

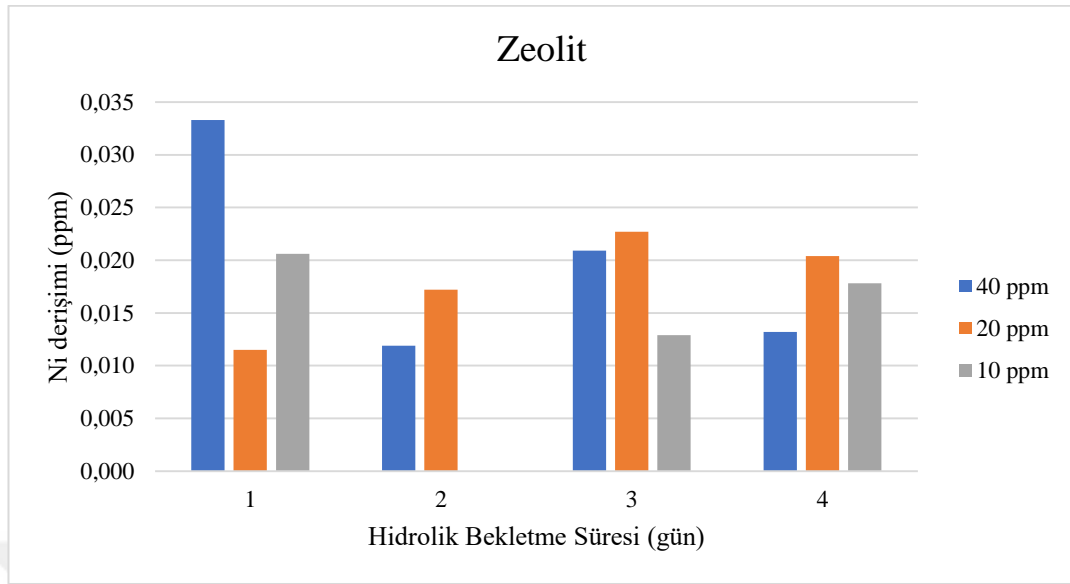


Şekil 3.10. Ni ağır metalinin pumis materyalinde tayini

Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu Ni değerleri 0,0112 - 0,1308 arasında değişmiş olup en düşük Ni değeri 20 ppm'lik konsantrasyonda 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 40 ppm'lik konsantrasyonun 4 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Tablo 3.11. Ni ağır metalinin zeolit materyalinde tayini

Ni derişimi	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm	0,0206		0,0129	0,0178
20 ppm	0,0115	0,0172	0,0227	0,0204
40 ppm	0,0333	0,0119	0,0209	0,0132

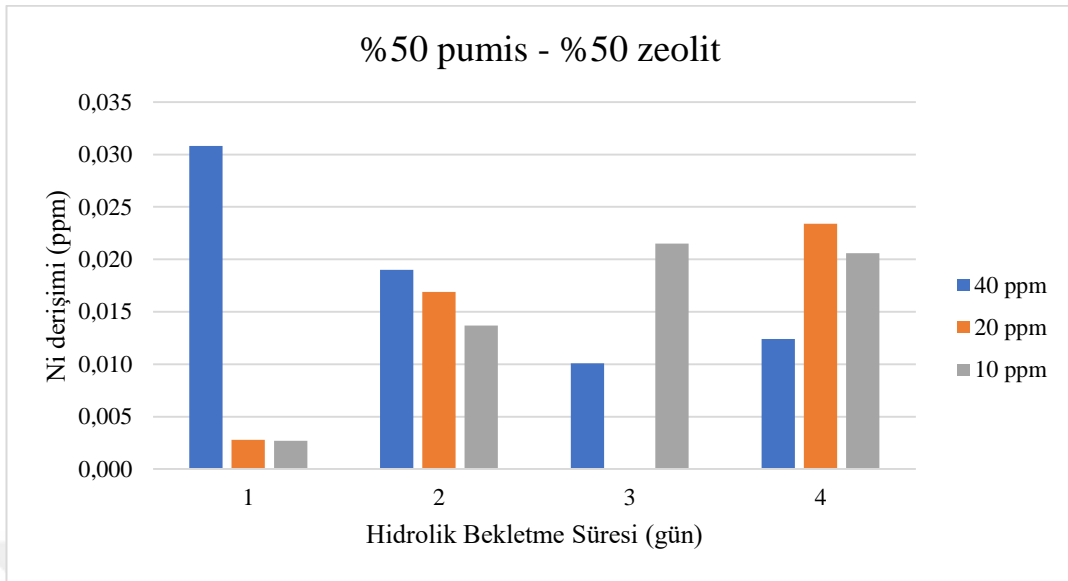


Şekil 3.11. Ni ağır metalinin zeolit materyalinde tayini

Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu Ni'nin minimum değeri okunamamıştır, en yüksek değeri ise 0,0333 arasında değişir. Okunamayan en düşük Ni değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 2 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 40 ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Tablo 3.12. Ni ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini

Ni derişimi	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm	0,0027	0,0137	0,0215	0,0206
20 ppm	0,0028	0,0169		0,0234
40 ppm	0,0308	0,019	0,0101	0,0124



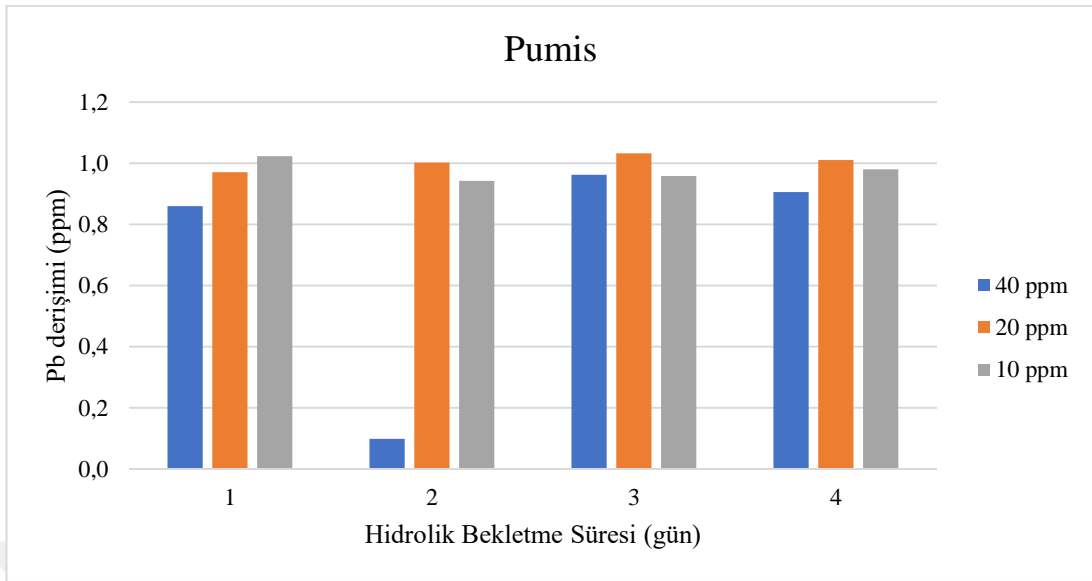
Şekil 3.12. Ni ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini

Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu Ni'nin minimum değeri okunamamıştır, en yüksek değeri ise 0,0308 arasında değişir. Okunamayan en düşük Ni değeri 20 ppm'lik konsantrasyonda 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 40 ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

3.3.3. Kurşun (Pb)

Tablo 3.13. Pb ağır metalinin pumis materyalinde tayini

Pb derişimi	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm	1,0233	0,9422	0,9578	0,9800
20 ppm	0,9706	1,0022	1,0322	1,0106
40 ppm	0,8600	0,09928	0,9622	0,9056

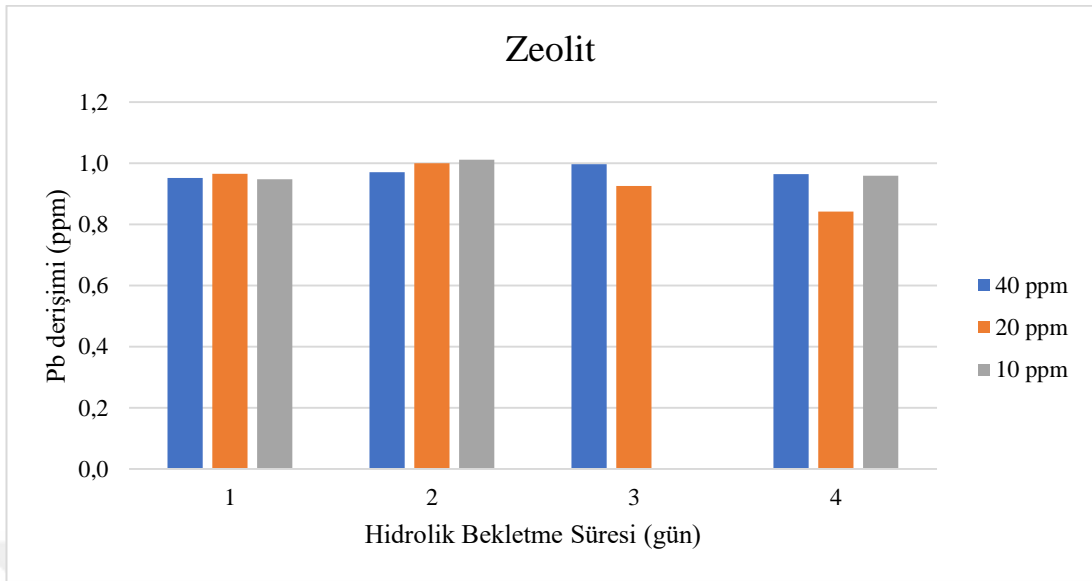


Şekil 3.13. Pb ağır metalinin pumis materyalinde tayini

Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu Pb değerleri 0,09928 - 1,0322 arasında değişmiş olup en düşük Pb değeri 40 ppm'lik 2 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 20 ppm'lik konsantrasyonun 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Tablo 3.14. Pb ağır metalinin zeolit materyalinde tayini

Pb derişimi	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm	0,9478	1,0111	-	0,9593
20 ppm	0,9656	1,0004	0,9256	0,8422
40 ppm	0,9522	0,9711	0,9967	0,9639

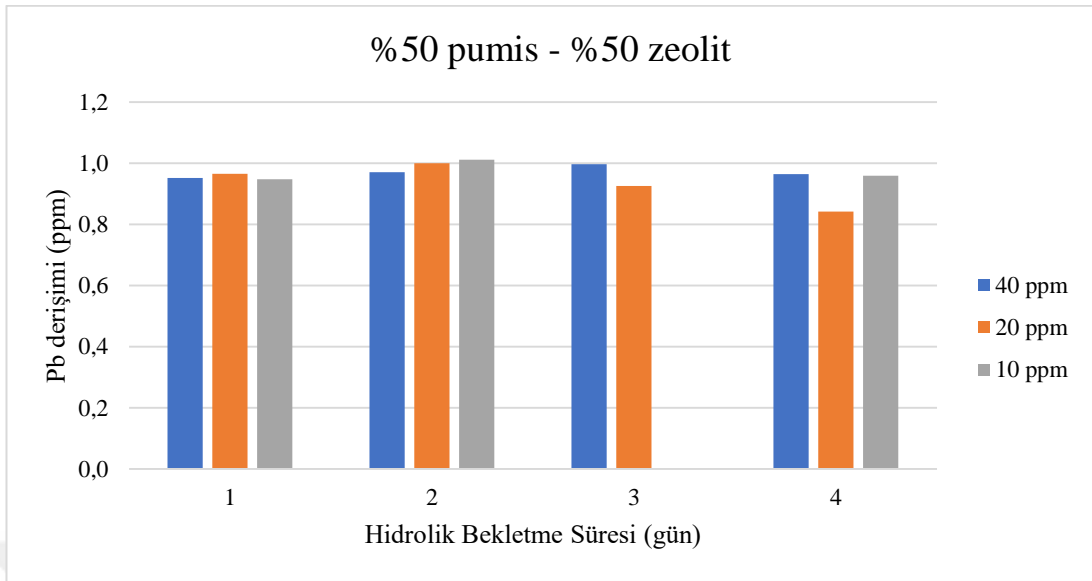


Şekil 3. 14. Pb ağır metalinin zeolit materyalinde tayini

Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu Pb'nin minimum değeri okunamamıştır, en yüksek değeri ise 1,0111 arasında değişir. Okunamayan en düşük Pb değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 10 ppm'lik konsantrasyonun 2 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Tablo 3.15. Pb ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini

Pb derişimi	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm	1,0344	1,0078	-	0,9617
20 ppm	0,9715	0,9622	0,9094	0,8061
40 ppm	0,9922	0,9711	0,9611	0,9983



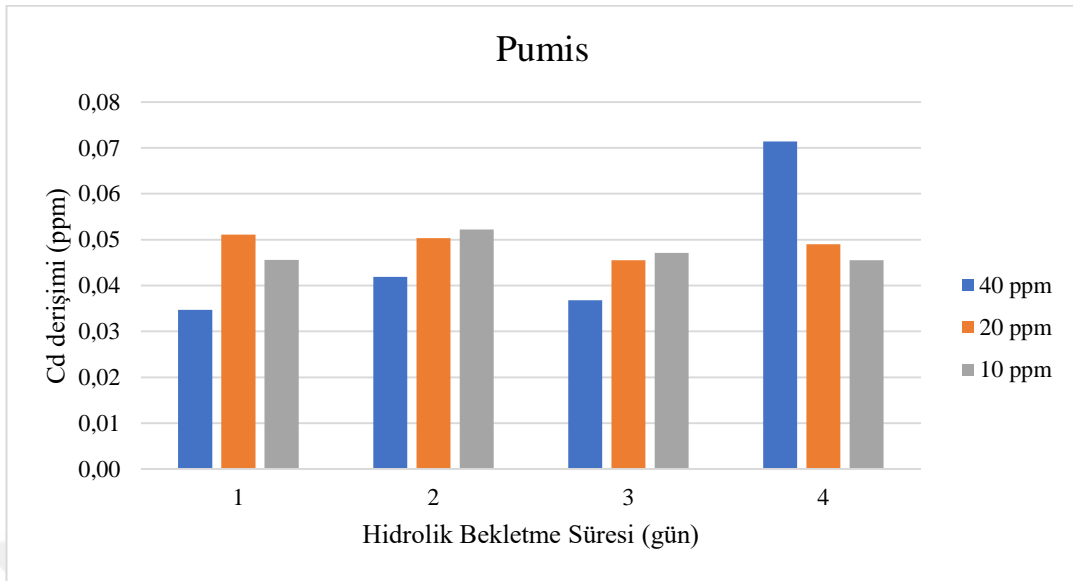
Şekil 3. 15. Pb ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini

Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu Pb'nin minimum değeri okunamamıştır, en yüksek değeri ise 1,0344 arasında değişir. Okunamayan en düşük Pb değeri 10 ppm'lik konsantrasyonda 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 10 ppm'lik konsantrasyonun 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

3.3.4. Kadmiyum (Cd)

Tablo 3.16. Cd ağır metalinin pumis materyalinde tayini

Cd derişimi	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm	0,0456	0,0522	0,0471	0,0455
20 ppm	0,0511	0,0503	0,0455	0,049
40 ppm	0,0347	0,0419	0,0368	0,0714

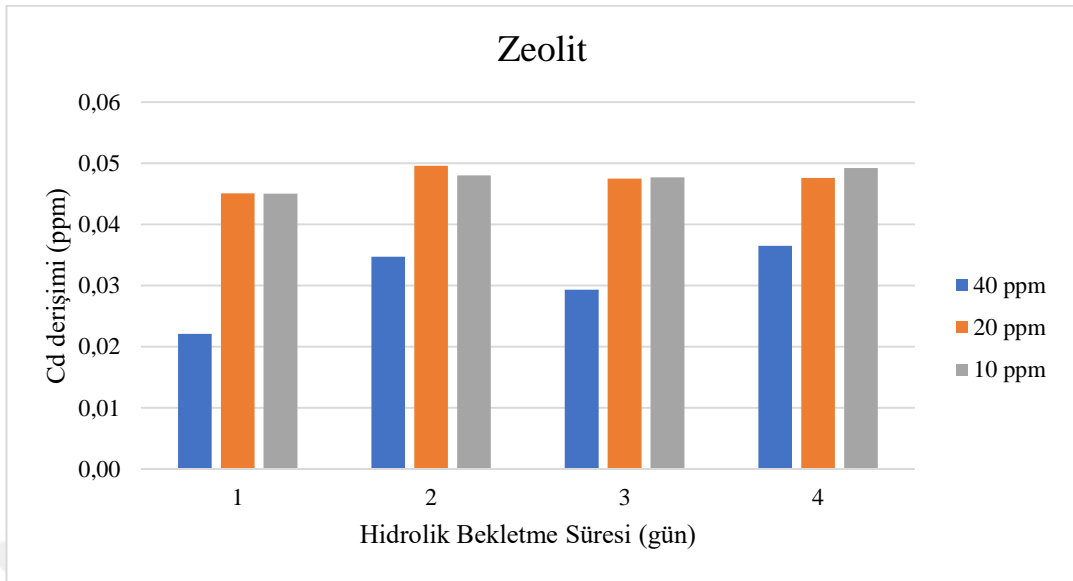


Şekil 3.16. Cd ağır metalinin pumis materyalinde tayini

Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu Cd değerleri 0,0347 - 0,0714 arasında değişmiş olup en düşük Cd değeri 40 ppm'lik 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 40 ppm'lik konsantrasyonun 4 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Tablo 3.17. Cd ağır metalinin zeolit materyalinde tayini

Cd derişimi	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm	0,045	0,0480	0,0477	0,0492
20 ppm	0,0451	0,0496	0,0475	0,0476
40 ppm	0,0221	0,0347	0,0293	0,0365

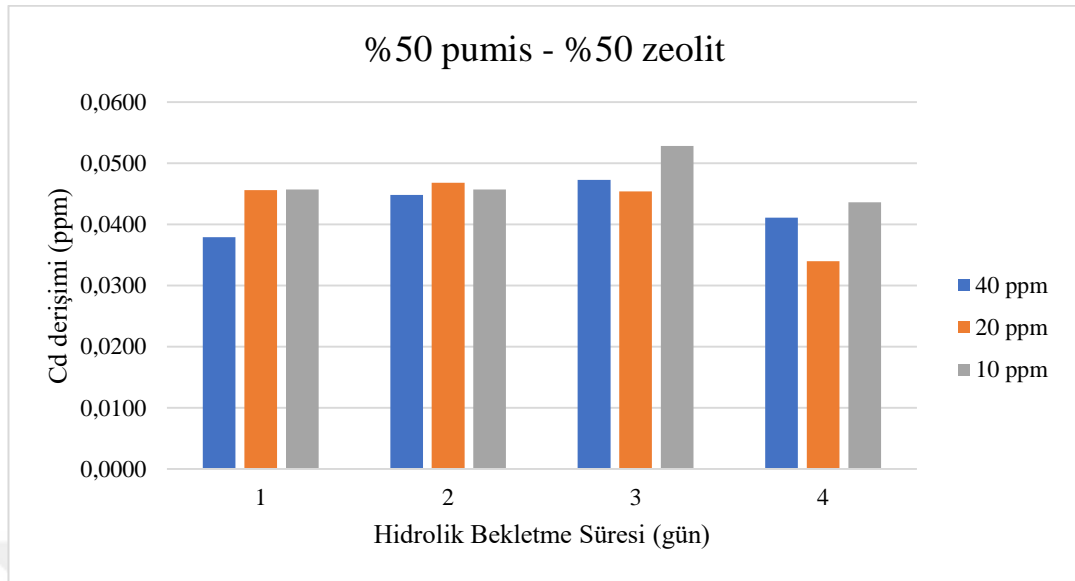


Şekil 3.17. Cd ağır metalinin zeolit materyalinde tayini

Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu Cd değerleri 0,0221 - 0,0492 arasında değişmiş olup en düşük Cd değeri 40 ppm'lik 1 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 10 ppm'lik konsantrasyonun 4 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Tablo 3.18. Cd ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini

Cd derişimi	Hidrolik Bekletme Süresi			
	1 gün	2 gün	3 gün	4 gün
10 ppm	0,0457	0,0457	0,0528	0,0436
20 ppm	0,0456	0,0468	0,0454	0,034
40 ppm	0,0379	0,0448	0,0473	0,0411



Şekil 3.18. Cd ağır metalinin %50 pumis - %50 zeolit karışımlarının materyalinde tayini

Uygulanan ağır metal çözeltisi konsantrasyonuna ve hidrolik bekletme sürelerine bağlı olarak çıkış suyu Cd değerleri 0,0034 - 0,0528 arasında değişmiş olup en düşük Cd değeri 20 ppm'lik 4 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlenirken en yüksek pH değeri 10 ppm'lik konsantrasyonun 3 günlük hidrolik bekletme süresinde gözlemlenmiştir.

Tablo ve grafiklerden de anlaşılacağı üzere farklı konsantrasyonlarda uygulanan ağır metal içerikli atık suların hidrolik bekletme süresiyle orantılı şekilde değişiklik göstermiştir. Her karışım oranı, kirlilik yükü ve hidrolik bekletme süresinde kararlı bir değişim görülmüştür.

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Sonuçlar ve Öneriler

Son yıllarda endüstrinin gelişmesi ile su kirliliği önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Özellikle atık sulardaki ağır metal kirliliği, çevre için büyük bir sorundur. Ağır metallerin çevreye yayılmasında etkili olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp yakma tesisleridir.

Kolon denemeleri şeklinde yürütülen bu çalışmada pumis, zeolit ve bu iki materyalin %50-%50 oranlarında karışımları kullanılmıştır.

Yapılan analizler neticesinde iki materyalde veya karışımlarında elde edilen süzüklerde yapılan EC testlerinde değerler arasında düzensizlik olup bir ilişki kurulamamıştır. %50 pumis - %50 zeolit karışımında sadece pumis ve sadece zeolit kullanılan kolonlara nazaran daha istikrarlı bir azalma gözlemlenmiştir.

Çalışma neticesinde sadece iki materyalin kullanıldığı yerlerde de %50 pumis - % 50 zeolit karışımının olduğu yerde de elde edilen pH sonuçlarında bir düzensizlik saptanmıştır ve aralarında ilişki kurulamamıştır.

Karışımlara 3 farklı konsantrasyonda Cu, Ni, Pb ve Cd ağır metallerini içeren (10, 20 ve 40 ppm) yapay atık su 1, 2, 3 ve 4 günlük hidrolik bekletme süreleriyle uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına bağlı olarak ileride inşa edilecek yapay sulak alan sistemleri için havuz dolgu malzemesi (filter malzemesi–substrat) önerilerinde bulunulmuştur.

Elde edilen verilere göre;

- Cu ağır metali için en düşük veri zeolit materyalinde en yüksek veri ise %50 pumis %50 zeolit karışımı materyalinde elde edilmiştir.

- Ni ağır metali için en düşük veri zeolit materyalinin kullanıldığı kolonda ve %50 pumis %50 zeolit karışımının kullanıldığı kolonda okunamamış en yüksek veri ise pumis materyalinde okunmuştur.
- Pb ağır metali için en düşük veri zeolit materyalinin kullanıldığı kolonda ve %50 pumis %50 zeolit karışımının kullanıldığı kolonda okunamamış en yüksek veri ise %50 pumis %50 zeolit materyalinde okunmuştur.
- Cd ağır metali için en düşük veri zeolit materyalinde en yüksek veri ise pumis materyalinde elde edilmiştir.

Bu sonuçlara göre pumis ve zeolit malzemeleri ya tek başlarına ya da belirli oranlarda karıştırılarak kullanıldığında ağır metalleri atık sulardan arındırma işlemlerinde kullanılabilir. Bu materyaller hem elde edilebilirlikleri, hem işlenebilirlikleri, hem işletilebilirlikleri hem de maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda avantajlıdır denilebilir.

KAYNAKÇA

1. Öz, B., 2012. “Doğal Zeolitlerin Modifiye Edilmesiyle Elde Edilen Anyonik Reçinelerin Sulardaki Bazı Metal İyonlarının Gideriminde Kullanımı”, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 83 sf., Çorum.
2. Breck , D. W., 1974. Zeolite Molecular Sieves. **Structure, Chemistry and Uses**, John Wiley & Sons, New York, 313-320 and 731-738.
3. Bowman, RS., 2003. Applications of surfactant-modified zeolites to environmental remediation. **Microporous and Mesoporous Materials** 61, 43- 56.
4. Deer, W. A., Howie, R. A., Wise, W. S., Zussman, J., 2004. Framework Silicates: Silica Minerals. **Feldspathoids and the Zeolites**.
5. Gündüz, L., Sariisik, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O., 1998. Pumice technology. Süleyman Demirel University, Isparta, 275-285.
6. Saruışık, A., Şahin, B., 1997. Isparta Pomzasının Aşındırma-Parlatma Karakteristiğinin İrdelenmesi. 1. Isparta Pomza Sempozyumu, 26-28.
7. Yazıcıoğlu S, Arıcı E, Gönen T., 2003. Pomza Tasinin Kullanım Alanları ve Ekonomiye Etkisi, **F.Ü. DAUM Dergisi** , 1 , 118-123 , Mayıs.
8. Altan, A., Altan, Ö., Alçiçek, A., Nalbant, M., Akbaş, Y., 1998. Tavukçulukta Doğal Zeolit Kullanımı I., **Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, Cilt. 35, No.1-2-3, S. 9-16, Issn 1018-6651, İzmir.
9. Coombs, D.S., Albertı, A., Armbruster, T., Artıolı, G., Colella, C., Gallı, E., 1997. “Recommended Nomenclature for Zeolite Minerals: Report of the Subcommittee on Zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on new Minerals and Mineral names”, **Canadian Mineralogist**, 35(6), 1571-1606.
10. Barth-Wirsching, U., Holler, H., 1989. “Experimental Studies On Zeolite Formation Conditions”, **European Journal of Mineralogy**, 489-506.
11. Çetinel, G., 1993. “Dünya’da ve Türkiye’de Zeolit”, Mta Fizibilite Etüd Dairesi Maden Ekonomisi Birimi, 179-199, Ankara.

12. Çağın,V., İmamoğlu, İ., 2006 “Atıksulardan Ağır Metal Gideriminde Klinoptilolit Kullanımı”, VI. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İstanbul.
13. Uğurlu,A., Pınar, A., 2004. “Doğal Zeolitlerin Atıksu Arıtımında Kullanımı”, **Jeoloji Mühendisliği Dergisi** 28 (2)
14. Tsitsishvili, G.V., Andrisnikashvili, T.G., Kirov, G.N. and Filizova, L.D., 1992. Natural Zeolites. **Ellis Horwood**.
15. Dikmen, Z., 2008. Magnetik Olarak Modifiye Edilen Zeolitlerin Hazırlanması ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi (Doctoral dissertation, Doktora Tezi).
16. Edder J. García, Javier Pérez-Pellitero, Gerhard D. Pirngruber, Christian Jallut, Miguel Palomino, Fernando Rey, Susana Valencia, 2014. Tuning the Adsorption Properties of Zeolites as Adsorbents for CO₂ Separation: Best Compromise between the Working Capacity and Selectivity, **Ind. Eng. Chem. Res.**, 53 (23), pp 9860–9874
17. Barrer, R. M., 1982. Hydrothermal chemistry of zeolites. Academic press.
18. Armor, J. N., 1999. The multiple roles for catalysis in the production of H₂. Applied Catalysis A: General, 176(2), 159-176.
19. Coombs D. S. (Chairman), Alberti A., Armbruster T., Artioli G., Colella C., Galli E., Grice J. D., Liebau F., Mandarino J. A., Minato H., Nickel E. H., Passaglia E., Peacor D. R., Quartieri S., Rinaldi R., ROSS M., Sheppard R. A., Tillmanns E. ve Vezzalini G., 1998, Recommended nomenclature for zeolite minerals: Report of the subcommittee on zeolites of the International
20. Armbruster T. & Gunter M. E., 2001, Crystal Structures of Natural Zeolites. **Reviews in Min. and Geochem.** Vol. 45. Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications, 1-116.
21. Motsi, T., Rowson, N.A., Simmons, M.J.H., 2009. Adsorption of Heavy Metals From Acid Mine Drainage by Natural Zeolite. **International Journal of Mineral Processing**, 92, 42–48.

22. Borai, E.H., Harjula, R., Malinen, L., Paajanen, A., 2009. Efficient Removal of Cesium from Low-Level Radioactive Liquid Waste Using Natural and Impregnated Zeolite Minerals. *Journal of Hazardous Materials*, 172, 416–422.
23. Taffarel, S.R., Rubio, J., 2009. On The Removal Of Mn^{+2} Ions By Adsorption Onto Natural And Activated Chilean Zeolites. ***Minerals Engineering***, 22, 336–343.
24. Abdel Salam, O.E., Reiad, N.A., ElShafei, M.M., 2011. A Study Of The Removal Characteristics Of Heavy Metals From Wastewater By Low-Cost Adsorbents. ***Journal of Advanced Research***, 01, 008.
25. Cortés-Martínez, R., Olguín, M.T., Solache-Ríos, M., 2010. Cesium Sorption By Clinoptilolite-Rich Tuffs In Batch And fixed-Bed Systems. ***Desalination***, 258, 164–170.
26. Villaseñor, J., Rodríguez, L., Fernández, F.J., 2011. Composting Domestic Sewage Sludge with Natural Zeolites in a Rotary Drum Reactor. ***Bioresource Technology***, 102, 1447–1454.
27. Kurtoğlu, A.E., Atun, G., 2006. Determination of Kinetics and Equilibrium of Pb/Na Exchange on Clinoptilolite. ***Separation and Purification Technology***, 50, 62–70.
28. Petrus, R., Warchol, J.K., 2005. Heavy Metal Removal by Clinoptilolite. An Equilibrium Study in Multi-Component Systems. ***Water Research***, 39, 819–830.
29. Malamis, S., Katsou, E., Haralambous, K.J., 2011. Industrial Wastewater PreTreatment for Heavy Metal Reduction By Employing a Sorbent- Assisted Ultrafiltration System. ***Chemosphere***, 82, 557–564
30. Günay, A., Arslankaya, E., Tosun, İ., 2007. Lead Removal From Aqueous Solution by Natural and Pretreated Clinoptilolite: Adsorption Equilibrium and Kinetics. ***Journal of Hazardous Materials***, 146, 362–371.
31. Akın, G., Akın, M. 2013. Pomzanın Özellikleri, Kullanım Alanları ve Üretiminde Yaşanan Sorunlar. II. Uluslararası Ahlat - Avrasya Bilim, Kültür ve Sanat Sempozyumu.

32. Dinçer, İ., Orhan, A., Çoban, S. 2015. Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Fizibilite Raporu. Nevşehir
33. Köse, H., Pamukçu, Ç., Yalçın, N., Seçer, T. 1997. Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim 1997, İzmir.
34. Sevindir, H. C., Pakdil, N.B., 2005. "Pomza Taşıkullanarak İçme Sularından Demir ve Mangan Giderilmesi", L. Gündüz ve V.Deniz (Ed.), 2. Pomza Sempozyumu, s.321-325, Isparta.
35. Sepehr, M.N, Zarrabi, M., Kazemian, H., Amrane, A.,Yaghmaian, K., Ghaffari, H.R., 2013. "Removal of Hardness Agents, Calcium and Magnesium, By Natural and Alkaline Modified Pumice Stones in Single and Binary Systems", **Applied Surface Science**, 274, s.295– 305.
36. Onar, A.N., Balkaya, N., Öztürk, B., 1997. "Pomza Taşının Su Arıtım Teknolojisinde Kullanımı", (Ed.) L.Gündüz, I. Isparta Pomza Sempozyumu, s.31-38, Isparta.
37. Salifu A., Petrusovski, B., Ghebremichael, K., Modestus, L., Buamah, R., Aubry, C., Amya, G.L., 2013. "Aluminum (hydr)oxide coated pumice for fluoride removal from drinking water: Synthesis, Equilibrium, Kinetics and Mechanism", **Chemical Engineering Journal**, 228, s.63–74.
38. Environmental Protection Agency (EPA), 1995. "Water Treatment Manuals- Filtration", The Environmental Protection Agency-Ireland, p.80.
39. Boğa, A. (2007). Ağır Metallerin Özellikleri ve Etki Yolları. Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, 16(3).
40. Sharma, P., Dubey, R. S., 2005. Lead toxicity in plants. **Brazilian journal of plant physiology**, 17(1), 35-52.
41. Thürmer K, Williams E, Reutt-Robey J., 2002. Autocatalytic oxidation of lead crystallite surfaces. **Science**, 297(5589): 2033–2035.
42. Samsunlu, A., 1999. Çevre mühendisliği kimyası. **Sam-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayınları**.

43. Kratochvil, D., & Volesky, B. (1998). Advances in the biosorption of heavy metals. **Trends in biotechnology**, 16(7), 291-300.
44. Rosenberg, M., Patterson, R., Mintzer, R., Cooper, B. J., ROBERTS, M., HARRIS, K. E., 1977. Clinical and immunologic criteria for the diagnosis of allergic bronchopulmonary aspergillosis. **Annals of Internal Medicine**, 86(4), 405-414.
45. Vymazal, J., 2008. Constructed wetlands for wastewater treatment: a review. In Proceedings of Taal: The 12th World Lake Conference (Vol. 965, p. 980).
46. SKKY. (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği) <http://www.csb.gov.tr>, Erişim Tarihi: 20.04.2019.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nesrin MIHOĞLU
Uyruğu : Türkiye (T.C.)
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.08.1990 – Kocasinan / KAYSERİ
Medeni Durum : Evli
e-mail : nesrindezgahci@outlook.com
Yazışma Adresi : Bahçelievler Mahallesi Mevlana Caddesi Numanoğlu
Bahçeşehir 2 Sitesi C Blok No: 29 Talas Kayseri

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği	2019
Lisans	Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği	2013
Lise	Behice Yazgan Kız Lisesi	2009

Yabancı Dil : İngilizce (İyi)